

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

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ŞEV STABİLİTESİ ANALİZİNDE BİR VAKA ANALİZİ**

**EBRU YALÇINKAYA**

**KOCAELİ 2019**

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

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ŞEV STABİLİTESİ ANALİZİNDE BİR VAKA ANALİZİ**

**EBRU YALÇINKAYA**

**Doç. Dr. Utkan MUTMAN**

**Danışman, Kocaeli Üniv.**

**Prof. Dr. Safa Bozkurt COŞKUN**

**Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.**

**Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Bengü SÜNBÜL**

**Jüri Üyesi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniv.**



**Tezin Savunulduğu Tarih: 08.07.2019**

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Lisansüstü eğitimim sürecinde bilgi, tecrübe ve ilgisi ile her daim yanımda olan, tüm çalışmalarımnda kılavuzluk eden, en ufak sıkıntımnda dahi Beni cevapsız bırakmayıp ilgilenen, çalışmamın ilerlemedesinde büyük emekleri olan ve kıymetli bilgilerinden faydalandığım Kıymetli Hocam Doç. Dr. Utkan MUTMAN'a sonsuz şükranlarımı sunarım.

Yaşantımın her anında maddi manevi destekleriyle yanımda olan, aile kurumunun ne denli önemli olduğunu bana hissettiren güzel aileme, arkadaşlarıma, sevgili eşim Yalçın YALÇINKAYA ile can parçalarıml Zeynep YALÇINKAYA ve Ali YALÇINKAYA'ya çalışmalarım boyunca yanımda olmalarından dolayı kalpten teşekkür ederim.

Haziran – 2019

Ebru YALÇINKAYA

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
TABLOLAR DİZİNİ .....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	ix
ÖZET.....	x
ABSTRACT .....	xi
GİRİŞ .....	1
1. ŞEV STABİLİTESİ (DURAYLILIĞI).....	3
1.1. Şev Stabilitesi Terminolojisi .....	4
1.2. Şev Stabilitesine Etkiyen Parametreler .....	6
1.3. Gerilme Artışına ve Direnç Azalmasına Neden Olan Etmenler .....	6
1.4. Şev Göçmelerinin Sınıflandırılması.....	6
1.4.1. Düşmeler .....	8
1.4.2. Devrilmeler .....	9
1.4.3. Kaymalar .....	9
1.4.4. Yayılmalar .....	10
1.4.5. Akmalar .....	10
1.5. Şev Duraylılığı Analizi .....	11
1.5.1. Şev göçmesi analizlerinin tarihçesi .....	11
1.5.2. Şev stabilite analizi yöntemleri .....	11
1.5.2.1. Limit denge analizleri.....	12
1.5.2.2. İsveç dilim (Fellenius, 1936) yöntemi.....	13
1.5.2.3. Basitleştirilmiş bishop yöntemi (Bishop, 1955).....	14
1.5.2.4. Basitleştirilmiş janbu yöntemi (Janbu, 1973).....	15
1.5.2.5. Spencer yöntemi .....	16
1.5.2.6. Morgenstern-price yöntemi (M-P) .....	18
1.5.2.7. Sarma yöntemi (M-P).....	19
1.5.2.8. Limit denge analizlerinin karşılaştırılması.....	20
1.5.3. Sonlu elemanlar yöntemi ile şevlerin analizi .....	21
1.6. Sınır Denge Kavramı ve Güvenlik Katsayısı .....	21
2. ŞEV STABİLİTESİ İLE İLGİLİ YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR .....	22
3. ŞEV STABİLİTESİ ANALİZİ İÇİN PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ.....	25
3.1. Laboratuvar Deneyleri .....	25
3.1.1. Elek analizi ve hidrometre deneyi .....	25
3.1.2. Kıvam (Atterberg) limit deneyleri (Likit limit ve plastic limit).....	26
3.1.3. Dane birim hacim ağırlığı belirlenmesi (piknometre) deneyi .....	28
3.1.4. Kesme deneyleri .....	29
3.1.4.1. Kesme kutusu deneyi .....	29
3.1.4.2. Serbest (tek eksenli) basınç deneyi .....	30
3.1.4.3. Üç eksenli basınç deneyi .....	31

3.1.4.3.1. Konsolidasyonsuz-drenajsız deneyler (UU-deneyleri) .....	32
3.1.4.3.2. Konsolidasyonlu-drenajsız deneyler (CU-deneyleri) .....	32
3.1.4.3.3. Konsolidasyonlu-drenajlı deneyler (CD-deneyleri) .....	34
4. İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ.....	35
4.1. Yük Kaldırma.....	36
4.2. Hafifletme .....	36
4.2.1. Şev geometrisinin değiştirilmesi .....	36
4.2.2. Hafif dolgu kullanımı .....	36
4.3. Payandalama .....	37
4.4. Drenaj .....	38
4.4.1. Yer üstü (yüzeysel) drenaj.....	38
4.4.2. Yerlatı (derin) drenaj.....	38
4.5. Yapısal Stabilizasyon .....	39
4.5.1. İstinat duvarları .....	39
4.5.2. Ankrajlar.....	40
4.6. Bitkilendirme .....	41
4.7. Zemin Sıkılaştırma .....	42
4.7.1. Sıkıştırılmış zemin-çimento dolgusu.....	42
4.7.2. Konsolidasyon.....	42
4.7.3. Termal iyileştirme .....	42
5. SEÇİLEN BİR BÖLGEDE ŞEV STABİLİTE PROBLEMİNİN BELİRLENMESİ VE İYİLEŞTİRİLMESİ .....	43
5.1. Kazı Güvenliği ve Gerekli Önlemlerin Alınması.....	53
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	59
KAYNAKLAR .....	60
EKLER.....	62
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER .....	90
ÖZGEÇMİŞ .....	91

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Şevlerin tanımlanmasında kullanılan terimler (Akçakal, 2009).....	4
Şekil 1.2.	Şev hareket tipi örneği.....	5
Şekil 1.3.	Bir şevin geometrik özellikleri.....	5
Şekil 1.4.	1995-La Conchita (Kaliforniya, ABD) heyelanı.....	9
Şekil 1.5.	2001-Terremoto (El Salvador) heyelanı.....	10
Şekil 1.6.	Bir dilime etki eden kuvvetler ve dilimdeki kuvvet poligonu (Önalp ve Arel, 2004).....	13
Şekil 1.7.	Bishop yönteminde dilime etkileyen kuvvetler.....	14
Şekil 1.8.	Sorun çıkaran bir kesit (Gökoğlu, 2015).....	15
Şekil 1.9.	Janbu abaklar.....	16
Şekil 1.10.	Spencer stabilite abakları (Spencer, 1967, alıntı McCarty, 1998).....	17
Şekil 1.11.	Spencer yöntemi çözüm analiz grafikleri.....	18
Şekil 1.12.	Güvenlik katsayısı grafiği.....	19
Şekil 3.1.	Elek analizi deneyi.....	26
Şekil 3.2.	Kesme kutusu deney düzeneği.....	29
Şekil 3.3.	Kesme kutusu deney grafikleri.....	30
Şekil 3.4.	Tek eksenli basınç deneyi sonuçlarına göre Mohr dairesi ve mukavemet zarfı.....	31
Şekil 3.5.	Üç eksenli basınç deney düzeneği.....	32
Şekil 3.6.	UU-deney sonuç grafiği.....	32
Şekil 3.7.	CU-deney sonuç grafiği-1.....	33
Şekil 3.8.	CU-deney sonuç grafiği-2.....	33
Şekil 3.9.	CD-deney sonuç grafikleri.....	34
Şekil 4.1.	Yükün azaltılması ile zeminin ıslah edilmesi (Coduto, 2006).....	36
Şekil 4.2.	Kazı ile oluşturulan destek dolgusu (Coduto, 2006).....	37
Şekil 4.3.	Kazı işlemi olmadan oluşturulan destek dolgusu (Coduto, 2006).....	37
Şekil 4.4.	Yüzeysel suyu uzaklaştıran beton seki drenajı (Coduto, 2006).....	38
Şekil 4.5.	Yeraltı drenajı boru dreni (Coduto, 2006).....	38
Şekil 4.6.	Kuyu ve yatay dren ile yeraltı suyunun bertaraf Edilmesi (Coduto, 2006).....	39
Şekil 4.7.	İstinat duvarı tip kesit.....	39
Şekil 4.8.	Betonarme konsol İstinat duvarı.....	39
Şekil 4.9.	Yapısal devamlılığı sağlayan elemanlar (üst), Geniş çaplı beton kuyu (sol alt), Ankraj uygulaması (sağ alt) (JLS, 2008).....	40
Şekil 4.10.	Örnek ankraj tatbiki.....	41
Şekil 4.11.	Bitkilendirme yöntemi ve yapısal elemanlar ile stabilitesi desteklenmiş duvar örneği.....	41
Şekil 5.1.	Çalışma bölgesi harita görüntüsü.....	43
Şekil 5.2.	Parselin kuzey cephesinde bulunan yolda oluşan kaymalar.....	44
Şekil 5.3.	Parselin batı cephesindeki yolda oluşan göçmeler.....	44
Şekil 5.4.	Parselin kuzeydoğu cephesindeki yolda oluşan göçmeler.....	45
Şekil 5.5.	Parselin kuzey kısmındaki hasar gören binaların görüntüsü.....	45
Şekil 5.6.	Çevre yapılarında oluşan göçme, çatlak ve deformasyonlar.....	46

Şekil 5.7.	Çalışma bölgesinde belirlenen profil kesitleri.....	46
Şekil 5.8.	Seçilen çalışma alanındaki sondaj noktaları.....	47
Şekil 5.9.	Çalışma alanında A-A' hattı jeolojik enkesiti.....	50
Şekil 5.10.	Çalışma alanında B-B' hattı jeolojik enkesiti.....	50
Şekil 5.11.	Çalışma alanında C-C' hattı jeolojik enkesiti.....	51
Şekil 5.12.	Çalışma alanında D-D' hattı jeolojik enkesiti.....	51
Şekil 5.13.	Önlem için yapılan istinat duvarı çalışması.....	53
Şekil 5.14.	Önlem için yapılan istinat duvarı çalışması.....	54
Şekil 5.15.	A-A' heyelan analizi kesiti (depremlı).....	54
Şekil 5.16.	B-B' kesiti hafriyat yapılmış ve 50 kN yük uygulanmış durum.....	55
Şekil 5.17.	C-C' heyelan analizi kesiti (depremlı).....	56
Şekil 5.18.	D-D' heyelan analizi kesiti (depremlı).....	57
Şekil 5.19.	B-B' kesiti hafriyat yapılmış, 50 kN yük uygulanmış ve fore kazık uygulanmış durum.....	58

## TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1.	Gerilme artış ve azalışına neden olan etmenler.....	6
Tablo 1.2.	Şev hareketi sınıflandırması (Skempton-Hutchinson).....	7
Tablo 1.3.	Şev hareketi sınıflandırması (Varnes, 1978).....	8
Tablo 1.4.	Limit denge analiz yöntemleri.....	13
Tablo 1.5.	Analiz yöntemlerinin moment ve kuvvet dengesi sağlanması bakımından mukayesesi (Abramson, 1996).....	20
Tablo 5.1.	Sondaj kuyularına ait koordinatlar (ITRF96-UTM3°).....	48
Tablo 5.2.	Üç eksenli basınç deneyi sonuçları.....	48
Tablo 5.3.	Serbest basınç dayanım değerleri.....	49
Tablo 5.4.	Sondajlarda rastlanan yeraltı suyu seviyeleri.....	52
Tablo 5.5.	Şev stabilite analizi Gs değerleri.....	57
Tablo 5.6.	Betonarme fore kazıklı iksa sistemi.....	58



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

B	: Şev Açısı, (°)
c'	: Efektif Kohezyon Değeri, (kN/m <sup>2</sup> )
c <sub>g</sub> '	: Kayma Dairesinde Stabilitate İçin Gerekli Efektif Kohezyon Değeri, (kN/m <sup>2</sup> )
DH	: Kayma Yüzeyinin Yamaç Yüzeyinden Derinliği, (m)
G <sub>S</sub>	: Güvenlik Katsayısı
H	: Şev Yüksekliği, (m)
H <sub>k</sub>	: Yenilme Durumundaki Şev Yüksekliği, (m)
r <sub>u</sub>	: Boşluk Suyu Basıncı Oranı
U	: Yenilme / Kırılma Yüzeyine Etkiyen Boşluk Suyu Basıncı, (kPa)
z	: Çekme Çatlağı Derinliği, (m)
Z	: Sağlam Tabakaya Olan Derinlik, (m)
α	: Zemin Numunesi Kırılma Açısı, (°)
â	: Kayma Yüzeyinin Herhangi Bir Noktadaki Eğimi, (°)
Σσ	: Yenilme – Kırılma Yüzeyine Etki Eden Normal Gerilme, (kPa)
ΣF <sub>k</sub>	: Kaydırıcı Kuvvetlerin Toplamı, (kN/m)
ΣF <sub>ö</sub>	: Önleyici Kuvvetlerin Toplamı, (kN/m)
ΣM <sub>k</sub>	: Kaydırıcı Momentlerin Toplamı, (kN/m)
ΣM <sub>ö</sub>	: Önleyici Momentlerin Toplamı, (kNm/m)
Ø	: Kayma Mukavemeti Açısı, (°)
Ø'	: Efektif İçsel Sürtünme Açısı, (°)
Ø <sub>g</sub> '	: Kayma Dairesinde Stabilitate İçin Gerekli Efektif İçsel Sürtünme Açısı, (°)
τ <sub>f</sub>	: Kayma Dayanımı, (kN/m <sup>2</sup> )
Υ	: Zemin Tabii Birim Hacim Ağırlığı, (kN/m <sup>3</sup> )

## Kısaltmalar

AISI	: American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü)
ASTM	: American Society for Testing and Materials (Amerika Deneme ve Malzeme Topluluğu)
AWS	: American Welding Society (Amerika Kaynak Topluluğu)
DIN	: Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)
EN	: European Norm (Avrupa Normu)
IIW	: International Institute of Welding (Uluslararası Kaynak Enstitüsü)
ITAB	: Isı Tesiri Altındaki Bölge
ITRF96-UTM3°	: Kartezyen koordinat sistemi
TS	: Türk Standardı

## ŞEV STABİLİTESİ ANALİZİNDE BİR VAKA ANALİZİ

### ÖZET

Her geçen gün gelişip büyüyen dünyada; nüfusun, yapılaşmanın ve yerleşimin hızla artması ile şehirlerdeki yaşam alanlarının büyümesi ile yeni yerleşim alanlarına olan ihtiyaç artmış ve yeni alanların arayışı, zamanla şehirleşmenin yüksek dağ yamaçlarına doğru ilerlemeye başlamıştır. Büyümenin dışında tabiat olaylarının tesiri, yapılan teknik kazılar, yapılaşmanın yoğunlaşması ile oluşan ekstra yükler ve floranın zarar görmesi gibi insan faktörü ile yerleşim bölgelerinde şevlerin göçme olasılıkları giderek yükselmektedir. Duraysızlık (Stabilite) analizleri gün geçtikçe bu gibi olaylara bağlı olarak artmakta olan şev göçmesi tehlikesinin en aza indirilmesi adına daha fazla önemli hale gelmektedir. Yıllar boyunca ülkemizin pek çok yerinde karşılaşılan şev hareketleri fazla sayıda can ve mal kayıplarına sebep olmaktadır. Şev göçme olayları, zirai alanlardaki hasarların yanı sıra yerleşimin yoğun olduğu bölgelerde yapısal bozukluklara da yol açmaktadır. Toprak hareketleri ile bu denli yaygın bir şekilde karşılaşılması ve göçme olaylarına bağlı olarak büyük kayıpların meydana gelmesi, ülkemizin doğal özellikleri ile birlikte toplumsal ve ekonomik yapısından da kaynaklanmaktadır (Öztürk, 2002). Şehirleşmenin olduğu bölgelerde zemin parametrelerinin detaylı incelemeleri yapılmadan ve gereken mühendislik tedbirleri oluşturulmadan, desteksiz olarak yapılan kazı uygulamalarında ortaya çıkan şev hareketleri neticesinde çevredeki yapılarda ve altyapılarda genellikle tamiri mümkün olmayan hasarlar meydana gelmektedir. Bu hasarların oluşmasını engellemek için kazı uygulamasından önce gerekli çevresel faktörler ve alt yapılar dikkate alınarak; açılacak şevin duraylılığının tetkik edilmesi çok önemlidir. Yaptığım bu tez çalışmasında öncelikli olarak şev stabilitesi ile ilgili literatür bilgisi verilmiş, daha sonra analiz yöntemleri hakkında detaylara yer verilmiştir. Son olarak da seçilen bölgede gerçekleştirilen bir konut alanı temel kazı çalışması esnasında desteksiz olarak açılan temel kazısında karşılaşılan şev hareketinin nedenini belirleyebilmek için bilgisayar programı kullanılarak inceleme yapılmış, elde edilen güvenlik katsayıları karşılaştırılmış ve buna göre yapılması belirlenen iyileştirme projesi hakkında detaylı bilgi verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Sonlu Elemanlarla Çözüm Yöntemi, Şev Hareketleri, Şev Stabilitesi

## A CASE ANALYSIS IN SLOPE STABILITY ANALYSIS

### ABSTRACT

Grow with each passing day, growing in the world; structuring and placement of the population, are growing rapidly in cities have led to the growth of Habitat and the need for increased and new residential areas in search of new fields, towards the mountain slopes of the urbanization progress over time. In addition, the impact of natural events, excavations, construction engineering made arising from external loads and heavy vegetation were destroyed as human destruction of their lands is increasing over time the risk of slope in residential areas. Stability analyses each day depending on events like this increasing slope lands in the name of day by day analysis of risk minimization is gaining more importance. Seen in many parts of the country almost every year slope movements gives rise to a large number of loss of life and property. Slope movements, in addition to the urbanisation of agricultural damage is caused to the structural damage. Landslides have been so widely as a result of events and the emergence of big losses, the socio-economic structure of our country's natural features also stems from the fact that (Öztürk, 2002). As urbanization in the areas without detailed examination of the parameters of the ground and must be built from the engineering measures, excavation for applications support the resulting slope as a result of the surrounding structures and transactions they are usually the irreparable damage to the infrastructure. This damage is avoided before digging for the necessary environmental studies and considering the lower structures; It is very important to the stability of Dina to be opened. This thesis work is addressed primarily to the concept of slope stability then verify, provides information about the methods. Finally, a residential area in the region selected during the main excavation the excavation slopes that are encountered in the drop-down for support base to determine the cause of the movement of the program made the review, obtained by using the conducting the safety coefficients compared and accordingly has been given detailed information about the specified improvement project.

**Key Word:** Finite Element Solution Method, Case Analysis, Slope Movements

## GİRİŞ

Şev stabilitesi ile ilgili yapılan çalışmaların genel amacı zemin yapılarında, kazılarda ve dolgularda güvenli ve en ekonomik çözüm yöntemleri elde etmektir. Şev stabilite analizleri öncelikli olarak şevin yapısı, büyüklüğü, göçme nedenlerinin detaylı olarak incelenmesi ve çözüm yöntemlerinin belirlenmesi gibi detaylı araştırmayı kapsamaktadır. Şevlerin duraylılığına ilişkin ilk önemli katkının 19. Yüzyılda Fransa'da kanal inşaatlarında önemli güçlükler yaşayan mühendis Collin tarafından yapıldığı bilinmektedir. Collin gözlemlerine dayalı olarak kohezyonlu zeminlerde dönel göçme yüzeyleri için analiz yöntemi geliştirmiş, zemin su kapsamının kayma dayanımındaki önemine değinmiştir. 20. Yüzyılın ikinci yarısında Panama Kanalındaki büyük heyelanlar, İsveç'te demiryolu dolgu ve yarmalarındaki sorunlar, Almanya'da Kiel kanalında karşılaşılan güçlükler, bu üç ülkede şev duraylılığına ilişkin gelişmelere odaklanılmasına neden olmuştur (Yıldırım, 2009). Şev stabilite çalışmaları Mühendislik Jeoleojisi, Geoteknik Mühendisliği, Kaya ve Zemin Mekaniği gibi birçok bölümler arası ilişkiyi gerekli kılmaktadır. Çözüm yöntemleri noktasında daha önce şev kaymalarında yapılmış olan çalışmalar kayma anındaki göçme koşulları, kayma anından sonraki iyileştirme tedbirleri önem arz etmektedir. Geçmişte ve günümüzde karşılaşılan şev göçmelerinin büyük bir bölümü boşluk suyu basıncı ve yeraltı su seviyesinin artması ve azalması, göçme ve kayma mukavemetindeki azalmalara bağlı olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan tez çalışmasında seçilmiş olan bölgede gerekli mühendislik önlemleri alınmadan yapılan kazı çalışmasından ötürü meydana gelen şev göçmesinin nedenlerini belirleyebilmek ve iyileştirme yöntemleri geliştirmek amacı ile birinci, ikinci ve üçüncü bölümde Şev stabilitesi kavramları detaylı olarak açıklanmış, şev stabilitesi üzerinde etkili olan parametrelere, gerilme artışına neden olan etmenlere, şev göçmelerinin sınıflandırılmasına değinilmiş, analiz yöntemleri, iyileştirme yöntemleri hakkında detaylı literatür araştırması yapılmıştır. Dördüncü bölümde incelenen vakanın bölge bilgileri verilmiş gerçekleşen şev göçmelerinin sebebini belirlemek için şevin büyüklüğü, doğası ve olası göçme nedenleri araştırılmıştır.

Bu araştırmalarda arazi ve laboratuvar deneyleri ile zemin özellikleri belirlenmiş olan vaka analizinde elde edilen veriler ve sonuçlar kullanılarak sonlu elemanlar analiz yöntemi kullanılarak güvenlik katsayısı bulunup şevin olası göçme durumu değerlendirilmiştir. Ve son olarak beşinci bölümde göçme durumlarında alınması gereken önlemlere bağlı olarak uygulama projeleri belirlenmiş ve önerilerde bulunulmuştur.



## 1. ŞEV STABİLİTESİ (DURAYLILIĞI)

Şev; bir zemin parçasının yatay düzleme göre açılı yapan herhangi bir sathına denilmektedir. Eğer şev insan etkisi olmaksızın doğal olarak oluşmuşsa “Doğal Şev” insanların etkisi ile kazma ya da doldurma yapılarak oluşmuşsa “Yapay Şev” adını almaktadır. Şev hareketine ortamdaki mevcut dayanımın kaymaya karşı koyan kuvvetlerin, ortaya çıkan kaymaya zorlayan kuvvetleri önleyememesi sebep olmaktadır. Şevin kaymaya karşı koyma kuvvetindeki azalma ya da ortamdaki meydana gelen gerilme artışlarına bağlı olarak şevde stabilite problemi oluşmaktadır.

Şev duraysızlığını meydana getiren bazı faktörler;

- İklim değişiklikleri
- Depremler ve volkanik değişimler
- Zeminde bozulması ve yıpranması
- Yeraltı suyu düzeyinde oluşan değişiklikler
- Bitki örtüsünün bozulması
- Zemindeki boşlukların su ile dolması
- Zemine etki eden trafik, kazık çakma gibi yapay titreşimler
- Zeminde şişme ve büzölmeye bağlı meydana gelen yıpranmalar

Öncesinde belirtmiş olduğumuz gibi şev hareketleri tabiat olaylarının etkisi sonucu oluşabildiği gibi, yapılan teknik kazılar, yapılaşmanın yoğunlaşması ile oluşan yükler ve floranın zarar görmesi gibi insanların etkileriyle de meydana gelebilmektedir. Doğal ve Yapay oluşturulan şevlerde malzeme, doğal koşullar, jeolojik geçmiş, zemin üzerine etkiyen gerilmeler, sızıntı suyun etkisi birbirinden çok farklı olabileceğinden doğal ve yapay şevlerin stabilitesi birbirinden farklı olmaktadır.

Günümüz koşullarında tüm şevlere aynı şartlarda tatbik edilebilecek ortak bir analiz metodu bulunmamaktadır. Bu nedenle limit analiz yöntemleri geçmişte uygulama sonuçlarına güven nedeni ile sürdürölmektedir. Bu analizlerde hareketi meydana getiren kuvvetler tetkik edilerek, buna karşın göçmeye direnen kuvvetler ile karşılaştırılmaktadır.

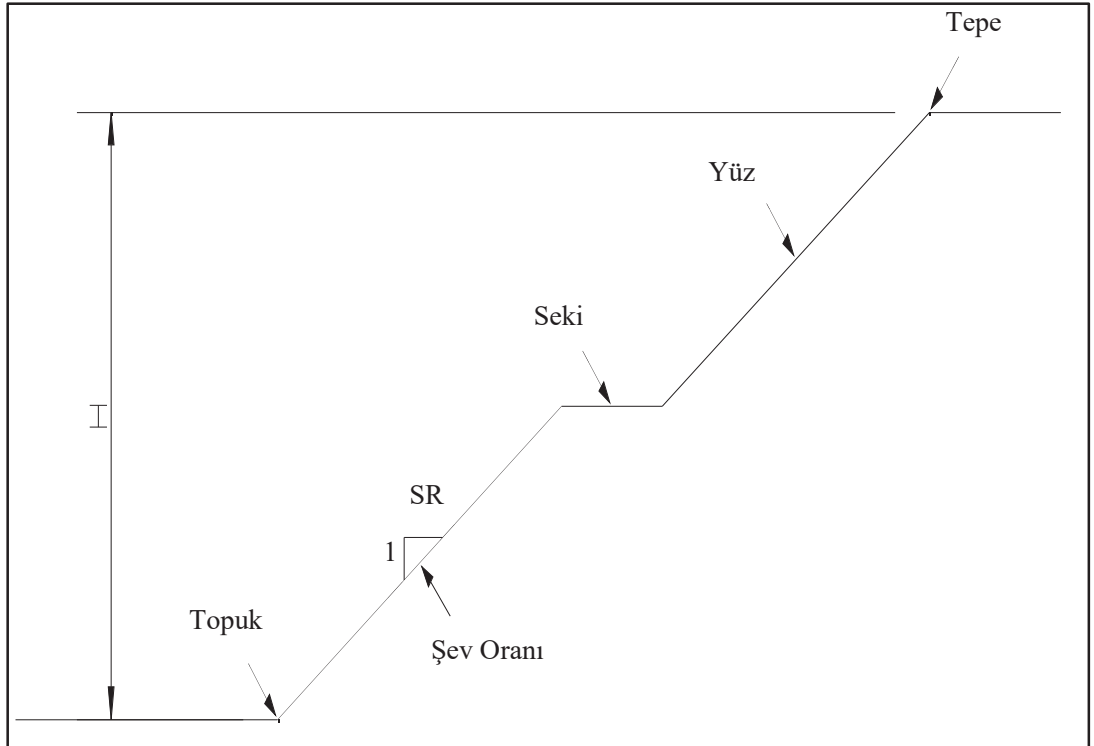
Bütün analiz yöntemleri zemindeki kayma dayanımının anlaşılır bir formda tanımlanmasını gerektirmektedir.

### 1.1. Şev Stabilitesi Terminolojisi

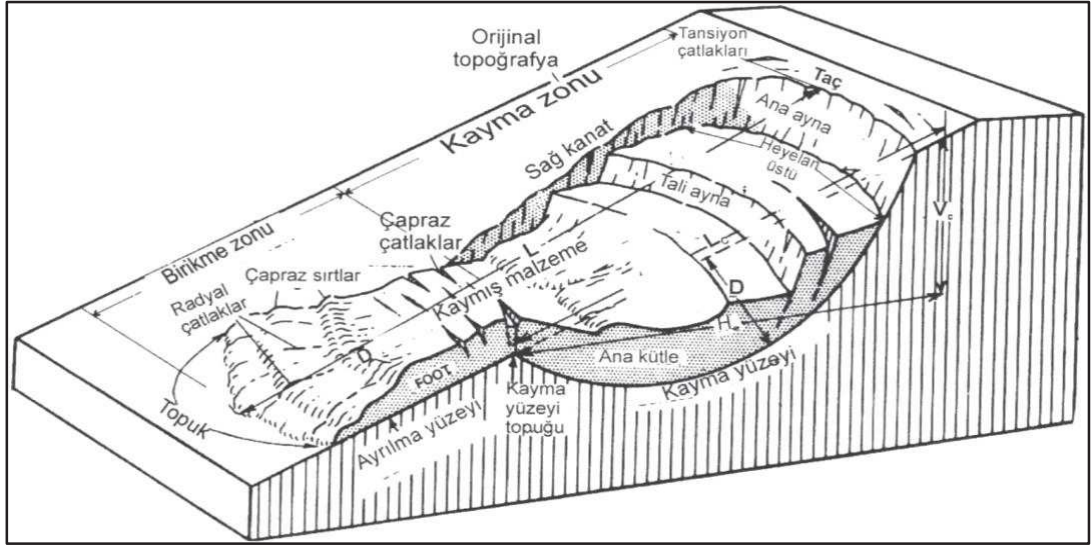
“Yamaç” terimi tabii yollar ile oluşmuş şevler için kullanılmakta ve yamaç hareketleri “heyelan” adı ile ifade edilmekte, şev hareketleri için ise “kayma”, “göçme” veya “gelme” terimlerinin kullanılmaktadır.

Coduto (2006)’nun şev tanımında aşağıdaki bazı özel terimler kullanılmıştır (Şekil 1.1);

- Şevin dikliği şev oranı ile belirtilir ve şev oranı daima yatay,düşey olarak yazılır. Örneğin, 2,1 lik bir şevde iki yatayı, bir düşeyi anlatır ve 1,2 lik bir şev de ondan daha diktir.
- “Tepe” ve “Topuk” noktaları şevin düz zemin yüzeyi ile kesiştiği noktalardır.
- Şevin tepesi ve topuğu arasında kalan bölüme şev yüzeyi adı verilir.
- şevin tepesi ile topuğu arasındaki kot farkına şev yüksekliği denir.
- Yüzey drenajını sağlamak amacı ile yarma ve dolgu şevlerinde oluşturulan şev yüzeyinin orta kısmındaki düzlük alan Palye (seki)’dir.



Şekil 1.1. Şevlerin tanımlanmasında kullanılan terimler (Akçakal, 2009).



Şekil 1.2. Şev hareket tipi örneği



Şekil 1.3. Bir şevin geometrik özellikleri



## 1.2. Şev Stabilitesine Etkiyen Parametreler

Yer çekim kuvveti kütle hareketlerin tamamına neden olmaktadır. Düşme tipi hareketler hariç bütün kütle hareketleri zeminlerin kesme kuvveti etkisi altındaki dengelerinin bozulmasıyla ortaya çıkar. Gerilme artışının zemin ortamının direnç gücünden fazla olması yamaçta denge kaybı ile beraber göçme oluşturmaktadır. Yüzey ya da yeraltı suyundaki değişmelerin, yamaç hareketlerine sebep olan parametreler incelendiğinde başlıca etkenler olduğu ortaya çıkmaktadır.

## 1.3. Gerilme Artışına ve Direnç Azalmasına Neden Olan Etmenler

Tablo 1.1. Gerilme artış ve azalışına neden olan etmenler

I. Gerilme Artışı	II. Kayma Mukavemetinde Azalma
Şev üstündeki yüklerin artışı	Aşınma ve yıpranma
Toprağa yakın bölgeden malzeme kaybı	Süreksizlik yüzeylerinde su basıncı
Deprem, diğer titreşim ivmeleri	Kuru ortamda ani ıslanma, yapının bozulması
Boşluk veya çatlak suyu basınçlarının artışı	Zaman ve hareket sonucu direnç kaybı
Çekme çatlaklarına su dolması	Killi tabakanın şişmesi
Giderek kırılma olayı	Çatlak ve boşluklarda oluşan buz mercleklerinin erimesi
Yamaç dışındaki su düzeyinde düşme	Bağlayıcı malzemenin yıkanması

## 1.4. Şev Göçmelerinin Sınıflandırılması

Şev hareketlerine neden olan etkilerin ve ortaya çıkan durumun farklı olması nedeni ile bu hareketlerin sınıflandırılmasında birden fazla seçenek vardır. Geoteknik mühendisliğinde bir şev hareketini tanıma, önleme veya düzeltme amacına göre farklı sınıflandırma yöntemleri kullanılmaktadır. Hareket halindeki malzemenin cinsi, hareketinin biçimi, hızı, harekete katılan kütle boyutu, hareketin yaşı veya gelişme aşaması gibi ve diğer etkilere dayalı birçok sınıflandırma seçeneği mevcuttur. Örneğin Skempton ve Hutchinson (1969) kayma yüzeyinin derinliği (D) ile boyu (L) arasındaki orana göre bir basit sınıflandırma önermişlerdir.

Tablo 1.2. Şev hareketi sınıflandırması (Skempton-Hutchinson)

<b>D/L (%)</b>	<b>TANIM</b>
5-10	Kayma (Ötelenme)
0.5-3	Akma
15-30	Dönel Göçme

Hareketin etkinlik durumuna göre etkin, duraklamış, uyanmış, etkin olmayan, ilk etkenlerle yeniden harekete geçebilecek olan, bitmiş ve kalıntı gibi sınıflandırılmaktadır.

Etkinliğin gelişme biçimine göre ise; ileriye doğru gelişen, geriye doğru gelişen, büyüyen, tükenen, sınırlı yayılan ve genişleyen şev hareketleri adı verilmektedir. Zeminde, kayada ve karma malzeme zeminde beliren kitle hareketleri beş ana gruba ayrılmıştır. TS (1951)'de ilk olarak kabul gören ve günümüzde hala geçerliliğini devam ettiren Varnes (1978)'in önerdiği sınıflandırma aşağıda gösterilmektedir.

Tablo 1.3. Şev hareketi sınıflandırması (Varnes, 1978)

NO	HAREKET TÜRÜ		ŞEV MALZEMESİ			
			Kayaç	Zemin		
				Kaba Daneli	İnce Daneli	
1	Düşme		Kaya Düşmesi	Moloz Düşmesi	Toprak Düşmesi	
2	Devrilme		Kaya Devrilmesi	Moloz Devrilmesi	Toprak Devrilmesi	
3	Kayma	Dönel	Kaya Yığılması	Moloz Yığılması	Toprak Yığılması	
		Ötelenme	Birkaç Birim	Kaya Bloğu Kayması	Moloz Bloğu Kayması	Toprak Bloğu Kayması
			Çok Birim	Kaya Kayması	Moloz Kayması	Toprak Kayması
4	Yanal Yayılma		Kaya Yayılması	Moloz Yayılması	Toprak Yayılması	
5	Akma		Kaya Akması	Moloz Akması	Toprak Akması	
6	Karmaşık		İki veya daha fazla hareket türü birleşimi			

#### 1.4.1. Düşmeler

Düşmeler, bir yamaç boyunca yokuş aşağı doğru hızlı bir şekilde düşen, düşme mesafesinde hızla dökülen ve havada savrulan zemin veya kaya parçalarından oluşan yamaç göçmeleridir. Bu tür şev hareketleri, kaya zemin parçalarında süreksizlikler, toprak zeminlerde ise çatlayarak ayrılan tekil blokların dik eğimli yamaçlardan, herhangi bir makaslama yenilmesi olmadan, yer çekiminin etkisiyle düşmesiyle gerçekleşir (Akçakal, 2009). Düşme sırasında beliren ivme yer çekimi ivmesine eşit olmaktadır.

### 1.4.2. Devrilmeler

Kaya veya sert bir kilden oluşan zemin kütlelerinin, düşeye yakın bir birleşim bölgesinden veya çatlaktan dönerek uzaklaşması “Devrilme” olarak tanımlanabilir. Devrilmeler sadece dik yamaçlarda karşılaşılan bir yenilme biçimidir (Akçakal, 2009). Devrilmeler şev ile ters yönde eğimli ve devamlılığı yüksek süreksizliklerin neden olduğu elemanların belirli bir dönme noktası üzerinde kazı boşluğuna doğru hareketlenmesi ile oluşur. Bükülme devrilmesi, blok devrilmesi ve her ikisinin birlikte oluşturduğu bükülme blok devrilmesi olmak üzere 3 çeşit devrilme vardır.

### 1.4.3. Kaymalar

Bir kütlelerin yamaç aşağı hareket etmesi “Kayma” olarak tanımlanır. Dönel (daireysel) ve ötelenmeli olmak üzere iki grup kayma şekli bulunmaktadır. Dairesel kayma yamaçlarda doğal olarak ve yapay olarak oluşturulmuş şevlerde en çok karşılaşılan kayma tipidir.



Şekil 1.4. 1995-La Conchita (Kaliforniya, ABD) heyelanı

Eski bir heyelanın aktif hale gelmesi sonucu meydana gelmiştir. Hareket çok yavaş olduğundan can kaybı olmamıştır.



Şekil 1.5. 2001-Terremoto (El Salvador) heyelanı

LasColinas, SantaTecla'da (El Salvador, 13 Ocak 2001) depremle etkisi ile tetiklenen heyelanda 585 kişi öldü. Merkezi, El Salvador'un batı kıyılarında, Cocos ve Karayip tabakaları arasındaki yitim zonunda, Mw 7.7 ve 40 km'lik bir odak derinlikli bir konumdadır (Benito ve Diğ., 2004).

#### **1.4.4. Yayılmalar**

Ayrık taneli (Kohezyonlu) zemin veya kaya kütlelerinde oluşan yayılma hareketi, zeminin üst kısmındaki sağlam tabakanın alt kısmındaki gevşek tabakada batması sonucunda oluşan bir hareketlenmedir. Yanal kaya yayılması ve yanal zemin yayılması iki farklı yayılma türüdür (Gökoğlu, 2015).

#### **1.4.5. Akmalar**

Kesme yüzeylerinin az olduğu, kalıcı ve belirgin olmayan, üç boyutlu ve sürekli bir hareket tipidir (Coduto, 2006). Hareket halindeki kitle içerisinde hız dağılımı akışkan olmayan bir sıvıdaki gibidir. Akmalar kaymalardan farklı olarak kayma birim deformasyonlarını yalnızca kayma düzlemi boyunca değil, her yönde gösterirler (Akçakal, 2009).

Yamaç eğimi ve su muhtevası akma hareketlerini tetikleyen en önemli etkenlerdir (Ulusay, 2008). Akma hareketi hızına bağlı olarak, akan malzemelerin cinsine göre Kaya Akması, Blok Akması, Moloz Akması, Kum Akması, Çamur Akması gibi isimler almaktadır.

## **1.5. Şev Duraylılığı Analizi**

### **1.5.1. Şev göçmesi analizlerinin tarihçesi**

Göçme analizlerine Fransız mühendis Alexander Collin tarafından nicel yöntemler kullanılarak, 1800'lü yılların ortalarında başlanmıştır (Coduto, 2006). O yıllarda bu çalışmalar yeterince önemsenmemiş, zamanla unutulmuş ancak sonrasında İsveç'te bir grup bilim adamı sayesinde çalışmalara tekrar başlanılmıştır. Culmann 1866 yılında, limit denge yöntemini kullanarak bir stabilite analizi geliştirmiştir (Hammouri ve Diğ., 2007). Günümüzde kullanılmakta olan analiz yöntemleri bu temel esasında çalışmaktadır. İskandinavya ülkelerinde 19. yüzyıl sonları ve 20. yüzyıl başlarında, dolgu ve yarmaların stabilitesi diğer Avrupa ülkelerinde olduğu gibi demiryolu ve liman yapımı hızla ilerlediğinden sorun teşkil etmeye başlamıştır. Büyük bir kısmı, drenajsız kayma dayanımına sahip olan killi zeminler üzerinde bulunan İskandinavya ülkeleri, demiryolları ve limanların yapımında baş vurulan yarma ve dolgularda şev göçmesiyle en sık karşılaşan ülkeler arasındadır. 1913'te ki göçmenin meydana gelmesinin ardından İsveç Devlet Demiryolları tarafından problemi tetkik etmek amacıyla bir "Geoteknik Komite" oluşturulmuştur. Zeminde kayma analizi ile ilgili olarak Fellenius ve Petterson tarafından yeni yöntemler geliştirilmiştir (Bjerrum, 1960, Petterson, 1955). Bu raporda İsveç Kayma Dairesi Yöntemi ilk defa sunulmuş olup; sonrasındaki diğer analiz yöntemlerinin temelini de bu yöntem oluşturmuştur (Coduto, 2006).

### **1.5.2. Şev stabilite analizi yöntemleri**

Şev stabilite analizleri Geoteknik mühendisliğinin başlıca konularındandır. Geoteknik mühendisleri şev duraysızlığı sorunlarını incelerken; tetkiklerinde arazi, laboratuvar ve matematiksel yöntemleri birlikte kullanmaktadır. Halihazırdaki vaziyet ve ilerleyen zamanda gelişecek durumlar bu analizlerde göz önüne alınmaktadır.

### 1.5.2.1. Limit denge analizleri

Limit denge analizi, meydana gelebilecek sayısız göçme yüzeylerinin güvenlik faktörlerinin tamamının hesaplanarak en küçük güvenlik faktörlü göçme yüzeyinin bulunması esasına dayanır (Isakov A. & Moryachkov Y., 2014). Limit denge analizi yöntemi, sonlu elemanlar yöntemi ile beraber en yaygın kullanılan şev stabilite analizi yöntemidir. Geoteknikte şev stabilite analizi için kullanılan en eski ve en iyi bilinen sayısal analiz yöntemi; limit denge analizi yöntemi olarak ifade edilebilir.

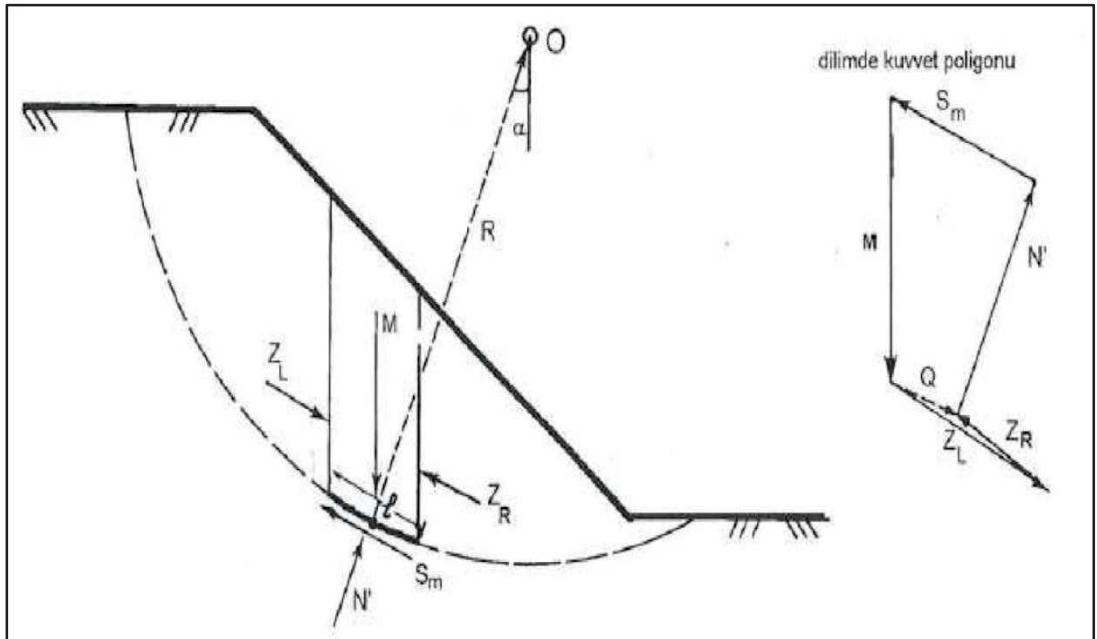
Limit denge analizleri yöntemlerinde kayma yüzeyinin tek düzlem olduğu kabulü ile kayan zemin kütlesi dilimlere ayrılarak ya da bir bütün olarak, yüzey boyunca oluşan kayma gerilmeleri ile kaymaya direnen kuvvetler karşılaştırılır. Mohr-Coulomb gerilme kriterlerine bağlı olarak şevin üç ana statik denge eşitliği analiz yöntemlerinde temel esas kabul edilir. 1990'lı yılların başında kayma dairesini dilimlere ayırma fikri ilk olarak ortaya çıkmıştır. Petterson, 1916 yılında İsveç'te karşısına çıkan sorunu çözebilmek adına bir dairesel kayma yüzeyi tanımlamıştır ve kayan kütleyi dilimlere ayırarak limit denge analizi yönteminin temelini atmıştır. Sonrasında Fellinious günümüzde de yaygın olarak kullanılan elle çözüm yöntemi olan İsveç Dilim Yöntemini belirlemiştir. 1950'lerde Janbu ve Bishop dilimler arasında meydana gelen kayma ve gerilme kuvvetlerini hesaplayarak limit denge analiz metotlarını üst safhaya taşımıştır. Limit denge analizi yöntemlerinin daha yaygın hale gelmesi 1960'lı yıllarda bilgisayar programlarındaki gelişme ile olmuştur. Bu yıllarda Spencer ve Morgenstern yöntemleri de geliştirilmiştir. 1980'lerde bilgisayar teknolojisinin daha da yaygın olması ile birlikte limit denge analizi yöntemine dayalı bilgisayar programları geliştirilmiş ve analizlerde de bu programlar kullanılmaya başlanmıştır. Dilimler arası kuvvetlerin de hesaba katılabilmesi yöntemlerin tümünün en önemli ortak özelliğidir. Aşağıdaki tablosa en sık kullanılan limit denge analiz yöntemleri ve ayrıntıları yer almaktadır.

Tablo 1.4. Limit denge analiz yöntemleri

METOD	KAYMA TİPİ	DENGE ŞARTI	ÇÖZÜM ARACI
Fellenius (1936)	Dairesel	Moment	Geleneksel
Bishop (1955)	Dairesel	Moment	Geleneksel
Modifiye Bishop (1955)	Dairesel	Moment	Geleneksel
Morgestern ve Price (1965)	Herhangi	Tümü	Bilgisayar
Spencer (1967)	Herhangi	Tümü	Bilgisayar
Bell (1968)	Herhangi	Tümü	Bilgisayar
Janbu (1973)	Non Lineer	Düşey	Geleneksel
Sarma (1976)	Herhangi	Tümü	Bilgisayar

### 1.5.2.2. İsveç dilim (Fellenius, 1936) yöntemi

İsveç dilim yönteminde dairesel kayma yüzeyi dilimlere ayrılıp, dilimlerin her birine etki eden kuvvetler göz önüne alınır (Şekil 1.6). Merkez bir nokta belirlenir ve belirlenen noktaya göre moment eşitliğinden yararlanılarak güvenlik katsayısı belirlenir. Silindirik bir bloğun dönmesi varsayımı ile Kaymanın merkezi belirlenen nokta olduğu kabul edilir (Çetin, 2010).



Şekil 1.6. Bir dilime etki eden kuvvetler ve dilimdeki kuvvet poligonu (Önalp ve Arel, 2004).



Güvenlik Faktörü ( $G_s$ ) aşağıda gösterilen formül ile bulunmaktadır.

$$G_s = \frac{\sum [c' + M \cos \alpha - ul] \tan \phi'}{\sum M \sin \alpha} \quad (1.1)$$

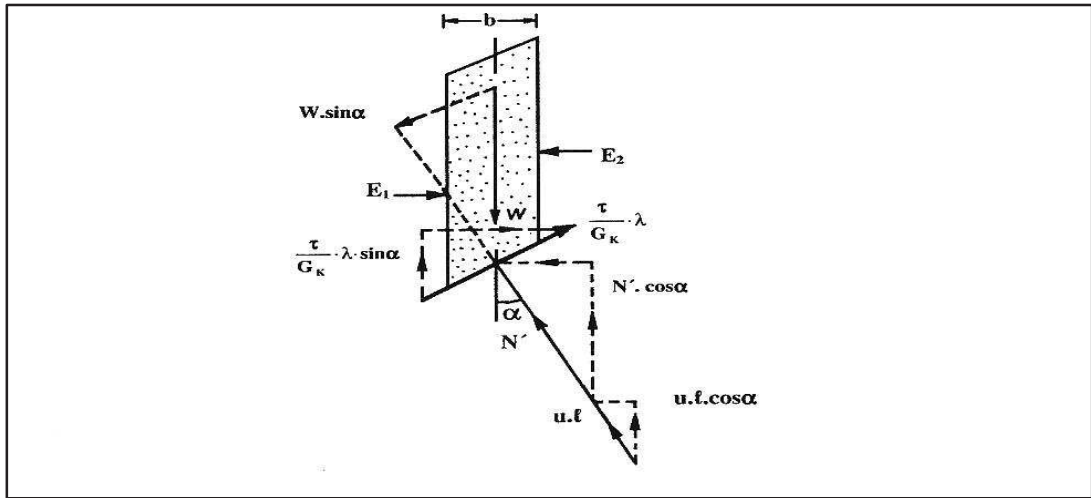
$$G_s = \frac{\text{(Karşı Koyan Kuvvetler)}}{\text{(Döndüren Kuvvetler)}} \quad (1.2)$$

İsveç dilim yönteminde hata oranı ortamın boşluk suyu basıncının yüksekliğine ve eğimli yamaç bölgesine bağlı olarak artış göstermektedir. Fakat diğer analiz yöntemlerine göre değişken tabakalı şevlerde aynı açılar ile uygulanabilmesi en büyük avantajıdır. İlk geliştirilen yöntem olması ve hatanın oranının güvenli bölgede kalması sebebi ile günümüzde de uygulama alanı bulmaktadır.

### 1.5.2.3. Basitleştirilmiş bishop yöntemi (Bishop, 1955)

Bishop tarafından dairesel kayma yüzeyinde kuvvet denge ve moment şartlarını sağlayan bu yöntem 1954 yılında geliştirilmiştir. Nonveiller ise bishop yönteminin genel biçimli kayma yüzeylerine de uygulanabildiğini göstermiştir. Yapılan analiz sonuçlarının büyük bir kısmının doğru olmakla birlikte çözümünün de uzun olması sebebi ile 'Genel Bishop Yöntemi' yaygın uygulama alanı bulamamış ve bunun yerine 'Basitleştirilmiş Bishop Yöntemi' günümüzde de ilgi görmeye ve süren kullanıma devam etmektedir.

- Başlıca varsayım dilim kütlesi vektörü dilim tabanının tam ortasından etkimektedir.
- Dairesel kayma yüzeyinde kuvvet ve moment denge koşullarını sağlamaktadır.



Şekil 1.7. Bishop yönteminde dilime etkiyen kuvvetler

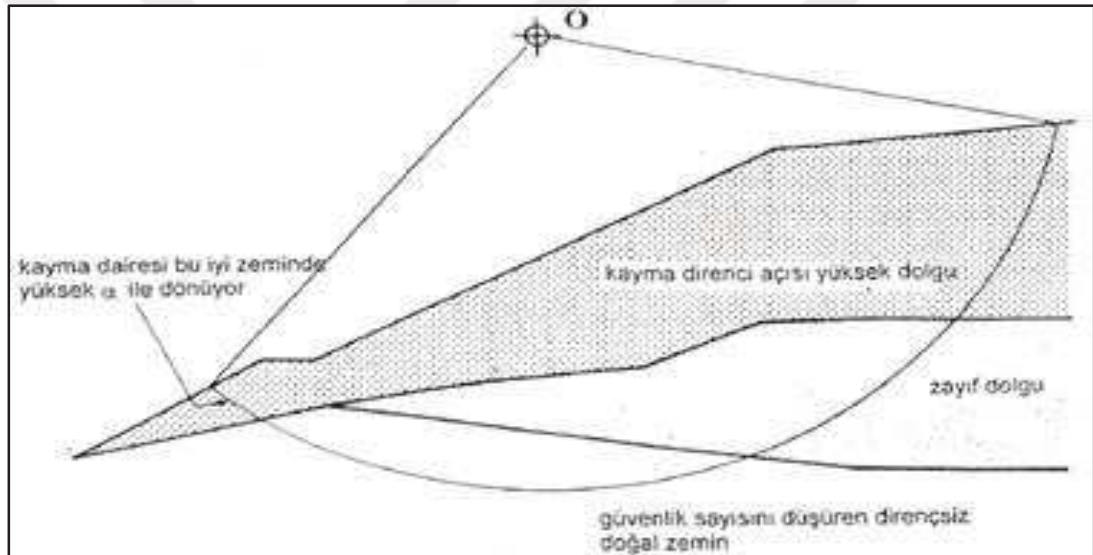
$$G_s = \frac{\sum [c' b + ((M \cdot ub) + \Delta X) \cdot \tan \phi']}{\sum M \sin \alpha} \quad (1.3)$$

Denklem içinde yer alan  $m_a$  değeri ise;

$$m_a = \cos \alpha \left( 1 + \tan \alpha \frac{\tan \phi'}{G_s} \right) \quad (1.4)$$

ile bulunur.

Basitleştirilmiş Bishop Yönteminin meydana getirebileceği en önemli sorun topuktaki yüksek kayma mukavemeti açısı ve negatif değer in zayıf bir zeminin üzerine oturan kayma mukavemeti açısı yüksek olan zeminde ortaya çıkması gereken düşük güvenlik sayısını kamufle etmesidir.



Şekil 1.8. Sorun çıkarıcı bir kesit (Gökoğlu, 2015)

#### 1.5.2.4. Basitleştirilmiş Janbu yöntemi (Janbu, 1973)

İlk olarak Janbu 1956 yılında tüm kayma yüzeylerine uygulanması mümkün olan ve moment ve kuvvet dengesi şartlarını sağlayan bir çözüm yolu geliştirmiştir. 1968 yılında bu hesap yöntemi tekrar incelenerek “Janbu Genel Yöntemi” adı ile değiştirilmiştir. Bu incelemelere istinaden yalınlaştırmalar yapılarak “Basitleştirilmiş Janbu Yöntemi” ortaya çıkmıştır (Önalp ve Arel, 2004).

Bu yöntem dilimler arasındaki kesme kuvvetini ihmal etmektedir. Basitleştirilmiş Janbu yönteminde yatay kuvvet dengesinde dilimlerin birbirine uyguladığı etki kullanılarak güvenlik sayısını aşağıda gösterilen formül ile belirlenmektedir.

$$F_o = \frac{\sum \{ [c' \cdot b + ((M \cdot ub) \cdot \tan \theta') \cdot \sec \alpha \cdot k \alpha] \}}{M \tan \alpha} \quad (1.5)$$

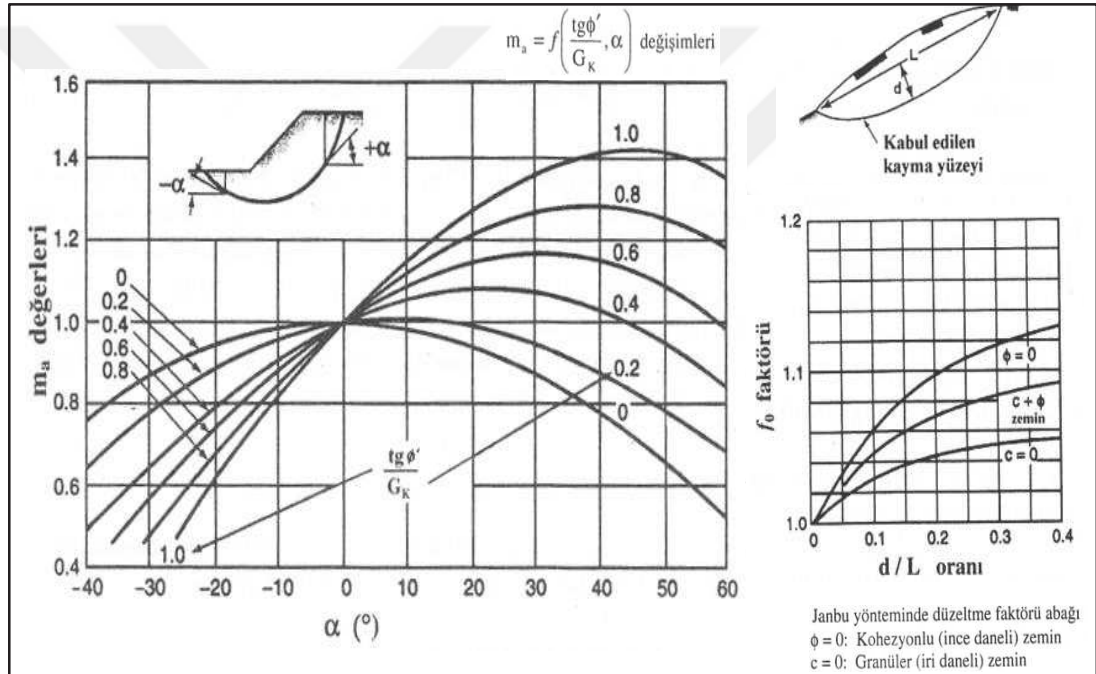
$$G_s = f_o \cdot F_o \cdot f_o \quad (1.6)$$

Kaymanın olduğu bölgenin derinlik ve uzunluğuna bağlıdır ve

$$f_o = 1 + b \cdot \left[ \frac{d}{L} - 1.4 \left( \frac{d}{L} \right) \right] \quad (1.7)$$

formülü ile hesaplanmaktadır.

Bu formüller ile bulunabildiği gibi  $f_o$  ve  $m_a$  Janbunun geliştirmiş olduğu Şekil 1.9'da gösterilen abaklar yardımı ile bulunabilmektedir.



Şekil 1.9. Janbu abaklar

### 1.5.2.5. Spencer yöntemi

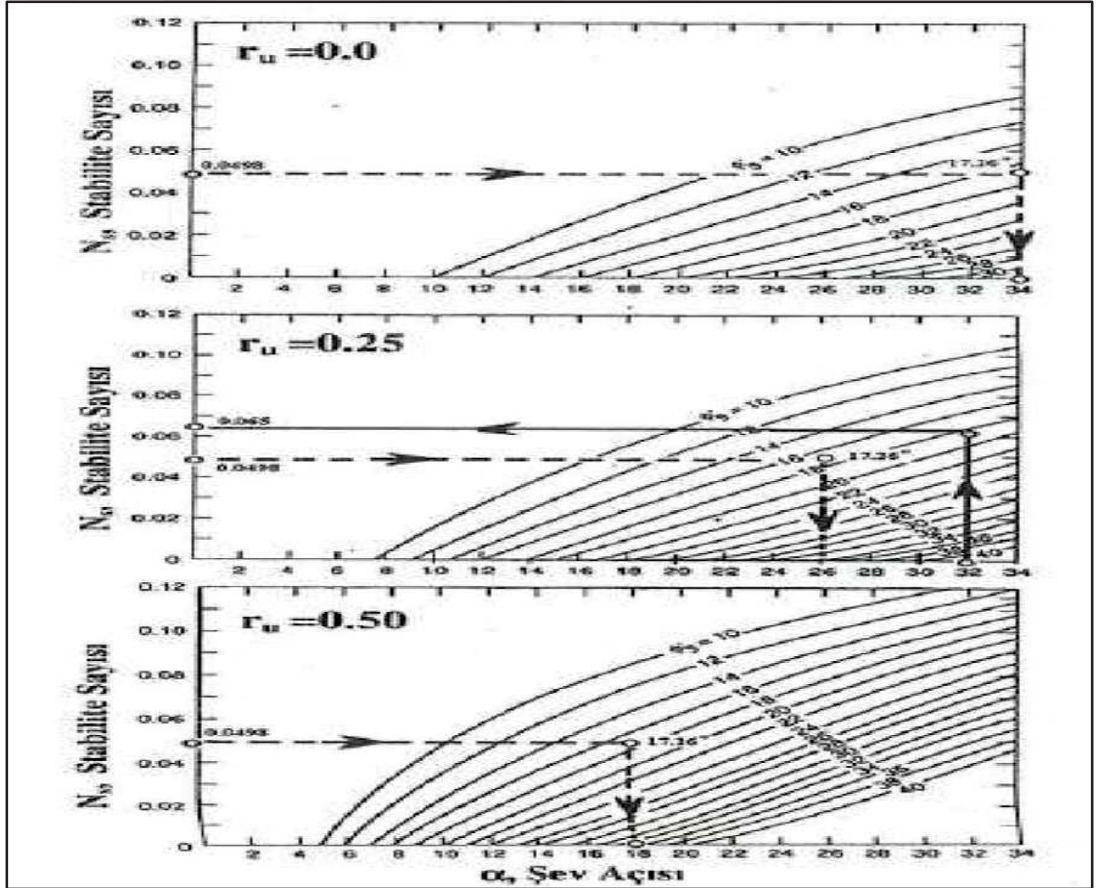
Yatay kuvvetler ve moment dengesine dayalı iki denklemlilik bir yöntem 1967 yılında Spencer tarafından ortaya konulmuştur. Bu yöntemde ilk olarak şev için  $c$ ,  $\gamma$ ,  $H$ ,  $b$ ,  $\phi$ ,  $r_u$  değerleri belirlenir ve  $G_s$  değeri için bir varsayım yapılır.  $N_s = c / (G_s \text{ varsayılan } \cdot \gamma \cdot H)$  değeri hesaplanır, Şekil 1.10'da gösterilen abaklardan faydalanılarak  $\phi_d$  değeri bulunur. Güvenlik sayısı ise  $G_s = \tan \phi / \tan \phi_d$  eşitliği ile belirlenir (McCarty, 1998).

Spencer Yöntemi'nde dilimler arası kuvvetlerin oranı sabit kabul edilmesi ile bu oranı elde ettiği andaki kuvvet ve moment dengelerini sağlayan denklemlerin eşitlendiğini her ikisinden de aynı Güvenlik Sayısının elde edildiğini savunmaktadır. Aşağıdaki formülde dilimler arasındaki kesme kuvveti (X) ile normal kuvvet (E) arasındaki ilişki gösterilmektedir.

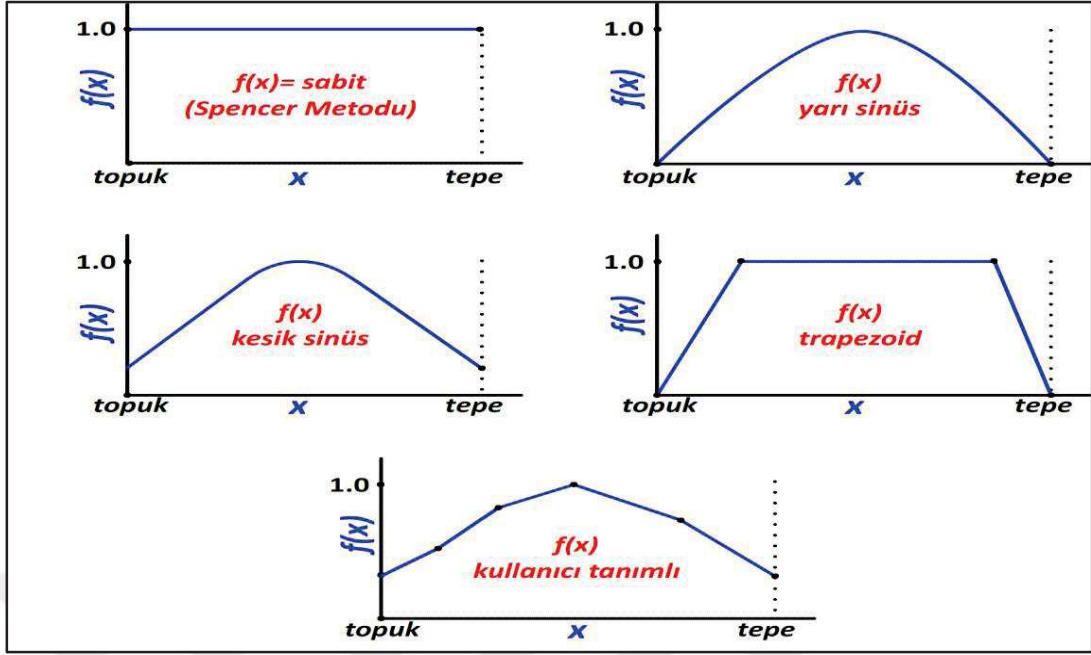
$$X = E \cdot \lambda \cdot f(x) \quad (1.8)$$

$\lambda$ : Kesme Kuvveti (X) ve Normal Kuvvet (E) arasındaki oran.

$\lambda$  değeri Spencer'ın önerdiği yöntemde her dilim için sabit sayıldığından  $f(x) = 1$  olarak kabul edilmektedir (Tekin, 2011).



Şekil 1.10. Spencer stabilite abakları (Spencer, 1967, alıntı McCarty, 1998)



Şekil 1.11. Spencer yöntemi çözüm analiz grafikleri

#### 1.5.2.6. Morgenstern-price yöntemi (M-P)

1965 yılında Spencer yöntemine eşdeğer özelliklerle geliştirilmiş, dilimler arasındaki kesme kuvvetleri ve normal kuvvetler birbirinden ayrı fonksiyonlar olduğu Morgenstern ve Price tarafından tarif edilmiştir. Spencer yönteminde  $f(x)$  değerinin sabit kabul edilmesine karşın Morgenstern-Price yönteminde sabit ve kullanıcı tarafından türetilen fonksiyonlara bağlı olarak değişken tanımlanması mümkün olmaktadır (Tekin, 2011). Fonksiyon sabit seçildiğinden bu yöntemde Spencer analiz yöntemi ile benzer sonuçlar göstermekte ve aynı güvenlik sayılarına ulaşılmaktadır.

$$X = E. \lambda. (x) \quad (1.9)$$

Dilimler arası kayma ve normal kuvvetler arasındaki bağlantı  $X = E. \lambda. (x)$  şeklindeki formül ile tanımlanmıştır. Statik yönden belirsiz çözümler olan şev stabilite analizlerinde herhangi bir sorun için  $(x)$  fonksiyonunu teorik olarak tanımlamak mümkün olmamaktadır.

Morgenstern; birkaç hususi durum dışında, basit uygulamalar için  $(x)$  fonksiyonunun sonuçlarının benzer olacağını belirtmektedir. Fonksiyon seçimi uygulamada sıkıntılı süreç olduğundan birçok uygulamacı  $(x)=1,0$  değerini kabul etmesi ile Spencer yöntemi ile eşdeğer özellik göstermektedir.

Morgenstern-Price Yöntemi:

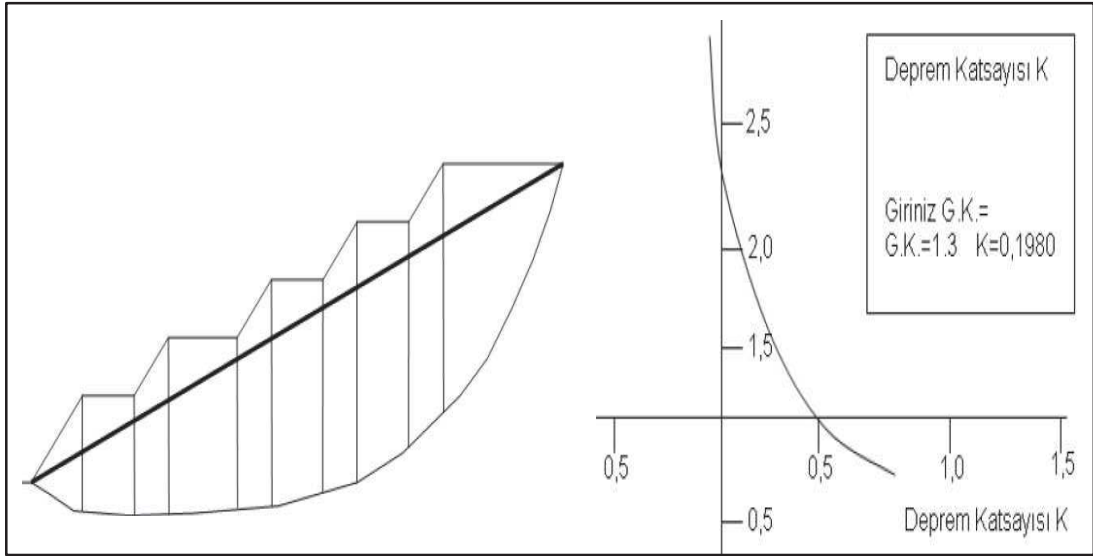
- Bu yöntemde dilimler arası kesme kuvvetleri ve normal kuvvetler dikkate alınmaktadır.
- Bu yöntem de moment ve kuvvet eşitliklerine dair denklemler elde edilir.
- Dilimler arası kuvvetlerin hesabında bilhassa bilgisayar programlarında kullanıcıların tercihine bağlı fonksiyonlar kullanılır.

#### 1.5.2.7. Sarma yöntemi (M-P)

Dairesel, düzlemsel ve çoğunlukla karmaşık kayma düzlemleri için Sarma yöntemi uygulanmaktadır. Sarma yönteminde ana prensip şevin göçmesine sebep olacak yatay ivmenin kritik değerini dilimlere ayırarak güvenlik katsayısına ulaşılır. Bu metotta bir tek kayma yüzeyi için X ve Y koordinatları verilerek hesaplama yapılır.

Şekil 1.12’de;

- Şev geometrisi,
- Kayma yüzeyi,
- Deprem katsayısına bağlı olarak elde edilen güvenlik katsayısı, durumları da gösterilmektedir.



Şekil 1.12. Güvenlik katsayısı grafiği

### 1.5.2.8. Limit denge analizlerinin karşılaştırılması

1970'li yıllarda şev stabilite problemlerinde Limit Denge analizleri yaygın olarak kullanılmış ve günümüzde de kullanılmaya devam edilmektedir. Duncan (1980) analiz yöntemlerini karşılaştırmış ve buna entegre olarak analizlerin genel ve hesaplama doğruluğu olarak iki yönden değerlendirilmesinin daha yararlı olacağını öne sürmüştür. Sarma, Janbu Morgenstern-Price ve Spencer analiz yöntemlerinde belirlenen güvenlik sayıları ile tam sonucun elde edildiği öngörülen sonlu elemanlar çözüm yöntemleri ile belirlenen güvenlik sayıları arasındaki farkın % 6'yı geçmediği görülmüştür.

Bu duruma istinaden Sadeleştirilmiş Janbu veya Sadeleştirilmiş Bishop ile dairesel kayma yüzeyi hesabı yapmak uygundur. Jeolojik koşullar ve dış etkiler gerektiriyorsa Morgenstern-Price veya Genel Yüzeyli Spencer yöntemleri gibi daha ayrıntılı çözümler de önerilmektedir (Morrison ve Greenwood, 1989).

Tablo 1.5. Analiz yöntemlerinin moment ve kuvvet dengesi sağlanması bakımından mukayesesi (Abramson, 1996).

Metot	Kuvvet Dengesi		Moment Dengesi
	X Yönünde	Y Yönünde	
Fellenius Metodu	-	-	+
Bishop Metodu	+	+	+
Janbu Metodu	+	+	-
Lowe ve Karafiath	+	+	-
Spencer Metodu	+	+	+
Sarma Metodu	+	+	+
Morgenstern-Price Metodu	+	+	+

### 1.5.3. Sonlu elemanlar yöntemi ile şevlerin analizi

Zeminin başlangıçtaki gerilme durumunu sonlu elemanlar yöntemleri ile gerçeğe en yakın şekilde tanımlayabilme olanağı vardır. Bununla birlikte sonlu elemanlar analiz yöntemlerinde gerçeğe yakın bir gerilme-deformasyon bağıntısı kurarak diferansiyel denklem veya sınır değer problemleri içeren mühendislik uygulamalarında zemin davranışını şekillendirmede limit denge analizlerinin eksikliklerini kapatılabilen bir yöntemdir. Sonlu elemanlar analiz yönteminin limit denge analiz yöntemlerine göre önemli avantajlarından bir diğeri kritik kayma dairesinin şekli ve konumu için herhangi bir varsayımda bulunulmamaktadır. Sonlu elemanlar analiz yöntemi sayesinde zeminde oluşan kayma ve normal gerilmeler, boşluk basıncı dağılımları, yer değiştirmeler, oturmalar ve yeraltı suyu hareketleri büyük ölçüde doğru bir şekilde belirlenmektedir. (Hammouri ve Diğ., 2008). Duncan (1992)'ın sonlu elemanlar analizi üzerinde yapmış olduğu araştırmalarda sahadan elde edilen deformasyon değerlerine göre sonlu elemanlar analizi daha fazla deformasyon hesaplamaktadır. Kim ve Diğ. (2002) düzensiz yüzeye sahip ve homojen olmayan şevlerde her iki analiz yönteminin de birbirine yakın güvenlik sayısı verdiğini, aynı zamanda kritik kayma dairelerinin konumlarının birbirine yakın olduğunu ortaya koymuşlardır.

### 1.6. Sınır Denge Kavramı ve Güvenlik Katsayısı

Sınır denge analizleri, kaymaların ölçülebilen analizlerini oluşturur. Limit denge analiz yöntemlerinde şevin göçme anına yakınmış gibi kabul yapılarak kayma yüzeyi doğrultusunda meydana gelen kesme gerilmelerinin kayma dayanımı ile mukayese edilmesiyle göçmeye karşı oluşacak bir güvenlik sayısı (GS) bulunur. Birden fazla şev kayma yüzeyi belirlenir ve bunlar içerisinde minimum kat sayıya sahip olan kritik kayma dairesi olarak isimlendirilir.

Denge durumundaki şevlerin durumunu gösteren güvenlik katsayısı “GS” aşağıdaki formülde gösterilmiştir:

$$\text{Kuvvet bazında; } G_s = \frac{\sum F_k}{\sum F_0} \quad (1.10)$$



## 2. ŞEV STABİLİTESİ İLE İLGİLİ YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

Nüfusun artması ve mühendislik yapılarının günümüz teknolojisine ayak uydurması konusunda önem kazanan şev stabilitesi konusu 19. Yüzyıl başlarından günümüze giderek gelişen incelemelere ve araştırmalara konu olmuştur. Şev stabilitesi problemi öncelikli olarak karayolu, demiryolu ve kanal yapımlarında önem kazanmıştır. Şev stabilitesi konusu ile ilgilenen ilk mühendis Collin (1846), çalışmaları sonucu kaymaların bir eğri yüzey boyunca oluştuğunu görmüştür. Bir diğer çalışmayı da Airy, 1879 yılında yapmıştır. Yirminci asır başlarında, Almanya'da ve İsveç'te yol ve demiryolu yapımında büyük kaymalar, Amerika'da baraj yıkılmaları ile Panama kanalında kaymalar olmuş ve bu olaylar araştırmalarda mühendislerin ilgisini arttırmıştır.

Gökoğlu Ö., 2015 - Yüksek lisans tezi doymun hale gelmemiş zeminlerde şev duraylılığı analizi çalışmasında, kumlu kil, düşük plastisiteli kil ve kum zeminlerin klasik zemin mekaniği ve doymun olmayan zemin mekaniği esaslarına göre yeraltı su seviyesindeki değişikliklerle birlikte şev stabilite analizleri sonucu elde edilen güvenlik sayıları incelenmiştir. Laboratuvar çalışmaları kademeli olarak yapılmıştır. İlk kademe zemin parametrelerinin belirlenmesi için; elek analizi, hidrometre, Atterberg limitleri analizi, piknometre, standart kompaksiyon ve kesme kutusu deneylerinin yapılmasıdır. Sonraki kademede ise doymun hale gelmemiş zeminin özelliklerini belirleyebilmek için basınç plakası deneyi uygulanmıştır. Kesme kutusu ve basınç plakasında kullanılan örnekler standart proktor deneyi sonrasında belirlenmiş olan optimum koşullara yakın koşullarda hazırlanmıştır. Şev stabilite analizlerinde kullanılan diğer örnekler için de birden fazla araştırmacı tarafından yapılan benzer deneyler ile örneklerin doymun ve doymun olmayan parametreleri belirlenmiştir.

Bu çalışmalar sonucu elde edilen parametrelerle her iki koşulda da şev stabilite analizleri yapılmış ve doymun olmayan durumdaki parametrelerin elde edilen güvenlik sayısına etkisi incelenmiştir.

Akçakal Ö., 2009 - Yüksek lisans tezi şev stabilitesi analizinde geri hesap yöntemi ile bir vaka analizi çalışmasında, şev duraylılığından bahsedilmiş ve analiz yöntemleri hakkında genel bilgiler verilmiştir. Şev stabilitesinin bozulduğu, yani göçmenin gerçekleştiği durumlarda geri hesap yöntemi kullanılarak zemin parametrelerine ulaşma yöntemleri anlatılmıştır. Son bölümde de İstanbul Kemerburgaz'da yapımına başlanılan konut inşaatı için desteksiz olarak yapılan temel kazı çalışmasında oluşan şev hareketi, öilk olarak limit denge yöntemini, sonrasında da sonlu elemanlar yöntemini kullanan bilgisayar programlarından olan geri hesap yöntemi ile inceleme yapılmış ve elde edilen kesme dayanımı parametreleri karşılaştırılmıştır. Geri hesap yöntemi ile belirlenen parameter özelliklerine göre hazırlanan iyileştirme projesi hakkında bilgiler verilmiştir.

Canik B., 2009 - Yüksek lisans tezi şev stabilitesinde kullanılan kazıkların deprem etkisi altındaki davranışı çalışmasında, depremin şev stabilitesine etkisi araştırılmıştır. Şevlerin stabilitesine ihtiyacının hangi nedenlere bağlı olduğundan, şev stabilitesi analiz yöntemlerinden, şev stabilitesinin bozulmasına neden olan etkenlerden ve kazıklarla şev stabilitesinin hesap ve analiz yöntemleri incelenmiştir. Deprem etkisi ile şevlerde oluşan duraysızlığın bertaraf edilmesi için kazıklarla iyileştirme yöntemi uygulanmıştır. Şeve gelen statik ve dinamik yükler farklı boyutlardaki kazık projeleriyle incelenip değerlendirmelerde bulunulmuştur. Duraylılığın kazıklar yardımıyla sağlanması ve kazıklara etki eden deprem kuvveti sonlu elemanlar yöntemi ile incelenerek ve bazı örnekler verilmiştir. Bu örnekler yardımıyla belirlenen değerlerle kazıkların deprem sırasındaki davranış biçimi yorumlanmıştır.

Tekin A., 2011 - Yüksek lisans tezi sonlu elemanlar ve limit denge yöntemleri ile şev stabilitesi analizi çalışmasında, şev stabilize problemleri araştırılmıştır. Çalışmadaki amaç kazıklı ve kazıksız projelendirilmiş durumlar için limit denge ve sonlu elemanlar yöntemlerini kullanarak incelemeler yapılmıştır. Varılmak istenilen en önemli hedef sonlu elemanlar yöntemi ile dayanım azaltma yöntemini (SRM) birarada kullanarak kayma yüzeyinin şev güvenlik seviyesi değişimine bağlantılı olarak oluşumunu belirlemektir. Çalışmada incelenen şev sorunu, tek tabakadan meydana gelen ve yeraltı su seviyesinin kayma yüzeyinin altında olduğu bir şevdir. Belirlenen bu şevin kazıksız ve kazıklı olarak çözümlenen durumda güvenlik sayıları Slope/W ve Strength

Reduction Method yöntemini esasına dayalı sonlu elemanlar analizleri ile bulunmuştur.

Tekgözoğlu K., 2014 - Yüksek lisans tezi Anamur-Kaledran Devlet karayolu inşaatı çalışmasında yapılan derin yarmaların şev stabilitesinin değerlendirilmesi çalışmasında, Mersin, Anamur – Kaledran kesminde; aşırı eklemli şist – klorit şist birimleri içerisinde oluşturulan, jeolojik ve topoğrafik etmenlere bağlı olarak yer yer kütle hareketleri meydana gelmiş yüksek yol yarmalarındaki şev stabilitesi sorunlarının değerlendirilmesi ve uygun mühendislik çözümlerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Özsoy C., 1998 - Yüksek lisans tezi kohezyonsuz ve kohezyonlu durumdaki zeminlerde şev stabilitesi ve uygulama yöntemleri çalışmasında, şev stabilitesinde kütle hareketleri sınıflandırılarak jeoformolojik yönden incelenmiş şev stabilitesinin etütünde arazi ve laboratuvar çalışmalarıyla stabilite bozulmalarını belirleyen unsurlar üzerinde durularak şev ve yamaç stabilitesinin bozulmasında önemli yer tutan heyelanlara ayrıca değinilmiştir. Stabilitenin sağlanması ve önlemler örnekler ile anlatılmıştır. Şev stabilitesi çözüm yöntemleri hakkında teorik bilgiler verilmiştir.

Yamak S., 2017 - Yüksek lisans tezi karayolunda oluşturulan şevlerde boşluk suyu basınç değişimlerinin şev stabilitesine tesirinin incelenmesi çalışmasında, olası eski ve denetimi gerçekleştirilmeden oluşturulmuş karayolundaki dolgu şevlerinde su seviyesindeki yükselişlerin şev duraylılığına etkisi Slide programı ile araştırılmıştır. Bu doğrultuda Karayolları Genel Müdürlüğüne ait tip yol kesitleri bilgileri kullanılmıştır. Çalışmada 34, 45, 60 derece olmak üzere üç farklı dolgu eğimi ve 3, 4, 5, 6 metre olmak üzere dört farklı kotta dolgu yüksekliği kullanılmıştır.

Çalışmada sırasında dört farklı zemin-dolgu kombinasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu kombinasyonlar orta katı kil zemin-zayıf dolgu, orta katı kil zemin-orta sağlam dolgu, yumuşak kil zemin-orta sağlam dolgu, yumuşak kil zemin-zayıf dolgu şeklinde belirlenmiştir. Tez çalışmasında güvenilirliği yüksek olan bir yöntem olan Spencer analiz yöntemi kullanılmıştır. Tüm bu çalışmalar sonucunda dolgu üzerinde su seviyesi artışının güvenlik katsayısını arttırdığı gözlemlenmiştir. Bu duruma sebep zemin ortamındaki suyun dolgu topuğunda destek görevini üstlenerek stabiliteyi arttırması olduğu söylenebilir.

### **3. ŞEV STABİLİTESİ ANALİZİ İÇİN PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ**

#### **3.1. Laboratuvar Deneyleri**

Zeminlerde mühendislik niteliklerinin ve deneysel özelliklerinin belirlenmesinde ana prensip, deney sonucu oluşan koşullar ile arazi ortamındaki koşulların arasındaki elde edilebilecek en yüksek benzerliği sağlamaktır (Özaydın K., 2008). Laboratuvar deneyleri şev stabilitesi analizlerinde örselenmiş ve örselenmemiş zemin numunelerinin sahadan alınarak laboratuvar ortamında zemin özelliklerinin belirlenmesi için yapılan çalışmaların bütünüdür.

- Elek analizi ve hidrometre deneyleri
- Kıvam (Atterberg) limit deneyleri
- Dane birim hacim ağırlığı belirlenmesi (piknometre) deneyi
- Kesme deneyleri

##### **3.1.1. Elek analizi ve hidrometre deneyi**

Bu deney zemini oluşturan danelerin zemin içerisindeki dağılım durumunu belirlemek için yapılmaktadır. Elek analizi deneyi sonucunda çakıl miktarı, kum miktarları ve kil ile silt miktarı toplamı elde edilmiş olur. Bununla birlikte zemindeki kaba dane oranı ve ince dane oranı da elde edilir. Laboratuvar ortamında danelerin boyut dağılımını belirlemek amacıyla zemin numuneleri, elek açıklıklarının birbirinden farklı olan standart eleklerden geçirilir. Eleme işlemine öncelikli olarak delik açıklığı en büyük olan elekten başlanarak gittikçe daha küçük delik açıklığına sahip eleklerle sürdürülür. Yapılan işlemler otomatik veya elle uygulanabildiği gibi kuru veya yaş olarak gerçekleştirilebilir. (Saklara ve Diğ., 2000)

Hidrometre Analizi; ince taneli zeminlerin hidrometre yöntemi ile tane çapı dağılımını bulmak için yapılan deneydir. Laboratuvar ortamına gelen zemin numunelerinin iri kısımlarının, dane çapı yüzdelerinin belirlenmesi için elek analizi (ıslak analiz) yapılırken ince taneli kısımlarında ise tane çapı yüzdeleri hidrometre yöntemi ile belirlenmektedir.

Zemin sınıflandırma çalışmalarında birinci öncelikli olarak uygulanan deney olan elek analizi, dane çapı 75 $\mu$ m'den büyük zeminin dane çapı dağılımını belirler. 110 °C' ayarlanmış fırında 24 saat dinlenmeye bırakılan kuru numuneye yıkama yöntemi ile elek analizi uygulanmıştır. Numuneler standart eleklerden geçirilerek eleklerin üzerinde kalan zemin numunesi tartılır ve eleme işlemi sonlandırılır. Elekten geçen zemin ağırlığının, toplam zemin ağırlığına oranlanarak da numunenin eleklerden geçme yüzdeleri hesaplanır ve dane çapı dağılım eğrisine işlenir (Davis T., 2008).



Şekil 3.1. Elek analizi deneyi

İnce daneli yapıya sahip zeminlerin dane çapı dağılım eğrisini belirlemek için kullanılan hidrometre deneyinde 200 numaralı elekten geçen zemin numunesi kullanılır. Yaklaşık 50 gr kuru numune ile hazırlanmış olan 1000 ml'lik süspansiyon içerisinde bulunan danelerin çökme hızlarının onların dane çaplarına bağlı olarak değiştiğini gösteren Stoke kanunundan yararlanılarak hidrometre analizleri yapılmaktadır (Özaydın K., 2001).

### 3.1.2. Kıvam (Atterberg) limit deneyleri (Likit limit ve plastic limit)

Kıvam limitler deneyleri olarak bilinen Atterberg limit deney yöntemleri ile; zemin tanecikleri ile su arasındaki ilişkileri ve değişen su içeriklerine göre zeminin durumu belirlenir. Zemine gereğinden fazla su ilave edilmesi durumunda zemin likit (sıvı) hale gelmektedir. Likit durumda iken zemin akıcıdır ve kesme direnci yoktur. Eğer numune kurumaya bırakılırsa belirli bir kesme direnci oluşur. Bu geçiş halindeki su içeriğine ise likit limit denir (WL ile gösterilir).

Numune üzerindeki su kaybı daha fazla olursa zemin giderek plastiklik özelliğini kaybederek düz bir yüzeyde yuvarlanırsa ufalanmalar meydana gelir ve bu durumdaki su içeriğine plastik limit denir (WP ile gösterilir). Zemini daha fazla su kaybetmesi durumunda artık hacim olarak küçülme meydana gelmeyecektir. Bu haldeki su içeriğine ise büzülme veya rötrelimit denir (RL ile gösterilir).

Zeminin sıvı halden plastik hale geçmesine likit limit, plastik halden yarı katı hale geçmesine plastik limit, yarı katı halden tamamen katı hale geçtiği sınır değere ise büzülme rötrelimiti denilmektedir. Zeminin plastic özelliğe sahip bir malzemedan akıcı özelliğe sahip malzemeye dönüştüğü andaki su muhtevasına likit limit denilmektedir. Likit limiti belirleyebilmek için birden fazla yöntem vardır. Bu yöntemlerden en yaygın olanı Casagrande Yöntemidir. Casagrande yönteminde likit limit deney aleti, kolun döndürülmesi ile sert bir lastik blok üzerine 1 cm. yüksekten düşen, yarım küre şeklindeki pirinç kaptan oluşur. Kurutulmuş ve 40 nolu elekten geçirilmiş zeminden bir miktar alınıp porselen bir kap içerisine konur ve biraz damıtık su ilave ederek karıştırılır. Numunenin kürü için yeterli süre beklenilir. Karıştırılan numunedan bir parça alınır. Pirinç kaba oturtulur. Üzeri spatula desteği ile düzeltilir. Yarık açma bıçağı ile tastaki zemin numunesi iki eşit parçaya bölünür. Üst tarafı tekrar düzeltilir. Sonra deney aletinin kolu çevrilerek tas 1 cm. yükseklikten saniyede 2 defa olmak üzere yere düşürülür. Düşmenin etkisine bağlı olarak oyukta kapanma, ayrılan iki parçada ise birbirine yaklaşma meydana gelir. Başlangıç itibari ile her vuruş, yarık 1,12 cm. kapanana kadar sayılır. Yarığın kapanması anında, içerisinden bir miktar numune, su muhtevası belirlenmek için alınır ve vuruş sayısı tutulur. Taş temizlenir, karıştırma kabında bulunan numune üzerine biraz daha damıtık su ilave edilerek karıştırılır. Bu işlemlerin minimum olarak 4 defa tekrarlanması gerekmektedir.

Plastik limit ise, ıslak zeminin yoğrulma işlemi sırasında yüzeyinde çatlakların belirdiği su muhtevası olarak tanımlanmaktadır. Yani, plastik limit, zeminin yarı katı halden plastik bir malzeme halini aldığı su muhtevası değeridir. 40 nolu elekten geçirilmiş ve likit limit deneyi için kullanılmış olan numunedan bir miktar, buzlu cam üzerinde avuç içi ile yuvarlanır. Avuç ile yuvarlama sırasında oluşan 3 mm. kalınlıktaki çubuklarda, çatlamlar ve kendi kendine kopmalar oluştuğunda, su muhtevasını belirlemek için numune kabına alınır. Numune kabı ile birlikte tartımı yapılan numune fırına kurutulmak üzere yerleştirilir.

Eğer çubuk çapları 3 mm'nin altındaki değere düştüğü halde çatlama ve dağılma durumu oluşmuyorsa zeminin hala plastik olduğu kabul edilir. Bir süre daha su muhtevasının azalması için beklenilir. Avuç ile yuvarlama işlemi tekrarlanarak deney yapımı sürdürülür.

### 3.1.3. Dane birim hacim ağırlığı belirlenmesi (piknometre) deneyi

Piknometre deneyi kohezyon ve kohezyona sahip olmayan zeminlerin dane birim hacim ağırlıklarını belirlemek amacıyla kullanılır. Dane birim hacim ağırlığı, aralarında boşluk bulunmayan yoğun kütlenin hacmine oranıdır. Deneyde yapım esnasında piknometre, saf su, etüv (şişe), vakum aleti, pipet ve kuru malzeme kullanılır. 4 nolu elekten geçirilen malzeme fırında kurutulur. Bu kuru malzemeden; kohezyonlu zeminde 50-75 gr. kohezyonsuz zeminlerde 150 gr kadar alınmaktadır. Kalibrasyonu yapılmış piknometreye 0.01 gr duyarlıkta tartılan bu malzeme doldurulur. Zeminin içerisinde bulunan havanın dışarı çıkışını sağlamak için bir yandan piknometrenin ağız kısmından vakum uygulanırken bir yandan da çıkışı kolaylaştırmak adına piknometre yavaş yavaş sallanır. Vakumlama işleminin sonuna doğru, piknometreye ince boyun kesimindeki kalibrasyon çizgisinin yaklaşık 1- 15 cm altına dek havası alınmış arı su eklenir. Tamamen hava çıkışı sağlanıncaya dek piknometreye vakum uygulanmaya devam edilir. Piknometreye havası tamamen alınmış su eklenir ve içerisindeki süspansiyon ile birlikte tartılır ve su ağırlığı ( $W_b$ ) bulunur. Piknometredeki bütün malzeme bir buharlaşma kabına dökülerek kuru ağırlığının belirlenmesi için fırına konur ve kurutulur. Aşağıdaki eşitliklerden yararlanılarak dane birim hacim ağırlık hesaplanır ve deneye son verilir.

$$\gamma_s = \frac{W_k}{(W_k - (W_2 - W_1))} \quad (3.1)$$

Denklemden,

$\gamma_s$  = dane birim hacim ağırlığı (gr/cm<sup>3</sup>)

$W_k$  = kuru zemin numunesi (gr)

$W_1$  = kuru zemin numunesi (gr)

$W_2$  = piknometre + saf su + kuru zemin numunesi (gr)

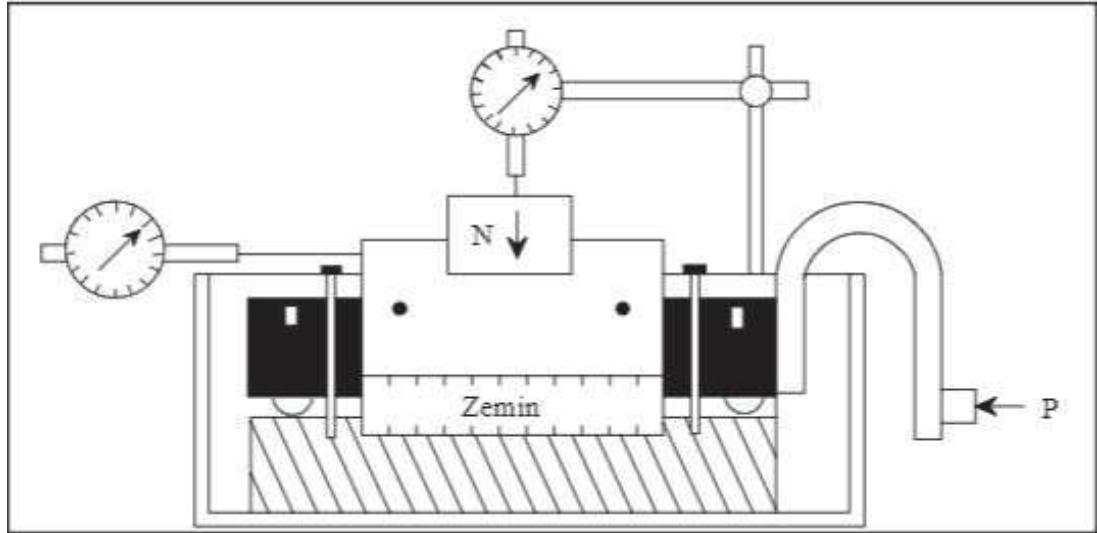
### 3.1.4. Kesme deneyleri

Zemin kütlesinden numune alınan noktadaki kayma mukavemet parametrelerinin belirlenmesi kesme deneyleri elde edilmektedir. Kesme deneylerinin hedefi; ortam koşullarına uygun yükleme ve drenaj şartlarında zeminin kayma mukavemet değerini ve kohezyonunu belirlemektir.

- Kesme Kutusu Deneyi
- Serbest (Tek Eksenli) Basınç Deneyi
- Üç Eksenli Basınç Deneyi

#### 3.1.4.1. Kesme kutusu deneyi

Zemin örneği dikdörtgen veya dairesel kesitli ve iki parçadan biraraya gelen rijit bir kutu içerisine yerleştirilerek kesme kutusu deneyi yapılır. Zemine etki ettirilen bir kesme kuvveti altında, kutunun bir parçası sabit halde iken bir diğer parçası da yatay bir doğrultu üzerinde hareket edebilmesi sağlanır ve buna bağlı olarak yatay düzlem boyunca zemin kaymaya zorlanmaktadır.

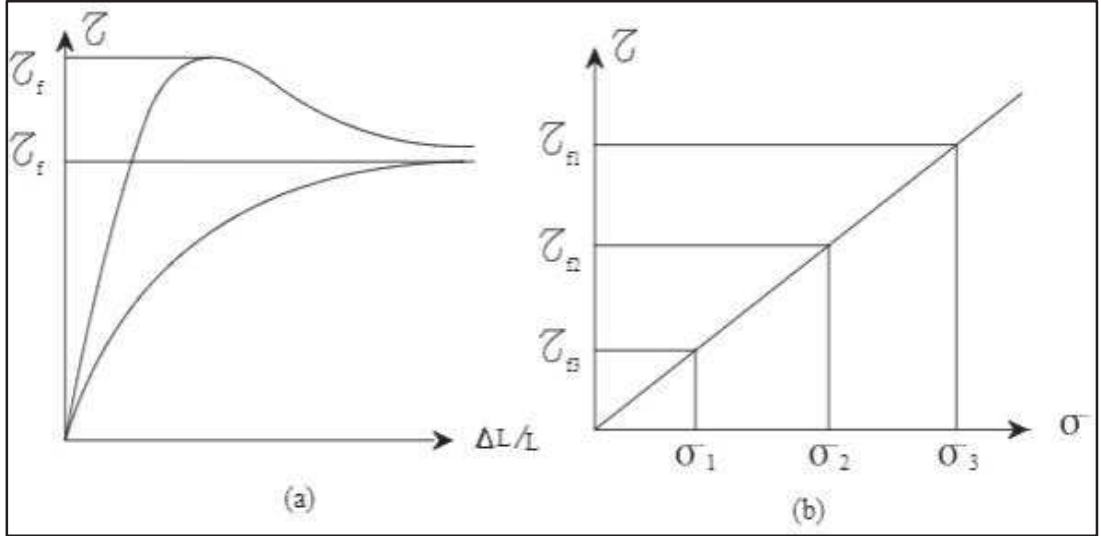


Şekil 3.2. Kesme kutusu deney düzeneği

Kesme kutusu deney düzeneği şematik olarak Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Zemin numune üzerine normal gerilme uygulaması yapılarak, kesmeden önce zeminin konsolide olması ve kesme esnasında normal gerilmelerin kontrol altında tutulması sağlanmaktadır. Bu deneyde, zemin önceden belirlenmiş yatay bir düzlem boyunca kırılmaya (göçmeye) zorlanmaktadır.



Yapılması tamamlanan sırada elde edilen en büyük kayma gerilmesi veya göçmenin olduğu kabulü ile şekil değiştirmelere sebep olan kayma gerilmesi zeminin belirlenmiş bir normal gerilme altında kayma mukavemetini değerini göstermektedir. Deney farklı normal gerilmeler uygulanması yöntemi ile tekrarlanarak Şekil 3.3 (b)'de gösterilmiş olan zeminin mukavemet zarfını elde etmek mümkün olmaktadır. Yani farklı normal gerilme değerleri için ( $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ ) farklı kayma mukavemeti ( $c_1, c_2, c_3$ ) değerleri bulunur ve bu değerler kullanılarak Şekil 3.3'deki gibi bir zarf elde edilir. Bu zarf o zemine ait Mohr-Coulomb kırılma zarfını verir. Bu zarfın altında kalan gerilme değerlerinde göçme olmaz, ancak zarf üzerindeki her nokta limit durumu ifade eder. Zarfın üst tarafındaki bölge ise fiziksel olarak mümkün olmayan bir bölgeyi gösterir. (Özaydın K, 2008).

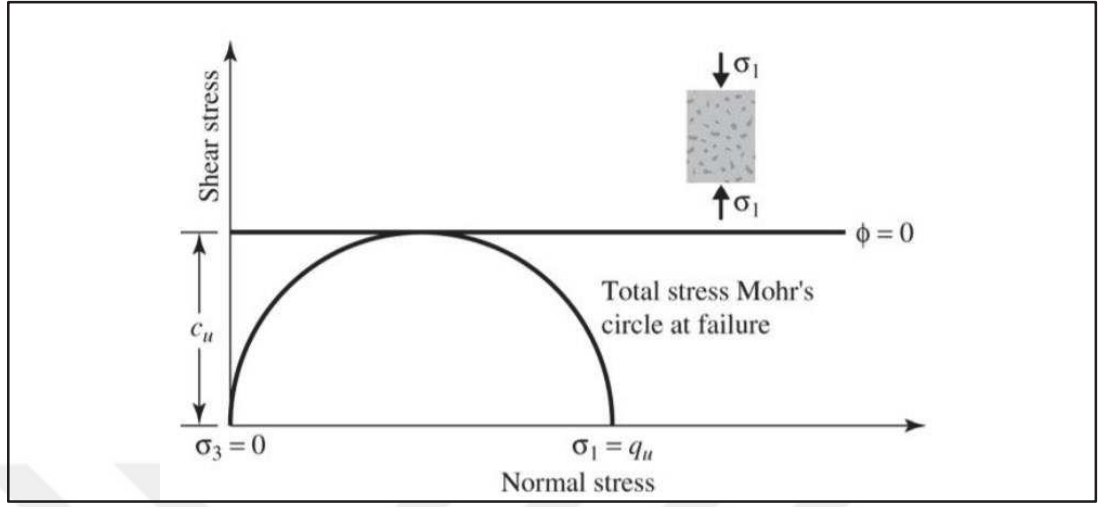


Şekil 3.3. Kesme kutusu deney grafikleri

### 3.1.4.2. Serbest (tek eksenli) basınç deneyi

Tek eksenli basınç dayanımı, zeminin kendine bir yönde etki ettirilen kuvvetlere karşı göstermiş olduğu dayanımdır. Tek eksenli basınç deneyinde silindirik yapıya sahip bir zemin numunesi sadece eksenel doğrultu boyunca yüklemeye tabi tutulur. Eksenel yük artışları etkisinde meydana gelen numunen uzunluğundaki kısalması ölçülür ve gerilme şekil değiştirmesi eğrileri elde edilir. Eksenel gerilmenin en yüksek değeri zemin serbest basınç mukavemeti ( $q_u$ ) değerini verir. Yalnızca kil numuneler üzerinde uygulanır. Deney sırasında numunen drenajsız koşulları kontrol edilemediğinden hızlı yükleme yapılır ve drenajsız kayma mukavemetinin elde edildiği kabul edilir.

Şekil 3.4'te Serbest (tek eksenli) basınç deneyinde göçmenin olduğu andaki gerilme durumunu gösteren Morh çemberi ve drenajsız kayma mukavemet bilgileri verilmiştir.



Şekil 3.4. Tek eksenli basınç deneyi sonuçlarına göre Mohr dairesi ve mukavemet zarfı

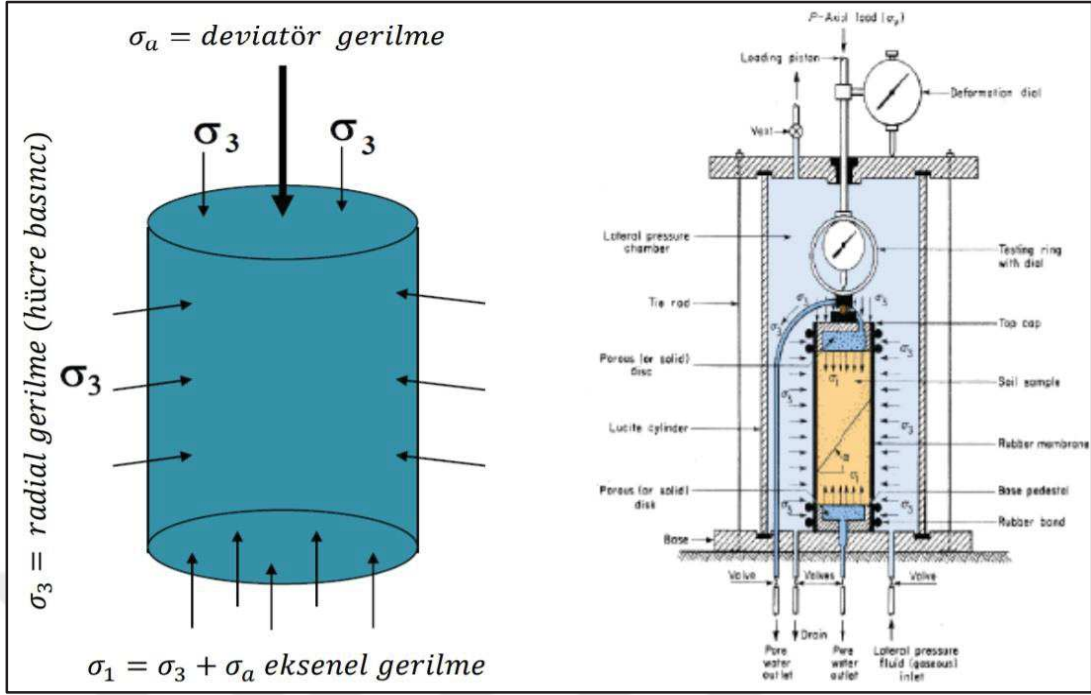
Drenajsız kayma mukavemeti;

$$\tau_f = c_u = \frac{1}{2} q_u \quad (3.2)$$

olarak elde edilir (Kutay Ö., 2008).

### 3.1.4.3. Üç eksenli basınç deneyi

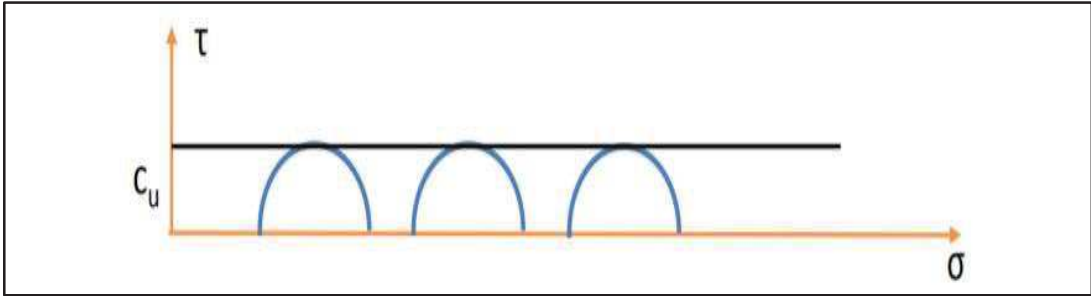
Zeminin kayma mukavemetini tayin etmek için kullanılan en yaygın ve en gelişmiş olan laboratuvar deneyidir ve gerçeğe en yakın sonuçlar bu deney yardımı ile elde edilir. Üç eksenli basınç deneyinde silindirik numune deney aleti içerisine yerleştirilir ve (hava veya su) hidrostatik basınç uygulanır. Deney iki aşamadan oluşur. İlk aşama olarak zemin numunesi üzerine arazide yükleme yapılmadan önce hücre basıncı uygulanmasıdır. Bu aşamada drenaja izin verilme durumu sağlanması ile numune konsolide edilir. İkinci aşamada ise eksenel basınç uygulanır bu aşama drenajlı veya drenajsız olarak gerçekleştirilebilir. Her iki aşamada da drenaj durumuna göre üç değişik türde üç eksenli basınç deneyi yapılır.



Şekil 3.5. Üç eksenli basınç deney düzeneği

### 3.1.4.3.1. Konsolidasyonsuz-drenajsız deneyler (UU-deneyleri)

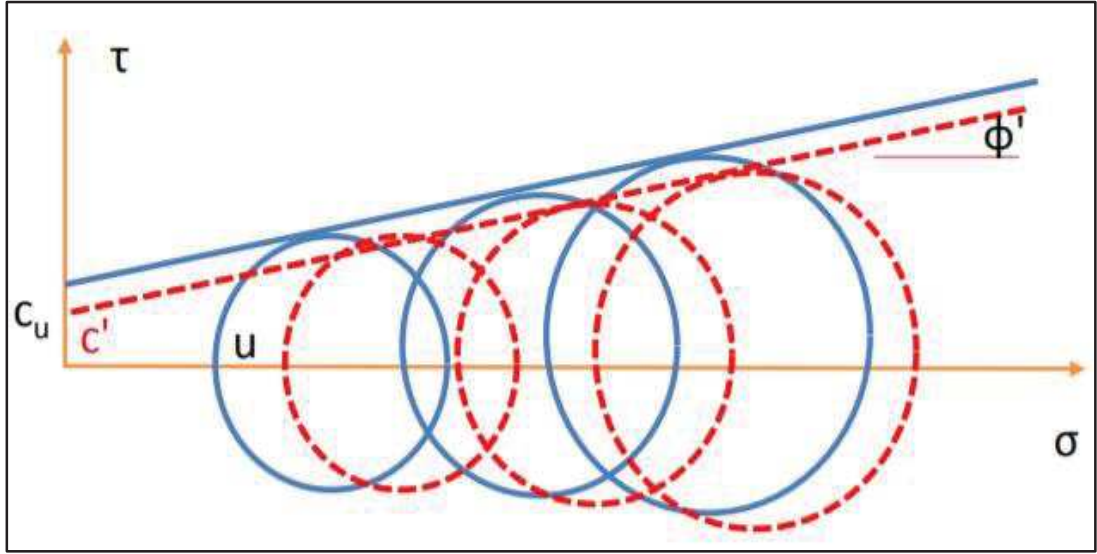
Bu deneyde zemindeki suyun basınç uygulamasında veya eksenel yükleme esnasında dışarı çıkmasına izin verilmez.



Şekil 3.6. UU-deney sonuç grafiği

### 3.1.4.3.2. Konsolidasyonlu-drenajsız deneyler (CU-deneyleri)

İlk adımda numunenin konsolide olmasına izin verildikten sonra ikinci adımda drenajsız olma durumunda eksenel yükleme yapılır.



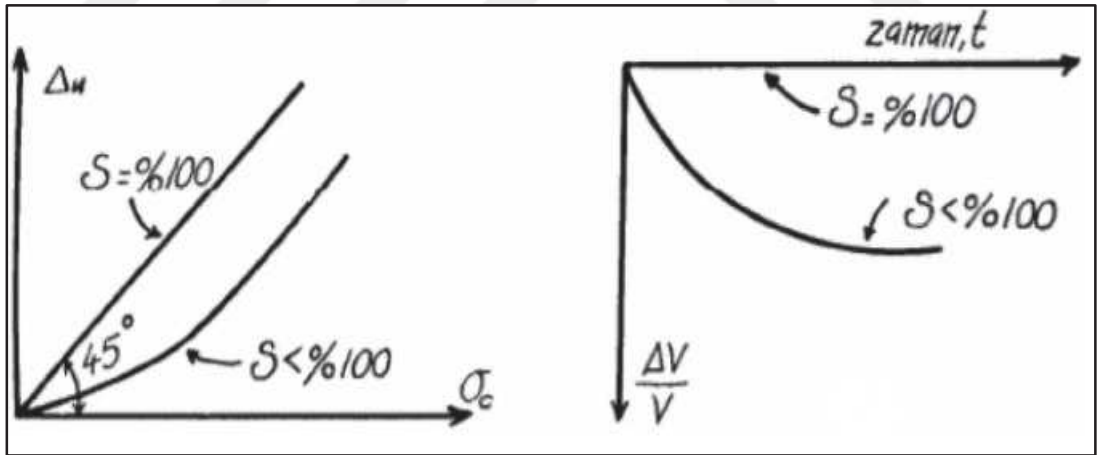
Şekil 3.7. CU-deney sonuç grafiği-1

Normal konsolide kilerde  $c' \approx 0$  (3.3)

Efektif gerilme türünden;  $\tau_f = \sigma' \tan \phi'$  (3.4)

Aşırı konsolide kilerde,  $c' \neq 0$  (3.5)

Efektif gerilme türünden,  $\tau_f = c' + \sigma' \tan \phi'$  (3.6)

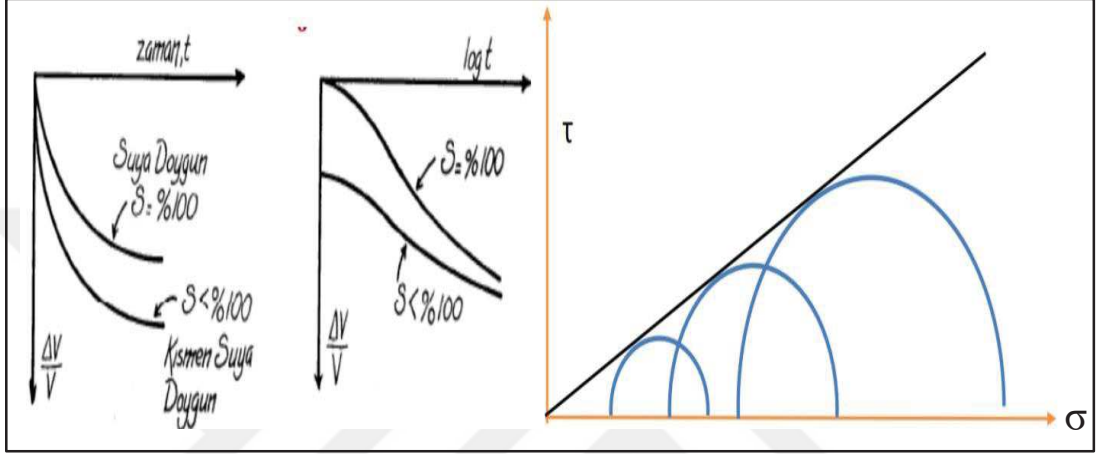


Şekil 3.8. CU-deney sonuç grafiği-2

Drenajsız deneylerde zemindeki boşluk suyu basıncında artışlar gözlemlenmektedir.

### 3.1.4.3.3. Konsolidasyonlu-drenajlı deneyler (CD-deneyleri)

Hem eksenel yüklemde hem de hücre basıncında drenaj yapılmasına izin verilir. Farklı türlerde üç eksenli basınç deneyleri uygulayarak arazideki zemin katmanlarının birbirinden farklı yükleme ve drenaj şartları altında gösterecekleri gerilme-şekil değiştirme davranışları ve kayma mukavemetleri belirlenebilmektedir (Kutay Ö., 2008).



Şekil 3.9. CD-deney sonuç grafikleri

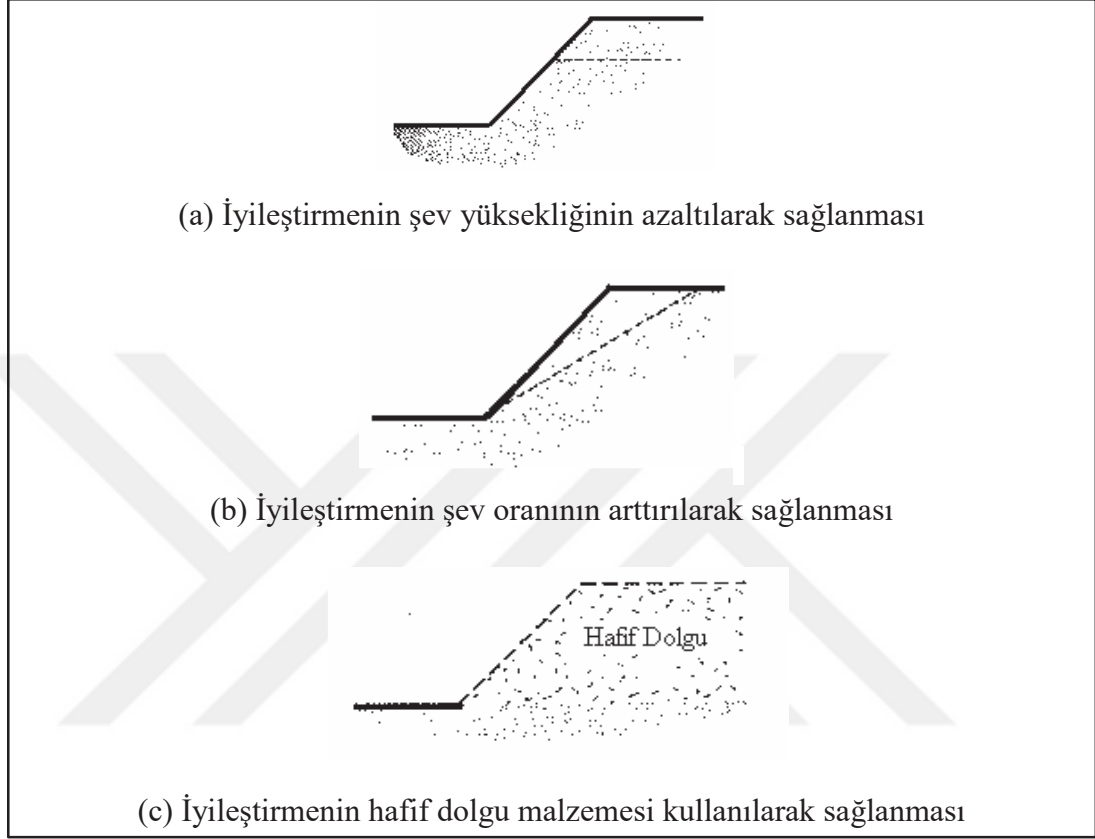
#### 4. İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Analiz çalışmalarına bağlı olarak şevlerin stabilitelerinde göçme riski olduğu durumlarda birçok şev iyileştirme yöntemleri kullanılmaktadır. Şev göçmesinin olduğu bir alanın iyileştirilmesi, olabilecek herhangi bir şev göçmesinin engellenmesi, şev hareketlerini artıran veya hızlandıran faktörlerin azaltılması veya zeminin kayma dayanımının artırılmasına bağlıdır. Yapısal veya yapısal olmayan çözümler ile bu etkiler şeve kazandırılabilir (Popescu ve Sasahara, 2009).

- Yük kaldırma
- Zeminin hafifletilmesi
  - Şev geometrisinin değiştirilmesi
  - Hafif dolgu kullanımı
- Payandalama
- Drenaj
  - Yer üstü (yüzeysel) drenajı
  - Yer altı (derin) drenajı
- Yapısal stabilizasyon
  - İstinat duvarları ile stabilizasyon
  - Ankrajlar
  - Kazıklar ve keson kuyular
- Şevin donatılandırılması
  - Zemin çivisi
  - Mini kazıklar
  - Çakıl dolgulu hendek ya da taş kolonlar
- Bitkilendirme
- Zemini sıkılaştırma
  - Sıkıştırılmış zemin-Çimento dolgusu
  - Konsolidasyon
  - Termal iyileştirme

## 4.1. Yük Kaldırma

Yapısal olmayan çözümlerden ilk sırada yük kaldırma yöntemi gelir. Ekonomik çözümler yük kaldırma yöntemi ile elde edilebilmektedir (Popescu ve Sasahara, 2009).



Şekil 4.1. Yükün azaltılması ile zeminin ıslah edilmesi (Coduto, 2006)

## 4.2. Hafifletme

### 4.2.1. Şev geometrisinin değiştirilmesi

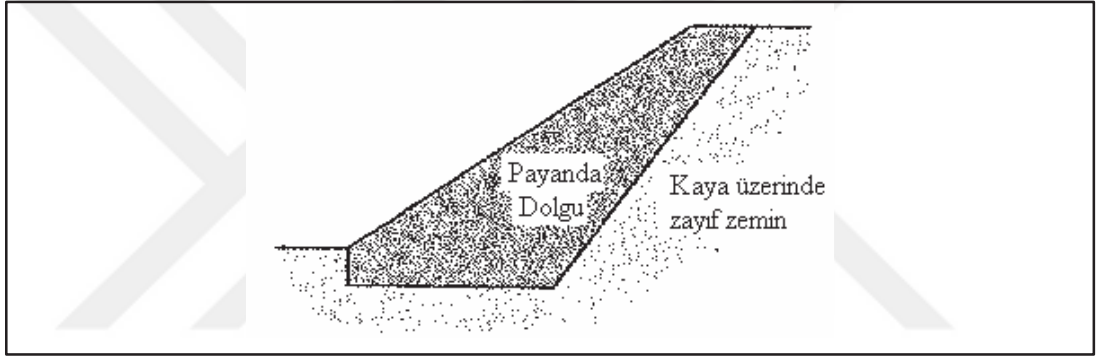
Şevlerin stabilizasyonu için diğer bir çözüm de şevdeki hareketli malzemenin yerine mukavemeti daha yüksek bir malzeme yerleştirilmesidir. Bu durum tercih edildiğinde kazı sırasında yapı topuğunun dengesinin bozulmamasına dikkat edilmelidir.

### 4.2.2. Hafif dolgu kullanımı

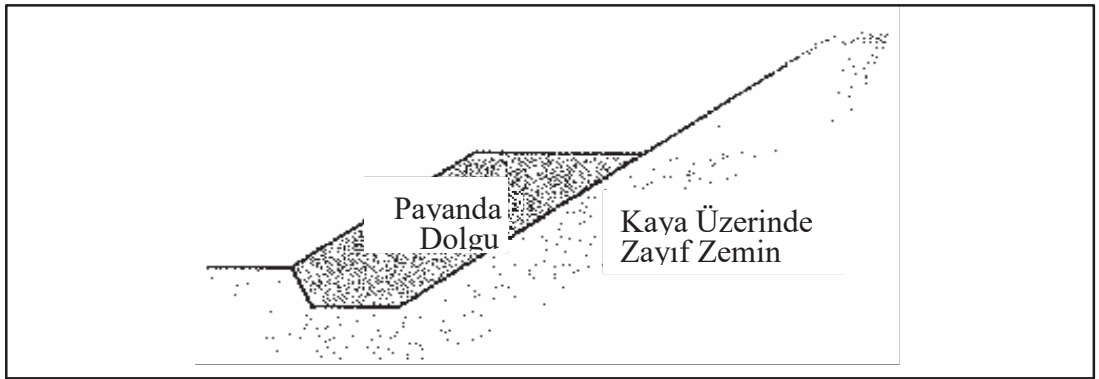
Şevin kaymasına sebep olan kuvvetleri en aza indirebilmek için uçucu kül, talaş, polistiren v.b. köpük malzemeler şev malzemesi yerine kullanılabilir (Abramson ve Diğ., 1996).

### 4.3. Payandalama

Birden fazla uygulama projesinde yarma şevlerinin kısa dönem için duraylılığının sağlanabilmesi, uzun dönem duraylılığının sağlanabilmesine oranla daha büyük olduğu bilinir. Bu bilgi doğrultusunda şevler kısa bir süreliğine dik açılarak (kısa dönem için duraylılık sağlanabilecek şekilde) önüne kayma direnci parametreleri daha yüksek bir malzeme ile payanda dolgusu yapılabilir. Payanda dolgusu ile daha dik eğime sahip yarma şevleri yapılmış olacaktır. Bunun yanı sıra payandalama, şevde herhangi bir kazı yapılmaksızın şevin önüne dolgu eklenerek de inşa edilebilir. Kaba daneli malzeme seçilerek hem dolgu yapılabilir, hem de drenaja katkı sağlanabilir (Popescu ve Sasahara, 2009).



Şekil 4.2. Kazı ile oluşturulan destek dolgusu (Coduto, 2006)



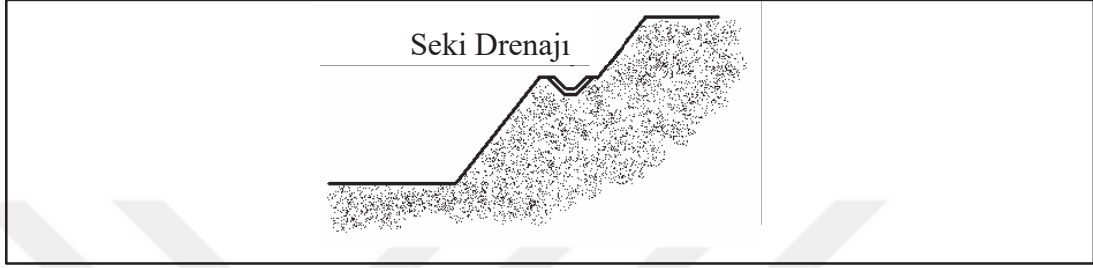
Şekil 4.3. Kazı işlemi olmadan oluşturulan destek dolgusu (Coduto, 2006)



## 4.4. Drenaj

### 4.4.1. Yer üstü (yüzeysel) drenaj

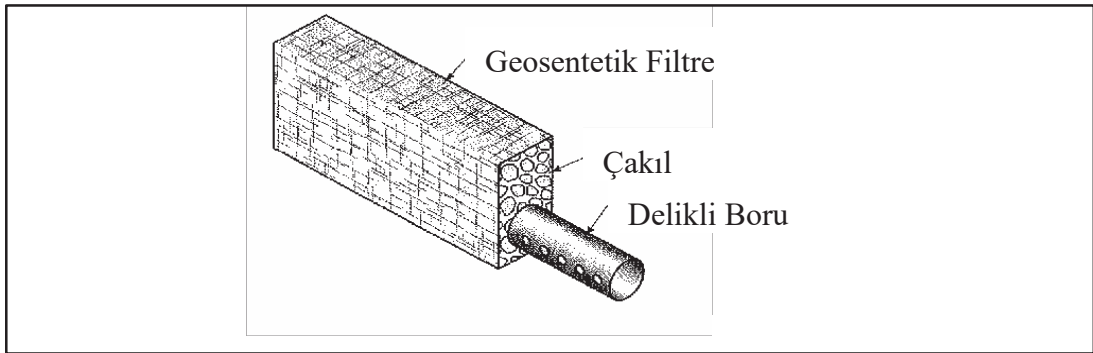
Toprak yüzeyinde biriken, düzensiz ve kontrolsüz yüzeysel akışların kontrollü bir şekilde bölgeden uzaklaştırılmasıdır. Bunun için yüzeysel drenajlarda hendekler veya açık drenaj sistemleri kullanılarak yüzey suları şevden uzaklaştırılır.



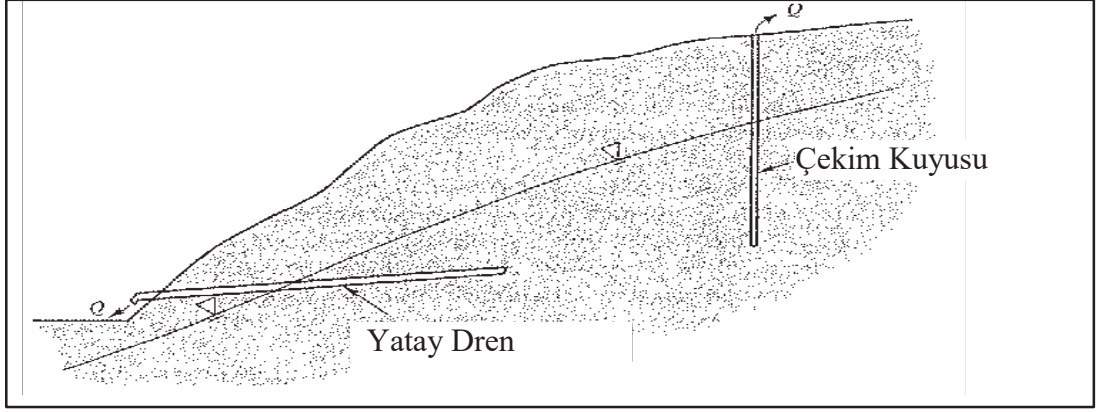
Şekil 4.4. Yüzeysel suyu uzaklaştıran beton seki drenajı (Coduto, 2006)

### 4.4.2. Yeraltı (derin) drenaj

Toprakta bulunan fazla suların toprak profili içinden dren boruları veya dren kanalları aracılığıyla uzaklaştırıldığı sistemdir. Amaç şev içerisindeki hem yüzeysel akışın uzaklaştırılması, hem de taban suyu düzeyini kontrol altında tutarak stabilizasyonu sağlamaktır. Bunun için yer altı drenaj yönteminde hem kapalı (borulu), hem de açık drenaj sistemleri kullanılır.



Şekil 4.5. Yeraltı drenajı boru dreni (Coduto, 2006)



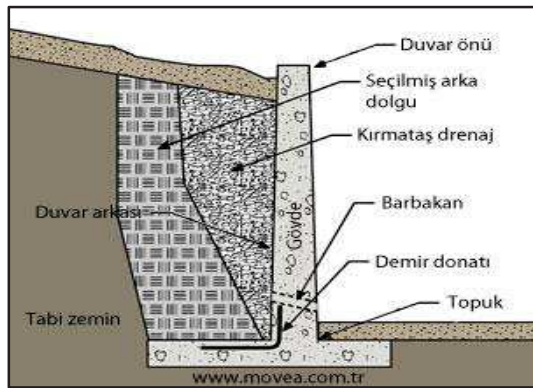
Şekil 4.6. Kuyu ve yatay dren ile yeraltı suyunun bertaraf edilmesi (Coduto, 2006)

Derin şev hareketlerini önlemek amacıyla hareket halindeki zemine kadar uzatılan drenaj tünelleri veya galeriler oluşturularak yapılan yatay dren delgileri, pahalı bir yöntem olması ile birlikte, yeraltı su seviyesini düşürmek için iyi bir çözüm olabilmektedir. Açılan derin kuyularda yeraltı suyunu toplayıp pompa yardımı ile uzaklaştırmak da sıkça başvurulan yöntemler arasındadır (Pupescu ve Sasahara, 2009).

## 4.5. Yapısal Stabilizasyon

### 4.5.1. İstinat duvarları

İstinat duvarları; alanda yapılan kazı çalışmasının, mevcut bir şevin veya yapılacak bir dolgu yapılan alanın desteklenmesinde, toprağın tutulmasında veya kot farkının olduğu alanlarda yapıların yapılması gerektiğinde çözüm yöntemi olarak başvurulan mühendislik yapılarıdır. İstinat duvarları projeye uygun olarak kalıcı veya geçici olarak yerinde dökme betonarme elemanlar, fore-mini kazıklar, donatılı zemin gibi bir çok teknik ile yapılmaktadır.



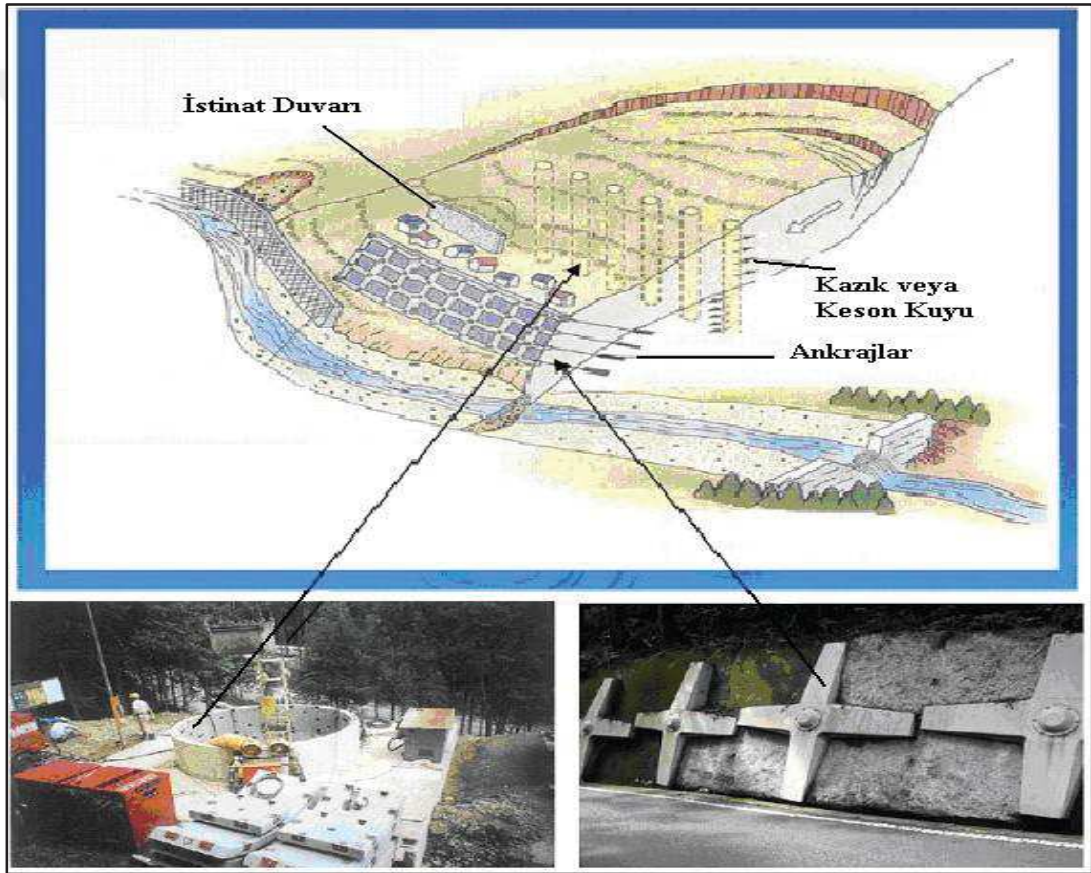
Şekil 4.7. İstinat duvarı tip kesit



Şekil 4.8. Betonarme konsol İstinat duvarı

#### 4.5.2. Ankrajlar

Ankraj, zemin içinde yatayda belirli bir açı ile açılmış deliklere korozyona dayanıklı ve yüksek mukavemetli özel çelikten yapılmış öngermeli bir halat veya halatlar demeti yerleştirilip, deliklerin içerisine beton enjeksiyonu yapılarak oluşturulan ve üzerine uygulanan gerilme kuvvetini sağlam zemine ileten yapısal bir uygulamadır. Ankraj uygulamaları ile, kritik kayma dairesinin oldukça ilerisine uzanan enjeksiyonlu kuyular ve içindeki çelik çubuklardan oluşan sistem ile yapısal stabilizasyon sağlanmaktadır (Coduto, 2006).



Şekil 4.9. Yapısal devamlılığı sağlayan elemanlar (üst), Geniş çaplı beton kuyu (sol alt), Ankraj uygulaması (sağ alt) (JLS, 2008)



Şekil 4.10. Örnek ankraj tatbiki

#### 4.6. Bitkilendirme

Başka bir şev iyileştirme yöntemi de şevin bulunduğu alanın bitkilendirilmesidir. Bitkilendirme sayesinde; erozyona karşı dayanım artar, zemin suyunun dışarı alınır, derin olmayan kaymalar engellenir, yüzeysel stabilizasyon sağlanır, estetik bir görünüm elde edilir.



Şekil 4.11. Bitkilendirme yöntemi ve yapısal elemanlar ile stabilitesi desteklenmiş duvar örneği

## **4.7. Zemin Sıkılaştırma**

### **4.7.1. Sıkıştırılmış zemin-çimento dolgusu**

Mevcut zemin içerisine sıkıştırılmış çimento dolgusu ilave edilip karıştırılması yöntemi ile zeminde sıkılaşıma elde edilir. İyileştirme çalışmaları için zemine uygulanan çimento dolgusu göçmenin olduğu kısımda bir kiriş oluşturarak stabilizasyonu sağlayan karşı koyma kuvvetlerini arttırabilir (Abramson ve Diğ., 1996).

### **4.7.2. Konsolidasyon**

Killi birimlerden oluşan zeminlerin mukavemeti sürşarj dolgusu yapılarak arttırılabilir. Bazı durumlarda geotekstil veya kum drenajla beraber de kullanılabilen bu yöntemi gevşek temel zemini üzerine oturan dolgu malzemeleri için de elverişlidir. Sürşarj dolgusunun asıl işlevi, inşa aşamalarında oluşacak konsolidasyonun bir kısmının önceden gerçekleştirmektir. Oluşumun zaman sağlanacağı durumlarda boşluk basınçlarının daha erken dağılabilmesi için önkonsolidasyon drenajla beraber kullanılırlar (Abramson ve Diğ., 1996).

### **4.7.3. Termal iyileştirme**

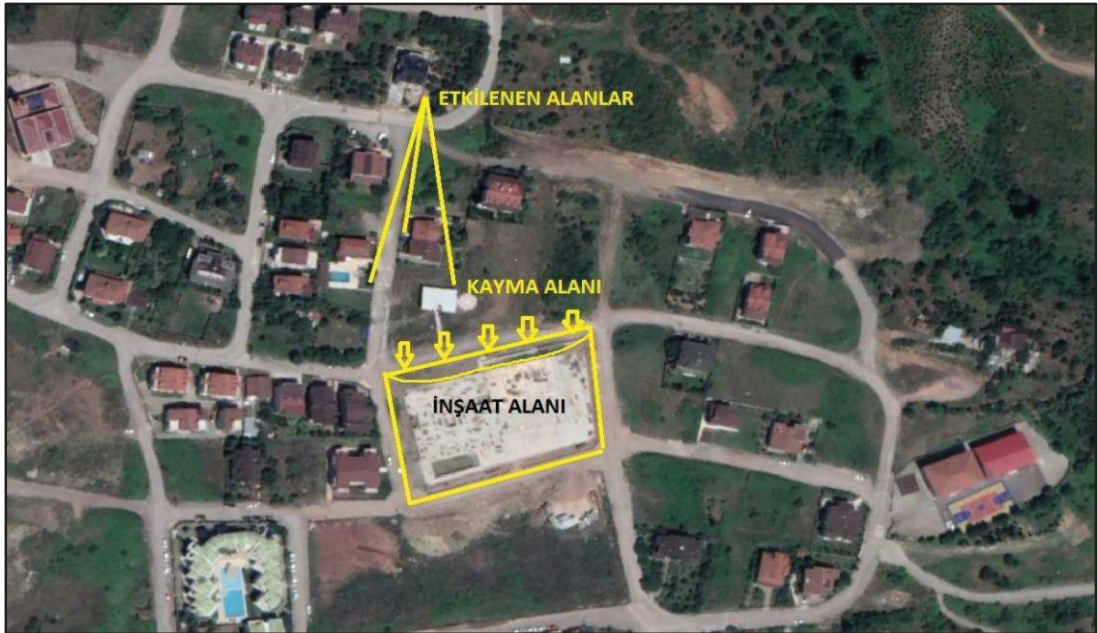
Zeminin fiziksel veya mekanik özelliklerinin ısıtılma veya dondurma yolu ile geçici veya kalıcı olarak değiştirilme yöntemidir. Isıtma yöntemi zeminin özelliklerini tamamen kalıcı olarak değiştirip daha sert ve dayanıklı zemin elde edilmesini sağlar. Zemin dondurma yöntemi ise geçici iyileştirme yöntemlerinin gerektiği yeraltı kazılarında geniş kullanıma sahiptir (Ekinci A., 2018).

## 5. SEÇİLEN BİR BÖLGEDE ŞEV STABİLİTE PROBLEMİNİN BELİRLENMESİ VE İYİLEŞTİRİLMESİ

Bu tez çalışmasında seçilen bölgede yaşanan stabilite sorununun aydınlatılması için gerekli çalışmalar yapılmış uygulanması gereken çözüm yöntemi belirlenmiştir. Seçilen bölgede 2017 yılında yapımına başlanmış olan bina çalışmaları için 4950 m<sup>2</sup>'lik alana sahip parselde yüklenici firma tarafından yaklaşık 87, 00 m uzunluğunda 7, 50 m derinliğinde bir temel kazı çalışması başlatılmıştır.

Gerçekleştirilen kazı çalışmasına başlanmadan önce imar planlarında önemli alan (ÖA) olarak belirlenmiş olmasına rağmen incelenmesi gereken kriterlere yeteri kadar önem verilmemiş, zeminin özellikleri ve taşıma gücü kontrolleri yeterli seviyede yapılmamıştır.

Kazı çalışmasına başlanma zamanının kış mevsimine denk gelmesi, kazı için uygun zaman olmaması olumsuz şartlar oluşturmuş bunun yanı sıra en önemlisi gerekli mühendislik tedbirleri alınmadan ve kazının desteksiz yapılması gibi sebeplere bağlı olarak zeminde stabilite sorunları yaşanmıştır.



Şekil 5.1. Çalışma bölgesi harita görüntüsü

Kazı çalışmasının yapıldığı parselin kuzey cephesinde zeminde kayma olmuş mevcutta bulunan 10, 00 m genişlikteki yol 3, 00 m genişlikte kalmış ve batı cephesinde bulunan yolda bir kısım göçme ile yüzeysel çatlaklar oluşmuştur.



Şekil 5.2. Parselin kuzey cephesinde bulunan yolda oluşan kaymalar



Şekil 5.3. Parselin batı cephesindeki yolda oluşan göçmeler



Şekil 5.4. Parselin kuzeydoğu cephesindeki yolda oluşan göçmeler

Yollarda oluşan zararların yanı sıra parselin çevresinde bulunan konut binalarında da farklı boyutlarda hasarlar meydana gelmiştir. Parselin kuzey cephesinde bulunan konutta zemindeki kayma ve göçmeye bağlı olarak temel altı dolgusu boşalmış ve yapılar arası güney istikametinde sapma göstermiş mesafe yaklaşık 40-45 cm olarak binalar arası açılmıştır. Herhangibir can kaybı meydana gelmemesi için güvenlik nedeni ile binalar boşaltılmıştır. Parselin batı cephesindeki yapıların bahçelerinde ve çevre duvarlarında da küçük çapta hasarlar meydana gelmiştir.



Şekil 5.5. Parselin kuzey kısmındaki hasar gören binaların görüntüsü





Şekil 5.6. Çevre yapılarında oluşan göçme, çatlak ve deformasyonlar

Oluşan tüm bu olumsuz durumların aydınlatılması ve alınacak önlemleri tespit etmek amacı ile zemin parameter değerlerinin bulunması için gerekli çalışmalar başlatılmıştır. Çalışma alanında gerçekleşen şev göçmelerinin sebebini belirlemek için dört ayrı profil boyunca kayma oluşabilecek konumlardan jeolojik kesitler alınmış ve gerekli stabilite analizi yapılmıştır. Seçilen çalışma alanında açılan sondaj kuyuları, arazi ve laboratuvar çalışmalarında kullanılmak üzere alınan örnekler değerlendirilmiş, mühendislik özellikleri araştırılmış, muhtemel zemin problemleri ve zemin davranışları ortaya çıkarılmıştır. Bu veriler ışığında alınması gereken önlemler “Sonlu Elemanlar Yöntemleri” ile belirlenmiştir.



Şekil 5.7. Çalışma bölgesinde belirlenen profil kesitleri

Seçilen bölgede yapılan sondaj çalışması rotary sistemle 11.01.2017-09.02.2017 tarihleri arasında 36,00 m, 27,00 m, 26,00 m, 24,00 m, 23,50 m, 21,00 m, 19,50 m, 2 adet 15,00 m, 13,50 m, 12,00 m ve 10,50 m olmak üzere 13 noktada sondaj çalışması yapılmış ve açılan sondajlardan alınan örselenmemiş zemin numuneleri üzerinde Üç Eksenli ve Tek Eksenli basınç deneyleri yapılmıştır. Sondaj kuyularına ait fotoğraflar ekte gösterilmiştir. (Ek-C)



Şekil 5.8. Seçilen çalışma alanındaki sondaj noktaları

Sondajlarda zemin ortamlarında sistematik olarak 1, 50-3, 00 m ara ile Standart Penetrasyon deneyleri gerçekleştirilerek SPT/N30 darbe sayıları belirlenmiş her seviyeden örselenmiş zemin numuneleri ve kaya kısmında karot numuneler alınarak gerekli deneylerin yapılması için özel bir laboratuvara gönderilmiştir.

Tablo 5.1. Sondaj kuyularına ait koordinatlar (ITRF96-UTM3°)

Sondaj Kuyu No	X Koordinatları	Y Koordinatları
SK-1	4515106,64	487259,80
SK-2	4515110,28	487323,73
SK-3	4515182,43	487316,95
SK-4	4515218,75	487395,35
SK-5	451 5127,80	487366,01
SK-6	4515185,82	487257,87
SK-7	4515140,87	487439,23
SK-8	4515169,64	487476,71
SK-9	4515084,21	487456,95
SK-10	4515024,94	487460,44
SK-11	4514989,49	487363,97
SK-12	4515036,27	487312,54
SK-13	4515071,43	487404,36

İnceleme alanında açılan sondajlarda değişik seviyelerden alınmış olan örselenmemiş (UD) zemin örnekleri üstünde yapılan basınç deneyleri neticesine göre kohezyon (c), içsel sürtünme açısı ( $\phi$ ), serbest basınç dayanımı değeri ( $q_u$ ) değerleri bulunmuştur.

Örselenmemiş (UD) zemin numuneleri üstünde yapılan üç eksenli basınç deneyleri sonucuna göre kohezyon  $C_u$ ; 0, 60-1, 01 kg/cm<sup>2</sup> arasında ve içsel sürtünme açısı  $\phi$ ; 1-6° arasında değiştiği belirlenmiştir (Tablo 5.2).

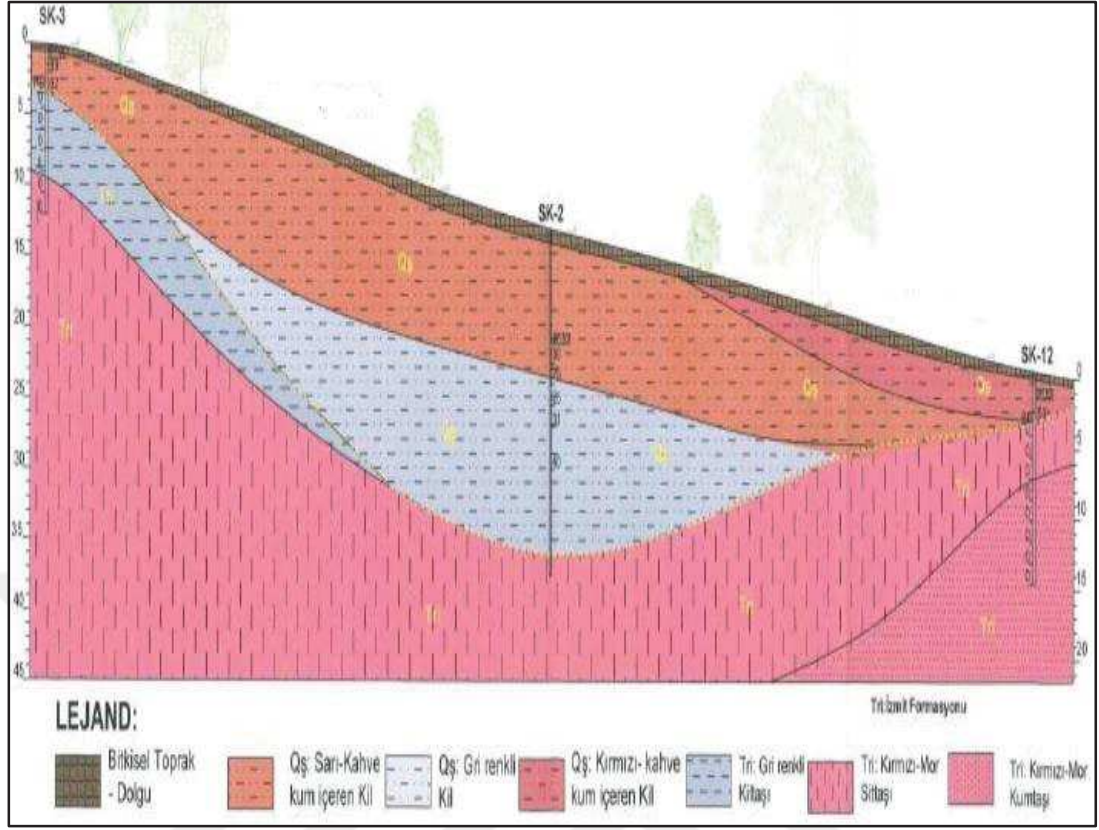
Tablo 5.2. Üç eksenli basınç deneyi sonuçları

Sondaj No	Seviye (m)	Üç Eksenli Basınç Dayanımı	
		c-kg/cm <sup>2</sup>	$\phi$ (°)
SK-2	5,50-6,00	0,96	6
SK-5	5,50-6,00	0,86	3
SK-6	4,00-4,50	0,89	4
SK-7	11,50-12,00	0,75	2
SK-8	8,50-9,00	0,82	2
SK-9	2,50-3,00	0,66	6
SK-9	10,00-10,50	1,01	4
SK-10	2,50-3,00	0,71	5
SK-11	13,00-13,50	0,6	1
SK-13	5,50-6,00	0,79	6
SK-13	25,00-25,50	0,81	4

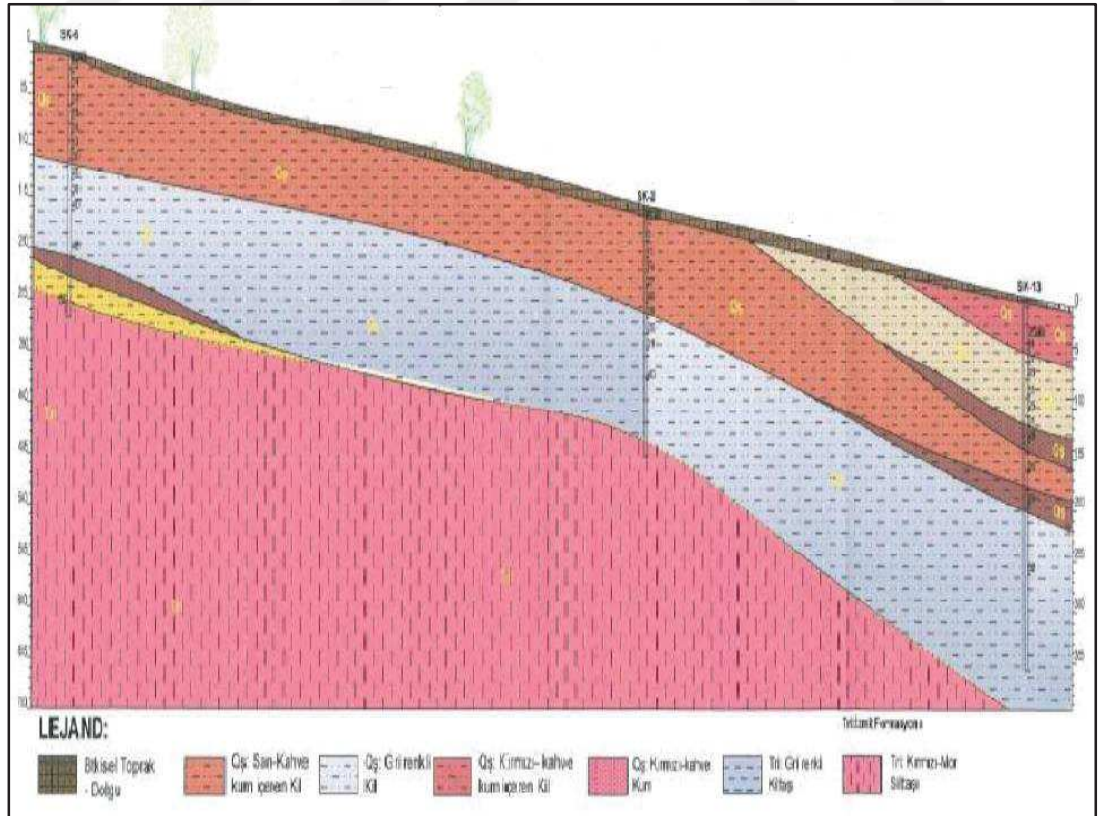
İnceleme alanında açılan sondajlarda örselenmemiş zemin numuneleri üstünde yapılan serbest basınç deneyleri sonucuna göre serbest basınç dayanımı değeri ( $q_u$ ) 1, 48-4, 27  $\text{kg/cm}^2$  arasında değiştiği görülmüştür (Tablo 5.3).

Tablo 5.3. Serbest basınç dayanım değerleri

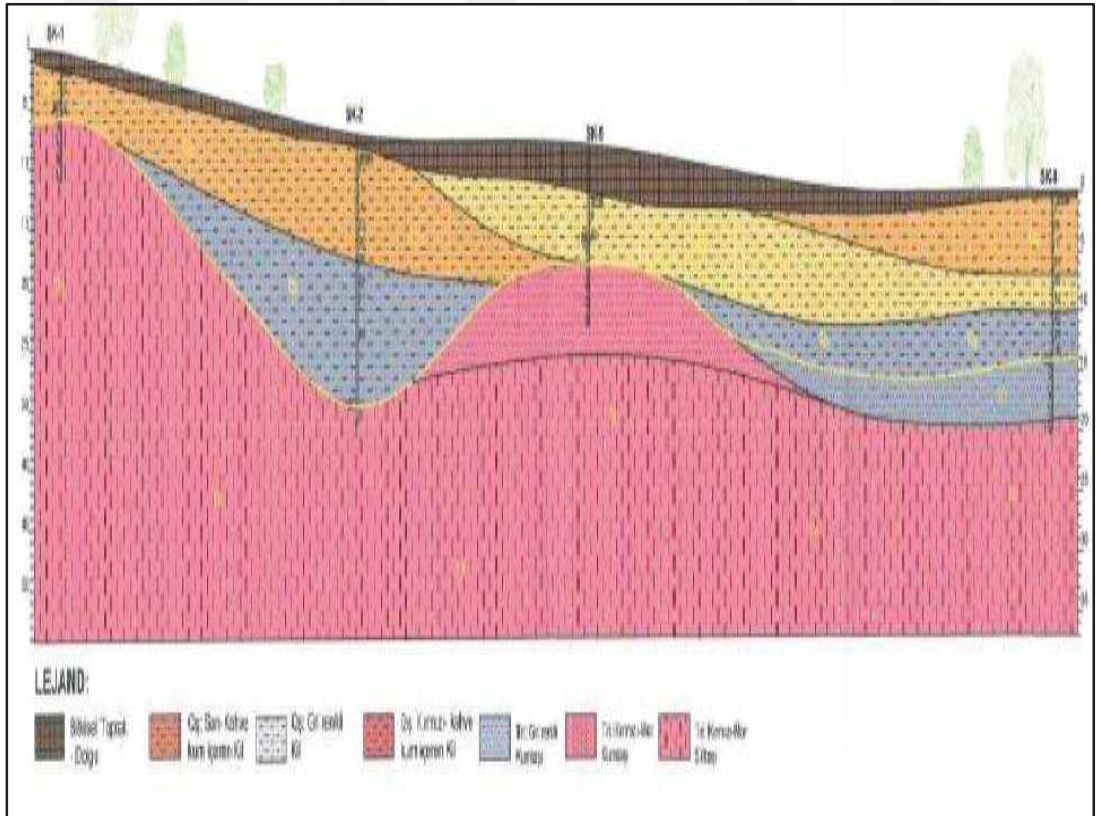
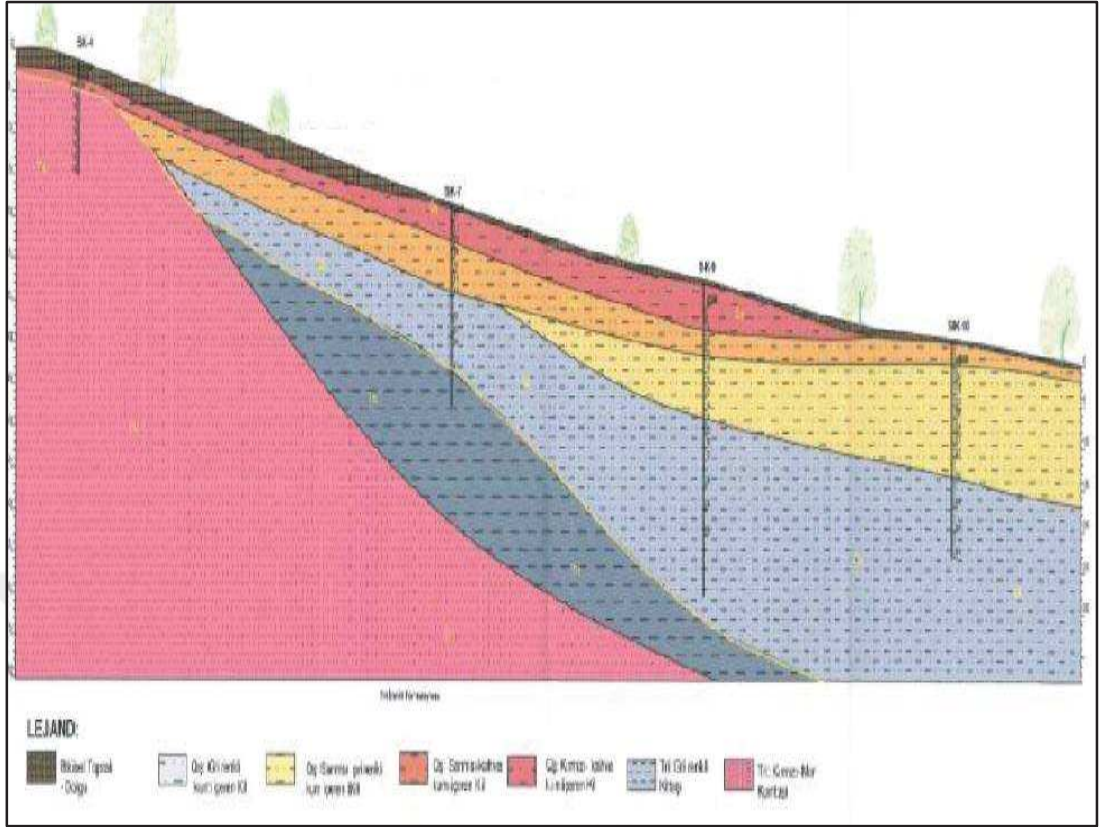
Sondaj No	Seviye (m)	$q_u$ ( $\text{kg/cm}^2$ )
SK-2	7,00-7,50	4,26
SK-2	8,50-9,00	4,27
SK-2	13,50-14,00	3,71
SK-5	7,00-7,50	2,38
SK-6	2,50-3,00	1,99
SK-6	5,50-6,00	2,39
SK-7	4,00-4,50	2,22
SK-7	5,00-5,50	1,83
SK-7	14,50-15,00	1,72
SK-8	2,50-3,00	3,46
SK-8	11,50-12,00	1,48
SK-9	5,50-6,00	2,54
SK-9	8,50-9,00	3,35
SK-9	16,00-16,50	2,5
SK-10	13,00-13,50	1,9
SK-10	16,00-16,50	2,17
SK-11	25,00-25,50	3,69
SK-11	2,50-3,00	2,44
SK-11	7,00-7,50	3,03
SK-11	10,00-10,50	2,41
SK-13	8,50-9,00	1,97
SK-13	10,00-10,50	2,24
SK-13	16,00-16,50	2,50



Şekil 5.9. Çalışma alanında A-A' hattı jeolojik enkesiti



Şekil 5.10. Çalışma alanında B-B' hattı jeolojik enkesiti



Çalışma bölgesindeki sondaj kuyularından alınan örneklerde yapılan Su Muhtevası Deneyleri ve Atterberg Limit Deneyleri sonucunda birimlerin Likit Limit, Plastik Limit ve Plastisite İndisi değerlerine ulaşılmıştır. Bunun yanında açılan sondaj kuyularından alınan karot numuneleri üzerinde Nokta Yük Dayanımı deneyleri yapılmıştır.

Yapılan sondaj çalışmaları doğrultusunda zeminin üst tabakasında ortalama kalınlığı 0,50-4,00 m civarında olan nebati toprak ve doldurma zemin bulunmaktadır. Bu tabakanın altındaki kısmın; alanın kuzeyinden güneyine gidildikçe kalınlaşmakta olan kil barındıran kum-çakıllar ve kum barındıran kil-siltlerden oluşmakta olduğu gözlemlenmiştir. Alanda belirlenen kil taşlarının kayaç sınıfının düşük-orta-yüksek dayanımda, silt taşlarının kayaç sınıfının çok düşük-orta-yüksek dayanımlı ve kum taşlarının kayaç sınıfının orta-yüksek dayanımlı olduğu belirlenmiştir. Deney sonuçları sondaj loglarında görülen birimler ekte (Ek-B Sondaj Logları Sonuç Tablosu) gösterilmiştir.

İnceleme alanında açılan sondaj kuyularının 4,00 m ile 7,80 m seviyeleri civarında yer altı suyuna rastlanmıştır.

Tablo 5.4. Sondajlarda rastlanan yeraltı suyu seviyeleri

Sondaj No	Yer altı Suyu (metre)	Sondaj No	Yer altı Suyu (metre)
SK-1	5,20	SK-8	6,75
SK-2	4,65	SK-9	5,30
SK-3	6,50	SK-10	4,90
SK-4	7,80	SK-11	4,00
SK-5	5,60	SK-12	4,80
SK-6	7,20	SK-13	5,50
SK-7	5,20		

Alanda zeminin ilk 7,00 m de katı kil-siltli killerden oluşup zemin grubu ZD (TDY 2007'ye göre C grubu), zemin sınıfı Z2 olarak belirlenmiştir. 7,00 m'nin altındaki zemin kısmında rastlanan çok katı killi birimler ve bölge formasyonuna ait çatlaklı kum taşları için zemin grubu ZC (TDY 2007'ye göre B grubu) , zemin sınıfı Z2 olarak belirlenmiştir. İnceleme alanında yapılan sondaj kuyulardan alınan örselenmiş (SPT) ve örselenmemiş (UD) zemin örnekleri üzerinde indeks özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan deney sonuçları ekte (Ek-A) gösterilmiştir.

### 5.1. Kazı Güvenliği ve Gerekli Önlemlerin Alınması

Seçilen çalışma bölgesinde meydana gelen şev stabilitesinin bozulmasında; zeminin türü, zemindeki su içeriği, yağışlar nedeni ile zemin ortamının doygun hale gelmesi ve yapılan inşaatın desteksiz temel kazıları başlıca nedenler olarak gösterilebilir. Çalışma alanında takriben 7,50 m'lik kazı aynasının açılması ve bunun yanında mevsim yağışlarındaki artış gibi sebepler; inceleme sahasının üst tarafında bulunan killi-kumlu-çakıllı zemin birimlerinde kaymaya karşı direnen kuvvetlerde azalmaya neden olmuştur. Bu nedenlere bağlı olarak bölgede şev göçmesi meydana gelmiş, civardaki yakın yapılarda deformasyonlar ve zeminde yer yer derin olmayan kaymalara neden olduğu gözlemlenmiştir. Alanda stabilite bozulmasının ardından kaymayı durdurmak ve hızlı çözüm elde etmek adına kazı alanının kuzey cephesinde bir istinat duvarı yapılmıştır. Ancak bu duvarın kesitinin uygun olmaması ve muhtemel kazı yüzeyinin üzerinde bulunmasından dolayı yapılan istinat duvarı ilede stabilite bozukluğu giderilememiş ve duvarda zemini kaymasına bağlı olarak ötelenme meydana gelmiştir.

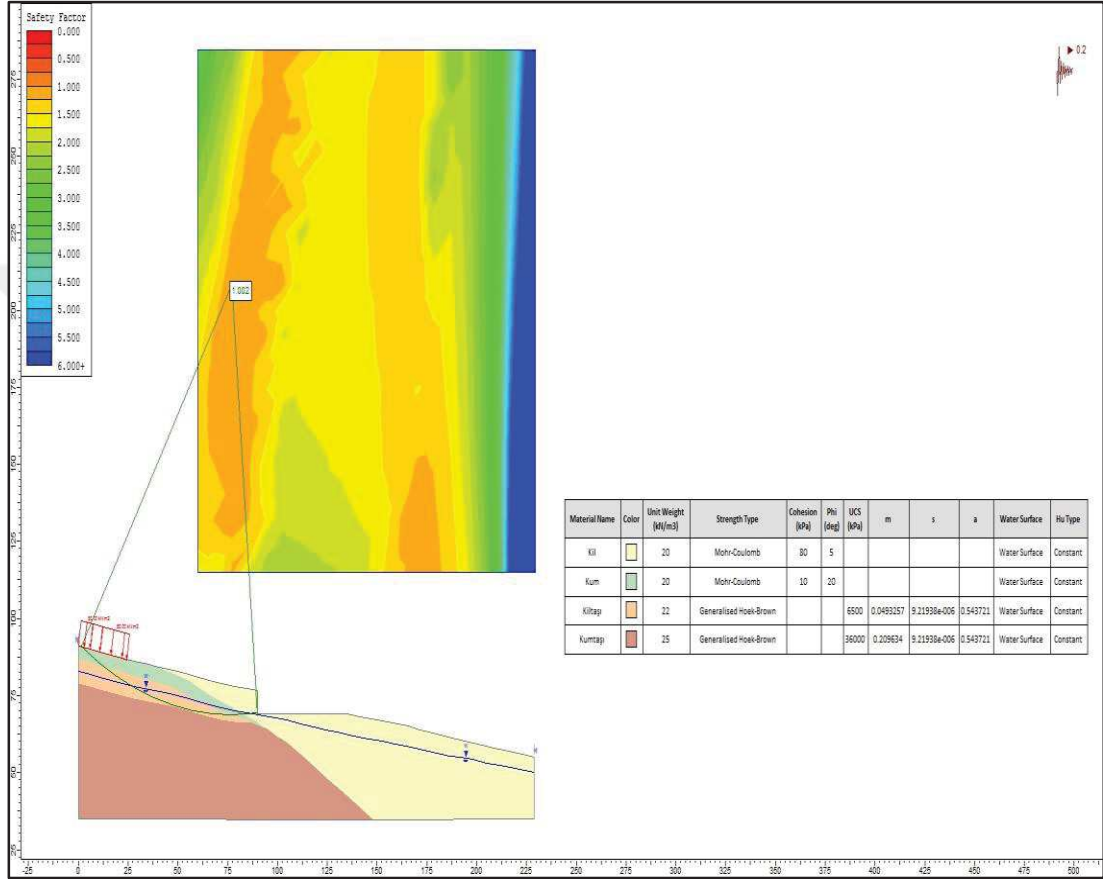


Şekil 5.13. Önlem için yapılan istinat duvarı çalışması



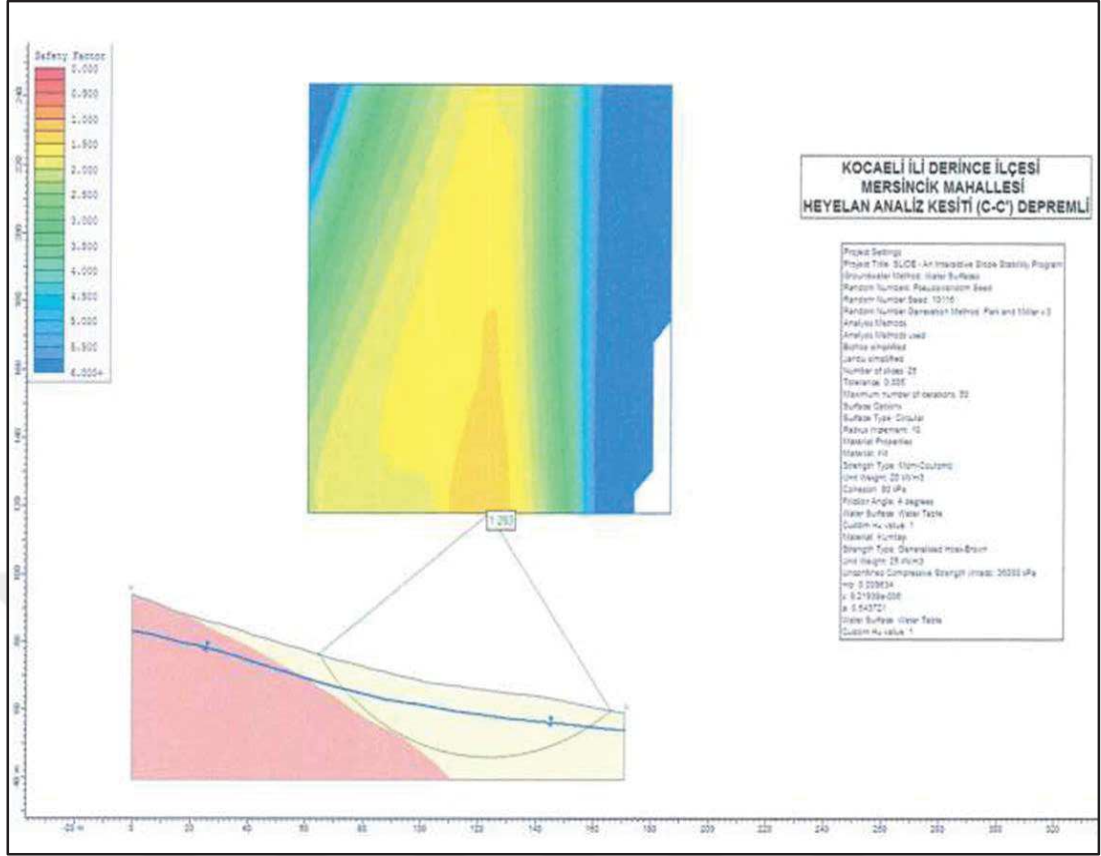


Yapılan B-B' analizinde alanın kuzeyinde zemin üstte 6,00 m seviyelere kadar kumlu birim, altta 8,00 m seviyelerine kadar kiltaşlarından ve alt seviyelerde kumtaşlarından oluştuğu belirlenmiştir. Zeminin üst seviyelerinde kumlardan oluşan birimlerde UD numunesi alınamaması nedeniyle heyelan analizlerinde TS 498'e göre kumlar için belirlenmiş olan  $c: 10 \text{ kPa}$ ,  $\phi: 5^\circ$  değerleri kullanılmıştır.



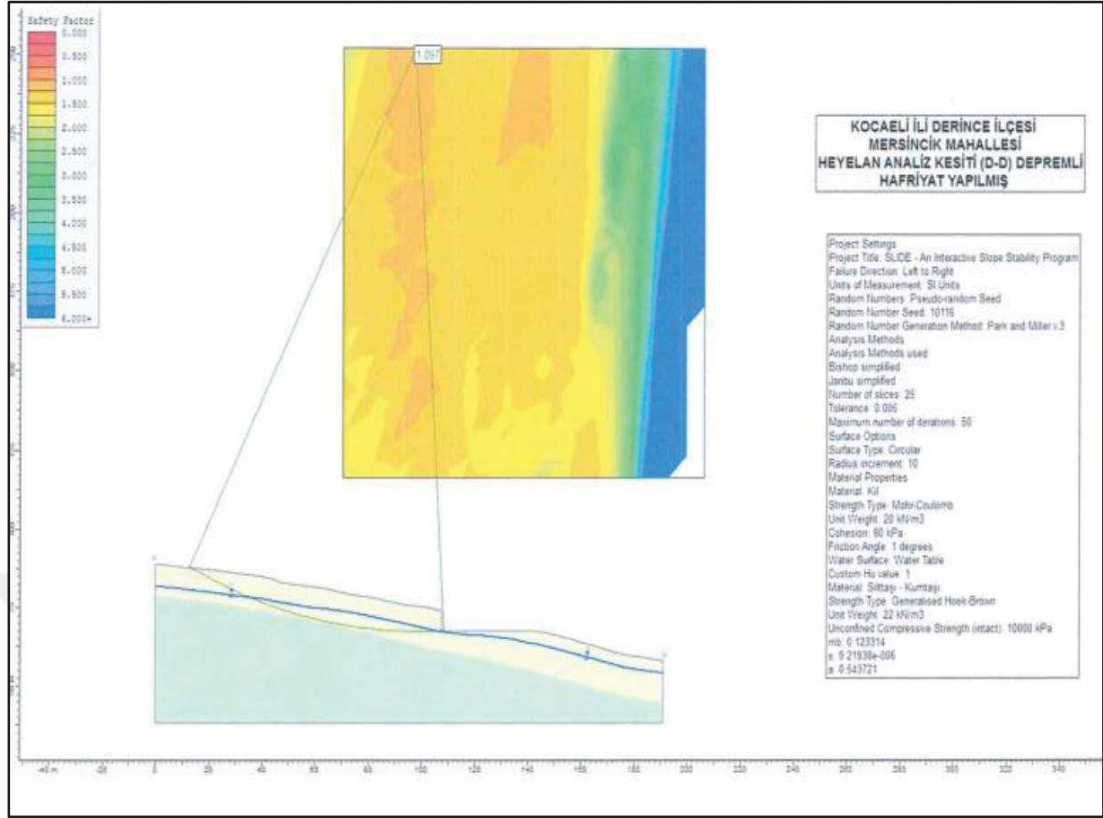
Şekil 5.16. B-B' kesiti hafriyat yapılmış ve 50 kN yük uygulanmış durum

Yapılan C-C' analizinde zemin üstte killi birimlerden, alt seviyelerde ise kumtaşlarından oluştuğu belirlenmiştir. Zemin üst seviyelerinde yer alan killerden oluşan birimde laboratuvar deneyleri sonucunda  $c: 80 \text{ kPa}$ ,  $\phi: 4^\circ$  değerleri kullanılmıştır. Alt seviyelerde rastlanan kumtaşından oluşan seviye için laboratuvar deneyleri sonucunda elde edilen  $q: 36000 \text{ kN/m}^2$  değerleri kullanılmıştır.



Şekil 5.17. C-C' heyelan analizi kesiti (depremlı)

Yapılan D-D' analizinde zeminin üstte killi birimlerden, alt seviyelerde ise siltaşlarından-kumtaşlarından oluştuğu belirlenmiştir. Zeminin üst seviyelerinde yer alan killerden oluşan birimde laboratuvar deney sonuçlarında  $c: 60 \text{ kPa}$ ,  $\phi: 1^\circ$  değerleri kullanılmıştır. Alt seviyelerde rastlanan siltaşı-kumtaşından oluşan seviye için deney sonuçlarında elde edilen  $q: 12000 \text{ kN/m}^2$  değerleri kullanılmıştır.



Şekil 5.18. D-D' heyelan analizi kesiti (depremlı)

Tablo 5.5. Şev stabilite analizi Gs değerleri

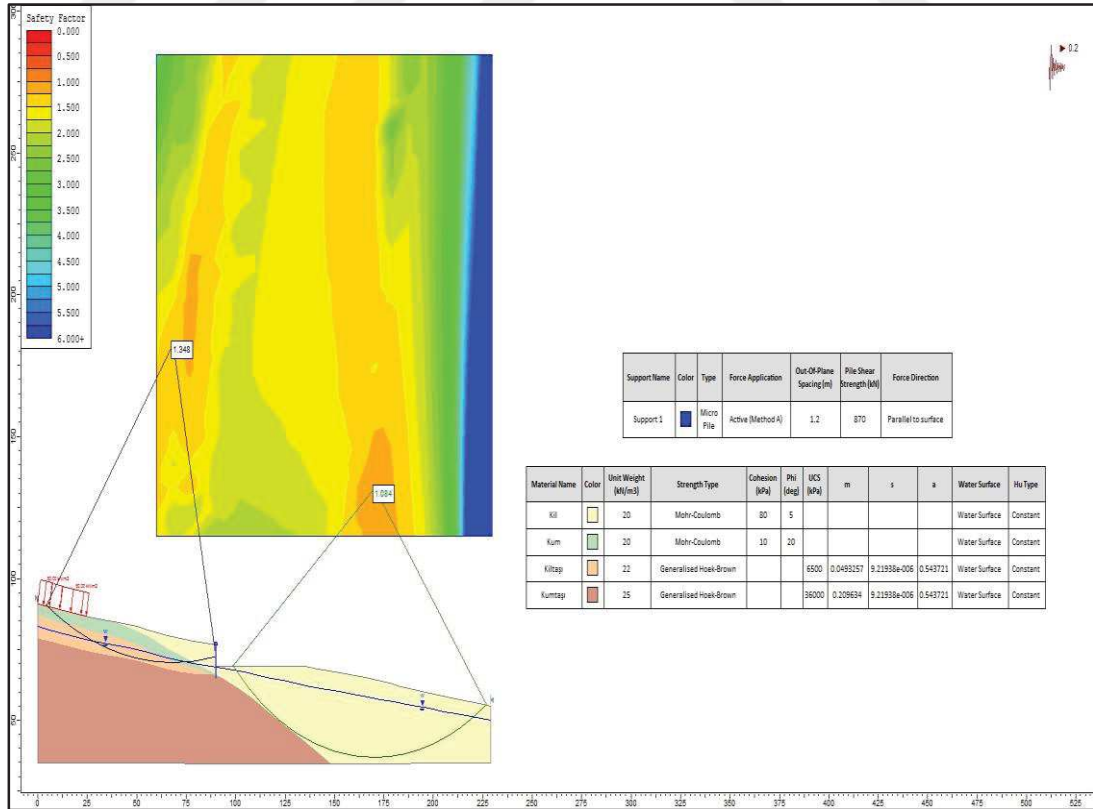
Şev Stabilite Analizi Kesit Hattı	Dairesel Yöntem Gs Değerleri
A – A' (Depremlı)	2,014
A – A' (Depremsız)	4,363
B – B' (Depremlı)	1,071
B – B' (Depremsız)	2,530
B – B' (Hafriyat yapılmış-Depremlı)	1,029
B – B' (Hafriyat yapılmış ve 50 kN yük uygulanmış-Depremlı)	1,002
C – C' (Depremlı)	1,293
C – C' (Depremsız)	3,055
D – D' (Depremlı)	1,068
D – D' (Depremsız)	2,167
D – D' (Hafriyat yapılmış-Depremlı)	1,097
D – D' (Hafriyat yapılmış ve 50 kN yük uygulanmış-Depremlı)	1,020

Duraysızlığa neden olan B-B' ve D-D' hattında üzerinde belirlenmiş olan güvenlik katsayısının slide analiz programında Şekil 5.5'te gösterildiği gibi hafriyat yapılmış depremlili ve 50 kN yük uygulanmış olarak bulunan 1,002 değerindeki güvenlik katsayısı elde edilmiştir. Bu düşük stabilitenin yükseltilmesi için kazı alanında kazık yapılması planlanmış ve en kritik olan B-B' kesitinde kazık modellenerek stabilite analizi yapılmıştır. Kazıklar 60 cm çapında 12 m boyunda tasarlanmıştır. Şekil 5.6'da kazıkların özellikleri verilmiştir.

Tablo 5.6. Betonarme fore kazıklı iksa sistemi

Kazık Yeri	Kazık Çapı (cm)	Kazık Boyu (m)	Kazık Tipi	Kazık Eksen Aralıkları (m)	İksa Duvar Uzunluğu (m)
Kuzey Yamaç	60	12	Aralıklı	0,80	45
Batı Yamaç	60	12	Aralıklı	0,80	40

B-B' kesitinde kazık tanımlandıktan sonra Slide program ile tekrar analiz yapılmış ve güvenlik sayısı 1,348 olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.19. B-B' kesiti hafriyat yapılmış, 50 kN yük uygulanmış ve fore kazık uygulanmış durum

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

- Şev stabilitesi kaymaya karşı direnen kuvvetlerin, kaymaya zorlayan kuvvetlere oranı olarak belirtilmiş olan güvenlik katsayısı (GS)'nin, TS 8853 standartları kapsamında değerlendirildiğinde Gs değerinin 1,2 nin altında olması durumunda zeminin duraysız, 1,2 nin üstünde olması durumunda zeminin duraylı olduğu kabul edilir. Deprem ivmesinin (yatay ivme= 200 cm/sn<sup>2</sup> (gal)) dikkate alınması durumunda analiz sonuçları değerlendirildiğinde GS değerinin A-A' ve C-C' kesitlerinde 1,2 nin üzerinde olması nedeni ile zeminin depremlı ve depremsiz durumda duraylı olduğu, diğer B-B' ve D-D' kesitlerinde ise depremlı durumda GS nin 1,2 altında olduğu belirlenmiş olup, kumlu-killi zeminler yamaç boyunca şev duraysızlığına sebep olmuştur. Ayrıca bu kesit hatları boyunca hafriyat yapılmış ve yük uygulanmış olarak yapılan analizlerde de (Gs) değerinin 1,2'nin altında olduğu belirlenmiştir.
- Güvenlik katsayısının yükseltilmesi için kazı alanının batı ve kuzey cephelerinde fore kazıklar ile iksa sistemi yapılmıştır.
- Çalışma bölgesinde B-B' kesiti ve D-D' kesitinde depremlı durumda GS değerinin 1,2' nin altında olduğu belirlenmiş olup kumlu-killi birimler yamaçta duraysızlığa sebep verebileceğinden Slide analiz programı ile B-B' kesitinde hafriyat yapılmış ve 50 kN yük uygulanarak analiz yapılmış ve çözüm önerisi belirlenerek betonarme kazık projesi hazırlanmıştır. Yapılacak betonarme fore kazıklar 20 adet 0,80 m aralıklarla 0,60 m çapında, 12 m boyunda iksa duvar uzunluğu kuzey cephesinde 45 m, batı cephesinde 40 m olacak şekilde üst taraftan betonarme başlık kirişi ile bağlanmıştır.
- Bölgede bundan sonra bilinçsiz kazı çalışması yapılmaması önem taşımaktadır. Kazı çalışmalarında mutlaka stabilite sorunu incelenmeli, gereğinde alınacak tedbirler bir proje dahilinde yapıldıktan sonra kazı çalışmalarına müsadde edilmelidir.

## KAYNAKLAR

- Abramson L.W., 1996, *Slope Stability and Stabilizations Methods*, Wiley, New York.
- Akçakal Ö., 2009, *Şev Stabilite Analizinde Geri Hesap Yöntemi ve Bir Vaka Analizi, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Bjerrum L. and Flodin N., 1960, *The Development of Soil Mechanics in Sweden 1900-1925*, *Geotechnique*, **Vol.10, No.1**, pp1-18.
- Canik B., 2009, *Şev Stabilitesinde Kullanan Kazıkların Deprem Etkisi Altındaki Davranışı, Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi
- Coduto D. P., 2006, *Geoteknik Mühendisliği İlkeler ve Uygulamalar*, Gazi Kitabevi.
- Çetin T., 2010, *Şev Stabilite Analizleri İçin Bilgisayar Programının Geliştirilmesi ve Analiz Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi*, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa.
- Davis T., 2008, *Geotechnical Testing, Observation and Documentation*, Virginia: American Society of Civil Engineers.
- Duncan J.M., 1992, *Static Stability and Deformation Analysis*, Special Publication, **ASCE No.35:2:222**.
- Duncan J. M. and Wrigth S. G., 1980, *The Accuracy of Equilibrium Methods of Slope Stability Analysis*, *Engineering Geology*, **16:1**, 5-17, Proceedings of International Symposium on Landslides, New Delhi, India.
- Ekinci A., 2018, *Zemin İyileştirme Yöntemleri, Zemin Etüdü ve Uygulama Alanları*, *Department of Civil , Environmental & Geomatic Engineering*, University College London, UK.
- Gökoğlu Ö., 2015, *Doygun Olmayan Zeminlerde Şev Stabilite Analizi, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Hammouri N. A., Malkawi, A. I. H. and Yamin, M. M. A., 2007, *Stability Analysis of Slopes Using The Finite Element Method and Limiting Equilibrium Approach*, *Bulletin Of Engineering Geology*, **67:471–478**.
- Isakov A. & Moryachkov Y., 2014, *Estimation of Slope Stability Using Two-Parameter Criterion of Stability*, American Society of Civil Engineers.
- Kim J., Salgado R. and Lee J., 2002, *Stability Analysis of Complex Soil Slopes Using Limit Analysis*, *J. Geotech. Geoenviron. Eng. ASCE* **128-7:546– 557**.

McCarthy D.F., 1998, *Essentials of Soil Mechanics and Foundations*, Fifth Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey 730p.

Morrison I.M. and Greenwood J.R., 1989, *Assumptions in Simplified Slope Stability Analysis by the Method of Slices*, *Geotechnique*, **39.3**:503-509.

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

Özaydın K., 2001 ve 2008, *Zemin Mekaniği*. Birsen Yayınevi, İstanbul, Türkiye.

Özsoy C., 1998, *Kohezyonlu ve Kohezyonsuz Zeminlerde Şev Stabilitesi ve Uygulama Yöntemleri*, *Yüksek Lisans Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya.

Öztürk K., 2002, *Heyelanlar ve Türkiye'ye Etkileri*, G.Ü. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, **Cilt 22**, Sayı 2.

Petterson K. E., 1955, *The Early History of Circular Sliding Surfaces*, *Geotechnique*, **Vol. 5**, pp.275-296.

Popescu M.E. and Sasahara K., 2009, *Landslides – Disaster Risk Reduction*, Springer Berlin Heidelberg.

Saklara S., Bayraktara İ., Öner M., 2000, *İnce Tane Boyu Analizinde Kullanılan Yöntemler*, *Madencilik Dergisi*, **Cilt-Volume 39**, Sayı 2.

Sun J., Li J. and Liu Q., 2008, *Search for Critical Slip Surface in Slope Stability Analysis by Spline-Based GA Method*, *Technival Note*, **10.1061 / ASCE 1090-0241 2008 134:2 252**.

Tekgözoğlu K., 2014, *Anamur – Kaledran Devlet Karayolu İnşaatında Açılan Derin Yarmaların Şev Stabilitesi Açısından Değerlendirilmesi*, *Yüksek Lisans Tezi*, Hacettepe Üniversitesi, İstanbul.

Tekin A., 2011, *Sonlu Elemanlar ve Limit Denge Yöntemleri ile Şev Stabilite Analizi*, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi.

Ulusay R., 2008, *Heyelanlar ve Mühendislik Sevlerindeki Duraysızlıklar, Türleri, Etkileri ve Zararların Azaltılması*, DMO e-kutuphane, **3940**.

Varnes D. J., 1978, *Landslides Analysis and Control*, *Special Report 176*, pp.20-47, R. L. Scuster and R. J. Krizek, Ed., Transportation Research Board, Highway Research Council.

Yamak S., 2017, *Karayolu Şevlerinde Boşluk Suyu Basınç Değişikliklerinin Şev Stabilitesine Etkisinin İncelenmesi*, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Ankara.





**EKLER**

## Ek-A Laboratuvar Deney Sonuçları

Proje Adı	Jeolojik - Jeoteknik Etüt Raporu		Numunenin Geliş Tarihi		18.01-10.02.2017											
Deney Talep Eden			Rapor Tarihi		28.02.2017											
Numunenin Yeri			Lab. - Rapor No		Z-2017 / 34											
Pafta/ Ada / Parsel			Bakanlık No		12077121											
LABORATUVAR DENEY SONUÇLARI ÖZET FORMU																
SONDAJ NO	NUMUNE TİPİ VE ADI	DERİNLİK (METRE)	SU İÇERİĞİ (%)	DOĞAL BİRİM HACİM AĞIRLIK (gr/cm <sup>3</sup> )	ELEK ANALİZİ			ATTERBERG LİMİTLERİ			Zemin Sınıfı (USCS)	SERBEST BASINÇ q <sub>u</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	ÜÇ EKSENLİ BASINÇ Cup (kg/cm <sup>2</sup> )	KONSOLIDASYON HACİMSEL SIKIŞMA KATSAYISI (mv) (cm <sup>2</sup> /kg)	NOKTA YÜKLEME DAYANIM İNDEKSİ (kg/cm <sup>2</sup> )	
					#4 GEÇEN (%)#200 GEÇEN (%)	LL (%)	PL (%)	PL (%)	PI (%)							
SK-1	SPT	3,00-3,45	12,94		21,94	28,03	29,90	20,60	9,30	SC						
SK-1	SPT	4,50-4,95	12,28		28,98	26,98		NP		SM					13,80	
SK-1	KAROT	5,50-6,00														12,88
SK-1	KAROT	6,00-7,50														9,67
SK-1	KAROT	7,50-9,00														7,90
SK-1	KAROT	9,00-10,50														
SK-2	SPT	3,00-3,45	24,38		0,00	94,62	50,70	21,50	29,20	CH						
SK-2	UD	5,50-6,00	25,50	2,01	0,00	97,47	57,20	24,90	32,20	CH	0,96	6				
SK-2	SPT	6,00-6,45	26,27		0,00	97,37	55,20	23,00	32,30	CH						
SK-2	UD	7,00-7,50	24,97	1,96	0,00	96,68	58,00	24,50	33,50	CH	4,46					
SK-2	UD	8,50-9,00	22,34	2,03	0,00	95,90	53,60	19,50	34,20	CH	4,27					
SK-2	SPT	9,00-9,45	22,78		0,00	96,48	52,80	20,30	32,50	CH						
SK-2	SPT	12,00-12,45	27,13		0,00	96,64	40,50	27,80	12,70	ML						
SK-2	UD	13,00-13,50	31,89		0,00	98,26	48,50	34,10	14,50	ML						
SK-2	SPT	13,50-13,95	27,08		0,00	95,81	40,50	24,20	16,30	CL	3,71					
SK-2	SPT	16,50-16,95	29,30			96,69	42,70	22,20	20,50	CL						

SK-8 nolu kuyunun 5,50-6,00 metre, SK-10 nolu kuyunun 7,00-7,50 metre seviyesindeki alınan UD numuneleri kumlu ve dağınık olduğundan tek/üç eksenli basınç deneyleri yapılamamıştır.

Proje Adı	Jeolojik - Jeoteknik Etüt Raporu		Numunenin Geliş Tarihi		18.01-10.02.2017										
Deney Talep Eden			Rapor Tarihi		42.794,00										
Numunenin Yeri			Lab. - Rapor No		Z-2017 / 34										
Pafta/ Ada / Parsel			Bakanlık No		12077121										
<b>LABORATUVAR DENEY SONUÇLARI ÖZET FORMU</b>															
SONDAJ NO	NUMUNE TİPİ VE ADI	DERİNLİK (METRE)	SU İÇERİĞİ (%)	DOĞAL BİRİM HACİM AĞIRLIK (gr/cm <sup>3</sup> )	ELEK ANALİZİ			ATTERBERG LİMITLERİ			Zemin Sınıfı (USCS)	SERBEST BASINÇ q <sub>u</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	ÜÇ EKSENLİ BASINÇ Çup (kg/cm <sup>2</sup> )	KONSOLIDASYON HACİMSEL SIKIŞMA KATSAYISI (mv) (cm <sup>2</sup> /kg)	NOKTA YÜKLEME DAYANIM İNDEKSİ (kg/cm <sup>2</sup> )
					#4 GEÇEN (%)	#200 GEÇEN (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)						
SK-2	KAROT	22.00-22.50													10,02
SK-2	KAROT	22.50-24.00													70,05
SK-3	SPT	1.50-1.95	11,45		16,92	45,52	27,40	19,70	7,70						
SK-3	SPT	3.00-3.45	12,29		17,79	39,69	28,90	16,70	12,10						
SK-3	KAROT	6.00-7.50													57,70
SK-3	KAROT	7.50-9.00													29,85
SK-3	KAROT	9.00-10.50													19,14
SK-3	KAROT	10.50-12.00													5,66
SK-4	SPT	3.00-3.45	11,13		47,24	28,76	28,30	14,90	13,30						
SK-4	KAROT	10.50-12.00													42,05
SK-4	KAROT	12.00-13.50													49,71
SK-5	UD	5.50-6.00	29,71	1,96	0,00	98,08	51,40	24,40	27,10		0,86	3,00			
SK-5	SPT	6.00-6.45	28,64		0,00	96,70	51,50	22,10	29,40						
SK-5	UD	7.00-7.50	25,46	2,02	0,00	95,43	54,80	21,20	33,60						
SK-5	SPT	7.50-7.95	18,36		4,61	37,28	30,10	17,70	12,40						

SK-8 nolu kuyunun 5,50-6,00 metre, SK-10 nolu kuyunun 7,00-7,50 metre seviyesindeki alınan UD numuneleri kumlu ve dağılım olduğundan tek/üç eksenli basınç deneyleri yapılamamıştır.

Proje Adı		Jeolojik - Jeoteknik Etüt Raporu		Numunenin Geliş Tarihi		18.01-10.02.2017						
Deney Talep Eden				Rapor Tarihi		28.02.2017						
Numunenin Yeri				Lab. - Rapor No		Z-2017 / 34						
Pafta/ Ada / Parsel				Bakanlık No		120771121						
<b>LABORATUVAR DENEY SONUÇLARI ÖZET FORMU</b>												
SONDAJ NO	NUMUNE TİPİ VE ADI	DERİNLİK (METRE)	SU İÇERİĞİ (%)	DOĞAL BİRİM HACİM AĞIRLIK (gr/cm <sup>3</sup> )	ELEK ANALİZİ			Zemin Sınıfı (USCS)	SERBEST BASINÇ qu (kg/cm <sup>2</sup> )	ÜÇ EKSENLİ BASINÇ φ up (°)	KONSOLIDASYON HACİMSEL SİKŞİMA KATSAYISI(mv) (cm <sup>2</sup> /kg)	NOKTA YÜKLEME DAYANIM İNDEKSİ (kg/cm <sup>2</sup> )
					#4 GEÇEN (%) #200 GEÇEN (%)	LL (%)	PL (%)					
SK-5	KAROT	13,5-15,00										59,36
SK-6	SPT	1,50-1,95	20,67		2,59	60,16	39,60	15,60				
SK-6	UD	2,50-3,00	24,45	1,94	2,11	71,27	54,10	24,00	30,20			
SK-6	UD	4,00-4,50	23,72	2,01	0,00	73,84	50,40	21,10	29,40	0,69	4,00	
SK-6	SPT	4,50-4,95	21,74		4,71	69,02	48,40	24,20	24,20			
SK-6	UD	5,50-6,00	23,78	1,99	0,17	73,67	49,00	19,80	29,20			
SK-6	SPT	7,50-7,95	21,93		0,00	78,23	47,30	19,40	27,90			
SK-6	SPT	10,50-10,95	21,43		0,00	78,18	47,30	19,50	27,80			
SK-6	SPT	12,00-12,45	28,22		0,00	97,61	44,70	16,00	28,80			
SK-6	SPT	15,00-15,45	27,70		0,00	95,66	40,70	22,90	17,80			
SK-6	SPT	19,50-19,95	23,47		0,00	81,94	34,40	18,00	16,50			
SK-6	KAROT	25,50-27,00										23,18
SK-7	SPT	1,50-1,95	18,48		3,53	62,87	34,70	19,40	15,30			
SK-7	SPT	3,00-3,45	19,94		8,70	68,87	30,10	17,60	12,50			
SK-7	UD	4,00-4,50	17,69	2,06	12,89	57,25	30,10	18,10	12,00	2,22		
SK-8 nolu kuyunun 5,50-6,00 metre, SK-10 nolu kuyunun 7,00-7,50 metre seviyesindeki alınan UD numuneleri kumlu ve dağınık olduğundan tek/üç eksenli basınç deneyleri yapılmamıştır.												

Proje Adı		Jeolojik - Jeoteknik Etüt Raporu		Numunenin Geliş Tarihi		18.01-10.02.2017										
Deney Talep Eden				Rapor Tarihi		28.02.2017										
Numunenin Yeri				Lab. - Rapor No		Z-2017 / 34										
Pafta / Ada / Parsel				Bakanlık No		12077121										
<b>LABORATUVAR DENEY SONUÇLARI ÖZET FORMU</b>																
SONDAJ NO	NUMUNE TIPI VE ADI	DERİNLİK (METRE)	SU İÇERİĞİ (%)	DOĞAL BİRİM HACİM AĞIRLIK (gr/cm <sup>3</sup> )	ELEK ANALİZİ			ATTERBERG LİMİTLERİ			Zemin Sınıfı (USCS)	SERBEST BASINÇ qu (kg/cm <sup>2</sup> )	ÜÇ EKSENİLİ BASINÇ		NOKTA YÜKLEME DAYANIM İNDEKSİ (kg/cm <sup>2</sup> )	
					#4 GEÇEN (%)	#200 GEÇEN (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)	Cup (kg/cm <sup>2</sup> )			φ up (°)	HACİMSEL SIKIŞMA KATSAYISI (mv) (cm <sup>2</sup> /kg)		
SK-7	SPT	4,50-4,95	19,41		15,30	58,43	34,90	18,70	16,20							
SK-7	UD	5,50-6,00	22,18	2,05	0,00	97,08	60,80	22,80	38,00		1,83					
SK-7	SPT	6,00-6,45	20,24		0,00	81,14	42,20	21,20	21,00							
SK-7	SPT	7,50-7,95	21,70		1,87	68,19	41,80	19,50	22,30							
SK-7	SPT	9,00-9,45	35,68		0,94	86,13	49,40	27,70	21,60							
SK-7	SPT	10,50-10,95	29,74		10,18	63,15	49,90	24,60	25,30							
SK-7	UD	11,50-12,00	33,00	1,88	0,00	95,66	48,60	26,10	22,50			0,75	2,00			
SK-7	SPT	13,50-13,95	35,00		0,00	84,91	49,10	28,90	20,20							
SK-7	UD	14,50-15,00	33,11	1,88	0,00	96,52	49,60	27,10	22,60		1,72					
SK-7	SPT	15,00-15,45	35,62		0,00	97,30	48,80	28,00	20,80							
SK-7	SPT	16,50-16,95	35,83		0,00	97,83	52,10	28,20	23,90							
SK-7	SPT	19,50-19,95	23,97		5,52	66,31	40,20	20,20	20,00							
SK-8	UD	2,50-3,00	21,53	2,08	3,97	73,70	48,20	23,90	24,20							
SK-8	SPT	3,00-3,45	14,86		3,56	62,44	4,80	17,10	17,70							
SK-8	SPT	4,50-4,95	18,37		8,20	65,46	44,10	18,90	25,20							

SK-8 nolu kuyunun 5,50-6,00 metre, SK-10 nolu kuyunun 7,00-7,50 metre seviyesindeki alınan UD numuneleri kumlu ve dağlan oldığından tek/üç eksenli basınç deneyleri yapılamamıştır.

Proje Adı		Jeolojik - Jeoteknik Etüt Raporu		Numunenin Gelış Tarihi		18.01-10.02.2017								
Deney Talep Eden				Rapor Tarihi		42.794,00								
Numunenin Yeri				Lab. - Rapor No		Z-2017 / 34								
Pafta/ Ada / Parsel				Bakanlık No		12077121								
<b>LABORATUVAR DENEY SONUÇLARI ÖZET FORMU</b>														
SONDAJ NO	NUMUNE TİPİ VE ADI	SU İÇERİĞİ (%)	DOĞAL BİRİM HACİM AĞIRLIK (gr/cm <sup>3</sup> )	ELEK ANALİZİ			ATTERBERG LİMİTLERİ			Zemin Sınıfı (USCS)	SERBEST BASINÇ qu (kg/cm <sup>2</sup> )	ÜÇ EKSENLİ BASINÇ Cup (kg/cm <sup>2</sup> )	HACİMSEL SIKIŞMA KATSAYISI (mv) (cm <sup>2</sup> /kg)	NOKTA YÜKLEME DAYANIM İNDEKSİ (kg/cm <sup>2</sup> )
				#4 GEÇEN (%)	#200 GEÇEN (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)						
SK-8	UD	24,75	1,87	0,00	98,13	56,30	22,90	33,40	CH					
SK-8	SPT	28,04	1,87	0,00	97,45	54,50	24,50	30,00	CH					
SK-8	UD	31,00	1,87	0,00	96,82	63,50	25,30	38,20	CH	0,82	2,00			
SK-8	SPT	35,58	1,87	0,00	96,25	46,50	23,50	23,00	CL					
SK-8	SPT	34,41	1,87	0,00	97,88	45,40	25,10	20,40	CL					
SK-8	UD	30,12	1,90	0,00	96,16	51,50	24,60	27,00	CH	1,48				
SK-8	SPT	11,74	1,90	15,10	53,59		NP		ML				29,94	
SK-8	KAROT													
SK-9	UD	21,46	2,07	0,88	60,07	44,70	22,30	22,40	CL	0,66	6,00			
SK-9	SPT	21,68	2,07	1,21	70,25	49,40	22,40	27,00	CL					
SK-9	SPT	20,93	2,07	5,49	68,85	51,10	24,30	26,80	CH					
SK-9	UD	20,93	2,00	3,17	67,77	50,60	22,30	28,30	CH	2,54				
SK-9	SPT	17,77	2,00	40,55	34,22	46,70	20,40	26,30	GC					
SK-9	SPT	15,78	2,00	8,84	58,03	39,90	19,50	20,50	CL					
SK-9	UD	17,88	2,13	2,11	86,93	45,40	19,60	25,80	CL	3,35				

SK-8 nolu kuyunun 5,50-6,00 metre, SK-10 nolu kuyunun 7,00-7,50 metre seviyesindeki alınan UD numuneleri kumlu ve dağlan olduğundan tek/üç eksenli basınç deneyleri yapılamamıştır.

Proje Adı		Jeolojik - Jeoteknik Etüt Raporu		Numunenin Geliş Tarihi		18.01-10.02.2017									
Deney Talep Eden				Rapor Tarihi		28.02.2017									
Numunenin Yeri				Lab. - Rapor No		Z-2017 / 34									
Pafta / Ada / Parsel				Bakanlık No		12077121									
LABORATUVAR DENEY SONUÇLARI ÖZET FORMU															
SONDAJ NO	NUMUNE TİPİ VE ADI	SU İÇERİĞİ (%)	DOĞAL BİRİM HACİM AĞIRLIK (gr/cm <sup>3</sup> )	ELEK ANALİZİ			ATTERBERG LİMİTLERİ			Zemin Sınıfı (USCS)	SERBEST BASINÇ qU (kg/cm <sup>2</sup> )	ÜÇ EKSENLİ BASINÇ		KONSOLIDASYON HACİMSEL SIKIŞMA KATSAYISI(mv) (cm <sup>2</sup> /kg)	NOKTA YÜKLEME DAYANIM İNDEKSİ (kg/cm <sup>2</sup> )
				#4 GEÇEN (%)	#200 GEÇEN (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)	Cup (kg/cm <sup>2</sup> )			φ up (°)			
SK-9	UD	25,07	2,00	0,00	97,91	52,50	25,90	26,60	CH	1,01					
SK-9	SPT	26,58		0,00	98,06	57,10	23,80	33,30	CH						
SK-9	SPT	22,54		1,31	93,84	51,10	22,80	28,30	CH						
SK-9	SPT	25,91		0,00	97,11	51,40	24,70	26,80	CH						
SK-9	SPT	33,02		0,00	97,85	62,10	26,70	35,40	CH						
SK-9	UD	27,74	1,93	1,25	81,66	50,50	23,70	26,80	CH	2,50					
SK-9	SPT	33,00		0,00	98,87	60,70	27,60	33,10	CH						
SK-9	SPT	31,79		0,00	95,19	47,20	29,10	18,10	ML						
SK-9	SPT	30,66		0,00	98,07	48,50	28,10	20,40	ML						
SK-9	SPT	29,59		0,00	96,94	48,70	25,20	23,50	CL						
SK-10	UD	21,85	1,97	0,00	97,24	45,90	20,70	25,10	CL	0,71	5,00				
SK-10	SPT	24,21		0,00	97,87	52,00	25,90	26,00	CH						
SK-10	SPT	22,25		0,00	93,08	52,10	22,20	29,90	CH						
SK-10	UD	22,71		0,00	96,99	55,30	23,60	31,70	CH						

SK-8 nolu kuyunun 5,50-6,00 metre, SK-10 nolu kuyunun 7,00-7,50 metre seviyesindeki alınan UD numuneleri kumlu ve dağılın olduğundan tek/üç eksenli basınç deneyleri yapılamamıştır.

Proje Adı	Jeolojik - Jeoteknik Etüt Raporu		Numunenin Geliş Tarihi		18.01-10.02.2017								
Deney Talep Eden			Rapor Tarihi		28.02.2017								
Numunenin Yeri			Lab. - Rapor No		Z-2017 / 34								
Pafta / Ada / Parsel			Bakanlık No		12077121								
<b>LABORATUVAR DENEY SONUÇLARI ÖZET FORMU</b>													
SONDAJ NO	NUMUNE TİPİ VE ADI	DERİNLİK (METRE)	SU İÇERİĞİ (%)	DOĞAL BİRİM HACİM AĞIRLIK (gr/cm <sup>3</sup> )	ATTERBERG LİMİTLERİ			SERBEST BASINÇ	ÜÇ EKSENLİ BASINÇ		KONSOLIDASYON HACİMSEL SIKIŞMA KATSAYISI(mv) (cm <sup>2</sup> /kg)	NOKTA YÜKLEME DAYANIM İNDEKSİ (kg/cm <sup>2</sup> )	
					#4 GEÇEN (%) #200 GEÇEN (%)	LL (%)	PL (%)		PI (%)	qU (kg/cm <sup>2</sup> )			Cup (kg/cm <sup>2</sup> )
SK-10	SPT	9,00-9,45	23,75		0,31	96,07	43,50	23,80					
SK-10	SPT	12,00-12,45	26,76		0,00	96,19	46,70	26,10					
SK-10	UD	13,00-13,50	26,81	1,89	0,00	95,29	46,10	21,80	1,90				
SK-10	UD	16,00-16,50	30,43	1,84	0,00	96,86	41,10	25,60					
SK-10	SPT	16,50-16,95	32,96		0,79	92,95	41,50	26,50					
SK-10	SPT	19,50-19,95	27,34		0,00	97,86	42,70	28,50					
SK-10	SPT	22,50-22,95	26,17		17,38	62,68	37,00	26,60					
SK-10	UD	25,00-25,50	28,83	1,97	0,00	97,62	43,20	30,60	3,69				
SK-10	SPT	25,50-25,95	28,64		0,00	97,44	41,80	28,30					
SK-11	UD	2,50-3,00	22,23	2,05	0,89	95,84	45,80	20,00		2,44			
SK-11	SPT	3,00-3,45	21,42		2,49	94,50	51,70	22,10					
SK-11	SPT	4,50-4,95	20,97		0,68	90,86	46,80	20,70					
SK-11	SPT	6,00-6,45	20,96		0,00	78,60	45,80	21,70					
SK-11	UD	7,00-7,50	21,11	2,09	0,29	78,76	46,40	20,90		3,03			

SK-8 nolu kuyunun 5,50-6,00 metre, SK-10 nolu kuyunun 7,00-7,50 metre seviyesindeki alınan UD numuneleri kumlu ve dağlan olduğundan tek/üç eksenli basınç deneyleri yapılamamıştır.



Proje Adı		Jeolojik - Jeoteknik Etüt Raporu		Numunenin Geliş Tarihi		18.01-10.02.2017											
Deney Talep Eden				Rapor Tarihi		28.02.2017											
Numunenin Yeri				Lab. - Rapor No		Z-2017 / 34											
Pafta/ Ada / Parsel				Bakanlık No		12077121											
LABORATUVAR DENEY SONUÇLARI ÖZET FORMU																	
SONDAJ NO	TİPİ VE ADI	NUMUNE		SU İÇERİĞİ (%)	DOĞAL BİRİM HACİM AĞIRLIK (gr/cm <sup>3</sup> )	ELEK ANALIZI			ATTERBERG LİMITLERİ			Zemin Sınıfı (USCS)	SERBEST BASINÇ qU (kg/cm <sup>2</sup> )	ÜÇ EKSENLİ BASINÇ		KONSOLIDASYON HACİMSEL SIKIŞMA KATSAYISI(mv) (cm <sup>2</sup> /kg)	NOKTA YÜKLEME DAYANIM İNDEKSİ (kg/cm <sup>2</sup> )
		DERİNLİK (METRE)				#4 GEÇEN (%) #200 GEÇEN (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)	Cup (kg/cm <sup>2</sup> )	Ø up (°)						
SK-11	SPT	7,50-7,95		24,95		0,00	88,79	32,80	19,20	13,60							
SK-11	SPT	9,00-9,45		19,76		15,72	71,77	27,40	16,70	10,70							
SK-11	UD	10,00-10,50		24,93	1,96	0,00	89,57	46,10	23,50	22,60		2,41					
SK-11	SPT	10,50-10,95		11,51		0,00	37,28		NP								
SK-11	SPT	12,00-12,45		21,29		7,57	83,56	43,30	18,60	24,70							
SK-11	UD	13,00-13,50		29,07	1,94	0,00	34,91	43,70	23,50	20,20			0,60	1,00			
SK-11	SPT	13,50-13,95		24,40		1,42	85,00	38,90	21,30	17,50							
SK-11	KAROT	14,00-15,00															31,02
SK-11	KAROT	15,00-16,50															41,24
SK-11	KAROT	16,50-18,00															36,54
SK-11	KAROT	18,00-19,50															31,97
SK-11	KAROT	19,50-21,00															63,17
SK-12	SPT	3,00-3,45		10,86		40,35	22,74	27,10	17,10	10,00							
SK-12	KAROT	6,00-7,50															11,82

SK-8 nolu kuyunun 5,50-6,00 metre, SK-10 nolu kuyunun 7,00-7,50 metre seviyesindeki alınan UD numuneleri kumlu ve dağılan olduğundan tek/üç eksenli basınç deneyleri yapılamamıştır.

Proje Adı	Jeolojik - Jeoteknik Etüt Raporu		Numunenin Geliş Tarihi	18.01-10.02.2017												
Deney Talep Eden			Rapor Tarihi	28.02.2017												
Numunenin Yeri			Lab. - Rapor No	Z-2017 / 34												
Pafta / Ada / Parsel			Bakanlık No	12077121												
<b>LABORATUVAR DENEY SONUÇLARI ÖZET FORMU</b>																
SONDAJ NO	NUMUNE TİPİ VE ADI	DERİNLİK (METRE)	SU İÇERİĞİ (%)	DOĞAL BİRİM HACİM AĞIRLIK (gr/cm <sup>3</sup> )	ELEK ANALİZİ			ATTERBERG LİMITLERİ			Zemin Sınıfı (USCS)	SERBEST BASINÇ qU (kg/cm <sup>2</sup> )	ÜÇ EKSENLİ BASINÇ		KONSOLIDASYON HACİMSEL SIKIŞMA KATSAYISI(mv/cm <sup>2</sup> /kg)	NOKTA YÜKLEME DAYANIM İNDEKSİ (kg/cm <sup>2</sup> )
					#4 GEÇEN (%)	#200 GEÇEN (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)	Cup (kg/cm <sup>2</sup> )			φ up (°)			
SK-12	KAROT	10,50-12,00														
SK-13	SPT	4,50-4,95	17,92		70,10	36,30	19,30	17,00		CL						
SK-13	UD	5,50-6,00	20,38	2,08	95,47	41,80	19,60	22,20		CL	0,79	6,00				
SK-13	SPT	6,00-6,45	20,06		95,07	46,40	21,20	25,20		CL						
SK-13	UD	8,50-9,00	23,41	2,06	97,52	65,80	25,60	40,10		CH	1,97					
SK-13	SPT	9,00-9,45	24,30		98,34	70,40	29,00	41,40		CH						
SK-13	UD	10,00-10,50	24,30	1,97	97,71	65,70	26,20	39,50		CH	2,24					
SK-13	SPT	12,00-12,45	25,00		93,47	57,50	25,40	32,00		CH						
SK-13	SPT	13,50-13,95	14,32		35,88	30,90	16,80	14,00		CH						
SK-13	UD	16,00-16,50	19,79	2,09	62,45	38,70	18,80	20,00		CL	2,50					
SK-13	SPT	16,50-16,95	17,90		57,41	34,00	17,70	16,30		CL						
SK-13	SPT	19,50-19,95	17,51		63,66	39,60	19,40	20,30		CL						
SK-13	UD	25,00-25,50	20,78	2,03	91,20	46,10	18,00	28,10		CL	0,81	4,00				
SK-13	SPT	25,50-25,95	24,55		90,92	58,60	24,80	33,80		CH						
SK-8 nolu kuyunun 5,50-6,00 metre, SK-10 nolu kuyunun 7,00-7,50 metre seviyesindeki alınan UD numuneleri kumlu ve dağlan olduğundan tek/üç eksenli basınç deneyleri yapılamamıştır.																

## Ek-B Sondaj Logları Sonuç Tablosu

No	Derinlik (m)	Birim	Formasyon Adı
SK-1	0,5-1,50	Dolgu	
	1,50-4,50	Sarımsı kahverengi çakıl-kil içeren Kum	Şirintepe Form.
	4,50-5,50	Kahverengi çakıl içeren Siltli Kum	Şirintepe Form.
	5,50-10,50	Kırmızı - mor renkli silttaşı	İzmit Form.
SK-2	0,5-1,00	Dolgu	
	1,00-10,50	Sarımsı kahverengi az kum içeren Kil	Şirintepe Form.
	10,50-14,50	Gri renkli az kum içeren killi Silt	Şirintepe Form.
	14,50-22,00	Gi renkliaz kum içeren Kil	Şirintepe Form.
	22,00-22,50	Gri renkli Kiltası	İzmit Form.
	22,50-24,00	Kırmızı - mor renkli Siltası	İzmit Form.
SK-3	0,00-0,50	Dolgu	
	0,50-3,50	Sarımsı kahverengi çakıl içeren killi Kum	Şirintepe Form.
	3,50-9,50	Gri renkli kil taşı	İzmit Form.
	1,50-12,00	Kırmızı - mor renkli Silttaşı	İzmit Form.
SK-4	0,50-2,00	Dolgu	
	2,00-3,50	Kırmızımsı kahverengi kum içeren killi Çakıl	Şirintepe Form.
	3,50-10,50	Kırmızı - mor renkli çok çatlaklı Kumtaşı	İzmit Form.
	10,50-13,50	Kırmızı - mor renkli çatlaklı Kumtaşı	İzmit Form.
SK-5	0,50-4,00	Dolgu	
	4,00-6,50	Gri renkli kil	Şirintepe Form.
	6,50-7,50	Sarımsı gri renkli kil - Silt	Şirintepe Form.
	7,50-9,00	Sarımsı gri renkli az çakıl içeren killi Kum	Şirintepe Form.
	9,00-10,00	Gri renkli çok çatlaklı Kiltası	İzmit Form.
	10,00-15,00	Kırmızı - mor renkli çok çatlaklı kumtaşı	İzmit Form.
SK-6	0,00-0,50	Bitkisel Toprak	
	0,50-2,00	Kırmızımsı kahverengi kum içeren Kil	Şirintepe Form.
	2,00-8,00	Sarımsı kahverengi az çakıl-kum içeren kil	Şirintepe Form.
	8,00-9,50	Kırmızımsı kahverengi az kum içeren Kil	Şirintepe Form.
	9,50-11,00	Sarımsı kahverengi kum içeren Kil	Şirintepe Form.
	11,00-20,00	Gri renkli az kum içeren Kil	Şirintepe Form.
	20,00-22,00	Sarı renkli çakıl içeren killi Kum	Şirintepe Form.
	22,00-22,50	Gri renkli az kum içeren Kil	Şirintepe Form.
	22,50-25,50	Kırmızımsı kahverengi az kum içeren Kil	Şirintepe Form.
	25,50-27,00	Kırmızı mor renkli çok çatlaklı silttaşı	İzmit Form.

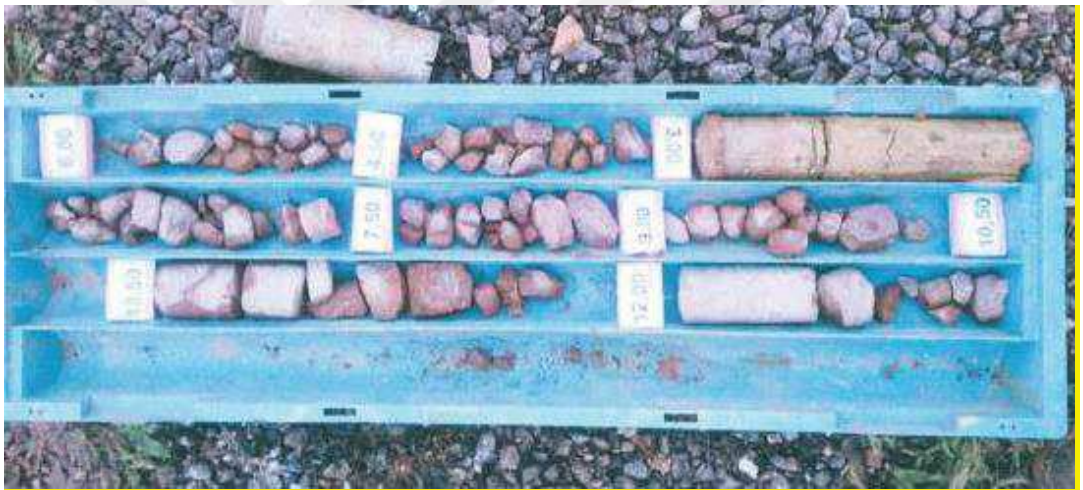
No	Derinlik (m)	Birim	Formasyon Adı
SK-7	0,00-0,50	Bitkisel Toprak	Şirintepe Formasyonu
	0,50-2,00	kahve rengi az çakıl-kum içeren kil	Şirintepe Formasyonu
	2,00-3,00	kahve rengi kil	Şirintepe Formasyonu
	3,00-4,50	Kırmızımsı kahve rengi çakıl-kum içeren Kil	Şirintepe Formasyonu
	4,50-10,00	Sarımsı kahverengi az çakıl-kum içeren Kil	Şirintepe Formasyonu
	10,00-10,50	Killi Kum	Şirintepe Formasyonu
	10,50-11,50	Gi renkli çakıl-kum içeren kil	Şirintepe Formasyonu
	11,50-18,50	Gri renkli az kum içeren Kil - killi Silt	Şirintepe Formasyonu
	18,50-20,00	Gi renkli çakıl-kum içeren kil	Şirintepe Formasyonu
	20,00-23,50	Gri renkli çok çatlaklı Kiltası	İzmit Formasyonu
SK-8	0,00-0,50	Bitkisel Toprak	
	0,50-5,00	Kırmızımsı kahverengi çakıl-kum içeren Kil	Şirintepe Formasyonu
	5,00-7,00	Kahve rengi Kil	Şirintepe Formasyonu
	7,00-10,00	Sarı-yeşil renkli az kum içeren kil	Şirintepe Formasyonu
	10,00-13,00	Koyu gri renkli az kum içeren Kil	Şirintepe Formasyonu
	13,00-14,00	Kahverengi renkli çakıl içeren Siltli Kum	Şirintepe Formasyonu
	14,00-19,00	Gi renkli çok çatlaklı - ayrılmış Kumtaşı	İzmit Formasyonu
	19,00-19,50	Kırmızı - mor renkli çok çatlaklı Siltaşı	İzmit Formasyonu
SK-9	0,00-0,50	Bitkisel Toprak	
	0,50-3,00	Kırmızımsı kahverengi çakıl-kum içeren Kil	Şirintepe Formasyonu
	3,00-4,50	Kırmızımsı kahve rengi az çakıl-kum içeren	Şirintepe Formasyonu
	4,50-6,00	Kahve rengi çakıl-kum içeren Kil	Şirintepe Formasyonu
	6,00-7,00	sarımsı kahve rengi killi Çakıl	Şirintepe Formasyonu
	7,00-9,00	Sarımsı kahverengi çakıl-kum içeren Kil	Şirintepe Formasyonu
	9,00-16,50	Sarımsı gri az çakıl-kum içeren Kil	Şirintepe Formasyonu
	16,50-19,50	Gri renkli deniz kavkısı içerikli Kil	Şirintepe Formasyonu
	19,50-35,00	Gri renkli Kil- Killi Silt	Şirintepe Formasyonu

No	Derinlik (m)	Birim	Formasyon Adı
SK-10	0,00-0,50	Bitkisel Toprak	
	0,50-3,00	Sarımsı kahverengi kum bandı geçişli Kil	Şirintepe Formasyonu
	3,00-16,50	Sarımsı gri renkli az kum içeren Kil	Şirintepe Formasyonu
	16,50-20,00	Gri renkli az kum içeren Kt- Kilti Silt	Şirintepe Formasyonu
SK-11	0,00-0,50	Bitkisel Toprak	
	0,50-5,50	Sarımsı kahverengi karbonat geçişli kil	Şirintepe Formasyonu
	5,50-9,50	kahverengi karbonat geçişli kil	Şirintepe Formasyonu
	9,50-10,50	Kırmızımsı kahverengi kum içeren Kil	Şirintepe Formasyonu
	10,50-11,50	Kırmızımsı kahverengi siltli Kum	Şirintepe Formasyonu
	11,50-13,00	Sarımsı gri az çakıl-kum içeren kil	Şirintepe Formasyonu
	13,00-14,00	Gi renkli kil	Şirintepe Formasyonu
	14,00-20,50	Gri renkli çatlaklı Kumtaşı	İzmit Formasyonu
	20,50-21,00	Kırmızı renkli Kumtaşı	İzmit Formasyonu
SK-12	0,00-0,50	Dolgu	
	0,50-3,00	Kırmızımsı kahverengi çakıl-kum içeren Kil	Şirintepe Formasyonu
	3,00-3,50	Kırmızı renkli killi Çakıl	Şirintepe Formasyonu
	3,50-7,50	Kırmızı mor renkli çok çatlaklı Silttaşı	İzmit Formasyonu
	7,50-15,00	Kırmızı mor renkli çatlaklı Kumtaşı	İzmit Formasyonu
SK-13	0,00-0,50	Bitkisel Toprak	
	0,50-5,50	Kırmızımsı kahverengi az kum içeren Kil	Şirintepe Formasyonu
	5,50-12,50	Sarımsı gri az kum içeren Kil	Şirintepe Formasyonu
	12,50-15,00	Kahverengi renkli çakıl içeren killi Kum	Şirintepe Formasyonu
	15,00-18,50	Sarımsı kahverengi az çakıl kum içeren Kil	Şirintepe Formasyonu
	18,50-21,00	Koyu kahverengi kum içeren Kil	Şirintepe Formasyonu
	21,00-36,00	Gri renkli az kum içeren Kil	Şirintepe Formasyonu

## Ek-C Sondaj alışmalarına Ait Fotoğraflar

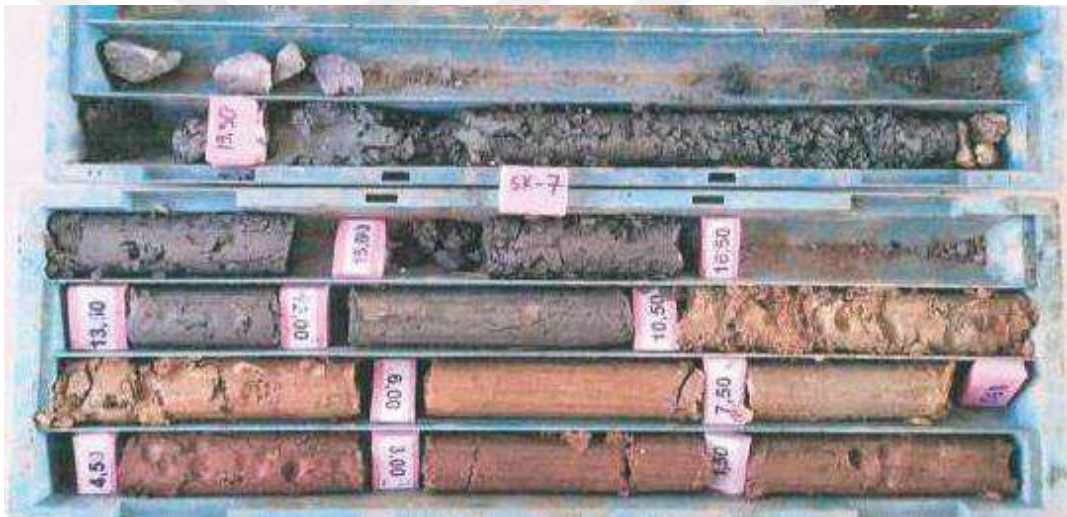
















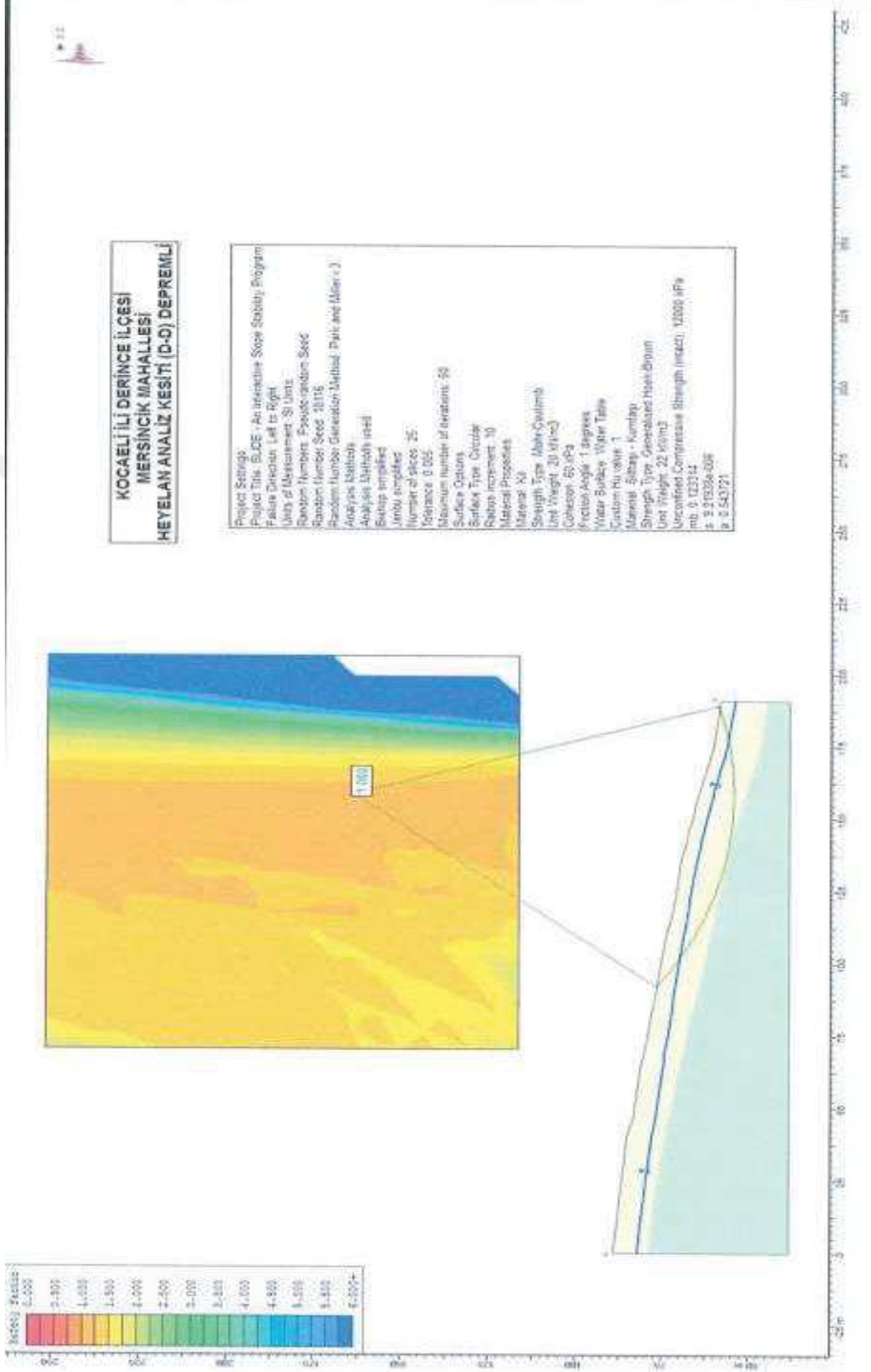




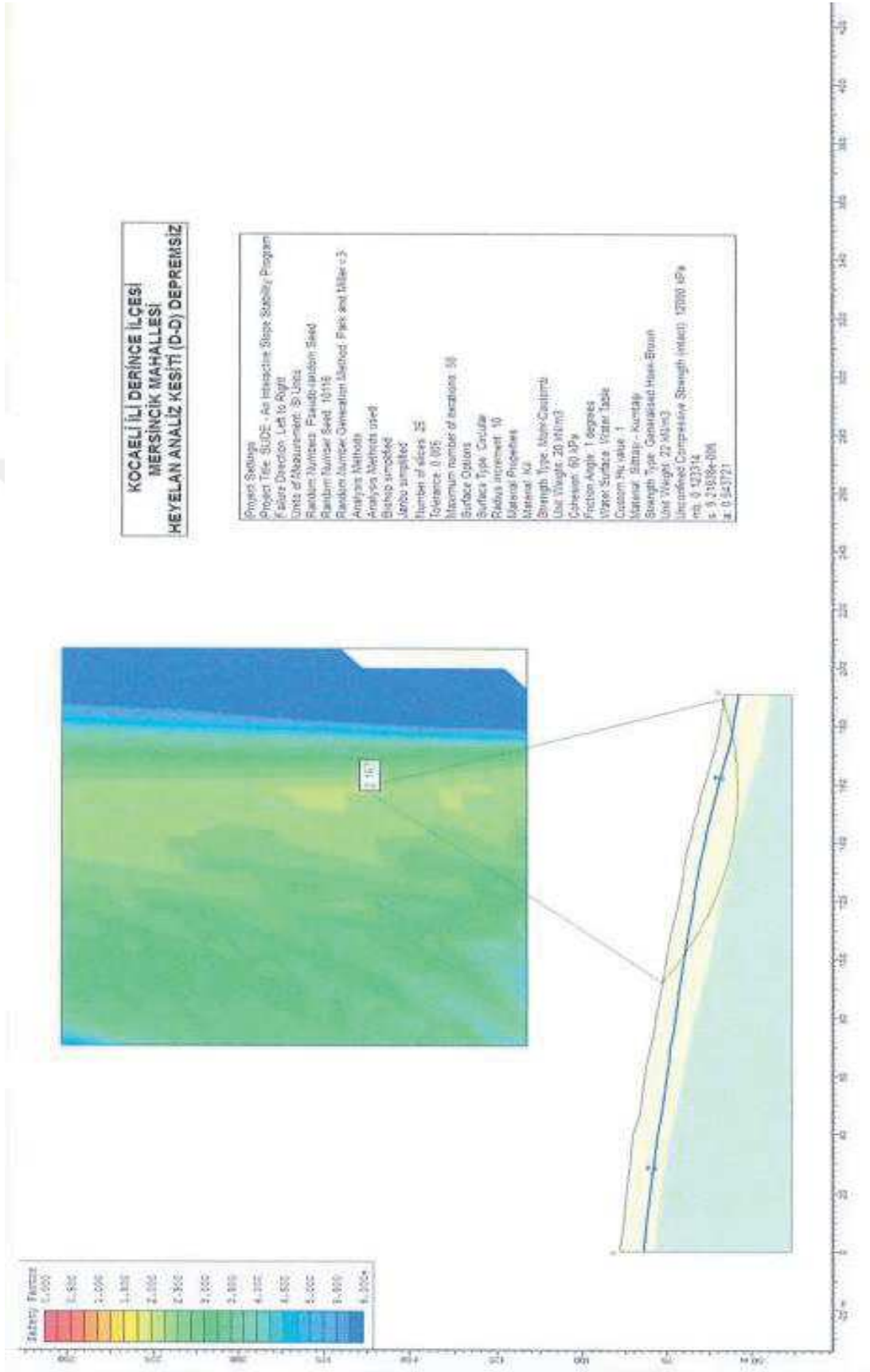




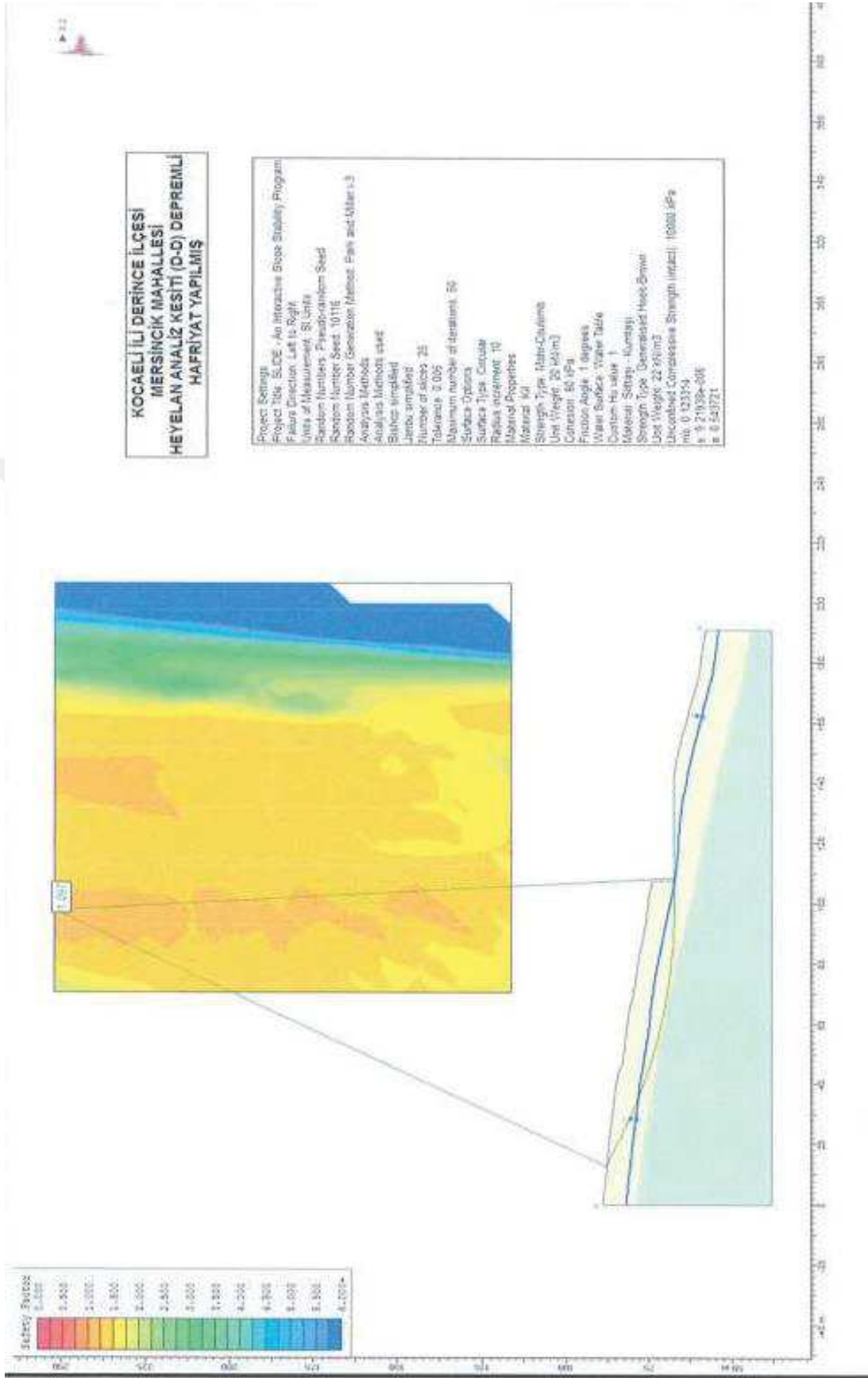




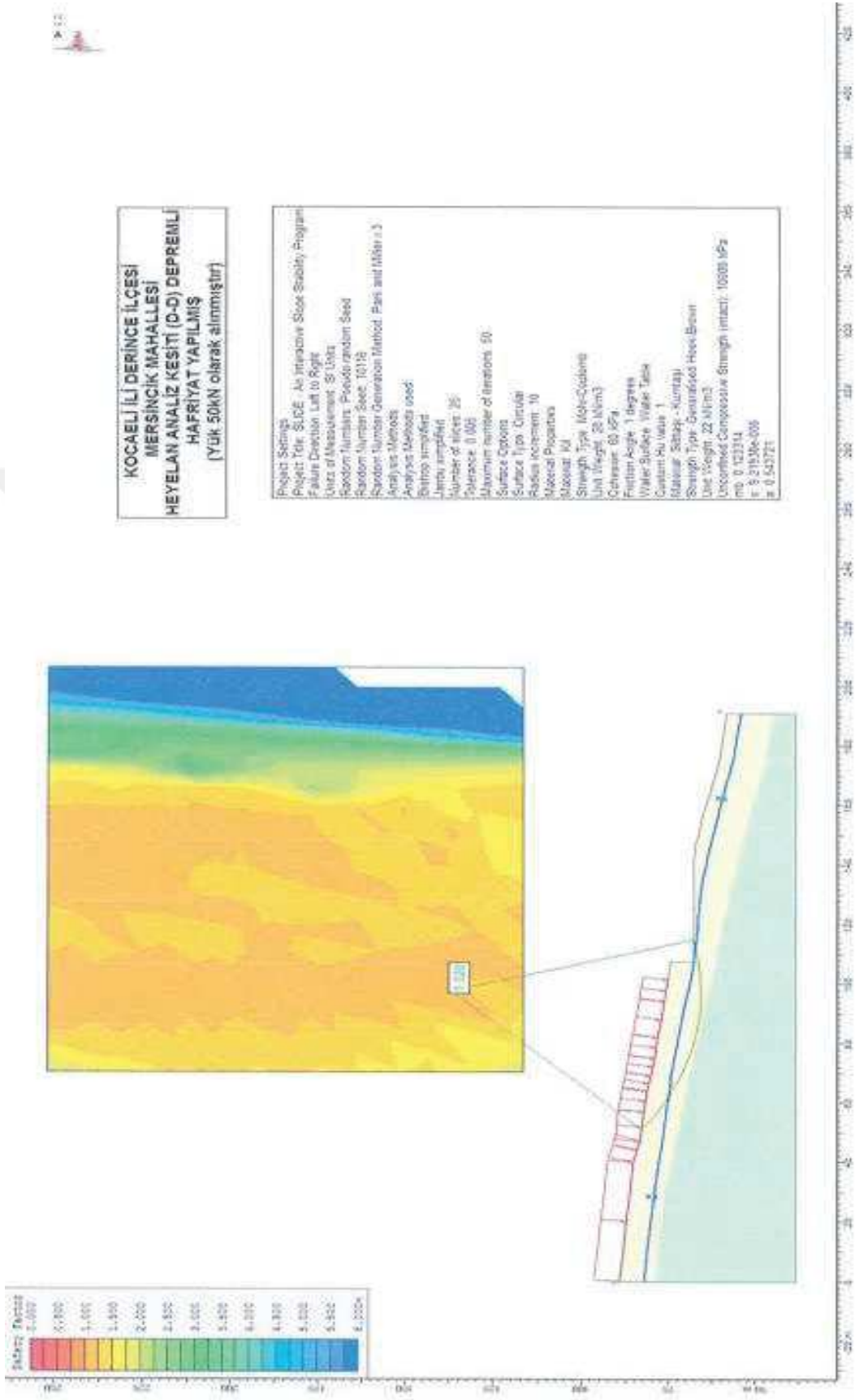
D-D' Heyelan Analizi Kesiti (Depremlı)



D-D' Heyelan Analizi Kesiti (Depremsiz)



D-D' Heyelan Analizi Kesiti Hafriyat Yapılmış Hali (Depremlİ)



D-D' Heyelan Analizi Kesiti Hafriyat Yapılmış ve Yük Uygulanmış Hali (Depremlİ

## KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

**Yalçınkaya E.,** Mutman U., 3. *Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi*, İstanbul Bilim ve Akademisyenler Derneği, Kocaeli, 04-05 Mayıs 2018.



## ÖZGEÇMİŞ

Ebru YALÇINKAYA 1984 senesinde İzmit'te doğdu. İlkokul, ortaokul ve lise öğrenimini Körfez, Kocaeli'de tamamladı. 2004 senesinde girdiği Karadeniz Teknik Üniversitesi Ordu Meslek Yüksek Okulu İnşaat Teknikerliği bölümünden 2006 senesinde mezun oldu. 2006-2009 seneleri arasında Pınar İnşaat Ltd. Şti. ve Türk Telekomünikasyon A.Ş. Kocaeli İl Müdürlüğü'nde İnşaat Teknikeri olarak çalıştı. 2009 senesinde ÖSYM Dikey Geçiş Sınavı (DGS)'na girerek, Kırıkkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünü kazandı ve bu bölümden 2012 senesinde İnşaat Mühendisi olarak mezun oldu. 2012 senesinden beri Kocaeli İli Başiskele Belediyesi Fen İşleri Müdürlüğü bünyesinde İnşaat Mühendisi olarak görev yapmaktadır. 2016 senesinde kayıt olduğu Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Lisansüstü öğrenimine devam etmektedir.