

**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İZMİR VE YAKIN YÖRESİNDEKİ ŞEYLLERDE**  
**AÇILAN ŞEVLERİN STABİLİTE AÇISINDAN**  
**DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Yeliz KÜÇÜKER**

**Ekim, 2012**

**İZMİR**

**İZMİR VE YAKIN YÖRESİNDEKİ ŞEYLLERDE  
AÇILAN ŞEVLERİN STABİLİTE AÇISINDAN  
DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı**

**Yeliz KÜÇÜKER**

**Ekim, 2012**

**İZMİR**

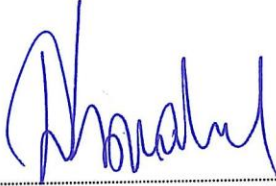
## YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

YELİZ KÜÇÜKER, tarafından PROF. DR. M. YALÇIN KOCA yönetiminde hazırlanan “İZMİR VE YAKIN YÖRESİNDEKİ ŞEYLLERDE AÇILAN ŞEVLERİN STABİLİTE AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



Prof. Dr. M. Yalçın KOCA

Yönetici



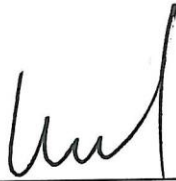
Yrd. Doç. Dr. Doğan KARAKUŞ

Jüri Üyesi



Öğr. Gör. Dr. Cem KINCAL

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Mustafa SABUNCU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

## TEŞEKKÜR

Değerli hocam Sn. Prof. Dr. M. Yalçın KOCA'ya çalışmalarımın her aşamasında vermiş olduğu destekten ötürü saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında her türlü bilgi ve deneyimini paylaşan ve ayrıca arazi çalışmalarında sağladığı katkılar nedeniyle Dr. Cem KINCAL'a, laboratuvar çalışmaları kapsamında yardımlarından dolayı Araş. Gör. Mehmet V. ÖZDOĞAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, tez çalışmalarım süresince desteklerini benden esirgemeyen İzmir Büyükşehir Belediyesi'nden Daire Başkanım ve Müdürlerime ve hayatımın her aşamasında beni gönülden destekleyen kıymetli aileme sonsuz teşekkür ederim.

Yeliz KÜÇÜKER

# İZMİR VE YAKIN YÖRESİNDEKİ ŞEYLLERDE AÇILAN ŞEVLERİN STABİLİTE AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

## ÖZ

Şeylerde görülen mühendislik problemlerinin başında; kayma, oturma, şişme, suda dağılma ve yarıma vb. özellikler gelmektedir. Bu çalışmada, İzmir ve yakın yöresinde şeyllerde açılan şevlerin stabilite koşulları incelenmiş ve şeylerin mühendislik davranışlarını belirleyebilmek amacıyla laboratuvar çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalara ek olarak, laminalı, çatlaklı, zayıf kaya özelliğindeki şeyllerde kaya kütle sınıflaması (GSI: Jeolojik dayanım indeksi) yapılmış ve kaya kütlelerinin bazı mühendislik özellikleri (deformasyon modülü, sağlam kayanın sıkışma dayanımı, kohezyon ve içsel sürtünme açısı) belirlenmiştir. RocData bilgisayar programı kullanılarak şeyl kaya kütlelerinin 10m, 12m, 15m ve 20 metrelik şev yüksekliklerinde, arazi koşullarında hangi büyüklükte gerilmelere maruz kaldıkları belirlenmiş ve bu gerilmeler dikkate alınarak kesme kutusu deneyleri yapılmıştır. Stabilite analizleri Slide V. 6,0 bilgisayar programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Başlangıçta dairesel kayma analizleri, daha sonra da düzlemsel kayma analizleri yapılarak değişik sismik ivmeler (0,1 g, 0.12 g, 0.15 g, 0.18 g ve 0.20 g) ve değişik kohezyon değerleri (18 kN/m<sup>2</sup>, 25 kN/m<sup>2</sup>, 45 kN/m<sup>2</sup> ve 60 kN/m<sup>2</sup> değişimlerinin ve kohezyon dayanımının stabilite üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda, şeyllerde açılan kazı şevlerinin duraylılık koşulları ortaya konmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Şeyl, şev stabilitesi, makaslama deneyi, sismik ivme, İzmir.

# STABILITY EVALUATION OF SLOPES FORMED BY THE SHALES IN İZMİR AND ITS VICINITY

## ABSTRACT

Sliding, settling, swelling, water dispersion and disintegration are the main engineering problems observed in shales. In the present study, some examinations and studies were undertaken to determine stability and engineering behaviour of slopes. In addition, rock mass classification (GSI) was performed on shales which present laminated, fractured, weak rock characteristics and some engineering properties of rock mass (modulus of deformation, intact uniaxial comp. strength, cohesion and friction angle ) were determined. The stress levels which shale rock mass is exposed in the field conditions for 10m, 12m, 15m and 20 m slope heights were determined by utilizing RocData software and shear box tests were also performed by considering these stress levels. Stability analyses were conducted by using Slide V. 6.0 software. The variation of safety factor was examined by performing firstly, rotational failure, secondly planar failure analyses for various seismic coefficients (0,1 g, 0.12 g, 0.15 g, 0.18 g, and 0.20 g) and cohesion values (18 kN/m<sup>2</sup>, 25 kN/m<sup>2</sup>, 45 kN/m<sup>2</sup>, and 60 kN/m<sup>2</sup>). The effects of seismic coefficient and cohesion strength variations on the slope stability were investigated. As a result of this study, stability conditions for excavation slopes in shales were obtained.

**Keywords:** Shale, slope stability, shear test, seismic acceleration, İzmir.

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ .....	iv
ABSTRACT.....	v
<b>BÖLÜM BİR – GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Giriş.....	1
1.2 İnceleme Alanı.....	2
1.3 Coğrafi Durum .....	2
1.4 Çalışmanın Amacı .....	4
1.5 Yöntem .....	4
<b>BÖLÜM İKİ – GENEL JEOLJİ .....</b>	<b>6</b>
2.1 Giriş.....	6
2.2 Önceki Çalışmalar .....	6
2.3 İnceleme Alanının Jeolojisi ve Stratigrafisi.....	8
2.3.1 Bornova Karmaşığı.....	8
2.3.1.1 Kumtaşı/Şeyl Ardalanması.....	9
2.3.2 Görsel Tortullar .....	16
2.3.3 Yamaç Volkanitleri .....	17
2.3.4 Yamaç Molozu ve Alüvyon.....	17
2.4 Deprem Durumu.....	17
<b>BÖLÜM ÜÇ– MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ.....</b>	<b>23</b>
3.1 Giriş .....	23
3.2 Şeyllerde Yapılan Tilt Deneyi Sonuçları .....	26
3.3 Laboratuvar Deneyleri .....	26
3.3.1 Portatif Kesme Kutusu Deneyi .....	27

3.3.1.1 Araç ve Gereçler .....	28
3.3.1.2 Örneğin Hazırlanması .....	29
3.3.1.3 Deneyin Yapılışı .....	33
3.3.2 Birim Hacim Ağırlık Tayini (Kompas Yöntemiyle) .....	35
3.3.2.1 Araç ve Gereçler .....	35
3.3.2.2 Yöntem ve Deneyin Yapılışı .....	36
3.3.3 Ağırlıkça ve Hacimce Su Emme Deneyi .....	41
3.3.3.1 Araç ve Gereçler .....	41
3.3.3.2 Yöntem ve Deneyin Yapılışı .....	41
3.3.4 Görünür Gözeneklilik ve Boşluk Oranı Tayini.....	44
3.3.4.1 Araç ve Gereçler .....	44
3.3.4.2 Yöntem ve Deneyin Yapılışı .....	44
3.3.5 Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı ve Nokta Yüğü Dayanım İndeksi Deneyleri.....	45
3.3.6 Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık (Slake Durability) İndeksi Deneyi ....	46
3.3.6.1 Araç ve Gereçler .....	47
3.3.6.2 Kullanılan Yöntem ve Deney Aşamaları .....	47
3.3.6.3 Hesaplamalar.....	54
3.4 GSI-Sınıflama Sistemi .....	57
3.4.1 Şeyllerin Dayanım ve Deformabilitelerinin Tahmin Edilmesi .....	58
3.5 Şev Stabilitesi ve Önemli Kavramlar .....	69
3.5.1 Şev Tanımı .....	69
3.5.1.1 Denge Koşulu.....	69
3.5.2 Şev Stabilite Analiz Yöntemleri .....	71
3.5.3 Şevlerde Malzeme Özelliklerinin Tayini (c ve $\Phi$ ).....	72
3.5.4 Şev Stabilitesi Analiz Çalışmaları .....	74
3.5.5 Kohezyon Değerinin Stabilite Üzerine Etkisinin İncelenmesi .....	92

**BÖLÜM DÖRT–OLDUKÇA AYRIŞMIŞ ŞEYLLERDE DAİRESEL KAYMA  
ANALİZİ..... 99**

**BÖLÜM BEŞ–TARTIŞMA VE SONUÇLAR ..... 102**

**KAYNAKÇA..... 109**



# BÖLÜM BİR

## GİRİŞ

### 1.1 Giriş

Bu çalışma, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Bornova Karmaşığı Formasyonu'nun matriksini oluşturan kumtaşı-şeyl ardalanması İzmir ve yakın yöresinde yaygın olarak gözlenmektedir. Şeyllerde görülen mühendislik problemlerinin başında; kayma, oturma, şişme, suda dağılma ve yarıma özellikleri gelmektedir. Kaya şevlerinin stabilitesi, tünel duvarlarının yüzey duyarlılığı, dolgu ve istinat duvarlarındaki dizayn problemleri, şeyllerin ayrışma özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Yapılan arazi çalışmaları neticesinde belirlenen noktalarda, tabakaların konumları, şev açıları ve yükseklikleri ölçülmüş ve bu lokasyonlardan blok örnekler alınmıştır. Arazi blok örneklerinden laboratuvarda ( $N_x$ ) çaplı karotlar alınmıştır. Şev stabilite analizlerinde kullanılmak üzere mukavemet parametrelerini ( $c$  ve  $\phi$ ) belirlemek için karot örnekleri üzerinde kesme kutusu deneyleri yapılmıştır. Ayrıca, suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi, birim hacim ağırlık tayini, görünür gözeneklilik ve boşluk oranı tayini ve ağırlıkça ve hacimce su emme deneyleri yapılarak şeyllerin seçilmiş bazı fiziksel özellikler belirlenmiştir.

Seferihisar başta olmak üzere 4 farklı bölgede (Seferihisar, Balçova, Narlıdere ve İzmir-Manisa karayolu üzerinde Sabuncubeli mevki) yapılan arazi çalışmaları neticesinde belirlenen noktalarda, tabakaların konumları, şev açıları ile yükseklikleri ölçülmüş ve blok örnekler alınmıştır. Şev stabilite analizlerinde kullanılmak üzere, şeyl tabaka yüzeylerine ait direnç parametrelerini ( $c$  ve  $\phi$ ) belirlemek için  $NX$  çaplı karot örnekleri üzerinde portatif kesme kutusu deneyleri yapılmıştır.

Arazi, laboratuvar ve büro çalışmalarının sonucunda elde edilen verilerin Slide v. 6.0 programında çözümlenmesi ile şevlerin duraylılık analizleri elde edilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada şevin hangi koşullar altında duraylı olabileceği ve hangi

koşullar altında tabaka yüzeyleri boyunca yenilmelerin gerçekleşebileceği şev koşullarına ilişkin olarak incelenmiştir.

Gerek arazi gerekse laboratuvar çalışmalarından elde edilen veriler ışığında; Slide v. 6,0 programı yardımıyla farklı şev açısı ve yüksekliklerine ilişkin yapılan analizler ile şevlerde olası stabilite problemleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Böylelikle söz konusu koşullar altında stabil olan şevlerin farklı şev açısı ve yüksekliğine ilişkin değişimleri incelenmiştir.

Kohezyon dayanımının stabilite ve güvenlik faktörü üzerine olan etkisini belirlemek amacıyla da farklı kohezyon değerleri kullanılarak elde edilen güvenlik faktörü değerleri yorumlanmıştır.. Ayrıca; farklı sismik katsayı değerlerinin stabilite ve güvenlik faktörüne olan etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan analizlerde beklenildiği üzere sismik katsayı değerinin artışına bağlı olarak güvenlik katsayısındaki azalmanın oranı (etki derecesi) belirlenmiştir.

## **1.2 İnceleme Alanı**

Çalışma alanı; İzmir İli, Seferihisar, Narlıdere ve Balçova İlçeleri ile İzmir-Manisa karayolu üzerinde Sabuncubeli mevki başta olmak üzere İzmir İli ve çevresini kapsamaktadır. Filiş Formasyonu'nun matriksini oluşturan kumtaşı-şeyl ardalanmasından, şeylerde açılmış dört şev incelenmiştir. Şev lokasyonları Şekil 1.1'de sunulmuştur.

## **1.3 Coğrafi Durum**

Çalışma alanı ve çevresinde yazlar sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı olan tipik Akdeniz iklimi görülmektedir. Seferihisar'da ortalama yıllık sıcaklık, meteoroloji istasyonunun kayıtlarına göre; 16,4 °C, aylık ortalama maksimum sıcaklık Temmuz ayında 35,2 °C, aylık ortalama en düşük sıcaklık 4,2 °C 'dir. Seferihisar'da en yağışlı mevsim kış mevsimi en yağışlı ay ise Aralık (142 mm) ayıdır. Çalışma alanında bitki örtüsü genel olarak maki ve orman topluluğudur.



Şekil.1.1 İnceleme alanının yerbulduru haritası.

#### 1.4 Çalışmanın Amacı

İzmir ve yakın yöresinde yaygın olarak gözlenen şeyller, Balçova ve Seferihisar yörelerinde geniş yüzlekler verir. Tez kapsamında; arazi ve laboratuvar çalışmaları neticesinde elde edilen veriler kullanılarak; büro çalışmaları sonucunda yapılan nümerik analizlerle, İzmir ve yakın yöresinde gözlenen şeyllerde açılan şevlerin stabilite analizlerinin yapılması hedeflenmiştir. Bu amaçla Seferihisar ve Balçova yörelerinde arazi çalışmaları sırasında alınan bloklardan elde edilen karot örnekleri üzerinde laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Kayanın mukavemet parametrelerini belirlemek ve bazı fiziko-mekanik özelliklerini tanımlamak üzere; Portatif Kesme Kutusu Deneyi, Birim Hacim Ağırlık Tayini, Ağırlıkça ve Hacimce Su Emme Deneyi, Görünür Gözeneklilik ve Boşluk Oranı Tayini ile Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık (Slake-Durability) deneyleri yapılmıştır. Deneyler DEÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü Zemin-Kaya Mekaniği ile DEÜ Maden Mühendisliği Kaya Mekaniği laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Arazi, laboratuvar ve büro çalışmalarının deneştirilmesi ve elde edilen verilerin Slide v. 6,0 programında çözümlenmesi ile şevlerin duraylılık açısından incelenmesi yapılmıştır.

#### 1.5 Yöntem

Yapılan arazi çalışmaları neticesinde belirlenen noktalarda, tabakaların konumları, şev açıları ve yükseklikleri ölçülmüş ve blok örnekler alınmıştır (Şekil 1.2, 1.3). Arazi blok örneklerinden laboratuvarda belirli çapta (NX) karotlar alınmıştır. Şev stabilite analizlerinde kullanılmak üzere, mukavemet parametrelerini ( $c$  ve  $\phi$ ) belirlemek için portatif kesme kutusu deneyleri yapılmıştır. Ayrıca, birim hacim ağırlık tayini, görünür gözeneklilik ve boşluk oranı tayini ve ağırlıkça ve hacimce su emme deneyi yapılarak seçilmiş fiziksel özellikler belirlenmiştir. Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyi yapılarak; kayaç örneğinin standart iki çevrim süresince kurumaya ve ıslanmaya bırakılması durumunda, parçalanmaya ve zayıflamaya karşı gösterdiği duraylılığın belirlenmesi amaçlanmıştır.

Ofis çalışmalarında; örneklerin laboratuvar çalışmalarında tayin edilen fiziksel özellikleri ve portatif kesme kutusu deneyi neticesinde elde edilen parametreleri (c ve  $\phi$ ) kullanarak Slide 6.0 programında modeller oluşturularak çalışma ortamındaki kayaç ve kütlenin stabilite analizleri yapılmıştır.



Şekil 1.2 Kumtaşı içerikli şeyller (Koordinat: X:0486595, Y: 4228058, TK:240/40)



Şekil 1.3 Şeyl ağırlıklı kumtaşı-şel aralanmasında yüzeysel koşullarda (ıslanma-kuruma nedeniyle) şev tabnında meydana gelen kıymık şeklinde parçalanmalar (splitting) Koordinat: X: 490367, Y: 4232018, TK: 310/53, Şev: 271/6

## **BÖLÜM İKİ**

### **GENEL JEOLojİ**

#### **2.1 Giriş**

İzmir ve yöresinde temeli, Üst Kretase yaşlı Bornova Melanjı oluşturur (Özbek, 1981). Melanjın matriksinden daha yaşlı kireçtaşı mega-olistolitleri Bornova Karmaşığı'nın matriksi içerisinde rastgele bir düzen içinde bulunurlar (Özer ve İrtəm, 1982). Bornova Melanjı (karmaşığı), kumtaşı/şeyl-kalkerli şeyl ardalanmasından oluşmuş matriks içerisinde yüzen platform türü kireçtaşı, serpantin ve diyabaz bloklarından ve çakıltası mercek/kanal dolgularından meydana gelmiştir (Erdoğan, 1990). Neojen yaşlı gösel tortullar Bornova Karmaşığı'nın üzerine aşıl uyumsuz olarak gelir. Yamanlar volkanitleri de mevcut birimleri uyumsuz olarak örter. Kuvaterner yaşlı alüvyon alanda mevcut tüm birimleri uyumsuz olarak üstler.

#### **2.2 Önceki Çalışmalar**

ÖZBEK, 1981; Mesozoyik'te en yaygın birimin Kretase yaşlı kireçtaşı olduğunu ve bunun filiş içerisinde blok konumunda yer aldığını saptamıştır. Üst Kretase–Paleosen yaşlı filiş matriksin, kumtaşı-şeyl ardalanmasından oluştuğunu ve değişik kireçtaşı olistolitleri (tektaşları) içerdiğini saptamıştır. Araştırmacı, Senozoyik'te Neojen tortulların filiş ve Kretase kireçtaşları üzerine uyumsuz olarak geldiğini belirtmiştir.

ERDOĞAN, 1990; Araştırmacı İzmir-Ankara Zonu'nun, İzmir merkezi-Seferihisar arasında kalan bölgede yaptığı çalışmada, üç farklı tektonik kuşağın varlığından söz etmektedir. Bu kuşaklar; Menderes Masifi, İzmir-Ankara Zonu ve Karaburun Kuşağı'dır. Bölgede, Üst Kretase sırasında, Karaburun platformu ile bitişik olan İzmir-Ankara Zonu'nun açılımı sonucunda bloklu iç yapı sunan Bornova Karmaşığı'nın çökeldiğini savunur. Araştırmacı, bu karmaşık birimin, bir filiş matriks ve içerisinde yüzen platform türü kireçtaşı bloklarından meydana geldiğini

belirtmiştir. Bu bloklar yer yer 20 km uzunluğa erişmektedir. Ayrıca, birim içerisinde yer yer mafik volkanik arakatıklar, çakıltaşı ve kalkerli-şeyl merceklerine rastlanıldığı belirtilmektedir. Fosil determinasyonlarına ve birimlerin stratigrafik konumuna bağlı olarak, Bornova Karmaşığı'nın yaşı Kampaniyen ile Daniyen arasında değişmektedir. Yazar, blok yerleşiminin ardından, Bornova Karmaşığı'nın şiddetli gevrek deformasyona uğradığını ve bunun sonucunda küçük ölçekli sıyrılmaların meydana geldiğini ifade etmiştir.

KOCA, 1995; 1/25000 ölçekli İzmir L18-a1 ve L18-a2 paftalarını kapsayan Doktora tezi çalışmasında, yöredeki andezitler üzerinde ayrıntılı araştırmalar gerçekleştirmiştir. Andezitler içerisinde önceden açılmış olan taşocaklarında kinematik analiz yöntemlerini kullanarak, stabilite analizlerini gerçekleştirmiştir. Ayrıca, bahsedilen taşocaklarına ait ayna haritalarını hazırlamıştır. Andezitlere ait petrografik, indeks ve mühendislik deney ve incelemelerini de tez kapsamına alan araştırmacı, İzmir yöresi ile ilgili ilk detay araştırmayı gerçekleştirmiştir.

YAVAŞCAN, 1997; Bornova'nın kuzeydoğusunda yapmış olduğu çalışmasında, en altta kumtaşı-şeyl ardalanmasından oluşan Arapdere birimini ayırtlamıştır. Bu birim içinde, değişik boyutlarda kireçtaşı bloklarının olistolit konumunda yeraldığını göstermiştir.

BENİCE, 2003; Araştırmacı, fliş formasyonunun; İzmir İli ve çevresindeki dağılımı, mühendislik özellikleri ve mühendislik özelliklerini etkileyen faktörleri irdelenmiştir. Fliş içerisinde tanımlanan birimlerin ayrışma derecesini belirleyici parametrelere değinmiş olup mühendislik jeolojisi kapsamında ayrışmanın önemi ve meydana getirdiği problemler ile ayrışmayı kontrol eden faktörleri incelemiştir.

KINCAL, 2005; Araştırmacı Bornova yöresinde yapmış olduğu Doktora çalışmasında, Bornova Karmaşığı'nın yayılımını 1/1000 ölçekte haritalamıştır. Karmaşığın gerek matriksinden gerekse de olistolit konumunda yer alan

kireçtaşlarından örnekler alarak, bunların fiziko-mekanik özelliklerini incelemiştir.

KÖSE, 2007 ; Araştırmacı, İzmir yöresindeki Bornova Karmaşığı'na ait şeyler içerisinde meydana gelmiş olan heyelan sahalarından bazılarında mühendislik jeolojisi ile ilgili araştırmalar yapmıştır. Bu kapsamda Narbel (Narlidere) ve Kabaoğlu (Balçova) bölgelerinde yer alan heyelanlar üzerinde mühendislik jeolojisi, jeoteknik çalışmalar, şev stabilitesi analizleri, petrografik analizler ve XRD-analizleri yapmış olup çalışmasında söz konusu heyelanların kayma mekanizmaları, kaymayı oluşturabilecek zemin seviyesinin konumu, günümüz koşullarında ve/veya dinamik koşullarda yamaç stabilitesi ile ilişkili sorunları incelemiştir.

KINCAL, KOCA, 2009, Araştırmacılar, şeylerde ondülasyonlu süreksizlik düzlemlerinin kesişmesinden oluşan ara kesit yüzeyleri boyunca meydana gelen kama tipi kaymaların kinematik analizleri ile ilgili yeni bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu yöntemde projeksiyon tekniği kullanılarak, değişik ondülasyon açılarından oluşmuş kıvrımlı yüzeyler tek bir düzleme indirgenmiştir. Bu düzlemler dikkate alınarak kama tipi analizler yapılmıştır. Ayrıca, kama tipi kaymalarla tektonik olarak aktif fay zonları boyunca oluşan sismik aktivite arasında bir ilişkinin var olduğunu ortaya koymuşlardır.

## **2.3 İnceleme Alanının Jeolojisi ve Stratigrafisi**

### **2.3.1 Bornova Karmaşığı**

Birim, çalışma alanının temel kayasını oluşturmaktadır. Bornova Karmaşığı'nın matriksini oluşturan kumtaşı-şeyl ardalanması, sarımsı kahverenkli, düşük-orta dayanımlı, orta ve ince katmanlı ve bol çatlaklı kaya özelliğine sahiptir.

İzmir Bölgesi'ndeki temel kayalarını üzerleyen Bornova Karmaşığı çökme sürecinde ve sonrasında yoğun tektonik deformasyona uğramıştır (Erdoğan, 1990; Koca, 1995; Kincal, 2005; Kincal ve Koca, 2009). Çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı,



marn ve kireçtaşı ardalanmasından oluşan Neojen tortul kayalar Bornova Karmaşığı'nı uyumsuz üstler. Bornova Karmaşığı ile Neojen tortul birimleri arasındaki dokanak genellikle faylıdır. İzmir ve yöresinde KBB-GDD ve KD-GB yönlerindeki normal ve doğrultu atımlı faylar uzanmaktadır (Şekil 2.1). İzmir ve çevresinin fay haritası, arazi çalışmaları ve sistematik hava fotoğraflarının yorumlanmasına dayanmaktadır (MTA, 2000; Erdoğan, 1990; Koca, 1995; Kıncal, 2005). Fayların genel uzanımı, KD-GB'dir. Tuzla Fayı, Neojen yaşlı birimler ve Bornova Karmaşığı arasındaki sınır boyunca uzanmaktadır. 2005 depremi sırasında Tuzla Fayı yeniden çalışmıştır. Yaygın olarak KBB-GDD yönlü diğer bir fay grubu şehirdeki yerleşim alanlarından geçmektedir (Şekil 2.1).

Bornova Karmaşığı'nın yaşı, Kumtaşı-şeyl matriksi içerisindeki kalkerli-şeyl mercekleri içerisinde gözlenen Globotruncana fosilleri kullanılarak Üst Kretase-Paleosen olarak belirlenmiştir (Erdoğan, 1990). Kireçtaşları, açık ve koyu gri, orta-yüksek dayanımlı, bol çatlaklı, orta-kalın katmanlı ve yer yer masiftir.

Bornova Karmaşığı çökeliminin hemen sonrasında gelişen tektonizmanın etkisiyle şiddetli deforme olmuş ve ilksel yapısını kaybetmiştir (Erdoğan, 1990).

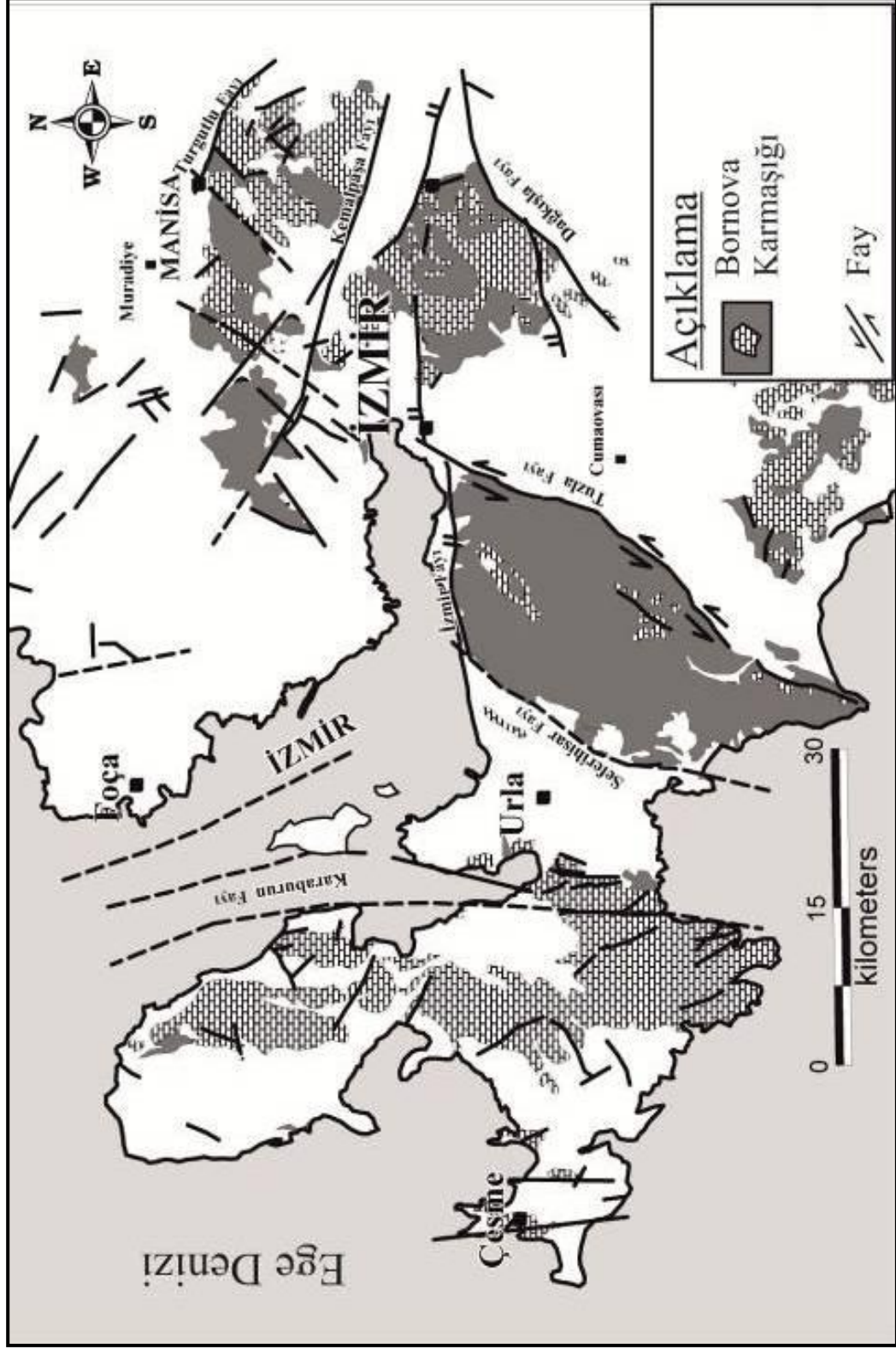
### *2.3.1.1 Kumtaşı/Şeyl Ardalanması*

Kumtaşı-şeyller İzmir-Ankara zonu boyunca geniş yüzlekler vermektedir. Gerek oluşum özelliklerinden dolayı ardalanmalı bir yapı göstermesi, gerekse de, oluşum sonrası tektonik olayların etkisiyle oldukça kıvrımlı ve kırıklı bir yapı sunar. Çalışma alanı içerisinde kumtaşı katmanları 5-30 cm arasında değişen kalınlıklar sunarken, şeyllerin milimetre düzeyinde laminalanmaya sahip oldukları gözlenmiştir.

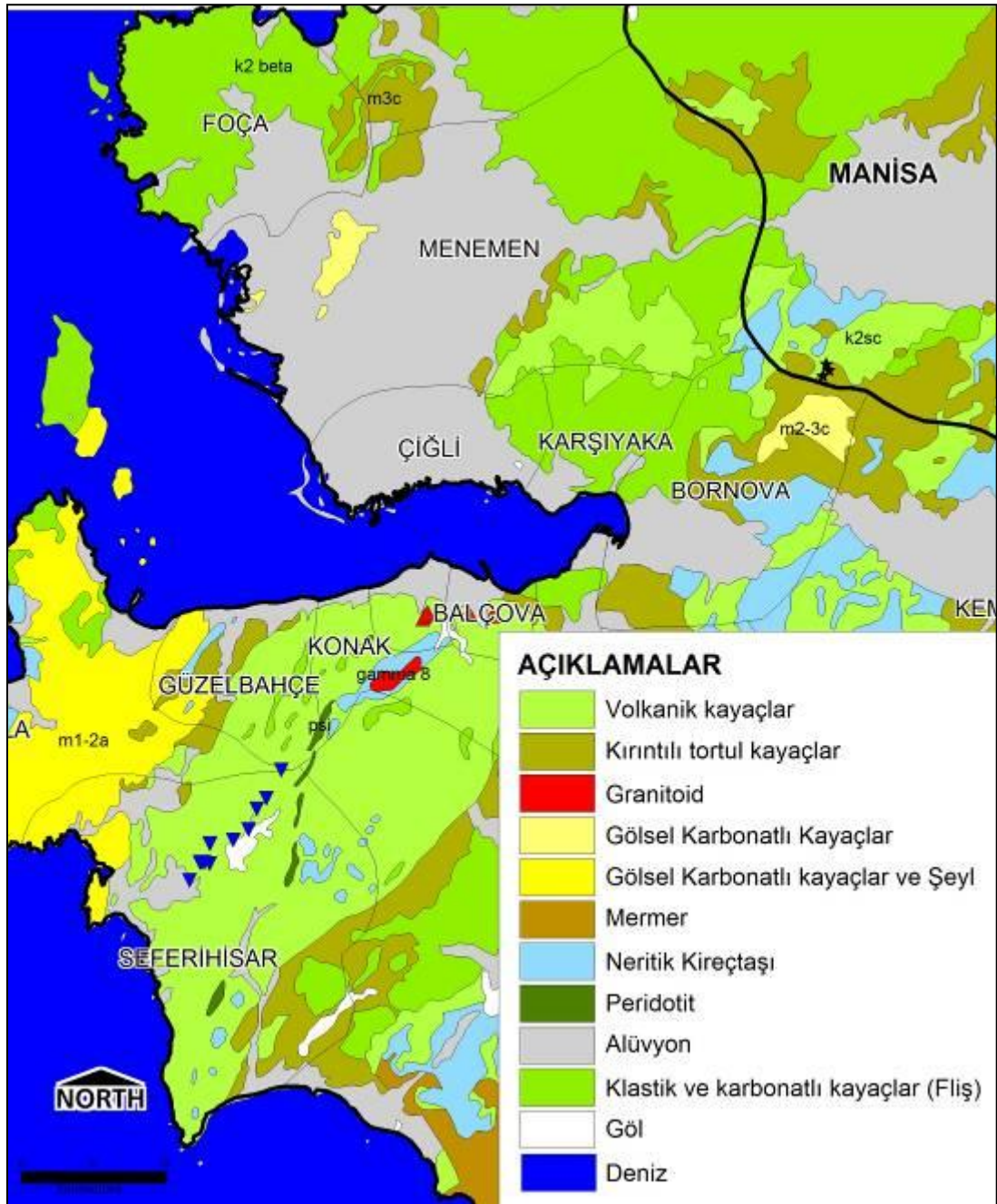
Kumtaşları, kahverengi, kırmızımsı kahverengi ve yeşilimsi kahverengi renklerde gözlenir. Taze yüzey rengi kahverengimsi gri olan kumtaşlarında, ayrışma sonucu yüzeylerinde belirgin renk değişimleri olmasına karşın, dayanımları oldukça yüksektir. Çalışma alanı çevresinde yapılan gözlemlerde, şeyllerin, ayrışmış

kisimlerinin grimsi-kahverengi, taze kisimlerinin ise koyu gri ve yeşilimsi gri renkli oldukları belirlenmiştir. İnce katmanlı (laminalı), kıvrımlı ve kırıklı bir yapı sunan şeyller, ayrışmanın etkili olduğu kısımlarda oldukça dayanımsızdır. Çalışma alanında örnek alınan lokasyonları da kapsayan İzmir İli ve çevresinin genel jeoloji haritası Şekil 2.2'de verilmiştir.

Şeyller bozunduğunda orta-düşük plastisiteye sahip killer oluşmaktadır. Kıvrımlanmanın sonucu olarak şeyl tabakalarının doğrultu ve eğimleri kısa mesafelerde değişmektedir. Kıvrımlanmış bir tabakadan diğerine geçerken, kıvrım profilinde ani bir değişim olmaktadır. Kıvrım eksenleri arasındaki uzaklıklar 20 cm'ye kadar değişmektedir. Ayrıca, şeyller katmanlanmaya yaklaşık olarak dik yönelen, iyi gelişmiş çatlaklar içerirler. Çatlakların eğimleri 40° - 90° arasında değişir.



Şekil 2.1 Bornova Karşıyaka'nın İzmir yöresindeki yayılımı (Kıncal ve Koca, 2009'dan değiştirilerek).



Şekil 2.2 Örnek alınan lokasyonları da kapsayan İzmir İli ve çevresinin genel jeoloji haritası (M.T.A., 2000).





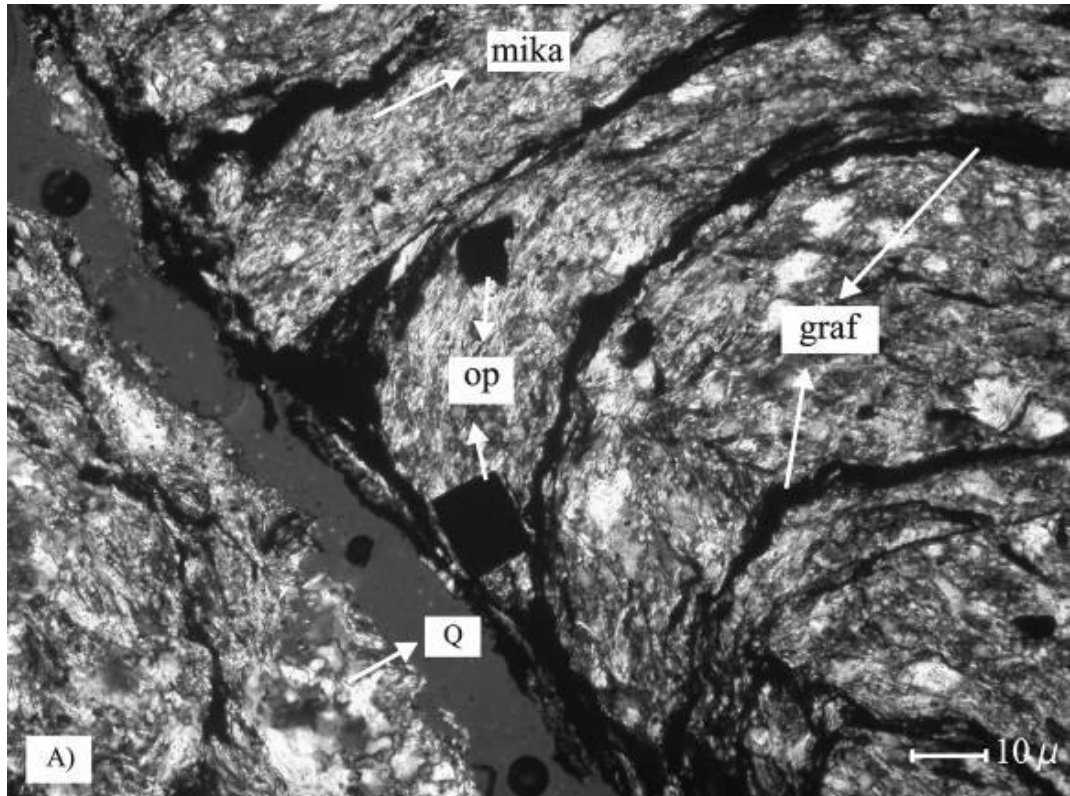
Şeyllerde bulunan mineraller, önemli oranda kuvars, muskovit ve az miktarda feldspat, kalsit, pirit ve opak mineraller bulunmaktadır (Şekil 2.4 ve 2.5). Kuvars ve muskovit mineralleri şeyllerde ana minerallerdir. Feldspat ve kalsit az miktarda olup, her örnekte gözlenmez. Kalsit çok ince damarlar şeklindedir. Bununla birlikte, süreksizliklerin dolgu malzemesi olarak kuvars bulunur. Şeyller içerisindeki kil ve silt boyu mineraller kayacın %60'ını oluşturur. Mikro kırıklar 0,1 – 0,4 mm kalınlığa sahip olup, genellikle ikincil kuvars mineralleri tarafından doldurulmuş durumdadır. Kuvars mineralleri 0.01 – 0.08 mm büyüklüğe sahiptir. Petrografik araştırmalar göstermiştir ki ana mineral kuvars, siltli kesimlerde %30 – 50 oranında mevcuttur. Diğer mineraller ise; mika, kil (%25 – %30) ve opak minerallerdir.

Filiş matriksin kumtaşından sonraki diğer bileşeni şeylerdir ve genelde matriksin %50 - %60'ını şeyler oluştururlar. Şeyl yarıлма özelliği (fissility) gösteren çamurtaşdır. Çamurtaşlarını silt ve kil boyutundaki mineral partikülleri oluşturur. İzmir ve yöresinde, mineralojik bileşimlerine göre farklı tipte şeyler ayırt edilmiştir. Bunlar; siltli kil şeyler, siltli şeyler ve siyah/grimsi siyah renkli siltli şeylerdir. Bu ayırım şeyleri oluşturan ana mineral bileşenleri (kil mineralleri, kuvars, mika ve diğer bileşenler) ve renk özelliği dikkate alınarak yapılmıştır. Alttan aydınlatmalı polarizan mikroskop yardımıyla şeyler için gerçekleştirilen ince kesit analizlerinin sonuçları Tablo 2.1'de sunulmuştur.

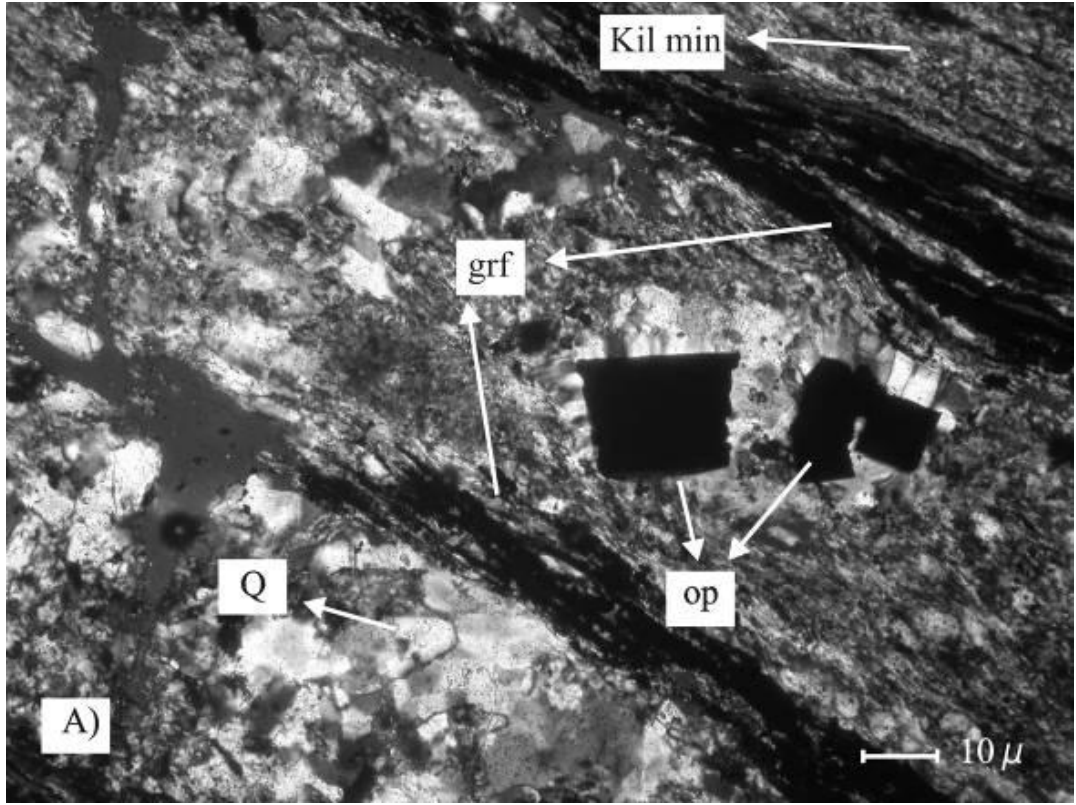
Kuvars miktarı en yüksek siyah renkli siltli şeylerde, en düşük ise siltli kil şeylerde elde edilmiştir (Tablo 2.1). Mika mineralleri de en çok siyah renkli siltli şeylerde elde edilmiştir. En kalın mikro fissürler siltli şeylerde edilmiştir. Bu sonuçlar, şeylerin durabilitesi üzerinde etkili olmuştur. Mika mineralleri lamina yüzeylerine paralel konumlanmıştır. Mika mineralleri yüzeysel koşullarda havanın ve suyun etkisiyle kolaylıkla ayrışarak (günlenme) kil minerallerine dönüşmektedir. Bu durum laminalı tabaka yüzeyleri boyunca ayrılmayı kolaylaştırmaktadır.

Tablo 2.1 Şeyl tipleri için ince kesit analiz sonuçları.

Mineral	Siltli kil şeyl	Siltli şeyl	Koyu gri/siyah siltli şeyl
	% mineral	% mineral	% mineral
Ana bileşeni silt ve kalanı kil mineralleri	40 - 50	30 - 45	> 50
Kuvars	25 - 30	35 - 45	30 - 40
Mika (muskovit)	15 - 20	10 - 15	15 - 20
Diğerleri (feldispat, kalsit, opak mineraller)	< 5	< 5	< 8
Mikro kırıklar (fisürler)	0.1 – 0,4 mm	0.3 – 2,0 mm	0.15 – 1.50 mm
Kalsit minerali	-	-	+
Feldispat	+	+	+
Kayacın rengi	Koyu griden-sarımsı kahveye kadar	Sarımsı kahve, killi kısımlar ise kahverenkli	Koyu gri ve siyah



Şekil 2.4 Balçova'da gözlenen bitümlü şeyllerden alınan Bal-2 örneğine ait polarizan mikroskop görüntüsü, A)+ N, B) // N, op:opak mineraller



Şekil 2.5 Manisa Sabuncubeli’de gözlenen bitümlü şeylerden alınan M-2 (Manisa) örneğine ait polarizan mikroskop görüntüsü, A) + N, B) // N, op: opak mineraller

### 2.3.2 Gösel Tortullar

Bornova Karmaşığı’nı, yersel değişen kalınlıklara sahip Neojen yaşlı kırıntılı-karbonatlı gösel tortul kayaları; çakıltaşı, killi kireçtaşı/marn ve kireçtaşı’ndan oluşan istif uyumsuz olarak üstler. Gösel tortullardan çakıltaşı; bölgedeki Üst Kretase-Paleosen yaşlı Bornova Karmaşığı’nın çakıllarından oluşmuştur. Orta-ince katmanlı, orta dayanımlı ve ara madde destekli bir yapıya sahiptir. Kireçtaşları ise beyaz renkli, orta-ince katmanlı, dayanımlı yer yer silisifiye olmuş, bol miktarda saz ve Gastropod fosilleri içermektedir. Killi kireçtaşı/marn ise sarımsı beyaz renkli, ince katmanlı ve dayanımsızdır. Genelde katmanların eğim açıları 5°-20° arasında değişmektedir. Ondülasyonlu bir yapı sunarlar.

Gösel tortulların yaşı, killikireçtaşı/marn ve kireçtaşları içerisinde gözlenen Gastropod ve saz fosillerine dayanarak Neojen olarak verilmiştir. Gösel Neojen tortulların katmanlarının konumları genelde yatay ve yataya yakındır.



### **2.3.3 Yamanlar Volkanitleri**

Yamanlar volkanitleri, çalışma alanı içerisinde Andezitik-dasitik masif lav, tüf, otobreşik andezit ve aglomeralarla temsil edilirler. Volkanitler, bölgede bulunan Neojen çökellerini uyumsuz olarak üstlemektedir.

### **2.3.4 Yamaç Molozu ve Alüvyon**

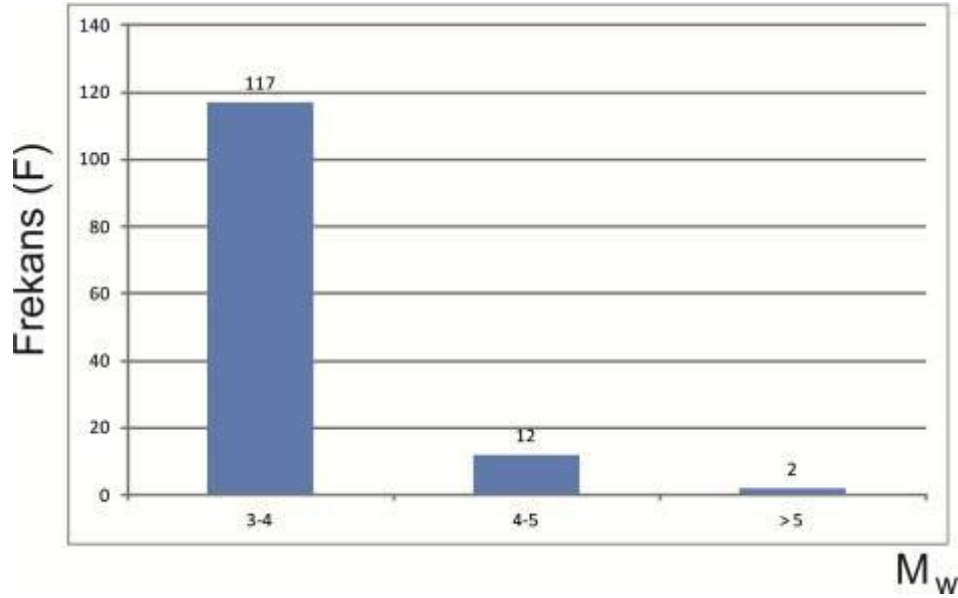
İnceleme alanını çevreleyen ana dereler boyunca ve ana derelere dik konumda bulunan küçük dereler boyunca yamaç molozlarını görmek mümkündür. Yamaç molozları, arazi genelinde, temel kayalardan türeme blok ve çakılların silt ve kil içerikli olarak kum matriks içinde bulunduğu bir malzeme özelliği sunmaktadır. Bu zeminin özelliği, üzerinde bulunduğu ana kayanın özelliklerine göre değişmektedir. Marnlar üzerinde yer alan yamaç molozlarının matriksi silt-kil içerikliken, çakıltaşlarının üzerinde yer alanların matriksi ince-orta kum boyutuna sahip malzemelerden oluşmaktadır. Yamaç molozları arazi genelinde, topoğrafyanın sekiler oluşturduğu ve eğimin nispeten düşük olduğu alanlarda ve derelerle sınırlı alanlarda gözlenmiştir.

## **2.4 Deprem Durumu**

Ege Bölgesi'nin tamamı 1. derecede deprem bölgesinde yer almaktadır. İzmir ve yakın yöresi tarihsel dönem deprem kayıtlarının en fazla olduğu bölgelerimizden biridir. İzmir ve yakın çevresinde yıkıcı hasar yapan büyük depremler Tablo 2.3'de sunulmuştur. İzmir İli Seferihisar, Narlıdere ve Konak İlçeleri birinci dereceden deprem bölgesinde yer almaktadır.

Bölgedeki sismik aktivitenin sonucu olarak doğal şevlerde yenilmeler gözlenmiştir. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'ndeki (KOERİ, 2008) verilerine göre, Ege Bölgesi'nde, 1/1/2011 den günümüze değin  $M_w \geq 3$  deprem sayısı 117'dir.  $M_w \geq 4$ 'ten büyük deprem sayısı ise 12,  $M_w \geq 5$ 'ten büyük

deprem sayısı ise 2'dir.  $M_w \geq 5$ 'ten büyük depremler Foça ve İzmir körfezinde 2012 yılı içerisinde meydana gelmiştir (Şekil 2.6). Şeyllerden oluşan dağ şevlerinde Richter ölçeğine göre  $M_w \geq 4$  büyüklüğündeki depremlerin ardından kritik denge halindeki şevlerde şev duraysızlıkları gelişebilmektedir (Kıncal ve Koca, 2009). İzmir ve yöresinde gerek kama tipi gerekse düzlemsel kaymalar ve/veya diğer kayma hareketlerinin %90'ının aktif faylarla kontrol edilen şevlerin üzerinde ve/veya yakınında olduğu araştırmacılar tarafından belirtilmiştir. Özellikle dik eğimli şevlerde ( $\alpha \geq 35^\circ$ ) deprem sırasında kaya kütle kaymaları meydana gelebilmektedir (Keefe, 1984; Day, 2001). Bu gözlem, bölgedeki faylar, sismik aktivite ve kütle hareketleri arasındaki ilişkileri desteklemektedir.



Şekil 2.6 1/1/2011'den günümüze değin  $M_w \geq 3$  depremlerin frekans dağılımları.

Tez çalışması kapsamında depremin şev stabilitesi üzerindeki etkisini daha geniş kapsamda tespit etmek amacıyla farklı sismik katsayılar kullanılarak Slide v. 6.0 programında çeşitli analizler yapılmış olup sonuçlar Tablo 3.10, 3.11, 3.12 ve 3.13'de verilmiştir.

Maksimum ivme değerlerinin; depremin büyüklüğüne, yırtılan faydan uzaklığa ve dalgaların geçtiği zeminin türüne bağlı olarak değişimlerinin ifade edilmesi deprem mühendisliği literatürünün en önemli çalışma konularından birisini oluşturur.

Deprem risk çalışmalarında kullanılan azalım ilişkileri; maksimum ivme, şiddet ve spektral ivme gibi yer hareketi parametrelerini, deprem kaynak parametreleri, yayılma ortamı ve zemin özelliklerine bağlı olarak belirler. Bu çalışmada ilk olarak; incelenen bölge sınırları içinde Fukushima ve Tanaka (1990) tarafından geliştirilen azalım ilişkileri kullanılarak, ana kaya seviyesinde oluşabilecek en büyük yatay ivme değerleri belirlenmiştir.

Söz konusu Fukushima & Tanaka (1990) yöntemi (eşitlik 1) kullanılarak çalışma alanına yaklaşık 21 km uzaklıkta bulunan Gülbahçe fayında oluşacak olan 5.5, 5.8, 6.0 ve 6.5 büyüklüklerindeki olası depremlerde max ivme değerleri tablo 2.2'de verilmiştir. Gülbahçe fayından söz konusu uzaklıkta olan çalışma alanında hissedilecek maksimum yer ivmesi değeri 0,11-0,29 g arasında bulunmuştur.

$$\log_{10}a = 0.42 M_w - \log (R + 0.025 \times 10^{0.42M_w}) - 0.0033R + 1.22 \text{ Fukushima ve Tanaka(1990)} \quad (1)$$

a: Maksimum yatay yer ivme değeri (cm/sn<sup>2</sup>)

M<sub>w</sub>: Deprem moment büyüklüğü

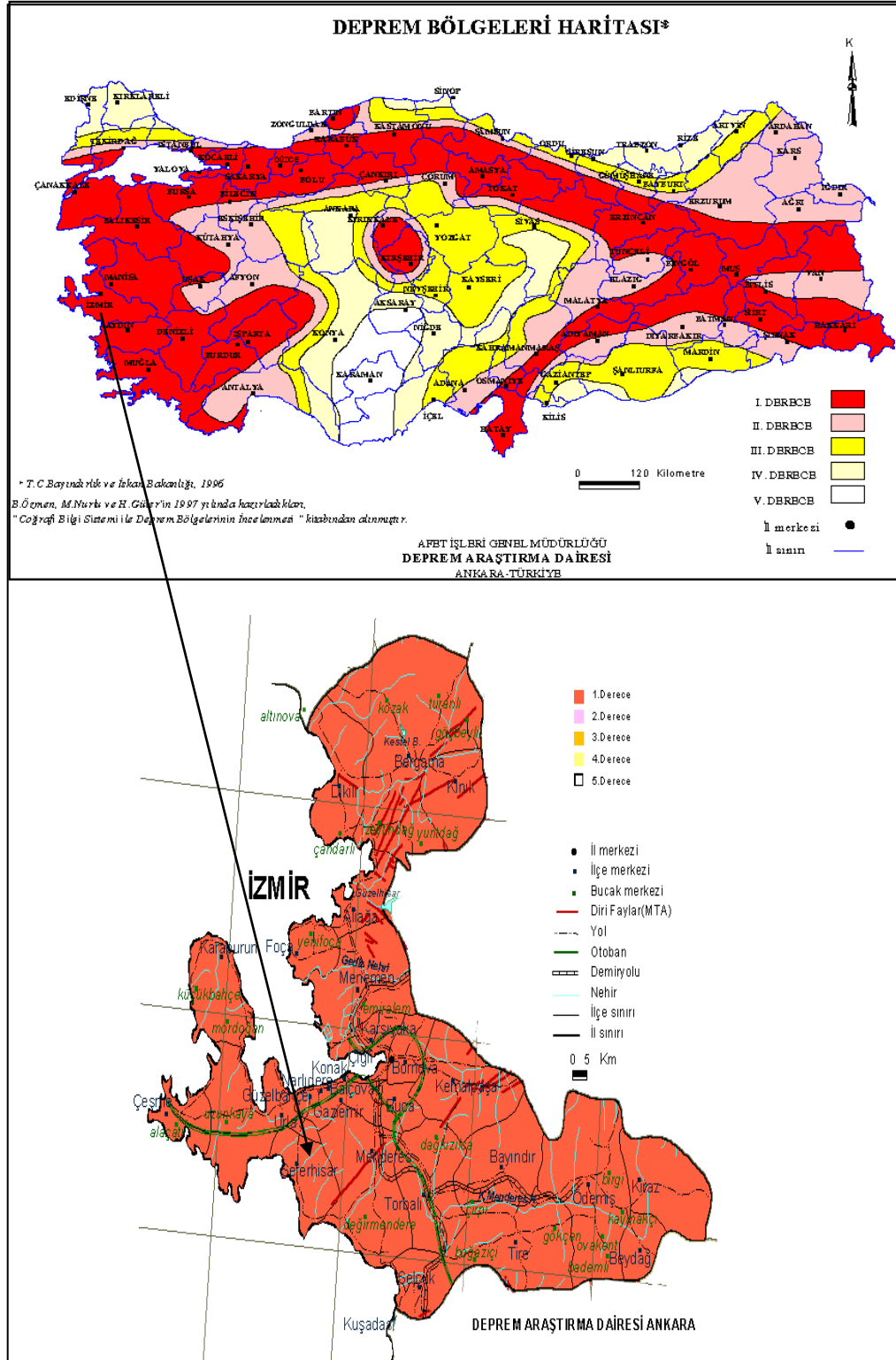
R: Faya dik uzaklık (km)

Bu durumda İzmir ilinde Seferihisar bölgesinde ana kaya seviyesinde oluşabilecek en büyük yatay deprem ivmesi Fukushima & Tanaka (1990) yöntemine göre 0,29 g olarak hesaplanmıştır.



Tablo 2.3 İzmir ve yakın çevresinde son yüzyılda gelişmiş büyük ( $M > 5$ ) depremler (Türkelli ve diğerleri, 1990'dan düzenlenmiştir).

Tarih	Saat (UT)	Enlem (K)	Boylam (D)	Derinlik (km)	Büyüklik (M)	Şiddet ( $I_0$ )	Açıklama
19/01/1909 Foça Depremi	04:57	38.00	26.50	60	6.0	IX	Depremi merkezi Güzelhisar, Menemen ve Foça arasındadır. 700 ev yıkılmış, 1000 ev hasar görmüş, 8 kişi ölmüştür.
31 Mart 1928 Torbalı Depremi	00:29	38.18	27.80	10	6.5	VIII	Depremi merkezi Torbalı'da Küçük Menderes ile İzmir K-G çukurluklarının birleştiği yerdedir. Depremde 2000 ev yıkılmıştır. Torbalı-Tepeköy yöresinde fazla hasara, İzmir, Manisa, Alaşehir, Uşak Bayındır, Tire ve Ödemiş'te hafif hasara neden olmuştur. Deprem bütün Batı Anadolu'da hissedilmiştir.
22 Eylül 1939 Dikili Depremi	00:36	39.07	26.94	10	6.6	VIII IX	Depremi merkezi Dikili'ye çok yakın olup, Dikili ile Midilli arasındadır. 1000 ev yıkılmış, 41 kişi ölmüş, 68 kişi yaralanmıştır. Depremden sonra termal kaynaklar oluşmuştur. Dikili ile Bergama arasında yarıklar oluşmuştur. Deprem bütün Batı Anadolu'da hissedilmiştir.
23 Temmuz 1949 Karaburun Depremi	15:03	38.57	26.29	10	6.6	VIII VII X	Deprem sonucunda Karaburun-Çeşme yarımadasının doğusu, Mordoğan ile yarımadanın kuzey burnu arasında, Denize giren çevresinde, Çeşme yarımadasında ve çevresindeki köylerde oldukça ağır hasar meydana gelmiştir. Çeşme ılcasının suları çoğalmış, bazı akarsular da kesilmiştir. Sakız adasında da hasar olmuştur ve denizde çok şiddetli hareketler gözlenmiştir. 7 kişi ölmüş, 2200 ev yıkılmış veya hasara uğramıştır.
2 Mayıs 1953 Karaburun Depremi	05:41	38.48	26.57	40	5.0	VII VIII	Depremi merkezi Karaburun yarımadasının kuzeyi olup, Dikili, Urla, Menemen, Çeşme, Bergama ve Foça'da şiddetlice hissedilmiştir. Kötü zeminlerde hasara neden olmuştur. Yaklaşık 300 ev hasar görmüştür.
16 Temmuz 1955 Söke-Balat Depremi	07:07	37.65	27.26	40	6.8	VIII	Depremi merkezi Ege denizindedir. Deprem Ege adalarında, İzmir ve ilçelerinde, Kuşadası ve yakın yerleşim birimlerinde hissedilmiştir. İzmir'de birçok yapının duvarları çatlamış, bazı camilerin minareleri hasar görmüştür. Deprem sırasında büyük bir gürültü duyulmuş, Gediz ve Büyük Menderes nehirlerinde taşmalar meydana gelmiştir. Deprem sırasında 300 ev yıkılmış, 2 kişi ölmüştür.
19 Haziran 1966 Menemen Depremi	17:55	38.55	27.35	9	4.8	VI	İzmir ve çevresinde şiddetlice hissedilen bu depremde Menemen'de 100 kadar evin duvarları çatlamıştır.
6 Nisan 1969 Karaburun Depremi	03:49	38.47	26.41	16	5.9	VIII VII	Merkezi Karaburun açıkları olan bu deprem, Çeşme ve Sakız adasında 443 yapıda hasara neden olmuştur.
1 Şubat 1974 İzmir Depremi	00:01	38.55	27.22	24	5.3	VII	Depremi merkezi İzmir'den 15 km uzaklıkta olup birçok yapıda hasara neden olmuştur. İzmir'de 2 kişi ölmüş, 7 kişi yaralanmış, 47 evde ağır hasar görülmüştür. Şehir merkezi ve Karşıyaka'nın bir kısmında Alsancak'ta çeşitli hasarlar olmuştur.
16 Aralık 1977 İzmir Depremi	07:37	38.41	27.19	24	5.5	VIII	İzmir'de bu deprem ile bazı evler yıkılmış, 20 kişide yaralanmıştır. Özellikle Buca, Alsancak, Hatay, Karşıyaka, Bornova, Gültepe ve Tepecik semtlerinde bazı evler hasar görmüş, duvarlar çökmüş ve çatlaklar oluşmuştur.
14 Haziran 1979 Karaburun Depremi	11:44	38.79	26.57	15	5.7	VII	Depremi merkezi Ege denizindedir. İzmir ve çevresinde kuvvetlice hissedilen bu depremde, Alsancak semtinde bazı evlerde duvarlar derin biçimde çatlamıştır. Karaburun'da 2 ev çökmüş, bir kişi yaralanmıştır. Deprem Ege adalarında da hissedilmiştir.
6 Kası 1992 Doğanbey Depremi	22:08	38.16	26.99	17	5.7	VII	Depremi merkezi Doğanbey civarında olup, 60 kadar yapıda ciddi hasara sebebiyet vermiştir. Deprem İzmir'de kuvvetli olarak hissedilmiştir.
28 Ocak 1994 Manisa Depremi	18:45	38.69	27.49	5	5.2	VII	Manisa ve civarında 60 kadar yapıda hasar vardır.
24 Mayıs 1994 Karaburun Depremi	05:05	38.66	26.54	17	5.0	VII	Karaburun ve civarında 10 kadar yapıda hasar vardır.
10 Nisan 2003 Urla Depremi	03:40	38.26	26.83	16	5.6	VII	Depremi merkezi Urla ile Seferihisar arasına düşmektedir. Urla ve Seferihisar'da bazı evlerin duvarlarında çatlaklar oluşmuştur. Deprem İzmir'de şiddetli olarak hissedilmiştir.



Şekil 2.8 İnceleme Alanının Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası'ndaki konumu (AFAD, 2012).

## BÖLÜM ÜÇ

### MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ

#### 3.1 Giriş

Şeyller yeryüzünde en çok yayılıma sahip malzemelerden biridir ve mühendislik açısından oldukça sık sorunlar yaratır. Düşük geçirgenlik ve yüksek şişme potansiyeli tüm şeyllerin ana mekanik davranışlarından bir kaçıdır. Şeyl gibi klastik kayaçların dayanım başta olmak üzere birçok jeomekanik davranışı, ayrışma şartlarının düşük olduğu örselenmemiş malzemelerde bile çok büyük değişiklikler gösterebilir.

Şeyller genelde, kazı sırasında hava ile temasa geçtiklerinde, suda dağılmaya ve anında farklı oranlarda yüzeysel bozunmaya ve ayrışmaya başlarlar (Gemici, 2001). Şeyller, kayanın ayrılmasına yol açan dilinme özelliğine sahiptir. Kaya, tabaka yüzeylerinden itibaren ayrılmaya eğilimlidir. Şeyller, bu çalışmada, Çizelge 3.1’de sunulan jeoteknik verilere göre “*sık çatlaklı zayıf kaya*” olarak sınıflandırılmışlardır.

En önemli kaya kütle özelliklerinden biri de birinci derece pürüzlülüktür (Fecker ve Rengers, 1971). Tabaka düzlemlerinin ondülasyonu gibi görünen ve hareket sırasında genelde kesme yenilmesine uğramayan “dalgalılık”, birinci derece pürüzlülük olarak adlandırılır. Bu nedenle, ondülasyonların etkisi, tabaka düzlemleri boyunca gerçekleşen yer değiştirme ile değişmez. Ondülasyonlar, katman yüzeylerinin sürtünme özelliklerini değiştirmez, ancak görünür eğim açısı değerlerini değiştirir ve şev açısını azaltırlar.

Arazide yapılan ölçümlerde, şeyllerdeki katman yüzeylerinin ondülasyon açıları birbirine dik iki cetvel kullanılarak ölçülmüştür. Bazen, dalga boyu cetvel uzunluğundan daha büyük olduğunda ölçümler şerit metre kullanılarak yapılmıştır. Arazideki ölçümler ile katman yüzeylerinin ondülasyon açılarının genellikle 22° - 54° arasında değiştiği belirlenmiştir. Şeyllerdeki katman yüzeylerinin birinci derece pürüzlülük açılarının ortalama değeri  $29^{\circ} \pm 8^{\circ}$  olarak belirlenmiştir (profil sayısı 16, bu profillerdeki süreksizlik segmentlerinin sayısı 59). Diğer taraftan, şeyllerdeki laminalı katman yüzeyleri genelde birbiri üzerine ötelenmiş ve pürüzsüzdür.

Tablo 3.1 Arazi ölçümlerinden elde edilen süreksizlik özellikleri

Tabaka düzlemi aralığı (cm)	0,1-1,0 (laminalı)
Tabaka düzlemi üzerindeki açıklıkların genişliği (mm)	1,0-2,0 (çok dar)
Çatlak aralığı	25,0-60,0 (orta geniş ve/veya geniş)
Dolgu materyali	Kalsit, kuvars
Çatlakların açıklıklarının genişliği (mm)	1,0-10,0 (orta genişlikte boşluklu)
Devamlılık (m)	$\leq 1,0$ (çok devamsız çatlak)

Şeyllerin jeoteknik özelliklerini etkileyen mineral içeriklerinde en önemli faktör kuvars-kil mineralleri oranındaki değişimlerdir. Örneğin kil şeyllerin likit limit değerleri özellikle montmorillonit türü kil minerallerinin varlığı ile artış gösterir. Bir yanda rekristalizasyonla beraber gelişen oturma, özellikle mika minerallerinin paralel şekilde yönlenmesi ve diğer yandan da şeyllerin çatlaklı yapısı gibi olaylar önemlidir. Bunun yanında, karbonatlı ve organik şeyllere nazaran silikatlı ve kalkerli şeyllerin artışı çatlaklı yapıyı da azaltmaktadır. Orta derecede ayrışma kil minerallerinin su alması ile laminasyonların yanında şeyllerin çatlaklı yapısını da arttırmaktadır (Gemici,1996).

Şeyl-çamurtaş gibi yoğun kil içerikli birimlerin başta hava ve su olmak üzere bir çok dış ve iç etkiyle fiziksel ve kimsayal ayrışmaya maruz kalması bu tarz kaya kütlelerinde stabilite problemlerinin ne denli önemli olduğunu göstermektedir (Benice, 2003).





### 3.2 Şeylerde Yapılan Tilt Deneyi Sonuçları

Tilt deneyinin esas amacı, şev yenilmesi anında çalışan farklı süreksizlik tiplerinin yüzey sürtünme açılarını belirlemektir. Arazide, blokların birbiri üzerinden kaydırılması ile yapılan blok kaydırma deneyi, 1-2 mm kil dolgu kalınlığına sahip (çok ince kil dolgulu) katman yüzeyleri üzerinde yapılmıştır. Şekil 3.1’de görülen kama tipi kayma alanlarında düzgün ve hafif ondülasyonlu katman yüzeylerinin yüzey sürtünme açısı  $24^\circ \pm 2$  olarak belirlenmiştir. Tilt deneylerinden elde edilen minimum sürtünme açısı  $21^\circ$  olarak bulgulanmıştır (Kıncal ve Koca, 2009).

### 3.3 Laboratuvar Deneyleri

Kaya ve zeminde açılan şevlerin tasarımında kullanılmak üzere gerek makaslama dayanımı parametrelerinin ( $c'$  ve  $\phi'$ ), gerekse kayacın fiziko-mekanik özelliklerinin tayini için en iyi yöntemlerden biri deney yapmaktır. Çalışma alanı içerisinde tanımlanan şeylerin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi kapsamında veri temin etmek amacıyla doğal şevlerden alınan numuneler üzerinde (Şekil 3.1) laboratuvar çalışmaları sonucunda şeylerin bazı fiziko-mekanik özellikleri ve mukavemet parametreleri tayin edilmiştir.

Araştırmadan elde edilen veriler ışığında, bilgisayar programı kullanılarak şevlerin stabilitesi incelenmiştir. Bu kapsamda, analizlerde kullanılmak üzere laboratuvar da birim hacim ağırlık tayini deneyleri yapılmıştır. Yapılacak analizlerde kullanılmak üzere, portatif kesme kutusu deneyleri sonucunda şeylerin kohezyon ( $c$ ) ve içsel sürtünme açısı ( $\phi$ ) değerleri belirlenmiştir. Laboratuvar deney sonuçları şev stabilite analizleri yapılmıştır. Şevdeki kaymaya karşı duraylılık incelemesinde öncelikle maksimum yer ivme değerleri ( $a_{max}$ ) ve kohezyon parametresi ( $c'$ ) değişken olarak tanımlanmıştır.

Arazi gözlemleri, İzmir çevresindeki tektonik deformasyonlara maruz kalmış şeylerdeki tabaka yüzeylerinin kolayca kesme yenilmesine uğrayan, kayma izli ve pürüzsüz yüzeylere sahip olduğunu göstermiştir. Kayma izli ve pürüzsüz yüzeylere

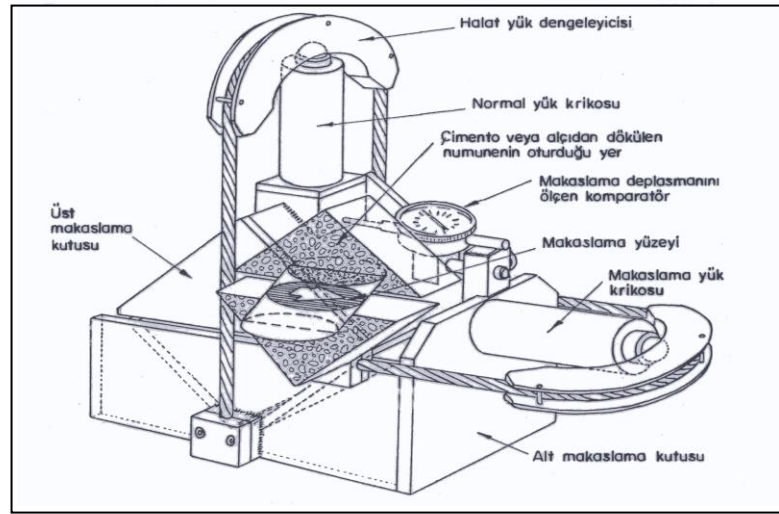
sahip süreksizliklerin varlığı şev yenilmelerinde ve çoğu çamur şeylerinin duraysızlığında payı bulunan esas etkenlerdendir. Bu nedenle, makaslama dayanımı parametrelerini ( $c'$  ve  $\phi'$ ) belirlemek için laboratuvar koşullarında doğrudan makaslama deneyleri yapılmıştır.

Kaya şev duraylılığının değerlendirilmesi için makaslama dayanımı parametrelerinin belirlenmesi çok önemlidir (Barton, 1976). Zayıf ve yumuşak kayalarda süreksizliklerin mekanik özellikleri, yumuşamaya neden olan suyun kaya içine süzülmesi ve kazıya bağlı gerilme boşalmasıyla oluşan ayrılma sonucunda zayıflar (Walker ve Fell, 1987; Mimuro et al., 1991 ve Ulusay ve Yoleri, 1993).

Bunun yanı sıra, kesme deneyleri için örnek hazırlanması ve tabaka düzlemlerinden güvenilir makaslama dayanımı değerleri elde etmek için ISRM yöntemlerine uyum sağlanması konusunda genellikle zorluklarla karşılaşılır. Bu gibi zorlukların aşılabilmesi için arazi örneklerinin az bozunmuş ve sert, sağlam şeyl bloklarından alınmış olması gerekmektedir.

### ***3.3.1 Portatif Kesme Kutusu Deneyi***

Laboratuvar deneyleri bilgisayar kontrollü gelişmiş aygıtlarla yapılabildiği gibi araziden elde edilen numunelerden laboratuvar ortamında karot alınarak süreksizlikleri test etmek üzere geliştirilen, taşınabilir makaslama aygıtı (Şekil 3.2) ile de yapılabilir. In-situ deneyleri çok pahalı ve zahmetli olup ancak çok kritik şevlerin tasarımında gerekli görülebilir.



Şekil 3.2 Portatif kesme kutusu aygıtı.

Portatif kesme kutusu deneyi; makaslama dayanımı parametrelerinin tayini amacıyla, taşınabilir bir makaslama düzeneği kullanılarak yapılan bir deneydir. Kesme deneyleri şeyllerdeki laminalı tabaka yüzeyleri boyunca yapılmıştır. Deneyler ISRM (1981) ve CANMET (1997b) tarafından önerildiği gibi yapılmıştır.

### 3.3.1.1 Araç ve Gereçler

(a) Taşınabilir makaslama kutusu düzeneği; numuneye düşey ve yanal yönde kuvvet uygulanması için iki hidrolik pompa, pompalara takılı yük okuma göstergeleri, alçı kalıbıyla birlikte deney numunesinin yerleştirildiği metalden yapılmış alt ve üst kutulardan oluşmaktadır (Şekil 3.3).

(b) Düşey ve yanal yönlerdeki yer değiştirmelerin ölçülmesi için okuma yapabilecek göstergeler

(c) Örnek Hazırlama Kalıpları

(d) Karot Alma ve Karot Kesme Makinası

(e) Kalıpların Hazırlanması için Gerekli Malzemeler

Örneklerin içine yerleştirileceği kalıpların hazırlanması amacıyla; alçı, çimento veya benzeri bağlayıcı malzeme, bu malzemelerin karıştırılması için uygun bir plastik leğen, mala ve spatula.

f) Bağlayıcı malzemenin metal kalıplara yapışmasını önlemek için özel bir beton yağı veya vazelin. Deney sırasında yapışmayı önlemek için özel naylon poset kullanılmıştır.



Şekil 3.3 Labaratuvarıda kullanılan portatif kesme kutusu deney düzeneği.

### 3.3.1.2 Örneğin Hazırlanması

Çalışma alanında belirli lokasyonlardan alınan uygun numunelerden laboratuvarıda belirli (Nx) çapta karotlar alınmıştır (Şekil 3.4, 3.5, 3.6).



Şekil 3.4 Labaratuvarıda karot alımında kullanılan karotiyer.



Şekil 3.5 Laboratuvarında karot alımı.



Şekil 3.6 Alınan karot örneklerinden görünüm.

Süreksizlik yüzeyini içeren numune, deney kalıplarına sığacak şekilde alt ve üst yüzeyinden kesildi (Şekil 3.7, 3.8). Alçı su ile karıştırılarak kıvamlı hale getirildi (Şekil 3.9).





Şekil 3.7 Alınan karot örneklerinin deney kalıplarına uygun hale getirilmesi.



Şekil 3.8 Üst ve alt yüzeyleri deney için uygun hale getirilmiş karot örneği.



Şekil 3.9 Kesme kutusu deneyi için örnek hazırlamada kullanılan alçının su ile kıvamlı hale getirilmesi.

Örnek kalıpları deney için hazırlanıp bağlayıcı malzeme kalıbın içine döküldü ve boşluk kalmaması için kalıp sallandı (Şekil 3.10 a, b). Deney sırasında, gerektiği takdirde bağlayıcı madde ilave edildi. Kalıp üzerindeki vidalar hafifçe döndürülerek sıkıştırıldı. Numune bağlayıcı katılaşmadan seloteyp ile bağlı üstteki parçası dışarıda kalacak şekilde bağlayıcının bulunduğu kalıba yerleştirildi (Şekil 3.11). Bağlayıcı madde donmadan spatula yardımıyla yüzeyi düzelterek çıkıntılarının oluşması önlendi.



Şekil 3.10 (a) Deney için hazırlanan örnek kalıbı, (b) Kalıbın içine dökülen bağlayıcı malzeme.



Şekil 3.11 Kesme kutusu deneyi için numunenin kalıp içindeki konumu.

Bağlayıcı donduktan sonra vidalar açılarak çıkartıldı. Söz konusu işlemler, örneğin diğer yarısı içinde yapıldı. Bir önceki aşamada hazırlanan ve bağlayıcı



içindeki örneğin açıkta kalan diğer bölümü, süreksizlik yüzeyinin altında yeterli kısım açıkta kalana değin yeni hazırlan kalıptaki bağlayıcının içine sokuldu. İkinci kalıptaki bağlayıcı gereği kadar katılaştıktan sonra vidalar açılarak alt ve üst kalıplar birbirinden ayrıldı (Şekil 3.12).



Şekil 3.12 Numunenin kalıptan çıktıktan sonraki görünümü.

### 3.3.1.3 Deneyin Yapılışı

İki kalıp halinde hazırlanan deney örneği portatif makaslama aletinin alt ve üst kutularına yerleştirildi (Şekil 3.13). Normal yük askısı yerine takılarak önceden belirlenmiş normal yük değerine ulaşana değin, hidrolik pompa ile yükleme yapıldı.



Şekil 3.13 Kalıpların makaslama kutusuna konulması.

Yanal yer değiştirme göstergesi yerine takılarak ve gösterge ayağı referans çubuğuna temas ettirilerek sıfır ayarı yapıldı. Aynı şekilde, düşey yer değiştirme

göstergesi takıldı. Farklı düşey yükler altında kesme gerilmesi hesapları yapıldı. Deney sonunda yükleme pompalarının vanaları açılarak, yenilen numune alçı kalıplarıyla birlikte makaslama kutusundan çıkartılıp kutu temizlendi. Süreksizlik yüzeyinin yenilme zarfının çizilebilmesi için, bu yüzeyi temsil eden en az iki örnek daha aynı yöntemle ancak uygulanan normal gerilime her seferinde arttırılarak deneye devam edildi ve elde edilen değerler kaydedildi (Tablo 3.2, 3.3).

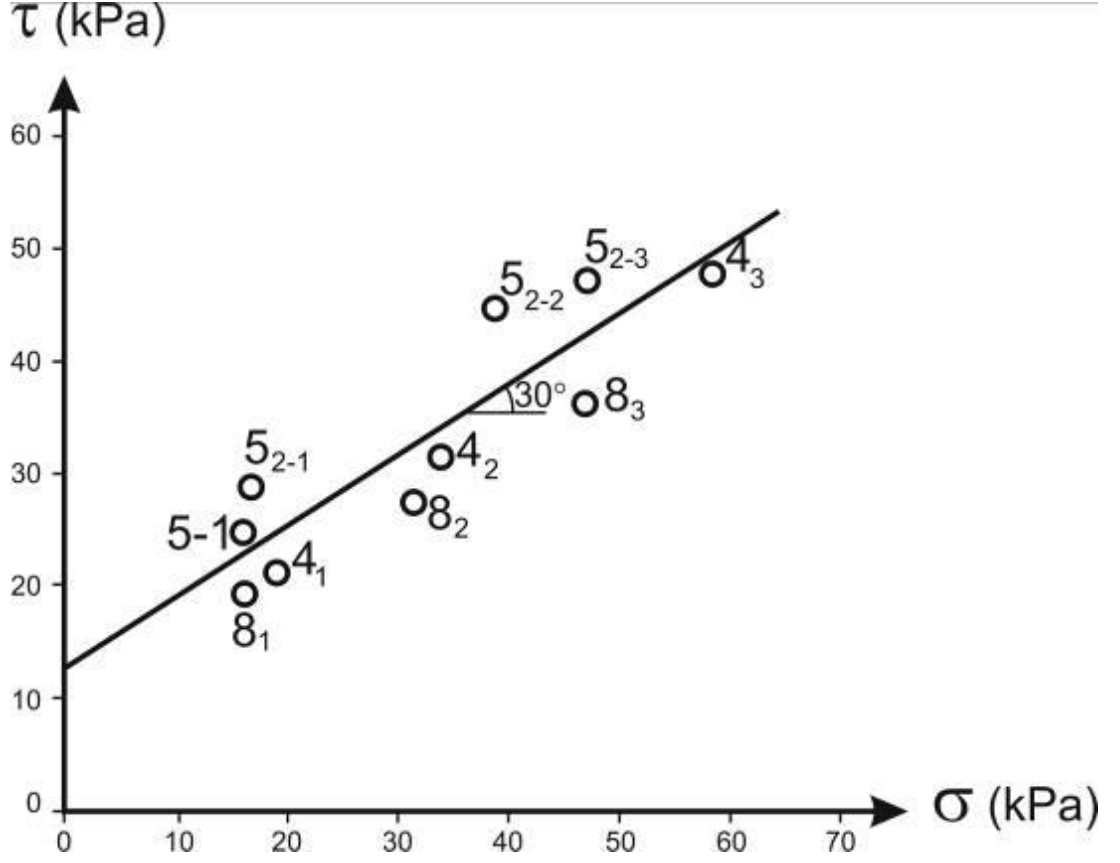
Tablo 3.2 Düşey ve yatay yükler.

Karot No	Düşey Yük (kg)	Yatay Yük (kg)
5-1	3,0	4,8
5-2	3,1	5,5
	7,5	8,5
	9,0	9,0
8	3,0	3,6
	6,0	5,0
	9,0	6,8
4	3,5	4,0
	6,1	5,8
	10,8	8,9

Tablo 3.3 Portatif kesme kutusu deney sonuçları.

<b>DİREK KESME DENEYİ</b>						
<b>PROJE: İzmir ve Yakın Yöresindeki Şeyllerde Açılan Şevlerin Stabilitesi</b>					Deneyi Yapan: <i>Yeliz KÜÇÜKER</i>	
<b>Tarih: 05.02.2010</b>						
ÖRNEK NO.	Düşey Yük	Kesme Yüğü	Düzeltilmiş Alan	Düşey Gerilme	Kesme Gerilmesi	KAYAÇ TANIMI
	$F_c$ (kg)	$F_s$ (kg)	A (cm <sup>2</sup> )	$\sigma=(F_c/A)*10^2$ (kPa)	$\tau=(F_s/A)*10^2$ (kPa)	
4	3,5	4	18,45	18,97	21,68	şeyl
	6,1	5,8	18,45	33,06	31,44	şeyl
	10,8	8,9	18,45	58,54	48,24	şeyl
5-2	3,1	5,5	18,94	16,37	29,04	şeyl
	7,5	8,5	18,94	39,60	44,88	şeyl
	9	9	18,94	47,52	47,52	şeyl
5-1	3,0	4,8	18,94	15,83	25,34	şeyl
8	3,0	3,6	18,94	15,83	19,00	şeyl
	6,0	5,0	18,94	31,68	26,39	şeyl
	9,0	6,8	18,94	47,51	35,90	şeyl

Bulunan değerlere ilişkin normal ve kesme gerilmesi diyagramı oluşturuldu. Diyagramdan içsel sürtünme açısı ( $\Phi$ ) ve kohezyon (c) değeri elde edildi (Şekil 3.14).



Şekil 3.14 Normal ve kesme gerilmesi diyagramı.

İçsel Sürtünme Açısı ( $\phi$ ): 30°

Kohezyon (c) : 11,583 KPa

### 3.3.2 Birim Hacim Ağırlık Tayini (Kompas Yöntemiyle)

Bu deney, düzenli bir geometriye sahip karotların birim hacim ağırlıklarının tayini amacıyla yapılmıştır. Bu deney için ISRM (1981) tarafından önerilen yöntem kullanılmıştır.

#### 3.3.2.1 Araç ve Gereçler

(a) Fırın, (b) Desikatör, (c) Hassas Terazî, (d) Kompas (0,1 mm duyarlılıkta).

### 3.3.2.2 Yöntem ve Deneyin Yapılışı

Deney esnasında öncelikle karotların alan ve hacimlerinin hesaplanması için karotların uçları kesilip dairesel çap ve silindirik bir form alındı (Şekil 3.15). Karotlar hassas terazide tartılıp ağırlıkları (W) ölçüldü. Kompas yardımıyla 3' er kez tek tek çapları (D) ve boyları (L) ölçülüp ortalamaları alındı. Alan ve hacim hesaplamaları yapılarak yoğunluk ve birim hacim ağırlıkları hesaplandı (Kuru birim hacim ağırlık tayini için örnekler fırında belirli bir süre bekletildi).



Şekil 3.15 Uçları kesilen şeyl karot örnekleri.

#### 5 nolu karot için:

$$\begin{aligned}
 R_1 &= 54,05 \text{ mm} & h_1 &= 57,27 \text{ mm} & W &= 295,54 \text{ gr} \\
 R_2 &= 54,16 \text{ mm} & h_2 &= 56,91 \text{ mm} \\
 R_3 &= 54,13 \text{ mm} & h_3 &= 57,10 \text{ mm} \\
 R_{\text{ort}} &= 54,12 \text{ mm} = 5,412 \text{ cm} \rightarrow r = 2,706 \text{ cm} \\
 h_{\text{ort}} &= 57,09 \text{ mm} = 5,709 \text{ cm} \sim 5,71 \text{ cm} \\
 A &= \pi r^2 \rightarrow A = \pi (2,706)^2, A = 23,004 \text{ cm}^2 \\
 V &= A \cdot h \rightarrow V = (23,004) \cdot (5,71), V = 131,35 \text{ cm}^3 \\
 \gamma_n &= W/V \rightarrow 295,54/131,35 \\
 \gamma_n &= \mathbf{2,25 \text{ gr/cm}^3}
 \end{aligned}$$

**4 nolu karot için:**

$R_1 = 53,77 \text{ mm}$

$h_1 = 47,44 \text{ mm}$

$W = 265,78 \text{ gr}$

$R_2 = 53,14 \text{ mm}$

$h_2 = 45,99 \text{ mm}$

$R_3 = 53,17 \text{ mm}$

$h_3 = 46,29 \text{ mm}$

$R_{\text{ort}} = 53,36 \text{ mm} = 5,336 \text{ cm} \rightarrow r = 2,668 \text{ cm}$

$h_{\text{ort}} = 46,57 \text{ mm} = 4,657 \text{ cm}$

$A = \pi r^2 \rightarrow A = \pi (2,668)^2, A = 22,36 \text{ cm}^2$

$V = A * h \rightarrow V = (22,36) * (4,657), V = 104,13 \text{ cm}^3$

$\gamma_n = W/V \rightarrow 265,78/104,13$

$\gamma_n = 2,55 \text{ gr/cm}^3$

**6 nolu karot için:**

$R_1 = 53,92 \text{ mm}$

$h_1 = 37,91 \text{ mm}$

$W = 216,62 \text{ gr}$

$R_2 = 54,12 \text{ mm}$

$h_1 = 38,13 \text{ mm}$

$R_3 = 54,19 \text{ mm}$

$h_1 = 38,08 \text{ mm}$

$R_{\text{ort}} = 54,08 \text{ mm} = 5,408 \text{ cm} \rightarrow r = 2,704 \text{ cm}$

$h_{\text{ort}} = 38,04 \text{ mm} = 3,804 \text{ cm}$

$A = \pi r^2 \rightarrow A = \pi (2,704)^2, A = 22,97 \text{ cm}^2$

$V = A * h \rightarrow V = (22,97) * (3,804), V = 87,38 \text{ cm}^3$

$\gamma_n = W/V \rightarrow 216,62/87,38$

$\gamma_n = 2,48 \text{ gr/cm}^3$

Suya doygun birim hacim ağırlığı hesabı için karotlar suda bekletildi (Şekil 3.16). Daha sonra suya doygun birim hacim ağırlığı hesabı için suda bekletilen karotlar tartıldı (Şekil 3.17).



Şekil 3.16 Karotların suya doymun hale getirilmesi.



Şekil 3.17 Suya doymun numunelerin Arşimet terazisi'nde ağırlık tayini.

**5 nolu karot için:**

$$\begin{aligned}
 R_1 &= 54,05 \text{ mm} & h_1 &= 57,27 \text{ mm} & W &= 306,05 \text{ gr} \\
 R_2 &= 54,16 \text{ mm} & h_2 &= 56,91 \text{ mm} \\
 R_3 &= 54,13 \text{ mm} & h_3 &= 57,10 \text{ mm} \\
 R_{\text{ort}} &= 54,11 \text{ mm} = 5,411 \text{ cm} \rightarrow r = 2,706 \text{ cm} \\
 h_{\text{ort}} &= 57,09 \text{ mm} = 5,71 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$A = \pi r^2 \rightarrow A = \pi (2,706)^2, A = 23,004 \text{ cm}^2$$

$$V = A \cdot h \rightarrow V = (23,004) \cdot (5,71), V = 131,35 \text{ cm}^3$$

$$\gamma_d = W/V \rightarrow 306,05/131,35$$

$$\gamma_d = \mathbf{2,33 \text{ gr/cm}^3}$$

**4 nolu karot için:**

$$R_1 = 53,77 \text{ mm}$$

$$h_1 = 47,44 \text{ mm}$$

$$W = 269,49 \text{ gr}$$

$$R_2 = 53,14 \text{ mm}$$

$$h_2 = 45,99 \text{ mm}$$

$$R_3 = 53,17 \text{ mm}$$

$$h_3 = 46,29 \text{ mm}$$

$$R_{\text{ort}} = 53,36 \text{ mm} = 5,336 \text{ cm} \rightarrow r = 2,668 \text{ cm}$$

$$h_{\text{ort}} = 46,57 \text{ mm} = 4,657 \text{ cm}$$

$$A = \pi r^2 \rightarrow A = \pi (2,668)^2, A = 22,36 \text{ cm}^2$$

$$V = A \cdot h \rightarrow V = (22,36) \cdot (4,657), V = 104,13 \text{ cm}^3$$

$$\gamma_d = W/V \rightarrow 269,49/104,13$$

$$\gamma_d = \mathbf{2,59 \text{ gr/cm}^3}$$

**6 nolu karot için:**

$$R_1 = 53,92 \text{ mm}$$

$$h_1 = 37,91 \text{ mm}$$

$$W = 222,02 \text{ gr}$$

$$R_2 = 54,12 \text{ mm}$$

$$h_1 = 38,13 \text{ mm}$$

$$R_3 = 54,19 \text{ mm}$$

$$h_1 = 38,08 \text{ mm}$$

$$R_{\text{ort}} = 54,08 \text{ mm} = 5,408 \text{ cm} \rightarrow r = 2,704 \text{ cm}$$

$$h_{\text{ort}} = 38,04 \text{ mm} = 3,804 \text{ cm}$$

$$A = \pi r^2 \rightarrow A = \pi (2,704)^2, A = 22,97 \text{ cm}^2$$

$$V = A \cdot h \rightarrow V = (22,97) \cdot (3,804), V = 87,38 \text{ cm}^3$$

$$\gamma_d = W/V \rightarrow 222,02/87,38$$

$$\gamma_d = \mathbf{2,54 \text{ gr/cm}^3}$$

Yoğunluk-Birim Hacim Ağırlık Tayini (Kompas Yöntemiyle) deney sonuçları Tablo 3.4'de yer almaktadır.

Düzgün geometrik şekle sahip olmayan 8-nolu karot örneğinin birim hacim ağırlık

hesabı “parafin metodu” ile tespit edilmiştir (Şekil 3.18). Bu deney birim hacim ağırlığının hesaplanmasını sağlayan yöntemlerden birisidir. Numunenin boyutu hacim hesaplaması için yetersiz olduğu için bu yöntem başvurulmuştur. Deney için öncelikle bir kapta, elektrikli bir ısıtıcı üzerinde yeterli miktarda parafin maddesi eritilip istenilen kıvama getirildi. Daha sonra numunenin yüzeyi parafin maddesi ile su geçirimsiz hale getirildi. Bu deneyde kullanılan temel prensip Arşimet’in suyun kaldırma kuvveti kanunudur.



Şekil 3.18 Parafinle kaplanmış karot örneği.

Öncelikle numune ağırlığı, numune ve parafinin ağırlığı ve parafinli numune su içerisindeki ağırlığı ölçüldü (Şekil 3.19). Daha sonra bu bulgulardan düşey denge denklemi yazılarak numune+parafin hacmi hesaplandı. Bilinen parafin yoğunluğu ve ölçülen ağırlığından parafinin hacmi hesaplandı. Numune hacmi de toplam hacimden bulundu ve doğal birim hacim ağırlığı hesaplandı.



Şekil 3.19 Parafinli numunenin ağırlık ölçümü.



### **8 nolu karot için;**

Numune ağırlığı= $W=154,97$  gr.

Numune+parafin ağırlığı= $W_T=161,08$  gr.

Parafinli num. su içi ağırlığı= $95,24$  gr.

Numune+parafin hacmi= $F_k = W_T - T = 161,08 - 95,24 = 65,84 \text{ cm}^3$

Parafinin ağırlığı= $W_T - W_{\text{numune}} = 161,08 - 154,97 = 6,11$  gr.

Parafin yoğunluğu= $0,80$

Parafin hacmi= $V_p = W_p / \gamma_p = 6,11 / 0,80 = 7,64 \text{ cm}^3$

Numunenin hacmi= $V_{\text{numune}} = V_T - V_p = 65,84 - 7,64 = 58,20 \text{ cm}^3$

Numunenin doğal birim hacim ağırlığı= $\gamma_{\text{doğal}} = W/V = 154,97 / 58,20 = 2,66 \text{ gr/ cm}^3$

Deney sonuçları tablo 3.4’de verilmiştir.

### ***3.3.3 Ağırlukça ve Hacimce Su Emme Deneyi***

Bu deneyin amacı; düzenli bir geometrideki kayaç örneklerinin, ağırlık ve hacimlerine oranla, boşluklarının alabileceği su miktarının belirlenmesidir. Deney için, RILEM (1980) ve TSE (1978) tarafından önerilen yöntemler kullanılmış olup deney sonuçları Tablo 3.5’de verilmiştir.

#### *3.3.3.1. Araç ve Gereçler*

- (a) Saf su (450 ml)
- (b) 50 ml’lik cam beher
- (c) Kompas (0,1 mm duyarlılıkta)
- (d) Hassas terazi (0.01 g duyarlılıkta)
- (e) Fırın (105  $\pm$ 3°C kapasiteli)
- (f) Kâğıt havlu

#### *3.3.3.2. Yöntem ve Deneyin Yapılışı*

Deney sırasında karot (silindirik) kayaç örnekleri kullanıldığı için; bu örneklerin boyları (L) ve çapları (D) birbirine dik iki ayrı yönde ölçüldü. Örnekler, saf su doldurulmuş beherde 12 saat bekletildi. 12 saat sonunda örnekler saf sudan çıkarılarak, suya doymun yüzeyleri kâğıt havlu ile kurulandı ve hassas terazi ile ıslak

ağırlıkları belirlendi ( $W_s$ ). Daha sonra örnekler, 105°C'ye ayarlanmış fırına yerleştirilerek 12 saat boyunca kurutulmaya bırakıldı. Fırından çıkarılan örneklerin kuru ağırlıkları ( $W_d$ ) hassas terazide yapılan tartı işlemi ile belirlendi. Bulunan değerler “Ağırlıkça ve Hacimce Su Emme Oranı” hesaplanmasında kullanılan formüllerde yerine konularak hesaplanmıştır (Tablo 3.5).

Tablo 3.4 Yoğunluk-Birim Hacim Ağırlık Tayini (Kompas Yöntemiyle).

Karot No	Örnekleme Derinliği (m)	Çap (mm)	Boy (mm)	Hacim V (cm <sup>3</sup> )	Örnek Ağırlığı W (g)	Suya Doymun Örnek Ağırlığı W <sub>s</sub> (g)	Doğal Birim Hacim Ağırlık $\gamma = W/V$ (g/cm <sup>3</sup> )	Birim Hacim Ağırlık $\gamma = 9,81 * \rho$ (kN/m <sup>3</sup> )	Suya Doymun Birim Hacim Ağırlık $\gamma_s = W_s/V$ (g/cm <sup>3</sup> )	Kayaç Tanımı
4	Yüzey	53,36	46,57	104,13	265,78	269,49	2,55	25,02	2,59	Şeyl
5	Yüzey	54,12	57,09	131,35	295,54	306,05	2,25	22,07	2,33	Şeyl
6	Yüzey	54,08	38,04	87,38	216,62	222,02	2,48	24,33	2,54	Şeyl

**X±SD: 2.42±0.157**

**X±SD: 2.486±0.138**

Tablo 3.5 Ağırlıkça ve Hacimce Su Emme Deneyi.

Karot No	Örnekleme Derinliği (m)	Çap (mm)	Boy (mm)	Hacim V (cm <sup>3</sup> )	Kuru Örnek Ağırlığı W <sub>d</sub> (g)	Suya Doyurulmuş Örneğin Ağırlığı W <sub>s</sub> (g)	Ağırlıkça Su Emme Oranı $A_w = ((W_s - W_d)/W_d) * 100$ (%)	Hacimce Su Emme Oranı $H_w = ((W_s - W_d)/V) * 100$ (%)	Kayaç Tanımı
4	Yüzey	53,36	46,57	104,13	262,84	269,49	2,53	6,39	Şeyl
5	Yüzey	54,12	57,09	131,35	293,55	306,05	4,26	9,52	Şeyl
6	Yüzey	54,08	38,04	87,38	214,56	222,02	3,48	8,54	Şeyl

**X±SD: 2.955±0.0.755 X±SD: 8.15±1.617**

Tablo 3.6 Görünür Gözeneklilik (Porozite) ve Boşluk Oranı Tayini (Suya Doyurma Yöntemi).

Karot No	Örnekleme Derinliği	Çap (mm)	Boy (mm)	Hacim V (cm <sup>3</sup> )	Kuru Ağırlık W <sub>d</sub> (g)	Suya Doymun Ağırlık W <sub>s</sub> (g)	Boşlukların Hacmi $V_v = (W_s - W_d)/\rho_w$ (cm <sup>3</sup> )	Gözeneklilik $n = (V_v/V) * 100$ (%)	Boşluk Oranı $e = n/(100-n)$	Kayaç Tanımı
4	Yüzey	53,36	46,57	104,13	262,84	269,49	6,65	6,39	6.82	Şeyl
5	Yüzey	54,12	57,09	131,35	293,55	306,05	12,50	9,52	10.52	Şeyl
6	Yüzey	54,08	38,04	87,38	214,56	222,02	7,46	8,54	9.33	Şeyl

**X±SD: 8.15±1.60 X±SD: 8.52±1.617**

### 3.3.4 Görünür Gözeneklilik ve Boşluk Oranı Tayini

Deney, düzenli bir geometriye sahip kayaç örneklerinin gözenekliliğinin (porozitesinin) tayini için yapılmıştır.

#### 3.3.4.1 Araç ve Gereçler

- Cam beher,
- Saf su (beheri dolduracak miktarda)
- Kompas (0,1 mm duyarlılıkta),
- Hassas terazi (0.01 g duyarlılıkta)
- Fırın ( $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$  kapasiteli),
- Desikatör (içine nemlenmeyi önleyici jel konulması önerilir),
- Vakum pompası,
- Kağıt havlu

#### 3.3.4.2 Yöntem ve Deneyin Yapılışı

Söz konusu deney kapsamında; en az üç adet silindirik örneğin çapı (D) ve boyu (L) kompasla birbirine dik iki ayrı yönde ölçüldü ve her bir örnek için, kompas yöntemi ile birim hacim tayini yönteminde olduğu gibi bu değerlerin ortalaması alındı. Her birinin ağırlığı en az 50 g olan ve çapları içerdikleri en büyük tane boyunun en az 10 katı büyüklüğündeki örnekler seçildi. Örneklerin hacmi (V), daha önce hesaplanan birim hacim ağırlık tayin yöntemindeki gibi belirlendi.

$105^{\circ}\text{C}$ 'ye ayarladığımız fırında örnek 12 saat kurutuldu ve havadan nem almadan soğuması için 30 dakika desikatörde tutulduktan sonra tartılıp kuru ağırlığı ( $W_d$ ) belirlendi. Bundan sonraki aşamada örnek, su dolu bir beherin içinde 48 saat bekletildi ve hassas terazide tartılarak doygun ağırlığı ( $W_s$ ) belirlendi. Deney sırasında alınan ölçümler ve yapılan hesaplamalar Tablo 3.6'da verilmiştir.

Şeyller üzerinde ISRM (1979)'a göre yapılan laboratuvar deneylerinin sonuçları Tablo 3.7'de toplu olarak sunulmuştur.

Tablo 3.7 Şeyllere ait fiziksel özellikler

Fiziksel Özellikler	Deney Sonucu X ± SD
$\gamma_{kuru}$ (gr / cm <sup>3</sup> )	2.404 ± 0.152
$\gamma_{doğal}$ (gr / cm <sup>3</sup> )	2.42 ± 0.157
$\gamma_{doygun}$ (gr / cm <sup>3</sup> )	2.486 ± 0.138
% Ağırlıkça su emme	2.955 ± 0.755
Porozite (%n)	8.15 ± 1.60
Boşluk oranı (%e)	8.52 ± 1.617

SD: Standart sapma

### 3.3.5 Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı ve Nokta Yükü Dayanım İndeksi Deneyleri

Sınırlı sayıdaki şeyl örnekleri üzerinde tek eksenli sıkışma ve nokta yükü indeksi deneyleri yapılmıştır. Tek eksenli sıkışma dayanımı deneyi için silindirik karot örnekleri ISRM (1981)'de önerildiği şekilde hazırlanmıştır. Deneyde boy/çap oranı (L/D) oranı 2,5 olacak şekilde seçilmiştir (Deneylerde kullanılması gereken L/D oranlarına ilişkin standartlar ve kurumsal öneriler ASTM, 1994 ve 2000; ISRM, 2007 sunulmuştur). Ancak, ASTM, 1994; 2000 tarafından L/D oranı için 2 – 2,5 değeri kabul edilirken, ISRM(2007) tarafından 2,5 – 3 değeri önerilmektedir.

Silindirik karot örnekleri NX-çaplıdır(≈54 mm). Şeyllerden örnek hazırlamak oldukça zordur. Lamina yüzeyleri boyunca kolaylıkla ayrılmalar gerçekleşebilmektedir. Sınırlı sayıda karot örneği deneye hazır hale getirilebilmiştir. Bu nedenle, daha fazla örneği hazır hale getirebilmek için az ve/veya orta derecede ayrılmış fazla örselenmemiş, sağlam kaya bloklarından da yararlanılmıştır.

Şeyllerde tabakalanma (laminalı) düzlemlerine bağlı olarak nokta yükü dayanım indeksi değeri değişmektedir. Şeyllerde anizotropi özelliği nedeni ile dayanım değerleri çok farklılıklar sunabilmektedir. Nokta yükü dayanım indeksi deneyi ISRM (1985)'den yararlanılarak yapılmıştır. Deney laminalı tabaka düzlemlerine hem dik hem de paralel konumda olmak üzere yapılmıştır. Deneyler kuru ve suya doygun şeyl örnekleri üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Tek eksenli sıkışma ve nokta yükü dayanım indeksi deneylerine ait sonuçlar Tablo 3.8’de sunulmuştur. Tablodaki değerlere bakıldığında şeyllerin tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri baskın olarak 20–30 MPa arasında değiştiği anlaşılmaktadır. Ancak, az ayrılmış, kuvars oranı  $\%35 < \%Q$  (kuvars)  $< \%45$  olan siltli şeyllerde bu değer 55,7 MPa değerine kadar çıkabilmektedir. Yaygın olarak, orta derecede ayrılmış şeyller stabilitesi incelenen şevlerde hâkim litolojiyi oluşturur. Tek eksenli sıkışma dayanımı dikkate alınarak (20-30 MPa), Brown (1981) tarafından önerilen sınıflamaya göre şeyller R<sub>2</sub>-derecesinde “**zayıf kaya**” olarak tanımlanırlar.

Tablo 3.8 Tek eksenli sıkışma ve nokta yükü dayanım indeksi deneylerine ait sonuçlar.

I <sub>s50</sub> (MPa): Nokta yükü dayanım indeksi UCS (MPa): Tek eksenli sıkışma dayanımı					I <sub>s50</sub> (MPa)				UCS (MPa)			
					Kuru		Suya doymuş		Kuru		Suya doymuş	
Şeyl türü	Ayrılmış derecesi.	γ <sub>kuru</sub>	γ <sub>doymuş</sub>	% <i>n</i>	Dik	Paralel	Dik	Paralel	Dik	Paralel	Dik	Paralel
Siltli Şeyl	SW	25.37	25.78	4.13	2.40	1.04	1.34	0.36	55.7	24.1	34.1	8.35
	SW-MW	24.41	24.85	4.38	1.44	0.57	1.24	-	33.4	13.2	28.8	-
	MW	22.46	23.31	8.48	0.94	-	0.80	-	21.9	-	18.6	-
	MW-HW	21.98	23.20	12.26	0.86	-	-	-	19.9	-	-	-
Siyah Kıl Şeyl	SW	27.03	27.25	2.17	1.41	-	-	-	32.7	-	-	-
	MW	-	-	-	0.64	-	-	-	14.8	-	-	-
ISRM (1979)					ISRM (1972)				ASTM (1979)			

### 3.3.6 Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık (Slake Durability) İndeksi Deneyi

Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyinde amaç; kayaç örneğinin standart iki çevrim süresince kurumaya ve ıslanmaya bırakılması durumunda, parçalanmaya ve zayıflamaya karşı gösterdiği duraylılığın belirlenmesidir. Şeyllerde açılan şevlerin, şev önü düzlüklerinde bozunma ve dilinmeden dolayı şeyl parçaları ve kıymıklarına sıkça rastlanmaktadır. Deneyler ISRM (1981)’e göre yapılmıştır.

### 3.3.6.1 Araç ve Gereçler

- Sabitleştirilmiş sert tabanlı, 140 mm çapında, uçları kapatılmamış, 100 mm uzunluğunda ve 2 mm standart açıklığa sahip elekli deney tamburu (Deney için en az iki adet). Ayrılabilir kapağa sahip olan tambur 105 °C sıcaklığa kadar dayanıklı özelliğe sahip olmalıdır.

- Deney tamburu, ekseninin 20 mm alt seviyesine kadar su alabilecek ve serbestçe dönebilecek yatay bir mille desteklenmiştir. Tamburun içine konulduğu saydam fiber haznenin tabanı ile tambur arasında, tamburun yerleştirme işleminden sonra 40 mm'lik bir açıklık kalmaktadır.

- Tamburun dakikada 20 devir yapması için gerekli motor, 10 dakikalık çevrim süresince dönme hızını belirli sınırlar dâhilinde sabit tutabilen özellikte olmalıdır.

- Fırın. (105° C de kullanılacak düzeyde),

- Kurutma sırasında tambur kullanılmadığı durumlarda, kurutma işlemi için ağırlığı bilinen kap,

- 0,1 g duyarlılıkta hassas terazi,

- Kronometre veya saat,

- Deney süresince değerlerin kaydedileceği form.

### 3.3.6.2 Kullanılan Yöntem ve Deney Aşamaları

Araziden alınan numuneler deney standartlarında, her biri 40-60 g ağırlığında gelen yaklaşık 10 adet parça (toplam 450-550 g) olacak şekilde hazırlanmıştır (Şekil 3.20). Standartlarda deney örneklerinin köşelerinin birbirine çarparak mekanik parçalanmaya neden olmaması için, seçilen parçaların köşelerinin yuvarlatılmış olması ve mümkün olduğunca küresele yakın olması önerilmektedir. Ancak, yuvarlatılmış örneklerin hazırlanmasının güç ve zaman alıcı olması sebebi ile ıslak

kararlılık deneyi çoğunlukla köşeli olarak hazırlanmış deney örnekleri ile yapılmaktadır.



Şekil 3.20 Deney için hazırlanan 40-60 g ağırlıklı şeyl örnekleri.

a) Örnekler, deney öncesi temiz bir tambura yerleştirilerek 105 °C 'lik fırında 12 saat süre ile kurumaya bırakıldı. Ancak çok sayıda örneğin alındığı bir çalışma olduğu için deneyin ardı ardına yapılmış olmasından dolayı fırındaki uzun süreli kuruma işlemleri nedeniyle tamburların sık aralıklarla kullanımı mümkün olmamıştır. Bu nedenle kurutma işlemlerinde tamburla birlikte, ağırlığı belli olan kaplarda kullanılmıştır ( Şekiller 3.21 a,b).



Şekil 3.21 (a) Fırındaki örnekler., (b) Kuruma öncesi şeyl örnekleri

Kuruma sonrası tambur kapağı ile birlikte ve içindeki örnekle tartılıp elde edilen sonuç (A) deney formunun 4. kolonuna kaydedildi (Tablo 3.9) ve örnek soğutulduktan sonra deneye başlandı. Kullanılan tamburun numarası ve ağırlığı (D), deney formunun 3 ve 7 nolu kolonlarına kaydedildi.



b) Şeffaf hazne içine tambur yerleştirildikten sonra hazne üzerinde işaretli kırmızı çizgiye kadar sıcaklığı 20 °C olan saf su ile dolduruldu. Hazne üzerindeki işaret, suyun tamburun ekseninin 20 mm altına kadar doldurulmasını ayarlamak için konmuştur. Daha sonra tamburlar dakikada 20 devir yapacak şekilde 10 dakika süre ile döndürüldü (Şekil 3.22).

c) Bu süre sonunda tambur haznedan alınarak kapağı ile birlikte içinde kalan örnekle birlikte tekrar 105° C 'de 12 saat süreyle fırına konularak kurumaya bırakıldı. Kuruma sonunda tambur ve örnek birlikte tartılıp bulunan değer (B), deney formunun 5 no.lu kolonuna kaydedildi.

b ve c aşamaları tekrarlanıp ikinci çevrim sonunda tambur ile içinde kalan birlikte tartılıp bulunan değer ( C ), deney formunun 6 nolu kolonuna kaydedilir.



Şekil 3.22 Numune ile birlikte şeffaf hazneye yerleştirilmiş tamburlar (Suda dağılmaya karşı kayacın direncini ölçen alet).

Islak kararlılık deneyine tabi tutulan şeylerde 1. ve 2. çevrim sonucu fiziksel değişimler gözlenmiştir (Şekil 3.23, 3.24)



Şekil 3.23 Şeyllerde 1. çevrim sonucu gözlenen fiziksel değişimler.



Şekil 3.24 Şeylerde 2. çevrim sonucu gözlenen fiziksel değişimler.

Kayaçların ıslak kararlılık indeksinin aşağıdaki özelliklere bağlı olduğu belirtilmektedir (Franklin & Chandra 1972).

1. Gözeneklilik ve geçirgenlik; deneyde kullanılan sıvının kayaç dokusuna etkisini ve kayaç içerisindeki hareketini etkiler.

2. Kayaç içerisine nüfuz eden sıvılar; yüzey enerji değişimlerine, kaya matriksinin (çimentosu) çözülmesine veya bağların kopmasına veya boşluk suyu basıncından dolayı yıkıcı kuvvetlerin oluşmasına neden olurlar.

3. Kayaçların yıkıcı kuvvetlere karşı koyma kuvvetlerinin kapasitesi; kayaçta oluşacak zayıflama, şişme veya bütünüyle dağılma olaylarını belirlemektedir. Bu deney sonuçlarını etkileyen önemli faktörlerin ise aynı araştırmacılar tarafından;

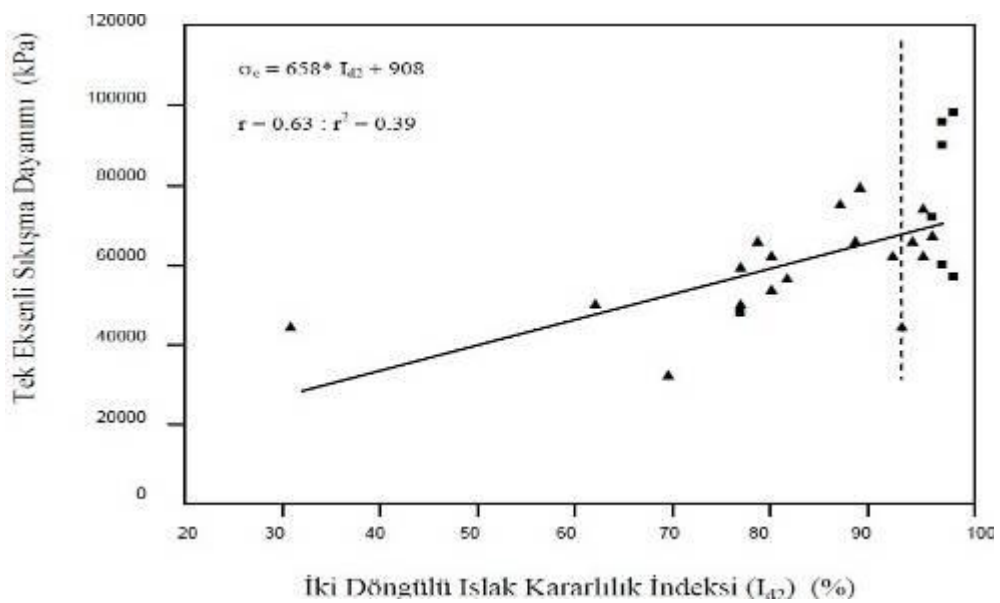
- Deney aleti: elek açıklığı, tambur boyutu ve dönme hızı
  - Numune: boyut, şekil, ağırlık ve numune sayısı
  - Numune davranışı: saklanma ve kuruma sırasında
  - Islanmaya maruz kalma süresi
  - Deney sıvısının özelliği: kimyası ve sıcaklığı
- olduğu belirtilmektedir.

Deney sırasında birtakım etkenlerin deney sonuçlarını şu şekilde etkiledikleri belirtilmiştir (Franklin & Chandra 1972). Araştırmacılar, deneyi örneklerin sayısını ve boyutlarını değiştirerek uyguladıklarında her biri yaklaşık 40-60 g ağırlığında olan 10 adet örneğin kullanılmasının en uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Yine aynı araştırmacılar tarafından kayaçların ıslak kararlılık indeksi değerlerini, başlangıçtaki nem içeriklerine göre, fırında kurutulduktan sonraki duruma göre ve saklanma durumlarına göre de değerlendirmişlerdir. Fırında kurutulduktan sonra deneye tabi tutulan örneklerin ıslak kararlılık indeksi değerleri genel olarak daha yüksek değerlerde çıkmıştır. Ayrıca deneyden önceki saklanma süresi artan örneklerin ıslak kararlılık indeksi değerleri de artmıştır (Kolay, Kayabalı ve Beyaz, 2004). Islak kararlılık indeksinin, deney süresinin uzamasıyla ve deney sıvısının

sıcaklığının artmasıyla da düştüğü gözlenmiştir. Ayrıca; deney sırasında farklı sıvılar kullanılmış, en yüksek ıslak kararlılık indeksi Sodyum hexametafosfat (20 °C) ile en düşük ıslak kararlılık indeksi ise Hidroklorik asit (20 °C) ile elde edilmiştir (Franklin & Chandra1972).

Koncagül & Santi (1999) şeyllerin tek eksenli sıkışma dayanımlarının belirlenmesinde ıslak kararlılık deneyinden yararlanmışlar,  $\sigma_c$  ve  $I_{d2}$  değerleri arasında  $r=0,63$  gibi bir istatistiksel ilişki bulmuşlardır (Şekil 3.25).



Şekil 3.25 Şeyllerin tek eksenli sıkışma dayanımları ( $\sigma_c$ ) ve  $I_{d2}$  değerleri arasındaki ilişki (Koncagül & Santi 1999)

Gökçeoğlu vd. (2000), deneye tabi tutulacak kayaçların mineralojik içeriklerini belirlemişler ve deneyin döngü sayısını artırarak, her döngü sonucunda tamburdan geçen mineralleri incelemişlerdir. Düşük sayılı döngülerde kil ve karbonat mineralleri tamburdan yaklaşık aynı oranlarda geçerken, döngü sayısı arttıkça kil minerallerinin geçme yüzdesinde karbonatlara göre belirgin bir artış gözlenmiştir (Kolay ve diğer, 2004).

Ayrıca döngü sayısı arttığında, deneye tabi tutulan tüm kayaç gruplarında, ıslak kararlılık indeksi değerleri azalmıştır.

Bu deneye bağılı çalışmaları doğru ve uygulanabilir olması için; zayıf ve kil içeren kayaçların sınıflandırılmasında ve bazı mühendislik parametrelerinin (tek eksenli sıkışma dayanımı) dolaylı yollardan belirlenmesinde kullanılan ıslak kararlılık indeksi değerleri doğru olarak belirlenmelidir.

### 3.3.6.3.Hesaplamalar

Başlangıç ve son durumdaki numune ağırlıkları ıslak kararlılık indeksinin ( $Id_2$ ) hesaplanmasını sağlar. Bu indeks, ıslanma-kuruma olaylarının ve aşındırma gerilmelerinin etkisiyle meydana gelen parçalanma ve zayıflamaya karşı gösterdiği direnci belirlemektedir (Vallejo 1994).

Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi (ikinci çevrime göre) tamburda en son kalan malzemenin deneyin başlangıcındaki malzemeye oranı şeklinde ifade edilir ve aşağıdaki eşitlikten hesaplanır.

$$2. \text{ çevrim suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi (\%)}, Id_2 = [(C-D)/(A-D)]$$

Deney sonucunda elde edilen değerler deney formuna (Tablo 3.9) işlenerek  $Id_2$  değerleri hesaplanmıştır.

Tablo 3.10 Gamble (1971) tarafından geliştirilen ıslak kararlılık (suda dağılmaya karşı duraylılık) sınıflaması

On Dakikalık Bir Döngülü Deneyden Sonra % Kalan ( $Id_1$ )	On Dakikalık Bir Döngülü Deneyden Sonra %Kalan ( $Id_1$ )	Sınıflamalar
>99	>98	Çok Yüksek Kararlılık
98-99	95-98	Yüksek Kararlılık
95-98	85-95	Orta Yüksek Kararlılık
85-95	60-85	Orta Kararlılık
60-85	30-60	Düşük Kararlılık
<60	<30	Çok Düşük Kararlılık

Bu iki döngü ardından elde edilen sonuçların Gamble (1971)'e göre mühendislik sınıflandırması yapıldığında; M-2 şeyllerinin “**Çok yüksek kararlılık**”, Nar-1 örneğinin “**yüksek kararlılık**”, Nar-2, Bal-1 ve Bal-2 örneklerinin ise “**Orta Yüksek Kararlılık**” sınıfına girdikleri belirlenmiştir. Çevrim sayısı ve çevrim sonrası kalan malzemeler arasındaki ilişki Şekil 3.26’ da gösterilmiştir.

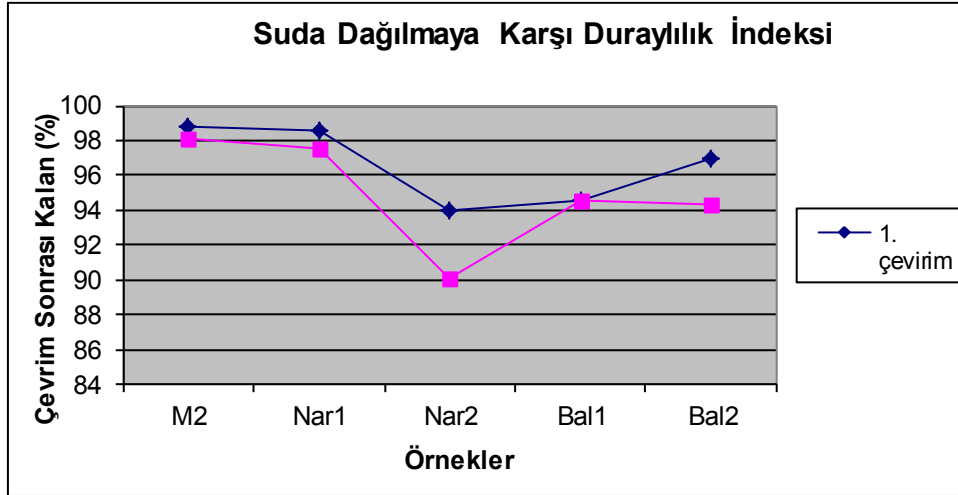
İki çevrim arasında en çok fark Nar-2 ve Bal-2 örneklerinde gözlenmiştir (Şekil 3.26). Diğer örneklerde kayda değer değişimler gözlenmemiştir. Bu durumda, suda dağılma eğilimi en çok Nar-2 ve Bal-2 örneklerinde vardır. Mikro kırıkların yoğunluğu ve açıklıklarının yüksek oluşu suda dağılmaya karşı direnci azaltabilir.

Tablo 3.9 Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyine ait sonuçlarla şeyl örneklerin kuvars içeriklerinin karşılaştırılması

Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık İndeksi Deneyi										Deneyi Yapan: Yeliz KÜÇÜKER
Proje: İzmir ve Yakın Yöresindeki Şeyllerde Açılan Şevlerin Stabilitate Açısından Değerlendirilmesi										
Tarih: 04.05.2011										
Sondaj veya Gözlem Çukuru No:			Örnekleme Derinliği: Yüzey							
Deney Sıvısının Türü: Saf Su			Kayaç Tanımı: Şeyl							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12
Örnek No:		Tambur No:	Tambur+ Örnek Ağırlığı A(g)	Tambur +Kalan Örnek Ağırlığı B(g)	Tambur+ Kalan Örnek Ağırlığı C(g)	Tamburun Ağırlığı D(g)	$I_{d1}=[(B-D)/(A-D)]*100$	$I_{d2}=[(C-D)/(A-D)]*100$	Kuvars İçeriği	Sınıflama:
M2	Siyah şeyl	1	2410,77	2403,43	2398,54	1771,5	98,85181535	98,08688035	% 30 - 40	Çok Yüksek Kararlılık
Nar1	Siltli şeyl (sarımsı kahve kil)	2	2384,3	2375,91	2369,89	1799,74	98,56473245	97,53489804	% 35 - 45	Yüksek Kararlılık
Nar2	Siltli şeyl	1	2466,68	2424,65	2397,41	1771,5	93,95408383	90,03567421	% 25 - 30	Orta Yüksek Kararlılık
Bal1	Siyah şeyl	1	2390,58	2356,85	2356,66	1771,5	94,55159269	94,52090198	% 35 - 40	Orta Yüksek Kararlılık
Bal2	Siltli şeyl	2	2370,08	2352,74	2337,54	1799,74	96,95970824	94,29463127	% 25 - 30	Orta Yüksek Kararlılık

Deney Sıvısı Sıcaklığı (°C) : 20





Şekil 3.26 Çevrim sayısı ve çevrim sonrası kalan malzeme.

### 3.4 GSI – Sınıflama Sistemi

Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI), 1995'ten sonra Hoek vd. (1995) tarafından önerilen ve RMR sisteminin yerine kaya kütlesi sabitlerinin belirlenmesinde kullanılmaya başlanılmıştır. 1997'de tek başına bir sınıflama sistemi olmuştur. GSI, kaya kütlesinin yapısını ve yüzey koşullarını tanımlayan bir puanlama sistemidir. GSI sınıflama sistemi sağlam veya masif kaya kütlesi ile foliasyonlu-laminalı-makaslanmış kayaları da içerecek şekilde (Hoek 1999a) yeniden düzenlenmiştir (Şekil 3.27). Bu çalışmada, şeyllerin GSI değeri 10-20 arasında, ortalama GSI=15 olarak belirlenmiştir. Marinos&Hoek (2001)'e göre şeyller E-kategorisinde (kötü kalite-zayıf kaya) yer almaktadır. Şeyllerin (intact kaya materyali) tek eksenli sıkışma dayanımları ve GSI-değeri biliniyorsa elastisite modülü ( $E_i$ ) Şekil 3.27'deki abak kullanılarak tahmin edilebilmektedir. Ayrıca, kontrol edebilmek için Hoek&Diedericks (2006) tarafından önerilen formül (Eşitlik 2) kullanılarak (GSI-değerini dikkate alır)  $E_i$ -değeri elde edilebilmektedir.

$$E_m = E_i \left[ 0,02 + \frac{1 - \left(\frac{D}{2}\right)}{1 + e^{\left[\frac{60+15D-GSI}{11}\right]}} \right] \quad (2)$$

D: Örselenme faktörü kazı şevleri için 0.50 alınmıştır.

Former (1968)'e göre şeyllerin elastisite modülü değerleri  $1.0-3.5 \times 10^4$  MPa arasındadır.

### ***3.4.1 Şeyllerin Dayanım ve Deformabilitelerinin Tahmin Edilmesi***

Çatlaklı kaya kütlelerinin dayanım ve deformabilitelerini tahmin eden Hoek-Brown ölçütünü kullanabilmek için, kaya kütlelerinin üç “özellik” belirlenmelidir. Bu özellikler,  $\sigma_{ci}$ ,  $m_i$  ve kaya kütle için GSI değerleridir. Hoek-Brown sabiti, “ $m_i$ ”, her bir materyal için belirlenmiş değer aralığından seçilmiştir. Marinou ve Hoek (2001) tarafından tanımlanan taneleşik ve kristal yapısının kenetlenme durumuna bağlı olarak GSI değeri değişmektedir. Bu çalışmada, kaya kütle parametrelerinin hesaplanması için gereken en önemli girdi olan “ $m_i$ ” sabiti, GSI puanlaması göz önünde bulundurularak, şeyller için çok düşük bir değer olan 7-değeri alınmıştır. GSI değeri belirlendiğinde, kaya kütle dayanım karakteristiklerini tanımlayan parametreler de (kaya kütle sabitleri) ( $m_b$  ve  $s$ ) Hoek ve Brown (1997) tarafından önerilen eşitliklerle hesaplanmaktadır. Bu çalışmada bu işlemler Roc Data bilgisayar programı tarafından yapılmıştır.



içsel sürtünme açısı değerleri sırasıyla;

1)  $H_{\text{sev}}=10$  m için;

$c'=0.025$  MPa,  $\phi'=27.71^\circ$

2)  $H_{\text{sev}}=12$  m için;

$c'=0.028$  MPa,  $\phi'=26.55^\circ$

3)  $H_{\text{sev}}=15$  m için;

$c'=0.032$  MPa,  $\phi'=25.17^\circ$

4)  $H_{\text{sev}}=20$  m için;

$c'=0.038$  MPa,  $\phi'=23.44^\circ$

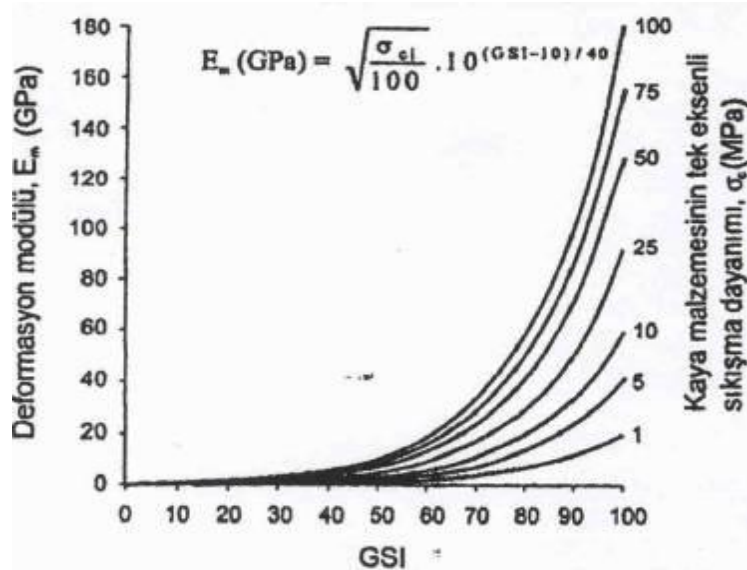
Kaya kütle parametreleri ise;

Çekme direnci = -0.002 MPa

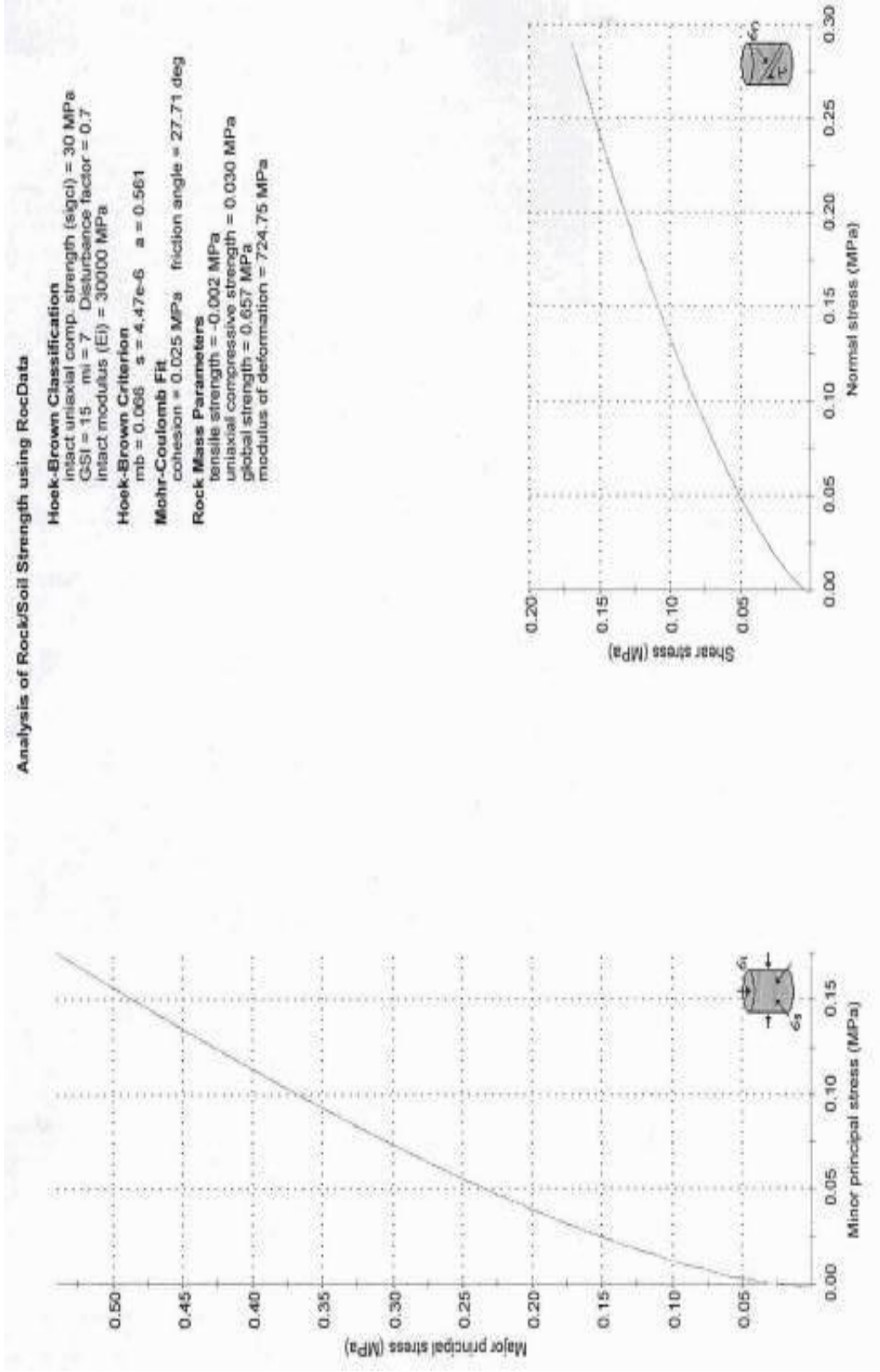
$\sigma_{cm}=0,030$  MPa

Kütle dayanımı = 0.657 MPa

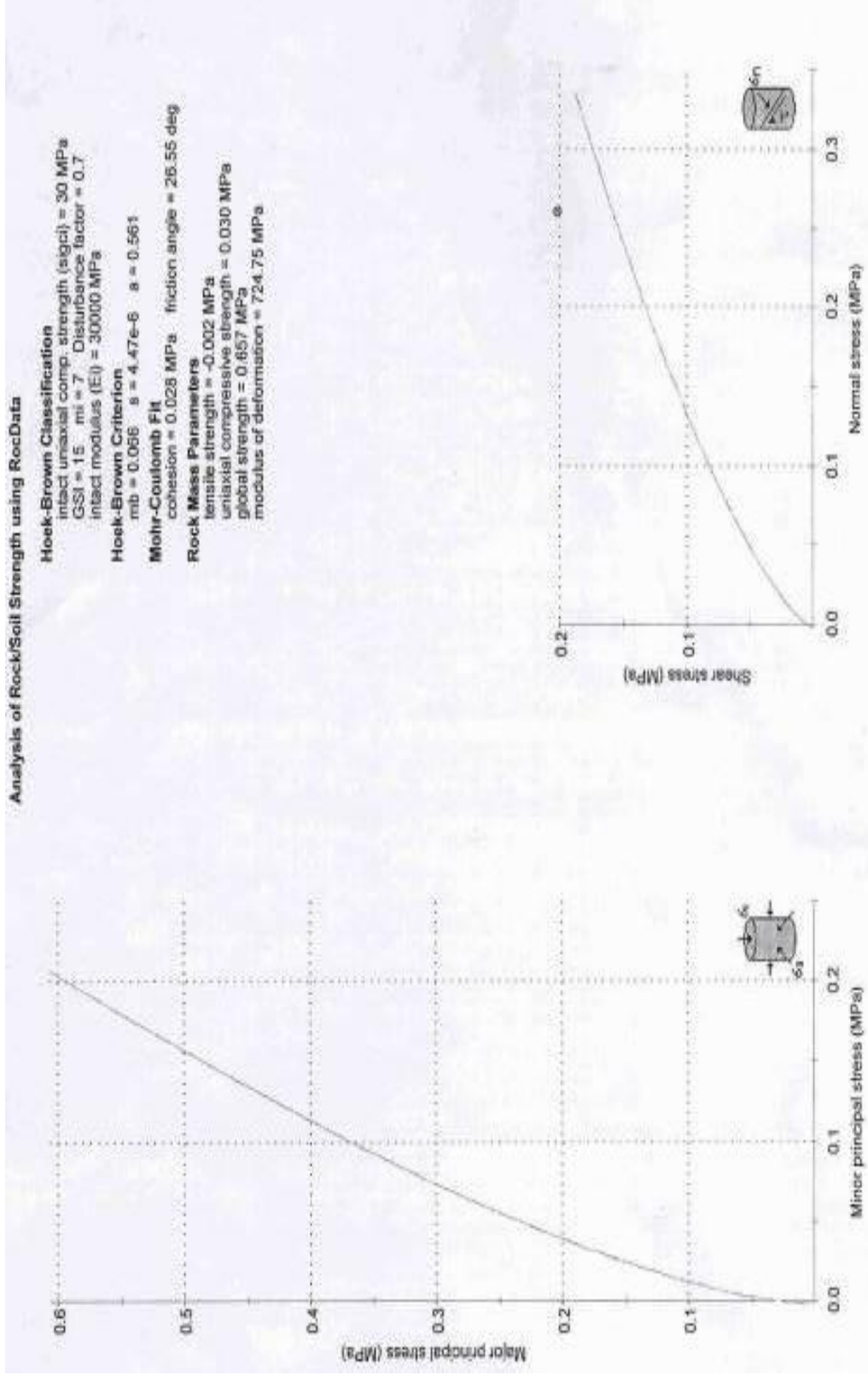
$E_m = 724.75$  MPa olarak Şekil 3.29, 3.30, 3.31 ve 3.32'den elde edilmiştir.



Şekil 3.28 Farklı kaya malzemesi dayanımlarına göre kaya kütlelerinin deformasyon modülü ile GSI arasındaki ilişki (Hoek, 1998).

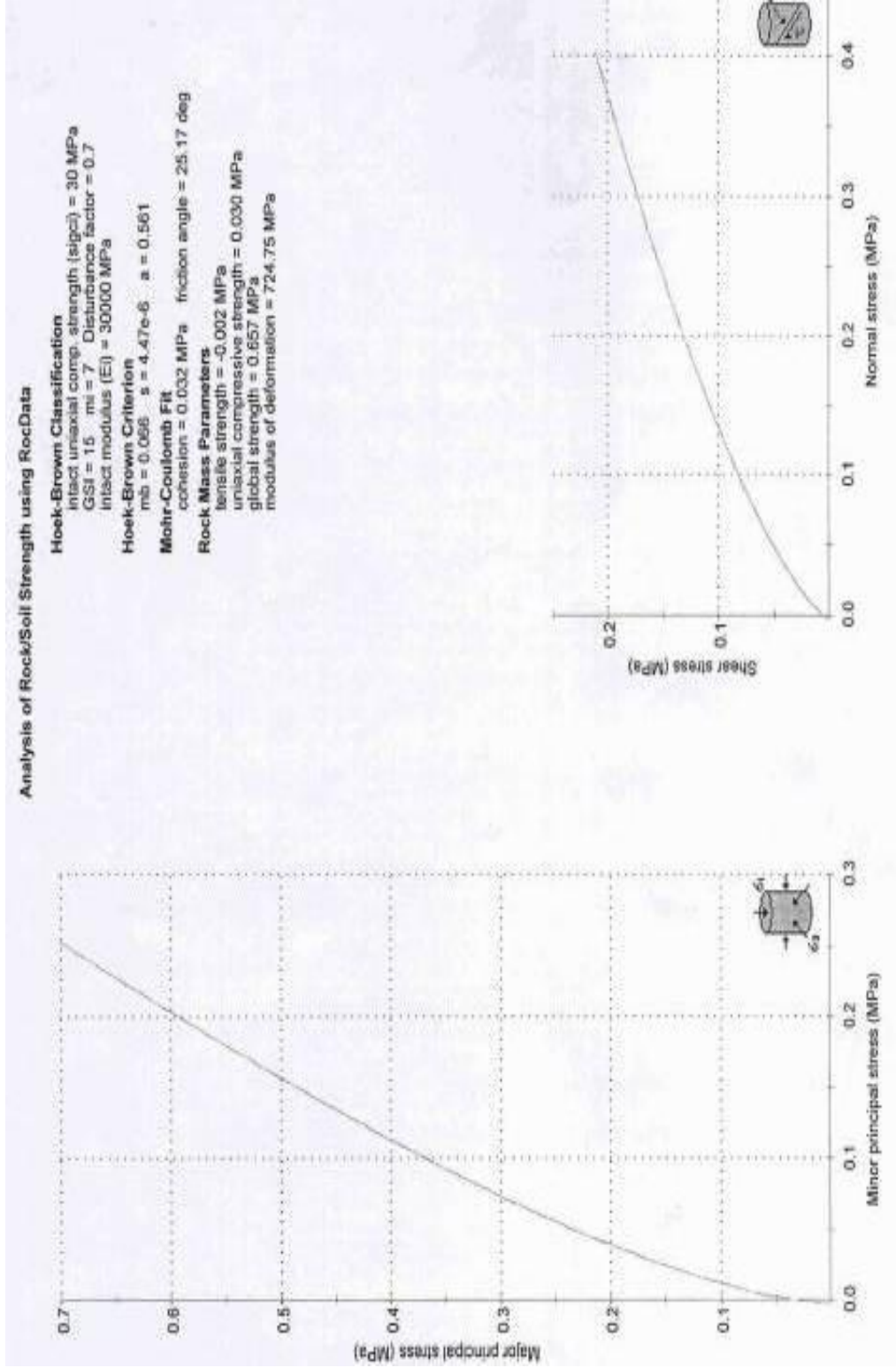


Şekil 3.29 Jeolojik Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI), sağlam kayanın sıkışma dayanımı ( $\sigma_{ci}$ ) ve kaya kütle sabiti değeri ( $m_i$ ) kullanılarak kaya kütle parametrelerinin belirlenmesi ( $H_{sev}=10$  m).

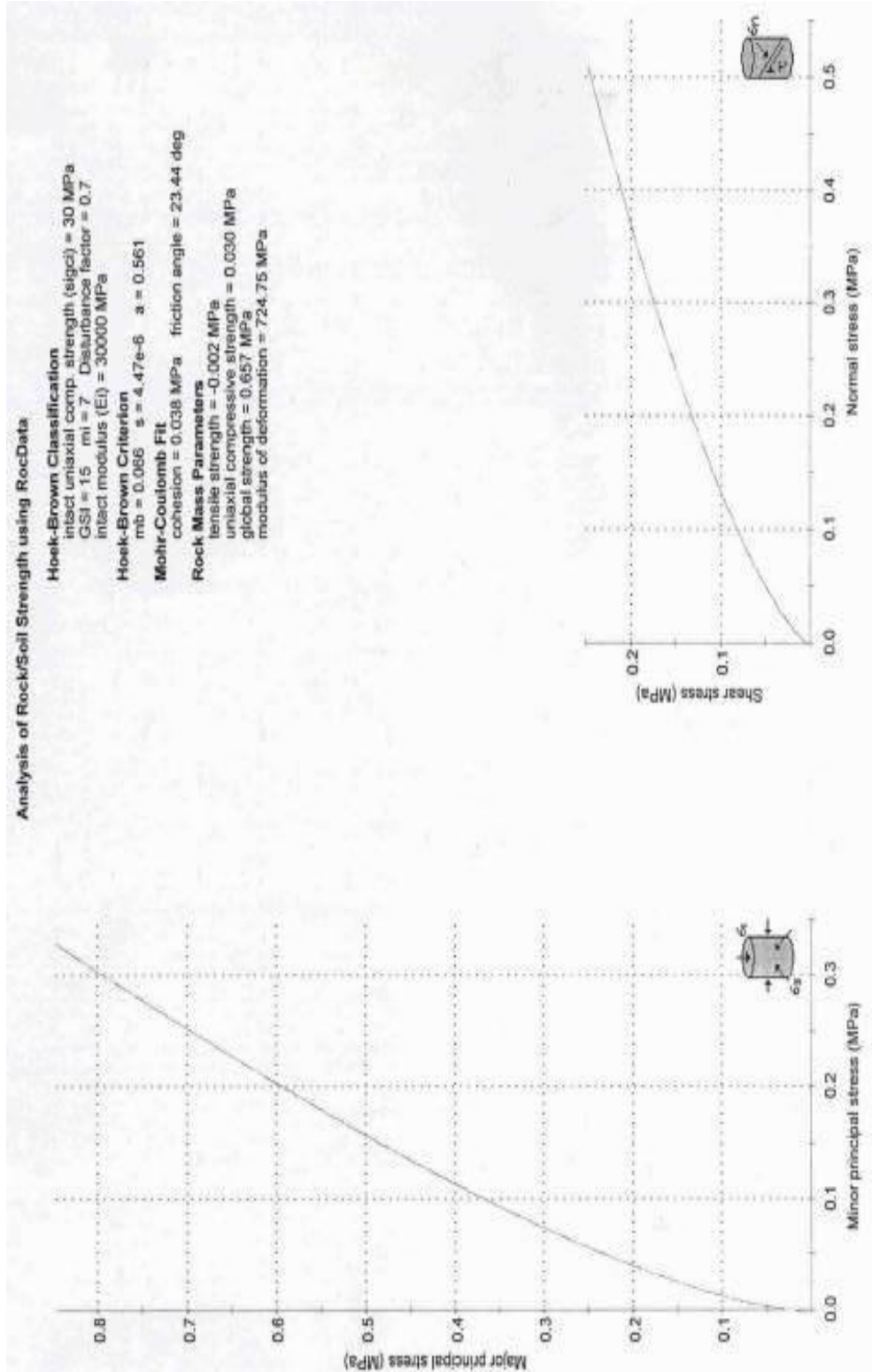


Şekil 3.30 Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI), sağlam kayanın sıkışma dayanımı ( $\sigma_{ci}$ ) ve kaya kütle sabiti değeri ( $m_i$ ) kullanılarak kaya kütle parametrelerinin belirlenmesi ( $H_{spv}=12$  m).





Şekil 3.31 Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI), sağlam kayanın sıkışma dayanımı ( $\sigma_{ci}$ ) ve kaya kütle sabiti değeri ( $m_i$ ) kullanılarak kaya kütle parametrelerinin belirlenmesi ( $H_{sev}=1.5$  m).

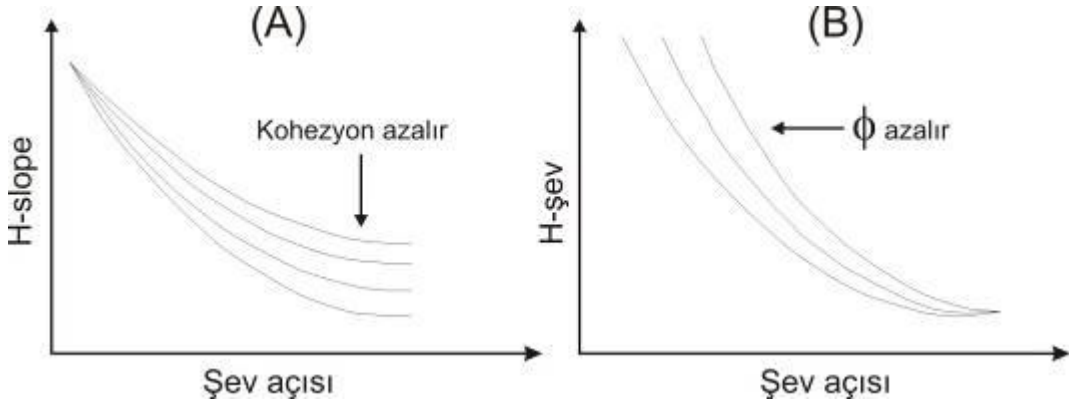


Şekil 3.32 Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI), sağlam kayanın sıkışma dayanımı ( $\sigma_{ci}$ ) ve kaya kütle sabiti değeri ( $m_i$ ) kullanılarak kaya kütle parametrelerinin belirlenmesi ( $H_{sev}=20$  m).



Şeyl kaya kütlelerinde şev yüksekliğine bağlı olarak kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri değişmektedir. Bu değişimlerde;

Şev yüksekliği arttıkça kaya kütlelerinin kohezyon değeri (Eş değer Mohr Coulomb) da artmaktadır. Buna karşın içsel sürtünme açısı değeri azalmıştır (Şekil 3.33).



Şekil 3.33 Şev yüksekliği – Şev açısı ilişkisinde; kohezyon dayanımının ve içsel sürtünme açısının rolü

Yukarıdaki şekilde (Şekil 3.33A); kohezyon değerinin azalması şev açısını etkilemekte ve onu azaltmaktadır. Şekil. 3.33B’de sürtünme açısı şev yüksekliğini doğrudan etkilemektedir. Düşük sürtünme açısında daha alçak şev dizaynı, yüksek sürtünme açısında yüksek şevler dizayn edilmelidir.

GSI=15 değeri için  $H_{şev}=10$  m,  $H_{şev}=12$  m,  $H_{şev}=15$  m ve  $H_{şev}=20$  m için eşdeğer Mohr-Coulomb parametreleri bilgisayar programı kullanılarak hesaplanmıştır.

**$H_{şev}=10$  m için;**

$$\tau=0.033+0.65\sigma \text{ (} c'=0.033 \text{ MPa, } \phi=33^\circ \text{), Anlık: } c'=0.046 \text{ MPa, } \phi=32.5^\circ$$

**$H_{şev}=12$  m için;**

$$\tau=0.037+0.625\sigma \text{ (} c'=0.037 \text{ MPa, } \phi=32^\circ \text{), Anlık: } c'=0.0658 \text{ MPa, } \phi=27.63^\circ$$

**$H_{şev}=15$  m için;**

$$\tau=0.042+0.589\sigma \text{ (} c'=0.042 \text{ MPa, } \phi=30.5^\circ \text{), Anlık: } c'=0.0658 \text{ MPa, } \phi=27.63^\circ$$

**H<sub>şev</sub>=20 m için;**

$$\tau=0.05+0.547\sigma \text{ (} c'=0.05 \text{ MPa, } \phi=28.68^\circ \text{), Anlık: } c'=0.0658 \text{ MPa, } \phi=27.63^\circ$$

H<sub>şev</sub>=10 metre ve 20 metre için Şekil 3.34'de kaya kütesine ait Makaslama Gerilmesi-Normal Gerilme ilişkisi sunulmuştur. Söz konusu şekilde yenilme zarfları (Hoek&Brown ve Mohr & Coulomb yenilme zarfları) bir arada gösterilmiştir.

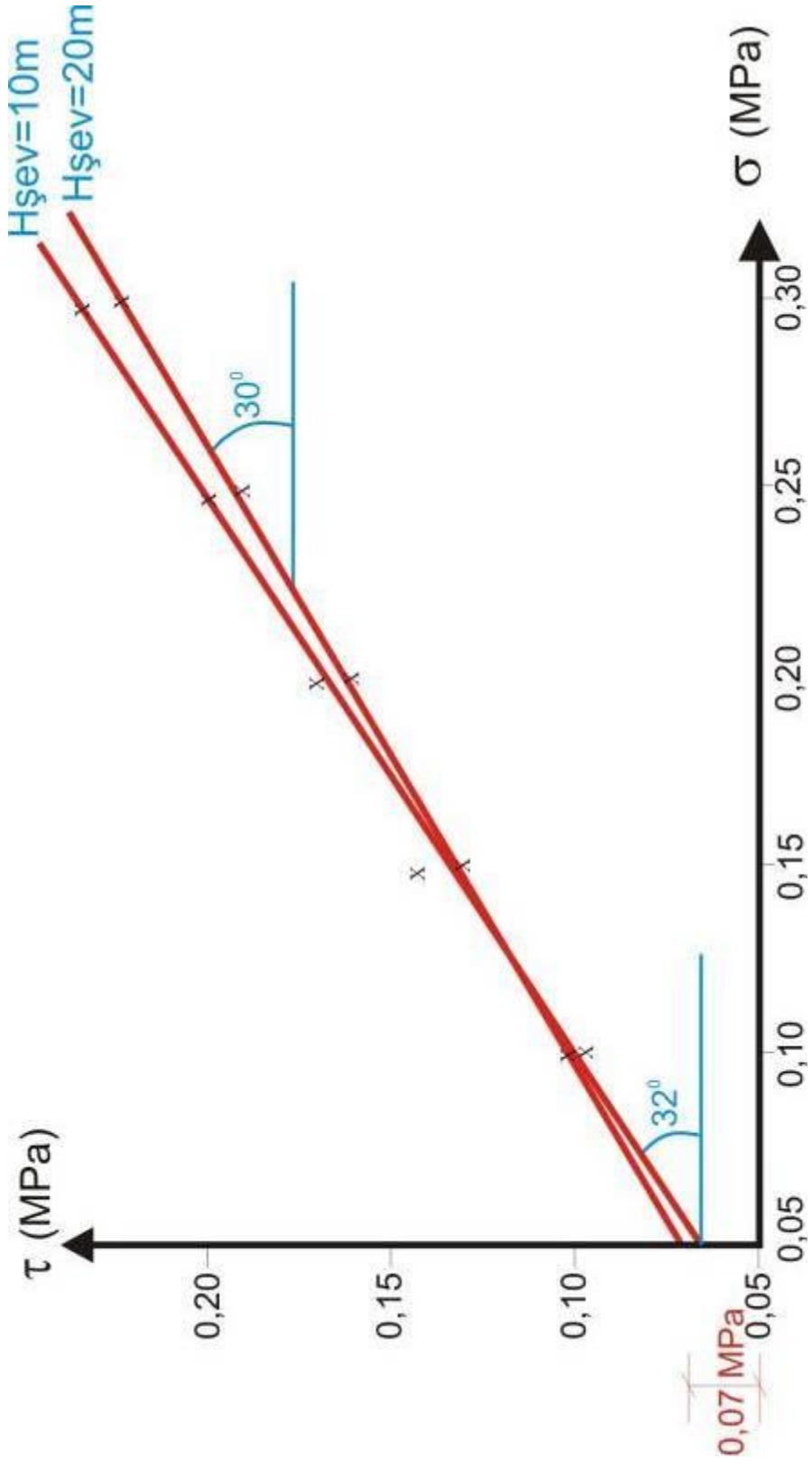
GSI=15 ve değişik şev yüksekliğine sahip yamaçlarda ( $10 \leq H_{şev} \leq 20$  m) kütleyle ait elde edilmiş kohezyon değerleri yaklaşık olarak aynı mertebelerdedir (0.33-0.5 kg/cm<sup>2</sup>). Elde edilen tüm kohezyon değerleri  $\ll 1$  MPa mertebesindedir. Diğer taraftan, değişik normal gerilme değerlerine karşı kesme gerilmesi değerleri dikkate alındığında; tabakalanmaya bağlı düzlemsel kaymaların çok düşük kesme gerilmeleri altında bile gerçekleşeceği görülebilir.

H<sub>şev</sub>=20 m,  $\sigma_n=0.10$  MPa olduğu durumda  $\tau=0.109$  MPa ( $\approx 1,1$  kg/cm<sup>2</sup>),  
 $\sigma_n=0.20$  MPa olduğu durumda (kayması muhtemel kaya kütesinin ağırlığı arttı)  
 $\tau=0.1678$  MPa ( $\approx 1.68$  kg/cm<sup>2</sup>) elde edilmektedir.

H<sub>şev</sub>=10 m,  $\sigma_n=0.10$  MPa olduğunda,  $\tau < 1.0$  kg/cm<sup>2</sup>,  $\sigma_n=0.20$  MPa olduğunda,  
 $\tau = 1.63$  kg/cm<sup>2</sup> değeri elde edilmektedir.

Kayması muhtemel kütlelerin oluşturacağı normal gerilme değerlerinde Şekil 3.34'de gözlenen makaslama gerilmesi değerleri aşıldığında şevlerde kaymalar gerçekleşecektir.

Çeşitli pratik problemlerin nümerik analizleri ile deneyimlere dayanan farklı kalitedeki kaya kütleleri için yenilme sonrası karakteristikler detaylı bir şekilde Hoek ve Brown (1997)'de sunulmuştur.  $\sigma_n=c_i$ ,  $m_i$  ve GSI değerleri dikkate alınarak Hoek ve Brown (1997) tarafından önerilen yenilme sonrası kaya davranışının sınıflandırılması esas alınarak şeyller bu çalışmada “çok kötü kaliteli yumuşak kaya” olarak sınıflandırılmıştır.



Şekil 3.34  $H_{şev}=10$  m ve  $20$  m için anlık normal gerilme değerlerine karşılık gelen makaslama gerilmeleri (RocData V. 04'den).

#### Analysis of Rock/Soil Strength using RocData

##### Hoek-Brown Classification

intact uniaxial comp. strength ( $\sigma_{ci}$ ) = 30 MPa  
GSI = 15 mi = 7 Disturbance factor = 0.5  
intact modulus ( $E_i$ ) = 30000 MPa

##### Hoek-Brown Criterion

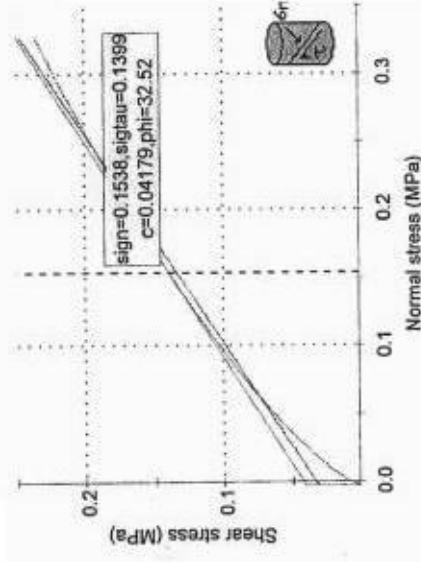
$m_b = 0.122$   $s = 1.2e-5$   $a = 0.561$

##### Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.033 MPa friction angle = 33.24 deg

##### Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.003 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.052 MPa  
global strength = 0.932 MPa  
modulus of deformation = 788.69 MPa



H=10 m

Şekil 3.35 a) Hşev=10 m için, 0.15 MPa normal gerilme anında şevde meydana gelen makaslama gerilmesinin bilgisayar n programından elde edilmesi

#### Analysis of Rock/Soil Strength using RocData

##### Hoek-Brown Classification

intact uniaxial comp. strength ( $\sigma_{ci}$ ) = 30 MPa  
GSI = 15 mi = 7 Disturbance factor = 0.5  
intact modulus ( $E_i$ ) = 30000 MPa

##### Hoek-Brown Criterion

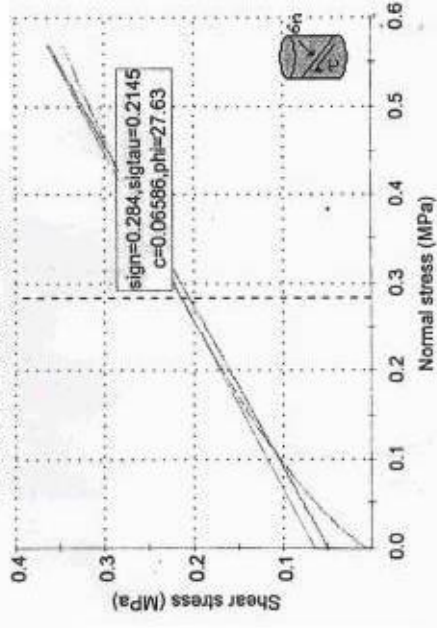
$m_b = 0.122$   $s = 1.2e-5$   $a = 0.561$

##### Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.050 MPa friction angle = 28.68 deg

##### Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.003 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.052 MPa  
global strength = 0.932 MPa  
modulus of deformation = 788.69 MPa



H=20 m

b) Hşev=20 m için, 0.28 MPa normal gerilme altında kaya kütlelerinde anlık makaslama gerilmesinin bilgisayar n programından elde edilmesi.

### 3.5 Şev Stabilitesi ve Önemli Kavramlar

#### 3.5.1 Şev Tanımı

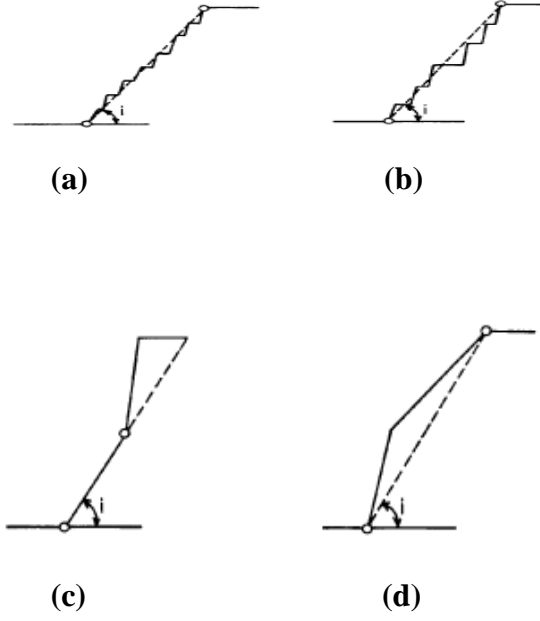
Şevler, doğal olarak bulunan veya çeşitli mühendislik amaçları için yapay olarak kaya ve/veya zeminler içinde açılan eğimli yamaçlardır. Şev stabilitesi çalışmaları uzmanlık gerektiren, çoğu zaman sayısal hesap ağırlıklı işlemlerdir. Jeolojik veri toplanması ve bunların değerlendirilmesi, kinematik analiz, ortamın ve/veya süreksizliklerin dayanım parametrelerinin tayini, stabilite analizlerinin yapılması ve duraysızlık durumunda alınacak önlemlerin belirlenmesi gibi uzman bilgi ve deneyimini gerektiren birçok aşamayı içerir. Bir şevin duraylılığı, genel olarak, kaymaya karşı koyan toplam kuvvetlerin kaymaya neden olan kuvvetlere olan oranı olarak ifade edilir. Buradaki oran aynı zamanda güvenlik katsayısını ( $F_s$ ) ifade etmektedir.

##### 3.5.1.1 Denge Koşulu

Kaymaya karşı koyan kuvvetlerin kaymaya neden olan kuvvetlere eşit olduğu durum, yani güvenlik katsayısının kuramsal olarak 1'e eşit olduğu denge durumudur.

Eğimli bir düzlem üzerinde duran bir bloğun durabilitesini tanımlayan tüm eşitlikler, kaymayı teşvik edici kuvvetlerin kaymaya karşı koyan kuvvetlerle dengelendiğini varsayan "denge sınırı" yöntemine dayandırılmaktadır. Şevlerin durabilitesinin belirlenmesi ve karşılaştırması kapsamında denge sınırı kadar önemli bir gösterge de şev güvenlik katsayısıdır.

Şev topuğundan şev tepesine çizilen hattın yatayla yaptığı açı genel şev açısı olarak tanımlanmaktadır. (Şekiller 3.36 a, 3.36 b). Şev profili içbükey ise (Şekil 3.36 c) şevin alt kısmının açısı genel şev açısı olarak alınır, ancak daha dik olan üst kısım için ayrı analiz yapılır. Şev profili dış bükey ise (Şekil 3.36 d) genel şev açısını şev topuğundan şev tepesine uzanan hat belirler, ancak daha dik olan şevin alt kısmı için ayrı analiz yapılır.



Şekil 3.36 Genel şev açısı tanımları.

Şev aynası; madencilik faaliyetleri sonucu oluşan dik veya dike yakın olarak kesilmiş kaya yüzeyi şev aynası olarak tanımlanmaktadır..

Şev tepesi; kesilen şevin en üst noktası şeklinde tanımlanmaktadır. Şev topuğu, şev aynasının dip noktası olarak tanımlanır. Kaya kütlesi içinde sağlam kaya bloklarını birbirinden ayıran fay, eklem, tabakalanma düzlemi, dilinim vb. jeolojik yapısal eleman ve zayıflık düzlemleri süreksizlikler olarak tanımlanmaktadır.

Yerçekimi kuvveti nedeniyle, şevin daha yüksekte olan kısmının potansiyel enerjisi daha fazladır ve şev malzemesinin ve/veya süreksizliklerinin dayanımı izin verdiği sürece daha aşağılara inmek ister. Bu şekilde, şevlerde yenilmeye neden olan kuvvetler ile yenilmeye karşı koyan kuvvetler arasında bir denge oluşur. Bu denge “yenilme” yönünde bozulana dek şev duraylıdır (Özgenoğlu, 2005).



Şekil 3.37 Şev yenilmelerinin sınıflandırılması

Stabilitenin süreksizliklerce kontrol edildiği şevlerde; öncelikle, oluşan kuvvetlerin gözönüne alınmadığı, dayanım parametresi olarak yalnız sürtünme açısının ve şevdeki süreksizliklerin yönelim/yatımlarının dikkate alındığı kinematik analiz yapılır.

Yapılan analizler sonunda yenilme olasılığı olan şevler, yenilmeye neden olabilecek süreksizlikler ve olası yenilmenin türü belirlenir. Bu tür ortamda genellikle kama kayması, düzlemsel kayma ve devrilme türü yenilmeler gözlenir.

Örtü tabakasını oluşturan toprak, zemin ya da ufalanmış-ayrışmış kayalarda ise belirgin bir yapısal süreksizlik görülmediğinden, yenilme kaymaya karşı direncin en az olduğu noktalar boyunca, yani genellikle gözlendiği gibi dairesel bir yüzey boyunca yer alır. Bu tür ortamlarda oluşan şevlerin, özellikle zemin şevlerinin duraylılık analizleri yüksek bir hassasiyet ve doğrulukta yürütülebilmektedir.

### 3.5.2 Şev Stabilite Analiz Yöntemleri

Şev stabilite analizleri üç değişik yöntemle yürütülebilir. Bunlar,

- Ampirik ve gözlemsel yaklaşım
- Denge sınırı yöntemi
- Gerilme analizi yöntemi

Ampirik yöntem daha önceki deneyimlerle model ve prototip üzerinde yapılan ölçümlere dayanır. Denge sınırı yöntemi zeminin ya da kaya kütlelerinin (özellikle süreksizliklerin) makaslama dayanımına dayandırılmış olup genellikle Coulomb yenilme kriterinden faydalanır. Gerilme analizi yöntemi kaya kütlelerinin deformasyon ve dayanım karakteristiklerinin çalışılmasını içerir.

Şev stabilitesini süreksizliklerin kontrol ettiği durumlarda kinematik analiz sonucu kritik bulunan şevler ile sürekli ortamda oluşturulup yenilme potansiyeli olan diğer şevler genellikle denge sınırı analizine tabi tutularak duraylılıkları incelenir. Bu analizde, önceden belirlenmiş olası kayma yüzey(ler)inde kaymaya neden olan kuvvetlerle kaymaya karşı koyan kuvvetlerin karşılaştırılması yapılır. İkincisinin birincisine oranlanması ile bulunan katsayıya “güvenlik katsayısı” denir ve bu katsayının değerine göre şevin duraylılığı konusunda bir sonuca varılır.

### 3.5.3 Şevlerde Malzeme Özelliklerinin Tayini ( $c$ ve $\emptyset$ )

Kaya ve zeminde açılan şevlerin stabilite analizleri genellikle denge sınırı analizi ile yürütülür. İçsel Sürtünme açısı, kohezyon ve birim hacim ağırlıklar bu yöntemin uygulamasında gerekli malzeme özellikleridir.

Kohezyon ve sürtünme açısı, laboratuvar veya arazide (in situ) yapılacak deneyler sonrası makaslama gerilmesi ile normal gerilme (kayma yüzeyine dik etki eden kuvvetlerin yarattığı gerilme) arasındaki ilişkinin kurulması ile bulunur.

Burada aşağıdaki Coulomb eşitliğinde verildiği gibi doğrusal bir ilişki mevcuttur.

$$\tau = c + \sigma \tan \emptyset$$

Burada,

$\tau$  = makaslama gerilmesi

$c$  = kohezyon

$\sigma$  = normal gerilme

$\emptyset$  = (içsel) sürtünme açısı ‘dır.



Coulomb eşitliği süreksizlik için kullanıldığında, süreksizlik yüzeyleri birbirine kaynamamışsa, yani normal gerilmenin sıfır olduğu durumda makaslama gerilmesi sıfır oluyorsa, kohezyon sıfır olur ve eşitlik daha basitleşerek  $\tau = \sigma \tan\phi$  olarak ifade edilir. Öte yandan, süreksizlik yüzeyleri pürüzlü ise makaslama dayanımı artar,

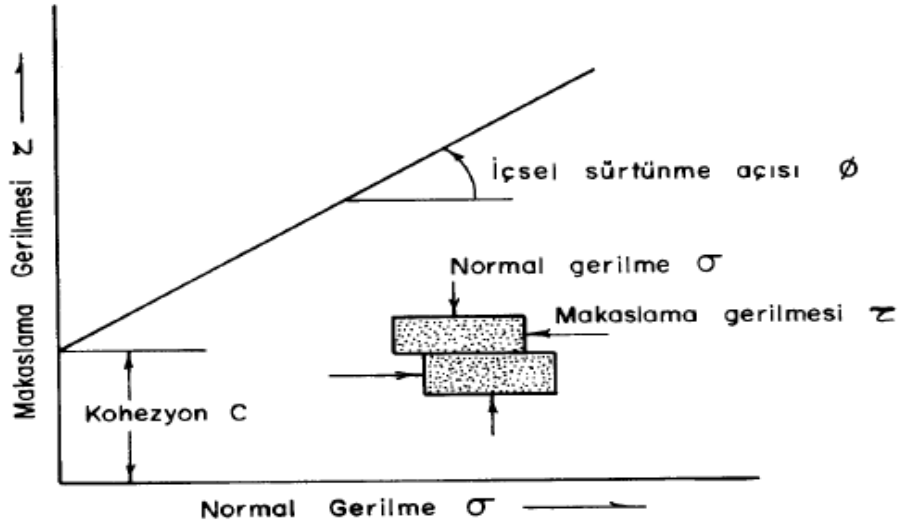
şöyle ki :

$$\tau = \sigma \tan(\phi+i)$$

Burada,  $i$  = pürüzlülük açısı olup süreksizlik yüzey profilini çıkartarak ölçülebilir.

Laboratuvarda direkt makaslama testlerinin yapılması ile belirlenen kohezyon ve içsel sürtünme açısı parametrelerini tanımlamak için makaslama gerilmesi-normal gerilime" grafiğinden yararlanılabilir (Şekil 3.38). Bu grafik bir kayaç karot ölmeğinin içerdiği süreksizlik düzlemi koyunca kaymasını sağlayacak bir gerilimin uygulanmasıyla elde edilen sonuçların gösterildiği basitleştirilmiş bir şekildir. Makaslama gerilmesi ( $\tau$ ) ile normal gerilime ( $\sigma$ ) arasında doğrusal veya doğrusala yakın bir ilişki vardır. Bu ilişkiyi belirleyen doğrunun eğimi içsel sürtünme açısı ( $\phi$ ), normal gerilimin sıfır olduğu andaki makaslama gerilim değeri ise kohezyon ( $c$ ) olarak tanımlanır.

Şekil 3.38'de gösterildiği gibi sürtünme açısı ve kohezyon dayanımı, en belirgin olarak, makaslama gerilmesi ve normal gerilme eğrisi ile açıklanabilir. Bu eğri, eklem gibi bir jeolojik süreksizlik bulunduran kaya numunesinin süreksizlik boyunca kaymasına neden olan sonuçların basitleştirilmiş bir şeklidir (Hoek&Bray, 1981).



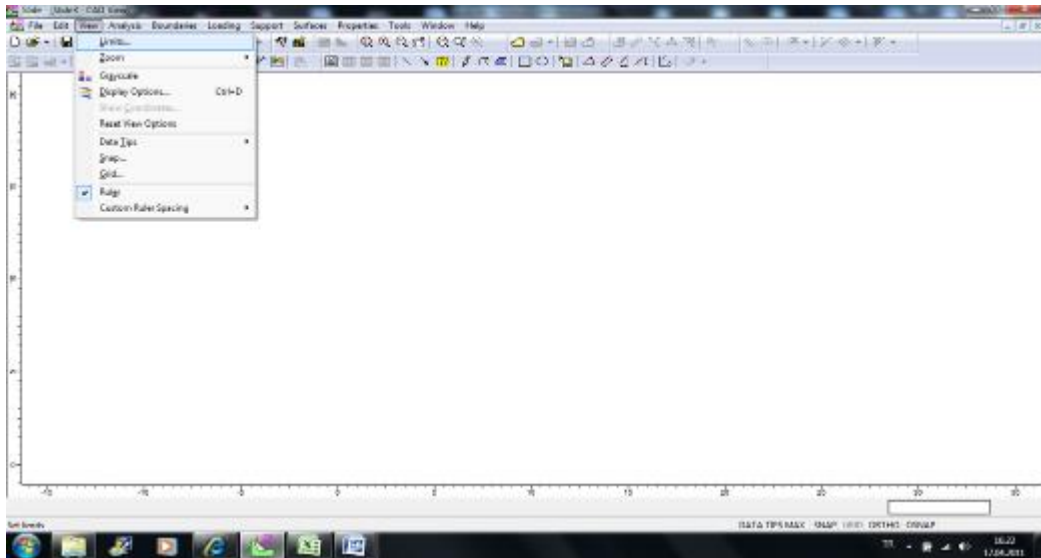
Şekil 3.38 Kaymaya neden olan makaslama gerilmesi ile normal gerilme arasındaki ilişki.

### 3.5.4 Şev Stabilitesi Analiz Çalışmaları

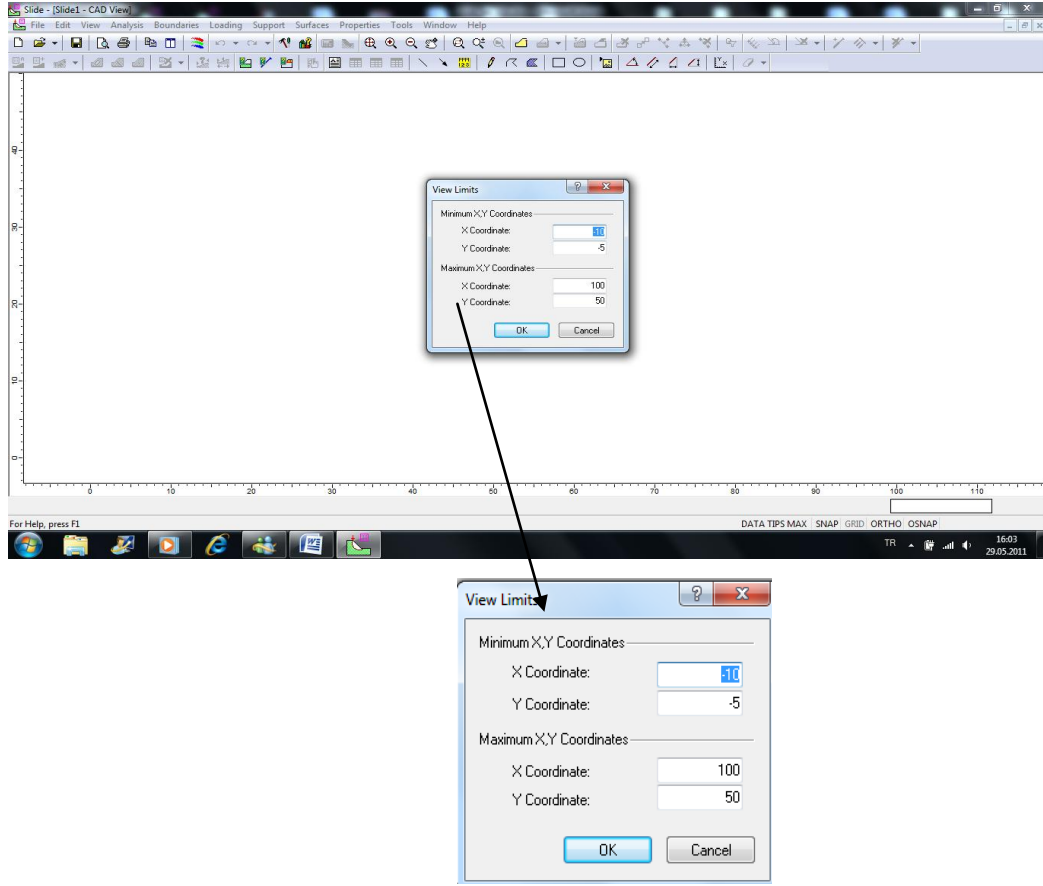
Şev stabilite analizlerinde sıkça kullanılan programlardan biri olan slide v. 6.0 programı bu tez kapsamında kullanılmıştır.

Slide, program başlat menüsünden programlar→rockscience→slide v. 6.0→slide seçilerek program başlatılır.

Program çalıştıktan sonra x ve y koordinatlarının en alt ve en üst sınırlarının belirlenmesi için programın araç çubuğundaki “View” sekmesinden “limit” seçeneği seçilip ve x ve y koordinatları girilmiştir (Şekil 3.39, 3.40).



Şekil 3.39 Slide v. 6.0'da yapılan analiz adımı.

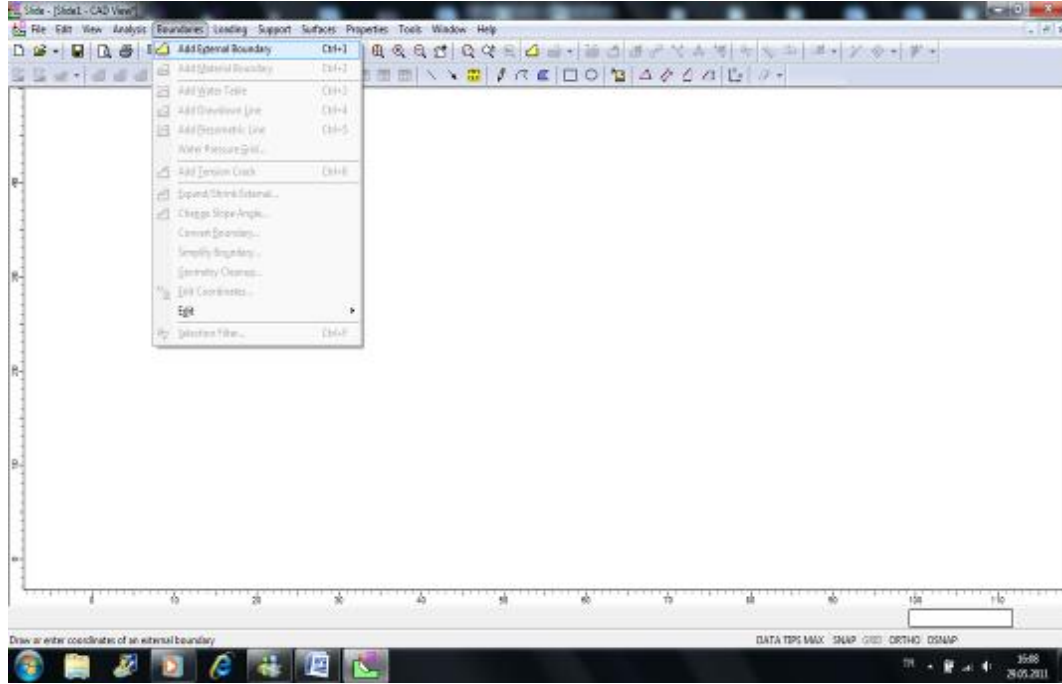


Şekil 3.40 Slide v. 6.0 kullanılarak max. ve min. koordinatların veri girinden görünüm.

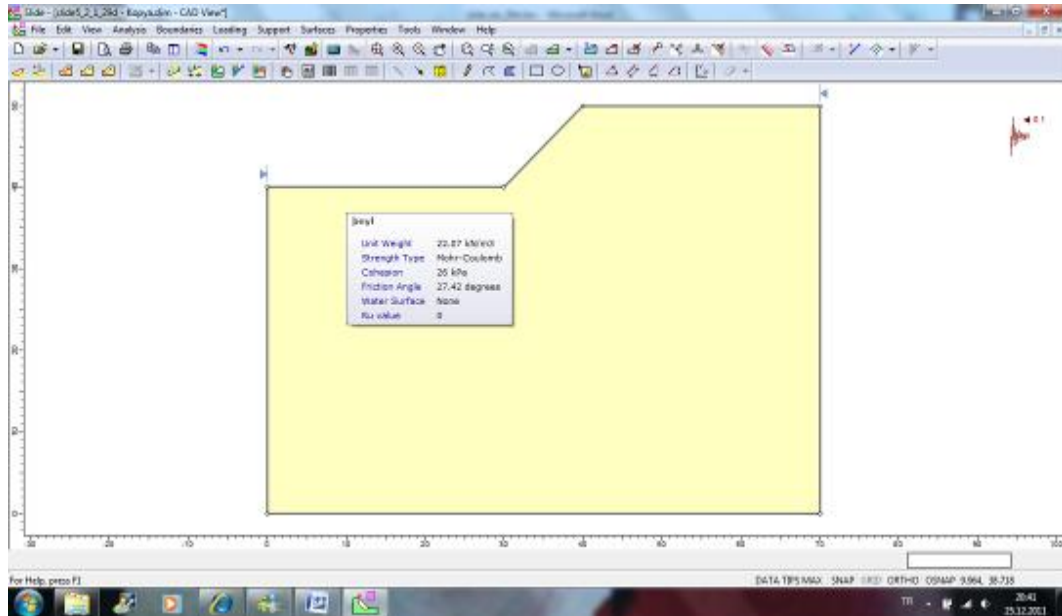
Her bir slide modeli için öncelikle dış sınır (external boundary) tanımlanmalıdır. Dış sınırın üst bölümü, analizini yaptığımız şev düzlemini gösterir. Boundaries sekmesinden add external boundary seçilip 5\_2\_1 nolu numunenin alındığı topoğrafyaya ait model sağ alttaki kutucuğa koordinatlar girilerek oluşturulmuştur (Şekil 3.41, 3.42).

- Enter vertex: 0 0
- Enter vertex: 70 0
- Enter vertex: 70 50
- Enter vertex: 40 50
- Enter vertex: 30 40
- Enter vertex: 0 40
- Enter vertex: 0 0(ya da c)

Not: Koordinatları sağ alttaki kutucuğa girerken hata yaptığımızı fark ettiğimiz zaman, kutucuğa “u” yazıp enter denildiği anda bir önceki adıma geri dönebiliriz bu da zaman kaybını önleyecektir.



Şekil 3.41 Slide v. 6.0 programı yardımıyla şeve ait modelin oluşturulmasına ait görünüm.



Şekil 3.42 Oluşturulan modele ilişkin genel görünüm.

Kayacın içsel sürtünme açısı ( $\Phi$ ) ve kohezyonu ( $c$ ) için; daha önce laboratuvar ortamında yapılan portatif kesme kutusu deneyinden elde edilen veriler , birim hacim ağırlık değeri için ise laboratuvar ortamında elde edilen sonuçlar kullanılmıştır. Slide v. 6.0 programı kullanılarak yapılan çalışmaları temsil eden bir örneğe ilişkin ayrıntılı analiz basamakları aşağıda irdelenmiştir.

$$\gamma_n = 22,07 \text{ kN/m}^3 = 0,022 \text{ MN/m}^3$$

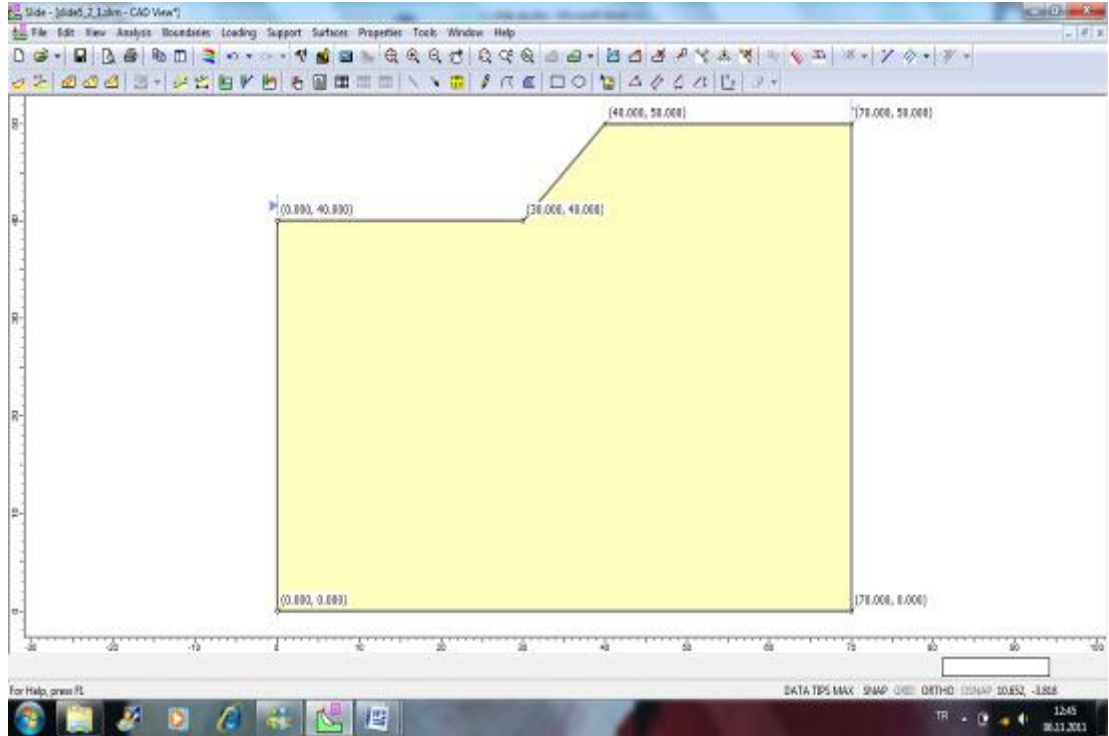
$$c = 0,026 \text{ MPa} = 0,26 \text{ kg/cm}^2 = 26 \text{ kN/m}^2$$

$$\Phi = 27,42^\circ$$

$$\alpha_{\text{şev}} = 45^\circ$$

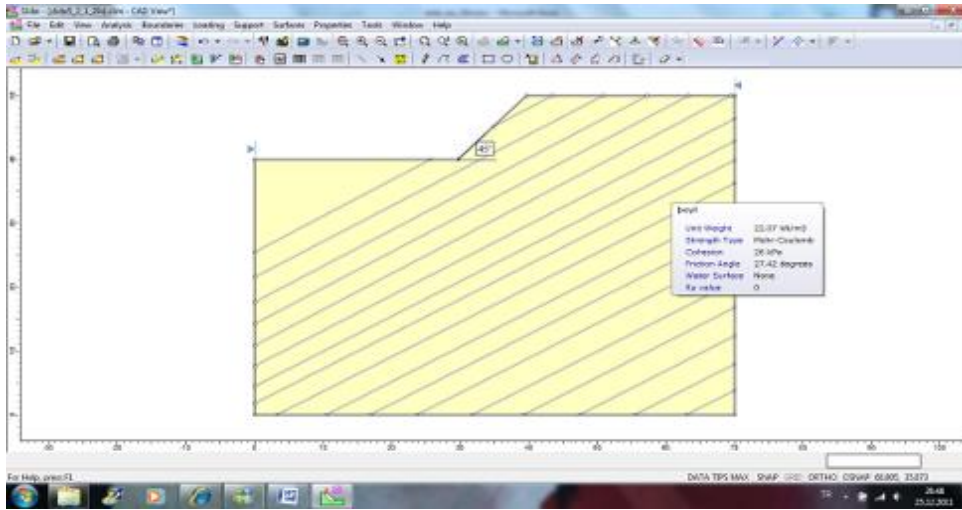
$H_{\text{şev}} = 10 \text{ m}$  (şev yüksekliği) için; model oluşturulmuştur.

Model oluşturulduktan sonra sınır koordinatlarının model üzerinde görülmesi için View sekmesinden show coordinates seçilerek koordinatlar model üzerine yazdırılmıştır (Şekil 3.43).



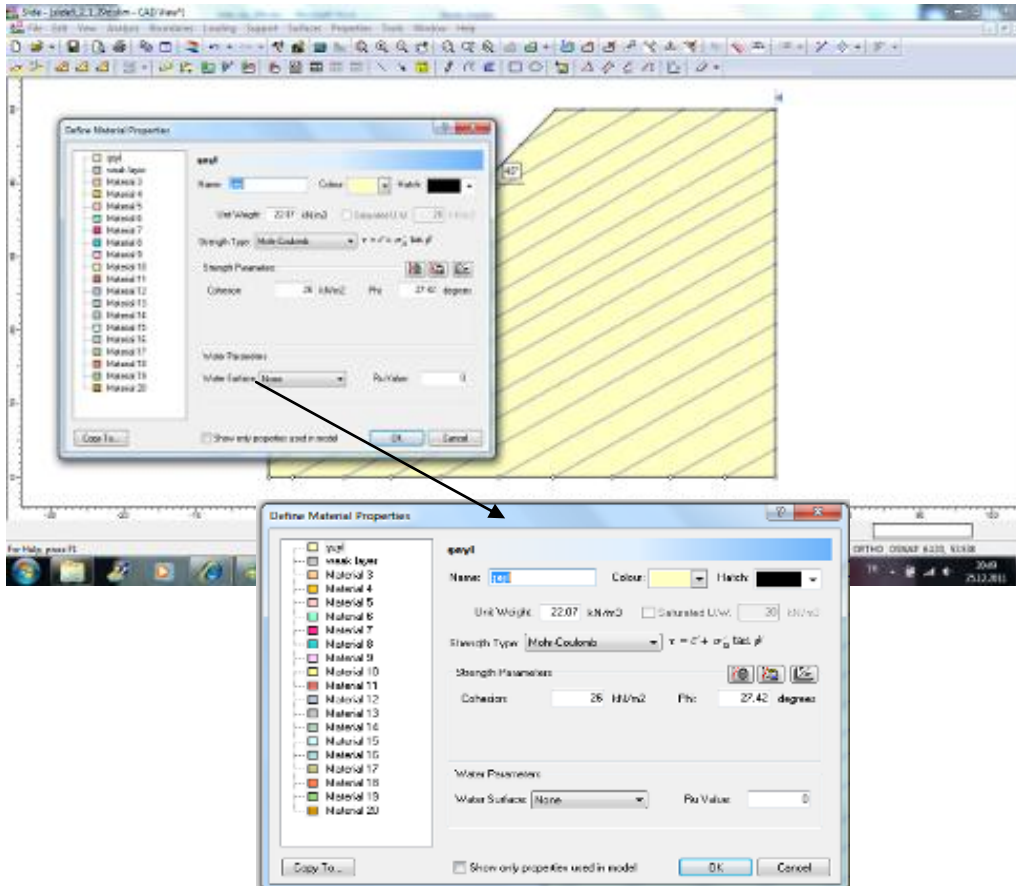
Şekil 3.43 Sınır koordinatlarının model üzerine yazdırılması.

Arazi ölçümleri esnasında tabakaların eğimleri yaklaşık olarak  $29^\circ$  ölçülmüştür. Tabakaların konumları ve eğimleri model üzerine aktarılmıştır (Şekil 3.44).



Şekil 3.44 Tabakaların konumları ve eğimlerinin model üzerine aktarılması.

Properties sekmesinden Define Materials seçilerek kayaç özellikleri girilmiştir (Şekil 3.45).



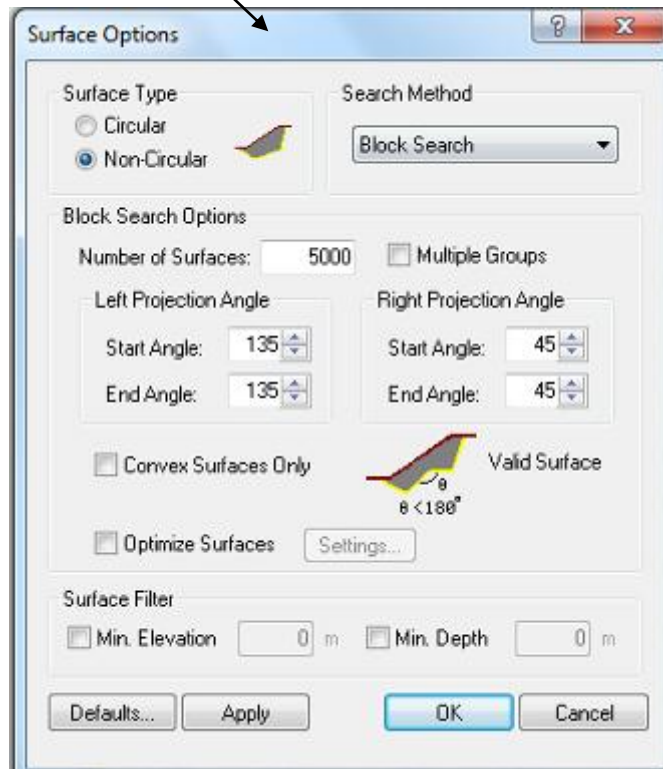
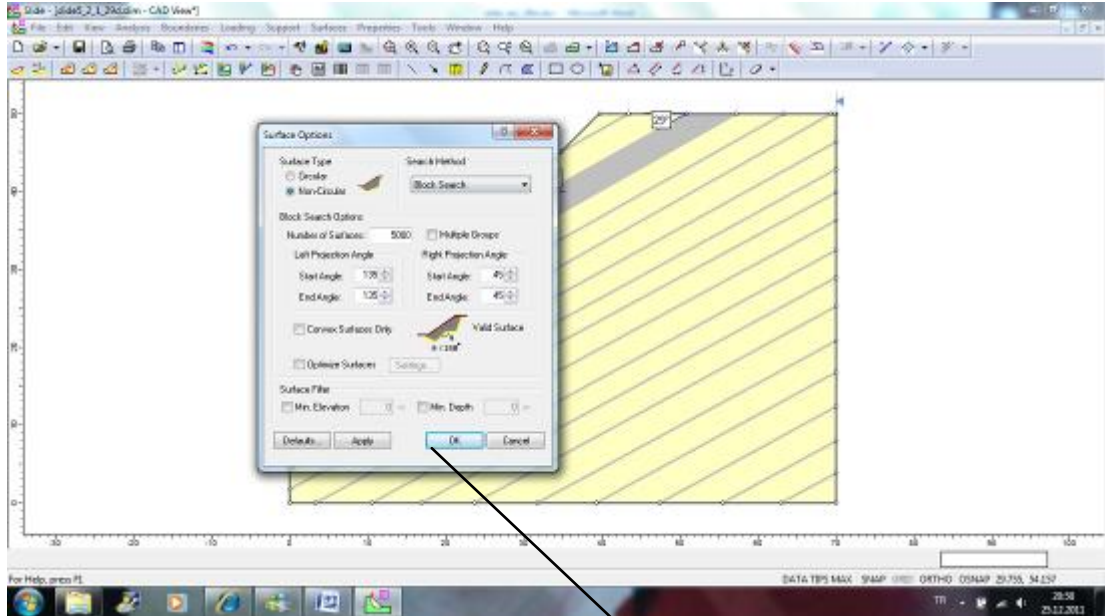
Şekil 3.45 Kayaç özelliklerinin Slide V. 6.0 programında tanımlanması.

Weak layer(zayıf tabaka)

$$\gamma_n = 21 \text{ kN/m}^3$$

$$c = 0 \text{ kN/m}^2 \text{ ve } \Phi = 23^\circ$$

“Surfaces” sekmesinden “surface options” seçilerek “non-circular” (daireysel olmayan) kayma tipi seçildi (Şekil 3.46).

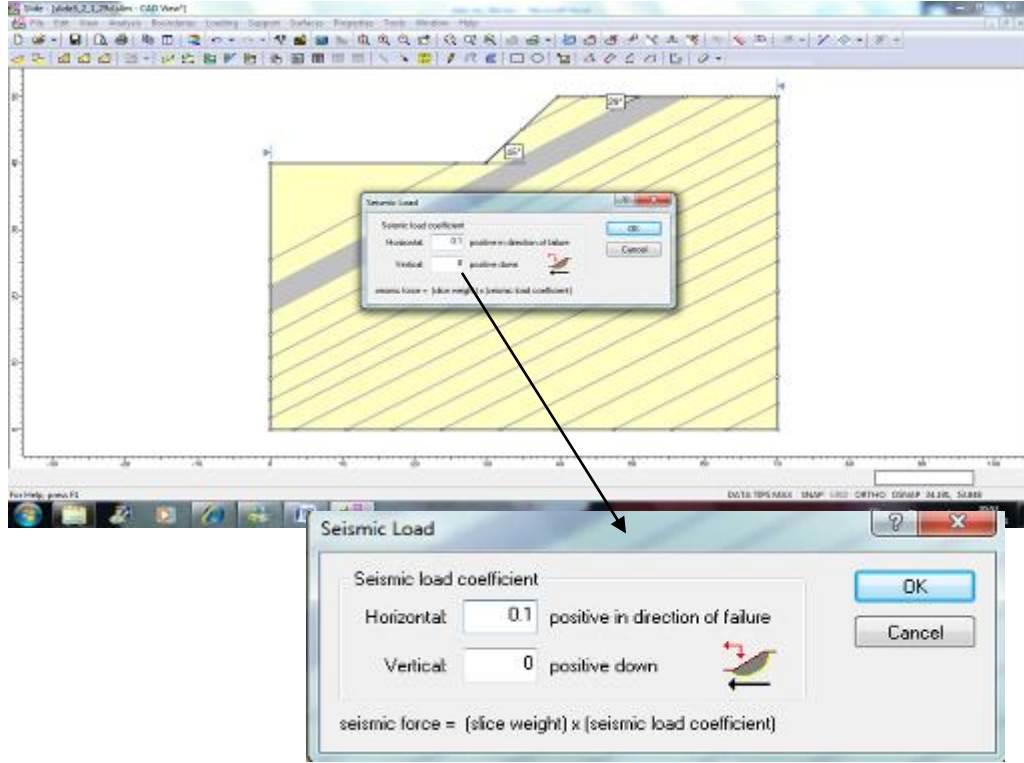


Şekil 3.46 Slide V. 6.0 programı yardımıyla yüzey özelliklerinin tanımlanması.

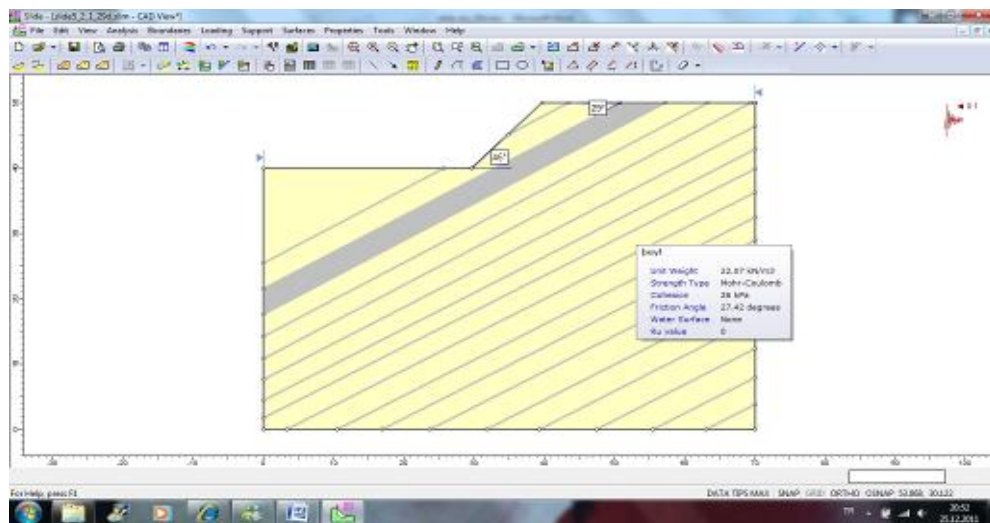


Slide programında loading sekmesinden sismik yük (0.10) girildi (Şekil 3.47, 3.48).

Sismik yük 0.10 alındığında bu yük altında yapılan analiz sonuçları aşağıdaki gibidir;



Şekil 3.47 Slide v. 6.0 programı yardımı ile sismik yük tanımlanması.



Şekil 3.48 Tanımlanan sismik yüke ilişkin şeve ait modelden görünüm.



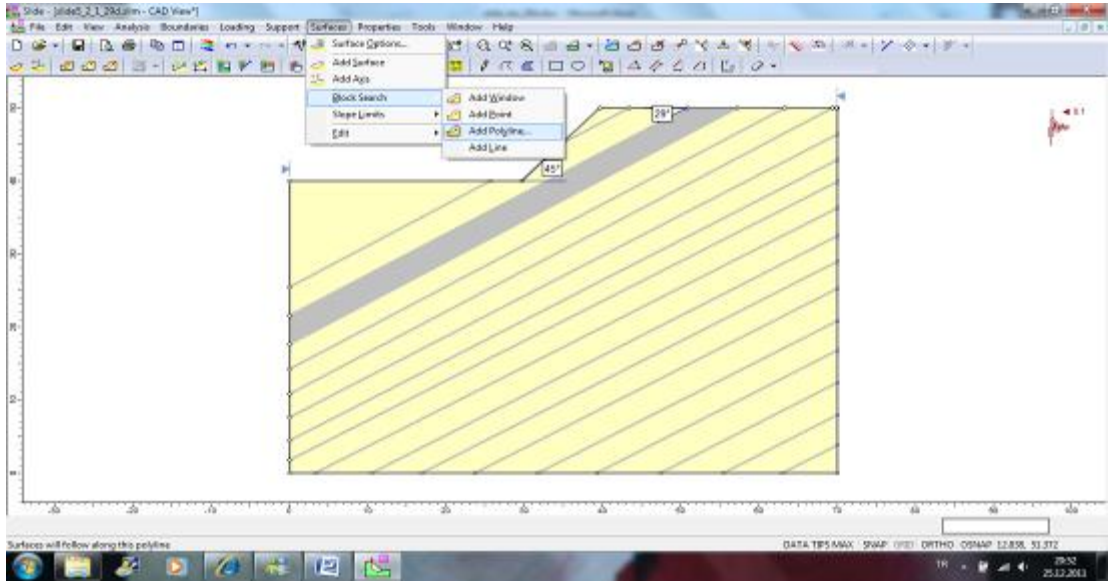
Slide programında dairesel olmayan düzlemler için birçok araştırma methodu vardır. Bu tez kapsamında söz konusu methodlardan “Block Search Method” kullanılacaktır.

Slide programında kütle araştırmasını (block search) uygulamak için; kullanıcı tarafından “pencere, çizgi, nokta ya da çoklu çizgi” gibi bir yada birkaç kütle araştırma objesi (block search object) oluşturulmalıdır.

Oluşturduğumuz modele kütle araştırma objelerinden biri olan “polyline” eklemek için;

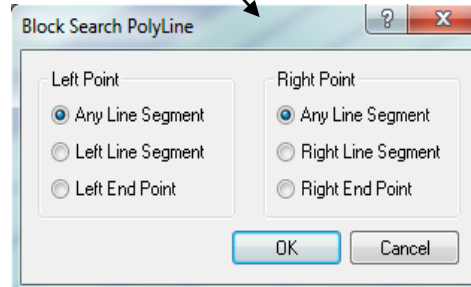
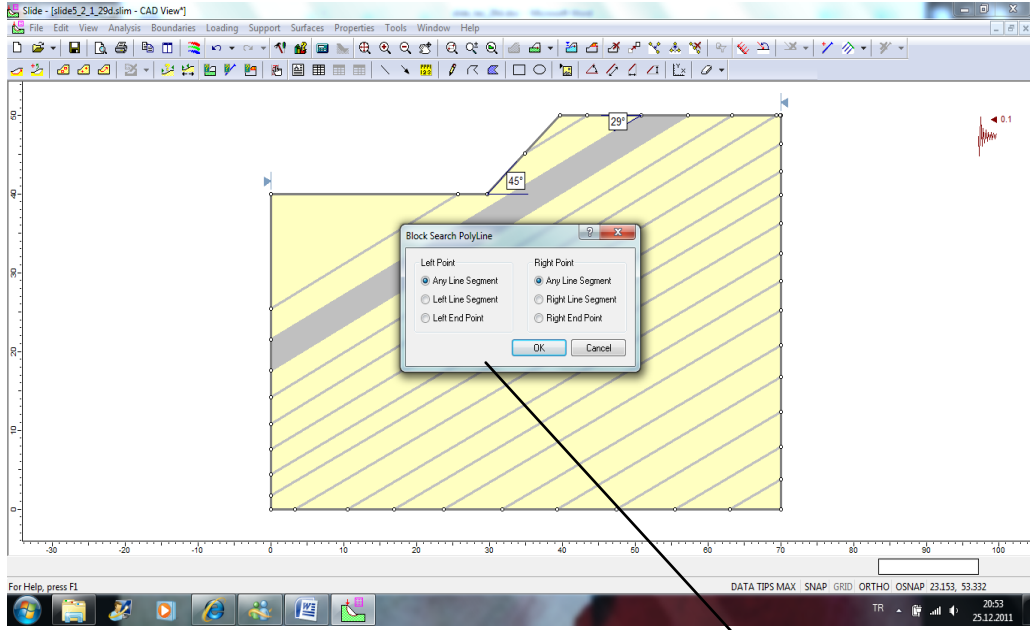
“Select: Surfaces→Block Search→Add Polyline (Şekil 3.49)

Sekmesinden polyline üzerinden iki nokta oluşturuldu.



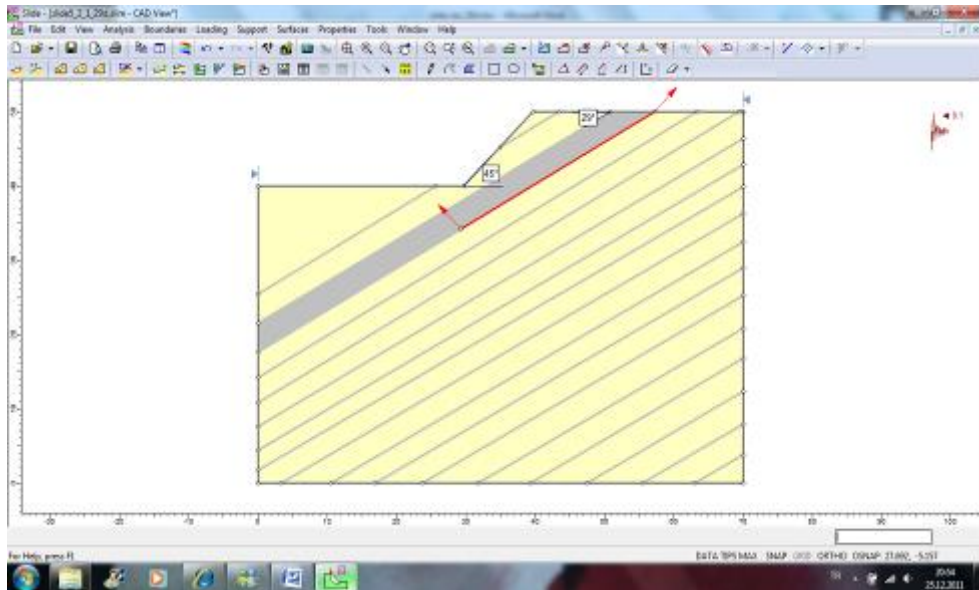
Şekil 3.49 Slide v. 6.0 programı yardımı ile çoklu çizgi oluşturulması.

Çoğu durumda, çoklu çizgi boyunca araştırmanın kapsama alanını en üst düzeye çıkarmak için herhangi bir çizgi parçası ile başlamak iyidir. Bu nedenle Block Search Polyline tablosundan “any line segment” seçildi (Şekil 3.50).



Şekil 3.50 Slide v. 6.0 programı yardımı ile herhangi bir hat parçasının oluşturulması.

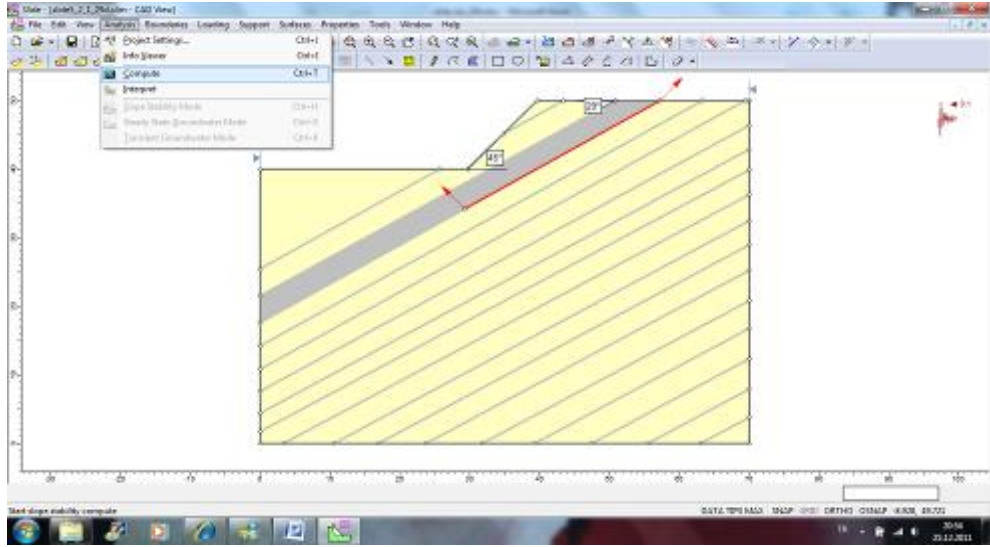
Çoklu çizgiyi tanımlayan noktalar mouse yardımıyla programa girilmiştir (Şekil 3.51).



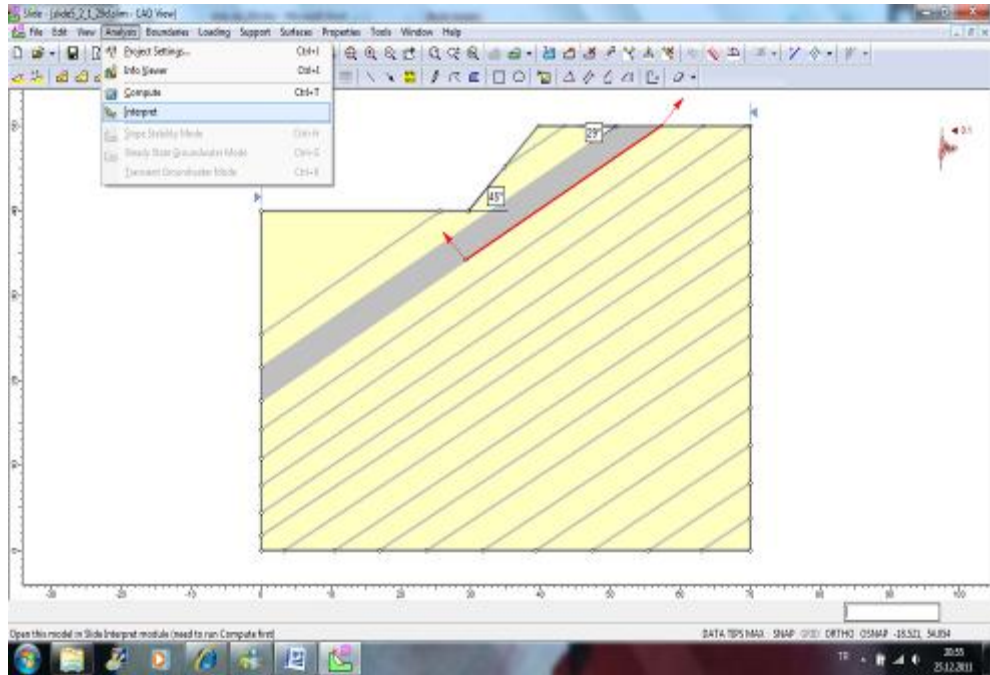
Şekil 3.51 Çoklu çizgiyi oluşturan noktaların tanımlanması.

Kütle araştırma çoklu çizgisi çizgi boyunca iki noktadan meydana gelir. Kayma yüzeyi bu iki nokta arasındaki çoklu çizgiyi takip eder.

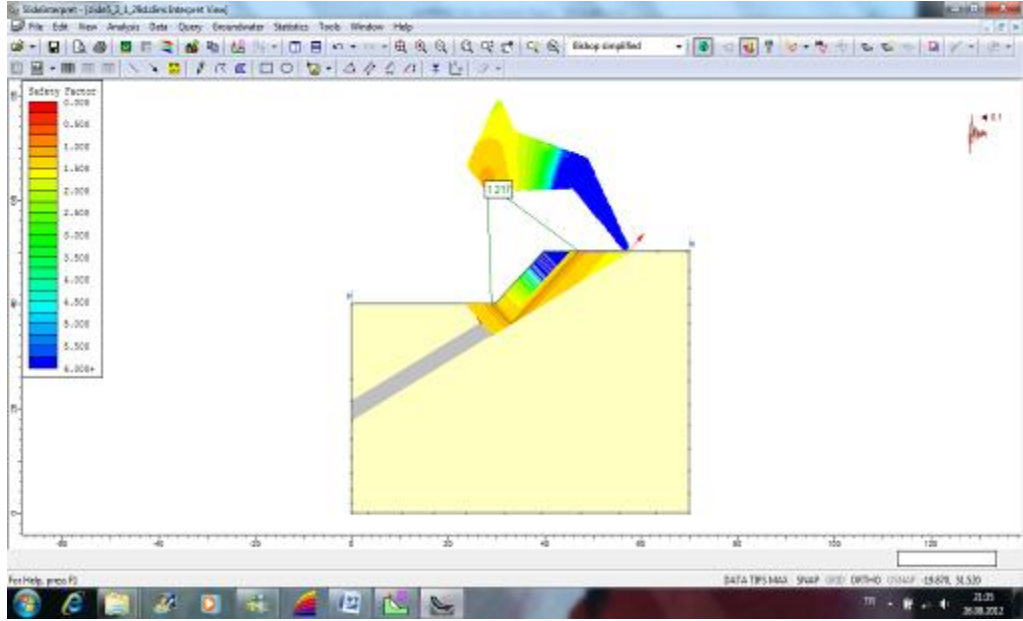
Kütle araştırma çoklu çizgisi zayıf tabakada tanımlandı ve modeli analiz etmeden önce kayıt işlemi gerçekleştirildi. Daha sonra analiz sekmesinden “compute” sekmesi seçilerek hesaplama yapıldı. Hesaplama yapıldıktan sonra analiz sekmesinden “interpret” seçildi ve sonuç ekrandan takip edildi (Şekiller 3.52, 3.53 ve 3.54).



Şekil 3.52 Slide v. 6.0 programı yardımıyla yapılan analizden görünüm.



Şekil 3.53 Slide v. 6.0 programı yardımıyla yapılan analizin hesaplanması.



Şekil 3.54 Slide v. 6.0 programı yardımıyla yapılan analiz model üzerinde görünümü.

Analiz sonucunda  $F_s=1,217>1,20$  olduğu tespit edilmiş olup bu koşullar altında şevin duraylı olduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle bu koşullar altında modelin destek ve dizayn değişikliklerine ihtiyacı olmadığı tespit edilmiştir.

Note: Programda ana ekranda pencerenin sağ alt köşesinde “data tips” sekmesini “data tips max. seçeneğine getirdiğimizde model üzerinde mouse ile hangi noktaya gelirse gelirim modele ait farklı veri girişlerini ekrana getirir.

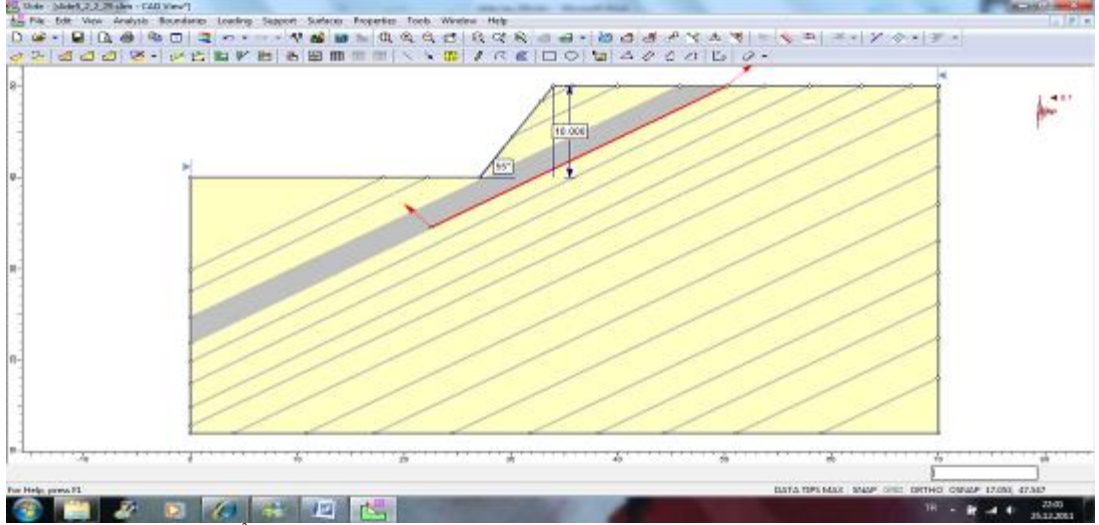
$$\gamma_n = 22,07 \text{ kN/m}^3 = 0,022 \text{ MN/m}^3$$

$$c = 0,025 \text{ MPa} = 0,26 \text{ kg/cm}^2 = 26 \text{ kN/m}^2$$

$$\Phi = 27,42^\circ$$

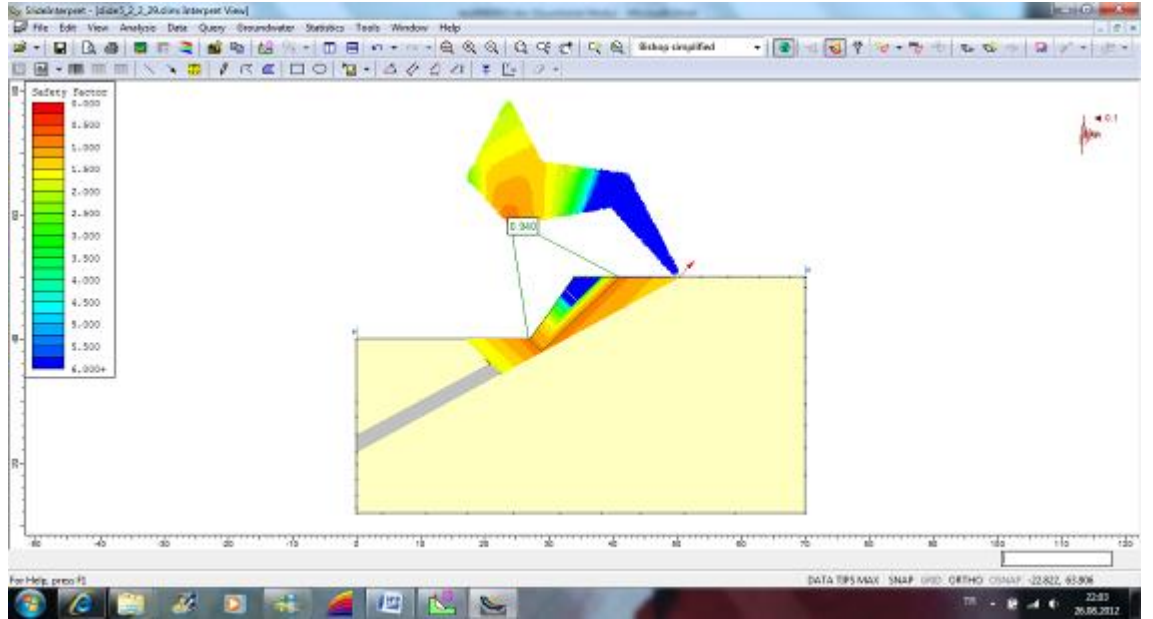
$$\alpha_{\text{şev}} = 55^\circ$$

$H_{\text{şev}} = 10 \text{ m}$  (şev yüksekliği) için; model oluşturulmuştur (Şekil 3.55).



Şekil 3.55  $c=26 \text{ kN/m}^2$ ,  $\Phi=27,42^\circ$ ,  $\alpha_{\text{şev}}=55^\circ$  ve  $H_{\text{şev}}=10 \text{ m}$  için yapılan analiz.

Analiz sonucunda  $F_s=0,940 < 1,20$  olduğu tespit edilmiş olup bu koşullar altında şevin duraysız olduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle modelin destek ve dizayn değişikliklerine ihtiyacı olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3.56).



Şekil 3.56  $c=26 \text{ kN/m}^2$ ,  $\Phi=27,42^\circ$ ,  $\alpha_{\text{şev}}=55^\circ$  ve  $H_{\text{şev}}=10 \text{ m}$  için yapılan analizin model üzerinde görünümü

$$\gamma_n = 22,07 \text{ kN/m}^3 = 0,022 \text{ MN/m}^3$$

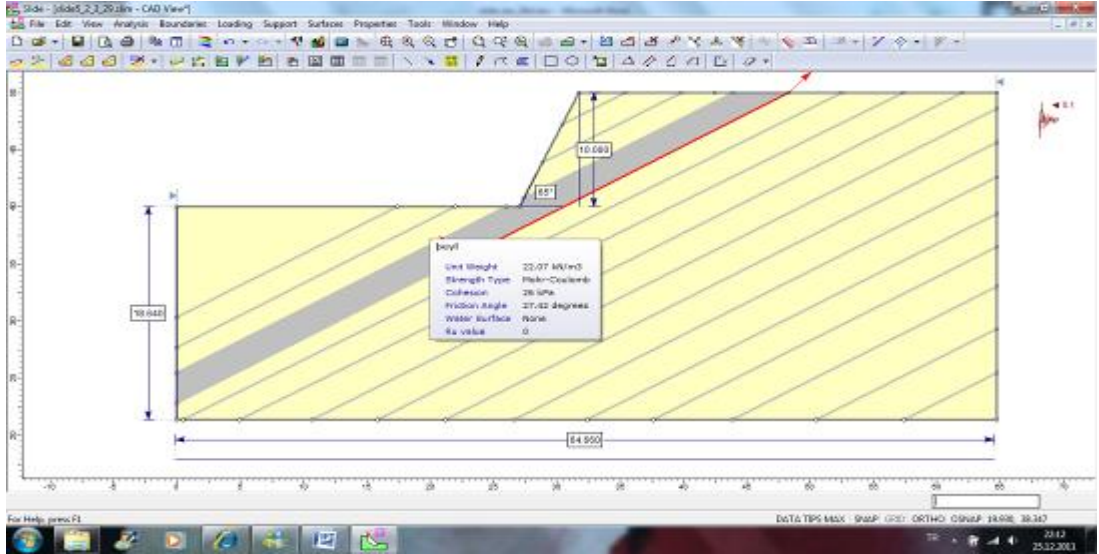
$$c = 0,025 \text{ MPa} = 0,26 \text{ kg/cm}^2 = 26 \text{ kN/m}^2$$

$$\Phi = 27,42^\circ$$

$$\alpha_{\text{şev}} = 65^\circ$$

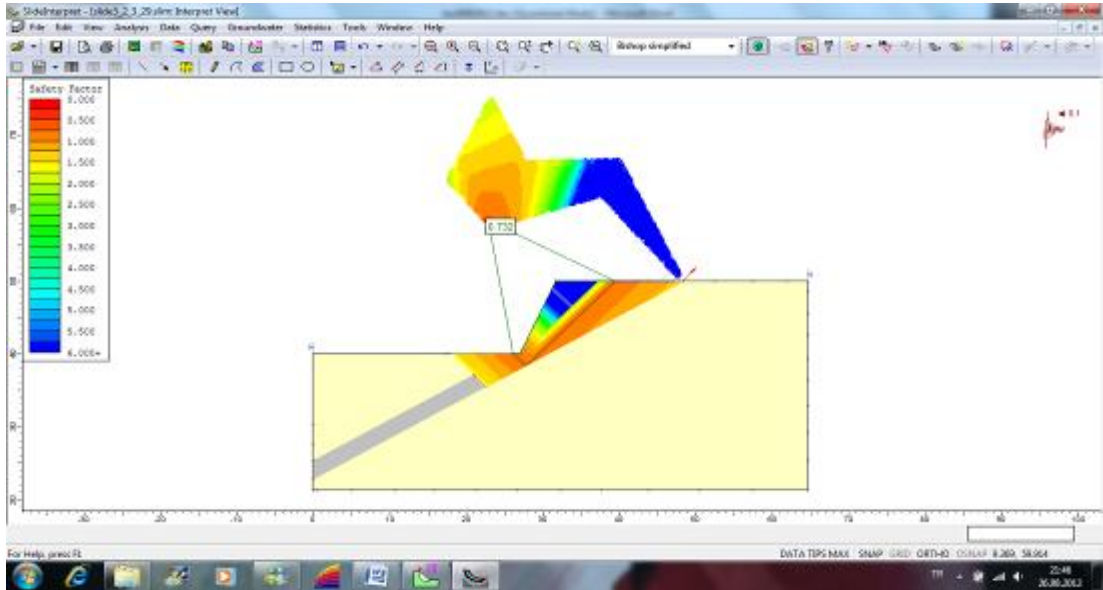


$H_{\text{şev}}=10$  m (şev yüksekliği) için; model oluşturulmuştur (Şekil 3.57).



Şekil 3.57  $c=26$  kN/m<sup>2</sup>,  $\Phi=27,42^\circ$ ,  $\alpha_{\text{şev}}=65^\circ$  ve  $H_{\text{şev}}=10$  m için yapılan analiz.

Analiz sonucunda  $F_s=0,732 < 1$  olduğu tespit edilmiş olup bu koşullar altında şevin duraysız olduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle modelin destek ve dizayn değişikliklerine ihtiyacı olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3.58 ).



Şekil 3.58  $c=26$  kN/m<sup>2</sup>,  $\Phi=27,42^\circ$ ,  $\alpha_{\text{şev}}=65^\circ$  ve  $H_{\text{şev}}=10$  m için yapılan analizin model üzerinde görünümü

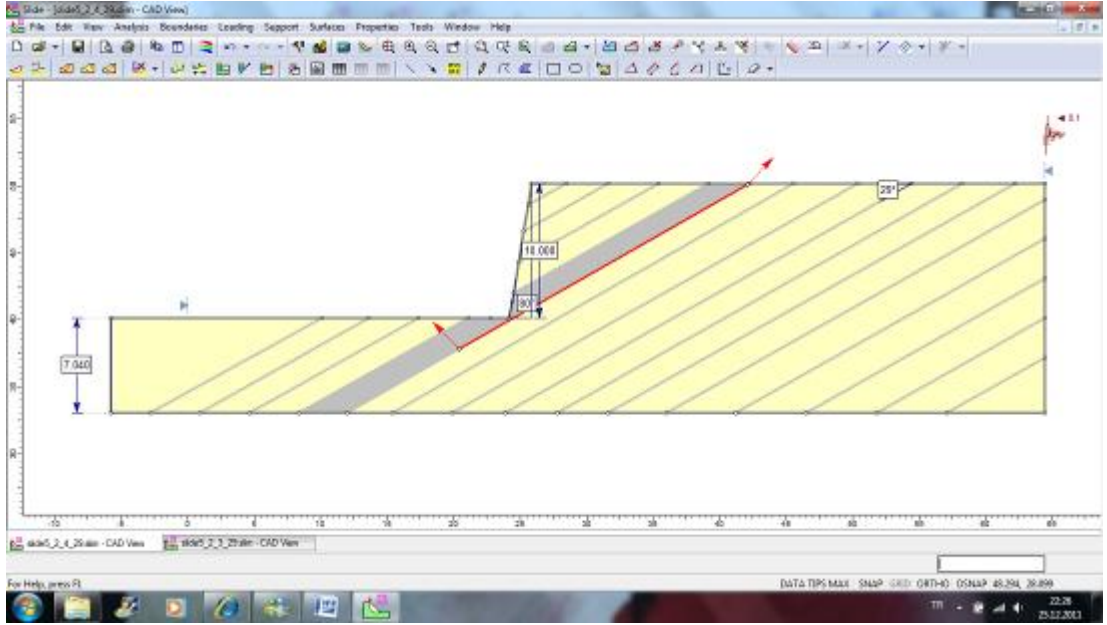
$$\gamma_n = 22,07 \text{ kN/m}^3 = 0,022 \text{ MN/m}^3$$

$$c = 0,025 \text{ MPa} = 0,26 \text{ kg/cm}^2 = 26 \text{ kN/m}^2$$

$$\Phi = 27,42^\circ$$

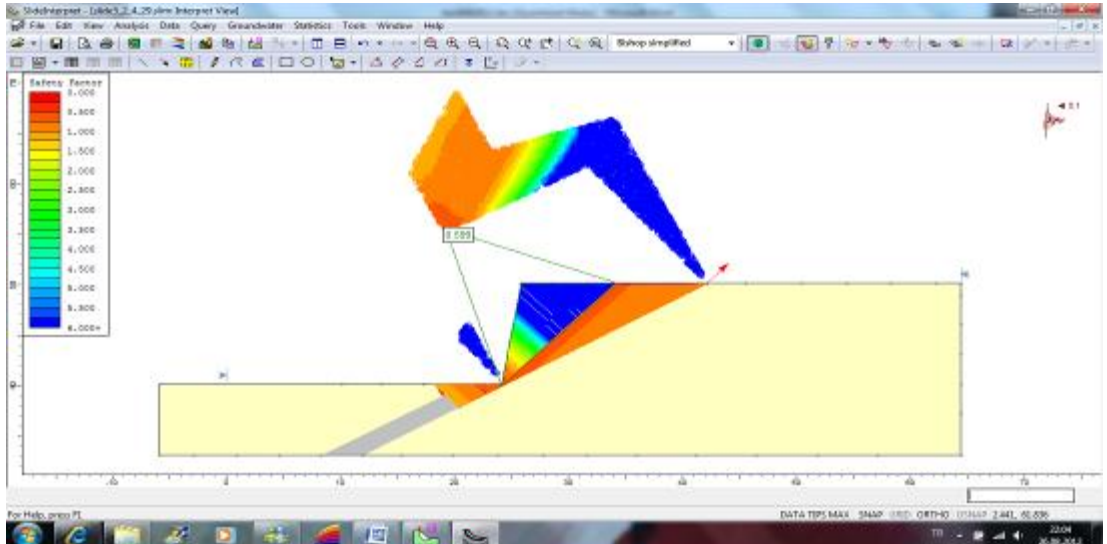
$$\alpha_{\text{şev}} = 80^\circ$$

$H_{\text{şev}} = 10$  m (şev yüksekliği) için; model oluşturulmuştur (Şekil 3.59).



Şekil 3.59  $c=26$  kN/m<sup>2</sup>,  $\Phi=27,42^\circ$ ,  $\alpha_{\text{şev}}=80^\circ$  ve  $H_{\text{şev}}=10$  m için yapılan analiz.

Analiz sonucunda  $F_s=0,599 < 1$  olduğu tespit edilmiş olup bu koşullar altında şevin duraysız olduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle modelin destek ve dizayn değişikliklerine ihtiyacı olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3.60).



Şekil 3.60  $c=26$  kN/m<sup>2</sup>,  $\Phi=27,42^\circ$ ,  $\alpha_{\text{şev}}=80^\circ$  ve  $H_{\text{şev}}=10$  m için yapılan analizin model üzerinde görünüm.

Şev açısının yüksek tutulması yapılacak kazı miktarında azalma ve ekonomik yönden tasarruf sağlarken, aşırı dik şevler kaymalara neden olarak ocak içinde iş kazalarına sebebiyet verebilmekte ve bunun sonucunda üretim azalmaktadır. Bu nedenle, çalışılan malzemenin özelliklerine uygun olarak açık ocaklarda optimum genel şev açısının belirlenmesi madencilik açısından oldukça önemlidir (Özgenoglu, 2005).

Slide programı yardımıyla farklı şev açısı ve yüksekliklerine ilişkin yapılan analizler sonucunda şevlerde olası stabilite problemleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Söz konusu koşullar altında güvenlik faktörü değeri 1,20 ve üzerinde olan (stabil) şevlerin farklı şev açısı ve yüksekliğine ilişkin değişimleri Tablo 3.11, 3.12, 3.13, 3.14'de gösterilmektedir.

$$\alpha_{\text{sis}}=0,10$$

$$\gamma_n=22,07 \text{ kN/m}^3$$

$$c= 26 \text{ kN/m}^2$$

$$\Phi=27^\circ$$

için güvenlik faktörü değerleri tablo 3.11'da verilmiştir

Tablo 3.11 Farklı şev açısı ve yüksekliğine ilişkin güvenlik faktörü değerleri ( $\alpha_{\text{sis}}=0,10$  için).

Aşev	Hşev=10 m	Hşev=12 m	Hşev=15 m	Hşev=20 m
34°				$F_S=1,211$
35°			$F_S=1,204$	
37°			$F_S=1,044$	
43°		$F_S=1,215$		
45°	$F_S=1,217$	$F_S=0,921$	$F_S=0,929$	$F_S=0,722$
55°	$F_S=0,940$	$F_S=0,811$	$F_S=0,655$	$F_S=0,632$
65°	$F_S=0,732$	$F_S=0,648$	$F_S=0,638$	$F_S=0,598$
80°	$F_S=0,599$	$F_S=0,597$	$F_S=0,594$	$F_S=0,593$

$$\alpha_{\text{sis}}=0,12$$

$$\gamma_n=22,07 \text{ kN/m}^3$$

$$c= 26 \text{ kN/m}^2$$

$$\phi =27^\circ$$

için güvenlik faktörü değerleri tablo 3.12'da verilmiştir



Tablo 3.12 Farklı şev açısı ve yüksekliğine ilişkin güvenlik faktörü değerleri ( $\alpha_{sis}=0,12$  için).

Aşev	Hşev=10 m	Hşev=12 m	Hşev=15 m	Hşev=20 m
34°				$F_S=1,179$
35°			$F_S=1,165$	
37°		$F_S=1,261$	$F_S=1,017$	
41°		$F_S=1,208$		
45°	$F_S=1,190$	$F_S=0,899$	$F_S=0,824$	$F_S=0,707$
55°	$F_S=0,921$	$F_S=0,795$	$F_S=0,643$	$F_S=0,621$
65°	$F_S=0,717$	$F_S=0,631$	$F_S=0,626$	$F_S=0,594$
80°	$F_S=0,595$	$F_S=0,592$	$F_S=0,591$	$F_S=0,590$

$\alpha_{sis}=0,15$

$\gamma_n=22,07 \text{ kN/m}^3$

$c= 26 \text{ kN/m}^2$

$\Phi=27^\circ$

için güvenlik faktörü değerleri tablo 3.13’da verilmiştir.

Tablo 3.13 Farklı şev açısı ve yüksekliğine ilişkin güvenlik faktörü değerleri ( $\alpha_{sis}=0,15$  için).

$\alpha_{şev}$	Hşev=10 m	Hşev=12 m	Hşev=15 m	Hşev=20 m
31°				$F_S=1,190$
34°			$F_S=1,211$	$F_S=1,134$
35°		$F_S=1,234$	$F_S=1,110$	
37°		$F_S=1,214$	$F_S=0,981$	
39°	$F_S=1,203$			
45°	$F_S=1,151$	$F_S=0,868$	$F_S=0,798$	$F_S=0,686$
55°	$F_S=0,894$	$F_S=0,772$	$F_S=0,624$	$F_S=0,605$
65°	$F_S=0,697$	$F_S=0,614$	$F_S=0,610$	$F_S=0,591$
80°	$F_S=0,590$	$F_S=0,590$	$F_S=0,590$	$F_S=0,589$

$$\alpha_{\text{sis}} = 0,20$$

$$\gamma_n = 22,07 \text{ kN/m}^3$$

$$c = 26 \text{ kN/m}^2$$

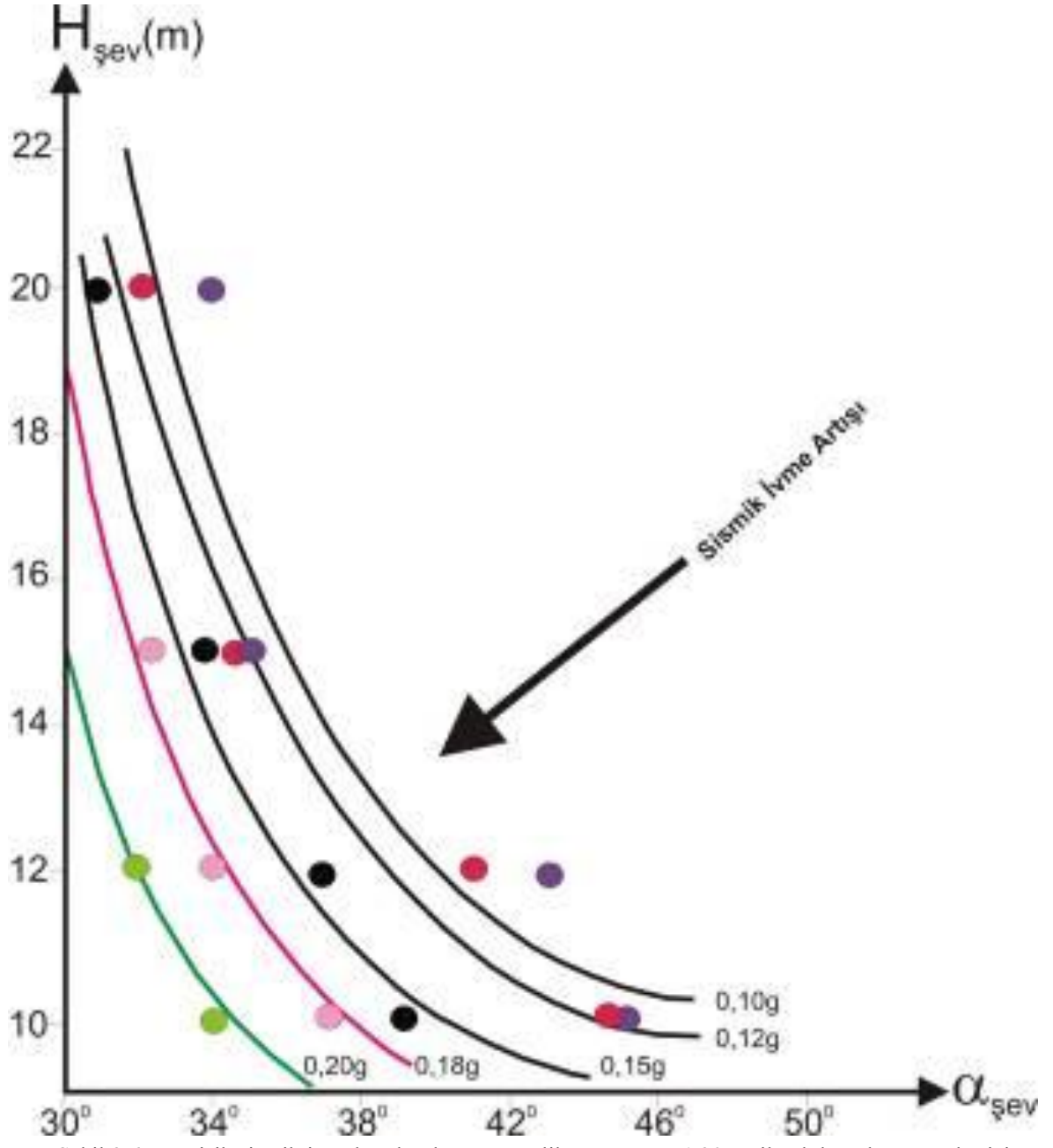
$$\Phi = 27^\circ$$

için güvenlik faktörü değerleri tablo 3.14'da verilmiştir

Tablo 3.14 Farklı şev açısı ve yüksekliğine ilişkin güvenlik faktörü değerleri ( $\alpha_{\text{sis}}=0,20$  için).

$\alpha_{\text{şev}}$	Hşev=10 m	Hşev=12 m	Hşev=15 m	Hşev=20 m
30°				$F_S=1,157$
31°				$F_S=1,144$
32°		$F_S=1,206$	$F_S=1,179$	
33°		$F_S=1,192$	$F_S=1,161$	
34°	$F_S=1,205$		$F_S=1,138$	$F_S=1,065$
35°	$F_S=1,193$	$F_S=1,160$	$F_S=1,031$	
37°	$F_S=1,169$	$F_S=1,143$	$F_S=0,923$	
39°	$F_S=1,137$			
45°	$F_S=1,094$	$F_S=0,822$	$F_S=0,758$	$F_S=0,653$
55°	$F_S=0,854$	$F_S=0,738$	$F_S=0,598$	$F_S=0,594$
65°	$F_S=0,665$	$F_S=0,595$	$F_S=0,595$	$F_S=0,589$
80°	$F_S=0,589$	$F_S=0,589$	$F_S=0,588$	$F_S=0,533$

Değişik sismik ivmeler altında ve güvenlik sayısı  $F_S = 1.20$  seçilerek hazırlanan şeyller için  $\alpha_{\text{şev}} - H_{\text{şev}}$  ilişkileri Şekil 3.61'de gösterilmektedir.



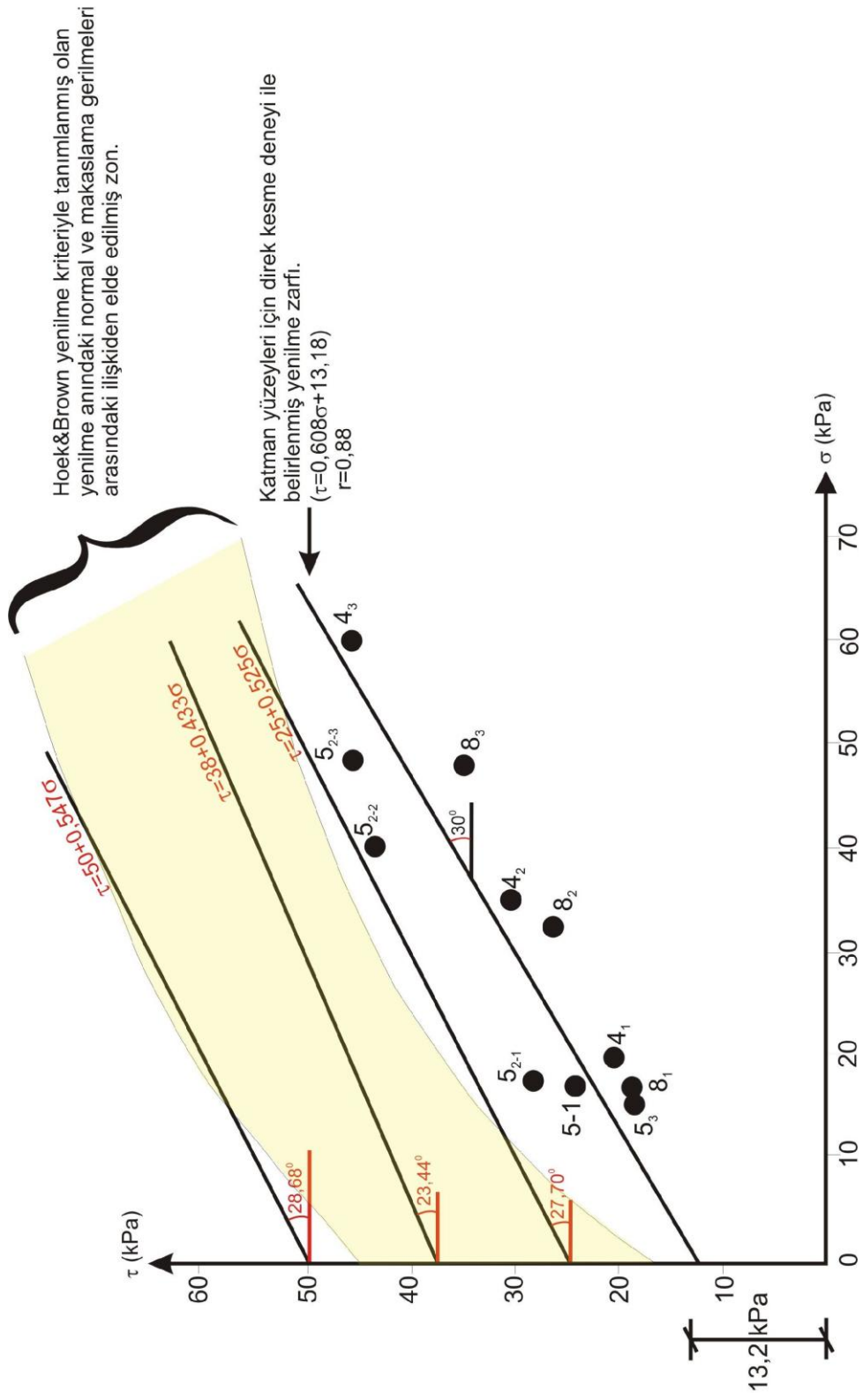
Şekil 3.61 Değişik sismik ivmeler altında ve güvenlik sayısı  $F_s = 1.20$  seçilerek hazırlanan şevler için  $\alpha_{şev} - H_{şev}$  ilişkileri

### 3.5.5 Kohezyon Değerinin Stabilite Üzerine Etkisinin İncelenmesi

Kaya kütlesine ait kohezyon değerleri  $H_{\text{sev}}=10$  m için 25 kPa, 12 m için 28 kPa, 15 m için 32 kPa ve 20 m 38 kPa elde edilmiştir. Kaya kütlesinde yenilme anında değişen normal gerilmeler altında elde edilen kohezyon değerleri 25-38 kPa arasında RocData bilgisayar programı kullanılarak elde edilmiştir.

Şekil 3.62’de hem şeyl tabaka düzlemleri hem de kaya kütle dayanımı için yenilme anındaki normal ve kesme gerilmeleri arasındaki ilişki bir arada sunulmuştur. Yukarıdaki bilgilerin ışığında, stabiliteyi en çok etkileyen faktör olan kohezyon değeri 18 kPa, 26 kPa, 45 kPa ve 60 kPa ( $\text{kN/m}^2$ ) alınarak güvenlik faktörü değişimleri incelenmiştir. Bu incelemede şey yükseklikleri  $H_{\text{sev}}=10$  m,  $H_{\text{sev}}=12$  m,  $H_{\text{sev}}=15$  m ve  $H_{\text{sev}}=20$  m alınarak incelemeler yapılmıştır.

Kohezyon değişiminin stabilite ve güvenlik faktörü üzerine etkisini incelemek amacıyla da farklı kohezyon değerleri kullanılarak güvenlik sayıları ( $F_s$ ) elde edilmiş ve sonuçları Tablo 3.15, 3.16, 3.17 ve 3.18’de sunulmuştur.



Şekil 3.62 Hem şeyl tabaka düzlemleri hem de kaya kütle dayanımı için, yenilme anındaki normal ve maksilama gerilmeleri arasındaki ilişki

Tablo 3.15  $c=18 \text{ kN/m}^2$  değeri için şev açısı, max. yer ivme değeri ve şev yüksekliklerine ilişkin güvenlik faktörü değişimi.

Şev Açısı $\alpha_{şev} (^{\circ})$	Kohezyon $c \text{ (kN/m}^2)$	Max. Yer İvmesi $\alpha_{sis}$	Şev Yüksekliği			Max. Yer İvmesi $\alpha_{sis}$	Şev Yüksekliği			Kohezyon $c \text{ (kN/m}^2)$	Şev Açısı $\alpha_{şev} (^{\circ})$	Kohezyon $c \text{ (kN/m}^2)$	Şev Yüksekliği							
			$(m)=10$	$(m)=12$	$(m)=15$		$(m)=20$	$(m)=10$	$(m)=12$				$(m)=15$	$(m)=20$	$(m)=10$	$(m)=12$	$(m)=15$	$(m)=20$		
34	18	0,10	1,285	1,268	1,226	1,178	18	55	18	0,10	0,879	0,778	0,649	18	55	18	0,10	0,879	0,778	0,649
		0,12	1,246	1,232	1,202	1,146				0,12	0,862	0,763	0,637				0,12	0,862	0,763	0,637
		0,15	1,204	1,180	1,155	1,102				0,15	0,837	0,741	0,619				0,15	0,837	0,741	0,619
		0,18	1,160	1,144	1,111	1,06				0,18	0,816	0,723	0,606				0,18	0,816	0,723	0,606
		0,20	1,134	1,107	1,083	1,035				0,20	0,802	0,712	0,596				0,20	0,802	0,712	0,596
35	18	0,10	1,270	1,254	1,185	1,056	18	65	18	0,10	0,688	0,618	0,600	18	65	18	0,10	0,688	0,618	0,600
		0,12	1,228	1,218	1,145	1,144				0,12	0,675	0,608	0,597				0,12	0,675	0,608	0,597
		0,15	1,184	1,167	1,089	1,100				0,15	0,657	0,594	0,593				0,15	0,657	0,594	0,593
		0,18	1,141	1,126	1,077	1,041				0,18	0,640	0,593	0,592				0,18	0,640	0,593	0,592
		0,20	1,118	1,096	1,012	1,005				0,20	0,630	0,592	0,590				0,20	0,630	0,592	0,590
37	18	0,10	1,238	1,225	0,996	0,995	18	80	18	0,10	0,596	0,595	0,594	18	80	18	0,10	0,596	0,595	0,594
		0,12	1,203	1,193	0,971	0,88				0,12	0,595	0,590	0,589				0,12	0,595	0,590	0,589
		0,15	1,156	1,148	0,936	0,85				0,15	0,589	0,587	0,573				0,15	0,589	0,587	0,573
		0,18	1,116	1,108	0,902	0,821				0,18	0,587	0,545	0,543				0,18	0,587	0,545	0,543
		0,20	1,088	1,081	0,881	0,802				0,20	0,525	0,519	0,509				0,20	0,525	0,519	0,509
45	18	0,10	1,148	0,863	0,855	0,721	18	c=18 kN/m <sup>2</sup>	18	0,10	0,863	0,855	0,721	18	c=18 kN/m <sup>2</sup>	18	0,10	0,863	0,855	0,721
		0,12	1,123	0,843	0,836	0,706				0,12	0,843	0,836	0,706				0,12	0,843	0,836	0,706
		0,15	1,086	0,815	0,808	0,685				0,15	0,815	0,808	0,685				0,15	0,815	0,808	0,685
		0,18	1,051	0,789	0,752	0,665				0,18	0,789	0,752	0,665				0,18	0,789	0,752	0,665
		0,20	1,03	0,773	0,766	0,652				0,20	0,773	0,766	0,652				0,20	0,773	0,766	0,652



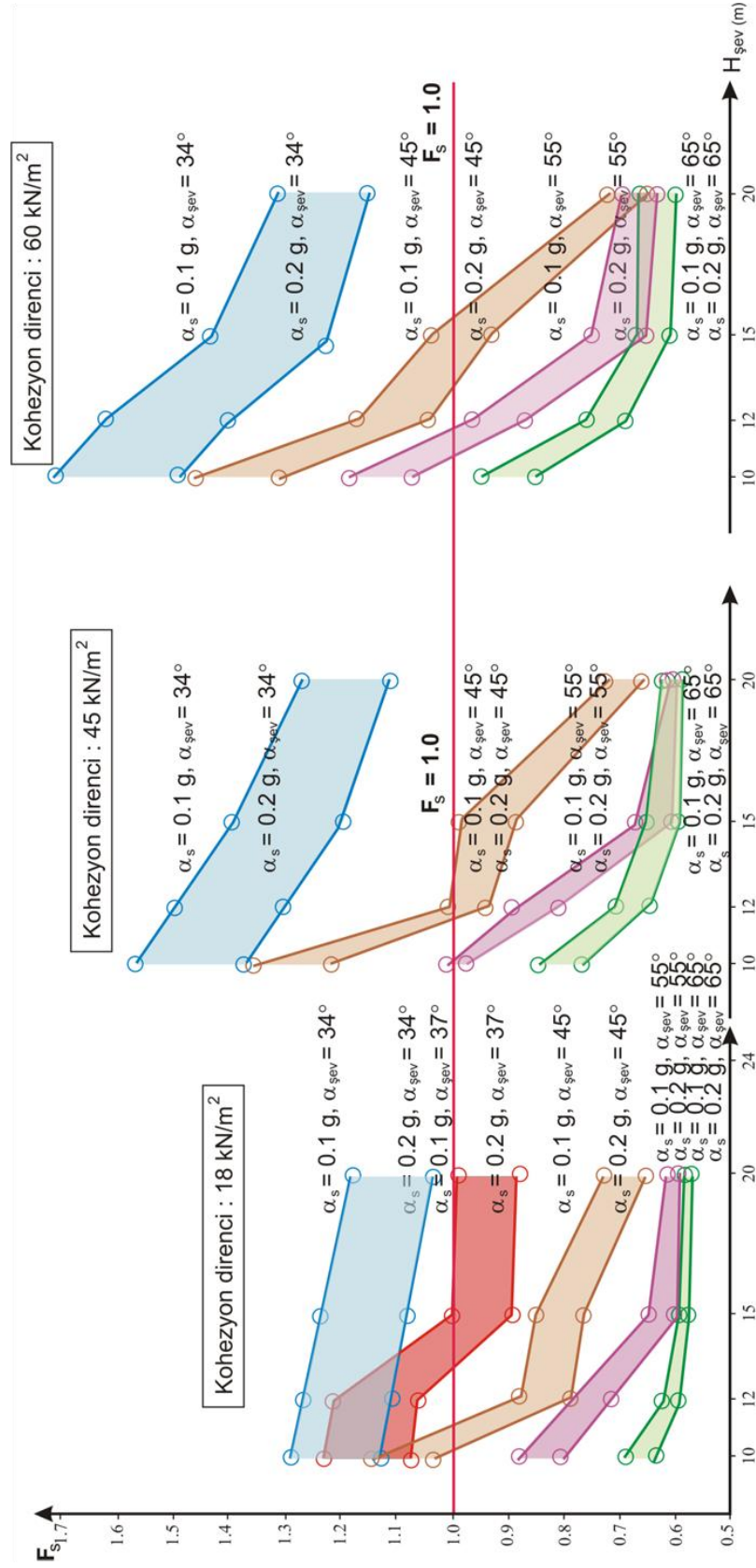
Tablo 3.17  $c=45$  kN/m<sup>2</sup> değeri için şev açısı, max. yer ivme değeri ve şev yüksekliklerine ilişkin güvenlik faktörü değişimi.

Şev Açısı $\alpha_{şev}$ (°)	Kohezyon $c$ (kN/m <sup>2</sup> )	Max. Yer İvmesi $\alpha_{sis}$	Şev			Şev Açısı $\alpha_{şev}$ (°)	Kohezyon $c$ (kN/m <sup>2</sup> )	Max. Yer İvmesi $\alpha_{sis}$	Şev			Şev Açısı $\alpha_{şev}$ (°)	Kohezyon $c$ (kN/m <sup>2</sup> )	Max. Yer İvmesi $\alpha_{sis}$	Şev				
			Yüksekliği Hşev (m)=10	Yüksekliği Hşev (m)=12	Yüksekliği Hşev (m)=15				Yüksekliği Hşev (m)=20	Yüksekliği Hşev (m)=10	Yüksekliği Hşev (m)=12				Yüksekliği Hşev (m)=15	Yüksekliği Hşev (m)=20	Yüksekliği Hşev (m)=10	Yüksekliği Hşev (m)=12	Yüksekliği Hşev (m)=15
34	45	0,10	1,569	1,495	1,394	1,267	45	0,10	1,075	0,893	0,666	0,656	45	0,10	1,075	0,893	0,666	0,656	
		0,12	1,52	1,451	1,355	1,234		0,12	1,059	0,874	0,652	0,654		0,12	1,059	0,874	0,652	0,654	
		0,15	1,471	1,387	1,288	1,187		0,15	1,02	0,848	0,633	0,614		0,15	1,02	0,848	0,633	0,614	
		0,18	1,414	1,347	1,228	1,143		0,18	0,991	0,823	0,614	0,62		0,18	0,991	0,823	0,614	0,62	
		0,20	1,369	1,300	1,192	1,117		0,20	0,973	0,807	0,603	0,601		0,20	0,973	0,807	0,603	0,601	
35	45	0,10	1,546	1,473	1,243	1,190	45	0,10	0,845	0,705	0,654	0,622	45	0,10	0,845	0,705	0,654	0,622	
		0,12	1,489	1,431	1,202	1,148		0,12	0,827	0,691	0,641	0,61		0,12	0,827	0,691	0,641	0,61	
		0,15	1,437	1,368	1,146	1,091		0,15	0,801	0,671	0,625	0,594		0,15	0,801	0,671	0,625	0,594	
		0,18	1,335	1,317	1,097	1,042		0,18	0,777	0,653	0,610	0,594		0,18	0,777	0,653	0,610	0,594	
		0,20	1,296	1,285	1,065	1,012		0,20	0,761	0,641	0,599	0,590		0,20	0,761	0,641	0,599	0,590	
37	45	0,10	1,491	1,43	1,145	1,035	45	0,10	0,738	0,636	0,622	0,596	45	0,10	0,738	0,636	0,622	0,596	
		0,12	1,448	1,392	1,115	0,882		0,12	0,723	0,624	0,608	0,592		0,12	0,723	0,624	0,608	0,592	
		0,15	1,388	1,34	1,073	0,851		0,15	0,702	0,607	0,592	0,591		0,15	0,702	0,607	0,592	0,591	
		0,18	1,317	1,292	1,034	0,822		0,18	0,674	0,596	0,591	0,590		0,18	0,674	0,596	0,591	0,590	
		0,20	1,275	1,262	1,01	0,805		0,20	0,655	0,595	0,589	0,588		0,20	0,655	0,595	0,589	0,588	
45	45	0,10	1,354	1,056	0,988	0,723	<b>e=45 kN/m<sup>2</sup></b>							45	0,10	1,354	1,056	0,988	0,723
		0,12	1,323	1,03	0,966	0,708	0,12	0,935	0,686	0,666	0,653	0,12	0,935		0,686	0,666	0,653		
		0,15	1,279	0,994	0,906	0,666	0,15	0,906	0,666	0,653	0,15	0,906	0,666		0,653	0,15	0,906	0,666	0,653
		0,18	1,239	0,96	0,888	0,653	0,18	0,888	0,653	0,653	0,18	0,888	0,653		0,653	0,18	0,888	0,653	0,653
		0,20	1,213	0,939	0,888	0,653	0,20	0,888	0,653	0,653	0,20	0,888	0,653		0,653	0,20	0,888	0,653	0,653



Tablo 3.18 c=60 kN/m<sup>2</sup> değeri için Şev açısı, max. yer ivme değeri ve Şev yüksekliklerine ilişkin güvenlik faktörü değişimi.

Şev Açısı $\alpha_{\text{Şev}}(^{\circ})$	Kohezyon c (kN/m <sup>2</sup> )	Max. Yer İvmesi $\alpha_{\text{sis}}$	Şev Yüksekliği			Şev Açısı $\alpha_{\text{Şev}}(^{\circ})$	Kohezyon c (kN/m <sup>2</sup> )	Max. Yer İvmesi $\alpha_{\text{sis}}$	Şev Yüksekliği					
			(m)=10	(m)=12	(m)=15				(m)=20	(m)=10	(m)=12	(m)=15	(m)=20	
34	60	0,10	1,715	1,62	1,433	55	60	0,10	1,184	0,964	0,748	0,695		
		0,12	1,659	1,573	1,394			1,159	0,943	0,725	0,681			
		0,15	1,559	1,502	1,325			1,123	0,913	0,694			0,662	
		0,18	1,484	1,459	1,264			1,09	0,885	0,666				0,644
0,20	1,432	1,406	1,227	1,068	0,867	0,649	0,633							
35	60	0,10	1,698	1,593	1,275	65		60	0,10	0,943	0,759	0,666		
		0,12	1,634	1,547	1,233				0,923	0,743	0,653	0,64		
		0,15	1,45	1,446	1,176				0,893	0,721	0,635		0,622	
		0,18	1,394	1,326	1,125		0,865		0,7	0,617	0,606			
0,20	1,387	1,305	1,096	0,847	0,687	0,606	0,595							
37	60	0,10	1,631	1,541	1,230	80		60	0,10	0,825		0,685		0,628
		0,12	1,593	1,501	1,198				0,8	0,671		0,615	0,593	
		0,15	1,445	1,444	1,152				0,766	0,651	0,597	0,593		
		0,18	1,371	1,321	1,109		0,734		0,632	0,593	0,592			
0,20	1,327	1,271	1,082	0,713	0,620	0,591	0,589							
45	60	0,10	1,459	1,168	1,037	c=60 kN/m <sup>2</sup>		60	0,10	0,825			0,685	0,628
		0,12	1,426	1,139	1,013				0,8	0,671		0,615	0,593	
		0,15	1,378	1,099	0,981				0,766	0,651	0,597	0,593		
		0,18	1,334	1,061	0,950		0,734		0,632	0,593	0,592			
0,20	1,306	1,038	0,930	0,713	0,620	0,591	0,589							



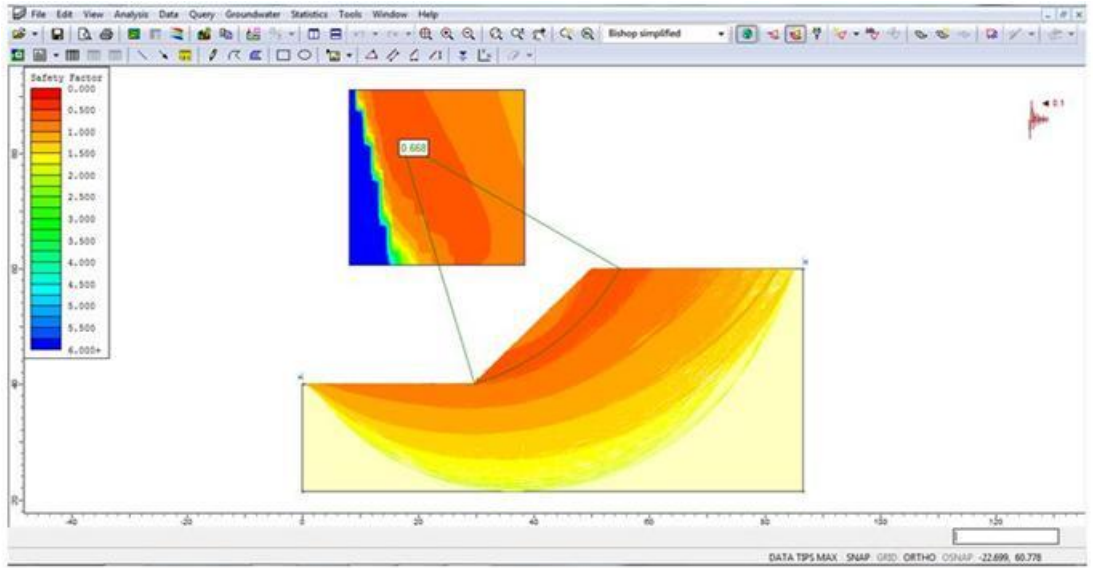
Şekil 3.63 Farklı kohezyon, şev açısı ve sismik ivme değerleri dikkate alınarak şev yüksekliği-güvenlik katsayısı ilişkileri.

## BÖLÜM DÖRT

### OLDUKÇA AYRIŞMIŞ ŞEYLLERDE DAİRESEL KAYMA ANALİZİ

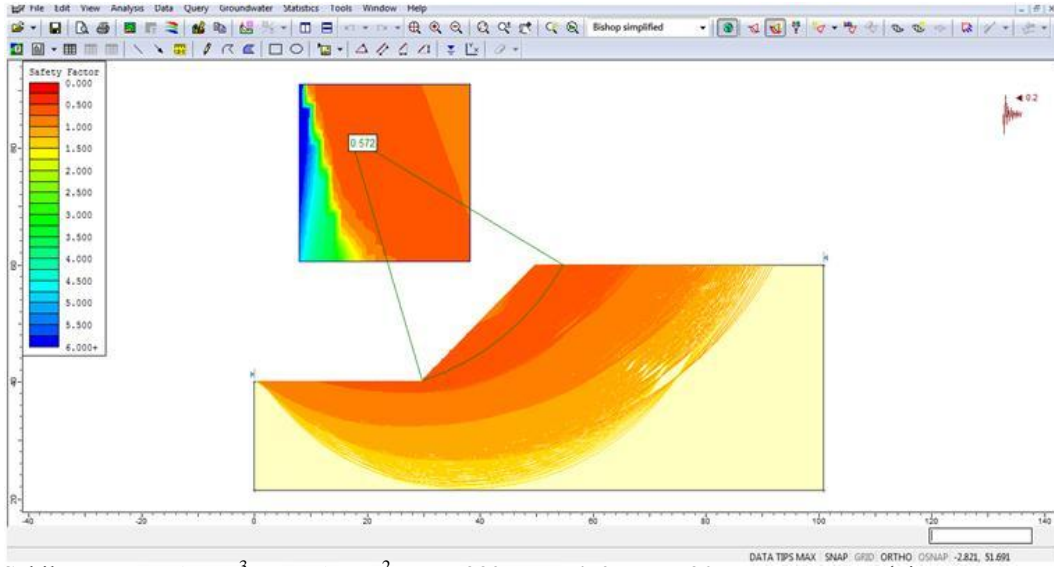
Şev modeli için oldukça ayrıışmış şeylerde Slide v. 6.0 programı yardımıyla dairesel kayma analizleri yapılmıştır. Söz konusu analizlerde 10, 12, 15 ve 20 m şev yükseklikleri için  $\gamma_n= 21 \text{ kN/m}^3$ ,  $c=10 \text{ kN/m}^2$  ve  $\Phi=23^\circ$  parametreleri kullanılarak 0,10 g ve 0,20 g sismik katsayı değerlerinde şevlerdeki şev açısı ve şev yüksekliğine ilişkin değişimler incelenmiştir.

Makaslama gerilmelerine bağlı deformasyonun şev tabanında maksimum olduğu, yapılan dairesel kayma analizlerindeki renk skalasında gözlenmektedir. Söz konusu analizlere ilişkin örnekler ( $\gamma_n= 21 \text{ kN/m}^3$ ,  $c=10 \text{ kN/m}^2$  ve  $\Phi=23^\circ$ ,  $\alpha_{şev}= 45^\circ$ ,  $H_{şev}= 20 \text{ m}$  için  $\alpha_{sis}=0,1$  ve 0,2 g değerlerinde yapılan analizler) Şekil 4.1 ve 4.2’de verilmiştir.

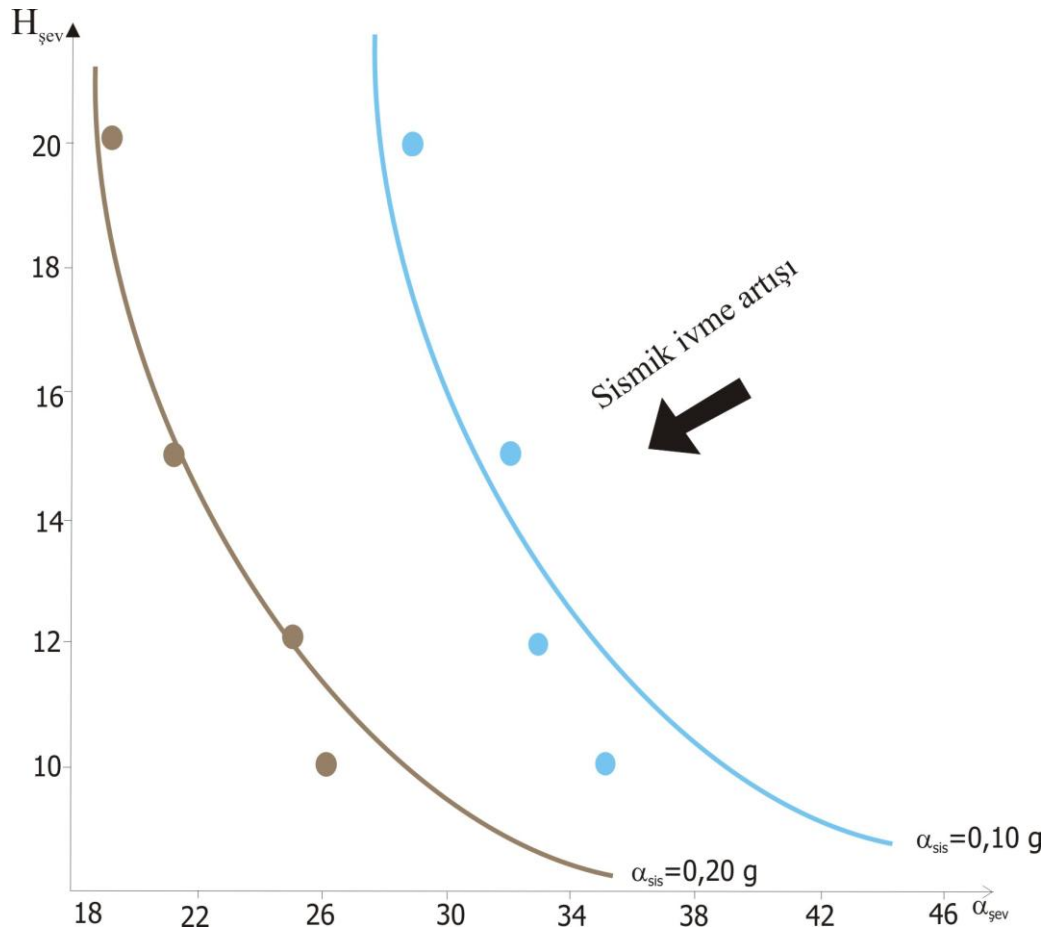


Şekil 4.1  $\gamma_n= 21 \text{ kN/m}^3$ ,  $c=10 \text{ kN/m}^2$  ve  $\Phi=23^\circ$ ,  $\alpha_{şev}= 45^\circ$ ,  $H_{şev}= 20 \text{ m}$  ve  $\alpha_{sis}=0,1$  g için yapılan dairesel kayma analizi.

Değişik sismik ivmeler altında  $\alpha_{şev} - H_{şev}$  ilişkileri ve bunlara ilişkin güvenlik faktörü değişimi Tablo 4.1 ve Şekil 4.3’de verilmiştir.



Şekil 4.2  $\gamma_n = 21 \text{ kN/m}^3$ ,  $c = 10 \text{ kN/m}^2$  ve  $\Phi = 23^\circ$ ,  $\alpha_{\text{şev}} = 45^\circ$ ,  $H_{\text{şev}} = 20 \text{ m}$  ve  $\alpha_{\text{sis}} = 0,2 \text{ g}$  için yapılan dairesel kayma analizi.



Şekil 4.3 Değişik sismik ivmeler altında  $\alpha_{\text{şev}} - H_{\text{şev}}$  ilişkileri.

Tablo 4.1 Değişik sismik ivmeler altında  $\alpha_{\text{şev}}$  ve  $H_{\text{şev}}$  ilişkilerine ilişkin güvenlik faktörü değişimi

$\alpha_{\text{şev}}$	$\alpha_{\text{sis}}=0,1 \text{ g}$				$\alpha_{\text{sis}}=0,2 \text{ g}$			
	$H_{\text{şev}}=10 \text{ m}$	$H_{\text{şev}}=12 \text{ m}$	$H_{\text{şev}}=15 \text{ m}$	$H_{\text{şev}}=20 \text{ m}$	$H_{\text{şev}}=10 \text{ m}$	$H_{\text{şev}}=12 \text{ m}$	$H_{\text{şev}}=15 \text{ m}$	$H_{\text{şev}}=20 \text{ m}$
19°								1.000
21°							1.000	
25°								
26°						1.014		0.856
29°				1.001	1.020			
32°			1.035					
33°		1.026						
35°	1.031	0.970						
37°			0.847					
45°	0.853	0.792	0.736	0.668	0.742	0.685	0.633	0.572
50°	0.780	0.717	0.683	0.601	0.680	0.634	0.579	0.516
55°	0.724	0.661	0.611	0.544	0.632	0.586	0.533	0.480
60°	0.662	0.618	0.553	0.504	0.584	0.540	0.486	0.443
65°	0.616	0.558	0.511	0.458	0.541	0.499	0.454	0.409

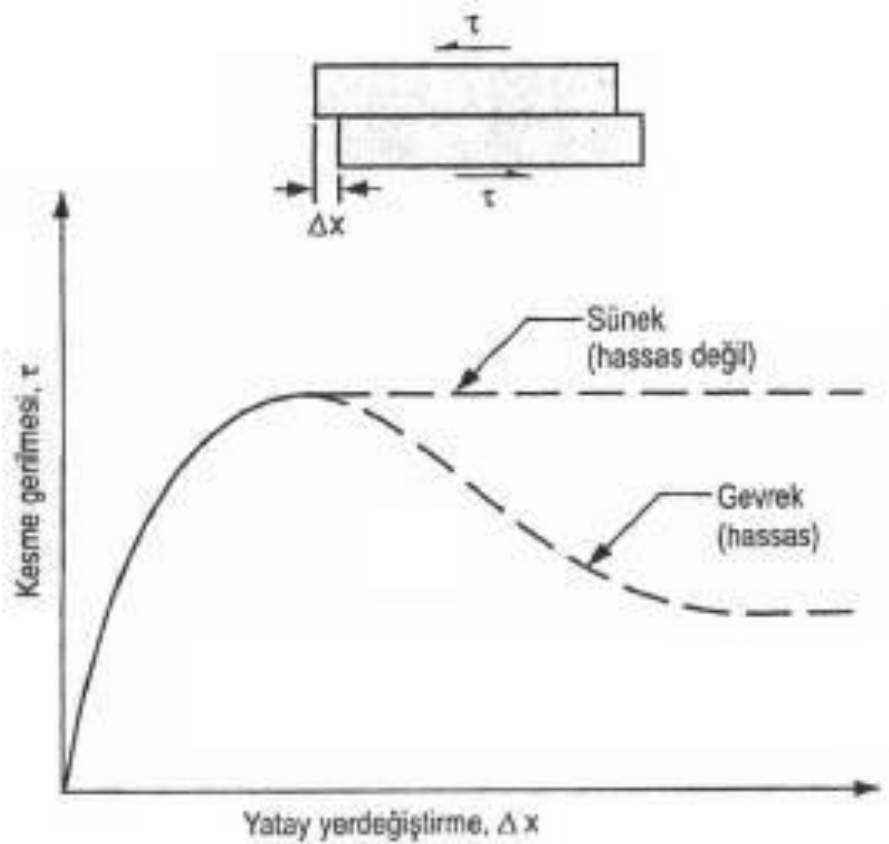
## BÖLÜM BEŞ

### TARTIŞMA VE SONUÇLAR

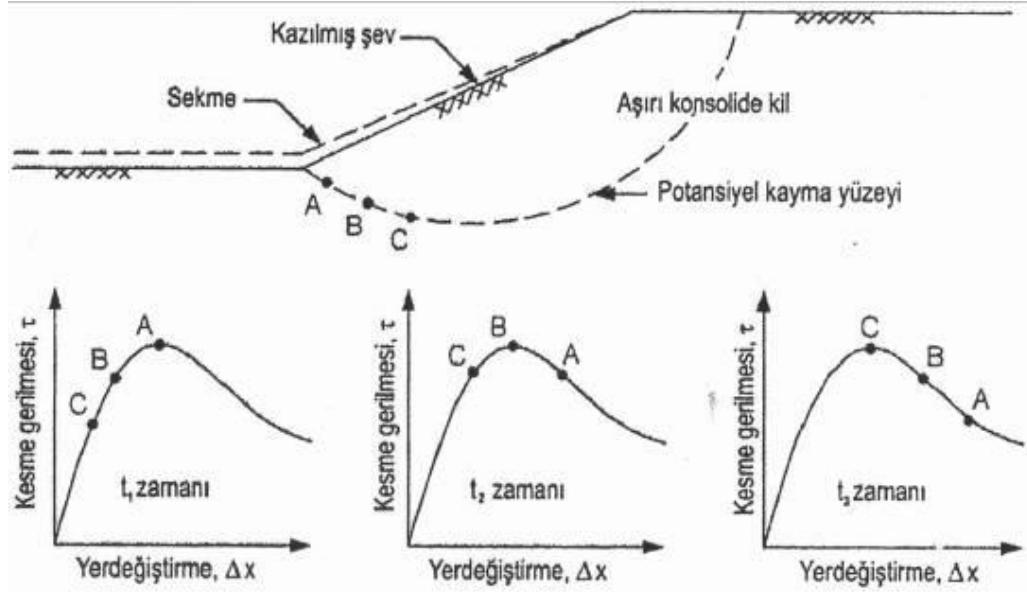
Şeyllerde gözlenen şev yenilmelerinin tipleri farklılıklar sunar. Ayrışmış ve suya doygun koşullarda dairesel ve/veya başlangıçta dairesel sonradan, tabaka kontrollü olarak birleşik yüzeyli (combine failure), sadece kil içeriği yüksek tabaka yüzeyleri boyunca düzlemsel kaymalar şeklinde yenilmeler gözlenir. Buna ek olarak, fay zonları boyunca gelişen yüksek açılı şevlerde süreksizliklerin kesişmesinden oluşan arakesitler boyunca kama tipi yenilmelerin sismik aktiviteye bağlı olarak meydana geldikleri de önceki araştırmacılar tarafından belirtilmiştir (Kıncal & Koca, 2009). Bu kapsamda, gerçekleştirilen şev stabilitesi çalışmaları; başlangıçta ayrışmış şeyl kütlelerinde yapılmış ve dairesel kayma yüzeyli yenilmeler elde edilmiş, sonradan kil içeriği yüksek laminalı tabaka yüzeyleri boyunca gelişen düzlemsel kaymaların stabilite analizleri yapılmıştır. Bu tür kaymalar önceden açılmış yol şevlerinde sonradan sık olarak meydana gelebilmektedir.

Süreksizlik yüzeylerinin (şeyllerde tabaka yüzeyleri) makaslama dayanımını belirlemek üzere 10 örnek üzerinde laboratuarda kesme deneyleri yapılmıştır. Kesme deneylerinin sonuçları incelendiğinde; süreksizlik yüzeyi kesme direnci değerlerinin normal gerilme değerlerinden genelde daha yüksek (7 örnekte), bazı örneklerde normal gerilme değerlerine çok yakın olduğu görülmüştür. 4<sub>1</sub>, 4<sub>2</sub>, 8<sub>1</sub>, 5<sub>2-2</sub>, 5<sub>2-3</sub>, 5<sub>1</sub> ve 5<sub>3</sub> nolu örnekler üzerinde yapılan makaslama deneylerinde, kesme direnci değerleri normal gerilme değerlerinden daha yüksek olarak elde edilmiştir. 5<sub>2-3</sub> nolu örnekte ise normal ve makaslama gerilmesi değerleri birbirine eşit bulunmuştur (47.52 kN/m<sup>2</sup>). Sadece 4<sub>2</sub> ve 8<sub>2</sub>-nolu örneklere ait deney sonuçları, diğer deneylere ait sonuçlardan farklılık göstermiştir. Sonuç olarak, çoğunlukla deneylerde, düşey gerilmelerden büyük yüksek yatay gerilmeler elde edilmiştir. Bu tür deney sonuçları, sert, fisürlü, aşırı konsolide killerde olduğu gibi şeyllerde de kazılan şevler durumunda kuvvetli bir olasılıkla “progresif (progressive failure)” yenilme türü bir kütle hareketinin gerçekleşeceğine işaret eder.

Zemin dayanımı, birim deformasyonun geniş bir aralığında mobilize olur (gevrek davranış). Şeyl gibi malzemelerde gevrek gerilme - birim deformasyon özellikleri söz konusudur. Çoğu zaman düşey gerilmeden büyük olan yüksek yatay gerilmeler içerirler. Şeyl içerisinde bir kazı yapıldığında, kazılan şev alttaki şekilde görüldüğü gibi “yatay sekme” gösterir. Duncan ve Dunlop (1969); (1970) tarafından yapılan çalışmalarda şev topuğunda kesme gerilmelerinin yüksek değerlerde olduğu belirtilmiştir. Dairesel bir yenilmede, yenilmenin şev topuğundan başlayarak şev tepesine doğru ilerlemesi söz konusudur (Şekil 5.2).



Şekil 5.1 Kesme kutusu deneyi için kesme gerilmesi-kesme yerdeğiştirmesi eğrileri.



Şekil 5.2 Aşırı konsolide kilde ve şeyllerde karşılaşılan bir şevin progresif yenilme mekanizması.

Şev kazısından hemen sonra ( $t_1$ -anında);

$\tau_A < \tau_B, \tau_C$  'dir.

Zaman ilerledikçe şev, kazıdan kaynaklanan boşalmaya gecikmeli tepkiden ve ayrıca gerilme azalmasını takiben kilin su içeriğinin artmasından ileri gelen olası şişmeden dolayı yarma içine doğru daha fazla sekme gösterir. Bu nedenle, daha ileri bir zamanda ( $t_2$ ) A, B ve C'deki yer değiştirmelerin hepsi de şekilde görüldüğü gibi daha büyük olur. A-noktasındaki kesme gerilmesi bu noktanın pikin ötesine geçmesiyle azalır ve  $\tau_B$  ile  $\tau_C$  artar. Daha sonra  $t_3$ -anında, B-noktasındaki yer değiştirme, kesme gerilmesi pikin altına düşecek kadar büyüktür. Bu süreç yoluyla, pik kesme dayanımı kayma yüzeyi boyunca tüm noktalarda hiçbir zaman aynı anda mobilize olmadan, kayma düzlemi çevresinde yenilme kademeli bir şekilde yayılır.

Progresif yenilme gevrek gerilme-birim deformasyon gösteren zeminlerde ve şeyllerde gelişebileceği için, bu zeminlerdeki sınır denge analizlerinde pik dayanımlar kullanılmamalıdır. Şeyllerde kayma çiziklerinin geliştiği durumlardaki rezidüel dayanımların kullanılması uygun olacaktır.

Bu çalışmada İzmir ve yakın yöresinde geniş bir dağılım gösteren şeyllerde açılan kazı şevlerinin stabilitesi incelenmiş ve şeyllerin mühendislik davranışlarını



belirleyebilmek amacıyla laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda inceleme alanına ilişkin aşağıdaki bulgulara erişilmiştir.

1. Şeyller içerisindeki kil ve silt boyu mineraller kayacın %60'ını oluşturmaktadır. Mikro kırıklar 0,1 – 0,4 mm kalınlıkta olup, genellikle ikincil kuvars mineralleri tarafından doldurulmuştur. Kuvars mineralleri 0.01 – 0.08 mm büyüklüğe sahiptir. Petrografik araştırmalar ana mineral kuvarsın siltli kesimlerde %30 – %50 oranında mevcut olduğunu, diğer minerallerin ise; mika, kil (%25 – %30) ve opak mineraller olduğunu göstermiştir.

2. Laboratuvarda şeyllerin; birim hacim ağırlık tayini, ağırlıkça ve hacimce su emme deneyi, görünür gözeneklilik (porozite) ve boşluk oranı tayini ile suda dağılmaya karşı duraylılık (slake durability) indeksi deneyleri yapılarak seçilmiş bazı fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Farklı lokasyonlar üzerinden alınan numunelerin doğal birim hacim ağırlık değerlerinin  $\gamma_{\text{doğal}} (\text{gr} / \text{cm}^3) = 2.42 \pm 0.157$ , suya doymun birim hacim ağırlık değerlerinin ise  $\gamma_{\text{doymun}} (\text{gr} / \text{cm}^3) = 2.486 \pm 0.138$  arasında değiştiği belirlenmiştir. Görünür porozite değerleri ise  $8.15 \pm 1.60$  olarak belirlenmiştir. Şeyller “**orta derecede poroziteye**” sahip kayaçlar olarak sınıflandırılmıştır (IAEG Anon, 1979a'ya göre). Şeyllerin tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri baskın olarak 20–30 MPa arasında değiştiği anlaşılmıştır. Ancak, az ayrılmış, kuvars oranı  $\%35 < \%Q < \%45$  olan siltli şeyllerde bu değer 55,7 MPa değerine kadar çıkabilmektedir. Tek eksenli sıkışma dayanımı dikkate alınarak (20 - 30 MPa), Brown (1981) tarafından önerilen sınıflamaya göre şeyller R<sub>2</sub>-derecesinde “**zayıf kaya**” olarak tanımlanmıştır.

3. Suda dağılmaya karşı duraylılık (ıslak kararlılık) indeksi deneyleri iki döngülü olarak yapılmıştır. Bu iki döngü ardından elde edilen sonuçların Gamble (1971)'e göre mühendislik sınıflandırması yapıldığında; M-2 şeyllerinin “**Çok yüksek kararlılık**”, Nar-1 örneğinin “**yüksek kararlılık**”, Nar-2, Bal-1 ve Bal-2 örneklerinin ise “**Orta Yüksek Kararlılık**” sınıfına girdikleri belirlenmiştir. İki çevrim arasında en çok fark Nar-2 ve Bal-2 örneklerinde gözlenmiştir. Diğer örneklerde kayda değer değişimler gözlenmemiştir. Bu durumda, suda dağılma

eğilimi en çok Nar-2 ve Bal-2 örneklerinde vardır. Mikro kırıkların yoğunluğu ve açıklıklarının yüksek oluşu suda dağılmaya karşı direnci azaltabilir.

4. Bu çalışmada, şeyllerin jeolojik dayanım indeksi (GSI) değeri 15-30 arasında, en az GSI=15 olarak belirlenmiştir. Marinos&Hoek (2001)'e göre şeyller E-kategorisinde (**kötü kalite-zayıf kaya**) yer aldığı belirlenmiştir. RocData bilgisayar programına şev yüksekliği 10 m, 12 m, 15 m ve 20 m, ortalama kaya birim hacim ağırlığı da 22 kN/m<sup>3</sup> ve GSI= 15 olarak girilmiştir. GSI=15,  $m_i=7$  ve  $\sigma_{ci} = 30$  MPa ile birlikte, Hoek&Brown yenilme ölçütü dikkate alınarak, kaya kütlelerinin ortalama kohezyonu ve içsel sürtünme açısı değerleri sırasıyla;

1)  $H_{şev}=10$  m için;  $c'=0.025$  MPa,  $\phi'=27.71^\circ$

2)  $H_{şev}=12$  m için;  $c'=0.028$  MPa,  $\phi'=26.55^\circ$

3)  $H_{şev}=15$  m için;  $c'=0.032$  MPa,  $\phi'=25.17^\circ$

4)  $H_{şev}=20$  m için;  $c'=0.038$  MPa,  $\phi'=23.44^\circ$

Kaya kütle parametreleri ise; Çekme direnci = -0.002 MPa,  $\sigma_{cm}=0,030$  MPa

Kütle dayanımı = 0.657 MPa,  $E_m = 724,75$  MPa olarak bulgulanmıştır.

GSI=15 değeri için  $H_{şev}=10$  m,  $H_{şev}=12$  m,  $H_{şev}=15$  m ve  $H_{şev}=20$  m için eşdeğer Mohr-Coulomb parametreleri bilgisayar programı kullanılarak hesaplanmıştır.

$H_{şev}=10$ m için;  $\tau=0.033+0.65\sigma$  ( $c'=0.033$  MPa,  $\phi=33^\circ$ ),

$H_{şev}=12$  m için;  $\tau=0.037+0.625\sigma$  ( $c'=0.037$  MPa,  $\phi=32^\circ$ )

$H_{şev}=15$  m için;  $\tau=0.042+0.589\sigma$  ( $c'=0.042$  MPa,  $\phi=30.5^\circ$ )

$H_{şev}=20$  m için;  $\tau=0.05+0.547\sigma$  ( $c'=0.05$  MPa,  $\phi=28.68^\circ$ )

GSI=15 ve değişik şev yüksekliğine sahip yamaçlarda ( $10 \leq H_{şev} \leq 20$  m) kütleyle ait elde edilmiş kohezyon değerleri yaklaşık olarak aynı mertebelere sahiptir (0.33-0,5 kg/cm<sup>2</sup>). Elde edilen tüm kohezyon değerleri  $\ll 1$  MPa mertebesindedir. Diğer taraftan, değişik normal gerilme değerlerine karşı kesme gerilmesi değerleri dikkate alındığında; tabakalanmaya bağlı düzlemsel kaymaların çok düşük kesme gerilmeleri altında bile gerçekleşeceği sonucuna varılmıştır.

$\sigma_n = \sigma_{ci}$ ,  $m_i$  ve GSI değerleri dikkate alınarak Hoek ve Brown (1997) tarafından önerilen yenilme sonrası kaya davranışının sınıflandırılması esas alınarak şeyller bu çalışmada “**çok kötü kaliteli yumuşak kaya**” olarak sınıflandırılmıştır.

5. Farklı şev açısı ve yüksekliklerine ilişkin yapılan şev duraylılık analizleri şevlerde olası stabilite problemleri incelenmesine yönelik olarak yapılmıştır. Bu analizlerden elde edilen sonuçlar Tablo 3.11, 3.12, 3.13 ve 3.14’da verilmiştir. Elde edilen tablolara göre;

a) Kohezyon değişkeninin şeyllerde açılmış kazı şevlerinin stabilitesi ve güvenlik faktörü üzerine olan etkisini tespit etmek amacıyla da farklı kohezyon değerleri kullanılarak analizler yapılmıştır. Bu analizlere göre; kohezyon dayanımı arttıkça şev açısının arttığı belirlenmiştir. Şev açısı ile kohezyon doğru orantılı bir ilişki sunmaktadır. Kohezyon dayanımı arttıkça, aynı şev yüksekliğinde ve açısındaki şevde güvenlik faktörü de artmaktadır (Tablo 3.15, 3.16, 3.17 ve 3.18).

b) Şev açısı arttıkça şev güvenlik faktörü azalmaktadır.

c) Farklı sismik ivme değerlerinin stabilite ve güvenlik faktörüne olan etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Buna ilişkin olarak yapılan analizlerde, sismik ivme değerinin artmasına bağlı olarak güvenlik faktörü değerinin azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, sismik ivme arttıkça şev açısı azalmaktadır.

d) Kohezyon direnci  $c' \geq 18 \text{ kN/m}^2$  ve şev açısının  $34^\circ$  olması durumunda,  $M_w \leq 7,0$  büyüklüğünde bir depremde  $H \leq 25$  metrelik şevlerde herhangi bir yenilme beklenmemektedir ( $F_s > 1,0$  olacaktır).

e) Kohezyon dayanımının  $18 \text{ kN/m}^2$ ,  $M_w > 5,5$  hasar yapıcı depremlerin oluşması durumunda ( $a=0.10 \text{ g}$ );  $\alpha_{\text{şev}} > 34^\circ$  de, incelenen tüm şev yüksekliklerinde (10m, 12m, 15m ve 20m) güvenlik faktörü değerleri  $F_s < 1,0$  olarak elde edilmiştir (Tablo 3.14). Kohezyon dayanımının  $c' \geq 45 \text{ kN/m}^2$  olması durumunda,  $H_{\text{şev}}=10 \text{ m}$  ve  $H_{\text{şev}}=12$  metrelik şevler için,  $c' \geq 60 \text{ kN/m}^2$  ve  $\alpha_{\text{sis}}=0.10 \text{ g}$  olması durumunda;

$H_{\text{şev}}=10$  m,  $H_{\text{şev}}=12$  m ve  $H_{\text{şev}}=15$  metrelik şevler duraylı kalacaktır.  $\alpha_{\text{sis}} = 0.20$  g olması durumunda ise;  $H_{\text{şev}} \geq 15$  m konumundaki şev/şevler duraysız konuma geçecektir.

f)  $H_{\text{şev}} > 15$  m  $\alpha_{\text{sis}}=0.10$  g olması durumunda; incelenen tüm şev açılarında şevler duraylı kalamayacaktır. Bu nedenle, şevler kademelendirilerek bu sorun bir dereceye kadar iyileştirilebilir. Bu durumda, ayrıca nümerik çözümler yapılmalıdır.

Sonuç olarak; şev stabilitesinin başlı başına tek bir değişkene bağlı olmadığı, farklı koşullar altında birden fazla değişkenin stabilite ve şev yenilmesi üzerine etkisi olduğu ve şeyllerde açılmış mevcut şevlerin özellikle dinamik koşullarda, kaymaya karşı güvensiz olabilecekleri ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, çalışma alanında yapılacak her türlü projelendirme çalışmasında ileride oluşabilecek mühendislik problemlerine karşı dayanım parametreleri ve stabiliteyi etkileyici değişkenler hassas bir şekilde belirlenmelidir.

## KAYNAKLAR

- ASTM (American Society for Testing and Materials), (1994). Annual Book of ASTM Standarts Construction: *Soil and Rock*. ASTM Publication, 4. (8), 978.
- Barton, N. (1976). The Shear Strength of Rock and Rock Joints, *International Journal of Rock Mechanics Mineral Science and Geomechanics Abstracts*, 13, (9), 255-279.
- Benice, Ö. L. (2003). *Filiş Formasyonunun İzmir İli ve Çevresindeki Dağılımı, Mühendislik Özellikleri ve Mühendislik Özelliklerini Etkileyen Faktörlerin Araştırılması*, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 99 sayfa.
- CANMET, (1997b). Laboratory tests for design parameters. *In: Pit Slope Manual of CANMET, Supplement 3-2, Canada for Mineral and Energy Technology Report 77-26*, 74
- Day, R. W. (2001). *Geotechnical Earthquake Engineering Handbook: McGraw-Hill Professional*, New York, 600
- Emre, Ö., Özalp, S., Doğan, A., Özaksoy, V., Yıldırım, C., Göktaş, F. (2005). İzmir Yakın Çevresinin Diri Fayları Ve Deprem Potansiyelleri: *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi Rapor No: 10754*, s 57.
- Erdoğan, B. (1990). İzmir-Ankara Zonu'nun İzmir ile Seferihisar Arasındaki Bölgede Stratigrafik Özellikleri ve Tektonik Evrimi: *TPJP Bülteni. c. 2/1-Aralık 1990. s.1-20*.
- Fecker, E., & Rengers, N.F. (1971). Measurement of large-scale roughness of rock planes by means of profilograph and geological compass, *1st Int. Symp. Rock Mech.*, Nancy, 1-18.

- Franklin J.A. & Chandra R. (1972). The slake durability test. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 9:325-341.
- Fukushima, Y., & Tanaka, T. (1990). A new attenuation relation for peak horizontal acceleration of strong earthquake ground motion in Japan. *Bull. Seism. Soc. Am.* 80, 757-783.
- Gamble, J.C. (1971). *Durability - plasticity Classification of Shales and Other Argillaceous Rocks*. Ph D Thesis, University of Illinois, Urbana.
- Gemici, Ü. (1996). *Engineering Properties of the Shales in Narlıdere Area*, Master Thesis. Dokuz Eylül University, Graduate School of Natural and Applied Sciences. Izmir.
- Gemici, U. (2001). Durability of shales in Narlıdere, Izmir, Turkey, with the emphasis on the impact of water on slaking behavior, *Environmental Geology*, 41, 430–439.
- Gökçeoğlu C., Ulusay R. & Sönmez. H. (2000). Factor effecting the durability of selected weak and clay-bearing rocks from Turkey, with particular emphasis on the influence of the number of drying and wetting cycles. *Engineering Geology*, 57 (2000), 215-237.
- Hoek, E., & Bray, J. W. (1981). *Rock Slope Engineering, Institution of Mining and Metallurgy*, London, 402 s.
- Hoek, E., & Brown, E.T. (1997). Practical estimates of rock mass strength. *Int. J. Rock Mech. Min.g Sci. & Geomech. Abstr.*, 34(8), 1165-1186.
- Hoek, E., Marinos, P., & Benissi, M. (1998). Applicability of the Geological Strength Index (GSI) classification for very weak and sheared rock masses. The case of the Athens Schist Formation. *Bull. Engng. Geol. Env.* 57 (2), 151-160.

- Hoek, E., & Diederichs, M.S. (2006). Empirical estimation of rock mass modulus. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 43, 203–215.
- ISRM, (International Society for Rock Mechanics) (1981), Rock characterization, Testing and Monitoring: ISRM Suggested Methods. *E. T. Brown (Ed.), Pergamon Press*, 211.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), (1985). Suggested method for determining point load strength. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr.*, 22 (2), 51-60.
- İzmir Deprem Senaryosu ve Deprem Master Planı, (2012). *Jeoloji ve Jeoteknik*, 10 Haziran 2012, <http://www.izmir.bel.tr/izmirdeprem/izmirrapor.htm>.
- Keefer, D. K. (1984), Landslides caused by earthquakes: *Geological Society of America Bulletin*, 95, (4), p. 406-421.
- Kıncal, C. (2004). *İzmir İç Körfezi Çevresinde Yer Alan Birimlerin Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama Teknikleri Kullanılarak Mühendislik Jeolojisi Açısından Değerlendirilmesi*, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir, 363 sayfa.
- Kıncal, C., & Koca, M.Y. (2009). A Proposed Method for Drawing the Great Circle Representing Dip Angle and Strike Changes, *Environmental & Engineering Geoscience*, XV, (3), August 2009, 145–165.
- Koca, M.Y. (1995). *Slope Stability Assessment of the Abandoned Andesite Quarries in and Around the Izmir City Centre*, PhD. Thesis, Dokuz Eylül University Graduate School of Natural and Applied Science, İzmir-Türkiye, 430 p.
- Kolay, E., Kayabalı, K., & Beyaz, T. (2004). Kil içeren bazı kayalarda deney örneklerinin şeklinin ıslak kararlılık deneyine etkisi, *KAYAMEK'2004-VII*.

*Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu / ROCKMEC'2004-VIIth Regional Rock Mechanics Symposium, s.2-4. Sivas, Türkiye*

Koncagül, E.C. & Santi, P.M. (1999). Predicting the unconfined compressive strength of the Breathitt shale using slake durability, Shore hardness and rock structural properties. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 36 (1999), 139-153.

Köse, G. (2007). *Grafitli Şeyl Ayrışma Ürünü Killer ve Kaymaya Olan Etkileri Örnek Çalışma: Narlıdere Heyelan Bölgesi*, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 175 sayfa.

Marinos, P., & Hoek, E. (2001). Estimating the geotechnical properties of heterogeneous rock masses such as flysch: *Bulletin Engineering Geology Environment*, 60, 85–92.

Mimuro, T., Yamauchi, M., Watanabe, K., & Denda, A. (1991). Deterioration of mechanical properties of Neogene sedimentary soft rocks: *International Congress Rock Mechanics, ISRM, 1*, 299–302.

MTA (2000). *Türkiye Jeoloji Haritası*, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Ankara.

Özbek, D. (1981). *Altındağ Köyü (İzmir) Çevresinin Jeoloji ve Altındağ Taş Ocaklarının Mühendislik Jeolojisi*, Bitirme Ödevi, Ege Üniversitesi Yerbilimleri Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İzmir, s.54.

Özer, S., ve İrtem, O. (1982). *Işıklar-Altındağ (Bornova-İzmir)alam Üst Kretase kireçtaşlarının jeolojik konumu, stratigrafisi ve fasiyes özellikleri*, Türkiye Jeol. Kur. Bült., 25, 41-47.

Özgenoglu, A. (2005). *Açık işletmelerde şev stabilitesi analizi*, Maden Mühendisliği Açık Ocağ İşletmeciliği El Kitabı, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, 337-387.



- RILEM (1980), Recommended tests to measure the deterioration of stone and to assess the effectiveness of treatment methods. *Commission 25-PEM, Material and Structures, 13*, 175-253.
- T.C. Basbakanlik Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanligi Deprem Dairesi Başkanligi, (2012). *Deprem Bölgeleri Haritası*, 10 Eylül 2012, <http://deprem.gov.tr/sarbis/Shared/DepremHaritalari.aspx>.
- TSE, (1978). *Doğal yapı taşlarının muayene ve deney metodları*. Türk Standartları Enstitüsü, 16 s.
- Ulusay, R., (1982). *Şev Açılarının İlk Yaklaşım Olarak Hesaplanmasında İki Yeni Pratik Yöntemin Konya-Çumra Manyezit Sahasına Uygulanışı*. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Ankara.
- Ulusay, R. & Yoleri, M. F. (1993). Shear strength characteristics of discontinuities in weak, stratified, clay-bearing coal measures encountered in Turkish surface coal mining: *Bulletin International Association Engineering Geology*, 48, 63–71.
- Ulusay, R., Gökçeoğlu, C., Binal A., (2005). *Kaya mekaniği laboratuvar deneyleri* (2. Baskı). Ankara: TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları: 58
- Vallejo, L.E. (1994). Fractal analysis of the slake durability test. *Can. Geotech. J.* 31, 1994.
- Walker, B. F. & Fell, R. (Eds). (1987). *Soil Slope Instability and Stabilization. Proceeding of an Extension Course on Soil Slope Instability and Stabilization*: A. A. Balkema, Rotterdam, the Netherlands, 1–231.
- Yavaşcan, M. (1997). *Bornova Kuzeydoğusu ve Çiçekli Köyü Çevresi jeolojisi; Bitirme ödevi*, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İzmir, 38 sayfa.