

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

Mustafa Özgür KESKİN

**ÇUKUROVA YÖRESİ KUVARSİT İŞLETMELERİNDE BİLGİSAYAR
DESTEKLİ ŞEV DİZAYNI VE ŞEV STABİLİTE ANALİZLERİ**

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2008

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇUKUROVA YÖRESİ KUVARSİT İŞLETMELERİNDE BİLGİSAYAR
DESTEKLİ ŞEV DİZAYNI VE ŞEV STABİLİTE ANALİZLERİ

Mustafa Özgür KESKİN
DOKTORA TEZİ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez / /2008 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu ile Kabul Edilmiştir.

İmza.....

Prof. Dr. Mesut ANIL
BAŞKAN

İmza.....

Doç. Dr. Cengiz D. ATİŞ
ÜYE

İmza.....

Doç. Dr. Ahmet M. KILIÇ
DANIŞMAN

İmza.....

Yrd. Doç. Dr. Hakan GÜNEYLİ
ÜYE

İmza.....

Yrd. Doç. Dr. Ümit ATICI
ÜYE

Bu Tez Enstitümüz Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Hazırlanmıştır.

Kod No:

Prof. Dr. Aziz ERTUNÇ
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Tarafından
Desteklenmiştir.

Proje No: MMF2006D5

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların
kaynak gösterilmeden kullanımı 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki Hükümlere tabidir.

ÖZ
DOKTORA TEZİ

**ÇUKUROVA YÖRESİ KUVARSİT İŞLETMELERİNDE BİLGİSAYAR
DESTEKLİ ŞEV DİZAYNI VE ŞEV STABİLİTE ANALİZLERİ**

Mustafa Özgür KESKİN

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Danışman : Doç. Dr. Ahmet M. KILIÇ
Yıl : 2008 **Sayfa:** 256
Jüri : Prof. Dr. Mesut ANIL
Doç. Dr. Cengiz D. ATİŞ
Doç. Dr. Ahmet M. KILIÇ
Yrd. Doç. Dr. Hakan Güneyli
Yrd. Doç. Dr. Ümit ATICI

Doktora tezi olarak hazırlanan bu çalışmanın amacı, ülkemizdeki Kuvarsit ocaklarında, mevcut basamak ve nihaî şevler için şev duraylılık analizleri yapmaktır.

Duraylılık analizi yapabilmek için öncelikle, arazide süreksizliklerin yönelim, eğim ve durumları ile mevcut formasyonlar belirlenmiştir. Ocaklardaki mevcut basamakların ve şevlerin geometrisi tespit edilmiş ve ocaktaki kaya birimlerinin laboratuvarında birim hacim ağırlık, nokta yükü dayanım indeksi, tek ekseli basma dayanımı ve makaslama deneyi ile kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri bulunmuştur.

İşletmelerin şev stabilite durumunlarını belirtmek için Fransa'da Ecoles des Mines de Paris'te geliştirilen Stab ve Degrés bilgisayar yazılımları yardımıyla, mevcut ve nihaî ocak planı üzerinde şev duraylılığı analizleri gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kuvarsit ocağı, Şev duraylılık analizi, Emniyet katsayısı, Süreksizlik.

ABSTRACT

PHD. THESIS

COMPUTER BASE SLOPE DESIGN AND SLOPE STABILITY ANALYSIS IN QUARTZITE QUARRIES OF CUKUROVA REGION

Mustafa Özgür KESKİN

**DEPARTMENT OF MINING ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF ÇUKUROVA**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ahmet M. KILIÇ

Year : 2008 **Pages:** 256

Jury : Prof. Dr. Mesut ANIL

Assoc. Prof. Dr. Cengiz D. ATİŞ

Assoc. Prof. Dr. Ahmet M. KILIÇ

Assist. Prof. Dr. Hakan GÜNEYLİ

Assist. Prof. Dr. Ümit ATICI

The aim of this PHD thesis is to realize the slope stability analysis in present and final slopes for quartzite quarries in our country.

For realize the stability analysis, firstly orientation and pendage of the discontinuities and existent formations are determined in-situ. The geometry of present and final slopes are determined and the unit weight, point load index, uniaxial compressive strength and cohesion and friction angles based on shear strength test were designated. Furthermore due to use for the slope stability calculations; cohesion and internal friction angles are found by doing the shear strength tests.

It was realized the slope stability analysis on present and final slopes to aid of software names that are Stab and Degrés which were developed by Ecoles des Mines de Paris in France for the slope stability situations of the quarries.

Key Words: Quartzite quarry, Slope stability analysis, Security factor, Discontinuity.

TEŞEKKÜR

Öncelikle benden esirgemedikleri destekleri için hocalarım Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Maden İşl. Anabilim Dalı Başkanı Sayın Prof.Dr. Mesut ANIL'a, danışmanım Doç.Dr. Ahmet M. KILIÇ'a, Sayın Doç.Dr. Cengiz D. ATİŞ'e, Yrd.Doç.Dr. Hakan GÜNEYLİ ve Yrd.Doç.Dr. Ümit ATICI'ya, Camiş Madencilik A.Ş., Feke, Ovacık, Bayırköy ve Yalıköy müdür, şef, mühendis ve çalışanlarına sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmanın temelini oluşturan bilgisayar yazılımlarına ulaşmamı sağlayan, bu yazılımların gerek kullanımı ve gerekse çıktıların değerlendirilmesi aşamasında yardımlarını esirgemeyen, Paris Ulusal Madencilik Okulu (École Nationale Supérieure des Mines de Paris)'na bağlı Açık Ocak İşletmeciliği Enstitüsü (CESECO) Direktörü Sayın Jean-Alain Fleurisson'a, şev stabilitesi çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Sayın Roger Cogean'a, Mühendislik Jeolojisi Birimi (CGI) Başkanı Sayın Michel Deveughèle, Paris Ulusal Madencilik Okulu Dış İlişkiler Direktörü Sayın Jean du Mouza'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatımın hiçbir aşamasında beni yalnız bırakmayan anneme, babama, kız kardeşime, ablama, enişteme ve biricik yeğenim Pelin'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER	SAYFA
ÖZ	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR.....	II
İÇİNDEKİLER.....	IV
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	XI
ÇİZELGELER DİZİNİ	XIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XV
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	5
3. ŞEV STABİLİTESİ ve ANALİZ YÖNTEMLERİ	12
3.1. Kaya Şevleri.....	12
3.1.1. Kaya Şev Tasarım Yöntemleri	14
3.1.1.1. Sınır Denge Analizi (Deterministik).....	17
3.1.1.2. Hassasiyet Analizi	22
3.1.1.3. Probabilistik (Olasılıklı) Tasarım Yöntemleri.....	23
3.1.1.4. Yük ve Direnç Faktörü Tasarımı (LFRD).....	27
3.2. Şev Yenilme Türleri	29
3.2.1. Düzlemsel Yenilme.....	29
3.2.1.1. Yeraltı Suyunun Duraylılığa Etkisi	34
3.2.1.2. Kritik Çekme Çatlağının Yeri ve Derinliği	35
3.2.1.3. Duraysızlık Belirteci Olarak Çekme Çatlağı.....	37
3.2.1.4. Kritik Kayma Düzlemi Eğimi	38
3.2.1.5. Pürüzlü Bir Yüzey Üzerindeki Kaymanın Analizi	38
3.2.2. Kama Tipi Yenilme	39
3.2.3. Dairesel Yenilme	44
3.2.4. Devrilme Yenilmesi	49
3.2.4.1. Blok Devrilmesi.....	49
3.2.4.2. Bükülme Devrilmesi	49
3.2.4.3. Blok-Bükülme Devrilmesi	50
3.2.4.4. İkincil Devrilme Türleri	50

3.3. Kaya Dayanımı Özellikleri ve Ölçümleri	51
3.3.1. Süreksizliklerin Kesme Dayanımı	55
3.3.2. Kohezyon ve Sürtünme Açısının Tanımı	55
3.3.3. Kaya Yüzeylerinin Sürtünme Açısı	58
3.3.4. Eğimli Bir Düzlemde Makaslama	58
3.3.5. Yüzey Pürüzlülüğü	59
3.3.6. Süreksizlik Dolgusu	62
3.3.7. Süreksizliklerin Kesme Dayanımına Suyun Etkisi	64
3.3.8. Laboratuvarda Kesme Dayanımı Deneyi	65
3.3.9.Şev Yenilmelerinden Geriye Analiz Yoluyla Kaya Kütlelerinin Kesme Dayanımı.....	66
3.3.10. Çatlaklı Kaya Kütleleri İçin Hoek-Brown Dayanım Kriteri	68
3.3.11. Genelleştirilmiş Hoek-Brown Dayanım Kriteri	69
3.3.12. Mohr-Coulomb Kriteri	72
3.3.13. Islak Kararlılık	76
3.3.14. Basınç Dayanımı.....	77
3.4. Saha İncelemesi ve Jeolojik Veri Toplanması	79
3.4.1. Jeoloji.....	80
3.4.2. Kaya Dayanımı	81
3.4.3. Yeraltı Suyu.....	81
3.4.4. Arazide Gözlemsel İnceleme.....	82
3.4.4.1. Hava ve Kara Fotoğrafları.....	82
3.4.4.2. Jeofizik	83
3.4.5. Jeolojik Haritalama	84
3.4.5.1. Çizgi ve Pencere Haritalaması.....	85
3.4.5.2. Süresizliklerin Stereogrametrik Haritalanması	85
3.4.5.3. Süreksizlik Tipleri	86
3.4.5.4. Jeolojik Terimlerin Tanımları	87
3.4.6. Açıklık, Devamlılık ve Pürüzlülük Ölçümleri	90
3.4.6.1. Süreksizliklerde Açıklık.....	90
3.4.6.2. Süreksizlik Takımlarında Devamlılık	91

3.4.6.3. Kaya Yüzeylerinin Pürüzlülüğü	91
3.4.7. Yapısal Jeolojide Probabilistik Analiz.....	94
3.4.7.1. Süreksizlik Yönelimi	94
3.4.7.2. Süreksizlik Uzunluk ve Açıklığı.....	95
3.4.8. Elmas Matkaplı Sondajlar	97
3.4.8.1. Karot Loglaması	97
3.4.8.2. Karot Yönelimi	99
3.5. Duraylılık (Stabilite) Analiz Yöntemleri	99
3.5.1. Ampirik Yöntem.....	100
3.5.2. Gerilme Analizi Yöntemleri.....	105
3.5.3. Analitik Yöntem	106
3.5.4. Stereografik İzdüşüm Yöntemi.....	107
3.5.5. Fiziksel Model Yöntemi.....	108
3.6. Duraylılık (Stabilite) Analizinde Kullanılan Bazı Hesaplama Yöntemleri	110
3.7. Bilgisayar Yazılımları ile Şev Duraylılık (Stabilite) Analizi.....	113
3.7.1. Sayısal Modelleme.....	116
3.7.1.1. Eklem Malzeme Modelleri.....	118
3.7.1.2. Kaya Kütlesi Malzeme Modelleri.....	118
3.7.2. Modelleme Problemleri.....	120
3.7.2.1. İki Boyutlu ve Üç Boyutlu Analizler	121
3.7.2.2. Sürekli Ortam ve Süreksiz Ortam Modelleri.....	122
3.7.2.3. Uygun Zon Boyutunun Seçilmesi.....	122
3.7.2.4. Başlangıç Koşulları.....	123
3.7.2.5. Sınır Koşulları	124
3.7.2.6. Su Basıncının Dikkate Alınması.....	125
3.7.2.7. Kazıda İşlem Sıralaması.....	126
3.7.2.8. Sonuçların Yorumlanması.....	126
3.7.3. Tipik Duraylılık Analizi	127
3.7.3.1. Kaya Kütlesi Yenilmesi Tipik Duraylılık Analizi	127
3.7.3.2. Düzlemsel Yenilme-Şev Yüzeyini Kesen ve Kesmeyen Durumlar Analizi	127

3.7.3.3. Kama Tipi Yenilme-Şev Yüzeyini Kesen ve Kesmeyen Durumlar Analizi	128
3.7.3.4. Devrilme Yenilmesi (Blok ve Fleksürel) Analizi.....	129
3.7.3.5. Fleksürel Kemerlenme Yenilmesi Analizi	130
3.7.4. Süreksizlik Yönelim ve Eğimi Stereonet Yazılımları.....	131
3.8. Kaya Şevlerinin Stabilizasyonu	131
3.8.1. Kaya Düşmelerinin Nedenleri	133
3.8.2. Kaya Güçlendirmesi Şeklinde İyileştirme	133
3.8.2.1. Kesme Dişleri	134
3.8.2.2. Kaya Ankrajları	135
3.8.2.3. Reaksiyon Duvarı	135
3.8.2.4. Püskürtme Beton.....	136
3.8.2.5. Payandalar	136
3.8.2.6. Drenaj.....	137
3.8.2.7. Yerinde Patlatma Payandaları	137
3.8.3. Kayayı Hafrederek Yapılan Stabilizasyon	137
3.8.3.1. Yeniden Eğimlendirme ve Yük Boşaltma.....	139
3.8.3.2. Traşlama	139
3.8.3.3. Rötüşlama.....	140
3.8.3.4. Kaya Hafriyatı İşlemleri.....	141
3.8.4. Kaya Düşmelerine Karşı Koruma Önlemleri	141
3.8.4.1. Hendekler	141
3.8.4.2. Bariyerler.....	142
3.8.4.3. Kaya Tutma Çitleri ve Sönümleyiciler	142
3.8.4.4. Perdeli Ağ.....	143
3.8.4.5. Uyarı Çitleri.....	143
3.8.4.6. Kaya Sundurmaları ve Tüneller.....	144
4. ÇALIŞMA ALANLARI HAKKINDA BİLGİLER	145
4.1. Ovacık-Kargıcak Kuvars kumtaşı Ocağı	149
4.1.1. Genel Jeoloji	151
4.1.2. Yapısal Jeoloji	154

4.2. Feka Kuvarsit Ocağı	155
4.2.1. Lokal Jeoloji	160
4.2.1.1. Şist/Şeyl Seviyesi.....	160
4.2.1.2. Kireçtaşı-Kumlukireçtaşı-Silttaşı Ardalanması.....	160
4.2.1.3. Kuvarsit-Kireçtaşı Ardalanması	160
4.2.1.4. Kuvarsit	162
4.2.1.5. Kireçtaşı	163
4.2.1.6. Dolomit/Dolomitik Kireçtaşları.....	163
5. MATERYAL ve METOD.....	164
5.1. Arazi Çalışmaları.....	164
5.1.1. Şerit Metre Yardımıyla Eklem Açıklıklarının Tespit Edilmesi.....	164
5.1.2. İnklinometreli Pusula ile Süreksizliklerin Doğrultu-Eğiminin Tespiti	166
5.1.3. Schmidt Çekici	167
5.1.4. Tilt Yöntemi	170
5.2. Laboratuar Çalışmaları	171
5.2.1. Birim Hacim Ağırlık Deneyi.....	171
5.2.2. Nokta-Yükü Dayanım İndeksi Deneyi.....	172
5.2.3. Tek Eksenli Basma Dayanımı Deneyi	174
5.2.4. Doğrudan Kesme (Makaslama) Dayanımı Deneyi.....	176
5.2.5. Su Muhtevası Deneyi	179
5.3. Şev Duraylılık (Stabilite) Analizlerinde Kullanılan Parametreler	179
5.4. Şev Duraylılık (Stabilite) Analizlerinde Kullanılan Yöntemler.....	181
5.4.1. Statik Duraylılık (Stabilite) Analiz Yöntemleri	181
5.4.1.1. Bishop Yöntemi ile Dairesel Kayma Analizi	181
5.4.1.2. Carter Yöntemi ile Düzlemsel Kayma Analizi.....	184
5.4.1.3. Sarma Yöntemi ile Kama Türü Kayma Analizi	186
5.4.2. Dinamik (Psödo-Statik) Duraylılık Analizi	188
5.5. Şev Duraylılık (Stabilite) Sayısal Analizinde Kullanılan Yazılımlar.....	189
5.5.1. Distat Stereonet Yazılımı	189
5.5.2. STAB Düzlemsel ve Dairesel Yenilme Yazılımı	190

5.5.2.1. Bishop Yöntemi	191
5.5.2.2. Carter Yöntemi	192
5.5.2.3. Sarma Yöntemi	193
5.5.3. DEGRÉS Büyük Ölçekli Şev Duraylılık Yazılımı	194
6. BULGULAR ve TARTIŞMA	196
6.1. Mersin-Ovacık Kuvars kumtaşı Ocağı'nda Duraylılık Analizi	197
6.1.1. Arazi Çalışmaları	197
6.1.1.1. Eklem Açıklıklarının Boyutları ve Dolgularının Tespit Edilmesi	197
6.1.1.2. İnklinometreli Pusula ile Kaya Kütleleri ve İçerdikleri Süreksizliklerin Doğrultu ve Eğimlerinin Tespit Edilmesi	198
6.1.1.3. Kaya Kütleleri ve İçerdikleri Süreksizliklerin Shmidt Sertliklerinin Tespit Edilmesi	198
6.1.1.4. Tilt Yöntemi ile Sınır Kayma Açısının Tespiti	199
6.1.2. Laboratuvar Çalışmaları	199
6.1.2.1. Birim Hacim Ağırlık Deneyi	199
6.1.2.2. Nokta Yüğü Dayanım İndeksi Deneyi	200
6.1.2.3. Tek Eksenli Basma Dayanımı Deneyi	201
6.1.2.4. Doğrudan Kesme (Makaslama) Dayanımı Deneyi	202
6.1.3. Bilgisayar Yazılımları ile Şev Duraylılık Analizi	205
6.1.3.1. Eklem Takımlarının Ortalama Yönelim ve Eğimlerinin Distat Bilgisayar Yazılımı ile Tahmini	205
6.1.3.2. Stab Bilgisayar Yazılımı Şev Duraylılık Analizi	206
6.1.3.3. Degrés Bilgisayar Yazılımı Şev Duraylılık Analizi	212
6.2. Adana-Feke Kuvarsit Ocağı'nda Duraylılık Analizi	214
6.2.1. Arazi Çalışmaları	214
6.2.1.1. Eklem Açıklıklarının Boyutları ve Dolgularının Tespit Edilmesi	214
6.2.1.2. İnklinometreli Pusula ile Kaya Kütleleri ve İçerdikleri Süreksizliklerin Doğrultu ve Eğimlerinin Tespit Edilmesi	215
6.2.1.3. Kaya Kütleleri ve İçerdikleri Süreksizliklerin Shmidt Sertliklerinin Tespit Edilmesi	215

6.2.1.4. Tilt Yöntemi ile Sınır Kayma Açısının Tespiti	215
6.2.2. Laboratuvar Çalışmaları.....	216
6.2.2.1. Birim Hacim Ağırlık Deneyi.....	216
6.2.2.2. Nokta Yüğü Dayanım İndeksi Deneyi.....	217
6.2.2.3. Tek Eksenli Basma Dayanımı Deneyi	217
6.2.2.4. Doğrudan Kesme (Makaslama) Dayanımı Deneyi.....	218
6.2.3. Bilgisayar Yazılımları ile Şev Duraylık Analizi	221
6.2.3.1. Eklem Takımlarının Ortalama Yönelim ve Eğimlerinin Distat Bilgisayar Yazılımı ile Tahmini	221
6.2.3.2. Stab Bilgisayar Yazılımı Şev Duraylık Analizi	222
6.2.3.3. Degrés Bilgisayar Yazılımı Şev Duraylık Analizi	225
6.3. Elde Edilen Bulguların Sentezi ve Tartışma	227
7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	240
KAYNAKLAR.....	248
ÖZGEÇMİŞ.....	256
EKLER	

SİMGELER ve KISALTMALAR

σ : Normal Gerilme

τ : Kayma Gerilmesi

c: Kohezyon

ϕ : İçsel Sürtünme Açısı

R: Blok İle Düzlem Arasındaki Makaslama Dayanımı

W: Ağırlık

A: Yüzey Alanı

β : Kayma Yüzey Eğim Açısı

u: Kayma Yüzeyine Dik Doğrultuda Etki Eden Su Basıncı

v : Kayma Yüzeyi Doğrultusunda Etki Eden Su Basıncı

F: Güvenlik Katsayısı

γ : Yoğunluk

V: Hacim

g: Ağırlık

P: Numunenin Kırılma Yüğü

D: Numune Çapı

I_s : Düzeltilmiş Nokta Yükleme Dayanımı

F_d : Büyüklük veya Çap Düzeltme Katsayısı

σ_b : Basma Gerilmesi

L: Numune Boyu

τ_m : Denge Durumu İçin Gereken Kesme Dayanımı

c_m : Denge Durumu İçin Gereken Kohezyon

ϕ_m : Denge Durumu İçin Gereken İçsel Sürtünme Açısı

F_c : Kohezyona Göre Emniyet Katsayısı

F_ϕ : Sürtünmeye Göre Emniyet Katsayısı

F_H : Yüksekliğe Bağlı Emniyet Katsayısı

F_L : Kayma Yüzeyi Boyunca Emniyet Katsayısı

L_K : Kayma Yüzeyi Uzunluğu

H : Şev Yüksekliği

σ_H : Yatay Gerilme

σ_V : Düşey Gerilme

ν_p : Poission Oranı

σ_n : Yenilme Düzlemindeki Normal Gerilme

σ_1 : Maksimum Asal Normal Gerilme

σ_3 : Minimum Asal Normal Gerilme

σ_t : Normal Çekme Dayanımı

σ_n : Süreksizlik Yüzeyindeki Normal Gerilme

τ_f : Süreksizliğin Tepe Kesme Dayanımı

i : Pürüzlülük Açısı

JRC: Eklem Pürüzlülük Açısı

JCS: Süreksizliğe Bitişik Kaya Malzemesinin Tek Eksenli Basma Dayanımı

σ_c : Sağlam Kaya Parçalarının Tek Eksenli Basma Dayanımı

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 3.1. Değişik kaya tipleri için sürtünme açısının tipik aralıkları.....	58
Çizelge 3.2. Değişik kaya tipleri için sürtünme açısının tipik aralıkları.....	61
Çizelge 3.3. Değişik kaya türleri için m_i değerleri	72
Çizelge 3.4. Örselenme faktörü D için kullanılan kılavuz bilgiler.....	75
Çizelge 3.5. Bazı kaya türlerine ait içsel sürtünme açısı değerleri.....	102
Çizelge 4.1. Türkiye kuvarsit rezervleri dağılımı.....	144
Çizelge 4.2. 1988-93 yılları arası Türkiye kuvarsit üretimi	146
Çizelge 6.1. Ovacık kuvars kumtaşı ocağı birimlerine ait birim hacim ağırlık değerleri	200
Çizelge 6.2. Ovacık kuvars kumtaşı ocağı birimlerine ait nokta yükü dayanım indeksi değerleri	201
Çizelge 6.3. Ovacık kuvars kumtaşı ocağı birimlerine ait tek eksenli basma dayanımı değerleri	202
Çizelge 6.4. Ovacık kuvars kumtaşı ocağı birimlerine ait kohezyon ve içsel sürtünme katsayısı değerleri.....	203
Çizelge 6.5. Ovacık Kuvarsit İşletmesi mevcut durum için deprem olmadığı durumda duraylılık (stabilite) analizi sonuçları.....	207
Çizelge 6.6. Dinamik duraylılık analizleri için kullanılan deprem katsayısı değerleri	208
Çizelge 6.7. Ovacık Kuvarsit İşletmesi mevcut durum için deprem şiddetine göre duraylılık (stabilite) analizi sonuçları.....	208
Çizelge 6.8. Ovacık Kuvarsit İşletmesi 1B kesiti için 191 m nihaî şev yüksekliğinde çeşitli şev açıları için duraylılık (stabilite) analizi sonuçları	209
Çizelge 6.9. Ovacık Kuvarsit İşletmesi 2B kesiti için 190 m nihaî şev yüksekliğinde çeşitli şev açılarında duraylılık (stabilite) analizi sonuçları	210
Çizelge 6.10. Ovacık Kuvarsit İşletmesi 3B kesiti için 281 m nihaî şev yüksekliğinde çeşitli şev açılarında duraylılık (stabilite) analizi sonuçları	211
Çizelge 6.11. Ovacık Kuvarsit İşletmesi 4B kesiti için 303 m nihaî şev yüksekliğinde çeşitli şev açılarında duraylılık (stabilite) analizi sonuçları	212
Çizelge 6.12. Feke kuvarsit ocağı birimlerine ait birim hacim ağırlık değerleri.....	216

Çizelge 6.13. Feke kuvarsit ocağı birimlerine ait nokta yükü dayanım indeksi değerleri.....	217
Çizelge 6.14. Feke kuvarsit ocağı birimlerine ait tek eksenli basma dayanımı değerleri.....	218
Çizelge 6.15. Feke kuvarsit ocağı birimlerine ait kohezyon ve içsel sürtünme katsayısı değerleri.....	219
Çizelge 6.16. Feke Kuvarsit İşletmesi mevcut durum için deprem olmadığı durumda duraylılık (stabilite) analizi sonuçları.....	222
Çizelge 6.17. Feke Kuvarsit İşletmesi mevcut durum için deprem şiddetine göre duraylılık (stabilite) analizi sonuçları.....	223
Çizelge 6.18. Feke Kuvarsit İşletmesi F1 kesiti için 148 m nihaî şev yüksekliğinde çeşitli şev açıları için duraylılık (stabilite) analizi sonuçları	224
Çizelge 6.19. Feke Kuvarsit İşletmesi F2 kesiti için 171 m nihaî şev yüksekliğinde çeşitli şev açıları için duraylılık (stabilite) analizi sonuçları	225

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 3.1. Bir açık ocak işletmesinde şev açısı türleri	14
Şekil 3.2. Bir şevde kayan blok için emniyet katsayısı hesaplama yöntemi.....	18
Şekil 3.3. Yer altı suyu ve ankraj kuvvetlerinin F_s üzerine etkisi.	20
Şekil 3.4. Kayan ve devrilen blokların belirlenmesi.....	23
Şekil 3.5. Düzlemsel yenilme oluşturan düzlemleri gösteren enine kesit.....	30
Şekil 3.6. Düzlemsel şev yenilmesinin geometrileri: a) Üst şevde çekme çatlağı; b) Şev yüzeyinde çekme çatlağı	31
Şekil 3.7. Düzlemsel şev yenilmelerinde muhtemel yeraltı suyu basınçları: a) Topukta engellenen drenaj durumunda düzlem üzerinde gelişen tekdüze basınç; b) Su tablası seviyesinin çekme çatlağı altında olduğu durumda kayma düzlemi üzerindeki üçgen basınç.....	36
Şekil 3.8. Kuru şevde kritik çekme çatlağı lokasyonları: a) Şevin tepesine göre kritik çekme çatlağı derinliği; b) Şev tepesinin gerisinde kritik çekme çatlağının yeri	37
Şekil 3.9. Kama tipi yenilme için geometrik koşullar.	40
Şekil 3.10. Kamanın emniyet katsayısının hesaplanması için kuvvetlerin bileşenlerine ayrılması.	41
Şekil 3.11. Kayma düzlemlerinde sürtünme, kohezyon ve su basıncı etkilerini içeren duraylılık analizinde kullanılan kama geometrisi.....	42
Şekil 3.12. Kama duraylılık analizi için gerekli verilerin stereonet üzerinde gösterilmesi.	43
Şekil 3.13. Tipik kayma yüzeyleri ve dilim üzerine etkiyen kuvvetler.	45
Şekil 3.14. Düzenli su akış rejimi koşullarında yeraltı suyu akış şeması.	47
Şekil 3.15. Dairesel kayma diyagramlarını kullanarak şevin emniyet katsayısını bulmada izlenecek sıra.	48
Şekil 3.16. Yeraltı suyu koşullarına göre diyagram seçimi için çizelge.....	48
Şekil 3.17. Devrilme yenilmesi türleri.	50
Şekil 3.18. Artan numune boyutu ile kırksız kayadan kaya kütesine geçişi gösteren idealleştirilmiş diyagram..	52

Şekil 3.19. Jeoloji ile kaya dayanım sınıfları arasındaki ilişki.....	53
Şekil 3.20. Beş değişik jeolojik koşul için kayma yüzeyi üzerindeki kesme ve normal gerilme arasındaki ilişkiler.	54
Şekil 3.21. Bir süreksizlik yüzeyinin kesme dayanımının tanımı	56
Şekil 3.22. Pik ve rezidüel dayanımların Mohr diyagramı	57
Şekil 3.23. Eğimli bir yüzey üzerinde kesme yer değiştirmesi	59
Şekil 3.24. Kesme gerilmesi-normal gerilme ilişkisi.....	61
Şekil 3.25. Makaslama dayanımı deney düzeneği.....	65
Şekil 3.26. Taşocağı şev yenilmesinin geometrisini ve su kuvvetlerini gösteren kesit	67
Şekil 3.27. Yenilme anı için kesme dayanımı parametreleri (ϕ , c) arasındaki ilişki diyagramı.....	68
Şekil 3.28. GSI (Geological Strength Index) kartı	71
Şekil 3.29. Filiş tipi kayalar için GSI kartı.....	71
Şekil 3.30. Eklem pürüzlülük katsayısını tanımlayan standart profiller.....	92
Şekil 3.31. Eklem basınç dayanımı çevrim kartı.....	93
Şekil 3.32. Tabaka ve çatlakların durumlarına göre şevlere verilmesi uygun kritik şev açıları.....	103
Şekil 3.33. Süreksizlikleri kohezyonlu malzeme ile dolmuş, çatlaklı kayalara verilecek eğim.....	104
Şekil 3.34. Sonlu elemanlar yöntemi için üçgen ve düğüm noktalarının oluşturulması.....	106
Şekil 3.35. Bir şevde süreksizlikler nedeniyle oluşan kama	106
Şekil 3.36. Şevlerde içe ve dışa bakan kamaların stereografik izdüşümleri ve emniyet faktörleri	108
Şekil 3.37. FLAC3D program çıktısına bir örnek	128
Şekil 3.38. FLAC program çıktısına bir örnek.....	129
Şekil 3.39. UDEC program çıktısına bir örnek	129
Şekil 3.40. AFENA program çıktısına bir örnek.....	130
Şekil 3.41. Kaya şev güçlendirme yöntemleri.....	134
Şekil 3.42. Şev stabilizasyonu için kaya kazma-hafriyat yöntemleri	138

Şekil 4.1. Ovacık-Kargıcak kuvars kumtaşı ocağı yerbulduru haritası	147
Şekil 4.2. Ovacık kuvars kumtaşı ocağı genel görünümü.....	148
Şekil 4.3. Ovacık kuvarsit işletmesi basamakları genel görünümü.....	149
Şekil 4.4. Silifke-Hacıshaklı bölgesi jeoloji haritası	150
Şekil 4.5. Silifke-Mersin civarı stratigrafik kesiti	151
Şekil 4.6. Feke kuvarsit ocağı yerbulduru haritası	154
Şekil 4.7. Feke kuvarsit ocağı jeoloji haritası	155
Şekil 4.8. Feke kuvarsit ocağı genel görünümü.....	157
Şekil 4.9. Feke kuvarsit ocağında bir üretim panosu.....	157
Şekil 4.10. Feke-Fekedağ dolayının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti.....	159
Şekil 5.1. Eklem mesafe ölçümlerinde kullanılan şerit metre.....	168
Şekil 5.2. Eklem doğrultu ve eğimlerini ölçmede kullanılan inklinometreli pusula .	169
Şekil 5.3. Arazide kullanılan Schmidt çekici	171
Şekil 5.4. Arazide Schmidt çekici ile süreksizlik yüzeylerinde yapılan ölçüm	172
Şekil 5.5. Eklem basınç dayanımı çevrim kartı.....	172
Şekil 5.6. Arazide tilt test ile şev sınır eğimi tahmini.....	173
Şekil 5.7. Karotiyer yardımıyla blok numuneden karot numune eldesi	174
Şekil 5.8. Taş kesme testeresi ile numune boyutlandırma	176
Şekil 5.9. Nokta yükü dayanım indeksi deney aleti.....	176
Şekil 5.10. Deney için kesilip-boyutlandırılmış karot numuneler.....	178
Şekil 5.11. Tek eksenli basma dayanımı deney aleti (deney presisi).....	178
Şekil 5.12. Makaslama dayanımı deneyi için numune hazırlama	180
Şekil 5.13. Makaslama mukavemeti deney aleti	180
Şekil 5.14. Makaslama yer değiştirmesi-makaslama dayanımı grafiği	181
Şekil 5.15. Normal-makaslama dayanımı grafiği.....	182
Şekil 5.16. Drenajlı şevler için kritik kayma yüzeyi ve çekme çatlağının yeri	185
Şekil 5.17. Yeraltı suyunun bulunduğu şevlerde kritik kayma yüzeyi ve çekme çatlağının yeri	186
Şekil 5.18. Bishop'un basitleştirilmiş dilim yöntemi ve kullanılan eşitlikler.....	187
Şekil 5.19. Düzlemsel kaymada şev yüzey açısı-normal gerilme grafiği.....	189

Şekil 5.20. Kayma düzlemlerinde sürtünme, kohezyon ve su basıncı etkilerini içeren duraylılık analizinde kullanılan kama geometrisi	190
Şekil 5.21. Deprem Parametresi Hesaplamalarında Kullanılan Farklı Bölgeler	192
Şekil 5.22. Distat yazılımı Ovacık-Kargıcak kuvars kumtaşı ocağına ait stereonet çıktısı.....	193
Şekil 5.23. STAB bilgisayar yazılımıyla Bishop dairesel yenilme analizi	195
Şekil 5.24. STAB yazılımıyla Carter düzlemsel yenilme analizi	196
Şekil 5.25. Sarma sismik yenilme analizi	197
Şekil 5.26. DEGRÉS yazılımına ait kayma türü tahmini çıktısı	198
Şekil 6.1. Ovacık kuvars kumtaşı ocağı kireçtaşı birimlerine ait normal-makaslama gerilmesi grafiği.....	204
Şekil 6.2. Ovacık kuvars kumtaşı ocağı pembe kireçtaşı birimlerine ait normal-makaslama gerilmesi grafiği	204
Şekil 6.3. Ovacık kuvars kumtaşı ocağı kuvars kumtaşı birimlerine ait normal-makaslama gerilmesi grafiği	205
Şekil 6.4. Ovacık kuvars kumtaşı ocağı süreksizliklerine ait stereonet.....	206
Şekil 6.5. Ovacık kuvars kumtaşı ocağı nihaî şevi Degrés yazılımı duraylılık analizi çıktısı.....	213
Şekil 6.6. Feka kuvarsit ocağı kireçtaşı birimlerine ait normal-makaslama gerilmesi grafiği	220
Şekil 6.7. Feka kuvarsit ocağı kuvarsit birimlerine ait normal-makaslama gerilmesi grafiği	220
Şekil 6.8. Feka kuvarsit ocağı süreksizliklerine ait stereonet	221
Şekil 6.9. Feka kuvarsit ocağı nihaî şevi Degrés yazılımı duraylılık analizi çıktısı..	226
Şekil 6.10. Ovacık kuvarsit ocağı mevcut şev geometrisi için şev açısı-emniyet katsayısı ilişkisi grafiği	227
Şekil 6.11. Ovacık kuvarsit ocağı mevcut şev geometrisi için deprem şiddeti-emniyet katsayısı ilişkisi grafiği	228
Şekil 6.12. Ovacık kuvarsit ocağı nihaî şev geometrisi 1B kesiti için şev açısı-emniyet katsayısı ilişkisi grafiği	229

Şekil 6.13. Ovacık kuvarsit ocağı nihaî şev geometrisi 1B kesiti için deprem şiddeti-emniyet katsayısı ilişkisi grafiği	230
Şekil 6.14. Ovacık kuvarsit ocağı nihaî şev geometrisi 2B kesiti için şev açısı-emniyet katsayısı ilişkisi grafiği	231
Şekil 6.15. Ovacık kuvarsit ocağı nihaî şev geometrisi 2B kesiti için deprem şiddeti-emniyet katsayısı ilişkisi grafiği	231
Şekil 6.16. Ovacık kuvarsit ocağı nihaî şev geometrisi 3B kesiti için şev açısı-emniyet katsayısı ilişkisi grafiği	232
Şekil 6.17. Ovacık kuvarsit ocağı nihaî şev geometrisi 3B kesiti için deprem şiddeti-emniyet katsayısı ilişkisi grafiği	233
Şekil 6.18. Ovacık kuvarsit ocağı nihaî şev geometrisi 4B kesiti için şev açısı-emniyet katsayısı ilişkisi grafiği	234
Şekil 6.19. Ovacık kuvarsit ocağı nihaî şev geometrisi 4B kesiti için deprem şiddeti-emniyet katsayısı ilişkisi grafiği	234
Şekil 6.20. Feke kuvarsit ocağı mevcut şev geometrisi için şev açısı-emniyet katsayısı ilişkisi grafiği	235
Şekil 6.21. Ovacık kuvarsit ocağı mevcut şev geometrisi için deprem şiddeti-emniyet katsayısı ilişkisi grafiği	236
Şekil 6.22. Feke kuvarsit ocağı nihaî şev geometrisi F1 kesiti için şev açısı-emniyet katsayısı ilişkisi grafiği	237
Şekil 6.23. Feke kuvarsit ocağı nihaî şev geometrisi F1 kesiti için deprem şiddeti-emniyet katsayısı ilişkisi grafiği	237
Şekil 6.24. Feke kuvarsit ocağı nihaî şev geometrisi F2 kesiti için şev açısı-emniyet katsayısı ilişkisi grafiği	238
Şekil 6.25. Feke kuvarsit ocağı nihaî şev geometrisi F2 kesiti için deprem şiddeti-emniyet katsayısı ilişkisi grafiği	239

1. GİRİŞ

Geçmişten günümüze, gerek sanayinin artan hammadde ihtiyacını karşılamak gerekse çeşitli mühendislik çalışmaları için yüksek ve derin kazı işlemleri gerçekleştirilmektedir. Kazı işleri, madencilik çalışmalarında açık ve kapalı işletmelerde gerçekleştirilirken, karayolu, tünel ve baraj inşaatları gibi çeşitli inşaat ve mühendislik işlerinde, doğal topoğrafyanın, üzerine inşa edilecek yapıya uygun şekilde şekillendirilebilmesi için yeraltı ve yerüstünde gerçekleştirilir. Özellikle yol ya da baraj inşaatları ve açık maden ocaklarındaki yüksek kazı işleri sonucu, taban ve tavan kotları arasında, zaman zaman yüzlerce metre mesafe bulunan belirli eğim açılarında yüzeyler oluşur. Kazılar sonucu ya da doğal olarak oluşmuş bu eğimli yüzeyler ya da yamaçlar mühendislikte şev olarak isimlendirilir. Doğal ya da kazılarla oluşturulmuş bu şevlerin yüksekliklerinin veya derinliklerinin artması, bunlarda anlık ve zamanla, kendini herhangi bir deformasyon ya da kayma olmadan tutabilme (duraylılık) problemlerini de beraberinde getirmiştir. Tüm kazı işlemlerinde oluşturulan şevlerin eğimlerinin azaltılması maliyeti artırmaktadır. Bu nedenle şevler genellikle, kendini tutabileceği açının biraz altında eğimlendirilirler. Maden ocaklarındaki şev açıları, basamak ya da kademe, geçici ve nihaî olmak üzere, bulunduğu yerlere göre isimlendirilirler. Farklı yerlerdeki bu şev açılarının ya da mevcut kazılmış eğimlerinin duraylılığı olumsuz yönde etkileyip etkilemediklerinin tespiti, detaylı ve karmaşık bir dizi arazi, laboratuvar ve deneyimlere dayalı analizleri gerektirir.

Uygulamalarda duraylılık problemleri, çeşitli araştırmacılar tarafından, yaklaşık 1900'li yılların başından bu yana ciddi bir şekilde incelenmiş ve çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Yapılan her çalışma kendine özgü durumlar içermesine rağmen, benzer durumlar için çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilen bu yöntemlerin takip edilerek duraylılık analizlerinin yapılması, müspet sonuçlar vermektedir. Günümüze kadar duraylılık analizleri için geliştirilmiş çalışmalarda, uygulamalarda çoğunlukla tercih edilen ve genelde yöntemi bulan araştırmacıların isimleriyle anılan Bishop, Carter, Monte-Carlo, Hoek-Brown ve Morgensten-Price gibi yöntemler, arazide ve laboratuvarında yapılması gereken çeşitli detaylı

incelemeleri gerektirmekte ve kullanıldıkları şev duraylılık durumlarında geçerli ve hassas sonuçlar vermektedirler.

Derin açık ocak kazılarında, geçerli bir duraylılık analizi yapabilmek için, öncelikle çalışma yapılacak alanın jeolojik ve yeraltı suyu durumunun tespiti için hidrojeolojik özelliklerinin tespiti gerekmektedir. Jeolojik çalışmalar, kazı yapılacak derinlik ya da yüksekliği oluşturan kaya tabakalarının tanımlamaları ile başlar, bu tabakaları meydana getiren kaya kütlelerinin jeoteknik özelliklerinin tespitine kadar devam eder. Bu özellikler, kaya kütlelerinin, fiziksel özellikleri, dayanım özellikleriyle içerdikleri süreksizliklerin tanımlamaları ve bu süreksizliklerin davranış ve dayanım özellikleridir. Kaya kütleleri ve içerdikleri süreksizliklerin fiziksel, dayanım ve davranış özelliklerinin tespiti için arazide ve araziden alınan numuneler üzerinde laboratuarda bir dizi deney ve gözlemin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bunlardan başlıcaları şunlardır:

- Kaya türlerinin, fiziksel ve dayanım özelliklerinin arazide ve laboratuarda tespit edilmesi. Özellikle birim hacim ağırlık, kayma gerilmesi, normal gerilme, içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerlerinin tespiti.
- Gerekli olan kazının gerçekleştirilebilmesi için oluşturulacak basamakların ve genel şev geometrisinin belirlenmesi. Gerçekleştirilecek kazı derinliğinde uygulanması muhtemel kademe ve genel şev açısının tespiti.
- Arazide süreksizliklerin geometrisinin, yönelim ve eğimlerinin, yüzeydeki dayanım özelliklerinin ve içerdikleri dolgu tür ve miktarıyla su içeriğinin tespit edilmesi. Özellikle süreksizlik yüzeylerindeki kayma gerilmesi, içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerlerinin tespiti.
- Yeraltı su seviyesinin ve kaya kütleleri içerisinde mevcut su seviyesinin tespit edilmesi. Oluşturulması düşünülen derinliğin hangi kotta yeraltı suyuyla karşılaşılacağı ve oluşturulacak şevin ne kadarlık bir kısmının yeraltı su seviyesinin altında kalacağı tespit.
- Kazı işleminin gerçekleştirildiği alanın tektonik durumu, mevcut faylar ve kırıkların tespiti ile deprenselliğinin araştırılması. Arazi incelemeleri ile mevcut fay, kırık çatlaklar ve bunların boyutlarıyla ne kadarlık bir kısmının, şev içerisinde bulunduğu ve şevi hangi kotta ve ne şekilde kestiğinin tespiti.

Şev duraylılık analizini gerçekleştirebilmek için gerekli tüm verilerin arazi ve laboratuvar çalışmalarıyla elde edilmesinden sonra, bu bölümün başında bahsi geçen yöntemler kullanılarak duraylılık analizleri yapılabilir.

Şevlerde duraylılık, güvenlik ya da emniyet katsayısı adı verilen ve çeşitli yöntemlerle tespit edilebilen bir değerle ifade edilir. Güvenlik katsayısı değeri birimsiz olarak, direnen kuvvetlerin, kaymaya sebep kuvvetlere oranlanmasıyla tespit edilir ve bir şevin kendini tutabilmesi için 1,3 değerinin üzerinde olması istenir. Tespit edilen değerlerle belirlenen eğimlerde, şevlerin duraylı olup olamayacaklarına, belirlenen emniyet katsayıları değerleri üzerinden karar verilir.

Şevlerde emniyet katsayısı, çeşitli yöntemler için çeşitli verilerin kullanılmasıyla elde edilebilir. Yönteme karar verirken, depremsellik, süreksizliklerin birbirlerini ve şev yüzeyini kesme açıları ve konumlarıyla yönelim ve eğimleri, yeraltı suyu durumu ve şevin oluşturulacağı kayaların özelliklerine bakılır. Bu veriler doğrultusunda, kaymanın olasılığı ve genel şekli tahmininde bulunularak gerekli yöntemle emniyet katsayısı değerlerine ulaşılır.

Duraylılık analizlerinin yapılmaması ve emniyetli şev açılarının tespit edilmemesi sonucu, şevlerde kaymalar meydana gelebilir ve bu kaymalar geri dönülmesi imkânsız sonuçlar doğurabilir. Duraysız şevlerde meydana gelen kaymalar sonucu çok büyük hacimlerde malzeme bir anda serbest kalıp tüm çalışmayı sonlandırabilir ve insan kaybına neden olabilir. Günümüze kadar gerek açık maden ocaklarında gerekse çeşitli mühendislik kazıları sonucu oluşturulmuş açıklıklarda, büyük şev kaymaları meydana gelmiş ve kimi zaman kaymaların hareket yönlerinde bulunan yerleşim birimlerine ve ölümlere sebebiyet vermiştir.

Günümüze kadar edinilen tecrübeler ve yapılan çalışmalar doğrultusunda, herhangi bir maden işletilmeye alınmadan ya da otoyol gibi mühendislik çalışmalarında kazı işlemleri tasarım aşamasında, mevcut çalışmalar, arazi çalışma ve gözlemleri ile laboratuvar çalışmalarına dayalı şev duraylılık analizlerinin yapılması, kazılarla oluşturulacak yüzeylerde ve bunları içerdikleri kaya kütlelerinde meydana gelebilecek, duraysızlık sorunlarını en aza indirerek, emek, zaman, para ve insan kayıplarının önüne geçilebilecektir. Dünyada, işletilen büyük maden ocaklarında ve büyük mühendislik çalışmalarında şev duraylılık (stabilite) analizleri,

çeşitli yöntemlerle ve genelde bilgisayar yazılımlarıyla sürekli bir biçimde gerçekleştirilmektedir. Bilgisayar yazılımları ile gerçekleştirilen duraylılık analizleri, çok sayıda verinin aynı anda değerlendirmeye alınabilmesi, çeşitli yöntemlerle duraylılık analizlerinin aynı anda yapılabilmesi, sonuçlarda hata payının çok düşük olması, anında görsel çıktılarla duraylılığın geometrisinin, hacminin ve sebep olacağı hasarın büyüklüğünün tespit edilebilmesi, çeşitli eğimlerde emniyet katsayısı gibi değerlerin değişimlerinin anlık olarak gözlenebilmesi gibi faydalara sahiptir.

Kuvarsit ve kuvars kumtaşı çoğunlukla açık işletme yöntemi ile üretilmekte ve büyük miktarlarda kazı gerektirmektedir. Bu kayaç oluşumu itibariyle daha çok sedimanter ya da metamorfiktir.

Bu çalışmada, Şişecam grubunun bir kuruluşu olan ve cam sektörü için gerekli endüstriyel mineralleri üreten Camış Madencilik A.Ş.'ye ait, Feke kuvarsit ve Ovacık-Kargıcak kuvars kumtaşı ocaklarında, mevcut basamak ve genel şev açılarıyla, üretim sonlandırıldıktan sonraki oluşacak nihaî durumlar üzerinden duraylılık analizleri yapılmıştır. Duraylılık analizlerini gerçekleştirebilmek için öncelikle ocaklarda mevcut basamaklar üzerinde yapılan incelemelerle, mevcut süreksizliklerin yön ve eğimleri tespit edilmiş, ocaklardaki kaya türlerinden temsili blok numuneler alınmıştır. Araziden getirilen temsili numuneler, duraylılık analizleri için gerekli fiziksel ve mekanik deneylerin gerçekleştirilebilmesi için standartlara uygun şekilde boyutlandırılmış ve gerçekleştirilen deneylerle kaya türleri ve içerdikleri süreksizliklerin fiziksel ve mekanik özellikleri tespit edilmiştir. Elde edilen arazi ve laboratuvar verileri yardımıyla, École des Mines de Paris tarafından geliştirilmiş olan çeşitli bilgisayar programları yardımıyla, mevcut basamaklar ve nihaî şev açıları ve yükseklikleri üzerinden, düzlemsel, dairesel ve dinamik yöntemler kullanılarak şev duraylılık analizleri yapılmıştır. Duraylılık analizleri ile basamaklardan meydana gelmiş şevin çeşitli açılar için emniyet katsayıları ile çeşitli durumlarda oluşturabileceği kayma düzlemleri ve türleri tespit edilmeye çalışılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Şev stabilitesi (duraylılığı) kavramı, 1800’lü yılların sonuyla 1900’lü yılların başında ortaya çıkmış ve o zamandan günümüze, şev diye adlandırılan doğal veya çeşitli mühendislik çalışmalarıyla kazılarak oluşturulmuş yeryüzü açıklıklarıyla ilgili çok sayıda çalışma gerçekleştirilmiştir. Özellikle 1900’lü yılların ilk yarısında hız kazanan mühendislik ve madencilik çalışmaları, büyük miktarda ve gittikçe derinleşen ya da taban ve tavanı arasındaki kot farkı gittikçe artan kazıları gerektirmiş ve bütün bu çalışmaların sonucunda, şev olarak adlandırılan çok yüksek eğimli yüzeyler oluşmuştur. Derin yada yüksek kot farklı kazılar sonucu oluşan şevlerde, zamanla duraylılık problemleri çıkmış ve büyük kazalar meydana gelmeye başlamıştır. Duraylılık sorunları ise bu konuda çalışan bilim insanlarını, duraylılık sorunları ile ilgili çeşitli çalışmalar yapmaya itmiştir. Günümüze kadar hazırlanan şevlerle ilgili tüm çalışmaların temini mümkün olmadığından, bu bölümde, ulaşılabilen temel ve güncel çalışmalara yer verilmiş ve içeriklerine değinilmiştir.

Taylor, 1937 yılında yayınlanmış olan “Stability of Earth Slopes” isimli kitabında, şev duraylılığı genel tanımlamalarını yapmıştır.

Skempton, 1948 yılında yapmış olduğu “The $\phi=0$ Analysis for Stability and Its Theoretical Basis” isimli çalışmasında, içsel sürtünme açısının şev duraylılık analizlerinde kullanımını açıklamıştır.

Terzaghi, 1950 yılında yapmış olduğu “Mechanisms of Landslides” isimli çalışmasında, zeminlerde şev kayması özellikleri ve türlerini açıklamıştır.

Janbu, 1954 yılında yapmış olduğu “Application of Composite Slide Circles for Stability Analysis” isimli ve günümüzde kendi adıyla anılan duraylılık analizlerinde Janbu yöntemini tariflemiştir.

Bishop, 1955 yılında yaptığı “The Use of The Slip Circle in the Stability Analysis of Earth Slope” isimli çalışmasında, günümüzde halen en yaygın kullanım alanına sahip olan ve kendi adıyla anılan, dairesel şev stabilite analizinde Bishop yöntemini tariflemiştir.

Frohlich, 1955 yılında yaptığı “General Theory of the Stability of Slopes” isimli çalışmasında, şev duraylılığını tariflemiş, etkenleri belirlemiş ve tüm etkenlerle genel şev stabilite kuramını açıklamıştır.

Morgensten ve Price, 1965 yılında yapmış oldukları “The Analysis of The Stability of General Slide Surfaces” isimli çalışmalarında, şev duraylılık analizlerinde kullanılacak ve daha sonra isimleriyle anılacak bir yöntem önermişlerdir.

Newmark, 1965 yılında yaptığı, daha sonra şev duraylılık analizlerinde ayrı bir yöntem olarak ele alınacak, “Effects of Earthquakes on Dams and Embankments” isimli çalışmasında, depremlerin set ve barajlar ile bunların için açılan boşluklar üzerine etkilerini incelemiştir.

Deere ve Miller, 1966 yılında yapmış oldukları “Engineering Classification and Index Properties of Intact Rock” isimli çalışmalarıyla, homojen kaya kütleleri indeks özelliklerini tariflemişler ve mühendislik özelliklerini tanımlamışlardır.

Patton, 1966 yılında yapmış olduğu “Multiple Modes of Shear Failure in Rock” isimli çalışmasında, kaya kütlelerindeki makaslama yenilmesi mekanizmalarını tariflemiştir.

Hoek, ilk kez 1968 yılında yayınlanmış ve günümüze kadar pek çok baskısı yapılan “Estimating the Stability of Excavated Slopes in Opencast Mines” isimli kitabında, açık ocak madenciliğinde şev duraylılığı hesaplama yöntemlerini açıklamıştır.

Erguvanlı, ilk kez 1969 yılında yayınlanmış ve günümüzde halen basılmakta olan, inşaat mühendisliğinde temel kaynak kitap olarak kullanılan, “Mühendislik Jeolojisi” isimli kitabında, inşaat mühendisliği çalışmalarıyla ilgili temel bilgilere değinmiş ve bu çalışmalarda değerlendirmede kullanılan tüm jeolojik bilgileri açıklamıştır.

Londe, Vigier ve Vormeringer, 1969 yılında yapmış oldukları “Stability of Rock Slopes-A Three-Dimensional Study” isimli çalışmalarında, üç boyutlu şev duraylılık analizini tariflemiştir.

Denizci, 1970 yılında yapmış olduğu “Silifke Ovacık Arasındaki Kuvarsitik Gre Teşekkülleri” isimli raporunda, Hacıışaklı civarındaki kuvarsitik kumtaşlarını

cam hammaddesi kuvars için incelenmiş ve yörede, Kösrelilik Adası kuzeybatısında, Dibekli köyü ve Devadamı köylerinin kuzeyindeki alanda ayrıca Kargıcak Mevkiinin kuzeybatısında Kuvarsitik gre teşekküllerinin olduğunu belirtmiştir. Kuvarsitik gre teşekküllerinin Paleozonik yaşlı çökeller olduğunu vurgulamış ayrıca iklim ve mevsim değişikliklerine göre gre teşekküllerinin farklı demir içeriklerine sahip oldukları yaklaşımında bulunmuştur.

Ashby, 1971 yılında hazırladığı “Sliding and Toppling Modes of Failure in Models and Jointed Rock Slopes” isimli doktora tezinde, kayma ve devrilme türü şev yenilmelerini, eklemli kaya şevlerinde ve bu şevlerin modelleri üzerinde incelemiştir.

Barton, 1971 yılında hazırlamış olduğu “A Model Study of The Behavior of Excavated Slope” isimli doktora tezi çalışmasında, kazılarla oluşturulmuş şevlerin, kazılardan sonraki davranışlarını modellemiştir.

Golder, 1972 yılında yayınlanmış olan “The Stability of Natural and Man-made Slopes in Soil and Rock” isimli kitabında, doğal ve mühendislik çalışmaları sonucu ortaya çıkmış, zemin ve kaya şevlerinin duraylılığına etkiyen etmenler ve genel duraylılık ilkelerine değinmiştir.

Barton, 1973 yılında yapmış olduğu “Review of A New Shear Strength Criterion for Rock Joints” isimli çalışmasında, kaya kütlelerindeki süreksizliklerin makaslama mukavemeti tespitini tanımlamıştır.

Barton, 1974 yılında yapmış olduğu “Review of A New Shear Strength of Filled Discontinuities in Rock” isimli çalışmasında, kaya kütlelerindeki dolgulu süreksizlik düzlemlerinin makaslama mukavemetini tanımlamıştır.

Bieniawski, 1976 yılında yaptığı “Rock Mass Classification in Rock Engineering” isimli çalışmasında, kaya kütleleri için bir sınıflama sistemi önermiştir. Bu sınıflama sistemi, halen kullanılan geçerli birkaç sınıflama sisteminden birisidir.

Fookes ve Sweeney, 1976 yılında hazırladıkları “Stabilization and Control of Local Rock Falls and Degrading” isimli çalışmalarında, kaya şevlerinde yeniden eğilendirme yoluyla kaya düşmelerini önleme yöntemini tanımlamışlardır.

Goodman, 1976 yılında yayınlanmış olan “Introduction to Rock Mechanincs” isimli kitabında, kaya mekaniği genel ilkelerine değinmiş ve kaya kütlesi genel özellikleriyle, bunların nasıl tespit edileceğini tariflemiştir.

Sarma, 1979 yılında yapmış olduğu “Stability Analysis of Embankments and Slopes” isimli çalışmasında, daha sonra kendi adıyla anılacak ve depremselliği de hesaba katan bir duraylılık analiz yöntemi önermiştir.

Hoek ve Brown, ilk kez 1980a yılında yayınlanmış ve 2002 yılına kadar beş kez gözden geçirilerek düzenlenmiş, günümüzde yaygın olarak kullanılan “Hoek-Brown Failure Criterion” isimli çalışmalarında, kaya kütlelerinde yenilme mekanizmalarını sınıflandırarak, yenilme kuvvetleri hesaplama yöntemlerini önermişlerdir.

Hoek ve Brown, 1980b yılında yapmış oldukları “Empirical Strength Criterion for Rock Masses” isimli çalışmalarında, kaya kütleleri dayanım değerlerinin tahmin edilebilmesi için bir ölçüt belirlemişlerdir.

Hoek ve Bray, 1981 yılında yayınlanmış ve sonraki yıllarda gözden geçirilerek günümüz şartlarına uyarlanmış olan “Rock Slope Engineering” isimli, şev stabilitesinde temel kaynak olarak kullanılan kitaplarında, şevlerle ilgili tüm hesaplama tekniklerine, yenilme türlerine, duraylılık analizlerine ve şevlerle ilgili tüm noktalara değinmişler ve açıklamışlardır.

International Society of Rock Mechanics (ISRM) tarafından, 1981a yılında yayınlamış yayınlanmış olan ve kaya mekaniği çalışmalarında standart olarak kabul edilen “Rock Characterization, Testing and Monitoring; ISRM Suggested Method” isimli kitapta, kaya kütleleri için kaya mekaniği deneylerini tariflemiştir.

International Society of Rock Mechanics (ISRM) tarafından, 1981b yılında yayınlamış olan “Suggested Methods for The Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses” isimli kitapta, kaya kütlesi süreksizliklerinin tanımlanma yöntemleri tariflenmiştir.

Hoek, 1983 yılında yapmış olduğu “Strength of Jointed Rock Masses” isimli çalışmasında, eklemlili kaya kütleleri için ampirik dayanım hesaplama yöntemini önermiştir.

Amerikan Hükümeti Karayolları ve Ulaşım Kurumu (AASHTO) 1984 yılında yayınladığı “A Policy on Geometric Design of Highways and Streets” isimli yönetmeliğinde, karayolu yapımı için kazılarla oluşturulan şevlerin tasarım parametrelerini belirlemiştir.

Meyerhof, 1984 yılında yapmış olduğu “Safety Factors and Limit States Analysis in Geotechnical Engineering” isimli çalışmasında, emniyet katsayısı hesabını tariflemiştir.

Yetiş, 1988 yılında yapmış olduğu “Feke Dolayı (Adana) Gümüşali Formasyonu, Çıkak Üyesi Kuvarsitlerin Jeoteknik Özellikleri” isimli çalışmasında, Fekedağ’da yüzeylemiş ve halen üretilmekte olan kuvarsitlerin genel jeolojik ve jeoteknik özelliklerini incelemiştir.

Dershowitz ve Einstein, 1988 yılında hazırladıkları “Characterizing Rock Joint Geometry with Joint System Models” isimli çalışmalarında, kaya kütlesi süreksizliklerini modellemişlerdir.

Wyllie, 1991 yılında yapmış olduğu “Rock Slope Stabilization and Protection Measures” isimli çalışmasında, kaya şevleri stabilizasyon yöntemlerine değinmiştir.

Bandis, 1993 yılında yaptığı “Engineering Properties and Characterization of Rock Discontinuities” isimli çalışmasında, kaya kütlelerinin içerdiği süreksizliklerin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi ve tanımlanmasından bahsetmiştir.

Öcal, 1994 yılında hazırlamış olduğu “Computer-Aided Kinematic Analysis for Jointed Rock Slopes” isimli yüksek lisans tez çalışmasında, eklemli kaya kütleleri için bilgisayar yazılımları yardımıyla kinematik duraylılık analizi gerçekleştirmiştir.

Kılıç, 1996 yılında hazırlamış olduğu “Analyse de la Stabilité des Talus de la Mine de Lignite d’Afşin-Elbistan (Turquie)” isimli doktora tezi çalışmasında, Afşin-Elbistan linyit ocağında, Bishop, Carter ve Sarma yöntemlerini kullanarak, ocağı meydana getiren şevlerde ve döküm sahasında, dairesel ve dinamik duraylılık analizlerini yapmıştır.

Amerikan Otoyol İdaresi, 1998 yılında yayınladığı “Rock Slopes” isimli yayınında, karayolu ve otoyol yapımında, kazılarla oluşturulan şevlerin özelliklerini açıklamış ve kaidelerine değinmiştir.

Doğramacı, 1998 yılında hazırlamış olduğu “Effect of Rock and Discontinuity Parameters on The Dynamic Stability of Rock Slopes” isimli yüksek lisans tez çalışmasında, UDEC isimli bilgisayar yazılımı yardımıyla, kaya ve süreksizliklerin özelliklerini kullanarak dinamik duraylılık analizlerini gerçekleştirmiştir.

Sjöberg, 1999 yılında hazırlamış olduğu “Analysis of Large Scale Rock Slopes” isimli doktora tezinde, büyük ölçekli kaya şevlerinde duraylılık analizlerine, İsveç Aitik açık maden işletmesinde oluşturulan 500 m’lik şevlerde örneklerle değinmiştir.

Glass, 2000 yılında yapmış olduğu “The Influence of Seismic Events on Slope Stability” isimli çalışmasında, depremlerin şevlerin duraylılığına etkisini incelemiştir.

Ulusay ve Sönmez, 2002 yılında yayınlanmış olan “Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri” isimli kitaplarında, kaya kütleleri ve süreksizliklerle ilgili tüm temel kavramları açıklamışlar ve genel sınıflama yöntemlerine değinmişlerdir.

Kök, 2003 yılında hazırlamış olduğu “Ankara-Pozantı Otoyolu’nun 322+550-323+100 km.’leri (Niğde) Arasındaki Kesiminin Şev Stabilitesi Değerlendirmesi” isimli yüksek lisans tez çalışmasında, belirli bir formasyonda, kaya kütlesi özellikleri ve jeolojik dayanım indeksi yardımıyla sınır denge analizi yapmıştır.

Andaç, 2004 yılında hazırlamış olduğu “Ovacık (Silifke) Kuvarsit Açık İşletmesinin Stabilité Değerlendirmesi” isimli yüksek lisans tez çalışmasında, Ovacık kuvarsit işletmesi şevlerinin duraylılık analizini Bishop yöntemiyle gerçekleştirmiştir.

Wyllie ve Mah, 2004 yılında yayınlanmış olan ve Hoek ve Bray’in “Rock Slope Stability” isimli kitabının devamı olan “Rock Slope Engineering: Civil and Mining” isimli kitaplarında, şev duraylılık analizlerinin içerdiği tüm temel tanımlamalara, yöntemlere ve temel kavramlara değinmişlerdir.

Arioğlu ve Tokgöz, 2005 yılında yayınlanan “Çözümlü Problemlerle Şev Stabilité Analizi” isimli kitaplarında, özellikle zemin şevleriyle ilgili temel tkavramları tanımlayarak, çözümlü örnekler üzerinde durmuşlardır.

Keskin, 2005 yılında hazırlamış olduğu “Etude de la Stabilité des Talus et de la Fosse Finale et des Verses à Steriles de la Carrière de Quartzite d’Ovacık-Kargıcak (Turquie)” isimli projede, Ovacık-Kargıcak kuvars kumtaşı ocağında, bilgisayar destekli şev duraylılık analizlerine değinmiştir.

Karpuz ve Hindistan, 2006 yılında yayınlanmış olan “Kaya Mekaniği İlkeleri, Uygulamaları” isimli kitaplarında, kaya mekaniği ile ilgili tüm temel kavramları açıklamışlardır.

Kayabalı, 2006 yılında yayınlanmış olan “Kaya Şev Mühendisliği” isimli çeviri kitabında, şev duraylılık analizlerinin içerdiği tüm temel tanımlamalara, yöntemlere ve temel kavramlara değinmiştir.

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ

3.1. Kaya Şevleri

Mühendislikte, zemin ya da kaya yüzeylerinin oluşturdukları geometrik şekillere şev denilmektedir ve yüzeyin yatayla yaptığı açı da şev açısı olarak tanımlanmaktadır. Genelde, mühendislik çalışmaları için gerçekleştirilen şevler kazı veya dolgu şevi olarak adlandırılırken, doğa tarafından şekillendirilen şevler ise doğal şev ya da yamaç olarak adlandırılmaktadır. Mühendislik çalışmaları boyunca ve bittikten sonra şevlerin kendi ağırlıkları ve ek yüklemeler altında, kayma göçme hareketine karşı gösterdikleri yapısal performansa kısaca şev stabilitesi denir ve stabilite sayısal bir büyüklük olan güvenlik katsayısı (F_s) ile tanımlanır. Eğer mevcut şevlerde çok belirgin bir kayma hareketi varsa bu türdeki şevler duraysız, hareket yoksa duraylı şevler olarak adlandırılır.

Güvenlik katsayısı aşağıdaki eşitliklerle tanımlanan çeşitli şekillerde ifade edilebilir (Eşitlik 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 ve 3.5).

$$F_s = \frac{\sum M_k}{\sum M_0} \text{ (Momente dayalı)} \quad (3.1)$$

$$F_s = \frac{\sum F_k}{\sum F_0} \text{ (Kuvvete dayalı)} \quad (3.2)$$

$$F_s = \frac{\text{Kayma Dayanımı}}{\text{Kayma Düzleminde Hareketli Dayanım Düzeyi}} = \frac{c' + (\sigma - u) \tan \Phi}{c'_g + (\sigma - u) \tan \Phi'_g} \text{ (Dayanıma dayalı-uzun süreli yükleme)} \quad (3.3)$$

$$F_{s,c} = \frac{c'}{c'_g}; F_{s,\Phi} = \frac{\tan \Phi'}{\tan \Phi'_g}; F_s = F_{s,c} = F_{s,\Phi} \quad (3.4)$$

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

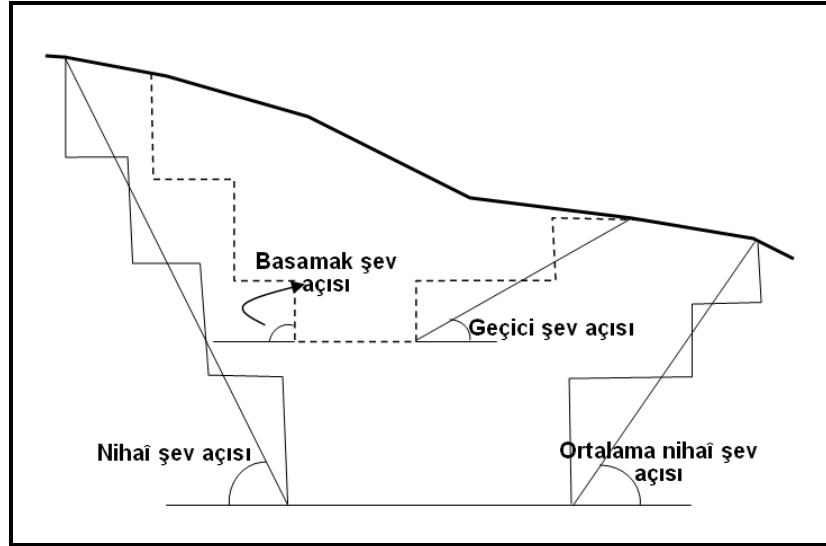
$$F_s = \frac{H}{H_k} \quad (3.5)$$

Eşitliklerde, M_k : Kaydırıcı momentler toplamı; M_0 : Önleyici momentler toplamı; F_k : Kaydırıcı kuvvetler toplamı; F_0 : Önleyici kuvvetler toplamı; c' : Kohezyon; c'_g : Kayma düzleminde stabilite için gerekli kohezyon; ϕ : İçsel sürtünme açısı; ϕ'_g : Kayma düzlemindeki içsel sürtünme açısı; σ : Yenilme yüzeyine etki eden normal gerilme; u : Yenilme yüzeyine etki eden boşluk suyu basıncı; H : Güncel şev yüksekliği; H_k : Yenilme koşuluna ($F_s=1$) karşı gelen şev yüksekliği'dir. Şevin stabilitesi için güvenlik katsayısı daima "1"den büyük olmalıdır ve geçici şev çalışmalarında en az "1,3", uzun süreli şevlerde ise en az "1,5" olmalıdır (Hoek, 2000). Bu değerler, büyük mühendislik projeleri için kullanılan değerlerdir ve maden açık ocak işletmelerindeki şevlerde, can ve mal kaybı tehlikesinin yüksek olması durumunda, daima "1,5"ten fazla olmalıdır (Arıoğlu ve Tokgöz, 2005).

Açık ocak işletmeciliği, biline en eski madencilik yöntemidir. Yeryüzünde mostra veren her işletilebilir maden yatağında açık ocak işletme yöntemi uygulanmaktadır. Büyük kapasitede üretim yapabilen, yüksek verimli teknik donanımların gelişiminden önce yeraltı madenciliği yaygın olarak uygulanırken, 20. yüzyılın başlarından itibaren gelişen teknoloji açık ocak üretimini ön plana çıkarmıştır. Maden üretim makinalarında ve delme-patlatma işlerindeki büyük teknolojik ilerlemeler, yeraltı zenginliklerinin kazanımındaki ekonomik kazı derinliklerini, üretim kapasitesini ve hızını artırmıştır. Açık ocak işletmelerinde üretim genellikle belirli yükseklik ve eğim açılarıyla oluşturulan kademelerle/basamaklarla yapılmaktadır. Üretim için ekonomik değeri olan cevherin üzerinde bulunan ve ekonomik değeri bulunmayan kısmın (örtü) da kazılması gerekir ve bu işleme dekapaj denir. Bir birim cevheri üretmek için kazılması gereken örtü miktarı örtü kazı oranı olarak adlandırılır. Kapalı işletme-açık işletme maliyeti farkının, dekapaj işlemi maliyetine oranı, işletme yöntemi seçimi için sınır oranını vermektedir ve ancak bu sınırdan küçük oranlarda açık ocak işletme yöntemi ekonomik olarak uygulanabilir.

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

Basamaklarla oluşturulmuş bir açık maden işletmesinde, basamakların kaymaya uğramadan kalmasını sağlayan açığa şev ya da eğim açısı denir ve maden ocaklarında, nihaî, ortalama nihaî, geçici ve basamak olmak üzere dört çeşit şev açısı tariflenebilir (Şekil 3.1). Nihaî şev açısı, nakliye yollarının içinde bulunmadığı kazı derinliğinin tamamı için kullanılır ve maden ocağının heyelan yapmadan durabileceği maksimum eğimi ifade eder. Ortalama nihaî şev açısı, taşıma yollarını içeren kazı derinliğinin tamamı için heyelan yapmadan durabileceği maksimum eğim açısını ifade eder. Geçici şev açısı, maden ocağında güncel üretimin yapıldığı kazı derinliğinde heyelan olmadan durabilen maksimum eğim açısını ifade ederken basamak şev açısı, üretimin yapıldığı her bir kademe/basamağın heyelan olmadan durabileceği maksimum açıyı ifade etmektedir. Eğim açısı değerlerinin maksimum olarak tariflenmesinin nedeni, üretimin mümkün olan en az kazı oranıyla en ekonomik şekilde gerçekleştirilmesi zorunluluğudur.



Şekil 3.1. Bir açık ocak işletmesinde şev açısı türleri.

3.1.1. Kaya Şev Tasarım Yöntemleri

Kaya şevlerinin tasarımı için dört farklı prosedür ve bu prosedürler için şev duraylılığını analiz etmede gerekli temel veriler tariflenebilir. Tasarım yöntemleri ve tasarım verileri maden ve inşaat mühendisliğinin her ikisi için ortaktır.

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

Şev tasarımı yöntemlerinin hepsinde temel özellik, makaslamanın yüzey gerisinde tek bir kayma yüzeyi üzerinde veya bir zon içinde gelişmesidir. Bu yüzeydeki kesme kuvvetinin (yer değiştirme kuvvetinin) kayanın kesme dayanımından (direnen kuvvetten) büyük olması halinde şev duraylı olmayacaktır.

Duraysızlık, izin verilebilir olan veya olmayan yer değiştirme şeklinde olabilir veya şev aniden ya da ilerlemeli olarak göçebilir. Duraysızlığın tanımı uygulamaya bağlıdır. Mesela, bir açık maden ocağı şevi operasyonları engellemeden birkaç metre yer değiştirmeye maruz kalabilirken, bir köprü abatmanını destekleyen şevde hareket toleransı çok azdır. Ayrıca, bir karayolu yukarısındaki bir tek kaya düşüşü, bunu tutabilecek bir hendek bulunması halinde çok önemli olmayabilir; ancak, şevin önemli bir kısmının yenilerek yola kadar inmesinin sonuçları çok önemli, olabilir.

Bu şev duraylılık kavramlarına dayalı olarak, bir şevin duraylılığı aşağıdaki terimlerden biri veya daha fazlası ile ifade edilebilir:

- Emniyet katsayısı, F_s : Duraylılık, şevin sınır denge analizi ile nicelleştirilir; F_s 1'den büyük ise şev duraylıdır.
- Birim deformasyon: Yenilme, şevin güvenli bir şekilde hizmet vermesini engelleyecek kadar büyük birim deformasyonların başlangıcıyla ya da bir açık ocakta madencilik işletme hızını aşan hareket hızıyla tanımlanır.
- Yenilme Olasılığı: Duraylılık, her biri olasılık dağılımı ile ifade edilen direnen ve yer değiştiren kuvvetler arasındaki farkın olasılık dağılımı ile nicelleştirilir.
- LFRD (yük ve direnç faktör tasarımı): Faktörlü yükler toplamına eşit veya büyük faktörlü direnç ile tanımlanan duraylılık.

Şev tasarımında en yaygın yöntem emniyet katsayısı olup, gerek kaya ve gerekse zemindeki jeolojik koşulların tümüyle ilgili uygulamalarda büyük bir birikim söz konusudur. Ayrıca, değişik amaçlar için kazılan şevlerle ilgili olarak genellikle kabul görmüş emniyet katsayıları mevcut olup, bu değerler sayesinde makul derecede tutarlı tasarımlar yapılabilmektedir. Açık ocak madenciliğinde emniyet katsayısı genellikle 1,2-1,4 aralığında değişir. Açık ocaklarda emniyet katsayısı ya

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

sınır denge analizi ile doğrudan hesaplanır veya sayısal analiz kullanılarak şevde aşırı birini deformasyonların başlangıcı bulunur.

Kaya şevler için probabilistik tasarım yöntemleri ilk olarak 1970'lerde gelişmişse de (Harr. 1977; Canada DEMR, 1978), 2000'li yılların başı itibariyle yaygın bir şekilde kullanılmamaktadırlar. Bunun olası bir nedeni, %5 yenilme olasılığı ve can kaybı olarak ifade edilen yenilme etkileri gibi terimlerin iyi anlaşılmamış olması ve tasarımda kullanılan kabul edilebilir olasılıklar konusunda fazla bir birikimin bulunmamasıdır.

Şevlerde birim deformasyonun hesaplanması, şev tasarımındaki en yeni gelişmelerden biridir. Bu teknik, özellikle süreksizlikleri hesaba katabilen sayısal analiz yöntemlerindeki gelişmelerden doğmuştur (Starfield ve Cundall, 1988). En yaygın olarak kullanıldığı yerler, hareketlere izin verilebilen madencilik alanları ve değişik jeolojik koşullar içeren şevlerdir.

Yük ve direnç faktörü tasarım yöntemi (LFRD) yapısal tasarım için geliştirilmiş olup, günümüzde temeller ve istinat yapıları gibi jeoteknik sistemlerde uygulanmak üzere genişletilmektedir.

Tasarımda kullanılan gerçek emniyet katsayısı, yenilme olasılığı veya izin verilebilir birim deformasyon, her bir saha için uygun şekilde seçilmelidir. Göz önüne alınması gerekli değişik jeoloji ve inşaat faktörlerinden dolayı, tasarım sürecinde tecrübe gerekir. Emniyet katsayısı için üst sınır değerlerini gerektiren koşullar aşağıda tanımlanmıştır:

- Sahadaki koşulları yeterli derecede örnekleyemeyen sınırlı bir sondaj programı veya aşırı derecede mekanik kırılma veya karot kaybı içeren sondaj karotları.
- Jeolojik yapıyı haritalamaya izin veren kaya mostralarının bulunmadığı ve yerel duraylılık koşullarının tarihçesi hakkında bilginin mevcut olmadığı durumlar.
- Dayanım deneyi yapmak için gerekli örselenmemiş numunelerin alınamaması veya laboratuvar deney sonuçlarının arazi koşullarına uyarlanmasında karşılaşılan güçlükler.
- Yeraltı suyu koşulları hakkında bilgi mevcut olmayışı ve yeraltı suyu

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

seviyesinde ciddî anlamda mevsimsel değişimler.

- Şevin yenilme mekanizmasındaki belirsizlik ve analiz yönteminin güvenilirliği. Sözelimi, düzlemsel yenilmeler hatırı sayılı bir güvenilirlik aralığı içerisinde analiz edilebilirken, devrilme tipi yenilme mekanizmasının ayrıntıları o kadar iyi anlaşılamamıştır.
- Malzemeler, incelemeler ve hava koşulları da dâhil olmak üzere, inşaat kalitesini ilgilendiren konular.
- Duraysızlığın sonuçtaki etkileri; emniyet katsayısının yüksek değerleri barajlarda ve ana ulaşım hatlarında kullanılırken, düşük değerleri de geçici yapılarda veya tomruk taşıma veya madencilik amaçlı sanayi yollarında kullanılır.

Bütün şev tasarımlarının hayati bir özelliği, kazıda kullanılan patlatmanın niteliğidir. Tasarımda, kaya kütlelerinin kırıksız (intact) bloklar içerdiği; bunların şekil ve boyutlarının da doğal yollarla oluşan süreksizliklerle belirlendiği varsayılır. Ayrıca, bu süreksizliklerin özellikleri yüzey mostralarından ve sondaj karotlarındaki gözlemlerden tahmin edilebilmelidir. Ancak, şev yüzü arkasındaki kayada hasar ile sonuçlanan aşırı düzey patlatma yapıldığı durumda duraylılık, çatlamış kaya koşullarına bağlı olabilir. Çatlamış kaya özelliklerini kestirmek mümkün olmadığından, duraylılık koşulları da önceden kestirilemez.

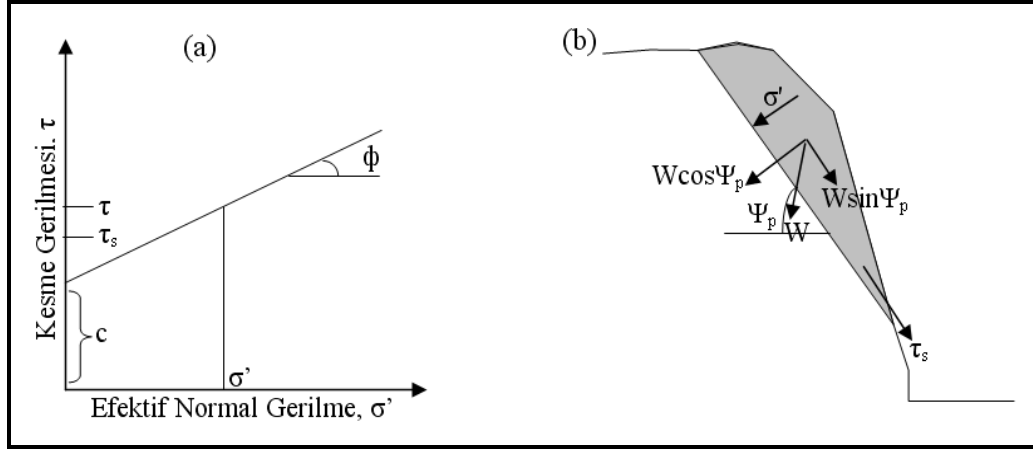
3.1.1.1. Sınır Denge Analizi (Deterministik)

Sınır denge analizinde kaya şevlerinin duraylılığı, kayma yüzeyi boyunca mevcut kesme dayanımına bağlıdır. Kesme tipi tüm yenilmelerde kayanın Mohr-Coulomb malzemesi olduğu varsayılabilir. Bu modelde kesme dayanımı kohezyon (c) ve sürtünme açısı (ϕ) ile ifade edilir. Normal efektif gerilmenin (σ') etkidiği bir kayma yüzeyinde; gelişen kesme dayanımı (τ) Eşitlik 3.6 ile ifade edilir.

$$\tau = c + \sigma' \tan \Phi \quad (3.6)$$

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

Bu eşitlik normal gerilme-kesme gerilmesi diyagramında (Şekil 3.2.(a)) düz bir çizgi olarak ortaya çıkar. Bu düz çizginin kesme gerilmesi eksenini kestiği yer kohezyon değerini, çizginin eğimi de sürtünme açısını verir. Efektif normal gerilme, kayma düzlemi üzerindeki kayanın ağırlığından ileri gelen gerilme ile bu yüzeye etkiyen su basıncından dolayı oluşan kaldırma kuvveti arasındaki farktır.



Şekil 3.2. Bir şevde kayan blok için emniyet katsayısı hesaplama yöntemi.

Şekil 3.2.(b)'de şev yüzeyini kesen ve bir kayma bloğu oluşturan sürekli bir eklem görülmektedir. Şekil 3.2.(b)'de görülen bloğun emniyet katsayısının hesaplanması için kayma yüzeyi üzerine etkiyen kuvvetin bu yüzeye paralel ve dik olarak etkiyen bileşenlerine ayrılması gerekir. Bunun anlamı; kayma yüzeyinin eğimi ψ_p , alanı A ve kayma yüzeyi üzerindeki bloğun ağırlığı da W ise, kayma düzlemi üzerine etkiyen normal gerilme (σ) ve kesme gerilmesi (τ) Eşitlik 3.7.'deki gibi olur.

$$\text{Normal gerilme, } \sigma = \frac{W \cos \psi_p}{A}; \text{ Kesme gerilmesi, } \tau = \frac{W \sin \psi_p}{A} \quad (3.7)$$

Eşitlik 3.7'ye göre, 3.6 eşitliği Eşitlik 3.8 veya 3.9'daki gibi ifade edilebilir.

$$\tau = c + \frac{W \cos \psi_p \tan \Phi}{A} \quad (3.8)$$

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

$$\tau_s A = W \sin \psi_p \text{ ve } \tau A = cA + W \cos \psi_p \tan \Phi \quad (3.9)$$

Eşitlik 3.9'da, $W \sin \psi_p$ terimi, bir bileşke kuvvet olan ağırlığın kayma yüzeyine paralel bileşeni olup, kaydıran kuvvet olarak adlandırılır. $cA + W \cos \psi_p$ terimi ise, kayma yüzeyine paralel ve yukarı yönde etkiyerek kaymaya karşı koyan ve bu nedenle direnen kuvvetler olarak adlandırılan kesme dayanımı kuvvetlerini ifade eder. Şekil 3.2.(b)'deki bloğun duraylılığı, direnen kuvvetlerin kaydıran kuvvetlere oranı şeklinde nicelleştirilebilir ve bu orana emniyet katsayısı (F_s) denir. Bu nedenle, emniyet katsayısının tanımı Eşitlik 3.10'teki gibi yapılır.

$$F_s = \frac{\text{DirenenKuv.}}{\text{KaydıranKuv.}} = \frac{cA + W \cos \psi_p \tan \Phi}{W \sin \psi_p} \quad (3.10)$$

3.4 eşitliğinde tanımlanan yer değiştiren kesme gerilmesi (τ_s) ve direnen kesme gerilmesi (τ) Şekil 3.2.(a)'da grafiğe aktarılmıştır. Şekilde direnen gerilmenin yer değiştiren gerilmeyi aştığı görülmektedir. Bu nedenle, emniyet katsayısı 1'den büyük ve şev duraylıdır.

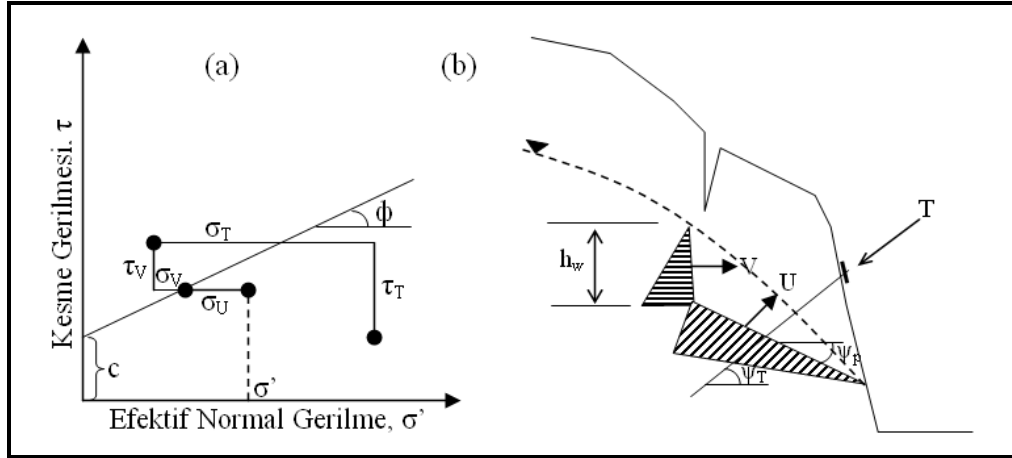
Kayma yüzeyinin temiz olması ve hiçbir dolgu içermemesi durumunda kohezyonun sıfır olması muhtemeldir. Bu durumda 3.10 eşitliği 3.11'deki gibi olur.

$$F_s = \frac{\cos \psi_p \tan \Phi}{\sin \psi_p} \text{ ya da, } \psi_p = \Phi \text{ olduğunda } F_s = 1 \quad (3.11)$$

3.11'deki eşitlikler, destek içermeyen kuru ve temiz yüzeylerde, kayma yüzeyinin eğim açısı bu yüzeyin sürtünme açısına eşit olduğu zaman, kaya bloğunun kayacağını ve duraylılığın da kaya bloğunun boyutundan bağımsız olduğunu göstermektedir. Bunun anlamı, kaydıran kuvvetler tam olarak direnen kuvvetlere eşit olduğu zaman, blok sınır denge durumundadır ve emniyet katsayısı 1,0'e eşittir. Bu nedenle, tanımlanan şev duraylılık analiz yöntemi sınır denge analizi olarak adlandırılmaktadır.

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

Sınır denge analizi çok geniş aralıktaki koşullara uygulanabilir ve kayma yüzeyine etkiyen su kuvvetlerinin yanında, gerdirmeli kaya ankrajları tarafından sağlanan dışarıdan güçlendirme kuvvetlerini de hesaba katabilirler. Şekil 3.3.(a)'da alanı A ve eğimi ψ_p olan bir kayma yüzeyi ile bir çekme çatlağı içeren bir şev görülmektedir. Şev, çekme çatlağı yarı yüksekliğine kadar suyla doldurulmuş şekilde yarı doygun olup, su tablasının diğer önemli referans noktası kayma yüzeyinin şev yüzünü kestiği noktada yer almaktadır. Çekme çatlağında ve kayma yüzeyinde oluşan su basınçları üçgen şekilli kuvvet diyagramları ile elde edilebilir. Çekme çatlağı tabanında ve kayma yüzeyinin üst sınırında maksimum su basıncı (p) Eşitlik 3.12'deki gibi ifade edilir.



Şekil 3.3. Yer altı suyu ve ankraj kuvvetlerinin F_s üzerine etkisi.

$$p = \gamma_w h_w \quad (3.12)$$

Burada, γ_w : Suyun birim ağırlığı ve h_w : Çekme çatlağındaki suyun düşey yüksekliğidir. Bu varsayıma dayalı olarak, çekme çatlağı üzerine (V) ve kayma düzlemi üzerine etkiyen su kuvveti (U) Eşitlik 3.13'deki gibi bulunur.

$$V = 0,5\gamma_w h_w^2 \text{ ve } U = 0,5\gamma_w h_w A \quad (3.13)$$

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

Şevin emniyet katsayısı da 3.11 eşitliğinin, Eşitlik 3.14'deki gibi değiştirilmesiyle bulunur.

$$F_s = \frac{cA + (W \cos \psi_p - U - V \sin \psi_p) \tan \Phi}{W \sin \psi_p + V \cos \psi_p} \quad (3.14)$$

Benzer şekilde, ankraj kayma düzlemi altına kadar yerleştirilecek biçimde, gerdirmeli ankraj içeren güçlendirilmiş bir şev için de bir denklem geliştirilebilir. Ankrajdaki gerdirmenin T olması ve yataydan aşağı ψ_T açısı yapacak şekilde yerleştirilmesi halinde, ankraj gerdirmesinden dolayı kayma yüzeyine etkiyen normal gerilme (N_T) ve kesme gerilmesi (S_T) Eşitlik 3.15'teki gibi olur.

$$N_T = T \sin(\psi_t + \psi_p) \text{ ve } S_T = T \cos(\psi_t + \psi_p) \quad (3.15)$$

Kısmen doymuş, ankrajlı şev için emniyet katsayısı (F_s) da Eşitlik 3.16'daki gibi olacaktır.

$$F_s = \frac{cA + (W \cos \psi_p - U - V \sin \psi_p + T \sin(\psi + \psi_T)) \tan \Phi}{W \sin \psi_p + V \cos \psi_p - T \cos(\psi_p \psi_T)} \quad (3.16)$$

Şekil 3.3.(b)'de kayma düzlemi üzerinde su ve ankraj kuvvetinden ileri gelen normal gerilme ile kesme gerilmesi ile bunların emniyet katsayısına etkisi Mohr diyagramında görülmektedir. Başka bir deyişle, duraylılığı bozan su gibi kuvvetler, normal gerilmeyi azaltmakta, kesme gerilmesini arttırmakta, bileşke kuvvetlerin sınır dayanım durumu üzerine düşmesine neden olmakta ve böylece duraysızlığa (B noktası) işaret etmektedir. Bunun aksine, duraylılığı artırıcı kuvvetler (ankrajlama ve drenaj) normal gerilmeyi arttırmakta, kesme gerilmesini azaltmakta, bileşke kuvvetin sınır dayanım çizgisi altına düşmesine neden olmakta ve böylece duraylılığa (C noktası) işaret etmektedir. Şekil 3.3.(b)'deki kuvvet diyagramı ayrıca ankrajların

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

optimum eğim açısını (yani, bir kaya ankraj kuvveti için en büyük emniyet katsayısını veren eğimi) bulmada da kullanılır.

$$\psi_{T(opt)} = (\Phi - \psi_p) \text{ veya } \Phi = \psi_p + \psi_{T(opt)} \quad (3.17)$$

3.17 eşitliği uygulandığında, ankrajın yatay üzerinde yerleştirilmesi gerektiği (yani, ψ_T 'nin negatif olduğu) görülebilir. Ancak, delgi ve enjeksiyonlamanın daha kolay olması nedeniyle, uygulamada ankrajların daha çok yatayın altına yerleştirilmesi tercih edilmektedir.

Kaya şevlerinin duraylılığını hesaplamada kullanılan bu sınır denge analiz örnekleri, bu yöntemin geniş bir aralıktaki koşullara uygulanabilir kullanışlı bir yöntem olduğunu göstermektedir. Sınır denge analizinin bir sınırlaması, tüm kuvvetlerin bloğun ağırlık merkezine etkidiklerinin ve hiçbir momentin oluşmadığının varsayılmasıdır.

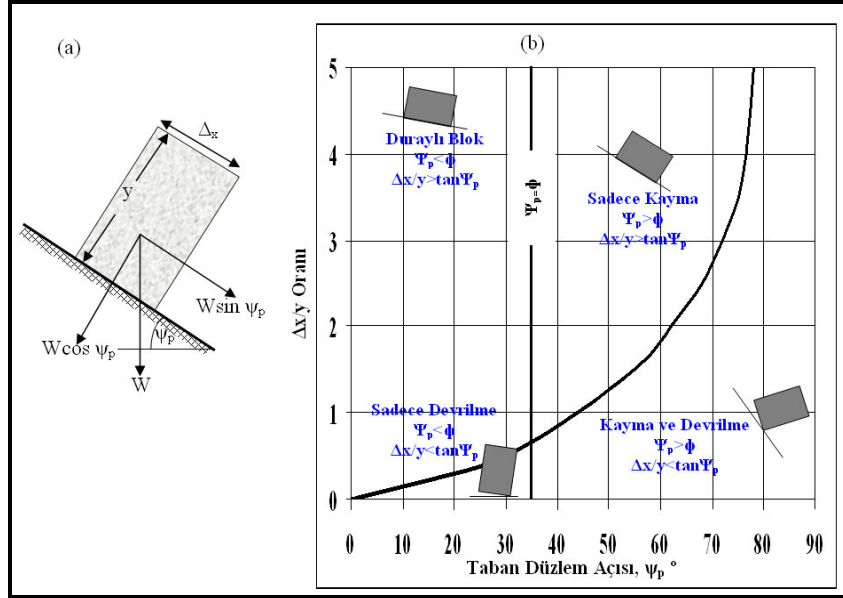
Bu analiz yöntemi, bir düzlem üzerinde kayan bloğa uygulanabilir. Ancak, belirli geometrik koşullar altında blok, kayma yerine devrilme gösterebilir; böyle bir durumda başka bir sınır denge analizi kullanılmalıdır. Şekil 3.4'te blok genişliği, yüksekliği, düzlem eğimi ve bu düzlemin sürtünme açısı ile ilişkili olarak duraylı, kayan ve devrilen blokları ayıran koşullar verilmiştir. Kayan bloklar düzlemsel veya kama tipi yenilmeler olarak analiz edilirken, devrilme tipi yenilme farklı bir şekilde ele alınmaktadır. Şekil 3.4.(b)'de devrilmenin oluşması için gerekli koşulların çok sınırlı olduğu görülmektedir; bu tür yenilme gerçekte kayma tipi yenilmelere kıyasla çok az karşılaşılan bir yenilme tipidir.

3.1.1.2. Hassasiyet Analizi

Sınır denge (emniyet katsayısı) analizi şevdeki kaydıran ve direnen kuvvetleri tanımlayan parametreler için sadece bir değer seçilmesini gerektirir. Gerçekte, her bir değer için belirli bir dağılım aralığı söz konusu olup, bu değişkenliğin emniyet katsayısı üzerindeki etkisini inceleme konusunda bir yöntem, tasarım için kritik kabul edilen parametrelerin alt ve üst sınırlarını kullanarak bir hassasiyet analizinin yapılmasıdır.

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

Ancak, üçten daha fazla parametre için hassasiyet analizi yapılması uzun zaman alan bir işlem olup, parametrelerin her biri arasındaki, ilişkinin incelenmesi zordur. Sonuç olarak, yaygın olarak başvuru olan tasarım yönteminde, tasarım parametrelerindeki değişkenliğin duraylılık üzerine etkisini değerlendirmede ve sonra uygun bir emniyet katsayısını seçmede analiz ile kanaat birlikte kullanılır.



Şekil 3.4. Kayan ve devrilen blokların belirlenmesi.

Hassasiyet analizinin değeri, duraylılık üzerinde en büyük etkinin hangi parametreden kaynaklandığının değerlendirilmesidir. Bu bilgi daha sonra bu parametreleri daha kesin olarak tanımlayan verileri toplamak üzere inceleme programlarının planlanmasında kullanılabilir. Alternatif olarak, önemli bir tasarım parametresinin değerinde bir belirsizlik olması durumunda, uygun bir emniyet katsayısı değeri kullanmak suretiyle bu durum hesaba katılabilir.

3.1.1.3. Probabilistik (Olasılıklı) Tasarım Yöntemleri

Probabilistik tasarım, her bir parametrenin değişkenliğinin şev duraylılığı üzerine etkisini incelemeye sistematik bir prosedürdür. Emniyet katsayısının olasılık dağılımı hesaplanır ve bundan da şevin yenilme olasılığı belirlenir.

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

Probabilite (olasılık) analizi ilk olarak 1910'larda geliştirilmiş olup, karmaşık sistemlerin güvenilirliğini incelemek üzere yapısal ve uzay mühendisliği alanlarında kullanılmaktadır. Bu kavramın jeoteknik mühendisliği alanındaki ilk kullanımlarından biri, belirli bir yenilme riskinin kabul edilebilir olduğu ve bu tip bir analizin ekonomik bir madencilik planlamasına kolaylıkla dâhil edilebildiği açık ocak işletmelerindeki şev tasarımıdır (Canada DEMR, 1978; Pentz, 1981; Savely, 1987).

Sınırlı miktarda ve tüm veriler için temsilci olmayan tasarım verileri söz konusu olduğu zaman, probabilistik tasarımın kullanılması bazen tercih edilmeyebilir. Böyle durumlarda, az sayıdaki örneklerden makul derecede güvenilir olasılık değerleri sağlayan öznel değerlendirme tekniklerinin kullanılması mümkündür (Roberds, 1990). Bu tekniklerin temel özelliği, uzman kişilerin fikirlerini temsil eden olasılık dağılımları konusunda bir fikir birliği elde etmek için, mevcut verilerin bu alanda bir uzman veya uzmanlar grubu tarafından değerlendirilmesi ve analiz edilmesidir. Sonuçların savunulabilirlik derecesi, analizde harcanan zaman ve para ile artma eğilimindedir. Meselâ, değerlendirme teknikleri en basit olarak sıradan bir uzman görüşünden, Delphi panelleri (Rohrbaugh, 1979) gibi daha güvenilir ve savunulabilir tekniklere kadar değişim gösterir. Bir Delphi paneli, her birine ayrı veriler temin edilen ve bu veriler için yazılı bir değerlendirme yapması istenen bir grup uzmanı içerir. Bu belgeler daha sonra diğer değerlendirmelerin her birine verilir ve kendi değerlendirmelerini ortaklarının bulduğu sonuçlar ışığında ayarlaması teşvik edilir. Bu süreç birkaç kez tekrarlandıktan sonra, birlikteliği sağlayan ve bireysel düşünceden bağımsız olan ortak bir görüşe varmak mümkündür.

Probabilite analizinin tasarımda kullanımı, emniyet katsayılarında olduğu gibi, farklı tip yapılar için yenilme olasılığının genellikle kabul edilebilir bir aralığının olmasını gerektirir. Yenilme olasılığı için uygun değerleri seçmeye yardımcı olmak üzere, Alhanasiou-Grivas (1979) emniyet katsayısını yenilme olasılığı ile ilişkilendiren diyagramlar sağlamıştır.

Dağılım fonksiyonları, probabilite analizinde belirsizlik içeren her bir parametreye olasılık yoğunluk fonksiyonu ile tanımlanan bir değerler aralığı tayin

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

edilir. Jeoteknik veriler için uygun bazı dağılım tipleri normal, beta, negatif üssel ve üçgen dağılımları kapsar. Fonksiyonun en yaygın tipi, ortalama değerin en sık oluşan değer olduğu normal dağılımdır. Normal dağılımın yoğunluğu Eşitlik 3.18'teki gibi tanımlanır.

$$f(x) = \frac{1}{SD\sqrt{2\pi}} e^{-0,5\left[\frac{(x-\bar{x})}{SD}\right]^2} \quad (3.18)$$

Eşitlik 3.18'de, x , ortalama değer olup, Eşitlik 3.19'daki gibi tanımlanır ve SD şeklinde ifade edilen standart sapmadır (Eşitlik 3.20).

$$\bar{X} = \frac{\sum_{x=1}^n X}{n} \quad (3.19)$$

$$SD = \left[\frac{\sum_{x=1}^n (x - \bar{x})^2}{n} \right]^{1/2} \quad (3.20)$$

Normal dağılımın önemli bir özelliği, eğrinin altındaki toplam alanın 1,0 olmasıdır. Bunun anlamı, parametrenin tüm değerlerinin eğrinin sınırları içine düşmesi halinde olasılığın 1 olmasıdır. Ayrıca, değerlerin %68'i ortalamanın her bir tarafında birer standart sapma ile sınırlanan aralığa düşer; %95'i ise, ortalamanın her bir tarafında iki standart sapma ile sınırlanan alana düşer. Bunun tersine, oluşma olasılığını belirtmek suretiyle, normal dağılım tanımlanan bir parametrenin değeri bulunabilir.

Normal dağılım her iki yönde sonsuza uzansa da, bir parametrenin olası üst ve alt sınırların tanımlanabildiği jeoteknik verilerde bu durum çoğu zaman gerçekçi bir açıklama şekli olmaz. Bu koşullar için sonlu maksimum ve minimum noktaları içeren ve üniform, sola veya sağa çarpık, U veya J şekilli olabilen beta dağılımının kullanılması daha uygundur (Harr, 1977). Ancak, verilerin dağılımı konusunda mevcut bilgilerin fazla olmadığı durumlarda basit üçgen dağılım kullanılabilir ve bu dağılım da en olası, minimum ve maksimum değerler ile tanımlanır.

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

Yenilme olasılığı, şevde yer değiştirici direnen kuvvetlerin göreceli büyüklüğünün incelenmesi anlamında, emniyet katsayısında olduğu gibi basit bir şekilde hesaplanır. Güvenilirlik katsayısı için yaygın iki hesaplama yöntemi; emniyet yöntemi marjini ile Monte Carlo yöntemidir. Emniyet marjini, direnen ve yer değiştiren kuvvetler arasındaki fark olup, emniyet marjininin negatif olması durumunda şev duraysızdır. Direnen ve yer değiştiren kuvvetler matematiksel olarak tanımlanabilir olasılık dağılımları iseler, emniyet marjini için üçüncü bir olasılık dağılımı hesaplamak mümkündür. Direnen kuvvet dağılımının alt sınırı yer değiştiren kuvvet dağılımı üst sınırından küçük ise, yenilme olasılığı vardır. Direnen ve yer değiştiren kuvvetlerin normal dağılımlar ile tanımlanması halinde emniyet marjini de normal dağılımlıdır. Bu dağılımın standart sapması Eşitlik 3.21 ve 3.22'den hesaplanır.

$$\text{Emniyet marjini ortalaması} = \bar{f}_r - \bar{f}_d \quad (3.21)$$

$$\text{Emniyet marjini standart sapması} = (SD_r^2 + SD_d^2)^{1/2} \quad (3.22)$$

Burada, $\bar{f}_r$ ve $\bar{f}_d$, ortalama değerler; SD_r ve SD_d ise, direnen ve yer değiştiren kuvvetlerin dağılımlarının standart sapmalarıdır.

Emniyet marjininin ortalama ve standart sapması bu şekilde hesaplandıktan sonra, yenilme olasılığı normal dağılımın özelliklerinden hesaplanabilir. Emniyet marjini kavramının sadece direnen ve yer değiştiren kuvvetlerin bağımsız değişkenler olduğu zaman kullanılabileceğine dikkat etmek gerekir. Bu koşul, yer değiştiren kuvvetin kayan kütlede ağırlık olduğu ve direnen kuvvetin de yerleştirilen donatı olduğu duruma uygulanabilir. Ancak, direnen kuvvet kayanın kesme dayanımı olduğu zaman, bu kuvvet ile birlikte yer değiştiren kuvvet şev ağırlığının fonksiyonudur ve bağımsız değişken değildir. Böyle durumlarda aşağıda açıklanan Monte Carlo analizinin kullanılması gerekir.

Monte Carlo analizi, yenilme olasılığının hesaplanması için alternatif bir yöntem olup, daha önce tanımlanan emniyet marjini yönteminden daha kullanışlıdır.

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

Monte Carlo analizinde çok karmaşık olabilen integrasyon işlemlerine girilmez. Beta dağılımı durumunda kesin bir çözüm elde edilemez. Monte Carlo analizinin özel değeri, dağılım tiplerinin herhangi bir karışımı ve (birbirine bağımlı olsun veya olmasın) istenen sayıda değişken ile çalışma yeteneğinden ileri gelir (Harr, 1977; Athanasiou-Grivas, 1980). Monte Carlo tekniği aşağıdaki adımları kapsayan tekrarlı bir prosedürdür.

- Değişken girdi parametrelerinin her birinin olasılık dağılımları hesaplanır.
- Her bir parametre için rasgele değerler oluşturulur.
- Yer değiştiren ve direnen kuvvetlerin değerleri hesaplanır ve direnen kuvvetin yer değiştiren kuvvetten büyük olup olmadığına bakılır.
- Süreç N kere ($N > 100$) tekrarlanır ve sonra yenilme olasılığı (P_f) Eşitlik 3.23'teki orandan bulunur.

$$P_f = \frac{N - M}{N} \quad (3.23)$$

Burada, M, direnen kuvvetlerin yer değiştiren kuvvetleri aştığı (yani, emniyet katsayısının 1,0'den büyük olduğu) tekrar sayısıdır.

Monte Carlo analizinde, emniyet katsayısı girdi değişkenlerinin ortalama veya en olası değerlerinden hesaplanırken; probabilistik analizde, seçilen girdi değişkenleri olasılık yoğunluk fonksiyonları olarak ifade edildiği zaman, emniyet katsayısının dağılımı hesaplanır.

3.1.1.4. Yük ve Direnç Faktörü Tasarımı (LFRD)

Bu tasarım yöntemi, yük ve direncin her ikisindeki değişkenliği hesaba katan yapısal tasarım için rasyonel bir tasarım temeli geliştirmek üzere olasılık teorisinin kullanımına dayanır. Burada amaç, köprüler gibi çelik ve beton yapılar ile farklı yükleme koşulları altındaki temeller gibi jeoteknik yapılar için tekdüze bir emniyet marjini elde etmektir. Yapı mühendisliğinde geliştirilen LFRD yöntemi köprüler gibi büyük yapıların tasarımında geniş bir şekilde kullanılmaktadır (CSA, 1988, ECS,

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

1995 ve AASHTO, 1996). Temel tasarımının yapısal tasarım ile tutarlı olması için, LFKD yöntemi jeoteknik mühendisliğini de içerecek şekilde genişletilmiştir (Transportation Research Board, 1999).

Jeoteknik mühendisliğindeki ilk LFRD uygulamaları, sınır durumlar tasarımı terimini kullanan ve aşağıda açıklanan iki sınır durumunu öneren Meyerhoff (1984) tarafından yapılmıştır. Birincisi, öngörülen hizmet ömrü sırasında yapının ve bileşenlerinin makul derecede oluşabilecek maksimum yükler altında göçmeye karşı yeterli emniyet marjinine sahip olmasıdır. İkincisi, yapı ve bileşenlerinin, aşırı deformasyonlar veya kötüleştirmeler olmaksızın tasarlanmış fonksiyonları sunmasıdır. Bu iki hizmet düzeyi nihai ve servis veribilirlik sınır durumları olup, aşağıdaki gibi tanımlanır:

- Nihai sınır durumu: Kayma, devrilme ve aşırı bozulmadan ileri gelen duraysızlık da dâhil olmak üzere, yapının göçmesi ve şev yenilmesi.
- Hizmet veribilirlik sınır durumu: Aşırı deformasyonun ve kabul edilemez kötüleştirmenin başlangıcı.

LFRD tasarımının temeli, yüklerin ve dirençlerin parametrelerdeki belirsizlik ve değişkenlik derecesini yansıtan faktörlerle çarpılmasıdır. Tasarım için gereken şey, faktörlü direncin faktörlü yüklere eşit veya daha büyük olmasıdır. Bu durum matematiksel olarak Eşitlik 3.24'teki gibi ifade edilir.

$$\Phi_k R_{nk} \geq \sum \eta_{ij} \gamma_{ij} Q_{ij} \quad (3.24)$$

Eşitlik-3.24'te, Φ_k : direnç faktörü, R_{nk} : k'ncı yenilme modu veya hizmet veribilirlik sınır durumu için nominal dayanım, η_{ij} : elemanın veya sistemin sünekliği, taşıdığı veya işletimsel önemini hesaba katan faktör, γ_{ij} : yük faktörü ve Q_{ij} : göz önüne alınan yükte j'inci yük kombinasyonundaki i'nci yük tipi için eleman yük etkisidir.

3.24 eşitliğinin uygulamasında yük duraylılık için faydalı olmadığı sürece yük faktörleri 1'den büyük ve direnç faktörleri 1'den küçüktür. Buradan hareketle, bir

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

kayma yüzeyinin kesme direnci için Mohr-Coulomb denklemi Eşitlik 3.25'deki gibi ifade edilebilir.

$$\tau = f_c + (\sigma - f_u U) f_\phi \tan \Phi \quad (3.25)$$

Kohezyon (c), sürtünme açısı (ϕ) ve su basıncının (U) her biri l'den küçük kısmi faktörlerle çarpılırken, kayma yüzeyi üzerindeki normal gerilme (σ) şev ağırlığına ve uygulanan herhangi yüklere tatbik edilen ve l'den büyük olan kısmî yük faktörü kullanılarak hesaplanır. Direnç faktörlerinin gerçek değerleri, inşaat sırasındaki deneyin kapsamı ve hareketli yükün ölü yüke oranı gibi faktörlere bağlı olarak değişir. LFRD, çoğu zaman sadece (bir örnek olması bakımından) şevin bir köprü abatmanının bir bileşeni olduğu şev tasarımında kullanılmaktadır.

3.2. Şev Yenilme Türleri

3.2.1. Düzlemsel Yenilme

Bir düzlemsel yenilme, gerçek bir şevde bu tür bir yenilme oluşması için gerekli tüm geometrik koşullar çok sık olarak bir araya gelmediği için, kaya şevlerinde nispeten seyrek rastlanılan bir durumdur. Ancak bu basit yenilme biçimi, mekaniğinin göz önüne alınmasından çıkarılacak çok sayıda faydalı dersler olduğundan, iki boyutlu durumu ihmal etmek doğru bir yaklaşım olmayacaktır.

Düzlemsel yenilme, şevin kesme dayanımında ve yeraltı suyu koşullarındaki değişimlere karşı hassasiyetini ortaya koymada özellikle önemlidir. Bu değişimler, daha karmaşık olan üç boyutlu şev yenilmesi ile çalışıldığı zaman daha az belirgin olan değişimlerdir.

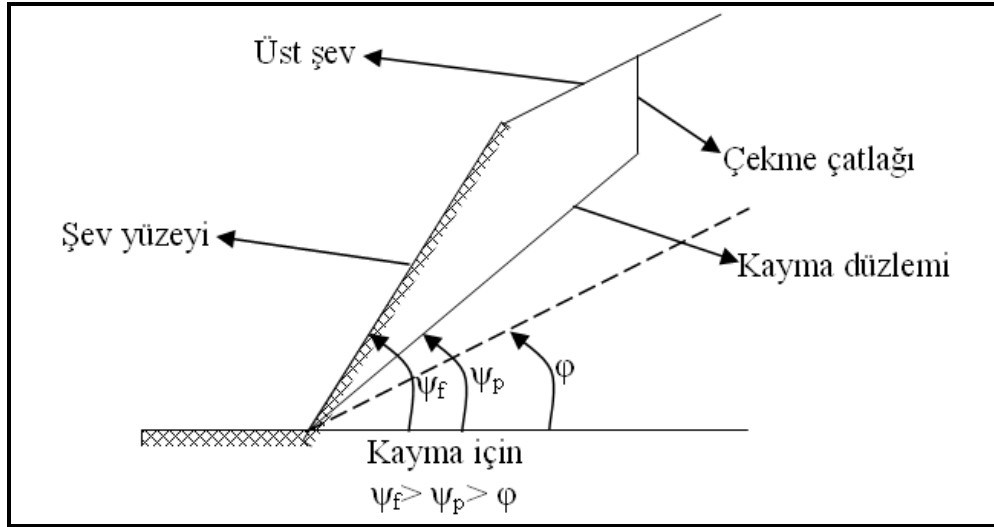
Şekil 3.5'te, bir kaya bloğunu şev yüzeyini kesen bir düzlem üzerinde kaydığı tipik düzlemsel yenilme görülmektedir.

Düzlemsel bir yenilme olabilmesi için aşağıdaki geometrik koşullar sağlanmalıdır:

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

- Kaymanın geliştiği düzlemin doğrultusu, şev yüzeyine paralel veya paralele çok yakın (yaklaşık $\pm 20^\circ$ içinde) olmalıdır.
- Kayma düzlemi, şev yüzeyini kesmelidir; yani, düzlemin eğimi, şev yüzeyinin eğiminden küçük ($\psi_f > \psi_p$) olmalıdır.
- Kayma düzleminin eğimi, aynı düzlemin sürtünme açısından büyük ($\psi_p > \phi$) olmalıdır.
- Kayma yüzeyinin üst ucu, ya üst şevi ya da bir çekme çatlağını keser.
- Kaymanın yanal sınırlarını belirlemek için, kaymaya karşı ihmal edilebilir direnç sergileyen salıverme yüzeylerinin bulunması gerekir. Seçenek olarak, kayma düzlemi, şevin dışbükey burnu boyunca gelişebilir.

Düzlemsel yenilme analizlerinde, çekme çatlakları ve yeraltı suyu koşullarına bağlı olarak şev geometrileri iki sınıfa ayrılır; a) üst yüzeyde çekme çatlağı içeren şevler (Şekil 3.6(a) ve b) çekme çatlağı eğimli şev yüzeyi üzerinde olanlar (Şekil 3.6(b)).



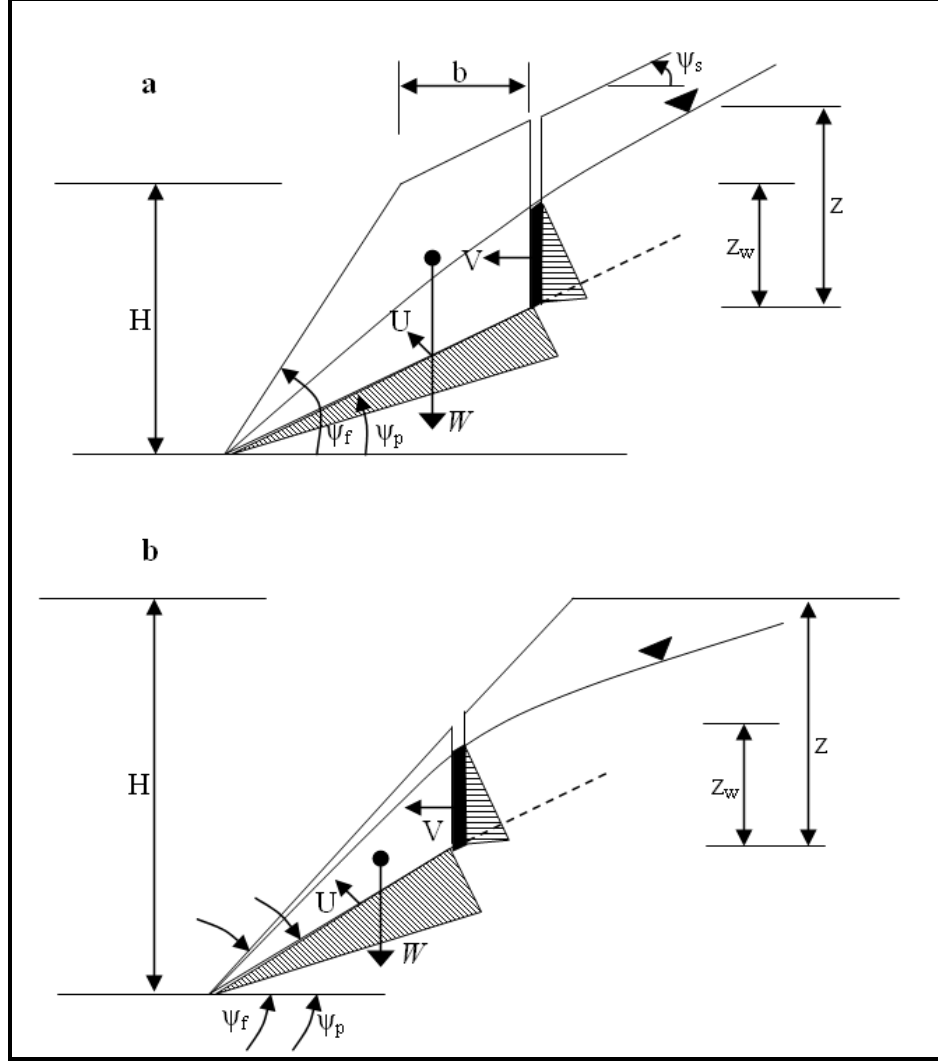
Şekil 3.5. Düzlemsel yenilme oluşturan düzlemleri gösteren enine kesit.

Üst yüzey yatay ($\psi_s=0$) olduğu zaman, çekme çatlağı tam şev tepesine rastladığında, bir koşuldan diğerine geçilir. Bu geçiş koşulu Eşitlik 3.26 ile gösterilebilir.

$$z / H = (1 - \cot \psi_f \tan \psi_p) \quad (3.26)$$

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

Eşitlik 3.26'da; z : Çekme çatlağının derinliği, H : Şev yüksekliği, ψ_f : Şev yüzeyinin eğim açısı ve ψ_p : Kayma düzleminin eğimidir.



Şekil 3.6. Düzlemsel şev yenilmesinin geometrileri: a) Üst şevde çekme çatlağı; b) Şev yüzeyinde çekme çatlağı (Hoek ve Bray, 1981).

Düzlemsel yenilme analizinde şu varsayımlar kullanılır:

- Kayma yüzeyi ve çekme çatlağının ikisinin de doğrultusu şeve paraleldir.
- Çekme çatlağı düşey olup, z_w derinliğine kadar suyla doludur.

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

- Su kayma düzlemine, çekme çatlağının tabanından girer, kayma yüzeyi boyunca sızar ve kayma yüzeyinin şev yüzeyini kestiği yerde atmosferik basınçta dışarı çıkar.
- Kayan bloğun ağırlığı (W), kayma yüzeyinde su basıncından dolayı kaldırma kuvveti (U) ve çekme çatlağında su basıncından ileri gelen kuvvet (V) gibi kuvvetlerin hepsi, kayan kütlenin merkezine etkirler. Diğer bir deyişle, bloğun dönmesine yol açabilecek momentler yoktur ve bu nedenle, yenilme yalnızca kayma şeklinde olur. Ancak, süreksizlik eğimlerinin yüksek olduğu çok fazla eğimli şevlerde devrilme tipi yenilme olasılığı da bulunmaktadır.
- Kayma yüzeyinin kesme dayanımı (τ), kohezyon (c) ve sürtünme açısına (ϕ) bağlı olarak $\tau = c + \sigma \cdot \tan \phi$ 'den belirlenir. Pürüzlü bir yüzey ya da kesme dayanım zarfı eğrisel olan bir kaya kütlesi durumunda, görünür kohezyon ve görünür sürtünme açısı, kayma yüzeyi üzerindeki normal gerilmeyi hesaba katan bir teğet ile tanımlanır.
- Yenilen kaya kütlesinin yanal sınırlarında, kaymaya karşı direnç olmayacak şekilde, salıverme yüzeylerinin mevcut olduğu varsayılır.
- İki boyutlu şev problemlerinin analizinde, genellikle şev yüzeyine dik açılarda alınmış bir dilimin birim kalınlığı göz önüne alınır. Bunun anlamı, şevden geçen düşey bir kesitte kaymanın alanı, kayma yüzeyinin uzunluğu ile temsil edilebilir; kayan bloğun hacmi de bloğun kesit alanı ile temsil edilir.

Düzlemsel yenilme için emniyet katsayısı, şev üzerine etkiyen tüm kuvvetleri, kayma yüzeyine paralel ve dik bileşenlerine ayırmak suretiyle hesaplanır. Düzlem aşağı yönde etkiyen kesme kuvvetlerinin vektör toplamına (ΣS) kaydıran kuvvetler denir. Toplam normal kuvvetlerin (ΣN), içsel sürtünme açılarının tanjantı ile çarpımının kohezyon ile toplamı direnen kuvvetler olarak tanımlanır. Kayan bloğun emniyet katsayısı (F_s) ise direnen kuvvetlerin kaydıran kuvvetlere oranı olup Eşitlik 3.27'den hesaplanır.

$$F_s = \text{Direnen Kuvvet} / \text{Kaydıran Kuvvet} = \frac{cA + \Sigma N \tan \phi}{\Sigma S} \quad (3.27)$$

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

Eşitlik 3.27’de; c: Kohezyon ve A: Kayma düzleminin alanıdır. Çekme çatlağı üst şevde ve şev yüzeyinde olan her iki tür geometriye sahip şev için emniyet katsayısı ise Eşitlik 3.28’deki gibidir.

$$F_s = \frac{cA + (W \cos \psi_p - U - V \sin \psi_p) \tan \phi}{W \sin \psi_p + V \cos \psi_p} \quad (3.28)$$

Formülde;

$$A = (H + b \tan \psi_s - z) \operatorname{cosec} \psi_p \quad (3.29)$$

Şev yüksekliği H, çekme çatlağı derinliği z olup, çekme çatlağının yeri şev tepesinin b kadar gerisindedir. Çekme çatlağındaki suyun derinliği z_w olduğu zaman, kayma düzlemi üzerine etkileyen su kuvvetleri U ve çekme çatlağındaki V aşağıdaki Eşitlik 3.30 ve 3.31’deki gibi ifade edilir.

$$U = 0,5 \gamma_w z_w (H + b \tan \psi_s - z) \operatorname{cosec} \psi_p \quad (3.30)$$

$$V = 0,5 \gamma_w z_w^2 \quad (3.31)$$

Eşitlik 3.30 ve 3.31’de; γ_w : Suyun birim ağırlığıdır. Çekme çatlağı üst şevde olan şev geometrisi için kayan bloğun ağırlığı ise Eşitlik 3.32’deki gibidir.

$$W = \gamma_r [(1 - \cot \psi_f \tan \psi_p)(bH + 0,5H^2 \cot \psi_f) + 0,5b^2(\tan \psi_s - \tan \psi_p)] \quad (3.32)$$

Şev yüzeyindeki çekme çatlağı geometrisi için kayan bloğun ağırlığı;

$$W = 0,5 \gamma_r H^2 [(1 - z/H)^2 \cot \psi_p \times (\cot \psi_p \tan \psi_f - 1)] \quad (3.33)$$

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

Eşitlik 3.32 ve 3.33'te; γ_r : Kayanın birim ağırlığıdır. Bir düzlemsel yenilme geometrisini ve yeraltı suyu koşullarını ifade eden tüm bu eşitlikler, çok farklı koşullarda duraylılığın hesaplanmasına olanak sağlar.

3.2.1.1. Yeraltı Suyunun Duraylılığa Etkisi

Şev duraylılığını etkileyen tek faktörün, çekme çatlağı içindeki ve kayma yüzeyi boyunca bulunan su olduğu varsayımı, her zaman geçerli olmayabilir. Su basıncını göz önüne alarak, bir akım ağı oluşturmak suretiyle, eşpotansiyel çizgilerinin kayma yüzeyini kestiği yerlerden basınç dağılımlarının belirlenmesi gerekebilir. Kaya kütlesi geçirimsizliği, yüzeydeki sızmalar, şevin üst tarafındaki beslenme yerleri ve piyezometrik ölçümler, akım ağlarını oluşturmada kullanılabilirler. Kaya şevlerinde oluşması muhtemel dört farklı yeraltı suyu durumu için su kuvvetleri U ve V farklı eşitliklerle hesaplanabilir.

- Yeraltı su seviyesi çekme çatlağının tabanından yukarıda olduğunda su basınçları hem çekme çatlağına hem de kayma düzlemine etki eder. Bu durumda su kuvvetleri Eşitlik 3.30 ve 3.31'den hesaplanabilir.
- Çekme çatlağı dışında kalan kaya kütlelerinin diğer kısımlarının nispeten geçirimsiz olduğu ve meteorik etkilerle (aşırı sağanak yağış gibi) çatlağın su ile dolduğu durumlarda, kaldırma kuvveti (U) sıfır ya da sıfıra yakın bir değerdedir. Bu tip geçici durumlarda şevin emniyet katsayısı, $U=0$ ve V'de Eşitlik 3.31'den hesaplanıp Eşitlik 3.28'de yerlerine koyularak hesaplanabilir.
- Şev yüzeyindeki yeraltı suyu boşalımı don etkisiyle engellendiğinde şevde su basınçları gelişebilir ve kaldırma kuvveti (U) Şekil 3.6'da görülen değerleri aşabilir. Şekil 3.7(a)'da görülen dikdörtgen su basıncı için kaldırma kuvveti Eşitlik 3.34'deki gibidir.

$$U=A_p \quad (3.34)$$

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

Eşitlik 3.34'te A = Kayma düzleminin alanı ve p = düzleme (ve çekme çatlağının tabanına) etkiyen basınç olup Eşitlik 3.35'ten hesaplanabilir. Şekil 3.7(a)'daki durum nadiren gelişebilse de, emniyet katsayısını düşürebilir.

$$p = \gamma_w Z_w \quad (3.35)$$

- Yeraltı su seviyesinin çekme çatlağının tabanının altında olması durumunda, su basıncı yalnızca kayma düzlemi üzerine etkir (Şekil 3.7-b) ve suyun, kayma düzleminin şev yüzeyini kestiği yerde şevi terk etmesi halinde, su basıncı üçgen bir dağılım gösterip kaldırma kuvveti (U) Eşitlik 3.36'dan hesaplanabilir.

$$U = \frac{1}{2} \frac{z_w}{\sin \psi_p} h_w \gamma_w \quad (3.36)$$

Burada; h_w = Kayma düzlemi doygun kısmının orta noktasında suyun derinliğidir.

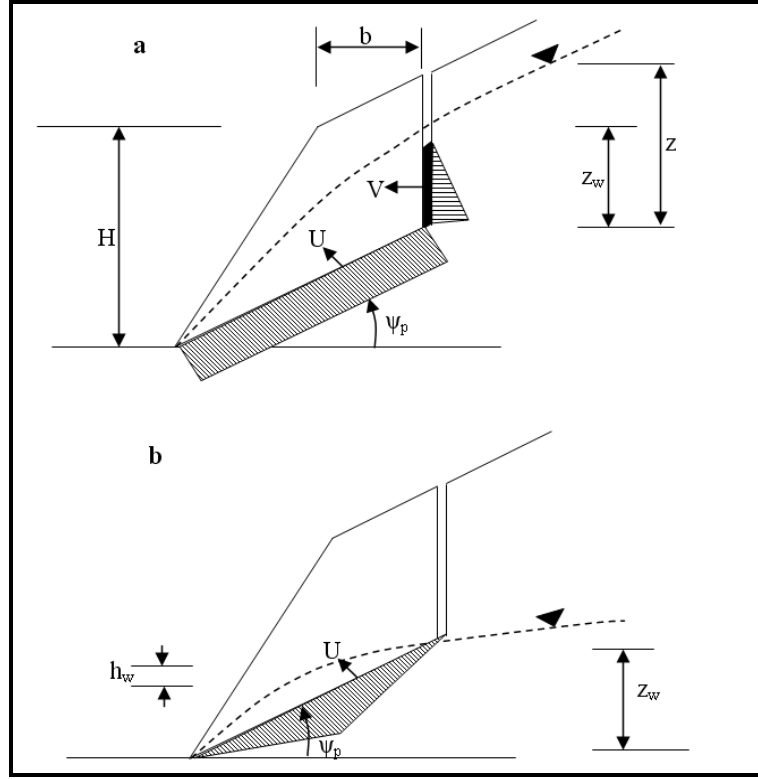
3.2.1.2. Kritik Çekme Çatlağının Yeri ve Derinliği

Genelde, çekme çatlağının şev üst yüzeyi veya ön yüzeyinde bulunduğu ve şevin enine kesiti çıkarılmak suretiyle bulunabileceği varsayılır. Ancak, çekme çatlağının üzeri zemin tarafından örtülebilir ya da tasarım için tahmini bir yer gerekebilir. Buna benzer durumlarda çekme çatlağının en olası konumunun göz önüne alınması gerekir.

Şev kuru ya da neredeyse kuru ($z_w/z=0$) olduğunda, emniyet katsayısının hesaplandığı eşitlik (Eşitlik 3.37) değiştirilebilir.

$$F_s = \frac{cA}{W \sin \psi_p} + \cot \psi_p \tan \phi \quad (3.37)$$

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN



Şekil 3.7. Düzlemsel şev yenilmelerinde muhtemel yeraltı suyu basınçları: a) Topukta engellenen drenaj durumunda düzlem üzerinde gelişen tekdüze basınç; b) Su tablası seviyesinin çekme çatlağı altında olduğu durumda kayma düzlemi üzerindeki üçgen basınç (Hoek ve Bray, 1981).

Kritik çekme çatlağı derinliği(z_c), Eşitlik 3.37'nin sağ tarafını z/H 'ye göre en aza indirmek suretiyle Eşitlik 3.38'den bulunabilir.

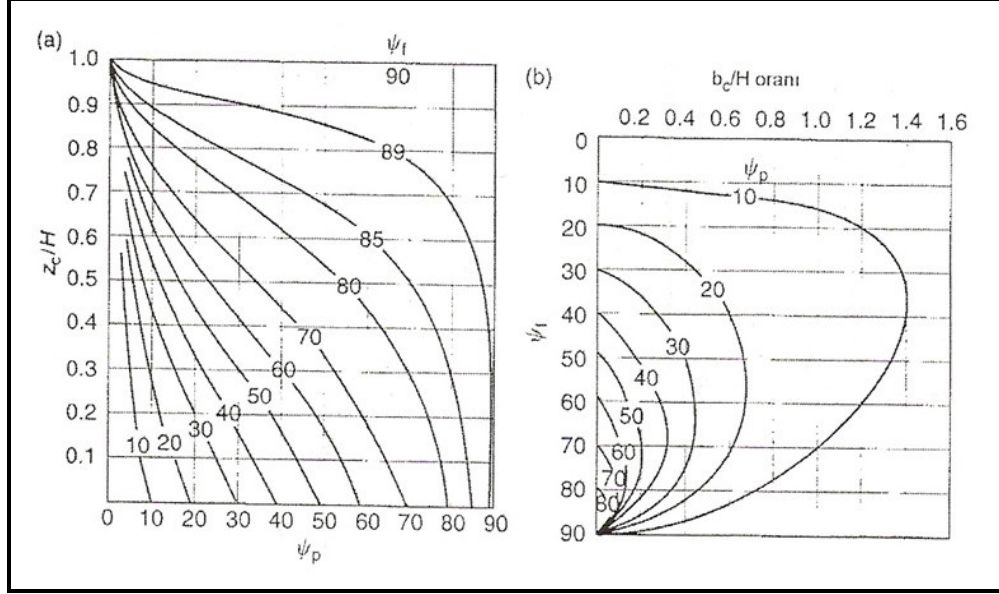
$$\frac{z_c}{H} = 1 - \sqrt{\cot \psi_f \tan \psi_p} \quad (3.38)$$

Şev tepe noktasının gerisinde kritik çekme çatlağının konumu da Eşitlik 3.39 ile ifade edilebilir.

$$\frac{b_c}{H} = 1 - \sqrt{\cot \psi_f \cot \psi_p} - \cot \psi_f \quad (3.39)$$

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

Kuru şevlerde bir dizi boyut aralığı için kritik çekme çatlağı derinlikleri ve lokasyonları için kullanılabilecek grafikler Şekil 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.8. Kuru şevde kritik çekme çatlağı lokasyonları: a) Şevin tepesine göre kritik çekme çatlağı derinliği; b) Şev tepesinin gerisinde kritik çekme çatlağının yeri (Hoek ve Bray, 1981).

3.2.1.3. Duraysızlık Belirteci Olarak Çekme Çatlağı

Kaya şevlerinde, şev tepesi gerisinde oluşan çekme çatlaklarının bazıları onlarca yıl yüzeyde görülebilir ve pek çoğunun şevin duraylılığına olumsuz bir etkisi olmaz. Bu nedenle, bu çatlakların nasıl oluştuğlarının ve şev duraylılığına herhangi olumsuz bir etkilerinin olup olmadığı belirlenmelidir.

Barton (1971) eklemlili kayalarda yenilen şevler üzerine yaptığı ayrıntılı model çalışmalarında, çekme çatlağının kaya kütlesi içerisindeki küçük küçük kesme hareketleri sonucu oluştuğunu gözlemlemiştir. Bu gözlem oldukça önemlidir; çünkü bir çekme çatlağı şev yüzünde belirdiğinde, kaya kütlesi içerisinde kesme yenilmesi başlamış demektir.

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

Özetle, bir çekme çatlağının tespiti, potansiyel bir duraysızlık belirteci olarak algılanmalı ve önemli şev kazılarında, bu belirteçten hareketle ayrıntılı bir duraylılık analizi yapılmalıdır.

3.2.1.4. Kritik Kayma Düzlemi Eğimi

Bir şevde, tabakalanma düzlemi gibi devamlı bir süreksizlik bulunduğu ve eğimi de düzlemsel yenilme koşullarını sağladığında, şevin duraylılığı bu yapı tarafından kontrol edilecektir. Eğimi 45°'den az ve zayıf kaya ya da zeminden oluşan şevlerde, kayma yüzeyinin şekli genelde daireseldir. Çok eğimli kaya şevlerinde ise kayma yüzeyi yaklaşık olarak düzlemsel olup, devamlı süreksizlikler içermeyen çok eğimli ve kuru şevler için kritik kayma düzlemi eğimi (ψ_{pc}) Eşitlik 3.40'tan bulunabilir.

$$\psi_{pc} = 0,5(\psi + \phi) \quad (3.40)$$

3.2.1.5. Pürüzlü Bir Yüzey Üzerindeki Kaymanın Analizi

Şevin her yerinde sabit olmayan kesme dayanımı parametreleri olması durumunda yani, sürtünme açısı yüzeye etkiyen normal gerilmeye bağlı olduğunda, normal gerilme artarken süreksizlik yüzeyindeki düzensizlikler traşlanacağından sürtünme açısı azalacaktır. Kuru bir şev için ($U=V=0$) kayma yüzeyi üzerine etkiyen normal gerilme (σ) Eşitlik 3.41'den hesaplanabilir.

$$\sigma = W \cos \psi_p / A \quad (3.41)$$

Burada, W =Kaya bloğunun ağırlığı; ψ_p =Kayma yüzeyinin eğimi ve A =Kayma yüzeyinin alanıdır.

Bu koşullar altında emniyet katsayısı ise Eşitlik 3.42'den hesaplanabilir.

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

$$F_s = \frac{\tau A}{W \sin \psi_p} = \frac{\sigma \tan(\varphi + JRC \log_{10}(JCS/\sigma))A}{W \sin \psi_p} = \frac{\tan(\varphi + JRC \log_{10}(JCS/\sigma))}{\tan \psi_p}$$
$$F_s = \frac{\tan(\varphi + i)}{\tan \psi_p} \quad (3.42)$$

3.2.2. Kama Tipi Yenilme

Süreksizliklerin şev yüzeyine göre meyilli olduğu, birbirine göre ters eğimli ve bir doğrultu boyunca kesişen yenilme türüdür. Kama tipi yenilmenin tespitinde stereonetler kullanılır. Stereonet ile kamanın şekli, arakesit çizgisinin yönelimi ve kayma yönü belirlenebilir. Kinematik analiz (hareketlerin yörünge, hız ve ivme v.b. açısından irdelenmesi) olarak adlandırılan bu yöntemin amacı, emniyet katsayısı hakkında kesin bir bilgi sağlamamakla beraber, kaymaya neden olabilecek potansiyel duraysız kamaları belirlemektir.

Kama tipi yenilme için genel koşullar aşağıda verilmiştir.

- İki farklı düzlemin arakesiti daima bir çizgi şeklindedir (Şekil 3.9(a)). Stereonet üzerinde arakesit çizgisi, düzlemlere ait iki büyük dairenin kesiştiği noktayla temsil edilir ve çizginin yönelimi, o çizginin gidişi (α_i) ve dalımı (ψ_i) ile tanımlanır (Şekil 3.9(b)).
- Arakesit çizgisinin dalımı şevin eğiminden küçük ve iki düzlemin sürtünme açılarının ortalamasından büyük olmalıdır ($\psi_{fi} > \psi_i > \varphi$) (Şekil 3.9(c)).
- Kaymanın oluşması için arakesit çizgisinin şev yüzeyini kesmesi gerekir (arakesit çizgisinin gidişi için olası aralık α_i ile α_i' arasındadır) (Şekil 3.9(d)).

Stereonet üzerinde, kama tipi bir yenilmenin kinematik olasılığı görülebilir. Ancak, kamanın emniyet katsayısı; kama geometrisi, her bir düzlemin kesme dayanımı ve su basıncına bağlı olduğundan, stereonet üzerinden tespit edilemez.

Kamanın A ve B düzlemlerinin arakesit çizgisinin yönü (α_i) ve dalımı (ψ_i), stereonet üzerinde belirlenebilir veya Eşitlik 3.43 ve 3.44'dan hesaplanabilir.

$$\alpha_i = \tan^{-1} \left(\frac{\tan \psi_A \cos \alpha_A - \tan \psi_B \cos \alpha_B}{\tan \psi_B \sin \alpha_B - \tan \psi_A \sin \alpha_A} \right) \quad (3.43)$$

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

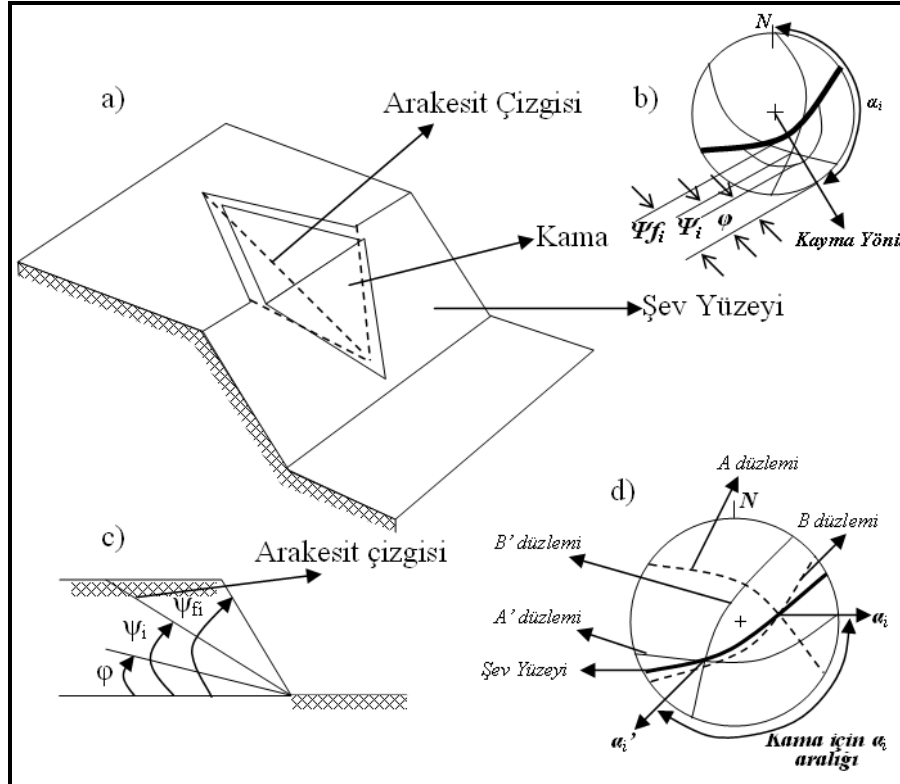
$$\psi_i = \tan \psi_A \cos(\alpha_A - \alpha_i) = \tan \psi_B \cos(\alpha_B - \alpha_i) \quad (3.44)$$

Eşitliklerde, α_A ve α_B : Düzlemlerin eğim yönleri; ψ_A ve ψ_B : Düzlemlerin eğimleridir.

Kaymaya karşı direncin sadece sürtünmeden kaynaklandığı ve iki düzlemin de sürtünme açılarının (ϕ) aynı olduğu varsayımı ile Şekil 3.10’da tanımlanan kamanın emniyet katsayısı Eşitlik 3.45’den hesaplanabilir.

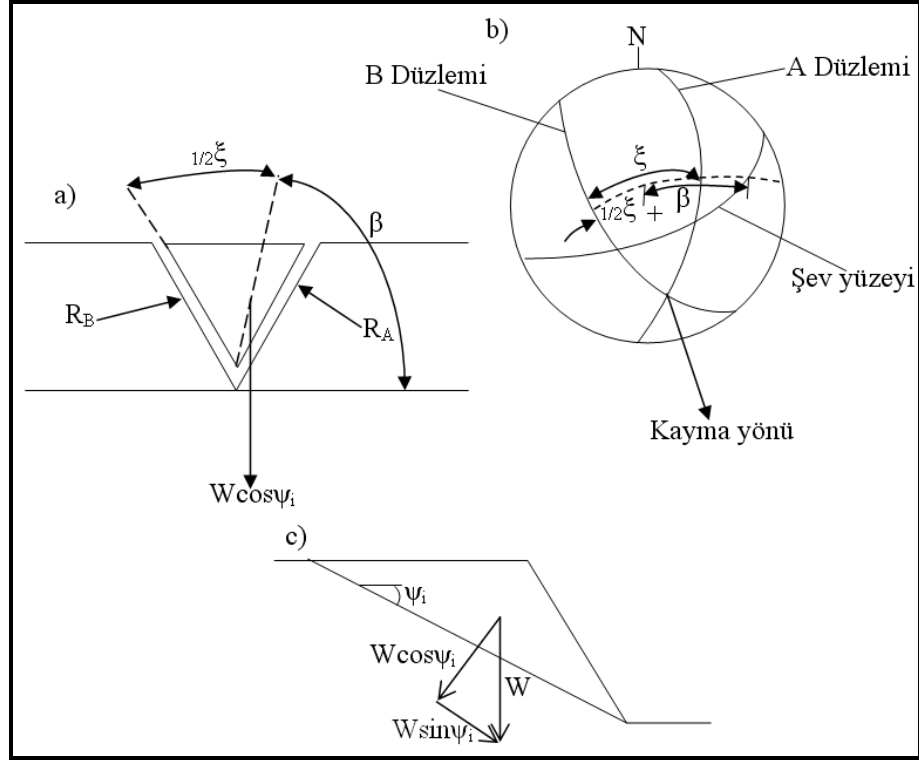
$$F_s = \frac{(R_A + R_B) \tan \phi}{W \sin \psi_i} \quad (3.45)$$

Kamanın emniyet katsayısının hesaplanmasında, şev geometrisinin, iki düzlemin farklı kesme dayanımlarının ve su basıncının hesaba katıldığı bir yöntem Hoek tarafından 1973 yılında tanımlanmıştır.



Şekil 3.9. Kama tipi yenilme için geometrik koşullar (Wyllie ve Mah, 2004).

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN



Şekil 3.10. Kamanın emniyet katsayısının hesaplanması için kuvvetlerin bileşenlerine ayrılması (Wyllie ve Mah, 2004).

Şevin toplam yüksekliği (H) kaymanın geliştiği varsayılan arakesit çizgisinin üst ve alt uçları arasındaki kot farkıdır. Bu analiz için varsayılan su basıncı dağılımı; kamanın kendisinin geçirimsiz olduğu varsayımıyla, suyun kaymaya 3 ile 4 numaralı arakesit çizgilerinden girdiği ve kamayı 1 ve 2 numaralı arakesit çizgilerinden terk ettiği hipotezine dayanır (Şekil 3.11(a)). Maksimum basınç 5 numaralı arakesit çizgisi boyunca oluşurken, 1,2,3 ve 4 numaralı arakesit çizgileri boyunca basınç sıfırdır. Bu basınç, maksimum değerin şev yüksekliği orta mesafesinde olduğu, yaklaşık maksimum basıncın da $0,5\gamma_w H$ değerine eşit olduğu bir üçgen basınç dağılımıdır (Wyllie ve Mah, 2004).

Üzerinde kaymanın geliştiği iki düzlem A ve B düzlemleri olarak adlandırılır; eğimi daha düşük olan düzlem A düzlemidir. Şekil 3.11(a)'daki beş arakesit çizgisine ait tanımlamalar şu şekildedir:

1. A düzleminin şev yüzeyi ile arakesiti,
2. B düzleminin şev yüzeyi ile arakesiti,

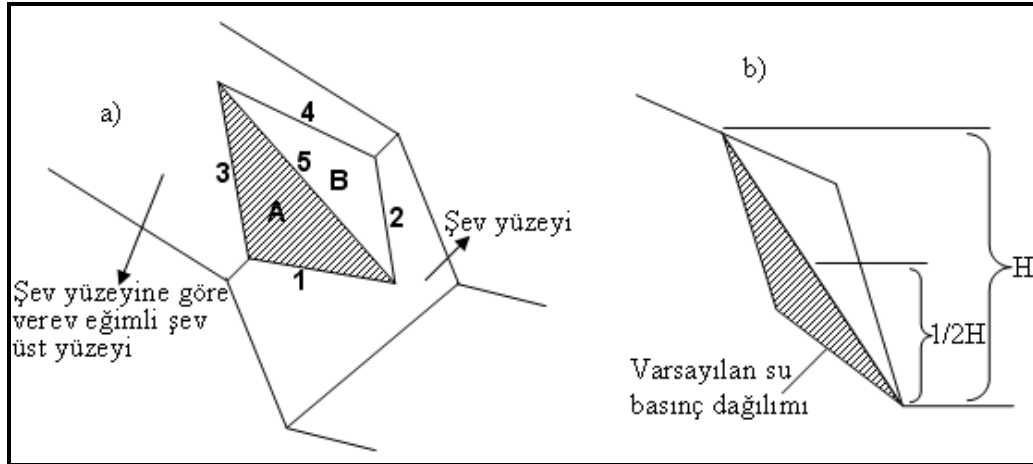
3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

3. A düzleminin şev üst yüzeyi ile arakesiti,
4. B düzleminin şev üst yüzeyi ile arakesiti,
5. A ve B düzlemlerinin arakesiti.

Kama kaymasının daima 5 numara olarak adlandırılan arakesit çizgisi boyunca geliştiği varsayılır ve kaymanın emniyet katsayısı da Eşitlik 3.46'daki şekilde ifade edilir.

$$F_s = \frac{3}{\gamma_r H} (c_A X + c_B Y) + \left(A - \frac{\gamma_w}{2\gamma_r} X \right) \tan \varphi_A + \left(B - \frac{\gamma_w}{2\gamma_r} Y \right) \tan \varphi_B \quad (3.46)$$

Eşitlik 3.46'da, c_A ve c_B : A ve B düzlemlerinin kohezyonları; φ_A ve φ_B : A ve B düzlemleri üzerindeki sürtünme açıları; γ_r : Kayanın birim hacim ağırlığı; γ_w : Suyun birim hacim ağırlığı; H: Kamanın toplam yüksekliğidir.



Şekil 3.11. Kayma düzlemlerinde sürtünme, kohezyon ve su basıncı etkilerini içeren duraylılık analizinde kullanılan kama geometrisi (Wyllie ve Mah, 2004).

X, Y, A ve B boyutsuz faktörleri, kamanın geometrisine bağlıdır ve Şekil 3.12'de belirtilen değerlerle Eşitlik 3.47, 3.48, 3.49 ve 3.50'den hesaplanır.

$$X = \frac{\sin \theta_{24}}{\sin \theta_{45} \cos \theta_{2,na}} \quad (3.47)$$

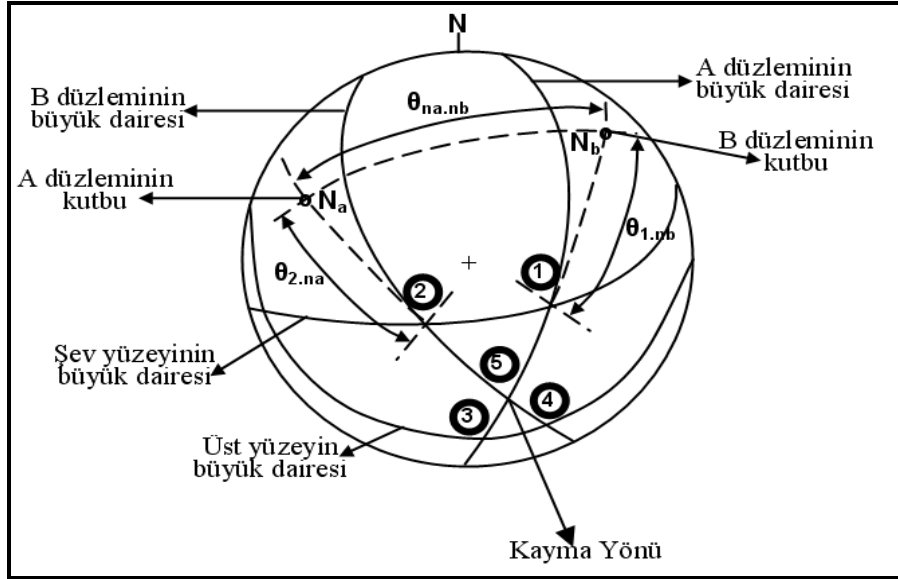
3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

$$Y = \frac{\sin \theta_{13}}{\sin \theta_{35} \cos \theta_{1.nb}} \quad (3.48)$$

$$A = \frac{\cos \psi_a - \cos \psi_b \cos \theta_{na.nb}}{\sin \psi_5 \sin^2 \theta_{na.nb}} \quad (3.49)$$

$$B = \frac{\cos \psi_b - \cos \psi_a \cos \theta_{na.nb}}{\sin \psi_5 \sin^2 \theta_{na.nb}} \quad (3.50)$$

Eşitliklerde, ψ_a ve ψ_b : A ve B düzlemlerinin eğimleri; ψ_5 : 5 numaralı arakesit çizgisinin eğimidir.



Şekil 3.12. Kama duraylılık analizi için gerekli verilerin stereonet üzerinde gösterilmesi (Wyllie ve Mah, 2004).

Şev drenajlı ve A ile B yüzeylerindeki kohezyonlar sıfır ise bir kamanın duraylılığı kolaylıkla Eşitlik 3.51'den bulunabilir.

$$F_s = A \tan \varphi_A + B \tan \varphi_B \quad (3.51)$$

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

Sadece sürtünmeye dayalı kama diyagramlarından emniyet katsayısının 2'den küçük bulunması durumunda, emniyet katsayısını hesaplayabilmek için kapsamlı duraylılık analizi gerekebilir. Kamanın boyutları, şekli ve ağırlığı, her bir kayma düzlemi üzerindeki farklı kohezyon, sürtünme açıları ve kesme dayanımları, su basıncı, değişik dış kuvvetler ve ankraj kuvvetleri bu analizde hesaba katılabilir.

3.2.3. Dairesel Yenilme

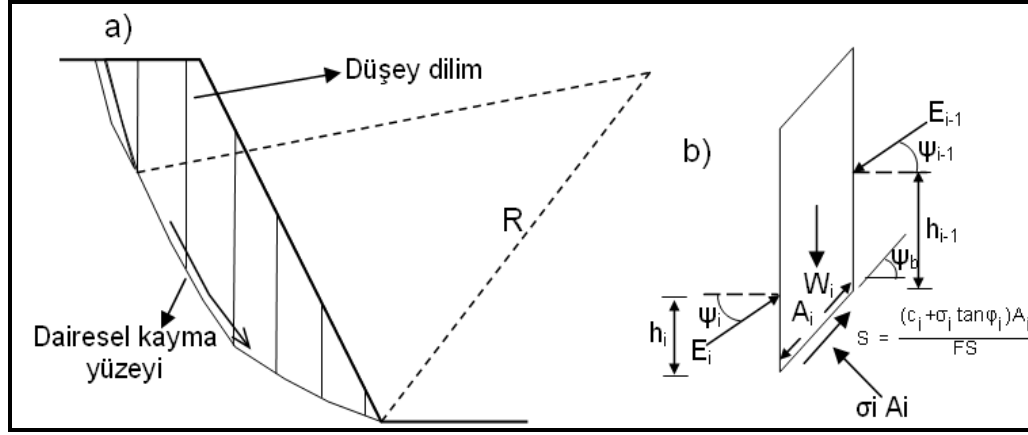
Aşırı bozuşmuş veya aşırı çatlaklı kaya ve kaya dolgular gibi zayıf malzemelerdeki yenilmeler, dairesele bir şekilde yaklaşan yüzeyler boyunca gelişir.

Dairesel yenilme analizi için genellikle bir dizi şev duraylılık diyagramı kullanılır. Bu diyagramlar kullanıcıya, bir şevin emniyet katsayısını veya emniyet katsayısının yeraltı suyu koşullarına, şev açısına ve malzeme dayanım özelliklerine hassasiyetini kısa yoldan değerlendirme olanağı sağlar ve yalnızca homojen şev malzemeleri içeren, varsayılan koşulların geçerli olduğu yerlerdeki dairesele yenilme analizleri için kullanılabilir.

Dairesel kayma yüzeyinin şekli, şevdeki jeolojik koşullardan etkilenir. Örneğin, homojen, zayıf ya da bozuşmuş kaya kütleğinde yenilmenin şev tepesinin hemen gerisindeki bir çekme çatlağından, şev topuğuna uzanan sığ, büyük yarıçaplı bir yüzey olması muhtemeldir (Şekil 3.13).

Düzlemsel ve kama tipi kaymalar için şev stabilitesinin, kayayı bir takım bloklara bölen tabakalaşma düzlemleri ve eklem takımları gibi jeolojik oluşumlar tarafından etkilendiği varsayılır. Bu koşullar altında kayma yüzeyi bir ya da daha fazla süreksizlikle belirlenir. Zeminde açılan şevlerde ise, bu tip belirgin bir yapısal süreksizlik görmek olanaksızdır. Bu nedenle, kayma, şevde kaymaya karşı direncin en az olduğu noktalar boyunca oluşur. Zeminlerde meydana gelen bu tip şev kaymalarının incelenmesi sonucu, kayma yüzeyinin genellikle dairesele biçimde olduğu görülmüştür. Bu gözlem birçok stabilite kuramına esas olmuştur.

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN



Şekil 3.13. Tipik kayma yüzeyleri ve dilim üzerine etkiyen kuvvetler .

Şevin açıldığı kayayı ya da zemini oluşturan birçok parçalar, şevin boyutlarına göre çok küçük ve şekillerinden ötürü birbirlerine bağlı bulunmuyorlarsa dairesel kayma koşulları ortaya çıkmış olur. Bu nedenle, kırılmış kayalardan oluşan büyük toprak harmanları genellikle zemin gibi hareket eder ve bunlarda büyük çapta dairesel kaymalar meydana gelir. Herhangi bir işleme ya da cevher hazırlama tesisinin çok ince öğütülmüş artıklarından meydana gelen birkaç metre yükseklikteki şevlerde bile dairesel kayma düzlemleri oluşur. Son derece altere olmuş ve ayrılmış kayalarda bu tip kaymalar beklenebilir. Bu nedenle, projelendirdiğimiz ocağın örtü tabakası böyle bozulmuş bir formasyon ise şev tasarımını dairesel kayma varsayımına göre yapmak yerinde olacaktır (Wyllie ve Mah, 2004).

Dairesel Kayma diyagramların hazırlanmasında, aşağıda sıralanan varsayımlar göz önünde tutulur:

- Şevin açıldığı formasyon homojen yapıdadır. Diğer bir deyişle formasyonun mekanik özellikleri yükleme yönüne göre değişmez.
- Formasyonun makaslama dayanımını oluşturan kohezyon (c) ve içsel sürtünme açısı (ϕ) arasında Eşitlik 3.52’de verilen ilişki vardır.

$$\tau = c + \sigma \tan \Phi \quad (3.52)$$

- Kayma şev topuğundan geçen dairesel bir yüzeyde meydana gelir.
- Şev üst yüzeyinde ya da aynasında dik konumlu gerilim çatlakları oluşur.

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

- Verilen şev geometrisi ve yeraltı su durumu için gerilim çatlaklarının ve kayma yüzeyinin konumları emniyet katsayısını minimum değere düşürecek şekildedir.
- Diyagramlar tamamen susuz şevlerden, suya doymuş olanlarına kadar her tip yeraltı su koşulunu taşıyan analizleri içermektedir. Diyagramlar, normal gerilmenin kayma yüzeyi boyunca bir noktaya toplandığı varsayımına dayanan alt sınır yönteminin uygulanmasıyla hazırlanmıştır ve şev yeraltı suyunun etkileri ile birlikte gerilim çatlakların etkilerini de içerir.

Şev emniyet katsayısı Eşitlik 3.53'teki gibidir.

$$F = \frac{\text{Kaymaya karşı koyan mevcut makaslama dayanımı}}{\text{Yenilme yüzeyinde harekete geçen makaslama gerilmesi}} \quad (3.53)$$

Yenilme yüzeyinde harekete geçen makaslama gerilmesi ile tanımlanırsa ve yenilme yüzeyinde harekete geçen makaslama gerilmesi τ_{mb} ile gösterilerek, eşitlik yeniden düzenlendiğinde Eşitlik 3.54'teki gibi olur.

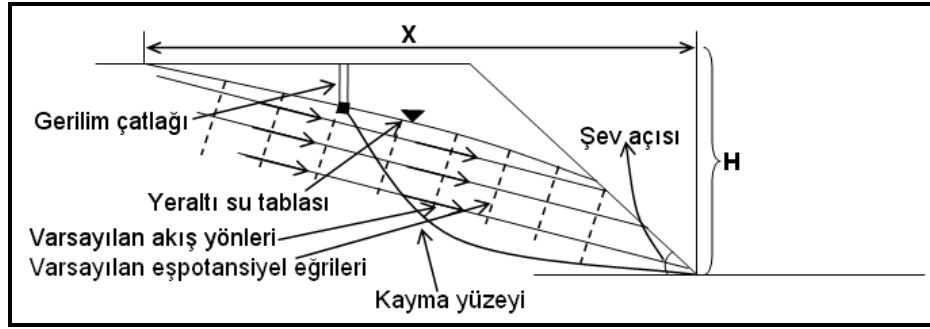
$$\tau_{mb} = \frac{c}{F} + \frac{\sigma \tan \Phi}{F} \quad (3.54)$$

Kaymaya karşı makaslama dayanımı σ ile gösterilen normal gerilmenin kayma yüzeyi boyunca dağılımına bağlıdır. Normal gerilme dağılımı bilinmediğinden, çözümü statik olarak belirsizleşen sorunun halledilebilmesi, bu dağılım için bir varsayım yaparak, bunun uygulamada anlamlı neticeler verip vermediğini irdelemekle mümkün olur.

Kayma yüzeyindeki su basıncından doğan kaldırma kuvveti ve gerilim çatlakındaki suyun oluşturduğu kuvveti hesaplamak için arazi koşullarına en uygun yeraltı suyu akış koşullarının varsayılması gerekir. Kaya şev yenilmelerinde genellikle, su akışının kayadaki süreksizlikler boyunca olduğu, kayanın kendisinin geçirgenliğinin dikkate alınmayacak kadar az olduğu varsayımı ile hareket edilir. Zemin ya da toprak harmanlarındaki şevlerde ise malzemenin su geçirgenliği bir

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

kaya kütleğinde alacağı değerin birkaç katı olur. Böylece şev gerisinde genel bir su akım düzeni oluşur. Şekil 3.14'te düzenli su akış rejimi koşullarında bir şevdeki su basınç dağılımının incelenmesinde kullanılan yaklaşım görülmektedir. Burada göz önünde tutulması gereken nokta, yeraltı su tablasının, şevin gerisinde ve şev üst yüzeyini, şev yüksekliğinin katları olarak ve şev topuğundan ölçülen belirli bir "x" uzaklığında kestiği varsayımdır. Bu kesişme noktası genellikle nehir, baraj gibi bir yerüstü su kaynağına denk gelir ya da yeraltı su tablasının yüzeyle kesiştiği nokta olarak kabul edilir (Wyllie ve Mah, 2004).

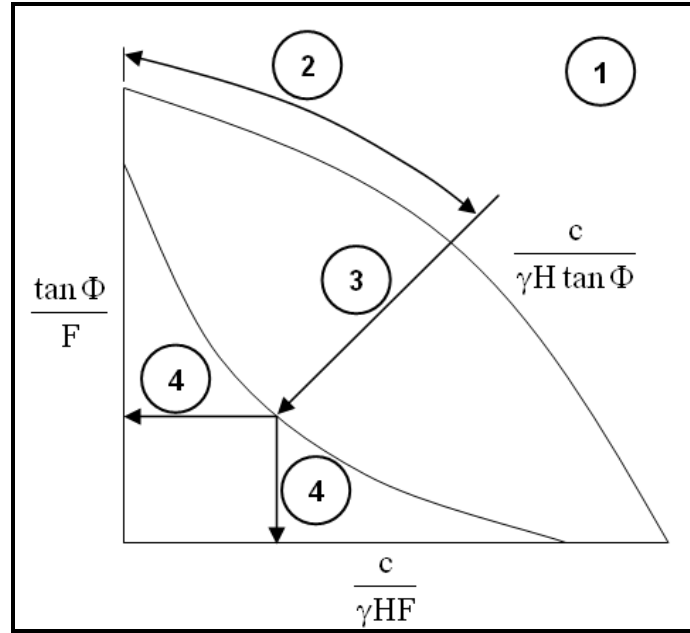


Şekil 3.14. Düzenli su akış rejimi koşullarında yeraltı suyu akış şeması.

Belirli bir şevin emniyet katsayısını bulmak için aşağıda ana hatları belirtilen ve Şekil 3.15'te gösterilen sıra takip edilmelidir.

- Şevde var olduğuna inanılan yeraltı su koşulları saptanır bu koşullara en yakın diyagram sayfa Şekil 3.16'da verilen çizelge kullanılarak seçilir.
- $\frac{c}{\gamma H \tan \Phi}$ oranının boyutsuz değeri hesaplanır ve bu değer diyagramın dış dairesinde işaretlenir.
- 2. aşamada bulunan noktadan geçen radyal doğru çalışılan şev açısını veren eğriye kadar izlenir.
- 3. aşamada bulunan noktadan $\tan \Phi/F$ ya da $c/\gamma H F$ değerlerinden daha uygun olanına gidilir ve buradan emniyet katsayısı hesaplanır.

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN



Şekil 3.15. Dairesel kayma diyagramlarını kullanarak şevin emniyet katsayısını bulmada izlenecek sıra (Hoek ve Bray, 1981).

Yeraltı Suyu Akış Koşulları	Diyagram No	
Susuz şev 	1	
Yüzey suyu şev topunun 8×şev yüksekliği gerisinde 	2	
Yüzey suyu şev topunun 4×şev yüksekliği gerisinde 	3	
Yüzey suyu şev topunun 2×şev yüksekliği gerisinde 	4	
Suya doymuş şev 	5	

Şekil 3.16. Yeraltı suyu koşullarına göre diyagram seçimi için çizelge.

3.2.4. Devrilme Yenilmesi

Bu bölüme kadar anlatılan yenilme türleri, kaya kütlelerinin mevcut ya da oluşturulan bir kayma yüzeyi üzerinde kaymasıyla ilgilidir. Devrilme yenilmesi ise blok kaya kütlelerinin, sabit tabanları etrafında dönmesiyle oluşur. Düzlemsel ve kama tipi kaymalara benzer şekilde, ilk olarak yapısal jeolojinin analizi yapılarak, bu koşulun mevcut olması halinde, devrilme yenilmesine özgü duraylılık analizi yapılır.

Devrilme yenilmesi çeşitli şekillerde olabilir. Bunlar; blok yenilmesi, bükülme (esnek) devrilme, blok-bükülme devrilmesi ve diğer kayma biçimleriyle gelişen ya da onları tetikleyen ikincil devrilme türleridir (Wyllie ve Mah, 2004).

3.2.4.1. Blok Devrilmesi

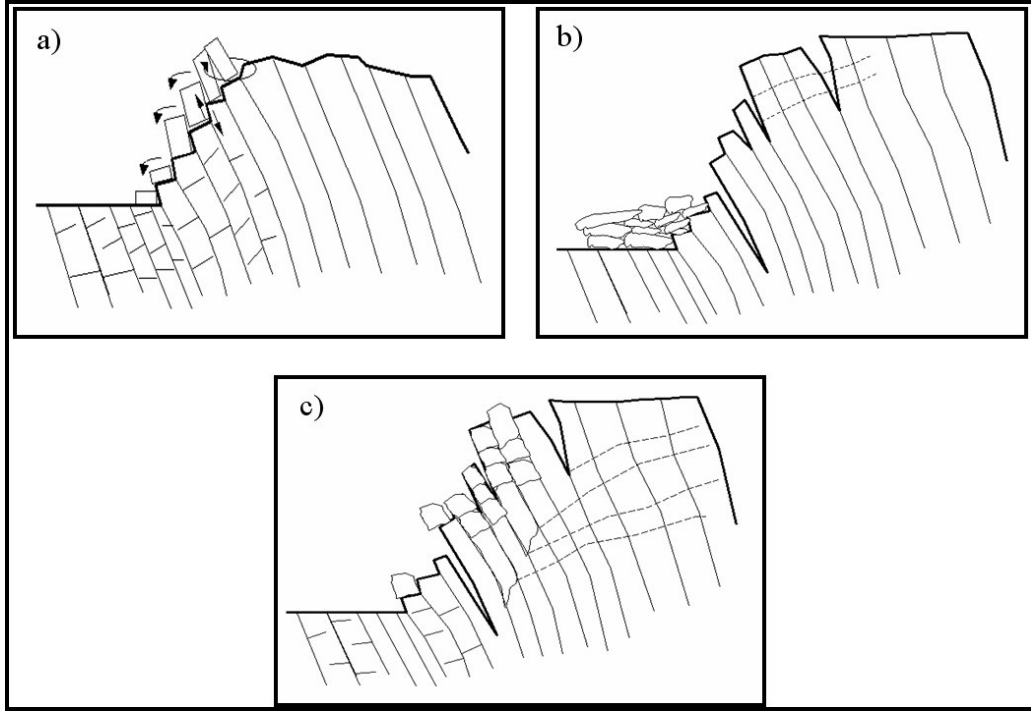
Şekil 3.17(a)'da görüldüğü gibi blok devrilmesi sağlam kaya kolonlarının geniş aralıklı çapraz eklemlerle bölünmesi durumunda meydana gelir. Şev topuğundaki kısa kolonlar, gerideki uzun kolonların dönmesinden doğan yüklerin etkisi ile ileriye doğru itilirler ve topuktaki bu kayma devrilmenin şevin üst kısmına yayılmasını sağlar. Bu devrilme türünde yenilme yüzeyi bükülme devrilmesine göre daha düzgün olup çapraz eklemlerin birinden diğerine geçen basamak şeklindedir.

3.2.4.2. Bükülme Devrilmesi

Bükülme devrilmesi Şekil 3.17(b)'de gösterildiği gibi dike yakın eğime sahip süreksizliklerle ayrılan uzun kolonların öne bükülüp kırılmaları sonucunda oluşur. Devrilme, şev topuğundaki kayma, aşınma (erozyon) ya da alttan kesme gibi etkenlerle başlar ve geriye kaya kütlelerine doğru yayılarak derin, geniş gerilim çatlaklarını oluşturur. Kolonların dışı doğru hareketleri kolonlar arası kayma yaratır ve her düzlemin üst kısımları açığa çıkarak bir dizi geriye bakan yüzeyler oluşur.

3.2.4.3. Blok-Bükülme Devrilmesi

Şekil 3.17(c)'de görüldüğü gibi bu tür devrilme birçok çapraz eklem tarafından bölünmüş uzun kolonların bükülmesiyle tanınır. Bükülme devrilmesindeki uzun kolonların bükülerek kırılması yerine burada devrilme çapraz eklemlerdeki deplasman birikimi yoluyla olur. Bu devrilmede çok sayıda küçük devrimler yer aldığından bükülme devrilmesine göre daha az gerilim çatlağı, blok devrilmesine göre ise daha az kenar-yüzey teması ve boşluklar görülür (Wyllie ve Mah, 2004).



Şekil 3.17. Devrilme yenilmesi türleri.

3.2.4.4. İkincil Devrilme Türleri

İkincil devrilme mekanizmaları genellikle, ya aşınma ya da ayrışma gibi doğal nedenler ya da insan etkinlikleri sonucu oluşan şev topuğunun alttan kesilmesi ile başlar. Tüm durumlarda, ana yenilme biçimi kayma ya da kayanın fiziksel parçalanması olup devrilme şevin bir bölümünde ve bu ana yenilmenin sonucu olarak ortaya çıkar.

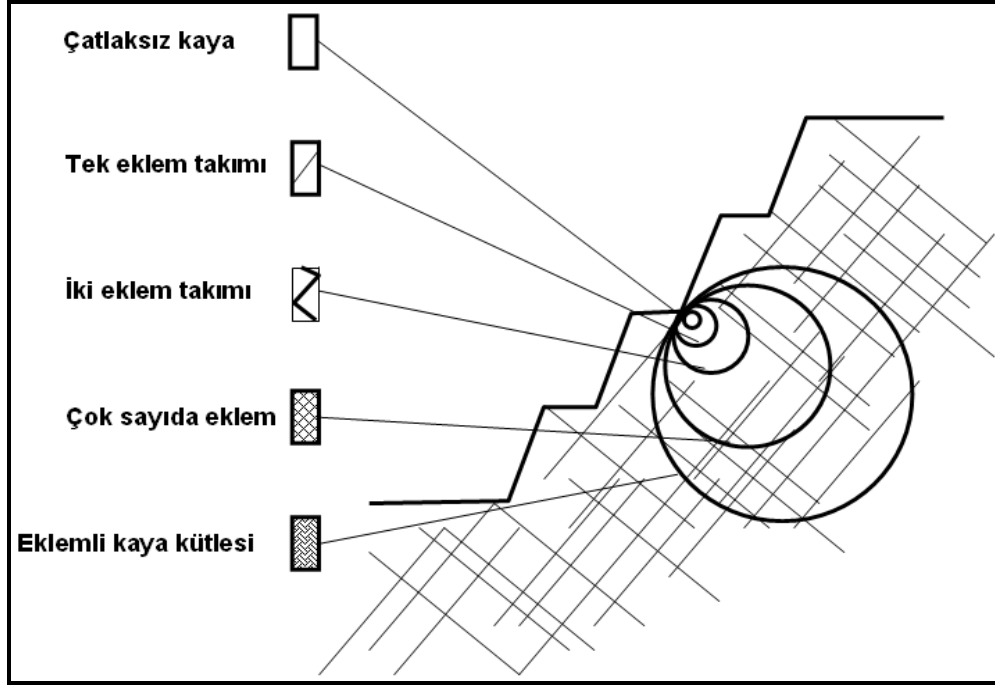
3.3. Kaya Dayanımı Özellikleri ve Ölçümleri

Bir kaya şevin duraylılığını analiz ederken göz önüne alınması gerekli en önemli faktör, şev yüzeyi arkasındaki kaya kütlelerinin geometrisidir. Süreksizliklerin yönelimi ile kazı yüzeyi arasındaki ilişki, kaya kütlelerinin bazı kısımlarında kayma veya devrilme meydana gelip gelmeyeceğini belirlemektedir. Jeolojiden sonra duraylılığı kontrol eden en önemli faktör, potansiyel kayma yüzeyinin kesme dayanımıdır.

Bir şevdeki kayma yüzeyi, şevin tüm yüzeyinde devamlı olan tek bir düzlem olabileceği gibi, süreksizliklerden ve taze kayadaki kırıklardan oluşan karmaşık bir yüzey de olabilir. Güvenilir kesme dayanımı değerlerinin belirlenmesi şev tasarımının önemli bir kısmını oluşturur; çünkü kesme dayanımındaki küçük değişimler şevin güvenli yüksekliği veya eğiminde önemli değişimlere neden olabilmektedir.

Bir şev için uygun kesme dayanımı seçiminin büyük ölçüde kayma yüzeyi ile yapısal jeoloji arasındaki ilişkiye bağlı olduğunu ortaya koymaktadır. Şekil 3.18’de açık maden ocağı şevinde genel şev boyutları süreksizlik boyutundan çok büyük olup, herhangi bir yenilme yüzeyinin eklemli kaya kütlelerinden geçmesi söz konusudur; maden ocağı şevinin tasarımında kullanılması gerekli uygun kaya dayanımı, kaya kütlelerinin dayanımıdır. Bunun aksine, palye yüksekliği yaklaşık olarak eklem uzunluğuna eşittir; duraylılık sadece bir eklem tarafından kontrol edilebilir. Bu durumda, palyelerin tasarımında kullanılması gerekli uygun kesme dayanımı, palye yüzeyini kesen eklemlerin dayanımı olacaktır. Son olarak, eklem açıklığından daha düşük bir ölçekte kırıksız kaya blokları oluşur ve (sözgelimi) delme ve patlatma yöntemlerinin değerlendirilmesinde kullanılması gerekli uygun kaya dayanımı başlıca kırıksız kayanın dayanımı olmalıdır (Hoek ve Bray, 1981; Wyllie ve Mah, 2004).

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN



Şekil 3.18. Artan numune boyutu ile kırıksız kayadan kaya kütesine geçişi gösteren idealleştirilmiş diyagram (Hoek, 2007).

Numune boyutu ile kaya dayanımı özellikleri arasındaki bu ilişkiye dayalı olarak, bu bölümde aşağıdaki üç çeşit kayanın dayanımını belirleme yöntemleri incelenmiştir:

- Süreksizlikler: Tek tabakalanma düzlemleri, eklemler veya faylar. Kesme dayanımını etkileyen süreksizlik özellikleri; yüzeylerin şekil ve pürüzlülükleri, yüzeyde taze veya bozuşmuş olabilen kaya ve düşük dayanımlı ya da kohezyonlu olabilen dolgu maddelerini kapsar.
- Kaya kütle: Eklemlili kaya kütlelerinin kesme dayanımını etkileyen faktörler; kırıksız kayanın basınç dayanımı ve sürtünme açısı, süreksizliklerin açıklığı ve bunların yüzey koşullarını kapsar.
- Kırıksız kaya: Kırıksız kayanın dayanımını ölçmede göz önünde bulundurulması gerekli bir faktör, bozuşmadan dolayı şev ömrü boyunca dayanımın azalmasıdır.

Ölçek etkilerine ve jeolojik koşullara dayalı olarak, kayma yüzeylerinin Şekil 3.19’da sunulduğu gibi ya süreksizlik yüzeyleri boyunca veya kaya külesini kat eden

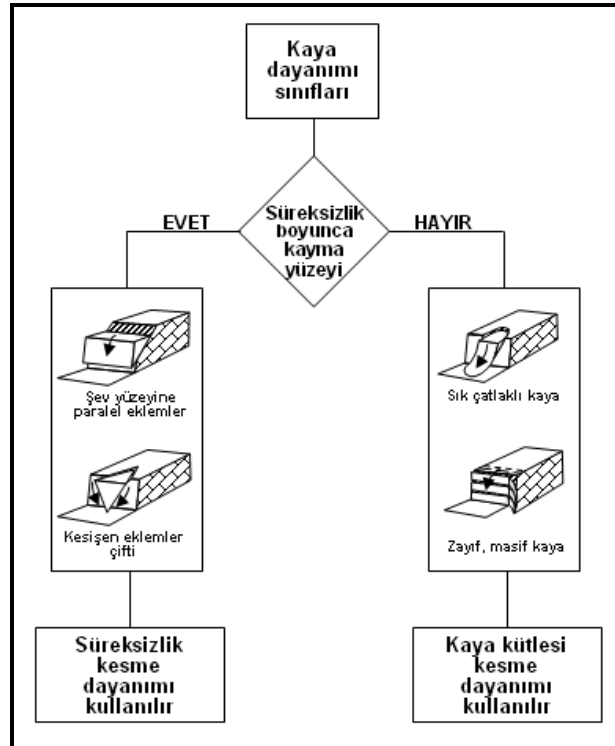
3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

biçimde geliştiği görülebilir. Şekil 3.19'da verilen sınıflamanın önemi, tüm şev analizlerinde ya süreksizliklerin ya da kaya kütlelerinin kesme dayanımı özelliklerinin kullanılmasının gerekli olduğudur.

Dayanım özelliklerini belirlemede kullanılan değişik prosedürler aşağıda verilmiştir:

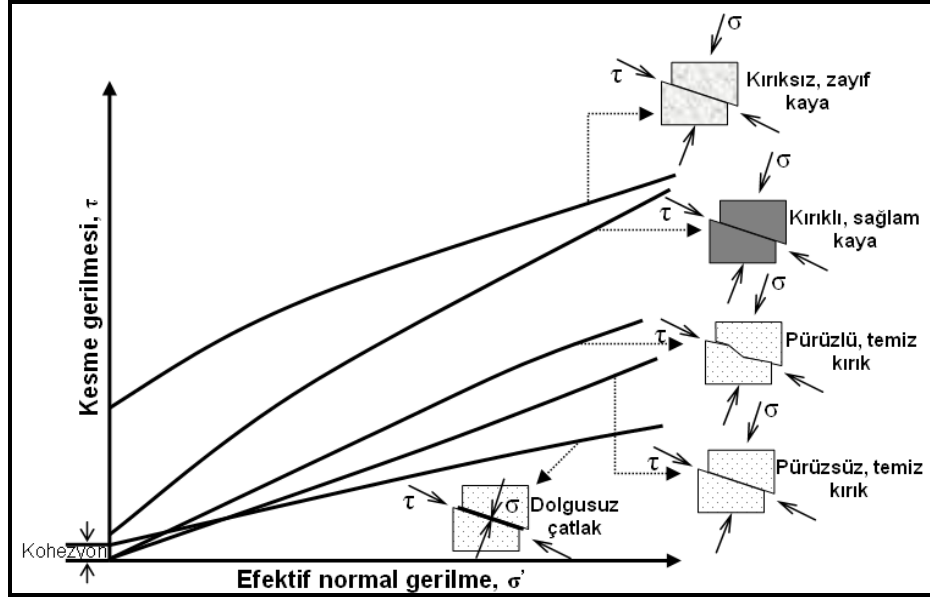
- Süreksizlik kesme dayanımı arazide ve laboratuvarında ölçülebilir.
- Kaya kütlesi kesme dayanımı benzer jeolojik koşullarda kazılan şevlerin geriye analizini içeren ampirik yöntemlerle ya da dayanım indislerini içeren hesaplamalarla belirlenir.

Jeolojinin kesme dayanımı üzerine etkilerini ortaya koymak açısından destekleyici bir sunum şekli olarak, üç çeşit süreksizliğin ve iki çeşit kaya kütlelerinin göreceli dayanım parametreleri Şekil 3.20'de Mohr Diyagramı üzerinde gösterilmiştir. Bu çizgilerin eğimi sürtünme açısını ve kesme gerilmesi eksenini kestiği yer de kohezyonu temsil etmektedir (Wyllie ve Mah, 2004).



Şekil 3.19. Jeoloji ile kaya dayanım sınıfları arasındaki ilişki (Wyllie ve Mah, 2004).

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN



Şekil 3.20. Beş değişik jeolojik koşul için kayma yüzeyi üzerindeki kesme ve normal gerilme arasındaki ilişkiler (Wyllie ve Mah, 2004).

Şekil 3.20 üzerindeki bu koşulların tanımlaması aşağıdaki gibidir:

- Eğri, Dolgulu Süreksizlik: Dolgu malzemesinin zayıf bir kil ya da fay kili olması halinde, dolgu malzemesinin sürtünme açısı (ϕ_{dol}) muhtemelen çok düşük olsa da, dolgunun örselenmemiş olduğu durumda bir miktar kohezyon bulunabilir. Alternatif olarak, dolgunun (sözelimi) yarığı tam olarak dolduran sağlam bir kalsit olması durumunda kohezyonlu dayanım önemli miktarda olabilir.
- Eğri, Pürüzsüz Süreksizlik: Pürüzsüz ve temiz bir süreksizlik yüzeyinin kohezyonu sıfır olup, sürtünme açısı kaya yüzeylerinden (ϕ_r) kaynaklanır. Kayanın sürtünme açısı tane boyu ile ilişkili olup, iri taneli kayalara kıyasla ince taneli kayalarda genellikle daha düşüktür.
- Eğri, Pürüzlü Süreksizlik: Temiz, pürüzlü süreksizlik yüzeylerinin kohezyonu sıfır olup, sürtünme açısı iki bileşenden oluşmaktadır. Birincisi kaya malzemesinin sürtünme açısı (ϕ_r), ikincisi de i açısıdır, i açısı yüzeyin pürüzlülüğüyle birlikte kaya dayanımı ile normal gerilme arasındaki oran ile ilişkilidir. Normal gerilme artarken yüzey düzensizlikleri giderek traşlanır ve toplam sürtünme açısı azalır.

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

- Eğri, Çatlaklı Kaya Kütlesi: Kayma yüzeyinin kısmen süreksizlik yüzeylerinden kısmen de kırıksız kayadan geçtiği çatlaklı bir kaya kütesinin kesme dayanımı eğrisel bir zarf şeklinde ifade edilebilir. Çatlaklı kaya üzerindeki çevre basıncının az olduğu ve bireysel blokların hareket edip dönebildiği düşük normal gerilmelerde kohezyon düşük olmakla birlikte sürtünme açısı yüksektir. Daha yüksek normal gerilmelerde kaya parçaları ezilmeye başlar ve sonuçta sürtünme açısı azalır. Dayanım zarfının şekli çatlaklanma derecesi ve kırıksız kayanın dayanımı ile ilişkilidir.
- Eğri, Kırıksız Zayıf Kaya: Tuf gibi zayıf kayalar, sürtünme açısı düşük ince malzemeden meydana gelmişlerdir. Ancak, bu kaya süreksizlik içermediğinden, kohezyon değeri yakın çatlaklı sağlam bir kayanınkinden daha büyük olabilir (Wyllie ve Mah, 2004).

3.3.1. Süreksizliklerin Kesme Dayanımı

Jeolojik haritalama veya elmaslı sondajların, üzerinde kesme yenilmesi gelişebilecek süreksizlikleri teşhis etmesi durumunda, duraylılık analizleri yapabilmek için kayma yüzeyinin kohezyon ve sürtünme açısının belirlenmesi gerekir. İnceleme programı içerisinde ayrıca kesme dayanımı parametrelerini değiştirebilen kayma yüzeyi özellikleri hakkında da bilgi toplanmalıdır.

Devamlı uzunluk, yüzey pürüzlülüğü, herhangi bir dolgunun kalınlığı ve özellikleri ile birlikte suyun dolgu özellikleri üzerine etkisi önemli süreksizlik karakteristiklerindendir (Wyllie ve Mah, 2004).

3.3.2. Kohezyon ve Sürtünme Açısının Tanımı

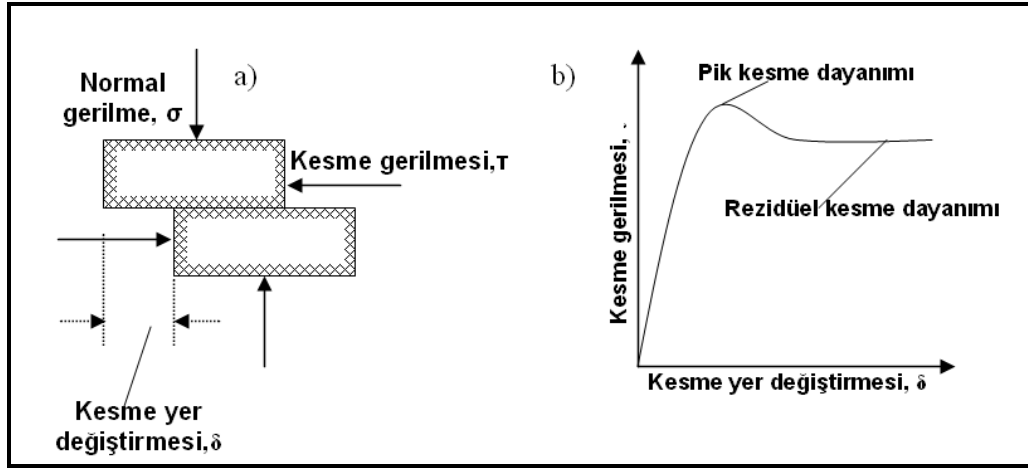
Kaya şev tasarımıyla kayanın bir Coulomb malzemesi olduğu kabul edilir; kayma yüzeyinin kesme dayanımı kohezyon (c) ve sürtünme açısı (ϕ) ile ifade edilir (Coulomb, 1773).

Pürüzsüz, düzlemsel süreksizlik içeren bir kaya bloğundan çok sayıda deney numunesi kesildiğini; ayrıca, süreksizliğin de kayanın iki parçasını birbirinden

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

ayırmada bir çekme kuvveti gerektirecek kadar çimentolu bir dolgu içerdiğini varsayıldığında, her bir numune süreksizliğe dik yönde bir kuvvete (normal gerilmeye; σ) maruz bırakılır ve süreksizliğe paralel bir kuvvet (kesme gerilmesi, τ) uygulanır ve bu esnada kesme yer değiştirmesi (δ_s) ölçülür (Şekil 3.21(a))

Sabit normal gerilme altında yapılan bir deney için tipik kesme gerilmesi-kesme yer değiştirmesi ilişkisi Şekil 3.21(b)'de verilmiştir. Küçük yer değiştirmelerde numune elastik olarak davranır ve kesme gerilmesi yer değiştirme ile birlikte doğrusal olarak artar. Harekete direnen kuvvet aşıldırken, gerilme-yer değiştirme ilişkisi doğrusallığını yitirir ve daha sonra süreksizliğin pik kesme dayanımını temsil eden maksimuma ulaşır. Ondan sonra ise, yer değiştirmeyi sağlamak için gerekli gerilme azalır ve sonuçta rezidüel kesme dayanımı olarak adlandırılan sabit değere erişir.



Şekil 3.21. Bir süreksizlik yüzeyinin kesme dayanımının tanımı.

Değişik normal gerilme düzeylerinde yapılan deneylerden elde edilen pik kesme dayanımı verileri grafiğe aktarıldığı zaman, Şekil 3.22(a)'da görülen ilişki elde edilir ve bu grafiğe Mohr diyagramı denir (Mohr, 1900). Bu diyagramın özellikleri şöyle sıralanabilir: Birincisi, yaklaşık olarak doğrusaldır; eğimi kaya yüzeyinin pik sürtünme açısını verir. İkincisi, kesme gerilmesi eksenini kestiği yer, çimentolayıcı malzemenin kohezyon dayanımını (c) temsil eder. Toplam kesme dayanımının bu kohezyon bileşeni normal gerilmeden bağımsız olsa da, normal

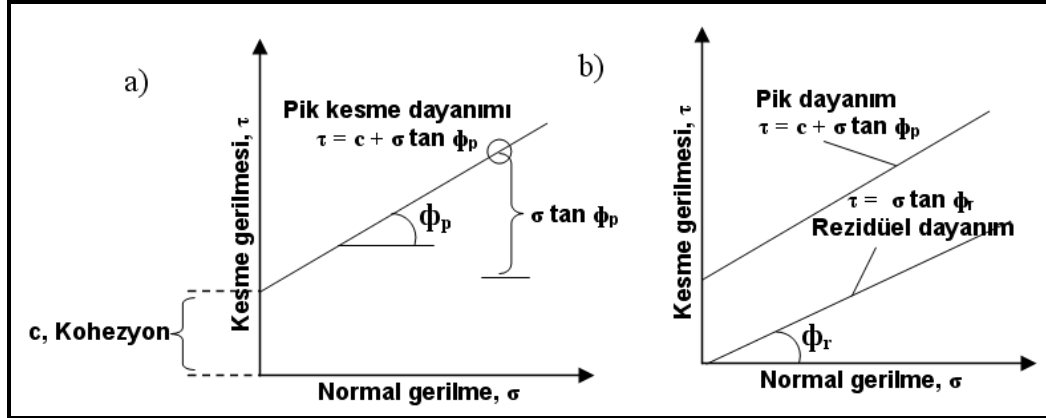
3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

gerilme arttıkça sürtünme bileşeni de artar. Şekil 3.22(a)'da verilen ilişkiye dayalı olarak, pik kesme dayanımı Eşitlik 3.55'deki gibi ifade edilir. Uygulanan her bir normal gerilme düzeyindeki rezidüel kesme dayanımı değerleri Mohr diyagramına çizildiğinde, Şekil 3.22(b)'de görülen rezidüel kesme dayanımı elde edilir ve Eşitlik 3.56'daki ilişki ile tanımlanır.

$$\tau = c + \sigma \tan \Phi_p \quad (3.55)$$

$$\tau = c + \sigma \tan \Phi_r \quad (3.56)$$

Burada, Φ_r ; Rezidüel sürtünme açısıdır.



Şekil 3.22. Pik ve rezidüel dayanımların Mohr diyagramı.

Rezidüel dayanım koşulu için, yer değiştirmenin çimentolayıcı malzemeyi kırmasıyla kohezyon kaybolur; Mohr diyagramında bu durum grafiğin orijininden geçen dayanım çizgisi ile temsil edilir. Ayrıca, kesme yer değiştirmesi kaya yüzeyindeki ikincil (minör) düzensizlikleri aşındırarak daha pürüzsüz ve düşük sürtünmeli bir yüzey oluşturduğu için, rezidüel sürtünme açısı pik sürtünme açısından küçüktür.

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

3.3.3. Kaya Yüzeylerinin Sürtünme Açısı

Düzlemsel, temiz (dolgu içermeyen) bir süreksizlik için kohezyon sıfır olup, kesme dayanımı sadece sürtünme açısı ile tanımlanır. Kaya malzemesinin sürtünme açısı, kırık yüzeyinde açığa çıkan tanelerin boyut ve şekli ile ilişkilidir. Bu nedenle, ince taneli bir kaya ve fillit gibi kayma yüzeyine paralel yönlenmiş mika içeriği yüksek bir kayanın sürtünme açısı düşük iken, granit gibi iri taneli kayaların sürtünme açısı yüksektir. Değişik kaya tiplerine ait tipik sürtünme açısı aralıkları Çizelge 3.1’de verilmiştir (Barton, 1973).

Çizelge 3.1. Değişik kaya tipleri için sürtünme açısının tipik aralıkları.

Kaya sınıfı	Sürtünme açısı aralığı	Tipik kaya çeşitleri
Düşük sürtünmeli	20-27°	Şistler (yüksek mika içeriği), şeyl, marn
Orta sürtünmeli	27-34°	Kumtaşı, silttaşı, tebeşirtaşı, gnays, sleyt
Yüksek sürtünmeli	34-40°	Bazalt, granit, kireçtaşı, çakıltası

Gerçek değerler saha koşullarında geniş ölçüde değiştiğinden, Çizelge 3.1’de listelenen sürtünme açıları sadece bir kılavuz olarak kullanılabilir.

3.3.4. Eğimli Bir Düzlemde Makaslama

Kesme gerilmesi yönü ile i açısı yapan bir süreksizlik yüzeyini göz önüne aldığımızda (Şekil 3.23), kayma yüzeyine etkiyen kesme gerilmesi (τ_i) ve normal gerilme (σ_i) Eşitlik 3.57 ve 3.58’deki gibi ifade edilir.

$$\tau_i = \tau \cos^2 i - \sigma \sin i \cos i \quad (3.57)$$

$$\sigma_i = \sigma \cos^2 i + \tau \sin i \cos i \quad (3.58)$$

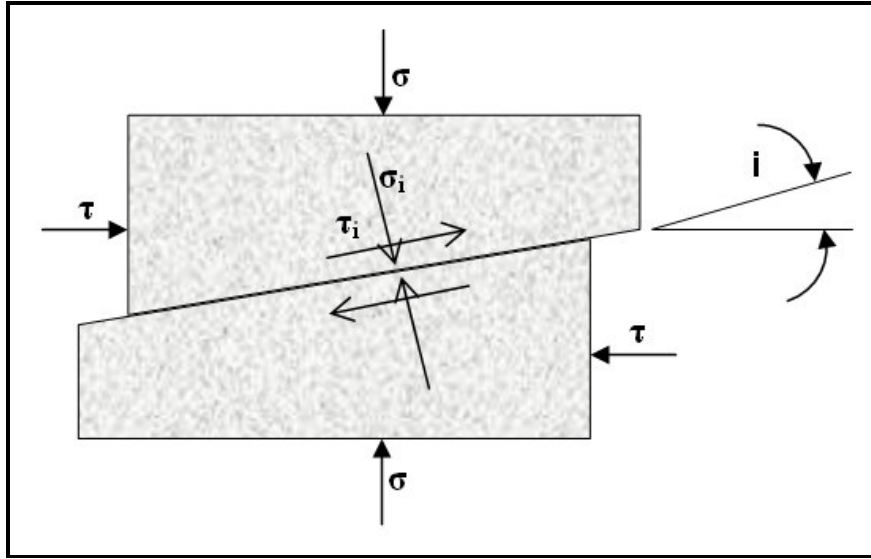
Süreksizlik yüzeyinin kohezyonunun sıfır olduğu ve kesme dayanımının da $\tau = \sigma_i \tan \phi$ ilişkisi ile tanımlandığı varsayılırsa, Eşitlik 3.57 ve 3.58, bu eşitlikte yerine

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

konulursa, uygulanan kesme gerilmesi ile normal gerilme arasında Eşitlik 3.59'daki ilişki elde edilir.

$$\tau = \sigma \tan(\Phi + i) \quad (3.59)$$

Patton, duraysız kireçtaşı şevlerinde tabakalanma düzlemi izlerine ait fotoğraflardan aldığı ortalama i açısı değerini ölçmek suretiyle bu ilişkinin önemini ikna edici bir şekilde ortaya koymuştur. Tabakalanma düzlemi izi ne kadar pürüzlü ise, şev açısı da o kadar yüksek olmaktadır. Patton, tabakalanma düzleminin iz eğiminin yaklaşık olarak kayaların laboratuarda düzlemsel yüzeyler üzerinde bulunan sürtünme açısı (ϕ) ile ortalama pürüzlülük açısının (i) toplamına eşit olduğunu bulmuştur.



Şekil 3.23. Eğimli bir yüzey üzerinde kesme yer değiştirmesi (Hoek, 2007).

3.3.5. Yüzey Pürüzlülüğü

Doğal süreksizlik yüzeylerinin tümü belirli ölçüde pürüzlü olup, pürüzlülüğün derecesi pürüzlülüğü çok düşük olan parlak ve çizikli makaslama yüzeylerinden itibaren, önemli ölçüde pürüzlü olan düzensiz yüzeyli çekme çatlaklarına kadar

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

değişir. Bir şevin duraylılığını önemli ölçüde etkileyebildiklerinden, yüzey düzensizlikleri tasarımda uygun şekilde göz önüne alınmalıdırlar.

Patton'a göre düzensizlikler birinci derece ve ikinci derece şeklinde iki sınıfa ayrılır. Birinci derece düzensizlikler, tabakalanma yüzeyindeki ana dalgalanmalara karşılık gelenler iken, ikinci derece düzensizlikler yüzeydeki küçük tümsek ve ripıllar olup, i değerleri daha yüksektir.

Kaya yamaçlarda süreksizlik yüzeylerinin gerçek kesme performansı; yüzey pürüzlülüğü, yüzeydeki kayanın dayanımı, uygulanan normal gerilme ve kesme yer değiştirmesinin birleşik etkilerine bağlıdır. Bu durum Şekil 3.24'te gösterilmiştir. Burada, artan normal gerilme ile düzensizlikler makaslanırken sürtünme açısı azalmaktadır. Bunun anlamı, kayada hacimsel genişlemeden makaslamaya bir geçişin olması şeklindedir. Düzensizliklerin makaslanma derecesi, kırık yüzeyindeki kayanın basınç dayanımına kıyasla normal kuvvetin büyüklüğüne ve yer değiştirme mesafesine bağlıdır. Başlangıçta örselenmemiş ve kenetli olan pürüzlü bir yüzeyin pik sürtünme açısı “ $\phi+i$ ”dir. Artan normal gerilme ve yer değiştirme ile birlikte düzensizlikler makaslanır ve sürtünme açısı kademeli olarak azalarak, kayada minimum değer olan temel veya rezidüel sürtünme açısına düşer. Bu hacimsel genişleme-makaslama ilişkisi Mohr diyagramında başlangıçtaki eğimi “ $\phi+i$ ” olan ve yüksek normal gerilmelerde ϕ_r 'ye düşen eğrisel bir dayanım zarfı ile temsil edilir.

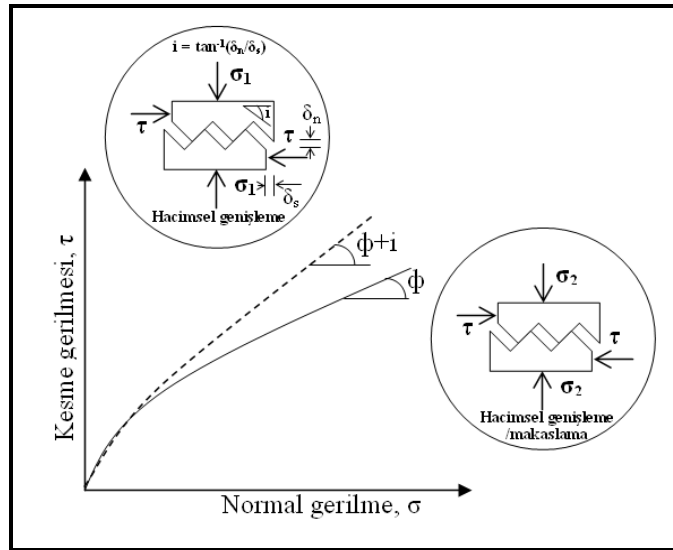
Şekil 3.24'te verilen kesme gerilmesi-normal gerilme ilişkisi Barton (1973) tarafından geliştirilen ve yapay olarak üretilen pürüzlü, temiz eklemlerin kesme dayanımı davranışına dayalı bir teknik kullanılarak nicelleştirilebilir. Bu çalışma, pürüzlü bir kaya yüzeyinin kesme dayanımının pürüzlülük, kaya dayanımı ve normal gerilmeye bağlı olduğunu ve Eşitlik 3.60'taki ampirik ilişki ile ifade edilebileceğini göstermiştir.

$$\tau = \sigma' \tan[\Phi + JRC \log_{10}(JCS/\sigma')] \quad (3.60)$$

Burada, JRC: Ekleme pürüzlülük katsayısı; JCS: Kırık yüzeyindeki kayanın basınç dayanımı ve σ' : Efektif normal gerilmedir. JRC'nin değeri, yüzeyin

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

pürüzlülüğünü standart pürüzlülük profilleri ile karşılaştıran veya yüzeyde ölçümler yapan teknikler kullanılarak belirlenir. Kayanın basınç dayanımı (JCS) Çizelge 3.2’de tanımlanan basit arazi gözlemleri kullanılarak veya eklem yüzeyindeki kayada Schmidt çekici kullanılarak tahmin edilebilir. Yüzeyde etkiyen normal gerilme, kayma yüzeyi üzerindeki kayanın derinliği ile birim ağırlığının çarpımının yüzeye dik olan bileşenidir.



Şekil 3.24. Kesme gerilmesi-normal gerilme ilişkisi (Barton, 1973).

Çizelge 3.2. Değişik kaya tipleri için sürtünme açısının tipik aralıkları.

Sınıf	Tanım	Arazide Teşhisi	TEBD yaklaşık aralığı (Mpa)
R6	Aşırı sağlam kaya	Sadece jeolog çekici ile küçük parça koparılabilir	>250
R5	Çok sağlam kaya	Parçalamak için jeolog çekici ile çok sayıda darbe	100-250
R4	Sağlam kaya	Kırmak için jeolog çekici ile birden fazla darbe	50-100
R3	Orta sağlam kaya	Jeolog çekici ile tek darbeye kırılabilir	25-50
R2	Zayıf kaya	Jeolog çekici ile kuvvetlice vurulduğunda sığ oyuk	5-25
R1	Çok zayıf kaya	Jeolog çekici ucu ile kuvvetlice vurulduğunda uflanabilir	1-5
R0	Aşırı zayıf kaya	Raptiye ile çizilebilir	0,25-1
S6	Katı kil	Raptiye güçlükle girer	>0,5
S5	Çok sert kil	Raptiye kolaylıkla girer	0,25-0,5
S4	Sert kil	Başparmakla kolaylıkla bastırılabilir de güçlükle batar	0,1-0,25
S3	Sağlam kil	Orta düzey çabayla başparmak biraz batar	0,05-0,1
S2	Yumuşak kil	Başparmak kolaylıkla biraz batar	0,025-0,05
S1	Çok yumuşak kil	Yumruk kolaylıkla biraz batar	<0,025

3.3.6. Süreksizlik Dolgusu

Süreksizliğin dolgu içermesi halinde, kırığın kesme dayanımı özellikleri, dolgu maddesinin kalınlığı ve özelliklerinden etkilenmiş olan yüzeyin hem kohezyonu hem de sürtünme açısı ile genellikle değişkenir. Örnek olarak, granitte kil dolgulu bir fay zone için, süreksizliğin kesme dayanımının granitin değil de kilin dayanımına karşılık geldiği varsayılır. Sağlam ve kalsitle doldurulmuş bir kırık durumunda, tasarımda yüksek kohezyon değeri kullanılsa da, bu durum sadece bir kazı inşaatı sırasındaki patlatmalardan sonra kırığın ayrılmadan sağlam kalabildiği durumda geçerlidir.

Süreksizliklerde dolgunun varlığı duraylılığı önemli şekilde etkileyebilir. İnceleme programında dolguların teşhis edilmesi ve tasarımda uygun dayanım parametrelerinin kullanılması önemlidir. Dolgunun kesme dayanımına etkisi, dolgu malzemesinin kalınlığına ve dayanım özelliklerine bağlıdır. Kalınlık açısından ele alındığında, yüzey düzensizliklerinin genliğinin yaklaşık %25-50'sinden daha fazla olması halinde çok az veya sıfır kaya-kaya dokanağı söz konusu olup, kırığın kesme dayanımı özellikleri dolgunun özellikleri olur (Goodman, 1970). Dolgular aşağıdaki gibi iki gruba ayrılabilir;

- Killer: Montmorillonit ve bentonitik killer ile kömür yatakları ile ilişkili killerin sürtünme açıları 8 ile 20° arasında; kohezyon değerleri de 0 ile yaklaşık 200 kPa arasındadır.
- Faylar, makaslamalar ve breşler: Granit, diyorit, bazalt ve kireçtaşı gibi kayalarda fay zonları ve makaslamalarda oluşan malzemeler, granüle parçalara ek olarak kil de içerebilirler. Bu malzemelerin sürtünme açıları yaklaşık 25 ile 45° arasında, kohezyon değerleri de 0 ile yaklaşık 100 kPa arasında değişmektedir. Granit gibi iri taneli kayalardan türeyen fay dolgusunun sürtünme açıları kireçtaşı gibi ince taneli kayalarından daha yüksek olma eğilimindedir.

Kesme dayanımı-yer değiştirme davranışı, dolgulu süreksizliklerin kesme dayanımı ile ilgili olarak göz önünde bulundurulması gerekli bir diğer faktördür. Şevlerin duraylılığını analiz etmede bu davranış, kesme dayanımında yer değiştirme

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

ile birlikte bir azalım olma olasılığının bulunup bulunmadığına işaret eder. Kesme dayanımında yer değiştirme ile birlikte önemli bir azalım bulunan durumlarda şev yenilmesi, küçük miktardaki hareketin ardından aniden gelişebilir.

Süreksizlik üzerinde daha önce bir hareket olup olmadığına bağlı olarak, dolgulu süreksizlikler iki genel kategoriye ayrılabilirler (Barton, 1974). Bu kategoriler normal konsolide (NC) veya aşırı konsolide (OC) olarak daha ileri bir bölümlenmeye tabi tutulabilir;

- Yakın geçmişte yer değiştirmiş süreksizlikler: Bu süreksizlikler fayları, makaslama zonlarını, kil milonitlerini ve tabakalanma yüzeyi kaymalarını içerir. Faylarda ve makaslama zonlarında dolgunun oluşumu, makaslama süreçlerinin defalarca gelişmesi ve önemli miktarda yer değiştirme neticesinde gerçekleşir. Bu süreçte oluşan fay kili, kil boyu parçacıklar ve breş içerebilir. Breşteki tane yönelimi ve fay çizikleri makaslamanın yönüne paralel olur. Bunun aksine, milonitler ve tabakalanma yüzeyi kaymaları başlangıçta kil içeren ve kıvrımlanma ve kaymaya maruz kalan süreksizliklerdir. Bu tip süreksizliklerin kesme dayanımları rezidüel dayanımda veya çok yakınındadır. Kilde daha önceki aşırı konsolidasyondan ileri gelen mevcut herhangi kohezyon bağı makaslama ile tahrip edilir ve dolgu karakter olarak normal konsolide durumdakine eşdeğer olur. Ayrıca, birim deformasyon yumuşaması oluşabilir; su içeriğinde herhangi bir artış dayanımda daha fazla azalmaya yol açar.
- Yer değiştirmemiş süreksizlikler: Daha önce herhangi bir yer değiştirmeye maruz kalmamış dolgulu süreksizlikler, süreksizlik boyunca bozuşmak suretiyle bir kil katmanı oluşturan magmatik ve metamorfik kayaları kapsar. Örnek olarak, diyabaz bozularak amfibolite ve o da sonuçta kile dönüşür. Yer değiştirmemiş diğer süreksizlikler, ince kil katmanlarını ve ardalanmalı sedimanter formasyonlarda kumtaşı ile ara tabakalanmalı zayıf şeylleri kapsar. Hidrotermal ayrışma, montmorillonit gibi düşük dayanımlı malzemeler ile kuvars ve kalsit gibi yüksek dayanımlı malzemeler içerebilen dolguları oluşturan diğer bir süreçtir.

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

Yer değiştirmemiş süreksizliklerdeki dolgular, pik dayanımları oldukça farklı olan normal konsolide (NC) ve aşırı konsolide (OC) malzemeler olarak ikiye ayrılabilir. Aşırı konsolide dolgu malzemesinin pik kesme dayanımı yüksek olabilirken; yumuşama, şişme ve boşaltma neticesinde boşluk basıncı değişimlerinden dolayı önemli dayanım kaybı meydana gelebilir. Boşaltma (örnek olarak) kayanın bir şev veya temel için kazılması durumunda meydana gelir. Dayanım kaybı aynı zamanda kalsit gibi gevrek malzemelerdeki yer değiştirmeye de oluşur (Wyllie ve Mah, 2004).

3.3.7. Süreksizliklerin Kesme Dayanımına Suyun Etkisi

Bir süreksizlikte suyun en önemli etkisi, yüzey üzerine etkiyen efektif normal gerilmedeki azalımdan dolayı kesme dayanımındaki düşüştür. Efektif normal gerilme, örtü kayanın ağırlığı ile su basıncı tarafından oluşturulan kaldırma kuvveti arasındaki farktır. Su basıncının (u), kesme dayanımı üzerine etkisi Eşitlik 3.61 ve 3.62'deki gibi gösterilebilir.

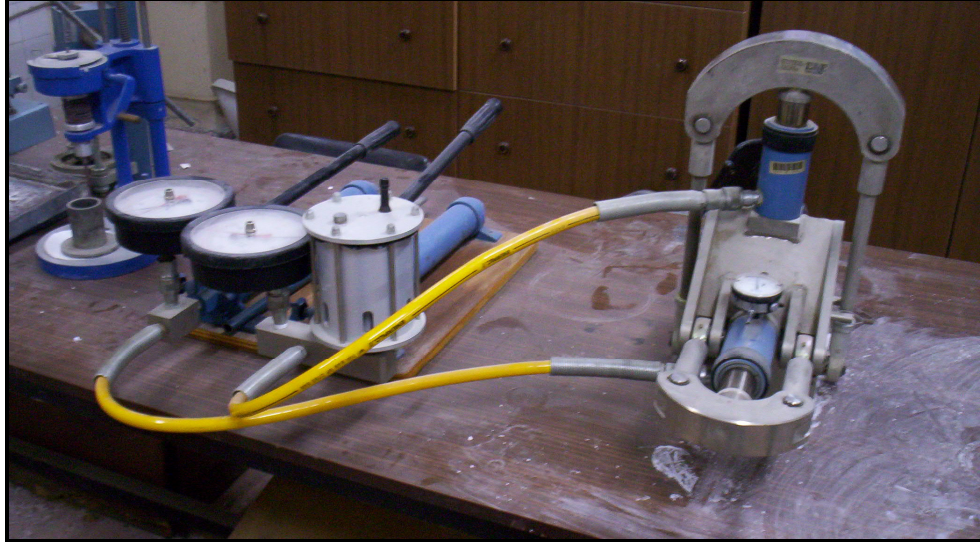
$$\tau = c + (\sigma - u)\tan\Phi_p \text{ “pik dayanım”} \quad (3.61)$$

$$\tau = (\sigma - u)\tan\Phi_r \text{ “rezidüel dayanım”} \quad (3.62)$$

Eşitlik 3.61 ve 3.62'de, kohezyon ve sürtünme açısının yüzeyde su varlığından dolayı değişmediği kabul edilmiştir. Çoğu sert kayalarda ve birçok kumlu ve çakıllı zeminlerde dayanım özellikleri su tarafından önemli ölçüde değiştirilmez. Ancak, pek çok kil, şeyl ve çamurtaşı ile benzeri malzemeler, su içeriğindeki değişim ile birlikte dayanımda önemli azalım sergilerler. Bu nedenle, deney numunelerinin su içerikleri kayanın arazideki su içeriğine olabildiğince yakın olmalıdır.

3.3.8. Laboratuvarıda Kesme Dayanımı Deneyi

Bir süreksizlik yüzeyinin sürtünme açısı laboratuvarıda Şekil 3.25'te görülen türden bir kesme kutusu deneyinden bulunabilir. Taşınabilir olan bu aletle gerekli olduğu zaman arazide deney yapılabilir; NQ ve IQ gibi sondaj karotlarında 75 mm'ye kadar numuneler test edilebilir. Düzensiz yüzeyli numunelerde yüzey pürüzlülüğü etkileri deney sonuçlarını yorumlamayı zorlaştırdığından, en güvenilir değerler numunenin pürüzsüz, düzlemler yüzeyler içermesi halinde elde edilmektedir.



Şekil 3.25. Makaslama dayanımı deney düzeneği.

Deney prosedürü, numunenin iki yarısının bir çift çelik kutu içine erimiş kükürt, sert alçı veya yüksek dayanımlı beton vasıtasıyla yerleştirilmesini içerir (ISRM, 1981b). Karot parçalarının orijinal konumlarında ve eşleşen konumda olmalarına ve süreksizlik yüzeyinin kesme kuvveti yönüne tam paralel olmasına özen gösterilir. Sonra, bir konsol yardımıyla sabit normal yük uygulanır ve kayma yenilmesi gerçekleşene kadar kesme gerilmesi artırılır. Üst bloğun alt bloğa göre izafi olarak düşey ve yatay yer değiştirmesi en kolay şekilde komparatör saatleri ile ölçülebilirken, yer değiştirmelerin daha hassas ve sürekli okumaları LVDT'ler (linear variable deformation transducer) ile yapılabilir (Henchler ve Richards, 1989).

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

Her bir numune giderek artan normal yükler altında genellikle üç veya dört kere test edilir. Bunun anlamı, bir normal yük için rezidüel kesme gerilmesi elde edildiği zaman numune tekrar kurulur, normal yük arttırılır ve diğer kesme deneyi yapılır. Deney sonuçları kesme yer değiştirmesi-kesme gerilmesi şeklinde grafiğe aktarılır ve bu grafikten pik ile rezidüel kesme dayanımı değerleri belirlenir. Her bir deneyde bir çift kesme gerilmesi ile normal gerilme elde edilir ve bunlar da yüzeyin rezidüel pik ve rezidüel sürtünme açılarını belirlemek üzere grafiğe aktarılır.

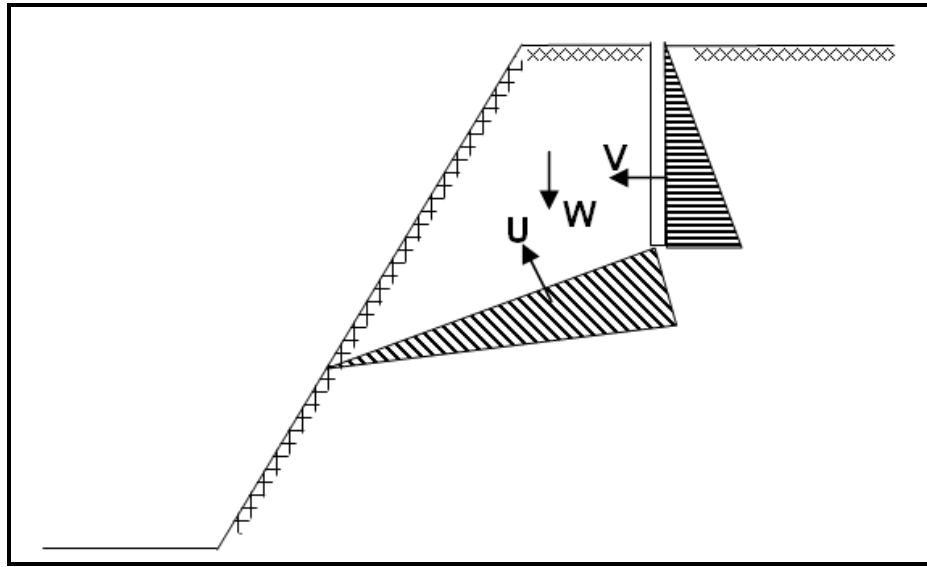
3.3.9. Şev Yenilmelerinden Geriye Analiz Yoluyla Kaya Kütlelerinin Kesme Dayanımı

Bu kaya kütleindeki bir kayma yüzeyi, kayma yüzeyi boyunca yönlendirilmiş doğal süreksizliklerle birlikte kırıksız kayada bir kısım kesme yenilmesini kapsar. Çatlaklı kayada büyük numuneler alınması ve test edilmesi genellikle zor ve pahalı bir işlemdir. Buna göre, kaya kütlelerinin sürtünme açısı ve kohezyonunu belirlemede biri geriye analiz ve Hoek-Brown dayanım kriteri olmak üzere iki ampirik yöntem geliştirilmiştir. İki yöntemde de kaya kütlelerini, kırıksız kaya dayanımı ve süreksizliklerin özellikleri cinsinden sınıflandırmak gerekir. Bu işlem kanaat kullanma gerektirebilir ve mümkün olan yerlerde, tasarımda kullanılan değerlerin güvenilirliğini arttırmak için, iki yöntemden elde edilen dayanım değerlerinin karşılaştırılması gerekir.

Bir kaya kütlelerinin dayanımını belirlemede muhtemelen en güvenilir yöntem, yenilmiş veya yenilen bir şevin geriye analizini yapmaktır. Bunun için; kayma yüzeyinin konumu, yenilme zamanında yeraltı suyu koşulları ve (eğer varsa) temel yükü veya deprem hareketi gibi dış kuvvetlere dair mevcut bilgileri kullanarak bir duraylılık analizinin yapılması gerekir. Emniyet katsayısı 1,0 alınmış olarak, sürtünme açısını ve kohezyonu hesaplamada duraylılık analizi kullanılır. Bu altbölümde, bir kireçtaşı ocağında yenilmiş bir şevin geriye analizi ile birlikte, daha derin bir ocak için uygun şev açısını tasarlamada hesaplanan kesme dayanımı değerleri tanımlanmıştır (Roberts ve Hoek, 1972).

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

Şekil 3.26'da, doğrultusu şev paralel ve eğimi şev ile aynı yönde 20° olan tabakalanma düzlemleri üzerinde gelişen bir kaymayı içeren bir şevin geometrisi verilmiştir.

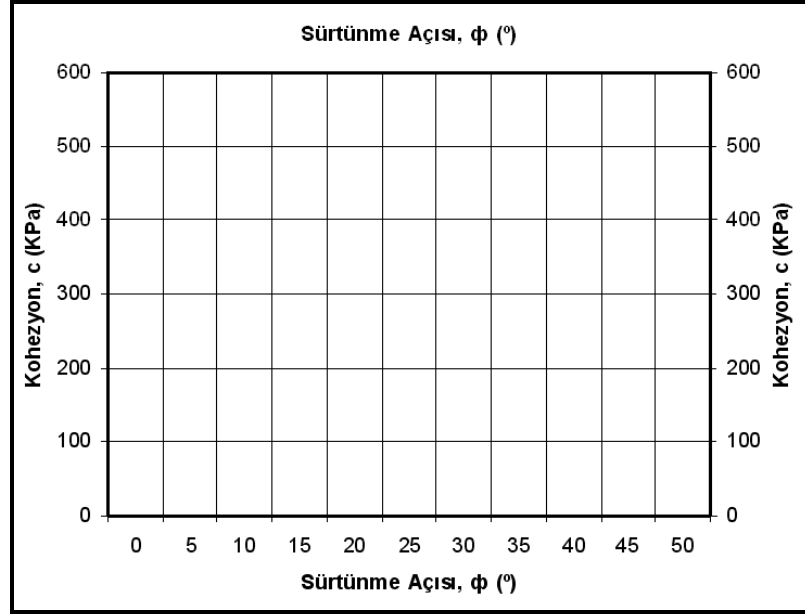


Şekil 3.26. Taşocağı şev yenilmesinin geometrisini ve su kuvvetlerini gösteren kesit.

Geriye analizde kayma yüzeyinin sürtünme açısı ve kohezyonu bilinmiyorsa, sürtünme açısının olası aralığı genellikle gözlemsel incelemeyle tahmin edilebilir ya da tabakalanma düzlemi içeren numunelerin bulunması halinde, laboratuvar deneylerinden bulunabilir. Bu tarzda hesaplanan kesme dayanımı değerleri, tabakalanma düzlemlerindeki kohezyonu muhafaza etmede özenli bir patlatma uygulamak koşuluyla, bu kireçtaşı kazılan şevleri tasarlamada kullanılabilir.

Çoğu durumlarda yeni bir şevin kazıldığı ortamdaki jeolojik koşullara benzer koşullarda kazılmış şevlerin geriye analizini yapmak elverişli olmayabilir. Böyle durumlardaki tasarımlarda, kaya kütlesi için yayınlanmış sonuçlardan yararlanılabilir. Şekil 3.27’de, şev yenilmesine ait yenilme anı için kesme dayanımı parametreleri (ϕ , c) arasındaki ilişki diyagramı verilmiştir. Yerel jeolojik koşullar için Şekil 3.27’ye ilave noktalar eklemek suretiyle, kesme yenilmeleri için kolaylıkla uygulanabilir bir kaya kütlesi dayanım diyagramı elde etmek mümkündür.

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN



Şekil 3.27. Yenilme anı için kesme dayanımı parametreleri (ϕ , c) arasındaki ilişki diyagramı.

3.3.10. Çatlaklı Kaya Kütleleri İçin Hoek-Brown Dayanım Kriteri

Çatlaklı kaya kütlelerinin dayanımını belirlemede geriye analize alternatif olarak, Hoek ve Brown (1980a,b) tarafından ampirik bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemde kesme dayanımı eğrisel bir Mohr zarfı ile temsil edilmektedir. Bu dayanım kriteri gevrek kayadaki kırığa ait Griffith çatlak teorisinden (Hoek, 1968) ve laboratuvar ile arazideki kaya kütlelerinin gözlenen davranışlarından türetilmiştir (Marsal, 1967 ve Jaegar, 1970).

Hoek ve Brown bu yenilme kriterini sağlam kayadaki yeraltı açıklıklarının tasarımı için gerekli analizlerde kullanılmak üzere girdi verileri sağlamak amacıyla tasarlamışlardır. Kriterde, kırıksız kayanın özelliklerinden başlayarak, kaya kütleindeki eklemlerin özelliklerine dayalı olarak bu özellikleri azaltmak amacıyla faktörler verilmiştir. Yazarlar, mevcut kaya kütleleri sınıflama şemalarından birini kullanarak ampirik kriteri jeolojik gözlemlerle bağdaştırmayı denemişler ve bu amaç için Bieniawski (1976) tarafından geliştirilen Kaya Kütleleri Puanlamasını (RMR) seçmişlerdir.

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

Uygun alternatiflerin bulunmayışından dolayı, kriter kısa zamanda kaya mekaniği camiasında benimsenmiş ve kriterin kullanımı, dayanım azaltma ilişkilerini elde etmede kullanılan orijinal sınırların dışına taşmıştır. Buna göre, bu ilişkileri tekrar incelemek gereği ortaya çıkmış; kriterin uygulandığı pratik problemlerin geniş aralığını hesaba katmak için zaman zaman yeni elemanlar bulunmuştur (Hoek vd., 2002). Bu tipik gelişmelerden biri, Hoek ve Brown (1988) tarafından öne sürülen "örselenmemiş" ve "örselenmiş" kaya kütlesi ve çok zayıf kaliteli kaya kütleleri için kaya kütlesi çekme dayanımını sıfıra indirmeye zorlamak için değişkenmiş bir kriter fikridir (Hoek vd., 1992).

Özellikle çok zayıf kayalar olmak üzere, Bieniawski'nin Kaya Kütlesi Puanlaması'nın yetersiz kalmasıyla, "Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI)"nin ortaya çıkmasına yol açmıştır (Hoek vd., 1992; Hoek, 1994; Hoek vd., 1995). Bu indeks daha sonra yapılan bir dizi çalışmada (Hoek vd., 1998; Marinos ve Hoek, 2000, 2001; Hoek ve Marinos, 2000) zayıf kaya kütlelerine uygulanmak üzere genişletilmiştir.

GSI değişik jeolojik koşullar için kaya kütlesi dayanımında azalımı hesaplamada bir yaklaşım getirmektedir. Bloklı kaya kütleleri ve şistoz metamorfik kaya kütleleri için çatlaklarına derecesi ve kırık yüzeyi koşulları ile ilişkili GST değerleri Şekil 10 ve 11'de verilmiştir. Eklemlı bir kaya kütlelerinin dayanımı, kırksız kaya parçalarının özelliklerinin yanında, kaya parçalarının farklı gerilme koşulları altında kayma ve dönme serbestliğine bağlıdır. Bu serbestlik kırksız kaya parçalarının geometrik şekli ile ve bu parçaları ayıran yüzeylerin koşulları tarafından kontrol edilir. Temiz, pürüzlü yüzeyli köşeli kaya parçaları, yuvarlak ve bozuşmuş malzeme ile kuşatılmış partiküller içerene kıyasla çok daha sağlam kaya kütlesi verir.

3.3.11. Genelleştirilmiş Hoek-Brown Dayanım Kriteri

Majör ve minör asal gerilmeler cinsinden ifade edilen genelleştirilmiş Hoek-Brown dayanım kriteri eşitliğinin değişkenmesiyle Eşitlik 3.63'teki gibidir.

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma_3'}{\sigma_{ci}} + s \right)^a \quad (3.63)$$

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

Eşitlik 3.63'te; m_b : Kırıksız kaya için malzeme sabiti olan m_i 'nin Eşitlik 3.64'teki gibi ifade edilen azaltılmış değeridir.

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right) \quad (3.64)$$

Değişik kaya türleri için m_i değerleri Çizelge 3.3'te verilmiş olup, kaya kütlesi için s ve a sabitleri Eşitlik 3.65 ve 3.66'daki gibi ifade edilir. Eşitlik 3.64'teki D terimi, kaya kütlesinin patlatma hasarı ve gerilme rahatlamasıyla, maruz kaldığı örselenme derecesine bağlı bir faktördür. Örselenmemiş, yerinde kayalar için 0'dan başlayarak, çok örselenmiş kayalarda 1'e kadar çıkabilir. Kaya kütlesinin tek eksenli basınç dayanımı Eşitlik 3.63'deki σ_3 değerini sıfıra eşitleyerek Eşitlik 3.65'teki gibi elde edilir.

$$\sigma_c = \sigma_{ci} (s^a) \quad (3.65)$$

Çekme dayanımı da Eşitlik 3.66'daki gibidir.

$$\sigma_t = \frac{-s\sigma_{ci}}{m_b} \quad (3.66)$$

Hoek-Brown yenilme kriteri kaya kütlesi deformasyon modülünün GPa cinsinden, Eşitlik 3.67'deki gibi hesaplanmasına olanak verir.

$$E_m = \left(1 - \frac{D}{2}\right) \sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{100}} 10^{\left(\frac{GSI-10}{40}\right)} \quad (3.67)$$

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

Eklemli kayalar için jeolojik dayanım indeksi		Yüzey şartları				
		Çok İyi	İyi	Orta	Zayıf	Çok Zayıf
Yapı		DECREASING SURFACE QUALITY →				
	KAYA PARÇALARININ KENETLEYİCİ ÖZELLİĞİNDE AZALIM	90			N/A	N/A
		80	70			
			60			
				50		
				40	30	
					20	10
		N/A	N/A			

Şekil 3.28. GSI (Geological Strength Index) kartı (Hoek vd., 1998).

FİLİŞ gibi heterojen kaya kütleleri için GSI		Yüzey şartları				
Bileşim ve Yapı		Çok İyi	İyi	Orta	Zayıf	Çok Zayıf
		70				
			60			
				50		
C,D,E ve G-Şekildekinden az ya da çok kıvrımlansa da, bu dayanımı değiştirmez. Tektonik def., faylanma ve süreklilik kaybı, bunları F ve H'ye kaydırır.					40	
					30	
					20	10
Tektonik örselemmeden sonra deformasyon anlamına gelir.						

Şekil 3.29. Filiş tipi kayalar için GSI kartı (Hoek vd., 1998).

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

Çizelge 3.3. Değişik kaya türleri için m_i değerleri (Wyllie ve Mah, 2004).

Kaya Tipi	Sınıf	Grup	Doku			
			İri	Orta	İnce	Çok İnce
SEDİMANTER	Kırıntılı		Çakıltaşları (21±3) Breşler (19±5)	Kumtaşları (17±4)	Silttaşları (7±2) Grovaklar (18±3)	Kıltaşları (4±2) Şeyler (6±2) Marnlar (7±2)
			Kırıntısız	Karbonatlar	Kristalin Kireçtaşı (12±3)	Sparitik Kireçtaşları (10±2)
	Evaporitler			Jips (8±2)	Anhidrit (12±2)	
	Organik					Tebeşir (7±2)
METAMORFİK	Folyasyonsuz		Mermer (9±3)	Hornfels (19±4) Kumtaşı (19±3)	Kuarsitler (20±3)	
	Az Folyasyonlu		Migmatit (29±3)	Amfibolitler (26±6)	Gnayslar (28±5)	
	Folyasyonlu			Şistler (12±3)	Fillitler (7±3)	Sleytler (7±4)
MAGMATİK	Plütonik	Açık	Granit (32±3)	Diyorit (25±5)		
			Granodiyorit (29±3)			
		Koyu	Gabro (27±3)	Dolerit (27±3)		
			Norit (20±5)			
	Hipabisal		Porfirler (20±5)		Diyabaz (15±5)	Peridotit (25±5)
	Volkanik	Lav		Riyolit (25±5) Andezit (25±5)	Dasit (25±3) Bazalt (25±5)	Obsidiyen (19±3)
		Piroklastik	Aglomera (19±3)	Breş (19±5)	Tüf (13±5)	

3.3.12. Mohr-Coulomb Kriteri

Şev duraylılık analizi, kayma yüzeyi üzerindeki kaya kütlelerinin Mohr-Coulomb yenilme kriteri ile ifade edilen kesme dayanımının incelenmesini kapsar. Bu nedenle, Hoek-Brown ve Mohr-Coulomb kriterleri arasında eşdeğer olan

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

sürtünme açıları ve kohezyonların belirlenmesi gerekir. Bu dayanımlar, kayma yüzeyi boyunca her bir kaya kütlesi ve gerilme aralığı için gereklidir. Sürtünme açısı (ϕ') ve kohezyon dayanımı (c') Eşitlik 3.68 ve 3.69 ile ifade edilir.

$$\Phi' = \sin^{-1} \left[\frac{6am_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6am_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}} \right] \quad (3.68)$$

$$c' = \frac{(\sigma_{ci} [(1+2a)s + (1-a)m_b \sigma'_{3n}]) (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}}{[(1+a)(2+a) \times \sqrt{\frac{(1 + (6am_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}))}{((1+a)(2+a))}}]} \quad (3.69)$$

Belirli bir normal gerilme (s) için Mohr-Coulomb kesme dayanımı (τ), c' ve ϕ' değerlerinin Eşitlik 3.70'te yerine konmasıyla bulunur.

$$\tau = c' + \sigma \tan \Phi' \quad (3.70)$$

Majör ve minör asal gerilmeler arasındaki ilişki Eşitlik 3.71'deki gibi tanımlanabilir.

$$\sigma_1' = \frac{2c' \cos \Phi'}{1 - \sin \Phi'} + \frac{1 + \sin \Phi'}{1 - \sin \Phi'} \sigma_3' \quad (3.71)$$

Şevlerde yenilme, şev içinde kayanın iki eksenli gerilme durumuna maruz kaldığı yerdeki kayma yüzeyi boyunca başlar ve bu durumda, ayrıntılı yenilme yayılması yerine, kaya kütlelerinin genel davranışı göz önüne alınır. Kaya kütlesi dayanımı olarak adlandırılan bu dayanım Mohr-Coulomb ilişkisinden Eşitlik 3.72'deki gibi hesaplanabilir.

$$\sigma'_{cm} = \frac{2c' \cos \Phi'}{1 - \sin \Phi'} \quad (3.72)$$

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

Eşitlik 3.72’de, c' ve ϕ' parametreleri $\sigma_t < \sigma'_3 < \sigma_{ci}/4$ gerilme aralığından belirlenir ve kaya kütlesi dayanımı (σ'_{cm}) için Eşitlik 3.73’teki değeri verir.

$$\sigma'_{cm} = \sigma_{ci} \frac{(m_b + 4s - a(m_b - 8s))(\frac{m_b}{4+s})^{a-1}}{2(1+a)(2+a)} \quad (3.73)$$

Şevler için, hesaplanan emniyet katsayısı ile yenilme düzleminin şekil ve yerinin eşdeğer olması gerekir. Geniş bir aralıktaki şev geometrileri ve kaya kütle özellikleri için dairesel yenilme analizinde Bishop yöntemini kullanan çalışmalarda, eşdeğer karakteristik eğrileri veren σ'_{3max} değerini bulmada genelleştirilmiş Hoek-Brown ve Mohr-Coulomb kriterlerinin ikisi de kullanılmıştır. Bu analizler, σ'_{3max} ile kaya kütle dayanımı (σ'_{cm}) ve kayma yüzeyi üzerindeki gerilme düzeyi (σ_0) arasında Eşitlik 3.74’teki ilişkiyi vermiştir.

$$\frac{\sigma'_{3max}}{\sigma'_{cm}} = 0,72 \left(\frac{\sigma'_{cm}}{\sigma_0} \right)^{-0,91} \quad (3.74)$$

Kayma yüzeyi üzerindeki gerilme düzeyi, şev yüksekliği (H) ve kayanın birim ağırlığı (γ_r) ile ilişkilidir (Eşitlik 3.75).

$$\sigma_0 = H\gamma_r \quad (3.75)$$

Çok büyük açık maden ocaklarındaki şevlerin tasarımından elde edilen deneyimler, örselenmemiş yerinde kaya kütleleri ($D=0$) için Hoek-Brown kriterinin çok iyimser olan kaya kütlesi sonuçları verdiğini göstermektedir (Pierce vd., 2001; Sjöberg vd., 2001). İleri derece patlatma hasarı ile birlikte örtü kayanın kaldırılmasından ileri gelen gerilme rahatlama etkileri, kayanın örselenmesine neden olur (Hoek ve Brown, 1988). Eşitlik 3.63 ve 3.64’te $D = 1$ kullanan “örselenmiş” kaya kütlesi özelliklerinin bu kaya kütleleri için daha uygun olduğu düşünülebilir.

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

Bir kazıyı çevreleyen kaya kütlelerinin örselenmesinde çok sayıda faktör rol oynayabilir ve bu faktörleri kesin olarak nicelleştirmek hiçbir zaman mümkün olmayabilir. Ancak, deneyime ve bu çalışmalardaki ayrıntıların analizine dayalı olarak, D faktörünü hesaplamanın esaslarını belirlemişlerdir (Çizelge 3.4) (Hoek vd., 2002).

Çizelge 3.4. Örselenme faktörü D için kullanılan kılavuz bilgiler (Hoek vd., 2002).

Kaya kütlelerinin görünümü	Kaya kütlelerinin tanımlanması	D için önerilen değer
	Bir tüneli çevreleyen kaya kütlelerinde en düşük örselenme, kontrollü, mükemmel patlatma ya da TBM(tünel açma mak.) ile yapılan kazıyla sağlanır	D=0
	Zayıf kaya kütlelerinde mekanik ya da elle kazı, açıklığı çevreleyen kayada minimum örselenmeyi verir. Sıkıştırma problemlerinin tabanda önemli kabarmalara yol açtığı yerlerde, örselenme önemli boyutta olabilir.	D=0 D=0,5(İnvertsiz)
	Sağlam kayada açılan tünellerde kötü kaliteli patlatma, önemli lokal hasar oluşturur ve tüneli çevreleyen kaya kütlelerinde 2-3 m. ilerleyebilir.	D=0,8
	Küçük ölçekli patlatmalarda, patlatma kontrollü ise orta dercede örselenmeye yol açar. Ancak, gerilme rahatlaması bir miktar örselenme oluşturur.	D=0,7(İyi Patlatma) D=1,0(Kötü Patlatma)
	Çok büyük açık ocak şevleri, kapsamlı üretim patlatmasından ötürü, önemli derecede örselenir. Bazı yumuşak kayalarda kazı dozerle yapılabilir ve oluşan örselenme düşüktür.	D=1,0(Üretim patlatması) D=0,7(Mekanik kazı)

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

Bu değerlerin sadece birer kılavuzdur ve Hoek-Brown hesaplamalarının herhangi bir tasarım için gerçekçi bir başlama noktası olarak kullanılabileceği göz önüne alınabilir, kazının gözlenen veya ölçülen performansının kestirilenden daha iyi olması durumunda, örselenme faktörleri aşağı doğru çekilebilir.

Şev duraylılık analizinde genellikle en önemli olan dayanım parametreleri, kohezyon ve sürtünme açısıdır. Ancak, sahadaki jeoloji ve gerilme koşullarına bağlı olarak kayanın dayanıklılığı ve basınç dayanımı önemli olabilir. Dayanıklılık ve basınç dayanımı deney prosedürleri, bir kayayı sınıflamada ve diğeri ile karşılaştırmada en iyi şekilde kullanılan indeks deneyleridir ve indeks ölçümleri (gerektiğinde) daha hassas laboratuvar deneyleri ile kalibre edilebilir.

3.3.13. Islak Kararlılık

Çoğu kaya malzemeleri ıslanma ve kuruma gibi bozuşma süreçlerine ve donma ve çözünme çevrimlerine maruz kaldıklarında kötüleşme eğilimindedir. Kalite kötüleşmesine özellikle duyarlı kaya türleri şeyl ve çamurtaşı olup, bunlardaki kil içeriği genellikle yüksektir. Kalite bozulması şişme şeklinde olabilir. Kayanın yüzeye çıkmasından sonra zayıflama ve parçalanmanın oluşabilmesi için gerekli zaman dakikalar ile yıllar uzunluğunda olabilir. Kalite bozulmasının şev duraylılığına etkisi yüzeydeki kavlama şeklinde başlar, şevin gerilemesi ile devam eder ve zamanla dayanım kaybından dolayı şevin yenilmesine kadar gider (Wu vd., 1981). Dirençli kumtaşı ile nispeten kötüleşebilir şeyl ardalanmasından oluşan sedimanter formasyonlarda bozuşma süreci kumtaşında çıkıntılar geliştirebilir ve kumtaşının ani yenilmesinden dolayı kaya düşme tehlikesi oluşturur.

Kayanın bozuşma ve kötüleşmeye eğilimini ölçmede kullanılan basit bir indeks deneyi ıslak kararlılık deneyidir (ISRM, 1981a). Numune hazırlama sırasında çok fazla kırılmamış veya donmasına izin verilmemiş, örselenmemiş numunelerin kullanılması önemlidir. Deney prosedürü, numunelerin elek telli bir tambura yerleştirilmesini, etüvde 105° sıcaklıkta 2-6 saat kurumasını ve sonra kuru numunenin ölçülmesini kapsar. Daha sonra tambur kısmen su içine daldırılır ve dakikada 20 devir hızla 10 dakika döndürülür. Tambur ikinci kez kurutulur ve ağırlık

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

kaybı belirlenir. Deney döngüsü daha sonra tekrarlanır ve ıslak dayanıklılık indeksi nihai kuru numune kütlesinin ilk kuru kütleyle oranı olarak (%) hesaplanır. Düşük ıslak kararlılık indeksi, kayanın yüzeye çıkması halinde kalitesinin kötüleşeceğine işaret eder. İleri derecede kötüleşebilir kayalar için Atterberg limitleri gibi zemin sınıflama deneylerinin yanında, kil minerali türlerini belirlemek ve bentonitler ile montmorillonitler gibi şişebilen killerin bulunup bulunmadığını tespit etmek için X ışını kırınım deneylerinin yapılmasında yarar vardır.

3.3.14. Basınç Dayanımı

Orta derece sağlam kayadan sağlam kayaya değişen malzemeler içinde açılmış pek çok şevde, yerçekiminden dolayı oluşan gerilme düzeyi kaya dayanımından düşük olur. Bu nedenle, şev içinde kırıksız kayanın kırılma eğilimi çok düşük olup, basınç dayanımı kesme dayanımından daha az önemli bir tasarım parametresidir. Kayma yüzeyi üzerindeki kayanın basınç dayanımı, bir kırığın pürüzlüğünü değerlendirirken (JCS terimi), Hoek-Brown dayanım kriterinin uygulandığı duraylılık analizinde sadece dolaylı olarak kullanılır. Bu uygulamaların ikisinde de, sonuçlar bu parametrenin değerine özellikle duyarlı olmadığı için, basınç dayanımı olarak yaklaşık bir düğerin kullanılması yeterlidir. Örnek olarak, patlayıcı deliği açma ve sıyırma şeklinde kazının ilerleme hızı ile birlikte, patlayıcı tiplerinin seçimi ve patlatmaların tasarımının hepsi de kayanın basınç dayanımından etkilenir.

Kaya şev tasarımı için basınç dayanımını bulmada uygun bir yöntem, nokta yük dayanım indeksi deneyidir. Deney aleti taşınabilir olup, deneyler arazide ve laboratuvar da karotlar ya da düzensiz, şekilli kaya parçaları üzerinde çabucak ve çok düşük maliyetle yapılabilmektedir (ISRM, 1985). Nokta yük deneyi dayanım için bir indeks değeri sağladığından, bu konudaki genel uygulama, nokta yük deney sonuçlarını karotlar üzerinde yapılan sınırlı sayıdaki tek eksenli basınç deneyleriyle kalibre etmektir.

Deney prosedürü, düzeneğin kırıcı çeneleri arasına numuneyi yerleştirdikten sonra bir hidrolik krika ile yük uygulamak suretiyle numuneyi kırma şeklindedir. P

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

nokta yük kırma dayanımı olarak alınır, nokta yük indeksi (I_s) Eşitlik 3.76'daki gibi ifade edilebilir.

$$I_s = \frac{P}{D_e^2} \quad (3.76)$$

Burada, D_e = aşağıdaki gibi tanımlanan eşdeğer karot çapıdır ve D 'nin karot çapı olduğu çapsal deneyler için $D^2 = D_e^2$ 'dir.

Bir kayanın boyut düzeltmesi yapılmış nokta yük dayanım indeksi ($I_{s(50)}$), çapın $D = 50$ mm olduğu bir çapsal deneyde ölçülen I_s değeri olarak tanımlanır. Boyutu 50 mm'den farklı numuneler üzerinde yapılan deneyler için bir k_{PLT} düzeltme faktörü uygulanarak (Eşitlik 3.77), deney sonuçları boyut düzeltmesi yapılmış nokta yük dayanım indeksine $I_{s(50)} = I_s \times k_{PLT}$ şeklinde standartlaştırılabilir.

$$k_{PLT} = \left(\frac{D_e}{50}\right)^{0.45} \quad (3.77)$$

Tek eksenli basınç dayanımının ortalama olarak nokta yük dayanım indeksinin 20-25 katı olduğu bulunmuştur. Ancak, çok sayıda farklı kaya üzerinde yapılan deneyler, özellikle anizotrop kayalarda bu oranın 15 ile 50 arasında değişebileceğini göstermektedir. Bu nedenle, en güvenilir sonuçlar tek eksenli kalibrasyon deneyleri yapıldığı zaman elde edilir.

Yenilme düzleminin kısmen kayada önceden mevcut bir kırık boyunca gelişmesi ya da kırıcı çeneler arasındaki çizgi ile uyumlu olmaması halinde nokta yük deney sonuçları geçerli olmaz. Kırıcı çenelerin kayaya battığı zayıf kayalarda yapılan deneyler için, batma miktarı ölçülerek D mesafesi düzeltilmek suretiyle, sonuçlarda ayarlama yapılmalıdır. Basınç dayanımını ölçmek için mevcut düzenek bulunmaması halinde, çoğu amaçlar için dayanımı yeterli doğrulukta tahmin etmek için, basit arazi gözlemlerinden yararlanılabilir (Wyllie ve Mah, 2004).

3.4. Saha İncelemesi ve Jeolojik Veri Toplanması

Kaya kazılarının tasarımı çoğu zaman sahada gözlemsel çalışmadan başlayan, seçici ve nihai tasarım ile devam eden tekrarlı bir süreçtir. Bu süreç, saha koşullarına özgü ve proje gereksinimleri için giderek daha ayrıntılı tasarım verilerinin toplanmasını içerir. Genel olarak, tam bir incelemenin üç aşaması sırasıyla şu şekildedir;

- Ön etüt: Yayınlanmış jeolojik haritaların ve raporların incelenmesi, hava fotoğraflarının değerlendirilmesi, yerel deneyimlerin toplanması, mümkün olduğu takdirde benzer jeolojik koşullarda açılmış şevlerin performansının incelenmesine yönelik arazi gezileri ve mostraların sınırlı olması durumunda jeofizik çalışmaları.
- Güzergâh seçimi/Açık ocak şevi ön tasarımı: Projede alternatif güzergâh değerlendirmeleri bulunduğu zaman; her bir güzergâh için mostra haritalama, örtü kalınlığını bulmak için jeofizik ve kaya özellikleri için de indeks özellikleri olmak üzere sınırlı incelemeler yapılabilir. Bir açık maden ocağı için genellikle sahada inceleme programı sırasında derlenmiş önemli miktarda jeolojik bilgi mevcuttur. Bu bilgiler çoğu zaman haritalama, jeofizik ve sondajlar olup, jeoteknik bilgiler bu kaynaklardan temin edilebilir.
- Ayrıntılı incelemeler: Nihai tasarım genellikle yapısal jeolojiyi incelemek için mostraların ve mevcut kazıların haritalanmasını, örtü kalınlığı ve özellikleri hakkında bilgi edinmek için araştırma çukurlarının açılmasını ve derindeki kaya koşullarını incelemek için de elmaslı sondajların yapılmasını gerektirir. Sondaj işlemleri, yapısal jeoloji hakkında bilgi edinmek için yönlü karot alınmasını ve yeraltı suyu ölçümleri ile bazen geçirgenlik ölçümü için piyezometre yerleştirilmesini içerebilir. Kaya dayanım deneyleri laboratuvarda karotlar üzerinde süreksizliklerin sürtünme açısının belirlenmesini, tek eksenli basınç dayanım deneylerini ve ıslak kararlılık deneylerini kapsayabilir.

Gerek saha koşulları ve gerekse şev tasarımları büyük değişimler gösterdiği için, inceleme programlarının tipi ve sayısı konusunda herhangi bir sınırlama yoktur.

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

Bunun anlamı, her incelemenin kendine özgü olmasıdır. Kaya şev tasarımına uygulanan tek genel kural, jeoloji, kaya dayanımı ve yeraltı suyu hakkında bilgilerin gerekli olmasıdır (Wyllie ve Mah, 2004).

3.4.1. Jeoloji

Kaya şevleri için yapılan çok sayıdaki incelemenin belirgin bir özelliği, özellikle yapısal jeolojik ayrıntılara vurgu yapılmasıdır. Meselâ, şev yüzeyini kesen kil dolgulu bir fayın yönelimi, şevin duraylı veya duraysız olması açısından önemli olabilir. Yüzey haritalarından (mevcut olduğu yerlerde) elde edilen yapısal jeoloji verileri, elmaslı sondajdan elde edilen verilere kıyasla daha güvenilirdir. Çünkü çok küçük sondaj karotu hacmine kıyasla, mostralara ve yarmalara daha büyük ölçekli özellikleri ve örselenmemiş yerinde (in-situ) koşulları yansıtır. Ayrıca, yönlü olarak alınmadığı sürece karottaki süreksizliklerin yönelimi bilinemez.

Kaya kütlesi dayanımı veya duraylılık üzerine etkisi küçük olan çok sayıda kısa, devamsız eklemlere, şev yüksekliğine eşit uzunluktaki ve daha az sayıdaki makaslama yüzeylerine kıyasla haritalama sırasında daha az önem verilmelidir.

Jeolojik inceleme için alternatif yaklaşımlardan birincisi, saha yakınında jeolojik koşulların projedekine benzer olduğu yerlerde çok sayıda şev/yamaç mevcut olabilir. Bu durumda, bu şev/yamaçların performansının yeni tasarıma uyarlanması oldukça güvenli olabilir. Bu şartlarda, mevcut şev performansının dikkatlice belgelenmesi ve bunun planlanan tasarıma nasıl uygulanabileceğinin değerlendirilmesi hariç, ilave veri toplamaya gerek olmayabilir. Alternatif olarak, yarma şev duraylılığı konusunda yerel deneyimlerin çok az olduğu yerlerde haritalama, sondaj ve laboratuvar deneyleri de dâhil olmak üzere kapsamlı bir inceleme programı yürütmek gerekli olabilir. Bu program geliştirilirken, sahadaki özel koşullara uymak üzere değiştirilmelidir. Örnek olarak, kaya sağlam ve eklemler de duraylılık için elverişli olsa bile, sondaj ve haritalama işlemleri duraylılık koşullarını etkileyen birçok fayın bulunduğunu gösterebilir. Buna göre, inceleme programı bu fayların yer ve yönelimlerini belirleme ve bunların kesme dayanımı özelliklerini tanımlamaya yoğunlaşmalıdır (Wyllie ve Mah, 2004).

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

3.4.2. Kaya Dayanımı

Şev tasarımında kullanılan kaya dayanım parametreleri başlıca süreksizliklerin ve kaya kütlelerinin dayanımı, (uygulanabilir olduğu yerlerde) kayanın bozuşma özellikleri ve kısmen de kırksız kayanın basınç dayanımıdır. Süreksizliklerin kesme dayanımı, sondajlardan elde edilen karotlar ya da süreksizlik içeren kaya kütlelerinden kesilen parçalar üzerinde laboratuvarında ölçülebilir. Kaya kütlelerinin kesme dayanımı şev yenilmelerinin geriye analiziyle belirlenebilir veya kırksız kaya dayanımı, kaya tipi ve çatlaklarına derecesi hakkında bilgi gerektiren bir ampirik yöntem vasıtasıyla hesaplanabilir. Kayanın basınç dayanımı karot örnekleri üzerinde ya da arazide mostrada uygulanan indeks deneyleriyle ölçülebilir. Kayanın bozuşmaya duyarlılığı da laboratuvarında ölçülebilir veya arazide indeks deneyleriyle değerlendirilebilir (Hoek ve Bray, 1981).

3.4.3. Yeraltı Suyu

Yeraltı suyu incelemesinin herhangi bir şev tasarımı programındaki önemi büyüktür. Yağışın fazla olduğu iklimlerde su basınçları daima tasarıma dâhil edilmelidir. Tasarım su basınçları ortalama mevsimsel su tablasından ileri gelen basınçtan ziyade şiddetli yağmur ya da kar erime dönemleri sırasında gelişebilecek olası pik basınçları hesaba katmalıdır. Ayrıca, drenaj sistemlerinin yerleştirilmiş olduğu durumlarda bakım yapılmadığı takdirde bu sistemlerde oluşabilecek olası kötüleşmeler de tasarımda dikkate alınmalıdır.

Jeolojik incelemelere benzer şekilde, yeraltı suyu incelemesinin kapsamı da saha koşullarına bağlıdır. Tasarımda su basıncı konusunda gerçekçi değerler kullanılabilmesi için su tablasının konumunu ve değişimlerini ölçmede çoğu durumda piyezometre yerleştirilmesi yeterli olmaktadır. Ancak, bir drenaj galerisi gibi kapsamlı drenaj önlemlerinin alınmasının planlandığı bir durumda, sevi drene etmede drenaj galerisinin başarılı olup olmayacağını değerlendirmek ve sonra da galeri ve drenaj deliklerinin optimum yer ve planını belirlemek için, geçirgenlik ölçümleri faydalı olacaktır (Hoek ve Bray, 1981).

3.4.4. Arazide Gözlemsel İnceleme

Projenin bu aşamasında toplanan bilgiler çok ender durumlarda nihaî tasarım için yeterlidir, bu nedenle, projenin ana hatları bir kere ortaya konulduktan sonra, bu çalışmalardan sonra yüzey haritalaması ve sondaj gibi daha ayrıntılı incelemeler yapılır. Herhangi bir saha gözlemsel incelemesinin bir kısmını, gerek kamu ve gerekse özel kurumların yayınladığı verilerden, mevcut doğal yamaçların ve yarma yüzeylerinin performansı ile ilgili gözlemlere kadar değişen aralıkla, sahayla ilgili mevcut verilerin toplanması oluşturur. Bu kaynaklar kaya tipleri, bozuşma derinliği, olası şev yenilme modları ve kaya düşmelerinin sıklığı ve boyutu gibi bilgiler sağlar.

Bir projenin sahada gözlemsel inceleme aşamasında önemli bir adım, proje gereksinimleri açısından jeolojik özelliklerin üniform olduğu zonların belirlenmesidir (ISRM, 1981). Zonlar arasındaki tipik sınırlar litoloji, fay veya kıvrım şeklindedir. Kaya kütlelerinin zonlanması, zonlar arasındaki sınırın yeri, yönelimi ve tipi ile birlikte her bir zondaki kaya kütlelerinin mühendislik özellikleri hakkında bazı bilgiler sağlamalıdır. Her bir zonun sınırlarını tanımlamak suretiyle, güzergâh boyunca veya ocak çevresinde duraylılık koşullarının değişim derecesini belirlemek ve sonra da duraysızlık potansiyelinin bulunduğu zonlarda daha ayrıntılı incelemeler planlamak mümkündür.

3.4.4.1. Hava ve Kara Fotoğrafları

Düşey hava fotoğrafları ya da verev kara fotoğraflarının stereografik çiftlerinin incelenmesiyle, sahadaki daha büyük ölçekli jeolojik koşullar hakkında çok daha faydalı bilgiler elde edilir (Peterson vd., 1982). Bitki örtüsü, kaya düşmesi ya da yakın açıklıklı süreksizliklerden dolayı bu büyük özelliklerin yüzey haritalaması sırasında teşhis edilmesi çoğu zaman zordur. Jeoteknik mühendisliğinde kullanılan fotoğraflar genellikle siyah-beyazdır, ölçekleri 1:10.000 ile 1:30.000 arasında değişir. Bazı projelerde yüksekten ve alçaktan çekilmiş fotoğrafların ikisi de gereklidir. Yüksekten çekilmiş fotoğraflarla heyelanlar teşhis edilirken, alçaktan çekilmiş fotoğraflar da jeolojik yapı hakkında daha ayrıntılı bilgi sağlamaktadır.

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

Hava fotoğraflarının en önemli kullanımı, hareket etme, hatta tesislere zarar verme potansiyeli olan heyelanların teşhis edilmesidir. Düşey hava fotoğraflarında çoğu zaman kolaylıkla tanınabilir heyelan özellikleri, bir kaymanın tacı boyunca sarplıklar, kayma gövdesindeki engebeli topografya ve nehir yönündeki ani değişim de dâhil olmak üzere topuktaki taze örselenme alanlarıdır. Belirli bir dönemde değişik zamanlarda alınan fotoğrafları karşılaştırmak suretiyle, bir heyelanın kayma hızının ve boyutunun büyüüp büyümediğinin belirlenmesi mümkündür.

Hava fotoğrafı üzerinde görülebilen diğer özellikler; faylar, tabakalanma düzlemleri ve sürekli eklem takımları gibi majör jeolojik yapılardır. Fotoğraflar, bu özelliklerin konumu, uzunluğu ve devamlılığı hakkında bilgi sağlayabilir (Goodman ve Bray, 1976).

3.4.4.2. Jeofizik

Bir saha incelemesinin sahada gözlemsel çalışma ya da ön etüd aşamasında bozuşma derinliği, temel kayası profili, önemli derecede yoğunluk farkına sahip kaya tipleri arasındaki dokanaklar, ana fayların yerleri ve kayanın çatlaklanma derecesi gibi bilgiler elde etmede jeofizik yöntemlerden sıkça yararlanılmaktadır (Griffith ve King, 1988). Jeofizik ölçümlerden elde edilen sonuçlar genellikle nihaî tasarımda kullanılabilecek derecede doğru olmayıp, gerçek özellikleri ve dokanak kotlarını kontrol etmek için belirli yerlerde araştırma çukurları ve sondaj kuyuları açmak gerekir. Bununla birlikte, jeofizik incelemeler yeraltı koşullarına dair devamlı bir profil sağlar ve sondajlar arasını doldurmada bu bilgiden yararlanılabilir. Kaya şev mühendisliği amaçları için en yaygın jeofizik inceleme tekniği sismik yansıma tekniğidir.

Sismik yöntemler, zemin ve kaya katmanlarının yaklaşık yerlerini ve yoğunluklarını, iyi tanımlanmış bir su tablasını, ya da kayanın çatlaklanma derecesi, gözeneklilik ve doygunluğunu belirlemede kullanılmaktadır. Sismik yöntem birkaç on metre ile en çok birkaç yüz metre arasındaki derinliklerde etkilidir. Bir makaslama yer değiştirmesi olmadığı ve fay hareketi neticesinde belirli bir

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

yoğunluktaki katmanda belirgin bir kot değişimi bulunmadığı sürece süreksizlikler sismik yöntemlerle teşhis edilemezler.

Sismik ölçümlerde göreceli varış zamanları, yayılma hızı ve sığ bir enerji kaynağından itibaren arzu edilen bir hat üzerine dizilmiş belirli sayıdaki jeofonlara giden elastik dalgaların hızları kaydedilmektedir. Enerji kaynağı bir balyoz darbesi olabileceği gibi, bir oksijen-propan karışımının sağlam bir haznede patlatılması ya da az miktarda patlayıcı olabilir. Yüzeyine yakın yerde ani bir gerilmeye maruz kalan elastik açıdan homojen bir kaya/zeminde dışa doğru üç elastik pals değişik hızlarda hareket eder. Bunlardan ikisi, yerin serbest yüzeyinden az, etkilenen ve küresel cephe şeklinde ilerleyen cisim dalgalarıdır. Üçüncüsü de, yüzeye yakın bölge ile sınırlı olan ve genliği derinlikle hızla azalan yüzey (Raleigh) dalgasıdır. Birincil (P) ve ikincil (S) dalga şeklindeki cisim dalgalarının gerek hareket yönleri ve gerekse hızları birbirinden farklıdır. P dalgası yayılma yönünde boyuna bir sıkışma dalga iken, S dalgası ortamda kesme gerilmesi oluşturur.

Elastik dalgaın ses hızı daha yoğun malzemede ve düşük yoğunluklu, yakın açıklıklı kayaya göre daha masif kayada daha yüksektir. Bu bilgi, kayanın sökülebilirliğini değerlendirmede kullanılmaktadır. Yüksek yoğunluklu bir katman üzerinde daha düşük yoğunluklu bir malzeme bulunduğu zaman (kaya üstünde zemin gibi), elastik dalga hızı kayada daha yüksek olur ve katmanlar arasındaki dokanak da kırılma yüzeyi olarak davranır. Atış noktasından itibaren belirli mesafe aralıklarında, atış noktasından sonra farklı uzaklıklardaki ilk gelişler bu yüzeyde ilerleyen dalgaları temsil ederler. Bu bilgi, iki katman arasındaki dokanak profilini grafiğe aktarmada kullanılabilir.

3.4.5. Jeolojik Haritalama

Kazının yapılacağı alana benzer jeolojik formasyonlardaki yüzey mostraları veya mevcut yarmaların jeolojik haritalaması, genellikle şev tasarımı için gerekli saha koşulları hakkındaki temel bilgiye önemli ölçüde katkı sağlar. İnceleme programının hayati bir parçası olan haritalama aynı zamanda kesin olmayan bir süreçtir. Çünkü yüzeydeki mostralardan elde edilen sınırlı miktardaki bilgiyi

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

kullanarak şev yarmasının tamamı için bir genelleme yapmada kanaat kullanılması söz konusudur (McClay, 1987).

3.4.5.1. Çizgi ve Pencere Haritalaması

Önemli jeolojik yapıların tümünü sistematik olarak inceleyen yapısal haritalama yöntemleri çizgi ve pencere haritalamasıdır.

Çizgi haritalaması yüzey boyunca bir şerit metre çekerek, bu şerit metreyi kesen her süresizliğin haritalanmasını içerir. Çizgi uzunlukları çoğu zaman 50 m ile 100 m arasındadır. Çizginin uçlarının da gözleme dâhil edilmesi durumunda, tüm süresizliklerin lokasyonları belirlenebilir. Pencere haritalaması, mostra üzerinde belirli aralıklarla yerleştirilmiş temsilci segment ya da belirli boyuttaki pencere içine düşen tüm süresizliklerin haritalanmasını içerir. Aradaki kısımlar da yapıda benzerlik olup olmadığı açısından incelenir. Pencere boyutu çoğu zaman 10 m'dir. Haritalamada kullanılan yüzeyin yayılımına bağlı olarak, bu haritalama tekniklerinden ikisi de projenin gerek ön etüd ve gerekse nihaî tasarım aşamasında kullanılabilirler. Başlangıçtaki incelemelerin duraylılık üzerine etkisi önemli olan belirli bir yapıyı ortaya çıkarması halinde, bu yapılar üzerinde pürüzlülük ve devamlılık ölçümleri gibi daha ayrıntılı haritalama gerçekleştirilebilir.

3.4.5.2. Süresizliklerin Stereogrametrik Haritalanması

Kaya düşmesinin tehlike arz etmesi ya da yüzeyin çıkıntı şeklinde askıda olması gibi bazı durumlarda haritalama için kaya yüzeyine doğrudan erişim mümkün olmayabilir. Bu şartlar için karasal fotogrametriyi kullanarak jeolojik haritalama yapma şeklinde bazı dolaylı yöntemler vardır. Bu yöntemin temel ilkesi, her bir yüzeye ait en az üç noktanın koordinatlarının elde edilmesi ve buna göre düzlemin yöneliminin belirlenmesidir. Bu amaç için geliştirilen sistemlerden biri SIRO-JOINT'tir. Bilinen bir lokasyona yerleştirilen bir fotoğraf makinesi ile yamacın (şevin) sayısal bir görüntüsü elde edilir ve bu görüntü kaya yamaç yüzeyini tanımlayan üç boyutlu uzaysal verilere dönüştürülür. Her bir uzaysal noktanın

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

uzayda bir konumu (x, y ve z koordinatları) söz konusu olup, üç uzaysal noktadan oluşan her bir yerel takım bir üçgeni tanımlar. Bu koordinatlardan hareketle, üçgenlerin yönelimleri ağırlık merkezinin koordinatları ile birlikte eğim miktarı ve eğim yönü cinsinden tanımlanabilir. Yazılım, hesaplanan eğimin miktarı ve yönünün doğrudan bir stereonete aktarılabilmesine olanak verir.

3.4.5.3. Süreksizlik Tipleri

Jeolojik incelemelerde süreksizlikler genellikle oluşum şekillerine göre sınıflandırılırlar. Bu yaklaşım, her bir kategorideki süreksizliklerin bir sahanın duraylılık koşullarının ilk değerlendirilmesinde kullanılabilecek boyut ve kesme dayanımı özellikleri açısından genellikle benzer olmasından dolayı, jeoteknik mühendisliği için çok faydalıdır. Aşağıda, en yaygın süreksizlik tipleri için standart tanımlamalar verilmiştir.

Fay: Gözlenebilir bir yer değiştirme miktarı sergileyen süreksizlik. Faylar çok ender durumlarda tek düzlemsel birimlerdir. Normalde paralel ya da paralele yakın süreksizlik takımları şeklinde gelişirler ve bunlardaki yer değiştirme miktarı değişkendir.

Tabakalanma: Çökelme yüzeyine paralel olan yüzey, fiziksel olarak her zaman ayırt edilemeyebilir. Tabakalanma düzleminin orijinal yöneliminin yatay olarak varsayılması gerektiğine dikkat edilmelidir.

Folyasyon: Yassı minerallerin paralel yönelimi ya da metamorfik kayalarda mineral bantlaşmasıdır.

Eklem: Gözlenebilir herhangi bir göreceli hareketin olmadığı süreksizlik. Eklemler genelde tabakalanma, klivaj ve şistozite gibi birincil yüzeyleri keserler. Birbirine paralel bir dizi eklem oluşturduğu gruba eklem takımı denir. Kesişen iki veya daha fazla takım bir eklem sistemi oluşturur. Birbirine yaklaşık olarak dik konumda bulunan iki eklem takımının ortogonal (birbirine dik) olduğu söylenir.

Klivaj: Değişik sertliklerdeki bir dizi tabakalar içinde yumuşak katmanlara paralel şekilde oluşan süreksizliklerdir. Klivaj terimi genelde klivaj düzlemlerinin, paralel yönelimdeki mineral partikülleri tarafından kontrol edilmediğini ima eder.

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

Şistozite: Şist veya iri taneli diğer kristalin kayalarda mika gibi yassı veya prizmatik mineral tanelerinin paralel diziliminden dolayı oluşan folyasyondur.

3.4.5.4. Jeolojik Terimlerin Tanımları

Kaya kütlelerinin özelliklerini tanımlayan parametreler aşağıda tanımlanmıştır.

Kaya türü, kayanın kökeni (sedimenter, metamorfik veya magmatik), mineralojisi, renk ve tane boyu ile tanımlanır (Deere ve Miller, 1966). Kaya tipini tanımlamanın önemi, farklı kaya tiplerinin performansının geniş bir aralıkta oluşması (meselâ, granitin genellikle şeylden daha masif ve daha sağlam olması) ve bu bilginin kayanın olası davranışı hakkında bir kılavuz niteliği taşımasıdır.

Süreksizlik türü, uzunluğu sınırlı olan temiz çekme çatlaklarından birkaç metre kil dolgusu içeren ve kilometrelerce uzunlukta olan faylara kadar değişim gösterir. Buna göre, süreksizliklerin kesme dayanımları da çok farklı olacaktır.

Süreksizlik yönelimi, yüzeyin eğimi ve eğim yönü (veya doğrultusu) ile ifade edilir. Düzlemin eğimi, düzlemin yatay ile yaptığı en büyük açı (ψ) olup, eğim yönü de eğim çizgisinin yatay izinin kuzeyden saat yönünde okunan yönüdür (α açısı). Eğim ve eğim yönü pusula ile tek bir okumada belirlenebildiğinden, süreksizlik yöneliminin bu şekilde tanımlanması haritalamayı kolaylaştırmaktadır. Ayrıca, yapısal jeolojiyi analiz etmek için, sonuçlar doğrudan stereonet üzerine aktarılabilir.

Süreksizlik açıklıkları, kaya yüzeyleri ve sondaj karotları üzerinde haritalanabilir. Gerçek açıklık, yüzey ile belirli bir açı yapan süreksizliklerin görünür açıklığından hesaplanır. Açıklık kategorileri aşırı genişten (>2 m) çok yakına (<6 mm) kadar değişir. Her bir takıma ait süreksizlik açıklığı ölçümü, blokların şekil ve boyutunu belirlemenin yanında devrilme yenilmesi gibi duraylılık modları hakkında da bir fikir verir. Ayrıca, yakın aralıklı kırıklar içeren kaya kütlelerindeki bireysel süreksizlikler kolaylıkla birleşerek sürekli bir zayıflık zonu oluşturduklarından, kaya kütleleri dayanımı süreksizlik açıklığı ile ilişkilidir.

Devamlılık, süreksizliğin devamlı uzunluğunun veya alanının bir ölçüsüdür. Çok yüksekten (>20 m) çok düşüğe (<1 m) kadar değişir. Bu parametre blokların boyutunu ve potansiyel kayma yüzeylerinin uzunluğunu belirler. Buna göre,

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

haritalamada, duraylılık üzerine etkisi en büyük olan süreksizlik takımlarının devamlılığına ağırlık verilmelidir.

Pürüzlülük, özellikle süreksizliğin yer değiştirmemiş ve kenetlenmeli olduğu yerlerde, kesme dayanımının önemli bir bileşenidir. Süreksizliğin dolgu içerdiği ya da yer değiştirmek suretiyle kenetlenmenin kaybolduğu yerlerde pürüzlülük daha az önemlidir. Pürüzlülük, arazideki mostrada beklenen kayma yönünde (mümkün, olduğu takdirde) en az 2 m uzunluk içinde ölçülmelidir. Pürüzlülük derecesi i° değeri ile nicelleştirilebilir; bu değer, yüzeydeki düzensizliklerin bir ölçüsüdür. Pürüzlü yüzeyin toplam sürtünme açısı $\phi+i$ 'dir. i değerleri, yüzeyde doğrudan ölçüm yoluyla veya yüzey pürüzlülüğünü düzensiz eklem yüzeyi standart profilleri ile karşılaştırmak suretiyle belirlenebilir.

Süreksizlik duvarlarını oluşturan kayanın dayanımı, pürüzlü yüzeylerin kesme dayanımını etkiler. Makaslama sırasında yerel temas noktalarında duvar dayanımına kıyasla yüksek gerilmelerin olduğu yerlerde, düzensizlikler makaslanır ve sonuçta sürtünme açısının pürüzlülük bileşeni azalır. Bozuşmanın ilk evrelerinde çoğu zaman süreksizlik yüzeylerindeki kaya dayanımında bir azalım söz konusu olup, sonuçta pürüzlülük değeri azalabilmektedir. Basınç dayanımını (ISRM, 1981b) basit arazi deneylerinden ya da karot veya blok numuneler mevcut olduğu zaman nokta yükleme deneyinden tahmin etmek genellikle yeterlidir. Süreksizlik yüzeylerindeki kayanın basınç dayanımını tahmin etmede Schmidt çekici deneyi de kullanılmaktadır. Duraylılığı kontrol eden kritik bir süreksizliğin bulunması halinde, profillerden tahmin edilen değerler, birkaç adet ayrıntılı pürüzlülük ölçümü ile kalibre edilebilir. Kaya kütlelerinin dayanımını hesaplamada kullanılan parametrelerden biri de kırksız kayanın dayanımıdır.

Bozuşma, kaya dayanımında azalımı neden olur ve süreksizliklerin kesme dayanımını azaltır. Bozuşma ayrıca kırksız kayanın dayanımındaki azalımdan dolayı kaya kütlelerinin kesme dayanımını da azaltır. Bozuşma kategorileri taze kayadan rezidüel zemine kadar değişir. Kayanın bozuşması, parçalanma ve bileşim değişmesi şeklinde olur. Parçalanma, ıslanma ve kuruma, donma ve çözülme gibi yüzeye çıkan katmanlı kırın çevresel koşulların bir sonucudur. Parçalanma, özellikle şişen kil içeren kumtaşı ve şeyi gibi sedimanter kayalarda ve mika içeriği yüksek olan

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

metamorfik kayalarda daha yaygındır. Bileşim değişimi şeklindeki bozuşma ise, oksitlenme (örnek; demir içeren kayada sarı renkli oluşumlar), hidrasyon (örnek; granitteki feldispatın kaolinit kiline dönüşümü) ve karbonatlaşma (örnek; kireçtaşının çözünmesi) gibi kimyasal etmenler vasıtasıyla kayada meydana gelen değişimlere işaret eder. Kaya kütlesini parçalanma ve bileşim değişmesi derecesine göre kategorize eden bozuşma sınıfları ISRM tarafından belirlenmiştir.

Yarık genişliği, açık bir süreksizlikte birbirine komşu kaya duvarları arasında yüzeylere dik olan mesafedir. Hava veya su ile dolu olan yarık, genişlik itibariyle erime boşlukludan (>1 m) çok sıkıya ($<0,1$ mm) kadar değişir. Yarık genişliği bu anlamda dolgulu süreksizliğin genişliğinden farklıdır. Kaya kütlesinin hidrolik iletkenlik ve gerilme değişimleri altındaki deformasyon gibi olası davranışını kestirme ve açık süreksizliklerin gelişme sebebini anlama açısından önemlidir. Olası nedenleri, dolgu aşınması, süreksizliğin duvarını oluşturan kayanın çözünmesi, kesme yer değiştirmesi ve pürüzlü süreksizliklerin hacimsel genişlemesi, heyelanların taç kısmındaki çekme çatlakları ve buzul çekilmesi veya erozyonun ardından derin vadi duvarlarının rahatlaması şeklinde sıralanabilir. Yarık genişliği mostralarda, patlatma etkisiyle oluşmuş açık süreksizlikleri devre dışı bırakmak koşuluyla tünellerde, karot eldesi mükemmel olduğu zaman sondaj karotlarında ve kuyu duvarlarının temiz olduğu durumlarda sondaj kuyusunda fotoğraf makinesi kullanmak suretiyle ölçülebilir.

Dolgu genişliği, süreksizliklerde kalsit veya fay kili gibi birbirine komşu duvarları ayıran malzeme için kullanılan terimdir. Birbirine komşu duvarlara dik mesafe, dolgulu süreksizliğin genişliği olarak adlandırılır. Süreksizliğin davranışını kestirmede dolgu malzemesinin kapsamlı bir tanımı yapılır. Bu kapsamda yer alan özellikler mineraloji, tane boyu, aşırı konsolidasyon oranı, duvar pürüzlülüğü, genişlik ve duvar kayasının kırılması ya da ezilmesidir.

Sızma, yeraltı suyu akışının neredeyse tamamı süreksizlikler içinde geliştiğinden (ikincil geçirgenlik), süreksizliklerden sızmanın yeri, yarık genişliği hakkında bilgi sağlar. Sızma kategorileri çok sıkı ve kurudan itibaren, dolguları aşındıran sürekli akışa kadar geniş bir aralıkta değişir. Bu gözlemler ayrıca su tablasının veya şeyl ve kumtaşı gibi düşük ve yüksek geçirgenlikteki kayaların

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

ardalanmasından oluşan kaya kütlelerinde, su tablalarının konumuna da işaret eder. Kuru iklimlerde, buharlaşma oranı sızma oranını aşabilir ve sızma lokasyonlarını belirlemek zor olabilir. Soğuk iklimlerdeki buz saçakları çok küçük sızma oranlarında bile iyi bir belirteç teşkil eder. Akış miktarları su basması veya kazı için drenaj gereklilikleri gibi koşullar için de önceden bir fikir verebilir.

Takım sayısı (biri diğerini kesen), kaya kütlelerinin kırınıksız kayada yenilme olmadan deforme olabilme derecesini etkiler. Süreksizlik takım sayısı artarken blok boyutu da düştükçe, blokların dönme, düz kayma ve uygulanan yükler altında ezilme olasılığı da artar. Haritalama sırasında bir takıma ait olan sistematik süreksizlikler, yönelimi daha az kestirilebilir olan rasgele süreksizliklerden ayırt edilmelidir.

Blok boyutu/şekli, süreksizlik açıklığı ve devamlılığı ile takım sayısı tarafından belirlenir. Blok şekilleri, bloklu, tablamsı, parçalanmış ve kolonsu gibi şekilleri içerir. Blok boyutu ise, çok büyüktür ($>8 \text{ m}^3$) çok küçüğe ($0,0002 \text{ m}^3$) kadar değişen bir aralıktadır. Blok boyutu birkaç tipik blok seçme ve bunların ortalama boyutlarını ölçme şeklinde tahmin edilebilir.

3.4.6. Açıklık, Devamlılık ve Pürüzlülük Ölçümleri

Kaya mostralarda jeolojik haritalamanın bir bileşeni de yüzey pürüzlülüğü, süreksizlik açıklığı ve devamlılığının ayrıntılı biçimde ölçülmesi olabilir. Bu ayrıntılı ölçümler genellikle sadece devamlı oluşu ve yamaç yüzeyini kesmesinden dolayı duraylılık üzerinde önemli etkisi olduğu tespit edilmiş olan süreksizlik takımları veya belirli yapılar üzerinde gerçekleştirilir.

3.4.6.1. Süreksizliklerde Açıklık

Süreksizliklerde açıklık bir yamaçtaki blokların boyutunu belirler. Bu da kaya düşmelerinin boyutunu ve ankrajlama paternlerini etkiler. Yüzey haritalamasından hareketle açıklık ölçümlerinin değerlendirilmesinde göz önüne alınması gerekli bir faktör, yüzey ile süreksizlikler arasındaki göreceli yönelimdir. Bunun anlamı; göreceli yönelimin, gerçek açıklığın görünür açıklıktan küçük olduğu ve gerçek

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

süreksizlik sayısının haritalanan sayıdan büyük olduğu süreksizliklerin sayı ve açıklığında yanlılığa neden olmasıdır. Yanlılığın ortaya çıkma nedeni, yamaç yüzeyine dik olan süreksizliklerin tümünün yüzeyde kendi gerçek açıklıklarında görülmesi, diğer taraftan, yüzeye paralel veya paralele yakın ve görünür açıklığı geniş olan sadece birkaç süreksizliğin yüzeyde görülebilmesidir. Kaya mostralarında bir takımdaki süreksizlikler arasındaki açıklık değişkendir.

3.4.6.2. Süreksizlik Takımlarında Devamlılık

Açıklık ile birlikte yüzeyden kayabilecek blokların boyutunu tanımladığından, süreksizliklerin devamlılığı en önemli kaya kütlesi parametrelerinden biridir. Ayrıca, devamlılığı düşük süreksizlikler arasında alanı küçük bile olsa kırksız kayanın bulunması, duraylılık üzerine olumlu katkı sağlayabilir. Çünkü kayanın dayanımı çoğu zaman şev üzerine etkiyen kesme gerilmesinden çok daha büyüktür. Ne var ki, yüzeyde çoğu zaman süreksizliğin sadece küçük bir kısmı görülebildiğinden, devamlılık, ölçülmesi en zor parametrelerden biridir. Sondaj karotu durumunda ise, devamlılık hakkında herhangi bir bilgi mevcut değildir.

Yüzeyin belirli bir kısmında mostra veren iz uzunluklarını ölçmek suretiyle, bir süreksizlik takımına ait ortalama devamlılığı hesaplamak amacıyla geliştirilmiş çok sayıda yöntem mevcuttur.

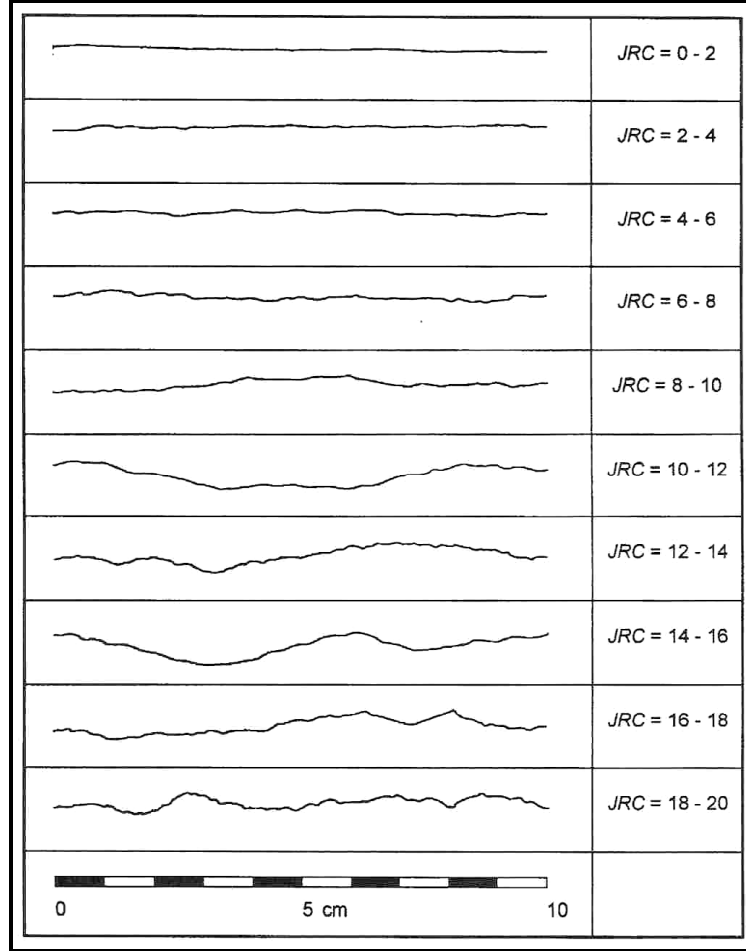
3.4.6.3. Kaya Yüzeylerinin Pürüzlülüğü

Pürüzlü bir yüzeyin sürtünme açısı iki bileşen içerir. Birincisi kaya malzemesinin sürtünmesi (ϕ), diğeri de yüzeyin düzensizlikleri tarafından oluşturulan kenetlenmedir (i). Pürüzlülük toplam sürtünme açısının önemli bir bileşeni olabileceğinden, pürüzlülüğün ölçülmesi çoğu zaman haritalama programının önemli bir kısmını oluşturur.

Bir incelemenin ilk aşamalarında pürüzlülüğün Ekleme Pürüzlülük Katsayısı (JRC) ile görsel olarak tanımlanması genellikle yeterlidir(Barton, 1973). JRC değeri

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

pürüzsüz, düzlemsel ve kısmen çizikli yüzeyler için sıfırdan başlayarak, pürüzlü ve dalgalı yüzeyler için 20'ye kadar çıkar. JRC değeri, (birkaç cm ölçeğindeki) yüzey düzensizliklerinin ve (birkaç metre ölçeğindeki) dalgalılığın kombinasyonuna dayalı standart profiller ile yüzey koşullarını görsel olarak karşılaştırmak suretiyle tahmin edilebilir (Şekil 3.30).



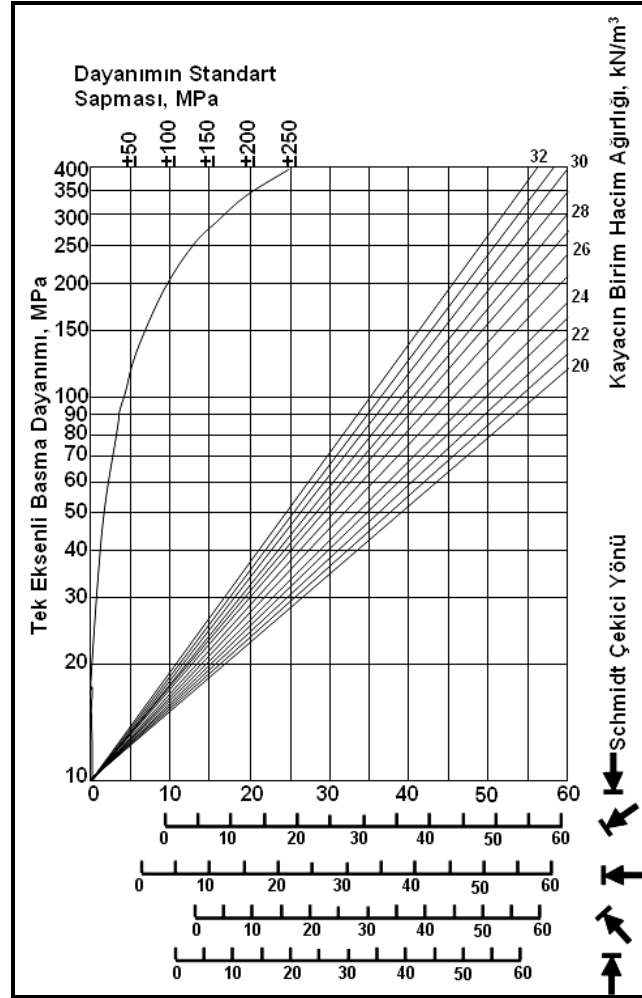
Şekil 3.30. Eklem pürüzlülük katsayısını tanımlayan standart profiller (Barton, 1973).

JRC ile yüzey pürüzlülüğü (i) arasındaki ilişki Eşitlik 3.78'deki gibidir.

$$i = JRC \log_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma'} \right) \quad (3.78)$$

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

Burada, JCS (Eklem Basınç Dayanımı) süreksizlik yüzeyine komşu kayanın basınç dayanımı (Şekil 3.31) ve σ' 'de süreksizlik yüzeyindeki efektif normal gerilmedir (örtü kayanın ağırlığı eksi su basıncı). Eşitlik 3.78'e göre, kaya dayanımının uygulanan normal gerilmeye kıyasla küçük olduğu durumda düzensizlikler traşlanırken i azalmaktadır.



Şekil 3.31. Eklem basınç dayanımı çevrim kartı.

Bir projenin nihaî aşamasında duraylılık üzerine önemli etkisi olan birkaç süreksizlik teşhis edilebilir. Bu kritik yüzeylerin pürüzlülüğünü doğru bir şekilde ölçme konusunda geliştirilmiş çok sayıda yöntem bulunmaktadır Fecker ve Rengers (1971) tarafından geliştirilen yöntem, jeolog pusulasına iliştirilen farklı çaplardaki

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

bir dizi levha ile süreksizliklerin yönelimini ölçmeyi kapsar. Büyük levhaların çapının pürüzlülük dalgalılığı ile yaklaşık aynı boyutta olması durumunda ölçülen yönelim yaklaşık olarak yüzeyin ortalama yönelimine eşit olacaktır. Ancak, daha küçük çaplı levhaların kullanılması durumunda levhalar daha kısa dalga boylu düzensizlikler üzerine oturduğu zaman, ölçümlerin yönelimlerinde önemli saçılmalar gözlenir. Ölçülen yönelimlerin bir stereonete aktarılması durumunda, ortalama yönelim etrafında kutupların saçılım derecesi, pürüzlülüğün bir ölçüsüdür.

3.4.7. Yapısal Jeolojide Probabilistik Analiz

Bir şevin duraylılığının ölçütlerinden biri de yenilme olasılığıdır. Yenilme olasılığının hesaplanmasında tasarım parametreleri olasılık dağılımları cinsinden ifade edilir. Bu dağılımlar her bir parametrenin en olası değerini vermenin yanında, bir olası değerler (örnek; standart sapma) aralığında oluşma olasılığını da verirler. Yönelimdeki dağılım stereonetten hesaplanabilirken, devamlılık ve açıklık dağılımları arazi ölçümlerinden hesaplanmaktadır.

3.4.7.1. Süreksizlik Yönelimi

Süreksizlik yönelimindeki doğal değişimler, stereonet üzerine aktarıldığı zaman ortaya çıkan kutup saçılmaları şeklindedir. Bu saçılımı şev duraylılık analizine dâhil etmek faydalı olabilir. Çünkü bir çift süreksizliğin ortalama değerlerini kullanan bir kama analizi, kamanın arakesit çizgisinin şev yüzeyini kesmediğini ve şevin duraylı olduğunu gösterebilir. Ancak, ortalama değerler yerine yönelimleri kullanan bir analizde bazı duraysız kamaların ortaya çıkması söz konusu olabilir. Bu koşulun oluşma riski, eğim miktarı ve eğim yönünün ortalamasını ve standart sapmasını hesaplamak suretiyle nicelleştirilebilir.

Bir süreksizlik takımının saçılımının ve bundan hareketle de standart sapmasının bir ölçüsü, yön kosinüslerinden hesaplanabilir (Goodman, 1980). Eğimi α ve eğim yönü ψ olan herhangi bir düzlemin yön kosinüsleri l , m ve n birim vektörleridir. $l = \sin\psi\cos\alpha$; $m = \sin\psi\sin\alpha$ ve $n = \cos\psi$ 'dir. Çok sayıda kutup için

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

süreksizlik takımının ortalama yöneliminin yön kosinüsleri (l_R , m_R ve n_R), bireysel yön kosinüslerinin toplamına eşittir (Eşitlik 3.79).

$$l_R = \frac{\sum l_i}{|R|}; m_R = \frac{\sum m_i}{|R|}; n_R = \frac{\sum n_i}{|R|} \text{ ve } |R| = [(\sum l_i)^2 + (\sum m_i)^2 + (\sum n_i)^2]^{0.5} \quad (3.79)$$

Ortalama yönelimin eğimi ψ_R ve eğim yönü α_R ise Eşitlik 3.80 ve 3.81'deki gibi ifade edilir.

$$\psi_R = \cos^{-1}(n_R) \quad (3.80)$$

$$\alpha_R = \cos^{-1}\left(\frac{l_R}{\sin \psi_R}\right) (m_R \geq 0 \text{ için}); \alpha_R = -\cos^{-1}\left(\frac{l_R}{\sin \psi_R}\right) (m_R < 0 \text{ için}) \quad (3.81)$$

N adet kutup içeren bir süreksizlik takımındaki saçılmanın ölçüsü, Eşitlik 3.82'deki gibi hesaplanan dispersiyon katsayısından (C_d) elde edilir.

$$C_d = \frac{N}{(N - |R|)} \quad (3.82)$$

Süreksizliklerin yönelimindeki saçılmanın az olması halinde C_d 'nin değeri büyük olup, saçılma arttıkça değeri azalır.

3.4.7.2. Süreksizlik Uzunluğu ve Açıklığı

Bir yamaçta oluşan blokların boyutu, süreksizliklerin uzunluk ve açıklığına bağlıdır. Tasarımlarda daha çok genel şev duraylılığını etkileyebilecek büyüklükte blok oluşturabilen devamlı süreksizlikler üzerinde durulur. Ancak, süreksizlik boyutları bir aralık dahilinde bulunur ve uç değerlerin küçük bir örnekten elde edilen değerlerle göre hangi mertebede olduğunu kestirmek için bu değerlerin dağılımının anlaşılması önemlidir.

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

Süreksizliklerin uzunluk ve açıklıklarının ölçülmesinin başlıca amacı, bu yüzeylerin oluşturduğu blokların boyutlarını tahmin etmektir (Priest ve Hudson, 1976). Bu bilgi (gerekli olduğu hallerde) kaya ankrajları ve kaya bariyerleri gibi uygun stabilizasyon önlemlerinin tasarımında kullanılabilir. Kırıksız kaya kısımları ile ayrılan eklemler içeren basamaklı yüzeylerin kesme dayanımını hesaplamada bu verileri kullanma yoluna gidilmiştir. Ancak, geliştirildiği zamandan bugüne kadar Hoek-Brown yönteminin kaya kütlelerinin kesme dayanımını hesaplamada daha güvenli olduğu bilinmektedir.

Olasılık dağılımları: Süreksizlikler genellikle sondaj karotu, yamaç yüzeyi veya bir tünelin duvarı gibi bir tarama hattı boyunca haritalanırlar. Görünen uzunluk ve her bir takımındaki süreksizlikler arasındaki açıklık da dâhil olmak üzere, her bir kırığa ait özellikler bireysel olarak ölçülür. Süreksizlik özellikleri tipik olarak geniş bir aralıkta değişim gösterir ve bu özelliklerin dağılımlarını olasılık dağılımlarıyla tanımlamak mümkündür. Belirli bir özelliğin değerleri içerisinde en çok oluşan değer ortalama değer ise, normal dağılım uygulanabilir. Bu koşul, her bir süreksizliğin yönelim gibi özelliğinin komşu süreksizliğin yönelimi ile ilişkili olduğuna işaret eder ve süreksizliklerin gerilme rahatlaması ile oluştuğunu ortaya koyar. Süreksizliklerin rasgele dağılımlı olan ve süreksizliklerin birbirinden bağımsız olduğuna işaret eden uzunluk ve açıklık gibi özellikleri için negatif üssel bir dağılım uygulanabilir. Negatif üssel bir dağılım en sık oluşan süreksizliklerin kısa ve yakın aralıklı olduğunu, devamlı ve geniş açıklıklı olanların ise daha az yaygın olduğunu gösterir. Negatif üssel bir dağılımın $f(x)$ olasılık yoğunluk fonksiyonunun genel şekli Eşitlik 3.83'teki gibidir (Priest ve Hudson, 1981).

$$f(x) = \frac{1}{x} (e^{-x/\bar{x}}) \quad (3.83)$$

Belirli bir açıklık veya uzunluk değerinin x boyutundan küçük olması ile ilgili kümülatif olasılık $F(x)$ 'de Eşitlik 3.84'teki gibidir.

$$F(x) = 1 - (e^{-x/\bar{x}}) \quad (3.84)$$

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

Eşitlik 3.84'te, x , uzunluk veya açıklığın ölçülen değeri ve $\bar{x}$ o parametrenin ortalama değeridir. Negatif üssel dağılımın bir özelliği, standart sapmanın ortalama değere eşit olmasıdır.

3.4.8. Elmas Matkaplı Sondajlar

Birçok çalışmada yüzey haritalaması, yeraltı kayalarından karot elde etmek için açılan sondaj kuyularıyla desteklenir. Sondajın kapsamı zemin örtüsü, kaya mostralarının mevcut olup olmaması ve yüzey verilerinin yarmanın tüm derinliği boyunca uygulanabilme konusundaki güven gibi faktörlere bağlıdır. Meselâ, yüzeydeki kayanın bozuşmuş veya patlatmadan dolayı örselenmiş olması durumunda, derinlerdeki kaya koşullarını belirlemek üzere sondaj gerekebilir.

Elmaslı sondajdan alınabilecek bilginin çeşidi yüzey haritalamasından elde edilen bilgiden az çok farklı olabilir. Jeolojik yapı hakkında bilgi edinmenin başlıca yolu yüzey haritalaması olsa da, sondaj karotunda devamlılık ile ilgili herhangi bir bilgi olmayıp, süreksizliklerin yönelimi sadece yönlü karotlardan elde edilebilir. Sondaj karotundan elde edilen bilgiler arazideki kaya dayanımı, çatlak sıklığı ve makaslama zonlarının özellikleridir. Karotlar ayrıca laboratuvarda dayanım deneyleri için kullanılabilir ve sondaj için açılan kuyuya da piyezometreler yerleştirilebilir.

3.4.8.1. Karot Loglaması

Alınan sondaj karotlarının özelliklerinin kaydedilmesi kayanın ayrıntılı ve eksiksiz şekilde loglanması içerir. Bu veriler kayanın tanımlanmasını, süreksizliklerin özelliklerini ve karot eksenine göre yönelimlerini kapsar. Ölçümler ayrıca kaya kütlesi kalitesinin bir belirteci olan Kaya Kalite Göstergesi (RQD), kırık indeksi ve karot yüzdesi için de yapılabilir. Kuyu logunda, ayrıca kuyuda yapılan geçirgenlik ölçümleri, karotlarda yapılan dayanım deneyleri ve piyezometrelerin konumu gibi tüm bilgiler yer almalıdır. Son olarak, yanına bir renk skalası ve bir ölçek konmuş olarak karotun fotoğrafı çekilir.

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

Şeyl gibi atmosferik koşullara maruz kaldığında kötüleşmeye çok duyarlı olan kayalardan alınan karotların loglamadan hemen sonra korunması gerekebilir. Dayanım deneyi yapılmak üzere karotların laboratuvara taşınması gerektiği durumlarda karotların iyi korunması gerekir. Karotların yerindeki şartlara olabildiğince yakın koşullarda test edilmesi önemlidir. Şev tasarımı çoğu zaman en düşük dayanımdan etkilenir. O nedenle, bu numunelerin kırılarak dayanım kaybetmesine izin verilmemeli veya güneşte kurumak suretiyle dayanım kazanmaları önlenmelidir.

Kırıksız kaya dayanımını ve çatlaklanma derecesini değerlendirmede rutin olarak yapılan karot ölçümleri RQD, kırık indeksi ve karot yüzdesinin belirlenmesidir.

RQD (kaya kalite indeksi) karotun çatlaklanma derecesi ile ilgili bir indekstir. RQD, bir sondajda delme sırasında meydana gelen kırılmaları çıkararak, 100 mm'den daha uzun tüm parçaların uzunluğunu ölçmek suretiyle hesaplanır. Daha sonra bu uzunluklar toplanır ve toplam sondaj derinliğine oranı bulunarak yüzde cinsinden ifade edilir. Düşük RQD değeri yakın çatlaklı bir kayaya işaret ederken, RQD'nin %100 olması da alınan karotların tümünün uzunluklarının (karot kaybı olmaksızın) 100 mm'den büyük olduğu anlamına gelir. RQD Eşitlik 3.85'teki gibi hesaplanmaktadır.

$$RQD = \frac{\Sigma(\text{Uzunlukları } 100 \text{ mm'den büyük karotlar})}{\text{Toplam sondaj derinliği}} \times 100, (\%) \quad (3.85)$$

Kırık indeksi, karotta (sözgelimi) 0,5 m gibi sabit bir uzunlukta ölçülen doğal kırık sayısıdır. Bu parametre RQD değeri ile ilgili olmakla birlikte, sabit bir uzunluğa standartlaştırılır ve sondaj derinliklerinden etkilenmez (Eşitlik 3.86).

$$\text{Kırık İndeksi} = \frac{\text{Doğal süreks. sayısı}}{0,5 \text{ m'lik karot uzunluğu}} \quad (3.86)$$

Karot yüzdesi (Eşitlik 3.87), delgi sırasında kaybedilen kayanın miktarının bir ölçüsüdür. Karot kaybı zayıf kayalarda sondaj suyunun yıkama etkisi sonucunda

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

veya karotun delme sırasında aşınmasıyla ya da bir erime boşluğu bulunmasından ileri gelebilir. Karot yüzdesi değeri, elde edilen karotların uzunluğu toplamının sondaj derinliğine oranı şeklinde ifade edilir.

$$\text{Karot yüzdesi} = \frac{\text{Alınan toplam karot uzunluğu, m}}{\text{Sondaj derinliği, m}} \times 100, \% \quad (3.87)$$

3.4.8.2. Karot Yönelimi

Tasarım için yüzeydeki haritalamadan süreksizlik yönelimine dair yetersiz miktarda veri bulunduğu koşullarda bu verileri sondaj karotlarından elde etmek gerekebilir. Bunun için karotların yönlü alınması gerekir. Karotu yönlendirmede ilk adım, kuyu içine bir topoğrafik ölçüm aleti sarkıtılarak kuyunun gidiş ve dalımının belirlenmesidir. Böyle bir gereç, her ikisi de belirli zaman aralıklarında fotoğrafı çekilebilecek bir eğimölçer ve pusula içeren (manyetik olmayan) bir alüminyum tijden ibarettir. Yönelim gereci takımın ucunda kuyu içine sarkıtılır ve fotoğraf işlemleri sırasında hareketsiz olması sağlanır. Eğimölçer ve pusulanın fotoğrafının çekildiği her zaman aralığında derinlik kaydedilir. Gereç kuyudan çıkarıldığı zaman, kaydedilen derinliklerde kuyu yönelimini göstermek üzere film banyo edilir. Tropari tek atış aleti ve jiroskoplar manyetik ortamlarda kullanılan diğer kuyu yönelim gereçleridir.

Yönlü karot alımına dair yöntemlerin çoğunda karotun üzerine kuyunun tepesini işaret eden bir çizgi çekilir. Bu çizginin yönelimi kuyu içi ölçümlerinden belirlenmiş olduğundan, karottaki tüm süreksizliklerin yönelimi bu çizgiye göre ölçülebilir, doğrultu ve eğimleri hesaplanabilir (Wyllie ve Mah, 2004).

3.5. Duraylılık (Stabilite) Analiz Yöntemleri

Kaya şevlerin duraylılık analizleri için çeşitli yollar ileri sürülmekte ve herkes tarafından belli koşullar altında kolayca uygulanabilecek çözüm ve çizim yöntemleri bulunmaya çalışılmaktadır. Fakat doğa da bir durum diğerine uymamakta,

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

süreksizliklerin eğimi, yüksekliği, çatlak geometrisi, pürüzlülüğü, dolgu malzemesi ve su durumu her zaman değişebildiğinden, kaya şevlerin stabilitesi için, bugüne dek herkes tarafından uygulanabilecek bir formül, bir abak bulunmamıştır. Bununla beraber birçok araştırmacı, çeşitli analiz yöntemleri önermiştir. En çok kullanılan duraylılık analiz yöntemleri şunlardır:

- Ampirik yöntemler,
- Gerilme analiz yöntemleri;
 - Fotoelastisite yöntemleri,
 - Sonlu elemanlar yöntemi,
- Limit denge yöntemi;
 - Vektörel analitik yöntem,
- Stereografik izdüşüm yöntemi,
- Fiziksel model yöntemleri;
 - Hareketsiz ölçekli (scaled) model yöntemi,
 - Hareketli (kinematik) model yöntemi.

3.5.1. Ampirik Yöntem

Kazılacak bir kayaya verilmesi istenilen şev açısı en genel halde, civar yamaçlara ya da kazılara bakılarak saptanabilir. Verilecek şev açısının derecesi, kazı civarında yamaçlarda yapılacak istatistiksel ölçülerden ya da aynı malzeme üzerinde daha önce yapılmış çalışmalardan elde edilen verilerin korelasyonu ve yardımı ile belirlenerek, kazı amprik olarak projelendirilir. Burada projeyi yapanın ön çalışmaları, tecrübe ve yetenekleri önemlidir.

Halen birçok kazıda “Kaz ve Dene” yolu ile işler yürütülmektedir. Yani şu cins taşlara şu kadar eğim, şu tip taşlara da şu derece eğim verilmesi zorunludur diye bir yöntem yoktur. Gerek arazi ve gerek laboratuvar çalışmalarıyla formül ve abaklar bulunmaya çalışılmaktadır.

K. Terzaghi, 1962'de zemin mekaniğinde uygulanan yöntemlerden yararlanarak ayrışmamış sert kayalarda yapılacak şevlerin stabilitesi için bir takım öneriler yapılmış ve ampirik formülünü vermiştir (Eşitlik 3.88 ve 3.89).

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

$$\tau_i = c_i + (\sigma - u) \tan \Phi \quad (3.88)$$

$$c_i = c \frac{Ag}{A} \quad (3.89)$$

Eşitlik 3.88 ve 3.89’da, ($c_i < c$), c_i : etkin (efektif)kohezyon, c : kohezyon, A : çatlak incelemesi yapılan alan, A : bu alan içindeki çatlakların tüm alanıdır.

Zemin mekaniğinde c ve ϕ değerleri laboratuvar deneyleriyle bulunur. Fakat Terzaghi'nin çatlaklı kayalar için formüle ettiği c_i değerini saptayacak bir yöntem bugüne dek bulunamamıştır. Bundan dolayı çatlaklı sert kayalarda oluşturulacak şevlerin stabilitesine birçok parametrenin etki yaptığı anlaşılmıştır. Kohezyon ve boşluk suyu basıncının sıfır olması durumunda Eşitlik 3.88, Eşitlik 3.90’daki gibi değişir.

$$\tau = \sigma \tan \Phi \quad (3.90)$$

W ağırlığında olan ve β eğim açılı bir süreksizlik düzlemi üzerinde bulunan bir bloğun normal ve teğet bileşenleri Eşitlik 3.90’daki ifade de yerine konulduğunda Eşitlik 3.91 elde edilir.

$$W \sin \beta G_s = W \cos \beta \tan \Phi \text{ ise } G_s = \frac{\tan \Phi}{\tan \beta} \quad (3.91)$$

Eşitlik 3.91’de görüleceği gibi kritik şev açısının saptanmasında (süreksizlik yüzeylerinde boşluksuyu basıncı ve kohezyonun sıfır olması halinde) sürtünme açısı ve süreksizliğin eğimi etkili görülmektedir. Hâlbuki bugün duraylılığa jeolojik birçok parametrelerin etki yaptığı bilinmektedir.

Laboratuvarda bazı kayalar üzerinde yapılan deneylerle bulunan içsel sürtünme (ϕ) açısı değerleri Çizelge 3.5’teki gibidir.

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

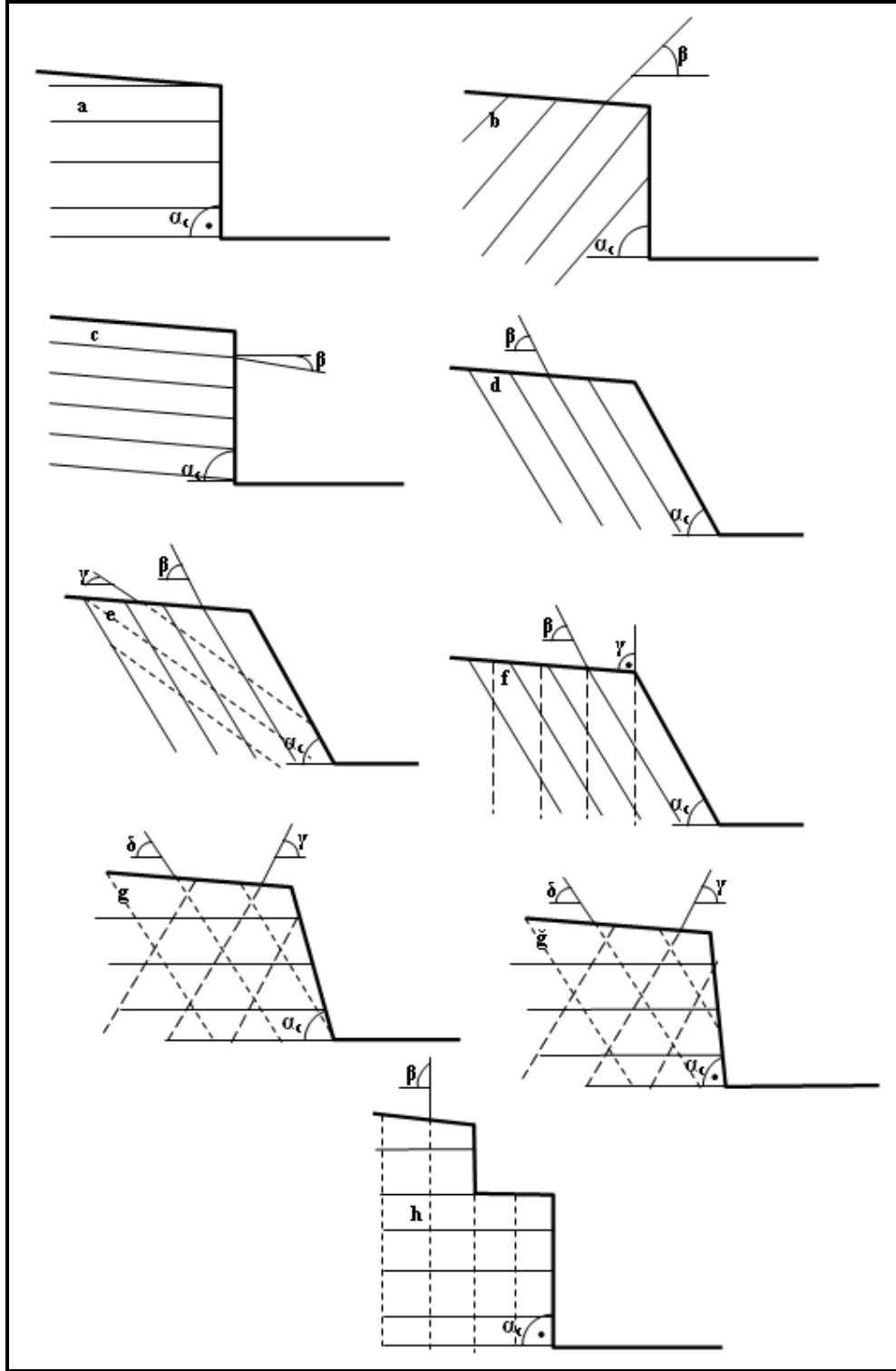
Çizelge 3.5. Bazı kaya türlerine ait içsel sürtünme açısı değerleri.

Kaya Türü	İçsel Sürt. Açısı, ϕ (°)
Riyolit	36
Andezit	33-35
Kalker	35
Killi Kalker	36
Konglomera	35-36

K. Terzaghi sert, çatlaklı kayalar için tabaka ve çatlak durumlarına göre verilmesi uygun şev açılarını Şekil 3.32'deki gibi ampirik olarak önermiştir. Burada, ϕ : içsel sürtünme açısı, β : tabaka eğimi, γ ve δ çatlak düzlemleri eğimleridir. Çeşitli tabaka ve çatlak durumlarına göre kritik şev açısı (α_c) Şekil 3.32'de görüldüğü gibi şöyle özetlenebilir:

- Tabakalar yatay ve çatlaksız ise $\alpha_c = 90^\circ$ 'dir (Şekil 3.32-a).
- Tabakalar şev içine doğru eğimli ve çatlaksız ise $\alpha_c = 90^\circ$ 'dir (Şekil 3.32-b).
- Tabakalar şev dışına doğru eğimli ve çatlaksız ise $\phi > \beta$ için $\alpha_c = 90^\circ$ (Şekil 3.32-c); $\phi < \beta$ için $\alpha_c = \beta$ 'dir (Şekil 3.32-d).
- Tabakalar şev dışına eğimli ve çatlaklar da şev dışına doğru eğimli ise, kayma durumunu süreksizliklerin sürtünme katsayıları belirler. Yani; $\beta > \phi > \gamma$ için $\alpha_c = \gamma$ (Şekil 3.32-e); $\gamma > \phi \leq \beta$ için $\alpha_c = \beta$ 'dir (Şekil 3.32-f).
- Tabakalar yatay, bir çatlak (γ) şev içine doğru, diğer çatlak (δ) şev dışına doğru ise, kayma ancak şev dışında doğru olabilir ve bu durumda; $\delta \geq \phi$ için $\alpha_c = \delta$ (Şekil 3.32-g); $\delta < \phi$ için $\alpha_c = 90^\circ$ 'dir (Şekil 3.32-ğ).
- Tabakalar yatay ve düşey çatlaklı ise düzlemler boyunca kayma olmaz. Bu durumda ancak düşmeleri önlemek için şevde uygun yükseklikte kademeler yapılmaktadır, $\alpha_c = 90^\circ$ (Şekil 3.32-h).

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN



Şekil 3.32. Tabaka ve çatlakların durumlarına göre şevlere verilmesi uygun kritik şev açıları (Terzaghi, 1962).

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

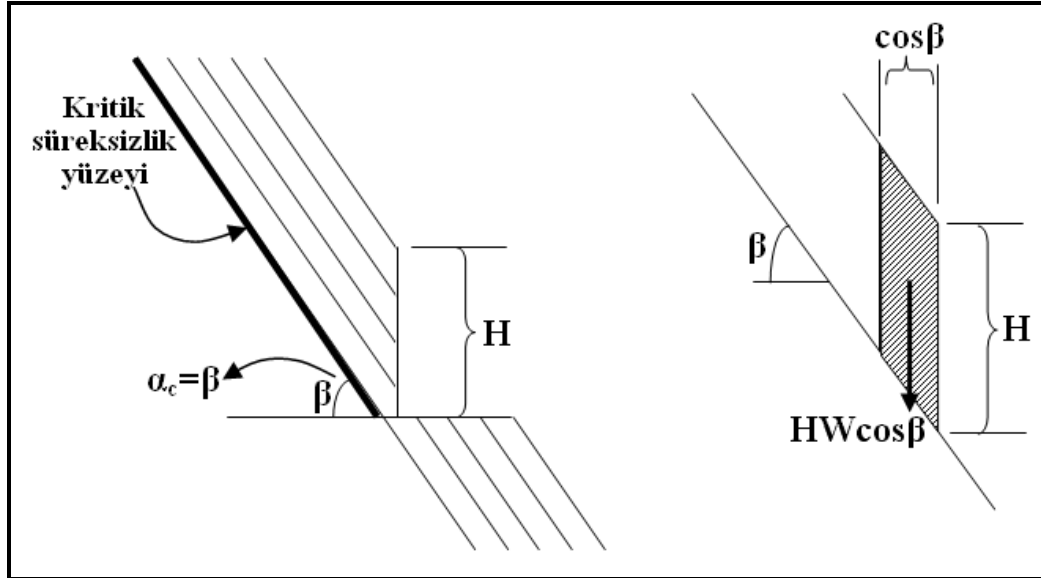
Bahsi geçen bağıntılar kayaların sistematik şekilde süreksizlik düzlemleri ile kesildiği ve bunlar arasının tamamen boş ($c_i = 0$ ve $u = 0$) olduğu varsayımına göre verilmiştir. Doğada çoğunlukla bu varsayımların bulunması mümkün olmaz.

Eğer tabakalanma düzlemleri arası boş değil, etkin kohezyonu c_i olan bir malzeme ile doldurulmuşsa, şev belirli bir H yüksekliğine kadar 90° eğimle, daha sonra ise tabaka eğimi altında kazılabilir. Düşey olarak açılacak H yüksekliğinin hesabı için, kalınlığı birim olan bir kaya bloğu göz önüne alınır (Şekil 3.33).

$\tau_i = c_i + (\sigma - u)\text{tg}\Phi_i$, genel kayma denkleminde, bloğa etkiyen tutucu ve kaydırıcı kuvvetlerin denge şartından ($u = 0$), Eşitlik 3.92 elde edilir.

$$HW \cos\beta \sin\beta = c_i + HW \cos^2\beta \text{tg}\Phi_i \quad (3.92)$$

Doğada genellikle rastlanır bir hal olan boşluk suyu basıncının (u) varlığı halinde, hesaplanan bu H değerinin daha da küçük olması gerekir. Ancak bilinmeyenlerin çok olduğu doğada bu tip problemlerde mühendisin deneyimi ve önsezisi önemlidir (Terzaghi, 1962).



Şekil 3.33. Süreksizlikleri kohezyonlu malzeme ile dolmuş, çatlaklı kayalara verilecek eğim (Terzaghi, 1962).

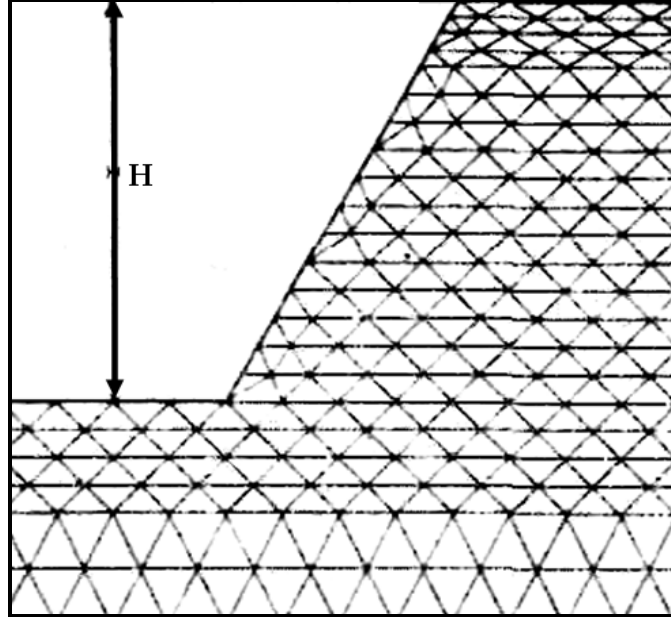
3.5.2. Gerilme Analizi Yöntemleri

Gerilmenin fazla olduğu ortamlarda yapılan kazılara verilecek eğimlerin bulunmasında, sürekli ortamlara uygulanan elastisite ve sonlu elemanlar yöntemi uygulanarak kaya şevlerinin stabilite analizleri yapılmaktadır. Fakat kaya şevlerinin stabilitesinde, şevlere gelen gerilmeler, çok yüksek olmadığından ve kaya kütleleri süreksizliklerle sınırlanmış bulunduğundan, ortam yüksek basınçlı ve sürekliymiş gibi var sayılamamaktadır. Dolayısıyla, çatlak ve faylarla sınırlanmış ortama gelen gerilmeler, kayma gerilmesine dönüşür ve süreksizlik düzlemleri üzerinde kaymalar oluşur. Bundan dolayı, süreksiz olan çatlaklı kaya şevlerine, sürekli ortam teorilerini uygulamak yanlış sonuçlar verir. Fakat bu tür bir analiz, büyük bir şevde genel değişme ve yeraltı suyu etkisini gösterme açısından yararlı olabilir.

Son yıllarda, sürekli ortamlar teorisi bazı haller için, örneğin büyük ve tehlikeli süreksizliklerin bulunmadığı ve süreksizliklerin ufak bir alanda yer aldığı durumlarda uygulanmış ve olumlu sonuçlar vermiştir. Ayrıca son yıllarda, süreksiz ve elasto-plastik malzeme özeliği gösteren kaya ortamlara, yöntem uygulanmaya başlanmıştır.

Şekil 3.34'te gösterildiği gibi, bir şeyde düşey ve yatay gerilmeler, basit gerilme ağları çizilerek bulunmaktır. Bu şevlerde ana gerilmelerin çoğu yer çekiminden doğmakta, düşey ve yatay doğrultuda bulunmaktadır. Esas ve ikincil gerilme ağları birbirlerini dik açılarla keser ve kesişme sonucu oluşan şekiller eşit kenarlı olur. Çizim tatonman yolu ile yapılır.

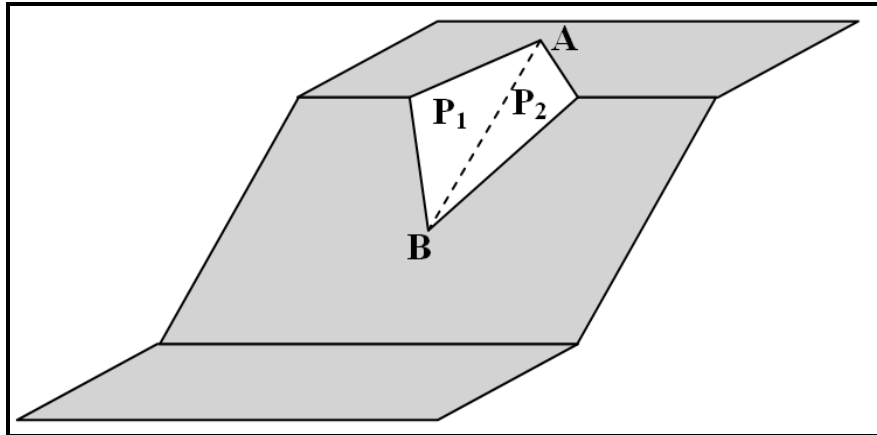
Sonlu elemanlar metodu şevlere uygulanırken şev ve civarı, yatay, düşey ve verev çizgilerle Şekil 3.34'teki gibi elemanlara ayrılır. Bu elemanların köşe noktaları olan düğüm noktaları (nodal points) saptanır, usulüne göre numaralar ve buralara gelmesi olası yükler altında bu noktaların deformasyonları, elemanların mekanik özelliklerinin fonksiyonu olarak ele alınır ve ortamı oluşturan çok sayıdaki elemanların düğüm noktalarındaki deformasyon değerleri bilgisayar programları yardımıyla bulunur. Bunlar yardımıyla da, düğüm noktalarına etkiyen gerilmeler ve tüm sistemin duraylılığı saptanır (Erguvanlı, 1994).



Şekil 3.34. Sonlu elemanlar yöntemi için üçgen ve düğüm noktalarının oluşturulması.

3.5.3. Analitik Yöntem

Bu yöntemde, çatlaklar arasında kalan kaya blokları, rijit bloklar olarak kabul edilir ve stabiliteye statik bir problem olarak bakılıp vektör analizleri uygulanarak problem çözülür (Wittke ve Louis, 1972, Goodman, 1976). Burada bloklarda ve dörtyüzlü birimlerde hareket kayma, dönme ya da bunların karışımı şeklinde olabilir. Bu hareket, bir yüz üzerinde veya iki yüzün arakesiti üzerinde oluşur (Şekil 3.35).



Şekil 3.35. Bir şevde süreksizlikler nedeniyle oluşan kama (Erguvanlı, 1994).

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

Bazı durumlarda bir blok diğeri içine girer. Bu durumda, blokların rijitliği varsayımı ortadan kalktığı için stabilite analizi, süreksizlik düzlemleri üzerinde kayan bloğun duraylılığının araştırılması şeklinde yapılamaz.

Süreksizlik düzlemleri üzerinde kayma olasılığı bulunan bloğun duraylılığı, kaydıran ve kaymaya engel olan kuvvetlerin dengesi incelenerek bulunabilir. Kayma yüzeyleri üzerindeki engelleyici gerilmeler Coulomb'un kohezyonlu ve içsel sürtünmeli türde kayma direncini veren; $\tau=c+\sigma\tan\phi$ eşitliğine uygundur diye düşünülür.

Süreksizlikler, arazi çalışmalarından ve ayrıntılı jeolojik haritalardan bulunur ve yapılan çalışmalarla kayması muhtemel bloklar saptanır. Buraya gelecek kuvvetlerin yönleri ve büyüklükleri, tek bloğa uygulanarak analizleri yapılır ve hareket etmesi olası şekle göre (kayma, dönme, arakesit) problem ayrı ayrı ele alınır.

3.5.4. Stereografik İzdüşüm Yöntemi

Çatlaklı kayalarda oluşturulan şevlerin stabilitesinde, arazide ölçülen ve haritaya geçirilen süreksizler (çatlak fay, tabakalaşma, şistiyet ve folyasyon) ayrıntılı olarak incelenir, stabiliteye etki yapması olası olan yüzeyler ve arakesitler saptanır. Bu yüzeyler ve çizgisel arakesitler, belli yollar izlenerek, stereografik projeksiyon üzerinde kolayca gösterilmekte ve duraylılık analizi 3 boyutlu olarak yapılabilmektedir.

Stereografik ağ, üzerinde bütün büyük ve küçük daireleri olan ve küreyi düzlemsel olarak gösteren bir şekildir. Bu şekil, düzlem ve çizgilerle ilgili problemleri üç boyutlu göstermek için ideal bir araçtır. İstatistiksel bilgileri ve jeolojik verileri göstermede kullanılan eş-alan projeksiyonundan farklıdır.

Stereografik yöntemle analizde, önceden bazı varsayımlar önerilir. Bunların en önemlileri şunlardır;

- Her blok ayrı ve rijittir.
- Hareket düzlem ve arakesitler üzerinde olur.
- Hareket dönme şeklinde değil kayma şeklindedir.
- Süreksizlik yüzeyleri Coulomb türüdür (kohezyonlu ve kayma

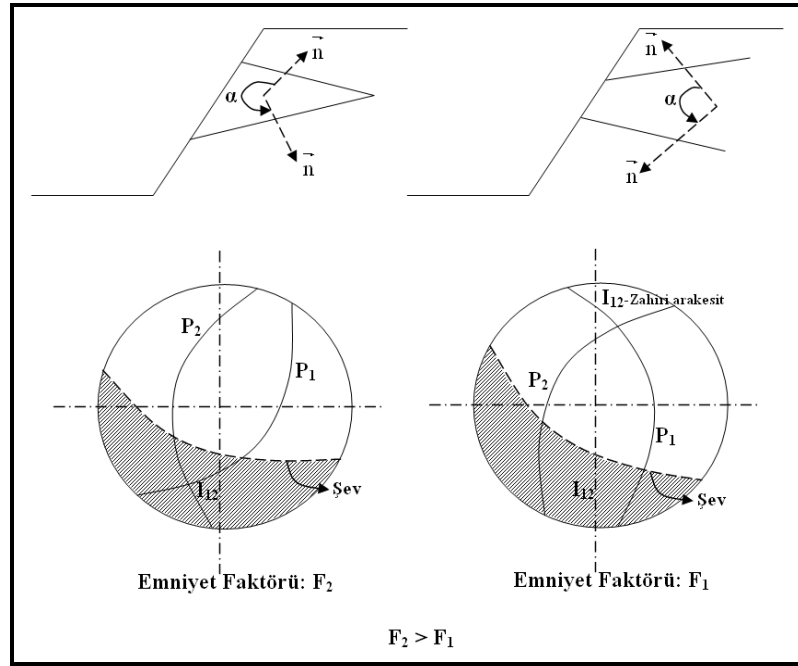
3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

dirençli).

- Hareket ettiren kuvvet; $F_m = \Sigma \vec{W} + \vec{T} + \vec{U} + \vec{C}$ sonucu oluşmaktadır. Burada; W: Toplam blok ağırlığı, T: Üzerindeki yapıların etkisi, U: Su basıncı ve C: Deprem etkisidir.

Burada stabilite süreksizliklerle oluşan kamaların durumuna, dışa ya da içe bakışına ve kuvvetler bileşkesinin (R) doğrultusuna bağlıdır (Şekil 3.36).

Ölçülen süreksizliklerin ve arakesitlerinin stereografik izdüşümleri, doğada gözlenen ve tehlike oluşturan süreksizliklerle karşılaştırılarak kitlelerin duraylılık durumları ortaya konur ve tehlikeli haller için önlemlerin alınmasına çalışılır (Erguvanlı, 1994).



Şekil 3.36. Şevlerde içe ve dışa bakan kamaların stereografik izdüşümleri ve emniyet faktörleri (Erguvanlı, 1994).

3.5.5. Fiziksel Model Yöntemi

Kaya şevlerinin ve kaya kazılarının duraylılıkları çeşitli model deneyleriyle de araştırılmaktadır. Duraylılık analizlerinde çoğunluğu hareketli (kinematik) ya da ölçekli model deneyleri kullanılmaktadır. Fakat, ölçekli ve hareketli model deneyi

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

çalışmalarında kullanılacak malzemenin özelliklerinin bilinmesi doğadakilere benzer malzemenin bulunması ve deney yöntemleri ayrı birer problem ve araştırma konusudur.

Kinematik model çalışmalarında doğada görülen kayma ve kırılmalar ve bunlara sebep olan jeolojik faktörler, laboratuvarlarda hazırlanan numuneler üzerinde, benzetilerek oluşturulur. Bu esnada bloklarda meydana getirilen hareketlerin oluşu, gelişimi ve çeşitli jeolojik faktörlerin, örneğin, çatlak sıklığı, aralığı, şeklinin etkisi ve birbirleriyle olan ilişkileri saptanır. Doğada uzun sürede gelişen olaylar kısa bir sürede ve bir arada gözlenir. Çatlaklı kayaların bloklardan oluştuğu, yapılan şevlerin topuk, orta ve tepe kısımlarında blokların bir yüzey ya da arakesit boyunca hareket ettiği ve devrildiği görülür. Şevin nerelerinde boşlukların geliştiği, blokların hangi kısımlarda kırılıp parçalandığı ve blokların serbestlik derecesi saptanır.

Şevlerin stabilite analizinde ilk adım, muhtemel kayma yüzeyinin seçimi olduğundan, kinematik modellerde görülen hareketler, bu hareket yüzeyinin seçiminde faydalı olur. Ölçekli modeller yapısal şekil değiştirmeyi, küçük bir model üzerinde yansıtan birer araçtır. Burada önemli olan, dinamik eşdeğerliğe yaklaşılabilmektir. Kaya kitlelerinde oluşturulan kazıların boyutlandırılmasında gerilme, deformabilite, büyüklük ve zaman parametreleri dikkate alınarak bu tür deneylerde bu parametreler ölçeklendirilir.

Modellemede, kuvvet/birim alan boyutlu herhangi bir miktar için ölçek oranı ε ve uzunluk için ölçek oranı da λ ile tanımlanırsa, Eşitlik 3.93 elde edilir.

$$\varepsilon = \frac{\text{Prototipin direnci}}{\text{Modelin direnci}}; \lambda = \frac{\text{Prototipin uzunluğu}}{\text{Modelin uzunluğu}} \quad (3.93)$$

Burada, kuvvet/hacim için ölçek oranı ρ , kuvvetler için ölçek oranı ψ ve zaman ölçeği τ , Eşitlik 3.94'ten elde edilir.

$$\rho = \frac{\varepsilon}{\lambda}; \psi = \lambda^3 \rho; \tau = \sqrt{\lambda} \quad (3.94)$$

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

Poisson oranı, kayma direnci ve birim deformasyon gibi boyutsuz parametreler model ve prototipte aynı alınır. Gerçekte, verilen bir malzeme ile bütün parametreler için istenilen ölçek oranını elde etmek mümkün olmaz. Dolayısıyla, bir ölçek bozulması kaçınılmazdır. Bozulma yalnız ölçekte değil, diğer parametreler için de mevcuttur. Önemli olan deneyde yapılan hataların az olması ve bu hataların derecesinin bilinmesidir (Erguvanlı, 1994).

3.6. Duraylılık (Stabilite) Analizinde Kullanılan Bazı Hesaplama Yöntemleri

Şev duraylılık analizlerinde genel olarak, kaymaya direnen kuvvetler ve kaymayı sağlayan kuvvetler arasındaki bağıntılar kullanılmaktadır. Olası çeşitli şev yenilme türleri için çeşitli araştırmacılar tarafından, pek çok parametrenin kullanılmasıyla (su durumu, depremsellik vs.), çeşitli hesaplama teknikleri geliştirilmiştir. Bu başlık altında bu yöntemlere kısaca değinilmiş ve bu tez çalışması kapsamında duraylılık hesaplamalarında kullanılan Bishop, Carter ve Sarma tarafından geliştirilmiş olan yöntemler 5. bölümde detaylı olarak açıklanmıştır.

Culmann yöntemiyle olası süreksizlik yüzeyi içeren şevin duraylılık analizi, α eğimli bir şev ve β eğimli bir süreksizlik düzleminde, süreksizlik düzlemi ile ana kütleden ayrılmış bloğun, süreksizlik düzlemi boyunca kayıp kaymayacağına analitik şekilde hesaplanmasına dayanır. Öncelikle bloğun ağırlığı, kaya kütlelerinin birim hacim ağırlığı, şev yüksekliği ve açısal değerler üzerinden hesaplanır ve daha sonra bloğu kaydıran ve yerinde tutan kuvvetler dengesinden kritik kayma açısı belirlenir. Süreksizlik kayma düzlemi boyunca normal ve kayma gerilmeleri tespit edilir. Kritik kayma açısı üzerinden kohezyon ve içsel sürtünme katsayıları da tespit edildikten sonra, bu değerlere bağlı olarak iki farklı emniyet katsayısı değerine ulaşılır.

Fellenius şev duraylılık yöntemi, dairesel yenilme için kullanılan en eski yöntemdir ve daha sonra geliştirilen pek çok yönteme, sınır denge ilkesiyle, ışık tutmuştur. Yöntem, toplam gerilme analizini dayandığından, kayma dayanım büyüklüğü olarak sadece kohezyon değeri kullanılır. Yöntemde, kaymayı önleyici ve kaydırıcı momentler hesaplanır. Şev birden fazla farklı kaya kütlesi içeriyorsa

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

bunların kohezyonları, çekme çatlağı ve dış hidrostatik basınç mevcutsa bunlar da hesaba katılır. Kayma yüzeylerini tanımlayan çok sayıda dairesel kayma yüzeyi, bunların merkez ve yarıçapları tespit edilip emniyet katsayıları belirlenir. Emniyet katsayısı en küçük olan kayma dairesi kritik kayma dairesini tanımlar.

Bishop şev duraylılık analiz yöntemi, dairesel bir yenilme analiz yöntemidir. Genellikle üniform şevlerde uygulanan bir yöntemdir. Şevi tek başına analiz etmek yerine dilimlere ayırarak, her bir dilimi ayrı analiz etmek esasına dayanır. Yöntem, her bir dilim için geometrik yolla bulunan dilim sınır açıları üzerinden, çeşitli emniyet katsayısı değerleri için abaklardan bulunan sabit değerler (m_a) ve içsel sürtünme açıları üzerinden, gerçek emniyet katsayılarının hesaplanarak tahmin edilmesi esasına dayanır. Bu işlem, başlangıçta kullanılan emniyet katsayısı değerlerinin hesaplamayla bulunan emniyet katsayısı değerlerine eşit olması durumuna kadar devam ettirilir. Bu eşitlik emniyet katsayısı şevin emniyet katsayısı değerini vermektedir.

Janbu şev duraylılık analiz yöntemi, temelde Bishop yöntemine benzemekte olup, çeşitli şev kütleleri için kullanılabilmesi, üniform şevler dışında da kullanılabilmesidir. Bu yöntemde de şev tek başına değil dilimlere ayrılarak, her bir dilimi ayrı ayrı analiz edilir. Dilimlerde, düşey ve yatay kuvvetler dengesiyle kayma gerilmeleri hesaplanır ve bu değerler kullanılarak ayrı emniyet katsayısı değerleri bulunur. Her iki emniyet katsayısı değeri eşit oluncaya kadar hesaplamaya devam edilir. Eşit olan bu emniyet katsayısı değerleri, şev emniyet katsayısı değeri olarak ifade edilir.

Koppula şev duraylılık analiz yöntemi, kohezyon değerinin derinlikle değişimini göz önüne alan bir yöntemdir. Dairesel şev yenilme olasılığı üzerinden, drenajsız şevlerde, derinlikle doğrusal şekilde artan kohezyon değerlerinde şevlerin duraylılık analizi için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde, kritik kayma dairesi, şev topuğundan geçen dairedir. Sismik yükleme koşulları dikkate alınarak dinamik duraylılık analizi de gerçekleştirilebilir. Kritik kayma dairesinin geometrik büyüklükleri, şevi kaydıran ve kaymasını önleyen momentler kullanılarak, duraylılık (stabilite) sayısı ve emniyet katsayısı değeri hesap edilir.

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

Taylor şev duraylılık (stabilite) abakları, standartlaştırılmış abaklar üzerinden, şev açısı, şev yüksekliğine bağlı derinlik faktörü, kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerlerinin bulunması esasına dayanan bir dairesel yenilme analiz yöntemidir. Abaklardan, kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri için bulunan duraylılık (stabilite) sayısı değerlerinin birbirine oranlanması ile emniyet katsayısı değerine ulaşılır.

Bishop-Morgenstern şev duraylılık analiz yöntemi, dairesel yenilme için drenajlı yükleme koşullarında, tanımlanmış abaklardan bulunabilen stabilite faktörlerini kullanarak, uzun süreli duraylılık analizi esasına dayanır. Yöntemin esası, denenen kayma dairelerine ait derinlik faktörü, kohezyon ve içsel sürtünme açılarına bağlı olarak bulunan şev duraylılık (stabilite) sabitlerinin tanımladığı emniyet katsayılarının en az değerinin belirlenmesine dayanır.

Spencer şev duraylılık (stabilite) abakları, farklı boşluk suyu basıncı oranları için kazı ve dolgu şevlerin duraylılık analizinde kullanılır. Abakların kullanımı için duraylılık (stabilite) sayısı, boşluk suyu basıncı ve içsel sürtünme açısı değerleri tespit edilir. Duraylılık (stabilite) sayısı ve abaklardan bulunan değerler vasıtasıyla emniyet katsayısı değerleri hesaplanır.

Hunter ve Schuster şev duraylılık (stabilite) abakları, kohezyon değerinin derinlikle değişimini dikkate alan abaklardır ve içsel sürtünme açısının sıfır olması durumunda kullanılabilirler. Birim hacim ağırlık, şev yüksekliği ve açısı, kohezyon değişimini tanımlayan ve duraylılık (stabilite) sayısı yardımıyla bulunan M faktörü kullanılarak emniyet katsayısı hesaplanır.

Cousins şev duraylılık (stabilite) abakları, kohezyonun sıfırdan farklı olduğu şevlerde kullanılır. Boşluk uyu basınç oranları, şev açısı, kohezyon ve içsel sürtünme açılarına bağlı olarak, duraylılık (stabilite) sayıları ve derinlik faktörü değerleri topuk yenilmesi için abaklardan kestirilerek emniyet katsayısı değeri, şev yüksekliği, duraylılık (stabilite) sayısı, kohezyon ve yenilmesi muhtemel kütlenin birim hacim değerlerine bağlı olarak hesaplanır.

Hoek-Bray dairesel yenilme abakları, daha önce 3.2.3 no'lu başlık altında irdelenen bu abaklarla şev duraylılık analizinde, çeşitli durumlar (drenajlı, yarı drenajlı, doygun gibi) için çeşitli şev açılarında, düzlemlerinde kohezyon, içsel

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

sürtünme katsayısı, şev yüksekliği, birim hacim ağırlık ve emniyet katsayısı değerlerinin kullanıldığı çeşitli eşitlikler bulunan abaklar kullanılarak dairesel yenilme durumunda duraylılık analizi yapılabilir.

Dinamik (psödo-statik) analiz yöntemi ile şev duraylılığı analizinde, depremin ürettiği etkiler sabit yatay veya düşey ivmelerle ifade edilen atalet kuvvetleri olarak dikkate alınırlar. 5. bölümde detaylı olarak açıklanan bu yöntemin ilk uygulamaları Terzaghi tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemle sismik olarak dairesel ve düzlemsel yenilme yüzeylerinde şev duraylılık analizleri yapılabilmektedir.

3.7. Bilgisayar Yazılımları ile Şev Duraylılık (Stabilite) Analizi

Emniyet katsayısını kayma düzlemlerini önceden belirlemeksizin hesaplayan sayısal analiz yöntemleri mevcuttur. Bu yöntemler sınır denge yöntemlerine göre daha yeni gelişmeler olup, ilginin direnen ve kaydıran kuvvetlerin göreceli büyüklüğünden ziyade şev yer değiştirmeleri üzerine yoğunlaştığı madencilik ve heyelan çalışmalarında 2000 yılı itibarıyla baskın olarak kullanılmaktadır.

Sayısal modeller, yerinde gerilmeler ve su seviyeleri gibi bir dizi başlangıç koşuluna maruz kalan kaya kütlelerinin mekanik tepkisini sınır koşullarını ve şev kazısı gibi sonradan oluşan değişiklikleri değerlendirme amaçlı bilgisayar programlarıdır. Bir sayısal model benzeştiricinin verdiği sonuç ya denge ya da göçme şeklindedir. Sonucun denge olması halinde, kaya kütlelerinde herhangi bir noktadaki bileşke gerilmeler ve yer değiştirmeler, ölçülmüş değerlerle karşılaştırılabilirler. Sonucun göçme olması durumunda ise, yenilmenin kestirilen biçimi ortaya konur.

Sayısal modelde bir kaya kütlesi zonlara bölünür. Her bir zona bir malzeme modeli ve özellikleri tayin edilir. Malzeme modelleri, malzemenin nasıl davrandığını tanımlayan gerilme-birim deformasyon ilişkileridir. En basit model, malzemenin elastik özelliklerini (Young modülü ve Poisson oranı) kullanan doğrusal elastik modeldir. Elastik-plastik modeller, bir zonun maruz kalabileceği kesme gerilmesini sınırlamak için dayanım parametrelerini kullanırlar. Zonlar birbirine bağlanabilir

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

(sürekli ortam modeli) veya süreksizliklerle ayrılmış olabilirler (süreksiz ortam modeli). Süreksiz ortam modelleri, model içinde doğrudan belirlenen yüzeylerde kaymaya veya ayrılmaya olanak verirler.

Sayısal modeller karakter itibarıyla genel amaçlıdır. Başka bir deyişle, çok geniş bir aralıktaki problemleri çözebilirler. Çoğu zaman genel amaçlı bir yöntemin bulunması arzu edilmekle birlikte, her problemin bireysel olarak teşkil edilmesi gerekir. Jeoteknik birimlerin veya şev geometrisinin sınırlarına uyacak şekilde, zonlar kullanıcı tarafından ayarlanmalıdır. Bu nedenle, sayısal modellerin kurulması ve çalıştırılması için, sınır denge gibi özel amaçlı yöntemlere kıyasla daha çok zaman gereklidir. Sayısal modellerin şev duraylılık çalışmalarında kullanılmasının gibi birkaç nedeni vardır. Yenilme biçiminin doğrudan belirlendiği ampirik modellere kıyasla, dayalı oldukları veri tabanının dışında güvenli bir şekilde ekstrapolasyon yapılabilir. Faylar ve yeraltı suyu gibi anahtar jeolojik özelliklerin hesaba katılabilmesi, gerçek şevlerin davranışı hakkında analitik modellere kıyasla daha gerçekçi yaklaşımlar sağlar. Bir karşılaştırma olması açısından, analitik, fiziksel veya sınır denge gibi sayısal olmayan yöntemler bazı sahalar için uygun olmayabilirler ya da muhtemelen aşırı tutucu çözümlere götürecek şekilde, koşulları aşırı derecede basitleştirme eğilimindedirler. Gözlenen fiziksel davranışı açıklamaya yardımcı olabilirler. Jeolojik modelleri, yenilme biçimlerini ve tasarım seçeneklerini çoklu olasılıklar içinde değerlendirebilirler.

Şevlerin emniyet katsayısını belirleme konusunda yazılmış sınır denge programları mevcuttur. Hızlı çalışan bu programlarda, dairesel yenilme için dilim yöntemi durumunda, dilimler arası sürtünme kuvvetlerinin yeri ve açısı da dâhil olmak üzere çok sayıda varsayımın yapıldığı uygun bir çözüm şeması kullanılır. Birkaç değişik kayma yüzeyi varsayılır ve en düşük emniyet katsayısını veren düzlem seçilir. Denge sadece idealleştirilmiş bir dizi yüzeyde Sayısal modellerde eşlenik gerilme/yer değiştirme, denge ve öge denklemlerinin tam bir çözümü yapılır. Bir dizi özellik verildiği zaman, sistemin duraylı veya duraysız olduğu bulunur. Değişik özelliklerle bir dizi benzeşim yapmak suretiyle, irdelenen duraylılık durumuna karşılık gelen emniyet katsayısı bulunabilir. Sayısal analiz çok daha yavaş

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

olmakla birlikte çok daha geneldir. Hızlı bilgisayarların 1990’larda ortaya çıkmasıyla sınır denge yöntemine pratik bir alternatif olmuştur. Buna rağmen, sınır denge çözümleri sadece birkaç saniyelik işlem süresi gerektirirken, büyük ve karmaşık problemlerin sayısal çözümü, özellikle bir süreksiz ortam davranış söz konusu olduğunda bir saat veya daha fazla uzun bir zaman alabilir.

Şevlerin emniyet katsayısı çoğu zaman gerçek kesme dayanımının yenilmeyi önlemek için gerekli minimum kesme dayanımına oranı olarak belirlenir. Emniyet katsayısını bir sonlu elemanlar veya sonlu farklar programıyla hesaplamanın mantıklı bir yolu, göçme olana kadar kesme dayanımını azaltma şeklindedir. Emniyet katsayısı, kayanın gerçek dayanımının yenilme durumundaki azaltılmış kesme dayanımına oranıdır. Bu dayanım azaltma tekniği, çoklu malzemeden oluşan bir şevin emniyet katsayısını hesaplamada Zienkiewicz vd. (1975) tarafından sonlu elemanlar yönteminde kullanılmıştır. Çoklu malzemelerin ve/veya eklemlerin bulunması durumunda azaltma işlemi tüm malzemeler için aynı anda yapılır. Deneme emniyet katsayısı şev yenilene kadar kademeli olarak artırılır. Yenilme durumunda emniyet katsayısı deneme emniyet katsayısına eşit ($f = F_s$) olur. Dawson vd. (1999) sürtünme açısının hacimsel genişleme açısına eşit olduğu bir eşlenik akış kuralı kullanıldığı zaman, emniyet katsayısı için kesme dayanımı azaltma faktörlerinin sınır denge analiz çözümlerinden genellikle yüzde birkaç seviyesinde bir farklılık gösterdiğini ortaya koymuşlardır.

Kesme dayanımı azaltma tekniğinin sınır denge şev duraylılık analizine göre iki önemli avantajı vardır. Birincisi, kritik kayma yüzeyinin otomatik olarak bulunması ve kayma yüzeyinin şeklinin (dairesel, log spiral, parçalı doğrusal) belirlenmesine gerek olmamasıdır. Genelde, şevlerin yenilme yüzeyi geometrisi basit dairesel veya parçalı yüzeylerden daha karmaşıktır. İkincisi, sayısal yöntemler düz kayma ve dönme denklemlerini otomatik olarak sağlarken, sınır denge yöntemleri dengeyi sağlarlar. Buna göre, kesme dayanımı azaltma tekniği genellikle sınır denge yöntemlerindekiye eşit veya biraz daha düşük bir emniyet katsayısı verirler.

3.7.1. Sayısal Modelleme

Kaya şevlerin hepsinde süreksizlik bulunur. Bu süreksizliklerin sayısal modellerde temsili modelin çeşidine göre değişir. Süreksiz ortam modeli ve sürekli ortam modeli olmak üzere iki ana model çeşidi söz konusudur. Süreksiz ortam modellerindeki süreksizlikler doğrudan temsil edilirler. Başka bir anlatımla, süreksizliklerin yönelimi ve yeri bellidir. Sürekli ortam modellerindeki süreksizlikler, sürekli ortam davranışının temsil edilen gerçek eklemli kaya davranışına olabildiğince eşdeğer olması amacıyla, dolaylı olarak temsil edilirler.

Süreksiz ortam programları, süreksiz ortamları modellemek üzere spesifik olarak tasarlanmış bir yöntem ile başlar ve süreksiz ortam davranışını özel bir durum olarak inceler. Süreksiz ortam programları genellikle ayırık elemanlar yazılımları şeklinde adlandırılırlar. Bir ayırık eleman programı temas yüzeylerini bulma ve sınıflamada ve yüzlerce veya binlerce süreksizliği ele alabilen bir veri yapısı ve bellek paylaşım şemasını korumada tipik olarak etkin bir algorithmadan yararlanır. Süreksizlikler problem bölgesini rijit veya şekil değiştirebilir bloklara böler (şekil değiştirebilir bloklar içinde sürekli ortam davranışı varsayılır). Şev duraylılık çalışmalarında en çok kullanılan ayırık eleman yazılımları (programları) UDEC (Universal Distinct Element Code, Itasca Consulting Group, 2000) ve 3DEC (3-Dimensional Distinct Element Code, Itasca Consulting Group, 2003) yazılımlardır. Süreksiz ortam yazılımlarının başlıca önemi, eklem veya süreksizlik davranışının temsil edilmesidir. Sürekli ortam yazılımlarında malzemenin cismin tamamında devamlı olduğu kabul edilir. Süreksizlikler, sürekli ortam cisimleri arasına ara yüzeyler sunmak suretiyle özel durumlar olarak ele alınır. PHASE (Rocscience, 2002) ve önceki sürümü olan PHASES (Plastic Hybrid Analysis of Stress for Estimation of Support) gibi sonlu elemanlar yazılımları ve FLAC (Fast Lagrangian Analysis of Continua, Itasca Consulting Group, 2001) gibi sonlu farklar yazılımları genel etkileşim geometrisinde (çok sayıda kesişen eklemde) kullanılamazlar. Bağlar tekrarlı bir şekilde kırıldığı zaman bu yazılımların etkinliği önemli derecede azalmaktadır. Sürekli ortama dayalı tipik modellerde kesişmeyen süreksizlik sayısı en çok 10 kadar olabilir. Sürekli ortam yazılımlarının ve ayırık eleman yazılımlarında

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

şekil değiştirebilir blokların başlıca önemi, kaya kütlesi davranışının temsil edilmesidir.

Sonlu elemanlar yazılımları muhtemelen daha iyi bilinen yazılımlar olmakla birlikte, sonlu farklar yöntemi diferansiyel denklem gruplarını çözmede kullanılan belki de en eski sayısal tekniktir. Sonlu elemanlar ve sonlu farklar yöntemlerinin ikisinde de, çözülmesi gerekli bir grup cebirsel denklem türetilir. Denklemleri türetmede kullanılan yöntemler farklı olmakla birlikte, sonuçta ortaya çıkan denklemler aynıdır. Sonlu farklar yazılımlarında denklemleri çözmede genellikle doğrudan zaman adım şemaları kullanılırken, sonlu elemanlar yöntemlerinde denklem sistemleri genellikle matris şeklinde çözülür.

Bir problemde ilgi konusu genellikle statik çözüm olsa da, sonlu farklar yazılımlarının biçimlendirilmesinde tipik olarak hareketin dinamik denklemleri ele alınır. Bunun nedenlerinden birisi, fiziksel sistem duraysız olarak modellendiği zaman, sayısal şemanın duraylı olduğunun garanti altına alınmasıdır. Doğrusal olmayan malzemelerde fiziksel duraysızlık (mesela bir şevin yenilmesi) her zaman olasıdır. Gerçek hayatta, birim deformasyon enerjisinin bir kısmını kinetik enerjiye dönüştür. Atalet terimleri işleme dâhil edildiğinden, sonlu farklar yazılımlarında bu süreç doğrudan modellenmektedir. Bunun aksine, atalet terimlerinin dâhil edilmediği programlarda fiziksel duraysızlıkları ele almada bazı sayısal prosedürler kullanılmalıdır. Sayısal duraysızlığı önlemede prosedür başarılı olsa bile, takip edilen yol gerçekçi olmayabilir. Sonlu farklar yazılımlarında hareket yasasının tam olarak dâhil edilmesinin etkileri, kullanıcının neler olduğu hakkında fiziksel bir his sahibi olması şeklindedir. Doğrudan sonlu farklar yazılımları çözümü veren kara kutular değildir. Sayısal sistemin davranışı yorum gerektirir.

FLAC ve UDEC jeomekanik analiz için özel olarak geliştirilmiş iki boyutlu sonlu farklar yazılımlarıdır. Değişik yükleme ve su koşullarını benzeştirebilen bu yazılımlarda kaya kütlesi sürekli ortam davranışını temsil etmek için önceden tanımlanmış malzeme modelleri söz konusudur. İleri derecede eğrisel ve duraysız problemleri ele almada bu iki yazılımın da kendine has yetenekleri vardır. Bu yazılımların üç boyutlu eşdeğerleri FLAC3D (Fast Lagrangian Analysis of Continua in 3 Dimensions; Itasca Consulting Group, 2002) ve 3DEC'tir.

3.7.1.1. Eklem Malzeme Modelleri

Eklemleri temsil etmede en çok kullanılan malzeme modelleri doğrusal elastik-mükemmel plastik modeldir. Sınır kesme dayanımı, bilinen Mohr-Coulomb sürtünme açısı ve kohezyon parametreleriyle tanımlanır. Eklemler için de, bir pik ve rezidüel kesme dayanımı ilişkisi belirlenebilir. Rezidüel dayanım, eklem pik dayanımında yenildikten sonra kullanılır. Eklemlerin elastik davranışı eklem normal rijitliği ve kesme rijitliği ile belirlenir ve bunlar doğrusal veya parçalı doğrusal olabilirler.

3.7.1.2. Kaya Kütlesi Malzeme Modelleri

Sınırlı sayıdaki birkaç palye (basamak, kademe) için süreksizliklerin modellenmesi mümkün olsa da, büyük bir şevdeki tüm süreksizliklerin modellenmesi imkânsızdır. Bu nedenle, büyük şevlerdeki kaya kütlelerinin çoğu, süreksizliklerin etkisinin, kırıksız kaya elastik özellikleri ve dayanımının, kaya kütlesi elastik özellikleri ve dayanımına azaltıldığı eşdeğer bir süreksiz ortamla temsil edilmelidir. Kullanılan model süreksiz model olsun veya olmasın bu yaklaşım geçerlidir. Sayısal modeller, daha önce belirtildiği üzere, kayayı zonlara bölerler. Her bir zon için bir malzeme modeli ve malzeme özellikleri tayin edilir. Malzeme modelleri, malzemenin davranışını tanımlayan gerilme-birim deformasyon ilişkileridir. En basit model, malzemenin sadece elastik özellikleri kullanan doğrusal elastik modeldir (Young modülü ve Poisson oranı). Kaya kütlesi için en çok kullanılan malzeme modelleri, doğrusal elastik-mükemmel plastik gerilme-birim deformasyon ilişkileridir. Bir zonun maruz kalabileceği kesme gerilmesini sınırlamada bu modeller tipik olarak Mohr-Coulomb dayanım parametrelerini kullanırlar. Çekme dayanımı, belirli bir değer ile sınırlanır ve çoğu analizde kaya kütlesi kohezyonunun %10'u olarak alınır. Bu modelde kaya kütlesi davranışı izotrop olarak ele alınır. Dayanım anizotropisi, kesme dayanımını Mohr - Coulomb kriterine göre belirli bir yönde sınırlayan sıradan bir eklem modeli yoluyla işleme dâhil edilebilir. Bu yön çoğu zaman baskın eklem yönüne karşılık gelir.

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

Eklem yönelimi ve açıklığının etkilerini içeren daha kapsamlı bir eşdeğer sürekli ortam modeli, mikro-kutupsal (Cosserat) plastisite modelidir. Cosserat teorisi klasik ortamda varsayılan düz kaymaya ek olarak malzeme noktalarında yerel dönmeleri ve klasik gerilmelere (alan başına kuvvetlere) ek olarak da eşlenik gerilmeleri (birim alan başına momentleri) hesaba katmaktadır. FLAC'da uygulanan bu model Dawson ve Cundall (1996) tarafından verilen şev duraylılığı kapsamına tanımlanmıştır. Bu yaklaşımın avantajı, gerçekçi eklem açıklığını doğrudan göz önüne alma yeteneğinin korunduğu bir sürekli ortam modelinin kullanılmasıdır.

Kaya kütleleri için en yaygın yenime kriteri Hoek-Brown kriteridir. Hoek-Brown kriteri, kırksız kayada ve kaya kütlelerinde, yenilmeye yol açan gerilme koşullarını karakterize eden ampirik bir ilişkidir. Sınır denge çözümlerini kullanan tasarım yaklaşımlarında başarıyla uygulanmaktadır. Ayrıca, spesifik çevre basınçları ya da çevre basınçları aralığı için Hoek-Brown yenilme kriterine teğet olan bir yenilme yüzeyini sağlayan eşdeğer Mohr-Coulomb kesme dayanımı parametrelerini bulmak da sayısal modellerde dolaylı olarak kullanılmaktadır. Teğet Mohr-Coulomb parametreleri daha sonra geleneksel Mohr-Coulomb türü öge model ilişkilerinde kullanılır ve analizler sırasında parametreler her zaman güncelleştirilemeyebilir. Prosedür elverişsiz ve zaman alıcı olup, buna göre kapsamlı öge modelleri gerektiren sayısal çözüm şemalarında Hoek-Brown yenilme kriterinin doğrudan kullanımına sık rastlanılmamaktadır. Yer değiştirmeler ve gerilmeleri için çözümler veren bu tür modeller, bazı yerlerde yenilme devam ettikten sonra da çözümler sağlayabilirler.

Gerçek kaya kütlelerinin çoğu zaman progresif yenilme sergiledikleri gözlenir. Başka bir anlatımla, yenilme zaman içinde ilerler. Progresif yenilme, henüz iyi anlaşılamamış ve modellenmesi de zor olan karmaşık bir süreçtir. Aşağıdaki mekanizmalardan birini veya daha fazlasını içerebilir:

- Birim deformasyonun ana yapılarda ve/veya kaya kütlesi içinde giderek birikmesi.
- Zamanla boşluk basıncındaki artışlar.
- Sabit yük altındaki malzemenin zamana bağlı davranışı olan krip.

Birim deformasyonun kaya kütlesi içindeki ana yapılarda giderek birikmesi genellikle kazıdan kaynaklanır ve zaman-kazı işlem sırası ile ilişkilidir. Kazıdan ileri

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

gelen progresif yenilme etkilerini incelerken, kaya kütlesinin pik sonrası veya yenilme sonrası davranışına dair özelliklerin birim deformasyon yumuşama modeline dâhil edilmesi veya benzer özelliklerin belirgin süreksizliklere uygulanması gerekir. Birim deformasyon yumuşamalı kaya kütlesi modelleriyle ilgili olarak, pratikte en az iki güçlük söz konusudur. Birincisi, pik sonrasında dayanımın azaldığı durumda ki birim deformasyonun hesaplanmasıdır. Gerekli parametrelerin hesaplanmasında kılavuz olabilecek herhangi bir ampirik yaklaşım bulunmamaktadır. İkinci güçlük, tepkinin kesme lokalizasyonuna bağlı olduğu ve malzeme yumuşamasının kullanıldığı bir benzeştirimde sonuçların zon boyutlarına bağlı olmasıdır.

Maden ocaklarındaki kaya şevlerinde boşluk basıncının zamanla artışı çok rastlanılan bir olay değildir. Çukurun derinleştirilmesine veya drenaja bağlı olarak boşluk basıncı azalımı daha sık karşılaşılan bir durumdur. Ancak, boşluk basıncının zamanla arttığı durumlar da vardır. Böyle durumlarda şevin progresif olarak yenilmesi mümkündür.

Sabit yük altında malzemenin zamana bağlı deformasyonu olan krip, yeraltı kazılarında çok daha sık karşılaşılan bir olaydır ve genellikle şev duraylılığı kapsamında göz önüne alınmaz. Kaya şevlerde krip davranışını incelemek üzere geliştirilmiş birkaç malzeme modeli mevcuttur. Klasik visko-elastik modeller, üs yasası modelleri ve Burger krip visko-elastik modeli bunlardan bazılarıdır.

3.7.2. Modelleme Problemleri

Modelleme, mevcut malzeme modeli ve bilgisayar kapasitesi gibi faktörlerden kaynaklanan kısıtlamalara uyum sağlamak için, problemin idealleştirilmesini ya da basitleştirilmesini gerektirir. Kaya kütlesi tepkisinin analizi değişik ölçeklerde meydana gelir. Tüm özelliklerin ve kaya kütlesi tepki mekanizmalarının ayrıntılarının modele dâhil edilmesi imkânsızdır (ve ayrıca arzu edilmez). Bunlar dışında, kaya kütlesi davranışı ayrıntıların birçoğu bilinmemekte ve bu nedenle modellemeye yaklaşım, mekaniğin diğer dallarında olduğu gibi kolay olmamaktadır.

3.7.2.1. İki Boyutlu ve Üç Boyutlu Analizler

Bir model oluşturmada ilk adım, analizin iki boyutlu mu yoksa üç boyutlu mu yapılacağına karar verilmesidir. Üç boyutlu analizler, iki binli yılların başlarına kadar yaygın olmamakla birlikte, kişisel bilgisayarlarda sağlanan gelişmeler üç boyutlu analizlerin artık rutin olarak yapılmasına olanak vermektedir. Üç boyutlu analizler şu durumlar için önerilmekte ve gerekmektedir:

- Ana jeolojik yapıların doğrultularının şev doğrultusu ile 20-30°'den daha fazla farklılık göstermesi.
- Malzeme anizotropisi eksenli doğrultusunun şev doğrultusu ile 20-30°'den daha fazla farklılık göstermesi.
- Asal gerilme yönlerinin şev doğrultusuna ne paralel ne de dik olması.
- Jeomekanik birimlerin dağılımının şev doğrultusu boyunca değişmesi.
- Eksene göre simetri veya düzlem birim deformasyon varsayımının yapıldığı şev geometrisinin vaziyet planının iki boyutlu analizde temsil edilememesi.

Yukarıda belirtilen durumlara rağmen, çoğu şevlerin tasarım analizinde düzlem birim deformasyon koşulları altındaki sonsuz uzun şevde birim dilim içeren iki boyutlu geometri varsayımı yapılmaktadır. Başka bir anlatımla, topuk ve tepe yarıçapları sonsuz kabul edilmektedir. Özellikle eğrisellik yarıçaplarının güvenli şev açıları üzerindeki etkilerinin önemli olabildiği açık ocak madenciliğinde olmak üzere, uygulamada karşılaşılan koşullar bundan farklıdır. İçbükey bir şevdeki potansiyel yenilmenin her bir tarafındaki malzeme tarafından sağlanan yanal kısıtlamalardan dolayı, içbükey şevlerin, birim deformasyon şevlerinden daha duraylı olduğu düşünülmektedir. Hoek ve Bray, şev eğriselliğinin iyileştirici etkileri konusundaki deneyimlerini şu şekilde özetlemişlerdir: İçbükey bir şevin eğrisellik yarıçapı şev yüksekliğinden küçük olduğu zaman, şev açısı geleneksel duraylılık analizinde önerilen açıdan 10° büyük olabilir. Eğrisellik yarıçapı şev yüksekliğinden daha büyük bir değere çıkarken düzeltme azaltılmalıdır. Şev yüksekliğinin iki katından büyük yarıçaplarda, geleneksel duraylılık analizlerinden bulunan şev açısı kullanılmalıdır.

3.7.2.2. Sürekli Ortam ve Süreksiz Ortam Modelleri

İki ya da üç boyutlu analize karardan sonraki adım, sürekli bir ortamın mı yoksa süreksiz bir ortamın mı kullanılması gerektiğine karar verilmesidir. Bu kararın alınması genellikle çok kolaydır. Hangi tür analizin yapılacağını belirlemede genellikle hazır kurallar bulunmamaktadır. Şev duraylılık problemlerinin tümü, süreksizlikleri bir ölçek dâhilinde ele alır. Ancak, özellikle genel duraylılık ile ilgili faydalı analizler kaya kütlelerinin eşdeğer bir sürekli ortam olduğu varsayımıyla yapılmaktadır. Bu nedenle, çoğu analizlerde işe sürekli ortam modelleri ile başlanır. İncelemeye konu olan şevin bir yapı olmadan duraysız olması halinde, süreksiz ortam modellerine başvurunun bir anlamı olmaz. Diğer taraftan, bir sürekli ortam modelinin makûl derecede duraylı olması halinde, asal yapıların doğrudan dâhil edilmesi, şev davranışı için daha doğru tahminler verir.

Eklem geometrisinin bir modele girdi olarak seçilmesi, süreksiz ortam analizleri için kritik bir adımdır. Tipik olarak, pratik analiz için makûl boyuttaki modelleri oluşturmada, eklemlerin gerçekte sadece çok küçük bir yüzdesi modele dahil edilebilir. Bu nedenle, mekanik tepki için en kritik olan eklemleri seçmek üzere, eklem geometrisi verileri filtrelenmelidir. Bu işlem, önceden belirlenen yükleme koşulu için kayma veya ayrılmaya en duyarlı olanları teşhis etmek suretiyle gerçekleştirilir. Bunu yaparken, özellikle devrilme durumunda olmak üzere yeterli kinematik serbestliğin sağlanıp sağlanmadığının belirlenmesi ve gözlenen davranışı model tepkisi ile karşılaştırmak suretiyle analizin kalibre edilmesi gerekebilir.

3.7.2.3. Uygun Zon Boyutunun Seçilmesi

Süreçte bir sonraki adım, uygun bir zon boyutunun seçilmesidir. Sonlu farklar zonlarında, her bir zon içindeki gerilmeler ve birim deformasyonların zon içindeki konumlarının değişmediği varsayılır. Başka bir deyişle, zonlar, olası en düşük derece elemanlarıdır. Şev içindeki gerilme ve birim deformasyon gradyanlarını yeterli düzeyde yakalamak için, nispeten küçük boyutlu ayırlama yapmak gereklidir. Yazarlar deneyimlerine dayalı olarak, ilgi konusu olan şevin yüksekliği boyunca en

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

az 20 (tercihen 30) elemanın gerekli olduğu sonucuna varmışlardır. Fleksürel devrilmenin söz konusu olduğu durumda, kaya kolonu boyunca en az dört zon gereklidir. Daha yüksek dereceli elemanlar kullanan sonlu elemanlar programları, sonlu farklar programlarında yaygın olan sabit birim deformasyon/sabit gerilme elemanlarına kıyasla muhtemelen daha az sayıda zon gerektirirler.

3.7.2.4. Başlangıç Koşulları

Başlangıç koşulları, madencilikten önce mevcut olan koşullardır. Maden sahalarında önemli olan, başlangıç koşulları yerinde gerilme alanı ile yeraltı suyu koşullarıdır. Gerilmelerin şev analizlerindeki rolü geleneksel olarak ihmal edilmektedir. Çünkü, şev duraylılık analizlerinde sıkça kullanılan sınır denge analizlerinde gerilme etkileri analize dâhil edilememektedir. Bununla birlikte, zemin şevleri gibi özellikle yapının mevcut olmadığı durumlarda sınır denge analizlerinin çoğu zaman duraylılık için makul değerler verdiği düşünülmektedir. Duraylılık analizlerinin çoğu geleneksel olarak yerinde gerilmelerin olası aralığının kayalara göre daha dar olduğu zeminlerde yapılmaktadır. Ayrıca, zemin analizlerinin çoğu, yerinde gerilmelerin mevcut olmadığı bir baraj gibi inşa edilmiş dolgular için gerçekleştirilmiştir. Şev yenilmelerin çoğunun nedeni yer çekimi olup, yerinde gerilmelerin etkisinin minimum olduğu düşünülür. Şevlerdeki kaya kütlelerin de yerinde gerilmeler rutin olarak ölçülmez ve bu nedenle etkileri de büyük ölçüde bilinmemektedir.

Sayısal modeller gibi gerilme analiz programlarının özel bir üstünlüğü, duraylılık analizlerinde, madencilik öncesi başlangıç gerilme durumunu dâhil edebilme ve bunların önemini değerlendirme yetenekleridir. Şev davranışı, ana yapıların yönelimi, kaya kütlesi dayanımı ve su koşullarına bağlı olduğundan, genelde başlangıç gerilme durumunun herhangi bir problemde ne tür etkilerinin olacağını söyleyebilmek olanaksızdır. Ancak, yerinde gerilmelerin duraylılık üzerine etkilerinden bazıları gözlenebilir.

3.7.2.5. Sınır Koşulları

Sınırlar ya gerçek ya da yapaydır. Şev duraylılık problemlerindeki gerçek sınırlar, genellikle gerilme içermeyen doğal veya kazı ile oluşturulmuş yer yüzeylerine karşılık gelir. Yapay sınırlar gerçekte mevcut değildir. Şev duraylılık problemleri de dâhil olmak üzere, jeomekanikteki tüm problemler, gerçek problem bölgesinin sonsuz uzanımının, sadece ilgi konusu olan kısmını kapsayacak şekilde yapay olarak traşlanmasını gerektirir. Yapay sınırlar, önceden belirlenmiş yer değiştirme veya önceden belirlenmiş gerilme şeklinde iki çeşit olabilir. Önceden belirlenen yer değiştirme sınırları, yer değiştirmeyi düşey yönde, yatay yönde veya her iki yönde kısıtlar. Önceden belirlenmiş yer değiştirme sınırları, modelin tabanında ve şevin topuğundaki koşulları temsil etmede kullanılır. Modelin tabanındaki yer değiştirme, modelin dönmesini engellemek için, daima düşey ve yatay yönlerin ikisinde de kısıtlanır. Herhangi bir şevin topuğu yakınındaki yer değiştirme sınırları ile ilgili olarak iki varsayım kullanılabilir. Birinci varsayım, topuk yakınındaki yer değiştirmelerin sadece yatay yönde kısıtlanmasıdır. Bu varsayım, topuk sınırını temsil eden düzlem veya eksene göre mükemmel simetrik olan bir problem için mekanik olarak doğru bir koşuldur. Daha doğrusu, bu koşul sadece düzlem birim deformasyonun varsayıldığı iki boyutta modellenen sonsuz uzunluktaki şevlerde ya da maden ocağının mükemmel bir koni olduğu aksel simetrik şevlerde oluşmaktadır. Gerçekte, bu koşullar çok ender olarak sağlanırlar. Bu nedenle, şev topuğunda herhangi bir sınır koşulu belirleme gereğinden kurtulmak için, bazı modeller yanal yönde uzatılırlar. Şev topuğu yakınındaki sınır koşulları ile ilgili olarak karşılaşılan bazı güçlüklerin genellikle iki boyutlu varsayımdan kaynaklandığının bilinmesi önemlidir. Üç boyutlu modellerde genellikle bu zorlukla karşılaşılmaz. Uzak-alan sınırı ve koşulu ayrıca şev duraylılık analizi için herhangi bir sayısal modelleme için de belirlenmelidir. Bu konuda genel yaklaşım, sonuçları önemli şekilde etkilemeyecek bir uzak-alan yerinin seçilmesidir. Bu koşul sağlanırsa, sınırın önceden belirlenmiş yer değiştirme veya önceden belirlenmiş gerilme olması önemli değildir. Şev duraylılık çalışmalarının çoğunda önceden belirlenmiş yer değiştirme sınırı kullanılır. Modelin dengede olabilmesi için, önceden belirlenmiş

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

gerilme sınırı için gerilmenin büyüklüğünün başlangıç gerilme durumu ile ilgili varsayımlarla uyuşması şarttır. Ancak, kazıdaki bir ilerleme durumunda olduğu gibi, modeldeki herhangi bir değişikliği takiben, önceden belirlenmiş gerilme sınırı, uzak-alan sınırının orijinal değerini muhafaza ederken kazıya doğru yer değiştirmesine neden olur. Bu nedenle, gerilme değişmediği için ve sınırın yer değiştirmesini takip ettiği için, önceden belirlenmiş gerilme sınırına, takip eden gerilme ya da sabit gerilme sınırı adı verilir. Ancak, takip eden gerilmelerin geliştiği en olası yerler, şev gerisinde topoğrafik yükselimlerin bulunduğu yerlerde kazılan şevlerdir. Şevlerin eğimli topoğrafya üzerinde kazıldığı yerlerde bile, kazının yamaç aşağı topoğrafik yönüne dik efektif derinliğine bağlı olarak, gerilmeler kazı etrafında bir dereceye kadar akarlar.

Sabit bir sınır, gerilmelerin ve yer değiştirmelerin olduğundan küçük hesaplanmasına neden olur ve gerilme sınırında durum bunun tersidir. Sınır çeşidinin iki çeşidi gerçek çözümün belirli bir aralıkta kalmasını sağlar. Buna göre, iki sonucun ortalamasını almak suretiyle gerçek çözüm için makûl bir tahmin elde etmek üzere daha küçük modellerle deneyler yapmak mümkündür. Açık ocak şev duraylılık problemlerinin hepsi gerçekte üç boyutludur. Bunun anlamı, ocağın içinde ve etrafında etkiyen gerilmelerin, ocağın hem altında hem de çevresi etrafında serbest şekilde akması şeklindedir. Bu nedenle, analiz düzlemine paralel çok düşük dayanımlı faylar bulunmadığı sürece, bir sabit gerilmenin veya takip eden gerilmenin yatay olarak etkiyen gerilmeleri olduğundan büyük vermesi daha olasıdır.

3.7.2.6. Su Basıncının Dikkate Alınması

Şevlerde boşluk basınç dağılımını belirlemede yaygın olarak iki yöntem kullanılmaktadır. En kapsamlı yöntem, eksiksiz bir akış analizi yapılması ve şev analizlerinde bileşke boşluk basınçlarının kullanılmasıdır. Daha az kapsamlı olmakla birlikte daha yaygın olarak kullanılan bir yöntem, bir su tablasının belirlenmesi ve sonuçtaki boşluk basınçlarının su tablasından aşağıdaki derinlik ile su yoğunluğu ve yerçekimi ivmesi ile çarpımı ile verilmesi şeklindedir. Su tablası yaklaşımı bu anlamda bir piyezometrik yüzey belirlemeye eşdeğerdir. İki yöntemde de benzer

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

doğgun yüzeyler kullanılır. Ancak, eş potansiyel çizgilerin eğiminin ihmal edildiği su tablası yönteminde şev topuğu yakınındaki gerçek boşluk basıncı konsantrasyonlarını olduğundan düşük ve topuk gerisindeki boşluk basınçları da hafifçe büyük bulunur. Analizde sızma kuvvetleri de dikkate alınmalıdır. Hidrolik eğim, aynı kotta bulunan iki nokta arasındaki su basıncı farkı olup, suyun gözenekli ortamda akışı sırasındaki sızma (veya sürüklenme) kuvvetlerinden ileri gelir. Akış analizinde sızma kuvvetleri otomatik olarak hesaba katılır.

3.7.2.7. Kazıda İşlem Sıralaması

Kazıların sayısal modellerde benzeştirilmesinde kavramsal olarak bir zorluk bulunmamaktadır. Ancak, bir model oluşturmak için gerekli çabanın miktarı, benzeştirilen kazı aşamalarının sayısına bağlıdır. Bu nedenle, en pratik analizlerde kazı aşama sayısı azaltılmaya çalışılır. En doğru çözüm, şevdeki herhangi bir zon için gerçek yükleme izi yakından takip edildiği için, en fazla kazı aşaması kullanılarak elde edilir. Teorik olarak, nihaî çözümün takip edilen izden bağımsız olduğunu ispat etmek imkânsızdır. Ancak, çoğu şevlerde duraylılığın genellikle analiz zamanındaki geometri ve boşluk basıncı dağılımına bağlı olduğu ve takip edilen yola çok az bağımlı olduğu görülmektedir.

3.7.2.8. Sonuçların Yorumlanması

Sayısal sistemin davranışı ve sonlu farklar sisteminden elde edilen sonuçlar, şev hareketi verilerinin yorumlandığı şekle benzer biçimde yorumlanmalıdır. Sonlu farklar programları kaya kütlesi içinde belirli noktalardaki yer değiştirmeleri ve hızları kaydederler. Kaydedilen değerlerin analiz sırasında arttığı, sabit kaldığı veya azaldığını görmek üzere analiz esnasında incelemesi yapılır. Artan yer değiştirme ve hızlar duraysız bir duruma işaret ederler. Değişmeyen yer değiştirmeler ve azalan hızlar, duraylı bir duruma işaret ederler. Ayrıca, modeldeki her nokta için hız ve yer değiştirme vektörleri grafiğe aktarılabilir. Sabit hız ve yer değiştirme alanları yenilmeye işaret eder.

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

Ayrıca, model içinde yenilmenin çekme veya makaslama olarak tanımlandığı yerde noktaların yenilme (plastisite) durumunun incelenmesi mümkündür. Yenilme durumu belirteçlerinin incelendiği durumda özenli çalışılmalıdır. Örnek olarak, devrilen kolonların tabanındaki yerel aşırı gerilme, kolonların sadece basınç yenilmesi olduğu zaman derin oturaklı bir kayma yüzeyi geliştirebilir. Bu nedenle, tanımsal herhangi bir sonuç çıkarılmadan önce, yenilme (plastisite) belirteçleri genel davranış çerçevesi içerisinde gözden geçirilmelidir.

3.7.3. Tipik Duraylılık Analizi

3.7.3.1. Kaya Kütlesi Yenilmesi Tipik Duraylılık Analizi

Sadece kaya kütlesi yenilmesi içeren şevlerin sayısal analizlerini incelemenin en etkin yolu PHASE, FLAC veya FLAC 3D gibi sürekli ortam programlarının kullanılmasıdır. Süreksizlikler, sürekli ortam modellerinde doğrudan kullanılmazlar, bunun yerine, kaya kütlesi içerisine dağıldıkları varsayılır. Kaya kütlesi kesme dayanımı özelliklerinin makul derecede hesaplanabileceği varsayılırsa, analizin yapılması çok kolaydır. Kaya kütlesi özelliklerinin başlangıçla tahmin edilme süreci çoğu zaman Hoek ve Brown (1981) gibi ampirik ilişkilere dayanır. Bu başlangıç özellikleri daha sonra kalibrasyon süreci yoluyla değiştirilir. Yenilme biçimleri başlıca kaya kütlesi boyunca makaslamayı içerir. Daha önce liste Kayma yüzeyinin yaklaşık dairesel olduğu homojen şevlerde dairesi şev topuğunu keser ve yeryüzüne yakın yerde neredeyse düşeydir.

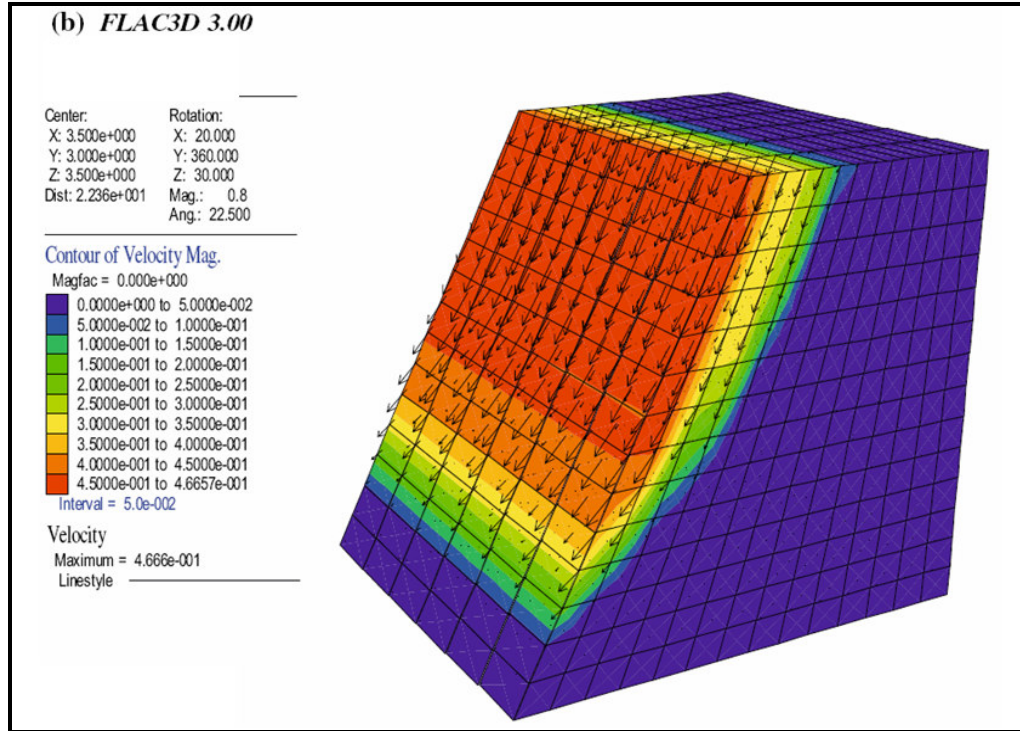
3.7.3.2. Düzlemsel Yenilme-Şev Yüzeyini Kesen ve Kesmeyen Durumlar Analizi

Şev yüzünü kesen düzlemsel eklemler üzerinde kayan rijit blokların yenilme biçimleri en etkin şekilde analitik yöntemler kullanılarak çözülür. İki boyutlu UDEC programıyla bu durum için emniyet katsayısı belirlenebilir. Benzer analiz şev yüzünü kesmeyen yenilme düzlemleri için de yapılabilir.

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

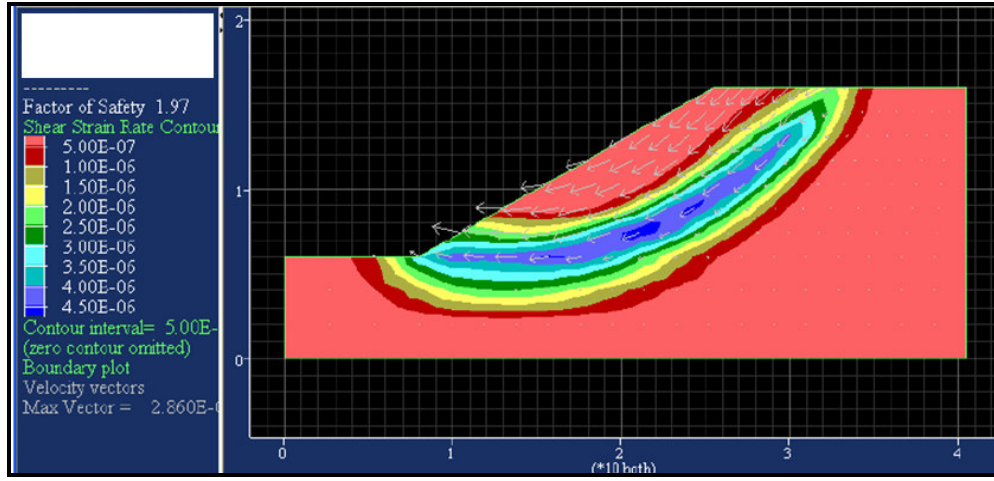
3.7.3.3. Kama Tipi Yenilme-Şev Yüzeyini Kesen ve Kesmeyen Durumlar Analizi

Kama kaymasını içeren analizler, analizin üç boyutta yapılması şartı hariç, düzlemsel yenilmeleri içeren analizlere benzer. Düzlemsel yenilmede olduğu gibi, şev yüzünü kesen rijit blokların analizi için en iyi çözüm, analitik yöntemlerin kullanılmasıdır. Çekme çatlaklarının veya şev yüzünü kesmeyen kamaların oluşumunu içeren analizler sayısal analiz gerektirirler. FLAC3D (Şekil 3.37) ve FLAC (Şekil 3.38) bu çözümleri verebilir. FLAC3D'deki plastisise formülasyonunda karışık bir ayırlama tekniği kullanılır ve kaya kütlesi yenilmesinin baskın olduğu yerlerde UDEC ve 3DEC'ten (Şekil 3.39) daha iyi bir çözüm sağlar. Diğer taraftan, FLAC3D'de birden fazla kayma düzlemi içeren problemlerin kurulması daha zor olup, 3DEC'teki benzer problemlere göre daha fazla zaman alır.

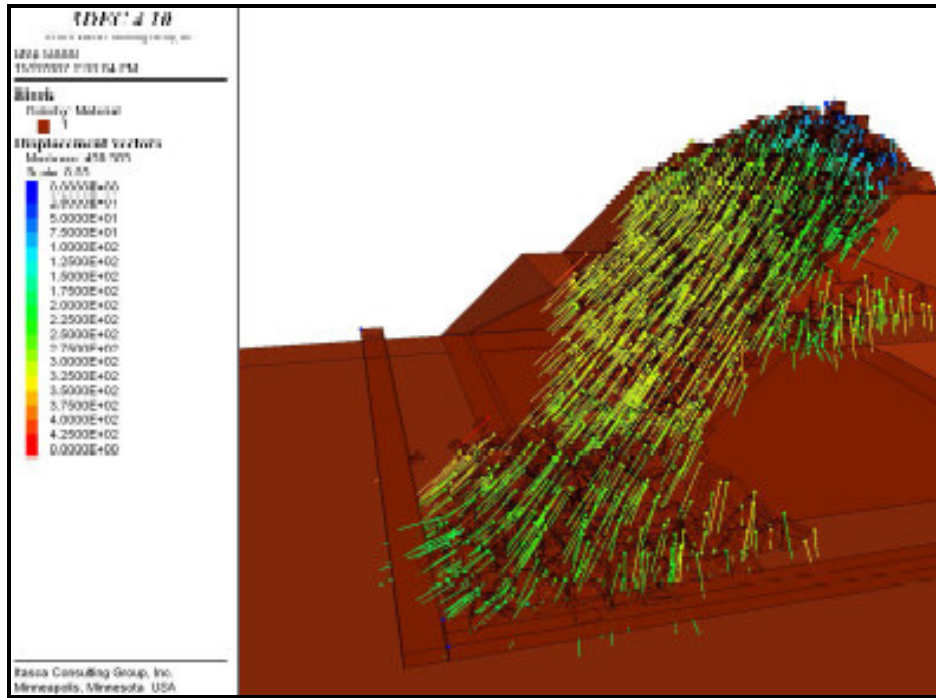


Şekil 3.37. FLAC3D program çıktısına bir örnek.

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN



Şekil 3.38. FLAC program çıktısına bir örnek.



Şekil 3.39. UDEC program çıktısına bir örnek.

3.7.3.4. Devrilme Yenilmesi (Blok ve Fleksürel) Analizi

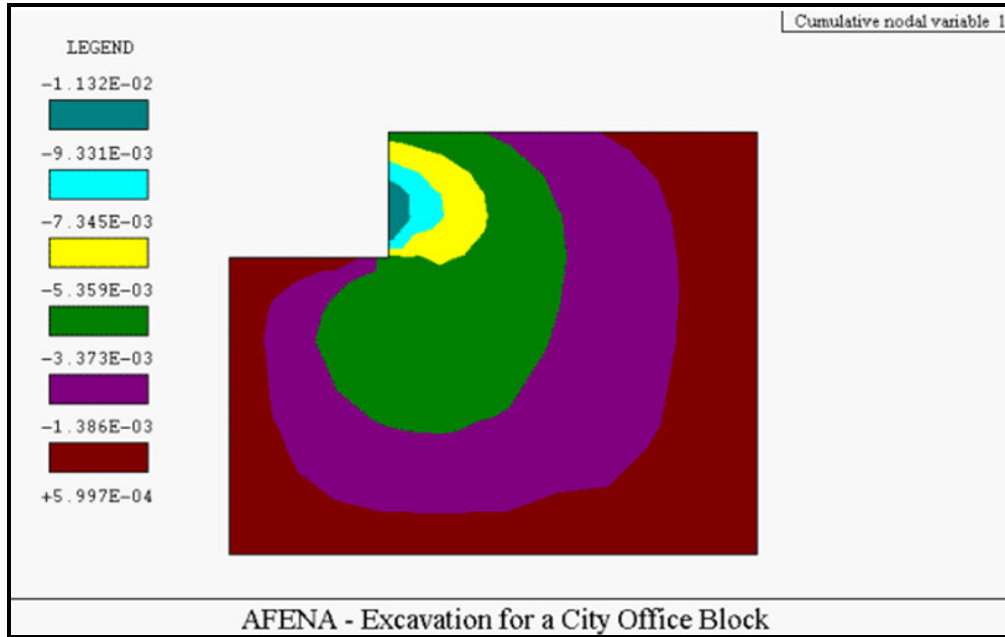
Devrilme yenilmesi biçimi dönmeyi kapsar ve bu nedenle sınır denge yöntemleri kullanılarak çözülmesi zordur. İsimden de anlaşılacağı gibi, blok devrilmesi bireysel blokların serbest dönmesini içerir. Fleksürel devrilme ise, kaya

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

kolonlarının veya levhaların eğilmesini içerir. Blok devrilmesi, şev içine büyük açı ile dalan veda ha az eğimli enine eklemler ile birleşen eklemlerin dar bloklar oluşturduğu yerlerde meydana gelir. Enine eklemler blokların dönmesi için salıverme yüzeyleri sağlarlar. Blok devrilmesinin en çok rastlanılan biçimlerinde, kendi ağırlıkları ile hareket eden bloklar şevden dışarı yönde dönerler. Ancak, eklemler şev yüzüne paralel ve daha az eğimli olan enine eklemler de özellikle zayıf olduğu zaman, geriye veya tersine devrilme de oluşabilir. Hem ileri hem geri devrilme durumunda duraylılık, blokların tabanlarına göre ağırlık merkezinin konumuna bağlıdır.

3.7.3.5. Fleksürel Kemerlenme Yenilmesi Analizi

Kemerlerime yenilmelerinin de, sayısal modellerde tekrar oluşturulması zor bir işlemdir. Çünkü kemerlenmeye dâhil olan yüksek gerilme gradyanlarını temsil etmek için çok sayıda zon gereklidir. Kaya şevlerinde kemerlenmenin sayısal analizi konusundaki en kapsamlı çalışmalardan biri, tescilli sonlu elemanlar programı AFENA (Şekil 3.40) kullanılabilir.



Şekil 3.40. AFENA program çıktısına bir örnek.

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

Bu bölümde anlatılan modellemeleri kullanan bilgisayar programları dışında, şev kayma şekilleri ve depremsellik gibi parametreleri göz önünde bulunduran sayısız program mevcuttur. Bunlardan bazıları; CLARA-W, GSLOPE, GALENA, GEOSLOPE, HEAVE, KBSlope, RESlope, ROCKPACK, SB-SLOPE, STAB, SLOPE, SLOPE/W, STABL, STABLE, SLIDE, TCON, TESS, TNMN, TSLOPE, TINKER, TSLOPE3, TSTAB ve Unit Gradient Method'dur.

3.7.4. Süreksizlik Yönelim ve Eğimi Stereonet Yazılımları

Dips, GEORient, Rockpack, Stat, Stereostat gibi bilgisayar yazılımları, sahada yönelimleri, eğimleri, dolgu özellikleri ve boyutları belirlenmiş, çok fazla sayıdaki süreksizliğin otomatik olarak stereonet üzerine çizdirilmesini, istatistiksel olarak bu süreksizliklerin oluşturduğu takımları ve bunların ortalama yönelim ve eğimlerinin kestirilmesini sağlarlar. Genel olarak, arazide pusula, inklinometre (eğimölçer) ve şerit metre yardımıyla tespit edilen süreksizlik özelliklerinin tek tek yazılımlardaki ilgili arayüz pencerelerine girilmesi, bu tür yazılımlarda giriş kısmını oluşturur. Bu süreksizlik özelliklerinin yazılıma girilmesini takiben yazılım, bu değerleri otomatik olarak stereonet üzerinde işaretler. İsteğe bağlı olarak kontur, kutup ve gül diyagramları şeklinde çıktılar alınabilir. Aynı yönelimdeki süreksizliklerin gruplandırılıp istatistiksel olarak analiz edilmesi sağlanabilir. Gruplandırma sonrası, süreksizlik ya da eklem takımları belirlenip bunların yönelim ve eğimleri tahmin edilebilir.

3.8. Kaya Şevlerinin Stabilizasyonu

Dağlık arazideki kazı çalışmaları çoğu zaman duraylı şevler ve kaya düşmelerinin kontrolünü gerektirir. Bu durum, kazılmış şevler ve doğal yamaçların ikisi için de geçerlidir. Bunun aksine, açık maden ocaklarında madenciler için bir tehlike olmadığı veya önemli üretim kaybına yol açmadığı sürece belirli bir düzeye kadar şev duraysızlığına izin verilebilir. Örnek olarak, kayan kütle bir nakliye yolu üzerine gelip de lastiklerde veya ekipmanlarda bir hasar oluşturmadığı sürece,

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

palyelerdeki küçük yenilmelerin operasyonlar üzerindeki etkisi genellikle azdır. Bir açık maden ocağında büyük ölçekli bir şev yenilmesi durumunda çoğu zaman ekonomik ve uygulanabilir iyileştirme önlemi drenaj olup, bu yöntemde uzun yatay drenler, pompaj kuyuları veya drenaj galerileri kullanılabilir. Büyük ölçekli bir şev duraysızlığında daha yaygın bir idare şekli, kayan şevin alt kısmında madencilik faaliyetleri devam edebilecek şekilde hareketin izlenmesidir.

Bu bölümde başlıca inşaat mühendisliği şevleri üzerinde durulmuştur. Çünkü, yüksek yenilme maliyeti çoğu zaman stabilizasyon programının ekonomik olarak uygulanabilir olduğunu ifade eder. Mesela, karayollarındaki küçük kaya düşmeleri bile araçlara zarar verebilir, yolcuların yaralanmasına (hatta ölümüne) neden olabilir, nakliye araçlarına çarpma halinde zehirli maddelerin saçılmasına yol açabilir. Ayrıca, ulaşım sistemleri üzerinde meydana gelen büyük şev kaymaları genellikle hem doğrudan hem de dolaylı ekonomik kayıplara yol açmak suretiyle trafiği önemli derecede aksatabilir. Demiryolları ve paralı otoyollardaki bir kapanma, doğrudan gelir kaybı demektir.

Çoğu ulaşım sistemleri demiryolları durumunda yüzyıldan daha önce ve karayolları durumunda da onlarca yıl önce inşa edilmişlerdir. Bunların inşa edildiği dönemler itibariyle, inşaatta sıkça kullanılan patlatma, teknikleri kayada önemli hasara neden olmuştur. Ayrıca, inşaattan itibaren geçen zaman içinde kayanın bozuşması yüzeysel blokların su, buz ve ağaç köklerinin büyümesiyle gevşemiş olması, duraylılık koşullarını kötüleştirmiş olabilir. Bu etkilerin hepsi de devam eden bir duraysızlığa neden olabilir, bu durum da iyileştirme programlarının yürürlüğe, konmasını haklı kılar.

Dağlık alanlardaki kentsel gelişimler için, yapıları tehdit (hatta tahrip) edebilen tehlikeler blok yuvarlanmaları ve heyelanlardır. Bu koşullara karşı en etkili koruma, başlangıçta bir tehlike haritalamasının yapılması ve sonra iyileştirmenin yapılamayacağı yerlerde kentsel gelişimi önleyecek şekilde güvensiz bölgelerin zorlanmasıdır.

Kaya düşmelerinin maliyetini azaltmak için, tesisin yerinin değiştirilmesine veya terk edilmesine karşı bir alternatif olarak, çoğu zaman kaya sevi iyileştirme programları uygulanır. Böyle programlar, jeoteknik ve çevre mühendisliği, güvenlik,

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

inşaat yöntemleri ve maliyetleri ile anlaşma prosedürleri gibi çok sayıda birbiriyle ilişkili konuları içerir. Bu prosedürler 1970'lerden beri kapsamlı bir şekilde kullanılmakta olup, bu nedenle geniş bir aralıktaki jeolojik koşullara güvenli uygulanabilirler. Ancak, her bir sahadaki özel koşullar için uygun yöntemlerin kullanılması gerekir.

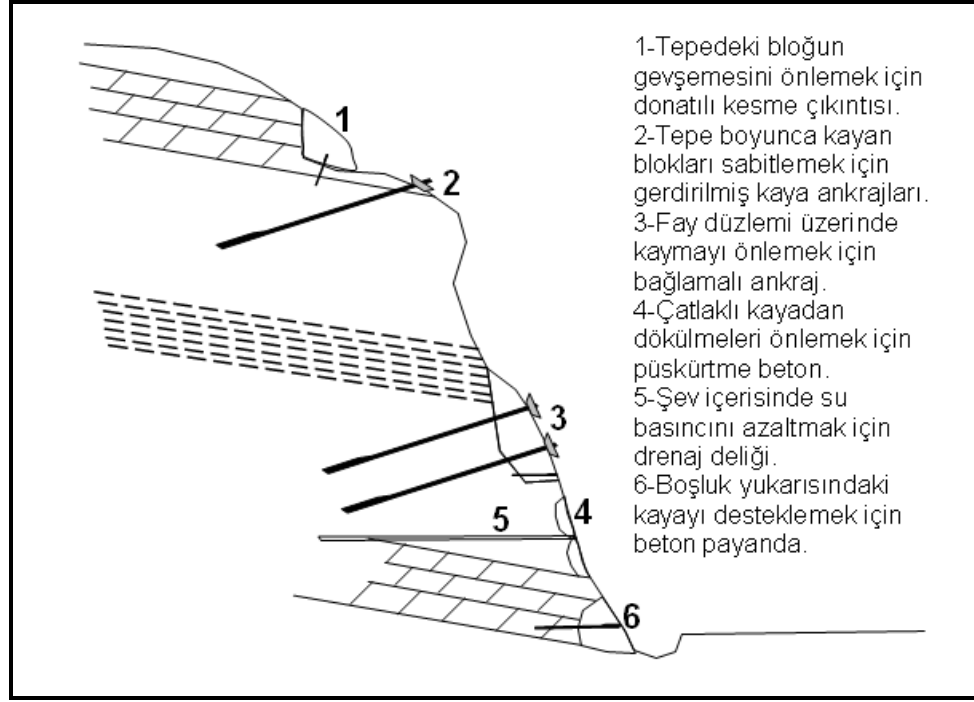
3.8.1. Kaya Düşmelerinin Nedenleri

14 çeşit kaya düşme nedeninden altısı doğrudan su ile yani; yağmur, donma-çözülme, kar erimesi, kanallı sellerime, farklı erozyon ve kaynaklar ile sızmalarla ilişkilidir. Yağış ile ilgili dolaylı bir sebep de, kırıkları açabilen ve yüzeydeki blokları gevşeten, çatlak içlerine sokulmuş ağaç kökleridir. Kış mevsimindeki hava koşulları yağışı, uzun süreli dondurucu soğukları ve güz ile baharda donma-çözülme çevrimlerini kapsar. Kaya düşmelerinin bir diğer ana nedeni de sahadaki belirli jeolojik koşullardır. Bunlar, çatlaklı kaya, elverişsiz düzlemsel kırıklar (şev ile aynı yönde ve şev yüzünü kesen kırıklar) ve zemin çürümesidir. Kaya şev duraylılığını etkileyen en önemli faktörler su ve jeoloji olmakla birlikte, depremler de sık sık kaya düşmelerini tetikler ve heyelanlarda yer değiştirme ve yenilmelere neden olurlar.

3.8.2. Kaya Güçlendirmesi Şeklinde İyileştirme

Şekil 3.41'de bir kaya şevi yüzeyindeki potansiyel olarak gevşek kayaları sağlamlaştırmada kullanılabilen birkaç güçlendirme tekniği görülmektedir. Bu tekniklerin hepsinin ortak yönü, kazıdan kaynaklanabilecek kaya kütlesi gevşeme ve rahatlamasını en aza indirmeleridir. Bir kere rahatlamanın oluşmasına izin verdikten sonra, bloklar arasında kenetlenme kaybı ve kesme dayanımında önemli miktarda azalma meydana gelir. Rahatlama oluştuktan sonra sürecin tersine çevrilmesi mümkün değildir. Bu nedenle, donatı yerleştirmenin en etkin olduğu durum, güçlendirmenin kazıdan önce yapıldığı durum olup, ön-güçlendirme süreci olarak adlandırılır.

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN



Şekil 3.41. Kaya şev güçlendirme yöntemleri (TRB, 1996).

3.8.2.1. Kesme Dişleri

Donatılı kesme dişleri bir metre kalınlığa kadar olan kaya bloklar ile şev tepesindeki gevşek ve bozuşmuş kaya zonları için destek sağlarlar (Şekil 3.40-1). Kesme dişleri, gerekli desteğin blok boyutu ile sınırlı olduğu yerlerde ve çatlaklı zayıf kayanın kopma ve gevşemesini önlemede kullanılır.

Kesme dişleri, duraylı kaya içine delinmiş yaklaşık 500-750 mm derinlikteki delikler içine tüm uzunluğu boyunca çimentolanmış yaklaşık 25-32 mm çaplı ve 1000 mm uzunlukla donatı çeliklerinden oluşur. Delikler, desteklenmesi gereken kayanın topuğuna yakın yerde açılır ve gerekli desteğe bağlı olarak aralarında 500-1000 m açıklık bulunur. Daha sonra 6-8 mm çaplı donatı çubukları yatay olarak yerleştirilir ve düşey çubuklara bağlanır. Son olarak, donatı çeliğinin tamamı püskürtme beton veya kaya ile yakın temas sağlayan dökme beton ile kaplanır. Kesme dişinin sağladığı desteğin çoğu düşey çubukların kesme dayanımından ve kısmen de kaya-beton ara yüzeyinin kohezyonundan ileri gelir.

3.8.2.2. Kaya Ankrajları

Şekil 3.40'ta, 2 ve 3 ile işaretli çizimlerde görüldüğü gibi, kaya ankrajlarının tipik uygulaması, şev yüzeyi ile aynı yönde eğimli ve şev yüzünü kesen süreksizlikler üzerindeki kaya blokları veya kamalarının kaymasını önleme şeklindedir. Kaya ankrajlarının esas işlevinin ankrajın kayma düzlemini kestiği yerde çeliğin kesme dayanımına dayanmaktan ziyade, kayma düzlemleri üzerinde etkiyen normal kuvvet ile kesme kuvvetinin değişkenmesidir. Kaya ankrajı, hem rijit çubuklar hem de demet halindeki esnek kablolar için kullanılabilir. Kaya ankrajlarının tamamı çimento ile tutturulmuş ve gerdirilmemiş olabileceği gibi, kök ucunda sabitlenmiş ve gerdirilmiş de olabilir. Bir kazıda yapılan ön-güçlendirme işlemi, kazıdan önce yarma tepesinde tamamen çimentolanmış fakat gerdirilmemiş ankrajlar kullanılarak yapılabilir. Çimentolanmış bulonlar süreksizlikler üzerindeki hareketi engellemeye yetecek kadar rijit olduğundan, tamamı bağlanmış mini ankrajlar kaya kütlelerinde kenetlenme kaybını önlerler. Ancak, blokların hareket ettiği ve rahatladığı yerlerde daha fazla yer değiştirmeyi ve kenetlenme kaybını önlemek üzere genellikle gerdirilmiş ankrajların yerleştirilmesi gerekir.

3.8.2.3. Reaksiyon Duvarı

Şekil 3.40'ta 3 ile işaretlenmiş durumda, sık çatlaklı kayada kayma tipi yenilme potansiyelinin bulunduğu yerlere bir örnek verilmiştir. Şevin bu kısmını desteklemede gerdirilmiş kaya bulonlarının kullanılması halinde, çatlaklı kaya kötüleşebilir ve reaksiyon levhalarının altından çıkarak sonuçta bulonlardaki germenin kaybolmasına neden olabilir. Böyle durumlarda çatlaklı kaya alanı üzerine donatılı beton duvar inşa edilebilir ve daha sonra duvarın yan kolları üzerinde kaya bulonu için delikler açılabilir. Son olarak ankrajlar yerleştirilir ve duvar yüzünden itibaren gerdirilir. Duvar hem kayanın gevşeyip dökülmesini engeller hem de kaya ankrajları için geniş bir tepki levhası vazifesi görür. Gerekli olduğu yerlerde beton yerine donatılı püskürtme betonu kullanılabilir.

3.8.2.4. Püskürtme Beton

Püskürtme beton, ince agregadan oluşan harcın basınçlı hava ile 50-100 mm'lik katman halinde uygulanması olup, çoğu zaman çekme ve kesme dayanımına karşı güçlendirilir. Sık çatlaklı veya kötüleşebilir kaya zonları ve tabakaları, kaya yüzeyine bir püskürtme beton uygulamak suretiyle korunabilir (Şekil 3.40-4). Püskürtme beton hem küçük kaya blokların düşmesini hem de sonuçta duraysız çıkıntılar oluşturan progresif gevşemeyi kontrol eder. Bununla birlikte, genel şevin kaymasına karşı çok az destek sağlar. Püskürtme betonun esas görevi yüzey korumasıdır. Püskürtme beton yerleştirmenin diğer bir bileşeni de, yüzey gerisinde su basıncı birikmesini önleyecek drenaj delikleridir.

3.8.2.5. Payandalar

Kaya düşmesi veya bozuşmanın şev yüzünde oyuk meydana getirdiği yerlerde, sonraki düşmeleri engellemek üzere oyuk içinde beton payanda inşa edilmesi gerekebilir (Şekil 3.40-6). Payanda, biri zayıf kaya alanlarını tutma ve koruma, diğeri de çıkıntıyı destekleme olmak üzere iki görevi yerine getirir. Payandalar, kayadan gelen itkinin yönü payandayı sıkıştıracak şekilde tasarlanmalıdır. Böyle yapmakla eğilme momentleri ve döndürme kuvvetleri ortadan kaldırılır ve betonda fazla donatıya ya da kayada geri bağlamalı ankrajlara gerek kalmaz.

Payanda kullanımında amaç kayanın rahatlamasını önlemek ise, temiz ve sağlam bir kaya yüzeyine oturtulmalıdır. Bu yüzeyin itki yönü ile dik açı yapmaması durumunda, kaymayı önlemek için, çelik pimler kullanmak suretiyle payandanın tabana ankrajlanması gerekir. Ayrıca, payandanın tepesi çıkıntının alt tarafı ile temasta olacak şekilde döküm yapılmalıdır. Bu ikinci ölçütü sağlamak için, son döküm işleminin kaya yüzeyinden oyuk içine doğru açılan delikten aşağı doğru yapılması ve karışımda büzülmeyi engelleyici bir katkı maddesi kullanımı gerekebilir.

3.8.2.6. Drenaj

Kaya şevlerinde, yeraltı suyu çoğu zaman duraysızlığın başlıca nedenidir veya bu sürece katkıda bulunan bir etmendir. Su basıncındaki azalma genellikle duraylılığı iyileştirmektedir. Su basıncını kontrol etme yöntemleri, yüzeyden sızmayı kısıtlama, yatay dren delikleri açma veya su çıkışını sağlamak için topukta galeri sürme şeklindedir. Saha için en uygun yöntemin seçimi, yağışın şiddeti veya kar erimesi, kayanın geçirgenliği ve şev boyutları gibi faktörlere bağlıdır.

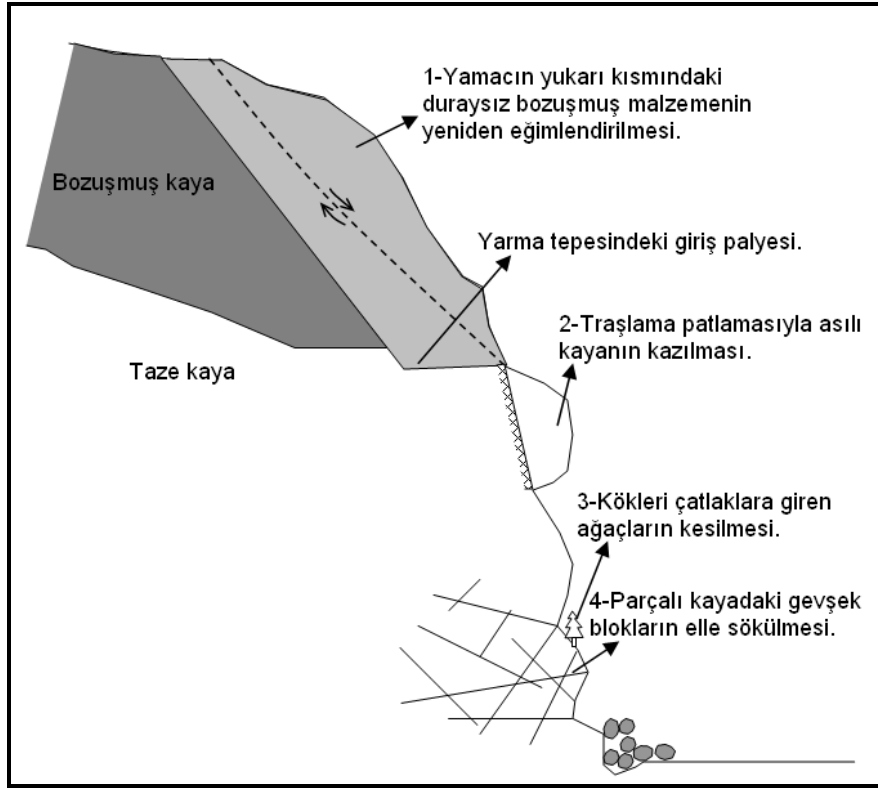
3.8.2.7. Yerinde Patlatma Payandaları

Kayma yüzeyinin devamlı bir tabakalanma yüzeyi gibi iyi tanımlanmış bir jeolojik yapıdan meydana geldiği heyelanlarda stabilizasyon işlemi bu yüzeyi patlatmak suretiyle "yerinde patlatılmış" payanda oluşturulabilir. Patlatma etkisiyle kaya yüzeyi örselenmekte ve pürüzlülüğü etkin bir şekilde arttırılmaktadır ve bu da toplam sürtünme açısını arttırmaktadır. Toplam sürtünme açısının kayma yüzeyi eğiminden büyük olması halinde, kayma durdurulabilir. Kayanın çatlaklanması ve hacimsel genişlemesi de kayma yüzeyindeki su basıncının azalmasına yardımcı olabilir.

3.8.3. Kayayı Hafrederek Yapılan Stabilizasyon

Kaya şevlerin stabilizasyonu, potansiyel olarak duraysız kayayı hafrederek de yapılabilir. Şekil 3.42'de, "duraysız kaya zonlarının yeniden eğimlendirilmesi", "çıkıntıların patlatma ile tıraşlanması" ve "bireysel kaya bloklarının düzlenmesi" de dahil olmak üzere tipik hafriyat yöntemleri verilmiştir.

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN



Şekil 3.42. Şev stabilizasyonu için kaya kazma-hafriyat yöntemleri.

Kayanın hafriyatı genelde tercih edilen bir yöntemdir; çünkü böyle bir çalışma tehlikeyi ortadan kaldırmakta ve gelecekte hiçbir bakıma gerek kalmamaktadır. Ancak, hafriyat işlemi sadece yeni yüzeyin kesinlikle duraylı olacağı ve şevin üst kısmında, alt oyulması riskinin bulunmadığı yerlerde uygulanmalıdır. Şekil 3.41 üzerindeki 4 no'lu alan, hafriyat işleminin dikkatli bir şekilde yapılması gerekli alana bir örnektir. Çatlamanın patlatma ile oluşmuş olması ve sadece sığ bir derinliğe yayılmış olması şartıyla, gevşek kayanın en dış kısmının güvenli bir şekilde hafredilmesi mümkündür. Ancak, kaya kütlesi derinlemesine çatlaklı ise devamlı düzleştirme işlemi kısa zamanda oyulmalara neden olur ve bu işlem de şevin üst kısmının altını oyar. Bir şev yüzündeki gevşek kayanın uzaklaştırılması, şeyl örneğinde olduğu gibi kayanın ileri derecede kötüleşebilir olduğu durumda etkili olmaz. Böyle durumlarda yeni bir yüzeyin ortaya çıkmasıyla yeni bir bozuşma ve duraysızlık başlar. Bu koşullar için daha uygun olan stabilizasyon yöntemleri,

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

yüzeyin püskürtme beton veya kaya bulonları ile ya da geri bağlamalı bir duvar ile korunmasıdır.

3.8.3.1. Yeniden Eğimlendirme ve Yük Boşaltma

Bir yarmanın üst kısmında örtü malzemesi ya da bozuşmuş kaya bulunması halinde, bu malzeme çoğu zaman alttaki daha sağlam kayadan daha düşük bir eğim açısında şevlendirilir (Şekil 3.42-1). Yeniden şevlendirme ve yük boşaltma tasarım prosedürü duraysız şevin geriye analizi ile başlar. Duraysız şevin emniyet katsayısını 1,0'e eşitlemek suretiyle kaya kütlesi dayanım parametrelerini hesaplamak mümkündür. Bu bilgi daha sonra arzu edilen emniyet katsayısını elde etmek için gerekli azaltılmış şev eğimi ve/veya yüksekliğini hesaplamada kullanılır.

Tasarım sırasında dikkate alınması gerekli bir diğer koşul, inşaattan yıllar sonra kayanın bozuşmasıdır ki, belirli bir süre sonra yeniden şevlendirme işlemi o kadar kolay olmayabilir. Küçük şev yenilmelerini tutmak ve ekipmanlara giriş sağlamak için, zeminin veya bozuşmuş kayanın topuğunda bir palye oluşturulabilir. Bir kaymanın geliştiği yerde yüksekliği azaltmak ve kaydına kuvvetleri küçültmek için yarmanın tepesinden yük boşaltması yapılabilir.

Yeniden şevlendirme ve yük boşaltma işlemleri genellikle kepçeler veya buldozerler gibi kazıcı makinelerle yapılır. Sonuç olarak, ekipmanın çalışması sırasında şevdeki zayıf malzemede göçme olmayacak şekilde uygun kazı ekipmanlarını barındırabilecek yarma genişliği tasarlanmalıdır. Bu genişlik genellikle en az 5 m civarındadır.

3.8.3.2. Traşlama

Bir kaya şevinin yenilmesi veya bozuşması şev yüzünde bir çıkıntı oluşmasına neden olabilir (Şekil 3.42-2). Bu çıkıntının yenilmesi halinde bir tehlike söz konusu olabilir. Böyle durumlarda çıkıntının patlatma ile uzaklaştırılması en uygun stabilizasyon önlemi olabilir.

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

Traşlama patlatması üzerindeki örtünün ince olması durumunda, patlayıcı enerjisini karşılayacak kaya az miktarda olduğundan, kaya fırlamaları uzak mesafelerde etkili olabilir. Böyle durumlarda yakında bulunan binaları ve enerji nakil hatlarını korumak için, patlatma örtüleri gibi uygun önlemlerin alınması gerekir. Patlatma örtüleri birbirine zincirlenmiş veya telle bağlanmış araba lastikleri veya taşıma bantlarından oluşabilir.

3.8.3.3. Rötuşlama

Rötuşlama, bir şevin yüzündeki gevşek kaya, toprak veya bitkilerin küskü, kürek veya motorlu testere ile uzaklaştırılmasını tanımlar (Şekil 3.42-3). Çok eğimli şev veya yamaçlarda işçiler genellikle şev tepesine bağlı halatlarla desteklenirler. Bu koşullar için uygun bir halat, kesme ve aşınmalara karşı çok dayanıklı olan çelik çekirdekli kendiriden yapılandır. Rötuş işçileri yukarıda gevşek kaya bulunmaması için çalışmaya şev yukarısından başlarlar.

Rötuşlama işçilerinin sahaya erişiminde halat kullanımına alternatif, bir vinçten sarkıtılan platform üstünde çalışmaktır. Şevin tepesine başka bir erişim yoksa vinç şev topuğunda konuşlandırılır. Halat yerine vinç kullanmanın dezavantajları, vincin maliyeti ve vincin yolun iki-üç şeridini kaplayan ve sonuçta trafik akışını zaman zaman bozan terazileme ayaklarıdır. Ayrıca, bir vinçten sarkıtılan platform, yukarıdan bir kaya düşmesi halinde rötuş işçileri vinç operatörünü çabucak hareket etme konusunda yönlendiremedikleri için, halat kullanımına kıyasla daha az güvenli olabilir.

Çok yağışlı bölgelerde rötuşlama işleminin önemli bir bileşeni de, şev yüzeyinde ve şev tepesinin birkaç metre gerisinde büyüyen ağaç ve bitkilerin temizlenmesidir. Kaya yüzeyindeki çatlaklar içinde büyüyen ağaç kökleri çatlakları açılmaya zorlayabilir ve sonuçta kaya düşmelerine neden olur. Ayrıca, ağaçların rüzgâr ile hareketi, köklerin gevşek kayalar üzerinde manivela etkisine neden olur. Yüzeydeki kayaların ağaç kökleriyle genel anlamdaki gevşetmesi ayrıca suyun süzülme oranını da arttırır ki, orta iklimlerde donma ve çözülme, olayları çatlakların daha da açılmasını sağlar.

3.8.3.4. Kaya Hafriyatı İşlemleri

Aktif karayolu ve demiryolu yukarısında kaya hafriyatı işlemlerinin yapıldığı yerlerde veya kent alanlarında, düşen kayadan dolayı yaralanma veya hasarı önlemek için özel bir dikkat gösterilmelidir. Bunun için genellikle kaya hafriyatı devam ederken ve şev güvenli olana kadar ve yol üzeri molozdan temizleninceye kadar trafik durdurulur. Topukta boru hattı veya kabloların gömülü olduğu yerlerde bunların korunması gerekebilir. Ayrıca, yol kaplamasını veya demiryolu raylarını kaya düşmelerine karşı korumak da gerekebilir. Bunun için 1,5-2 m kalınlığında kum örtü serilmesi genellikle yeterlidir. Özellikle hassas olan yapılarda kauçuk patlatma örtüleri ile ilave koruma sağlanabilir.

3.8.4. Kaya Düşmelerine Karşı Koruma Önlemleri

Kaya düşmesi tehlikesini asgariye indirmenin etkili bir yöntemi, kaya düşmelerine izin verilmesi ve bunların hareket ettiği mesafe ve yönün kontrol edilmesidir. Kaya düşmesini kontrol etme ve şev topuğundaki tesisleri koruma yöntemleri; yakalama hendekleri ve bariyerlerini, tel örgülü çitleri, şev yüzüne serilmiş ağları ve kaya sundurmalarını kapsar. Bu yöntemlerin hepsinin ortak yönü, kaya düşmesinin ya belirli bir mesafede durdurulduğu ya da korunan tesisten saptırıldığı enerji soğurma özellikleridir. Birkaç yüz metre yükseklikten düşen ve 1 MJ kadar enerji ile çarpan yaklaşık 2 m'ye kadar boyuttaki kayaların uygun teknikler kullanılarak kontrol edilmesi mümkündür. Donatılı beton duvarlar gibi rijit yapılar veya sabit desteklere sıkıca bağlanmış çitler kaya düşmelerini durdurmada çoğu zaman elverişli değildir.

3.8.4.1. Hendekler

Şev topuklarındaki yakalama hendekleri, şev tabanında yeterli alan bulunması şartıyla, kaya düşmelerini durdurmada çoğu zaman ekonomik bir önlem türüdür. Gerekli hendeğin derinlik ve genişlik şeklinde tanımlanan boyutları, şev yüksekliği

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

ve şev açısı ile ilişkilidir. Yaklaşık 75°'den daha fazla eğimli şevlerde kayalar yüzeye yakın kalma eğiliminde olup, topuğun yakınında bir yerde dururlar. 55° ile 75° arasındaki yamaç açılarında, düşen kayalar zıplama ve dönme eğiliminde olup, sonuç olarak tabandan bir hayli uzakta dururlar. Bu nedenle, geniş bir hendek gereklidir. 40° ile 55° arasındaki yamaç açılarında kayalar yamaç üzerinde yuvarlanarak hendek içine düşme eğilimi gösterirler.

3.8.4.2. Bariyerler

Gerek kazılmış hendeklerin performansını arttırmak ve gerekse şevlerin tabanında yakalama zonları oluşturmak için, değişik şekilde bariyerlerin inşa edilmesi mümkündür. Bariyerin arzu edilen çeşidi ve boyutları, düşen kayaların enerjisine, şev boyutlarına ve inşaat malzemelerinin bulunmasına bağlıdır. Tüm bariyerler için gerekli bir şart, çarpmaya karşı esnekliktir. Bariyerler enerjiyi deforme olma şeklinde soğurmaktadır. Çarpma enerji kapasitesi yüksek olan sistemler hem esnektirler hem de keskin kayaların çarpmasını önemli derecede hasar görmeden karşılayabilecek malzemeden yapılırlar.

3.8.4.3. Kaya Tutma Çitleri ve Sönümleyiciler

Çok eğimli kaya yüzeylerinde, hendeklerde ve moloz kayma yollarında yerleştirilmeye uygun değişik çitler ve ağlar geliştirilmiştir. Ağlar ayrıca, açık maden ocaklarındaki kaya düşmelerini kontrol etmede de kullanılmaktadır. Belirli bir saha için uygun bir tasarım, topoğrafyaya, beklenen çarpma yüklerine, zıplama yüksekliğine ve malzemelerin yerel olarak bulunabilirliğine bağlıdır. Bu tasarımların hepsinin ortak yönü, rijit bileşen içermeden inşa edilmiş olmalarından dolayı, kaya düşmelerinden gelen çarpma enerjilerine karşı durabilmeleridir. Bir kaya bir ağa çarptığı zaman, ağda deformasyon meydana gelir ve daha sonra çarpışmayı izleyen süre içinde, ağın enerji soğurma bileşenleri devreye girer. Bu deformasyon bu bileşenlerin yuvarlanan kayayı durdurma kapasitesini bir hayli artırır ve inşaatta hafif, düşük maliyetli elemanların kullanımına olanak verir.

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

3.8.4.4. Perdeli Ağ

Bir kaya şevinin yüzeyine asılan tel ağ yüzeye yakın kaya düşmelerinin yol üzerine sıçramasını engellemede etkin bir yöntem olarak kullanılabilir. Düşen kayanın enerjisinin bir kısmı ağ tarafından soğurulduğu için, şev tabanındaki hendeğin boyutları önemli ölçüde azalır. Zincirleme bağlı ağlar yaklaşık 0,6-1 m'den küçük boyutlu kaya düşmelerini kontrol etmede uygun bir yöntem iken, yaklaşık 1,3 m'lik boyutlara kadar olan kaya düşmeleri için örgülü tel ipler veya halkalı ağlar daha uygundur. Ağın kendi ağırlığı altında yenilebildiği yüksek bir yamacı örtmek üzere yapılan uygulamalarda ağın tel halatlarla güçlendirilmesi mümkündür. Bloklar ağa çarptığı zaman momentumlarının küçük olabilmesi için, ağların üst kısımlarının tüm durumlarda kaya düşme kaynağına yakın yerleştirilmesi gerekir.

Ağ şevin tabanında veya yamaç üzerinde ara yerlerde ankrajlanmaz. Serbest şekilde asılı ağ, düşen kayaları biriktirme yerine kayaların kendi yolunu izleyerek hendeğe ulaşmasına olanak verir, bu tür birikmeler ağın yırtılmasına neden olabilir.

3.8.4.5. Uyarı Çitleri

Demiryollarını ve bazen de karayollarını, düşen kayalardan korumak amacıyla çoğu zaman düşen kaya ile tetiklenen çitler veya uyarı sinyalleri kullanılmaktadır. Uyarı çiti bir dizi kazık ile birlikte yaklaşık 0,5 m aralıklarla yerleştirilmiş bir sıra teli desteleyen konsollu kollardan oluşur. Bir sinyal sistemine bağlı olan bu tellerden biri koptuğu zaman, bu kaya şevinden trafiğin durması için yeterince uzaklıkta bulunan sinyal ışığı yanar. Trafik daha sonra kaya düşme noktasına doğru tedbirli bir şekilde ilerler. Uyarı sistemleri kaya düşme çitlerine de uyarlanabilir. Bu şekilde, çitin enerji kapasitesini aşan büyük bir kaya düşmesi durumunda ikinci düzey bir koruma sağlanmış olur.

Uyarı çitlerinin ulaşım sistemlerinde en verimli olduğu yerler, trafiğin hattaki ara sıra kapanmaları karşılayabilecek kadar seyrek akışlı olduğu kesimlerdir. Ancak, uyarı çitlerini bir koruyucu önem olarak kullanmanın bazı dezavantajları vardır. Sinyal ışıkları şevden yeteri kadar uzakta bulunmalıdır. Düşmeler, vasıtaların ışığı

3. ŞEV DURAYLILIĞI (STABİLİTESİ) ve ANALİZ YÖNTEMLERİ Mustafa Özgür KESKİN

geçmesinden sonra meydana gelebilir. Ayrıca, küçük kaya ve buz düşmeleri da alarm sistemlerini harekete geçirebilir ve bakım maliyetleri çok yüksek olabilir.

3.8.4.6. Kaya Sundurmaları ve Tüneller

Kaya düşme tehlikesinin çok yüksek ve yamaç stabilizasyon maliyetinin çok yüksek olduğu yerlerde bir kaya sundurması inşası ya da karayolunun tünel içine alınması için yeterli sebepler bulunabilir. Kaya düşme yollarının çok eğimli olduğu yerlerde sundurmanın tepesi hafif eğimli ve çakıl gibi bir enerji soğurucu katman ile kaplıdır. Sundurmalar, tavan kenarında en kötü çarpma yüküne göre tasarlanmış, donatılı beton veya çelikten yapılırlar. Tasarımda ayrıca çoğu zaman dik şevlerin tepesine yerleştirilen dış kolonların temelinin çarpma yüklemesi altındaki duraylılığı da dikkate alınmalıdır.

Sundurma tasarımının kritik bir özelliği, yastık malzemesinin ağırlığı ve enerji soğurma özellikleridir. İdealde, bir yastık enerjiyi sıkışma yoluyla soğurmalı ve yapıya aktarılan enerji geniş bir alanda oluşacak şekilde nokta çarpma enerjisini dağıtılmalıdır. Ayrıca, yerine daha sonra yenisi konulmayacak olan yastık malzemesi çarpmadan sonra sağlam kalmalıdır.

Kaya sundurma inşasının ya da şevi diğer yöntemlerle stabilize etmenin pratik olmadığı yerlerde tehlike zonunun etrafını dolaşmak için bir tünel inşa etmekte gerekebilir.

4. ÇALIŞMA ALANLARI HAKKINDA BİLGİLER

Kuvarsit, genel olarak kuvars kumu tanelerinin, silisten meydana gelmiş bir çimento ile birbirlerine çok sağlam şekilde bağlanmalarıyla oluşmuş bir kayaç olup, sedimanter ve metamorfik olmak üzere 2 çeşidi mevcuttur. Kuvarsitin kimyasal bileşimi, kuvars, kumtaşı (kuvarslı gre) ve kuvars kumu gibi SiO_2 olup, ancak kuvarsit içerisinde çeşitli miktarlarda feldspat, mika, kil, manyetit, hematit, granat, rutil, kireçtaşı v.b. bulunabilir. Bileşiminde % 95'den fazla SiO_2 bulunan kuvarsitlere "Ortokuvarsit" denilmekte olup, sanayide genellikle ortokuvarsitler kullanılmaktadır. Kuvarsit direnci çok, sağlam ve aşındırıcı kayaçtır. Bu nedenle istihracı ve öğütülmesi oldukça güç ve pahalıdır. Bu sebeple de kuvarsit üretimi, aynı kimyasal bileşimde bulunan kuvars kumu ve kumtaşından (kuvarslı gre), ayrıca daha saf olan kuvarstan, sonra tercih edilmektedir. Kuvarsitler SiO_2 içeriği yüksek ve demir içeriği % 0,4'den az olması durumunda cam ve seramik sanayiinde kullanılabilir. Ayrıca refrakter (silika tuğla), metalürji (demir ve ferrokrom), inşaat (hafif gazbeton yapı elemanları üretimi) sanayiinde de çeşitli amaçlarla kuvarsit kullanılmaktadır. Kuvarsit, kuvars, kuvars kumu ve kuvarslı grenin kullanıldığı tüm alanlarda kullanılabilir. Başlıca tüketim alanları, cam, seramik, boya, deterjan, dolgu, hafif gazbeton yapı elemanları (Ytong), silika tuğla ve ferro-silisyum üretiminde, hammadde olarak, ayrıca ferro-kromun ara ürünü olan silika ferro-krom üretiminde ve demir çelik sanayiinde yüksek fırınlarda asit-baz dengesinin sağlanmasında tüketilmektedir.

Dünyada sektörde faaliyet gösteren başlıca uluslararası organizasyonlar Arjantin, Avusturya, Belçika, Macaristan, Güney Afrika Cumhuriyeti, İspanya ve Norveç gibi ülkelerde bulunmakta olup, bunlar kuvarsitle birlikte kuvars ve kuvars kumu ithalat ve ihracatıyla uğraşmaktadır. Dünya kuvarsit rezervleri konusunda kesin bir bilgi mevcut olmamakla birlikte genellikle tüm ülkelerde geniş kuvarsit rezervleri bulunmaktadır. Kuvarsit tüm dünyada açık işletme yöntemiyle ve iş makinalarıyla üretilmekte olup, delme-patlama sonrası kırma ve öğütme işlemlerinden geçirilerek kullanılmaya hazır hale getirilmektedir.

Kuvarsit kullanılacağı sektöre göre, aşağıda belirtilen şekillerde, ayrı ayrı

standartlarda işlenmektedir.

- Cam Sanayii: SiO₂ miktarı en az % 96, Fe miktarı % 0,4'den daha az.
- Gazbeton (Ytong) üretimi: SiO₂ miktarı en az % 90, Fe miktarı en çok % 2.
- Demir Çelik Sanayii: SiO₂ miktarı en çok % 95.
- Ferro Krom üretimi: SiO₂ miktarı en az % 96 olmalıdır.

Ayrıca kuvarsit parça büyüklüğü de kullanılacağı yere göre değişmektedir. Dünyada kuvarsit üretiminde öne geçmiş ülkeler ve kuruluşlarla ilgili bilgi bulunamamıştır. Dünya kuvarsit ticaretindeki etkin uluslararası kuruluşlar başlıca Belçika ve İspanya'dadır. Dünya ithalat-ihracat istatistikî yayınlarında, kuvarsit, kuvars, kuvars kumu ve kuvarslı gre tek kalemde belirtilir. Dünya kuvarsit fiyatı kuvarsitin bileşimine, öğütme sonrası tane iriliğine göre değişmekte olup, Batı Avrupa pazarında 8-10 Sterlin/ton FOB civarında olmuştur. Kuvarsit üretiminde önemli bir çevre sorunu doğmamaktadır. Ancak özellikle öğütme sırasında ortalama serbest kuvars kristalleri çıkması nedeniyle silikoz tehlikesine karşı ıslak öğütme yapılmalıdır.

Türkiye'deki kuvarsitler uluslararası kuvarsit niteliğine uygun sedimanter ve metamorfik kayalar halinde bulunmaktadır. Türkiye'de MTA Genel Müdürlüğü'nce tespit edilen kuvarsit rezervi 6.372.235.000 tondur. Bu rezervin dağılımı ise Çizelge 4.1'de gösterildiği gibidir.

Çizelge 4.1. Türkiye kuvarsit rezervleri dağılımı.

Bölge	Rezerv (×1000 ton)
Antalya (Gazipaşa, Kalekaldıran, Meler)	3,750 (Muhtemel)
Zonguldak (Alaplı, Şapçaköy)	755,000 (Görünür+Muhtemel)
Kastamonu (Daday)	301,000 (Mümkün)
İstanbul (Beykoz)	60 (Mümkün)
Adana (Feke, Saimbeyli, Horzum)	1,220,000 (Görünür+Muhtemel)
Yozgat (Çomakdağı)	4,016,925 (Görünür+Muhtemel)
Denzili (Şirinköy)	72,500 (Görünür+Muhtemel)

Türkiye'de MTA tarafından tespit edilen kuvarsit rezervlerin dışında çeşitli kuruluş ve kişilerce maden ruhsatı alınmış (3 adet arama, 9 adet önışletme, 44 adet

işletme) toplam 56 kuvarsit sahası bulunduğu tespit edilmiştir.

Kuvarsit; cam, seramik, refrakter (silika tuğla), boya, deterjan, hafif gazbeton yapı elemanı (Ytong), ferro-silisyum, ferro-krom üretiminde ve demir çelik sanayinde kullanılmaktadır.

Kuvarsit tüm Camış Madencilik'e ait tüm sahalarda, açık ocak işletmesi olarak patlayıcı madde ve iş makinaları kullanılarak üretilmektedir. Üretilen kuvarsit daha sonra kırma ya da kırma+öğütme işlemlerinden geçirilmektedir. Kuvarsit kullanılacağı sektörler'e göre ayrı ayrı standartlarda istenmektedir.

Türkiye'deki kuvarsit üretimi yapan önemli kuruluşların hepsi ürettikleri kuvarsiti kendi fabrikalarında tüketmektedirler. Bunlar: Anadolu Cam Sanayi A.Ş., Türk Ytong Sanayi A.Ş., İskenderun Demir Çelik Fabrikası Müessesesi, Etibank Antalya Elektrometallurji San. İşl. Müessesesi, Karabük Demir Çelik Fabrikası Müessesesi ve sektördeki diğer üreticilerden bazıları ise; Ak-İş Maden ve Tic.Ltd.Şti. (Aydın), Özmaden Maden ve Tic.Ltd.Şti (Çanakkale)'dir.

Daha önce belirtildiği üzere, kuvarsit üretimi yapan önemli kuruluşların hepsi ürettikleri kuvarsiti kendi fabrikalarında hammadde ya da girdi olarak kullanılmaktadırlar. Bu nedenle kuvarsit üretim miktarları mamul madde üretim miktarına göre değişmekte olup, esasen Türkiye'deki kuruluşların kuvarsit üretim kapasiteleri üretilen kuvarsite nazaran çok daha yüksektir.

Türkiye'nin 1988-1992 yıllarıyla 1993 yılı ilk 6 ayına ait kuvarsit üretimi (Tüvenan ve ayıklanmış olarak) D.İ.E. istatistiklerine göre, kamu, özel ve toplam olarak Çizelge 4.2'de belirtilmiştir. 2005 verilerine göre ise yıllık kuvarsit üretim miktarı 3.250.000 tonun üzerindedir.

Kuvarsit üretimi için gerekli girdiler; patlayıcı madde, basınçlı hava, elektrik enerjisi, motorin ve insan gücüdür. Ülkemizde kuvarsit ihracatında gümrük vergisi alınmamakta, ayrıca kuvarsit ihracatı çeşitli oranlarda teşvik edilmektedir. Kuvarsit ithalatında ise AT ve EFTA ülkeleri için % 3,5 diğer ülkeler için ise % 7 gümrük vergisi ile ithalatın CIF bedelinin % 19'u oranında Toplu Konut Fonu bedeli alınmaktadır. D.İ.E. verilerinde 1989-1992 yılları arasında kuvarsit ihracat ve ithalatı bulunmamaktadır. Ancak İstanbul Maden ve Metal İhracatçıları Birliği Genel Sekreterliği'nden alınan bilgilere göre 1992 yılı içerisinde 18.322,65 ton kuvarsit

ihraç edilerek 573.466,97 Amerikan Doları, 1993 yılı ilk 9 ayı içerisinde de 1.396 ton kuvarsit ihracatı gerçekleştirilerek 124.049,72 Amerikan Doları kazanılmıştır. Yurdumuzdan ihraç edilen kuvarsit 1992 yılında 31,3 \$/ton, 1993 yılında da 88,86 \$/ton bedellerle satılmıştır. Türkiye'nin kuvarsit ithalatı yoktur. İhracatı ise çok önemsiz miktarlardadır. Yine D.İ.E. verilerine göre 1990 yılında kuvarsit üretimi yapan 5'i Devlet 17'si Özel sektör olmak üzere toplam 22 işyeri mevcuttur.

Çizelge 4.2. 1988-93 yılları arası Türkiye kuvarsit üretimi

Yıllar	Kamu		Özel Sektör		Toplam (Tüvenan)	Toplam (Ayıkl.)
	Tüvenan	Ayıkl.	Tüvenan	Ayıkl.		
1988	142,805	23,030	742,254	203,969	885,059	226,999
1989	48,425	21,883	523,555	227,095	571,980	248,978
1990	112,371	27,004	887,309	257,110	999,680	284,114
1991	115,169	-	1,025,405	-	1,140,574	-
1992	111,201	-	1,146,124	-	1,257,325	-
1993 (6 ay)	33,120	-	290,543	-	323,663	-
1999	Toplam üretim miktarı 2,549,000 ton.					
2000	Toplam üretim miktarı 3,505,000 ton.					
2001	Toplam üretim miktarı 1,696,000 ton.					
2002	Toplam üretim miktarı 2,007,000 ton.					
2003	Toplam üretim miktarı 2,909,000 ton.					
2004	Toplam üretim miktarı 2,962,000 ton.					
2005	Toplam üretim miktarı 3,250,000 ton.					

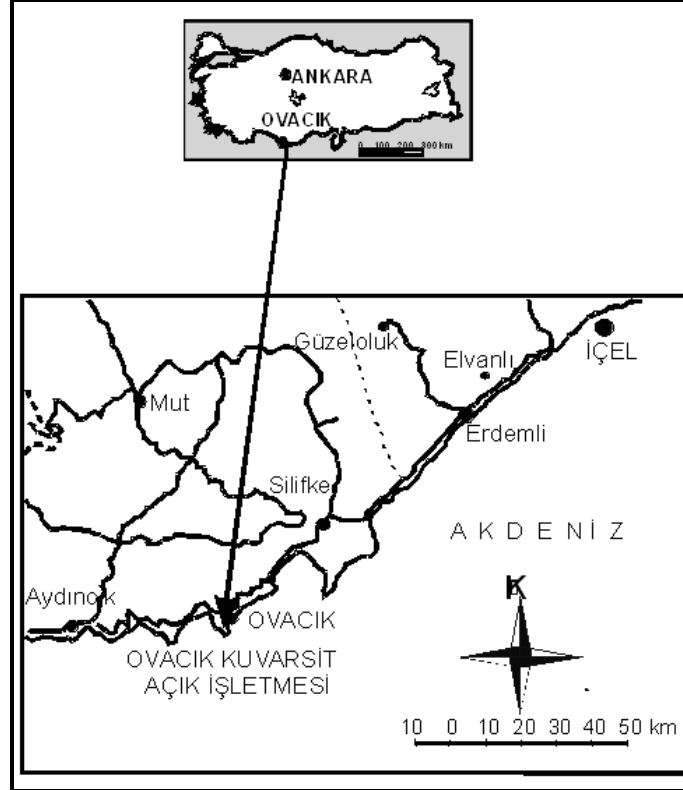
Kuvarsit dünyanın hemen hemen her ülkesinde bulunabilmektedir. Uluslar arası kuvarsit ticareti önemli boyutlarda değildir. Türkiye ihtiyaç duyduğu kuvarsiti kendisi üretmektedir.

Şişecam grubunun madencilik faaliyetleri, ülkemizde Cam Sanayinin kuruluşu ile birlikte, 1932 yılında başlamıştır. İlk silis kumu üretimi o zaman Podima adıyla bilinen İstanbul'a bağlı Yalıköy'de yapılmıştır. Uzun yıllar Şişecam bünyesinde stratejik bir faaliyet olarak sürdürülen madencilik faaliyetleri 1988 yılında Camiş Madencilik A.Ş. çatısı altında toplanmıştır. Ülkemizde Cam Sanayinin büyümesi ve gelişmesine paralel olarak Şişecam Topluluğu'nun endüstriyel hammadde ihtiyacı da artmıştır. Camiş Madencilik A.Ş. artan hammadde talebinin karşılanması amacıyla yurtiçinde gerçekleştirdiği madencilik yatırımları yanında üretim faaliyetlerini 1999 yılında Mısır'da kurmuş olduğu Camiş Egypt Mining Co.

ile yurtdışına taşımıştır. Şişecam maden ürün grubu şirketleri yurtiçi ve yurtdışında 60'ye yakın maden sahası ve 19 maden işleme ve zenginleştirme tesisinde 600'den fazla personeli ile üretim faaliyetlerini sürdürmektedir. Faaliyete geçtiği 1988 yılından bu yana yıllık satışlarını 4'e katlayarak 2,76 milyon ton seviyesine çıkarmıştır. Şişecam Topluluğu yıllık 5,8 milyon ton'luk üretimi ile ülkemiz endüstriyel hammadde üretiminin yaklaşık %10'unu gerçekleştirmektedir.

4.1. Ovacık-Kargıcak Kuvars kumtaşı Ocağı

Ovacık kuvars kumtaşı ocağı, Mersin-Antalya karayolunun 125. km'sinde yer almaktadır (Şekil 4.1). Ovacık ocak sahası civarında Hacıshaklı, Akdere, Işıklı, Yapal ve Harmanlı köyleri bulunmaktadır. Sahada yer alan Kızlar Sivrisi Tepe (588 m), Boynu Eğri Tepe (566 m), Köprü Yakası Tepe (556 m) ve Tuzludede Tepe (242 m), Ada Dağı civarındaki başlıca yükseltileridir.



Şekil 4.1. Ovacık-Kargıcak kuvars kumtaşı ocağı yerbulduru haritası.

Ovacık kuvars kumtaşı ocağı (Şekil 4.2), stratigrafik kesitlerinde tabanda kuvars kumtaşı, silttaşı, şeyl bulunur. Kireçtaşı ardalanması üzerine çökelmiş, kuvarsitik kumtaşları, orta-ince kum, az yuvarlak, köşeli, küt köşeli, orta iyi boylanmış ve tane irileşmesi tavana doğru olan, orta kalın-kalın tabakalı olarak bulunmaktadır (Akarsu ve Ateş, 1992). Sahada ekonomik rezerv oluşturacak kuvarsit yatağının uzunluğu 370 m civarında olup, ortalama kalınlık 45 m civarındadır. Ekonomik olarak işletilebilir derinlik ise 40 m'dir. Toplam rezerv 17.285.000 ton olup, muhtemel rezerv 56.250.000 tondur. Yıllık üretim miktarı 2003 yılı verilerine göre 450.000 tondur.

İşletmede üretim delme-patlatma yöntemi ile yapılmaktadır. Patlatmalarda delik çapı 8 cm, delik derinliği 12 m delikler arası mesafe ortalama 2.5 m olarak seçilmektedir. Ocakta basamak yüksekliği 12 m ve genişlikleri 10-12 m olarak korunmaya çalışılmaktadır. Basamak (Şekil 4.3) şev açıları 70°, ocak genel eğim açısı 37°'dir. Eğer kademeyi oluşturan tabaka eğimleri şev yönünde ise 70°'lik şev açısı 45°'ye kadar düşürülebilmektedir. İşletmenin şu an ki nihai derinliği 194 metre olup, işletme sonundaki nihai derinliği 303 metre ve nihai şev açısının ise 38° olması planlanmaktadır.



Şekil 4.2. Ovacık kuvars kumtaşı ocağı genel görünümü.



Şekil 4.3. Ovacık kuvarsit işletmesi basamakları genel görünümü.

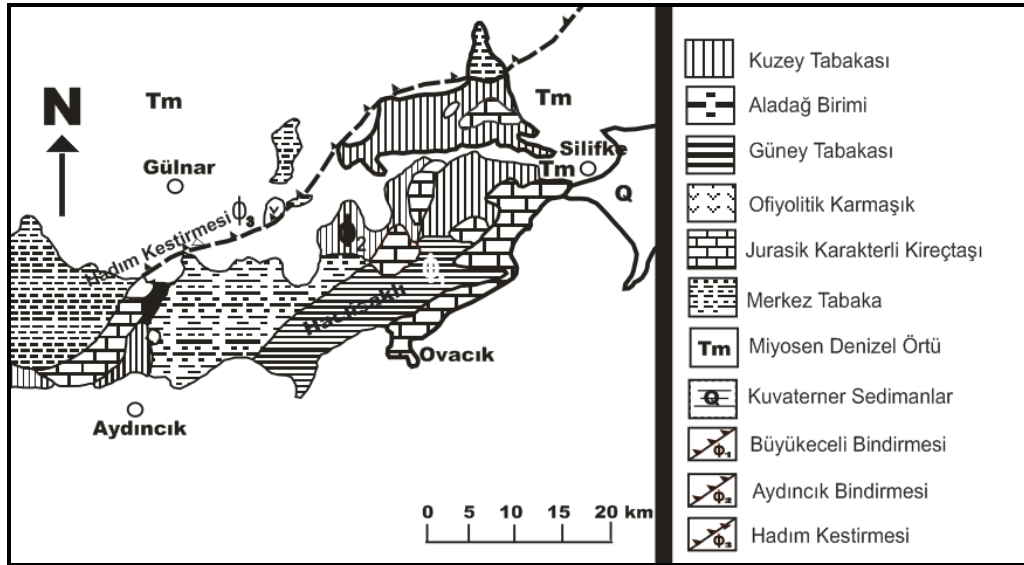
4.2.1. Genel Jeoloji

Ovacık kuvars kumtaşı yatakları Orta Toros kuşağında yer alır. Yapılan jeolojik çalışmalarda sedimanter olarak oluşan yatakların Kambriyen-Tersiyer aralığında çökelindiği, Permian'deki aşırı hareketliliklerden de önemli ölçüde etkilendiği, Eosen'deki sıkışmalarla da son şeklini aldığı belirtilmektedir (ACS, 1991). Çalışmanın gerçekleştirildiği Silifke Hacıışaklı yöresinde yer alan sedimanter kuvarsit cevherleşmesinin jeolojisi Şekil 4.4'te verilmiştir.

Alan, güney bölge içerisinde yer alan Sığircık formasyonunda bulunmaktadır (Demirtaşlı, 1987). Sığircık formasyonu adı, güney ve kuzey bölgedeki Alt Devoniyen yaşlı kumtaşları ile ardalanmalı kireçtaşları için kullanılmıştır. Yapılan incelemelerde kuvarsitlerin beyazdan sarımsı renge kadar değiştiği tespit edilmiş, yerel olarak da kiremit renkli çapraz tabaka ve dalga izleri gözlenmiştir. Güney bölge Silifke ile Ovacık arasında sahil boyunca uzanan ve diğerlerine göre otokton konumlu olan bir bölgedir. Bu bölgede Kambriyen'den Miyosen'e kadar metamorfik olmayan çeşitli litostratigrafi birimleri bulunmaktadır. Orta bölge, güney bölge kuzeyinde yer alan ve ona göre allohton konumlu olan bir bölgedir. Kuzeyden güneye doğru güney bölge üzerinde itilmiş durumdadır. Kuzey bölge, orta bölgenin

kuzeyinde bulunan ve bir fayla kuzeyden güneye doğru orta bölge üzerine itilmiş durumdadır. Aladağ birliği ise, inceleme alanının en kuzeyinde (Silifke kuzeybatısında Değirmendere Köyü civarı) dar bir alanda yüzeylenmektedir.

Hacıışaklı yöresinde bulunan yataklarda litolojik birimler aşağıdan yukarıya doğru kireçtaşı-şeyl ardalanması, kuvars kumtaşı, şeyl kireçtaşı ardalanması, şeyl silttaşı kumtaşı ve kireçtaşı ardalanması, kuvars kumtaşı (kuvars arenit), kuvars kumtaşı-kireçtaşı ardalanması, kuvars kumtaşı (kuvars arenit) ve Permilen, Triyas, Jura ve Kretase yaşlı kireçtaşı birimleri istiflenmektedir. Bu istif içerisinde cam hammaddesi olma özelliğinde olan birimler, kuvars kumtaşı birimleridir. Ocak sahasındaki kuvars kumtaşının yer aldığı Sığırcık formasyonu yaklaşık olarak 250 m kalınlığındadır (ACS, 1991).



Şekil 4.4. Silifke-Hacıışaklı bölgesi jeoloji haritası (Demirtaşlı, 1987).

Ocak sahası yakın dolayında yapılan çalışmalarda Konodont fosillerin incelemesi sonucu, Üst Kambriyen; üst seviyelerdeki şeylerin içerdiği Didymograptus sp. ve Tetragraptus sp. gibi graptolitlerden Alt Devoniyen yaşını saptamıştır. Bu verilere göre birim Üst Kambriyen-Alt Ordovisiyen zaman aralığında çökelmiştir. Formasyon gerek litolojisi, sedimanter yapıları ve gerekse paleontolojik verileri değerlendirildiğinde, tektonik olarak nispeten duraylı ve giderek derinleşen şelfin derin kesiminde çökelmiş olmalıdır (Demirtaşlı, 1984).

Ovacık formasyonu, Doğu Toroslardaki Armutludere formasyonu, Amonoslardaki Mekersin formasyonu, Seydişehir yöresinde yüzeylenen Seydişehir formasyonu ve Alanya yöresinde yüzeylenen Lordlar formasyonu ile değiştirilebilir.

Bölgenin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti Şekil 4.5'te verilmiştir.

YAŞ			LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
	SİSTEM	SERİ		
SENOZOYİK	KUVATERNER			Akıvyon, Taraça, Yamaç Molozu
MESOZOYİK	KRETASE			Kireçtaşı
	JURASİK			
	TRİYAS			Açılı Diskordans Kireçtaşı, Şeyl
	PERMIYEN	UST		Kireçtaşı Açılı Diskordans Kireçtaşı, Şeyl, Silttaşı
PALEZOYİK	DEVONİYEN	ALT		Kuvarsitik Kumtaşı
				Kireçtaşı, Kuvarsitik Kumtaşı
				Kuvarsitik Kumtaşı
	SİLURİYEN	UST		Şist, Kumtaşı ve Kireçtaşı Kuvarsitik Kumtaşı, Şeyl, Kireçtaşı Ard. Şist, Kireçtaşı

Şekil 4.5. Silifke-Mersin civarı stratigrafik kesiti (ACS, 1991).

4.2.2. Yapısal Jeoloji

Ovacık Kuvarsitik kumtaşları Hacıishaklı köyü kuzeyinde K 65–70° D tabaka doğrultulu, 35–45° G'ye eğimli 20 metrelik kalınlıkta yaklaşık GB–KD doğrultusunda görülmektedir. Yüzeyleylenmenin batı ucunda iri kum taneli yer yer çakıllı olarak izlenen kuvarsitik kumtaşlarında doğuya doğru tedrici tane küçülmesi izlenmektedir. Yaklaşık 1000 metre tabaka doğrultusunda devam eden kuvars kumtaşı kalınlaşmakta ve 40 metre kalınlığa ulaşmaktadır. Dibekli Mahallesi kuzeyindeki Kurudere vadisinde devam eden yataklanma üzerinde ilk yıllar üretimi gerçekleştirilmiştir. Burada oluşan açık ocak alanı dekapaj malzemesiyle doldurulmaktadır. Dekapaj alanının doğusunda yataklanma, 20m. kalınlıkta görülmekte olup, orta kum boyutunda çoğunluğu kuvars, az ortoklas tanelerinden oluşmuştur. Doğuya doğru yataklanma kalınlığı artmakta ve en kalın alanda 60m. kalınlığa ulaşmaktadır. Yüzeyleylenmenin bu bölümünde, tabaka doğrultusunda 250 metreden sonra inceleme gözlenmekte ve 152 rakımlı tepenin kuzeyinde kalınlık yeniden 25 metreye düşmektedir. Bu noktadan sonra tekrar kalınlaşan kuvarsitik kumtaşları 150 metre yaklaşık aynı tabaka doğrultulu ve eğimli olarak devam etmektedir. Yüzeyleylenmenin bu bölümünde halen açık ocak işletmesi yapılmaktadır (ACS, 1991).

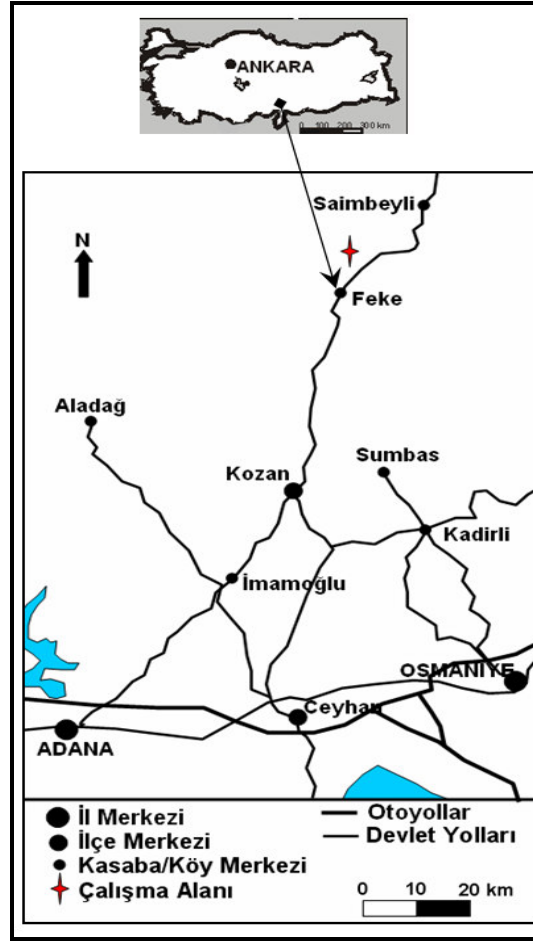
Dekapaj dolgusundan 175 metre doğuya doğru oluşturulan kademelerde üretim tamamlanmıştır. Üretim alanında ölçülen stratigrafik kesitlerde tabanında kuvars kumtaşı, siltaşı, şeyl, kireçtaşı ardalanması üzerinde çökelmiş kuvarsitik kumtaşları, orta- ince kum tane boyulu, az yuvarlak, köşeli, küt köşeli, orta iyi boylanmış ve tane irileşmesi tavana doğru olan orta kalın tabaka olarak gözlenmektedir. Kalınlık 25-60 metre arasında değişmekte olup ortalama kalınlık 40 metre civarındadır. Yüzeyleylenmenin bu bölümünün orta kesimlerinde 0.50-0.20 m. arasında değişen kalınlığa sahip; çok ince kum, ince kum tane boyutlu, yoğun serisitleşmiş, feldspatlı, limonitleşmiş demir minerallerinin izlendiği bir seviye bulunmaktadır. Bu seviyeden sonra, tane irileşmesi yeniden başlamakta ve tavana kadar devam etmektedir. Kuvars taneleri arasında bulunan demirli minerallerden türeyen limonit, yer yer istifin her kesiminde gözlenmekte olup, kuvars tanelerinin de

etrafını sarmıştır. Kırık, eklem sistemlerinde, tektonizma ve yüzey sularının hareketliliği sonucu oluşmuş limonitleşmelere ve ince killeşme seviyelerine rastlanmaktadır. Açık ocak işletmesinin bulunduğu alanda, nispeten taneler daha iyi kompaklaşmış ve kuvarsitik kumtaşları sert bir doku kazanmıştır. 152 rakımlı tepenin güneydoğusundaki Kuru dereden itibaren yaklaşık GB-KD doğrultusunda 800 metre devam eden yüzeylenmenin güney kontağı yer yer genç alüvyonlar ile örtülmüştür. İnce kum tane boyutunda, az yuvarlak, köşeli kötü-orta boylanmalı tanelerden oluşan kuvarsitik kumtaşlarında batıdan doğuya doğru tane inceliği görülmektedir. Özellikle Devedamı Mah. kuzeyinde taneler iyice küçülmekte ve çok ince kum tane boyuna sahip olmaktadır. Bu seviyelerde yaygın serisitleşme izlenmektedir. Kuru dere içerisinde 40 metre kalınlıkta izlenen kuvars kumtaşı doğuya doğru incelmekte ve 20 metre kalınlığa kadar düşmektedir. Ovacık kuvarsitik kumtaşları doğuya bindirme hattı boyunca kesilerek bitmekte olup, doğu kısmında yer yer doğu-batı doğrultusunda karbonatlara tedrici geçişler göstermektedir.

Ovacık kuvarsitik kumtaşları muhtemelen Permiyen öncesi tektonik hareketlerin sebep olduğu yanal atımlı faylanmalara maruz kalmıştır. Bu fayların atımları 1-2 metreden 20 metreye kadar değişmekte olup yer yer obliktir. Yanal atımlı faylar genelde, KB-GD ve K-D doğrultulu olup, sol ve sağ yanal atımlıdır. Kırık ve eklem sistemi açık ocak işletmesi alanında K-G doğrultulu 70-85°D'ya eğimli ve K 70-75°D doğrultulu 80-85°G'ye eğimli kırık ve eklemlerin kesişmelerinden oluşmaktadır.

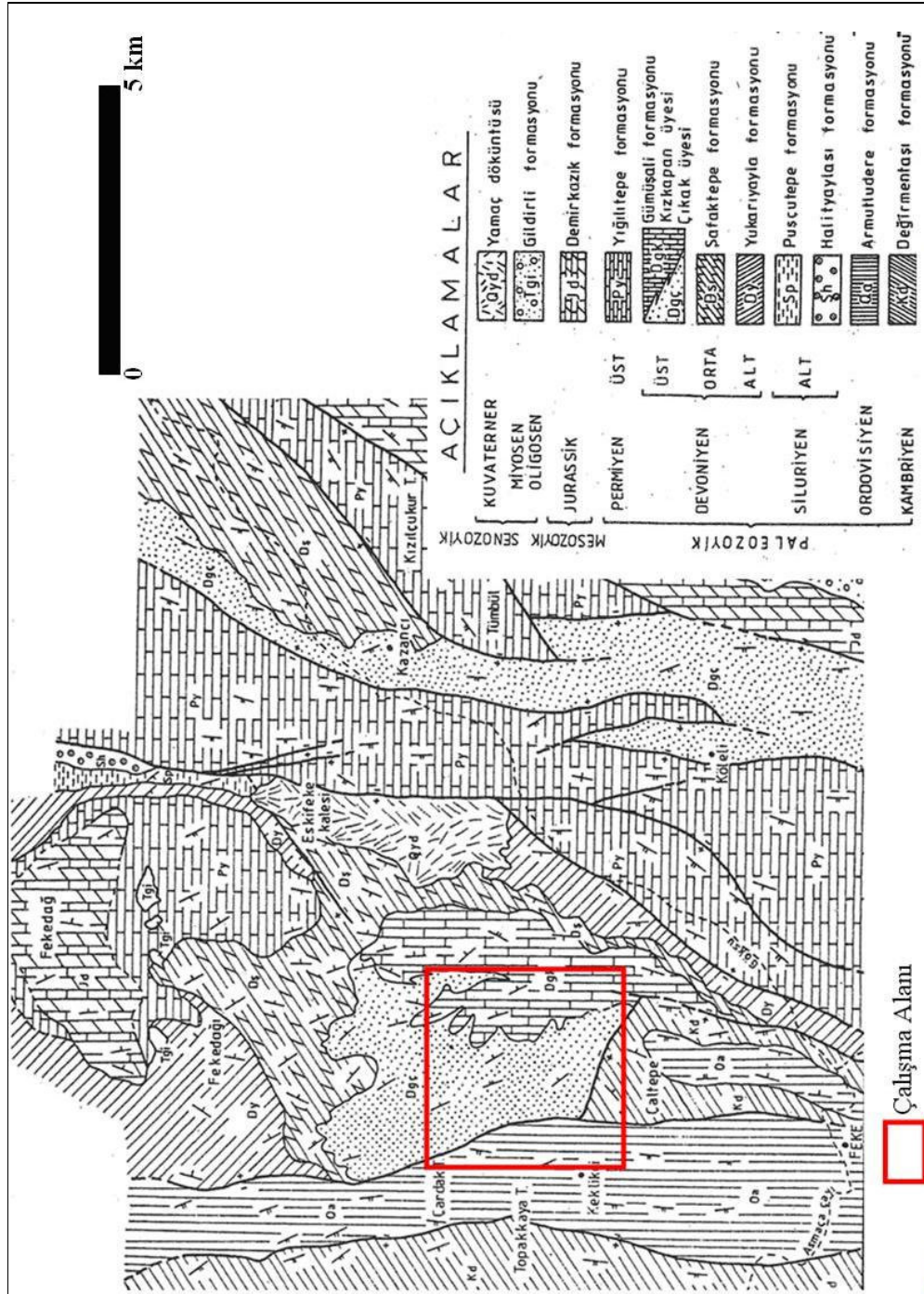
4.2. Feke Kuvarsit Ocağı

Çalışma alanı, Feke'nin yaklaşık 5 km kuzeyinde yer almaktadır (Şekil 4.6). Feke-Fekedağ alanındaki Kambriyen-Jurasik yaşlı otokton platform karbonatları ile kırıntıları bölgesel ölçekte 9 formasyon ve 2 üyeye ayrılır. Bunlar, Kambriyen yaşlı Değirmen taşı, Ordovisiyen yaşlı Armutludere, Alt Siluriyen yaşlı Halıyaylası ve Pusçutepe, Devoniyen yaşlı Yukarıyayla, Şafaktepe ve Gümüşali (Çıkak ve Kızıkan üyeleri), Üst Permiyen yaşlı Yığıltepe. ve Jurasik yaşlı Demirkazık formasyonlarıdır (Şekil 4.7) (Yetiş, C., 1988).



Şekil 4.6. Feke kuvarsit ocağı yerbulduru haritası.

Feke kuvarsit ocağı sahası (Şekil 4.8) 714,04 hektardır. Saha Kozan-Horzum yaylasının yaklaşık 8 km kuzeyinde bulunan Çulluuşağı Köyü civarındadır. Saha güneyde Ulugedik'ten kuzeyde Köşrelik Mahallesi ve batı'da ise Çulluuşağı Köyü ve Harlap Mahallesi kadar uzanır. Saha genellikle doğu-batı ve kuzeybatı-güneydoğu uzanımlı vadilerle kesilmiştir. Bölgenin en yüksek noktası Kızılkovan 1512 m rakımlıdır. Güneyde Kabağağaç (1493 m) ve Ulugedik (1375 m) ve güneybatıda Karaçalı (1104 m) diğer yükseltilerdir. Ruhsat sahasında yüzeyleyen cevherin tamamı ocak alanı civarında bulunan Çatalburun (1042 m) ve Çulluuşağı (954 m) batı yamaçlarında yüzeylenmiştir.



Şekil 4.7. Fekedag kuvarsit ocağı jeolojisi haritası (Metin, Ayhan ve Papak, 1986).

Sahadaki cevherleşme yaklaşık kuzey-güney doğrultusunda bir uzanım göstermekte olup, doğu-güneydoğu yönüne yaklaşık 30-34°'lik bir eğimle

dalmaktadır. Üstte dolomitik kireçtaşı, altta alüminyum(Al_2O_3) ve ince tane oranı yüksek kuvarsit ile birlikte kalker ardalınması bulunmaktadır. Yamaç meyili ortalama 40° civarındadır. Sahada üretim için kaldırılması gereken toplam dekapaj miktarı $2.574.225 \text{ m}^3$ ve ocak toplam rezervi yaklaşık $3.147.678 \text{ ton}$ 'dur. Kuvars kumtaşı üzerindeki dolomitik kalker; 1 ton cevhere karşılık 0.45 m^3 olarak dekape edilip belirlenen dekapaj alanlarına biriktirilmektedir. Belirlenen bu dekapaj-cevher oranı esas alınarak yapılacak yıllık dekapaj miktarı üretime göre planlanmakta ve projeler buna göre hazırlanmaktadır. Kalkerde, ortalama kademe genişliği olan 10 m ve ortalama kademe yüksekliği olan 20 m korunmaya çalışılmaktadır. Genel şev açısı 50° civarında, tabaka dalımları şev eğimine ters olduğu için kademeler arasında 80° 'lik eğimin sağlanması işletme tecrübeleri ile ortaya çıkmış olup, emniyet için yeterli olmaktadır. Patlamalarda delik çapı 8 cm, delik derinliği 10 m (olup iki aşamalı patlatma yapılacaktır), delikler arası mesafe ortalama 2.5 m olarak seçilmektedir. Sıkılama payı %30 olmak üzere, bir delikte 25 kg Amonyum Nitrat, 10 adet dinamit lokumu ve 2 adet elektrikli kapsül kullanılmaktadır. Delikler birbirine göre şaşırtmalı (şesbeş) olmakta ve üç sırayı geçmemektedir. Delik başına düşen dekapaj miktarı yaklaşık 80 m^3 'tür. Dekapajla işletme alanından uzaklaştırılan kalker; orta kalın tabakalı, dolomitik, oldukça sert özellikte olup, tabaka yüzeylerine dik veya aplik (doğu-batı veya kuzeybatı-güneydoğu) kırık sistemleri gösterir. Cevher üzerindeki dekape malzemenin nebati toprak olması durumunda, bu malzeme el ile veya iş makinası kullanılarak cevher yüzeyinden alınmaktadır.

Mineralojik tespitlere göre çimentosuz, ince tane oranı yüksek, yer yer Fe_2O_3 , Al_2O_3 ve kalsiyum karbonat oranı yüksek, yer yer kuvars taneleri birbirine kenetlenmiş ve iyi boylanmış, genel olarak yuvarlağımsı taneli işletilebilir kuvars kumtaşı, sahada ortalama 35 m kalınlık göstermektedir. Tavandan tabana doğru Al_2O_3 ve ince tane miktarı artmaktadır. Dekapajda olduğu gibi, cevher üretiminde de son durumda kademe genişliği en az 8 m ve kademe yüksekliği ise 10-12 m olarak korunmaya çalışılmaktadır. Üretim için hazırlanmış bir cevher kademesinde delik çapları 8 cm, delik boyları 12 m ve delikler arası mesafe ortalama 1,75 m'dir. Her bir üretim panosu (Şekil 4.9) şev eğimi 70° civarında, üretimde ocak genel basamak şev açısı 37° civarındadır. Sıkılama payı delik boyunun %25'i kadar olmakta, 30 kg

Amonyum Nitrat, 10 adet dinamit lokumu, 2 adet elektrikli kapsül kullanılmakta ve kademe boyunca 3 sıradan fazla delinmemektedir. Üretimde daha stabil cevher temin edebilmek için cevher kademeleri kuzey-güney istikametinde doğuya doğru ilerletilerek cevher üretimi gerçekleştirilmektedir.



Şekil 4.8. Feke kuvarsit ocağı genel görünümünü.



Şekil 4.9. Feke kuvarsit ocağında bir üretim panosu.

4.1.2. Lokal Jeoloji

Bölgede hakim birimler genellikle kuzey-güney yönünde uzanım gösterirler. Tespit edilen istiflerde sadece Devoniyen yaşlı birimlerin kuvarsit, kuvars kumtaşı içerdikleri görülmüştür. Bölgenin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti Şekil 4.10'da verilmiştir.

4.1.2.1. Şist/Şeyl Seviyesi

Sahada yüzeyleyen diğer birimlerle tektonik dokanaklıdır. Kuzeyde Çulluuşağı köyü civarından başlayan ve güneyde Horzum Yaylasına kadar uzanan birim, çalışma sahasının batı kesimlerinde yüzeylenmektedir. Kuvarsit içermeyen şist/şeyl seviyeleri detaylı olarak incelenmemiştir.

4.1.2.2. Kireçtaşı-Kumlukireçtaşı-Silttaşı Ardalanması

Genellikle Çatalburuntepe (1042 m) güneybatı kısımda görülen birim, tabanda gri koyu gri renkli, ince tabakalı, yer yer masif görünümde oldukça kırılğan kireçtaşları ile başlayarak, kirli beyaz renkli, ince-orta tabakalı yer yer kirli sarı renkli kırılğan kumlu kireçtaşları ile devam etmektedir. Kuvarsit-kireçtaşı ardalanması şeklinde yüzeyleyen birimin altında genellikle güney-güneydoğu dalımlı olarak izlenen birim içerisinde eşzamanlı oluşum gösteren sedimanter bloklara rastlamak mümkündür.

4.1.2.3. Kuvarsit-Kireçtaşı Ardalanması

Bölgede kuvars kumu potansiyeli olabilecek litolojik birimler Üst Devoniyen ve Alt Devoniyen yaşlıdır. Bu alanda yüzeylenen Alt Devoniyen yaşlı kuvars kumtaşı, şeyl ve kireçtaşından oluşan birim Ayıtepe Formasyonu olarak adlandırılmış ve tanımlanmıştır (Özgül ve diğ., 1973). Birim özellikle Çatalburun (954 m) güneyinde Harlap mahallesi civarında izlenmektedir. Birim

Kuvarsitik görünümlü olan bu malzeme çok kolay ufalanabilir özelliktedir. Ardalanma içerisinde 3-14 m arasında yüzeyleyen oldukça ince taneli (-105 mikron malzeme yaklaşık % 35 civarındadır), beyaz renkli, yer yer kum yapıda, fay zonları ve kuvarsitik ara seviyelerde ise demir-oksit içeriği yüksek malzeme bulunmaktadır. Harlap mahallesi civarında oldukça geniş alanda yüzeyleyen birim içerisindeki kalker ardalanmaları oldukça sık tekrar etmekte ve kalınlıkları 10-15 m'ye çıkabilmektedir. Bu alanda, ardalanma içerisindeki kalker genellikle kirli yeşil-kahverengi-kirli sarı renkte, ince-orta tabakalı, sürekli veya lens şeklinde tabakalanma, yer yer sedimanter bloklar halinde görülmektedir. Kalker ardalanmaları içerisinde aynı renklerde killi-siltli, oldukça kırılğan kireçtaşlarına rastlamak mümkündür. Tüm ardalanma içerisinde kalınlığı 5-7 m arasında değişen ince-orta tabakalı, ince tane oranı oldukça yüksek (% 40 civarında), beyaz renkli kuvarsit seviyeleri bulunur.

4.1.2.4. Kuvarsit

Kuvars kumu potansiyeli olabilecek diğer birim, ardalanmalı birimi yüzeyleyen ve kum görünümünde, yer yer kuvarsitik ve yüksek demir-oksit içerikli beyaz, kirli beyaz ve yer yer sarı renkli mostralara vermekte ve genellikle Çatalburun'un kuzeybatısında yüzeylenmektedir. Genellikle kalınlığı 15-45 m arasında değişen birim, güneye gidildikçe incelmekte (kuvarsit-kalker dokanağı boyunca 3 - 5 m kalınlık göstermekte) ve Harlap Mah. civarında yerini ardalanmalı seviyelere bırakmaktadır. Birim çok kolay fiziksel aşınmaya maruz kaldığından yüzeylendiği alanlarda oldukça eğimli topoğrafya oluşturmuştur. Çatalburun Tepe kuzeyinde Çulluşağı Deresi'nin her iki yamacında da izlenebilen birim genellikle (kuzey yamaçta) kuzeybatı uzanımlı ve kuzeydoğu dalımlı ve (güney yamaçta) kuzeydoğu uzanımlı ve güney-güneydoğu dalımlıdır. Bu alanda genellikle 30-45 m arasında değişen kalınlıklarda görülen seviye, güneye inildikçe incelerek ince taneli kuvarsit-kalker ardalanmalı olarak devam etmektedir. Genellikle kahverengi, kirli sarı renkli, ince-orta tabakalı (genellikle tek tabakalı kalker lensleri veya birkaç tabakadan oluşan kalker seviyesi) siltli-killi kalker seviyeleri ile ardalanmalar

gösterir. Oldukça düşük enerjili ve durağan ortamda çökelmiş gibi görünen birim içerisinde ardalanma geçişlerinin oldukça keskin olması, anlık gerçekleşen yükselme-alçalma hareketlerinden kaynaklanmaktadır. Birim içerisinde çok fazla çapraz tabakalanma görülmemesine rağmen, yer yer oldukça yıkanmış ve çok iyi segrega olmuş malzemelerin görülmesi, çökelimin birincil olmadığı ve en az üç aşamalı bir sedimentasyon sonucu bu aşamaya geldiğini göstermektedir. Çökelimin son aşamasında da oldukça yıkanan malzemede kalker çimentosu ve ince malzeme yok denecek kadar azdır. Bu nedenle özellikle yataklanmanın kuzey kısımlarında görülen ve kalınlığı 7-10 m arasında olan malzeme kum görünümünde olup kolayca dağılmaktadır.

4.1.2.5. Kireçtaşı

Kuvarsit seviyeleri ile kısmen tektonik dokanaklı olarak görülen birim, normal istiflenme ile kuvarsit seviyesini örter. Genelde kirli beyaz, kirli sarı-kahverengi, yer yer gri-koyu gri renklerde görülen kireçtaşı birimi dokanağa yakın kısımlarda oldukça sert, beyaz-kirli sarı renkte, kumlu kireçtaşı görünümündedir. Üst sevilere ve güneye doğru orta-kalın, yer yer ince tabakalı ardalanmalar şeklinde devam eder.

4.1.2.6. Dolomit/Dolomitik Kireçtaşları

Sahanın batısında görülen kireçtaşları ile tektonik dokanaklı olan bu birim genellikle sahanın doğu kısımlarında yüzeylenir. Gri-koyu gri, yer yer siyah renkte, ince-orta tabakalı, yer yer klastik tekstürde ve dolomitik yapıdadır. Sahanın kuzeyinde kireçtaşları ile tektonik dokanaklı olan birim tamamen dolomitleşmiştir.

5. MATERYAL ve METOD

Yeryüzünde mühendislik çalışmaları için açılan büyük boşluklar (örneğin, açık ocak madenciliğinde basamakların oluşturulması, yol yapım çalışmalarında oluşturulan yamaçlar vb.), içinden geçilen formasyonların teknik özelliklerine göre daima heyelana müsaade etmeyecek şekilde tasarlanmalı ve kazı işlemleri bu doğrultuda yürütülmelidir. Kayma tehlikesini en aza indirebilmek için açılan boşluklar, içinde işlemin gerçekleştirildiği kayacın yapısal ve dayanım özelliklerine göre, daima çeşitli yöntemlerle, olası kayma türüne göre belirlenmiş açılarla oluşturulurlar. Mühendislik çalışmalarında ve maden ocaklarında, belirlenen bu eğim açılarıyla oluşturulan yamaçlarda (şevlerde), ileri aşamalarda meydana gelebilecek kayma tehlikesine karşı, önceden detaylı çalışmaların yapılması gerekir.

Şev duraylılık (stabilite) analizleri çok sayıda ve detaylı, arazi ve laboratuvar çalışmalarını içerir. Arazide yapılan detaylı yapısal ve jeolojik ölçümler, yine araziden alınan ve kaya kütlesi ve içerdikleri süreksizliklerin karakteristik özelliklerini yansıtan temsili parça ve blokların, laboratuvara hasarsız ve dış ortamdan korunacak bir şekilde getirilmesi, numunelerin deneyler için gerekli boyutlara hazırlanması (Örneğin, karot alınması, kesilmesi vs.), hazırlanan numuneler üzerinde, standart ve şev duraylılık (stabilite) analizlerinde kullanılacak değerlere ulaşmak için gerekli olan, makaslama mukavemeti, tek eksenli basma dayanımı, su muhtevası, birim hacim ağırlık ve nokta yükü dayanım indeksi deneylerinin gerçekleştirilmesi gibi birbirini takip eden ve tamamlayan işlemleri gerektirmektedir. Bu bölümde, bahsi geçen arazi ve laboratuvar çalışmalarında kullanılan tüm materyaller ve uygulanan yöntemlere, detaylı bir şekilde değinilmiştir.

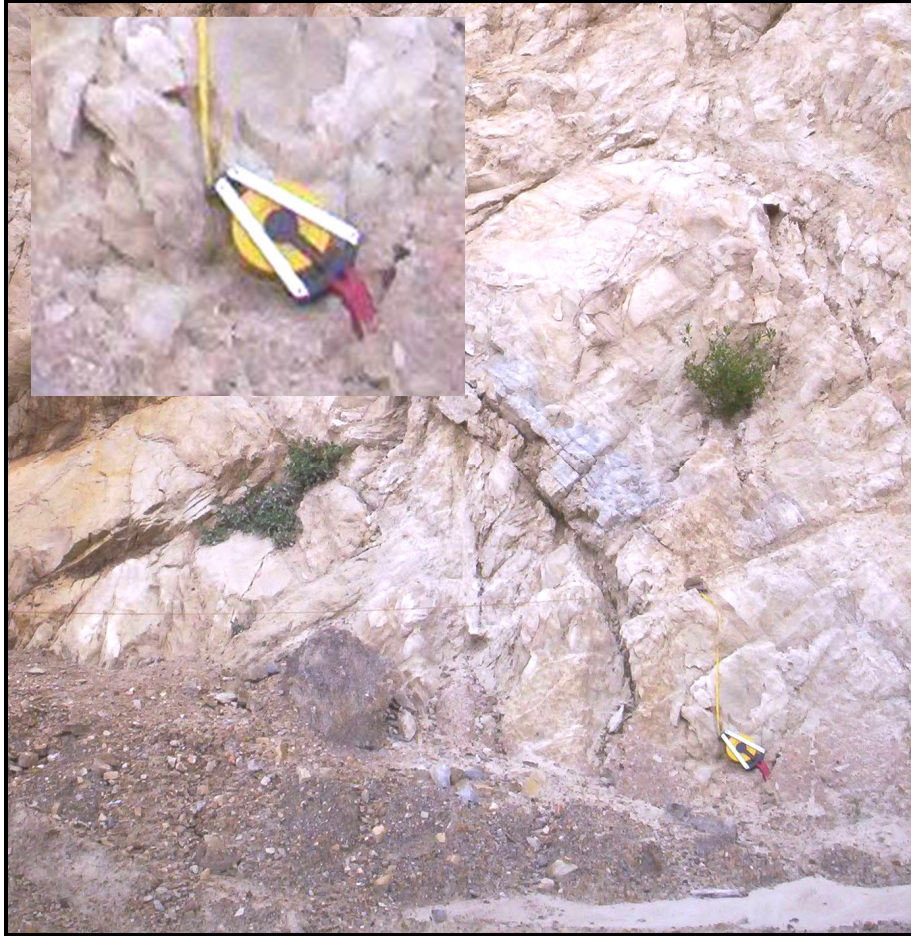
5.1. Arazi Çalışmaları

5.1.1. Şerit Metre Yardımıyla Eklem Açıklıklarının Tespit Edilmesi

Arazide, bir şevin içerdği çeşitli formasyonlar içerisindeki eklemler (kırık, çatlak, fay vs.) arasındaki mesafelerin ve bu eklemlerin boyutlarının belirlenmesi,

şev duraylılık (stabilite) çalışmalarının arazi yapısal ölçümlerinin temelini oluşturmaktadır. Bu amaçla, genellikle 50 m'den 100 m'ye kadar değişen uzunluklarda, çoğunlukla 1 mm hassasiyetli, çelik ya da emaye kaplı şerit metreler kullanılır (Şekil 5.1). Şerit metreler, bir rulman etrafına sarılı ve muhafazalı belirli uzunluklarda uzunluk ve mesafe ölçen şeritlere sahip, elle hareket ettirilebilen bir geri sarım mekanizmalı ölçüm materyalleridir. Yapılan çalışmalarda 50 m uzunluğa sahip, saplı çelik metre kullanılmıştır.

Arazide, genel şevi meydana getiren her bir basamak (kademe) uzunluğu boyunca şerit metre serilmiş, yatay ve düşey doğrultuda mevcut olan bütün eklemlerin boyut ve aralarındaki mesafeler şerit metre üzerinden okunarak tespit edilmiş ve arazi formlarına kayıt edilmiştir.



Şekil 5.1. Eklemler mesafe ölçümünde kullanılan şerit metre.

5.1.2. İnklinometreli Pusula ile Süreksizliklerin Doğrultu-Eğiminin Tespiti

Süreksizliklerin uzaydaki konumları, eğim ve doğrultularıyla tanımlanır. Eğim ve doğrultuların ölçülmesi için jeolog pusulaları kullanılmaktadır. Jeolojik süreksizlikler ve tabakaların ölçüm uygulamalarında doğrultuyla birlikte eğimin de yönü ölçülmektedir. Eğim, süreksizlik düzleminin yatayla yaptığı açı olup inklinometre (eğimölçer) ile ölçülür. Bu işlem için tek parça inklinometreler olduğu gibi genelde inklinometreli pusulalar (Şekil 5.2) kullanılır. Eğim aralığı 0-90° arasında, eğim yönü ise 0-360 ° arasında değişmekte ve eğim yönü/eğim ya da eğim yönü/eğim şeklinde tanımlanmaktadır. Doğrultu ile eğim yönü arasında 90°'lik bir fark vardır.



Şekil 5.2. Ekleme doğrultu ve eğimlerini ölçmede kullanılan inklinometreli pusula.

Eklemler (süreksizlik), kaya kütleleri içerisinde genellikle çok sayıda bulunur ve aynı yönelimde olanlar ekleme ya da süreksizlik takımı olarak adlandırılırlar. Ekleme takımlarının yönelimleri ile oluşturulacak şevlerin yönelimleri arasındaki

ilişki, duraysızlık türü ve potansiyelinin değerlendirilmesinde büyük önem taşır. Bu sebeple, ölçülmüş olan tüm süreksizliklerin yöneliminin istatistiksel yöntemlerle değerlendirilerek, süreksizlik takımı sayısının ve bunların ortalama yönelimlerinin belirlenmesi, duraylılık (stabilite) analizleri için çok önemlidir (Ulusay, Sönmez, 2002).

Arazide, süreksizliklerin eğimleri ve eğim yönlerinin belirlenmesi için inklinometreli jeolog pusulası kullanılmıştır. Her bir kademe boyunca oluşturulan ölçüm hatları boyunca, tüm ana kırık, çatlak ve faylarla, basamakların içerdiği kaya tabakalarının eğimleri ve yönelimleri pusula yardımıyla, aralarındaki mesafeler ve uzunlukları şerit metre yardımıyla tespit edilmiştir.

5.1.3. Schmidt Çekici

Eklem yüzeylerinin basma dayanımının dolaylı yoldan tespiti için kullanılan bir alettir. Çekicin ucu ölçüm yapılacak süreksizlik yüzeyine diktir (Ulusay, Sönmez, 2002). Deney malzemesinin sertliğini belirleyen Schmidt çekici (Şekil 5.3), çekicin basma silindiri (plunger) örnek üzerine gelecek şekilde konur ve çekici örnek üzerine bastırmak suretiyle silindir içeri doğru itilir. Enerji, belirli bir enerji seviyesinde bulunan ve otomatik olarak bu enerjiyi basma silindiri üzerine bir kütle olarak serbest bırakan bir yayda depolanmıştır. Geri tepme yüksekliği bir ölçek üzerinde ölçülür ve bu sertliğin bir ölçüsü olarak alınır. Taşınabilir cihaz hem laboratuarda hem de arazide kullanılmaktadır. Değişik darbe enerji seviyelerinde bulunan Schmidt çekici modelleri mevcuttur. Bu yöntemde önerilen darbe enerjisi 0.74 Nm olan L tipi Schmidt çekici arazi çalışmaları için kullanılmıştır.

Arazide deneye tabi tutulacak süreksizliklerin yüzeyleri baskı silindirinin kapladığı alan boyunca düzgün ve pürüzsüz olmalıdır. Bu amaçla, süreksizlik yüzeyindeki kırıntı ve döküntüler temizlenir. Deneyin uygulandığı yüzey alanı ve eğer gözlenebiliyorsa 6 cm derinlikteki kaya kütlelerinde herhangi bir çatlak veya lokal kırık bulunmamasına dikkat edilmelidir. Ölçüm yapılacak yüzey üzerinde en az 20 ölçüm yapılmalı ve deney lokasyonları en az basma silindirinin çapı kadar aralıklarla ayrılmalıdır. Bir deney, örneğin çatlamasına veya gözle görülebilecek

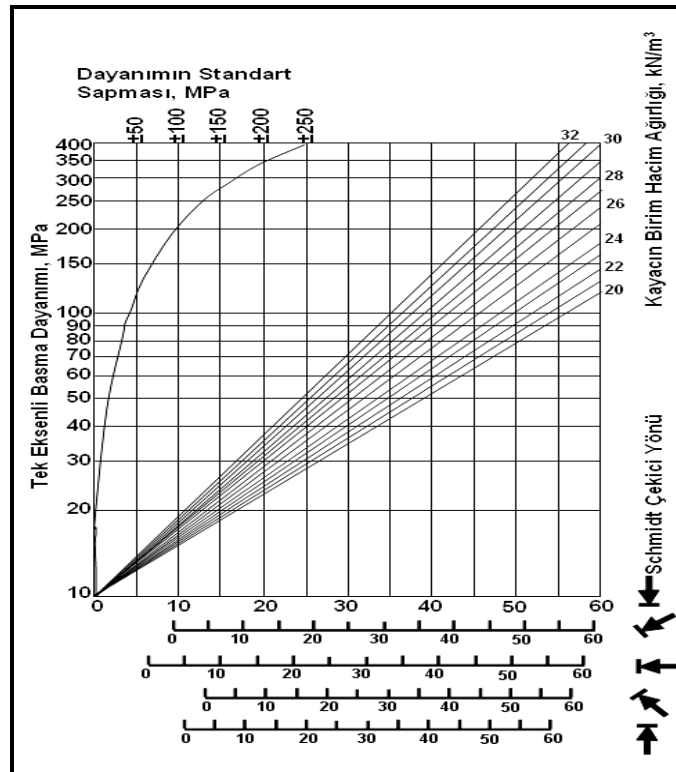
herhangi başka bir yenilmeye yol açarsa yapılan deney iptal edilmeli ve örnek atılmalıdır. Örnek hazırlanmasında ve deney tekniğinde yapılan hatalar düşük sertlik değerleri elde etmeye yol açabilir (Karpuz ve Hindistan, 2006).



Şekil 5.3. Arazide kullanılan Schmidt çekici.

Arazide Schmidt çekici ile ölçümler, yüzeyleri temizlenmiş süreksizlik yüzeyleri boyunca, her bir yüzeyden en az 20 adet olmak üzere yapılmış ve ortalamaları alınmıştır (Şekil 5.4). Schmidt çekicinin uç kısmının, uygulandığı süreksizlik yüzeyine dik olmasına dikkat edilmiş ve yönü kaydedilmiştir.

Süreksizlik yüzeylerinde yapılan Schmidt çekici deneyleri sonucu bulunan ortalama Schmidt sertliği değerleri, uygulandıkları yön ve uygulanan kayacın birim hacim ağırlık değerine göre tek eksenli basma dayanım değerinin tahmininde kullanılabilir. Bu tahmin (eklem basınç dayanımı) için Şekil 5.5'te verilen, JCS çevrim tablosu kullanılır. Eklem basınç dayanımı değeri, bölüm 3'te detaylı bir şekilde verilen eklem pürüzlülük katsayısının tahmininde kullanılmaktadır.



Şekil 5.5. Eklem basınç dayanımı çevrim kartı.

5.1.4. Tilt Yöntemi

Tilt test, arazide süreksizlikler ya da tabakalar arasındaki kayma açısını tahmin etmek için kullanılan, oldukça basit bir yöntemdir. Deney için basamaklardaki süreksizlik içeren tabakalardan blok numuneler ya da kendiliğinden kaymış veya devrilmiş süreksizliğin her iki yüzeyini de içeren (üst üste tabakaları) numuneler alınır. Süreksizlikle ayrılmış alt ve üst bloklar, üst blok alt bloğun üzerinden kaydırılacak şekilde, bir ucundan yukarıya doğru kaldırılır. Üst bloğun kaydığı an deney tamamlanır ve bu eğim sabitletir (Şekil 5.6). Sabitleme işlemi için başka bir kaya parçası kullanılabilir ve eğim inklinometre yardımı ile belirlenir. Bu açının, kohezyonu sıfır kabul edersek, şevin kaymadan durabileceği sınır açı olduğu kabul edilir.



Şekil 5.6. Arazide tilt test ile şev sınır eğimi tahmini.

5.2. Laboratuvar Çalışmaları

5.2.1. Birim Hacim Ağırlık Deneyi

Kayacın herhangi bir birim hacimdeki toplam ağırlığı, birim hacim ağırlık olarak tanımlanabilir. Bir kaya numunesinde, katı kısımların yanında su ve hava tarafından doldurulan bir de boşluk hacmi vardır. Mühendislikte kullanılan birim hacim ağırlık türleri, doğal, doygun ve kuru birim hacim ağırlıklardır. Birim hacim ağırlık genellikle, belirli bir hacme sahip numunenin ağırlığının tartımından bulunur.

Araziden getirilen blok ve parça numunelerden, karotiyer yardımıyla alınan silindirik karot numuneler (Şekil 5.7), 105°C'ye ayarlanmış etüvde 24 saat kurutulmuş ve 3±2 saat desikatörde oda sıcaklığına soğutulmuştur. Daha sonra karot numunelerin çap ve boyları, kumpas yardımıyla ölçülmüştür. Boy ve çap değerleri kullanılarak örneğin hacmi hesaplanıp, 0,1 g hassasiyetindeki terazide tartılarak örneğin ağırlığı belirlenmiştir. Numunenin ağırlığı (W), hacmine (V) oranlanarak kuru birim hacim ağırlık (γ_d) değeri Eşitlik 5.1'den hesaplanmıştır.

$$\gamma_d = \frac{W}{V} \text{ (g/cm}^3 \text{, t/m}^3 \text{)} \quad (5.1)$$



Şekil 5.7. Karotiyer yardımıyla blok numuneden karot numune eldesi.

5.2.2. Nokta-Yükü Dayanım İndeksi Deneyi

Bu deney, kayaçların dayanımlarına göre sınıflandırılmasında kullanılan nokta-yükü dayanım indeksinin saptanması amacıyla yapılır. Nokta-Yükü dayanım indeksi tek eksenli sıkışma ve çekilme dayanımı gibi diğer dayanım parametrelerinin dolaylı olarak belirlenmesinde de kullanılabilir. Deney sonucu esas alınarak kayacın nokta-yükü dayanım indeksi değeri, kullanılan numune türüne göre hesaplanır. Nokta yük dayanım indeksi deneyi için silindirik karot numunelerin yanı sıra, blok ve düzensiz şekilli numuneler de kullanılabilir. Karot numuneler, uyguladığı yükün göstergeden okunabildiği konik iki yükleme ucu arasına karot eksenine dik konumda yerleştirilmekte ve numune kırılana kadar, artan miktarda yük uygulanmaktadır. Nokta yükü dayanım indeksi deneyinde uzunluk/çap oranı 0,3-1,0 arasında değişen karot numuneler kullanılır.

Laboratuarda, karotiyerle alınan numuneler, uzunluk/çap oranı 1 olacak şekilde taş kesme testeresiyle hazırlanmıştır (Şekil 5.8). Kesilerek hazırlanan karot numuneler 105°C'ye ayarlanmış etüvde 24 saat kurutulmuş ve 3±2 saat desikatörde oda sıcaklığına soğutulmuştur. Çapları, eksenel çeşitli noktalardan, kumpasla tespit edilen numuneler, nokta yükü dayanım indeksi deney aletinin (Şekil 5.9) konik uçları arasına yükleme yönüne dik olacak şekilde yerleştirilmiş ve numune kırılana kadar yükleme yapılmıştır. Kırılma yükü (P) ve eşdeğer çap (D_e) üzerinden nokta yükü dayanım indeksi değeri (I_s) Eşitlik 5.2'den, düzeltilmiş nokta yük dayanım indeksi değeri (I_{s(50)}) ise Eşitlik 5.3'ten hesaplanmıştır.

$$I_s = \frac{P}{D_e^2} \text{ (MPa)} \quad (5.2)$$

$$F_d = \left(\frac{D_e}{50}\right)^{0,45} \text{ (düzeltme faktörü); } I_{s(50)} = F_d \times I_s \quad (5.3)$$



Şekil 5.8. Taş kesme testeresi ile numune boyutlandırma.



Şekil 5.9. Nokta yükü dayanım indeksi deney aleti.

5.2.3. Tek Eksenli Basma Dayanımı Deneyi

5.3 no'lu kısımda anlatılan şekilde arazide yapılan Schmidt çekici deneyi ile yerinde dolaylı olarak tahmin edilebilen tek eksenli basma dayanım değeri, laboratuvarında, uygun yük değerlerine ulaşabilen presler yardımıyla nitel olarak tespit edilebilir. Deney genellikle, düşey doğrultuda, hızı ayarlanabilir şekilde yükleme yapan presin kırıcı-yükleyici levhaları arasına yerleştirilen boy/çap oranı 2'nin üzerinde olan dikdörtgen prizma ya da silindirik karot numunelerin kırılana kadar sıkıştırılması şeklinde gerçekleştirilir.

Tek eksenli basma dayanım deneyi için öncelikle araziden getirilen blok numunelerden karotiyer yardımıyla 42 mm çaplı numuneler alınmıştır. Bu numuneler, boy/çap oranı 2'nin altında olmayacak şekilde taş kesme testeresi ile kesilerek hazırlanmış ve 105°C'ye ayarlanmış etüvde 24 saat kurutularak 3±2 saat desikatörde oda sıcaklığına soğutulmuştur. Hazırlanan karot numuneler (Şekil 5.10), çapları (d) kumpas yardımıyla ölçülerek, ELE marka presin (Şekil 5.11) yükleyici levhaları arasına yerleştirilmiştir. Karot numunelere saniyede 10 kg artan bir şekilde, kırılana (yenilene) kadar yük uygulanmış ve kırılma yükü (P) kaydedilmiştir. Numunenin tek eksenli basma dayanımı (σ), birim yüzey alana (A) (Eşitlik 5.4) gelen yük üzerinden, Eşitlik 5.5'ten bulunmuştur.

$$A = \pi r^2 = \frac{\pi d^2}{4} (\text{cm}^2) \quad (5.4)$$

$$\sigma = \frac{P}{A} (\text{MPa, kg/cm}^2) \quad (5.5)$$

Yükleyici-kırıcı levhalara yerleştirilecek komparatörler yardımıyla, düşey yöndeki, belirli yük aralıklarındaki boyca kısalmalar tespit edilerek bir grafik üzerine aktarılıp, numunenin elstisite indisi grafik üzerinde belirli aralıklar için oluşturulacak üçgenin açılal bağıntılarından hesaplanabilir.



Şekil 5.10. Deney için kesilip-boyutlandırılmış karot numuneler.



Şekil 5.11. Tek eksenli basma dayanımı deney aleti (deney presi).

5.2.4. Doğrudan Kesme (Makaslama) Dayanımı Deneyi

Kaya malzemesinin makaslama dayanımı, yaygın olarak doğrusal Mohr-Coulomb ya da eğrisel Hoek-Brown yenilme ölçütleriyle tanımlanmaktadır. Doğrusal Mohr-Coulomb yenilme ölçütü, kaya malzemesinin kohezyon (c), yenilme yüzeyine etkiyen normal gerilme (σ) ve içsel sürtünme açısı (ϕ) değerlerini esas alır ve Eşitlik 5.6'daki gibi tanımlanır.

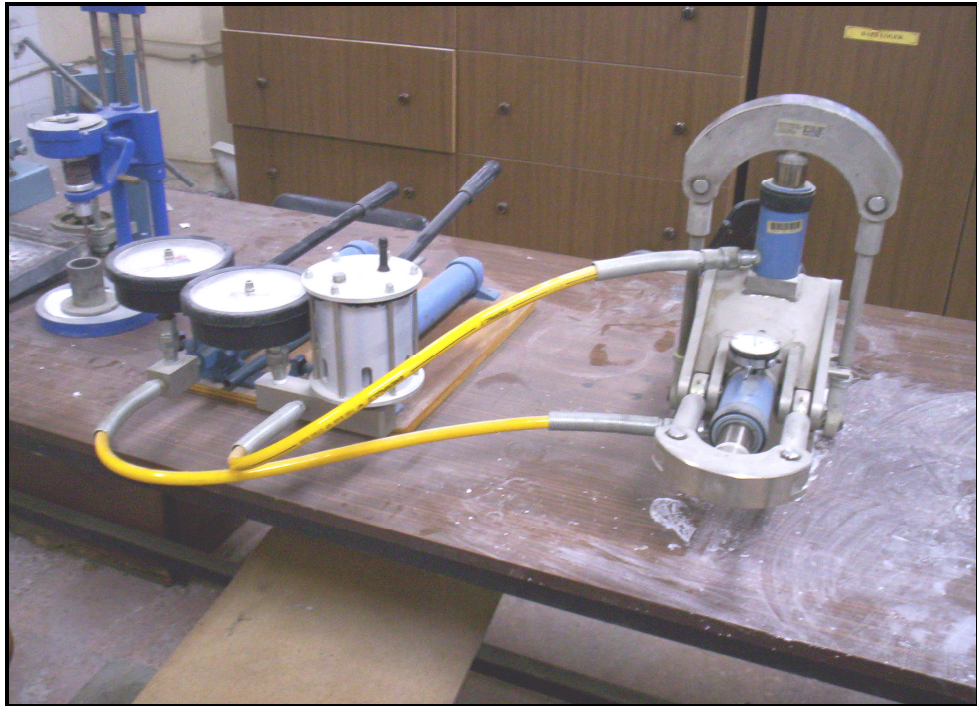
$$\tau = c + \sigma \tan \Phi \text{ (kPa)} \quad (5.6)$$

Kaya malzemesinin makaslama dayanımı parametreleri(c ve ϕ), silindirik karot numunelerinden en az üç farklı yanal basınç uygulayarak gerçekleştirilen, üç eksenli sıkışma ya da makaslama deneylerinin verileri kullanılarak belirlenir. Doğrudan kesme ya da makaslama deneyi, bir makaslama düzeneği kullanılarak, kaya kütlelerinin içerdiği doğal süreksizlik yüzeylerinin makaslama dayanım parametrelerinin bulmak amacıyla gerçekleştirilir.

Makaslama mukavemeti deneyi için laboratuvara getirilen, süreksizlik düzlemi içeren blok numunelerden, karotiyer yardımıyla boyu 10 cm'yi aşmayan 4,2 cm çaplı karot numuneler alınmış ve taş kesme testeresi ile alt-üst yüzeyleri kesilerek düzeltilmiştir. Bağlayıcı olarak kullanılan çimento-su-1mm altı bazaltik agrega karışımıyla, deney aleti iç haznesine uygun kalıplara, süreksizlik yüzeyi makaslama yüzeyine uygun tam yatay olacak şekilde yerleştirilmiştir. Süreksizlik yüzeyi ile ayrılan iki parça şeklinde olan karot numunelerin önce alt parçası kalıba yerleştirilip, karışımla birlikte kalıba alınmış ve 6-7 saatlik prizden sonra, iki kalıp arası mesafe yaklaşık 5 mm olacak şekilde ayarlanıp, üst karot numune parçası da kalıp üst haznesine karışımla alınmıştır (Şekil 5.12). Beton kalıba alınan numuneler 21 günlük bir kür süresinden sonra kalıplardan çıkarılmışlardır. Numunelerin kalıba alınma işlemleri ve beton kalıbın kür süresini tamamlamasından sonra iki parça halinde hazırlanan deney numuneleri makaslama mukavemeti deney aletinin (Şekil 5.13) alt ve üst haznelerine yerleştirilmiştir.

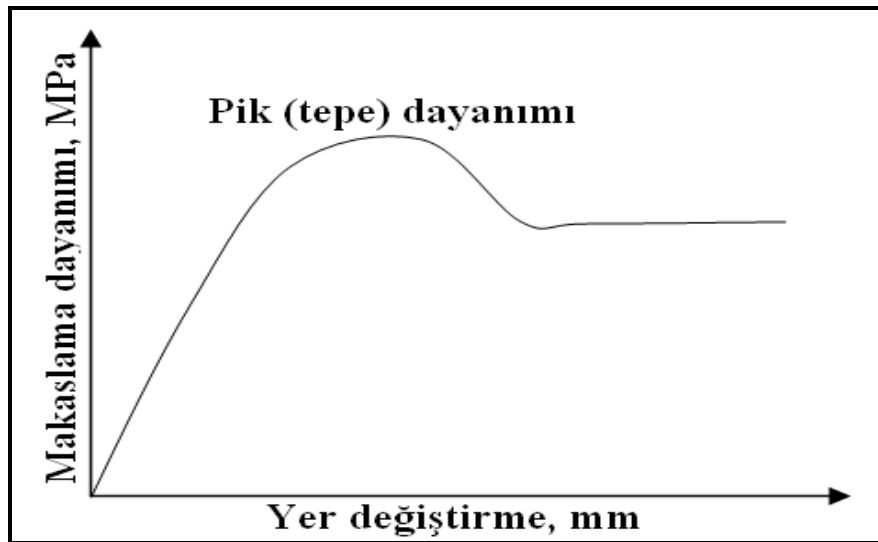


Şekil 5.12. Makaslama dayanımı deneyi için numune hazırlama.

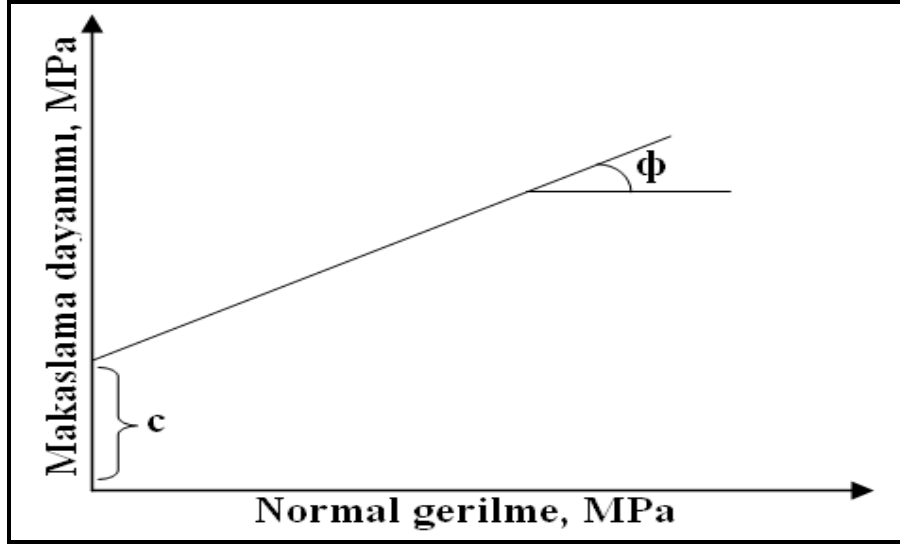


Şekil 5.13. Makaslama mukavemeti deney aleti.

Hazne kapatıldıktan sonra normal gerilmeyi sağlayacak hidrolik sistemin düşey yükleme askısı ve makaslama yapacak hidrolik sistemin yatay askısı yerlerine yerleştirilmiş ve makaslama boyunca deplasmanı tespit etmek için komparatörler ayarlanmıştır. Deney süresince sabit kalacak normal yük, yükleme değerine ulaşıncaya kadar hidrolik pompa ile artırılıp, makaslama kuvvetini sağlayan pompa kullanılarak, süreksizlik yüzeyi üzerine yatay doğrultuda makaslama uygulanmıştır. Makaslamanın aralıksız ve sabit bir hızla yapılmasına özen gösterilmiş ve pik makaslama dayanım değerine ulaşılmadan önce yaklaşık olarak 10 yük değerinde yer değiştirme miktarı komparatörden okunarak kaydedilmiştir. Pik (tepe) makaslama dayanımı değerine ulaşıldıktan sonra artık (rezidüel) makaslama dayanımını tespit etmek için komparatör ve makaslama göstergesi yük değerleri okunmaya devam edilmiştir. Deney artan normal gerilme değerleri için beş kez tekrar edilerek 5 makaslama dayanım değeri elde edilmiştir. Makaslama yer değiştirmeleri ve makaslama mukavemeti değerleri grafikler üzerine aktarılarak (Şekil 5.14), her bir normal gerilme değeri için pik (tepe) makaslama dayanımı değerlerine ulaşılmış ve normal-makaslama gerilmesi grafiği (Şekil 5.15) çizilerek kohezyon (c) ve içsel sürtünme açısı (ϕ) değerleri, grafik üzerinden bulunmuştur.



Şekil 5.14. Makaslama yer değiştirmesi-makaslama dayanımı grafiği.



Şekil 5.15. Normal-makaslama dayanımı grafiği.

5.2.5. Su Muhtevası Deneyi

Araziden, HDPE (yüksek yoğunluklu plastik) poşetler içerisinde laboratuvara getirilen blok numunelerden alınan 4-5 cm boyutlu parça numuneler, poşetlerden çıkarıldıktan sonra, doğal olarak içerdiği nemini kaybetmeden kapalı hazneli hassas terazide tartılarak nemli ağırlığı tespit edilmiştir. Ağırlıkları tespit edilen numuneler 105°C'ye ayarlanmış etüvde 24 saat kurutularak 3±2 saat desikatörde oda sıcaklığına soğutulmuş ve kuru ağırlıkları tartılarak tespit edilmiştir. Nemli (w_h) ve kuru (w_d) ağırlık tartımları üzerinden, numunelerin su muhtevası (w) değerleri Eşitlik 5.7'den hesaplanmıştır.

$$w = \frac{w_h - w_d}{w_d} \times 100(\%) \quad (5.7)$$

5.3. Şev Duraylılık (Stabilite) Analizlerinde Kullanılan Parametreler

Şev duraylılık (stabilite) analizlerini gerçekleştirebilmek için arazide ve laboratuvarında yapılan pek çok çalışma sonucu elde edilebilen çeşitli parametreler tespit edilmiştir. Bu parametreler, bu başlık altında açıklanmıştır.

Şevlerin içlerinde oluşturulduğu kaya kütleleri genellikle sürekli bir yapı göstermezler. Sürekli olmayan kaya kütlelerinin davranışları ise fay, eklem takımları ve tabakalanma gibi içerdikleri süreksizlikler tarafından kontrol edilirler. Bu nedenle kaya kütleleri içerisinde oluşturulan şevlerin duraylılık (stabilite) analizleri için öncelikle içerdikleri süreksizliklerin tespit edilmesi gerekir. Faylar, gözlenebilir bir yer değiştirme miktarı sergileyen süreksizliklerdir ve çok ender durumlarda tek düzlemsel birimlerdir. Normal şartlarda, paralel ya da paralele yakın süreksizlik takımları şeklinde gelişirler ve bunlardaki yer değiştirme miktarı değişkendir. Tabakalanma, çökelme yüzeyine paralel olan yüzey, fiziksel olarak her zaman ayırt edilemeyebilir. Tabakalanma düzleminin orijinal yöneliminin yatay olarak varsayılmaması gerektiğine dikkat edilmelidir. Folyasyon, yassı minerallerin paralel yönelimi ya da metamorfik kayalarda mineral bantlaşmasıdır. Eklem, gözlenebilir herhangi bir göreceli hareketin olmadığı süreksizlik. Eklemler genelde tabakalanma, klivaj ve şistozite gibi birincil yüzeyleri keserler. Birbirine paralel bir dizi eklem oluşturduğu gruba eklem takımı denir. Kesişen iki veya daha fazla takım bir eklem sistemi oluşturur. Birbirine yaklaşık olarak dik konumda bulunan iki eklem takımının ortogonal (birbirine dik) olduğu söylenir. Klivaj, değişik sertliklerdeki bir dizi tabakalar içinde yumuşak katmanlara paralel şekilde oluşan süreksizliklerdir. Klivaj terimi genelde klivaj düzlemlerinin, paralel yönelimdeki mineral partikülleri tarafından kontrol edilmediğini ima eder. Şistozite, şist veya iri taneli diğer kristalin kayalarda mika gibi yassı veya prizmatik mineral tanelerinin paralel diziliminden dolayı oluşan folyasyondur.

Kaya kütlesi genellikle, ayrı blokların bağlayıcı bir malzemeyle birbirlerine kenetlenmiş halidir. Bu bloklara çeşitli derecelerde bozunmuş olabilmekte, birbirine temas eden yüzeyler temiz ve taze olabilmekle birlikte bazen de kil ile kaplı yüzeylere dönüşebilmektedirler. Kaya kütlesi dayanımı ise yüzeyler boyunca arazide yapılan Schmidt çekici ölçümleriyle ya da laboratuvarında yapılan tek eksenli basma dayanımı deneyleriyle elde edilebilmektedir.

Sert kayadaki doğal bir süreksizlik yüzeyi, testere ile kesilmiş gibi ya da zemin yüzeyleri gibi asla düz olmaz. Doğal eklem yüzeylerindeki dalgalanmaların ve pürüzlülüklerin makaslama davranışı üzerinde büyük bir etkisi vardır. Bu yüzey

pürüzlülükleri genellikle yüzeyin makaslama dayanımını artırır ve bu dayanım da kaya kütlesi içerisinde açılan açıklıkların duraylılığı açısından oldukça önemlidir. Süreksizlik yüzeyleri tarafından ayrılmış kaya kütlelerinde makaslama dayanımını tespit edebilmek ve normal-kayma dayanımı arasındaki ilişkiyi belirleyebilmek için genellikle, süreksizlik içeren blok numunelerden karot numuneler alınarak laboratuvarda bunlara makaslama dayanımı deneyi uygulanır. Bu deney sonucu oluşturulan grafikler ise bize yüzeylerin birbirini tutma dayanımı olan kohezyonu (c) ve sürtünme açısını (ϕ) bulmak için kullanılırlar (Hoek, 2007).

Şev duraylılık hesaplamalarında kullanılan, mevcut ve nihaî durumlara ait kesit ve haritalar ekler kısmında verilmiştir.

5.4. Şev Duraylılık (Stabilite) Analizlerinde Kullanılan Yöntemler

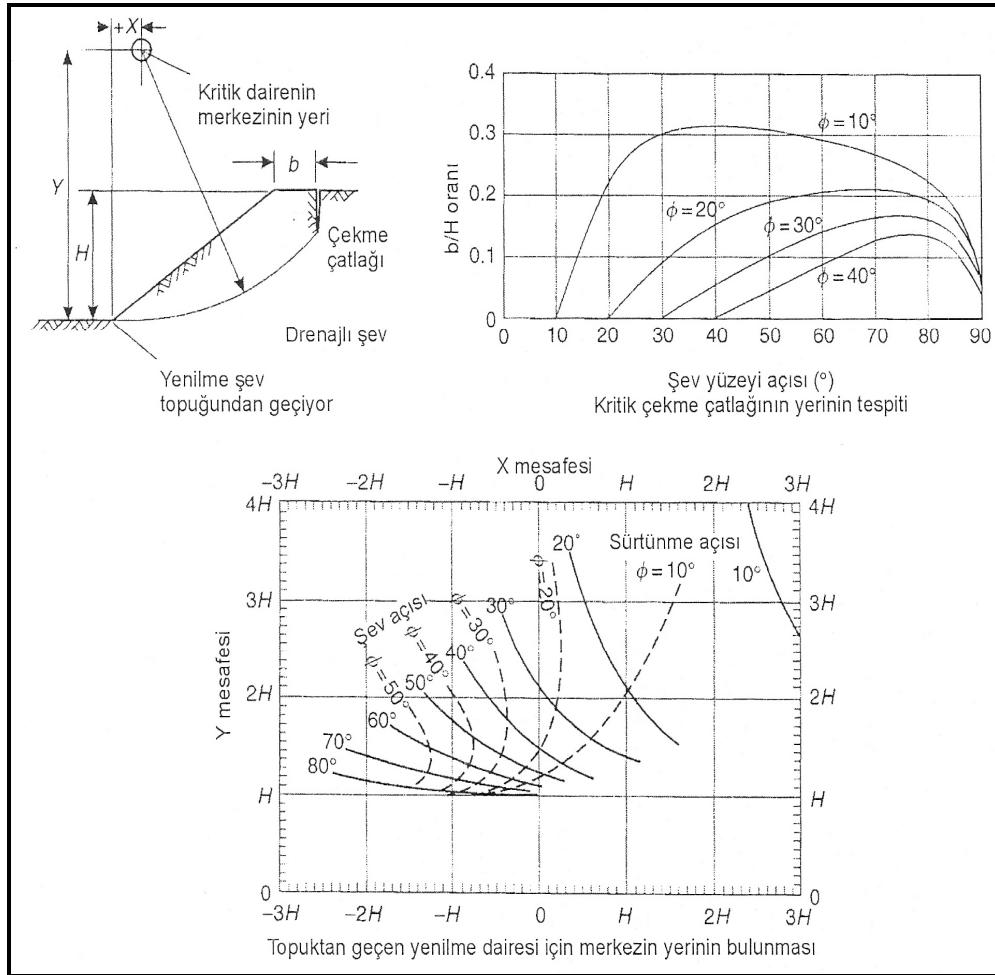
5.4.1. Statik Duraylılık (Stabilite) Analiz Yöntemleri

5.4.1.1. Bishop Yöntemi ile Dairesel Kayma Analizi

Bishop yönteminde kayma yüzeyinin dairesel olduğu varsayılır. Analiz, düşey kuvvetler ve genel moment dengesini sağlar. Yöntemde şevin geometrisi, gerçek ya da tasarlanan profilin şevden geçen düşey bir düzlemde görülen haliyle belirlenir. Dairesel kayma durumunda, en küçük emniyet katsayısını veren daire merkezini bulmada Şekil 5.16 ve 5.17’de verilen diyagramlar kullanılabilir. Varsayılan kayma kütlesi belirli sayıda dilimlere bölünür. Basit durumlar için genellikle 5 dilim yeterlidir. Karmaşık şev profilleri için ya da kaya kütlelerinde farklı malzemelerin bulunduğu yerlerde problemi yeterli düzeyde tanımlayabilmek için daha fazla dilim gerekebilir. Her bir dilim için tanımlanan parametreler şunlardır:

- Taban açısı (ψ_b).

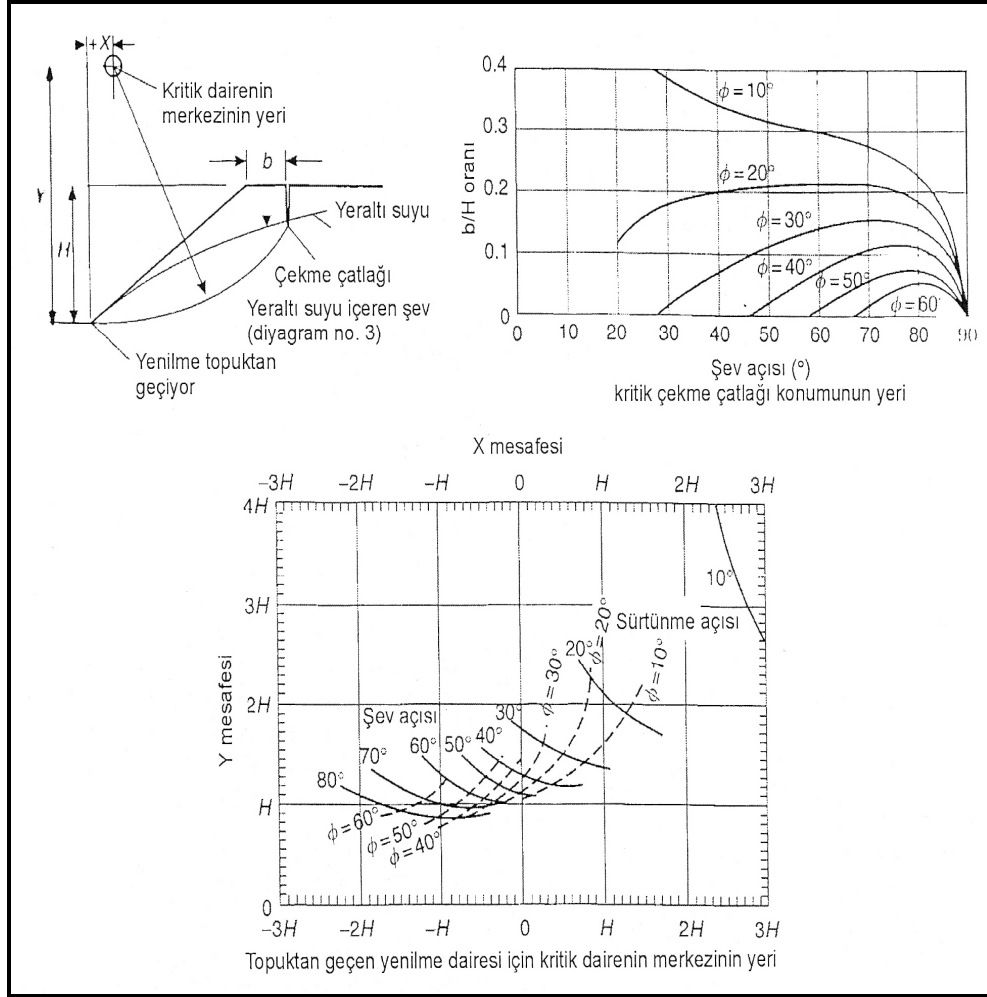
- Her bir dilimin ağırlığı (W). Dilimin yüksekliği (h), kayanın birim hacim ağırlığı (γ_r) ve dilim tabanı genişliğinin (Δx) çarpımıyla elde edilir.
- Her bir dilimin tabanındaki kaldırma basıncı (U). Dilim tabanından doymun yüzeye olan yükseklik (h_w), suyun birim hacim ağırlığı (γ_w) ve dilim genişliğinin çarpımından bulunur.



Şekil 5.16. Drenajlı şevler için kritik kayma yüzeyi ve çekme çatlaklığının yeri (Wyllie ve Mah, 2004).

Her bir dilimin tabanında mevcut olan kesme dayanımı, duraylılık analizi için geçerlidir ve kaya kütesinin üniform olduğu durumda, her bir dilimin tabanındaki

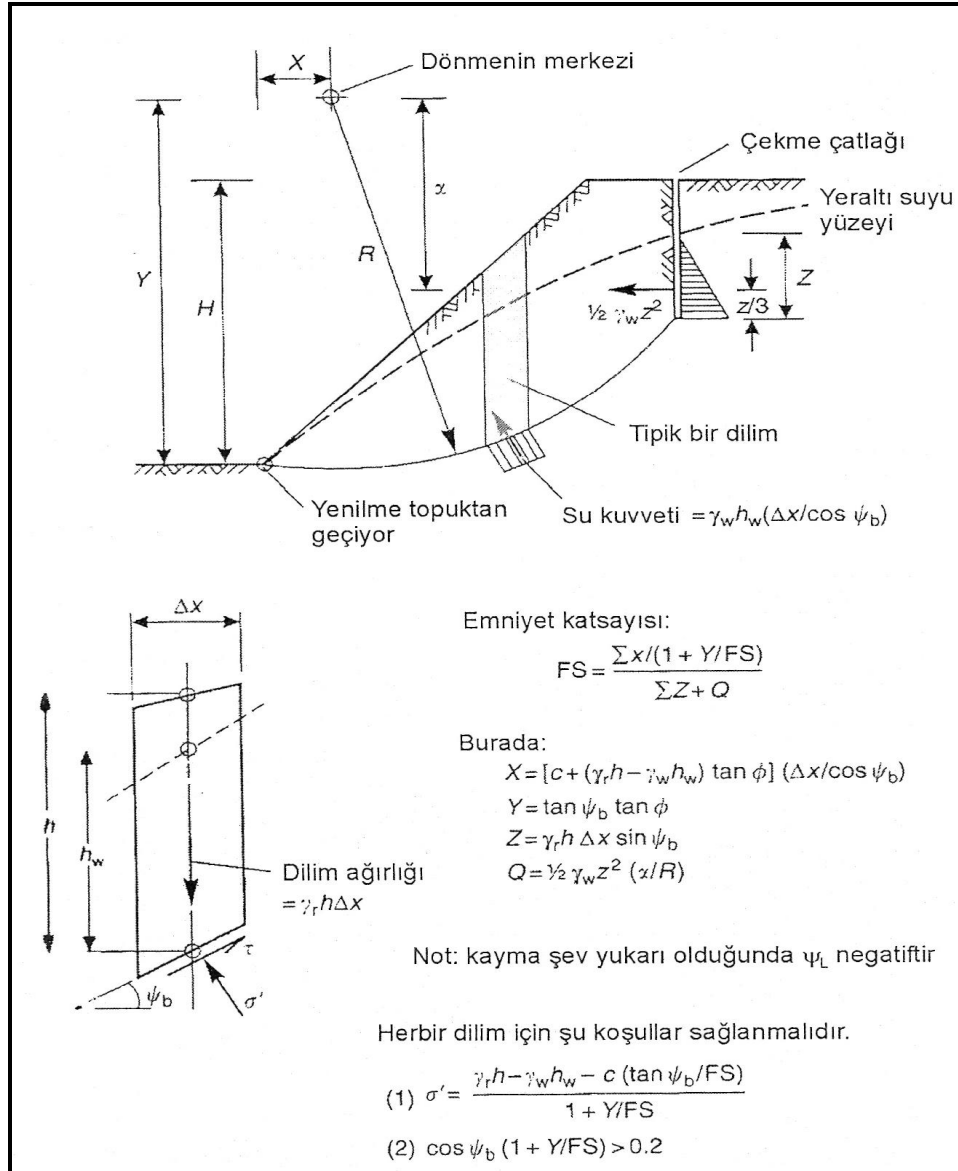
kesme dayanım parametreleri (c ve ϕ) aynı olarak kabul edilmiştir. Farklı kaya kütleleri içeren dilimler için her kaya kütlelerinin kesme dayanım parametreleri ayrı ayrı hesaplanmıştır.



Şekil 5.17. Yeraltı suyunun bulunduğu şevlerde kritik kayma yüzeyi ve çekme çatlağının yeri (Wyllie ve Mah, 2004).

Emniyet katsayısı iterasyonunda (yineleme), dilimler ve kesme dayanım parametreleri tanımlandıktan sonra, her bir dilim için X, Y ve Z değerleri hesaplanmıştır. Emniyet katsayısı için başlangıçta $F_s=1,00$ alınarak Şekil 5.18’de verilen eşitlikten yeni bir emniyet katsayısı değeri hesaplanmıştır. Peşpeşe hesaplanan emniyet katsayıları arasındaki fark 0,001’den küçük olana kadar hesaplama süreci devam ettirilmiştir. Ortalama tekrar sayısı 7’dir. Emniyet

katsayısının hesabından sonra her bir dilim için sağlanması gerekli iki koşul Şekil 5.18’de 1 ve 2 olarak belirtilmiştir. Yapılan işlemlerde her iki koşul da sağlanmıştır.



Şekil 5.18. Bishop'un basitleştirilmiş dilim yöntemi ve kullanılan eşitlikler (Wyllie ve Mah, 2004).

5.4.1.2. Carter Yöntemi ile Düzlemsel Kayma Analizi

Carter yönteminde genelde, çekme çatlağının şev üst yüzeyi veya ön yüzeyinde bulunduğu ve şevin enine kesiti çıkarılmak suretiyle bulunabileceği

varsayılır. Ancak, çekme çatlağının üzeri zemin tarafından örtülebilir ya da tasarım için tahmini bir yer gerekebilir. Buna benzer durumlarda çekme çatlağının en olası konumunun göz önüne alınması gerekir. Şev kuru ya da neredeyse kuru olduğunda, emniyet katsayısının hesaplandığı eşitlik (Eşitlik 5.8) değiştirilebilir. Tamamen kuru şevlerde çalışıldığı için hesaplamalarda bu eşitlik kullanılmıştır.

$$F_s = \frac{cA}{W \sin \psi_p} + \cot \psi_p \tan \varphi \quad (5.8)$$

Eşitlikte, W: Kayan bloğun ağırlığı, φ : Sürtünme açısı, c: Kohezyon, ψ_p : Kayma düzleminin eğimi ve A: Kayma düzleminin alanıdır.

Pürüzlü bir yüzey üzerindeki kaymanın analizinde, şevin her yerinde sabit olmayan kesme dayanımı parametreleri olması durumunda yani, sürtünme açısı yüzeye etkiyen normal gerilmeye bağlı olduğunda, normal gerilme artarken süreksizlik yüzeyindeki düzensizlikler traşlanacağından sürtünme açısı azalacaktır. Kuru bir şev için ($U=V=0$) kayma yüzeyi üzerine etkiyen normal gerilme (σ) Eşitlik 5.9'dan hesaplanabilir.

$$\sigma = W \cos \psi_p / A \quad (5.9)$$

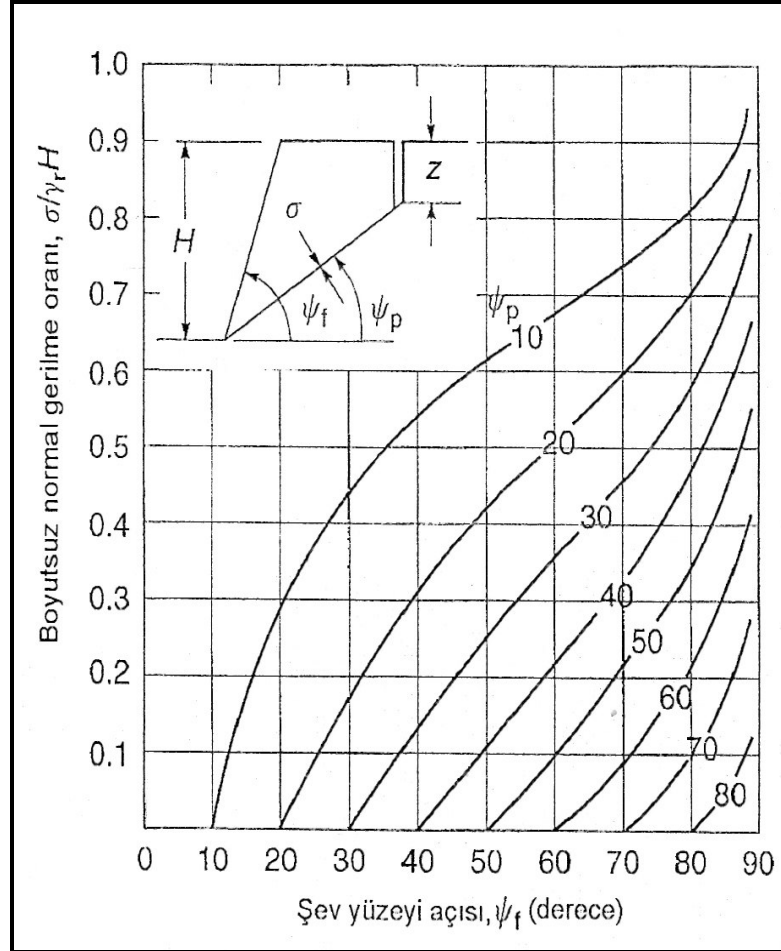
Burada, W=Kaya bloğunun ağırlığı; ψ_p =Kayma yüzeyinin eğimi ve A=Kayma yüzeyinin alanıdır.

Bu koşullar altında emniyet katsayısı ise Eşitlik 5.10'dan hesaplanmıştır (simgeler için 3.2.1.5'e bkz.).

$$F_s = \frac{\tau A}{W \sin \psi_p} = \frac{\sigma \tan(\varphi + JRC \log_{10}(JCS/\sigma))A}{W \sin \psi_p} = \frac{\tan(\varphi + JRC \log_{10}(JCS/\sigma))}{\tan \psi_p}$$

$$F_s = \frac{\tan(\varphi + i)}{\tan \psi_p} \quad (5.10)$$

Hesaplamalarda kullanılan, bir düzlemsel yenilmenin geometrisinin bileşenleri arasındaki ilişki Şekil 5.19’da verilmiştir.

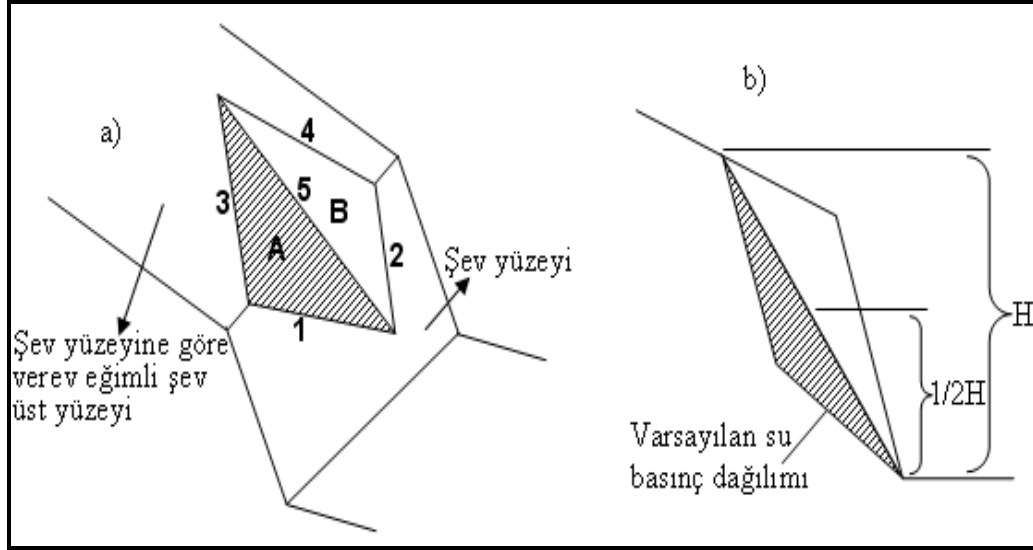


Şekil 5.19. Düzlemsel kaymada şev yüzey açısı-normal gerilme grafiği (Wyllie ve Mah, 2004).

5.4.1.3. Sarma Yöntemi ile Kama Türü Kayma Analizi

Bu analizde, şev üst yüzeyi şev yüzeyine kıyasla verev eğimli olarak alınır ve şevin toplam yüksekliği kaymanın geliştiği varsayılan arakesit çizgisinin üst ve alt uçları arasındaki kot farkıdır. Üzerinde kaymanın geliştiği iki düzlem A ve B düzlemleri olarak adlandırılır (Şekil 5.20). Eğimi daha düşük olan düzlem A düzlemidir. Şekil 5.20(a)’daki beş arakesit çizgisine ait tanımlamalar şu şekildedir:

1. A düzleminin şev yüzeyi ile arakesiti,
2. B düzleminin şev yüzeyi ile arakesiti,
3. A düzleminin şev üst yüzeyi ile arakesiti,
4. B düzleminin şev üst yüzeyi ile arakesiti,
5. A ve B düzlemlerinin arakesiti.



Şekil 5.20. Kayma düzlemlerinde sürtünme, kohezyon ve su basıncı etkilerini içeren duraylılık analizinde kullanılan kama geometrisi (Wyllie ve Mah, 2004).

Kama kaymasının daima 5 numara olarak adlandırılan arakesit çizgisi boyunca geliştiği varsayılır ve kaymanın emniyet katsayısı da Eşitlik 5.11'deki şekilde ifade edilir.

$$F_s = \frac{3}{\gamma_r H} (c_A X + c_B Y) + (A - \frac{\gamma_w}{2\gamma_r} X) \tan \phi_A + (B - \frac{\gamma_w}{2\gamma_r} Y) \tan \phi_B \quad (5.11)$$

Eşitlik 5.11'de, c_A ve c_B : A ve B düzlemlerinin kohezyonları; ϕ_A ve ϕ_B : A ve B düzlemleri üzerindeki sürtünme açıları; γ_r : Kayanın birim hacim ağırlığı; γ_w : Suyun birim hacim ağırlığı (tamamen kuru olarak kabul edilen şev için $\gamma_w=0$ olarak alınmıştır); H: Kamanın toplam yüksekliğidir.

5.4.2. Dinamik (Psödo-Statik) Duraylılık Analizi

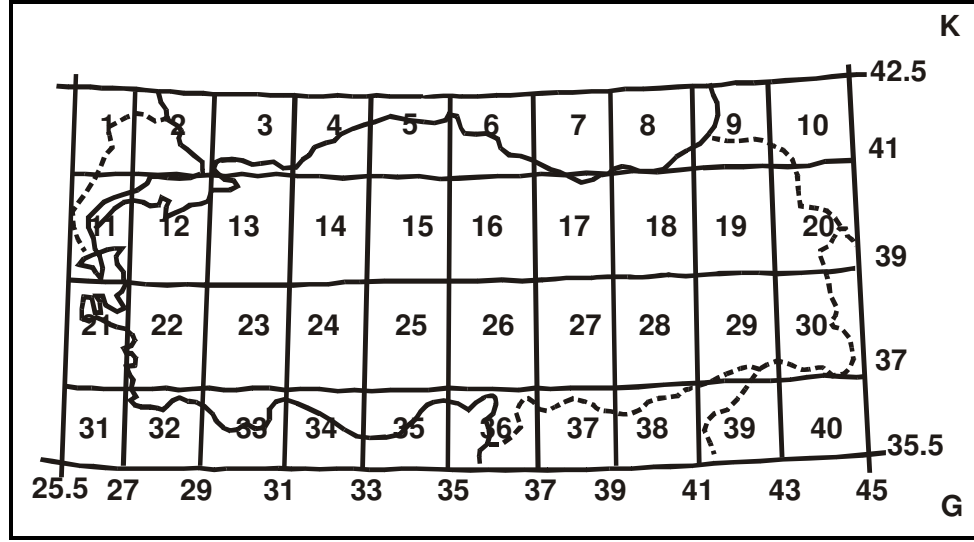
Dinamik (psödo-statik) yöntem olarak bilinen analiz, yer hareketlerinin yatay yönde ve şev dışına doğru etkiyen bir statik kuvvet olarak benzeştirilmesini kapsar. Bu kuvvetin büyüklüğü, kayan bloğun ağırlığının (W) bir sismik katsayı (K_c) ile çarpımı şeklindedir.

Türkiye dünyanın en etkin deprem kuşaklarından birinin üzerinde bulunmaktadır. Geçmişte yurdumuzda birçok yıkıcı depremler olduğu gibi, gelecekte de depremlerin olabilme riski oldukça yüksektir. Deprem bölgeleri haritası'na göre, yurdumuzun %92'sinin deprem bölgeleri içerisinde olduğu, nüfusumuzun %95'inin deprem tehlikesi altında yaşadığı ve ayrıca büyük sanayi merkezlerinin %98'i ve barajlarımızın %93'ünün deprem bölgesinde bulunduğu bilinmektedir. Bu nedenle şev duraylılık hesaplamalarında deprem etkisinin de belirlenmesi gerekmektedir. Şev duraylılık hesaplamalarında deprem etkisini belirlemek için, deprem katsayısı hesaplanmıştır. Hesaplamalarda, Bath'ın deprem katsayısı hesabıyla ilgili olarak yapmış olduğu çalışmalardan faydalanılmıştır. Bu çalışmalarda Türkiye, deprem riski bakımından 40 bölgeye ayrılmış (Şekil 5.21) ve 58 yıl (1913-1970) boyunca bu bölgelerde meydana gelen depremlerin etkileri istatistiksel olarak kayıt edilmiştir (Bath 1978).

Eşitlik 5.12 yardımıyla hareket ivmesi (A) hesaplanmaktadır.

$$A = \frac{1,03h^{0,6}10^{0,54M}}{(r^2 + h^2)^{3/4}} \quad (5.12)$$

Eşitlik 5.12'de A: Hareket ivmesi, h: Deprem etki derinliği, r: En aktif fayın deprem katsayısının hesaplandığı bölgeye olan uzaklığı ve M: Deprem şiddetidir.



Şekil 5.21. Deprem Parametresi Hesaplamalarında Kullanılan Farklı Bölgeler (Bath 1978).

Deprem katsayısı ise 5.13 no'lu eşitlikle hesaplanmıştır.

$$K_c = \frac{A}{980} \quad (5.13)$$

Şevin drenajlı (kuru) olması durumunda ise emniyet katsayısı eşitlik 5.14'den hesaplanmıştır (simgeler için 5.4.1.2'ye bkz.).

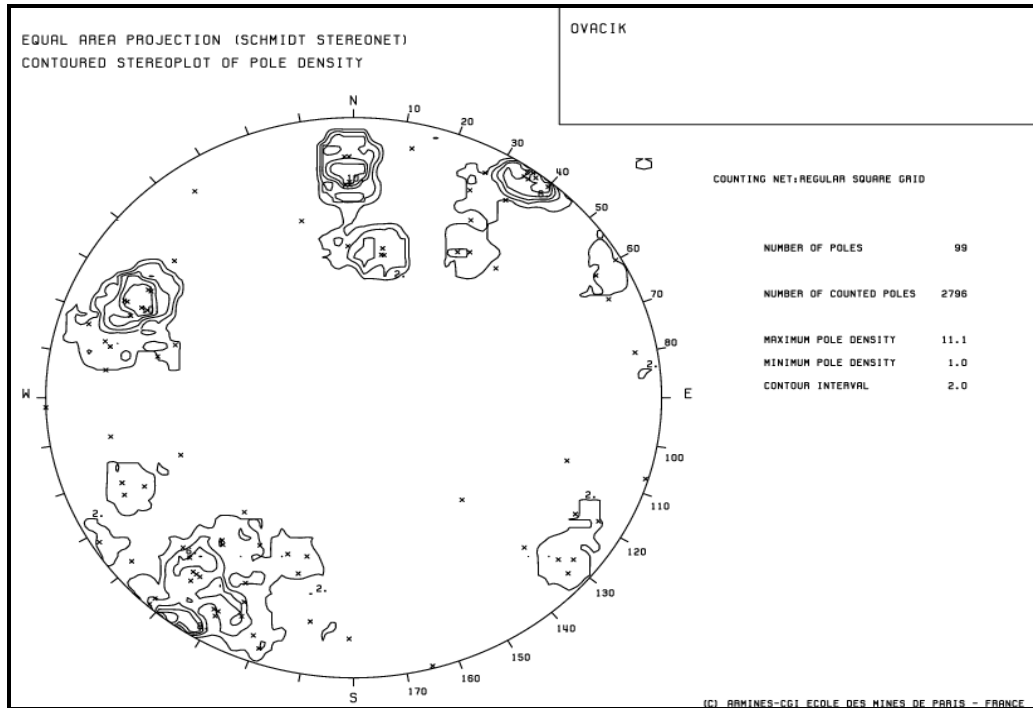
$$F_s = \frac{cA + (W(\cos \psi_p - K_c (\sin \psi_p)) \tan \Phi}{W(\sin \psi_p + K_c \cos \psi_p)} \quad (5.14)$$

5.5. Şev Duraylılık Duraylılık (Stabilite) Analizlerinde Kullanılan Bilgisayar Yazılımları

5.5.1. Distat Stereonet Yazılımı

Bu çalışmada, Fransa-Paris Madencilik Okulu bünyesindeki Mühendislik Jeolojisi Merkezi tarafından süreksizliklerin stereonet üzerinde tanımlanması için

kullanılan bu bilgisayar yazılımı kullanılmıştır. Arazide, formasyonlarda mevcut süreksizliklerin, pusula, inklinometre (eğimölçer) ve şerit metre yardımıyla tespit edilen özellikleri tek tek yazılımdaki ilgili arayüz pencerelerine girilerek, bu değerlerin otomatik olarak stereonet üzerine aktarımı sağlanmıştır. Bu işlemten sonra kontur-kutup diyagramları şeklinde çıktılar alınarak (Şekil 5.22), aynı yönelimdeki süreksizlikler gruplandırılıp istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Gruplandırma sonrası, süreksizlik ya da eklem takımları belirlenip bunların yönelim ve eğimleri tahmin edilmeye çalışılmıştır.



Şekil 5.22. Distat yazılımı Ovacak-Kargıcak kuvars kumtaşı ocağına ait stereonet çıktısı.

5.5.2. STAB Düzlemsel ve Dairesel Yenilme Yazılımı

İşletmelerin mevcut kademeleri ve üretim bittikten sonraki durumu üzerinden şev duraylılığı analizlerinde STAB adlı bilgisayar yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılım, hesaplamalarda Bishop dairesel kayma analizini, dilimler yöntemiyle gerçekleştirmektedir. Analizi yapabilmek için öncelikle, formasyonların geometrik

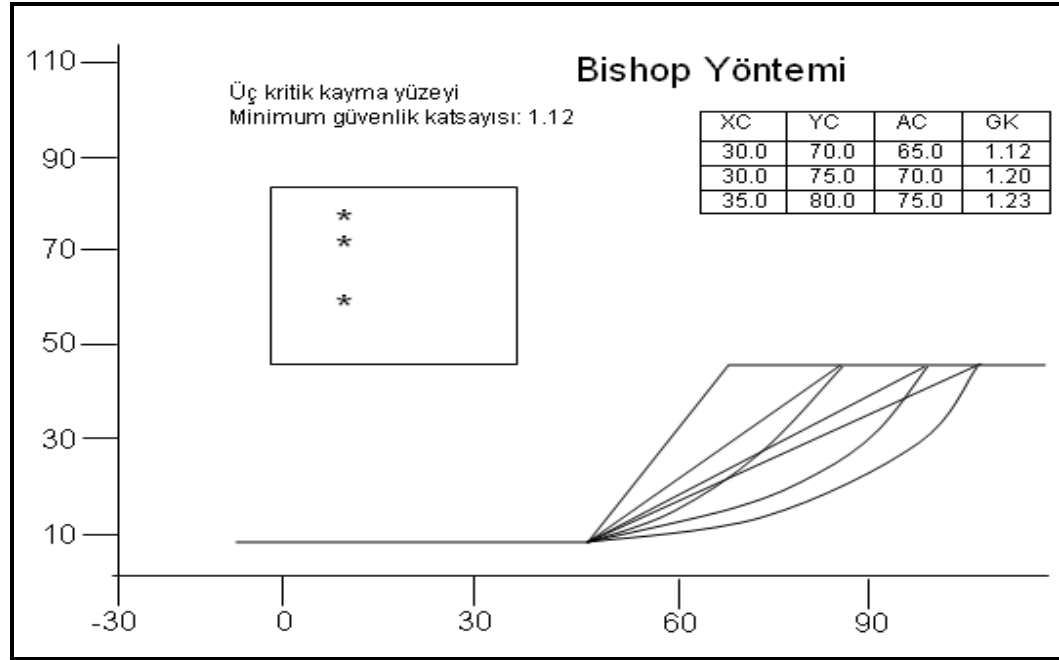
özellikleri, yazılımın ilgili arayüzüne girilerek, genel şev içerisindeki formasyon kalınlık ve yükseklikleri belirlenmiştir. Bu esnada her bir formasyona ait fiziko-mekanik özellikler de (birim hacim ağırlık, içsel sürtünme açısı ve kohezyon) bu kısımda tanımlanmıştır. Oluşturulan şev geometrisi içerisinde, ana süreksizliklerin durumları da (faylar gibi) konum olarak girilmiştir. Geometri ve bu geometri içerisindeki formasyonlarla süreksizliklerin bilgileri girildikten sonra, yazılım otomatik olarak, kayma yüzeylerini tanımlayan dairelerin merkez koordinatları ve yarıçaplarını hesaplayıp, bir çıktı olarak elde edilmiştir. Yazılım ayrıca istenilen sayıda kayma yüzeyi oluşturarak bunlardan en düşük güvenlik katsayısı değerini veren ya da kayma ihtimali en yüksek kayma dairesini otomatik olarak seçmektedir. Yazılım çıktıları üzerinde istenilen sayıda kayma düzlemi daireleri ve çapsal merkez noktaları, en düşük güvenlik katsayısına ait kayma düzlemi dairesi ve bunun güvenlik katsayısı değeri görülebilir.

5.5.2.1. Bishop Yöntemi

Bishop yöntemi dairesel kayma analizlerinde kullanılmakta olup, yöntemin esasını dilimlere ayırma metodu oluşturmaktadır. Yöntemde, bilgisayar tarafından istenilen sayıda kayma yüzeyi oluşturulmakta ve bunlardan en kritik (en düşük) güvenlik katsayısı (F) değerini veren kayma dairesi otomatik olarak seçilmektedir. Ayrıca, burada deprem etkisi de göz önüne alındığından, düşey kuvvet etkilerinin yanı sıra, yatay kuvvet etkileri de dikkate alınmaktadır.

Bishop yöntemi kullanılarak elde edilen grafik Şekil 5.23'te detaylı olarak verilmektedir. Ayrıca Şekil 5.23'te;

- Şev geometrisi,
- İstenilen sayıdaki kayma dairesi,
- Kayma dairelerini gösteren çizgiler ve işaretler (işaretler " + " ile gösterilmektedir),
- En kritik kayma dairesini gösteren kesikli çizgi ve işaret (işaret "*" ile gösterilmektedir), durumları da gösterilmektedir.



Şekil 5.23. STAB bilgisayar yazılımıyla Bishop dairesel yenilme analizi.

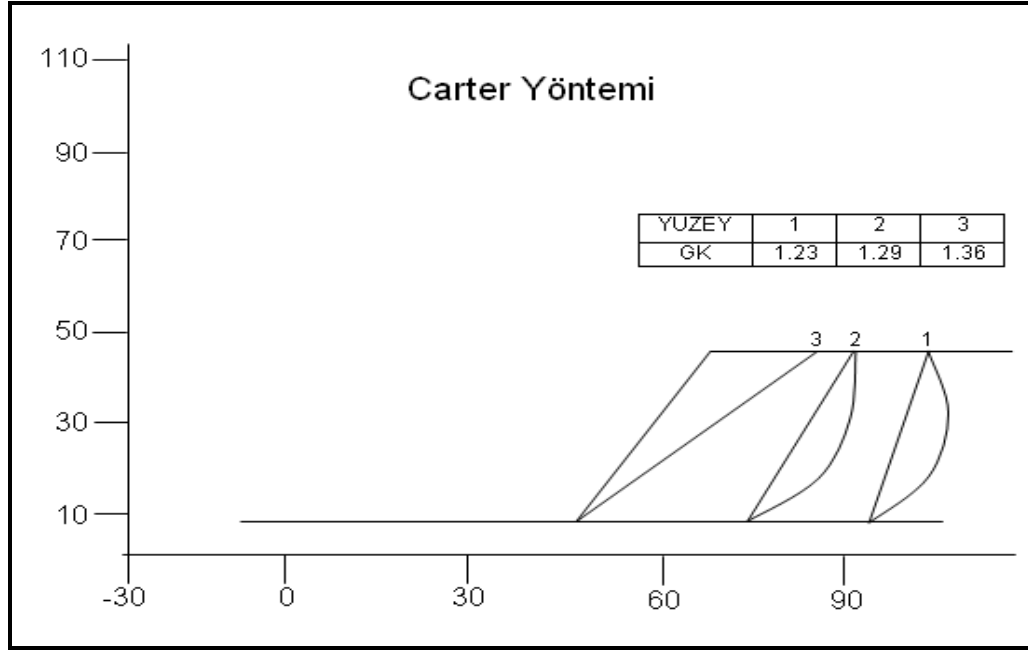
5.5.2.2. Carter Yöntemi

Carter yöntemi, düzlemsel ve kompleks kayma yüzeyleri için uygulanmaktadır. Bu metodun esası Bishop metodunda olduğu gibi dilimlere ayırmadır. Bu yöntemde de deprem etkisi göz önüne alınarak duraylılık hesaplaması yapılmaktadır. Bu metot kayma düzlemleri otomatik olarak X ve Y koordinatları verilmek suretiyle seçilmektedir. Bu nedenle bu metotta kritik kayma yüzeyi olabilecek kayma yüzeyleri (istenilen sayıda) X ve Y koordinatları bilgisayara verilmekte ve bilgisayar bu kayma yüzeylerinden en kritik güvenlik katsayısı (F) değerini veren kayma yüzeyini seçmektedir. Carter yöntemi kullanılarak bilgisayardaki hesaplamalar sonucunda elde edilen grafik Şekil 5.24'te gösterilmektedir.

Ayrıca Şekil 5.24'te;

- Şev geometrisi,
- İstenilen sayıdaki kayma yüzeyi,

- Kayma yüzeylerini gösteren çizgiler (en kritik kayma yüzeyi kesikli çizgi ile gösterilmektedir),
- Sonuçları veren bir çizelge, durumlar da verilmektedir.



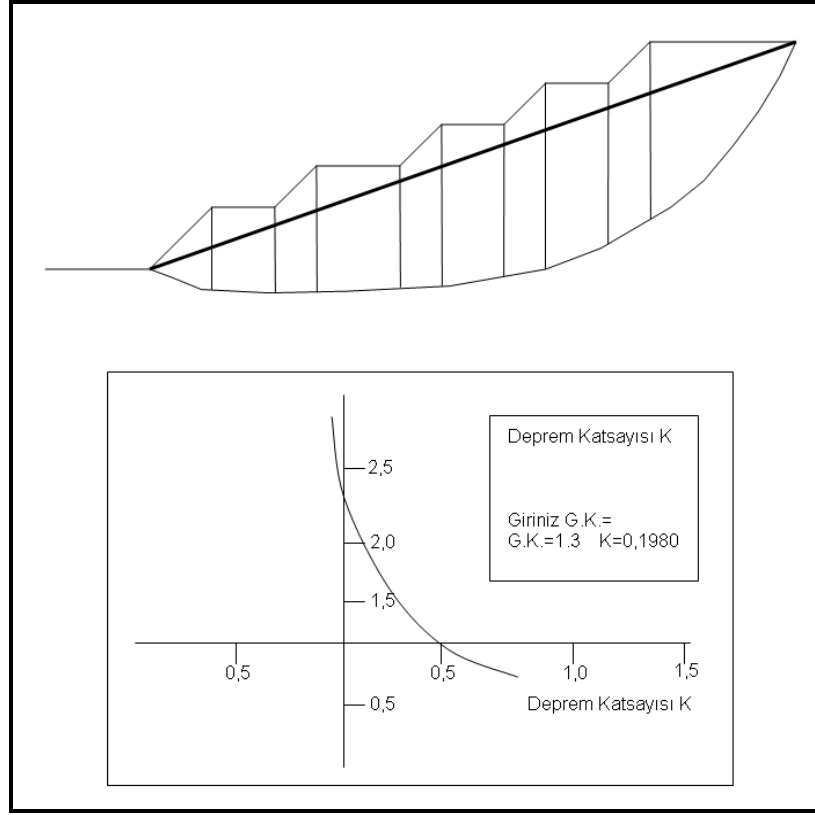
Şekil 5.24. STAB yazılımıyla Carter düzlemsel yenilme analizi.

5.5.2.3. Sarma Yöntemi

Sarma yöntemi dairesel, düzlemsel ve kompleks kayma düzlemleri için uygulanmaktadır. Yöntemin esasını dilimlere ayırma ile hesaplama oluşturmaktadır. Bu metoda hesaplama tek bir kayma yüzeyi için X ve Y koordinatlarının verilmesi suretiyle yapılmaktadır. Bu yöntemde de deprem katsayısına bağlı olarak güvenlik katsayısı değeri tespit edilmektedir. Sarma yöntemi kullanılmak yoluyla elde edilen grafik Şekil 5.25'te verilmektedir.

Şekilde;

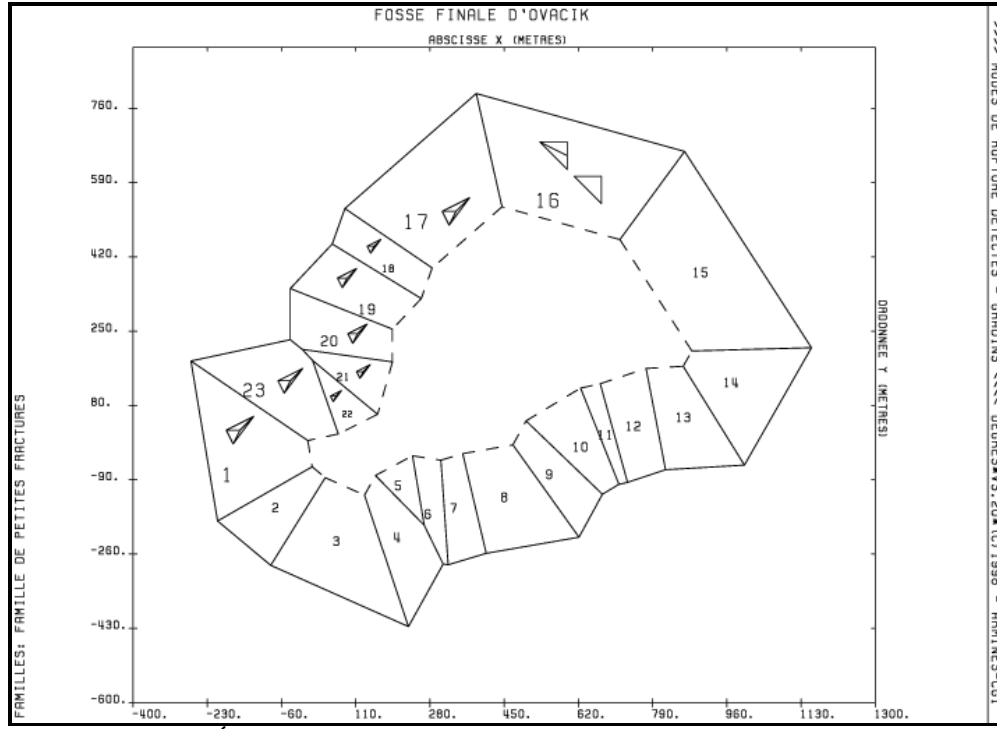
- Şev geometrisi,
- Kayma yüzeyi,
- Deprem katsayısına bağlı olarak elde edilen güvenlik katsayısı, durumları da gösterilmektedir.



Şekil 5.25. Sarma sismik yenilme analizi.

5.3.3. DEGRÉS Büyük Ölçekli Şev Duraylılık (Stabilite) Yazılımı

İşletmelerin üretim bittikten sonraki durumu üzerinden şev duraylılığı (stabilite) analizlerinde DEGRÉS adlı bilgisayar yazılımı kullanılmıştır. Analizi yapabilmek için öncelikle, ocak basamaklarının son durumunun geometrik özellikleri, yazılımın ilgili arayüzüne girilerek, genel şev içerisindeki formasyon kalınlık ve yükseklikleri belirlenmiştir. Bu esnada her bir formasyona ait fiziko-mekanik özelliklerle (birim hacim ağırlık, içsel sürtünme açısı ve kohezyon) süreksizlik türleri ve bunların kayma düzlemi özellikleri de ayrıca tanımlanmıştır. Yazılım, tanımlanan tüm bu özellikler üzerinden muhtemel kayma düzlemlerini ve kayma türlerini bir çıktı şeklinde vermektedir. Buna ek olarak emniyet katsayısı değerleri ve olası duraysız kütlelerin hacmi de otomatik olarak program tarafından tahmin edilip bir çıktı üzerinde alınabilmektedir. Yazılımın otomatik olarak hesapladığı kayma şekillerine ait bir örnek Şekil 5.26’da verilmiştir.



Şekil 5.26. DEGRÉS yazılımına ait kayma türü tahmini çıktısı.

6. BULGULAR ve TARTIŞMA

Mersin-Ovacık-Kargıcak kuvars kumtaşı ve Adana-Feke kuvarsit açık işletmelerindeki şevleri meydana getiren kireçtaşı, kuvarsit ve kuvars kumtaşı formasyonları ve içerdikleri süreksizliklerin, şev stabilite analizlerinde kullanılmak üzere, geometrik, fiziksel ve dayanım özelliklerini belirlemek amacıyla, arazide ve araziden laboratuvara getirilen numuneler üzerinde TS 699/1987 ve ISRM 1981'ye göre standartlaştırılmış ölçüm ve deneyler yapılarak, kaya kütleleri ve süreksizliklerin özellikleri tespit edilmiştir. Çalışmada öncelikle, her iki sahadaki genel şev boyunca oluşturulmuş basamaklar boyunca, kaya kütleleri, süreksizlikler ve süreksizlik yüzeylerinde ölçüm ve yerinde deneyler yapılmış ve temsili blok numuneler alınmıştır. Arazide, süreksizliklerin yönelim ve eğimleri, boyutları, aralarındaki mesafeler ve dolgu türleri ile süreksizlik yüzeylerindeki Schmidt sertlikleri tespit edilmiş ve süreksizlik yüzeylerini temsilen, laboratuvar için numune alınmıştır. Ayrıca, şevlerin içediği kaya kütleleri için de yönelim ve eğim tespiti yapılmış ve Schmidt sertlikleri tespit edildikten sonra temsili blok ve parça numuneler alınmıştır. Araziden getirilen numunelerden deney aletlerinde kullanılabilecek boyutlarda karot örnekler çıkarılarak, taş kesme testeresi ile ayarlanmıştır. Hazırlanan karot numuneler üzerinde laboratuvar, birim hacim ağırlık, nokta yükü dayanım indeksi, tek eksenli basma dayanımı, kohezyon ve içsel sürtünme açısının tespiti için makaslama dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Arazi ölçümleri ve laboratuvar deneyleri sonuçları kullanılarak, STAB, STAT ve DÉGRES gibi şev stabilite yazılımlarıyla, şev duraylılık analizleri gerçekleştirilmiştir. Şev duraylılık yazılımları yardımıyla, işletmelerin güncel ve nihaî şev geometrileri üzerinden emniyet katsayıları tespit edilerek bu değerler üzerinden, günümüzde ve gelecekte şevlerde meydana gelebilecek olası şev duraylılık problemleri tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Yapılan çalışmalar çok fazla sayıda veri ve analiz içerdüğinden, bu bölümde iki açık işletmede yapılan, arazi, laboratuvar ve şev duraylılık analizi çalışmalarına

ayrı başlıklar altında yer verilmiştir. Ovacık kuvars kumtaşı ocağına ait mevcut ve nihaî işletme planları mevcut olduğundan çalışmada ağırlık bu ocağa ve işletme planları üzerinden alınan kesitlerde duraylılık analizlerine verilmiş olmakla birlikte, Feke kuvarsit ocağı için de mevcut planlar üzerinden nihaî işletme planı oluşturularak kesitler alınıp, kesitler geometrisi kullanılarak şev duraylılık analizleri yapılmıştır.

6.1. Mersin-Ovacık Kuvars kumtaşı Ocağı'nda Duraylılık Analizi

6.1.1. Arazi Çalışmaları

Ovacık kuvars kumtaşı işletmesinde, her bir basamakta şerit metre ve inklinometreli pusula yardımıyla, kaya kütleleri ile içerdikleri süreksizliklerin yönelim ve eğimleri, boyutları, aralarındaki mesafeler ölçülmüş ve dolgu türleri ile süreksizlik yüzeylerinde Schmidt çekici ile Schmidt sertlikleri tespit edilmiştir. Ayrıca, kaya kütleleri ve içerdikleri süreksizlik yüzeylerini temsilen laboratuvar için numune alınmıştır.

6.1.1.1. Eklem Açıklıklarının Boyutları ve Dolgularının Tespit Edilmesi

Ovacık kuvars kumtaşı ocağını meydana getiren her bir basamak boyunca, kaya kütlelerinin içerdikleri süreksizliklerin boyut, ara mesafe ve dolgu türü tespiti için öncelikle basamak başlangıç noktalarından itibaren, çelik şerit metrenin toplam uzunluğu olan 50 m boyunca ölçümler yapılmış ve değerler arazi kayıt formlarına işlenmiştir. İlk elli metrenin bitiminden itibaren basamak sonuna kadar ve elli metreye eklenen mesafelerde ölçüm işlemlerine devam edilmiştir. Ovacık ocağında gerçekleştirilen incelemelerde, az sayıda kırık ve çatlak ile faya rastlanmış ve bunların çok sık aralıkta olmadığı gözlenmiştir. Temel kırık ve çatlakların açıklıklarının 1-2 mm ile yer yer 10 cm'ye ulaştıkları, boyutlarının çoğu zaman basamak ortalama yükseklikleri olan 10 ile 12 metreyi geçmedikleri ve boşlukların

az miktarda kil ile birlikte aşınma sonucu taşınmayla ve parçalanma sonucu oluşan birkaç mm boyutlu kuvarsit ve kireçtaşı parçacıklarıyla dolu olduğu gözlenmiştir.

6.1.1.2. İnklinometreli Pusula ile Kaya Kütleleri ve İçerdikleri Süreksizliklerin Doğrultu ve Eğimlerinin Tespit Edilmesi

Ovacık kuvars kumtaşı ocağını meydana getiren her bir basamak boyunca, kaya kütleleri ve içerdikleri süreksizliklerin yüzeylerinde pusula ve inklinometre (eğimölçer) yardımıyla gerçekleştirilen ölçümler sonucu, ocaktaki temel kireçtaşı birimlerinin yöneliminin 75/38 G, pembe kireçtaşı birimlerinin 64/42 G ve kuvars kumtaşı birimlerinin ise 70/45 G olduğu tespit edilmiştir. Kaya kütleleri içerisindeki 3 temel süreksizlik yüzeyinin yönelimlerinin 100.40, 126.40 ve 25.50, eğimlerinin ise 63.40 G, 72.80 N ve 78.60 D olduğu tespit edilmiştir.

6.1.1.3. Kaya Kütleleri ve İçerdikleri Süreksizliklerin Shmidt Sertliklerinin Tespit Edilmesi

Schmidt çekici, kaya kütleleri ve içerdikleri süreksizlik yüzeylerinin, duraylılık hesaplamalarında kullanılan JCS ve standart çevrim kartından basma dayanımının dolaylı yoldan tespiti için kullanılan bir alettir. Ovacık kuvars kumtaşı ocağını meydana getiren her bir basamak boyunca, basamağı meydana getiren kaya birimleri ve içerdikleri süreksizliklerin yüzeyleri temizlenerek, her bir yüzeyden Shmidt çekici ile en az 20 ölçüm yapılarak bunların ortalaması alınmıştır. Yapılan ölçümlerde ocağı meydana getiren kireçtaşı birimlerinin süreksizlik yüzeylerinin ortalama Schmidt sertliği değeri 15, pembe kireçtaşı birimlerinin süreksizlik yüzeylerinin ortalama Schmidt sertliği değeri 22 ve kuvarsit birimlerinin süreksizlik yüzeylerinin ortalama Schmidt sertliği değeri ise 38 olarak bulunmuştur.

6.1.1.4. Tilt Yöntemi ile Sınır Kayma Açısının Tespiti

Tilt test, arazide süreksizlikler ya da tabakalar arasındaki kayma açısını tahmin etmek için kullanılan, oldukça basit bir yöntemdir. Deney için basamaklardaki süreksizlik içeren tabakalardan ve kendiliğinden kaymış veya devrilmiş süreksizliğin her iki yüzeyini de içeren (üst üste tabakaları) numuneler alınmıştır. Süreksizlikle ayrılmış alt ve üst bloklar, üst blok alt bloğun üzerinden kaydırılacak şekilde, bir ucundan yukarıya doğru kaldırılarak, üst bloğun kaydığı an eğimlendirme durdurulmuş ve bu eğim başka bir kaya parçası ile sabitlenerek eğim inklinometre yardımı ile belirlenmiştir. Tilt deneyi sonucu kireçtaşı birimleri için sınır kayma açısı değeri 44° , pembe kireçtaşı birimleri için 43° ve kuvarsit birimleri için ise 41° olarak bulunmuştur.

6.1.2. Laboratuvar Çalışmaları

6.1.2.1. Birim Hacim Ağırlık Deneyi

Araziden getirilen blok ve parça numunelerden, tek eksenli basma dayanımı ve nokta yük dayanım indeksi için karotiyer yardımıyla alınıp, boyutlandırılan silindirik karot numuneler, 105°C 'ye ayarlanmış etüvde 24 saat kurutulmuş ve ortalama 5 saat desikatörde oda sıcaklığına soğutulmuştur. Daha sonra karot numunelerin çap ve boyları, kumpas yardımıyla ölçülmüştür. Boy ve çap değerleri kullanılarak örneğin hacmi hesaplanıp, 0,1 g hassasiyetindeki terazide tartılarak örneğin ağırlığı belirlenmiştir. Numunenin ağırlığı (W), hacmine (V) oranlanarak kuru birim hacim ağırlık (γ_d) değeri hesaplanmıştır. Tartım ve hesaplamalar sonucu bulunan, Ovacık kuvars kumtaşı ocağı birimlerine ait değerler Çizelge 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Ovacık kuvars kumtaşı ocağı birimlerine ait birim hacim ağırlık değerleri.

Birim	Numune No	Birim Hacim Ağırlık		Ortalama Birim Hacim Ağırlık	
		(kN/m ³)	(g/cm ³)	(kN/m ³)	(g/cm ³)
Kireçtaşı	1	27,21	2,72	27,04	2,70
	2	26,59	2,66		
	3	27,45	2,75		
	4	27,32	2,73		
	5	26,65	2,67		
Pembe Kireçtaşı	1	26,43	2,64	26,59	2,66
	2	26,13	2,61		
	3	27,12	2,71		
	4	26,56	2,66		
	5	26,71	2,67		
Kuvarsitik Kumtaşı	1	22,18	2,22	21,99	2,20
	2	21,87	2,19		
	3	21,69	2,17		
	4	22,33	2,23		
	5	21,87	2,19		

6.1.2.2. Nokta Yüğü Dayanım İndeksi Deneyi

Laboratuarda, karotiyerle alınan numuneler, uzunluk/çap oranı 1 olacak şekilde taş kesme testeresiyle hazırlanmıştır. Kesilerek hazırlanan karot numuneler 105°C'ye ayarlanmış etüvde 24 saat kurutulmuş ve ortalama 5 saat desikatörde oda sıcaklığına soğutulmuştur. Çapları, eksenel olarak çeşitli noktalardan, kumpasla tespit edilen numuneler, nokta yüğü dayanım indeksi deney aletinin konik uçları arasına yükleme yönüne dik olacak şekilde yerleştirilmiş ve numune kırılana kadar yükleme yapılmış ve kırılma yüğü değeri göstergeden okunmuştur. Kırılma yüğü ve eşdeğer çap üzerinden hesaplanan, Ovacık kuvars kumtaşı ocağı birimlerine ait nokta yüğü dayanım indeksi değerleri Çizelge 6.2'de verilmiştir. Ovacık kuvars kumtaşı ocağı kireçtaşı birimleri için ortalama nokta yüğü dayanım indeksi değeri 5,62 MPa, pembe kireçtaşı birimleri için 5,42 MPa ve kuvars kumtaşı birimleri için 3,50 MPa bulunmuştur.

Çizelge 6.2. Ovacık kuvars kumtaşı ocağı birimlerine ait nokta yükü dayanım indeksi değerleri.

Birim	Numune No	Nokta Yükü Dayanım İndeksi, I_s		Ortalama Nokta Yükü Dayanım İndeksi, I_s	
		(MPa)	(kg/cm ²)	(MPa)	(kg/cm ²)
Kireçtaşı	1	5,21	53,13	5,21	53,11
	2	5,13	52,31		
	3	5,42	55,27		
	4	5,32	54,25		
	5	4,96	50,58		
Pembe Kireçtaşı	1	4,43	45,17	4,47	45,54
	2	4,26	43,44		
	3	4,68	47,72		
	4	4,19	42,73		
	5	4,77	48,64		
Kuvarsitik Kumtaşı	1	3,27	33,34	3,42	34,91
	2	3,52	35,89		
	3	3,65	37,22		
	4	3,25	33,14		
	5	3,43	34,98		

6.1.2.3. Tek Eksenli Basma Dayanımı Deneyi

Tek eksenli basma dayanım deneyi için araziden getirilen blok numunelerden 42 mm'lik karotiyer yardımıyla numuneler alınmıştır. Bu numuneler, boy/çap oranı 2'nin altında olmayacak şekilde, taş kesme testeresi ile kesilerek hazırlanmış ve 105°C'ye ayarlanmış etüvde 24 saat kurutularak ortalama 5 saat desikatörde oda sıcaklığına soğutulmuştur. Hazırlanan karot numuneler, çapları kumpas yardımıyla ölçülerek, deney presinin yükleyici levhaları arasına yerleştirilmiş ve karot numunelere saniyede 10 kg artan bir şekilde, kırılana (yenilene) kadar yük uygulanmış, kırılma yükü kaydedilmiştir. Ovacık kuvars kumtaşı ocağı birimlerine ait tek eksenli basma dayanımı değerleri, birim yüzey alana gelen yük üzerinden hesaplanarak Çizelge 6.3'te verilmiştir. Ovacık kuvars kumtaşı ocağı kireçtaşı birimleri için ortalama tek eksenli basma dayanımı değerleri 66,30 MPa, pembe kireçtaşı birimleri için 64,21 ve kuvarsit birimleri için 44,53 MPa bulunmuştur.

Çizelge 6.3. Ovacık kuvars kumtaşı ocağı birimlerine ait tek eksenli basma dayanımı değerleri.

Birim	Numune No	Tek Eksenli Basma Dayanımı		Ortalama Tek Eksenli Basma Dayanımı	
		(MPa)	(kg/cm ²)	(MPa)	(kg/cm ²)
Kireçtaşı	1	71,13	725,31	70,44	718,30
	2	70,65	720,42		
	3	70,68	720,72		
	4	68,89	702,47		
	5	70,86	722,56		
Pembe Kireçtaşı	1	62,92	641,60	62,23	634,54
	2	61,27	624,77		
	3	62,56	637,92		
	4	61,78	629,97		
	5	62,61	638,43		
Kuvarsitik Kumtaşı	1	50,46	514,54	50,24	512,32
	2	49,28	502,51		
	3	50,23	512,20		
	4	50,86	518,62		
	5	50,38	513,72		

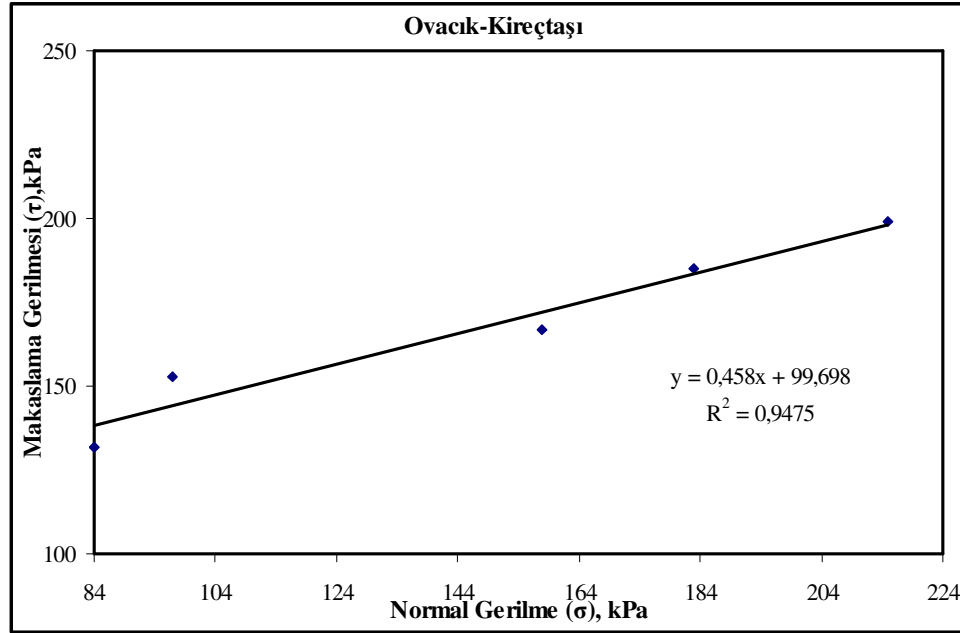
6.1.2.4. Doğrudan Kesme (Makaslama) Dayanımı Deneyi

Makaslama mukavemeti deneyi için laboratuvara getirilen, süreksizlik düzlemi içeren blok numunelerden, karotiyer yardımıyla boyu 10 cm'yi aşmayan 4,2 cm çaplı karot numuneler alınmış ve taş kesme testeresi ile alt-üst yüzeyleri kesilerek düzeltilmiştir. Karot numuneler, deney aleti iç haznesine uygun kalıplara, süreksizlik yüzeyi makaslama yüzeyine uygun tam yatay olacak şekilde yerleştirilmiştir. Beton kalıba alınan numuneler 21 günlük bir kür süresinden sonra kalıplardan çıkarıldıktan sonra iki parça halinde makaslama mukavemeti deney aletinin alt ve üst haznelerine yerleştirilmiştir. Hazne kapatıldıktan sonra normal gerilmeyi sağlayacak hidrolik sistemin düşey yükleme askısı ve makaslama yapacak hidrolik sistemin yatay askısı yerlerine yerleştirilmiş ve makaslama boyunca deplasmanı tespit etmek için komparatörler ayarlanarak, deney süresince sabit normal yük, yükleme değerine ulaşıncaya kadar hidrolik pompa ile artırılıp, makaslama kuvvetini sağlayan pompa kullanılarak, süreksizlik yüzeyi üzerine yatay doğrultuda makaslama kuvveti uygulanmıştır. Pik (tepe) makaslama dayanımı değerine ulaşıldıktan sonra artık

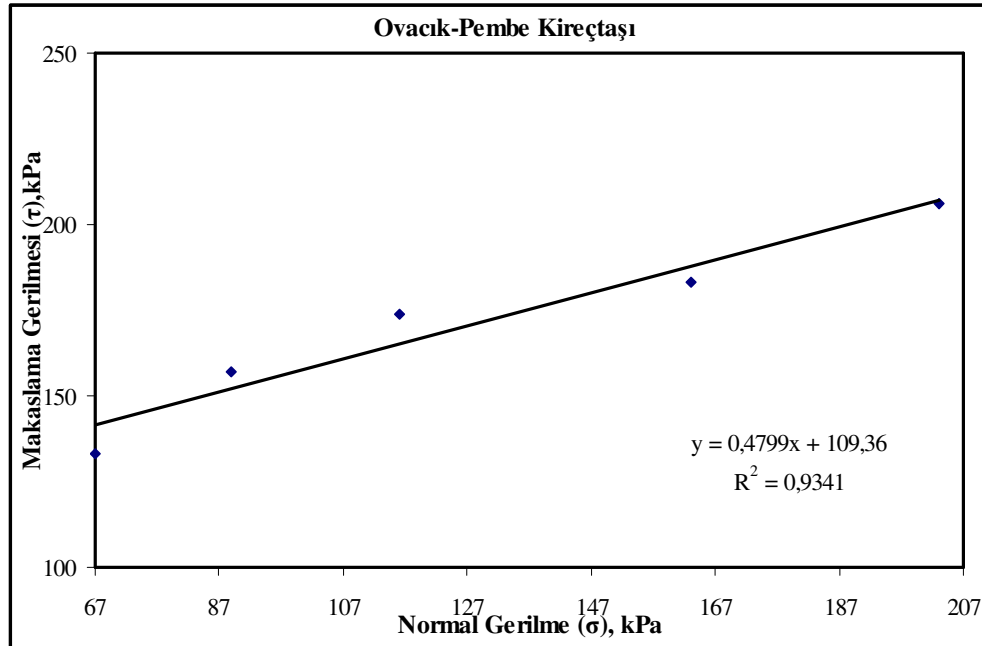
(rezidüel) makaslama dayanımını tespit etmek için komparatör ve makaslama göstergesi yük değerleri okunmaya devam edilmiştir. Deney artan normal gerilme değerleri için beş kez tekrar edilerek 5 makaslama dayanım değeri elde edilmiştir. Makaslama yer değiştirmeleri ve makaslama mukavemeti değerleri grafikler üzerine aktararak, her bir normal gerilme değeri için pik (tepe) makaslama dayanımı değerlerine ulaşılmış ve normal-makaslama gerilmesi grafikleri çizilmiştir. Bu grafikler, Şekil 6.1, 6.2 ve 6.3’de verilmiştir. Çizilen bu grafikler üzerinden bulunan Ovacık kuvars kumtaşı ocağı birimlerine ait kohezyon (c) ve içsel sürtünme açısı (ϕ) değerleri Çizelge 6.4’te verilmiştir. Ovacık kuvars kumtaşı ocağı kireçtaşı birimleri için ortalama kohezyon değerleri 138,17 kPa, pembe kireçtaşı birimleri için 141,51 ve kuvars kumtaşı birimleri için 339,12 kPa bulunmuştur. Kireçtaşı birimleri için ortalama içsel sürtünme açısı değerleri 24,6°, pembe kireçtaşı birimleri için 25,6° ve kuvars kumtaşı birimleri için 27,2° olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 6.4. Ovacık kuvars kumtaşı ocağı birimlerine ait kohezyon ve içsel sürtünme katsayısı değerleri.

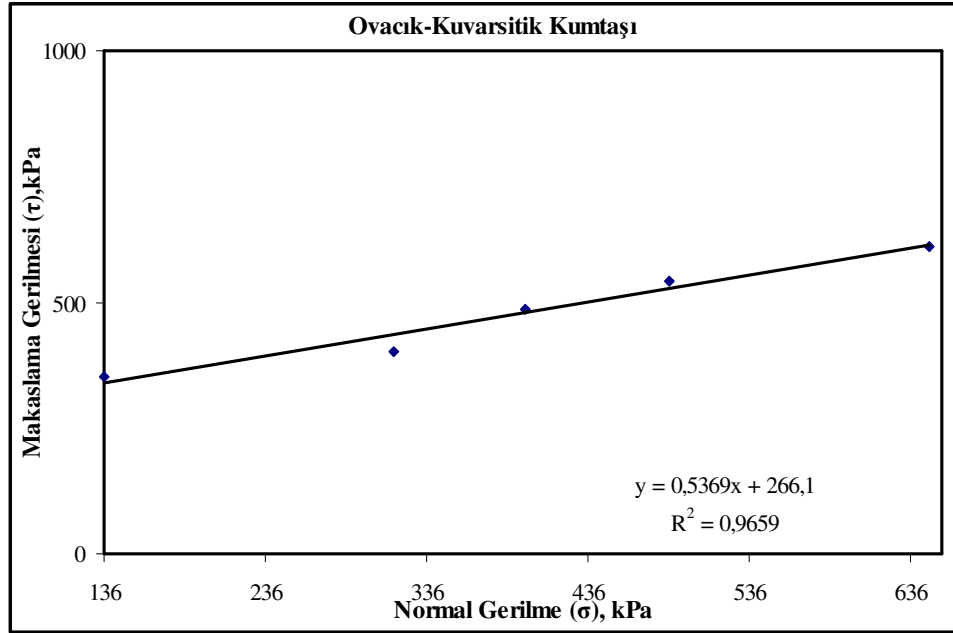
Birim	Deney No	Normal Gerilme	Makaslama Gerilmesi	Kohezyon, c	İçsel Sürtünme Açısı, ϕ
		(kPa)	(kPa)		
Kireçtaşı	1	84	132	138,17	24,60
	2	97	153		
	3	158	167		
	4	183	185		
	5	215	199		
Pembe Kireçtaşı	1	67	133	141,51	25,63
	2	89	157		
	3	116	174		
	4	163	183		
	5	203	206		
Kuvarsitik Kumtaşı	1	136	352	339,12	28,23
	2	315	403		
	3	397	486		
	4	486	542		
	5	647	611		



Şekil 6.1. Ovacık kuvars kumtaşı ocağı kireçtaşı birimlerine ait normal-makaslama gerilmesi grafiği.



Şekil 6.2. Ovacık kuvars kumtaşı ocağı pembe kireçtaşı birimlerine ait normal-makaslama gerilmesi grafiği.

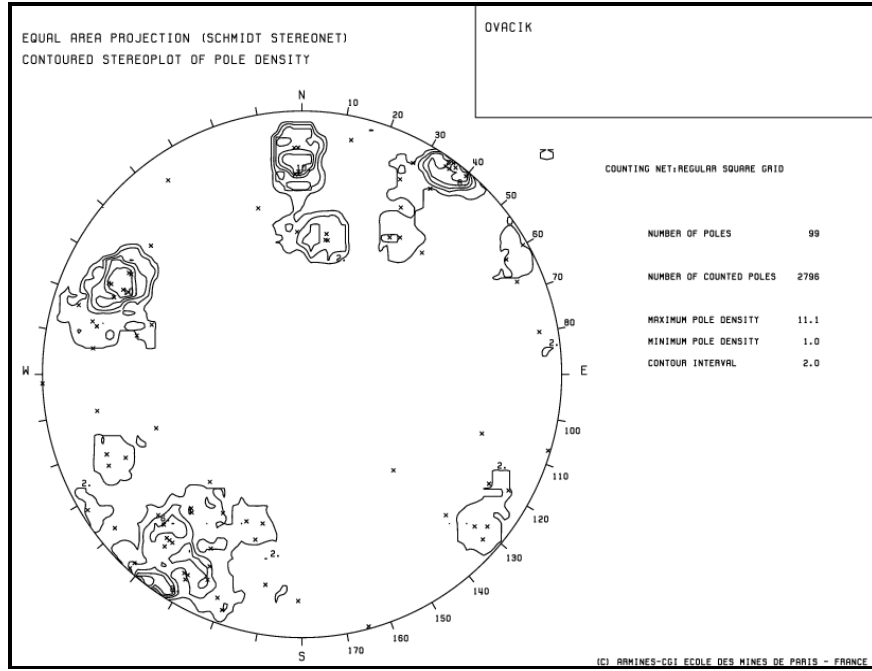


Şekil 6.3. Ovacık kuvars kumtaşı ocağı kuvars kumtaşı birimlerine ait normal-makaslama gerilmesi grafiği.

6.1.3. Bilgisayar Yazılımları ile Şev Duraylık Analizi

6.1.3.1. Eklem Takımlarının Ortalama Yönelim ve Eğimlerinin Distat Bilgisayar Yazılımı ile Tahmini

Feke kuvarsit ocağında, formasyonlarda mevcut süreksizliklerin, pusula, inklinometre (eğimölçer) ve şerit metre yardımıyla tespit edilen özellikleri tek tek Distat ve Stereostat yazılımlarındaki ilgili arayüz pencerelerine girilerek, bu değerlerin otomatik olarak stereonet üzerine aktarımı sağlanmıştır (Şekil 6.4). Bu işlemden sonra kontur-kutup diyagramları şeklinde çıktılar alınarak, aynı yönelimdeki süreksizlikler gruplandırılıp istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Gruplandırma sonrası, süreksizlik ya da eklem takımları belirlenip bunların yönelim ve eğimleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Yazılımlar, girilen değerler üzerinden Ovacık kuvars kumtaşı ocağında, ortalama yönelimleri 32.30, 81.10, 159.50 ve ortalama eğimleri 75.60 D, 72.40 G, 65.40 D olan 3 adet temel eklem takımı belirlemiştir.



Şekil 6.4. Ovacık kuvars kumtaşı ocağı süreksizliklerine ait stereonet.

6.1.3.2. Stab Bilgisayar Yazılımı Şev Duraylılık Analizi

Ovacık kuvars kumtaşı ocağı şev duraylılık analizi için öncelikle, ocağı meydana getiren birimlerin geometrik özellikleri, yazılımın ilgili arayüzüne girilerek, genel şev içerisindeki birimlerin kalınlık ve yükseklikleri belirlenmiştir. Bu esnada her bir birime ait fiziko-mekanik özellikler de (birim hacim ağırlık, içsel sürtünme açısı ve kohezyon) bu kısımda tanımlanmıştır. Oluşturulan şev geometrisi içerisinde, ana süreksizliklerin durumları da şev içerisindeki konumlarıyla işaretlenmiştir. Geometri ve bu geometri içerisindeki birimlerle süreksizliklerin bilgileri girildikten sonra, yazılım otomatik olarak, kayma yüzeylerini tanımlayan dairelerin merkez koordinatları ve yarıçaplarını hesaplayıp, bir çıktı olarak elde etmiştir ve en düşük emniyet katsayısı değerini hesaplamıştır. Ovacık kuvars kumtaşı ocağında, işletmenin nihaî planı üzerinde alınan kesitlerden birine ait yazılım çıktısı Şekil 6.10'da verilmiştir.

Bilgisayar yazılımlarının kullanılmasıyla, Ovacık kuvars kumtaşı ocağı mevcut basamaklar ve nihaî şev geometrisinde birbirine zıt yönde alınan iki kesit

üzerinde, çeşitli şev açıları için düzlemsel, dairesel ve psödo-statik kayma analizleri ayrıca yapılmış ve tüm durumlarda emniyet katsayıları hesaplanmıştır. Ovacık Kuvarsit İşletmesi mevcut durum için deprem olmadığı durumda Bishop dairesel, Carter düzlemsel ve Sarma kama türü yenilme olasılıkları üzerinden duraylılık (stabilite) analizi sonuçları Çizelge 6.5’te verilmiştir.

Çizelge 6.5. Ovacık Kuvarsit İşletmesi mevcut durum için deprem olmadığı durumda duraylılık (stabilite) analizi sonuçları.

Kesit No	Şev Yük. (m)	Şev Açısı (°)	Emniyet Katsayısı (F_s)		
			Bishop	Carter	Sarma
1A	146	26	2,80	2,73	2,68
2A	143	23	2,89	2,81	2,76
3A	177	18	3,06	2,95	2,84
4A	194	22	2,92	2,85	2,79

Ekte verilen mevcut işletme planından alınan kesitlerdeki şev yükseklikleri ve açıları üzerinden yapılan dairesel, düzlemsel ve kama türü yenilme analizlerinden, dairesel yenilme türü için en düşük emniyet katsayısı değeri 2,80, düzlemsel yenilme için 2,73 ve kama türü yenilme için 2,68 ile 146 m yüksekliğe ve 26° genel şev açısı ile 1A kesitinde elde edilmiştir.

Eşitlik 6.1 yardımıyla hareket ivmeleri (A) 6,0, 6,5 ve 7,0 deprem şiddetleri için hesaplanmıştır. Hesaplanan hareket ivmesi değerleri kullanılarak deprem katsayıları (K_c) ise eşitlik 6.2’den hesaplanıp sonuçlar Çizelge 6.6’da verilmiştir.

$$A = \frac{1,03h^{0,6}10^{0,54M}}{(r^2 + h^2)^{3/4}} \quad (6.1)$$

$$K_c = \frac{A}{980} \quad (6.2)$$

Çizelge 6.6. Dinamik duraylılık analizleri için kullanılan deprem katsayısı değerleri.

M, Deprem Şiddeti	A, cm/s ²	K _c
6,0	225,3394	0,229938
6,5	419,6017	0,428165
7,0	781,3349	0,797281

Hesaplamalarda, depremin etki derinliği (h) 10 m olarak kabul edilmiştir. En aktif fayın işletmenin içinde bulunduğu varsayılarak, deprem katsayısının hesap edildiği bölgeye olan uzaklık (r) ise 0 olarak alınmıştır.

Çizelge 6.12’de verilen ve hesaplamalarla bulunan deprem katsayısı değerleri kullanılarak, mevcut işletme planındaki kesitler üzerinde dinamik (psödo-statik) duraylılık analizleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 6.7’de verilmiştir.

Çizelge 6.7. Ovacık Kuvarsit İşletmesi mevcut durum için deprem şiddetine göre duraylılık (stabilite) analizi sonuçları.

Kesit No	Şev Yük. (m)	Şev Açısı (°)	Emniyet Katsayısı (F _s)								
			Bishop			Carter			Sarma		
			Deprem Şiddeti			Deprem Şiddeti			Deprem Şiddeti		
			6,0	6,5	7,0	6,0	6,5	7,0	6,0	6,5	7,0
1A	146	26	2,16	1,60	0,57	2,10	1,56	0,55	2,06	1,53	0,54
2A	143	23	2,23	1,65	0,59	2,16	1,61	0,57	2,13	1,58	0,56
3A	177	18	2,36	1,75	0,62	2,27	1,69	0,60	2,19	1,62	0,58
4A	194	22	2,25	1,67	0,59	2,19	1,63	0,58	2,15	1,60	0,57

Ekte verilen mevcut işletme planından alınan kesitlerdeki şev yükseklikleri ve açıları üzerinden deprem katsayılarını da hesaba katarak yapılan dairesel, düzlemsel ve kama türü yenilme analizlerinden, 6,0 şiddetinde bir deprem olması durumunda dairesel yenilme türü için en düşük emniyet katsayısı değeri 2,16, düzlemsel yenilme için 2,10 ve kama türü yenilme için 2,06 ile 146 m yüksekliğe ve 26° genel şev açısı ile 1A kesitinde elde edilmiştir. 6,5 şiddetinde bir deprem olması durumunda dairesel yenilme türü için en düşük emniyet katsayısı değeri 1,60, düzlemsel yenilme için 1,56 ve kama türü yenilme için 1,53 ile 146 m yüksekliğe ve 26° genel şev açısı ile

1A kesitinde elde edilmiştir. Bu emniyet katsayısı değerleri, sınır değer olarak kabul edilen 1,30'un üzerindedir. Yani şev 6,0 ile 6,5 arasında şiddete sahip bir depreme maruz kalsa dahi duraylı kalabilir. 7,0 şiddetinde bir deprem olması durumunda dairesel yenilme türü için en düşük emniyet katsayısı değeri 0,57, düzlemsel yenilme için 0,55 ve kama türü yenilme için 0,54 ile 146 m yüksekliğe ve 26° genel şev açısı ile 1A kesitinde elde edilmiştir ve değerler sınır değer olan 1,30'un oldukça altında kalmaktadır. Her üç analiz için de 7,0 şiddetinde bir deprem olması durumunda şevler bu geometride duraysızdır.

Ovacık kuvars kumtaşı işletmesinde mevcut ocak planları yanında, ekte verilen nihaî bir ocak planı da mevcuttur. Bu plan üzerinden seçilen 4 adet kesit üzerinde de işletmede gelecekte meydana gelebilecek yenilme olasılıkları hesap edilebilmektedir.

Ovacık Kuvarsit İşletmesi nihaî durum için 1B kesiti boyunca deprem tehlikesinin olmadığı ve çeşitli deprem katsayıları kullanarak Bishop dairesel, Carter düzlemsel ve Sarma kama türü yenilme olasılıkları üzerinden duraylılık (stabilite) analizi sonuçları elde edilen emniyet katsayısı değerleri Çizelge 6.8'de verilmiştir.

Çizelge 6.8. Ovacık Kuvarsit İşletmesi 1B kesiti için 191 m nihaî şev yüksekliğinde çeşitli şev açıları için duraylılık (stabilite) analizi sonuçları.

Kesit No-1B	Şev Açısı (°)	Emniyet Katsayısı (F_s)											
		Bishop				Carter				Sarma			
		Deprem Şiddeti				Deprem Şiddeti				Deprem Şiddeti			
		0	6,0	6,5	7,0	0	6,0	6,5	7,0	0	6,0	6,5	7,0
		1,81	1,39	1,04	0,37	1,72	1,32	0,98	0,35	1,63	1,26	0,93	0,33
	38	1,81	1,39	1,04	0,37	1,72	1,32	0,98	0,35	1,63	1,26	0,93	0,33
	40	1,78	1,37	1,02	0,36	1,71	1,32	0,98	0,35	1,65	1,27	0,94	0,33
	42	1,75	1,35	1,00	0,35	1,67	1,29	0,95	0,34	1,61	1,24	0,92	0,33
	44	1,70	1,31	0,97	0,34	1,59	1,22	0,91	0,32	1,52	1,17	0,87	0,31

1B kesitindeki en yüksek nihaî şev yüksekliği ve tahmini olarak artırılan şev açıları üzerinden deprem tehlikesinin olmadığı durumda yapılan dairesel, düzlemsel ve kama türü yenilme analizlerinden, dairesel yenilme türü için en düşük emniyet

katsayısı değeri 1,70, düzlemsel yenilme için 1,59 ve kama türü yenilme için 1,52 ile 44° genel şev açısı ile elde edilmiştir. Deprem şiddetinin 6,5 olması durumunda bile hemen tüm yenilme analizlerinde emniyet katsayısı değerleri sınır değerinin altında elde edilmiştir. Bu durumda, 6,5 ve üzerinde şiddete sahip bir deprem olması durumunda gelecekte bu kesitin alındığı hat boyunca, tüm yenilme türleri olası olarak gelişebilir denilebilir.

2B kesiti boyunca deprem tehlikesinin olmadığı ve çeşitli deprem katsayıları kullanarak Bishop dairesel, Carter düzlemsel ve Sarma kama türü yenilme olasılıkları üzerinden duraylılık (stabilite) analizi sonuçları elde edilen emniyet katsayısı değerleri Çizelge 6.9’da verilmiştir.

Çizelge 6.9. Ovacık Kuvarsit İşletmesi 2B kesiti için 190 m nihaî şev yüksekliğinde çeşitli şev açılarında duraylılık (stabilite) analizi sonuçları.

Kesit No-2B	Şev Açısı (°)	Emniyet Katsayısı (F _s)											
		Bishop				Carter				Sarma			
		Deprem Şiddeti				Deprem Şiddeti				Deprem Şiddeti			
		0	6,0	6,5	7,0	0	6,0	6,5	7,0	0	6,0	6,5	7,0
		33	1,85	1,42	1,06	0,38	1,77	1,36	1,01	0,36	1,69	1,30	0,97
35	1,78	1,37	1,02	0,36	1,69	1,30	0,97	0,34	1,62	1,25	0,93	0,33	
37	1,73	1,33	0,99	0,35	1,63	1,26	0,93	0,33	1,56	1,20	0,89	0,32	
39	1,66	1,28	0,95	0,34	1,60	1,23	0,91	0,32	1,53	1,18	0,87	0,31	

2B kesitindeki en yüksek nihaî şev yüksekliği ve tahmini olarak artırılan şev açıları üzerinden deprem tehlikesinin olmadığı durumda yapılan dairesel, düzlemsel ve kama türü yenilme analizlerinden, dairesel yenilme türü için en düşük emniyet katsayısı değeri 1,66, düzlemsel yenilme için 1,60 ve kama türü yenilme için 1,53 ile 39° genel şev açısı ile elde edilmiştir. Deprem şiddetinin 6,5 olması durumunda hemen tüm yenilme analizlerinde, hesaplanan emniyet katsayısı değerleri sınır değerinin altında elde edilmiştir. Bu durumda, 6,5 ve üzerinde şiddete sahip bir deprem olması durumunda gelecekte bu kesitin alındığı hat boyunca, tüm yenilme türleri olası olarak gelişebilir denilebilir.

3B kesiti boyunca deprem tehlikesinin olmadığı ve çeşitli deprem katsayıları kullanarak Bishop dairesel, Carter düzlemsel ve Sarma kama türü yenilme olasılıkları üzerinden duraylılık (stabilite) analizi sonuçları elde edilen emniyet katsayısı değerleri Çizelge 6.10’da verilmiştir.

Çizelge 3.10. Ovacık Kuvarsit İşletmesi 3B kesiti için 281 m nihaî şev yüksekliğinde çeşitli şev açılarında duraylılık (stabilite) analizi sonuçları.

Kesit No-3B	Şev Açısı (°)	Emniyet Katsayısı (F_s)											
		Bishop				Carter				Sarma			
		Deprem Şiddeti				Deprem Şiddeti				Deprem Şiddeti			
		0	6,0	6,5	7,0	0	6,0	6,5	7,0	0	6,0	6,5	7,0
	31	1,89	1,46	1,08	0,38	1,81	1,39	1,04	0,37	1,73	1,33	0,99	0,35
	33	1,82	1,40	1,04	0,37	1,74	1,34	0,99	0,35	1,65	1,27	0,94	0,33
	35	1,77	1,36	1,01	0,36	1,70	1,31	0,97	0,34	1,63	1,26	0,93	0,33
	37	1,69	1,30	0,97	0,34	1,62	1,25	0,93	0,33	1,56	1,20	0,89	0,32

3B kesitindeki en yüksek nihaî şev yüksekliği ve tahmini olarak artırılan şev açıları üzerinden deprem tehlikesinin olmadığı durumda yapılan dairesel, düzlemsel ve kama türü yenilme analizlerinden, dairesel yenilme türü için en düşük emniyet katsayısı değeri 1,69, düzlemsel yenilme için 1,62 ve kama türü yenilme için 1,56 ile 37° genel şev açısı ile elde edilmiştir. Deprem şiddetinin 6,5 olması durumunda hemen tüm yenilme analizlerinde, hesaplanan emniyet katsayısı değerleri sınır değerinin altında elde edilmiştir. Bu durumda, 6,5 ve üzerinde şiddete sahip bir deprem olması durumunda gelecekte bu kesitin alındığı hat boyunca, tüm yenilme türleri olası olarak gelişebilir denilebilir.

4B kesiti boyunca deprem tehlikesinin olmadığı ve çeşitli deprem katsayıları kullanarak Bishop dairesel, Carter düzlemsel ve Sarma kama türü yenilme olasılıkları üzerinden duraylılık (stabilite) analizi sonuçları elde edilen emniyet katsayısı değerleri Çizelge 6.11’de verilmiştir.

4B kesitindeki en yüksek nihaî şev yüksekliği ve tahmini olarak artırılan şev açıları üzerinden deprem tehlikesinin olmadığı durumda yapılan dairesel, düzlemsel

ve kama türü yenilme analizlerinden, dairesel yenilme türü için en düşük emniyet katsayısı değeri 1,54, düzlemsel yenilme için 1,49 ve kama türü yenilme için 1,42 ile 37° genel şev açısı ile elde edilmiştir.

Çizelge 6.11. Ovacık Kuvarsit İşletmesi 4B kesiti için 303 m nihaî şev yüksekliğinde çeşitli şev açılarında duraylılık (stabilite) analizi sonuçları.

Kesit No-4B	Şev Açısı (°)	Emniyet Katsayısı (F _s)											
		Bishop				Carter				Sarma			
		Deprem Şiddeti				Deprem Şiddeti				Deprem Şiddeti			
		0	6,0	6,5	7,0	0	6,0	6,5	7,0	0	6,0	6,5	7,0
	31	1,76	1,36	1,01	0,36	1,70	1,31	0,97	0,34	1,64	1,26	0,94	0,33
33	1,68	1,29	0,96	0,34	1,60	1,23	0,91	0,32	1,54	1,19	0,88	0,31	
35	1,60	1,23	0,91	0,32	1,52	1,17	0,87	0,31	1,43	1,10	0,82	0,29	
37	1,54	1,19	0,88	0,31	1,49	1,15	0,85	0,30	1,42	1,09	0,81	0,29	

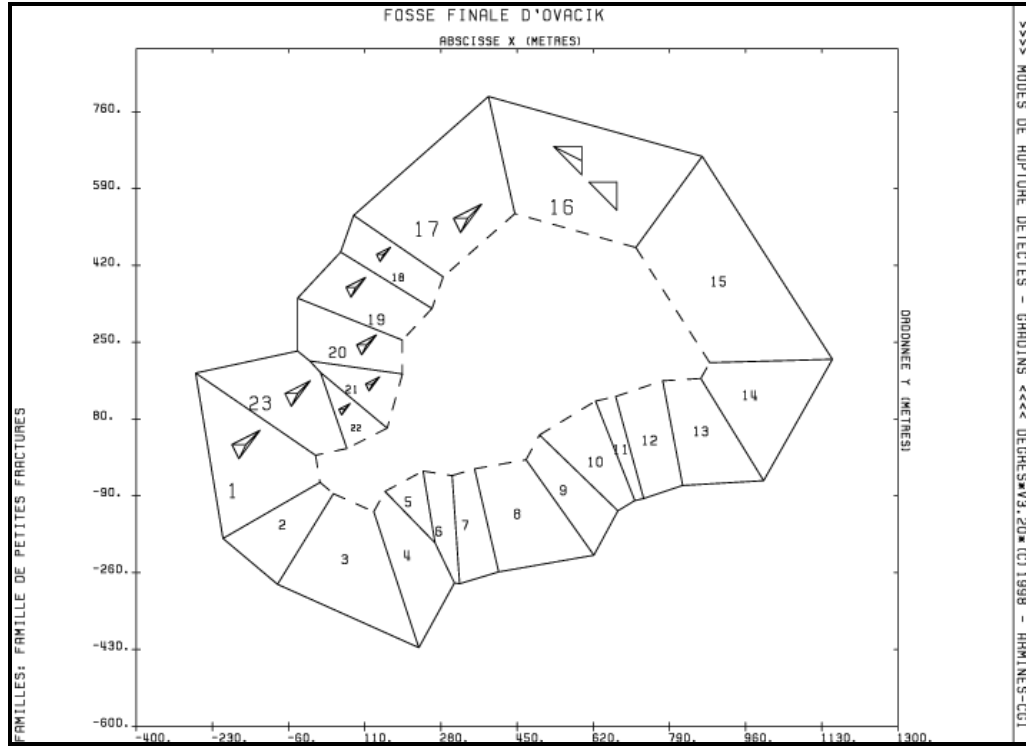
Deprem şiddetinin 6,0 olması durumunda hemen tüm yenilme analizlerinde, hesaplanan emniyet katsayısı değerleri sınır değer civarında elde edilmiştir. Bu durumda, 6,0 ve üzerinde şiddete sahip bir deprem olması durumunda gelecekte bu kesitin alındığı hat boyunca, tüm yenilme türleri olası olarak gelişebilir denilebilir.

6.1.3.3. Degrés Bilgisayar Yazılımı Şev Duraylılık Analizi

Ovacık kuvars kumtaşı ocağında Degrés yazılımı ile duraylılık analizi yapabilmek için öncelikle, işletme tarafından belirlenen nihaî işletme planındaki basamakların son durumunun geometrik özellikleri, yazılımın ilgili arayüzüne girilerek, genel şev içerisindeki formasyon kalınlık ve yükseklikleri belirlenmiştir. Bu esnada her bir formasyona ait fiziko-mekanik özelliklerle (birim hacim ağırlık, içsel sürtünme açısı ve kohezyon) süreksizlik türleri ve bunların kayma düzlemi özellikleri de ayrıca tanımlanmıştır. Girilen bu veriler üzerinden yazılım, muhtemel kayma düzlemlerini ve kayma türlerini bir çıktı şeklinde vermiştir. Buna ek olarak emniyet katsayısı değerleri ve olası duraysız kütlelerin hacmi de otomatik olarak

program tarafından tahmin edilip bir çıktı üzerinde alınabilmektedir. Ovacık kuvars kumtaşı ocağı için yazılımın otomatik olarak hesapladığı kayma şekillerine ait bir örnek Şekil 6.5'te verilmiştir.

Yazılım Ovacık kuvars kumtaşı ocağını, nihaî durumdaki geometrisine göre 23 sektöre ayırmış ve her sektörü içerdiği birimlerin durumları, süreksizlikler ve geometrisine göre analiz ederek, kayma olasılığı muhtemel sektörleri belirlemiş ve bu sektörlerdeki kayma türlerini simgelerle işaretlemiştir. Ovacık kuvars kumtaşı ocağı tahmini nihaî ocak planı üzerinden yapılan analizlerde, ocağın KB yönündeki 9 sektörde kayma meydana gelme olasılığı mevcuttur. Tüm sektörlerde çok küçük hacimlerde düzlemsel yenilme olasılığı mevcut olmakla birlikte, yine küçük hacimlerde 1, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22 ve 23. sektörlerde yerel kama türü yenilme olasılığı mevcuttur.



Şekil 6.5. Ovacık kuvars kumtaşı ocağı nihaî şevi Degrés yazılımı duraylılık analizi çıktısı.

6.2. Adana-Feke Kuvarsit Ocağı'nda Duraylılık Analizi

6.2.1. Arazi Çalışmaları

Feke kuvarsit işletmesinde, her bir basamakta şerit metre ve inklinometreli pusula yardımıyla, kaya kütleleri ile içerdikleri süreksizliklerin yönelim ve eğimleri, boyutları, aralarındaki mesafeler ölçülmüş ve dolgu türleri ile süreksizlik yüzeylerinde Schmidt çekici ile Schmidt sertlikleri tespit edilmiştir. Ayrıca, kaya kütleleri ve içerdikleri süreksizlik yüzeylerini temsilen laboratuvar için numune alınmıştır.

6.2.1.1. Eklem Açıklıklarının Boyutları ve Dolgularının Tespit Edilmesi

Feke kuvarsit ocağını meydana getiren her bir basamak boyunca, kaya kütlelerinin içerdikleri süreksizliklerin boyut, ara mesafe ve dolgu türü tespiti için öncelikle basamak başlangıç noktalarından itibaren, çelik şerit metrenin toplam uzunluğu olan 50 m boyunca ölçümler yapılmış ve değerler arazi kayıt formlarına işlenmiştir. İlk elli metrenin bitiminden itibaren basamak sonuna kadar ve elli metreye eklenen mesafelerde ölçüm işlemlerine devam edilmiştir. Feke ocağında gerçekleştirilen incelemelerde, az sayıda kırık ve çatlak ile faya rastlanmış ve bunların çok sık aralıkta olmadığı gözlenmiştir. Temel kırık ve çatlakların açıklıklarının 1 mm ile yer yer 5-10 cm'ye ulaştıkları, boyutlarının çoğu zaman basamak ortalama yükseklikleri olan 8 ile 10 metreyi geçmedikleri ve boşlukların genelde kil içermeyip, aşınma sonucu taşınmayla ve parçalanma sonucu oluşan birkaç mm boyutlu kuvarsit ve kireçtaşı parçacıklarıyla dolu olduğu gözlenmiştir.

6.2.1.2. İnklinometreli Pusula ile Kaya Kütleleri ve İçerdikleri Süreksizliklerin Doğrultu ve Eğimlerinin Tespit Edilmesi

Feke kuvarsit ocağını meydana getiren her bir basamak boyunca, kaya kütleleri ve içerdikleri süreksizliklerin yüzeylerinde pusula ve inklinometre (eğimölçer) yardımıyla gerçekleştirilen ölçümler sonucu, ocaktaki temel kireçtaşı birimlerinin yöneliminin 207/66 G, kuvarsit birimlerinin ise 216/62 G olduğu tespit edilmiştir. Kaya kütleleri içerisindeki 3 temel süreksizlik yüzeyinin yönelimlerinin 32.30, 81.10 ve 159.50, eğimlerinin ise 75.60 D, 72.40 G ve 65.40 D olduğu tespit edilmiştir.

6.2.1.3. Kaya Kütleleri ve İçerdikleri Süreksizliklerin Shmidt Sertliklerinin Tespit Edilmesi

Schmidt çekici, kaya kütleleri ve içerdikleri süreksizlik yüzeylerinin, duraylılık hesaplamalarında kullanılan JCS ve standart çevrim kartından basma dayanımının dolaylı yoldan tespiti için kullanılan bir alettir. Feke kuvarsit ocağını meydana getiren her bir basamak boyunca, basamağı meydana getiren kaya birimleri ve içerdikleri süreksizliklerin yüzeyleri temizlenerek, her bir yüzeyden Shmidt çekici ile en az 20 ölçüm yapılarak bunların ortalaması alınmıştır. Yapılan ölçümlerde ocağı meydana getiren kireçtaşı birimlerinin süreksizlik yüzeylerinin ortalama Schmidt sertliği değeri 15 ve kuvarsit birimlerinin süreksizlik yüzeylerinin ortalama Schmidt sertliği değeri ise 35 olarak bulunmuştur.

6.2.1.4. Tilt Yöntemi ile Sınır Kayma Açısının Tespiti

Tilt test, arazide süreksizlikler ya da tabakalar arasındaki kayma açısını tahmin etmek için kullanılan, oldukça basit bir yöntemdir. Deney için basamaklardaki süreksizlik içeren tabakalardan ve kendiliğinden kaymış veya

devrilmiş süreksizliğin her iki yüzeyini de içeren (üst üste tabakaları) numuneler alınmıştır. Süreksizlikle ayrılmış alt ve üst bloklar, üst blok alt bloğun üzerinden kaydırılacak şekilde, bir ucundan yukarıya doğru kaldırılarak, üst bloğun kaydığı an eğimlendirme durdurulmuş ve bu eğim başka bir kaya parçası ile sabitlenerek eğim inklinometre yardımı ile belirlenmiştir. Tilt deneyi sonucu kireçtaşı birimleri için sınır kayma açısı değeri 49° ve kuvarsit birimleri için ise 37° olarak bulunmuştur.

6.2.2. Laboratuvar Çalışmaları

6.2.2.1. Birim Hacim Ağırlık Deneyi

Araziden getirilen blok ve parça numunelerden, tek eksenli basma dayanımı ve nokta yük dayanım indeksi için karotiyer yardımıyla alınıp, boyutlandırılan silindirik karot numuneler, 105°C 'ye ayarlanmış etüvde 24 saat kurutulmuş ve ortalama 5 saat desikatörde oda sıcaklığına soğutulmuştur. Daha sonra karot numunelerin çap ve boyları, kumpas yardımıyla ölçülmüştür. Boy ve çap değerleri kullanılarak örneğin hacmi hesaplanıp, 0,1 g hassasiyetindeki terazide tartılarak örneğin ağırlığı belirlenmiştir. Numunenin ağırlığı (W), hacmine (V) oranlanarak kuru birim hacim ağırlık (γ_d) değeri hesaplanmıştır. Tartım ve hesaplamalar sonucu bulunan, Feke kuvarsit ocağı birimlerine ait değerler Çizelge 6.12'de verilmiştir.

Çizelge 6.12. Feke kuvarsit ocağı birimlerine ait birim hacim ağırlık değerleri.

Birim	Numune No	Birim Hacim Ağırlık		Ortalama Birim Hacim Ağırlık	
		(kN/m^3)	(g/cm^3)	(kN/m^3)	(g/cm^3)
Kireçtaşı	1	25,43	2,54	25,50	2,55
	2	25,21	2,52		
	3	25,64	2,56		
	4	25,19	2,52		
	5	26,04	2,60		
Kuvarsit	1	21,86	2,20	21,56	2,16
	2	22,14	2,21		
	3	21,43	2,14		
	4	21,11	2,11		
	5	21,25	2,12		

6.2.2.2. Nokta Yüğü Dayanım İndeksi Deneyi

Laboratuarda, karotiyerle alınan numuneler, uzunluk/çap oranı 1 olacak şekilde taş kesme testeresiyle hazırlanmıştır. Kesilerek hazırlanan karot numuneler 105°C'ye ayarlanmış etüvde 24 saat kurutulmuş ve ortalama 5 saat desikatörde oda sıcaklığına soğutulmuştur. Çapları, eksenel olarak çeşitli noktalardan, kumpasla tespit edilen numuneler, nokta yüğü dayanım indeksi deney aletinin konik uçları arasına yükleme yönüne dik olacak şekilde yerleştirilmiş ve numune kırılana kadar yükleme yapılmış ve kırılma yüğü değeri göstergeden okunmuştur. Kırılma yüğü ve eşdeğer çap üzerinden hesaplanan, Feke kuvarsit ocağı birimlerine ait nokta yüğü dayanım indeksi değeri Çizelge 6.13'te verilmiştir. Feke kuvarsit ocağı kireçtaşı birimleri için ortalama nokta yüğü dayanım indeksi değeri 5,62 MPa, kuvarsit birimleri için 3,50 MPa bulunmuştur.

Çizelge 6.13. Feke kuvarsit ocağı birimlerine ait nokta yüğü dayanım indeksi değeri.

Birim	Numune No	Nokta Yüğü Dayanım İndeksi, I_s		Ortalama Nokta Yüğü Dayanım İndeksi, I_s	
		(MPa)	(kg/cm ²)	(MPa)	(kg/cm ²)
Kireçtaşı	1	5,24	53,43	5,62	57,28
	2	5,88	59,95		
	3	5,91	60,26		
	4	5,49	55,98		
	5	5,57	56,80		
Kuvarsit	1	3,65	37,22	3,50	35,73
	2	3,43	34,98		
	3	3,52	35,89		
	4	3,69	37,63		
	5	3,23	32,94		

6.2.2.3. Tek Eksenli Basma Dayanımı Deneyi

Tek eksenli basma dayanım deneyi için araziden getirilen blok numunelerden 42 mm'lik karotiyer yardımıyla numuneler alınmıştır. Bu numuneler, boy/çap oranı 2'nin altında olmayacak şekilde, taş kesme testeresi ile kesilerek hazırlanmış ve

105°C'ye ayarlanmış etüvde 24 saat kurutularak ortalama 5 saat desikatörde oda sıcaklığına soğutulmuştur. Hazırlanan karot numuneler, çapları kumpas yardımıyla ölçülerek, deney presinin yükleyici levhaları arasına yerleştirilmiş ve karot numunelere saniyede 10 kg artan bir şekilde, kırılana (yenilene) kadar yük uygulanmış, kırılma yükü kaydedilmiştir. Feke kuvarsit ocağı birimlerine ait tek eksenli basma dayanımı değerleri, birim yüzey alana gelen yük üzerinden hesaplanarak Çizelge 6.14'te verilmiştir. Feke kuvarsit ocağı kireçtaşı birimleri için ortalama tek eksenli basma dayanımı değerleri 66,30 MPa, kuvarsit birimleri için 44,53 MPa bulunmuştur.

Çizelge 6.14. Feke kuvarsit ocağı birimlerine ait tek eksenli basma dayanımı değerleri.

Birim	Numune No	Tek Eksenli Basma Dayanımı		Ortalama Tek Eksenli Basma Dayanımı	
		(MPa)	(kg/cm ²)	(MPa)	(kg/cm ²)
Kireçtaşı	1	65,68	669,74	66,30	676,02
	2	59,62	607,95		
	3	71,23	726,33		
	4	66,42	677,28		
	5	68,53	698,80		
Kuvarsit	1	42,61	434,49	44,53	454,09
	2	46,13	470,39		
	3	43,56	444,18		
	4	43,22	440,71		
	5	47,14	480,69		

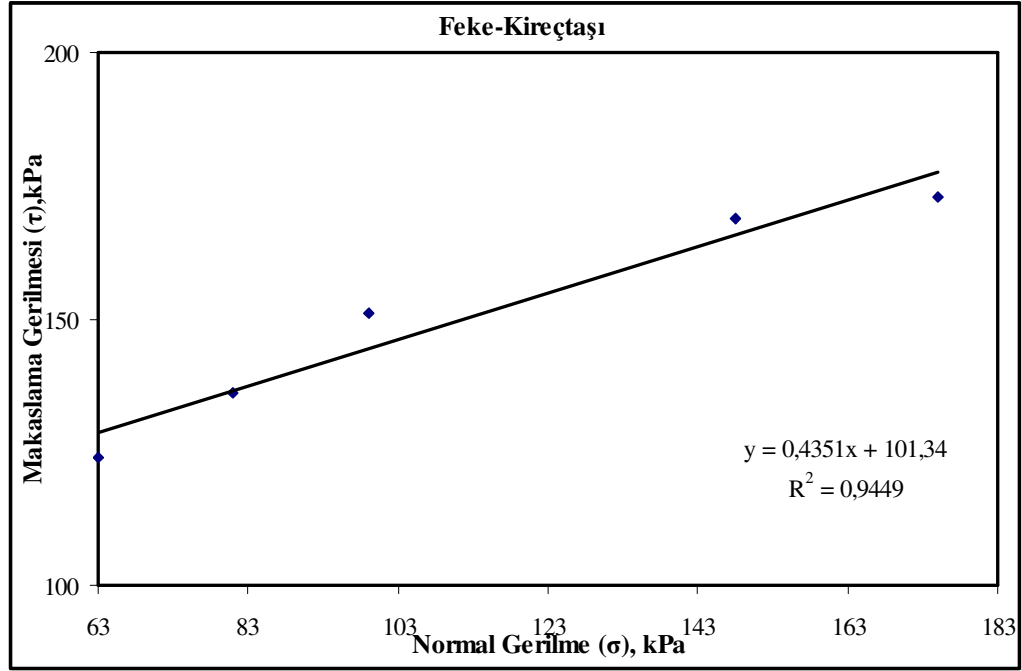
6.2.2.4. Doğrudan Kesme (Makaslama) Dayanımı Deneyi

Makaslama mukavemeti deneyi için laboratuvara getirilen, süreksizlik düzlemi içeren blok numunelerden, karotiyer yardımıyla boyu 10 cm'yi aşmayan 4,2 cm çaplı karot numuneler alınmış ve taş kesme testeresi ile alt-üst yüzeyleri kesilerek düzeltilmiştir. Karot numuneler, deney aleti iç haznesine uygun kalıplara, süreksizlik yüzeyi makaslama yüzeyine uygun tam yatay olacak şekilde yerleştirilmiştir. Beton kalıba alınan numuneler 21 günlük bir kür süresinden sonra kalıplardan çıkarıldıktan sonra iki parça halinde makaslama mukavemeti deney aletinin alt ve üst haznelerine

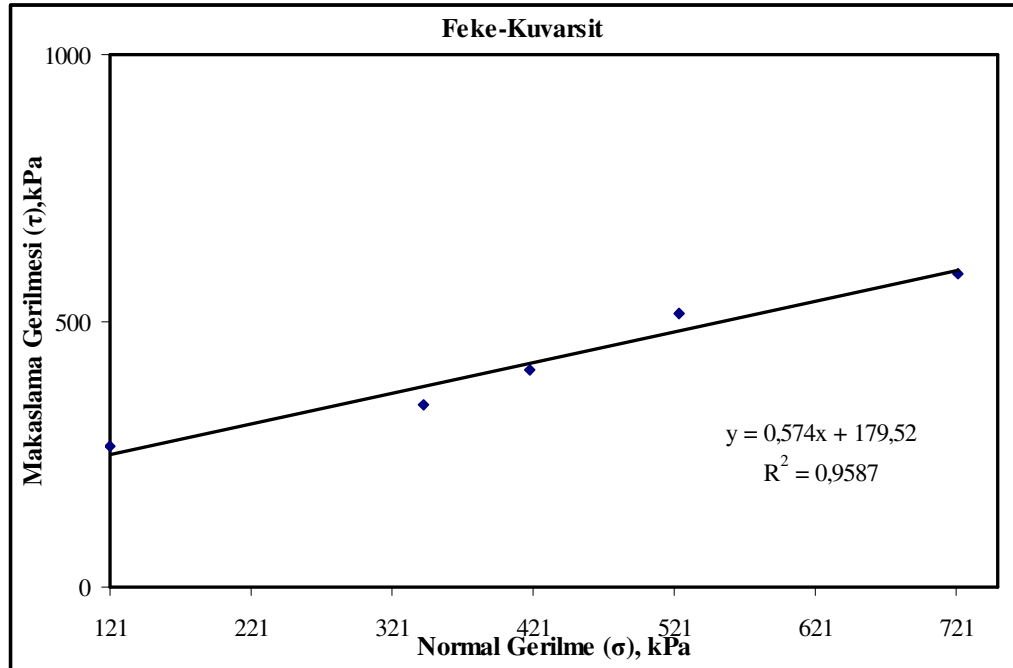
yerleştirilmiştir. Hazne kapatıldıktan sonra normal gerilmeyi sağlayacak hidrolik sistemin düşey yükleme askısı ve makaslama yapacak hidrolik sistemin yatay askısı yerlerine yerleştirilmiş ve makaslama boyunca deplasmanı tespit etmek için komparatörler ayarlanarak, deney süresince sabit normal yük, yükleme değerine ulaşıncaya kadar hidrolik pompa ile artırılıp, makaslama kuvvetini sağlayan pompa kullanılarak, süreksizlik yüzeyi üzerine yatay doğrultuda makaslama kuvveti uygulanmıştır. Pik (tepe) makaslama dayanımı değerine ulaşıldıktan sonra artık (rezidüel) makaslama dayanımını tespit etmek için komparatör ve makaslama göstergesi yük değerleri okunmaya devam edilmiştir. Deney artan normal gerilme değerleri için beş kez tekrar edilerek 5 makaslama dayanım değeri elde edilmiştir. Makaslama yer değiştirmeleri ve makaslama mukavemeti değerleri grafikler üzerine aktararak, her bir normal gerilme değeri için pik (tepe) makaslama dayanımı değerlerine ulaşılmış ve normal-makaslama gerilmesi grafikleri çizilmiştir. Bu grafikler, Şekil 6.6 ve 6.7’de verilmiştir. Çizilen bu grafikler üzerinden bulunan Feke kuvarsit ocağı birimlerine ait kohezyon (c) ve içsel sürtünme açısı (ϕ) değerleri Çizelge 6.15’te verilmiştir. Feke kuvarsit ocağı kireçtaşı birimleri için ortalama kohezyon değerleri 135,42 kPa, kuvarsit birimleri için 288,14 kPa bulunmuştur. Kireçtaşı birimleri için ortalama içsel sürtünme açısı değerleri $21,5^\circ$ ve kuvarsit birimleri için $27,5^\circ$ olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 6.15. Feke kuvarsit ocağı birimlerine ait kohezyon ve içsel sürtünme katsayısı değerleri.

Birim	Deney No	Normal Gerilme	Makaslama Gerilmesi	Kohezyon, c	İçsel Sürtünme Açısı, ϕ
		(kPa)	(kPa)	(kPa)	($^\circ$)
Kireçtaşı	1	63	124	135,42	21,5
	2	81	182		
	3	99	246		
	4	148	365		
	5	175	421		
Kuvarsit	1	121	265	288,14	27,5
	2	343	342		
	3	418	408		
	4	524	515		
	5	722	589		



Şekil 6.6. Feke kuvarsit ocağı kireçtaşı birimlerine ait normal-makaslama gerilmesi grafiği.

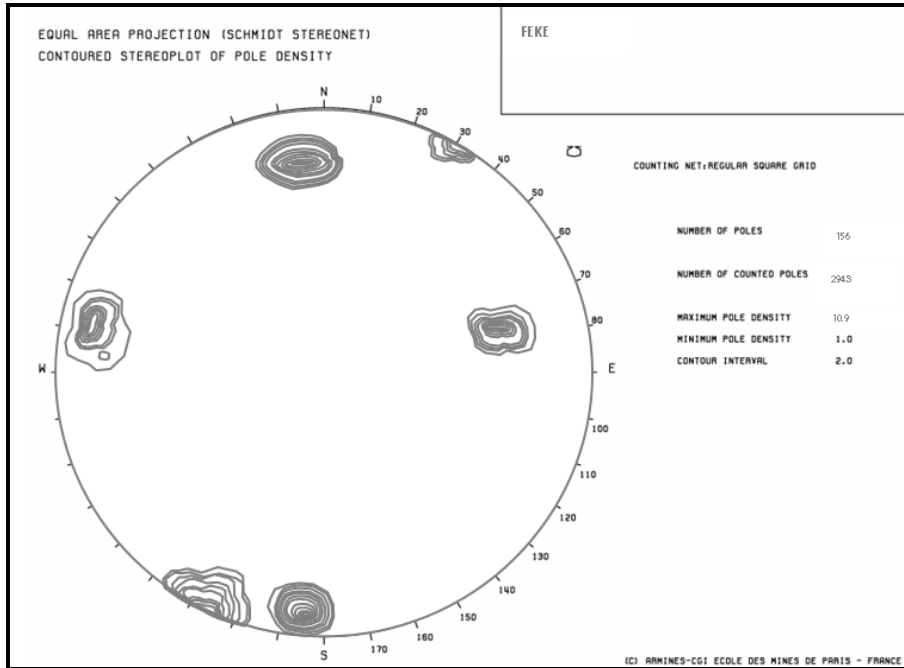


Şekil 6.7. Feke kuvarsit ocağı kuvarsit birimlerine ait normal-makaslama gerilmesi grafiği.

6.2.3. Bilgisayar Yazılımları ile Şev Duraylık Analizi

6.2.3.1. Eklem Takımlarının Ortalama Yönelim ve Eğimlerinin Distat Bilgisayar Yazılımı ile Tahmini

Feko kuvarsit ocağında, formasyonlarda mevcut süreksizliklerin, pusula, inklinometre (eğimölçer) ve şerit metre yardımıyla tespit edilen özellikleri tek tek Distat ve Stereostat yazılımlarındaki ilgili arayüz pencerelerine girilerek, bu değerlerin otomatik olarak stereonet üzerine aktarımı sağlanmıştır (Şekil 6.8). Bu işlemten sonra kontur-kutup diyagramları şeklinde çıktılar alınarak, aynı yönelimdeki süreksizlikler gruplandırılıp istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Gruplandırma sonrası, süreksizlik ya da eklem takımları belirlenip bunların yönelim ve eğimleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Yazılımlar, girilen değerlerden Feko kuvarsit ocağında, ortalama yönelimleri 32.30, 81.10, 159.50 ve ortalama eğimleri 75.60 D, 72.40 G, 65.40 D olan 3 adet temel eklem takımı belirlemiştir.



Şekil 6.8. Feko kuvarsit ocağı süreksizliklerine ait stereonet.

6.2.3.2. Stab Bilgisayar Yazılımı Şev Duraylılık Analizi

Feke kuvarsit ocağı şev duraylılık analizi için öncelikle, ocağı meydana getiren birimlerin geometrik özellikleri, yazılımın ilgili arayüzüne girilerek, genel şev içerisindeki birimlerin kalınlık ve yükseklikleri belirlenmiştir. Bu esnada her bir birime ait fiziko-mekanik özellikler de (birim hacim ağırlık, içsel sürtünme açısı ve kohezyon) bu kısımda tanımlanmıştır. Oluşturulan şev geometrisi içerisinde, ana süreksizliklerin durumları da şev içerisindeki konumlarıyla işaretlenmiştir. Geometri ve bu geometri içerisindeki birimlerle süreksizliklerin bilgileri girildikten sonra, yazılım otomatik olarak, kayma yüzeylerini tanımlayan dairelerin merkez koordinatları ve yarıçaplarını hesaplayıp, bir çıktı olarak elde etmiştir ve en düşük emniyet katsayısı değerini hesaplamıştır.

Bilgisayar yazılımlarının kullanılmasıyla, Feke kuvarsit ocağı mevcut basamaklar ve nihaî şev geometrisinde birbirine zıt yönde alınan iki kesit üzerinde, çeşitli şev açıları için düzlemsel, dairesel ve psödo-statik kayma analizleri ayrıca yapılmış ve tüm durumlarda emniyet katsayıları hesaplanmıştır. Feke Kuvarsit İşletmesi mevcut durum için deprem olmadığı durumda Bishop dairesel, Carter düzlemsel ve Sarma kama türü yenilme olasılıkları üzerinden duraylılık (stabilite) analizi sonuçları Çizelge 6.16'da verilmiştir.

Çizelge 6.16. Feke Kuvarsit İşletmesi mevcut durum için deprem olmadığı durumda duraylılık (stabilite) analizi sonuçları.

Kesit No	Şev Yük. (m)	Şev Açısı (°)	Emniyet Katsayısı (F_s)		
			Bishop	Carter	Sarma
E1	101	25	2,68	2,60	2,56
E2	116	20	2,79	2,69	2,61
E3	107	26	2,63	2,56	2,44
E4	126	21	2,78	2,70	2,62

Mevcut işletme planından alınan kesitlerdeki şev yükseklikleri ve açıları üzerinden yapılan dairesel, düzlemsel ve kama türü yenilme analizlerinden, dairesel

yenilme türü için en düşük emniyet katsayısı değeri 2,63, düzlemsel yenilme için 2,56 ve kama türü yenilme için 2,44 ile 107 m yüksekliğe ve 26° genel şev açısı ile E1 kesitinde elde edilmiştir.

Çizelge 6.17’de verilen ve hesaplamalarla bulunan deprem katsayısı değerleri kullanılarak, Feke kuvarsit ocağı mevcut işletme planındaki kesitler üzerinde dinamik (psödo-statik) duraylılık analizleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 6.23’te verilmiştir.

Çizelge 6.17. Feke Kuvarsit İşletmesi mevcut durum için deprem şiddetine göre duraylılık (stabilite) analizi sonuçları.

Kesit No	Şev Yük. (m)	Şev Açısı (°)	Emniyet Katsayısı (F_s)								
			Bishop			Carter			Sarma		
			Deprem Şiddeti			Deprem Şiddeti			Deprem Şiddeti		
			6,0	6,5	7,0	6,0	6,5	7,0	6,0	6,5	7,0
E1	101	25	2,06	1,53	0,54	2,00	1,49	0,53	1,97	1,46	0,52
E2	116	20	2,15	1,60	0,57	2,07	1,54	0,55	2,01	1,49	0,53
E3	107	26	2,03	1,50	0,53	1,97	1,46	0,52	1,88	1,40	0,49
E4	126	21	2,14	1,59	0,56	2,08	1,54	0,55	2,02	1,50	0,53

Mevcut işletme planından alınan kesitlerdeki şev yükseklikleri ve açıları üzerinden deprem katsayılarını da hesaba katarak yapılan dairesel, düzlemsel ve kama türü yenilme analizlerinden, 6,0 şiddetinde bir deprem olması durumunda dairesel yenilme türü için en düşük emniyet katsayısı değeri 2,03, düzlemsel yenilme için 1,97 ve kama türü yenilme için 1,88 ile 107 m yüksekliğe ve 26° genel şev açısı ile E1 kesitinde elde edilmiştir. 6,5 şiddetinde bir deprem olması durumunda dairesel yenilme türü için en düşük emniyet katsayısı değeri 1,50, düzlemsel yenilme için 1,46 ve kama türü yenilme için 1,40 ile yine 107 m yüksekliğe ve 26° genel şev açısı ile E1 kesitinde elde edilmiştir. Bu emniyet katsayısı değerleri, sınır değer olarak kabul edilen 1,30’un üzerindedir. Yani şev 6,0 ile 6,5 arasında şiddete sahip bir depreme maruz kalsa dahi duraylı kalabilir. 7,0 şiddetinde bir deprem olması durumunda dairesel yenilme türü için en düşük emniyet katsayısı değeri 0,53,

düzlemsel yenilme için 0,52 ve kama türü yenilme için 0,49 ile 107 m yüksekliğe ve 26° genel şev açısı ile E1 kesitinde elde edilmiştir ve değerler sınır değer olan 1,30'un oldukça altında kalmaktadır. Her üç analiz için de 7,0 şiddetinde bir deprem olması durumunda şevler bu geometride duraysızdır.

Feke kuvarsit işletmesinde yalnızca mevcut durumu gösteren ocak planları hazırlanmıştır. Bu planlar ve ocağın genel topoğrafyası göz önüne alınarak nihaî bir ocak planları geliştirilmiştir. Bu planlar üzerinden seçilen 4 adet kesit üzerinde de işletmede gelecekte meydana gelebilecek yenilme olasılıkları hesap edilebilmektedir.

Feke Kuvarsit İşletmesi nihaî durum için E1 kesiti boyunca deprem tehlikesinin olmadığı ve çeşitli deprem katsayıları kullanarak Bishop dairesel, Carter düzlemsel ve Sarma kama türü yenilme olasılıkları üzerinden duraylılık (stabilite) analizi sonuçları elde edilen emniyet katsayısı değerleri Çizelge 6.18'de verilmiştir.

Çizelge 6.18. Feke Kuvarsit İşletmesi F1 kesiti için 148 m nihaî şev yüksekliğinde çeşitli şev açıları için duraylılık (stabilite) analizi sonuçları.

Kesit No-F1	Şev Açısı (°)	Emniyet Katsayısı (F_s)											
		Bishop				Carter				Sarma			
		Deprem Şiddeti				Deprem Şiddeti				Deprem Şiddeti			
		0	6,0	6,5	7,0	0	6,0	6,5	7,0	0	6,0	6,5	7,0
	32	1,63	1,26	0,93	0,33	1,57	1,21	0,90	0,32	1,51	1,16	0,86	0,31
	34	1,59	1,22	0,91	0,32	1,51	1,16	0,86	0,31	1,45	1,12	0,83	0,29
	36	1,52	1,17	0,87	0,31	1,47	1,13	0,84	0,30	1,41	1,09	0,81	0,29
	38	1,47	1,13	0,84	0,30	1,42	1,09	0,81	0,29	1,39	1,07	0,79	0,28

F1 kesitindeki en yüksek nihaî şev yüksekliği ve tahmini olarak artırılan şev açıları üzerinden deprem tehlikesinin olmadığı durumda yapılan dairesel, düzlemsel ve kama türü yenilme analizlerinden, dairesel yenilme türü için en düşük emniyet katsayısı değeri 1,47, düzlemsel yenilme için 1,42 ve kama türü yenilme için 1,39 ile 38° genel şev açısı ile elde edilmiştir. Deprem şiddetinin 6,0 olması durumunda bile hemen tüm yenilme analizlerinde emniyet katsayısı değerleri sınır değerinin altında elde edilmiştir. Bu durumda, 6,0 ve üzerinde şiddete sahip bir deprem olması

durumunda gelecekte bu kesitin alındığı hat boyunca, tüm yenilme türleri olası olarak gelişebilir denilebilir.

F2 kesiti boyunca deprem tehlikesinin olmadığı ve çeşitli deprem katsayıları kullanarak Bishop dairesel, Carter düzlemsel ve Sarma kama türü yenilme olasılıkları üzerinden duraylılık (stabilite) analizi sonuçları elde edilen emniyet katsayısı değerleri Çizelge 6.19’da verilmiştir.

Çizelge 6.19. Feka Kuvarsit İşletmesi F2 kesiti için 171 m nihaî şev yüksekliğinde çeşitli şev açıları için duraylılık (stabilite) analizi sonuçları.

Kesit No-F2	Şev Açısı (°)	Emniyet Katsayısı (F_s)											
		Bishop				Carter				Sarma			
		Deprem Şiddeti				Deprem Şiddeti				Deprem Şiddeti			
		0	6,0	6,5	7,0	0	6,0	6,5	7,0	0	6,0	6,5	7,0
	30	1,41	1,09	0,81	0,29	1,35	1,04	0,77	0,27	1,31	1,01	0,75	0,27
	32	1,37	1,05	0,78	0,28	1,32	1,02	0,75	0,27	1,28	0,99	0,73	0,26
	34	1,35	1,04	0,77	0,27	1,30	1,00	0,74	0,26	1,24	0,95	0,71	0,25
	36	1,30	1,00	0,74	0,26	1,25	0,96	0,71	0,25	1,21	0,93	0,69	0,25

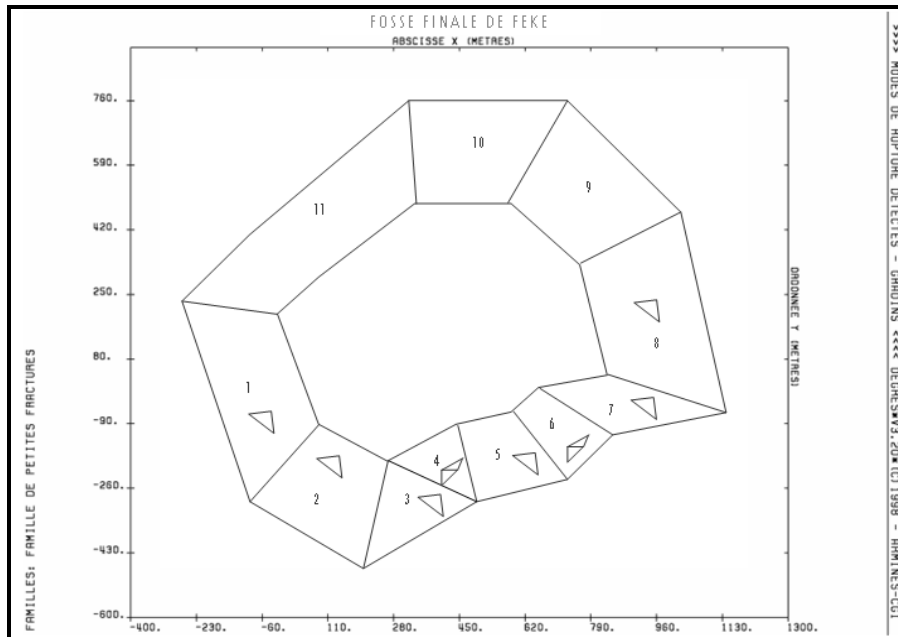
F2 kesitindeki en yüksek nihaî şev yüksekliği ve tahmini olarak artırılan şev açıları üzerinden deprem tehlikesinin olmadığı durumda yapılan dairesel, düzlemsel ve kama türü yenilme analizlerinden, dairesel yenilme türü için en düşük emniyet katsayısı değeri sınır değer olan 1,30, düzlemsel yenilme için 1,25 ve kama türü yenilme için 1,21 ile 36° genel şev açısı ile elde edilmiştir. Deprem olmadan bile hemen tüm yenilme analizlerinde, hesaplanan emniyet katsayısı değerleri sınır değer civarı ve altında elde edilmiştir. Bu durumda şevde F2 kesiti boyunca gelecekte tüm yenilme türleri olası olarak gelişebilir denilebilir.

6.2.3.3. Degrés Bilgisayar Yazılımı Şev Duraylılık Analizi

Feka kuvarsit ocağında Degrés yazılımı ile duraylılık analizi yapabilmek için öncelikle, işletme tarafından belirlenen nihaî işletme planındaki basamakların son

durumunun geometrik özellikleri, yazılımın ilgili arayüzüne girilerek, genel şev içerisindeki formasyon kalınlık ve yükseklikleri belirlenmiştir. Bu esnada her bir formasyona ait fiziko-mekanik özelliklerle (birim hacim ağırlık, içsel sürtünme açısı ve kohezyon) süreksizlik türleri ve bunların kayma düzlemi özellikleri de ayrıca tanımlanmıştır. Girilen bu veriler üzerinden yazılım, muhtemel kayma düzlemlerini ve kayma türlerini bir çıktı şeklinde vermiştir. Buna ek olarak emniyet katsayısı değerleri ve olası duraysız kütlelerin hacmi de otomatik olarak program tarafından tahmin edilip bir çıktı üzerinde alınabilmektedir. Feke kuvarsit ocağı için yazılımın otomatik olarak hesapladığı kayma şekillerine ait bir örnek Şekil 6.9’da verilmiştir.

Yazılım Feke kuvarsit ocağını, nihaî durumdaki geometrisine göre 11 sektöre ayırmış ve her sektörü içerdiği birimlerin durumları, süreksizlikler ve geometrisine göre analiz ederek, kayma olasılığı muhtemel sektörleri belirlemiş ve bu sektörlerdeki kayma türlerini simgelerle işaretlemiştir. Feke kuvarsit ocağı tahmini nihaî ocak planı üzerinden yapılan analizlerde, ocağın GD yönündeki 8 sektörde kayma meydana gelme olasılığı mevcuttur. Tüm sektörlerde çok küçük hacimlerde düzlemsel yenilme olasılığı mevcut olmakla birlikte, yine küçük hacimlerde 4 ve 6. sektörlerde yerel kama türü yenilme olasılığı mevcuttur.



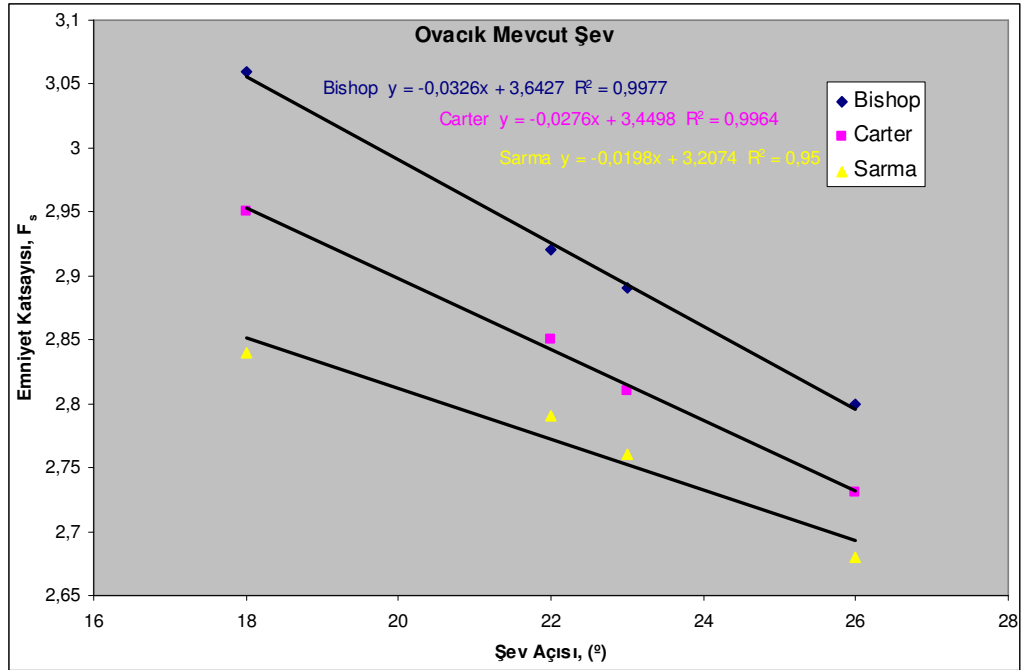
Şekil 6.9. Feke kuvarsit ocağı nihaî şevi Degrés yazılımı duraylılık analizi çıktısı.

6.3. Elde Edilen Bulguların Sentezi ve Tartışma

Bu bölümde, 6.2 başlığı altında hesaplama sonuçları, arazi ve laboratuvar çalışmaları sonuçları genel olarak, her iki kuvarsit ocağında da büyük bir duraysızlık olmadığını göstermektedir. Bunun sebebi, kaya kütlesi tabakalarının duraylılığı etkileyecek doğrultuda olmamaları, boşluklarının kil ve su içermemesi, kayaların dayanım özelliklerinin iyi olması sayılabilir.

Bilgisayar yazılımları ile elde edilen emniyet katsayısı değerleri ile şev açıları arasındaki ilişkileri gösteren grafikler bu başlık altında incelenmiştir. Yine bu başlık altında deprem katsayısı ile güvenlik katsayısı değerleri arasındaki değişimler grafiklerle irdelenmiştir.

Bu bölümde, ocakların mevcut ve nihaî, şev yükseklik ve açıları için yazılımlarla elde edilen değerler karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve değerler arası ilişkilerin oransal büyüklükleri korelasyon analiziyle elde edilen korelasyon katsayısı (R^2) tespit edilmeye çalışılmıştır.

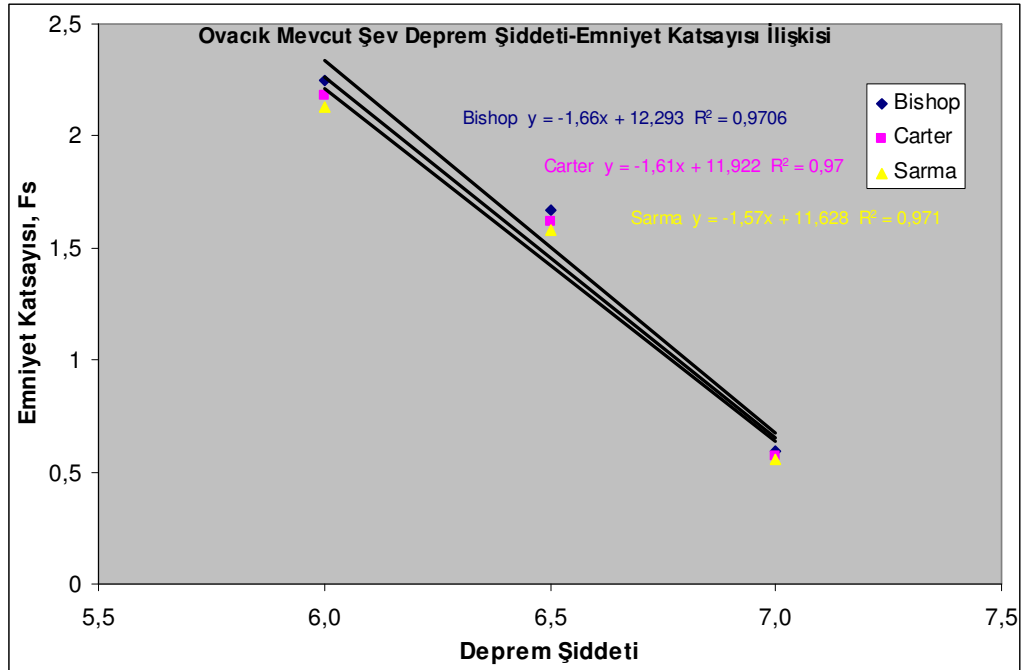


Şekil 6.10. Ovacık kuvarsit ocağı mevcut şev geometrisi için şev açısı-emniyet katsayısı ilişkisi grafiği.

Şekil 6.10'da görüldüğü gibi gerek Bishop dairesel, gerek Carter düzlemsel ve gerekse Sarma kama türü yenilme analizlerinde şev açıları ile emniyet katsayıları arasında ($R^2 > 0,70$ olduğu için) yüksek derece ters orantısal bir ilişki mevcuttur denilebilir.

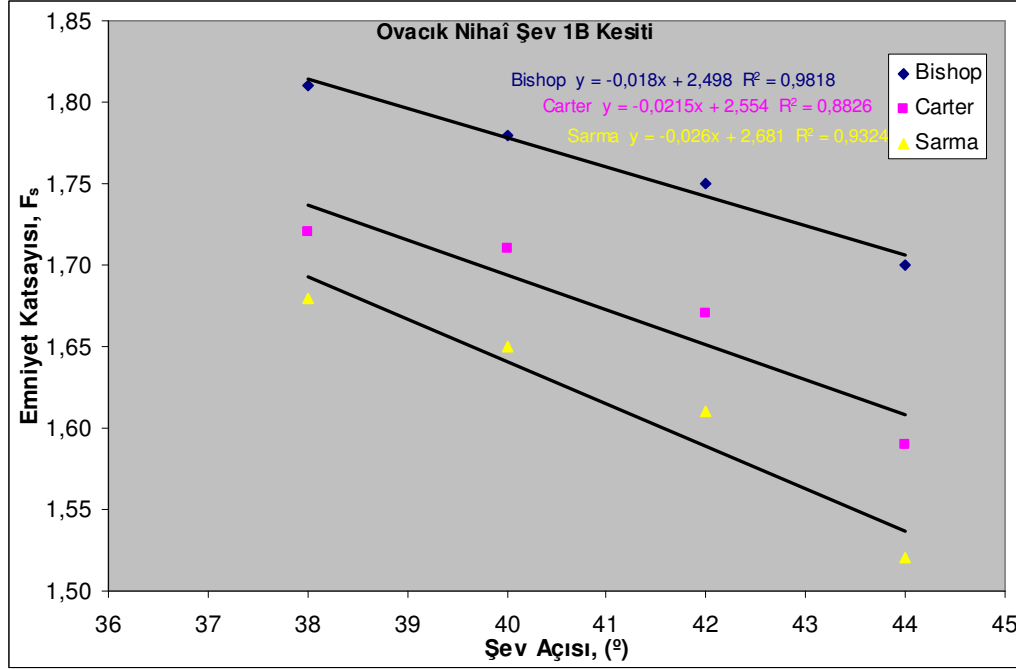
Şekil 6.16'da ise mevcut şev yükseklikleri ve açıları üzerinden gerçekleştirilen Bishop dairesel, Carter düzlemsel ve Sarma kama türü yenilme analizleri, bu yenilmelere ait emniyet katsayısı yüksek dereceli deprem katsayıları girilerek elde edilmiştir.

Şekil 6.11'de görüldüğü gibi gerek Bishop dairesel, gerek Carter düzlemsel ve gerekse Sarma kama türü yenilme analizlerinde şev açıları ile emniyet katsayıları arasında ($R^2 > 0,70$ olduğu için) yüksek derece ters orantısal bir ilişki mevcuttur denilebilir.



Şekil 6.11. Ovacık kuvarsit ocağı mevcut şev geometrisi için deprem şiddeti-emniyet katsayısı ilişkisi grafiği.

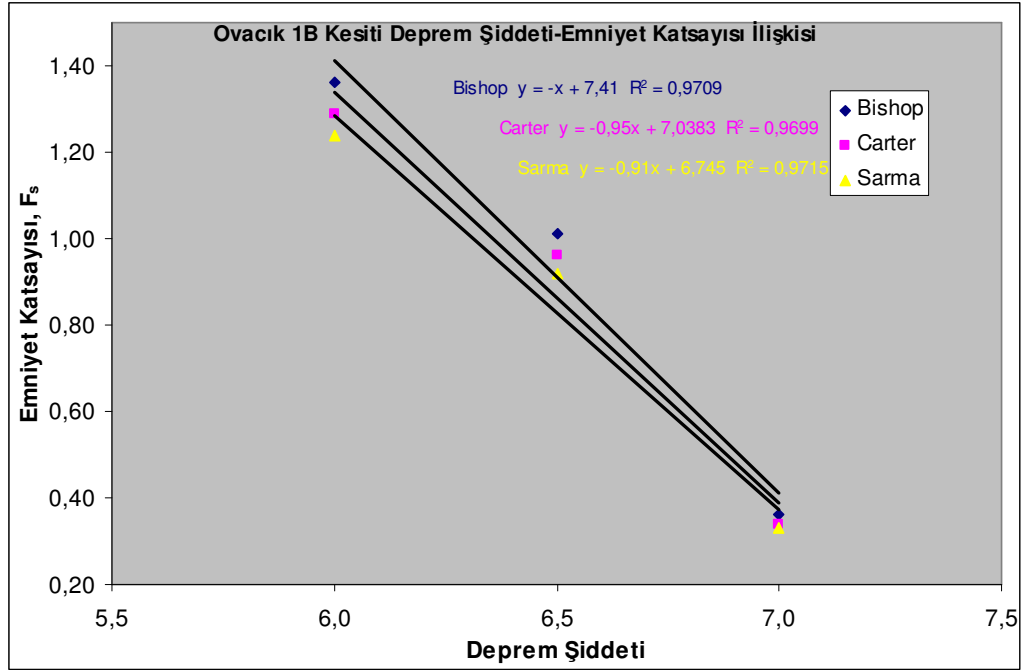
Şekil 6.12’de görüldüğü gibi Ovacık kuvarsit ocağı 1B kesiti için gerek Bishop dairesel, gerek Carter düzlemsel ve gerekse Sarma kama türü yenilme analizlerinde şev açıları ile emniyet katsayıları arasında ($R^2 > 0,70$ olduğu için) yüksek derece ters orantısal bir ilişki mevcuttur denilebilir.



Şekil 6.12. Ovacık kuvarsit ocağı nihâî şev geometrisi 1B kesiti için şev açısı-emniyet katsayısı ilişkisi grafiği.

Şekil 6.13’te ise nihâî şev geometrisi 1B kesiti üzerinden gerçekleştirilen Bishop dairesel, Carter düzlemsel ve Sarma kama türü yenilme analizleri, bu yenilmelere ait emniyet katsayısı yüksek dereceli deprem katsayıları girilerek elde edilmiştir.

Şekil 6.18’de görüldüğü gibi gerek Bishop dairesel, gerek Carter düzlemsel ve gerekse Sarma kama türü yenilme analizlerinde şev açıları ile emniyet katsayıları arasında ($R^2 > 0,70$ olduğu için) yüksek derece ters orantısal bir ilişki mevcuttur denilebilir.

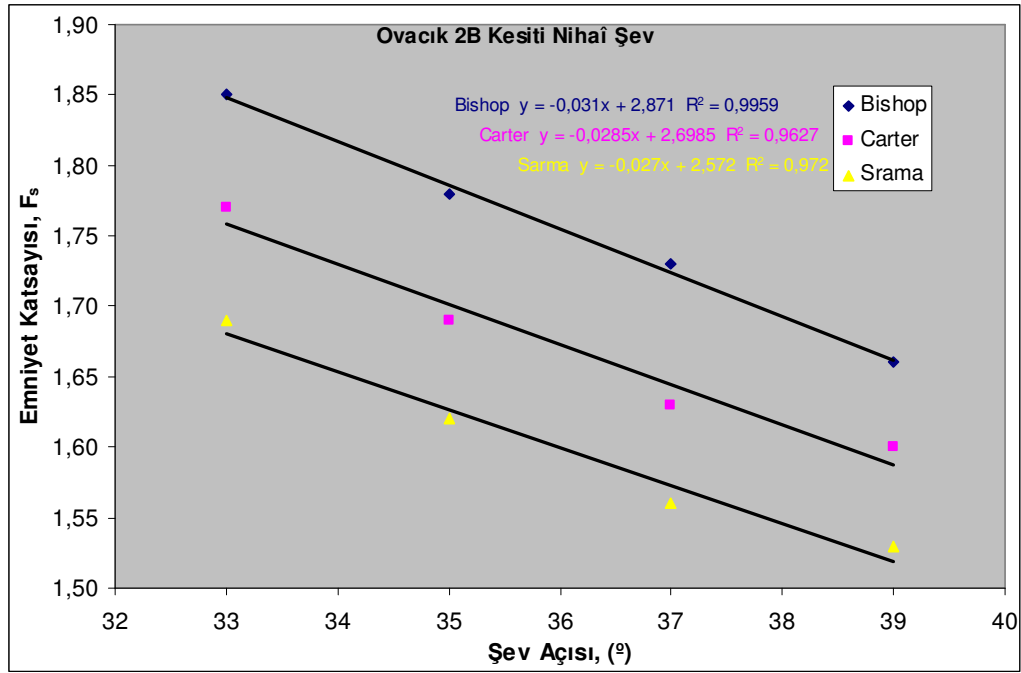


Şekil 6.13. Ovacık kuvarsit ocağı nihaî şev geometrisi 1B kesiti için deprem şiddeti-emniyet katsayısı ilişkisi grafiği.

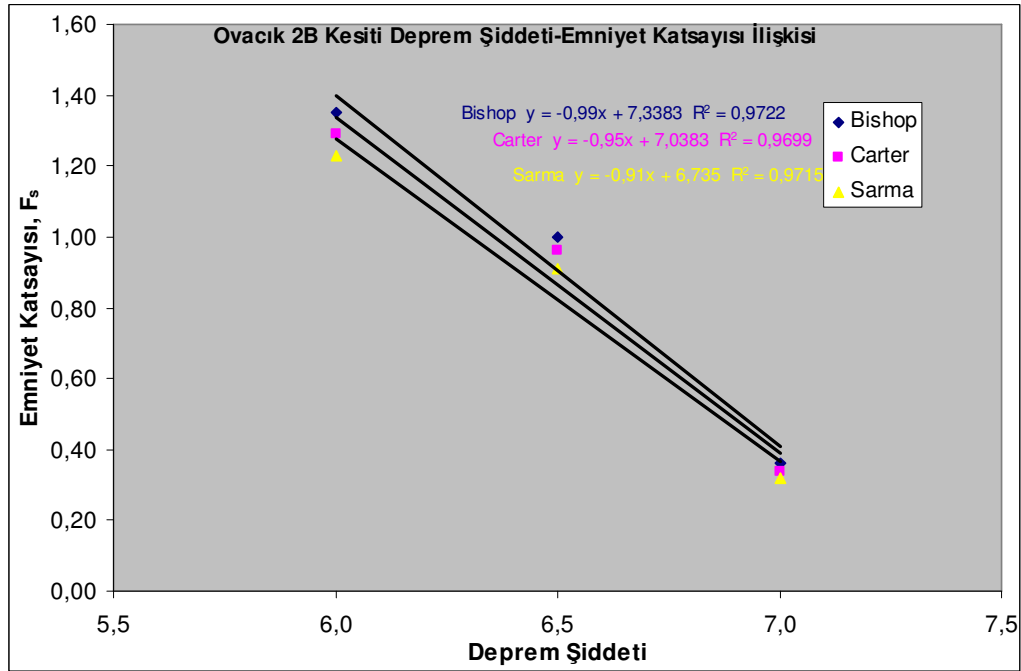
Şekil 6.14'te görüldüğü gibi Ovacık kuvarsit ocağı 2B kesiti için gerek Bishop dairesel, gerek Carter düzlemsel ve gerekse Sarma kama türü yenilme analizlerinde şev açıları ile emniyet katsayıları arasında ($R^2 > 0,70$ olduğu için) yüksek derece ters orantısal bir ilişki mevcuttur denilebilir.

Şekil 6.15'te ise nihaî şev geometrisi 2B kesiti üzerinden gerçekleştirilen Bishop dairesel, Carter düzlemsel ve Sarma kama türü yenilme analizleri, bu yenilmelere ait emniyet katsayısı yüksek dereceli deprem katsayıları girilerek elde edilmiştir.

Şekil 6.15'te görüldüğü gibi gerek Bishop dairesel, gerek Carter düzlemsel ve gerekse Sarma kama türü yenilme analizlerinde şev açıları ile emniyet katsayıları arasında ($R^2 > 0,70$ olduğu için) yüksek derece ters orantısal bir ilişki mevcuttur denilebilir.



Şekil 6.14. Ovacık kuvarsit ocağı nihaî şev geometrisi 2B kesiti için şev açısı-emniyet katsayısı ilişkisi grafiği.

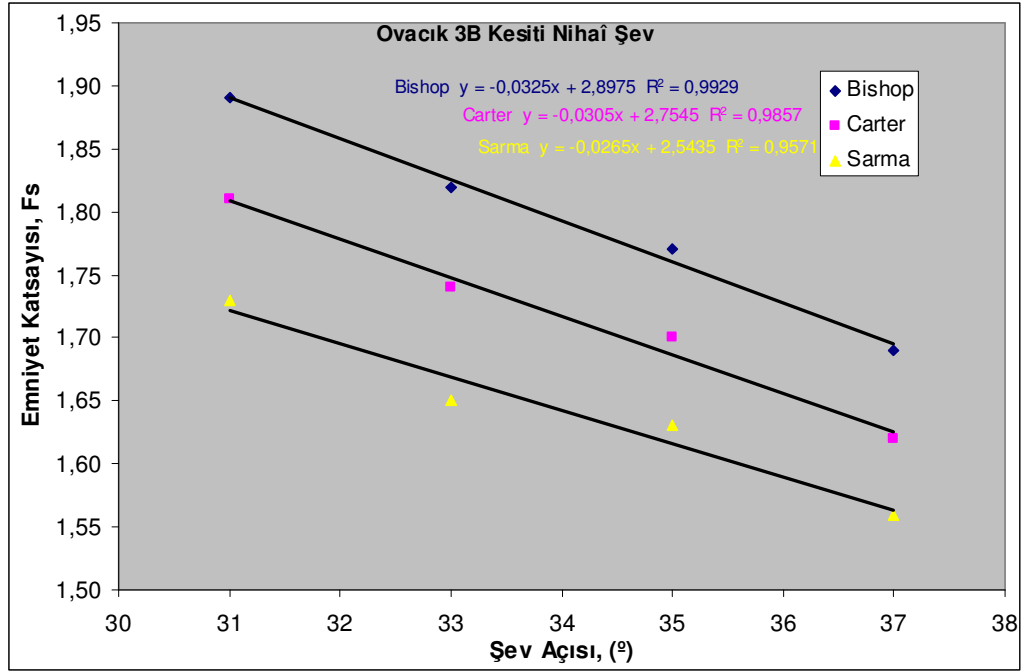


Şekil 6.15. Ovacık kuvarsit ocağı nihaî şev geometrisi 2B kesiti için deprem şiddeti-emniyet katsayısı ilişkisi grafiği.

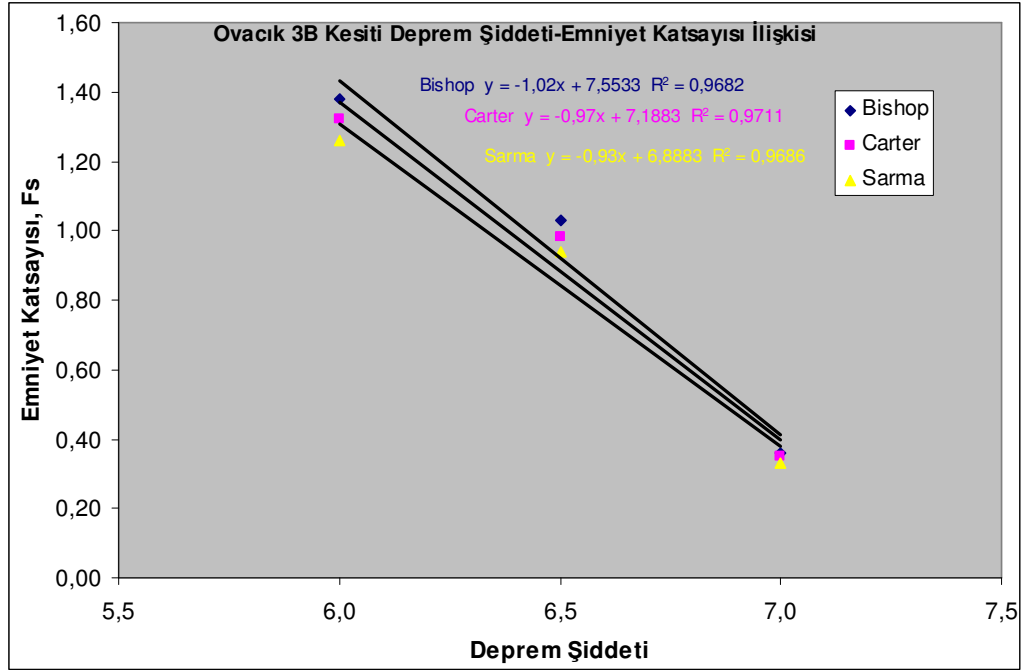
Şekil 6.16'da görüldüğü gibi Ovacık kuvarsit ocağı 3B kesiti için gerek Bishop dairesel, gerek Carter düzlemsel ve gerekse Sarma kama türü yenilme analizlerinde şev açıları ile emniyet katsayıları arasında ($R^2 > 0,70$ olduğu için) yüksek derece ters orantısal bir ilişki mevcuttur denilebilir.

Şekil 6.17'de ise nihaî şev geometrisi 3B kesiti üzerinden gerçekleştirilen Bishop dairesel, Carter düzlemsel ve Sarma kama türü yenilme analizleri, bu yenilmelere ait emniyet katsayısı yüksek dereceli deprem katsayıları girilerek elde edilmiştir.

Şekil 6.17'de görüldüğü gibi gerek Bishop dairesel, gerek Carter düzlemsel ve gerekse Sarma kama türü yenilme analizlerinde şev açıları ile emniyet katsayıları arasında ($R^2 > 0,70$ olduğu için) yüksek derece ters orantısal bir ilişki mevcuttur denilebilir.



Şekil 6.16. Ovacık kuvarsit ocağı nihaî şev geometrisi 3B kesiti için şev açısı-emniyet katsayısı ilişkisi grafiği.

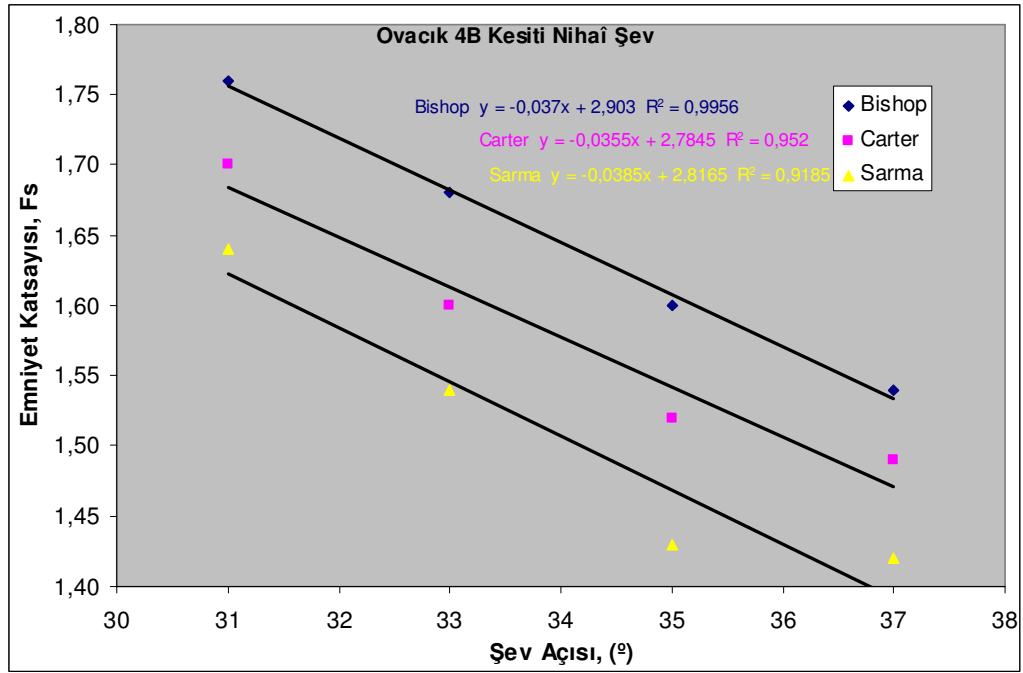


Şekil 6.17. Ovacık kuvarsit ocağı nihaî şev geometrisi 3B kesiti için deprem şiddeti-emniyet katsayısı ilişkisi grafiği.

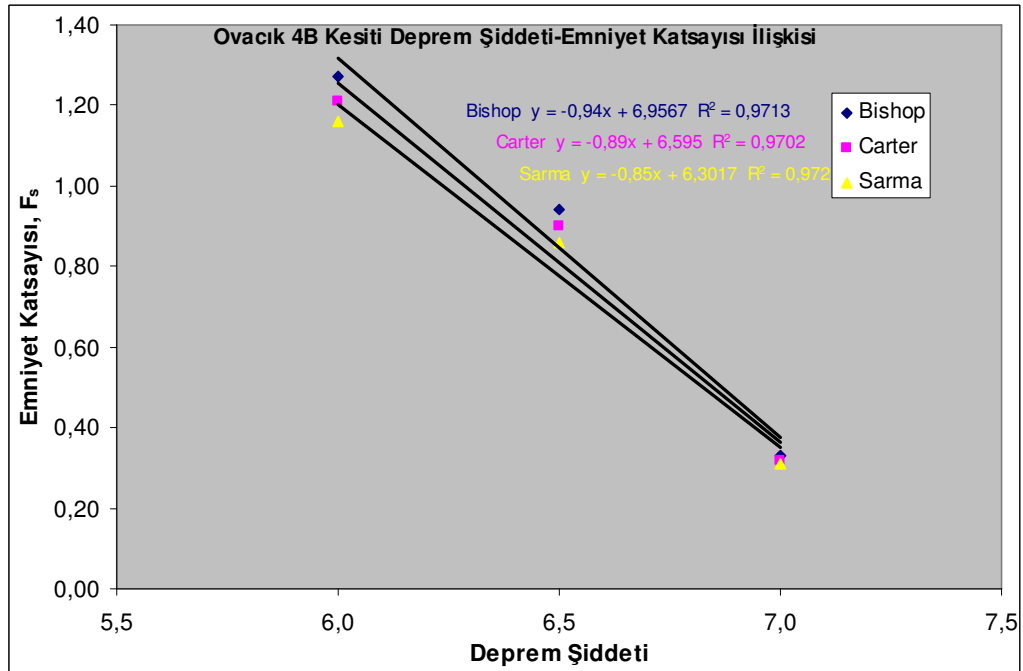
Şekil 6.18'de görüldüğü gibi Ovacık kuvarsit ocağı 4B kesiti için gerek Bishop dairesel, gerek Carter düzlemsel ve gerekse Sarma kama türü yenilme analizlerinde şev açıları ile emniyet katsayıları arasında ($R^2 > 0,70$ olduğu için) yüksek derece ters orantısal bir ilişki mevcuttur denilebilir.

Şekil 6.19'da ise nihaî şev geometrisi 4B kesiti üzerinden gerçekleştirilen Bishop dairesel, Carter düzlemsel ve Sarma kama türü yenilme analizleri, bu yenilmelere ait emniyet katsayısı yüksek dereceli deprem katsayıları girilerek elde edilmiştir.

Şekil 6.19'da görüldüğü gibi gerek Bishop dairesel, gerek Carter düzlemsel ve gerekse Sarma kama türü yenilme analizlerinde şev açıları ile emniyet katsayıları arasında ($R^2 > 0,70$ olduğu için) yüksek derece ters orantısal bir ilişki mevcuttur denilebilir.

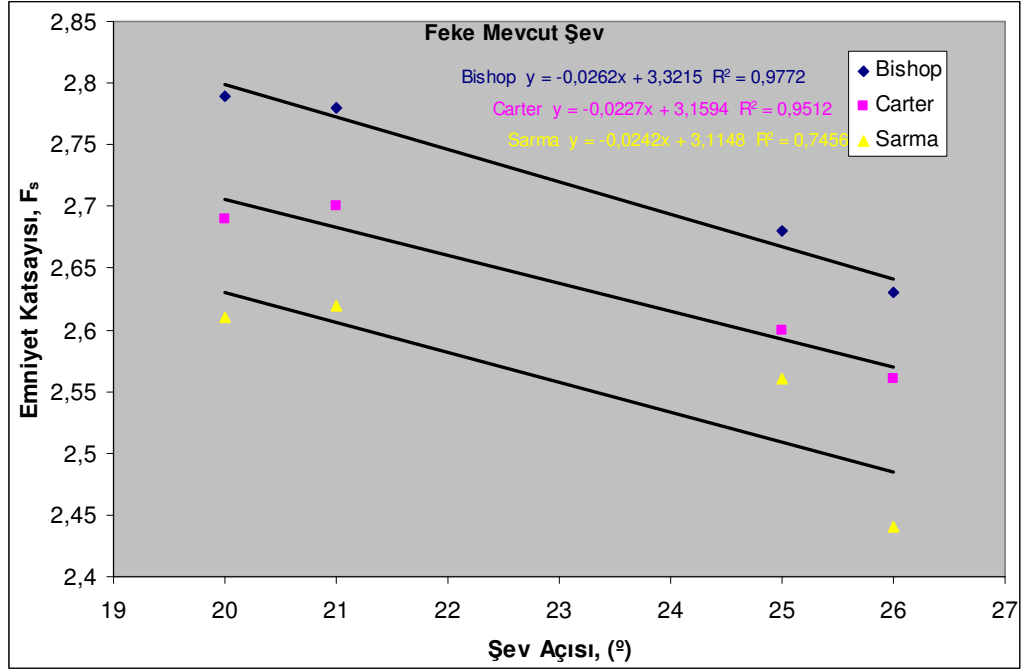


Şekil 6.18. Ovacık kuvarsit ocağı nihaî şev geometrisi 4B kesiti için şev açısı-emniyet katsayısı ilişkisi grafiği.



Şekil 6.19. Ovacık kuvarsit ocağı nihaî şev geometrisi 4B kesiti için deprem şiddeti-emniyet katsayısı ilişkisi grafiği.

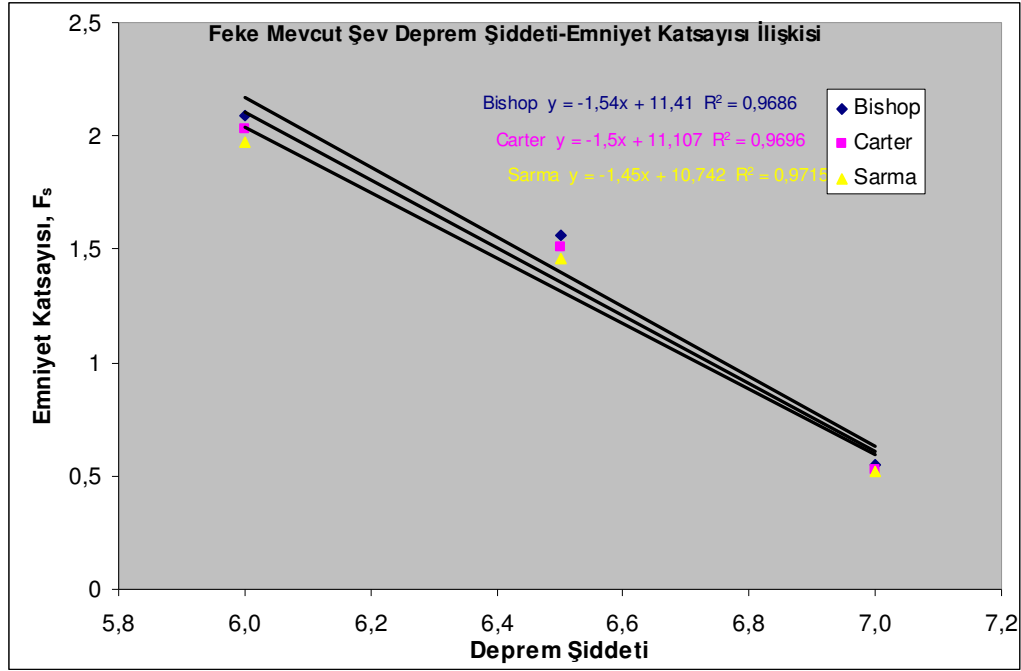
Şekil 6.20’de görüldüğü gibi Feke kuvarsit ocağı mevcut şev geometrisi için gerek Bishop dairesel, gerek Carter düzlemsel ve gerekse Sarma kama türü yenilme analizlerinde şev açıları ile emniyet katsayıları arasında ($R^2 > 0,70$ olduğu için) yüksek derece ters orantısal bir ilişki mevcuttur denilebilir.



Şekil 6.20. Feke kuvarsit ocağı mevcut şev geometrisi için şev açısı-emniyet katsayısı ilişkisi grafiği.

Şekil 6.21’de ise mevcut şev geometrisi üzerinden gerçekleştirilen Bishop dairesel, Carter düzlemsel ve Sarma kama türü yenilme analizleri, bu yenilmelere ait emniyet katsayısı yüksek dereceli deprem katsayıları girilerek elde edilmiştir.

Şekil 6.21’de görüldüğü gibi gerek Bishop dairesel, gerek Carter düzlemsel ve gerekse Sarma kama türü yenilme analizlerinde şev açıları ile emniyet katsayıları arasında ($R^2 > 0,70$ olduğu için) yüksek derece ters orantısal bir ilişki mevcuttur denilebilir.

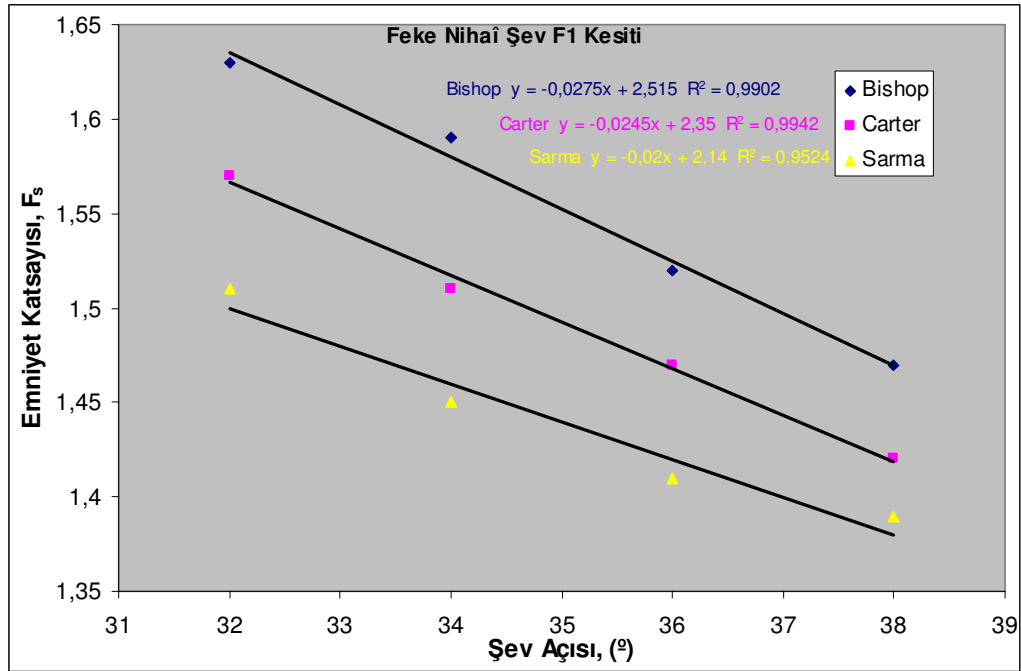


Şekil 6.21. Feke kuvarsit ocağı mevcut şev geometrisi için deprem şiddeti-emniyet katsayısı ilişkisi grafiği.

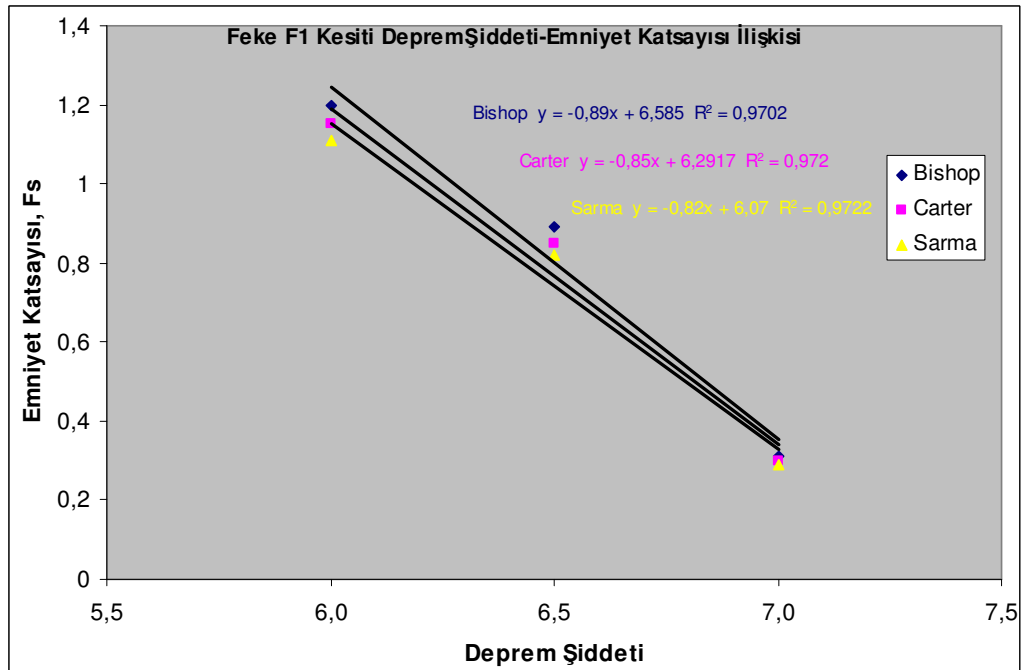
Şekil 6.22’de görüldüğü gibi Feke kuvarsit ocağı nihaî şev geometrisi F1 kesiti için gerek Bishop dairesel, gerek Carter düzlemsel ve gerekse Sarma kama türü yenilme analizlerinde şev açıları ile emniyet katsayıları arasında ($R^2 > 0,70$ olduğu için) yüksek derece ters orantısal bir ilişki mevcuttur denilebilir.

Şekil 6.23’te ise nihaî şev geometrisi üzerinden gerçekleştirilen Bishop dairesel, Carter düzlemsel ve Sarma kama türü yenilme analizleri, bu yenilmelere ait emniyet katsayısı yüksek dereceli deprem katsayıları girilerek elde edilmiştir.

Şekil 6.23’te görüldüğü gibi gerek Bishop dairesel, gerek Carter düzlemsel ve gerekse Sarma kama türü yenilme analizlerinde şev açıları ile emniyet katsayıları arasında ($R^2 > 0,70$ olduğu için) yüksek derece ters orantısal bir ilişki mevcuttur denilebilir.

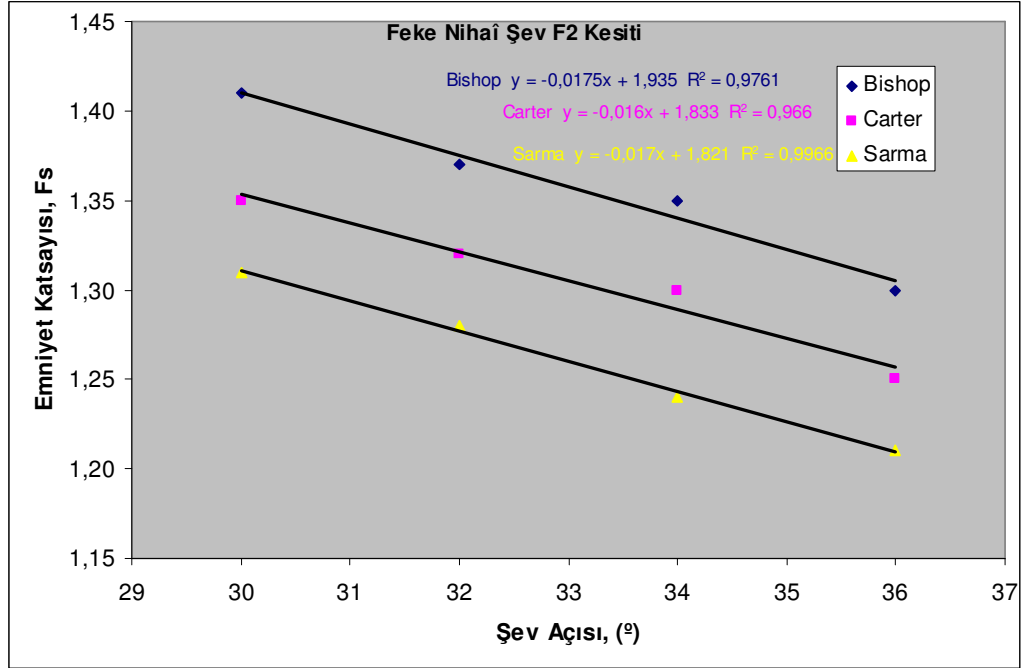


Şekil 6.22. Feke kuvarsit ocağı nihaî şev geometrisi F1 kesiti için şev açısı-emniyet katsayısı ilişkisi grafiği.



Şekil 6.23. Feke kuvarsit ocağı nihaî şev geometrisi F1 kesiti için deprem şiddeti-emniyet katsayısı ilişkisi grafiği.

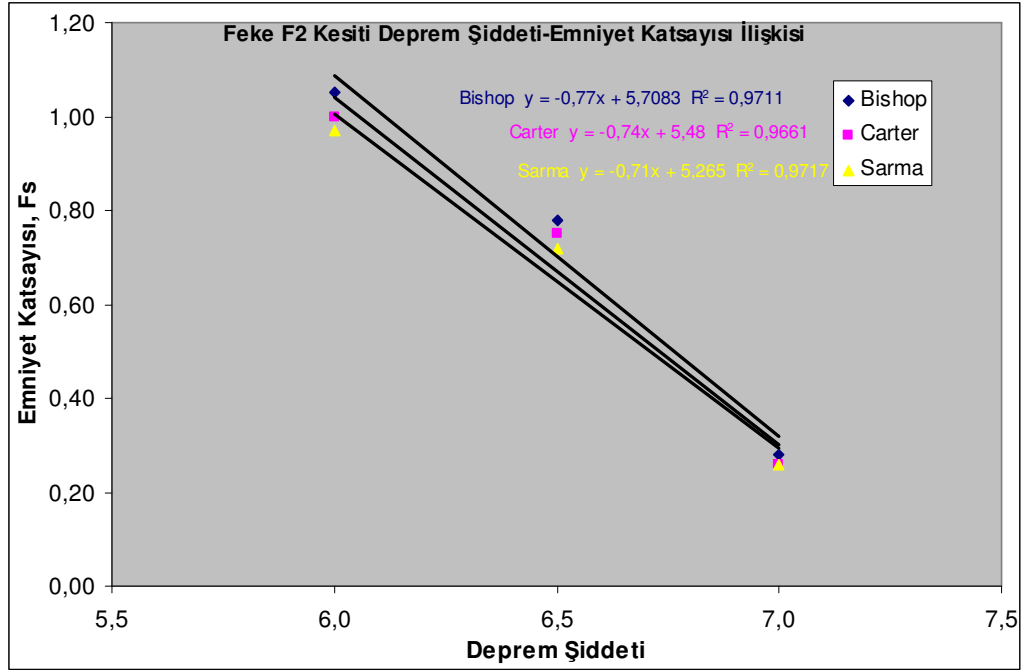
Şekil 6.24'te görüldüğü gibi Feke kuvarsit ocağı nihaî şev geometrisi F2 kesiti için gerek Bishop dairesel, gerek Carter düzlemsel ve gerekse Sarma kama türü yenilme analizlerinde şev açıları ile emniyet katsayıları arasında ($R^2 > 0,70$ olduğu için) yüksek derece ters orantısal bir ilişki mevcuttur denilebilir.



Şekil 6.24. Feke kuvarsit ocağı nihaî şev geometrisi F2 kesiti için şev açısı-emniyet katsayısı ilişkisi grafiği.

Şekil 6.25'te ise nihaî şev geometrisi üzerinden gerçekleştirilen Bishop dairesel, Carter düzlemsel ve Sarma kama türü yenilme analizleri, bu yenilmelere ait emniyet katsayısı yüksek dereceli deprem katsayıları girilerek elde edilmiştir.

Şekil 6.25'te görüldüğü gibi gerek Bishop dairesel, gerek Carter düzlemsel ve gerekse Sarma kama türü yenilme analizlerinde şev açıları ile emniyet katsayıları arasında ($R^2 > 0,70$ olduğu için) yüksek derece ters orantısal bir ilişki mevcuttur denilebilir.



Şekil 6.25. Feke kuvarsit ocağı nihaî şev geometrisi F2 kesiti için deprem şiddeti-emniyet katsayısı ilişkisi grafiği.

7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Cam sanayinde kullanılmak üzere, Camiş Madencilik tarafından işletilen Adana-Feke kuvarsit ve Mersin-Ovacık kuvars kumtaşı ocaklarında, mevcut ve nihai basamak ve şevler üzerinde, duraylılık ile ilgili detaylı arazi ve laboratuvar incelemelerini içeren bu çalışmada aşağıda özetlenen sonuçlara ulaşılmıştır.

- Feke ocağında gerçekleştirilen incelemelerde, az sayıda kırık ve çatlak ile faya rastlanmış ve bunların çok sık aralıkta olmadığı gözlenmiştir. Temel kırık ve çatlakların açıklıklarının 1 mm ile yer yer 5-10 cm'ye ulaştıkları, boyutlarının çoğu zaman basamak ortalama yükseklikleri olan 8 ile 10 metreyi geçmedikleri ve boşlukların genelde kil içermeyip, aşınma sonucu taşınmayla ve parçalanma sonucu oluşan birkaç mm boyutlu kuvarsit ve kireçtaşı parçacıklarıyla dolu olduğu gözlenmiştir. Ovacık ocağında ise yine, az sayıda kırık ve çatlak ile faya rastlanmış ve bunların çok sık aralıkta olmadığı gözlenmiştir. Temel kırık ve çatlakların açıklıklarının 1-2 mm ile yer yer 10 cm'ye ulaştıkları, boyutlarının çoğu zaman basamak ortalama yükseklikleri olan 10 ile 12 metreyi geçmedikleri ve boşlukların az miktarda kil ile birlikte aşınma sonucu taşınmayla ve parçalanma sonucu oluşan birkaç mm boyutlu kuvarsit ve kireçtaşı parçacıklarıyla dolu olduğu gözlenmiştir.
- Feke kuvarsit ocağını meydana getiren temel kireçtaşı birimlerinin yöneliminin 207/66 G, kuvarsit birimlerinin ise 216/62 G olduğu ve kaya kütleleri içerisindeki 3 temel süreksizlik yüzeyinin yönelimlerinin 32.30, 81.10 ve 159.50, eğimlerinin ise 75.60 D, 72.40 G ve 65.40 D olduğu tespit edilmiştir. Ovacık kuvars kumtaşı ocağını meydana temel kireçtaşı birimlerinin yöneliminin 75/38 G, pembe kireçtaşı birimlerinin 64/42 G ve kuvars kumtaşı birimlerinin ise 70/45 G olduğu ve kaya kütleleri içerisindeki 3 temel süreksizlik yüzeyinin yönelimlerinin 100.40, 126.40 ve 25.50, eğimlerinin ise 63.40 G, 72.80 K ve 78.60 D olduğu tespit edilmiştir.

- Fekke kuvarsit ocağında yapılan ölçümlerde ocağı meydana getiren kireçtaşı birimlerinin süreksizlik yüzeylerinin ortalama Schmidt sertliği değeri 15 ve kuvarsit birimlerinin süreksizlik yüzeylerinin ortalama Schmidt sertliği değeri ise 35 olarak bulunmuştur. Ovacık kuvars kumtaşı ocağında ise kireçtaşı birimlerinin süreksizlik yüzeylerinin ortalama Schmidt sertliği değeri 15, pembe kireçtaşı birimlerinin süreksizlik yüzeylerinin ortalama Schmidt sertliği değeri 22 ve kuvarsit birimlerinin süreksizlik yüzeylerinin ortalama Schmidt sertliği değeri ise 38 olarak bulunmuştur.
- Tilt deneyi sonucu Fekke ocağı kireçtaşı birimleri için sınır kayma açısı değeri 49° ve kuvarsit birimleri için ise 37° ve Ovacık kuvars kumtaşı ocağı kireçtaşı birimleri için 44° , pembe kireçtaşı birimleri için 43° ve kuvarsit birimleri için ise 41° olarak bulunmuştur.
- Fekke kuvarsit ocağı kireçtaşı birimlerine ait ortalama birim hacim ağırlık değeri $25,50 \text{ kN/m}^3$, kuvarsit birimlerinin $21,56 \text{ kN/m}^3$ ve Ovacık kuvars kumtaşı ocağı kireçtaşı birimlerinin $27,04 \text{ kN/m}^3$, pembe kireçtaşı birimlerinin $26,59 \text{ kN/m}^3$ ve kuvars kumtaşı birimlerinin ise $21,99 \text{ kN/m}^3$ olarak tespit edilmiştir.
- Fekke kuvarsit ocağı kireçtaşı birimleri için ortalama nokta yükü dayanım indeksi değeri $5,62 \text{ MPa}$, kuvarsit birimleri için $3,50 \text{ MPa}$ ve Ovacık kuvars kumtaşı ocağı kireçtaşı birimleri için $5,62 \text{ MPa}$, pembe kireçtaşı birimleri için $5,42 \text{ MPa}$ ve kuvars kumtaşı birimleri için $3,50 \text{ MPa}$ bulunmuştur.
- Fekke kuvarsit ocağı kireçtaşı birimleri için ortalama tek eksenli basma dayanımı değeri $66,30 \text{ MPa}$, kuvarsit birimleri için $44,53 \text{ MPa}$ ve Ovacık kuvars kumtaşı ocağı kireçtaşı birimleri için $66,30 \text{ MPa}$, pembe kireçtaşı birimleri için $64,21$ ve kuvarsit birimleri için $44,53 \text{ MPa}$ bulunmuştur.
- Makaslama mukavemeti deneyi sonucu Fekke kuvarsit ocağı kireçtaşı birimleri için ortalama kohezyon değeri $135,42 \text{ kPa}$, kuvarsit birimleri için $288,14 \text{ kPa}$ ve Ovacık kuvars kumtaşı ocağı kireçtaşı birimleri için $138,17 \text{ kPa}$, pembe kireçtaşı birimleri için $141,51$ ve kuvars kumtaşı birimleri için

339,12 kPa olarak bulunmuştur. Feke ocağı kireçtaşı birimleri için ortalama içsel sürtünme açısı değeri $21,5^\circ$, kuvarsit birimleri için $27,5^\circ$ ve Ovacık kuvars kumtaşı ocağı kireçtaşı birimleri için $24,6^\circ$, pembe kireçtaşı birimleri için $25,6^\circ$ ve kuvars kumtaşı birimleri için $27,2^\circ$ olarak tespit edilmiştir.

- Ovacık kuvars kumtaşı ocağı mevcut işletme planından alınan kesitlerdeki şev yükseklikleri ve açıları üzerinden yapılan dairesel, düzlemsel ve kama türü yenilme analizlerinden, dairesel yenilme türü için en düşük emniyet katsayısı değeri 2,80, düzlemsel yenilme için 2,73 ve kama türü yenilme için 2,68 ile 146 m yüksekliğe ve 26° genel şev açısı ile 1A kesitinde elde edilmiştir. Bu değerler şevlerde denge için emniyet katsayısının sınır değeri olarak kabul edilen 1,30 değerinin üzerinde olduğundan şevler mevcut üretim geometrisinde duraylıdır denilebilir. Deprem katsayılarını da hesaba katarak yapılan dairesel, düzlemsel ve kama türü yenilme analizlerinden, 6,0 şiddetinde bir deprem olması durumunda dairesel yenilme türü için en düşük emniyet katsayısı değeri 2,16, düzlemsel yenilme için 2,10 ve kama türü yenilme için 2,06 ile 146 m yüksekliğe ve 26° genel şev açısı ile 1A kesitinde elde edilmiştir. 6,5 şiddetinde bir deprem olması durumunda dairesel yenilme türü için en düşük emniyet katsayısı değeri 1,60, düzlemsel yenilme için 1,56 ve kama türü yenilme için 1,53 ile 146 m yüksekliğe ve 26° genel şev açısı ile 1A kesitinde elde edilmiştir. Bu emniyet katsayısı değerleri, sınır değer olarak kabul edilen 1,30'un üzerindedir. Yani şevin 6,0 ile 6,5 arasında şiddete sahip bir depreme maruz kalsa dahi duraylı kalabileceği görülmektedir. 6,5'tan daha şiddetli bir depremde ise şev duraylılığını yitirecektir çünkü daha büyük şiddetler için emniyet katsayısı değerleri sınır değerlerin oldukça altına düşmektedir.
- Ovacık kuvars kumtaşı ocağında 191 m yüksekliğindeki 1B kesitinde tahmini olarak artırılan şev açıları üzerinden deprem tehlikesinin olmadığı durumda yapılan dairesel, düzlemsel ve kama türü yenilme analizlerinden, dairesel yenilme türü için en düşük emniyet katsayısı değeri 1,70, düzlemsel yenilme

için 1,59 ve kama türü yenilme için 1,52 ile 44° genel şev açısı ile elde edilmiştir. Deprem şiddetinin 6,0 olması durumunda tüm analizlerde emniyet katsayısı değerleri sınır değer civarında ve altında, 6,5 olması durumunda ise hemen tüm yenilme analizlerinde emniyet katsayısı değerleri sınır değer altında elde edilmiştir. Bu durumda, 6,0-6,5 arası bir şiddete sahip deprem olması durumunda gelecekte bu kesitin alındığı hat boyunca, tüm yenilme türleri olası olarak gelişebilir denilebilir.

- Ovacık kuvars kumtaşı ocağında 2B kesitindeki 190 m'lik nihaî şev yüksekliği ve tahmini olarak artırılan şev açıları üzerinden deprem tehlikesinin olmadığı durumda yapılan dairesel, düzlemsel ve kama türü yenilme analizlerinden, dairesel yenilme türü için en düşük emniyet katsayısı değeri 1,66, düzlemsel yenilme için 1,60 ve kama türü yenilme için 1,53 ile 39° genel şev açısı ile elde edilmiştir. Deprem şiddetinin 6,0-6,5 arasında olması durumunda hemen tüm yenilme analizlerinde, hesaplanan emniyet katsayısı değerleri sınır değer civarında ve altında elde edilmiştir. Bu durumda, 6,0 ve üzerinde şiddete sahip bir deprem olması durumunda gelecekte bu kesitin alındığı hat boyunca, tüm yenilme türleri olası olarak gelişebilir denilebilir.
- Ovacık kuvars kumtaşı ocağında 3B kesitindeki 281 m'lik nihaî şev yüksekliği ve tahmini olarak artırılan şev açıları üzerinden deprem tehlikesinin olmadığı durumda yapılan dairesel, düzlemsel ve kama türü yenilme analizlerinden, dairesel yenilme türü için en düşük emniyet katsayısı değeri 1,69, düzlemsel yenilme için 1,62 ve kama türü yenilme için 1,56 ile 37° genel şev açısı ile elde edilmiştir. Deprem şiddetinin 6,5 olması durumunda hemen tüm yenilme analizlerinde, hesaplanan emniyet katsayısı değerleri sınır değer altında elde edilmiştir. Bu durumda, 6,5 ve üzerinde şiddete sahip bir deprem olması durumunda gelecekte bu kesitin alındığı hat boyunca, tüm yenilme türleri olası olarak gelişebilir denilebilir.
- Ovacık kuvars kumtaşı ocağında 4B kesitindeki 303 m'lik nihaî şev yüksekliği ve tahmini olarak artırılan şev açıları üzerinden deprem tehlikesinin olmadığı durumda yapılan dairesel, düzlemsel ve kama türü

yenilme analizlerinden, dairesel yenilme türü için en düşük emniyet katsayısı değeri 1,54, düzlemsel yenilme için 1,49 ve kama türü yenilme için 1,42 ile 37° genel şev açısı ile elde edilmiştir. Deprem şiddetinin 6,0 olması durumunda hemen tüm yenilme analizlerinde, hesaplanan emniyet katsayısı değerleri sınır değer civarında elde edilmiştir. Bu durumda, 6,0 ve üzerinde şiddete sahip bir deprem olması durumunda gelecekte bu kesitin alındığı hat boyunca, tüm yenilme türleri olası olarak gelişebilir denilebilir.

- Feke kuvarsit ocağı mevcut işletme planından alınan kesitlerdeki şev yükseklikleri ve açıları üzerinden yapılan dairesel, düzlemsel ve kama türü yenilme analizlerinden, dairesel yenilme türü için en düşük emniyet katsayısı değeri 2,63, düzlemsel yenilme için 2,56 ve kama türü yenilme için 2,44 ile 107 m yüksekliğe ve 26° genel şev açısı ile E1 kesitinde elde edilmiştir. Bu değerler şevlerde denge için emniyet katsayısının sınır değeri olarak kabul edilen 1,30 değerinin üzerinde olduğundan şevler mevcut üretim geometrisinde duraylıdır denilebilir. Deprem katsayılarını da hesaba katarak yapılan dairesel, düzlemsel ve kama türü yenilme analizlerinden, 6,0 şiddetinde bir deprem olması durumunda dairesel yenilme türü için en düşük emniyet katsayısı değeri 2,03, düzlemsel yenilme için 1,97 ve kama türü yenilme için 1,88 ile 107 m yüksekliğe ve 26° genel şev açısı ile E1 kesitinde elde edilmiştir. 6,5 şiddetinde bir deprem olması durumunda dairesel yenilme türü için en düşük emniyet katsayısı değeri 1,50, düzlemsel yenilme için 1,46 ve kama türü yenilme için 1,40 ile yine 107 m yüksekliğe ve 26° genel şev açısı ile E1 kesitinde elde edilmiştir. Bu emniyet katsayısı değerleri, sınır değer olarak kabul edilen 1,30'un üzerindedir. Yani şev 6,0 ile 6,5 arasında şiddete sahip bir depreme maruz kalsa dahi duraylı kalabilir. 7,0 şiddetinde bir deprem olması durumunda dairesel yenilme türü için en düşük emniyet katsayısı değeri 0,53, düzlemsel yenilme için 0,52 ve kama türü yenilme için 0,49 ile 107 m yüksekliğe ve 26° genel şev açısı ile E1 kesitinde elde edilmiştir ve değerler sınır değer olan 1,30'un oldukça altında kalmaktadır. Her üç analiz için de ancak 7,0 şiddetinde bir deprem olması durumunda şevlerin bu geometride duraysız olduğu görülmektedir.

- Feke kuvarsit ocağında F1 kesitindeki 148 m'lik nihaî şev yüksekliği ve tahmini olarak artırılan şev açıları üzerinden deprem tehlikesinin olmadığı durumda yapılan dairesel, düzlemsel ve kama türü yenilme analizlerinden, dairesel yenilme türü için en düşük emniyet katsayısı değeri 1,47, düzlemsel yenilme için 1,42 ve kama türü yenilme için 1,39 ile 38° genel şev açısı ile elde edilmiştir. Deprem şiddetinin 6,0 olması durumunda bile hemen tüm yenilme analizlerinde emniyet katsayısı değerleri sınır değer in altında elde edilmiştir. Bu durumda, 6,0 ve üzerinde şiddete sahip bir deprem olması durumunda gelecekte bu kesitin alındığı hat boyunca, tüm yenilme türleri olası olarak gelişebilir denilebilir.
- Feke kuvarsit ocağında F2 kesitindeki 171 m'lik nihaî şev yüksekliği ve tahmini olarak artırılan şev açıları üzerinden deprem tehlikesinin olmadığı durumda yapılan dairesel, düzlemsel ve kama türü yenilme analizlerinden, dairesel yenilme türü için en düşük emniyet katsayısı değeri sınır değer olan 1,30, düzlemsel yenilme için 1,25 ve kama türü yenilme için 1,21 ile 36° genel şev açısı ile elde edilmiştir. Deprem olmadan bile hemen tüm yenilme analizlerinde, hesaplanan emniyet katsayısı değerleri sınır değer civarı ve altında elde edilmiştir. Bu durumda şevde F2 kesiti boyunca gelecekte tüm yenilme türleri olası olarak gelişebilir denilebilir. Bu durumda, oluşturulacak şev açısının azaltılmasıyla emniyet katsayısı değerleri dolayısıyla duraylılık artırılabilir.
- Her iki ocak için de deprem olma olasılığının olmadığı durumlarında gerçekleştirilen Bishop dairesel, Carter düzlemsel ve Sarma kama türü yenilme analizleri sonucu elde edilen değerler yardımıyla çizilen şev açıları ile emniyet katsayıları arasındaki grafikler üzerinden bulunan korelasyon (ilgileşim) katsayısı (R^2) değerleri mevcut ve nihaî şev geometrileri için oldukça yüksek elde edilmiştir. Bu da bize şev açıları ile emniyet katsayıları arasında ($R^2=0,50-1,00$ olduğu için) yüksek dereceli ve pozitif ters orantısal bir ilişkinin mevcudiyetini göstermektedir. Yani şev açısı arttıkça emniyet katsayısı düşmekte dolayısıyla duraylılık azalmaktadır.

- Yine, her iki ocak için de deprem olasılığının olduğu ve çeşitli deprem şiddetleri (6,0, 6.5 ve 7,0) için gerçekleştirilen Bishop dairesel, Carter düzlemsel ve Sarma kama türü yenilme analizleri sonucu elde edilen değerler yardımıyla çizilen deprem şiddeti ile emniyet katsayıları arasındaki grafikler üzerinden bulunan korelasyon (ilgileşim) katsayısı (R^2) değerleri mevcut ve nihaî şev geometrileri için oldukça yüksek elde edilmiştir. Bu da bize deprem şiddeti ile emniyet katsayıları arasında ($R^2=0,50-1,00$ olduğu için) yüksek dereceli ve pozitif ters orantısal bir ilişkinin mevcudiyetini göstermektedir. Yani depremin şiddeti arttıkça emniyet katsayısı düşmekte dolayısıyla duraylılık azalmaktadır.
- Degrés yazılımı ile yapılan duraylılık analizleri ise Feke kuvarsit ocağını, nihaî durumdaki geometrisine göre 11 sektöre ayırmış ve ocağın GD yönündeki 8 sektörde kayma meydana gelme olasılığının, tüm sektörlerde çok küçük hacimlerde düzlemsel yenilme olasılığı mevcut olmakla birlikte, yine küçük hacimlerde 4 ve 6. sektörlerde yerel kama türü yenilme olasılığının mevcut olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Yazılımla, Ovacık kuvars kumtaşı ocağında ise ocağın KB yönündeki 9 sektörde kayma meydana gelme olasılığının ve tüm sektörlerde çok küçük hacimlerde düzlemsel yenilme olasılığı mevcut olmakla birlikte, yine küçük hacimlerde 1, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22 ve 23. sektörlerde yerel kama türü yenilme olasılığının mevcut olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan duraylılık analizleri, Feke kuvarsit ve Ovacık kuvars kumtaşı ocaklarında mevcut 70° 'ye yakın basamak ve $35-40^\circ$ ocak genel şev açısı değerleriyle, çok büyük hacimlerde ve tehlikeli boyutlarda olmamakla birlikte, kaymaya sebebiyet verebilecekleri tespit edilmiştir. Bunun yerine çeşitli aç aralıklarında yapılan emniyetli basamak açısı analizlerinden, basamak açılarının Feke kuvarsit ocağı için 54° ve Ovacık kuvars kumtaşı ocağı için 66° 'nin üzerine çıkmaması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Nihaî ocak planları üzerinden çeşitli aç aralıklarında yapılan emniyetli genel şev açısı analizleri sonucundaysa, Feke kuvarsit ocağı için 24° 'nin ve Ovacık kuvars kumtaşı ocağı için 27° 'nin üzerine çıkılmaması

gerektiği görülmüştür. Ocaklarda, mevcut açılar üzerinden büyük çapta bir kayma olmamasının nedeni ocakların her ikisinde de su gelirinin fazla ve süreksizliklerin boyutlarının büyük ölçekli olmaması olarak düşünülmektedir. Ancak, daha emniyetli bir çalışma ortamı için yapılan analizler sonucu basamak açılarının Feke ocağı için 54° ve Ovacık ocağı için 66° 'ye, nihaî genel şev açılarının ise Feke ocağı için 24° 'ye ve Ovacık ocağı için 27° 'ye azaltılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- AASHTO-AMERICAN ASSOC. OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORT: OFFICIALS, 1984. A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. Washington-ABD.
- AASHTO-AMERICAN ASSOC. OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORT: OFFICIALS, 1996. Standard Specifications for Highway Bridges. 16th Edition, Washington-ABD
- AASHTO-AMERICAN ASSOC. OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORT: OFFICIALS, 1998. Rock Slopes. Washington D.C.-ABD, 265 s.
- ANDAÇ, İ., 2004. Ovacık (Silifke) Kuvarsit Açık İşletmesinin Stabilité Değerlendirmesi. Ç.Ü. Yüksek Lisans Tezi, Adana, 81 s.
- ARIOĞLU, E. ve TOKGÖZ, N., 2005. Çözümlü Problemlerle Şev Stabilité Analizi.Evrin Yayınevi, İstanbul, 417 s.
- ASHBY, 1971. Sliding and Toppling Modes of Failure in Models and Jointed Rock Slopes. Londra Ü. Yüksek Lisans Tezi.
- ATHANASIOU-GRIVAS, D., 1979. Probabilistic Evaluation of Safety of Soil Structures. ASCE, Journal of Geotech. Eng. Vol.105(GT9):109-115.
- ATHANASIOU-GRIVAS, D., 1980. A Reliability Approach to The Design of Geotechnical Systems. Rensselaer Polytech. Instit. Research Paper, Transport. Res. Board Conf., Washington-ABD.
- BANDIS, S.C., 1993. Engineering Properties and Characterization of Rock Discontinuities. In Comprehensive Rock Engineering: Principles, Practice and Projects Vol.1: 155-183 s.
- BARTON, N.R., 1971. A Model Study of The Behavior of Excavated Slope. Londra Ü. Doktora Tezi, 520 s.
- BARTON, N.R., 1973. Review of A New Shear Strength Criterion for Rock Joints. Eng. Geology, 7:287-322.
- BARTON, N.R., 1974. Review of A New Shear Strength of Filled Discontinuities in Rock. Norwegian Geotech. Inst., Pub. No:105.

- BATH, M., 1978. Seismic Risk in Turkey - A Preliminary Approach, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam-Hollanda.
- BIENIAWSKI, Z.T., 1976. Rock Mass Classification in Rock Engineering. Exploration for Rock Eng., Proc. Symp., Vol.1:97-106.
- BISHOP, A.W., 1955. The Use of The Slip Circle in the Stability Analysis of Earth Slope. Geotechnique, 5:7-17.
- CANADA DEPT. OF ENERGY, MINES AND RESOUR. (DEMR), 1978. Pit Slope Manual. Ottawa-Kanada.
- COULOMB, C.A., 1773. Sur Une Application des Rgles de Maximis et Minimis a Quelques Problemes de Statique Relatifs a l'Architecture. Acad. Roy. Des Sciences Mewoires de Math. et de Physique par Divers Savans, Vol.7:343-382 s.
- CSA-Canadian Standards Association, 1988. Design of Highway Bridges. CAN/CSA-56-88, Rexdale, Ontario-Kanada.
- DEERE, D.U. ve MILLER,R.P., 1966. Engineering Classification and Index Properties of Intact Rock. Tech. Report No:AFWL-TR-65-116, Kirkland Air Force Base, New Mexico-ABD.
- DENİZCİ, F., 1970. Silifke Ovacık Arasında Madenci Ahmet Selçuk'a Ait Kuvarsitik Gre Teşekkülleri Hakkında Rapor, Ankara.
- DERSHOWITZ, W.S. ve EINSTEIN, H.H., 1988. Characterizing Rock Joint Geometry with Joint System Models. Rock Mech. Rock Eng., 20(1):20-51.
- DOĞRAMACI, S., 1998. Effect of Rock and Discontinuity Parameters on The Dynamic Stability of Rock Slopes. ODTÜ Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 98 s.
- ERGUVANLI, K., 1994. Mühendislik Jeolojisi. Eren Ofset, İstanbul, 590 s.
- ECS-EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 1995. Eurocode 1: Basis of Design and Actions on Structures-Part I, Basis of Design. Central Secretariat, Bruselles.
- FECKER, E. ve RENGERS, N., 1971. Measurement of Large Scale Roughness of Rock Planes by Means of Profilograph and Geological Compass. Proceedings Symposium Rock Fracture, Nancy, 1-18 s.

- FOOKES, P.G. ve SWEENEY, M., 1976. Stabilization and Control of Local Rock Falls and Degradation. *Quart. J. Eng. Geo.*, 9:37-55.
- FROHLICH, O.K., 1955. General Theory of the Stability of Slopes. *Geotechnique*, 5:37-47.
- GLASS, C.E., 2000. The Influence of Seismic Events on Slope Stability. *Bulletin Of SME*, 89-96s.
- GOLDER, H.Q., 1972. The Stability of Natural and Man-made Slopes in Soil and Rock. *Geotech. Practice for Stab. In Open Pit Min.*, AIME, New York-ABD, 79-85 s.
- GOODMAN, R.E., 1970. The Deformability of Joints in Determination of The In-Situ Modulus of Deformation of Rock. *Amer. Soc. Testing and Mater., Spec. Tech. Pub.*, No.477:174-196.
- GOODMAN, R.E. ve BRAY, J.W., 1976. Toppling of Rock Slopes. *Proc. of Speciality Conf. on Rock Engng. for Foundations and Slopes*, Boulder-Colorado ASCE, New York, Vol. 2:201-234.
- GOODMAN, R.E., 1980. *Introduction to Rock Mechanics*. John Wiley&Sons Pres, New York-ABD.
- GRIFFITHS, D.H. ve KING, R.F., 1988. *Applied Geophysics for Geologists and Engineers*. Second Edition, Pergamon Press, Oxford-İngiltere.
- HARR, M.E., 1977. *Mechanics of Panicle Matter-A Probabilistic Approach*. McGraw-Hill, New York-ABD, 543 s.
- HENCHER, S.R. ve RICHARDS, L.R., 1989. Laboratory Direct Shear Testing of Rock Discontinuities. *Ground Eng.*, March, 24-31 s.
- HOEK, E., 1968. Brittle Failure of Rock. *Rock Mech. In Eng. Practice*, Wiley and Sons, Londra-İngiltere, 99-124 s.
- HOEK, E., 1970. Estimating the Stability of Excavated Slopes in Opencast Mines. *Trans. Inst. Min. And Metal.*, 83:A133-139.
- HOEK, E. ve BROWN, E.T., 1980a. Hoek-Brown Failure Criterion. IMM, Londra-İngiltere.
- HOEK, E. ve BROWN, E.T., 1980b. Empirical Strength Criterion for Rock Masses. *J. Geotech. Eng. Div., ASCE 106(GT9):1013-1035*.

- HOEK, E. ve BRAY, J., 1981. Rock Slope Engineering. IMM, Londra-İngiltere.
- HOEK, E., 1983. Strength of Jointed Rock Masses. *Geotechnique*, 33(3):187-223.
- HOEK, E. ve BROWN, E.T., 1988. Hoek-Brown Failure Criterion-1988 Update. *Proc. 15th Canadian Rock Mech. Symp.*, Toronto-Kanada, 31-38 s.
- HOEK, E., WOOD, D. ve SHAH, S., 1992. A Modified Hoek-Brown Failure Criterion for Jointed Rock Masse. *Proc. Rock Characterization, Symp. Int. Soc. of Rock Mech.: Eurock'92*, Londra-İngiltere, 209-214 s.
- HOEK, E., 1994. Strength of Rock and Rock Masses. *ISRM News Journal*, Vol.2(2):4-16.
- HOEK, E., KAISER, P.K. VE BAWDEN, W.H., 1995. Support of Underground Excavations in Hard Rock. Rotterdam, Balkema.
- HOEK, E., MARINOS, P. ve 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. *Bulletin of Eng. Geo. and Env.*, Vol.57(2):151-160.
- HOEK, E. ve MARINOS, P., 2000. Predicting Tunnel Squeezing. *Tunnels and Tunnelling Int.*, Part I-II.
- HOEK, E., CARRANZA-TORRES, C. ve CORKUM, B., 2002. Hoek-Brown Failure Criterion - 2002 Edition. *Proc. North Am. Rock Mech. Soc. Meeting*, Toronto-Kanada, 267-273s.
- HOEK, E., 2007. Practical Rock Engineering. Web Edition of Rocscience.com-
www.rocscience.com/hoek/pdf/Practical_Rock_Engineering.pdf.
- ISRM, 1981a. Rock Characterization, Testing and Monitoring; ISRM Suggested Method. Pergamon Pres, İngiltere.
- ISRM, 1981b. Suggested Methods for The Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses. Pergamon Pres, İngiltere, 211 s.
- ISRM, 1985. Suggested Methods for Determining Point Load Strength. *Int. Journal of Rock Mech.*, Vol.22(2):53-60.
- ITASCA CONSULTING GROUP, 2000. UDEC (Universal Distinct Element Code).
- ITASCA CONSULTING GROUP, 2001. FLAC (Fast Lagrangian Analysis of Continua).

- ITASCA CONSULTING GROUP, 2003. 3DEC (3-Dimensional Distinct Element Code).
- JAEGER, J.C., 1970. The Behaviour of Closely Jointed Rock. Proc. 11th Symp. Of Rock Mech., Berkeley-ABD, 57-68 s.
- JANBU, N., 1954. Application of Composite Slide Circles for Stability Analysis. Proc. Europ. Conference on Stab. Of Earth Slopes, Stockholm-İsveç, 3:43-49.
- KARPUZ, C. ve HİNDİSTAN, M.A., 2006. Kaya Mekaniği İlkeleri, Uygulamaları. Ankara. TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayın No: 116, Ankara, 346 s.
- KAYABALI, K., 2006. Kaya Şev Mühendisliği. Fersa Matbaacılık, Ankara, 437 s.
- KESKİN, M.Ö., 2005. Etude de la Stabilité des Talus et de la Fosse Finale et des Verses à Steriles de la Carrière de Quartzite d'Ovacık-Kargıcak (Turquie). ENSMP Lisansüstü Projesi, Paris-Fransa, 41 s.
- KILIÇ, A.M., 1996. Analyse de la Stabilité des Talus de la Mine de Lignite d'Afşin-Elbistan (Turquie). ENSMP Doktora Tezi, Paris-Fransa, 165 s.
- KÖK, M.S., 2003. Ankara-Pozantı Otoyolu'nun 322+550-323+100 km.'leri (Niğde) Arasındaki Kesiminin Şev Stabilitesi Değerlendirmesi. Hacettepe Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 83 s.
- LONDE, P., VIGIER, G. ve VORMERINGER, R., 1969. Stability of Rock Slopes-A Three-Dimensional Study. J. Soil Mech., Found. Eng. Div., ASCE, 95(SM1):235-262.
- MARINOS, P. ve HOEK, E., 2000. GSI-A Geologically Friendly Tool for Rock Mass Strength Estimation. Proc. GeoEng 2000 Conference, Melbourne-Kanada.
- MARSAL, R.J., 1967. Large Scale Testing of Rock Fill Materials. Journal of Soil Mech. Found. Div., ASCE-93, SM2, 27-44 s.
- MCCLAY, K.R., 1987. The Mapping of Geological Structures. Geological Society of London Handbook Series, 163 s.
- MEYERHOF, G.G., 1984. Safety Factors and Limit States Analysis in Geotechnical Engineering. Canadian Geotech. J., 21:1-7.
- MOHR, O., 1900. Welche Umstände Bedingen die Elastizitätsgrenze und Den Bruch Eines Materials. Z. Ver. Dt. Ing., Vol.44:1524-1577.

- MORGENSTEN, N.R. ve PRICE, V.E., 1965. The Analysis of The Stability of General Slide Surfaces. *Geotechnique*, 15:79-93.
- NEWMARK, N.M., 1965. Effects of Earthquakes on Dams and Embankments. *Geotechnique*, 15(2):139-160.
- ÖCAL, A., 1994. Computer-Aided Kinematic Analysis for Jointed Rock Slopes. ODTÜ Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 121 s.
- PATTON, F.D., 1966. Multiple Modes of Shear Failure in Rock. Proc. First Symp. On Stab. in Open Pit Min., AIME, Vancouver-KANADA, 23-48 s.
- PENTZ, D.L., 1981. Slope Stability Anlaysia Tech. Incorporating Uncertainty in The Critical Parameters. Third Int. Conf. On Stab. in Open Pit Min., Vancouver-Kanada.
- PETERSON, J.E., SULLIVAN, J.T. ve TATER, G.A., 1982. The Use of Computer Enhanced Satellite Imaginery for Geologic Reconnaissance of Dam Sites. ICOLD, 14th Cong. On Large Dams, Rio de Janeiro, Q53, R26, Vol.II:449-471.
- PIERCE, M., BRANDSHAUG, T. ve WARD, M, 2001. Slope Stability Assesment at The Main Cresson Mine. Slope Stability in Surface Mining, Littleton:Soc. Min., Metallurgy and Exploration, Inc., 239-250 s.
- PRIEST, S. D. ve HUDSON, J. A., 1976. Discontinuity Spacing in Rock. *Int. Journal of Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr.*, Vol.13:135–148.
- PRIEST, S. D. ve HUDSON, J. A., 1981. Estimation of Discontinuity Spacing and Trace Length Using Scanline Surveys. *Int. Journal of Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr.*, Vol.18:183–197.
- ROBERDS, W.J., 1990. Methods of Developing Defensible subjective Probability Assesments. Transport. Res. Board, Annual Meeting, Washington-ABD.
- ROBERTS, D. ve HOEK, E., 1972. A Study of The Stability of A Disused Limestone Quarry Face in The Mendip Hills, England. Proc. First Int. Conference on Stability in Open Pit Mining, Vancouver-Kanada, 239-256 s.
- ROCSCIENCE, 2002. Phase Software. www.rocscience.com.
- ROCSCIENCE, 2002. Phases (Plastic Hybrid Analysis of Stress for Estimation of Support) Software. www.rocscience.com.

- ROHRBAUGH, J., 1979. Improving The Quality of Group Judgement: Social Judgement Analysis and The Delphi Technique. *Organizational Behaviour and Human Performance*, Vol.24:73-92.
- SARMA, 1979. Stability Analysis of Embankments and Slopes. *J. Geotech. Eng. Div., ASCE* 105(GT12):1511-1524.
- SAVELY, J.P., 1987. Probabilistic Analysis of Intensely Fractured Rock Masses. 6th Int. Cong. On Rock Mech., Montreal-Kanada, 509-514 s.
- SJÖBERG, J., 1999. Analysis of Large Scale Rock Slopes. Lulea Ü. Doktora Tezi, İsveç, 682 s.
- SKEMPTON, A.W., 1948. The $\phi=0$ Analysis for Stability and Its Theoretical Basis. *Proc. Second Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., Rotterdam*, Vol.1:72.
- STARFIELD, A.M. ve CUNDALL, P.A., 1988. Towards A Methodology for Rock Slope Modelling. *Int. Journal of Rock Mech.*, Vol.25:99-106.
- TAYLOR, D.W., 1937. Stability of Earth Slopes. *J. Boston Soc. Civil Eng.*, 24, 197 s.
- TERZAGHI, K., 1950. Mechanisms of Landslides. *Eng. Geology*, Berkeley-ABD.
- TERZAGHI, K., 1962. Stability of Steep Slopes on Hard Unweathered Rocks. *Geotechnique*, Londra, Vol.12, No:4.
- TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (TRB), 1999. Geotechnical Related Development and Implementation of Load and Resistance Factor Design (LFRD) Methods. NCHRP Synthesis No.276, Washinton-ABD, 69 s.
- ULUSAY, R. ve SÖNMEZ, H., 2002. Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayın No: 60, Ankara, 243 s.
- WITTKE, W. ve LOUIS, E., 1972. Etude Experimentale des Ecoulements d'Eau dans un Masif Rocheux Fissuré. Tochien Project, Formose. *Geotechnique*, Vol.21:29-42.
- WYLLIE, D.C., 1991. Rock Slope Stabilization and Protection Measures. National Symposium on Highway and Railway Slope Stability, Chicago-ABD.
- WYLLIE, D.C., ve MAH, C.W., 2004. Rock Slope Engineering: Civil and Mining. Taylor&Francis, New York-ABD, 480 s.

YETİŞ, C., 1988. Feka Dolayı (Adana) Gümüşali Formasyonu, Çıkak Üyesi
Kuvarsitlerin Jeoteknik Özellikleri. Ç.Ü. Araştırma Fonu I. Bilim Kongresi,
387-403 s.

ÖZGEÇMİŞ

6 Haziran 1977 tarihinde Hatay-Erzin’ de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Osmaniye’ de tamamladı. 1994 yılında Çukurova Üni., Müh.-Mim. Fakültesi Maden Müh. Böl.’ ne girdi. 1998 yılında, bu bölümden mezun olarak aynı yıl, aynı bölümde yüksek lisans eğitime başladı. 2000 yılında, aynı bölüme araştırma görevlisi olarak atandı. 2002 yılında yüksek lisans eğitimini tamamladı.

EKLER

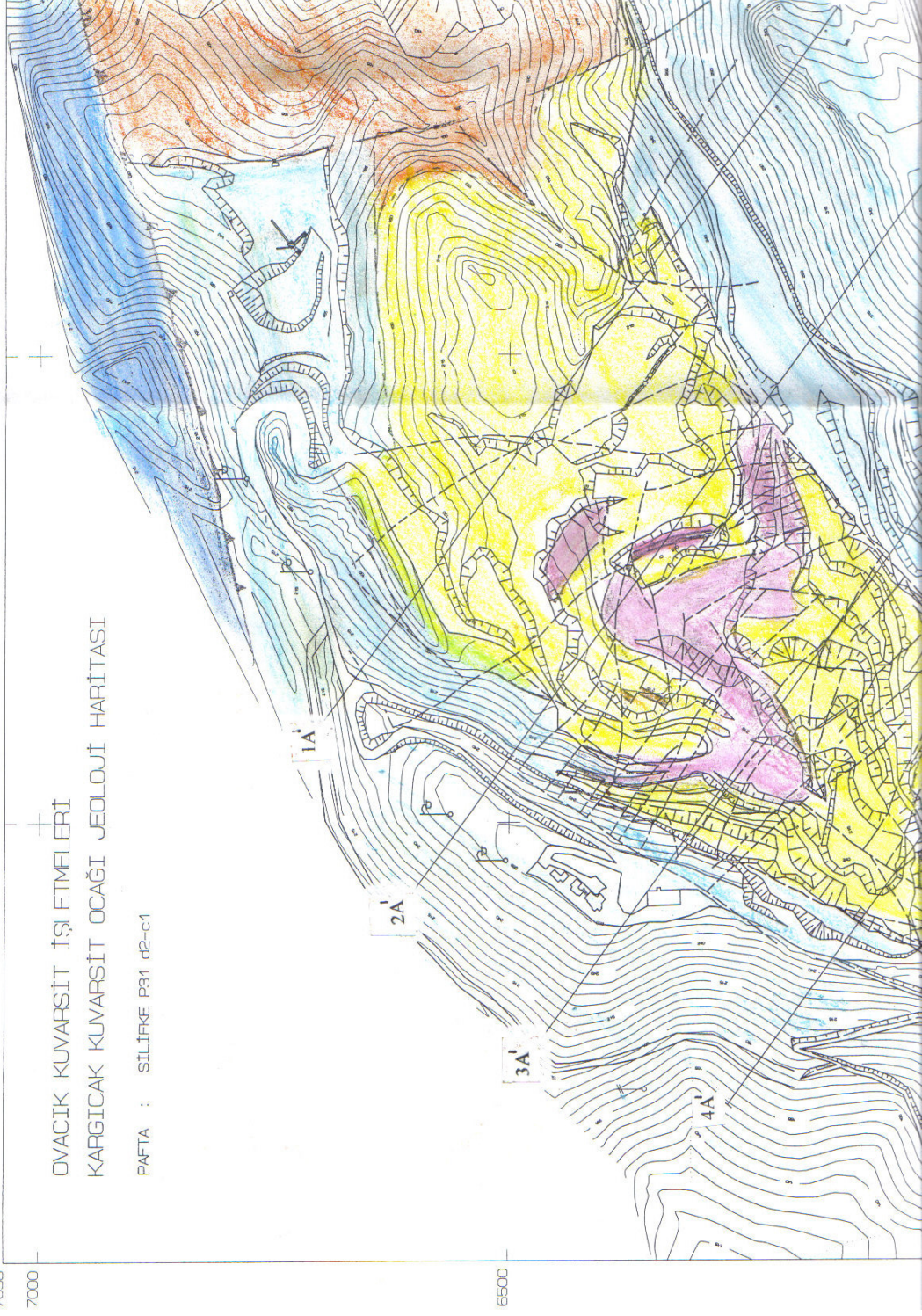
7096

7000

OVACIK KUVARSİT İŞLETMELERİ
KARGICAK KUVARSİT OCAĞI JEOLojİ HARİTASI

PAFTA : SİLİRKİ P31 d2-c-1

6600

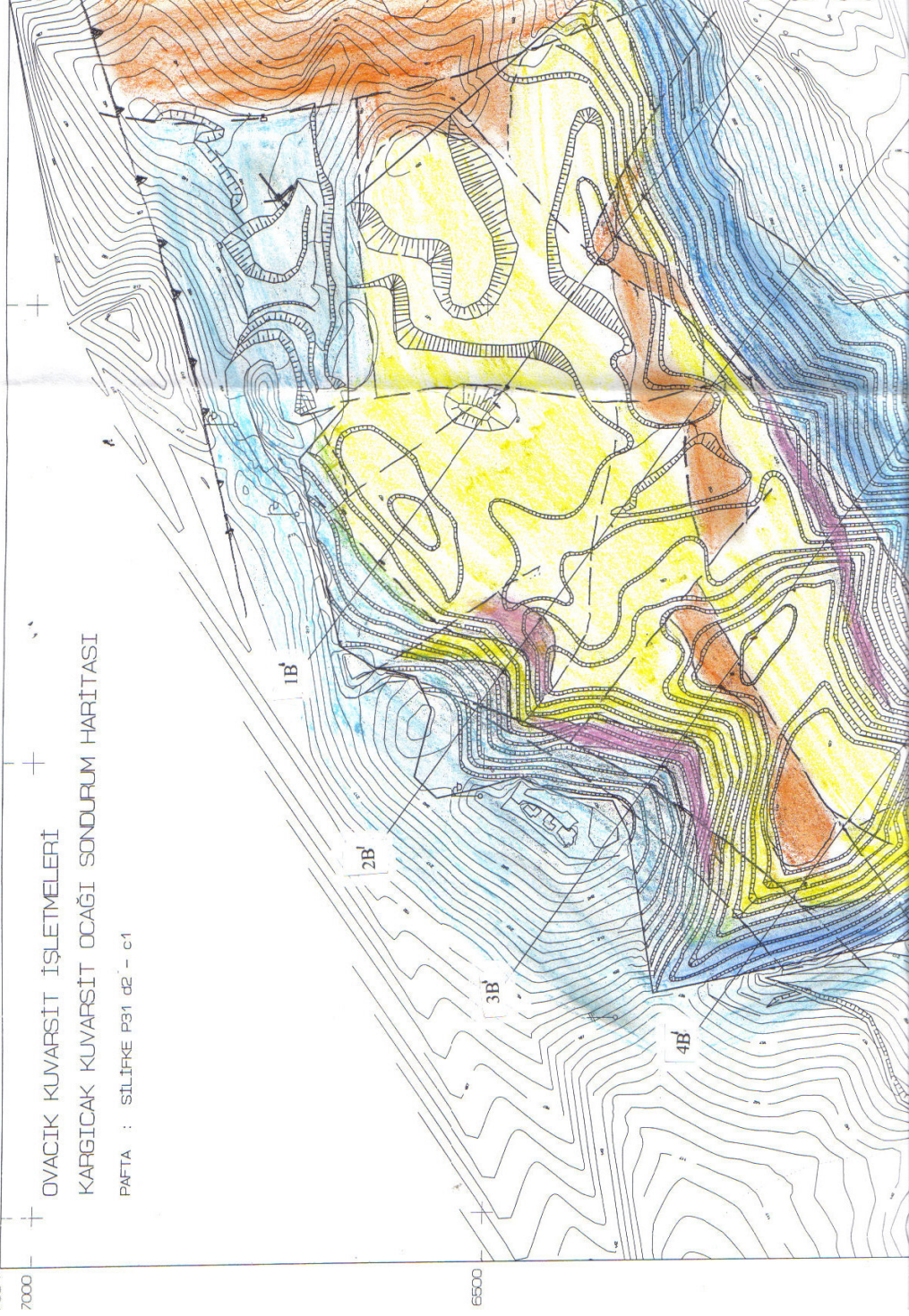


7034

7000

OVACIK KUVARSİT İŞLETMELERİ
KARGICAK KUVARSİT OCAĞI SONDURUM HARİTASI
PAFTA : SİLİFKE P31 d2 - c1

6500



1A Düş. Ölçek : 5000 Yat. Ölçek : 5000 Ref. Kot : 80.00 	
1. Model Kot	17.499 18.981 19.463 20.945 21.427 22.909 23.391 24.873 25.355 26.837 27.319 28.801 29.283 30.765 31.247 32.729 33.211 34.693 35.175 36.657 37.139 38.621 39.103 40.585 41.067 42.549 43.031 44.513 45.995 46.477 47.959 48.441 49.923 50.405 51.887 52.369 53.851 54.333 55.815 56.297 57.779 58.261 59.743 60.225 61.707 62.189 63.671 64.153 65.635 66.117 67.599 68.081 69.563 70.045 71.527 72.009 73.491 73.973 75.455 75.937 77.419 77.901 79.383 79.865 81.347 81.829 83.311 83.793 85.275 85.757 87.239 87.721 89.203 89.685 91.167 91.649 93.131 93.613 95.095 95.577 97.059 97.541 99.023 99.505 100.987 101.469 102.951 103.433 104.915 105.397 106.879 107.361 108.843 109.325 110.807 111.289 112.771 113.253 114.735 115.217 116.699 117.181 118.663 119.145 120.627 121.109 122.591 123.073 124.555 125.037 126.519 126.999 128.481 128.963 130.445 130.927 132.409 132.891 134.373 134.855 136.337 136.819 138.301 138.783 140.265 140.747 142.229 142.711 144.193 144.675 146.157 146.639 148.121 148.603 150.085 150.567 152.049 152.531 154.013 154.495 155.977 156.459 157.941 158.423 159.905 160.387 161.869 162.351 163.833 164.315 165.797 166.279 167.761 168.243 169.725 170.207 171.689 172.171 173.653 174.135 175.617 176.099 177.581 178.063 179.545 180.027 181.509 181.991 183.473 183.955 185.437 185.919 187.401 187.883 189.365 189.847 191.329 191.811 193.293 193.775 195.257 195.739 197.221 197.703 199.185 199.667 201.149 201.631 203.113 203.595 205.077 205.559 207.041 207.523 209.005 209.487 210.969 211.451 212.933 213.415 214.897 215.379 216.861 217.343 218.825 219.307 220.789 221.271 222.753 223.235 224.717 225.199 226.681 227.163 228.645 229.127 230.609 231.091 232.573 233.055 234.537 235.019 236.501 236.983 238.465 238.947 240.429 240.911 242.393 242.875 244.357 244.839 246.321 246.803 248.285 248.767 250.249 250.731 252.213 252.695 254.177 254.659 256.141 256.623 258.105 258.587 260.069 260.551 262.033 262.515 263.997 264.479 265.961 266.443 267.925 268.407 269.889 270.371 271.853 272.335 273.817 274.299 275.781 276.263 277.745 278.227 279.709 280.191 281.673 282.155 283.637 284.119 285.601 286.083 287.565 288.047 289.529 290.011 291.493 291.975 293.457 293.939 295.421 295.903 297.385 297.867 299.349 299.831 301.313 301.795 303.277 303.759 305.241 305.723 307.205 307.687 309.169 309.651 311.133 311.615 313.097 313.579 315.061 315.543 317.025 317.507 318.989 319.471 320.953 321.435 322.917 323.399 324.881 325.363 326.845 327.327 328.809 329.291 330.773 331.255 332.737 333.219 334.701 335.183 336.665 337.147 338.629 339.111 340.593 341.075 342.557 343.039 344.521 345.003 346.485 346.967 348.449 348.931 350.413 350.895 352.377 352.859 354.341 354.823 356.305 356.787 358.269 358.751 360.233 360.715 362.197 362.679 364.161 364.643 366.125 366.607 368.089 368.571 370.053 370.535 372.017 372.499 373.981 374.463 375.945 376.427 377.909 378.391 379.873 380.355 381.837 382.319 383.801 384.283 385.765 386.247 387.729 388.211 389.693 390.175 391.657 392.139 393.621 394.103 395.585 396.067 397.549 398.031 399.513 400.995 401.477 402.959 403.441 404.923 405.405 406.887 407.369 408.851 409.333 410.815 411.297 412.779 413.261 414.743 415.225 416.707 417.189 418.671 419.153 420.635 421.117 422.599 423.081 424.563 425.045 426.527 427.009 428.491 428.973 430.455 430.937 432.419 432.901 434.383 434.865 436.347 436.829 438.311 438.793 440.275 440.757 442.239 442.721 444.203 444.685 446.167 446.649 448.131 448.613 450.095 450.577 452.059 452.541 454.023 454.505 455.987 456.469 457.951 458.433 459.915 460.397 461.879 462.361 463.843 464.325 465.807 466.289 467.771 468.253 469.735 470.217 471.699 472.181 473.663 474.145 475.627 476.109 477.591 478.073 479.555 480.037 481.519 482.001 483.483 483.965 485.447 485.929 487.411 487.893 489.375 489.857 491.339 491.821 493.303 493.785 495.267 495.749 497.231 497.713 499.195 499.677 501.159 501.641 503.123 503.605 505.087 505.569 507.051 507.533 509.015 509.497 510.979 511.461 512.943 513.425 514.907 515.389 516.871 517.353 518.835 519.317 520.799 521.281 522.763 523.245 524.727 525.209 526.691 527.173 528.655 529.137 530.619 531.101 532.583 533.065 534.547 535.029 536.511 536.993 538.475 538.957 540.439 540.921 542.403 542.885 544.367 544.849 546.331 546.813 548.295 548.777 550.259 550.741 552.223 552.705 554.187 554.669 556.151 556.633 558.115 558.597 560.079 560.561 562.043 562.525 564.007 564.489 565.971 566.453 567.935 568.417 569.899 570.381 571.863 572.345 573.827 574.309 575.791 576.273 577.755 578.237 579.719 580.201 581.683 582.165 583.647 584.129 585.611 586.093 587.575 588.057 589.539 590.021 591.503 591.985 593.467 593.949 595.431 595.913 597.395 597.877 599.359 599.841 601.323 601.805 603.287 603.769 605.251 605.733 607.215 607.697 609.179 609.661 611.143 611.625 613.107 613.589 615.071 615.553 617.035 617.517 618.999 619.481 620.963 621.445 622.927 623.409 624.891 625.373 626.855 627.337 628.819 629.301 630.783 631.265 632.747 633.229 634.711 635.193 636.675 637.157 638.639 639.121 640.603 641.085 642.567 643.049 644.531 645.013 646.495 646.977 648.459 648.941 650.423 650.905 652.387 652.869 654.351 654.833 656.315 656.797 658.279 658.761 660.243 660.725 662.207 662.689 664.171 664.653 666.135 666.617 668.099 668.581 670.063 670.545 672.027 672.509 673.991 674.473 675.955 676.437 677.919 678.401 679.883 680.365 681.847 682.329 683.811 684.293 685.775 686.257 687.739 688.221 689.703 690.185 691.667 692.149 693.631 694.113 695.595 696.077 697.559 698.041 699.523 699.999 701.481 701.963 703.445 703.927 705.409 705.891 707.373 707.855 709.337 709.819 711.301 711.783 713.265 713.747 715.229 715.711 717.193 717.675 719.157 719.639 721.121 721.603 723.085 723.567 725.049 725.531 727.013 727.495 728.977 729.459 730.941 731.423 732.905 733.387 734.869 735.351 736.833 737.315 738.797 739.279 740.761 741.243 742.725 743.207 744.689 745.171 746.653 747.135 748.617 749.099 750.581 751.063 752.545 753.027 754.509 754.991 756.473 756.955 758.437 758.919 760.401 760.883 762.365 762.847 764.329 764.811 766.293 766.775 768.257 768.739 770.221 770.703 772.185 772.667 774.149 774.631 776.113 776.595 778.077 778.559 780.041 780.523 782.005 782.487 783.969 784.451 785.933 786.415 787.897 788.379 789.861 790.343 791.825 792.307 793.789 794.271 795.753 796.235 797.717 798.199 799.681 800.163 801.645 802.127 803.609 804.091 805.573 806.055 807.537 808.019 809.501 809.983 811.465 811.947 813.429 813.911 815.393 815.875 817.357 817.839 819.321 819.803 821.285 821.767 823.249 823.731 825.213 825.695 827.177 827.659 829.141 829.623 831.105 831.587 833.069 833.551 835.033 835.515 836.997 837.479 838.961 839.443 840.925 841.407 842.889 843.371 844.853 845.335 846.817 847.299 848.781 849.263 850.745 851.227 852.709 853.191 854.673 855.155 856.637 857.119 858.601 859.083 860.565 861.047 862.529 863.011 864.493 864.975 866.457 866.939 868.421 868.903 870.385 870.867 872.349 872.831 874.313 874.795 876.277 876.759 878.241 878.723 880.205 880.687 882.169 882.651 884.133 884.615 886.097 886.579 888.061 888.543 890.025 890.507 891.989 892.471 893.953 894.435 895.917 896.399 897.881 898.363 899.845 900.327 901.809 902.291 903.773 904.255 905.737 906.219 907.701 908.183 909.665 910.147 911.629 912.111 913.593 914.075 915.557 916.039 917.521 918.003 919.485 919.967 921.449 921.931 923.413 923.895 925.377 925.859 927.341 927.823 929.305 929.787 931.269 931.751 933.233 933.715 935.197 935.679 937.161 937.643 939.125 939.607 941.089 941.571 943.053 943.535 945.017 945.499 946.981 947.463 948.945 949.427 950.909 951.391 952.873 953.355 954.837 955.319 956.801 957.283 958.765 959.247 960.729 961.211 962.693 963.175 964.657 965.139 966.621 967.103 968.585 969.067 970.549 971.031 972.513 972.995 974.477 974.959 976.441 976.923 978.405 978.887 980.369 980.851 982.333 982.815 984.297 984.779 986.261 986.743 988.225 988.707 990.189 990.671 992.153 992.635 994.117 994.599 996.081 996.563 998.045 998.527 1000.009 1000.491 1001.973 1002.455 1003.937 1004.419 1005.901 1006.383 1007.865 1008.347 1009.829 1010.311 1011.793 1012.275 1013.757 1014.239 1015.721 1016.203 1017.685 1018.167 1019.649 1020.131 1021.613 1022.095 1023.577 1024.059 1025.541 1026.023 1027.505 1027.987 1029.469 1029.951 1031.433 1031.915 1033.397 1033.879 1035.361 1035.843 1037.325 1037.807 1039.289 1039.771 1041.253 1041.735 1043.217 1043.699 1045.181 1045.663 1047.145 1047.627 1049.109 1049.591 1051.073 1051.555 1053.037 1053.519 1055.001 1055.483 1056.965 1057.447 1058.929 1059.411 1060.893 1061.375 1062.857 1063.339 1064.821 1065.303 1066.785 1067.267 1068.749 1069.231 1070.713 1071.195 1072.677 1073.159 1074.641 1075.123 1076.605 1077.087 1078.569 1079.051 1080.533 1081.015 1082.497 1082.979 1084.461 1084.943 1086.425 1086.907 1088.389 1088.871 1090.353 1090.835 1092.317 1092.799 1094.281 1094.763 1096.245 1096.727 1098.209 1098.691 1100.173 1100.655 1102.137 1102.619 1104.101 1104.583 1106.065 1106.547 1108.029 1108.511 1109.993 1110.475 1111.957 1112.439 1113.921 1114.403 1115.885 1116.367 1117.849 1118.331 1119.813 1120.295 1121.777 1122.259 1123.741 1124.223 1125.705 1126.187 1127.669 1128.151 1129.633 1130.115 1131.597 1132.079 1133.561 1134.043 1135.525 1136.007 1137.489 1137.971 1139.453 1139.935 1141.417 1141.899 1143.381 1143.863 1145.345 1145.827 1147.309 1147.791 1149.273 1149.755 1151.237 1151.719 1153.201 1153.683 1155.165 1155.647 1157.129 1157.611 1159.093 1159.575 1161.057 1161.539 1163.021 1163.503 1164.985 1165.467 1166.949 1167.431 1168.913 1169.395 1170.877 1171.359 1172.841 1173.323 1174.805 1175.287 1176.769 1177.251 1178.733 1179.215 1180.697 1181.179 1182.661 1183.143 1184.625 1185.107 1186.589 1187.071 1188.553 1189.035 1190.517 1190.999 1192.481 1192.963 1194.445 1194.927 1196.409 1196.891 1198.373 1198.855 1200.337 1200.819 1202.301 1202.783 1204.265 1204.747 1206.229 1206.711 1208.193 1208.675 1210.157 1210.639 1212.121 1212.603 1214.085 1214.567 1216.049 1216.531 1218.013 1218.495 1219.977 1220.459 1221.941 1222.423 1223.905 1224.387 1225.869 1226.351 1227.833 1228.315 1229.797 1230.279 1231.761 1232.243 1233.725 1234.207 1235.689 1236.171 1237.653 1238.135 1239.617 1240.099 1241.581 1242.063 1243.545 1244.027 1245.509 1245.991 1247.473 1247.955 1249.437 1249.919 1251.401 1251.883 1253.365 1253.847 1255.329 1255.811 1257.293 1257.775 1259.257 1259.739 1261.221 1261.703 1263.185 1263.667 1265.149 1265.631 1267.113 1267.595 1269.077 1269.559 1271.041 1271.523 1273.005 1273.487 1274.969 1275.451 1276.933 1277.415 1278.897 1279.379 1280.861 1281.343 1282.825 1283.307 1284.789 1285.271 1286.753 1287.235 1288.717 1289.199 1290.681 1291.163 1292.645 1293.127 1294.609 1295.091 1296.573 1297.055 1298.537 1299.019 1300.501 1300.983 1302.465 1302.947 1304.429 1304.911 1306.393 1306.875 1308.357 1308.839 1310.321 1310.803 1312

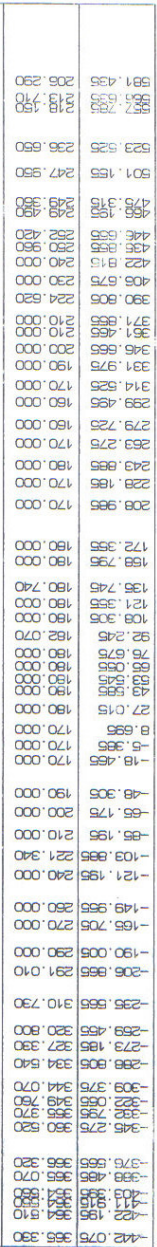
1. Model	Kot
1. Model	Mesafe
Düş. Ölçek: 5000	
Yat. Ölçek: 5000	
Ref. Kot: 50.00	

1. Model	Kot
1. Model	Mesafe
Düş. Ölçek: 5000	
Yat. Ölçek: 5000	
Ref. Kot: 50.00	

	1. Model	Kot	1. Model	Mesafe
473.157	473.157	473.850	473.850	473.850
452.020	452.020	448.220	448.220	448.220
429.640	429.640	438.000	438.000	438.000
222.390	222.390	230.370	230.370	230.370
200.000	200.000	336.950	336.950	336.950
190.000	190.000	344.780	344.780	344.780
180.000	180.000	350.950	350.950	350.950
337.550	337.550	336.190	336.190	336.190
310.250	310.250	318.050	318.050	318.050
300.570	300.570	307.300	307.300	307.300
293.320	293.320	337.300	337.300	337.300
261.950	261.950	333.000	333.000	333.000
256.930	256.930	327.270	327.270	327.270
218.350	218.350	291.850	291.850	291.850
197.150	197.150	281.820	281.820	281.820
189.660	189.660	274.770	274.770	274.770
163.260	163.260	267.600	267.600	267.600
147.410	147.410	253.410	253.410	253.410
139.560	139.560	240.000	240.000	240.000
170.000	170.000	230.000	230.000	230.000
92.370	92.370	214.520	214.520	214.520
60.640	60.640	161.450	161.450	161.450
52.110	52.110	145.830	145.830	145.830
30.140	30.140	132.050	132.050	132.050
11.370	11.370	110.000	110.000	110.000
180.000	180.000	170.000	170.000	170.000
170.000	170.000	170.000	170.000	170.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000	160.000	160.000	160.000
170.000	170.000			

1. Model	Kot	1. Model	Mesafe
365,330	365,330	365,330	365,330
516,700	516,700	516,700	516,700
966,070	966,070	966,070	966,070
-376,581	-376,581	-376,581	-376,581
97,571	97,571	97,571	97,571
-398,964	-398,964	-398,964	-398,964
360,520	360,520	360,520	360,520
345,750	345,750	345,750	345,750
344,070	344,070	344,070	344,070
300,300	300,300	300,300	300,300
304,190	304,190	304,190	304,190
300,800	300,800	300,800	300,800
-256,964	-256,964	-256,964	-256,964
-227,811	-227,811	-227,811	-227,811
-207,930	-207,930	-207,930	-207,930
-189,661	-189,661	-189,661	-189,661
-161,051	-161,051	-161,051	-161,051
-144,441	-144,441	-144,441	-144,441
-121,381	-121,381	-121,381	-121,381
-101,911	-101,911	-101,911	-101,911
-72,351	-72,351	-72,351	-72,351
-51,821	-51,821	-51,821	-51,821
236,610	236,610	236,610	236,610
236,570	236,570	236,570	236,570
222,310	222,310	222,310	222,310
222,500	222,500	222,500	222,500
221,660	221,660	221,660	221,660
237,890	237,890	237,890	237,890
236,540	236,540	236,540	236,540
227,680	227,680	227,680	227,680
228,590	228,590	228,590	228,590
200,450	200,450	200,450	200,450
172,310	172,310	172,310	172,310
151,600	151,600	151,600	151,600
126,740	126,740	126,740	126,740
105,950	105,950	105,950	105,950
85,290	85,290	85,290	85,290
66,740	66,740	66,740	66,740
78,780	78,780	78,780	78,780
96,210	96,210	96,210	96,210
121,080	121,080	121,080	121,080
148,301	148,301	148,301	148,301
221,221	221,221	221,221	221,221
236,570	236,570	236,570	236,570
236,610	236,610	236,610	236,610
236,570	236,570	236,570	236,570
222,310	222,310	222,310	222,310
222,500	222,500	222,500	222,500
221,660	221,660	221,660	221,660
237,890	237,890	237,890	237,890
236,540	236,540	236,540	236,540
227,680	227,680	227,680	227,680
228,590	228,590	228,590	228,590
200,450	200,450	200,450	200,450
172,310	172,310	172,310	172,310
151,600	151,600	151,600	151,600
126,740	126,740	126,740	126,740
105,950	105,950	105,950	105,950
85,290	85,290	85,290	85,290
66,740	66,740	66,740	66,740
78,780	78,780	78,780	78,780
96,210	96,210	96,210	96,210
121,080	121,080	121,080	121,080
148,301	148,301	148,301	148,301
221,221	221,221	221,221	221,221
236,570	236,570	236,570	236,570
236,610	236,610	236,610	236,610
236,570	236,570	236,570	236,570
222,310	222,310	222,310	222,310
222,500	222,500	222,500	222,500
221,660	221,660	221,660	221,660
237,890	237,890	237,890	237,890
236,540	236,540	236,540	236,540
227,680	227,680	227,680	227,680
228,590	228,590	228,590	228,590
200,450	200,450	200,450	200,450
172,310	172,310	172,310	172,310
151,600	151,600	151,600	151,600
126,740	126,740	126,740	126,740
105,950	105,950	105,950	105,950
85,290	85,290	85,290	85,290
66,740	66,740	66,740	66,740
78,780	78,780	78,780	78,780
96,210	96,210	96,210	96,210
121,080	121,080	121,080	121,080
148,301	148,301	148,301	148,301
221,221	221,221	221,221	221,221
236,570	236,570	236,570	236,570
236,610	236,610	236,610	236,610
236,570	236,570	236,570	236,570
222,310	222,310	222,310	222,310
222,500	222,500	222,500	222,500
221,660	221,660	221,660	221,660
237,890	237,890	237,890	237,890
236,540	236,540	236,540	236,540
227,680	227,680	227,680	227,680
228,590	228,590	228,590	228,590
200,450	200,450	200,450	200,450
172,310	172,310	172,310	172,310
151,600	151,600	151,600	151,600
126,740	126,740	126,740	126,740
105,950	105,950	105,950	105,950
85,290	85,290	85,290	85,290
66,740	66,740	66,740	66,740
78,780	78,780	78,780	78,780
96,210	96,210	96,210	96,210
121,080	121,080	121,080	121,080
148,301	148,301	148,301	148,301
221,221	221,221	221,221	221,221
236,570	236,570	236,570	236,570
236,610	236,610	236,610	236,610
236,570	236,570	236,570	236,570
222,310	222,310	222,310	222,310
222,500	222,500	222,500	222,500
221,660	221,660	221,660	221,660
237,890	237,890	237,890	237,890
236,540	236,540	236,540	236,540
227,680	227,680	227,680	227,680
228,590	228,590	228,590	228,590
200,450	200,450	200,450	200,450
172,310	172,310	172,310	172,310
151,600	151,600	151,600	151,600
126,740	126,740	126,740	126,740
105,950	105,950	105,950	105,950
85,290	85,290	85,290	85,290
66,740	66,740	66,740	66,740
78,780	78,780	78,780	78,780
96,210	96,210	96,210	96,210
121,080	121,080	121,080	121,080
148,301	148,301	148,301	148,301
221,221	221,221	221,221	221,221
236,570	236,570	236,570	236,570
236,610	236,610	236,610	236,610
236,570	236,570	236,570	236,570
222,310	222,310	222,310	222,310
222,500	222,500	222,500	222,500
221,660	221,660	221,660	221,660
237,890	237,890	237,890	237,890
236,540	236,540	236,540	236,540
227,680	227,680	227,680	227,680
228,590	228,590	228,590	228,590
200,450	200,450	200,450	200,450
172,310	172,310	172,310	172,310
151,600	151,600	151,600	151,600
126,740	126,740	126,740	126,740
105,950	105,950	105,950	105,950
85,290	85,290	85,290	85,290
66,740	66,740	66,740	66,740
78,780	78,780	78,780	78,780
96,210	96,210	96,210	96,210
121,080	121,080	121,080	121,080
148,301	148,301	148,301	148,301
221,221	221,221	221,221	221,221
236,570	236,570	236,570	236,570
236,610	236,610	236,610	236,610
236,570	236,570	236,570	236,570
222,310	222,310	222,310	222,310
222,500	222,500	222,500	222,500
221,660	221,660	221,660	221,660
237,890	237,890	237,890	237,890
236,540	236,540	236,540	236,540
227,680	227,680	227,680	227,680
228,590	228,590	228,590	228,590
200,450	200,450	200,450	200,450
172,310	172,310	172,310	172,310
151,600	151,600	151,600	151,600
126,740	126,740	126,740	126,740
105,950	105,950	105,950	105,950
85,290	85,290	85,290	85,290
66,740	66,740	66,740	66,740
78,780	78,780	78,780	78,780
96,210	96,210	96,210	96,210
121,080	121,080	121,080	121,080
148,301	148,301	148,301	148,301
221,221	221,221	221,221	221,221
236,570	236,570	236,570	236,570
236,610	236,610	236,610	236,610
236,570	236,570	236,570	236,570
222,310	222,310	222,310	222,310
222,500	222,500	222,500	222,500
221,660	221,660	221,660	221,660
237,890	237,890	237,890	237,890
236,540	236,540	236,540	236,540
227,680	227,680	227,680	227,680
228,590	228,590	228,590	228,590
200,450	200,450	200,450	200,450
172,310	172,310	172,310	172,310
151,600	151,600	151,600	151,600
126,740	126,740	126,740	126,740
105,950	105,950	105,950	105,950
85,290	85,290	85,290	85,290
66,740	66,740	66,740	66,740
78,780	78,780	78,780	78,780
96,210	96,210	96,210	96,210
121,080	121,080	121,080	121,080
148,301	148,301	148,301	148,301
221,221	221,221	221,221	221,221
236,570	236,570	236,570	236,570
236,610	236,610	236,610	236,610
236,570	236,570	236,570	236,570
222,310	222,310	222,310	222,310
222,500	222,500	222,500	222,500
221,660	221,660	221,660	221,660
237,890	237,890	237,890	237,890
236,540	236,540	236,540	236,540
227,680	227,680	227,680	227,680
228,590	228,590	228,590	228,590
200,450	200,450	200,450	200,450
172,310	172,310	172,310	172,310
151,600	151,600	151,600	151,600
126,740	126,740	126,740	126,740
105,950	105,950	105,950	105,950
85,290	85,290	85,290	85,290
66,740	66,740	66,740	66,740
78,780	78,780	78,780	78,780
96,210	96,210	96,210	96,210
121,080	121,080	121,080	121,080
148,301	148,301	148,301	148,301
221,221	221,221	221,221	221,221
236,570	236,570	236,570	236,570
236,610	236,610	236,610	236,610
236,570	236,570	236,570	236,570
222,310	222,310	222,310	222,310
222,500	222,500	222,500	222,500
221,660	221,660	221,660	221,660
237,890	237,890	237,890	237,890
236,540	236,540	236,540	236,540
227,680	227,680	227,680	227,680
228,590	228,590	228,590	228,590
200,450	200,450	200,450	200,450
172,310	172,310	172,310	172,310
151,600	151,600	151,600	151,600
126,740	126,740	126,740	126,740
105,950	105,950	105,950	105,950
85,290	85,290	85,290	85,290
66,740	66,740	66,740	66,740
78,780	78,780	78,780	78,780
96,210	96,210	96,210	96,210
121,080	121,080	121,080	121,080
148,301	148,301	148,301	148,301
221,221	221,221	221,221	2

Düş.Ölçek: 5000
Yat.Ölçek: 5000
Ref.Kot: 50.00

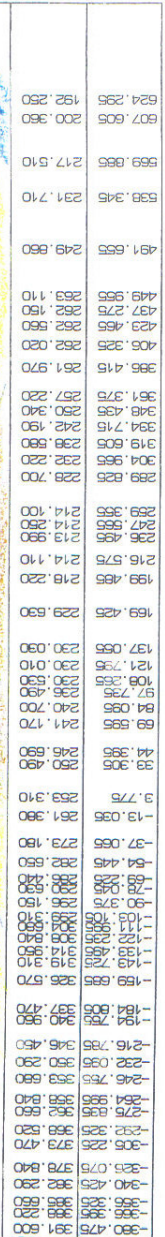
[illegible]

3A

Düş.Ölçek:5000
Yat.Ölçek:5000
Ref.Kot:80.00

1. Model	Kot
----------	-----

1. Model Mesafe



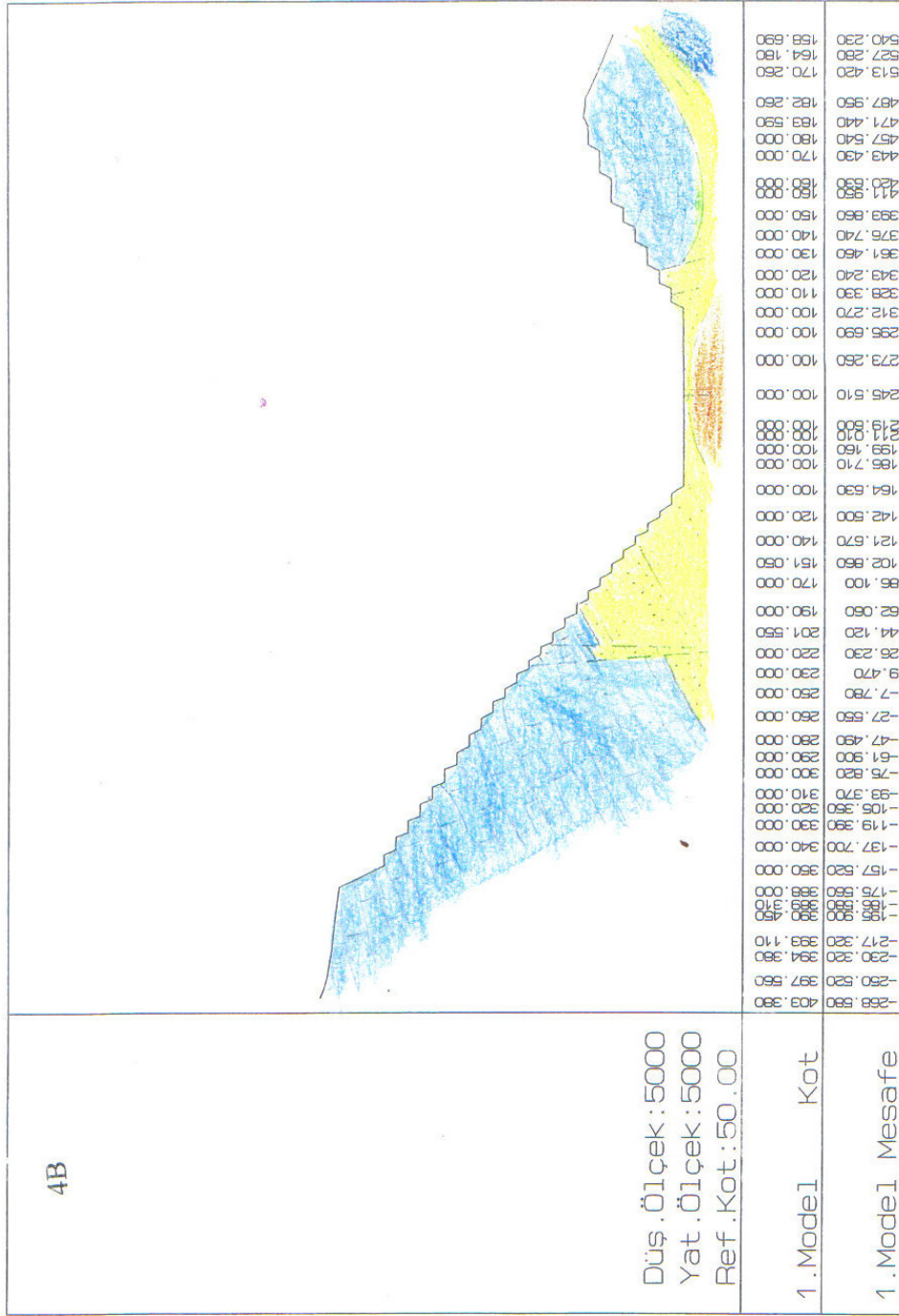
192	250	672	2,395
200	360	607	605
217	510	559	985
231	710	539	345
249	860	491	655
253	1	395	415
262	560	422	465
262	020	437	270
261	970	406	245
267	220	361	375
280	340	348	435
282	560	319	605
286	700	304	965
289	825	289	825
214	100	259	355
213	960	246	495
216	575	216	575
218	220	199	465
229	690	169	425
230	090	137	055
230	010	121	735
230	630	108	255
230	450	785	785
240	700	64	095
241	170	49	595
250	490	44	395
253	310	33	305
261	390	-13	075
273	180	-37	065
282	560	-64	445
286	410	-58	225
289	825	-70	795
290	220	-98	035
296	160	-97	375
300	560	-111	965
308	480	-112	225
310	310	-113	465
314	960	-119	605
316	570	-119	605
326	570	-169	665
340	590	-194	755
340	450	-216	735
350	290	-232	055
353	860	-246	765
359	660	-264	965
360	520	-275	835
366	360	-322	325
373	470	-305	025
379	440	-325	025
382	290	-326	425
383	690	-340	425
386	820	-356	355
391	820	-380	475
394	770	-390	475

3B

Düş. Ölçek: 5000
Yat. Ölçek: 5000
Ref. Kot: 50.00



80	391.500	88	391.500
79	388.500	87	388.500
78	385.500	86	385.500
77	382.500	85	382.500
76	379.500	84	379.500
75	376.500	83	376.500
74	373.500	82	373.500
73	370.500	81	370.500
72	367.500	80	367.500
71	364.500	79	364.500
70	361.500	78	361.500
69	358.500	77	358.500
68	355.500	76	355.500
67	352.500	75	352.500
66	349.500	74	349.500
65	346.500	73	346.500
64	343.500	72	343.500
63	340.500	71	340.500
62	337.500	70	337.500
61	334.500	69	334.500
60	331.500	68	331.500
59	328.500	67	328.500
58	325.500	66	325.500
57	322.500	65	322.500
56	319.500	64	319.500
55	316.500	63	316.500
54	313.500	62	313.500
53	310.500	61	310.500
52	307.500	60	307.500
51	304.500	59	304.500
50	301.500	58	301.500
49	298.500	57	298.500
48	295.500	56	295.500
47	292.500	55	292.500
46	289.500	54	289.500
45	286.500	53	286.500
44	283.500	52	283.500
43	280.500	51	280.500
42	277.500	50	277.500
41	274.500	49	274.500
40	271.500	48	271.500
39	268.500	47	268.500
38	265.500	46	265.500
37	262.500	45	262.500
36	259.500	44	259.500
35	256.500	43	256.500
34	253.500	42	253.500
33	250.500	41	250.500
32	247.500	40	247.500
31	244.500	39	244.500
30	241.500	38	241.500
29	238.500	37	238.500
28	235.500	36	235.500
27	232.500	35	232.500
26	229.500	34	229.500
25	226.500	33	226.500
24	223.500	32	223.500
23	220.500	31	220.500
22	217.500	30	217.500
21	214.500	29	214.500
20	211.500	28	211.500
19	208.500	27	208.500
18	205.500	26	205.500
17	202.500	25	202.500
16	199.500	24	199.500
15	196.500	23	196.500
14	193.500	22	193.500
13	190.500	21	190.500
12	187.500	20	187.500
11	184.500	19	184.500
10	181.500	18	181.500
9	178.500	17	178.500
8	175.500	16	175.500
7	172.500	15	172.500
6	169.500	14	169.500
5	166.500	13	166.500
4	163.500	12	163.500
3	160.500	11	160.500
2	157.500	10	157.500
1	154.500	9	154.500
0	151.500	8	151.500
-1	148.500	7	148.500
-2	145.500	6	145.500
-3	142.500	5	142.500
-4	139.500	4	139.500
-5	136.500	3	136.500
-6	133.500	2	133.500
-7	130.500	1	130.500
-8	127.500	0	127.500
-9	124.500	-1	124.500
-10	121.500	-2	121.500
-11	118.500	-3	118.500
-12	115.500	-4	115.500
-13	112.500	-5	112.500
-14	109.500	-6	109.500
-15	106.500	-7	106.500
-16	103.500	-8	103.500
-17	100.500	-9	100.500
-18	97.500	-10	97.500
-19	94.500	-11	94.500
-20	91.500	-12	91.500
-21	88.500	-13	88.500
-22	85.500	-14	85.500
-23	82.500	-15	82.500
-24	79.500	-16	79.500
-25	76.500	-17	76.500
-26	73.500	-18	73.500
-27	70.500	-19	70.500
-28	67.500	-20	67.500
-29	64.500	-21	64.500
-30	61.500	-22	61.500
-31	58.500	-23	58.500
-32	55.500	-24	55.500
-33	52.500	-25	52.500
-34	49.500	-26	49.500
-35	46.500	-27	46.500
-36	43.500	-28	43.500
-37	40.500	-29	40.500
-38	37.500	-30	37.500
-39	34.500	-31	34.500
-40	31.500	-32	31.500
-41	28.500	-33	28.500
-42	25.500	-34	25.500
-43	22.500	-35	22.500
-44	19.500	-36	19.500
-45	16.500	-37	16.500
-46	13.500	-38	13.500
-47	10.500	-39	10.500
-48	7.500	-40	7.500
-49	4.500	-41	4.500
-50	1.500	-42	1.500
-51	-1.500	-43	-1.500
-52	-4.500	-44	-4.500
-53	-7.500	-45	-7.500
-54	-10.500	-46	-10.500
-55	-13.500	-47	-13.500
-56	-16.500	-48	-16.500
-57	-19.500	-49	-19.500
-58	-22.500	-50	-22.500
-59	-25.500	-51	-25.500
-60	-28.500	-52	-28.500
-61	-31.500	-53	-31.500
-62	-34.500	-54	-34.500
-63	-37.500	-55	-37.500
-64	-40.500	-56	-40.500
-65	-43.500	-57	-43.500
-66	-46.500	-58	-46.500
-67	-49.500	-59	-49.500
-68	-52.500	-60	-52.500
-69	-55.500	-61	-55.500
-70	-58.500	-62	-58.500
-71	-61.500	-63	-61.500
-72	-64.500	-64	-64.500
-73	-67.500	-65	-67.500
-74	-70.500	-66	-70.500
-75	-73.500	-67	-73.500
-76	-76.500	-68	-76.500
-77	-79.500	-69	-79.500
-78	-82.500	-70	-82.500
-79	-85.500	-71	-85.500
-80	-88.500	-72	-88.500
-81	-91.500	-73	-91.500
-82	-94.500	-74	-94.500
-83	-97.500	-75	-97.500
-84	-100.500	-76	-100.500
-85	-103.500	-77	-103.500
-86	-106.500	-78	-106.500
-87	-109.500	-79	-109.500
-88	-112.500	-80	-112.500
-89	-115.500	-81	-115.500
-90	-118.500	-82	-118.500
-91	-121.500	-83	-121.500
-92	-124.500	-84	-124.500
-93	-127.500	-85	-127.500
-94	-130.500	-86	-130.500
-95	-133.500	-87	-133.500
-96	-136.500	-88	-136.500
-97	-139.500	-89	-139.500
-98	-142.500	-90	-142.500
-99	-145.500	-91	-145.500
-100	-148.500	-92	-148.500
-101	-151.500	-93	-151.500
-102	-154.500	-94	-154.500
-103	-157.500	-95	-157.500
-104	-160.500	-96	-160.500
-105	-163.500	-97	-163.500
-106	-166.500	-98	-166.500
-107	-169.500	-99	-169.500
-108	-172.500	-100	-172.500
-109	-175.500	-101	-175.500
-110	-178.500	-102	-178.500
-111	-181.500	-103	-181.500
-112	-184.500	-104	-184.500
-113	-187.500	-105	-187.500
-114	-190.500	-106	-190.500
-115	-193.500	-107	-193.500
-116	-196.500	-108	-196.500
-117	-199.500	-109	-199.500
-118	-202.500	-110	-202.500
-119	-205.500	-111	-205.500
-120	-208.500	-112	-208.500
-121	-211.500	-113	-211.500
-122	-214.500	-114	-214.500
-123	-217.500	-115	-217.500
-124	-220.500	-116	-220.500
-125	-223.500	-117	-223.500
-126	-226.500	-118	-226.500
-127	-229.500	-119	-229.500
-128	-232.500	-120	-232.500
-129	-235.500	-121	-235.500
-130	-238.500	-122	-238.500
-131	-241.500	-123	-241.500
-132	-244.500	-124	-244.500
-133	-247.500	-125	-247.500
-134	-250.500	-126	-250.500
-135	-253.500	-127	-253.500
-136	-256.500	-128	-256.500
-137	-259.500	-129	-259.500
-138	-262.500	-130	-262.500
-139	-265.500	-131	-265.500
-140	-268.500	-132	-268.500
-141	-271.500	-133	-271.500
-142	-274.500	-134	-274.500
-143	-277.500	-135	-277.500
-144	-280.500	-136	-280.500
-145	-283.500	-137	-283.500
-146	-286.500	-138	-286.500
-147	-289.500	-139	-289.500
-148	-292.500	-140	-292.500
-149	-295.500	-141	-295.500
-150	-298.500	-142	-298.500
-151	-301.500	-143	-301.500
-152	-304.500	-144	-304.500
-153	-307.500	-145	-307.500
-154	-310.500	-146	-310.500
-155	-313.500	-147	-313.500
-156	-316.500	-148	-316.500
-157	-319.500	-149	-319.500
-158	-322.500	-150	-322.500
-159	-325.500	-151	-325.500
-160	-328.500	-152	-328.500
-161	-331.500	-153	-331.500
-162	-334.500	-154	-334.500
-163	-337.500	-155	-337.500
-164	-340.500	-156	-340.500
-165	-343.500	-157	-343.500
-166	-346.500	-158	-346.500
-167	-349.500	-159	-349.500
-168	-352.500	-160	-352.500
-169	-355.500	-161	-355.500
-170	-358.500	-162	-358.500
-171	-361.500	-163	-361.500
-172	-364.500	-164	-364.500
-173	-367.500	-165	-367.500
-174	-370.500	-166	-370.500
-175	-373.500	-167	-373.500
-176	-376.500	-168	-376.500
-177	-379.500	-169	-379.500
-178	-382.500	-170	-382.500
-179	-385.500	-171	-385.500
-180	-388.500	-172	-388.500
-181	-391.500	-173	-391.500
-182	-394.500	-174	-394.500
-183	-397.500	-175	-397.500
-184	-400.500	-176	-400.500
-185	-403.500	-177	-403.500
-186	-406.500	-178	-406.500
-187	-409.500	-179	-409.500
-188	-412.500	-180	-412.500
-189	-415.500	-181	-415.500
-190	-418.500	-182	-418.500
-191	-421.500	-183	-421.500
-192	-424.500	-184	-424.500
-193	-427.500	-185	-427.500
-194	-430.500	-186	-430.500



Ek 4.10. 4B Kesiti