

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ZONGULDAK-KİLİMLİ YOLUNDA KAYA DÜŞME POTANSİYELİNİN
ARAŞTIRILMASI

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BEKİR KESKİN

NİSAN 2019

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ZONGULDAK-KİLİMLİ YOLUNDA KAYA DÜŞME POTANSİYELİNİN
ARAŞTIRILMASI

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bekir KESKİN

DANIŞMAN: Prof. Dr. Melih GENİŞ

ZONGULDAK

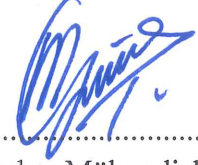
Nisan 2019

KABUL:

Bekir KESKİN tarafından hazırlanan “Zonguldak-Kilimli Yolunda Kaya Düşme Potansiyelinin Araştırılması” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 22/04/2019

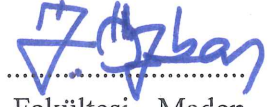
Danışman: Prof. Dr. Melih GENİŞ

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü



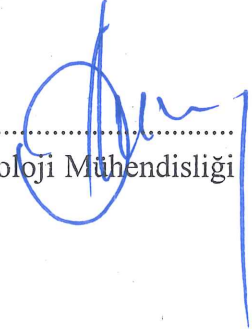
Üye : Prof. Dr. İhsan ÖZKAN

Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü



Üye : Dr. Öğr. Üyesi Gürkan BACAĞ

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü



ONAY:


Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım./....../2019



Prof. Dr. Ahmet ÖZARSLAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Bekir KESKİN



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ZONGULDAK-KİLİMLİ YOLUNDA KAYA DÜŞME POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI

Bekir KESKİN

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Melih GENİŞ

Nisan 2019, 95 sayfa

Zonguldak Batı Karadeniz bölgesinde yer alan dağlık alana sahip bir ilimizdir. Dağlık alanlarının yoğun olması nedeniyle karayollarının açılması ulaşım için önem taşımaktadır. Dağlık bölümlerde açılan karayolları ve demiryolları doğal afetlerden ilk etkilenen üstyapı unsurlarıdır. Şevden koparak düşen kaya blokları yollar içinde bulunan trafik güvenliği için son derece önemlidir. Kaya düşmesi olayı, mal kayıplarına, yaralanmalara ve hatta ölümlere neden olmaktadır. Bu nedenle kaya düşmesi potansiyelinin belirlenmesi gerekmektedir. Kaya düşmesi potansiyeli bulunan bölgelerde kaya bloklarının düşmesinin engellenmesi ve/veya düşen kayaların tehlikesinin ortadan kaldırılması gerekmektedir.

Kaya düşme olaylarının incelenmesinde öncelikle serbest kaya bloğunun ortalama boyutunun belirlenmesinde süreksizlik özelliklerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle çalışma sahasında süreksizlik ölçümleri yapılmış ve ortalama blok boyutu hesaplanmıştır. Süreksizlik aralıklarının “orta derece aralıklı” sınıfta olduğu tespit edilmiştir. Blok boyutu “küçük blok” olarak sınıflandırılmıştır. Ayrıca kaya malzemesine ait fiziksel ve mekanik özellikleri yapılan

ÖZET (devam ediyor)

laboratuvar çalışmaları ile belirlenmiştir. Tez alışması süresince, çalışma sahasında düşen kaya bloklarının boyutları ve konumları llmuştur. Elde edilen veriler kaya düşmesi analizi yapan bir bilgisayar programında kullanılarak geri analizler yapılmıştır. Geri analizler sonucunda kaya bloklarının ortalama sıçrama katsayıları elde edilmiştir. İncelenen şev yüzeyi kaya düşmesi analiz programında modellenmiştir. Farklı kütleye sahip kaya bloklarına ait düşme analizleri yapılmıştır. Kaya düşmesi analizleri sonucunda incelenen kaya bloklarının karayoluna ulaştığı ve tehlike oluşturduğu tespit edilmiştir.

Kaya düşmesi olaylarını engellemek ve oluşabilecek zararları azaltmak için uygulanan yöntemler incelenmiştir. Bu yöntemler arasından çalışma sahasında uygulanabilecek önlem olarak beton bariyerin kullanılması kararlaştırılmıştır. Kaya düşmesi analizleri beton bariyer seçeneği kullanılarak tekrar yapılmıştır. Düşen kaya bloğunun enerjisini soğurabilecek özellikte beton bariyer özellikleri nerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Zonguldak, kaya duşmesi, karayolu şev, beton bariyer

Bilim Kodu: 607.01.02.

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF ROCK FALLING POTENTIAL IN ZONGULDAK-KİLİMLİ ROADWAY

Bekir KESKİN

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

Thesis Advisor: Prof. Dr. Melih GENİŞ

April 2019, 95 pages

Zonguldak is a mountainous area in the Western Black Sea region. Due to the high mountainous areas, the opening of highways is important for transportation. Highways and railways in mountainous areas are the first superstructure elements affected by natural disasters. Rock blocks falling off from the slope is very important for traffic safety in roads. A rock fall event leads to property losses, injuries and even deaths. Therefore, it is necessary to determine the rock fall potential. In areas where rock fall potential exists, it is necessary to prevent the fall of rock blocks and/or to remove the danger of falling rocks.

In order to determine the average size of the free rock block, it is necessary to determine the discontinuity characteristics. Therefore, discontinuity measurements were made in the study area and mean block size was calculated. The discontinuity intervals were determined in the class of “medium-spaced”. The block size has been classified as “small block”. In addition, physical and mechanical properties of rock materials were determined by laboratory studies. During the thesis study, the dimensions and positions of the rock blocks falling in the

ABSTRACT (continued)

neighbourhood were measured. The data were analysed using a computer program for rock fall analysis. As result of the back analysis, the mean restitution coefficients of the rock blocks were obtained. The investigated slope surface was modelled in rock fall analysis program. Fall analysis of rock blocks with different masses were performed. As a result of rock fall analysis, it was determined that the rock blocks reaching to the highway and posed a danger.

Methods used to prevent rock fall events and to reduce the damages that may occur are examined. Among these methods, it was decided to use the concrete barrier as a measure to be applied in the study area. Rock fall analyses were repeated using the concrete barrier option. The concrete barrier properties which can absorb the energy of the falling rock have been proposed.

Keywords: Zonguldak, rockfall, highway slope, concrete barrier

Science Code: 607.01.02.

TEŞEKKÜR

Tez konusunun belirlenmesi ve değerlendirme sürecindeki katkılarından dolayı tez danışmanım Prof. Dr. Melih GENİŞ'e ve tez jüri üyesi Prof. Dr. İhsan ÖZKAN'a teşekkür ederim.

Çalışma sürecinde katkılarını esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Gürkan BACAĞ'a, Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Erdiñ BİLİR'e, Arş. Gör. Dr. Utku SAKIZ'a ve Hacı Mehmet BARDIZ (Jeoloji Müh., TTK)'a; desteğini esirgemeyen aile fertlerime en içten duygularıyla teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
1.1 KONUNUN ÖNEMİ.....	1
1.2 TEZİN AMACI VE KAPSAMI.....	2
BÖLÜM 2 JEOLJİK DURUM.....	3
2.1 BÖLGENİN GENEL JEOLJİSİ.....	3
2.1.1 Kozlu Formasyonu (Cko).....	3
2.1.2 Karadon Formasyonu (Cka)	6
2.1.3 İnaltı Formasyonu (Jki)	6
2.1.4 Kilimli Formasyonu (Kk).....	7
2.2 TEKTONİK GELİŞİM	8
2.3 İNCELEME ALANININ JEOLJİSİ	8
BÖLÜM 3 ŞEV DURAYSIZLIĞI VE KAYA DÜŞMESİ	13
3.1 ŞEV DURAYSIZLIK TÜRLERİ.....	13
3.1.1 Devrilme.....	14

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

Sayfa

3.1.2 Kayma	15
3.1.3 Yanal Yayılma.....	15
3.1.4 Akma	16
3.1.5 Karmaşık Kaymalar.....	16
3.2 KAYA DÜŞMESİ.....	17
3.3 KAYA DÜŞMESİ DURAYSIZLIK TÜRÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	19
3.4 DÜNYADA VE TÜRKİYE'de KAYA DÜŞMESİ OLAYLARI.....	19
BÖLÜM 4 KAYA MALZEMESİ VE KÜTLESİ ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ....	25
4.1 KAYA MALZEMESİNİN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ.....	25
4.1.1 Kaya Malzemesinin Fiziksel Özellikleri	27
4.1.2 Tek Eksenli Basınç Dayanımı	27
4.1.3 Dolaylı Çekme Dayanımlarının Belirlenmesi	28
4.1.4 Deformabilite Deneyleri.....	30
4.2 KAYA KÜTLESİ SÜREKSİZLİK ÖZELLİKLERİ	32
4.2.1 Süreksizlik Yönelimi.....	32
4.2.2 Blok boyutu	36
4.2.2.1 Blok Boyutu İndeksi (I_b)	37
4.2.2.2 Hacimsel Eklem Sayısı (J_v)	39
4.2.3 Süreksizlik Ölçümlerinin Değerlendirmesi	41
BÖLÜM 5 KAYA DÜŞMESİ ANALİZLERİ.....	43
5.1 PROGRAMIN TANITIMI.....	43
5.2 ŞEV MODELİ.....	45
5.3 GERİ ANALİZLER	46
5.4 KAYA DÜŞMESİ ANALİZLERİ	51
5.4.1 Kinetik Enerji	55
5.4.2 Düşen Blok Sayısı	59
5.4.3 Sıçrama Yüksekliği	62

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

Sayfa

5.4.4 Değerlendirme	65
BÖLÜM 6 KAYA DÜŞMELERİNE KARŞI ALINACAK ÖNLEMLER VE BARİYER ÖNLEMLİ KAYA DÜŞME ANALİZİ	67
6.1 KAYA DÜŞMELERİNE KARŞI ALINACAK ÖNLEMLER	68
6.1.1 Tüneller	69
6.1.2 Sedde Tipi Dolgu Bariyerler	70
6.1.3 Çelik Ağlar-Çitler.....	71
6.1.4 Tel Ağ ve Saplamlar ile Yüzey Kaplama	72
6.1.5 Beton Bariyer ve Kanallar (Hendekler)	74
6.1.6 Kaya Düşmelerinin Engellenmesine Ait Değerlendirme	76
6.2 BARİYER ÖNLEMLİ KAYA DÜŞME ANALİZİ.....	77
BÖLÜM 7 SONUÇ VE ÖNERİLER.....	85
KAYNAKLAR.....	89
BİBLİYOGRAFYA	93
ÖZGEÇMİŞ	95



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 Zonguldak ve civarının jeoloji haritası	4
Şekil 2.2 Zonguldak ve yakın civarının genelleştirilmiş dikme kesiti.	5
Şekil 2.3 Zonguldak ve yakın civarının bölgesel jeolojik kesiti	6
Şekil 2.4 Çalışma alanı kireçtaşlarından saha görünümü ve yapılan ölçümler.....	9
Şekil 2.5 Kireçtaşı örneğine ait ince kesit görüntüleri.	10
Şekil 2.6 (a) İnceleme alanı lokal jeoloji haritası ve (b) KB-GD (A-A') yönünde jeolojik kesiti.	11
Şekil 3.1 Devrilme.....	15
Şekil 3.2 Kayma	15
Şekil 3.3 Yanal yayılma	16
Şekil 3.4 Akma.....	16
Şekil 3.5 Tez çalışma sahasında düşmüş kaya blokları, 06.01.2018.....	17
Şekil 3.6 Kaya düşme duraysızlık türünde etkili olan başlıca mekanizmalar	18
Şekil 3.7 Kaya düşmesi olay sayısına bağlı olarak illere göre dağılımı	21
Şekil 3.6 (a) Kaya düşmesi gökgöl mağarası önü, (b) kaya düşmesi kredi yurtlar kurumu önü.	23
Şekil 4.1 Karot alma işlemi.	26
Şekil 4.2 Alınan karotlar.	26
Şekil 4.3 Tek eksenli basınç dayanımı deneyi ve yükleme makinesi.	28
Şekil 4.4 Dolaylı çekme deneyinden görünüm.	29
Şekil 4.5 Deformabilite deneyinden görünüm.	31
Şekil 4.6 16 Kodlu örneğe ait eksenel gerilme-eksenel ve çapsal birim deformasyon grafiği.	31
Şekil 4.7. 17 Kodlu örneğe ait eksenel gerilme-eksenel ve çapsal birim deformasyon grafiği.	32
Şekil 4.8 (a) ve (b) Kireçtaşlarında süreksizlik sınırları (1: tabaka düzlemi, 2 ve 3: eklem düzlemi).....	34
Şekil 4.9 (a) Süreksizliklere ait kutup noktalarının gösterimi, (b) Süreksizliklere ait gül diyagramı.....	35
Şekil 4.10 Süreksizlik aralığı ölçümlerinden bir görünüm.	38
Şekil 4.11 Kaya kütlesi için süreksizlik aralığı-frekans histogramı.....	39
Şekil 5.1 Çalışma sahasına ait görünüm.....	45
Şekil 5.2 Şev kesiti.....	46
Şekil 5.3 Hareket yörüngesine göre kaya hızı bileşenlerinin tanımlanması	47
Şekil 5.4 Tez çalışma sahasında çeşitli tarihlerde düşmüş kaya blokları.....	50

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 5.5 Geri analiz yöntemiyle hesaplanan normal sıçrama katsayısı, (R_n) ve teğetsel sıçrama katsayısı, (R_t) katsayıları arasındaki ilişki.	51
Şekil 5.6 Farklı kaya kütlelerine sahip kaya bloklarının hareket yörüngeleri.	53
Şekil 5.7 Farklı kaya kütlelerine sahip blokların toplam kinetik enerji – konum grafikleri. ...	56
Şekil 5.8 Farklı kaya kütlelerine sahip blokların, blok sayısı - konum grafikleri.	59
Şekil 5.9 Farklı kaya kütlelerine sahip blokların sıçrama yapan blok sayısı-konum grafikleri.	63
Şekil 6.1 (a) Kaya düşmeleri için oluşturulmuş tünellerin önden ve (b) yandan görünümü....	69
Şekil 6.2 Tünel kesit çeşitleri	70
Şekil 6.3 Sedde tipi dolgu bariyer görünümü.....	70
Şekil 6.4 Sedde tipi dolgu bariyer ve dolgu malzemeleri	71
Şekil 6.5 Çelik ağaların konumu ve kaya düşmesi olayına karşı uygulamasından görünüm ..	72
Şekil 6.6 Şev yüzeyinin tel ağ ile kaplanması	73
Şekil 6.7 Tel ağlara kaya saptaması uygulanması	74
Şekil 6.8 Beton bariyer görünüm	75
Şekil 6.9 Kanal içine düşmüş kaya blokları	75
Şekil 6.10 Kaya düşmelerine karşı alınacak önlem çeşitlerinin kinetik enerji soğurma kapasiteleri	77
Şekil 6.11 Önleyici Yöntem Seçimini Etkileyen Faktörler.....	78
Şekil 6.12 Bariyer uygulamasının görünüşü.	80
Şekil 6.13 Bariyerin gerekli enerjiyi karşılamadığı durumda, bariyeri geçen kaya blokların hareket yörüngesi.	81
Şekil 6.14 Bariyer konulmasından sonra oluşan farklı kaya kütlelerine sahip kaya bloklarının düşme yörüngeleri.	82

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 İnceleme sahasından alınan kireçtaşı örneğinin mineralojik bileşimi ve petrografik tanımlaması.	10
Çizelge 3.1 Şev duraysızlıkları için Varnes (1978) mühendislik sınıflaması	14
Çizelge 3.2 Kaya düşmesini etkileyen faktörler.....	19
Çizelge 3.3 Çeşitli ülkelerde son on yılda meydana gelmiş önemli kaya düşmesi olayları.....	20
Çizelge 3.4 Türkiye’de 2010-2019 yılları arasında meydana gelmiş önemli kaya düşme olayları.....	21
Çizelge 3.5 Zonguldak ilinde 2013-2018 yılları arasında meydana gelmiş kaya düşmesi sonucu oluşan kazalar.....	22
Çizelge 4.1 Kaya malzemesi fiziksel özellikleri	27
Çizelge 4.2 Tek eksenli basınç dayanımı sonuçları.	28
Çizelge 4.3 Dolaylı çekme deneyi sonuçları.....	30
Çizelge 4.4 Deformabilite deneyi sonucunda elde edilen Young modülü ve Poisson oranı. ..	32
Çizelge 4.5 Süreksizlik aralığını tanımlama ölçütleri	38
Çizelge 4.6 Çalışma alanında yapılan süreksizlik ölçümleri.....	40
Çizelge 4.7 Hacimsel eklem sayısına (J_v) göre blok boyutunun tanımlanması	40
Çizelge 4.8 Deere (1966) tarafından önerilen RQD sınıflandırması.....	41
Çizelge 5.1 Şev yüzeyinden kopan kaya bloklarının ölçümleri.	49
Çizelge 5.2 Kaya düşmesi analizinde kullanılan giriş parametreleri.	52
Çizelge 5.3 Farklı kaya kütlelerine ilişkin elde edilen analiz sonuçları.....	66
Çizelge 6.1 Kaya düşmelerine karşı alınacak önlemler.	68
Çizelge 6.2 Düşen kaya kütlelerinin bariyere ulaşana kadar kazandıkları en büyük kinetik enerji değerleri.....	81



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

γ_{kuru}	: Kuru Birim Hacim Ağırlığı
n	: Gözeneklilik Oranı
e	: Boşluk Oranı
w	: Su İçeriği
S	: Doygunluk Derecesi
σ_c	: Tek Eksenli Basınç Dayanımı
F	: Yenilme Anındaki Yük
L	: Örneğin Boyu
D	: Örneğin Çapı
σ_{tB}	: Dolaylı Çekme Dayanımı
F	: Yenilme Anındaki Yük
ϵ_d	: Çapsal Birim Deformasyon
ϵ_l	: Eksenel Birim Deformasyon
$S1, S2, S3$: Süreksizlik Aralığı
I_b	: Blok Boyutu İndeksi
S	: Süreksizlik Aralığı
J_v	: Hacimsel Eklem Sayısı
N	: Süreksizlik Sayısı
L	: Ölçüm Hattının Uzunluğu
R_t	: Teğetsel Sıçrama Katsayısı
V_{at}	: Çarpma Sonrası, Hızın Teğetsel Bileşeni
V_{bt}	: Çarpma Öncesi, Hızın Teğetsel Bileşeni
R_n	: Normal Sıçrama Katsayısı
V_{an}	: Çarpma Sonrası, Hızın Normal Bileşeni
V_{bn}	: Çarpma Öncesi, Hızın Normal Bileşeni

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

KISALTMALAR

- B** : Boşluk
Cka : Karadon Formasyonu
Cko : Kozlu Formasyonu
Do : Dolomit
GD : Güney Doğu
HCl : Hidroklorik asit
Jki : İnaltı Formasyonu
Jkii : İnciğez Üyesi
KB : Kuzey Batı
Kk : Kilimli Formasyonu
Mk : Mikritik Kalsit
RQD : Kaya Kalite Göstergesi
Spk : Spar Kalsit

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 KONUNUN ÖNEMİ

Kaya düşmesi, eğimli bir yamaçta çeşitli nedenlerden dolayı kaya kütlelerinin ana kayaçtan koparak yerçekimi etkisiyle düşme olayıdır. Kaya düşmeleri; kayacın yapısında bulunan süreksizliklerin aralığı, süreksizliklerin eğimi, süreksizliklerin yönü, kayacın boyutu, kayacın basınç dayanımı, bölgenin jeolojik koşulları ve iklimi, arazi üzerindeki yükler, bitki örtüsü, titreşimler, madencilik faaliyetleri vb etmenler tarafından etkilenmektedir.

Şevlerde oluşabilecek kaya blokları belirtilen nedenlerle ana kütlede kopma, ayrılma yaparak sahip olduğu potansiyel enerjisini kinetik enerjiye dönüştürmektedir. Kaya parçası kayarak, sıçrayarak ve serbest düşme hareketi yaparak zemine düşer ve üzerindeki enerji bitene kadar hareketine devam etmektedir. Kaya parçasının bu hareket yörüngesi içinde bulunan nesne ve varlıklara zarar vermesi olasıdır. Kaya düşmesi olayının önceden kestirilmesi ve düşme olayının neden olacağı zararların önlenmesi için alınabilecek önlemlerin ortaya konulması son derece önemlidir.

Dünyada ve ülkemizde kaya düşmesi olayları sık yaşanan afetlerdendir. Bu olaylar sonucunda can ve mal kayıpları yaşanabilmektedir. 26 Kasım 2017 tarihinde Çin'de yaşanan kaya düşmesi olayında 6 kişi hayatını kaybetmiş ve 9 kişi yaralanmıştır (URL-1).

Ülkemizde özellikle kaya düşmesi olayları Doğu Anadolu bölgesi ve Doğu Karadeniz bölgesinde sıkça gözlenmektedir Bunun başlıca nedenlerinden biri önemli ulaşım yollarının eğimi yüksek vadilerde açılması ve iklim olarak bol yağış almasıdır. Ayrıca mevsimler arası ve gece-gündüz arası sıcaklık farklılıkları da kaya düşmesi olaylarına neden olmaktadır.

1.2 TEZİN AMACI VE KAPSAMI

Bu tez çalışmasında, Zonguldak-Kilimli arasında bulunan Uzunkum mevkiinde yapım çalışmaları devam etmekte olan sahil yolunda kaya şevlerinde meydana gelebilecek kaya düşmesi potansiyelinin belirlenmesi ve alınabilecek önlemlerin tartışılması hedeflenmiştir.

Tez kapsamında öncelikle bölgenin ve çalışma alanının jeolojik özellikleri ile jeomorfolojisi hakkında bilgi verilmiştir. Daha sonra kaya şevleri duraysızlık türleri ve kaya düşmesi hakkında literatür sunulmuştur. Çalışma bölgesinde yer alan kireçtaşına ait kaya malzemesi ve kaya kütlesi özelliklerinin belirlenmesi için arazi ve laboratuvar çalışmaları yapılmıştır. Arazi çalışmaları kapsamında kaya kütlesi özelliklerinin belirlenmesi için süreksizlik ölçümleri, jeolojik kesit alımı, fotoğraflama ve örnek alma işlemleri yapılmıştır. Laboratuvar çalışmaları kapsamında da kireçtaşına ilişkin fiziksel ve mekanik özellikler belirlenmiştir. Kaya düşmesi iki boyutlu çözümlene yapabilen paket program kullanılarak analizleri yapılmıştır. Farklı blok büyüklükleri esas alınarak yapılan analizlerin sonuçları değerlendirilmiştir. Son olarak elde edilen bilgiler ışığında, oluşabilecek tehlikeler için alınabilecek önlem yöntemleri tartışılmıştır.

BÖLÜM 2

JEOLOJİK DURUM

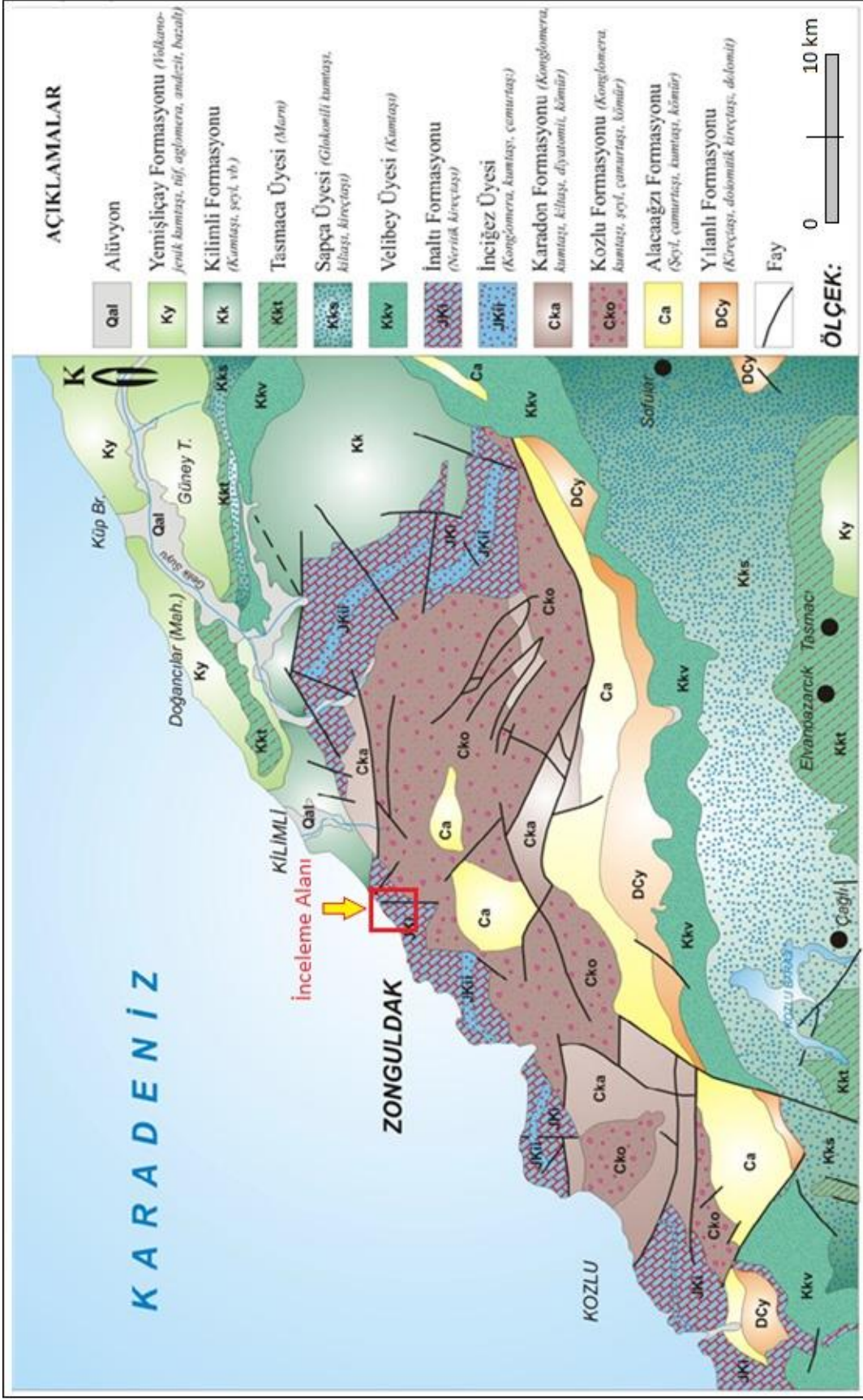
Jeolojik durum; bölgenin genel jeolojisi ve inceleme alanının jeolojisi olmak üzere iki ana başlık altında sunulmuştur.

2.1 BÖLGENİN GENEL JEOLJİSİ

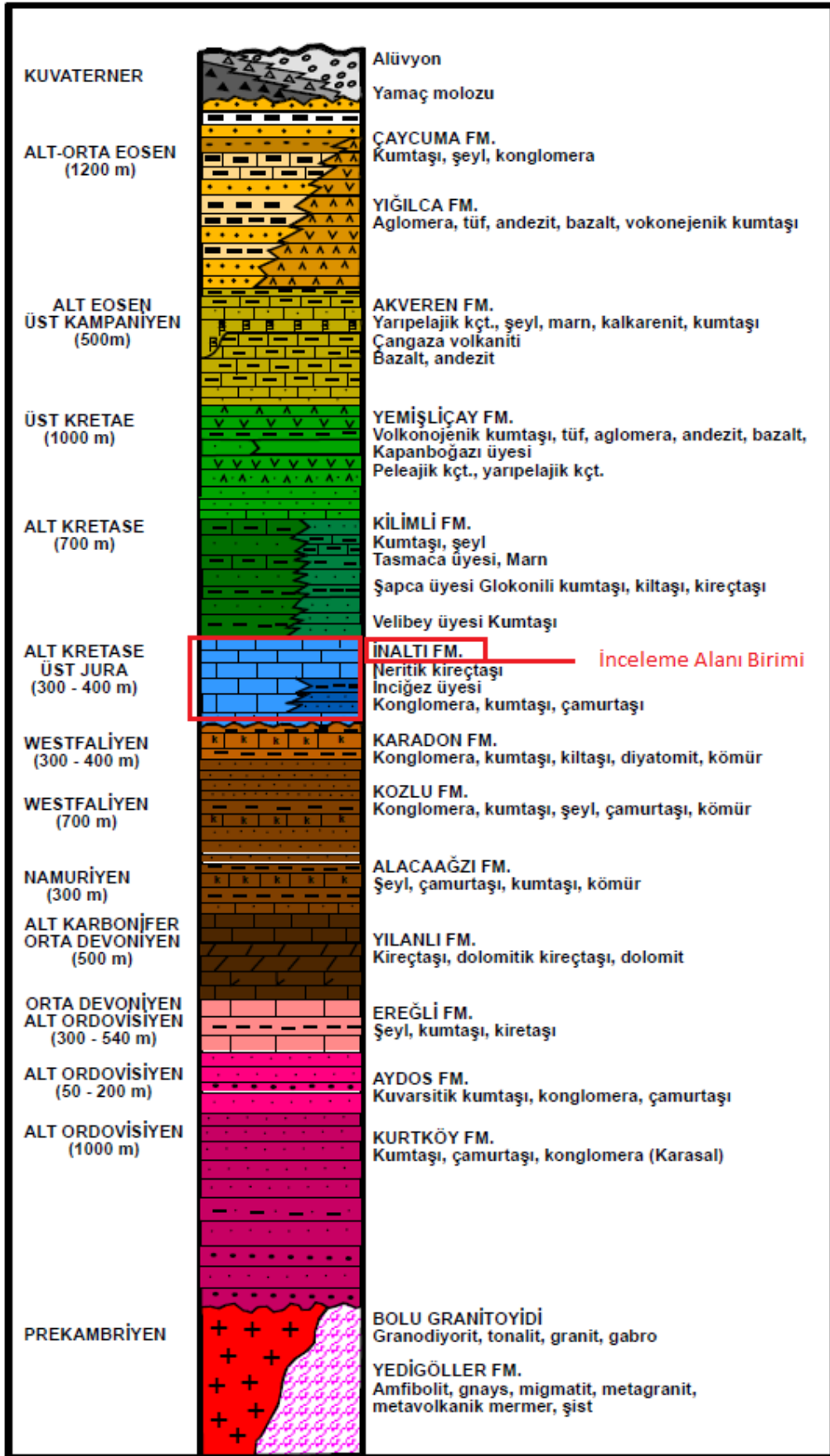
İnceleme alanı Prekambriyen'den Kuvaterner'e kadar değişik yaş aralığında oluşmuş jeolojik birimlerden oluşmaktadır. Bölgenin temel yapısını, Prekambriyen yaşlı Yedigöller Formasyonu ve Bolu Granitoyidi oluşturmaktadır. Bunların üzerinde uyumsuz olarak Kurtköy Formasyonu ve üzerine gelen sedimanter ve volkanik kökenli birimler yer almaktadır. Kurtköy Formasyonu ve üzerinde bulunan Aydos Formasyonu, Alt Ordovisiyen yaşlıdır. Aydos Formasyonu üzerinde Orta Ordovisiyen-Alt Devoniyen yaşlı Ereğli Formasyonu, Orta Devoniyen-Alt Karbonifer yaşlı Yılanlı Formasyonu, Namuriyen yaşlı Alacağzı ile Westfaliyen yaşlı Kozlu ile Karadon Formasyonları bulunmaktadır. Bunların üzerinde Üst Jura-Alt Kretase yaşlı İnaltı Formasyonu, Alt Kretase yaşlı Kilimli Formasyonu ile Üst Kretase yaşlı Yemişliçay Formasyonu, Üst Kampaniyen-Alt Eosen yaşlı Akveren Formasyonu, Alt-Orta Eosen yaşlı Çaycuma Formasyonu, Yığılca Formasyonu ve Kuvaterner yaşlı Alüvyonlar yer almaktadır (Şekil 2.1, 2.2 ve 2.3).

2.1.1 Kozlu Formasyonu (Cko)

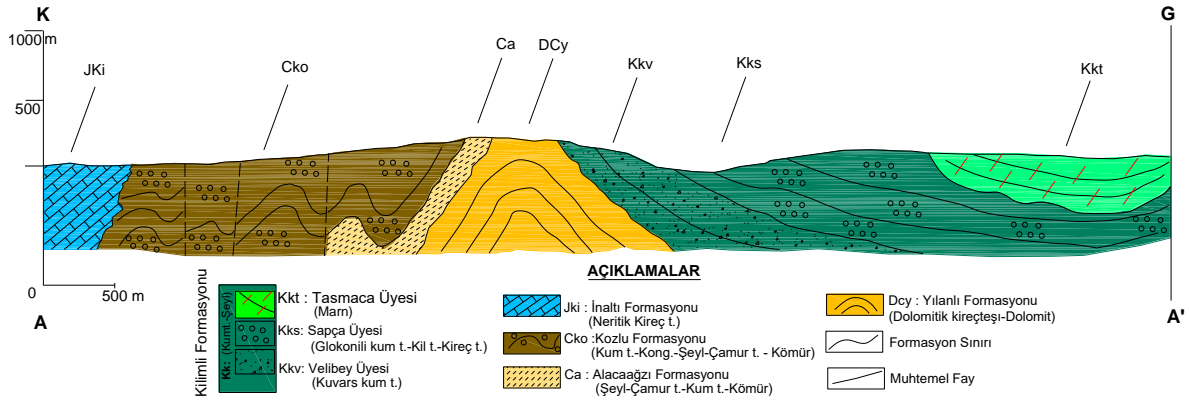
Kömür damarlı konglomera, kumtaşı, şeyl ve çamurtaşlarından oluşan birim, Ralli (1933) tarafından Kozlu Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Zonguldak Havzasında kömür kapsayan Karbonifer birimlerinin en önemlisi olan birim, mikalı karbonatlı kumtaşı, orta-kaba taneli kumtaşı, çakıllı kumtaşı, masif veya yatay katmanlaşmış konglomera, organik maddece zengin çamurtaşı ve ekonomik kömür damarlarının ardalanmasından oluşmaktadır (Kerey 1984). Alttan Alacağzı, üstten ise Karadon Formasyonlarıyla geçişli olan birimin yaş palinolojik bulgulara göre Westfaliyen A'dır (Ağralı 1970, Kerey 1984, Yergök vd. 1987).



Şekil 2.1 Zonguldak ve civarının jeoloji haritası (Alan ve Aksay 2002).



Şekil 2.2 Zonguldak ve yakın civarının genelleştirilmiş dikme kesiti (Alan ve Aksay 2002).



Şekil 2.3 Zonguldak ve yakın civarının bölgesel jeolojik kesiti (Bacak 2018).

2.1.2 Karadon Formasyonu (Cka)

Konglomera, kumtaşı, kiltası ve diatomitlerden oluşan birim, Ralli (1933) tarafından adlandırılmıştır. Alacağzı ve Kozlu Formasyonları gibi Zonguldak civarında mostraları bulunan birimde diatomitin varlığı (Dil ve Konyalı 1978) ile üst seviyelerde refrakter kil (şiferton) bulunuşu (Kerey 1984, Yergök vd. 1987), birimin kömür damarları içermesi yanı sıra diğer özellikleri olarak bilinmektedir.

Altta Kozlu Formasyonu ile geçişli olan birim, çalışma alanı dışında üstten Çakraz Formasyonu tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir. Palinolojik bulgulara dayanılarak Yergök vd. (1987) göre Westfaliyen A (Üst), B, C; Dil ve Konyalı (1978) göre ise Westfaliyen B, C, D yaşlıdır. Birim tektonik etkinliğin olduğu, örgülü akarsu ortamında çökelmiştir.

2.1.3 İnaltı Formasyonu (JKİ)

Genellikle platform türü karbonatlardan oluşan birim, Ketin ve Gümüş (1963) tarafından adlandırılmıştır. Formasyon içindeki kırıntılı kayalar İnciğez üyesi olarak ayrılmıştır. Bej, beyaz ve gri renklerde, orta-kalın tabakalı, yer yer masif ve dolomitik olan birim, kireçtaşı türleri olarak vaketaşı, istiftaşı, tanetaşı ve bağlamtaşı içermektedir. Tabanında kumlu kireçtaşlarının geliştiği birim, kalınlık bakımından yanarda değişiklik gösterir. Yanal olarak Ulus ve Kilimli Formasyonlarıyla girik olduğu ya da bu dokanaklar boyunca platformdan yamaca doğru diller şeklinde uzandığı yerlerde, tane ve kütle akması tarzındaki taşınmalardan dolayı dokusal değişiklikler gösterir. İnceleme sahası içerisinde yer alan ve inceleme

konusunu oluşturan kireçtaşları İnaltı Formasyonuna ait tabakalar; orta-kalın tabakalı, yer yer masif, ayrışma ve bozuşma göstermeyen, sağlam ve dayanıklı, mikritik karakterli kireçtaşlarından oluşmaktadırlar (Ketin ve Gümüş 1963).

İnciğez Üyesi (Jkii)

Konglomera, kumtaşı ve çamurtaşlarından oluşan birim, ilk kez Tokay (1952) tarafından İnciğez tabakaları olarak adlandırılmış, daha sonra ise şimdiki adı Saner vd. (1981) kullanmıştır. Zonguldak dolayında İnaltı Formasyonu içinde yerel olarak gelişmiş ve formasyonu ikiye bölen bir seviye durumundaki birim, konglomera, çakıllı kumtaşı, kumtaşı, silttaşı ve çamurtaşlarından oluşmaktadır. Konglomeralardaki çakıllar, alt seviyelerde tamamen alttaki İnaltı Formasyonundan türemedir. Üst seviyelere doğru önceki çakılların yanı sıra Yılanlı Formasyonuna (Devoniyen-Alt Karbonifer) ait çakıllar da bulunmaktadır. Karakteristik fosil içermeyen birim stratigrafik konumuna (alttan ve üstten İnaltı Formasyonu ile sınırlı) göre Geç Malm-Neocomiyen aralığında bir yaşta olmalıdır. Yaklaşık 60 m. kalınlıkta olan birimin, yerel olarak İnaltı Formasyonunun bir bölümü şeklinde geliştiği düşünülmektedir.

İnaltı Formasyonunun yaşı için Akyol vd. (1974) Malm-Neocomiyen; Erendil vd. (1991) Valanjiniyen; Yergök vd. (1987) Üst Jura-Barremiyen; Akman (1993) Malm-Alt Apsiyen yaşını kabul etmiştir. Bu çalışmalar dışında, Orta Jura-Alt Kretase (Saner vd. 1981), Kalloviyen-Barremiyen (Tüysüz 1993) yaşlarını veren çalışmalar vardır. Bölgedeki ortalama kalınlığı 300-400 m. arasında değişebilen İnaltı Formasyonunun yaşı genel olarak; Malm-Apsiyen (Üst Jura-Alt Kretase) olarak değerlendirilmektedir (Akman 1993).

2.1.4 Kilimli Formasyonu (Kk)

Kumlu kireçtaşı, kumtaşı, silttaşı, kiltası, killi kireçtaşı ve marndan oluşan birim Saner vd. (1981) tarafından adlandırılmıştır. Bu çalışmada formasyon üç üyeye ayrılarak incelenmiştir. Sarı renkli kuvars kumtaşları Velibey üyesi, glokonili kumtaşı ve killi kireçtaşları Sapça üyesi, marnlardan oluşan seviyelerde Tasmaca üyesi olarak adlandırılmıştır.

Kilimli Formasyonu, Zonguldak doğusunda, Kilimli ilçesi ve Amasra dolaylarında sıkça izlenir. Kilimli dolayında kumlu kireçtaşı, kumtaşı, silttaşı, kiltası araldanmasından oluşan bir

istif sunmaktadır. Renk gri, kurşuni ve sarımsı bejdir. Tabakalar ince-orta kalınlıktadır. Bol Ammonit fosilleri içeren birim içinde Gastropod, Lamelli ve Ekinid türü fosillere de rastlanılmaktadır (Saner vd. 1981).

2.2 TEKTONİK GELİŞİM

Karadeniz muhtemelen Tetis'in kuzeye doğru yitimi sonucu bir yay geçişi havza şeklinde oluşmuştur. Jeolojik, sismolojik ve geomatik veriler Karadeniz'in bugün yaklaşık kuzey güney doğrultusundaki bir sıkışmanın etkisiyle kapanmakta olduğunu göstermektedir. Karadeniz güneyinde Pontid dağları, kuzeyinde Kırım ve kuzeydoğuda Kafkas dağ silsileleri ile sınırlanmış bir havzadır. Orta kısımlarda derinliği 2000 m'den fazla olan Karadeniz, kuzey kenarında geniş bir şelf bölgesine sahiptir. Güney ve doğu kenarında ise şelf bölgesi oldukça dar ve dik eğimli olup, çok sayıda kanyon tarafından kesilmiştir (Ross et al. 1974, Letouzey et al. 1977).

Zonguldak ilinin 150 km güneyinden Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun yaklaşık 180 km uzunluktaki Gerede segmanı geçmektedir. Zonguldak ve civarı bu segmanda olan büyük depremlerden etkilenmektedir. Diğer yandan Karadeniz iç kesimlerinde oluşan orta-büyük deprem üreten aktif ters faylar da Zonguldak ve civarını yakından etkilemektedir. 1968 Bartın depremi Karadeniz kıyı şeridinde olan en büyük depremdir. Deprem sırasında Amasra yakınında kıyının 30-40 cm yükseldiği gözlenmiştir (Ketin ve Abdüselamoğlu 1970). Bartın depreminin odak mekanizması çözümü ters faylanma özelliği göstermektedir (Alptekin vd. 1987).

2.3 İNCELEME ALANININ JEOLJİSİ

İnceleme alanı; Zonguldak ili Kapuz Mahallesi Uzunkum mevki sınırları içerisinde; Zonguldak'ı Kilimli'ye bağlayan sahil karayolu üzerinde yaklaşık 2 km²'lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 2.1). Uzunkum Kapuz sahil yolu girişi, 2. km'sinde yer alan sahil kesimindeki yamaçlarında yayılım sunan karbonatlı, tabakalı sedimanter birimler bölgede İnaltı Formasyonu olarak bilinen kayaçlardan oluşmaktadır. Genelinde platform türü karbonatlı mikritik özellikte kireçtaşlarından oluşan birim inceleme alanı genelinde; bej-grimsi beyaz, açık gri renklerde orta ve kalın tabakalı, yersel masif özellikte, mikritik karakterli, çoğunlukla sert-sağlam, dayanıklı, bol çatlaklı, yersel faylı görünüme sahiptirler

(Şekil 2.4, 2.5). Çatlak ve kırıklarda ve çoğunlukla sahada izlenen muhtemel fay kırıklarında ikincil gelişim sunan kalsit-dolomit ve sarı-kahve rengi renkli killi toprağımsı dolgular izlenmektedir. %10'luk hidroklorik asit (HCl) ile yoğun tepkime veren kireçtaşlarında ortalama tabaka kalınlıkları 30-60 cm arasında değişim sunmaktadır.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



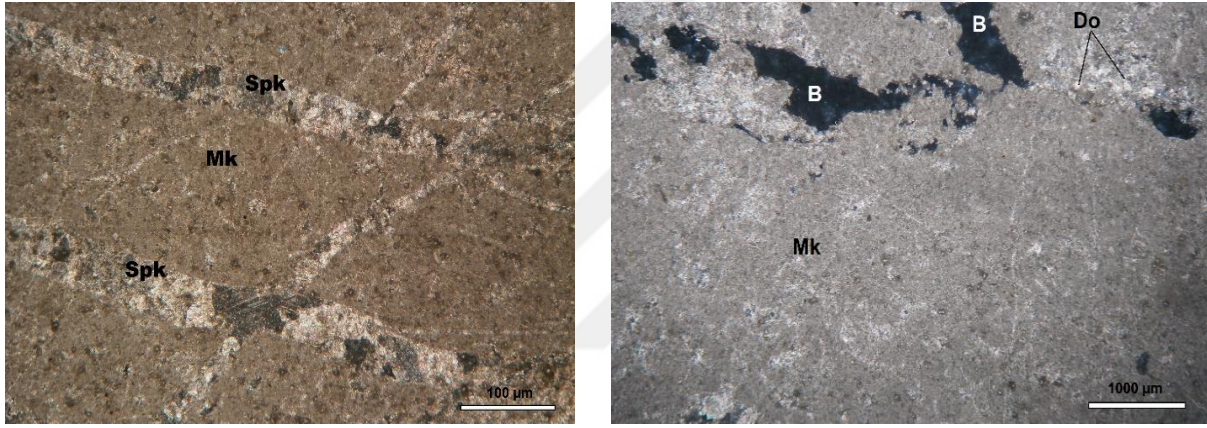
(f)

Şekil 2.4 Çalışma alanı kireçtaşlarından saha görünümü ve yapılan ölçümler.

Çatlak düzlemleri Deere (1963)'e göre; çatlak ara uzaklıkları dikkate alındığında “sık ve orta çatlaklı kayaç” (30-95 cm), çatlak aralık değerlerine göre ise; “orta ve açık çatlaklı kayaç”

(3-7 cm) olarak sınıflandırılmaktadırlar. Sahada ölçülen süreksizlik konumları bir yönde tabaka düzlemi ve iki farklı yönde de eklem düzlemi konumu olarak ölçülmüştür. Ölçümler ile ilgili veri ve değerlendirmeler Bölüm 4’de; Çizelge 4.6 ve Şekil 4.9 a, b’de, sahaya ait lokal jeoloji haritası ve ilgili jeolojik kesiti Şekil 2.6’da ayrıntılı olarak verilmiştir.

Çalışma sahasından alınan 1 adet kireçtaşı örneğinin ince kesiti hazırlanmış, örnek LEICA DM 750P model polarizan mikroskop altında X nikol ve I nikol aydınlatmalarda 4X10 ve 10X10 büyültmelerde mineralojik bileşim ve petrografik tanımlaması gerçekleştirilmiştir. İncelemelere göre kayacın ikincil gelişimli damar dolgulu yarı öz şekilli sparitik kalsitli ve yersel dolomitik özellikte “mikritik dokulu kireçtaşı (mikritik kireçtaşı)” olduğu belirlenmiştir (Şekil 2.5, Çizelge 2.1).

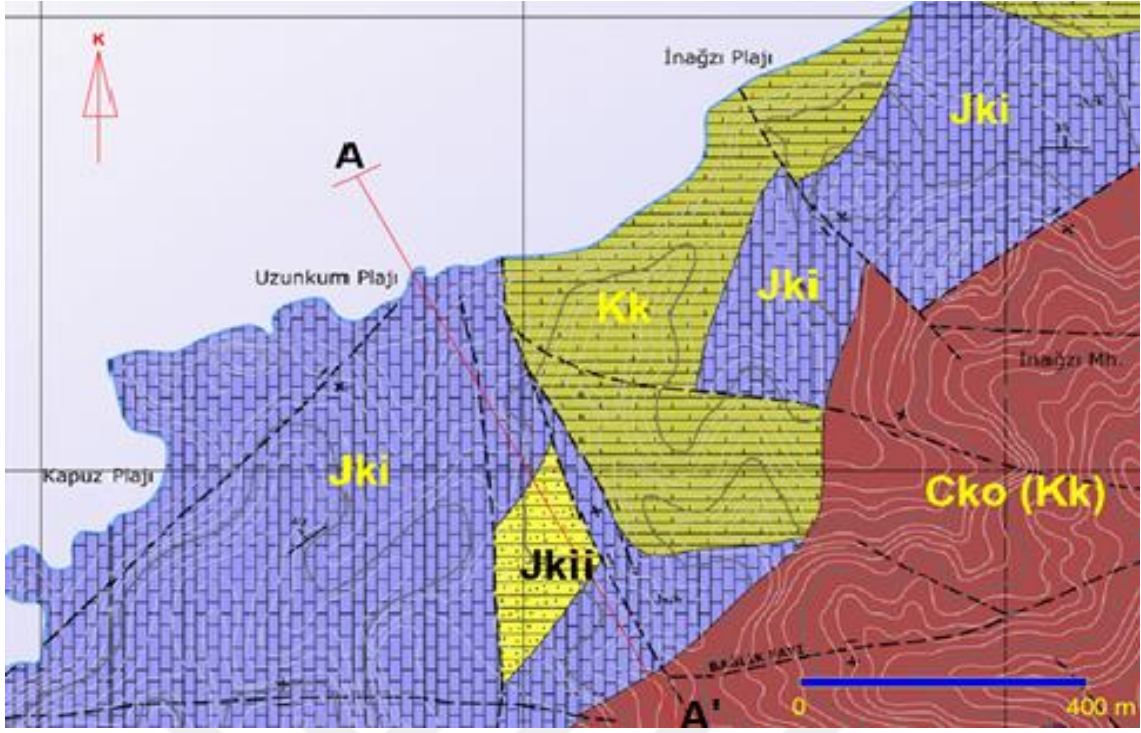


a) I Nikol (doğal ışık-10X10) b) X Nikol (polarize ışık-10X4)
Mk: Mikritik kalsit Spk: Spar kalsit Do: Dolomit B: Boşluk

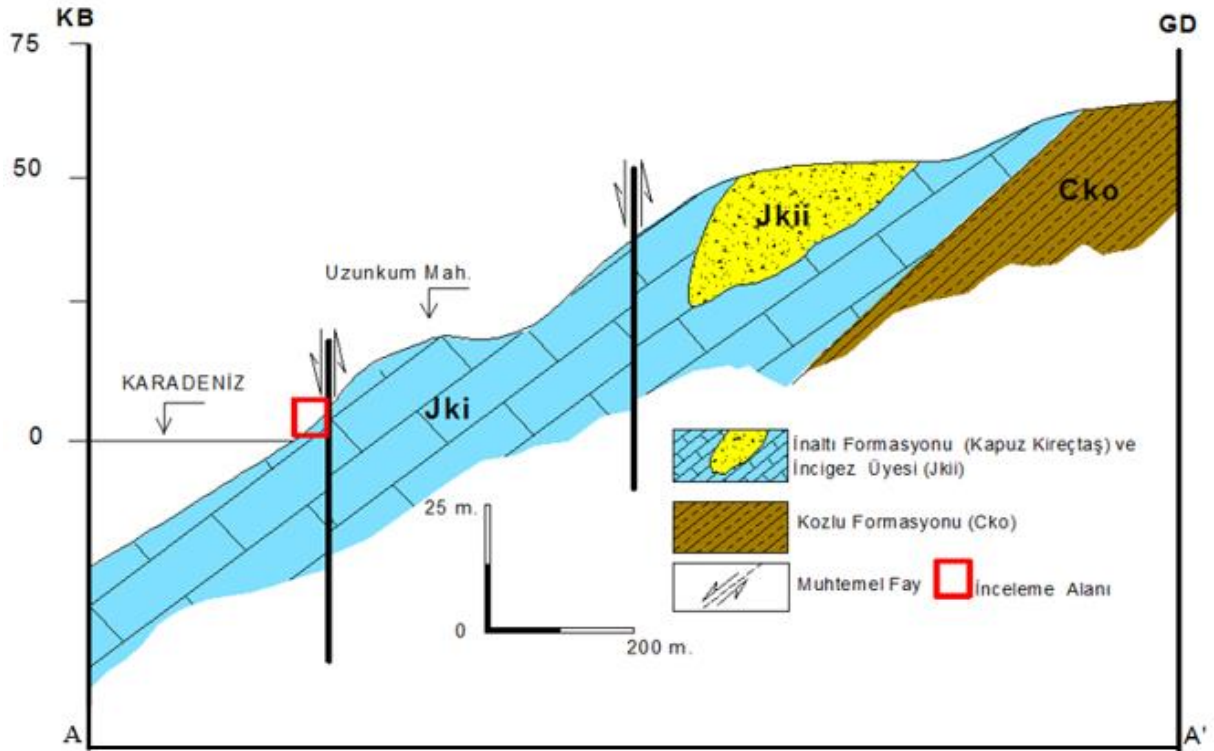
Şekil 2.5 Kireçtaşı örneğine ait ince kesit görüntüleri.

Çizelge 2.1 İnceleme sahasından alınan kireçtaşı örneğinin mineralojik bileşimi ve petrografik tanımlaması.

Mineralojik Bileşim (%)	Tane Boyu	Doku Türü	Çimento Türü	Tanımlama
Mikritik Kalsit (80-82)	10-25 µm	Mikritik (Mikrokristalin kalsitten oluşan hamur ve taneler)	Karbonatlı	Mikritik Kireçtaşı
Spar Kalsit (10-12)	0.5-2 mm			
Dolomit (5-7)	05.2 mm			
Opak Mineral (1-2) (Manyetit-Pirit)	0.2-0.5 mm			



(a)



(b)

Şekil 2.6 (a) İnceleme alanı lokal jeoloji haritası ve (b) KB-GD (A-A') yönünde jeolojik kesiti.



BÖLÜM 3

ŞEV DURAYSIZLIĞI VE KAYA DÜŞMESİ

Bu bölümde şevlerde oluşabilecek duraysızlık türleri kısaca tanıtılmış ve sınıflandırılması yapılmıştır. Tezin konusu olan kaya düşmesi duraysızlık türü ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalar ile araştırmanın yapıldığı bölgede meydana gelen kaya düşmeleri hakkında bilgiler verilmektedir.

3.1 ŞEV DURAYSIZLIK TÜRLERİ

Belirli veya belirsiz geometrik yüzeylere sahip eğimli yüzeyler şev olarak tanımlanabilirler. Arazi hareketleri nedeniyle meydana gelmiş şevler belirsiz geometrik yüzeylere sahiptirler. Mühendislik çalışmaları ile tasarımılandırılmış (madencilik ve ulaşım vb.) şevler ise belirli geometriye sahip şevlerdir. Şevlerin yerçekimi ve arazide oluşan kuvvetler nedeniyle aşağı yönlü hareketi sonucunda şev duraysızlığı oluşmaktadır (Ulusay 2007).

Şev oluşumları arazi hareketleri, kazı çalışmaları ve dolgu ile oluşturulabilir. Arazide yapılan mühendislik çalışmalarında şevler ekonomiklik ve güvenlik ilkeleri gözetilerek duraylılığı sağlayacak tedbirler alınarak tasarımları yapılmalıdır.

Şevler doğal veya yapay olarak oluşur. Şevlerin türleri:

- a. doğal yamaç,
- b. karayolu şevi,
- c. açık işletme şevi,
- d. dolgu şevleri,
- e. dolgu baraj ve
- f. madencilik atık yığın şevleri

olarak sıralanabilmektedir.

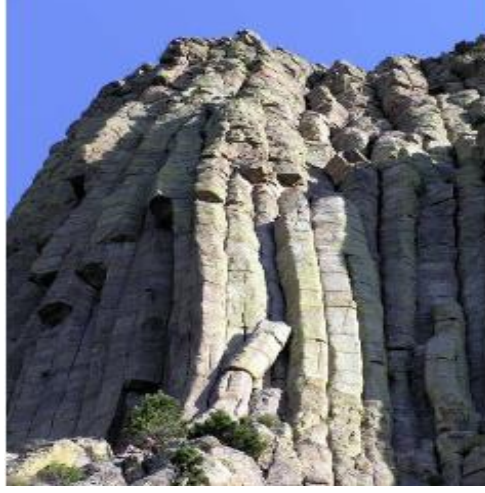
Şev duraysızlık problemlerinin nedenlerini anlamak için ve oluşması muhtemel şev duraysızlıklarının engellenebilmesi için şev duraysızlıklarını sınıflandırmak gereklidir. Bu konuda sınıflandırma çalışmaları için yaygın kullanılan bir mühendislik sınıflandırması Varnes (1978) tarafından önerilmiştir. Varnes (1978) sınıflama sistemi, malzemenin genel niteliği, tane boyu, duraysızlığın hızı ve yaşı gibi birçok değişkeni göz önünde bulundurmaktadır. Bu sınıflandırma sistemi duraysızlık türlerini altı sınıfa ayırmaktadır (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1 Şev duraysızlıkları için Varnes (1978) mühendislik sınıflaması (Ulusay'dan 2007).

DURAYSIZLIK TÜRÜ			MALZEMENİN TÜRÜ		
			TOPRAK ZEMİNLER		ANA KAYA
			İNCE TANELİ	İRİ TANELİ	
DÜŞME			Zemin düşmesi	Moloz düşmesi	Kaya düşmesi
DEVİRİLME			Zemin devrilmesi	Moloz devrilmesi	Kaya devrilmesi
KAYMA	DÖNEL (Dairesel)	Sınırlı sayıda birim	Zeminde daireysel kayma	Molozda daireysel kayma	Kayada daireysel kayma
	ÖTELENMELİ	Çok sayıda birim	Zeminde blok türü ötelenme Zemin kayması	Molozda blok türü ötelenme Moloz kayması	Kayada blok türü ötelenme Kaya ötelenmesi
YANAL YAYILMA			Zemin yayılması	Moloz yayılması	Kaya yayılması
AKMA			Zemin akması	Moloz akması	Kaya akması
			(Zeminde krip)		(Derin krip)
KARMAŞIK KAYMALAR			Yukarıda belirtilen diğer duraysızlık türlerinden ikisinin veya birkaçının birleşmesiyle gelişen duraysızlıklar		

3.1.1 Devrilme

Devrilme, birbirine paralel ve dike yakın süreksizlikler içeren kaya kütlelerinde açılmış şevlerde gözlenen bir yenilme türüdür (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Devrilme (URL-2).

3.1.2 Kayma

Şevin makaslama (kayma, kesme) yenilmesi sonucu dönel veya ötelenmeli hareketleridir (Şekil 3.2). Şev kaymasının nedenleri başlıca kazı, mevcut bir şevin topuk kısmının oyulması, zemindeki kılcal çatlakların gelişmesi, boşluk suyu basıncının artması, sismik hareketler ve patlatma sonucu oluşan titreşimlerdir.



Şekil 3.2 Kayma (URL-2).

3.1.3 Yanal Yayılma

Eğimi oldukça az olan yamaçlarda, makaslama ve çekme çatlakları ile beraber meydana gelen arazideki duraysızlık türüdür (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Yanal yayılma (URL-2).

3.1.4 Akma

Ayrılmış malzemeye sahip bir alanın bir dengeye ulaşana kadar, yoğunluğuna bağlı olarak hızlı veya yavaş olarak yer değiştirmesidir (Şekil 3.4). Akma hızını yamaç eğimi ve su içeriği gibi parametreler belirlemektedir. Akma hareketi içerdiği malzemeye bağlı olarak zemin akması, moloz akması ve kaya akması olarak değişik isimler alabilmektedir (Okan 2003).



Şekil 3.4 Akma (URL-2).

3.1.5 Karmaşık Kaymalar

Yukarıda tanımlanan duraysızlık türlerinin en az iki tanesinin birbirinin peşi sıra hareketidir (Ulusay 2007).

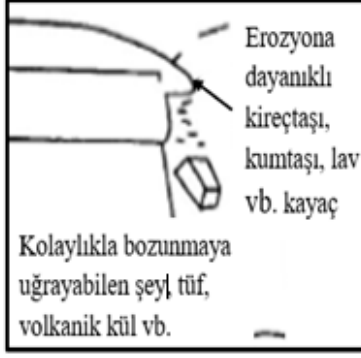
3.2 KAYA DÜŞMESİ

Düşme; dik bir şev veya yamaçtan küçük veya büyük blokların kesme (makaslama) yenilmesine uğramadan, yerçekimi etkisiyle, hızlı bir biçimde hareketini tamamlamasıdır (Ulusay 2007). Bu olay, kaya veya kaya parçalarının sahip olduğu potansiyel enerjisinin şev yüzeyinden aşağı yönde hareketi ile kazandığı kinetik enerjisini tüketene kadar şev yüzeyinde daha alt kotlara hareketi şeklinde oluşmaktadır. Kaya parçalarının hareketi, kayma, sıçrama, serbest düşme veya bu hareketlerin kombinasyonu şeklinde gerçekleşmektedir. Kaya düşmeleri genellikle ani ve hızlı bir şekilde kısa sürede gerçekleşmektedir (Şekil 3.5).

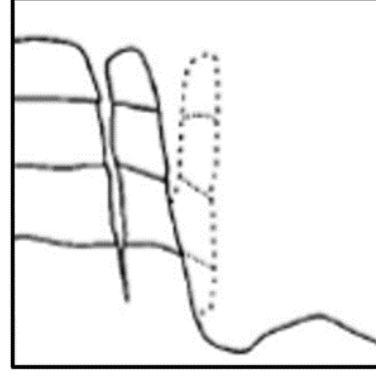


Şekil 3.5 Tez çalışma sahasında düşmüş kaya blokları, 06.01.2018.

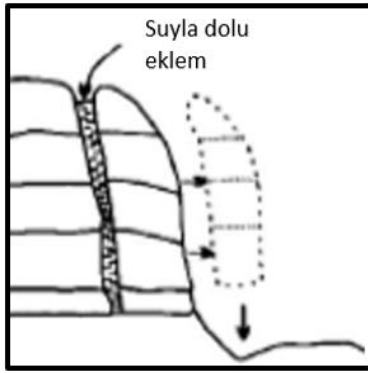
Kaya düşmelerinde düşen kayanın boyutu çakıl tanesinden, çok büyük boyutlara kadar uzanabilmektedir. Kaya parçası tek veya birçok parçanın aynı anda hareketi şeklinde gözlemlenebilmektedir. Bazı kaya düşmesi olayları birbirini tetikleyici olabileceği gibi yüzeyden ayrılan bir kaya bloğunun düşüşü boyunca çarptığı yüzeylerde parçalanarak, küçük parçalara ayrılması ile de sonuçlanabilir. Şekil 3.6'da kaya düşme mekanizmaları kayacın bozunması, eklemler arasında suyun donması, hidrostatik basınç etkisi, sökülme veya patlatma nedeniyle gevşemiş bloklar, eklemler altındaki kayacın dalga etkisi veya akarsu etkisiyle aşınması olarak sıralanmaktadır (Broms 1975, Ulusay'dan 2010).



(a) Farklı bozunma



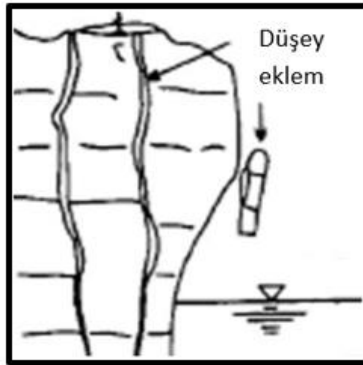
(b) Eklemlili homojen kayada eklemler arasında suyun donması



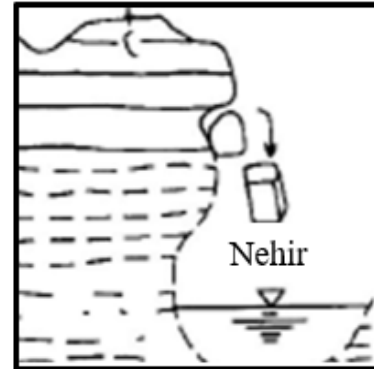
(c) Eklemlili homojen kayaç gevşemiş blok üzerinde hidrostatik basınç etkisi



(d) Homojen eklemlili kayaç Aşırı sökülme veya patlatmaya bağlı kırıklar tarafından gevşetilmiş veya desteksiz kalmış bloklar



(e) Kolaylıkla aşınabilen bir kayacın üzerinde yer alan homojen eklemlili kayaç veya dirençli kayaç (dalga etkisi altındaki kayalık)



(f) Kolaylıkla aşınabilen bir kayacın üzerinde yer alan homojen eklemlili kayaç veya dirençli kayaç (akarsuyun aşındırma etkisi altındaki kayalık)

Şekil 3.6 Kaya düşme duraysızlık türünde etkili olan başlıca mekanizmalar (Broms 1975, Ulusay'dan 2010).

3.3 KAYA DÜŞMESİ DURAYSIZLIK TÜRÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ

Kaya düşmesi, dağlık bölgelerdeki karayolları ve demiryollarında yaygın olarak görülmektedir (Whalley 1984, Selby 1993, Erismann and Abele 2001, Geniş et al.'dan 2017). Kaya düşmelerinin oluşumunu etkileyen faktörler yapısal, insan yapımı ve çevresel faktörler olmak üzere başlıca üç sınıfta incelenebilmektedir (Ashfield 2001, Geniş et al.'dan 2017). Başlıca yapısal faktörler, kaya geometrisi, şevin eğimi ve geometrisi, malzeme özellikler olup kaya düşmesi etkileyen ana unsurlardır. Çevresel faktörler ise fiziksel veya kimyasal ayrışma, donma-çözülme döngüsü, bitki kökleri, su, deprem olarak sınıflandırılmaktadır. İnsan yapımı faktörler arasında da patlatma, titreşim, trafik ve inşaat çalışmaları gibi doğrudan veya dolaylı etmenler de kaya düşmelerine neden olabilirler. Bu faktörler Çizelge 3.2'de sınıflandırılmıştır. Kaya düşmelerini tetikleyen faktörlerin iyi bilinmesi kaya düşmesi potansiyeli bulunan şevlerde alınabilecek önlem yöntemlerinin daha etkin bir çözüm sunmasına olanak sağlayacaktır.

Çizelge 3.2 Kaya düşmesini etkileyen faktörler (Ashfield 2001, Geniş et al'dan 2017).

YAPISAL FAKTÖRLER	İNSAN YAPIMI FAKTÖRLER	ÇEVRESEL FAKTÖRLER
Şev Geometrisi	Titreşim, Patlatma, Trafik, İnşaat Çalışmaları	Fiziksel ve Kimyasal Ayrışma
Malzeme Özellikleri		
Kaya Geometrisi Eklemler veya Süreksizlikler		Hayvanlar, Ağaç Kökleri, Donma-Çözünme, Erozyon, Su Etkileri, Depremler

3.4 DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE KAYA DÜŞMESİ OLAYLARI

Yapısal, insan yapımı ve çevresel faktörlere bağlı olarak dünyada ve ülkemizde kaya düşmesi olayları gelişmektedir. Özellikle dik şevlerde ve bol yağış olan bölgelerde kaya düşmeleri sık görülmektedir. ABD, Çin, İngiltere, Japonya kaya düşmesi olaylarından sık etkilenen ülkelerdendirler. Çeşitli ülkelerde kaya düşmesi olayları sonucunda yol kapanması maddi kazalar, yaralanmalı ve can kaybı ile sonuçlanabilen kaya düşmesi olayları yaşanmaktadır. Dik ve yüksek şevlere sahip alanlardaki kaya düşme olayları daha düşük yüksekte şevlere

sahip alanlara göre hacimsel olarak daha fazla kaya bloklarının düşmesine izin verir. Çizelge 3,3'te verilen bilgilere göre; 28 Eylül 2017 tarihinde Yosemite milli parkı (ABD) meydana gelen kaya düşmesi olayında 10324 m³ hacme sahip kaya kütlesi ana bloktan ayrılarak düşmüştür. Yosemite milli parkı (ABD) ve Zante plajı (Yunanistan) gibi bölgeler, her yıl binlerce turist tarafından ziyaret edilmektedir. Bu nedenle bu bölgede meydana gelen kaya düşmeleri can kaybına sebep olabilmektedir. 13 Eylül 2018 tarihinde Zante plajında, görgü tanıkları tarafından verilen bilgilere göre, kaya düşmesi olayı gerçekleştiği anda yaklaşık 500 kişi plajda bulunmaktadır. Bu olay, plajdaki turistlerden 7 kişinin yaralanması ile sonuçlanmıştır. Bir diğer önemli kaya düşmesi olayı ise 26 Kasım 2017 tarihinde Çin'de meydana gelmiş ve bir turist kafesinde 6 can kaybı ile sonuçlanmıştır.

Çizelge 3.3 Çeşitli ülkelerde son on yılda meydana gelmiş önemli kaya düşmesi olayları.

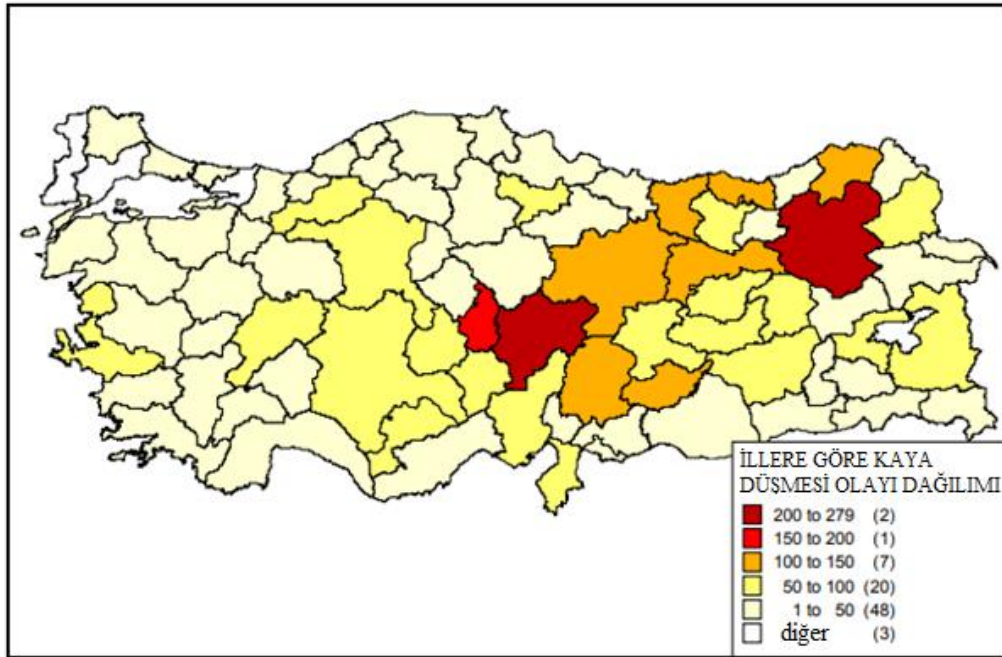
OLAY TARİHİ	OLAY YERİ	AÇIKLAMA
01.02.2009	Pennington, İngiltere	1 ay boyunca kaya düşme olayları gözlemlenmiştir
19.03.2015	Guilin, Çin	7 turist ölü
14.09.2017	Taroko Ulusal Parkı, Hualien, Tayvan	1 ölü
27.09.2017	El Capitan, Yosemite Milli Parkı, CA, ABD	1 ölü, 1 yaralı
28.09.2017	Rockslides, Yosemite Milli Parkı, CA, ABD	10324 m ³ (28000 ton) kaya düşmesi
15.10.2017	Yichang, Çin	3 ölü
26.11.2017	Guangxi Zhuang Özerk Bölgesi, Çin	6 ölü, 9 yaralı
19.06.2018	Pines State Beach, San Diego, ABD	1 kişi yaralı
07.07.2018	Llanberis, Caernarfon, İngiltere	Taş ocağında düşme
13.09.2018	Zante adası, İon adaları, Yunanistan	7 kişi yaralı
07.11.2018	Yorkshire, İngiltere	1 ölü

Ülkemizin coğrafi durumu göz önüne alındığında kaya düşmesi olaylarının Doğu Anadolu bölgesi, Doğu Karadeniz ve Batı Karadeniz bölgesinde yoğunlaşmasının nedeni anlaşılmaktadır. Doğu bölgelerimizde ve ülkemizin kuzey kesimlerinde yüksek dağlar coğrafi yapıya hakimdir. Ayrıca bu bölgelerdeki yağış miktarı ve sıcaklık farklarının artması da kaya düşme olaylarında önemli olmaktadır. Ülkemizde meydana gelen kaya düşme olaylarında da can kayıpları meydana gelmiştir (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4 Türkiye’de 2010-2019 yılları arasında meydana gelmiş önemli kaya düşme olayları.

OLAY TARİHİ	OLAY YERİ	AÇIKLAMA
23.01.2006	Soğuksu, Antakya	1 ölü, 4 yaralı
13.08.2010	Hasankeyf, Batman	Tarihi bölgede hasar
09.06.2015	Amasya	Ev üzerine düşen taş, 1 yaralı
27.03.2016	Gümüşhane-Tabzon Karayolu	Tek şerit kapanması
15.08.2017	Özkürtün, Kürtün, Gümüşhane	Bina hasarı
02.10.2017	Şavşat, Artvin	Otomobilin üzerine kaya düşmesi: 3 ölü, 1 yaralı
16.02.2018	Değirmen köyü, Koyulhisar / Sivas	Tek şerit yol kapanması
26.03.2018	Şavşat karayolu, Artvin	Yolun ulaşımına kapanması
05.09.2018	Kaçkar Dağ’ı, Çamlıhemşin, Rize	1 yaralı
12.10.2018	Beşikdüzü, Trabzon	Arazi hasarı
11.12.2018	Adıyaman	Yolun ulaşımına kapanması

Ülkemizde yaşanan kaya düşme olayları Doğu Anadolu bölgesi ve Doğu Karadeniz bölgesinde yaygın olarak görülmektedir (Şekil 3.7). Doğal afetler; deprem, sel, dolu, don çığ, kar, fırtına, orman yangınları, heyelan, yıldırım, şiddetli yağış, kuraklık, sis ve kaya düşmesi olarak sıralanabilir. Kayda geçen doğal afet sayısı 1970-2012 yılları arasında 5434 adettir.



Şekil 3.7 Kaya düşmesi olay sayısına bağlı olarak illere göre dağılımı (Gökçe vd. 2008).

1970-2012 yılları arasında, ülkemizde 320 adet kaya düşmesi olayı kayda girmiş, Zonguldak ilinde yaşanan kaya düşmesi olayı ise 1 adettir (Özşahin 2013). Ülkemizde yaşanan kaya düşmesi afetinin diğer afetlere oranı bu bilgiler ışığında %5,9 olarak hesaplanmaktadır. Ülkemizdeki 35741 yerleşim biriminden (il, ilçe merkezleri, belde, belediye ve köyler) 1703'ü (%4,76) kaya düşmesi olaylarından etkilenmektedir (Gökçe vd. 2008). Bu veriler ışığında kaya düşmesi olaylarının diğer afetlere oranı konunun öneminin büyüklüğünü ortaya koymaktadır.

Zonguldak ili çevresinde kaya düşmesi olayları zaman zaman karşılaşılan bir durumdur. Yılda ortalama iki adet kaya düşmesi olayı yaşanmaktadır. Çizelge 3.5'te son beş yıllık dönemde Zonguldak ilinde meydana gelen kaya düşmesi olayları derlenmiştir. Bu olaylardan bazılarında maddi kayıplar oluşmuştur. Dikkat edilmesi gereken bir diğer husus kaya düşme olaylarının yağış sonrası meydana gelmesidir. Zonguldak ili, karbonatlı kayaçların yoğun olduğu bir yapıya sahiptir. Yağışlar nedeniyle karbonatlı kayaçların çözünmesi, eklemlerin yıkanması sonucu kireçtaşı bloklarının bağımsız hale gelmesiyle dik şevlerden kaya düşmelerinin yaşanması mümkün olmaktadır. Ayrıca süreksizlik düzlemlerinin, şev düzlemine paralel oluşu (Şekil 3.6 a), karayolu çalışmaları sırasında dik şevlerde yüzeyin kaplanmaması veya basamaklama yapılmaması da (Şekil 3.6 b) kaya düşmelerinin ana nedenleri arasında gösterilebilir.

Çizelge 3.5 Zonguldak ilinde 2013-2018 yılları arasında meydana gelmiş kaya düşmesi sonucu oluşan kazalar.

OLAY TARİHİ	OLAY YERİ	AÇIKLAMA
10.10.2013	Ereğli, Zonguldak	Bir araç hasarı
30.12.2014	Kozlu, Zonguldak	Bir araç hasarı
08.10.2015	Alaplı, Zonguldak	Tırın düşen kayaya çarpması
30.01.2016	Gökgöl tüneli, Zonguldak	İki şerit yol kapanması
01.12.2016	Gökgöl tüneli, Zonguldak	İki şerit yol kapanması
19.06.2017	Kredi yurtlar kurumu önü, Zonguldak	Yol kapanması
30.10.2017	Değirmenağzı / Kozlu, Zonguldak	Yol kapanması
05.01.2018	Uzunkum, Zonguldak	Çalışma Sahası
09.02.2018	Tıp fakültesi yolu, Kozlu, Zonguldak	Tek şerit yol kapanması
15.09.2018	Tıp fakültesi yolu, Kozlu, Zonguldak	Bir araç hasarı
25.02.2018	Kozlu, Zonguldak	Tek şerit yol kapanması



(a)



(b)

Şekil 3.6 (a) Kaya düşmesi gökgöl mağarası önü, (b) kaya düşmesi kredi yurtlar kurumu önü.



BÖLÜM 4

KAYA MALZEMESİ VE KÜTLESİ ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Bu bölümde kaya düşmesi inceleme alanında bulunan kireçtaşlarına ilişkin kaya malzemesi fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi için yapılan laboratuvar deneyleri sunulmuştur. Sonra kaya kütlesi süreksizlik özelliklerinin belirlenmesi için arazide yapılan ölçümler sunulmaktadır.

4.1 KAYA MALZEMESİNİN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Çalışma alanında bulunan kireçtaşı kaya biriminde çeşitli boyutlarda kaya blokları Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği Laboratuvarına getirilmiştir. Söz konusu bloklardan kaya malzemesin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla karot alma makinesi kullanılarak muhtelif sayıda karot örneği alınmıştır (Şekil 4.1). Alınan kaya bloklarından NX çaplı 16 adet karot elde edilmiştir (Şekil 4.2). Alınan karotlara yüzey düzeltme işlemi yapılarak Uluslararası Kaya Mekaniği Birliği (ISRM) tarafından önerilen yöntemlere göre deney örnekleri hazırlanmıştır. Kaya malzemesinin mekanik ve fiziksel özelliklerin belirlenmesi için yakın bölgede Özcan ve Aslan (2016) tarafından yapılan daha önceki çalışmalardan da faydalanılmıştır. Bu tez çalışması kapsamında beş adet tek eksenli basınç dayanımı deneyi, dokuz adet dolaylı çekme dayanımı deneyi ve iki adet deformabilite deneyi yapılmıştır.



Şekil 4.1 Karot alma işlemi.



Şekil 4.2 Alınan karotlar.

4.1.1 Kaya Malzemesinin Fiziksel Özellikleri

Çalışma alanında yer alan kireçtaşı bloklarından alınan silindirik, 21 adet karot örneği kullanılarak kaya malzemesi kuru birim hacim ağırlığı tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, Özcan ve Aslan (2016) tarafından yapılan aynı kireçtaşları üzerindeki deneylerle birleştirilerek elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1'de sunulmuştur.

Çizelge 4.1 Kaya malzemesi fiziksel özellikleri (Özcan ve Aslan 2016'dan değiştirilerek).

Kuru birim hacim ağırlığı, γ_{kuru}	26,3 ± 0,14 kN/m ³
Görünür gözeneklilik oranı, n	% 4,3 ± 2,83
Boşluk oranı, e	0,05 ± 0,033
Su içeriği, w	% 1,61 ± 1,11
Doygunluk derecesi, S	% 100

4.1.2 Tek Eksenli Basınç Dayanımı

Kaya malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı (σ_c), kaya mühendisliği yapıları için tasarımda yaygın olarak kullanılan önemli bir mekanik büyüklüktür. En basit tanımıyla kayaçların tek eksenli basınç dayanımları tek eksenli yükleme durumunda kayaca uygulanan yenilme yükünün (F) kesit alanına (A) bölünmesiyle elde edilmektedir ($\sigma_c=F/A$). Deneyler ISRM (2007) tarafından önerilen deney yöntemine göre gerçekleştirilmiştir. Deneyler katı yükleme makinesi kullanılarak 0.5-1.0 MPa/s arasında sabit yükleme hızında yapılmıştır. Deneylerde kullanılan katı yükleme makinesi Şekil 4.3'te gösterilmektedir.

Kaya bloklarından elde edilen 5 adet karot örneği üzerinde yapılan deneyler sonucu kireçtaşının tek eksenli basınç dayanımı 53,3 ile 89,1 MPa arasında bulunmuştur (Çizelge 4.2). Ortalama tek eksenli basınç dayanımı değeri $75,2 \pm 14,5$ MPa olduğundan, kireçtaşları ISRM (2007) tarafından önerilen sınıflamaya göre "sağlam kaya" olarak tanımlanmaktadır.

Çizelge 4.2 Tek eksenli basınç dayanımı sonuçları.

Örnek No	Çap, D (mm)	Boy, L (mm)	Yük, F (kN)	σ_c (MPa)
1	53,98	127,1	122	53,3
2	54,07	128,7	181	79,1
3	54,0	118,9	196	85,6
4	54,0	125,6	204	89,1
5	54,1	114,4	158	69,0
Ortalama				75,2 ± 14,5



Şekil 4.3 Tek eksenli basınç dayanımı deneyi ve yükleme makinesi.

4.1.3 Dolaylı Çekme Dayanımlarının Belirlenmesi

Dolaylı çekme dayanımı deneylerinde, kaya örneği aksenal olarak yüklenirken, örneğin orta noktasında oluşan çekme gerilmeleri oluşmaktadır. Bu çekme değerinin en büyük değeri dolaylı çekme dayanımı olarak adlandırılmaktadır. Deneylerde kullanılan disk şeklindeki kaya

örnekleri eğrisel çeneleri altına yerleştirilerek yük uygulanmaktadır (Şekil 4.4). Kullanılan disk örneklerin boy (L) /çap (D) oranları 0.5 ile 0.52 arasında değişmektedir. Bu koşullar ISRM (2007) tarafından önerilen yöntemde istenen L/D oranını ($0.3 < L/D < 1$) sağlamaktadır. Kaya malzemelerinin dolaylı çekme dayanımı (σ_{tB}),

$$\sigma_{tB} = 0,636 \frac{F}{D * L} \quad (4.1)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Burada; L: yükseklik, D: çap, F: ise yenilme anındaki yüküdür (ISRM 2007; Ulusay'dan 2010). Çizelge 4.3'te kullanılan örneklerin boyutları ve hesaplanan dolaylı çekme dayanımı değerleri verilmiştir.



Şekil 4.4 Dolaylı çekme deneyinden görünüm.

Yapılan hesaplamalar doğrultusunda ortalama dolaylı çekme dayanımı $6,96 \pm 1,4$ MPa olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.3 Dolaylı çekme deneyi sonuçları.

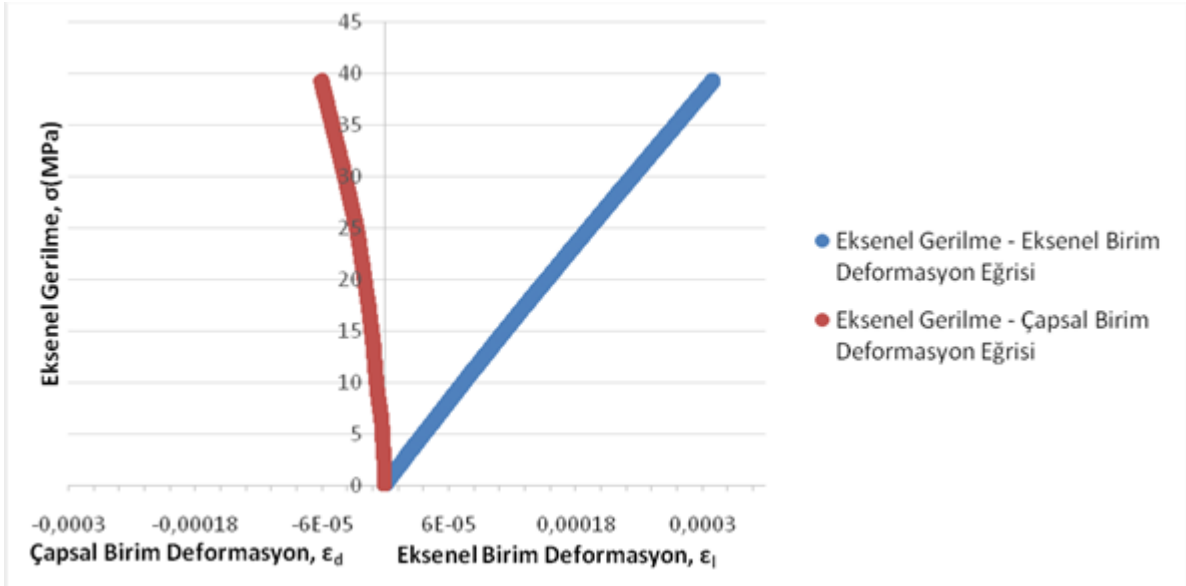
Örnek No	Çap, D (mm)	Boy, L (mm)	Yenilme Yüğü, F (kN)	Dolaylı Çekme Dayanımı, σ_{TB} (MPa)
6	54,0	27,2	20	8,66
7	54,1	28,6	16	6,59
8	54,1	28,0	15	6,31
9	54,0	28,0	16	6,73
10	54,1	27,4	19	8,17
11	54,0	27,9	19	8,02
12	54,0	28,0	11	4,63
13	54,1	27,7	12	6,80
14	54,0	28,0	16	5,05
15	54,1	27,3	20	8,63
Ortalama				6,96 ± 1,4

4.1.4 Deformabilite Deneyleri

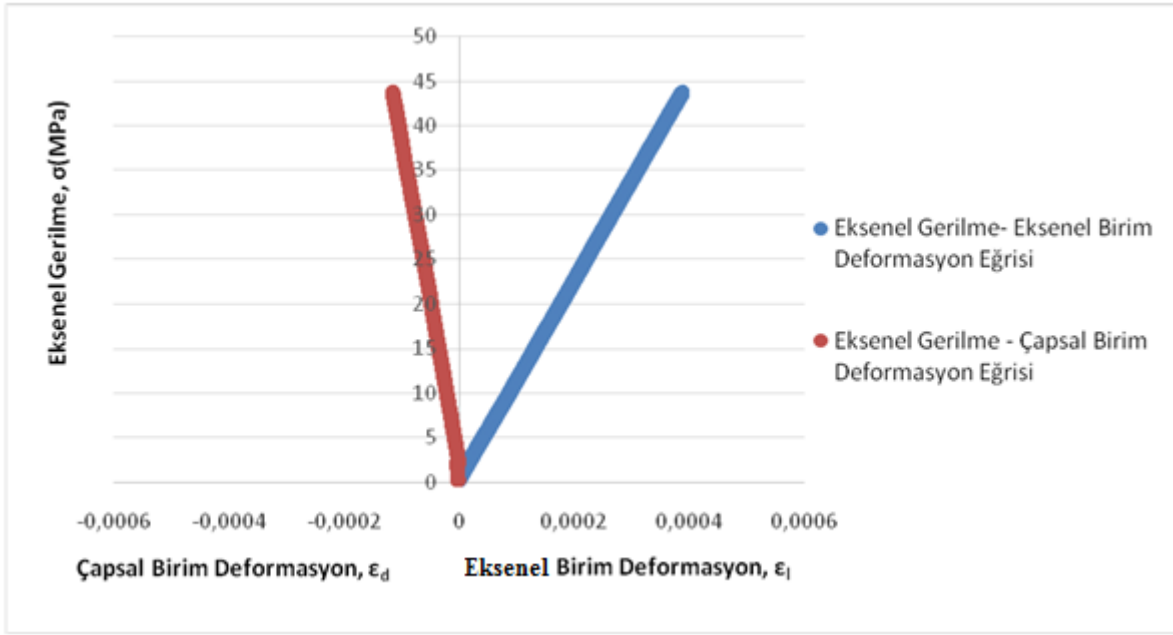
Deformabilite deneyleri, silindirik şekilli sağlam kaya karot örneklerinin tek eksenli yükleme koşulunda "gerilme-birim deformasyon" eğrilerinin çizilmesi ve Young modülü ile Poisson oranının belirlenmesi için yapılmaktadır (Ulusay 2010). Deney için seçilen örnekler herhangi bir çatlak içermeyen, boy/çap (L/D) oranı 2.5-3.0 arasında olacak şekilde seçilmiştir. İki adet örnek üzerinde yapılan deformabilite deneyinde, örneklere 0.5-1 MPa/s yükleme hızı uygulanarak tek eksenli olarak yüklenmiştir (Şekil 4.5). Her bir yükleme seviyesinde oluşan eksenel ve yanal birim deformasyonlar ölçülmüş ve gerilme-birim deformasyon eğrileri oluşturulmuştur (Şekil 4.6 ve Şekil 4.7). Deney sırasında deney ekipmanlarının zarar görmemesi için kaya örneklerine, tek eksenli basınç dayanımlarının yaklaşık yarısı kadar bir eksenel yükleme uygulanmıştır. Uygulanan bu yükleme seviyesinde teğetsel Young modülü ve Poisson oranı hesaplanmıştır. Kaya örneklerine ait hesaplanan mekanik özellikler Çizelge 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.5 Deformabilite deneyinden görünüm.



Şekil 4.6 16 Kodlu örneğe ait eksenel gerilme-eksenel ve çapsal birim deformasyon grafiği.



Şekil 4.7. 17 Kodlu örneğe ait aksenal gerilme-aksenal ve çapsal birim deformasyon grafiği.

Çizelge 4.4 Deformabilite deneyi sonucunda elde edilen Young modülü ve Poisson oranı.

Örnek No	Çap, D (mm)	Boy, L (mm)	Young Modülü, E (GPa)	Poisson oranı, ν
16	54	145	17,7	0,23
17	54	125	10,9	0,31

4.2 KAYA KÜTLESİ SÜREKSİZLİK ÖZELLİKLERİ

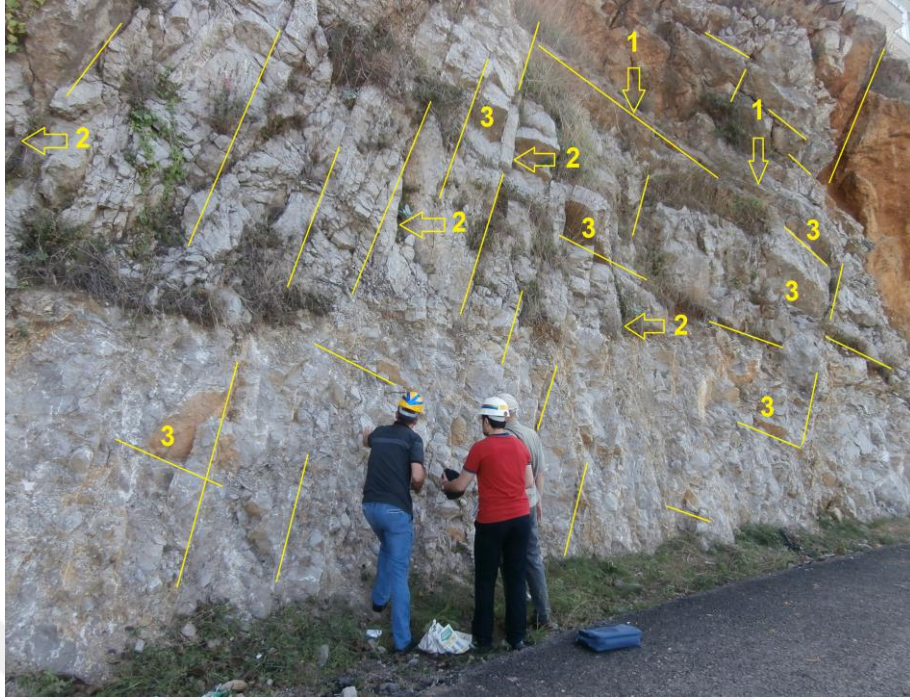
Çalışma alanında bulunan karayolu şevi üzerinde süreksizlik düzlemlerinin yönelimleri ve konumlarının tespiti için yoğun çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda, süreksizliklerin yönelimi ve süreksizliklerin aralıkları ölçülmüştür. Bu ölçümlerin değerlendirilmesi sonucu karayolu şevinden düşme potansiyeli olabilecek blokların boyut dağılımlarının ortaya konulması hedeflenmiştir.

4.2.1 Süreksizlik Yönelimi

İnceleme sahası jeoloji çalışmalarında süreksizliklerin konumu (eğim yönü ve eğim açısı) jeolog pusulası kullanılarak ölçülmüştür.

Yapılacak olan çalışmalarda işlemleri kolaylaştırmak için alınan ölçümler eğim yönü/eğim açısı olarak ifade edilmektedir. Birbirlerine genel olarak paralel halde uzaydaki konumları hemen hemen aynı olan, süreksizliklerin oluşturduğu topluluğa "süreksizlik takımı" denir. Süreksizliklerin yönelimi şev duraysızlık problemleri çözümünde önemli kolaylıklar sağlamaktadır. Bu nedenle yapılan ölçüm sayısının çokluğu istatistiksel anlamda değerlendirmeler için ve kaya duraysızlık problemlerinin çözümlenmesinde hassasiyet için önem taşımaktadır (Ulusay ve Sönmez 2002).

Arazi çalışmalarında, şev yüzeylerinde gözlemlenen eklemli kireçtaşlarına ait süreksizliklere ilişkin 200 adet doğrultu, eğim miktarı/eğim yönü ölçümleri yapılmıştır (Şekil 4.8.a ve 4.8 b). Elde edilen ölçümlerin değerlendirilmesi için Dips (v.6.0) (Rocscience 2015) programı kullanılmıştır. Süreksizliklerin konumlarının girdi parametresi olarak girildiği bu program kullanılarak kaya kütlelerinde hakim süreksizlik eklem setleri stereografik izdüşüm tekniği ile belirlenebilmektedir. Ayrıca, süreksizlikler tarafından denetlenen düzlemsel kayma, kama tipi kayma ve devrilme türü kaya şevi duraysızlık türleri için kinematik analiz ile şev duraylılığı değerlendirmesi de yapılabilmektedir. Arazide yapılan ölçümlerin Dips programı kullanılarak değerlendirilmesi ile elde edilen süreksizliklerin yönelim ve dağılımları hem kutupsal hem de gül diyagramı şeklinde sırasıyla Şekil 4.9 a ve 4.9 b'de gösterilmektedir. Süreksizliklerin izdüşümleri alt yarım küreden yapılmıştır. Süreksizliklerin üç alanda yoğunlaştığı görülmektedir. Yapılan analizler sonucunda bir adet tabaka düzlemi ve iki adet süreksizlik setine ait dağılım belirlenmiştir. Tabaka düzlemlerinin hakim (baskın) konumları (azimut değeri olarak) eğim yönü ve eğim miktarı; 283/50 (I), birinci eklem takımının eğim yönü ve eğim miktarı, 070/80 (II); ikinci eklem takımının eğim yönü ve eğim miktarı; 015/74 (III) olarak elde edilmiştir.

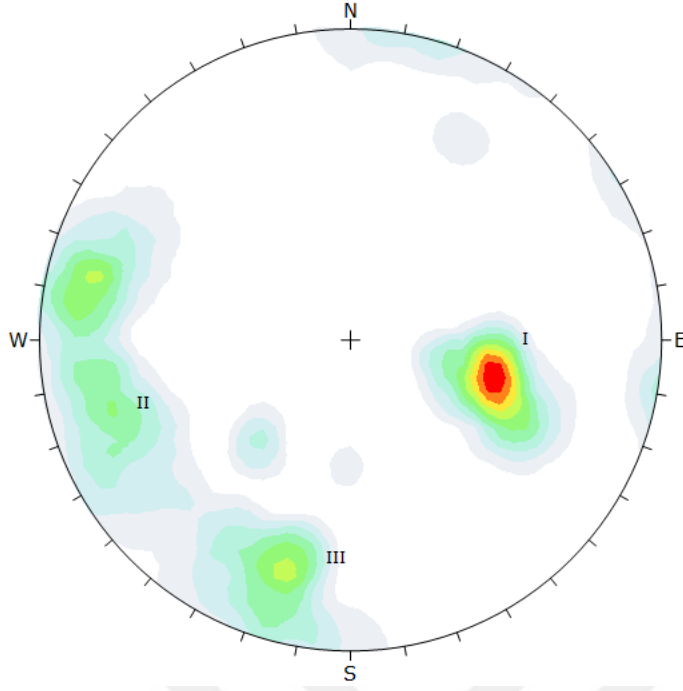


(a)



(b)

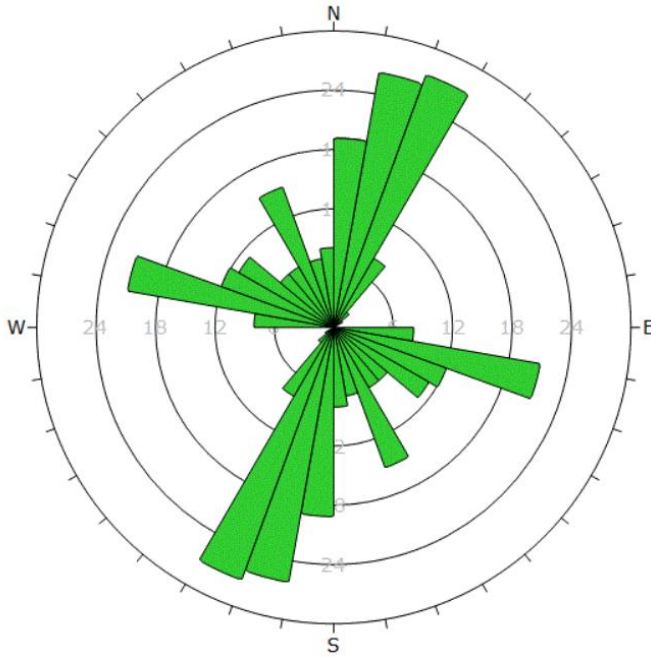
Şekil 4.8 (a) ve (b) Kireçtaşlarında süreksizlik sınırları (1: tabaka düzlemi, 2 ve 3: eklem düzlemi).



Renkler	Yoğunluk
	0,00- 1,10
	1,10 - 2,20
	2,20 - 3,30
	3,30 - 4,40
	4,40 - 5,50
	5,50 - 6,60
	6,60 - 7,70
	7,70 - 8,80
	8,80 - 9,90
	9,90- 11,00

Çizim modu	Kutup vektörleri
Veri sayısı	200
Küre	Altküre
Projeksiyon	Eşit açı

(a)



Çizim Modu	Gül
	Diyagramı
Normal Dalma Yüzü	90.0
Açı Büyüklüğü	10°
Kullanılan veriler	179
Minimum açı büyüklüğü	15.0°
Maks. açı büyüklüğü	90.0°

(b)

Şekil 4.9 (a) Süreksizliklere ait kutup noktalarının gösterimi, (b) Süreksizliklere ait gül diyagramı.

Ölçümü gerçekleştirilen süreksizlik düzlemlerinde Dips programından elde edilen gül diyagramlarının yorumlanmasından; üç farklı baskın/hakim konumda hakim süreksizlik konumu elde edilmiştir. Bunlar bir tabaka konumu (283/50) ve iki adet eklem düzlemi konumlarıdır; (070/80 ve 015/74). Bu değerler jeolojik olarak incelendiğinde, araştırma sahası içerisinde ölçüm alınan kireçtaşlarında bölgesel olarak yaklaşık tabaka eğim yönü olan 283° lik azimut yönünde; 50° ile; (K13°D/50°KB) konumunda her iki taraflı; KB-GD istikametinde içe doğru hakim basınç yönü sonrasında tabakalanma (1 nolu süreksizlik) oluşmuştur. Bu basınç ile birlikte kayalarda 015°/74° (K75B°/74°KD) hakim konumunda çekme kuvvetlerine bağlı eklem (3 nolu süreksizlik) ve bu konuma yaklaşık dik konumda 070°/80° (K20°D/80°KD) diğer eklem (2 nolu süreksizlik) gelişim sunmuşlardır.

015°/74° (K75B°/74°KD) konumunda hakim olan eklem düzlemleri (3 nolu süreksizlik) bölgesel olarak kayaca etkiyen ve kayacın eğik konumda tabakalanmasında rol oynayan en büyük basınç istikametine paralel yönde gelişmiş (en büyük çekme istikametine dik yönde) çekme çatlaklarıdır. Bu çatlakların yüzeylerinde dik istikamette 1 cm'den fazla ayrılma (yarık) olmasına rağmen düzlemler boyunca kayma hareketi izlenmemiştir. Eklem yüzeyleri düzgün olmayıp, pürüzlüdür. Kayaç üzerindeki doğrultuları çoğunlukla tam düzgün olmayıp kaya litolojisine göre hafif sapmalar göstermektedir. Bu eklem (3 numaralı) aynı zamanda tabaka ile olan ilişkilerine göre "Doğrultu Çatlakları" olarak tanımlanmaktadır (Bilings 1972, Karaman 1996).

Saha genelinde eklem boşlukları içerisinde yeraltı suları yüzey yağış suları (meteorik sular) ve çeşitli eriyiklerin etkisiyle eklem içi killi, toprağımsı veya karbonatlı-silisli çeşitli mineral ve dolgular ile dolmuşlardır. Özellikle inceleme kesiminde yer alan kireçtaşlarında yüzeyden 3-5 m seviyeye kadar bu dolgular yoğun biçimde izlenmektedir (Şekil 4.8 b).

Daha alt seviyelerde ise kısmen masif ve bozuşmamış eklem (2 nolu süreksizlik) düzeyinde süreksizlikler yaygındır. Bu seviye için kayalarda yoğun fiziksel ve kimyasal ayrışma izlenmediğinden kaya düşmesi üst seviyelere göre yaygın olarak beklenmemelidir.

4.2.2 Blok boyutu

Blok boyutu kaya kütlesi davranışının önemli bir göstergesidir. Özellikle süreksizlik aralığı, takım sayısı ve yönelimi gibi unsurlar blok şeklini ve boyutunu belirlemektedir. Blok boyutu,

blokların ortalama boyutuyla veya bir kaya kütlesinin birim hacminde gözlenen süreksizliklerin sayısının toplamıyla (hacimsel eklem sayısı, J_v) tanımlanır (Ulusay ve Sönmez 2002).

4.2.2.1 Blok Boyutu İndeksi (I_b)

Sedimanter kayaların oluşumu sırasında veya daha sonradan kayaç üzerinde oluşan yükler sonucunda, kayaçlarda eklem takımları oluşur. Tabakalanma düzlemlerine dik veya bir açı ile oluşan eklem takımları, kübik veya prizmatik bir blok şekli oluştururlar. Blok boyutu indeksi tipik blok boyutlarının ortalaması (I_b) olarak tanımlanabilir. Ancak üç'ten fazla süreksizlik takımı içeren yapılarda I_b 'nin kullanılması, sahada gözlemlenen blok boyutlarının üzerinde çok az etkili olabilir (Ulusay 2010).

$$I_b = \frac{S_1 + S_2 + S_3}{3} \quad (4.2)$$

Burada S_1 , S_2 ve S_3 süreksizlik aralıklarını ifade etmektedir.

Bir süreksizlik setindeki komşu iki süreksizliğin arasındaki dik uzaklık süreksizlik aralığı olarak tanımlanmaktadır. Çalışma alanında süreksizlik ölçümleri yapılmıştır (Şekil 4.10). Şev yüzeyi üzerinde şerit metre kullanılarak yapılan süreksizlik aralığı ölçümlerinde, ortalama süreksizlik aralığı tabaka düzlemi (I nolu süreksizlik-S1) için 59 cm, birinci eklem takımında (II nolu süreksizlik-S2) 16 cm, ikinci eklem takımında (III nolu süreksizlik-S3) ise 29 cm olarak ölçülmüştür. Bu çalışmada süreksizlik aralığı parametresinin tanımlaması amacıyla ISRM (2007) tarafından önerilen ve Çizelge 4.5'te verilen tanımlama ölçütleri kullanılmıştır (ISRM 2007; Ulusay'dan, 2010). Buna göre süreksizlikler "orta dereceli aralıklı" sınıfta yer almaktadır.

$$I_b = \frac{59 + 16 + 29}{3} = 34,7 \text{ cm}$$

olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.5 Süreksizlik aralığını tanımlama ölçütleri (ISRM 2007, Ulusay 2010).

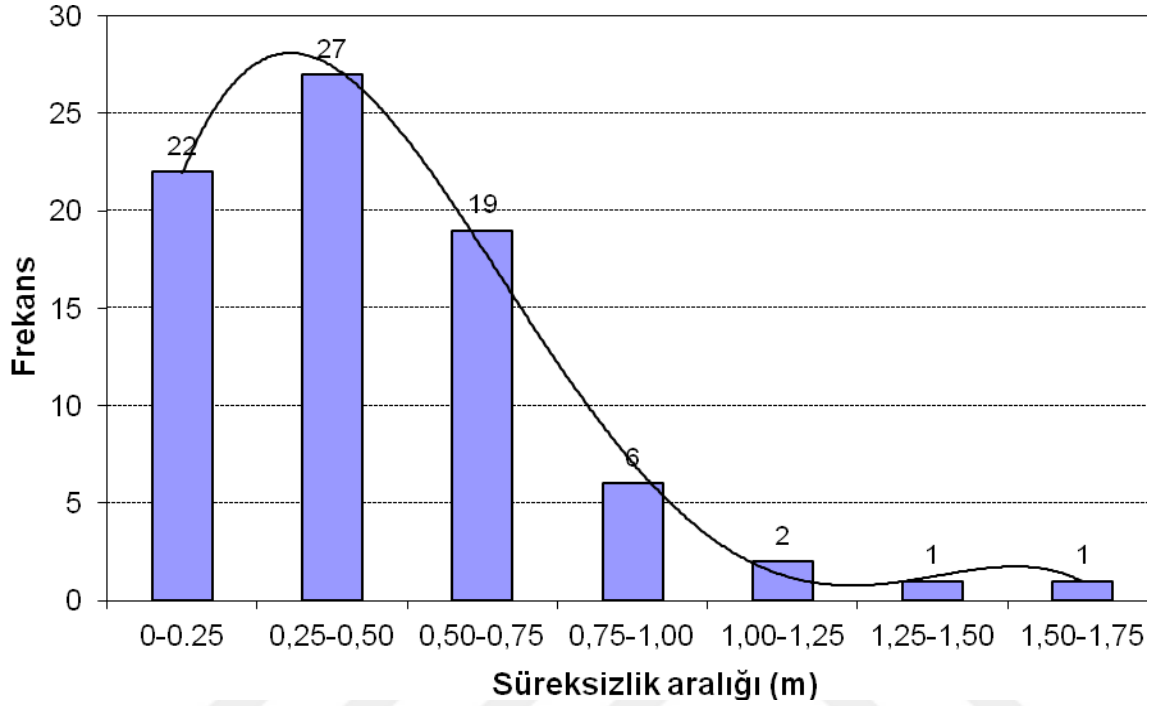
Aralık (mm)	Tanımlama
< 20	Çok dar aralıklı
20-60	Dar aralıklı
60-200	Yakın aralıklı
200-600	Orta derece aralıklı
600-2000	Geniş aralıklı
2000-6000	Çok geniş aralıklı
> 6000	İleri derecede geniş aralıklı



Şekil 4.10 Süreksizlik aralığı ölçümlerinden bir görünüm.

Tortul kayalarda birbirine dik yönde gelişmiş iki eklem seti ve tabakalanma düzlemi kübik veya prizmatik blok şekli oluşturmaktadır. Süreksizliklerin aralığının hangi aralıkta yoğunlaştığına ait frekans dağılımı Şekil 4.11’de verilen histogramda gösterilmiştir. Histograma göre süreksizlik aralıkları 0,1-0,75 m aralığında yoğunlaştığı belirlenmiştir.

Sonuçta şevden düşebilecek blokların çoğunluğunun, ortalama kenar uzunluğu 0,5 m'ye kadar olan bloklar olacağı anlaşılmaktadır. Sahada çeşitli zamanlarda gözlenen düşmüş kaya blokları bu durumu desteklemektedir.



Şekil 4.11 Kaya kütlesi için süreksizlik aralığı-frekans histogramı.

4.2.2.2 Hacimsel Eklem Sayısı (J_v)

Palmström (1982) tarafından tanımlanan hacimsel eklem sayısı (J_v), birim hacimdeki bir kaya kütleğinde gözlenen süreksizliklerin toplamıdır (Eşitlik 4.3) (Ulusay'dan 2010).

$$J_v = \frac{N_1}{L_1} + \frac{N_2}{L_2} + \dots + \frac{N_n}{L_n} \quad (4.3)$$

Burada, N_n gözlenen her bir eklem seti için ölçüm hattı boyunca sayılan süreksizlik sayısı ve L_n ise ölçüm hattının uzunluğudur. J_v değeri, Çizelge 4.6'da sunulan arazide yapılan hat ölçümleri boyunca belirlenen süreksizlik sayıları kullanılarak hesaplanmıştır. Hacimsel eklem sayısına (J_v) göre blok boyutunun tanımlanmasına (ISRM 2007; Ulusay'dan, 2010) göre "küçük bloklar" olarak tanımlanmaktadır (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.6 Çalışma alanında yapılan süreksizlik ölçümleri.

Süreksizlik Tipi	Süreksizlik Sayısı, Nn	Ölçüm Hat Uzunluğu, Ln (m)
Tabaka düzlemi	7	5,0
	10	4,8
	12	4,8
	9	5,1
	7	4,8
	6	5,0
	51	29,5
1. Eklem takımı	7	1,3
	7	1,0
	14	2,3
2. Eklem takımı	7	1,4
	6	2,4
	13	3,8
$J_v = (51/29,5) + (14/2,3) + (13/3,8) = 11,2 \text{ eklem / m}^3$		

Çizelge 4.7 Hacimsel eklem sayısına (J_v) göre blok boyutunun tanımlanması (ISRM 2007; Ulusay'dan 2010).

Tanım	J_v , eklem/m ³
Çok geniş bloklar	< 1,0
Geniş bloklar	1-3
Orta boylu bloklar	3-10
Küçük bloklar	10-30
Çok küçük bloklar	> 30

Kayacın yapısında barındırdığı süreksizliklerin, sıklığını tanımlamak amacıyla, kaya kalite göstergesi olarak, RQD sınıflandırması yapılmıştır. Hacimsel eklem sayısı (J_v), kullanılarak RQD (Palmstörn 2005);

$$RQD = 115 - (3.3 \times J_v) \quad (4.4)$$

Hacimsel eklem sayısına bağlı olarak, RQD değeri %78 olarak hesaplanmıştır. Deere and Miller (1966) RQD sınıflandırmasına göre kaya kalitesi "sağlam" olarak sınıflandırılmıştır (Çizelge 4.8), (Ulusay'dan 2010).

Çizelge 4.8 Deere (1966) tarafından önerilen RQD sınıflandırması (Ulusay'dan 2010).

RQD (%)	Kaya Kalitesi
< 25	Çok Zayıf
25-50	Zayıf
50-75	Orta Sağlam
75-90	Sağlam
90-100	Çok Sağlam

4.2.3 Süreksizlik Ölçümlerinin Değerlendirmesi

Zonguldak-Kilimli karayolu Uzunkum mevkiinde yapılan arazi ölçümlerinde elde edilen veriler ile süreksizlik aralıkları, J_v ve RQD değerleri hesaplanmıştır. Tabaka düzlemi için toplam 29,5 m ölçüm uzunluğunda 51 adet süreksizlik tespit edilmiştir. Birinci eklem takımı için toplam 2,3 m ölçüm uzunluğunda 14 adet süreksizlik tespit edilmiştir. Son olarak ta ikinci eklem takımı için toplam 3,8 m ölçüm uzunluğunda 13 adet süreksizlik tespit edilmiştir. Buna göre süreksizlikler için yapılan sınıflandırmada süreksizlik aralığının "orta derece aralıklı" sınıfına girmiştir. Elde edilen süreksizlik ölçümlerine bağlı olarak ortalama blok boyutu 34,7 cm hesaplanmıştır. Bunlara ilave olarak hacimsel eklem sayısı (J_v) 11,2 eklem/m³ olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan J_v değerine göre blok büyüklüğü "küçük blok" olarak sınıflandırılmıştır. Hacimsel eklem sayısı kullanılarak yapılan Kaya Kalite Göstergesi (RQD) değeri ise %78 olarak tespit edilmiş ve "sağlam kaya kütlesi" olarak sınıflandırılmıştır. RQD değerine göre kaya kalitesi sağlam kaya olarak tanımlanmaktadır (Çizelge 4.8). Bir sonraki bölümde kaya düşmesi analizlerinde kullanılacak olası düşme potansiyeli olan kaya bloklarının ortalama boyutları belirlenmiştir.

Kaya malzemesine ait mekanik özellikler, kaya mekaniği temel özellikleri olup yapılan deneyler ile hesaplanmıştır. Bu tez çalışması kapsamında kaya malzemesine ait mekanik özellikler kullanılmamıştır. Daha sonra aynı bölgede yapılacak çalışmalar için girdi parametresi olarak kullanılmak amacıyla bu çalışmada değinilmiştir.



BÖLÜM 5

KAYA DÜŞMESİ ANALİZLERİ

Bu bölümde incelenen karayolu şevinden düşen kaya bloklarının modellenerek değerlendirilmesi ve elde edilen bilgiler ile alınacak önlemlere değinilmiştir. Düşen kaya bloklarının modellenmesi için Rocscience (2012) tarafından geliştirilen Rockfall (v 4.0) programı kullanılmıştır. Bu programda arazi ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen bilgiler girdi parametresi olarak kullanılmıştır. Öncelikle Rockfall programı tanıtılmıştır. Sonra, çalışma sahasında daha önceden düşmüş kaya blokları değerlendirilerek programın önemli girdi parametrelerinden biri olan sıçrama katsayılarının tespit edilmesi için yapılan geri analizleri sunulmuştur. Yapılan analizler sonucu şevden düşen kaya bloklarının izleyeceği yollar (yörünge), enerjileri, sıçrama yükseklikleri ve son konumları hakkında bilgiler verilmiştir.

5.1 PROGRAMIN TANITIMI

Tez çalışmasında Rocscience (2012) tarafından geliştirilen "Rockfall (v.4.0)" adlı bir paket program kullanılmıştır. Bu program kullanılarak bir şev yüzeyinden kopan kaya bloğunun düşme olayı sırasında izleyeceği yol, çarptığı yerde gösterebileceği sıçrama yeteneği, sahip olduğu enerji miktarları ve yatay düzlemde ilerleme miktarı gibi sonuçlar elde edilebilmektedir. Program iki boyutlu kaya düşmesi olayı simülasyonlarının kolaylıkla yapılmasına olanak veren kullanıcı dostu bir programdır. Programda öncelikle incelenecek şev geometrisi tanımlanmaktadır. Şev geometrisi tanımlanmasında herhangi bir sınırlama bulunmamaktadır. Bu nedenle şev üzerinde herhangi bir yere kaya düşmesini sınırlandırabilecek doğal veya yapay engeller tanımlanabilmektedir. Düşen kaya bloklarının şekli ve geometrisi söz konusu programın kullanılan versiyonunda tanımlanamamaktadır. Şev yüzeyi veya tanımlanan herhangi bir düzlemin türü düşen kaya bloklarının sıçrama yüksekliği ve sahip oldukları enerjilerini farklılaştırmaktadır. Bu nedenle programda oluşturulan yüzeyler için örtü katmanının olmadığı çıplak kaya yüzeyi, kaya blokları döküntüsü (talus),

bitkili kaya blokları döküntüsü, zemin, toprak, bitki örtülü toprak, asfalt, beton ve kullanıcının tanımlayabileceği örtü katmanı seçenekleri bulunmaktadır. Şev yüzeyinden düşecek kaya bloklarının şevden ayrılma yeri olarak hem noktasal hem de bir yüzey boyunca tanımlama yapılabilmektedir.

Programın kaya malzemesi ile ilgili temel girdi parametreleri;

- kayacın kütlesi,
- normal, teğetsel ve açısız hız,
- normal sıçrama katsayısı,
- teğetsel sıçrama katsayısı,
- yüzey pürüzlülüğü,
- sürtünme açısıdır.

Bunların dışında bir seferde yapılacak çözümlemelerde simülasyonu yapılacak kaya bloğu sayısı kullanıcı tarafından programa girilmektedir. Düşen kaya bloklarının sahip oldukları enerjilerin soğurulması ve potansiyel zarar verecekleri bölgelerden uzakta durdurulabilmeleri amacıyla kullanılacak bariyerlerin tasarımı da Rocfall programı ile yapılabilmektedir. Kullanılacak bariyerin malzeme davranış modeli olarak elastik, elastik olmayan ve kullanıcı tanımlı malzeme modeli seçimi yapılabilmektedir. Düşen kaya bloklarının enerjilerini soğurabilecek farklı tür bariyer kapasitelerinin tespitine olanak sağlanmaktadır.

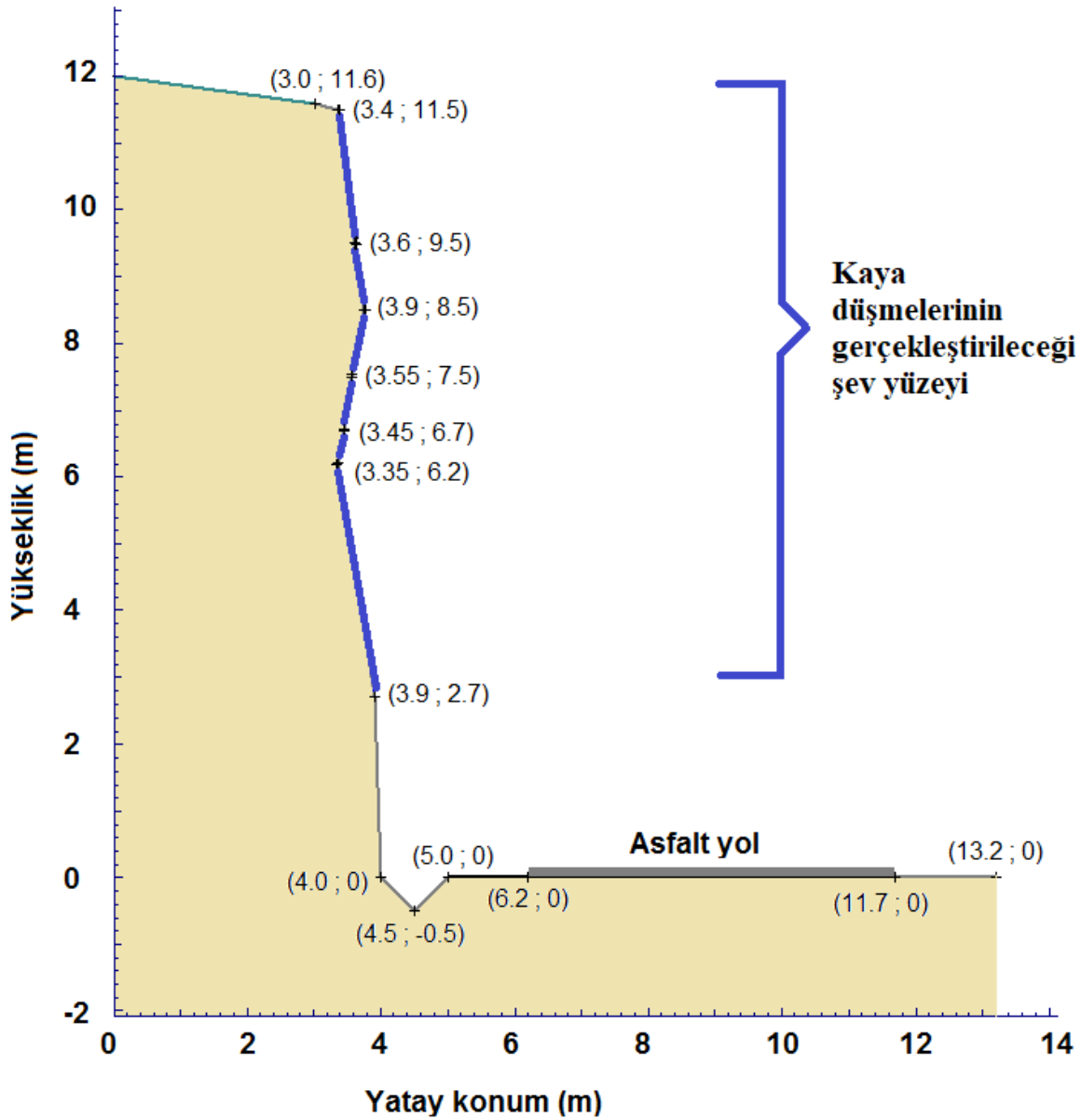
Analizler sonucu farklı girdi parametreleri kullanılarak oluşabilecek riskler hızlı bir şekilde belirlenebilmektedir. Şev yüzeyi ile farklı özellikte malzeme tanımlamalarının kolay bir şekilde yapılması nedeniyle programda çok kısa sürede farklı koşullar için simülasyon yapılması oldukça kolaydır. Şev yüzeyinin tüm profili boyunca düşen kaya bloklarına ilişkin kinetik enerji, hız ve sıçrama yüksekliği bilgilerini ve düşen kayacın ulaşabileceği en son noktayı gösteren histogramlar oluşturulabilir. Elde edilen bu bilgiler ile kaya düşmesi sonucu oluşabilecek risklerin azaltılması için önerilecek olası bariyer yeri için en uygun konumlandırma seçenekleri kolaylıkla değerlendirilebilmektedir.

5.2 ŞEV MODELİ

Tez alışması kapsamında incelenen bölgede (Şekil 5.1) 30 m uzunluğunda bir hat boyunca ölümler yapılmıştır. Şev için beş adet kesit çıkartılarak en tehlikeli kesit Rocfall programına tanıtılmıştır. Şekil 5.2'te görülen modelde Şevin st kısmı bitki örtülü kireçtaşı yüzeyi, Şev yüzeyi ise kireçtaşı olarak tanımlanmıştır. Kanal ıplak kaya (kireçtaşı) ve yol bölümü ise asfalt yüzey olarak tanımlanmıştır.



Şekil 5.1 alışma sahasına ait görünüm.



Şekil 5.2 Şev kesiti.

5.3 GERİ ANALİZLER

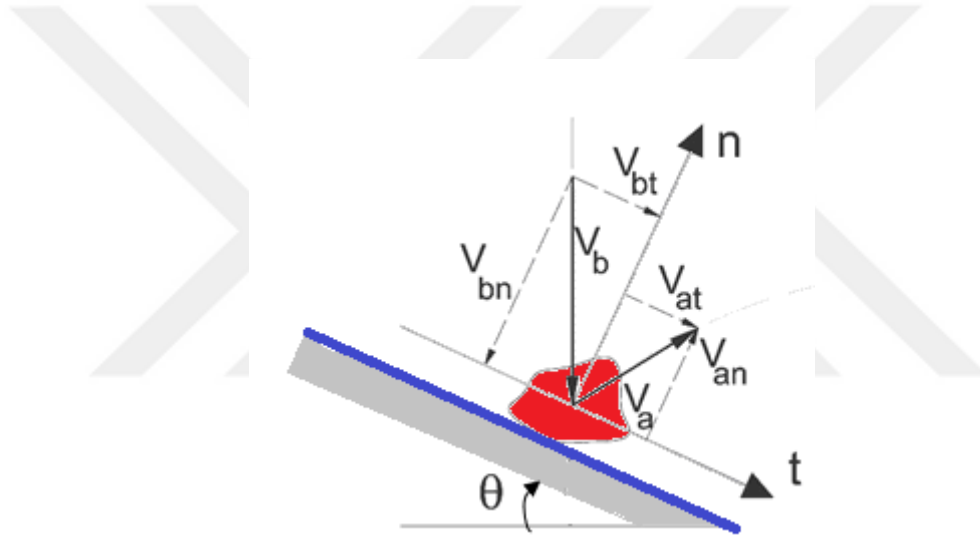
Kaya düşmesi problemlerinde kaya bloklarının tanımlanan şev yüzeyinden düşmesi ve/veya yuvarlanması sırasında sıçrama hareketi yapması kaçınılmaz olmaktadır. Bu nedenle düşen kaya blokları düştüğü yüzeyin özelliklerine göre farklı sıçrama yörüngelerine sahip olmaktadır. Sıçrama katsayısı tanımlaması Newton'un çarpışma teorisi kullanılarak yapılmaktadır. Buna göre sıçrama katsayısı basitçe çarpışma sonrası hızın çarpışma önceki hıza oranı şeklinde tanımlanabilmektedir (Chau et al. 2002, Volkwein et al. 2011, Asteriou et al. 2012, Saeidi et al. 2014). Bununla birlikte sıçrama katsayısının yaygın kullanımı sıçrama

hareketin normal ve teğetsel bileşenlerine ayrılarak yapılan tanımlaması olan normal sıçrama katsayısı (R_n) ve teğetsel sıçrama katsayısı (R_t) dir.

$$R_t = \frac{V_{at}}{V_{bt}} \quad (5.1.a)$$

$$R_n = \frac{V_{an}}{V_{bn}} \quad (5.1.b)$$

Burada V_{bn} ve V_{an} sırasıyla çarpma öncesi ve sonrası hızların normal bileşeni, V_{bt} ve V_{at} ise sırasıyla çarpma öncesi ve sonrası hızların teğetsel bileşenleridir (Chau et al. 2002, Giani et al. 2004, Spadari et al. 2012, Buzzi et al. 2012, Saeidi et al. 2014).



Şekil 5.3 Hareket yörüngesine göre kaya hızı bileşenlerinin tanımlanması (Saeidi et al. 2014).

Normal sıçrama katsayısı yüzeyi kaplayan malzeme bileşimi ve bitki örtüsünden etkilenmektedir. Bununla birlikte teğetsel sıçrama katsayısını belirleyen şev özellikleri ise yüzey pürüzlülüğü ve bitki örtüsüdür (Dorren et al. 2004, Tunusluoğlu ve Zorlu 2009). Normal sıçrama katsayısı, genellikle yüzey malzemesinin elasto-plastik tepkisi nedeniyle oluşan enerji kaybı ile, teğetsel sıçrama katsayısı ise yüzey pürüzlülüğü ve enerjinin sürtünme kaybı ile ilişkilendirilmektedir. Sıçrama katsayıları bir kaya düşmesi simülasyonunda en etkin parametre olarak göz önünde bulundurulmaktadır (Giani 1992, Spadari et al. 2012).

Sıçrama katsayılarının elde edilebilmesi için literatürde birkaç yöntem mevcuttur. Sıçrama katsayılarını tespit edebilmek için çalışma sahasında, kaya blokları şevden aşağıya

düşürülmektedir. Ölçümlerin yapılması için çalışma sahasını gerekli ölçüm aletleri ile donatmak ve kısa zaman aralığında çekim yapabilen kamera sistemleri kullanmak gerekmektedir. Bu yönteme göre düşmesi beklenen kaya bloğu örneğinin boyutları ölçülür, şevden bırakılarak, düşme yörüngesi boyunca kayıt yapılır. Kayıtlardan düşme mesafeleri, çarpma hızları, kinetik enerjileri ile kaya bloğunun çarparak sıçrama gerçekleştirdiği yerlerin özelliğine de bağlı olarak hesaplanabilmektedir. Bu yönteme ilişkin çalışmalara ait detaylı bilgiler Pierson et al. 2001, Giani et al. 2004, Ushiro et al. 2006, Asteriou et al. 2012, Spadari et al. 2012, Wyllie 2014 tarafından verilmektedir.

İkinci yöntem kaya düşmesi deneylerinin laboratuvarında yapılması ile tespit edilebilmektedir. Arazi koşulları ve düşen kaya bloklarının geometrilerinin de göz önünde bulundurulduğu deneylerde düşen kaya bloklarının sıçrama yörüngeleri yüksek hızlı kameralar ile kayıt altına alınmaktadır. Her bir sıçrama hareketi ve öncesindeki düşen blokların kinetik hızları tespit edilmektedir (Chau et al. 2002, Labiouse and Heidenreich 2009, Asteriou et al. 2012, Buzzi et al. 2012). Son yöntem ise bu tez çalışmasında da kullanılan arazide düşmüş kaya bloklarının geri analizleri ile yapılan tespit yöntemidir. Sıçrama katsayılarının tespit edilebilmesi için arazide daha önceden düşmüş kaya bloklarının yerinde tespit edilmesi gerekmektedir. Düşen bu kaya bloklarının geri analizleri yapılarak sahaya ilişkin sıçrama katsayıları tespit edilebilmektedir (Ulusay et al. 2006, Kaya ve Topal 2015, Geniş et al. 2017). Bununla birlikte Rockfall programı daha önceki çalışmalardan tespit edilen farklı tür yüzey türlerine ilişkin sıçrama katsayıları önermektedir.

Bu çalışmada, sıçrama katsayılarının belirlenmesi için düşen kayaların geri analizleri yapılmıştır. Bu amaçla, tez çalışması süresi içinde inceleme alanında tespit edilebilen düşen kaya bloklarının (Şekil 5.4) boyutlarının ölçümü yapılmış ve şevden olan mesafeleri belirlenmiştir. Farklı zamanlarda yapılan arazi çalışmaları ile elde edilen kaya bloklarının boyutları Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Şev yüzeyinden kopan kaya bloklarının ölçümleri.

Sıra No	Ort En (cm)	Ort Boy (cm)	Ort Yükseklik (cm)	Ort Hacim (cm ³)	Ort Ağırlık (kg)	Şeve olan son konum (cm)	Düşme Tarihi
1	28	23	17	10948	29,56	210	20.09.2017
2	30	50	20	30000	81,00	130	
3	14	8	9	1008	27,22	320	22.09.2017
4	7,5	8	4,5	270	0,73	370	
5	35	40	30	42000	113,40	40	06.01.2018
6	80	90	80	576000	1555,20	0	
7	50	40	40	80000	216,00	30	
8	30	30	20	18000	48,60	240	
9	30	25	25	18750	50,63	210	
10	20	20	15	6000	16,20	100	
11	20	20	10	4000	10,80	110	
12	15	20	20	6000	16,20	30	
13	15	15	20	4500	12,15	50	
14	10	30	25	7500	20,25	30	
15	30	20	10	6000	16,20	60	
16	30	20	10	6000	16,20	200	
17	30	20	10	6000	16,20	250	
18	30	20	10	6000	16,20	100	

Arazide gözlenen düşen kaya bloklarından farklı büyüklüklerde 5 adet kaya bloğu göz önünde bulundurularak, kayaca ilişkin sızrama katsayıları geri analizler yardımıyla hesaplanmıştır. Geri analizlerde seçilen her bir düzgün kaya bloğu için teğetsel sızrama katsayıları bir değerde sabit tutularak normal sızrama katsayıları belirlenmiştir. Teğetsel sızrama katsayıları için 0,5 ile 0,8 aralığında değer kullanılmıştır. İncelenen kaya bloğunun kütlesi ve teğetsel sızrama katsayısı programa tanıtılmıştır. Daha sonra bir seri düşme analizi yapılmıştır. Bu düşme analizlerinde teğetsel sızrama katsayısı sabit tutulmuş ve normal sızrama katsayıları değiştirilmiştir. Seçilen bir teğetsel sızrama katsayısı değeri ile düşmüş kaya bloğunun

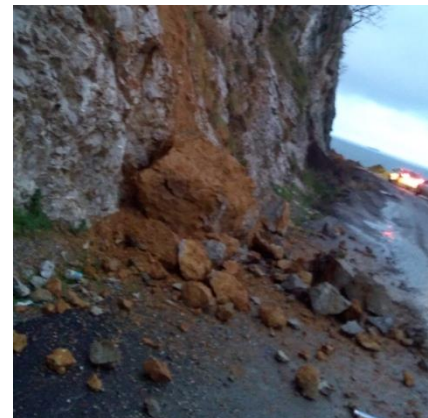
özellikleri sayısal modele tanımlanmış ve arazide düşme olayı gerçekleşmiş kaya bloğunun şevden düşme uzaklığının sayısal çözümleme sonucu elde edilmesi sağlanmıştır. Gözlemlenen her bir kaya düşmesi olayı için arazi gözlemleri ile uyumlu normal sıçrama katsayısı yapılan kaya düşmesi analizleri ile ayrı ayrı belirlenmiştir. Farklı kütlelere sahip kaya blokları için elde edilen sıçrama katsayısı değerleri Şekil 5.5'de gösterilmiştir.



a) 20.09. 2017 tarihinde şevden düşmüş kaya blokları



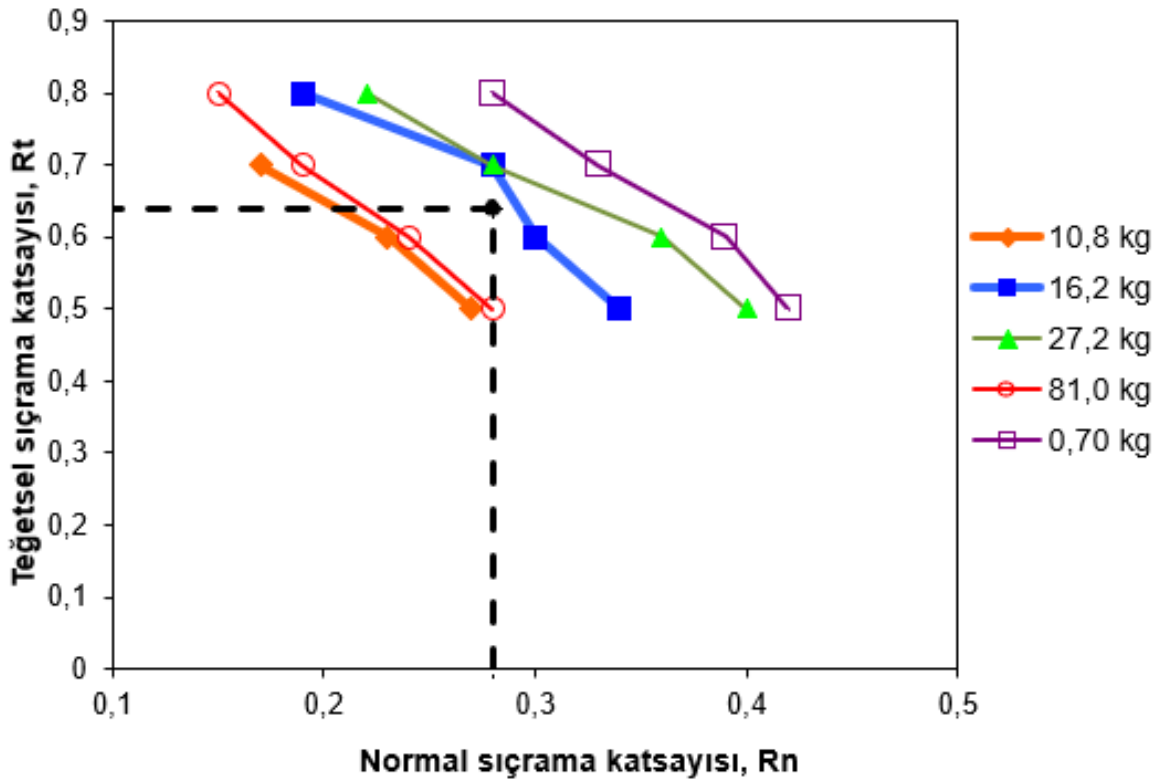
b) 22.09. 2017 tarihinde şevden düşmüş bloklar



c) 06.01. 2017 tarihinde şevden düşmüş bloklar

Şekil 5.4 Tez çalışma sahasında çeşitli tarihlerde düşmüş kaya blokları.

Şekil 5.5'e bakıldığında çok küçük kütleli kaya bloğundan, çok büyük kütleli kaya bloklarının düşmesi ile elde edilen R_n ve R_t dağılımlarının bir bant aralığında olduğu anlaşılmaktadır. Elde edilen R_n ve R_t değerlerinin istatistiksel değerlendirilmesi yapılarak elde edilen ortalama değerleri $R_n: 0,28 \pm 0,79$ ve $R_t: 0,64 \pm 0,11$ olarak bulunmuş ve kaya düşmesi analizlerinde girdi parametresi olarak seçilmiştir. Düşen kaya bloklarının geometrik özelliklerinin sıçramaya etkisi kullanılan programın sürümünde incelenmesi mümkün olmamıştır. Bununla birlikte asfalt yüzey için program tarafından önerilen sıçrama katsayıları olan $R_n:0,40$ ve $R_t:0,90$ olarak kabul edilmiştir.



Şekil 5.5 Geri analiz yöntemiyle hesaplanan normal sıçrama katsayısı, (R_n) ve teğetsel sıçrama katsayısı, (R_t) katsayıları arasındaki ilişki.

5.4 KAYA DÜŞMESİ ANALİZLERİ

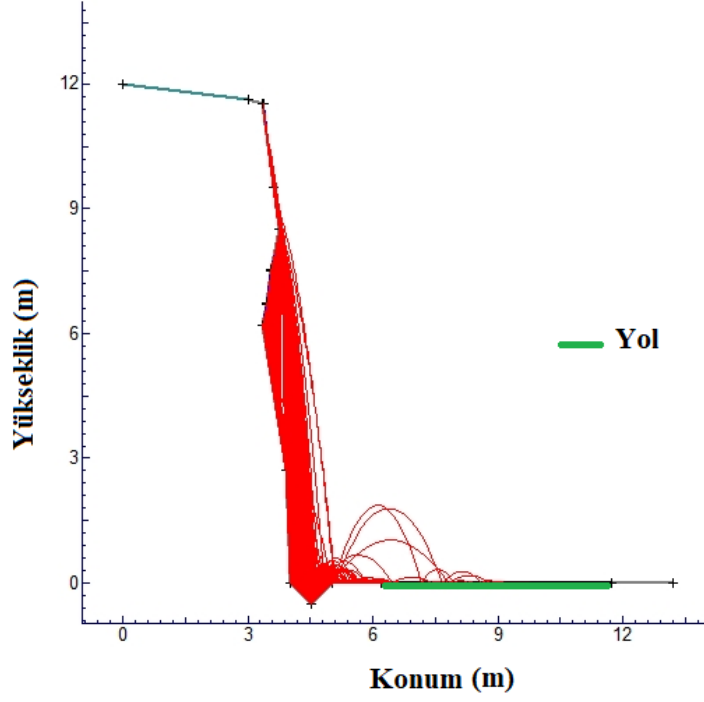
Mevcut eklem takımlarının özellikleri ve geri analizi yapılan düşmüş kaya blokların büyüklükleri göz önünde bulundurularak düşme analizleri için kullanılacak blok büyüklükleri için bazı kabuller yapılmıştır. Çalışma sahası için yapılacak analizlerde tipik olarak 10 kg, 100 kg, 500 kg, 1000 kg ve 1500 kg'lık kütlelerine sahip kaya blokları için düşme analizleri gerçekleştirilmiştir. Her bir kütleyle sahip kaya bloklarının düşme analizinde 1000 adet kaya

şev yüzeyinden rastgele düşürülmüştür. Rocfall programında kullanılan girdi parametreleri Çizelge 5.2'de verilmiştir.

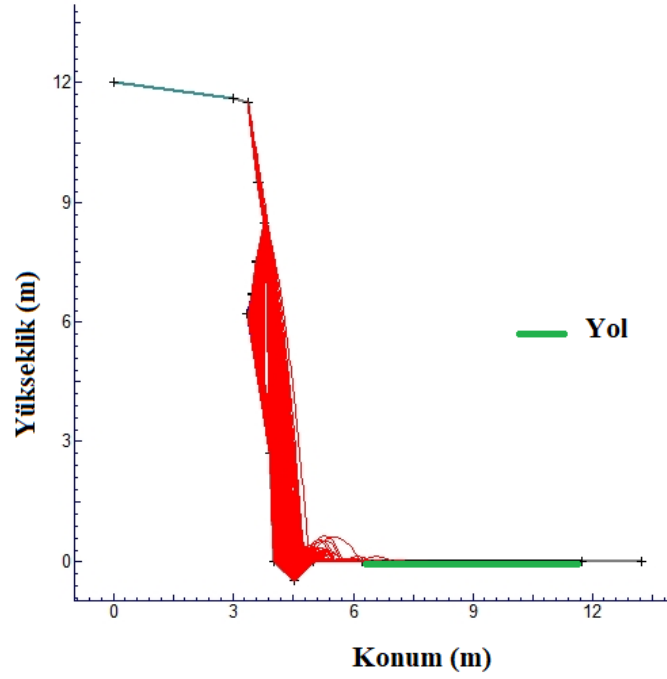
Çizelge 5.2 Kaya düşmesi analizinde kullanılan giriş parametreleri.

Parametre	Değer
Blok atış sayısı	1000
Kopma anındaki ilk hız (m/s)	0,1
Atış şekli	Rastgele
Sürtünme açısı	38°-50° (ort 44°) (Geniş et al. 2017)
Şev yüzeyi pürüzlülüğü	3 (JRC=2-4) (ISRM 1981, Geniş et al. 2017)
Teğetsel sıçrama katsayısı (R_t)	0,64 ± 0,11
Normal sıçrama katsayısı (R_n)	0,28 ± 0,79

Kaya blokları düşme hareketi sırasında, sıçrama ve/veya yuvarlanma hareketleri yaparak yörüngelerini oluştururlar. Serbest düşme hareketi yapan kaya blokları, ilk yere düştüğü noktada sıçrama hareketi yaparak ilerlemelerine devam etmektedirler. Oluşturulan şev profili üzerinde beş farklı kütleye sahip kaya bloklarının düşmesi sonucu elde edilen hareket yörüngeleri ve son konumları çizgisel olarak Şekil 5.6'te gösterilmiştir. Yapılan simülasyonda çoğu blokların şev dibi ile yol arasına düştükleri görülmektedir. Bununla birlikte şevden yola doğrudan düşen kaya bloğu görülmemektedir. Kaya bloklarının şev dibinden itibaren yatay mesafede 6 m hareket edebildikleri görülmektedir (Şekil 5.6.a). Beklendiği gibi 10 kg ve 100 kg kütleye sahip kaya bloklarının büyük bölümünün karayolu kanalına düşerek kaldığı diğer düşen blokların ise yaklaşık olarak karayolu sonuna kadar ilerleyebildikleri görülmektedir (Şekil 5.6.a-b). 500 kg'dan daha yüksek kütleye sahip kaya bloklarının ise karayoluna ulaşabildikleri tespit edilmiştir (Şekil 5.6.c-e). Programda gerçekleştirilen her düşme yörüngesi kırmızı bir hat olarak görüntülenmektedir. Tek bir analizde 1000 adet kaya düşüşü yapıldığından dolayı şekillerde görülen kırmızı bölge kayaların düşme yörüngelerini göstermektedir.

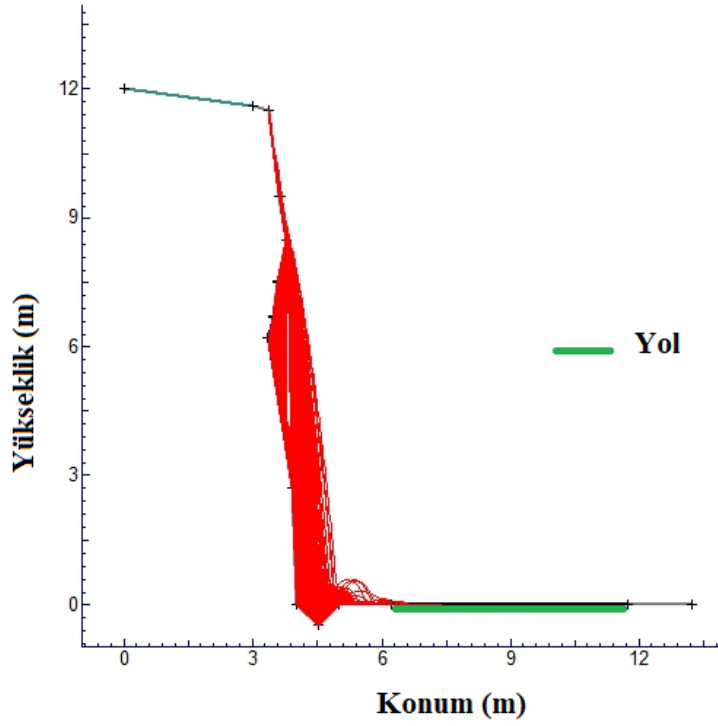
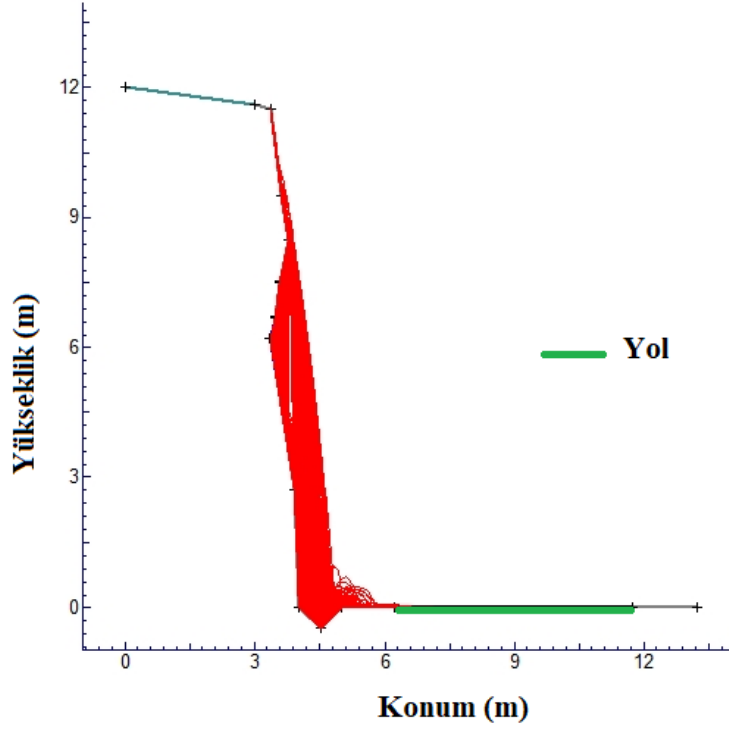


a) 10kg.

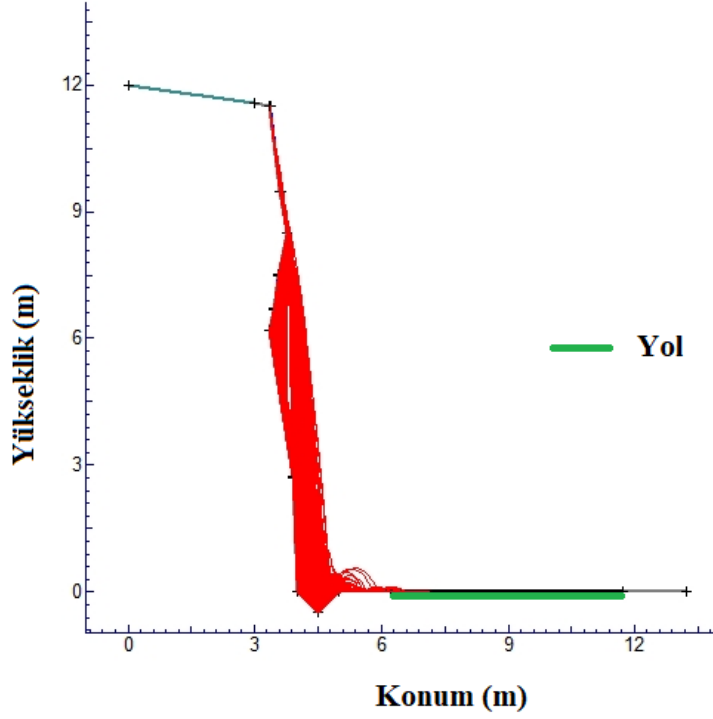


b) 100 kg.

Şekil 5.6 Farklı kaya kütesine sahip kaya bloklarının hareket yörüngeleri.



Şekil 5.6 (devam ediyor).



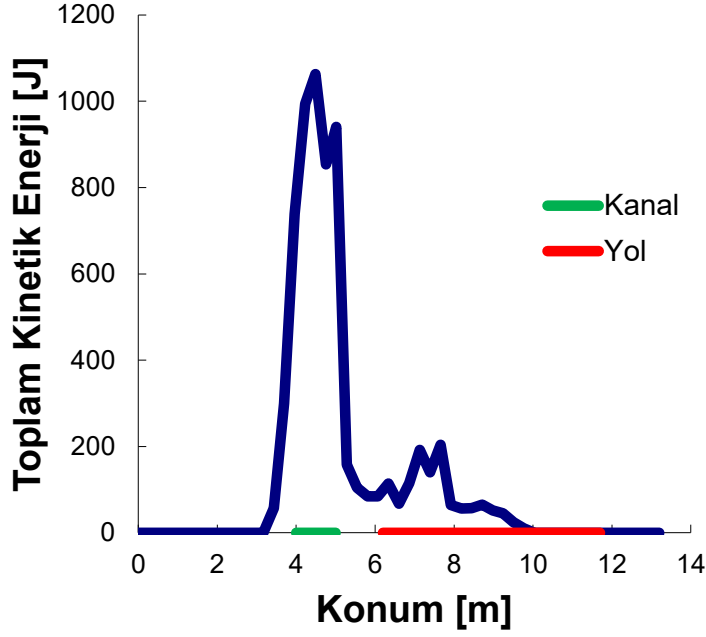
e) 1500 kg.

Şekil 5.6 (devam ediyor).

5.4.1 Kinetik Enerji

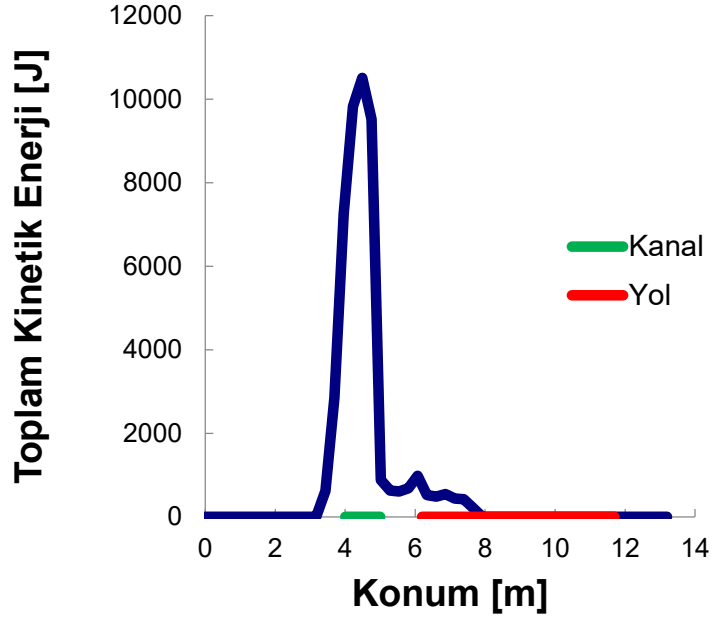
Kaya düşme analizinde en önemli parametrelerden birisi de kinetik enerjidir. Düşen blokların kinetik enerjileri büyüklüklerine göre Perret et al. (2004) tarafından sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırmada, kinetik enerji büyüklükleri; 300 kJ'den büyük değerler "yüksek" derece, 30 – 300 kJ arasındaki değerler "orta derece" ve 30 kJ'den daha küçük değerler ise "düşük" derece olarak derecelendirilmiştir (Perret et. al. 2004, Geniş et al.'dan 2017). Farklı kaya kütlesine sahip blokların hareketleri boyunca sahip oldukları kinetik enerjileri Şekil 5.7'da gösterilmiştir. Kaya bloğunun kütlesi arttıkça sahip olduğu toplam kinetik enerjide artmaktadır. 10 kg'lık kütleye sahip kaya bloğunun toplam kinetik enerjisi en yüksek 1 kJ iken 1500 kg'lık kütleye sahip kaya bloğunun sahip olduğu kinetik enerji ise 160 kJ olmaktadır (Şekil 5.7.a ve e). Perret et al. (2004) tarafından yapılan sınıflandırmaya göre 160 kJ "orta derece" sınıfta değerlendirilmektedir. Kaya bloklarının sahip oldukları en büyük kinetik enerji değerlerini serbest düşme yaptığı hareket yörüngesinde şevin dibinde kanala düştüğü andaki değeridir. Kaya düşme hareketi ile şev yüzeyine, kanala ve/veya yola çarptıkları anda kinetik enerjileri azalmakta ve diğer enerji türlerine dönüşmektedir. Yol seviyesine ulaşabilen kaya bloklarının en büyük kinetik enerji değerleri ise 10 kg kütleli

bloklar için 203 J, 100 kg kütleli bloklar için 543 J, 500 kg kütleli bloklar için 2261 J, 1000 kg kütleli bloklar için 5983 J ve 1500 kg kütleli bloklar için 6717 J olarak hesaplanmıştır (Şekil 5.7.a-e). Blok kütleleri arttıkça, sahip oldukları kinetik enerjileri de artmaktadır. Ayrıca kinetik enerji miktarı blokların düşme yükseklikleri arttıkça da artış göstermektedir. Blokların sıçrama yükseklikleri her bir sıçrama hareketi sonucunda azalarak devam ettiği için kinetik enerjileri de azalmakta ve hareket sonunda ise sıfır olmaktadır.

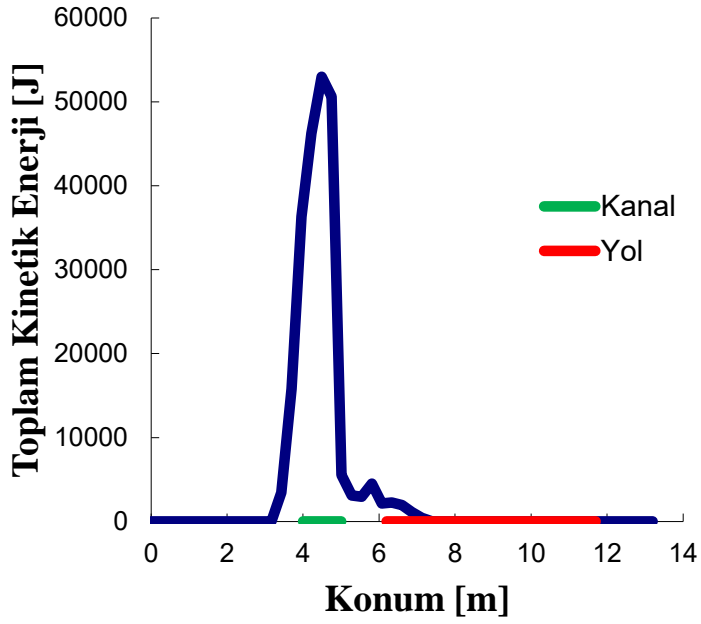


a) 10 kg.

Şekil 5.7 Farklı kaya kütlelerine sahip blokların toplam kinetik enerji – konum grafikleri.

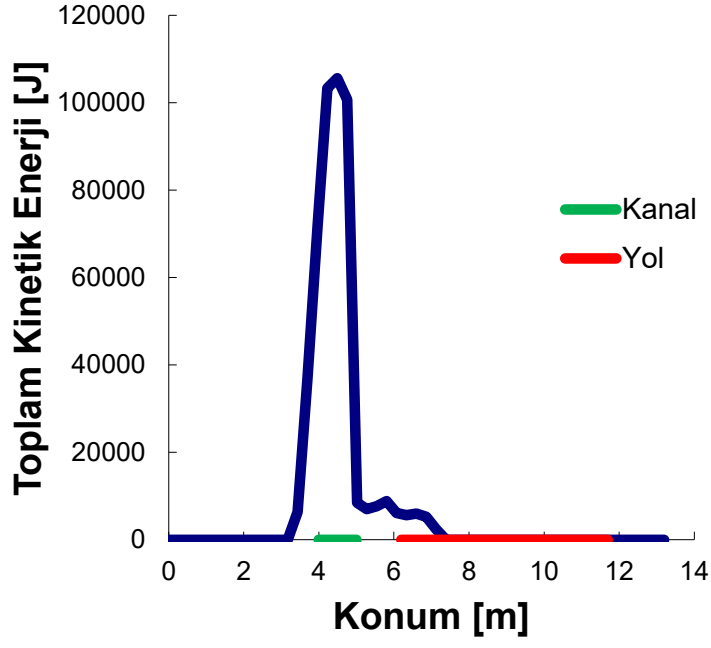


b) 100 kg.

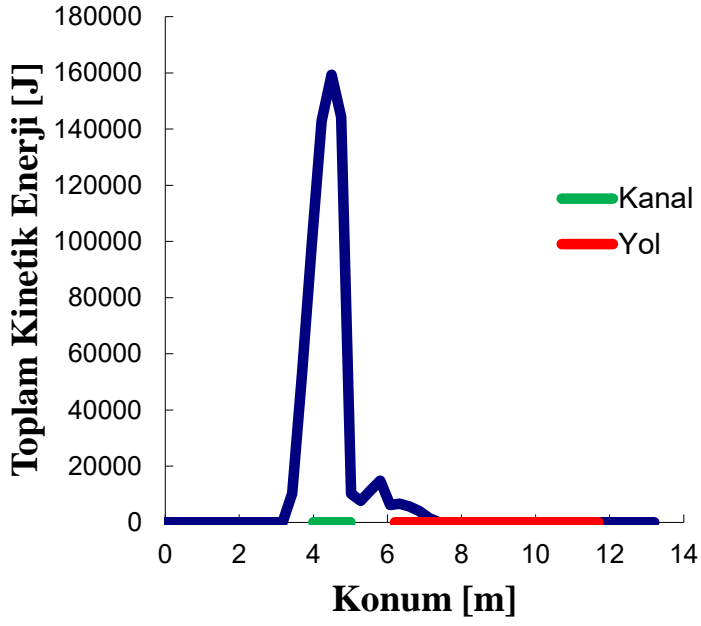


c) 500 kg.

Şekil 5.7 (devam ediyor).



d) 1000 kg.



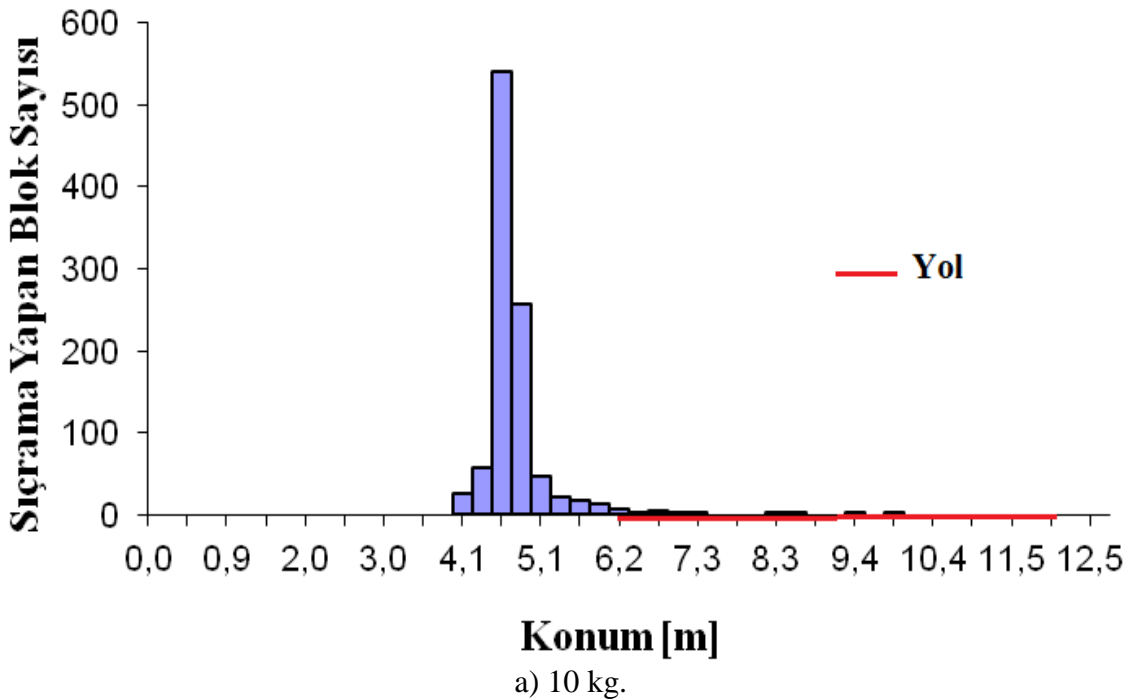
e) 1500 kg.

Şekil 5.7 (devam ediyor).

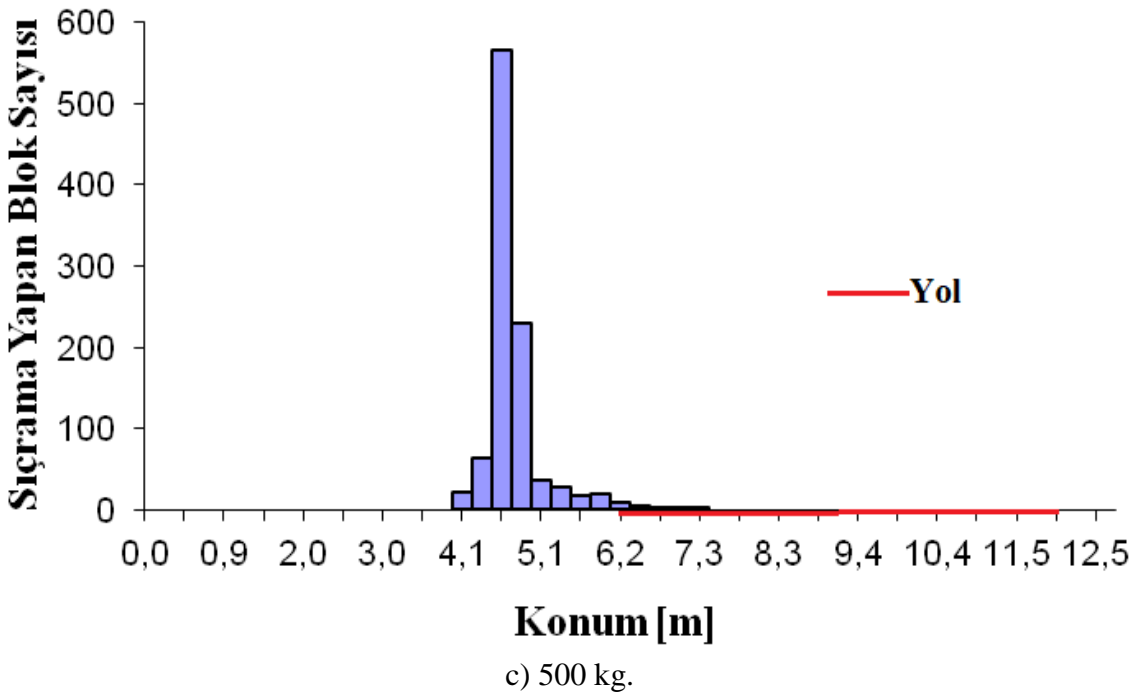
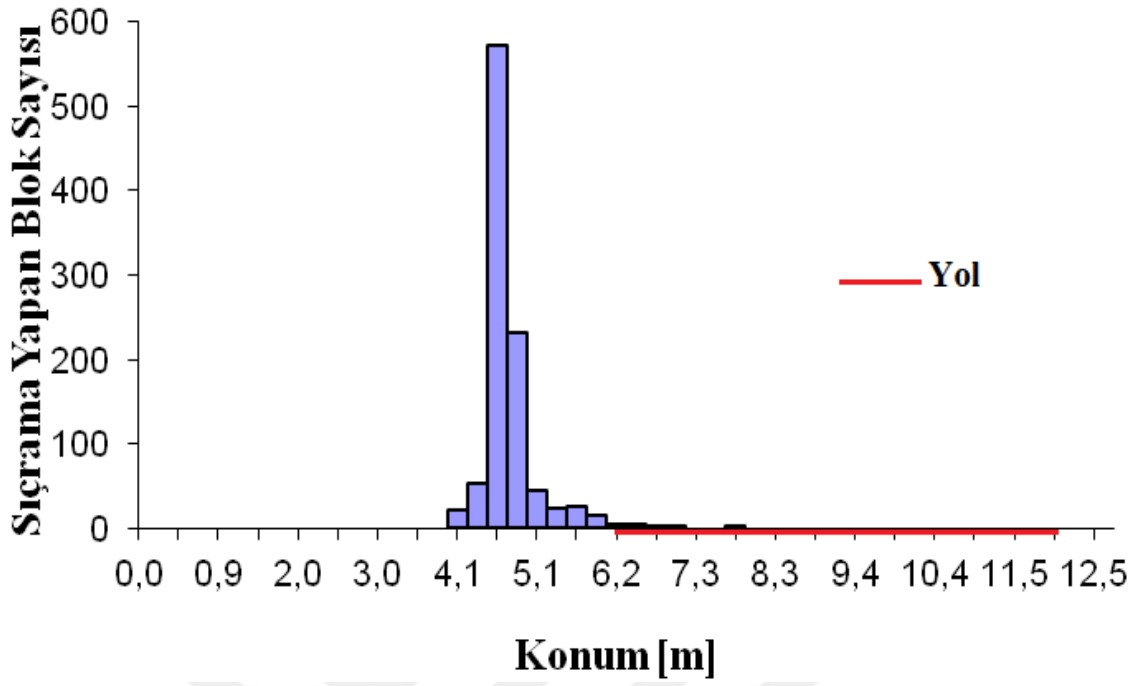
5.4.2 Düşen Blok Sayısı

Kaya düşme problemlerinin analizinde kullanılan bir parametrede düşen blokların hangi konumda yoğunlaştıklarının tespit edilmesidir. Tez çalışması yapılan sahada şev eğiminin dike yakın olması nedeniyle düşen blokların kanal içinde kalarak hareketini tamamlamasına neden olmaktadır. Ancak bazı bloklar kanal dışına sıçrama yaparak hareketini devam ettirmektedirler (Şekil 5.8). Simülasyonlarda her bir analizde 1000 adet kaya bloğu düşürülmüştür. Bu analizlerde, şev ve yol arasında kalan düşen blok sayılarına bakıldığında 10 kg kütleli bloklar için 979 adet, 100 kg kütleli bloklar için 985 adet, 500 kg kütleli bloklar için 981 adet, 1000 kg kütleli bloklar için 991 adet ve 1500 kg kütleli bloklar için 987 adet blok olduğu belirlenmiştir. Diğer bir ifadeyle 10 kg kütleli bloklarda yola ulaşan blok sayısı 21 adet, 100 kg kütleli bloklarda yola ulan blok sayısı 15 adet, 500 kg kütleli bloklarda yola ulaşan blok sayısı 19 adet, 1000 kg kütleli bloklarda yola ulaşan blok sayısı 9 adet ve 1500 kg kütleli bloklarda yola ulaşan blok sayısı 13 adet olarak hesaplanmıştır.

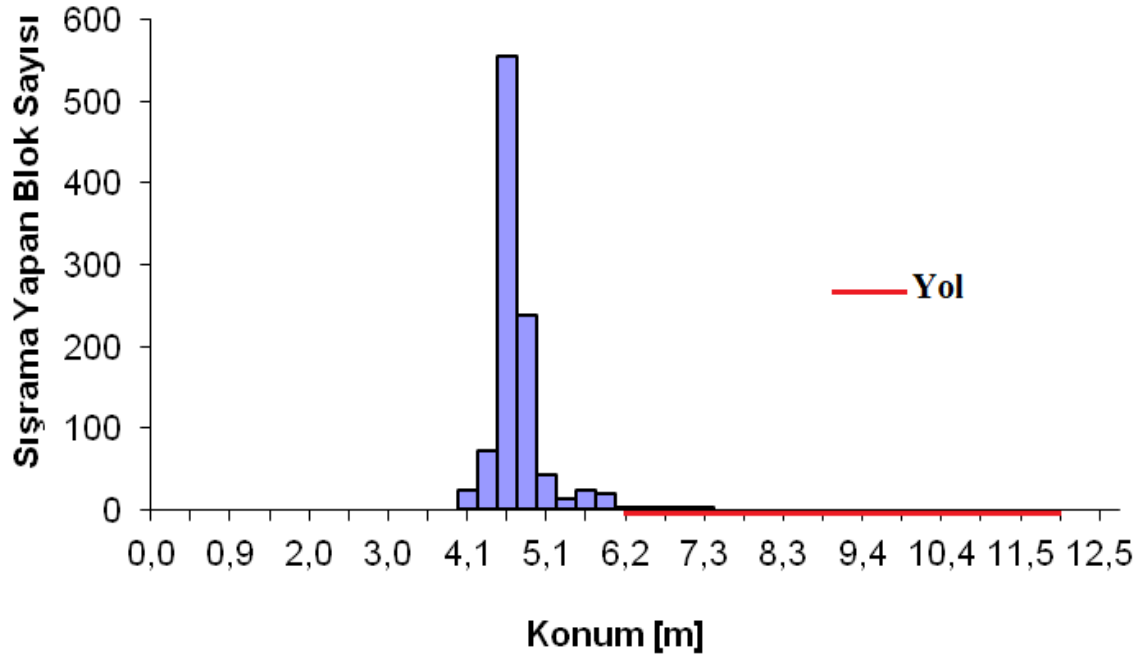
Yola ulaşan blok sayıları, düşen blokların kütleleri azaldıkça artmaktadır. Analizi yapılan en küçük blok olan 10 kg blokların %2,1'inin yola ulaşması oluşabilecek tehlikenin büyüklüğünü ortaya koymaktadır.



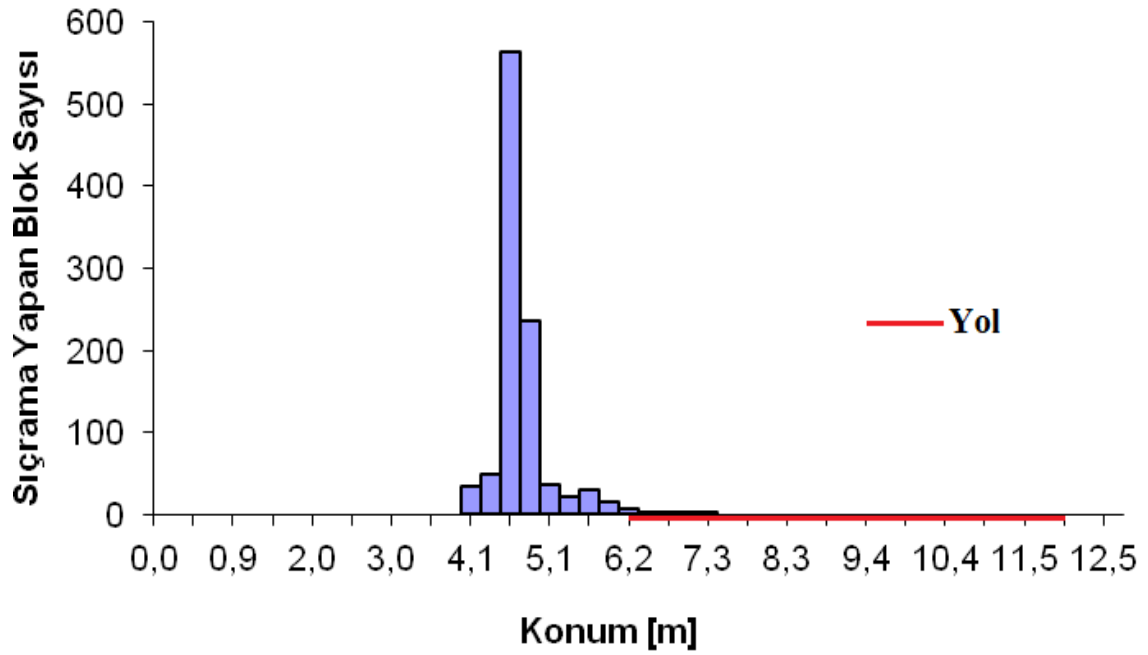
Şekil 5.8 Farklı kaya kütlelerine sahip blokların, blok sayısı - konum grafikleri.



Şekil 5.8 (devam ediyor).



d) 1000 kg



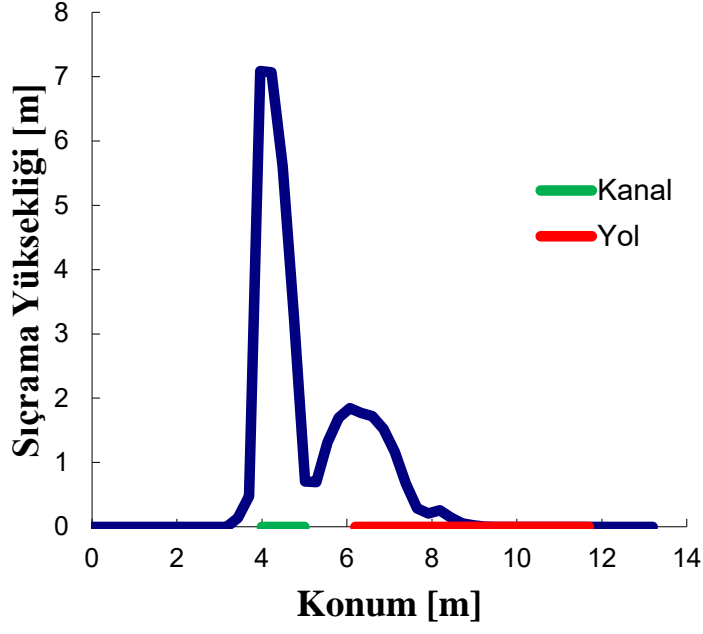
e) 1500 kg.

Şekil 5.8 (devam ediyor).

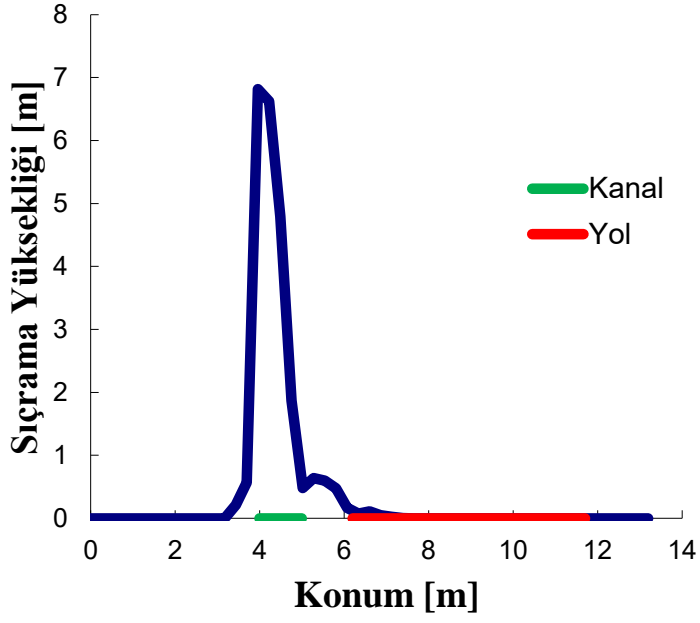
5.4.3 Sıçrama Yüksekliği

Şevden düşen blokların sahip oldukları kinetik enerji ile yuvarlanma ve sıçrama hareketleri yapmaktadırlar. Blokların sıçrama yüksekliği, simülasyon için verilen yüzey topoğrafyası, şev eğim açısı, şev yüksekliği blok şekli ve başlangıç hızına bağlıdır (Youssef et al. 2015). Bloklar şevden koparak sahip oldukları yüksekliğe bağlı olarak, sahip oldukları potansiyel enerji kinetik enerji ve diğer enerji türlerine dönüşmektedir. Düşen blokların kinetik enerjilerinin her sıçrama evresinde azalması ile birlikte sıçrama yükseklikleri de doğru orantılı olarak azalmaktadır.

Yapılan kaya düşmesi simülasyonları düşen kaya bloklarının sıçrama yüksekliği – konum grafikleri Şekil 5.9'te verilmiştir. Her bir kütle için verilen bu şekiller incelendiğinde, sıçrama yüksekliklerinin 7 m yüksekliğe ulaştığı görülmektedir. Bu yükseklik, şevden kopan bloğun herhangi bir yüzeye çarptıktan sonra yaptığı sıçrama hareketi sonucu ulaştığı en yüksek konumunun şev düzlemine olan düşey uzaklığı olarak tanımlanabilmektedir. Düşen kaya bloğu şev yüzeyine çarpıp tekrar sıçrama yaptığı için bu yükseklik gerçek sıçrama yüksekliğini vermemektedir. Bu nedenle sıçrama yüksekliği - konum grafikleri incelenirken kaya bloklarının şev yüzeyi dışında yere düştüğü konumdan itibaren yaptıkları sıçrama yükseklikleri dikkate alınmalıdır. Yapılan analizde düşen blokların yere çarptıktan sonraki yüksekliklerine incelendiğinde: 10 kg kütleli blokların 1,85 m, 100 kg kütleli blokların 0,64 m, 500 kg kütleli blokların 0,09 m, 1000 kg kütleli blokların 0,55 m, 1500 kg kütleli blokların 0,55 m yüksekliğe ulaşabildikleri hesaplanmıştır (Şekil 5.9). Burada 500 kg kütleyle sahip kaya bloğunun sıçrama yüksekliği beklenilenin aksine 1000 ve 1500 kg kütleyle sahip kaya bloklarının sıçrama yüksekliğinden daha az oluşmuştur. Simülasyonlarda şev geometrisinin oldukça dik olması nedeniyle düşen kaya bloklarının çoğu ilk olarak kanal içerisine düşme hareketi yapmaktadırlar. Kanal içine düşen kaya blokları, kanal geometrisine bağlı olarak bir yörüngede sıçrama hareketi yaparak hareket yörüngelerine devam etmektedirler. Kaya düşme simülasyonlarının yapıldığı tek atışlık denemelerde, kanal içine düşen bloklar, kanalın yol tarafına veya kanalın şev tarafına çarpmaktadırlar. Kanalın yol tarafındaki yüzeyine çarpan kaya blokları şev yüzeyine doğru hareket etmektedirler. Bununla birlikte kanalın şev tarafındaki yüzeye çapan kaya blokları ise yol tarafına doğru sıçrayarak hareket etmektedirler. Düşen kaya bloğunun büyüklüğü ve şevden koptuğu bölge, bloğun kanalın hangi bölgesine düşeceğini belirleyen etkenlerdir. Bu nedenle düşen kaya bloğunun külesinden bağımsız olarak oluşturduğu hareket yörüngesi, sıçrama yüksekliklerini farklılaştırabilmektedir.

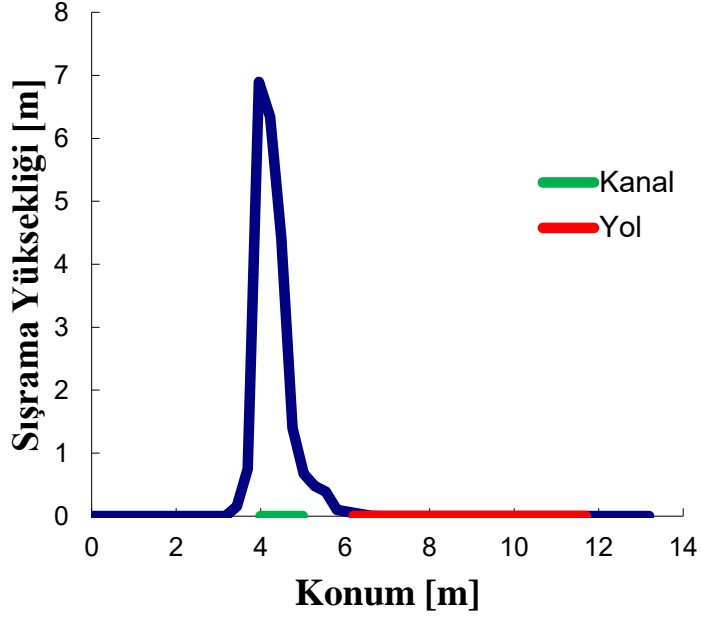


a) 10 kg.

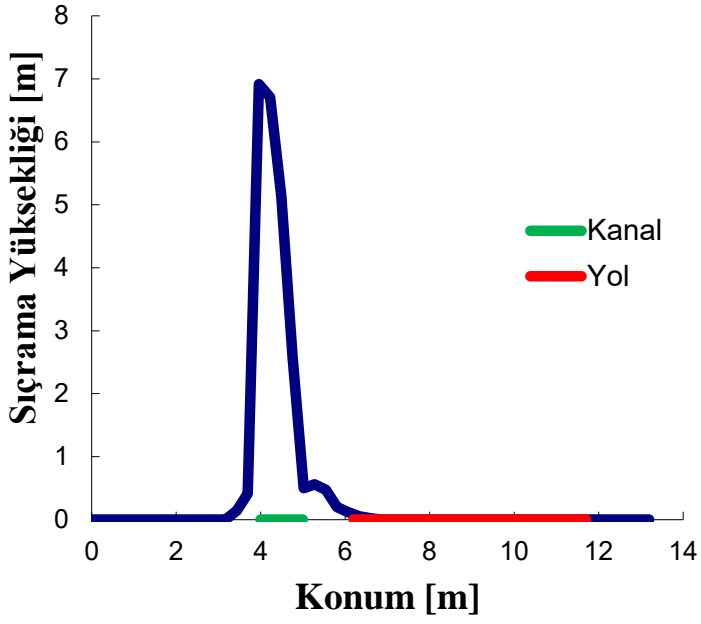


b) 100 kg.

Şekil 5.9 Farklı kaya kütlelerine sahip blokların sıçrama yapan blok sayısı-konum grafikleri.

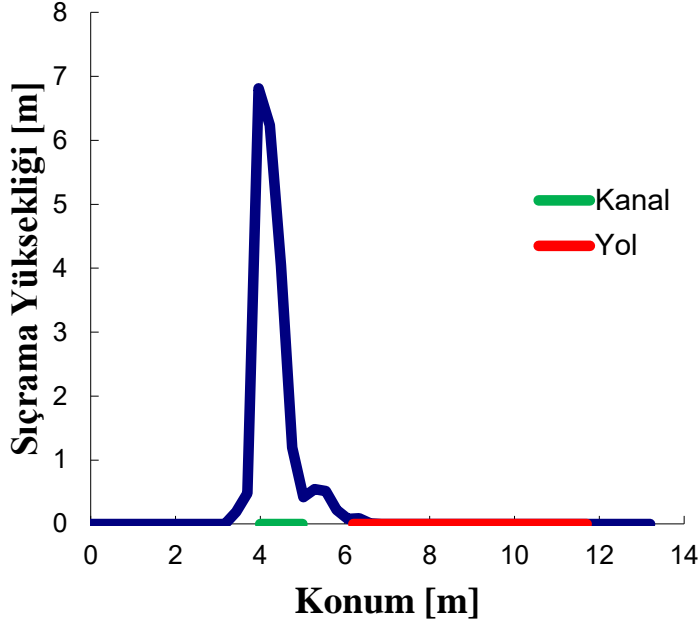


c) 500 kg.



d) 1000 kg.

Şekil 5.9 (devam ediyor).



e) 1500 kg.

Şekil 5.9 (devam ediyor).

5.4.4 Değerlendirme

Yapılan analizlerde; 10 kg kütleli blokların %2,1'inin yola ulaştığı, blokların yere düştükten sonra sıçrama yüksekliği en fazla 1,85 m olduğu belirlenmiştir. Blokların kinetik enerjisi 1 kJ olarak hesaplanmıştır ve yere çarptıktan sonra en yüksek hız değeri 6,2 m/s olmaktadır. Şevden 6 m uzaklaşarak, yol içinde 3,8 m ilerleyerek hareketini tamamlamıştır.

100 kg kütleli blokların analizinde, blok kütlesinin artışı ile ters orantılı olarak blokların kat ettiği mesafe azalmış ve kaya bloklarının %1,5'i yola ulaşmıştır. Düşen kaya bloklarının sıçrama yüksekliği en fazla 0,64 m olmaktadır. 100 kg kütleli kaya bloklarının kinetik enerjisi 10 kJ ve yere çarptıktan sonra 3,4 m/s hıza ulaşabilmektedir. Şevden 3,9 m uzaklaşarak, yol içinde 1,7 m ilerlemiştir.

Yapılan analizler incelendiğinde 500 kg kütleli blokların %1,9'unun yola ulaştığı, yere düştükten sonra sıçrama yüksekliği en fazla 0,09 m olduğu tespit edilmiştir. Kinetik enerjisi 53 kJ ve yere çarptıktan sonra hız değerleri 2,6 m/s olmuştur. Şevden 3,4 m uzaklaşarak, yol içinde 1,2 m ilerleyerek son konumuna ulaşmıştır.

1000 kg kütleyle sahip blokların %0,9'u yola ulaşmaktadır. 1000 kg kütleli bloklar yere düştükten sonra sıçrama yaparak en fazla 0,55 m yüksekliğe sahip olmaktadır. Blokların kütlesi artarken kinetik enerjisi de artarak 106 kJ değerine sahip olmaktadır. Bu bloklar yere çarptıktan sonra hızlarının 2,9 m/s olduğu hesaplanmıştır. Blokların kütlesi arttıkça diğer küçük kütleli bloklara göre şevden daha az uzaklaşabilmektedirler. 1000 kg kütleli bloklar düşme sonrasında şevden 3,4 m uzaklaşarak, yol içinde 1,2 m ilerleyebilmektedirler.

Analizi yapılan 1500 kg kütleli blokların %1,3'ü yola ulaşabilmektedir. Şevden düştükten sonra sıçrama yükseklikleri en fazla 0,55 m olarak hesaplanmıştır. Bu blokların kinetik enerjisi 160 kJ olarak yapılan analizlerde en yüksek değerdir. Düşen bu bloklar yere çarptıktan sonraki en yüksek hız değerleri 2,6 m/s'dir. Düşme hareketi sonrasında şevden 3,4 m uzaklaşarak, yol içinde 1,2 m ilerledikleri hesaplanmıştır.

Bu sonuçlara göre düşen 10 kg kütleli bloklar karayolu içinde 3,8 m ve 1500 kg kütleli bloklar karayolu içinde 1,2 m ilerleyerek karayolunda trafiği etkileyecektir (Çizelge 5.3). Şevden düşen blokların sahip oldukları kinetik enerji ve yüksek hız değerlerinde, blokların kütlelerine bağlı olarak karayolunda bulunan trafik için, ölümcül olabilecek kazalara yol açması muhtemeldir.

Çizelge 5.3 Farklı kaya kütlelerine ilişkin elde edilen analiz sonuçları.

Analizler	10 kg	100 kg	500 kg	1000 kg	1500 kg
Kinetik enerji (kJ)	1	10	53	106	160
Yere düşme anından sonraki ilk sıçrama yüksekliği (m)	1,85	0,64	0,09	0,55	0,55
Yola ulaşan blok oranı (%)	2,1	1,5	1,9	0,9	1,3
Yol içinde en büyük ilerleme uzaklığı (m)	3,8	1,7	1,2	1,2	1,2
Yol içinde ulaşılan en yüksek hız (m/s)	6,2	3,4	2,6	2,9	2,6

BÖLÜM 6

KAYA DÜŞMELERİNE KARŞI ALINACAK ÖNLEMLER VE BARIYER ÖNLEMLİ KAYA DÜŞME ANALİZİ

Dünya genelinde yapılan çalışmalar incelendiğinde, yol şevlerinde mevcut duraysızlıklar nedeniyle can ve mal kaybı ile sonuçlanabilen veya büyük maddi hasarlara neden olabilecek büyüklükte kaya düşmesi olayları meydana gelmektedir. Kaya düşmesi olaylarının meydana getirdiği kayıpları önlemek amacıyla bazı önlemler uygulanmaktadır. Kaya düşmesi tehlikelerine karşı önleyici tedbirlerin alınması şarttır. Bariyer çitleri ve çelik ağlar inşa etmek gibi çeşitli teknikler etkili bir şekilde kullanılmaktadır (Dorren 2003, Volkwein at al. 2011).

Kaya düşmesi olaylarının engellenmesi ve olası zararların en aza indirilmesi için yapılan çalışmalar aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

1. Arazinin tanımlanması
 - Jeolojik incelemeler
 - Arazi üzerine etkiyen kuvvetler
 - Depremsellik
2. Kayaçların incelenmesi
 - Laboratuvar çalışmaları
 - Arazi çalışmaları
3. Bölgede meydana gelmiş benzer olaylar ve alınan önlemler
4. Elde edilen verilerin bilgisayar programları ile değerlendirilmesi
5. Kaya düşmesini önleyici tedbirlerin belirlenmesi

Bu bölümde, öncelikle kaya düşmelerinin önlenmesi amacıyla yapılan çalışmalar hakkında literatür bilgileri verilmiştir. Daha önceki bölümlerde incelenen saha ile ilgili yapılan çalışmalardan elde edilen veriler kullanılarak önerilen yöntemin modellendiği kaya düşmesi analizleri sunulmuştur. Önleyici yöntem seçilerek yapılan analiz ile kaya bloklarının

yörüngeleri, enerjileri, blok sayıları ve sıçrama yükseklikleri hakkında bilgiler elde edilmiş ve sonuçlar tartışılmıştır.

6.1 KAYA DÜŞMELERİNE KARŞI ALINACAK ÖNLEMLER

Kaya düşmelerine karşı alınabilecek önlemler, kaya bloklarının düşmelerini engelleyeceği çalışmalar ve kaya bloğunun düşme hareketine başladığı durumdan sonraki süreçte yapılması gereken çalışmalar olarak iki ayrı sınıfta değerlendirilmektedir (Çizelge 6.1). İlk sınıfta şev yüzeyinde ağaçlandırma, kaya saptaması uygulaması, şev eğimini düşürme veya şev içinde tali şevler (basamak) oluşturma ve su gelirlerinin engellenmesi olarak sayılabilirler.

Alınacak önlemlere rağmen oluşabilecek kaya düşmelerinin meydana getirebileceği zararları engellemek için, yol üstüne tünel oluşturma, sedde tipi dolgu bariyerler, çelik ağlar ve çitler, şev yüzeyinin tel ağlar ile kaplanması ve saptamalar ile tel ağların desteklenmesi, yol kenarına beton bariyer ve/veya kanal (hendek) oluşturma vb. yöntemler kullanılmaktadır. Bu bölümde kaya düşmesi olayının kaçınılmaz olduğu durumlarda yukarıda verilen yöntemler detaylandırılmıştır.

Çizelge 6.1 Kaya düşmelerine karşı alınacak önlemler.

Birincil önlemler	Kaya düşmesini önleyici tedbirler	Ağaçlandırma
		Kaya saptaması uygulaması
		Şev eğimini düşürme veya yeni şevler oluşturma
		Su gelirlerinin drene edilmesi
İkincil önlemler	Alınacak tedbirlere rağmen oluşacak kaya düşmelerinin zararlarını en aza indirecek çalışmalar	Tüneller
		Sedde tipi dolgu bariyerler
		Çelik ağlar-Çitler
		Yüzeyin tel kafes ile kaplanması ve kaya saptaması ile destekleme
		Beton bariyerler ve kanallar

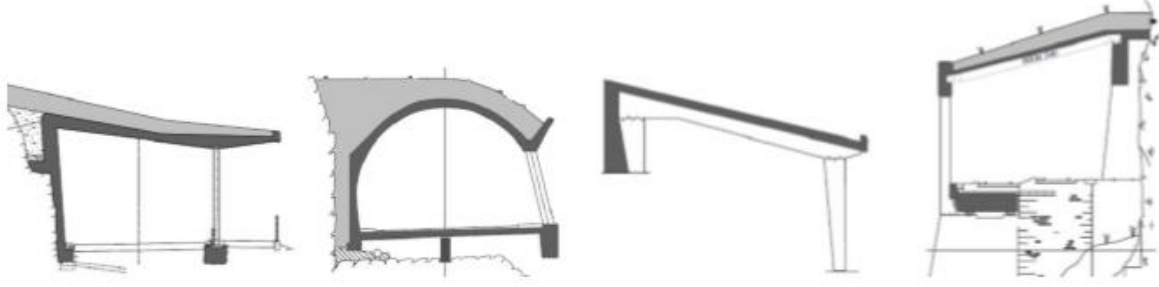
6.1.1 Tüneller

Kaya bloğunun hareketini engelleyecek sistemlerin uygulanması ile ilgili problemlerin yaşandığı yüksek eğim ve yüksekliğe sahip şev bölgelerinde ve/veya yol kesitlerinin dar olduğu kesimlerde; kaya bloğunun hareketini kısıtlamak yerine yol güvenliğinin farklı biçimde sağlanması mümkün olabilmektedir. Düşen kaya bloklarının yola düşmesini engellemek üzere beton tünel önlemi yapılmaktadır. Düşen kaya blokları tünel yüzeyine çarparak yola zarar vermeden hareketine devam etmektedir. Tünele çarpan kaya blokları tünel yüzeyinde hasar oluşturabilmektedir. Bu hasarın en aza indirilebilmesi için tünel tavanının üst yüzeyi (yastık tabakası), düşen kaya bloğunun kinetik enerjisini soğurabilecek kum, toprak vb. malzemeler ile kaplanmaktadır (Şekil 6.1).



Şekil 6.1 (a) Kaya düşmeleri için oluşturulmuş tünellerin önden ve (b) yandan görünümü (Calvetti and di Prisco 2008).

Tünellerin yaklaşık 3000 kJ'e kadar olan darbe enerjilerini karşılayabildikleri tahmin edilmektedir (Astra 2003, Volkwein at al.'dan 2011). Yapılan son araştırmalarda, yastık tabakasının sönümlenme özellikleri iyileştirilerek, yapısal kapasite artırılarak ve/veya enerjiyi yayan destekler eklenerek tüneller 5000 kJ'luk enerjiye kadar koruma sağlayabilmektedir (Vogel at al. 2009, Volkwein at al'dan 2011). Tünellerin karşılayabileceği enerji, tünelin yapımında kullanılan malzeme ve tünel tasarımına bağlı olmaktadır. Tüneller yapılacağı şevin geometrisine uygun olarak tasarlanmaktadır (Şekil 6.2).



Şekil 6.2 Tünel kesit çeşitleri (Volkwein at al 2011).

6.1.2 Sedde Tipi Dolgu Bariyerler

Bu tip ikincil önlemler şev güçlendirilmesi için yöntemlerin uygulanamadığı, büyük boyutlara sahip şevlerden ve düşen kaya bloklarının hareketinin engellenemediği alanlarda kullanılmaktadır. Şev ile tehlike içinde bulunan alan arasına kurulmaktadır. Sedde tipi dolgu bariyerlerin boyutları büyüktür (Şekil 6.3). Boyutları nedeniyle inşa edilecekleri sahada gerekli alan bulunmalıdır. Şehir içi gibi alan sınırlaması olan yerlerde kullanılmaları zordur. Sedde tipi dolgu bariyerler, konutların ve yolların korunmasında, şevden yere düşmüş kaya bloklarının yatay yönde hareketlerinin durdurulmasında kullanılmaktadır.



Şekil 6.3 Sedde tipi dolgu bariyer görünümü (URL-3).

Sedde tipi dolgu bariyerlerinin oluşturulmasında, kaya blokları veya kum ile doldurulmuş tel kafeslerde kullanılmaktadır. Bu tip bariyerler, şev yüzeyinden düşen kaya bloklarının kinetik enerjisini azaltmak veya sonlandırmak amacıyla kullanılmaktadır. Altıgen tel örgü sisteminden hazırlanmış kübik yapıların içi kireçtaşı blokları ile doldurulmaktadır. Ayrıca

tekstil katman içinde kum veya lastik-kum karışımı doldurulmaktadır. Tekstil katmanın en dışı tel kafes ile korunmaktadır (Şekil 6.4).



Şekil 6.4 Sedde tipi dolgu bariyer ve dolgu malzemeleri (Lambertl et al. 2008).

6.1.3 Çelik Ağlar-Çitler

Şevden kopan kaya blokları, kütlelerine ve bulunduğu yüksekliğe bağlı olarak bir potansiyel enerjiye sahip olmaktadır. Düşme sırasında kaya bloğunun sahip olduğu bu potansiyel enerji, kinetik enerjiye dönüşmektedir. Hızlanan kaya bloğu, enerjisi tükenene kadar hareketine devam etmekte ve enerjisinin bittiği noktada hareketini sonlandırmaktadır.

Düşen kaya bloğunun izleyeceği yörünge üzerinde oluşturulacak çelik ağlar-çitler, kaya bloğunun hareket yörüngesini kısıtlanmasına yardımcı olmaktadır. Bu sayede kaya bloğunun sahip olduğu hız azaltılarak veya ortadan kaldırılarak kaya bloğunun sahip olduğu kinetik enerjisi azaltabilmektedir. Çelik ağlar, esneme özelliğine sahip halkalar birbirine eklenerek üretilmektedirler. Çelik ağlar çarpma yüklemesine maruz kaldığında, halkalar esneme hareketi yapmakta olup kaya bloğunun sahip olduğu enerjisi çelik ağ tarafından soğrulmaktadır (URL-4). Böylece enerjisi azalan kaya bloğu güvenli bir şekilde ağlarda askıda kalarak hareketini sonlandırılmaktadır. Bu engeller, şev yüzeyinde uygulanma koşulları ve kullanılan malzeme özellikleri ile bağlantı şekilleri üzerinde yapılan çeşitli uygulamalarla geliştirilmeye çalışılmaktadır. Örnek olarak çelik ağlar olarak hazırlanmış engeller şev yüzeyine farklı açılarla monte edilerek performansları değerlendirilmektedir. Düşen kaya bloğunun hareketini engellemek amacıyla üretilmiş farklı tür çelik ağlar mevcuttur. Çelik ağlar ve çitleri şev yüzeyinde uygulama örnekleri ile ilgili görseller Şekil 6.5'te verilmiştir.



Şekil 6.5 Çelik ağların konumu ve kaya düşmesi olayına karşı uygulamasından görünüm (URL-3).

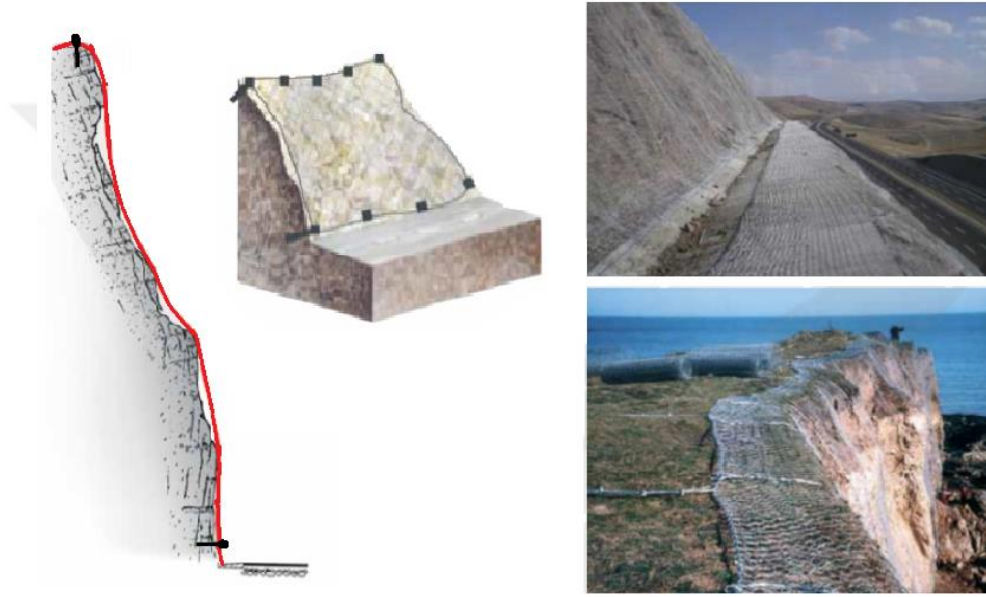
Kaya bariyer sistemlerinin enerji sönümlenmeleri genellikle 250-5000 kJ aralığındadır, gelen enerjiyi absorbe ederek düşen kaya ve taşları tutmak için kullanılır (URL-3).

6.1.4 Tel Ağ ve Saplamlar ile Yüzey Kaplama

Kaya düşmesi olaylarını önlemek için kullanılan önlemleri kısıtlayıcı durumlarda tercih edilen tedbirlerden birisi de şev yüzeyini tel ağlar ile kaplamaktır. Şevin üst kısımlarında binalar veya çeşitli yapılar, yollar, demiryolları gibi taşınmazların bulunduğu durumlarda, şev eğimini düşürmek, şev üzerinde basamaklar oluşturmak vb. önlemlerin alınması olanaksız hale gelebilmektedir. Böyle durumlarda şev yüzeyine sadece tel ağ döşenmesi ve/veya döşenen tel ağların saplamlar ile şev yüzeyine sabitlenmesi şevden ayrılan kaya bloklarının kontrol altına alınmasında etkin kullanılan yöntemlerdir.

İlk yöntemde şevin üst kısmından itibaren şevin alt kısmına kadar şev yüzeyi tamamen tel ağlar ile kaplanmaktadır (Şekil 6.6). Bu sistemin amacı şevden kopan kaya bloğunun hızını kesmek ve sıçramasını önlemek amacıyla uygulanmaktadır. Bu yöntemin kullanımıyla kopan kaya bloğunun izleyeceği yörünge sınırlandırılır. Bu durumda şevden ayrılan bloklar serbest düşme, yuvarlanma ve sıçrama hareketlerini yapamazlar. Şevden ayrılan kaya blokları tel ağ ile şev yüzeyi arasında kalmaktadırlar. Şevden kopan bloklar, şev yüzeyinden uzaklaşamazlar, şev yüzeyindeki kaya bloğu oluşan sürtünme ile enerjilerini tüketmektedirler. Şev yüzeyinde bulunabilecek boşluklu bölgelerde serbest haldeki kaya blokları tekrar kinetik enerji kazanmaktadır. Ancak hareket halindeki blok şev yüzeyini kaplayan tel nedeniyle ana blokla

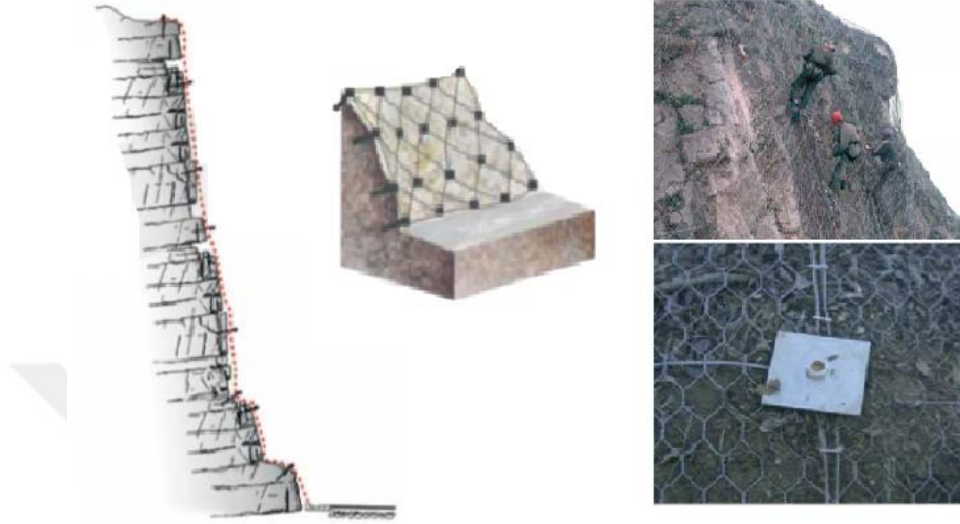
temas halinde kalarak, kinetik enerjisini sürtünme enerjisine çevirmektedir. Kaya blokları şev yüzeyi ve tel ağlar ile aralarındaki sürtünme kuvvetini yendikleri sürece hareketlerine devam edebilirler. Duran blokların hareketlerine devam edebilmeleri için bu sürtünme kuvvetinin ortadan kalkması veya yeteri kadar azalması gerekmektedir. Şev yüzeyinde kinetik enerji kazanmış daha büyük kütlelere sahip blokların şev yüzeyini örten tel ağlarını hareket ettirmesiyle, sürtünme kuvveti nedeniyle duran bloklara hareket kazandırabilir. Ayrıca kütlesi küçük olup duran bloklara çarpan bloklar olmaktadır. Bu durumda hareketli bloklar kinetik enerjilerini duran bloklara aktararak, duran blokları tekrar hareket ettirebilmektedirler.



Şekil 6.6 Şev yüzeyinin tel ağ ile kaplanması (URL-3).

Şev yüzeyinde tel ağlar ile birlikte kaya saplamalarının kullanıldığı diğer yöntemde hareket eden blokların sürtünme kuvvetlerini artırmanın yanı sıra düşen blokların yollarını daraltılması hedeflenmektedir. Bu tür uygulamalarda kaya blokları tel ağ ile şev yüzeyi arasında sıkışarak duracaklar veya hızları azalarak yollarına devam edeceklerdir. Henüz şev yüzeyinden ayrılmış ancak ivmelenmemiş kaya bloğunun, şev yüzeyine bitişik halde kalmasını sağlamaktadır. Kaya bloğunun enerjisini azaltılmasında sürtünme kuvvetinden etkin bir şekilde faydalanılması için tel örgüler kaya saplamaları ile beraber şev yüzeyine kaplanmaktadır (Şekil 6.7). Tel ağların kullanımı neticesinde şevden ayrılan blokların şev yüzeyinde tutunmaları veya çok düşük hızlarda şev dibine ulaşmaları mümkün olabilmektedir. Şev dibine ulaşacak blokların hızları düşük olduğu için sıçrama yükseklikleri ve yatay düzlemde hareketleri daha az miktarda gerçekleşecektir. Kaya blokları ile arazide

yapılan düşme deneyleri, sayısal modelleme sonuçları ve arazide gözlemlenen kaya bloğu düşme olaylarında bu yöntemin hiç hasar görmeden 500 kJ enerji seviyelerine kadar etkin kullanılabildiği belirtilmektedir (Thomas et al. 2008).



Şekil 6.7 Tel ağlara kaya saplaması uygulanması (URL-3).

Şev yüzeyinde belirli bir hatta duran blokların hacimlerinin artması nedeniyle koruyucu tel ağda yırtılma ve deformasyonlar gözlenmektedir. Bu nedenle tel ağların tamir ve bakımları gibi ilave unsurlar ortaya çıkmaktadır.

6.1.5 Beton Bariyer ve Kanallar (Hendekler)

Serbest düşme hareketini tamamlayan kaya blokları, şev dibinde sıçrama ve dönme hareketleri yaparak ilerlemeye devam etmektedirler. Şev dibinde kaya bloklarının hareketlerini sonlandırmak için genellikle beton bariyer ve hendek konulmaktadır (Şekil 6.8 ve Şekil 6.9). Beton bariyer, düşen kaya bloğunun hendekten sıçrayarak yola doğru hareket edecek blokların hareketlerini sonlandırılması amacıyla kullanılmaktadır. Fazla enerjiye sahip kaya blokları hendekler içinden sıçrayarak yola doğru hareketlerine devam edebilmektedirler. Bu durumda, kaya bloğunun sıçrama anındaki en yüksek konumu ve hendeğin üst noktası arasındaki kot farkı nedeniyle yeni potansiyel enerjiye sahip olmaktadır. Potansiyel enerji yükseklik ile doğru orantılı olduğuna göre, kot farkının küçük olması oluşacak yeni potansiyel enerjinin de az olması anlamını taşımaktadır. Kaya blokları son durumda ne kadar az enerjiye sahip olursa yatay düzlemde ilerleme mesafeleri de o kadar az olmaktadır. Bu nedenle

açılacak hendeklerin derinliği düşen kaya bloklarının sıçrama yüksekliğine eşit veya daha fazla olmalıdır (Şekil 6.9). Beton bariyer ve hendeklerin boyutlandırılmasında, şevlerden düşen kaya bloklarının büyüklüğü ve şevin geometrisine göre oldukça farklılıklar oluşabilmektedir. Çok sık kaya düşmesi olayı gerçekleşen şevlerde kanalların sık sık dolması hendeklerin düşen kaya bloklarının hareketlerini azaltma etkinliğini düşürmektedir.



Şekil 6.8 Beton bariyer görünüm (URL-5).



Şekil 6.9 Kanal içine düşmüş kaya blokları (URL-6)

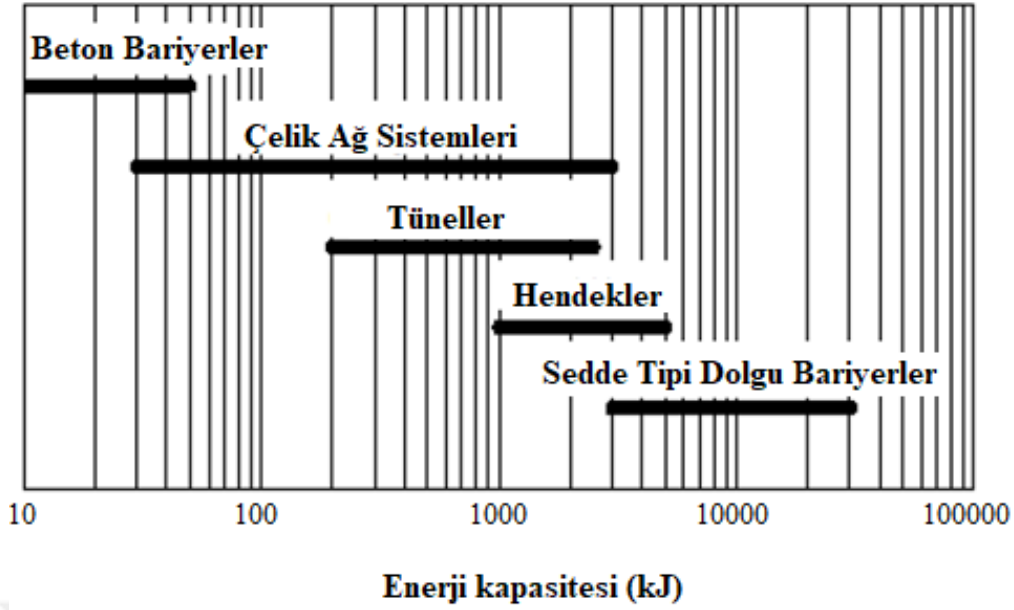
6.1.6 Kaya Düşmelerinin Engellenmesine Ait Değerlendirme

Kaya bloklarının düşerek oluşturabileceği tehlikeleri önlemek amacıyla çeşitli uygulamalar yapılmaktadır. Bu uygulamalar iki bölümde incelenebilir. Birinci bölümde kayaların ana bloktan ayrılmaması amacıyla alınacak önlemler, ikinci bölümde ise kaya bloklarının ana bloktan ayrılması durumunda alınacak önlemler olarak değerlendirilebilir.

Kaya bloklarının ana bloktan ayrılmasını önleyici tedbirler ağaçlandırma, kaya saplamaları, şev açısını değiştirme, şev yüzeyinde basamaklar oluşturma ve şeve etkileyen su gelirlerinin drene edilmesi olarak tanımlanabilir. Alınacak bu önlemler için şevin fiziki yapısının ve şev yakınında ikamet, yol, su ve elektrik hatlarının olmaması vb. gerekmektedir. Şev açısını değiştirmek veya şev üzerinde basamaklar oluşturmak için şevin üst kısmında bina, yol, su ve elektrik hatları gibi taşınmazların bulunmaması gerekmektedir. Ağaçlandırma yapmak için şev yüzeyinin uygun olması gerekmektedir.

Kaya bloklarının şevden ayrılmasının engellenemediği durumlarda ikincil tedbirler söz konusu olmaktadır. Bu tedbirler, tünel uygulamaları, sedde tipi dolgu bariyerler, çelik ağırlar-çitler, şev yüzeyinin tel ağırlar ile kaplanması, beton bariyer ve kanal uygulamaları olarak ayrılabilirler. İkincil kaya düşme önlemleri, birincil kaya düşme önlemlerinin uygulanamadığı şevlerde daha çok uygulama alanı bulmaktadırlar. Küçük boyutlu şevler olması, şevin alt ve üst bölgelerinde şeve çok yakın bina, yol su ve elektrik tesisleri gibi yapıların bulunması durumlarında ikincil önlemler önem kazanmaktadır.

Kaya düşmelerine karşı alınacak önlemler seçiminde dikkat edilecek bir diğer husus ise düşen kaya bloklarının enerjileridir. Çalışma alanında daha önceden düşen bloklardan ve bilgisayar programları ile yapılan analizlerden elde edilen kinetik enerji bilgileri alınacak önlemlerin tasarımında önemli rol oynamaktadır. Alınacak önlem türüne göre, düşen kaya bloğunun enerjisini soğurabilecek enerji miktarları tipik olarak Şekil 6.10'da verilmiştir.



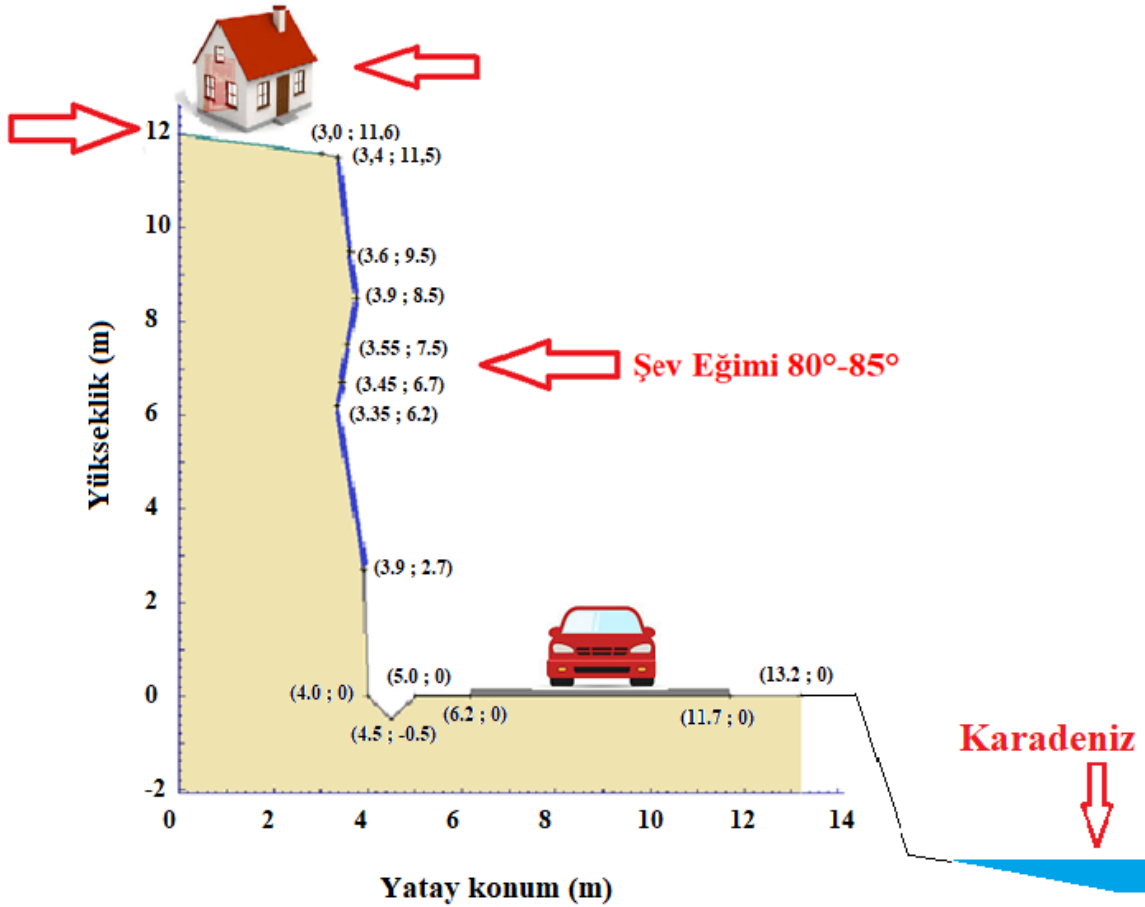
Şekil 6.10 Kaya düşmelerine karşı alınacak önlem çeşitlerinin kinetik enerji soğurma kapasiteleri (Grassl et al 2002).

Tez çalışma alanında şevin üst kısmındaki binaların varlığı birincil önlemlerin alınmasını engellemektedir. Şevin fiziki şartları göz önünde bulundurularak şev yüzeyinin çelik ağlar ile kaplanması, şev dibine bariyer konulması ve şev dibinde kanal oluşturulması tedbirleri imkân bulmaktadır. Yol kenarına kanal yapımı ve bariyer konulması değerlendirmeleri için kaya bloklarının ortalama boyutları, düşen bloklara ait kinetik enerjileri ve düşen bloklara ait sıçrama yükseklikleri hesaplanmalıdır. Bu sonuçlar değerlendirilerek kanal derinliği ve bariyer mesafesi hesaplanarak uygulanmalıdır.

6.2 BARIYER ÖNLEMLİ KAYA DÜŞME ANALİZİ

Bir önceki bölümde incelenen kaya düşmesi analizlerinde şevden düşen kaya bloklarının karayoluna kadar ulaştığı tespit edilmiştir. Yapımı devam etmekte olan sahil yolunda trafik ve yaya güvenliği için oluşacak potansiyel tehlikelerin önlenmesi gerekmektedir. Şevlerde kaya düşmeleri için alınabilecek önlemler bu bölümde detaylıca verilmiştir. Şevlerde kaya düşmelerine karşı alınabilecek önlemlerin değerlendirilmesinde, şevin fiziksel özellikleri, düşen kaya bloklarının enerji kapasiteleri, şevin üstünde veya altında bulunan altyapı ve yerleşim birimleri ile bunların şeve olan uzaklıkları dikkate alınmalıdır.

Çalışma sahası incelendiğinde, şevin üst bölgesinde konut olarak kullanılan binalar bulunmaktadır. İncelenen şev tek basamaklı olup 12 m yüksekliğe ve 80-85°'lik bir eğime sahiptir (Şekil 6.11). Şevin sahip olduğu bu özellikler nedeniyle kaya düşmesi önlemleri ile ilgili alınabilecek seçenekler sınırlanmaktadır. Bu nedenle, kaya düşmesi tehlikelerini ortadan kaldırmak için bariyer ve şev yüzeyinin tel kafes ile kaplanması seçenekleri tez kapsamında incelenen çalışma sahası için uygun görünmektedir. Tez çalışmasında kaya düşmesi sonucu oluşabilecek kaya bloklarının karayoluna ulaşmasını engellemek için bariyer kullanımı seçeneği düşünülerek analizler yapılmıştır. Beşinci bölümde şev yüzeyinden düşen kaya bloklarının düşme yörüngeleri, blokların kinetik enerji değerleri, blok sayıları-konumu ve sıçrama yüksekliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan analizleri sonuçları tartışılmıştır. Düşen kaya bloklarının durdurulması amacıyla kullanılan bariyer seçeneği bu programda tanımlanarak analizler tekrar edilmiştir. Sonuçta kaya bloklarının durdurulması amacıyla önerilen bariyer seçeneklerinin yeterliliği tartışılmıştır.



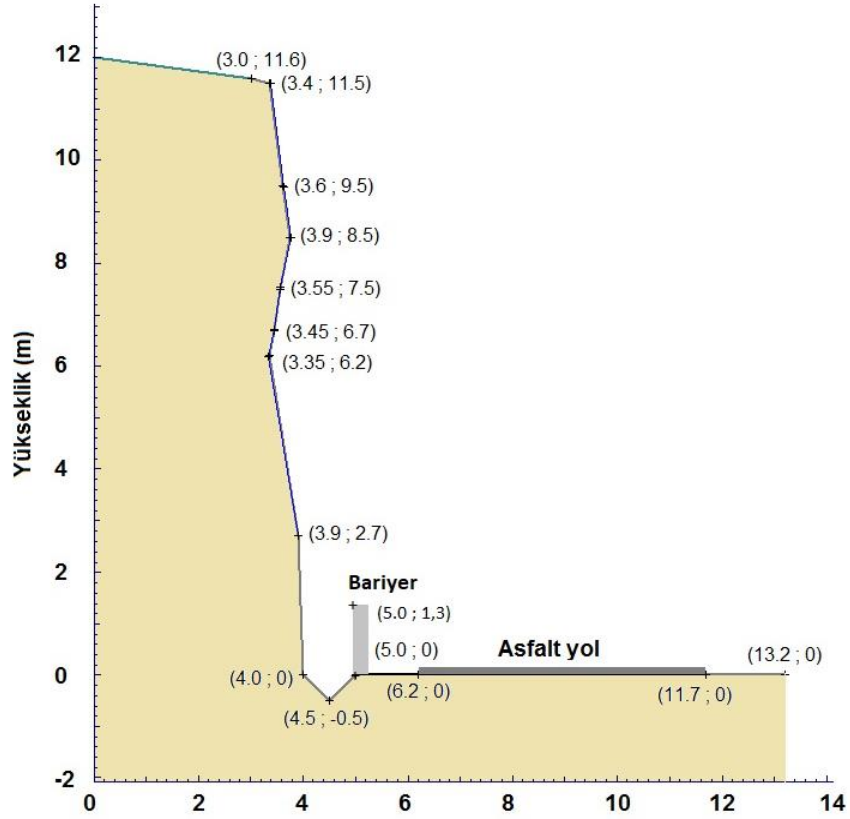
Şekil 6.11 Önleyici Yöntem Seçimini Etkileyen Faktörler

Rocfall programında bariyer çizgisel bir parça olarak şev yüzeyinde veya herhangi bir yerde istenilen yükseklik ve özellikte programda tanımlanabilmektedir. Bariyer elastik ve elastik olmayan (inelastik) özellik olarak tanımlanmaktadır. Bariyerin kusursuz elastik davranışı için bariyere çarpan kaya bloklarının tamamının geri sıçradığı varsayılmaktadır ($R_n=R_t=1$). Bariyer özellikleri kusursuz elastik olmayan davranışı için ($R_n=R_t=0$) bariyere çarpan kayaların geri sıçramadığı varsayılmaktadır. Bariyerlere çarpan kaya bloklarının tamamının geri sıçraması yani kusursuz elastik davranış veya kusursuz plastik davranış göstermesi beklenemez. Kullanıcıya bağlı olarak bariyerin özellikleri elastik veya elastik özellik göstermeyen davranış arasında, sıçrama katsayılarına 0 ile 1 arasında değer atanmalıdır. Bu çalışmada kullanılan bariyer yüzeyin sıçrama özellikleri beton malzemesinin sıçrama özellikleri ile aynı alınmıştır. Bu özellikler program tarafından farklı malzemeler için önerilen çizelgeden elde edilmiştir (Rocscience 2012). Beton bariyer sıçrama özellikleri için $R_n=0.48\pm 0.19$ ve $R_t=0.53\pm 0.17$ kabul edilmiştir.

Bariyer kapasitesi, kaya tarafından bariyeri kırmak için gerekli enerji miktarıdır. Bariyere çarpan kayacın kinetik enerjisi bariyer tarafından absorbe edilecek enerji miktarını aşarsa, bariyer etkin işlevini yapamayacaktır. Çözümleme sonucu kayanın izleyeceği yol bariyerin önüne geçmiyorsa bariyer işlevini yapmış olarak yorumlanmaktadır. Çözümlemelerde bariyere kayaların çarparak vereceği maksimum enerji değeri atanarak, bariyerin kırılma kapasitesi yapılan bir seri analiz ile belirlenebilmektedir.

Bariyer önlemi olmadan yapılan önceki analizlerde sıçrama yüksekliği en fazla olan 10 kg kütleli bloklar olması nedeniyle bariyer yüksekliği seçimi, bu bloklara ait olan sıçrama yükseklik değerleri göz önünde bulundurularak yapılmıştır. 10 kg kütleli blokların şevden itibaren 1 m uzaklıkta (yani kanalın yol tarafındaki kenarı) en büyük 0,7 m yüksekliğe kadar sıçrama yapmaktadırlar. Bariyer olmaması durumunda, kanaldan 30 cm ileriye şevden doğrudan düşen kaya parçaları sıçrama hareketi yapmakta olup şevden 2 m ileride 1,85 m yüksekliğe ulaştıkları hesaplanmıştır. Bariyer seçeneğinin olmadığı simülasyonlarda kaya parçalarının şevden itibaren doğrudan düşebileceği en büyük uzaklık, kanalın yol kenarındaki başlangıcı konumu olmuştur. Bu nedenle bariyer yeri olarak şevden itibaren bir metre ileride, yol tarafında kanal kenarına konumlandırılması uygun görülmüştür. Bariyer yerinin konumlandırıldığı noktada, farklı kütleye sahip kaya bloklarının ulaşabileceği en yüksek sıçrama yüksekliği değeri 0,7 m olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle güvenli tarafta kalmak koşulu ile bariyer yüksekliğinin 1,3 m olmasına karar verilerek bariyer seçenekli analizler

yapılmış ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır. Bariyer seçenekli kaya düşmesi analizlerinde kullanılan model Şekil 6.12’da gösterilmiştir.

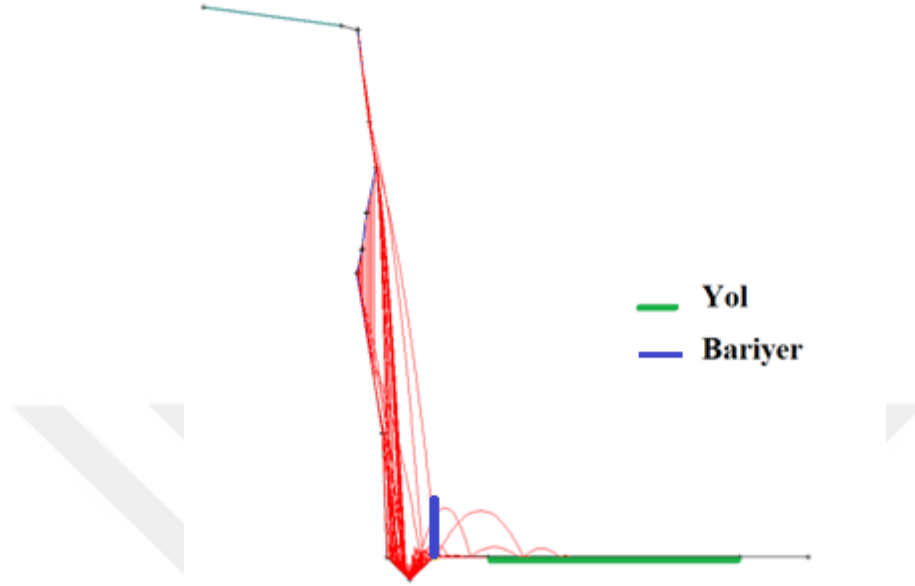


Şekil 6.12 Bariyer uygulamasının görünüşü.

Bariyer tarafından karşılanması gereken minimum kinetik enerji seviyeleri 10 kg, 100 kg, 500 kg, 1000 kg, 1500 kg kütleli bloklar ile yapılan ve önceki bölümde sunulan kaya düşmesi analiz sonuçlarından faydalanılarak elde edilmiştir. Şev yüzeyinden sıçrama yapmadan doğrudan bariyere düşebilecek kaya kütlelerinin sahip olacağı kinetik enerji değeri en yüksek seviyeye sahip olacaktır. Bariyerin sağlaması gereken minimum enerji seviyesi olarak bariyerin oluşturulacağı konuma sıçrama yapmadan doğrudan düşebilecek kaya kütlelerinin kinetik enerji seviyesi esas alınmış olup bu değerler Çizelge 6.2’de sunulmuştur. Elde edilen enerji seviyeleri, güvenli tarafta kalmak için 1,5 gibi bir güvenlik katsayısı ile çarpılarak bariyerin karşılanması gereken enerji miktarı olarak çözümlenelerde kullanılmıştır.

Analizlerde bariyer tarafından absorbe edebilecek kinetik enerji miktarının yeterli olmadığı durumlarda, şevden düşen kaya bloklarının hareket yörüngeleri tanımlanan bariyer çizgisini kesmektedir (Şekil 6.13). Diğer bir ifade ile öngörülecek bariyer, kaya bloklarının hareket

yörüngelerinin bariyer ile tanımlı sınırdan sonlandırılması gerekmektedir. Analiz sonucunda Şekil 6.13’de örnek olarak gösterilen sonuçların alınması durumunda bariyerin sahip olması gereken enerji kapasitesi artırılarak analizler tekrarlanmıştır.



Şekil 6.13 Bariyerin gerekli enerjiyi karşılamadığı durumda, bariyeri geçen kaya blokların hareket yörüngesi.

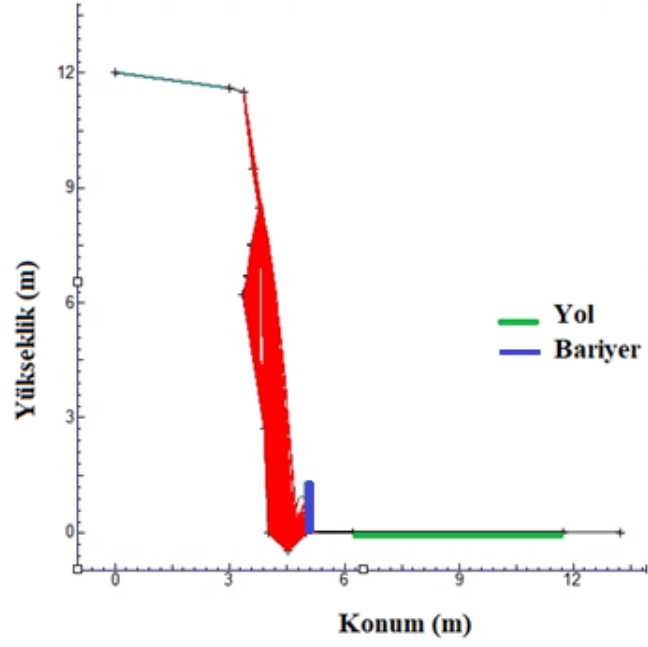
Kaya bloklarının kütleleri arttıkça hareketi durdurmak için bariyerler tarafından sağlanacak enerji de büyümektedir. Bu nedenle büyük kaya bloklarını engelleyebilmek için daha dayanıklı bariyer seçeneği göz önünde bulundurulması ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 6.2 Düşen kaya kütlelerinin bariyere ulaşana kadar kazandıkları en büyük kinetik enerji değerleri.

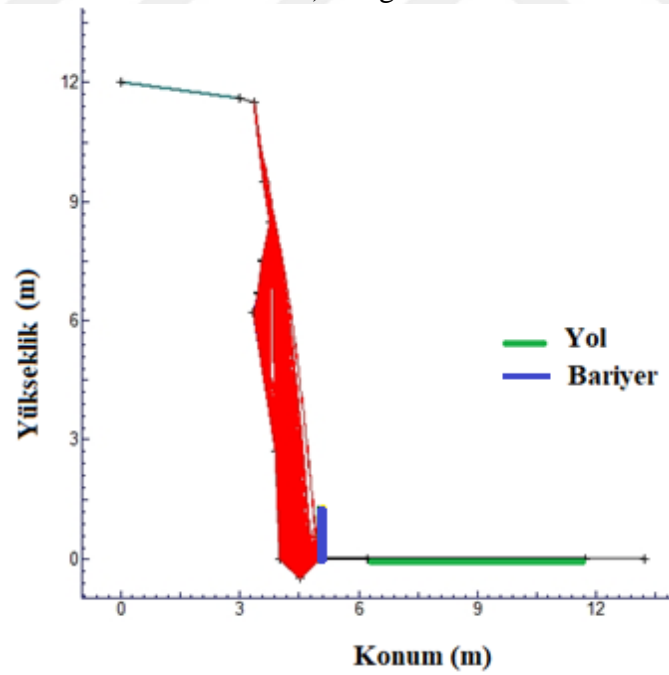
Atışı yapılan kaya kütlesi (kg)	10 kg	100 kg	500 kg	1000 kg	1500 kg
Bariyerin karşılaması gereken minimum enerji (kJ)	1.0	1.2	53	106	160
Güvenlikli bariyer kapasitesi (kJ) (k=1.5)	1.5	1.8	80	159	240

Farklı kütleye sahip kaya bloklarının durdurulması için bariyer tarafından sağlanması gereken enerji miktarları yapılan analizlerle incelenmiştir. Analizlerde bariyer türü olarak beton tip bariyer seçeneği değerlendirilmiş olup beton bariyer için uygun parametreler seçilmiştir. Programda, 1,3 m yüksekliğe sahip bariyerin şevden 1 m ileriye konumlandırılması ile

yapılan analizlerde, düşen blokların bariyer tarafından hareketlerinin engellendiği yani yol tarafına geçemedikleri tespit edilmiştir (Şekil 6.14).

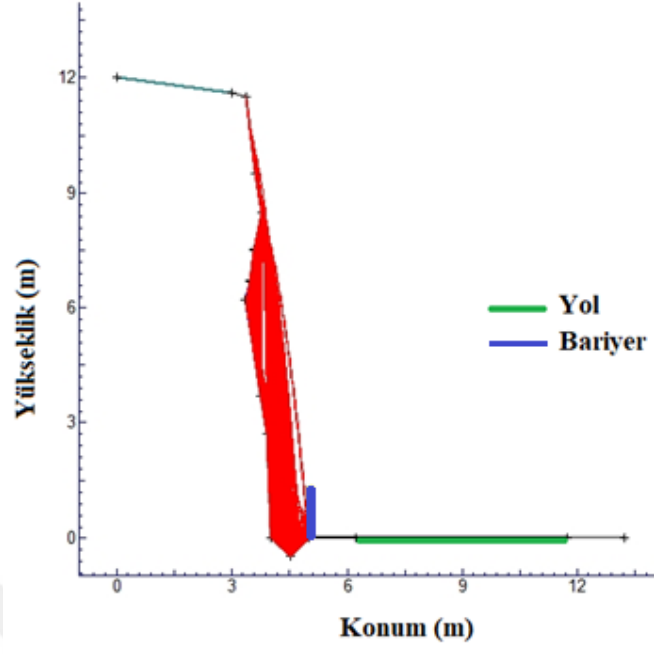


a) 10kg.

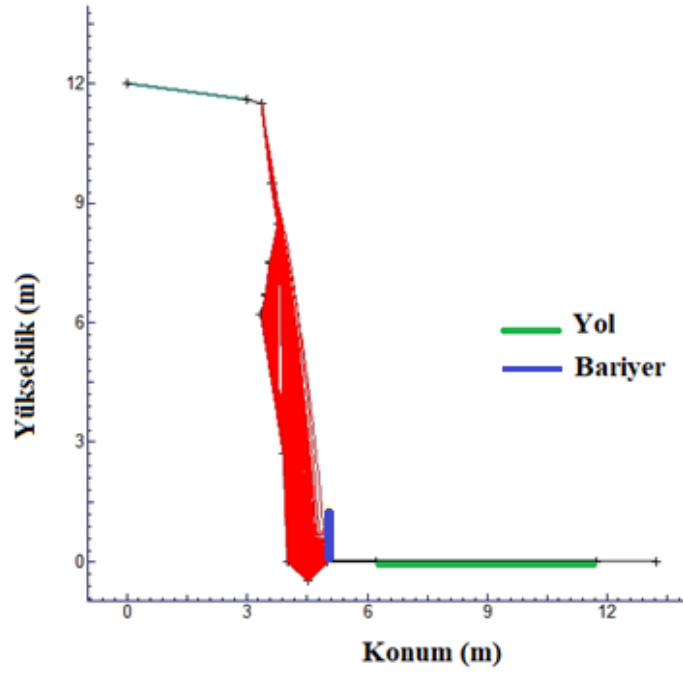


b) 100 kg.

Şekil 6.14 Bariyer konulmasından sonra oluşan farklı kaya kütlelerine sahip kaya bloklarının düşme yörüngeleri.

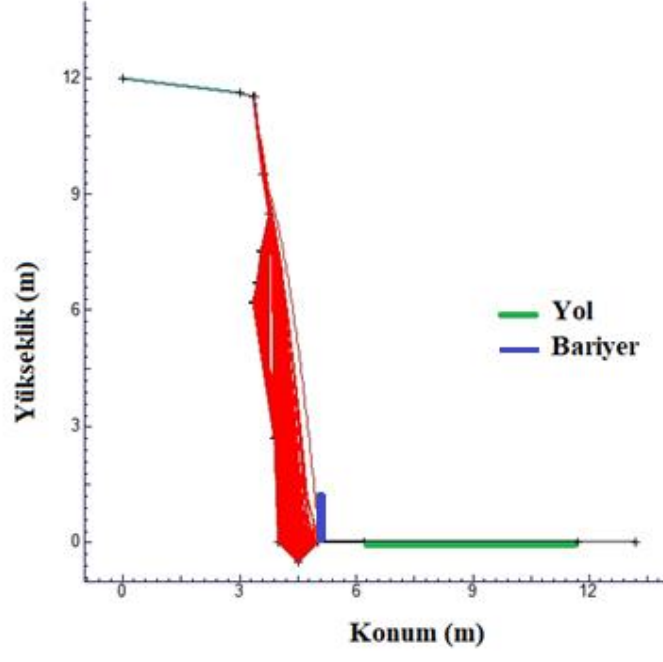


c) 500kg.



d) 1000kg.

Şekil 6.14 (devam ediyor).



e) 1500kg.

Şekil 6.14 (devam ediyor).

BÖLÜM 7

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında yapımı devam eden Zonguldak-Kilimli sahil yolunda kaya düşmesi olayları araştırılmıştır. Bu bölümde, yapılan çalışmalar ve elde edilen veriler tartışılmıştır.

Çalışma alanında özellikle yağışlı havaları takiben, çalışma sahasına gidilerek kaya düşmeleri incelenmiştir. Düşen kaya bloklarına ait boyut ölçümleri ve şeve göre konumları ölçülmüş ve fotoğrafları çekilmiştir. Ayrıca çalışma alanı ve yakın çevresinde daha önceden yapılmış olan benzer çalışmalar da değerlendirilmiştir. Kaya düşmesi olayları hakkında yapılan çalışmalar incelenmiş ve literatür oluşturulmuştur.

Çalışma alanında yapılan ölçümlerde şev yüksekliğinin 12 m, şev eğiminin 82°, şev dibinde 0,5 m derinliğinde kanal olduğu, şev dibinden 2,2 m mesafede 5,5 m genişlikte asfalt yol olduğu ölçülmüştür. Çalışma alanındaki jeolojik incelemelerde kayaç türü İnaltı Formasyonuna ait mikritik dokulu, çimentolanma malzemesi karbonatlı, kireçtaşları olarak tespit edilmiştir.

Tez çalışma alanında kaya kütlesi süreksizlik özelliklerine ait 200 adet ölçüm yapılmış, elde edilen bilgiler Dips (v.6.0) (Rocscience, 2015) programında değerlendirilmiştir. Sahadaki hakim tabaka düzlemlerinin eğim açıları ve eğim yönleri; 283/50, birinci süreksizlik takımının hakim eğim açısı ve eğim yönü; 070/80 ikinci eklem takımının hakim eğim açısı ve eğim yönü; 015/74 olarak elde edilmiştir. Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği Laboratuvarında, çalışma alanından alınan kaya bloğu örneklerinden elde edilen karotlardan, kaya malzemesine ait fiziksel ve mekanik özellikler hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar doğrultusunda: ortalama tek eksenli basınç dayanımı değeri $75,2 \pm 14,5$ MPa olduğu, ortalama dolaylı çekme dayanımı $6,96 \pm 1,4$ MPa olduğu hesaplanmıştır. Çalışma alanında ölçülen süreksizlik aralığı "orta derece aralıklı", blok

büyüklüğü "küçük blok" olarak sınıflandırılmıştır. RQD değeri ise %78 olarak tespit edilmiş ve "sağlam kaya kütlesi" olarak sınıflandırılmıştır.

Tez çalışması başından itibaren iki yıl zaman aralığında çalışma sahasında şevden düşen kaya blokları tespit edilmiştir. Şevden düşen kaya bloklarının boyutları ve şevden olan uzaklıkları ölçülmüştür. Elde edilen veriler Rocfall programında analiz edilmiştir. Yapılan analizlerde 10 kg, 100 kg, 500 kg, 1000 kg ve 1500 kg boyutunda kaya bloklarının düşmesi durumlarında izleyecekleri yörüngeler, sıçrama yapan blok sayıları, sıçrama yükseklikleri, kinetik enerjileri ve şevden düşmeleri sonrasında ulaştıkları son konumları hakkında veriler elde edilmiştir. Elde edilen bu bilgiler ışığında, büyük blokların çoğu düşme hareketlerini şev dibinde sonlandırmaktadırlar. Küçük kütleli bloklar şevden düştükten sonra büyük kütleli bloklara göre daha fazla ilerlemektedir. 10 kg ve 1500 kg kütleli blokların şev dibinden itibaren ilerlemeleri incelendiğinde 10 kg kütleli bloğun şevden 6 m ve 1500 kg kütleli bloğun 3,4 m uzaklaştıkları analizler sonucunda elde edilmiştir. Yola ulaşan bloklarından yol içinde aldıkları ilerlemeleri ise 10 kg kütleli bloklar için 3,8 m ve 1500 kg kütleli bloklar için 1,2 m olarak hesaplanmıştır.

Şev duraysızlık problemleri nedeniyle oluşan kazaların önlenmesi için uygulanan yöntemler incelenerek sınıflandırılmıştır. Çalışma alanında kaya düşme problemlerini önlemek amacıyla analizi yapılacak yöntem belirlenmiştir. Şevin eğiminin dik olması ve şevin üst kısmı civarındaki binalar, kullanılabilecek kaya düşmelerini önleyici önlemlerin sayısını azaltmaktadır. Bu nedenle şev eğiminin azaltılması veya şev üzerinde (tali şev) basamak oluşturulması mümkün olmamaktadır. Şev ile yol arasının 2,2 m olmasından dolayı çelik ağlar-çitler yöntemi dikkate alınmamıştır. Şevin konumu ve fiziksel özellikleri dikkate alındığında şev yüzeyinin tel kafes ile kaplanması, şev dibinde kanal kullanılması ve beton bariyer kullanımı uygun görülmektedir.

Şevin fiziksel yapısı ve özellikleri, şevin üstünde yerleşim olması, sahil yoluna yakınlığı dikkate alındığında, kaya düşmesi tehlikesinin engellenebilmesi için bariyer önlemi çözüm olarak sunulmuştur. Herhangi bir kaya düşmesi önlem yönteminin kullanılmadığı durumda çözümlenmelerden elde edilen kinetik enerji, düşen blok sayısı ve sıçrama yüksekliği bilgileri değerlendirilerek beton bariyerin konumu ve yüksekliği tasarlanmıştır. Ayrıca düşen kaya bloklarının kinetik enerji bilgileri kullanılarak beton bariyerin soğurması gereken kinetik enerji miktarı tanımlanmıştır.

Yapılan analizlerde önlem amaçlı kullanılacak beton bariyerin çalışma alanımızdaki şevden 1 m uzaklıkta konumlandırılması, 1,3 m yükseklikte olması ve en az 240 J'luk enerjiyi soğurabilecek kapasitede olması gerekmektedir. Bu özelliklere sahip beton bariyer şevden düşebilecek kaya bloklarının sahil yoluna ulaşmasını engelleyecektir. Ayrıca ilave önlem olarak şev yüzeyinin tel ağlar ile kaplanması önerilmektedir.





KAYNAKLAR

- Ağralı B** (1970) Etüde des microspores du Bassin d'Amasra Carbonifère. *MTA Bulletin*, 75: 28-68.
- Akman Ü** (1993) Amasra-Arıt arasındaki jeolojisi. *Doktora Tezi*, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 209 s. (yayınlanmamış)
- Akyol Z, Arpat E, Erdoğan B, Göger E, Güner Y, Şaroğlu F, Şentürk L, Tütüncü K ve Uysal Ş** (1974) 1/50.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası Serisi, Zonguldak E29 a, E29 b, E29 c, E29 d, Kastamonu E30 a, E30 d. *Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Yayınları*, Ankara.
- Alan İ ve Aksay A** (2002) 1:1000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Zonguldak E27 ve F27 Paftaları. No 28, MTA, Jeoloji Etüdüleri Dairesi.
- Alptekin Ö, Nabalek J L ve Toksöz M N** (1987) Source mechanism of the Bartın earthquake of 3 setepmber 1968 and thoughts on active tektonics of the Black Sea, *Jeofizik*, 1: 89-102.
- Asteriou P, Saroglou H and Tsiambaos G** (2012) Geotechnical and kinematic parameters affecting the coefficients of restitution for rock fall analysis. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 54: 103-113.
- Bacak G** (2018) Kişisel görüşme. Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Jeoloji Müh. Bölümü, Zonguldak.
- Billings M P** (1972) *Structural Geology*. Third Edition, Prentice Hall. 606 pp.
- Buzzi O, Giacomini A and Spadari M** (2012) Laboratory investigation on high values of restitution coefficients. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 45 (1): 35-43.
- Chau K T, Wong R H C and Wu J J** (2002) Coefficient of restitution and rotational motions of rock fall impacts. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 39 (1): 69-77.
- Deere D U** (1963) Technical Description of Rock Cores for Engiining Purpose. *Rock Mechanics and Engng. Geol.* 1: 16-22.
- Dorren L K A** (2003) A Review of Rockfall Mechanics and Modelling Approaches. *Prog. Phys. Geogr.* 27 (1), 69–87 pp.
- Erendil M, Aksay A, Kuşçu İ, Oral A, Tunay G ve Temren A** (1991) *Bolu Masifi ve Çevresinin Jeolojisi*, MTA Rap. MTA Genel Müdürlüğü, Jeolojik Etütler Dairesi No: 9425, Ankara 120 s.
- Francesco C and Claudio di P** (2008) An uncoupled approach for the design of rockfall protection tunnels. *Interdisciplinary Workshop on Rockfall Protection*, Co-sponsored by IABSE, 2008 Morschach, 25-27.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Geniş M, Sakız U and Çolak Aydın B** (2017) A stability assessment of rockfall problem around Gökgöl Tunnel (Zonguldak, Turkey). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Springer*, Vol.76, No.4, 1237-1248.
- Giani G P** (1992) *Rock Slope Stability Analysis*. ISBN: 9054101229, Rotterdam, Balkema, 347 pp.
- Giani G P, Giacomini A, Migliazza M and Segalini A** (2004) Experimental and theoretical studies to improve rockfall analysis and protection work design. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, G Barla (Ed.), Vol. 37, ISBN: 0723-2632, Verlag, Austria, 369-389.
- Gökçe O, Özden Ş ve Demir A** (2008) Türkiye’de Afetlerin Mekânsal ve İstatistiksel Dağılımı Afet Bilgileri Envanteri. *Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Afet Etüt ve Hasar Tespit Daire Başkanlığı*, Ankara, 10-44.
- Grassl H, Volkwein A and Bartelt P** (2002) Experimental and Numerical Modeling of Highly Flexible Rockfall Protection Barriers, *Swiss Federal Institute of Snow and Avalanche Research SLF*.
- Karaman M E** (1996) *Yapısal Jeoloji*, Şafak Matbaası, Ankara, 340 s.
- Kaya Y and Topal T** (2015) Evaluation of rock slope stability for a touristic coastal area near Kusadasi, Aydin (Turkey). *Environmental Earth Sciences*, 74:4187–4199.
- Ketin İ ve Gümüş A** (1963) Sinop-Ayancık Arasında III. Bölgeye Ait Sahaların Jeolojisi. *TPAO Raporu*, No: 288, Ankara, 118 s.
- Ketin İ ve Abdüsselamoğlu Ş** (1970) Bartın depreminin etkileri. *TJKB*, 12: 66-76.
- Labouse V and Heidenreich B** (2009) Half-scale experimental study of rock fall impacts on sandy slopes. *Natural Hazards and Earth System Science*, 9 (6): 1981-1993.
- Lambertl S, Nicot F and Gotteland P** (2008) Experimental Study of the impact response of geocells as components of rock fall protection dykes. *Interdisciplinary Workshop on Rockfall Protection*, Co-sponsored by IABSE, Morschach, 52-54.
- Letouzey J, Duval B, Dorkel A, Gonnard R, Kristchev K, Montadert L and Sungurlu O** (1977). The Black Sea: A marginal basin, geophysical and geological data. *International symposium on the Structural History of the Mediterranean Basins*, In: Bjou B - Duval B & Montader I (eds), Editions Technip, Paris, 363-375.
- Okan N** (2003) Heyelan Geliyorum Der, *Mavi Gezegen*, 7: 14-15.
- Özcan B ve Aslan M E** (2016) Zonguldak-Kozlu Yolu Polisevi Bölgesi Karayolu Şevinde Kaya Düşme Potansiyelinin İncelenmesi, *Diploma Çalışması*, Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak. 71 s.
- Özşahin E** (2013) Türkiye’de Yaşanmış (1970-2012) Doğal Afetler Üzerine Bir Değerlendirme. *Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, Mustafa Kemal Üniversitesi, Hatay, 3-4.
- Pierson L A, Gullixson C F and Chassie R G** (2001) *Rockfall Catchment Area Design Guide*. Research Report SPR-3(032): Oregon Department of Transportation-Research Group, Federal Highway Administration, 71 pp.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Rocscience** (2012) ROCFALL-computer program for risk analysis of falling rocks on steep slopes. Version 4.0, Toronto, Canada, <https://www.rocscience.com>
- Rocscience** (2015) DIPS-graphical and statistical analysis of orientation data. Verison 6.0, Toronto, Canada. <http://www.rocscience.com>
- Ross D A, Uchupi E and Bowin C O** (1974) Shallow structure of the Black Sea. *The Black Sea Geology. Chemistry and Biology*, In Degens E T and Ross, D A (eds.), Amm. Assoc. Petr. Geol. Mem, 20: 11-34.
- Saeidi S, Gratchev I, Kim D H and Chung M** (2014) Evaluation of restitution coefficients concerning surface roughness. *23rd Australasian Conference on the Mechanics of Structures and Materials (ACMSM23)* S.T. Smith (ed.), Byron Bay, Australia, 781-786.
- Saner S, Siyako M, Aksoy Z, Bürkan K A ve Demir O** (1981) Zonguldak Dolayının Jeolojisi. *TPAO Raporu*, No: 187, Ankara.
- Spadari M, Giacomini A, Buzzi O, Fityus S and Giani G P** (2012) In situ rock fall testing in New South Wales, Australia. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 49: 84-93.
- Thomas C B, John D D, Francesco S, Peter C I, Peter P, Balasingam M, Harish R, Oreste S B, Marco M and Eugenio C** (2008) Hybrid barrier systems for rockfall protection. *Interdisciplinary Workshop on Rockfall Protection*, Co-sponsored by IABSE, 2008 Morschach, June 23-25. 10-12.
- Tokay M** (1952) Karadeniz Ereğlisi- Alaplı-Kızıltepe-Alacaagzı Bölgesinin Jeolojisi. *Maden Tetkik ve Arama dergisi*, 42/43, 35-78.
- Tunusluoğlu M C and Zorlu K** (2009) *Rockfall hazard assessment in a cultural and natural heritage (Ortahisar Castle, Cappadocia, Turkey)*. Environ. Geol. 56 (5), 963-972.
- Tüysüz O** (1993) Karadeniz'den Orta Anadolu'ya bir Jeotravers: Kuzey Neo-Tetisin Tektonik evrimi. *TPJD Bülteni*, 5/1, 1-33.
- Ulusay R** (2007) Heyelanlar ve mühendislik şevlerindeki duraysızlıklar: Türleri, etkileri ve zararların azaltılması. *Sel-Heyelan-Çığ Sempozyumu*, Bildiriler Kitabı, 28-29 Mayıs 2007, Samsun, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, 157-185.
- Ulusay R** (2010) *Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler*, 5. Baskı TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları: 38, 458 s.
- Ulusay R ve Sönmez H** (2002) *Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri*, Türkiye Jeoloji Mühendisleri Odası yayını, No.60, Ankara, 243 s.
- Ulusay R, Gokceoglu C, Topal T, Sonmez H, Tuncay E, Erguler Z A and Kasmer O** (2006) Assessment of environmental and engineering geological problems for the possible re-use of an abandoned rock-hewn settlement in Urgüp (Cappadocia) Turkey. *Environmental Geology*, 50: 473-494.
- URL-1** <<http://www.aaj.tv/2017/11/rock-fall-kills-6-injures-9-in-south-china>>, Ziyaret tarihi: 03.01.2019
- URL-2** <<http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr>>, Ziyaret tarihi: 03.01.2019

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- URL-3** <<https://www.teknomaccaferri.com.tr/>>, Ziyaret tarihi: 2018
- URL-4** <<http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/11/2617/2011/>>, Ziyaret tarihi: 2018
- URL-5** <<http://www.milliyet.com.tr/dev-kaya-parcasinin-yola-dusme-tehlikesi-tokatyerel-fotogaleri-13861603/>>, Ziyaret tarihi: 2019
- URL-6** <<http://www.hemsvadisi.com/resim/haber-T9C18Jg65CIJ.JPG>>, Ziyaret tarihi:2019
- Ushiro T, Kusumoto M, Shinohara S and Kinoshita K** (2006) An experimental study related to rock fall movement mechanism. *J. Japan Soc. of Civil Engineers*, Series F, 62(2), 377-386 (in *Symp. on Geotechnical and Environmental Challenges in Mountainous Terrain*, Kathmandu, Nepal, 366-375).
- Varnes D J** (1978) Slope movement types and processes. *Landslides: Analysis and Control*, R.L. Schuster and R.J. Krizek (Eds.), TRB, National Research Council, Washington D.C. 11-33.
- Volkwein A, Schellenberg K, Labiouse V, Agliardi F, Berger F, Bourrier F, Dorren L K A, Gerber W, and Jaboyedoff M** (2011) Rockfall characterisation and structural protection – a review. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 11: 2617–2651.
- Whalley W B** (1984) Slope instability, *Rockfalls*. Brunsden D, Prior DD (eds), Wiley, New York, 217–256.
- Wyllie D C** (2014) Rock fall Engineering: Development and Calibration of An Improved Model for Analysis of Rockfalls in Highways and Railways. *PhD Thesis*, The University of British Columbia, The Faculty of Graduate and Postdoctoral Studies, Vancouver, 226 pp.
- Yergök A F, Akman Ü, Tekin F, Karabalık N, Arbas A, Akat U, Armağan F ve Karakullukçu H** (1987) Batı Karadeniz Bölgesinin Jeolojisi. *1. MTA Raporu*, No:8273, Ankara
- Youssef A M, Pradhan B, Al-Kathery M, Bathrellos G D and Skilodimou H D** (2015) Assessment of rockfall hazard at Al-Noor Mountain, Makkah city (Saudi Arabia) using spatio-temporal remote sensing data and field investigation. *J. Afr Earth Sci.*, 101: 309–321.

BİBLİYOGRAFYA

- Ashfield J R** (2001) The computer simulation and prediction of rock fall. *PhD Thesis*, Durham University. <http://etheses.dur.ac.uk/4383/>
- ASTRA** (2003) *Steinschlag – Naturgefahr für die Nationalstrassen, Schlussbericht der ASTRA Expertengruppe, Tech. rep, Bundesamt für Strassen*, 97 pp.
- Broms B B** (1975) Landslides. In: *Foundation Engineering Handbook*, H. F. Vinkerton and H. Y. Fang (eds), Van Nostrand Reinhold Company, 373-401.
- Deere D U and Miller R P** (1966) Classification and index properties of intact rock. *Technical Report*. AFWL-TR-65-116, AF Special Weapons Center, Kirtland Air Force Base, New Mexico, 302 pp.
- Dil N, and Konyalı Y** (1978) Carboniferous of Zonguldak area. In *Guidebook for the field excursion on the Carboniferous Stratigraphy*, 5-23.
- Erismann T H and Abele G** (2001) *Dynamics of Rockslides and Rockfalls*. Springer, New York, 316 pp.
- ISRM** (2007) *The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring*, R. Ulusay, J.A. Hudson (eds), Kozan Offset Press, Ankara, 628 pp.
- Kerey E** (1984) Facies and Tectonic Setting of Upper Carboniferous Rocks of Northwestern Turkey, *The geological evolution of the eastern Mediterranean*, J. E. Dixon and A. H. F. Robertson (eds), Geological Society of London Special Publication, 123-128.
- Palmström A** (1982) The volumetric joint count—a useful and simple measure of degree of jointing *Proceedings of the 4th International Congress of IAEG*, New Delhi, V221-V228.
- Perret S, Dolf F and Kienholz H** (2004) Rockfalls into forests: analysis and simulation of rockfall trajectories—considerations with respect to mountainous forests in Switzerland. *Landslides*, 1: 123–130.
- Ralli G** (1933) Zonguldak-Ereğli Havzası Kömür Durumu. *MTA Raporu*, Ankara. No:12, 55 s.
- Selby M J** (Ed.) (1993) *Hillslope Materials and Processes*. 2 nd edition, ISBN: 9780198741831, Oxford University Press, New York, 466 pp.
- Vogel T, Labiouse V and Masuya H** (2009) Rockfall protection as an integral task, *Struct. Eng. Int*, 19 (3): 321–326.



ÖZGEÇMİŞ

Bekir KESKİN 1978 yılında Sandıklı/Afyonkarahisar'da doğdu. Orta öğrenimini Sandıklı/Afyonkarahisar'da tamamladı. 1995-2000 yılları arasında Selçuk Üniversitesi/Maden Mühendisliği Bölümü Konya'da lisans eğitimini tamamlayarak mezun oldu. 2000-2006 yılları arasında mermer sektöründe çalıştı. 2006 yılında Türkiye Taşkömürü Kurumu'nda mühendis olarak işe başladı. 2015 yılında Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Maden Mühendisliği ABD yüksek lisans eğitimine başladı. Evli ve iki kız çocuğu babasıdır.

ADRES BİLGİLERİ:

Adres : Bahçelievler Mahallesi Lale Sokak Arık Apt. No:19 Daire 1 Zonguldak

Tel : (+90) 372 259 49 19

E-posta: argemadencilik@gmail.com