

**SUSUZ KÖYÜ (ÇUBUK - ANKARA) VE YAKIN
ÇEVRESİNİN KAYADÜŞME POTANSİYELİNİN
ARAŞTIRILMASI**

**INVESTIGATION OF ROCKFALL POTENTIAL AT SUSUZ
VILLAGE (ÇUBUK-ANKARA) AND ITS CLOSE VICINITY**

ERKAN F KRET ARTUÇ

PROF. DR. HARUN SÖNMEZ
Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Örgütü ve Sınav Yönetmeliğinin
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZ olarak hazırlanmıştır.

2014

ERKAN F KRET ARTUÇ' un hazırladığı “**Susuz Köyü (Çubuk - Ankara) ve Yakın Çevresinin Kaya Dü me Potansiyelinin Ara tırılması**” adlı bu çalış ma a a ıdaki jüri tarafından **JEOLoJi MÜHEND SL ANAB L M DALI'** nda **YÜKSEK L SANS TEZ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Candan GÖKÇEO LU

Ba kan

.....

Prof. Dr. Harun SÖNMEZ

Danı man

.....

Doç. Dr. Dilek TÜRER

Üye

.....

Doç. Dr. Nihat Sinan I İK

Üye

.....

Doç. Dr. Hakan Ahmet NEFESL O LU

Üye

.....

Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK L SANS TEZ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Fatma SEV N DÜZ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ET K

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yayım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmamda,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, dilsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışmamı olarak sunmadığımı

beyan ederim.

.../.../2014

ERKAN F KRET ARTUÇ

ÖZET

SUSUZ KÖYÜ (ÇUBUK - ANKARA) VE YAKIN ÇEVRESİNİN KAYA DÜŞME POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI

ERKAN F KRET ARTUÇ

Yüksek Lisans, Jeoloji Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Prof.Dr.Harun SÖNMEZ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Murat ERCANOĞLU

EYLÜL 2014, 92 sayfa

Kaya düşmeleri kara yolları, demir yolları ve dağlık alanlardaki yerleşimler açısından oldukça tehlikeli bir çevre durumsuzdur. Bu durum dikkate alınarak, Ankara ili Çubuk ilçesinin Susuz köyünün de eteklerinde yerleşim ve kaya düşmesi olaylarının etkin olduğu çalınma sahasının kaya düşmesi haritaları hazırlanmıştır. Bu amaçla, öncelikle Susuz köyü ve çevresine ait sayısal yükseklik modeli (DEM) hazırlanmış ve enerji açısı ve gölge enerji açısı kavramları ile Susuz köyüne yönelik tehlike oluşturabilecek kaya düşmesi yayılımını, enerji ve hız haritaları oluşturulmuştur. Kaya düşmesi olayları için üretilen haritalar kullanılarak menzil mesafesi, enerji ve hız değerleri yorumlanmış, Susuz köyü için dikkate alınabilecek kaya düşmesi önleme yapıları tartışılmıştır. Bu amaçla, öncelikle kaya düşmesine neden olabilecek kaynak alan belirlenmiş, sonrasında ise CONEFALL programı kullanılarak farklı konik açıları için kaya düşmesinden etkilenebilecek alanlar ayrılmıştır. Farklı konik açıları için belirlenen kaya düşmesi yayılma zonları ile saha çalınmaları kapsamında konumları belirlenen kaya düşmeleri de karşılaştırılmıştır. Düşen kaya bloklarının büyüklüklerine bağlı olarak yayılım (menzil) zonlarının da genel olarak yorumlanabilmesi için ölçümlenen tüm blokları 5 m³'den büyük, 5 m³ ile 1 m³ ve 1 m³'den küçük olmak üzere üç sınıfa ayrılmış DEM üzerine incelenerek kaya bloklarının 1 m³ sıklıkla, 1-5 m³ blokların seyrek olarak Susuz köyünün yerleşim yerlerine geldiği görülmüştür. Kaya düşmesi haritalarının üretilmesinde konik yayılım açısı değerleri olarak 30°, 25°, 22.5°, 20°, 17.5° ve 15° olarak alınmış ve kaya düşmesi yayılım zonları belirlenmiştir. Yayılım zonlarına göre çalınma sahası üç bölgeye ayrılmış 1. ve 3. bölge birbiri ile uyumlu olarak 20°

ait yayılım zonunda 2. Bölge ise $\sim 17^\circ$ düzeylerinde yayılım zonunda oldu u görülmü tür. Konik açı de eri 17.5° alınarak çalı ma sahasının 1 m^3 ve $1 \text{ m}^3 - 5 \text{ m}^3$ kaya kaya bloklarının ($\sim 2220\text{kg}$) da ılımını ve bloklara ait kinetik enerji haritaları CONEFALL programı ile belirlenmi tir. Hazırlanan haritalar sonucunda kaya bloklarının enerjisinin sönümlenece i uygulama hattı boyunca 125 kJ ile 625 kJ düzeylerinde önerilen kablolu engelleme önleyici yapılması sonucuna varılmı tır.

Anahtar Kelimeler: Kaya dü mesi, konik yayılım açısı, sınır e im açısı, gölge açısı, serbest dü me yüksekli i, kinetik enerji.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF ROCKFALL POTENTIAL AT SUSUZ VILLAGE (ÇUBUK-ANKARA) AND ITS CLOSE VICINITY

ERKAN F KRET ARTUÇ

Master of Science, Department of Geology Engineering

Supervisor: Prof.Dr. Harun Sönmez

Co-supervisor: Prof. Dr. Murat ERCANO LU

September 2014, 92 pages

Rockfall is a dangerous slope instability problem encountered in roads, railways and settlements in mountainous areas. Considering this fact, rockfall map of the site, where Susuz Village of Çubuk District of Ankara Province is located and where rockfall events occur frequently, was prepared. For this purpose, Digital Elevation Model (DEM) of Susuz Village and surrounding areas was prepared and potentially dangerous rockfall run out zone, energy and velocity maps were created by using concept of energy angle and shadow energy angle for Susuz Village. By using maps for rockfall events; range distance, energy and velocity values were interpreted and rockfall prevention structures to be considered for Susuz Village were discussed. For the purpose, firstly, source area that may cause rockfall was identified and then areas that may be affected from rockfall for different conical angles were distinguished by using CONEFALL software. Rockfall spread zones that determined for different conical angles are compared with rockfalls, locations of which determined from field studies. Measured falling rock blocks were classified in three groups in terms of their size, namely, larger than 5 m³, in between 5 m³ and 1 m³ and smaller than 1 m³ to be able to interpret spread zones depending on size of falling rock blocks. By DEM, It was seen that 1 m³ rock blocks are frequently carried to Susuz Village settlements, whereas 1-5 m³ rock blocks are rarely. In preparation of rockfall maps, conical spread angles of 30°, 25°, 22.5°, 20°, 17.5° and 15° were taken and rockfall spread zones were determined. Study area were separated in three zones in terms of spread zones: 1st and 3rd

areas belong 20° spread zone and 2nd area belongs about 17° spread zone. By taking conical angle value as 17.5° ; spread of rock blocks, size of which are 1 m^3 and $1-5 \text{ m}^3$ ($\sim 2220 \text{ kg}$), and maps of kinetical energy that belongs to rock blocks were identified. Based on prepared maps, it was concluded that energy of rock blocks would be damped, and wired prevention, energy level of which is around 125 kJ and 625 kJ , should be implemented.

Keywords: Rockfall, conical emission angle, the angle of inclination of the border, shadow angle, free-fall height, kinetic energy.

TE EKKÜR

Bu tez alı masının planlanmasında, ara tırılmasında, yşrştşlmesinde ve olu umunda ilgi ve deste ini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrşbelerinden yararlandı ım, yşnlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalı mamı bilimsel temeller ı ı ında ekillendiren sayın hocam Prof. Dr. Harun SÖNMEZ'e ve Prof. Dr. Murat ERCANO LU'na, her tşrlş deste i esirgemeyen ve çalı mamamın her a amasında manevi olarak yanımda olan arkada larım Ar . Gör. Lřtfiye AKIN'a, Ar . Gör. Ya mur NAL'a, Ar . Gör. Efe AKKA 'a ve Ar . Gör. Caner D KER'e, Sercan GÖNENÇ'e tezin laboratuvar çalı maları a amasında yardımcı olan ve imkan sa layan Özgřr EROL'a, her konuda sabırla yardımcı olan e im Selda ARTUÇ'a, o lum Kayra Anıl ARTUÇ'a ve aileme desteklerinden dolayı te ekkşr ederim.

Ç NDEK LER

	<u>Sayfa</u>
ET K	3
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
Ç NDEK LER	vi
Ç ZELGELER	viii
EK LLER	ix
S MGELER VE KISALTMALAR	xiii
1.G R	1
2.ÖNCEK ÇALI MALAR	4
3.KAYA DÜ MES OLAYININ MEKAN ZMASI VE HAR TALARININ ÜRET LMES 13	
3.1.Kaya Dü mesi Olayının Mekanizması ve Kaya Dü mesi Analizleri	14
3.2.Bölgesel Ölçekte Kaya Dü mesi Haritalarının Üretilmesi	16
3.2.1.Potansiyel (Olası) Kaynak Alanların Belirlenmesi	16
3.2.1.1.Kaynak Alanların Belirlenmesinde Sınır E im Açısının Kullanımı	17
3.2.1.2.Kaynak Alanların Belirlenmesinde Morfolojik Birimlerin Kullanılması	21
3.2.2.Menzil Mesafesinin (Run-out Distance) Belirlenmesi	24
3.2.2.1.Enerji Çizgi Açısı (Energy Line Angle) Kavramı	24
3.2.2.2.Gölge açısı (Shadow Angle) Kavramı	29
3.2.3.Kaya Dü mesi Haritalarında Yayılım Zonlarının Belirlenmesi	31
4.ÇALI MA SAHASININ TANITIMI	34
4.1.Co rafik Konum, iklim ve Bitki Örtüsü	34
4.2.Çalı ma Alanının Depremselli i	36
4.3.Çalı ma Alanının Jeolojisi	37

5.SAHA ÇALI MALARI	39
5.1.Aktif Kaynak Alanın Belirlenmesine Yönelik Saha Çalı maları	39
5.1.1.Aktif Kaynak Bölgedeki Hat Etüdü Çalı maları	40
5.1.1.1.Süreksizliklerin Konumu	45
5.1.1.2.Süreksizliklerin Açıklı ı ve Dolgu Özellikleri	45
5.1.1.3.Pürüzlülük Durumu	46
5.1.1.4.Su Ko ulları	46
5.1.1.5.Süreksizlik Aralı ı ve Blok Boyutu	46
5.2.Dü en Kaya Bloklarına li kin Çalı malar	46
5.2.1.Dü en kaya bloklarının istatistiksel de erlendirmesi	47
5.2.2.Schmidt çekici deneylerinin de erlendirilmesi	48
5.2.3.Petrografik analizler.....	50
6.SUSUZ KÖYÜNÜN KAYA DÜ MES HAR TASININ ÜRET LMES	52
6.1.Sayısal Yükseklik Modeli ve Aktif Kaynak Alanların Ayırtlanması	52
6.2.Dü mü Kaya Bloklarının Susuz Köyü Yakınlarındaki Da ılımı	58
6.3.Kaya Dü mesi Haritalarının CONEFALL Programıyla Üretilmesi	60
6.3.1.Kaya Dü mesi Yayılma Zonu Haritasının Üretilmesi	60
6.3.2.Kaya Dü mesi Yayılma Zonunda Blok Hızı ve Enerjisi Da ılımı Haritalarının Üretilmesi	64
7.KAYA DÜ MES ÖNLEME YAPILARI VE ÇALI MA SAHASINA YÖNEL K ÖNLEY C ÖNER LER	67
7.1.Susuz Köyü'ne Yönelik Önleyici Olası Kaya Dü mesi Önerileri	69
8.SONUÇ VE ÖNER LER	72
KAYNAKLAR.....	74
EKLER	78
EK-1 Kaya Bloklarının Konumları ve Boyutları.	78

ÇİZELGELER

Sayfa

Çizelge 1-1 Afet olay sayıları ve bu olaylara ba lı kayda geçen afetzede sayılarının da ılımı [1].	1
Çizelge 3-1 Literatürde enerji çizgi açısı için önerilen açı de eri aralıkları [17]. ...	28
Çizelge 3-2 Enerji Çizgi Açısı kavramı ile kaya dü mesi haritalamasında kullanılabilir sınıflar [17].	29
Çizelge 5-1 Hat etüt çalı maları ile belirlenen ortalama süreksizlik aralı ı ve süreksizlik sıklıkları.....	46
Çizelge 5-2 Sahada ölçülen dü mü kaya bloklarının yakla ık hacimlerine ili kin istatistiksel de erlendirme	48
Çizelge 5-3 Arazide yapılan Schmidt Çekici Deneyinin De erlendirilmesi	48

EK LLER

Sayfa

ekil 1-1 Dünya genelinde 1900-2011 yılları arasında (a) meydana gelen doğal afetlerden etkilenen insan sayısı, (b) doğal afetler sonucundaki maddi kayıpların büyüklüğü [2].	3
ekil 2-1 Altında ilçesindeki bir alanın kaynak alan ve kayadüşmesi potansiyeli haritaları[9].	7
ekil 2-2 Kaya düşmesi haritalamasına yönelik geliştirdikleri FallGIS isimli kodun kullanımına yönelik akışeması [11].	8
ekil 2-3 Rockfall ve FallGIS programlarını kullanarak Gebikarahisar ilçesindeki bir alan için ArcGIS ortamında hazırladıkları kayadüşmesi (a) enerjisi, (b) hızı, (c) sıçrama yüksekliği ve (d) durma noktası haritaları [11].	9
ekil 2-4 Kastamonu Kalesi ve civarındaki kayadüşmesi kaynak alanlarında kayabloklarının serbest düşmesinde etkin olabilecek süresizlik duraysızlık modellerinin kinematik analizleri [13].	10
ekil 2-5 Kastamonu Kalesinden eğim ağı kesitlerde geriye dönük analizlerle teetsel ve normal geri verme katsayılarının (R_n ve R_t) belirlenmesi [13].	11
ekil 2-6 Kastamonu kalesi ve yakın çevresinin kayadüşmesi tehlikesinin değerlendirilmesinde dikkate alınan ev profilleri [13].	11
ekil 2-7 Kastamonu ve yakın çevresi kayadüşmesi (a) tehlike zonu, (b) kayabloğunun kinetik enerjisi (c) sıçrama yüksekliği ve (d) hızı haritaları.	12
ekil 3-1 Rockfall programı kullanılarak analiz edilen (a) tek bir bloğun hareketi ve (b) Monte–Carlo benzerimi ile 100 bloğa ait hareketleri [16].	15
ekil 3-2(a) Dik kaya yüzeyinin grid genişliğine bağlı olarak yüksekliği ile eğim açısı arasındaki ilişki, (b) Δz yüksekliğinde dik bir kaya yüzeyi için DEM'in grid boyutuna bağlı olarak görünür eğim grafiği.	18
ekil 3-3 Sayısal yükseklik modelinin farklı çözünürlük değerleriyle aktif kaynak alanların sahip olabileceği sınır eğim değerleri arasındaki ilişki (Dorren and Berger 2003).	19
ekil 3-4 Dik serbest düşme yüksekliğinin (VHR) eğim üzerindeki etkisi [17].	20

ekil 3-5 “Les Diablerets Alpin” vadisindeki topo rafyaya ait morfolojik birimlerin Gauss Da ılımları (GDMB) ile e im açısı da ılımı (EAD) e rileri [21].	22
ekil 3-6 “Les Diablerets Alpin” bölgesindeki morfolojik birimlerin (MB) yüksek çözünürlüklü sayısal yükseklik modelinden (HRDEM) üretilen e im haritasındaki da ılımı [21].	22
ekil 3-7 1x1 m (HRDEM) ve 25x25 m çözünürlük için morfolojik birimlerin sınır e im açıları kullanılarak ayrı tırıldı ı haritalar [21].	23
ekil 3-8 Enerji Çizgi Açısı (β) kavramı [22]	25
ekil 3-9 Enerji Çizgi Geometrik Açısı ve Enerji Çizgi Yol Açısı kavramları [17].	26
ekil 3-10 Enerji çizgi geometrik açı do rusu ve yamaç profiline ba lı olarak kaya blo unun hızının hesaplanması (Dorren ve Berger [18]’den de i tirilerek alınmı tır).	27
ekil 3-11 Gölge Açısı (β) kavramı [22].	30
ekil 3-12 Enerji çizgisi açısı (tepeden) ve gölge açısı (dik topo rafyanın bitiminden) kavramları için bazı literatür de rleri [26].	31
ekil 3-13 Jaboyedoff ve Labiouse [26] tarafından önerilen konik yayılım yakla ımında (a) β açısına sahip dü ey koni, (b) β açısına sahip koni ile topo rafyanın ara kesiti Derron [44].	33
ekil 4-1 Çalı ma alanın yer bulduru haritası.	35
ekil 4-2 Ankara linin Deprem Haritası [46].	36
ekil 4-3 Çalı ma alanın stratigrafik istifi [49]	38
ekil 5-1 Çalı ma sahasına uzaktan bir görünümü.	39
ekil 5-2 Dü en kaya bloklarının uydu görüntüsü (Google Earth) üzerindeki konumları ve ayırtlanan aktif kaynak alan.	40
ekil 5-3 Aktif Kaynak alanından yakın bir görünüm.	41
ekil 5-4 Aktif kaynak alanında dü meye hazır serbest halde duran bir kaya blo u.	42
ekil 5-5 Yerle im yerine ula an kaya blokları.	43

ekil 5-6 Hat etüdü yapılan yerlerin uydu görüntüsü (Google Earth) üzerindeki konumları.....	44
ekil 5-7 Aktif kaynak alandaki dik topo rafyada yapılan hat etüdünden bir görünüm	44
ekil 5-8 Aktif kaynak alana ait süreksizliklere ait kontur diyagramı ve ayırtlanan süreksizlik setleri	45
ekil 5-9 Sahadaki dü en kaya blo unun boyutlarını ölçme ekli.	47
ekil 5-10 Sahada ölçülen dü mü kaya bloklarının yakla ık blok hacmi histogramı (a) tüm veriler, (b) yakla ık hacmi 1 m ³ 'den büyük bloklar	49
ekil 5-11 Çalı ma arazisinde süreksizlik yüzeylelerinde Schmidt çekici uygulaması.	50
ekil 5-12 nceleme sahasındaki andezitik kayaç örneklerinden ikisine ait petrografik analiz görüntüleri	50
ekil 6-1 (a) Susuz köyü ve çevresine ait sayısal yükseklik modeli (DEM) ve (b) Susuz köyünün de görüldü ü Google Earth görüntüsü.	53
ekil 6-2 DEM'in 10x10 çözünürlü ü için serbest dü me yüksekli i (VRH)ye ba lı olarak alınabilecek sınır açısı de eri (β) ili kisi.....	55
ekil 6-3 Yakla ık serbest dü me yüksekli i 6 metre olan kaynak alandan bir görünüm.	56
ekil 6-4 Susuz köyü ve çevresine ait e im haritası.....	56
ekil 6-5(a) E im haritası üzerinde sınır açısı kavramı ile ayırtlanan potansiyel kaya dü mesi alanları, (b) saha çalı maları ile Susuz köyü açısından dikkate alınacak aktif kaynak alanların CONEFALL programında kullanılacak ekli.	57
ekil 6-6 Saha çalı maları sırasında ölçülen blokların sayısal yükseklik modeli (DEM) üzerindeki da ılımı.....	58
ekil 6-7 Susuz köyünden e im yukarı alanda ölçülen kaya bloklarının Google Earth görüntüsü üzerindeki sınıflandırılmı da ılımı (sarı kesikli alan Susuz köyüne ula abilen blokların da ılım alanını i aret etmektedir).....	59

ekil 6-8 Konik yayılım açısının 35° alınması durumunda belirlenen yayılma zonu.	61
ekil 6-9 Konik yayılım açısı de erinin sırasıyla 30° , 25° , 22.5° , 20° , 17.5° ve 15° de erleri için belirlenen (a) yayılım zonları ve (b) dü mü bloklarla birlikte da ılımı.	62
ekil 6-10 Kaya dü mesi yayılım zonları açısından irdelenen üç bölge.	63
ekil 6-11 Enerji açısı kavramına göre kaya blo u hızı ve enerjisinin hesaplanmasına yönelik de i kenler [24].....	65
ekil 6-12 Konik açısının 17.5° alındı ı durumda (a) kaya blo u hızı (b) 1m^3 lük kaya blo unun ($\sim 2220\text{ kg}$) enerji da ılımı haritası.....	66
ekil 7-1 Kaya blo unun enerji kapasitelerine göre önleyici mühendislik uygulamaları [53].....	68
ekil 7-2 Susuz köyü üst kotlarında 17.5° yayılım açısı için belirlenen alanda kaya dü mesi hız da ılımı	70
ekil 7-3 Susuz köyü üst kotlarında 17.5° yayılım açısı için belirlenen alanda 1 m^3 ve 5 m^3 lük kaya blo u için enerji da ılımı.....	71

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

	Sınır eğim açısı
	Enerji çizgisi açısı
fv	Hız düzeltme faktörü
g	Yer çekimi ivmesi
v	Kaya bloğunun hızı
m	Kaya bloğunun kütlesi
	Süreksizlik sıklığı
x	Ortalama süreksizlik aralığı
Z	Kaya bloğunun yüksekliği
R	Grid boyutu

Kısaltmalar

DEM	Sayısal Yükseklik Modeli
HRDEM	Yüksek çözünürlüklü sayısal yükseklik modeli
RES	Sayısal yükseklik modelinin çözünürlüğü
EAD	Eğim açısı dağılımı
GDMB	Eğim dejerindeki frekans dejerleri
MB	Morfolojik birimler
EÇA	Enerji çizgi açısı
GA	Gölge açısı
VRH	Dik serbest düşme yüksekliği

1. G R

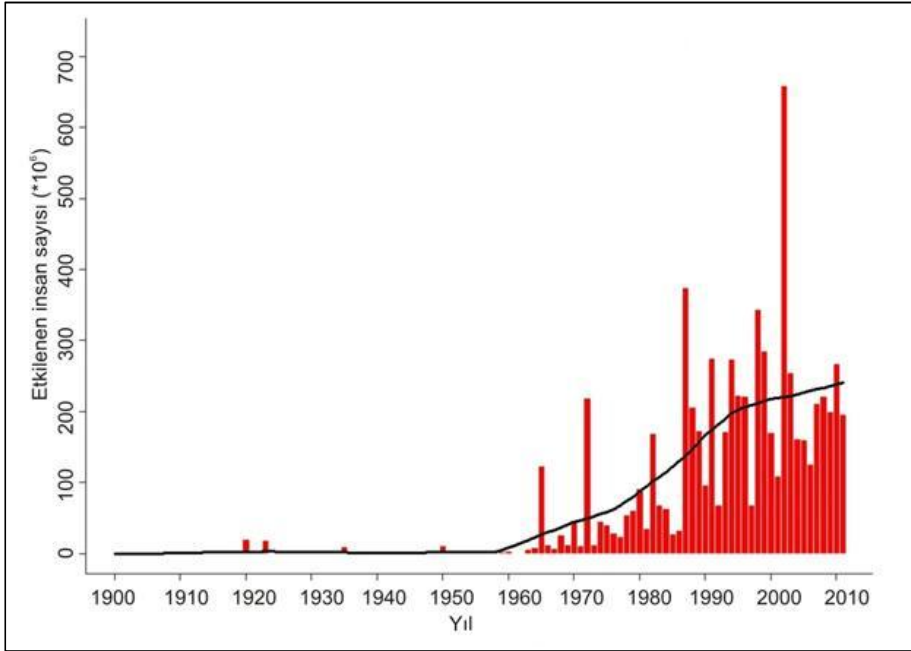
Dünyamızdaki nüfus artışı, kentleşme vb. gelişmeler beraberinde yeni yerleşim alanlarına olan gereksinimleri de her geçen gün arttırmaktadır. Bu gereksinimlerin bir sonucu olarak uygun yer seçimlerinin yapılması da özellikle karar vericilerin sorumluluklarını da arttırmaktadır. Depremler, heyelanlar, çığ ve taşkın gibi doğa olaylarının afete dönüşmesi için yer seçimi öncesinde bu tür olayların bölgeye etkilerinin ve/veya duyarlılık sınıflarının ayrıntılı bir şekilde çalışılması ve karar vericilere sunulması büyük öneme sahiptir. Ayrıca, bu tür doğa olaylarına karşı bazı önlemlerin alınabilmesi de bu tür doğa olaylarının gerçekçi bir şekilde tanımlanması ile mümkündür. Konuya ilişkin literatür incelendiğinde özellikle yoğun kentleşmeye de bağlı olarak 1950'li yıllardan itibaren doğal afetlerinden etkilenme sayılarında ve maddi kayıplarda önemli bir artışın olduğu görülmektedir (Ekil 1.1).

Ülkemizin dünya üzerindeki konumu nedeniyle, depremler, heyelanlar, çığ ve taşkın gibi doğa olaylarının sürekli bir şekilde yaşanmakta ve çoğu kez bu doğa olayları doğal afetlere dönüşebilmektedir. Yaklaşık son 50 yıllık dönem için ülkemizdeki afet türüne göre olay sayıları ile bunlara bağlı olarak kayda geçen afetlerde sayılarının dağılımı Çizelge 1.1'de verilmiştir [1].

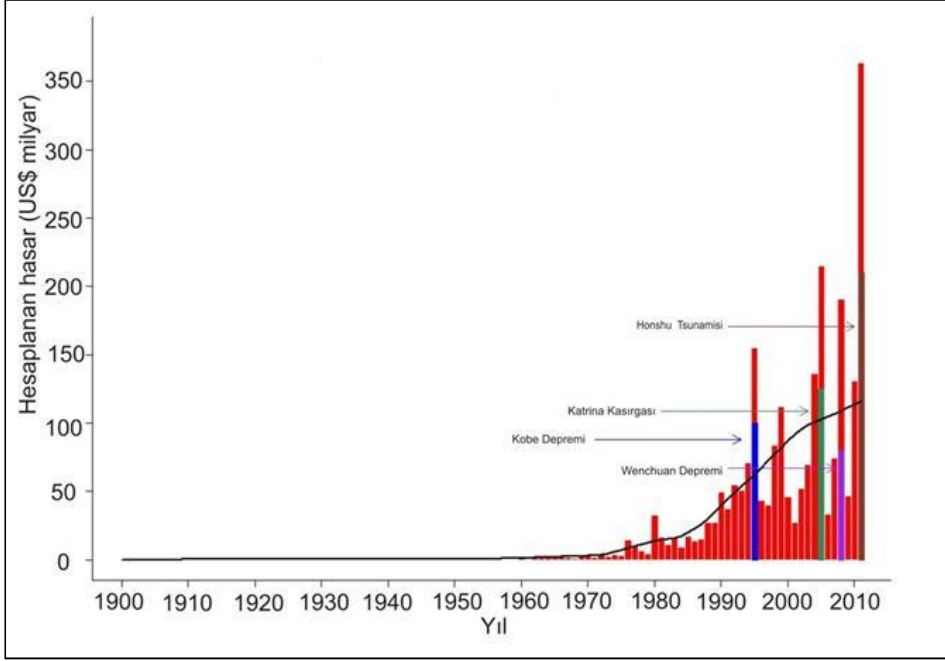
Çizelge 1-1 Afet olay sayıları ve bu olaylara bağlı kayda geçen afetlerde sayılarının dağılımı [1].

Afet Türü	Afet Olay Sayısı	Afetlerde				Etkilenen Toplam Afetlerde Sayısı
		Etkili Nakil	Yaralı Nakil	Etkisiz Nakil	Nakil Edilmeyen	
Heyelan	13494 (%45.3)	65759	2622	3998	13034	59345 (%20.8)
Kaya Düşmesi	2956 (%9.9)	19699	935	2442	3654	19422 (%6.8)
Taşkın	4067 (%13.6)	29020	506	1197	8566	22157 (%7.8)
Deprem	5318 (%17.8)	157794	45	637	235	158241 (%55.5)
Diğer Afetler	1175 (%3.9)	11309	8	85	2165	9237 (%3.2)
Çığ	731 (%2.5)	4409	181	336	542	4384 (%1.5)
Çoklu Afetler	2024 (%6.8)	17221	629	838	6478	12210 (%4.3)
Tasnif dışı	42 (%0.1)	0	0	0	0	0
Toplam	29807	305211	4926	9533	34674	284996

(a)



(b)



ekil 1-1 Dünya genelinde 1900-2011 yılları arasında (a) meydana gelen doğal afetlerden etkilenen insan sayısı, (b) doğal afetler sonucundaki maddi kayıpların büyüklüğü [2].

Literatürde çoğu kez heyelan baskınlığının altında ayrı bir tür duraysızlık olarak tanımlanan kaya düşmeleri ile birlikte ele alındığında, tüm afet türlerindeki heyelan olayı sayısının % 55 düzeyinde olduğu ve bunu %18 ile depremlerin takip ettiği görülmektedir. Ancak depremlerin daha yıkıcı bir doğal olayı olmasından dolayı olmasından dolayı afetlerde oranı açısından %55.5 ile ilk sırada yer almaktadır. Ancak depremlerin heyelanlar açısından tetikleyici faktör olduğunu da belirtmekte yarar vardır. Kaya düşmesi olayının tüm afet türleri içindeki oranı yaklaşık %10 düzeylerinde olup, bu olaya baskınlıya m kayıplarının da % 7 düzeyinde olduğu görülmektedir.

Bu tez çalışmasında, Ankara ili, Çubuk ilçesi, Susuz köyünde düşen kaya bloklarının yerleşim alanına kadar ulaşması nedeniyle oluşabilecek kaya düşmesi potansiyelinin araştırılması ve kaya düşme haritaları üretilerek koruma yöntemlerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında, ilgili literatür sunulmuştur. İkinci aşamada saha çalışmaları ile kaynak bölgenin belirlenmesi ve düşen kaya bloklarına yönelik parametrik ölçümlerin alınması

olup, son a amada ise kaya dü mesinin Susuz köyüne olası etkilerinin de erlendirilmesine yönelik kaya dü me potansiyeli haritasının hazırlanmı ve önleme yapılarına ili kin önerilerin yapılmı tır.

2. ÖNCEK ÇALI MALAR

Kaya dü mesi olayı ve haritalamasına yönelik literatürde oldukça çok sayıda çalı ma bulunmaktadır. Kaya mekani i literatüründe yer alan ve tezin çalı ma konusu ile benzerlik sunan bazı seçilmi çalı malar tezin bu bölümünde özet olarak sunulmu tur.

Newfound karayolunda meydana gelen kaya dü melerini incelenmi tir [3]. Ara tırmacı, yol yarmalarında yüzeyleyen bazalt bloklarının dü me benze imlerinde (simulasyonlarında) Rockfall programını kullanılmı tır. Yerinde yamaç a a ı kayan kaya bloklarını dü ürerek video ile kaydetmi ve blokların hız de i imlerini, sıçrama miktarlarını belirlemeye çalı mı tır. Ara tırmacı, geriye dönük analizlerle Rockfall programının girdi parametrelerini saha özelinde belirlemi ve kaya dü mesi önleme yapısı olarak yakalama hendekleri ile kafes sistemlerini önermi tir.

talya'daki Nera Nehri vadisinde 48 km²'lik bir alanda kaya dümesi tehlikesini ve riskini de erlendirmi lerdir [4]. Nera vadisindeki ula ımın sa landı ı yolun kaya dümesi tehlikesi altında oldu unu belirtmi lerdir. Üç a amada gerçekte tirdikleri çalı malarında öncelikle kaya dümelerinin tekrarlanma periyodunu belirlemek için sahaya yönelik önceki kayıtları incelemi lerdir. kinci a amada detaylı bir kaya dümesi envanteri olu turarak, kaya dümelerinin sıklıklarını ve hacimsel boyutlarına yönelik istatistiksel de erlendirmeler yapmı lardır. Son a amada da kaya dümelerinin sayısı, blokların dü me yüksekli i ve hızı olmak üzere üç girdi parametresini esas alan STONE isimli kaya dümesi benze im (simülasyon) programını kullanılarak kaya dümesi tehlikesinin bulundu u yolu da kesen profiller üzerinde analizler yapmı lardır. Sonuç olarak çalı ma alanının %14.6'sının ve ula ım a ı üzerindeki 9 km uzunlu unda yolun kaya dümesi tehlikesi altında oldu u belirlenmi tir. Ayrıca mevcut koruma yapılarını % 21'inin kaya dümelerini yeterince önleyemedi ini de ifade etmi lerdir.

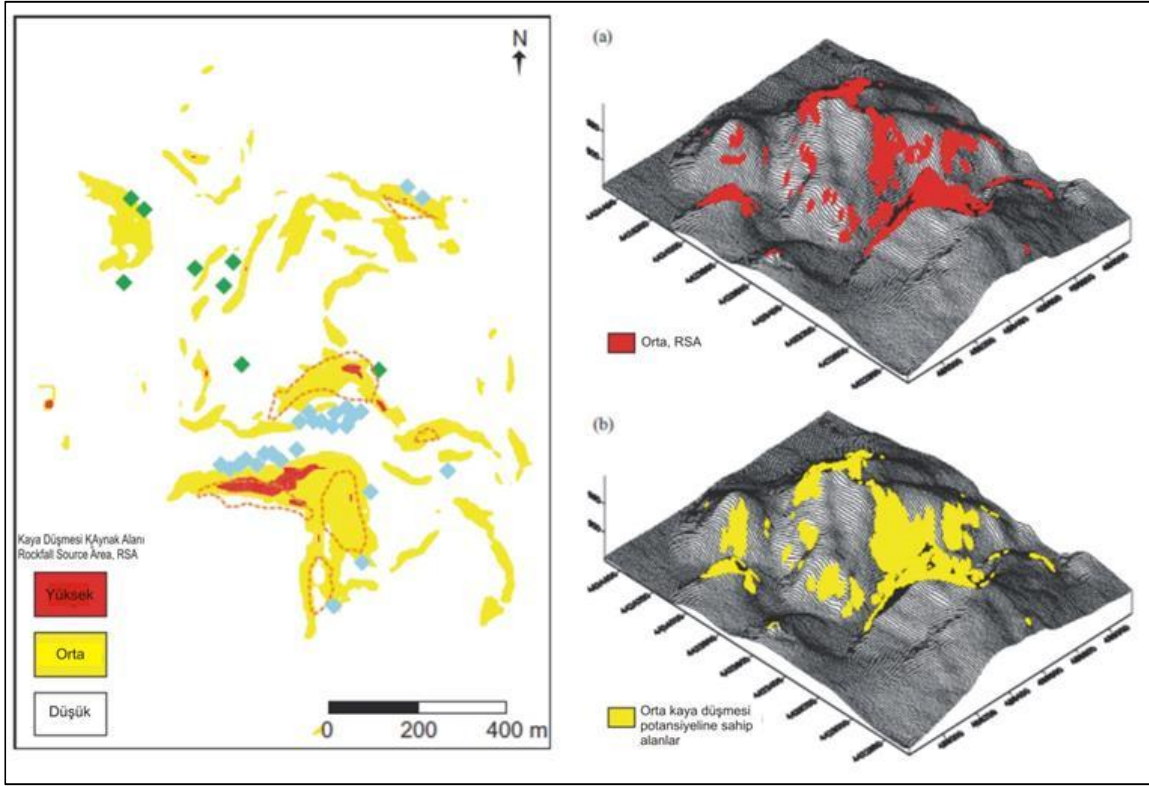
Kaya dümesi sorunlarının yo un olarak ya andı ı La Cabrera Sierra (spanya, Madrid) bölgesi için maksimum menzil mesafesi duyarlılık haritasını 1/5000 ölçe inde hazırlamı lardır [5]. Ara tırmacılar maksimum menzil mesafesini belirleyebilmek için saha çalı maları sırasında dü en kaya bloklarının lokasyonlarını da dikkate alarak en dü ük ula ma açısını da saha özelinde belirlemi lerdir. Dü en kaya bloklarının ilerleme mesafesinin analizlerle hesaplamasının yeterli düzeyde çözümlenemedi ini, ancak dü en blokların ilerleme mesafesini veya ula tıkları yeri kontrol eden faktörleri blo un dayanımı, blo un ekli ve blo un hacmi ile ev yüzeyinin ondülasyonu, ev yüzeyinin e imi ve dü me yüksekli i olarak dikkate alınması gerekti ini vurgulamı tır.

Kuzey spanya'da 20 km²'lik bir alanda çok dik kaya çıkımlarının bulundu u bir bölgede kaya dümesi duyarlılı ının belirlenmesine yönelik bir çalı ma yapmı lardır [6]. Çalı ma kapsamında kaya dümelerini etkileyen çevresel (yükseklik, güne ı ınları ve yamaç dikli i) ve jeolojik faktörler (litoloji, süreksizlikler, yamaç yüzeyinin pürüzlülü ü, yamaç e imi) irdelenmi tir. Ara tırmacılar çalı ma sahasında kaya dümesi aktivitesi yüksek ve dü ük olarak iki sınıf belirlemi ledir. Buna göre çalı ma alanının %36'sının yüksek ve %64'ünün ise dü ük kaya dümesi aktivitesine sahip oldu u saptanmı tır.

Güney Tyrol (İtalya) Val d'Ega Vadisi'nde sıklıkla ya anan kaya dü melerine kar ı korunmak ve ula ım yollarının kaya dü mesi problemlerinden etkilenmesini azaltmak amacıyla farklı pratik yakla ımları da içeren çalı malarında, ayrıntılı jeolojik, jeomorfolojik haritalamaları ve jeomekanik özellikleri kullanarak kaya dü mesi bölgelerini de erlendirmi lerdir [7]. Ara tırmacılar, kaya dü mesindeki blok olu umunda rol oynayan üç ana süreksizlik seti belirlemi lerdir. Çalı mada, iki boyutlu simülasyon modeli olan Rockfall programını kullanılarak kaya dü mesi analizleri yapılmı tır. Kaya dü mesi analizleri sonucunda kaya birikim zonlarını, menzil mesafelerini ve blokların sıçrama yüksekliklerini belirlemi lerdir. Kaya dü mesi analizleri ile belirlenen çıktılar kullanılarak koruyucu bariyerin yerle tirilebilece i alanlar ile çelik hatlar, kaya çivileri, beton destekler gibi önlemler alınmasını önermi lerdir.

Alpler'de ormanlık bir alanda yine kaya dü mesine yönelik bir de erlendirme çalı ması yapılmı tır [8]. Ara tırmacılar, ilk a amada, çalı ma alanının jeomorfoloji haritasını olu turmu lar ve sonrasında da kaya dü mesi kaynak alanlarına ait kaya çıkmalarındaki çok sayıda lokasyonda ana süreksizlik setlerini belirlemeye yönelik süreksizlik ölçümleri almı ve yorumlamı lardır. Çalı ma alanında iki farklı ana süreksizlik seti ile çok sayıdaki rastgele geli mi süreksizliklerin potansiyel dü meye aday blokları olu turdu unu saptamı lardır. Ara tırmacılar, kaynak bölgeden itibaren kaya dü mesinden etkilenebilecek alanları da haritalamı lardır.

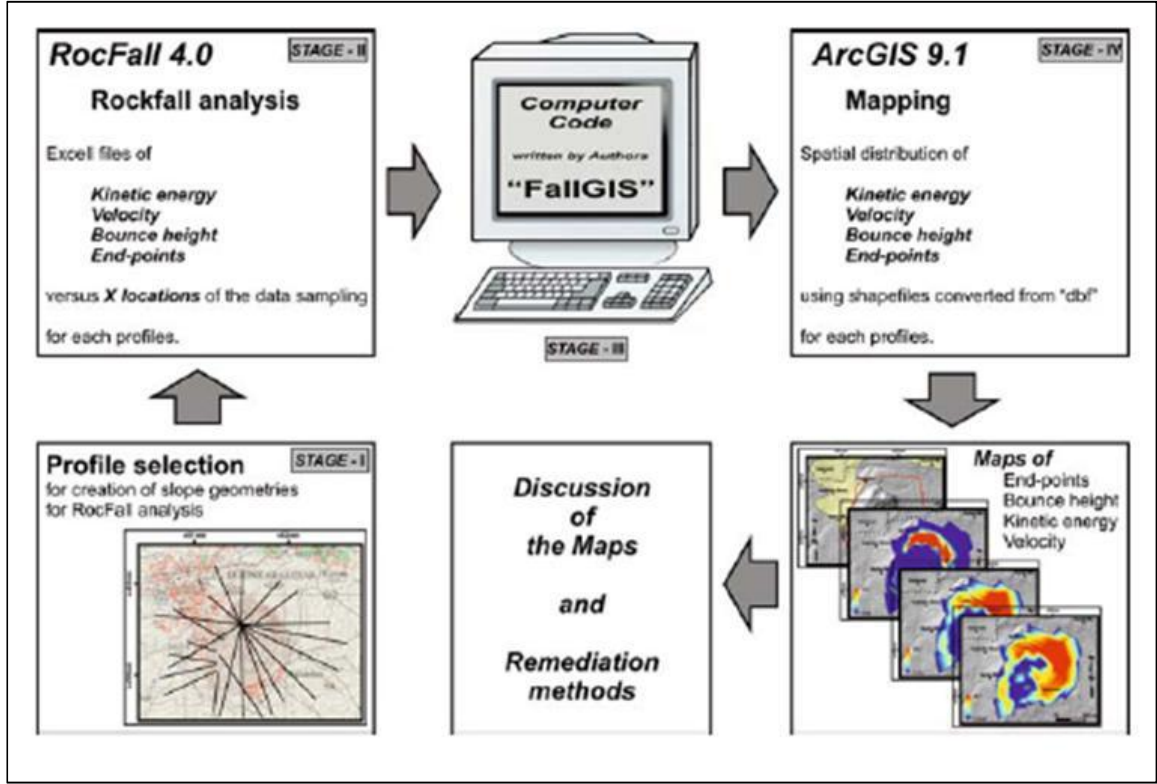
Ankara ili Altında ilçesinde kaya dü mesi olayının etkin oldu u bir alanda kaya dü mesi potansiyeli haritası üretilmi tir [9]. Ara tırmacılar bu çalı malarında kaya dü mesi kaynak alanlarını belirlemede bulanık mantık yakla ımını kullanmı lardır. Kaya dü mesi haritasını ise konik yayılım yakla ımı ile hazırlamı lardır (ekil 2.1).



ekil 2-1 Altında ilçesindeki bir alanın kaynak alan ve kaya düşmesi potansiyeli haritaları[9].

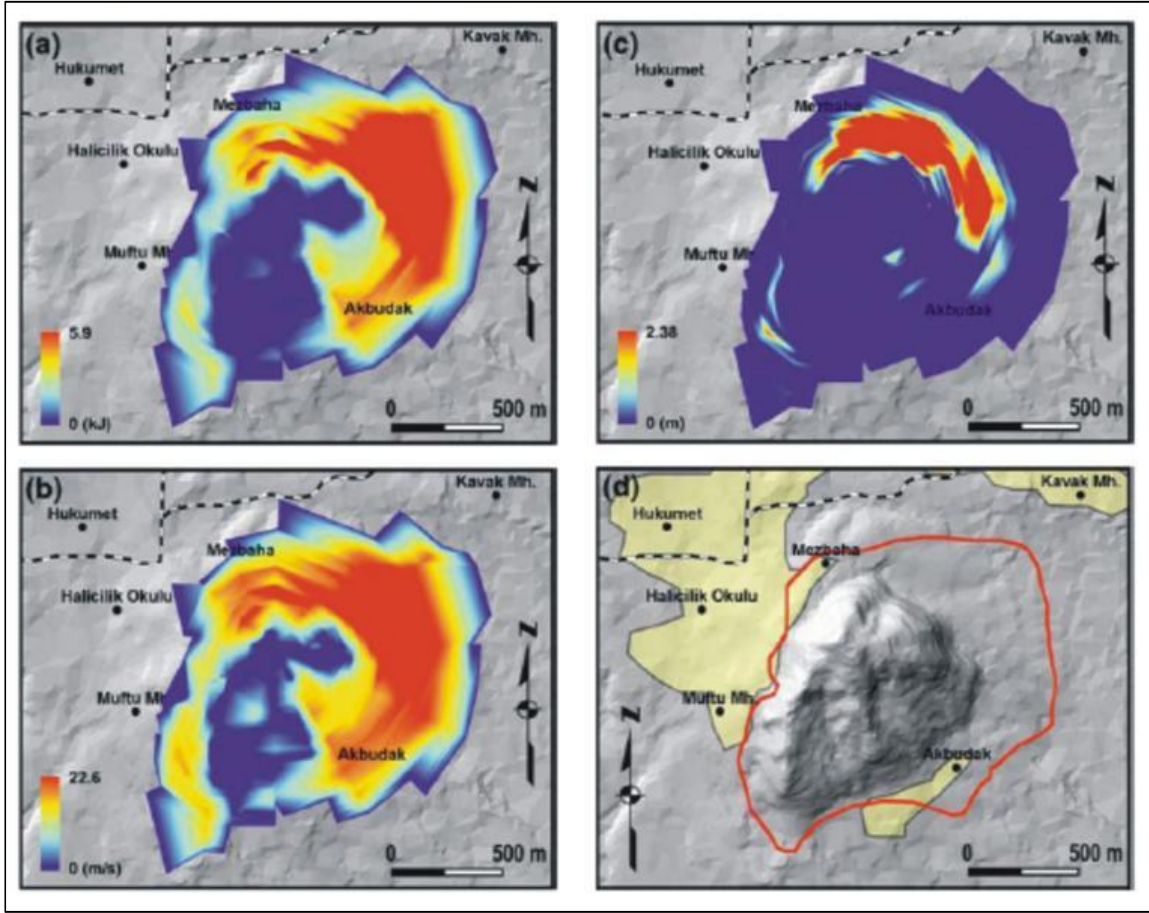
Ürküp-Kayakapı mahallesi olarak bilinen tarihi alandaki kaya düşmelerini de erlendirmişlerdir [10]. Ara tırmacılar, farklı ev profilleri üzerinde kaya düşmesi analizleri yaparak, yüksek kotlarda bulunan kaya blokların düşmesi durumunda emme davranışı ve etkileyebileceği alanları belirlemeye çalışmışlardır.

Rockfall programının sonuçlarını coğrafi bilgi sistemi (CBS) ortamında hızlı bir şekilde de erlendirilmesini sağlayan FallGIS isimli bir kod geliştirmişlerdir [11]. Ara tırmacıların Rockfall analizlerinden itibaren ArcGIS ortamında haritalamaya kadar izledikleri akıllı harita ekil 2.2'de görülmektedir.



ekil 2-2 Kaya dümesi haritalamasına yönelik geliştirdikleri FallGIS isimli kodun kullanımına yönelik akış şeması [11].

RockFall programı ile haritalamaya yönelik olarak ArcGIS programı arasındaki veri iletişimini geliştirdikleri FallGIS koduyla sağlamışlardır [11]. Ara tırmacılar, Rockfall programının profil boyunca verdiği kinetik enerji değeri, hız değeri, sıçrama yüksekliği değeri ve durma noktası ekinde ifade edilen 4 çıktıyı da ArcGIS'e yönlendirebilmektedir. Ara tırmacılar, Giresun ilinin ebinkarahisar ilçesindeki bir alanı uygulama sahası olarak seçmiş ve kaya dümesi haritalamalarını geliştirdikleri kodu da kullanarak yapmışlardır (ekil 2.3).

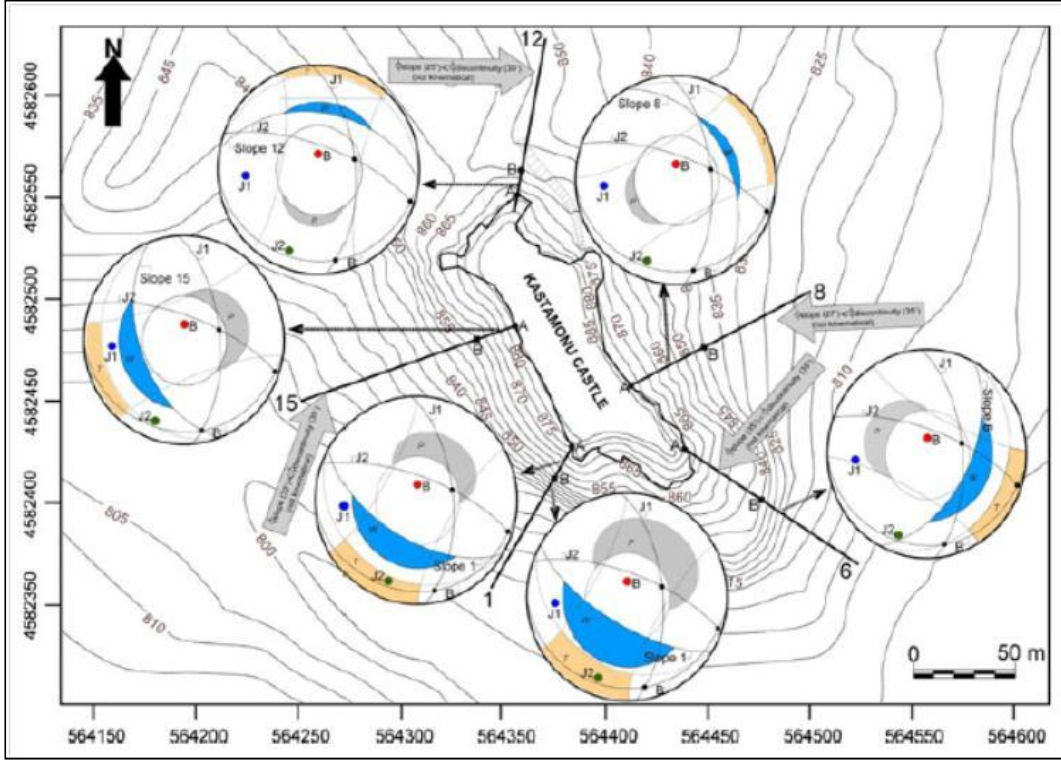


ekil 2-3 Rockfall ve FallGIS programlarını kullanarak ebinkarahisar ilçesindeki bir alan için ArcGIS ortamında hazırladıkları kaya dümesi (a) enerjisi, (b) hızı, (c) sıçrama yüksekliği ve (d) durma noktası haritaları [11].

Manisa ili Kula ilçesinde Jeopark sahasındaki kaya dümesi potansiyelini de erlendirmi lerdir [12]. Kaya dümelerinde en önemli etkinin litoloji ve erozyonun oldu unu ve ayrıca ya ı ve depremlerin kaya dümelerini muhtemelen tetikleme olabilece ini belirtmi lerdir. Dü en kaya bloklarının ilk hızlarını 0 m /s olarak kabul etmi ler ve serbest dü me ile farklı ev profillerinde kaya dümesi analizleri yapmı lardır. Ayrıca, kaya dümesi analizlerinin yanı sıra, farklı konik yayılım açılarıyla da çalı ma sahasının kaya dümesi duyarlılık haritalamasını da yapmı lardır.

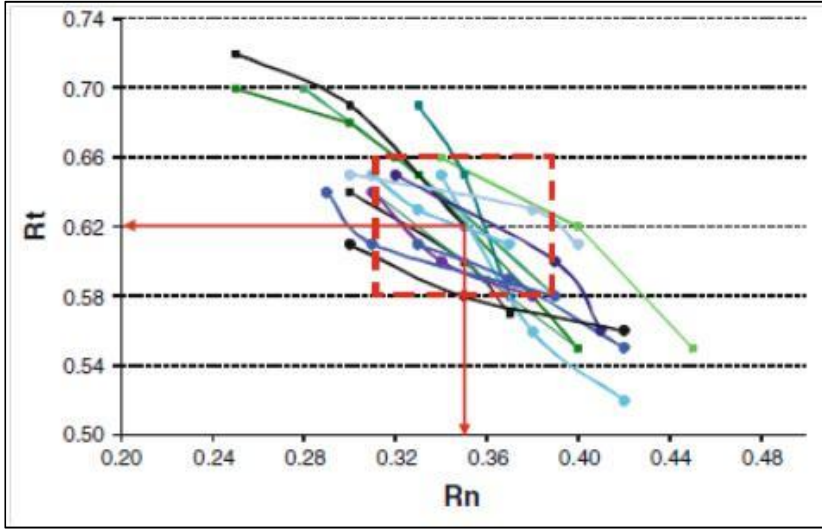
Tarihi Kastamonu kalesi ve kayın yerle im yerlerine yönelik kaya dümesi tehlikesi de erlendirmesi yapılmı ve kaya dümesi haritalarını üretilmi tir [13]. Ara tırmacılar öncelikle kaya dümesi kaynak alanlarında çok sayıda süreksizlik ölçümü alarak ana eklem setlerini belirleme ve kinematik analizlerle kaya

bloklarının serbestle mesinde etkin süreksizlik denetimli duraysızlık modellerini belirlemi ledir (ekil 2.4).

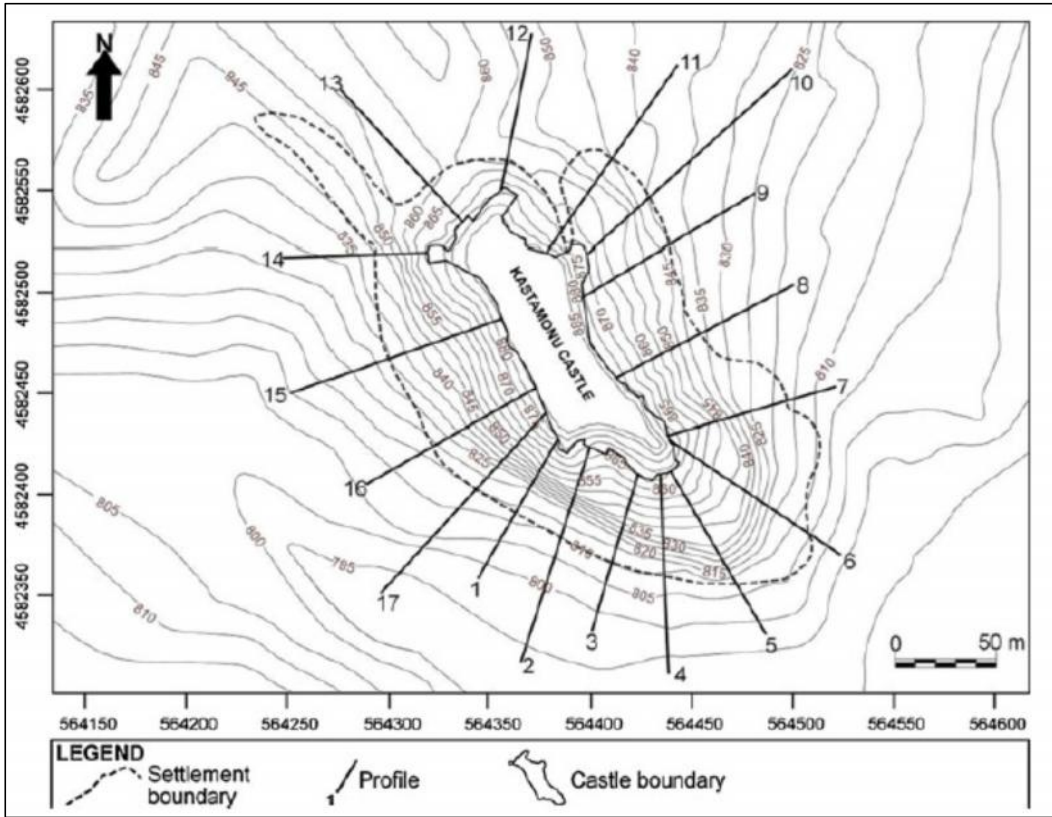


ekil 2-4 Kastamonu Kalesi ve civarındaki kaya dü mesi kaynak alanlarında kaya bloklarının serbestle mesinde etkin olabilecek süresizlik duraysızlık modellerinin kinematik analizleri [13].

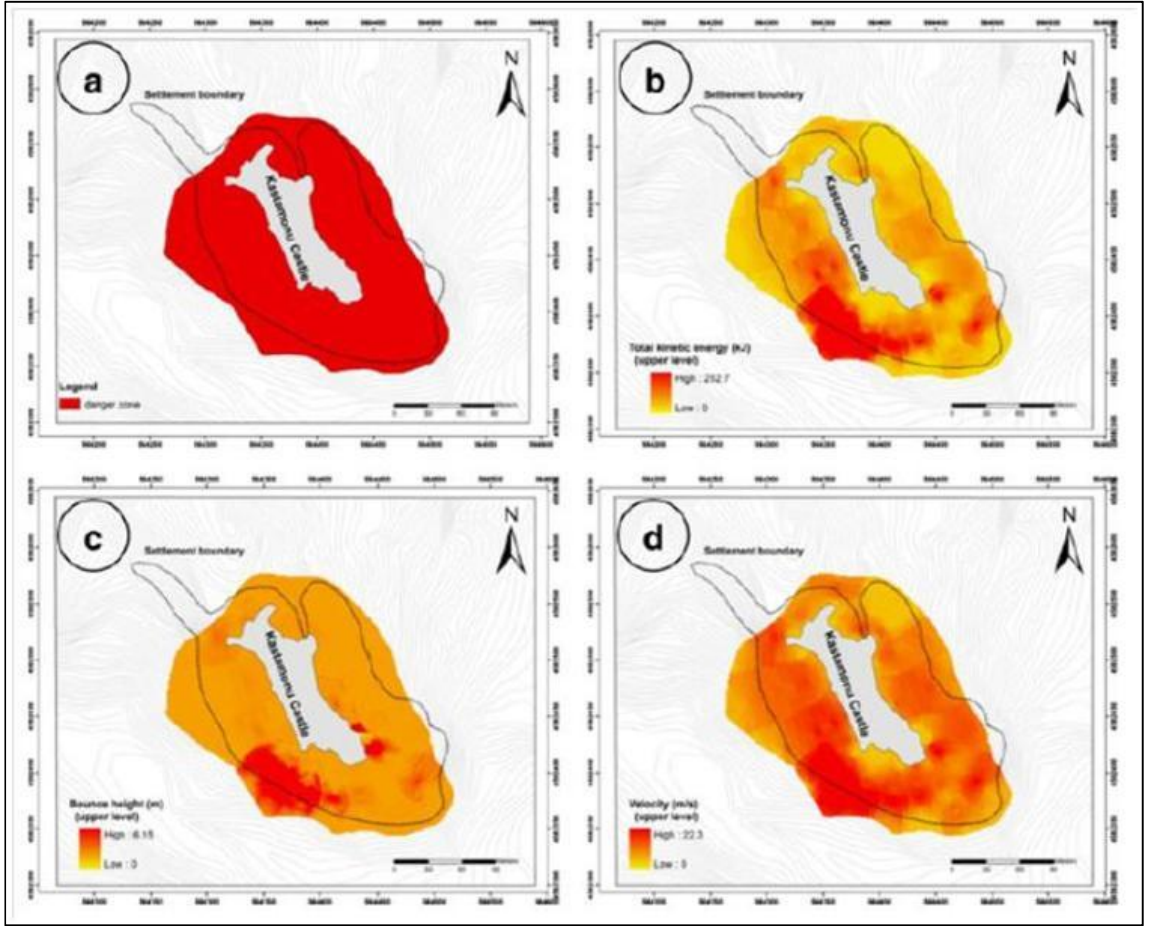
Farklı ev profillerinde geriye dönük analizlerle kaya dü mesi analizlerinin oldukça önemli olan iki girdi parametresini (te etsel ve normal geri verme katsayısı) incelemi lerdir (ekil 2.5). Son a amada ise saha özelindeki girdi parametrelerini kullanarak, farklı ev profilleri için kaya dü mesi analizlerini yaparak, Kastamonu kalesi ve yakın çevresinin kaya dü mesi tehlikesi haritasını hazırlamı lardır (ekil 2.6 ve ekil 2.7). ki boyutlu ev profilleriyle yapılacak kaya dü mesi haritalamasında morfolojinin karma ıklı ina da ba lı olarak çok sayıda ev profilinin de erlendirilmesi bu yakla ımın uygulama prati ini olumsuz yönde etkilemektedir.



ekil 2-5 Kastamonu Kalesinden e im a a ı kesitlerde geriye dönük analizlerle te etsel ve normal geri verme katsayılarının (R_n ve R_t) belirlenmesi [13].



ekil 2-6 Kastamonu kalesi ve yakın çevresinin kaya dü mesi tehlikesinin de erlendirilmesinde dikkate alınan ev profilleri [13].



ekil 2-7 Kastamonu ve yakın çevresi kaya dümesi (a) tehlike zonu, (b) kaya bloğunun kinetik enerjisi (c) sıçrama yüksekliği ve (d) hızı haritaları.

3. KAYA DÜ MES OLAYININ MEKAN ZMASI VE HAR TALARININ ÜRET LMES

Kaya dü meleri kara yolları, demir yolları ve da lık alanlardaki yerle imler açısından oldukça tehlikeli bir ev duraysızlı ı türüdür. Kaya dü meleri, dik topo rafik morfolojiye sahip alanlarda yüksek kotlarda yüzeylenen kaya kütlelerinde süreksizliklerin sınırlandırıldı ı kaya bloklarını küçük hareketlerle duraylılı nı kaybederek e im a a ı oldukça yüksek hızla hareket etti i bir tür yamaç duraysızlı ı olarak tanımlanır [14],[15]. Kaya blo unun hareketi yamaç morfolojisi ile denetlenmekte olup, dik yamaçlarda dü me, e imin azalmasına ba lı olarak sıçrama ve/veya yuvarlanma ekinde ve kinetik enerjisi sönümleninceye kadar devam eder. Kaya dü melerinin ani geli mesi ve yüksek hızlı bir duraysızlık olayı olması nedeniyle, dü en kaya bloklarının hacmine de ba lı olarak oldukça tehlikeli olabilirler. Kaya kütlelerinin süreksizlik özellikleri ve yüzey topo rafyasına ba lı olarak geli en kaya dü mesi olayının gözlenebilece i alanların ve kaya dü mesi menzil mesafelerinin (run-out distance) gösterildi i haritaların hazırlanması yerle ime uygun saha seçiminde karar vericilere önemli bilgiler sa lar.

Dü en kaya blo u ile topo rafik yüzey arasında ilk hareketi yarı esnek çarpı ma olarak kabul edilebilecek kaya dü mesi olayı, ayrıntılı bir yakla ımla, kaya blo unun harekete ba ladı ı lokasyon, kaya blok a ırlı ı, kaya blok ekli, yüzey jeolojisi, iki boyutta ev profili veya üç boyutta yüksek çözünürlükte sayısal yükseklik modeli (DEM), te etsel ve normal geri verme katsayıları (normal and tangent coefficients of restitution) gibi çok sayıdaki girdi parametreleri kullanılarak kaya dü mesi analizleri yapılabilir. Bu analizler sonucunda, kaya blo unun hareketi sırasındaki hızı ve enerjisindeki de i imi, kaya blo unun hareket izi (yörüngesi), kaya blo unun menzil mesafesi (run-out distance) gibi çıktılar elde edilebilir. Ancak, daha geni alanlar için di er bir ifadeyle bölgesel ölçekte hazırlanması ön görülen kaya dü me potansiyeli haritaları ve kaya dü mesinden etkilenebilecek alanlara ili kin haritaların hazırlanmasında ayrıntılı ve çok girdili kaya dü me analizlerinin uygulanması ço u kez dü ük pratik de ere sahiptir.

Kaya dümesi olayı diğer kütle heyelanları ile karışılabilir. Belirli bir hacimdeki kaya dümesi olayının yaşanması için gerekli tetikleyiciye bağlı sınır değerinin belirlenmesi olanaklı değildir. Buna karşın, kaya dümesi olayından etkilenebilecek alanlarda dolaylı olarak belirlenebilen olası kaya dümesi sayısı, kinetik enerji (hızı) da ilımı gibi çıktılara bağlı olarak, kaya dümesi tehlikesi yorumlamaları yapılabilir.

Tezin bu bölümünde öncelikli olarak kaya dümesi olayının mekanizması ve analizleri kısaca tartışılmı, sonrasında da kaya dümesi haritalarının üretilmesine yönelik bazı yaklaşımlar verilmiştir.

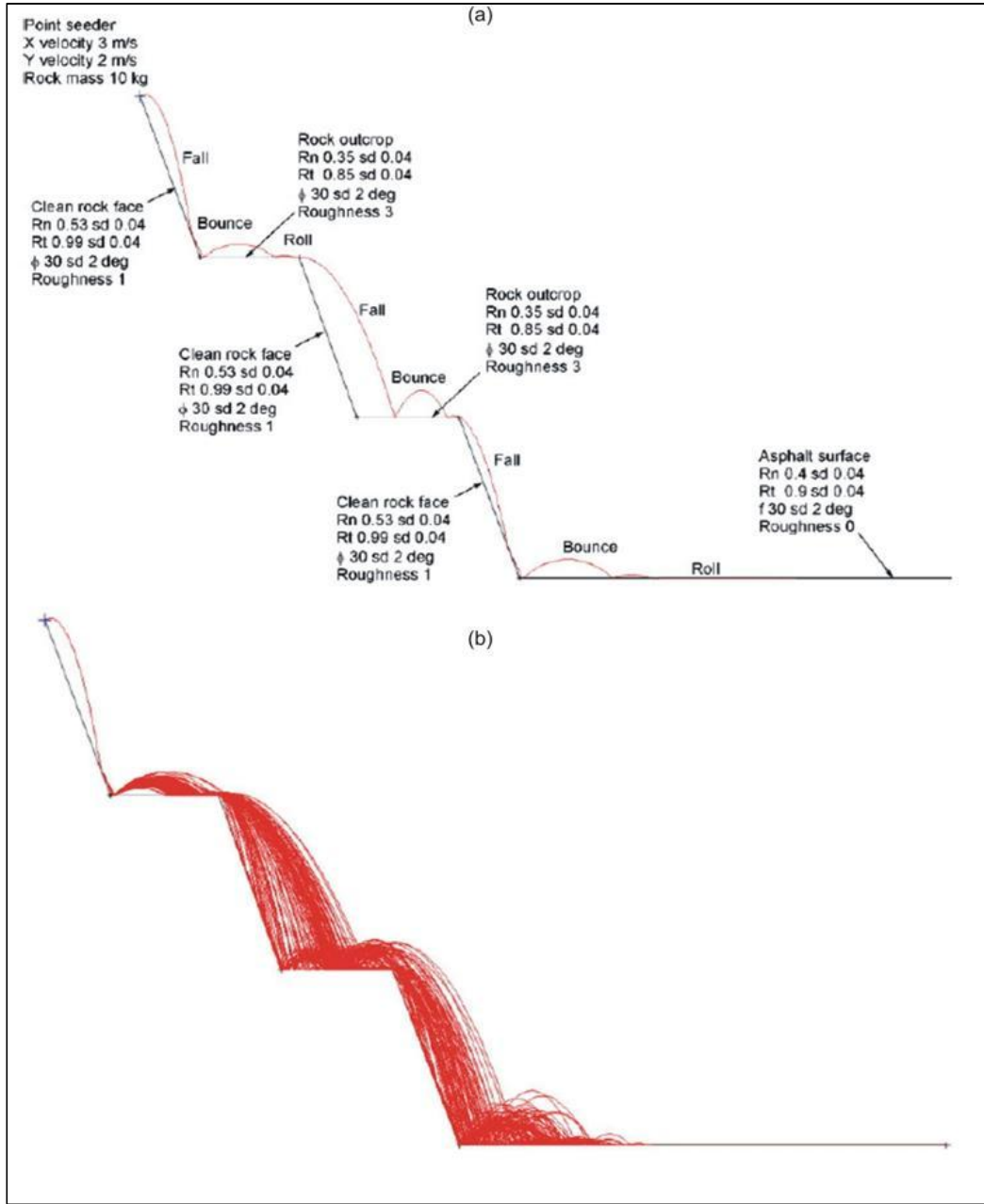
3.1. Kaya Dümesi Olayının Mekanizması ve Kaya Dümesi Analizleri

Kaya dümesi olayında kaynak alandan ayrılan hareket eden bloğun topoğrafya üzerindeki hareketi yarı esnek çarpılma yaklaşımı ile iki boyutta (2D) veya üç boyutta (Sayısal yükseklik modeli üzerinde) çözümlenebilir.

Kaynak alandan ayrılan kaya bloğunun hareket izini kontrol eden en önemli faktör yamaç geometrisidir [16]. Kaya bloğunun, potansiyel enerjisi hareketi sırasında kinetik enerjiye dönüşürken, diğer taraftan topoğrafya üzerinde de enerji kayıpları yaşanır. Kaya bloğunun kinetik enerjisi tümüyle yitirildiğinde ise blok durur. Topoğrafya üzerindeki enerji (hız) kaybının büyüklüğü matematiksel olarak “geri verme katsayısı” (coefficient of restitution) ile kontrol edilir [16]. Temiz ve sert kaya yüzeyleri yüksek “geri verme katsayısı” ile tanımlanır, diğer bir ifadeyle topoğrafyaya çarpan kaya bloğuna enerjisi (hızı) büyük oranda geriye verilirken, toprak, çakıllı bloklu yüzeylerle ileri derecede bozunmuş granitik yüzeyler ise düşük “geri verme katsayısı” ile tanımlanır [16]. İki boyutlu düzlem üzerinde çözümlenmelerde bu katsayı “teğetsel ve normal geri verme katsayısı” olarak kullanılır. Toplam enerjiyi, enerji dönüşümünü ve sönümlenmesini kontrol eden diğer bazı faktörler ise bloğun büyüklüğü, eğik ve kaya bloğu ile topoğrafya arasındaki sürtünme katsayısıdır.

Tezin bu bölümünde, kaya dümesi olayına ilkin olarak topoğrafyaya çarptığı noktadaki kuvvetlere ait matematiksel ayrıntıya girilmemiştir. Gerek iki boyutta (topoğrafik kesit üzerinde) ve gerekse sayısal yükseklik modeli üzerinde kaya dümesi simülasyonu (benzetimini) modelleyen yazılımlar mevcuttur. Bu

yazılımlar, tek bir blo un topo rafya üzerindeki hareketini belirlemeye yönelik kullanılabilir i gibi, pek ço unda Monte-Carlo gibi çok sayıda blok hareketi benze imi ile olasılık yakla ımı da yapılabilir. ekil 3.1a'da Rockfall programı kullanılarak analiz edilen tek bir blo un hareketi görülürken, ekil 3.1b'de ise yine aynı program ile Monte-Carlo benze imi ile 100 blo a ait hareketler görülmektedir [16].



ekil 3-1 Rockfall programı kullanılarak analiz edilen (a) tek bir blo un hareketi ve (b) Monte-Carlo benze imi ile 100 blo a ait hareketleri [16].

3.2. Bölgesel Ölçekte Kaya Düşmesi Haritalarının Üretilmesi

Kaya düşmesi haritalaması konulu çalı malarda aktif kaynak alanların ve menzil mesafelerine ba lı olarak farklı olası etkilenme zonlarının olu turuldu u haritaların kimi zaman kaya düşme tehlikesi haritası (rock fall hazard map) olarak da adlandırılabilirdikleri görülmektedir. Yine heyelan literatüründe de sıkça vurgulandı ı üzere kaya düşme tehlike haritalarının üzerine ya amsal alanlar, evler, yollar, elektrik hatları vb. ekonomik de erlerin de i lenerek yorumlanmasıyla da kaya düşmesine yönelik risk de erlendirmesi (rock fall risk assessment) de yapılabilmektedir.

Larcher vd., [17] bölgesel ölçekte hazırlanacak kaya düşme tehlikesi haritalarının a a ıdaki sorulara yanıt verecek nitelikte olmasını önermektedir.

- a. Aktif kaynak alanlar nerelindedir?
- b. Sahadaki en büyük menzil mesafesi ne kadardır?
- c. Menzil mesafesine göre kaya düşmesi olayı, ya amsal alanlarındaki evler, alt yapı, elektrik hatları, yollar vb. unsurları etkiliyor mu?
- d. İnsan ya amsal alanları ile aktif kaynak alanlar arasında a a lık (orman) alanlar var mıdır?

Büyük ölçekte ve ayrıntıda çok iyi uygulanabilen ve bir önceki alt ba lıkta verilen iki boyutta veya üç boyutta yapılabilen klasik kaya düşme analizi yakla ımlarıyla, bu tür haritaların farklı morfolojilik unsurlardan olu an alanlarda bölgesel ölçekte (geni alanlarda) üretilmesi, pek çok girdi parametresi gerektirmesi ve buna ba lı olarak belirsizli in de artması nedeniyle, pratikte pek tercih edilmemektedir.

Buna kar ın gerek olası (potansiyel) kaynak alanların belirlenmesi ve gerekse olası yayılım zonlarının belirlenerek, daha önceki olaylardan yararlanan tecrübelerle göre geli tirilen ampirik yakla ımlarla sayısal yükseklik modelinden (Digital Elevation Model, DEM) itibaren bölgesel ölçekte kaya düşmesi haritalarının üretilmesi oldukça pratik ve etkili bir yakla ımdır. Ampirik temelli bu yakla ımlara yönelik kavramlar a a ıda alt ba lıklar halinde açıklanm ı tır.

3.2.1. Potansiyel (Olası) Kaynak Alanların Belirlenmesi

Kaya bloklarının harekete ba ladı ı kaynak alanlar dik topo rafik özelli e sahiptirler. Bu nedenle, saha çalı malarıyla kaynak alanların tüm çalı ma

sahasında özellikle çalı ma alanının büyüklü üne de ba lı olarak eksiksiz olarak haritalanması hemen hemen olanaksızdır. Kaynak alanların ayırtlanmasında sayısal yükseklik modelinden itibaren bu güçlü ün a ılmasına yönelik olarak uygulanabilecek iki yakla ım a a ıda özet olarak sunulmu tur.

3.2.1.1. Kaynak Alanların Belirlenmesinde Sınır E im Açısının Kullanımı

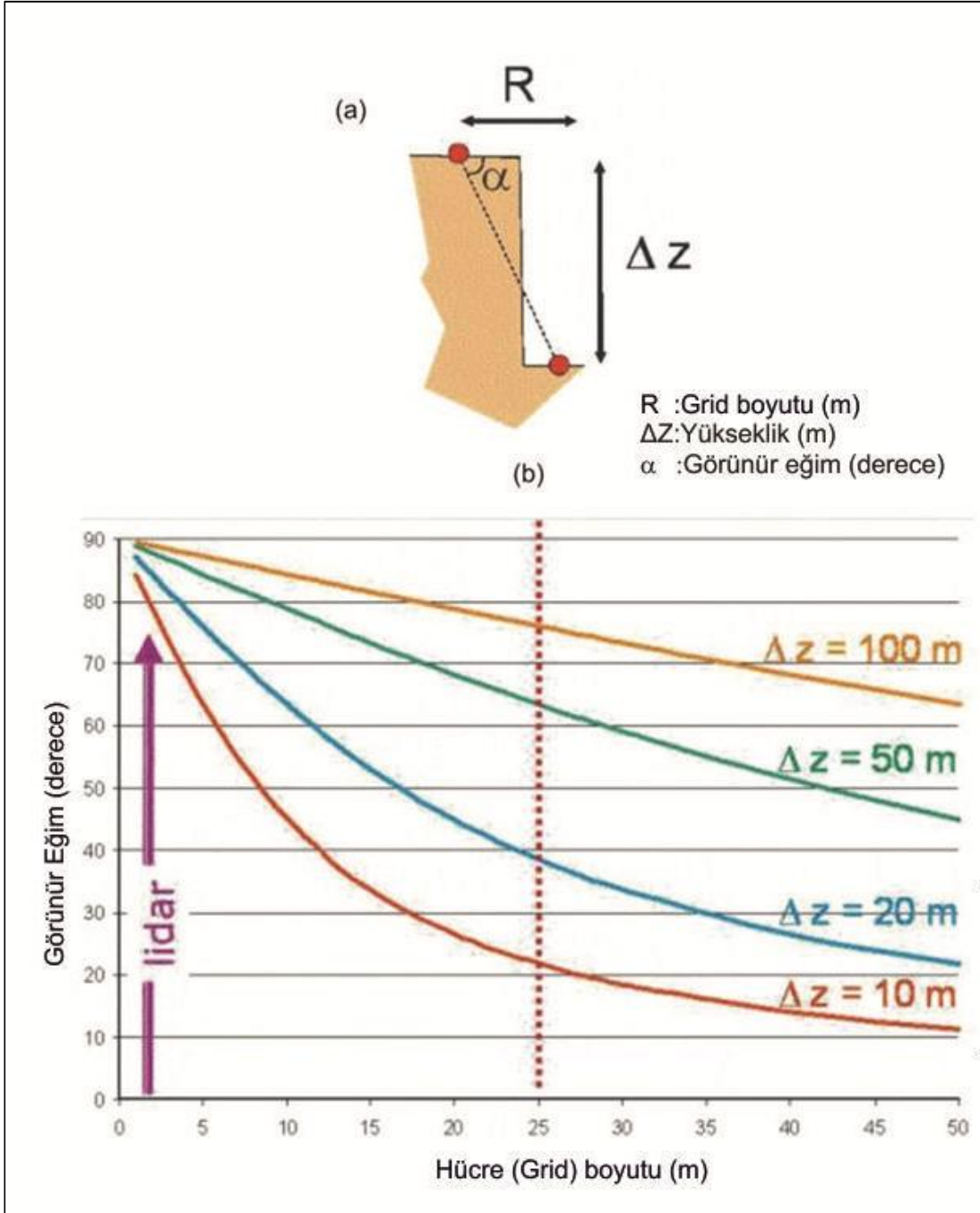
Tez çalı ması içerisinde sıklıkla vurgulandı ı üzere, kaya dü mesi olayının olu ması için aktif kaynak alanların dik topo rafyaya sahip alanlarda bulunması beklenir. Di er bir ifadeyle, dik topografik alanların belirlenmesi kaya dü mesi kaynak alanlarının belirlenmesi için ilk adım olarak kullanılabilir. Bu nedenle, bölgesel ölçekteki çalı malarda, belirli bir e imin üzerindeki alanlar kaya dü mesi açısından potansiyel kaynak alanlar olarak de erlendirilmektedir.

Bilindi i üzere, e im haritaları günümüzde sayısal yükseklik modelinden itibaren bilgisayar ortamında hazırlanmaktadır. E im haritalarındaki herhangi bir noktanın (pikselin) e imi ile gerçekte topo rafyadaki e imi arasındaki ili ki önemli ölçüde sayısal yükseklik modelinin çözünürlü üne ba lıdır. Sayısal yükseklik modelinin (DEM) çözünürlü üne ba lı olarak dik bir topo rafyanın görünür e iminin de i imi ekil 3.2'de görülmektedir. Sonuç olarak, kaya dü mesi potansiyel kaynak alanların belirlenmesinde seçilecek e imin de eri açısından DEM'in çözünürlü ü oldukça önemlidir.

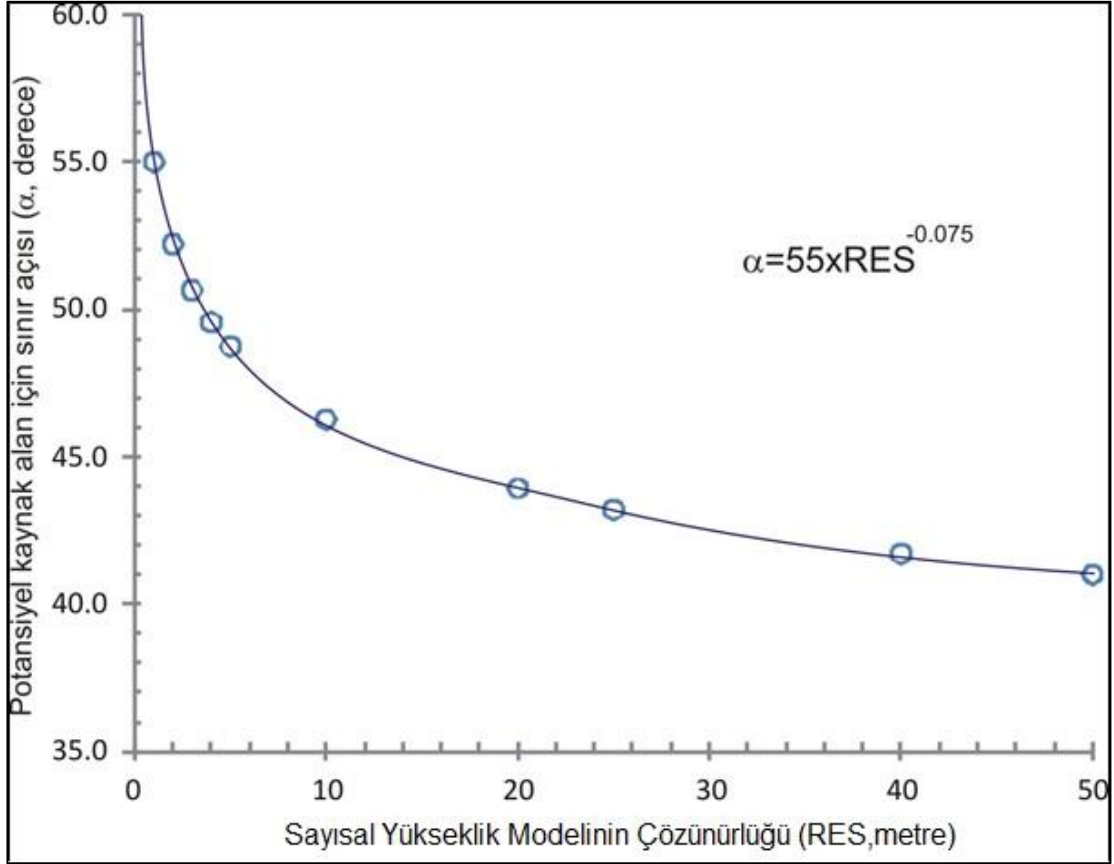
Potansiyel aktif kaynak alanların ayırtlanmasında kullanılabilecek sınır (en dü ük) e imin DEM'in çözünürlü e ba lı olarak a a ıdaki ampirik e itlikten belirlenebilece i literatürde vurgulanmaktadır [18]; [19].

$$\alpha = 55 \times R^{-0.0} \quad (\text{E itlik.3.1.})$$

Burada α (derece) potansiyel kaynak alanlar için sınır e im de eri, RES ise sayısal yükseklik modelinin çözünürlü üdür. Sayısal yükseklik modelinin farklı çözünürlük de erleriyle potansiyel kaynak alanların sahip olabilece i sınır e im de erleri arasındaki ili ki ise ekil 3.3'de görülmektedir.



ekil 3-2(a) Dik kaya yüzeyinin grid genişliğine bağlı olarak yüksekliği ile eğim açısı arasındaki ilişki, (b) Δz yüksekliğinde dik bir kaya yüzeyi için DEM'in grid boyutuna bağlı olarak görünür eğim grafiğidir.



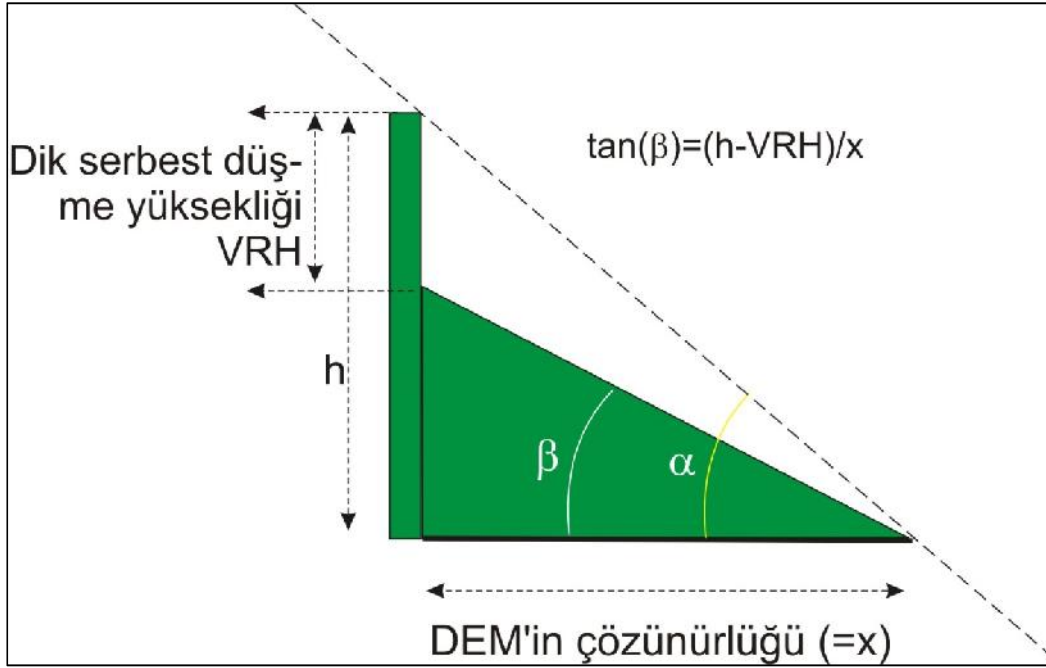
ekil 3-3 Sayısal yükseklik modelinin farklı çözünürlük de erleriyle aktif kaynak alanların sahip olabilece i sınır e im de erleri arasındaki ili ki (Dorren and Berger 2003).

Kaya dü mesine neden olan kaya bloklarının serbest kalabilecekleri kaynak alanlarının genellikle oldukça dik serbest yüzeye sahip oldu u görülmektedir. Dik serbest dü me yüzeyi de sayısal yükseklik modelinden (DEM) itibaren çözünürlü e ba lı olarak hesaplanan e im de erinde etkili olmakta olup, bu özelli i nedeniyle DEM'den itibaren potansiyel kaynak alanların ayırtlanmasında da etkili olabilmektedir.

Sonuç olarak potansiyel kaynak alanların DEM'den itibaren ayırtlanmasında seçilebilecek sınır e im de erinin dik serbest dü me yüksekli ine yönelik saha izlenimlerine ba lı olarak E itlik 3.1'den belirlenenden daha dü ük de erlere indirilmesi aktif kaynak alanların atlanmaması için dikkate alınabilmektedir. Dik serbest dü me yüksekli inin dikkate alınması durumunda da gerçekte aktif kaynak alan olmayan alanların da hatalı bir ekilde aktif kaynak alan olarak zonlanması da mümkündür. Bu nedenle, DEM kullanılarak herhangi bir sınır e im açısının

üzerindeki e im e sahip alanların aktif kaynak alanların belirlenebilmesine yönelik potansiyel alanlar oldukları unutulmamalı, aktif kaynak alanlar ise bu potansiyel alanlardan itibaren saha çalı maları, hava foto rafları vb. araçlarla do rulanmalıdır.

Saha gözlemleri sırasında dik serbest dü me yüksekli inin öngörülebilmesi durumunda, (3.1). nolu e itlikten hesaplanan sınır açı de erinden daha dü ük sınır açı de erleri (β) ekil 3.4'deki geometrik yakla ımla belirlenebilir.



ekil 3-4 Dik serbest dü me yüksekli inin (VHR) e im üzerindeki etkisi [17].

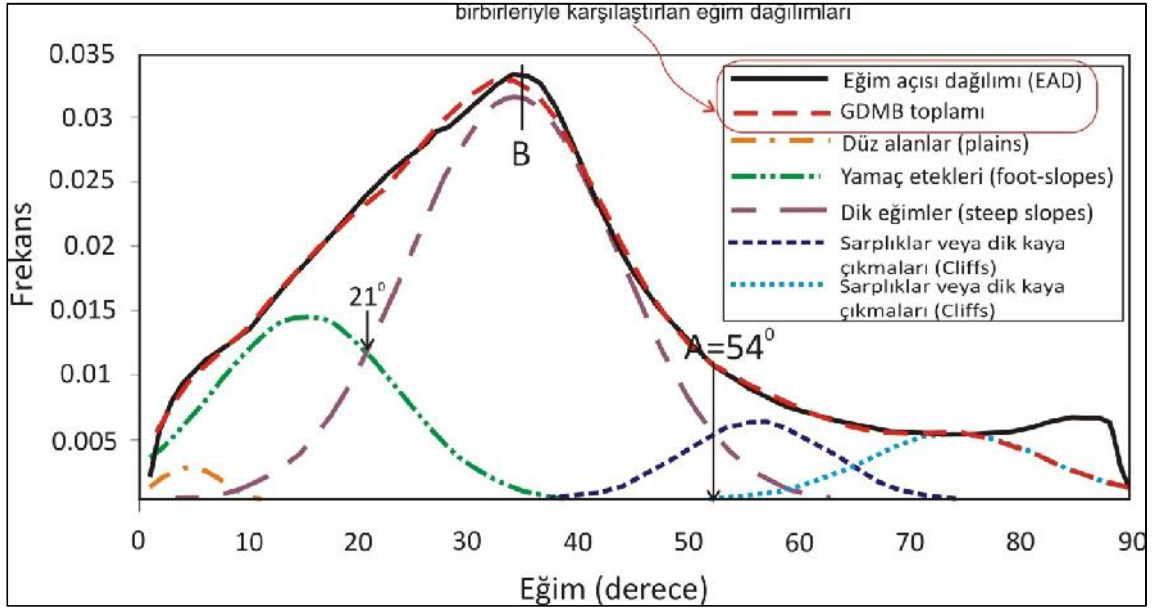
Bölgesel ölçekteki çalı malarda gerçekte var olan kaya dü melerinin aktif kaynak alanlarının atlanmaması için sayısal yükseklik modelinin çözünürlü üne ve dik serbest dü me yüksekli ine ba lı olarak dikkate alarak sınır açısı de eri dikkatlice seçilmelidir. Bu a amada saha gözlemleri, hava foto rafları, uydu görüntüleri vb. yöntemler birlikte kullanılmalı ve yorumlanmalıdır.

3.2.1.2. Kaynak Alanların Belirlenmesinde Morfolojik Birimlerin Kullanılması

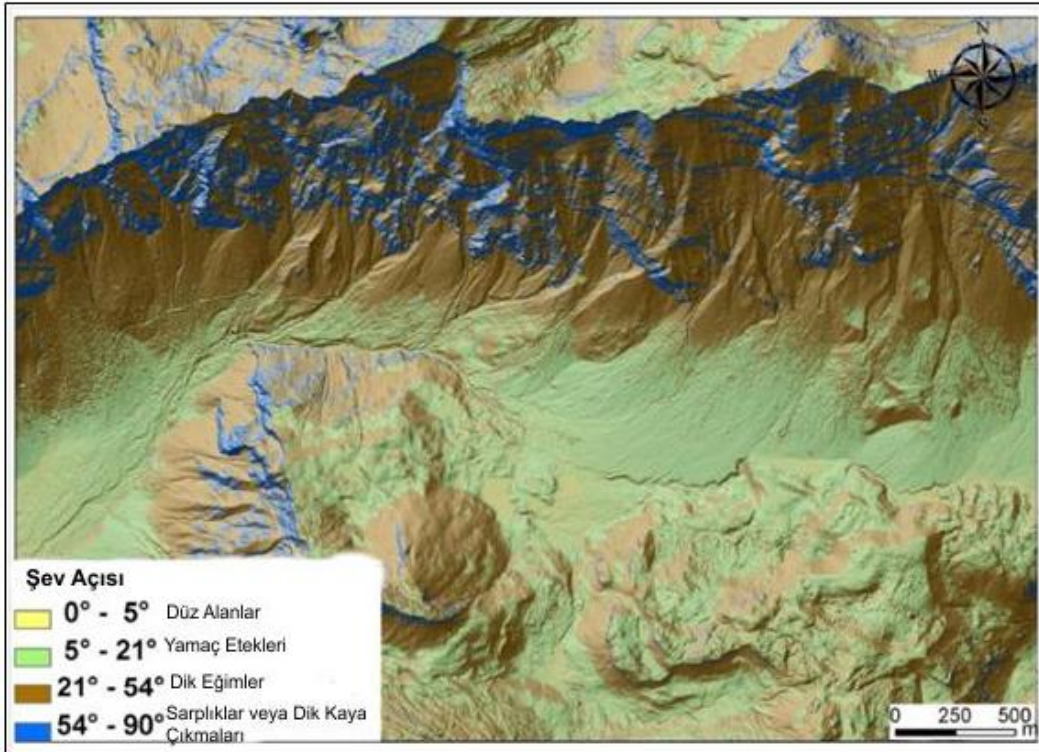
Sayısal yükseklik modelinden itibaren üretilen e im haritasındaki grid hücrelerinin e im de erlerinin frekans histogram grafi i (e im açısı da ılımı EAD) hazırlanarak farklı morfolojik yapıların sınıflandırılması bu yaklaşıminin temelini oluşturmaktadır. Strahler [20], çalılık alan bölgeye ait e im açısı da ılımının (EAD) istatistiksel olarak Gauss da ılımı (normal da ılım) ile modellenerek bu model üzerinde çalılık alan bölgeyi temsil eden morfolojik birimlere (MB; morphologic units) ayrılabilirliğini belirtmektedir [21]. Morfolojik sınıflama yönteminde e im açısı da ılımı (EAD) farklı morfolojik birimleri temsil eden Gauss da ılımlarına ayrılmaktadır. Bu morfolojik birimlerin (MB) aynı e im de erindeki frekans de erleri (GDMB) toplanır ve EAD'nin orijinal frekans da ılımı ile karşılaştırılır. Sonuçta ulaşılmak için bu karşılaştırmada hatanın minimize olması istenir. Bu nedenle, morfolojik birimleri (MB) temsil eden da ılım e rilerinin ortalama ve standart sapma gibi de erleri de iştirilerek hatanın minimize olması sağlanır (ekil 3.5). Bu yöntemi uygularken a a ıdaki dört morfolojik sınıf dikkate alınır [21].

- a.Düz alanlar (Plains): Düz ve e ime sahip alanlar
- b.Yamaç etekleri (Foot-slopes): Dik e imli alanların eteklerindeki az e imli alanlar
- c.Dik e imler (Steep slopes): Yamaç molozu ve bazı kaya çıkıntılarının gözlemlendi i nispeten yüksek e imli alanlar
- d.Sarplıklar veya dik kaya çıkıntıları (Cliff): Çok dik ve sadece kaya çıkıntılarının gözlemlendi i alanlar

Yukarıda kısaca özetlenen morfolojik birimlerin sınıflandırılmasına yönelik örnek bir frekans da ılımı ekil 3.5'de sunulmuştur. Bu örnekte aynı isimle sınıflanan son iki morfolojik birim (Dik e imler ve Sarplıklar veya dik kaya çıkıntıları) aktif kaya dümesi kaynak alanlarını oluşturabilme potansiyeline sahip olup, "A" noktası aktif kaynak alanların belirlenmesi için sınır e im de eri olarak kullanılabilir (Loye vd.,[39] 2009). $A=54^\circ$ sınır de eri kullanılarak, Loye [21] tarafından hazırlanan "Les Diablerets Alpin" bölgesi için aktif kaynak alanlar ise ekil 3.6'da görülmektedir.

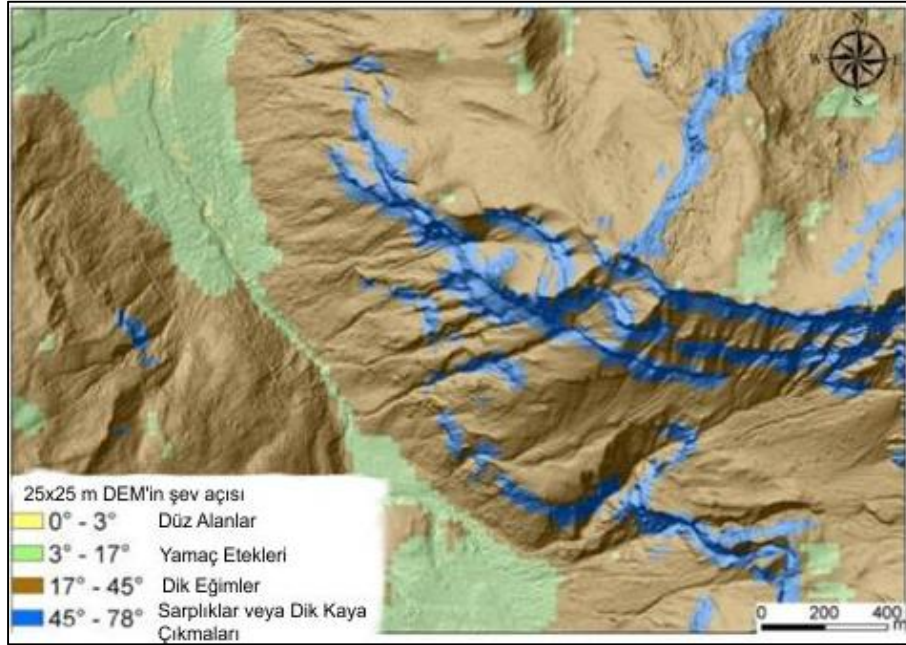
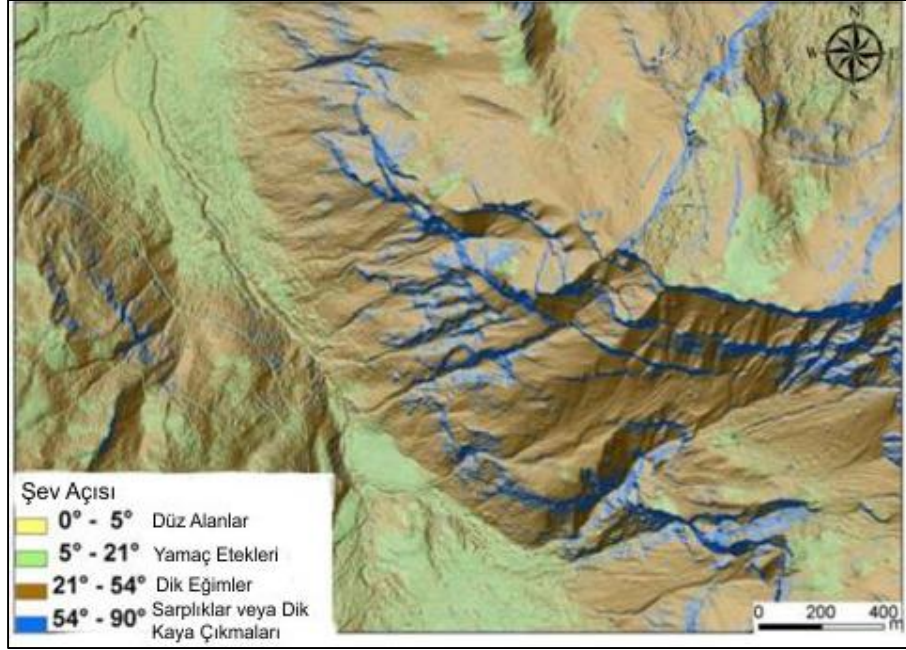


ekil 3-5 “Les Diablerets Alpin” vadisindeki topo rafaaya ait morfolojik birimlerin Gauss Da ılımları (GDMB) ile e im açısı da ılımı (EAD) e rileri [21].



ekil 3-6 “Les Diablerets Alpin” bölgesindeki morfolojik birimlerin (MB) yüksek çözünürlüklü sayısal yükseklik modelinden (HRDEM) üretilen e im haritasındaki da ılımı [21].

Kaya dümesi aktif kaynak alanların belirlenmesinde morfolojik sınıflamanın kullanımında da sayısal yükseklik modelinin çözünürlüğü oldukça etkili olup, Loyer [21]'in çalışmaları bu etkiyi göstermek amacıyla, yöntemi 25x25 metre ve 1x1 metre (HRDEM) çözünürlüklü sayısal yükseklik modellerini kullanarak tekrarlamışlardır (ekil 3.7)



ekil 3-7 1x1 m (HRDEM) ve 25x25 m çözünürlük için morfolojik birimlerin sınırları ve eğim açıları kullanılarak ayrıntılı olarak çizilen haritalar [21].

3.2.2. Menzil Mesafesinin (Run-out Distance) Belirlenmesi

Kaya dümesi analizleri kaya bloğunun harekete başladığı lokasyondan itibaren ilk hareketi sağlayan düük hızı, kaya bloğunun ağırlığı, kaya bloğunun eğli, yüzeyin jeolojisi, iki boyutta (2D) yamaç profili veya üç boyuttaki yüksek çözünürlükte sayısal yükseklik modeli (DEM, 3D topo rafya), teetsel ve normal geri verme katsayıları gibi çok sayıdaki girdi parametreleri kullanılarak yapılabilir. Bu analizlerle kaya bloğunun hareketi sırasındaki hızı, kinetik enerjisi, bloğun hareketinin izi, menzil mesafesi (run-out distance) gibi çıktılar alınabilir.

Yukarıdaki çok daha fazla girdi parametresinin kullanımını gerektiren kaya dümesi analizlerin yanı sıra veriye ve tecrübeye dayalı olarak geliştirilen ampirik yaklaşımlarla da kaya bloklarının menzil mesafelerinin belirlenmesi mümkündür. Bu amaçla, literatürde yaygın olarak “Enerji Çizgi Açısı (Energy Line Angle)” ve “Gölge Açısı (Shadow Angle)” kavramları kullanılmaktadır.

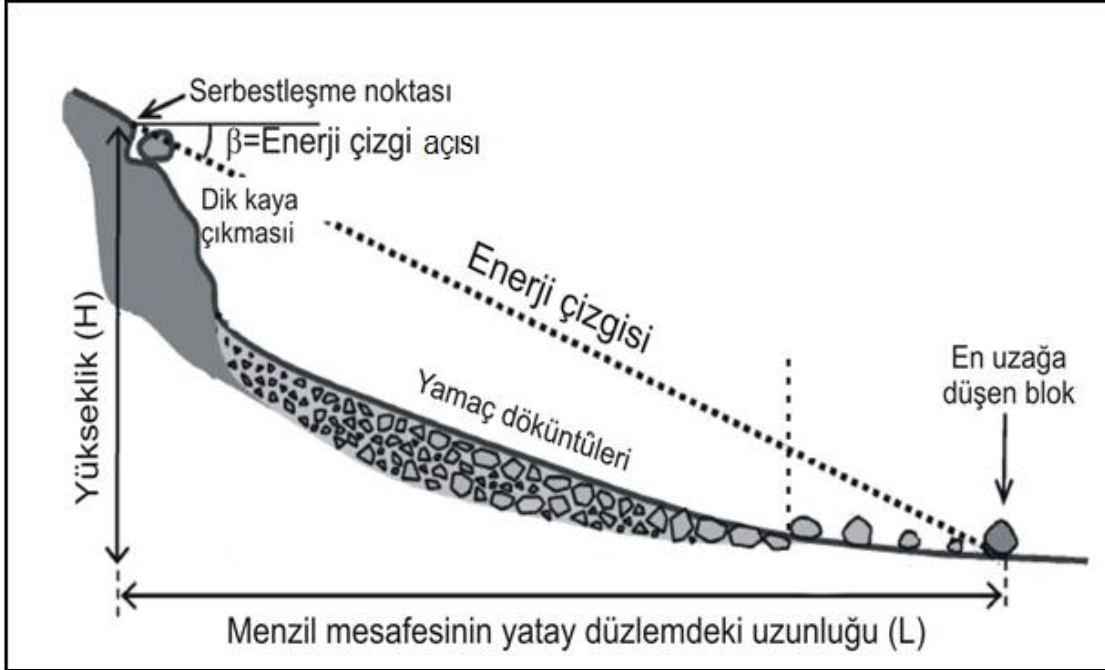
Bu iki açının kullanıldığı haritalama yöntemi oldukça basit olup, genel anlamda da kabul edilebilir sonuçlar üretmektedir. Sadece sayısal yükseklik modeli ve kaynak alan haritası olarak iki girdi kullanılması yöntemin en önemli avantajı ve pratik de eridir. “Enerji Çizgi Açısı (Energy Line Angle)” ve “Gölge Açısı (Shadow Angle)” yaklaşımları aşağıda açıklanmıştır.

3.2.2.1. Enerji Çizgi Açısı (Energy Line Angle) Kavramı

Literatürde ulaşma açısı veya enerji çizgi açısı olarak bilinen bu ampirik yöntemde kaya bloğunun enerjisi ile menzil mesafesi (run-out distance) arasında bir ilişki olduğu kabul edilir [22]. Sayısal yükseklik modeli (DEM) üzerinde menzil mesafesine bağlı olarak kaya dümesinin etkili olabileceği alanlar “Enerji Çizgi Açısı” (Energy Line Angle, ELA) kavramı kullanılarak coğrafik bilgi sistemi (CBS) ortamında kolaylıkla haritalanabilmektedir.

İlk defa Heim [23] enerji çizgi açısı kavramını menzil mesafesinin (run-out distance) belirlenmesi için önermiştir. Bu önerisini kaya dümesi olayının geliştiği alanlardaki daha önceden düümü olan kaya bloklarına yönelik gözlemlerine dayandırmıştır. Enerji çizgi açısı kavramında, kaya bloğunun serbest kaldığı noktadan başlayan belirli bir açı ($\beta = \arctan(H/L)$) ile eğim ağırlığı uzatılan do runun

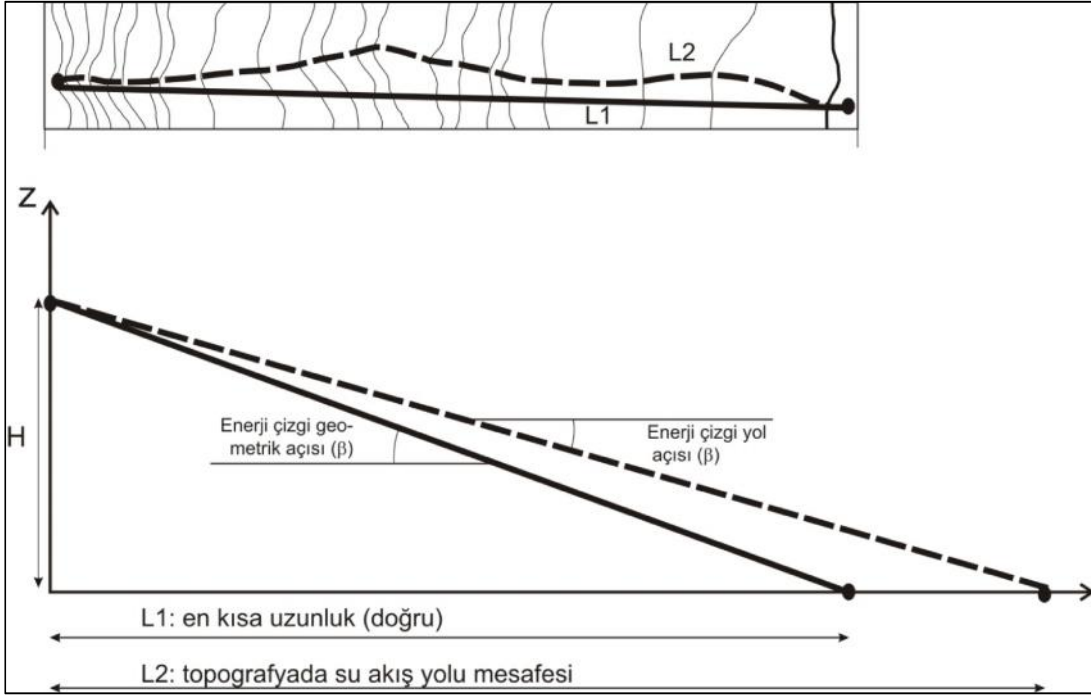
(enerji çizgisi) topo rafyayı kesti i nokta menzil mesafesi olarak belirlenir (ekil 3.8).



ekil 3-8 Enerji Çizgi Açısı (β) kavramı [22]

Heim [23] kaya blo unun serbest kaldı ı nokta ile kaya blo unun duraca ı son nokta arasındaki düz çizginin e imi ile ifade edilen enerji çizgi açısının (Enerji Çizgi Geometrik Açısı) yanı sıra, serbest kaldı ı nokta ile kaya blo unun duraca ı son nokta arasındaki topo rafa üzerinde e im a a ı su akı ı çizgisinin uzunlu unun dikkate alındı ı enerji çizgi açısıyla (Enerji Çizgi Yol Açısı) da menzil mesafesinin belirlenebilece ini ifade etmi tir. Genel olarak Enerji Çizgi Yol Açısı nispeten daha dü ük açılar sunmakta olup, aralarındaki farkın dü ük olması ve kullanım prati inden dolayı ço unlukla Enerji Çizgi Geometrik Açısı tercih edilir (ekil 3.9).

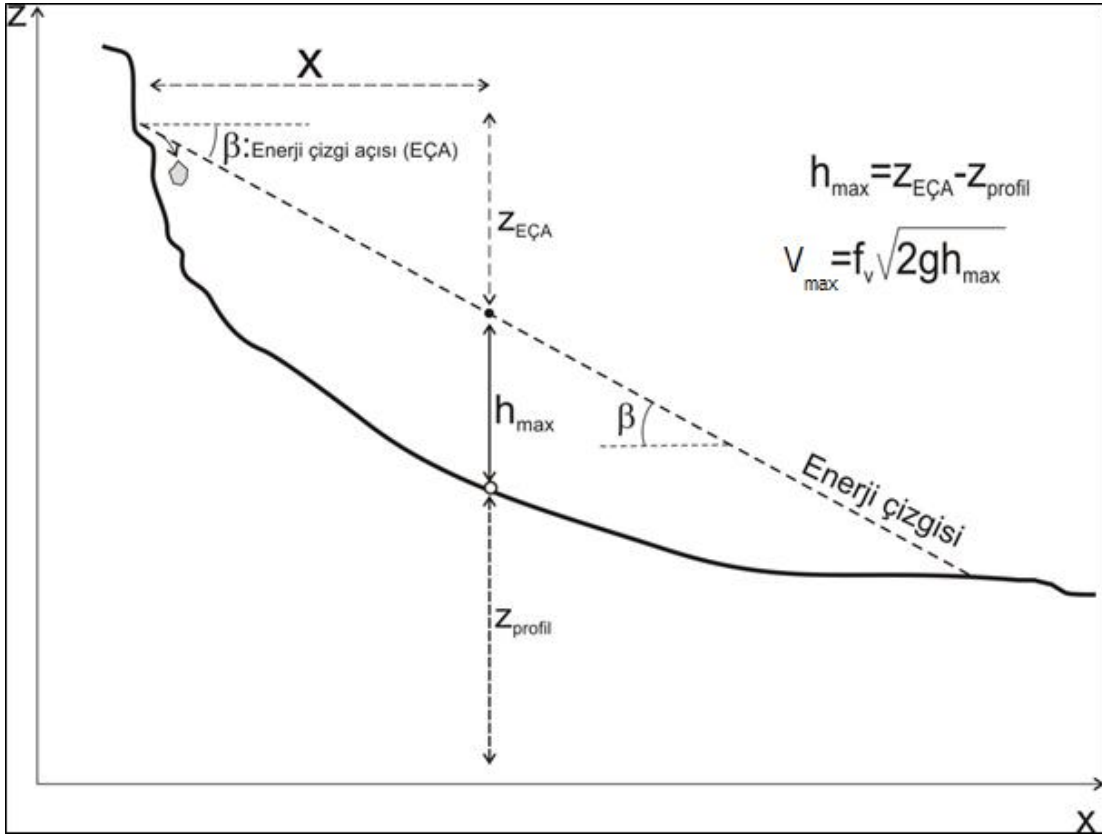
Heim [23] tarafından önerilen enerji çizgi açısı kavramına ili kin pek çok ara tırmacı farklı sahalarda gözlemler ve ölçümler yapmı lar ve bu açının belirli bir aralıkta de i ti ini belirlemi lerdir. Yüksek pratik de eri nedeniyle bu ampirik yakla ım bölgesel ölçekteki de erlendirmelerde kaya dü mesi menzil mesafelerinin belirlenmesinde de yaygın bir kullanım alanı bulmu tur.



ekil 3-9 Enerji Çizgi Geometrik Açısı ve Enerji Çizgi Yol Açısı kavramları [17].

ekil 3.10'da da ifade edildi i üzere, menzil mesafesinin yanı sıra enerji çizgisiyle yamaç profili arasındaki kot farkları (Δh) kullanılarak, toplam enerjinin korunumu ve potansiyel enerjinin kinetik enerjiye dönü ümü ilkeleri dikkate alınarak kaya blo unun hızı da hesaplanabilir (Dorren ve Berger [18]; Jaboyedoff ve Labiouse [24]). Bu hesaplamada f_v hız için bir düzeltme (kayıp) faktörüdür. Kaya blo unun rotasyonel hareketine ba lı olarak dü en blo un kinetik enerjideki kaybının %20 kabul edilmesi durumunda $f_v=0.9$ ($=\sqrt{0.8}$) alınmasının uygun olaca ı belirtilmektedir (Gerber [25]; Jaboyedoff ve Labiouse [26]; Jaboyedoff ve Labiouse [24]). Kot farkının en büyük oldu u durumda (Δh_{max}) ise kaya blo unun en yüksek hızı hesaplanmı olur. Dü en kaya blo unun kütlesinin bilinmesi durumunda ise hız ve kütleye ba lı olarak kinetik enerjinin de hesaplanması mümkündür.

Kaynak bölgeden serbest kalan kaya blo unun menzil mesafesinin gerçekçi bir ekilde belirlenmesinde en önemli husus enerji çizgi açısının (β) saha gerçe ine uygun olarak seçilmesidir.



ekil 3-10 Enerji çizgi geometrik açı do rusu ve yamaç profiline ba lı olarak kaya blo nun hızının hesaplanması (Dorren ve Berger [18]'den de i tirilerek alınmı tır).

Özellikle aktif kaynak alanların e im a a ı kesimlerinde a açıklık (ormanlık) alanların varlı ı dü en kaya bloklarının önünde bariyer olu turabilmesi nedeniyle menzil mesafelerinin azalması yönünde faydalı olmaktadır.

Daha önce de belirtildi i üzere, bölgesel ölçekteki haritalamalardaki pratik de eri nedeniyle pek çok ara tırmacı tarafından sahada gözlemler yapılmı olup enerji çizgi açısının alabilece i de erler için açı de eri aralıkları önerilmi tir (Çizelge 3.1).

Serbest kalan kaya bloklarının ula abilece i etki alanlarının farklı duyarlılıklarda zonlanabilmesi için enerji açısı kavramı etkili bir parametre olarak kullanılabilmektedir. Literatürdeki pek çok ara tırmadan da görülece i üzere Enerji çizgisi açısı belirli bir aralıkta de i im sergilemektedir.

Çizelge 3-1 Literatürde enerji çizgi açısı için önerilen açı de er aralıkları [17].

Yazar Adı	Enerji çizgi açısı için önerilen açı de erleri (Parantez içerisindeki Geometrik Açı)	
	En Dük De er Aralı ı	Ortalama De er
Shreve[27].	(26.57° - 38.66°)	–
Onofri ve Candian [28].	28.34° - 40.73° (28,84 ° - 41,73°)	–
Grunder [29].	32.6° - 33.4° (33.1° - 34.4°)	–
Domaas [30] ve Toppe [31].	32° (33°)	–
Gerber [25].	33° - 37° (33.5° - 38°)	–
Meissl [32].	29° - 47,5° (29.5° - 48.5°)	38° (38°)
Heinimann vd. [33].	33° - 37° (33.5° - 38°)	–
Ayala-carcedo vd. [5].	(29.1° - 38.9°)	(31,9°)
Jaboyedoff ve Labouise [26].	32° (33°)	–
Jaboyedoff ve Labouise [24].	(32,6° - 35,6°)	34°
Corominas ve di . [34].	26° - 54° (27° 55°)	–
Dorren ve Berger [18].	31.3° - 37° (31.9° - 38 °)	–
Copons vd. 1.A ama [22].	(36.87° - 56,3°)	–
Copons vd. 2.A ama [22].	(28.81° - 42.0°)	–
Scheidegger [35].	(29.68° - 39,69°)	–
Marquinez vd. 1.A ama [6].	(32.5° - 40.9°)	(31.5° - 40.2°)
Marquinez vd. 2.A ama [6].	(29.4° - 38.5°)	
Deparis vd. [36].	(31,61° - 47,20°)	–
Hyndman ve Hyndman [37].	(33°)	–
Berger vd. (orman) [38].	(27.67° - 33.88°)	–
Berger vd. (orman hariç) [38].	(31.32° - 37.86°)	–
Berger vd. [38].	(32.57° - 48.99°)	–

Bu de i im aralıkları, kaynak alandan e im a a ı uzanan topo rafyaya, kaya blo unun a ırlı ına, ekline, jeolojik özelliklere, kaya blo u ile topo rafya arasındaki sürtünme direncine, normal ve tetsel enerji geri verme oranları, e im a a ı bitki örtüsü ve a açlık alanların varlı ı gibi çok sayıdaki de i kene ba lıdır.

Enerji çizgi açısı ile menzil mesafesi bir birleriyle ters ili kili olup, literatürdeki çalı malar incelendi inde enerji çizgi açısı de erinin genel olarak $\sim 25^0$ ile $\sim 50^0$ arasında de i ti i görülmektedir. Çizelge 3.2'de verilen enerji çizgi açı sınıfları kaya dü mesi haritalamalarında farklı yo unlukta etkilenebilecek alanlarının zonlanması, di er bir ifadeyle kaya dü mesi açısından duyarlılık haritalarının üretilmesinde dikkate alınabilir [17]. Bununla birlikte, saha çalı malarıyla yapılan

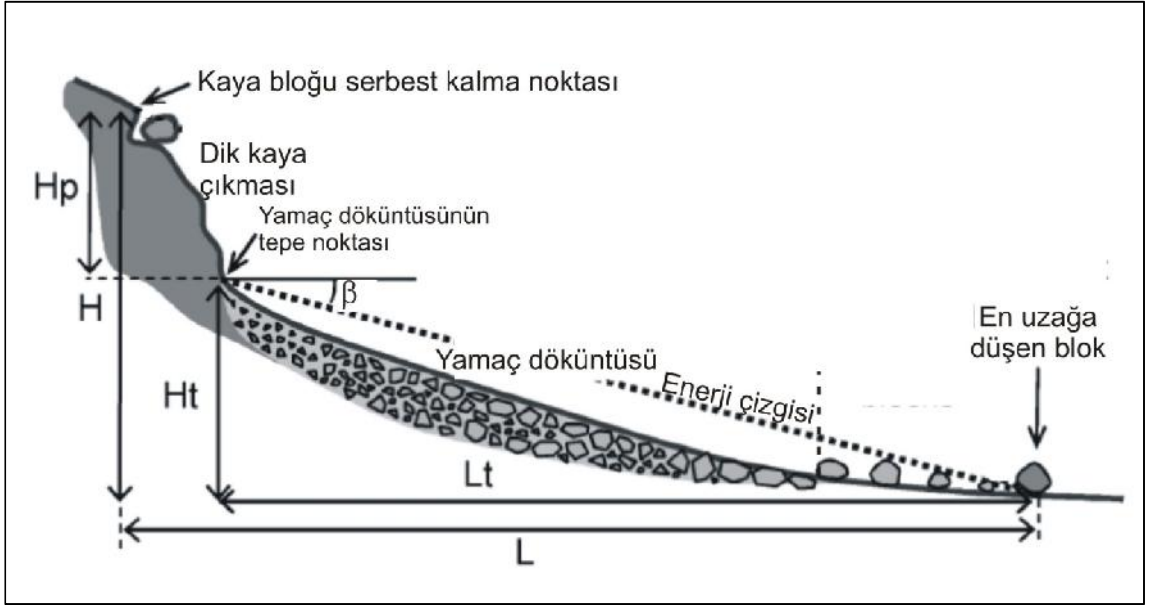
gözlemler dikkate alınarak çalılıan saha özelinde farklı enerji çizgi açısı değerleri kullanılabilir.

Çizelge 3-2 Enerji Çizgi Açısı kavramı ile kaya düşmesi haritalamasında kullanılacak sınıflar [17].

Enerji Çizgi Açısı	Sınıfı
$38^\circ < \beta$	Yüksek
$35^\circ < \beta < 38^\circ$	Orta
$32^\circ < \beta < 35^\circ$	Düşük
$28^\circ < \beta < 32^\circ$	Çok düşük

3.2.2.2. Gölge açısı (Shadow Angle) Kavramı

Kaya bloklarının düşmesi sırasında genellikle dik bir kaya yüzeyinden serbest düşme ile dik topoğrafyanın eteklerine düşmekte ve eim a a hareketine devam etmektedir. Gölge açısı kavramında kaya bloğunun serbest kaldığı nokta yerine dik topoğrafyadan serbest düşme ile çarptığı nokta başlangıç olarak dikkate alınır. Diğer bir ifadeyle, gölge açısı kavramında dik kaya yüzeyinden eim a a kesimde yamaç döküntüsüne bağlı olarak eimin azaldığı kesimin tepe noktasından (apex of talus slope) kaya bloğunun ulaşabileceği en uzak noktası arasındaki do runun yatayla yaptığı açı değeri gölge açısı ($\beta = \text{atan}(Ht/Lt)$) olarak tanımlanır (ekil 3.11).

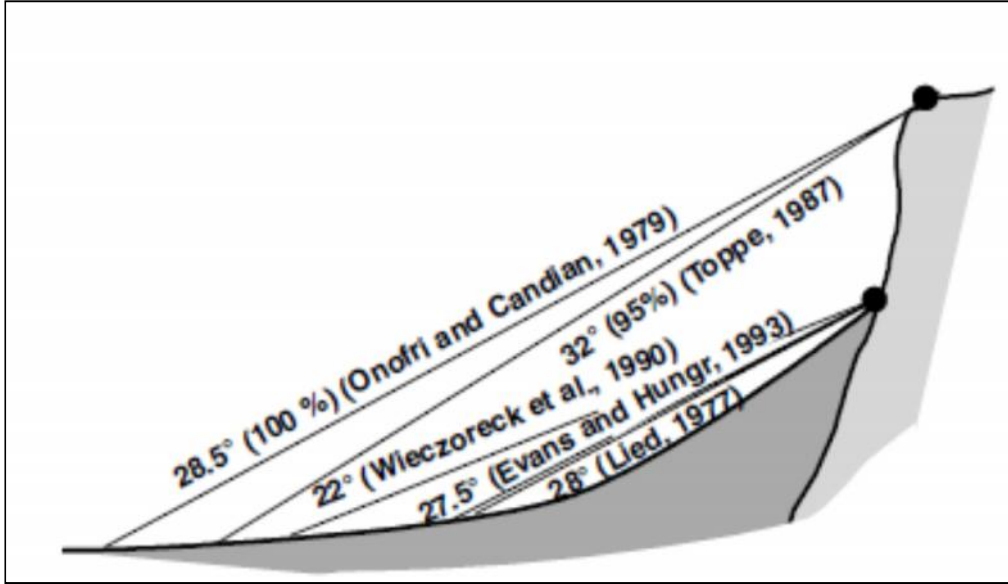


ekil 3-11 Gölge Açısı (β) kavramı [22].

Evans ve Hungr [38] kaynak alandan serbest düşme hareketi ile düşen bloğun kazandırdığı kinetik enerjinin büyük bir kısmının yamaç döküntüsüne bağlı olarak emimin azaldığı kesimde (talus slope) sönmüldüğünü belirtmektedirler. Bu nedenle, bu ara tırmacılar kaya bloğunun hareketinin bu çarpı madan sonraki durumunu ifade ettiğini dikkate alarak menzil mesafesinin (run-out distance) belirlenmesinde gölge açısının da kullanılabileceğini belirtmektedirler. Gölge açısı da enerji çizgi açısı gibi belirli bir aralıkta değişerlabilmektedir. Lied [39] çalılık masında gölge açısının 28° ile 30° arasında değişer aldığını belirlerken, Evans ve Hungr [38] ise on altı kaya düşmesi olayını de erlendirdikleri çalılık malarında gölge açısı için ortalama 27.5° değerini belirlemiştir. Wiczorek vd. [40] Yosemite vadisinde 25 kaya bloğuna ilişkin gözlem ve de erlendirmeleri sonucunda ortalama ve en düşük gölge açısı değerlerini 22° ve 26° olarak belirlemiştir. Meissl [41], Almanya ve Avusturya Alplerindeki gözlemlerinde gölge açısını 31.5° olarak belirlerken, Copons [22] Sol'a d' Andorra'daki çalılık masında gölge açısının 27° düzeylerinde olduğunu en düşük gölge açısı değerinin ise 25.5° olduğunu belirtmiştir. Literatürdeki bu değerlerin yanı sıra, yüzeyin otlak, çim veya karla kaplı olması gibi özel durumlarda veya yamaç döküntüsü gibi yüzey özelliklerine sahip alanlarda gölge açısının daha da düşük değerler alabileceği de bazı çalılık malarda belirtilmiş olup, Evans ve Hungr [33], Domaas [42] ve Holm ve

Jakob [43] tarafından yapılan çalı malarda da da 24°, 17° ve 21° gibi daha dü ük gölge açısı de erleri de belirlenmi tir.

Enerji çizgi açısı ve gölge açısı için genellikle tercih edilebilecek bazı literatür de erleri ise ekil 3.12'de görölmektedir.



ekil 3-12 Enerji çizgisi açısı (tepeden) ve gölge açısı (dik topo rafyanın bitiminden) kavramları için bazı literatür de erleri [26].

3.2.3. Kaya Dü mesi Haritalarında Yayılım Zonlarının Belirlenmesi

Kaya dü mesi olayında kaynak alanlardan e im a a ı yönde serbest kalabilecek kaya blo unun ula abilece i en uzak mesafe (menzil mesafesi) kaya blo unun kaynak alandaki kotuna ba lı olarak sahip oldu u potansiyel enerjisi ile hareketin üzerinde devam edece i topo rafyanın morfolojisi ve yüzey özellikleri tarafından denetlenmektedir. Sayısal yükseklik modeli üzerinde aktif kaynak alandaki her bir hücreden serbestle ebilecek kaya blo unun üç boyutlu topo rafyadaki hareketi e im a a ı alanda eri ebilece i alandaki (yayılım zonu, release zone) tüm hücreleri etkileyebilir.

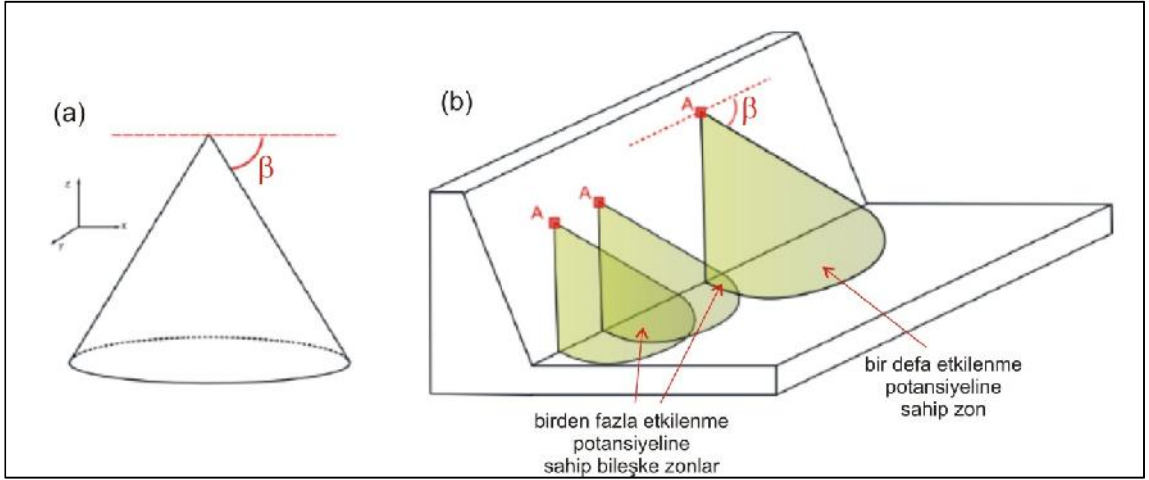
DEM üzerinde olası yayılım zonunun belirlenmesinde öncelikli olarak saha özelini yansıtan bir enerji çizgi açısı (EÇA) veya gölge açısı (GA) de erinin veya aralı ının belirlenmesidir. Serbest kalan kaya blo u EÇA'ya veya GA'ya ba lı olarak e im a a ı çizgisel bir do ru boyunca yüzey topo rafyasında ba lı olarak belirli bir alanı etkileyebilecek potansiyele sahip olup, bu alan hareketin ba ladı ı

nokta (hücre) için yayılım zonu olarak tariflenir. Bu yaklaşım konik yayılım yönteminin temelini oluşturur.

Kaya dümesi haritalamalarında yaygın olarak kullanılan konik yayılım (cone propagation) yaklaşımı Jaboyedoff ve Labiouse [26] tarafından önerilmiştir. Konik yayılım yaklaşımında enerji çizgi açısı veya gölge açısı kavramlarına göre kaynak alandan dümen kaya bloğunu temsil eden hücrede düey konumda β açısı ile düey bir koni çizilir, düey koninin eim a a ı kesimdeki topoğrafyayla ara kesiti ile oluşan alan ise yayılım zonu olarak haritalanır (ekil 3.13). Kaya bloğunun hareketinin başlangıç noktası için belirlenen yayılım zonunda kalan tüm alan kaya dümesinden etkilenebilir potansiyeline sahiptir. Tek bir nokta (hücre) için yapılan bu işlem kaya dümesine başlangıç oluşturabilecek kaynak alandaki tüm hücrelerden çizilecek düey konilerle tekrarlanır.

DEM üzerinde kaya bloğunun serbest kalabileceği her bir nokta için yapılan tekrarlama sonucunda, eim a a ı uzanan topoğrafyada bir nokta en az bir defa yayılım zonu içerisinde kalıyorsa kaya dümesine duyarlı olduğu söylenebilir. Ancak, bu nokta birden fazla yayılım alanından etkilenebilir ki bu kaya dümesi açısından frekansın dolaylı olarak bir ifadesidir (ekil 3.13). Bu yaklaşım ile kaya dümesi sayısı da kullanılarak dolaylı olarak tehlikeye geçebilmek de mümkündür.

Düey konik yayılım yaklaşımında eim a a ı yayılım zonu yatay düzlemde $\pm\delta$ açısı ile sınırlanabilir. Bu sınırlama vadi vb. alanlarda gerçekçi olmayan geniş yayılım alanlarını sınırlamak amacıyla dikkate alınabilir.



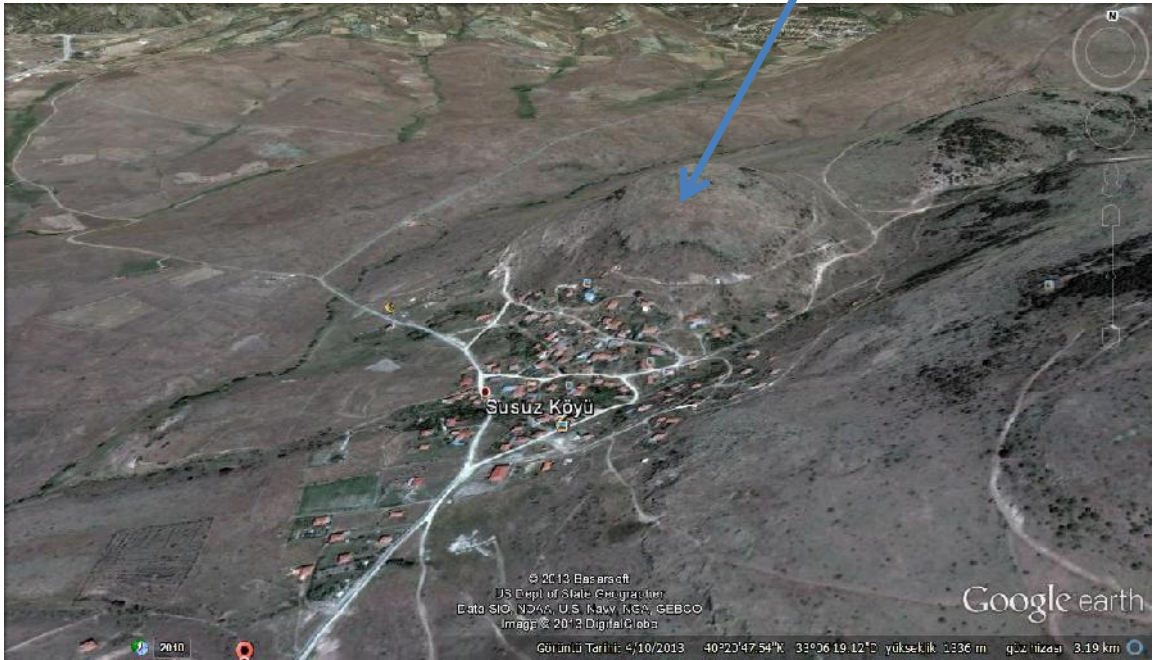
ekil 3-13 Jaboyedoff ve Labiouse [26] tarafından önerilen konik yayılım yaklaşımında (a) β açısına sahip dü ey koni, (b) β açısına sahip koni ile topo rafyanın ara kesiti Derron [44].

4. ÇALI MA SAHASININ TANITIMI

4.1. Co rafik Konum, klim ve Bitki Örtüsü

Teze konu olan çalı ma alanı, 40°20'49.43" ile 40°20'56.64" kuzey enlemleri, 33°06'20.80" ile 33°06'28.94" do u boylamları arasında yer almaktadır (ekil.4.1). Çalı ma alanın bulundu u Çubuk ilçesi, ç Anadolu Bölgesinin Yukarı Sakarya bölümünde yer alan, kuzeyden Çankırı iline ba lı abanözü ve Orta ilçeleri, batıdan Ankara iline ba lı Kızılcahamam ve Kazan ilçeleri, do udan ise Kalecik ve Akyurt ilçeleri ile çevrilidir. Çalı ma alanının güneyinde ise Ankara merkezinde yer alan Keçiören ve Yenimahalle ilçeleri bulunur. Çubuk lçesi, Karadeniz Bölgesi ile ç Anadolu Bölgesinin geçi alanını olu turan; Köro lu da larının güney uzantıları arasında kalan ova ve platoluk bir sahadan olu maktadır. Ankara ilinin kuzeydo usunda yer alan bu saha; bugün her ne kadar da ı olarak ifade edilse de a ınarak birer a ınım yüzeyi veya birer yüksek plato özeli inde olan kütlelerle çevrilidir. Günümüzde köy veya beldelerin bulundu u bu platolar aynı zamanda birer yayla özelli i ta ımaktadır. Ortalama yükseklikleri 1400 metreyi bulan, birer yüksek plato özelliindeki Karya dı ve Mire da ları lçenin batısını olu tururken, lık da ı ve Aydos Da ı 1500 metreyi geçen yükseltisiyle ilçeyi kuzeyden ku atır. lçenin en yüksek da ı dris Da ı'dır. Yüksekli i 1.985 m'dir. Di erleri ise yüksekli i 1.880 metre ile Aydos Da ı ve 1.661 metre ile Karya dı Da ı'dır [45].

Çubuk ilçesinin iklimi bulundu u co rafi konumundan dolayı bir geçi iklimi özelli i gösterir. Orta Anadolu'nun tipik karasal iklimi ile Karadeniz bölgesinin nemli iklimi arasında bir geçi özelli indedir. Yazları sıcak ve kurak olan iklim, kı ları so uk ve ya ılıdır. Ya ı lar kı ın genellikle kar eklindedir. Ba lı bulundu u Ankara iline göre daha ya ılı olan Çubukta yıllık ya ı miktarı lçe merkezinde 401 mm. iken kuzeye gidildikçe bu miktar 448 milimetreye ula maktadır. Halbuki Ankara'nın yıllık ya ı miktarı 360 mm de kalmaktadır. En fazla ya ı Kı ın dü erken bunu ilkbahar mevsimi izlemektedir. En ya ılı ay ise 59 mm ile Mayıstır. Yıllık sıcaklık de erlerine bakıldı ında; kı sıcaklıklarının dü ük, yaz sıcaklıklarının ise yüksek oldu u görülür. Yaz sıcaklık ortalaması 17 derece iken, kı sıcaklık ortalaması 0 (sıfır) dereceye yakındır. Yılık ortalama sıcaklık 10 derece civarındadır. Havanın donlu oldu u gün sayısı 100'ü geçmektedir.

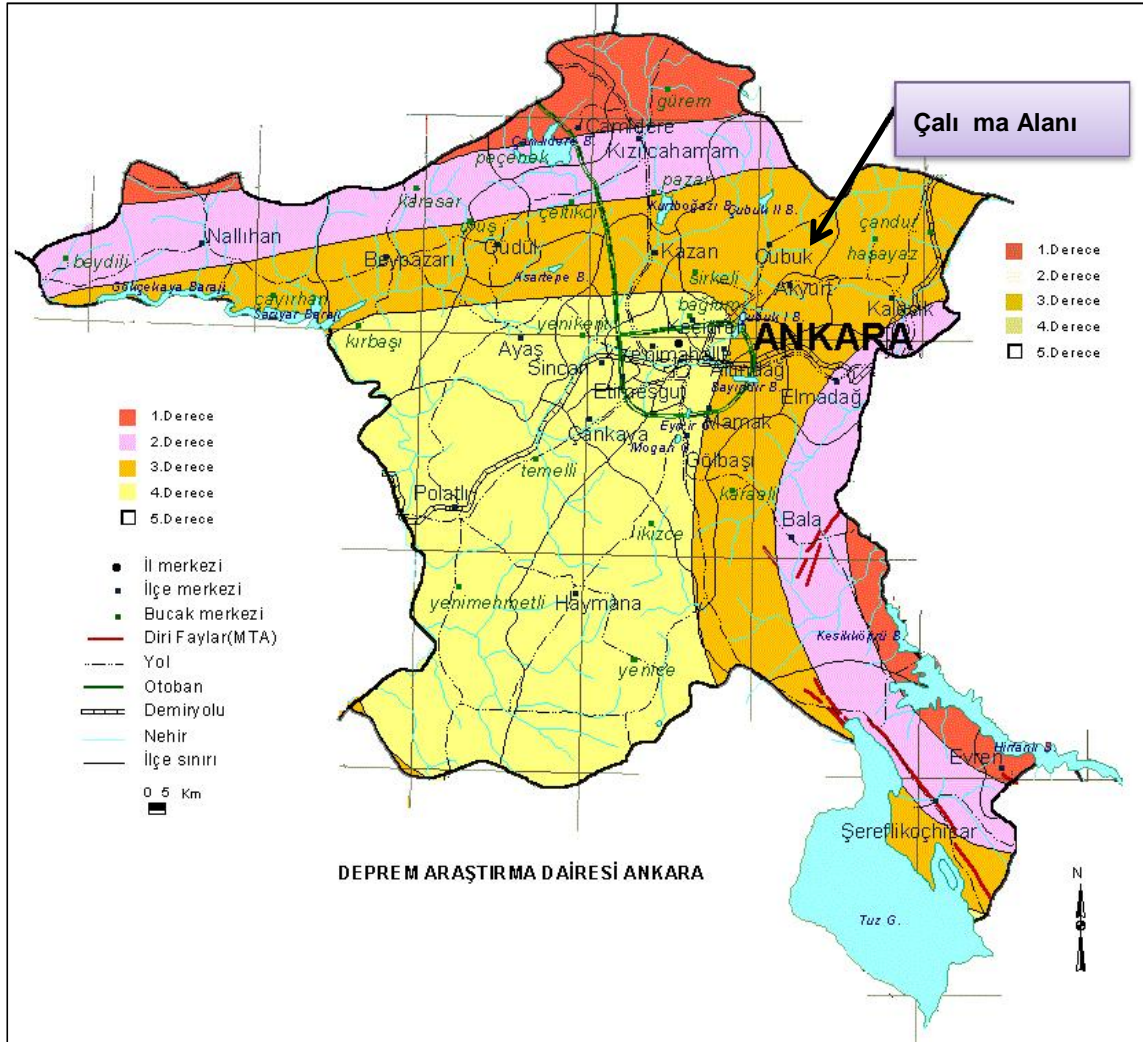


ekil 4-1 Çalı ma alanının yer bulduru haritası.

Bu iklim özelliklerine göre bitki örtüsü de; hem ya ı ; hem de yükseltinin arttı ı kuzeye do ru de i ime u ramaktadır. İçe güneyinde belirgin bir ekilde step (Bozkır) hakim iken; kuzeye gidildikçe ormana dönü mektedir. Kuzeydeki Aydos Da ına ula ıldı ında, bitki örtüsünün tamamen ormana dönü tü ü görülür. Ormanlardaki a aç türleri Me e, Kayın ve Çamlardan olu ur. Ova kenarlarında yer alan vadi tabanlarında ise sö üt ve kavak a açlarının bulundu u dikkati çekmektedir.

4.2. Çalı ma Alanının Depremseli i

Çalı ma alanı Türkiye Depremsellik haritasında 3. Derece deprem bölgesinde yer almaktadır. Bo aziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Deprem Ara tırma Merkezi kayıtlarına göre çalı ma alanında 19 Nisan 1938 Akpınar (Kır ehir) depremi, 7.4 büyüklü ündeki 1 ubat 1944 Gerede depremi, 4.7 büyüklü ündeki 21 Nisan 1983, Kö ker (Kulu) depremi, 6.1 büyüklü ündeki 6 Haziran 2000 Orta (Çankırı) depremi, 4.3 büyüklü ündeki 22 A ustos 2000 Uru (Ankara) depremi, 4.0 büyüklü ündeki 27 ubat 2003 Çamlıdere (Ankara) depremi, 5.2 büyüklü ündeki 31 Temmuz 2005, 5.6 büyüklü ündeki 20 Aralık 2007 ve 5.5 büyüklü ündeki 27 Aralık 2007 Af ar (Bala-Ankara) depremleri olmu tur.



ekil 4-2 Ankara linin Deprem Haritası [46].

4.3. Çalı ma Alanının Jeolojisi

Çalı ma sahasında iki farklı formasyon gözlenmi olup a a ıda ayrı ayrı incelenmi tir.

4.3.1. Mamak Formasyonu (Tm):

Birim bölgenin orta kesiminde yaygındır. Mamak Formasyonu, aglomera, tuf ve andezitten oluşur. Aglomeralar, beyaz, gri, kırmızı renkli, tuf ile tuturulmuş, değişik boyutlarda andezit çakıllarından oluşur. Aglomeralar bazı kesimlerde belirgin tabakalanma gösterir. Aglomeralar arasında izlenen tüfler değişik renklerde ve inde tabaklanmalıdır. Andezitler ise aglomeralar içinde siller halinde izlenir. Mamak formasyonu altta bazen yer yer Haçlıli Formasyonu, bazende Karakoça Formasyonu üzerine gelir. Yanal olarak Tekke Volkaniti ile giriktir. Üstte ise Tekke Volkaniti ve bazende Bozda bazaltı tarafından örtülür. Birimin ya ı Üst Miyosen olarak kabul edilmi tir. Mamak formasyonu, aglomera, andezit birimi [47] Eregez konglomerası [48] ile e de er tutulabilir.

4.3.2. Bozda Bazaltı (Tb):

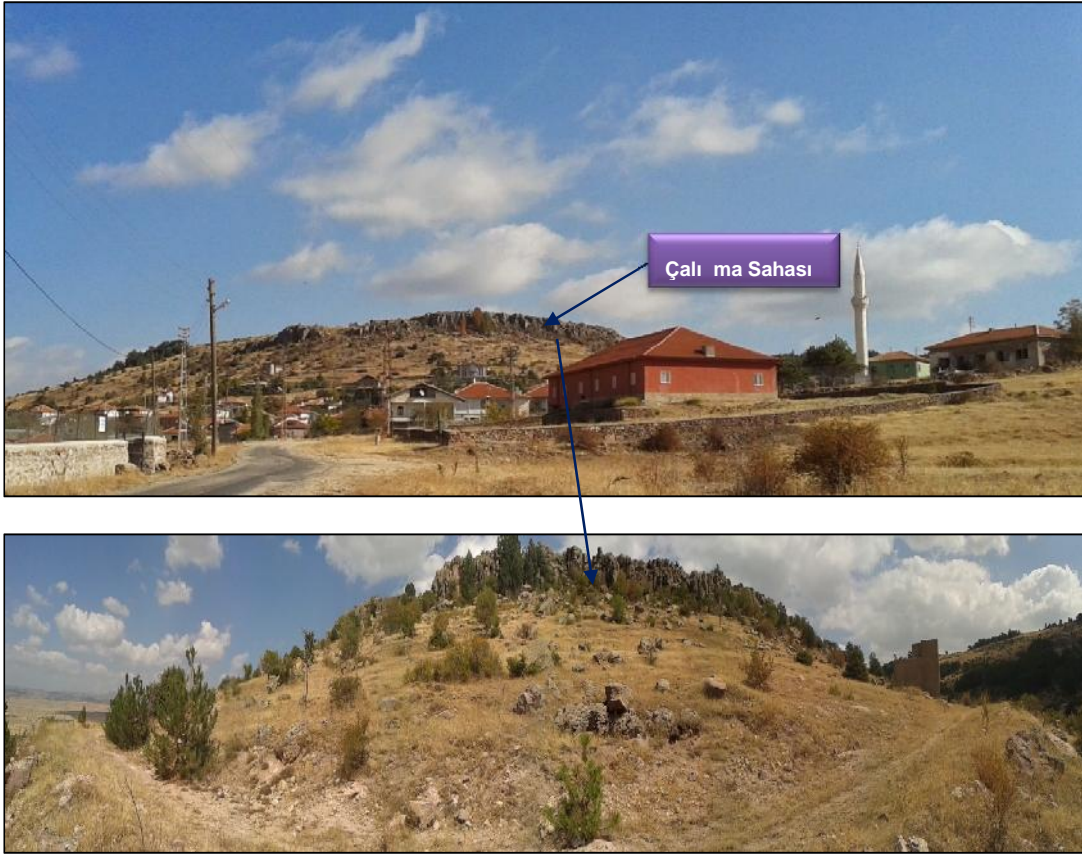
Birim, Mamak Formasyonu ve Tekke Volkaniti üzerinde küçük yüzlekler halinde izlenir. Bozda Bazaltı, koyu siyah, sert, masif ve sarımsı ayrı ma renkli bol gaz boşluklu ve kalsit doludur. Bazaltlar da yer yer altıgen so uma sütunları ve akma yapıları izlenir. Bazaltlarla birlikte çok azda olsa bazaltik tuf ve aglomeralar görülür. Bozda Bazaltı bölgenin en genç volkanik ürünüdür.

ZAMAN	SİSTEM	SERİ	KAT	FORMASYON	SİMGE	KAYA TÜRÜ	AÇIKLAMA
SENOZOYİK	TERSİYER	ÜST MİYOSEN		BOZKIR MAMAK	Tm Tb		<p>2-Bozdağ Bazaltı</p> <p>1-Mamak Formasyonu:Aglomera, Tüf</p>

ekil 4-3 Çalı ma alanın stratigrafik istifi [49]

5. SAHA ÇALI MALARI

Çalı ma kapsamında Susuz Köyündeki kaya dü mesi potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Saha çalı maları da bu kapsamda programlanmış ve yapılmıştır. Tezde konu olan çalı ma sahası ekil 5.1'de görülmektedir. Saha çalı maları kapsamında mevcut dü mü kaya bloklarının lokasyonları ve boyutları ölçümlenmiştir. Ayrıca kaya dü mesine neden olan kaynak alan haritalanmış ve eri ilebilen bölgelerde hat etütleri yapılarak, çok sayıda süreksizlik ölçümleri yapılmış ve süreksizlik yüzeylerine schmidt çekici ile geri sıçrama sayıları da ölçülmüştür.

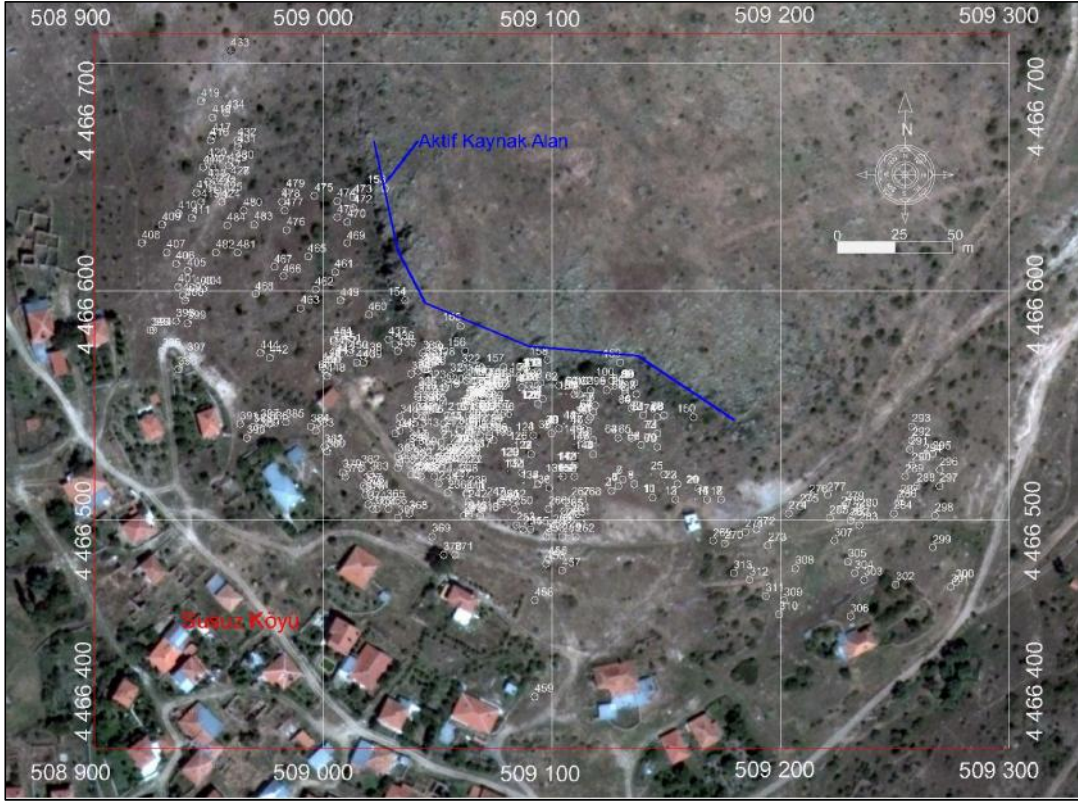


ekil 5-1 Çalı ma sahasına uzaktan bir görünümü.

5.1. Aktif Kaynak Alanın Belirlenmesine Yönelik Saha Çalı maları

Sayısal yükseklik modelinden itibaren co rafik bilgi sistemi (CBS) yaklaşımları ile kaya dü me potansiyelinin ve kaya dü mesi yayılım zonlarının belirlenmesinde aktif kaynak alanların gerçekçi bir şekilde haritalanması büyük öneme sahiptir. Bu nedenle, dü en kaya blokların çalı ma alanına ait uydu görüntüsü (Google Earth)

üzerindeki konumları da dikkate alınarak aktif kaynak alanlar ayırtlanmıştır. Saha çalışmaları sırasında olabildiğince çok sayıda dümen kaya bloku konumları ile boyutları ölçülerek veri tabanı oluşturulmuştur. Ayrıntısı Bölüm 4.3'de sunulan ve sahada konumları belirlenen dümen kaya bloklarının saha genelindeki yayılımı ekil 5.2'de görülmektedir. Aktif kaynak alandan yakın bir görünüm ekil 5.3 ve ekil 5.4'de sunulurken, farklı büyüklüklerdeki dümen bazı kaya blokları ekil 5.5'de görülmektedir.



ekil 5-2 Dümen kaya bloklarının uydu görüntüsü (Google Earth) üzerindeki konumları ve ayırtılan aktif kaynak alan.

5.1.1. Aktif Kaynak Bölgedeki Hat Etüdü Çalışmaları

inceleme alanında bulunan Mamak Fomasyonuna ait andezitler yüzeylenmektedir. Kaya düşmesi tehlikesine neden olacak kaya bloklarının oluşumunda andezitlerdeki süreksizlik setleri önemli rol oynamaktadır. Çalışmanın bu bölümünde kaynak alanda ulaşılabilen lokasyonlarda yapılan hat etüdü çalışmaları ile elde edilen süreksizlik özellikleri değerlendirilmiştir.

Çalı ma sahasında aktif kaynak alandaki düz topo rafyada yüzeylenen andezitik ve bazaltik birimleri üzerinde ekil 5.6'da gösterilen 8 ayrı bölgede hat etüdü yapılmı olup, hat etütleri olabildi ince ISRM [50] tarafından önerilen yöntemeye uygun yapılmaya çalı ılmı tır. Ancak, dik topografik yüzey ko ulları nedeniyle özellikle hat boyunca ölçülen süreksizlik sayıları açısından ISRM [50] tarafından önerilen sayılara hat bazında ula ılamamı tır. Hat etüdü çalı maları sırasında alınan bir görüntü ekil 5.7'de sunulmu tur. Hat etütleri, her yerde ev aynasının do rultusuna paralel olarak yapılmı ve süreksizliklerin türü, konumu, açıklı ı, devamlılı ı, dolgu malzemesinin türü, bozunmanın derecesi, yüzey pürüzlülü ü ve su durumu ile ilgili bilgiler süreksizlik veri formlarına i lenmi tir.



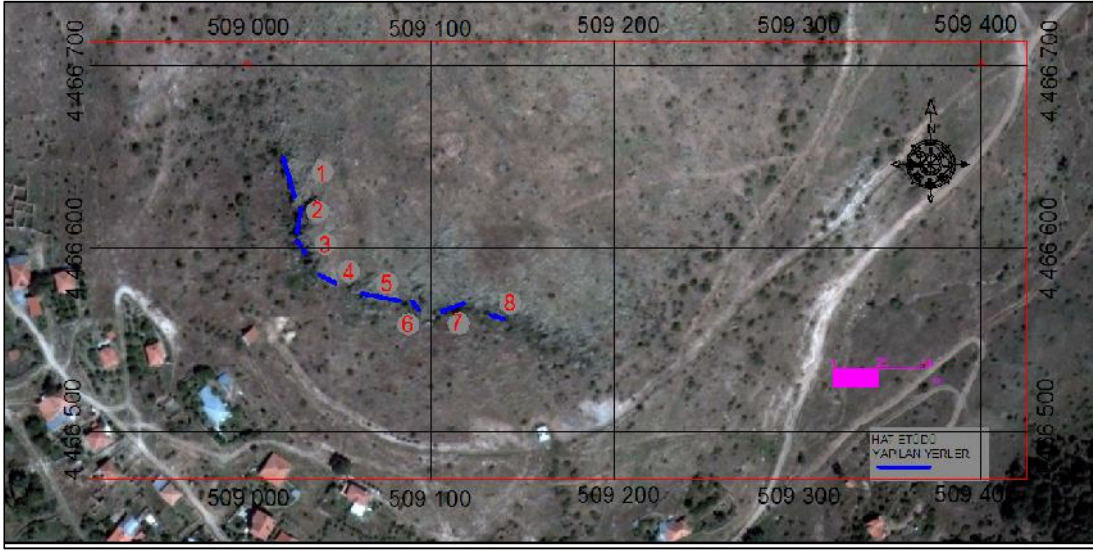
ekil 5-3 Aktif Kaynak alanından yakın bir görünüm.



ekil 5-4 Aktif kaynak alanında dü meye hazır serbest halde duran bir kaya blo u.



ekil 5-5 Yerle im yerine ula an kaya blokları.



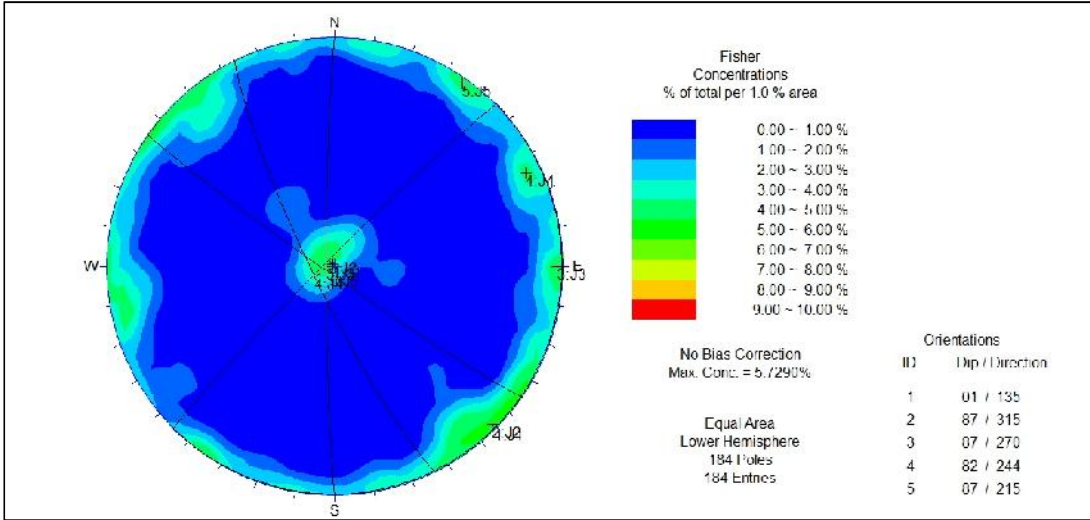
ekil 5-6 Hat etüdü yapılan yerlerin uydu görüntüsü (Google Earth) üzerindeki konumları



ekil 5-7 Aktif kaynak alandaki dik topo rafyada yapılan hat etüdünden bir görünüm

5.1.1.1. Süreksizliklerin Konumu

Aktif kaynak alandaki kaya bloklarının olu umunda süreksizlik seti sayısı önemli olup, hat etüdü çalı maları sırasında ölçülen 184 adet süreksizlik konumu e im ve e im yönü ile belirlenmi tir. Ölçülen tüm süreksizliklerin konumu Dips v5 programı ile de erlendirilmi olup, süreksizliklerin da ılımları ve yo unluklarının de erlendirilmesi amacıyla aktif kaynak alan için kontur diyagramı elde edilmi tir. Süreksizlik kontur diyagramı üzerinde aktif kaynak alanda biri yakla ık yatay konumlu di erleri ise dike yakın e imlerde 5 süreksizlik seti ayırtlanmı tır (ekil 5.8). Ayırtlanan 5 süreksizlik setinin yönelimleri ise; 1. ana set 01/135, 2. Ana set 87/315, 3. ana set 87/270, 4. ana set 82/244 ve 5. Ana set 87/215 olarak bulunmu tur.



ekil 5-8 Aktif kaynak alana ait süreksizliklere ait kontur diyagramı ve ayırtlanan süreksizlik setleri

5.1.1.2. Süreksizliklerin Açıklı ı ve Dolgu Özellikleri

Kaynak alanda 8 ayrı lokasyondaki hat etüdü çalı malarında süreksizliklerin açıklıklarının genellikle 1-5 mm arasında de i ti i serbest hale geçen bloklarda açıklıkların milimetre mertebesinde büyük (> 5 mm) oldu u gözlenmi tir. Süreksizliklerin genellikle dolgusuz oldu u ancak yer yer kil ve kalsit dolgularına da rastlanılabilmektedir.

5.1.1.3. Pürüzlülük Durumu

Süreksizlik yüzeylerinin dayanımları açısından önemli olan süreksizlik pürüzlülüklerinin aktif kaynak alan genelinde genellikle basamaklı-pürüzlü ve basamaklı-çok pürüzlü oldukları belirlenmiştir.

5.1.1.4. Su Koşulları

Mevsimsel koşullara da bağlı olarak deşikenlik sunması muhtemel süreksizlik yüzeyi su koşulları saha çalışmalarında süreksizlik yüzeylerinde herhangi bir su sızıntısı gözlenmemiştir ve kuru oldukları belirlenmiştir.

5.1.1.5. Süreksizlik Aralığı ve Blok Boyutu

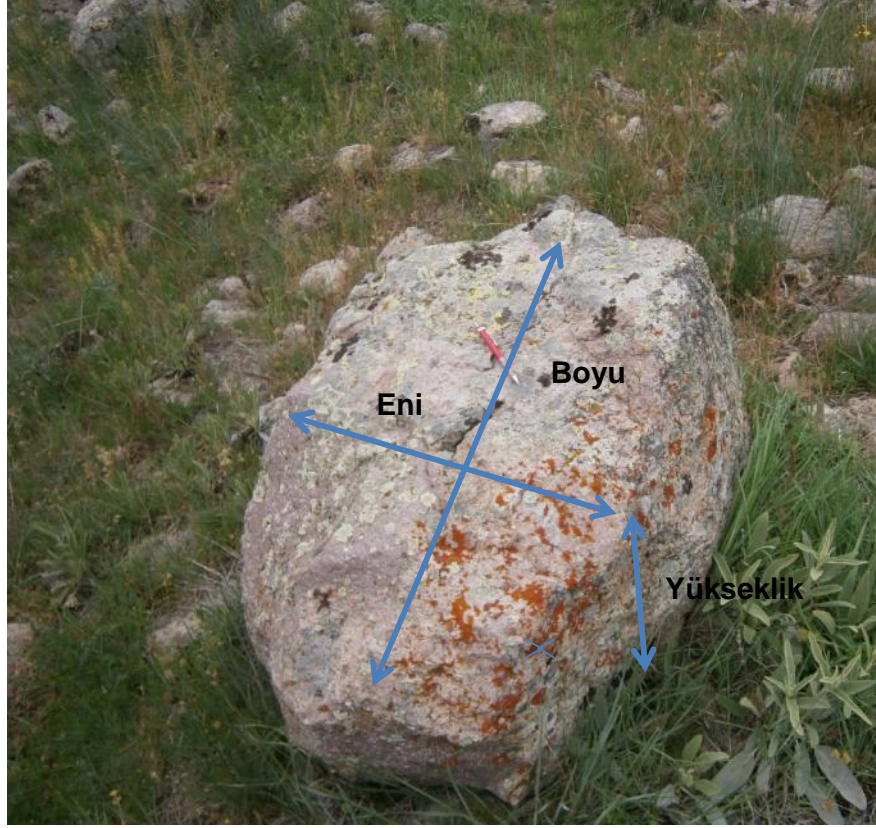
Aktif kaynak alanda 8 lokasyonda yürütülen hat etüdü çalışmaları ortalama süreksizlik aralıklarının genellikle 2.5 m ile 5.5 m arasında deşikliği belirlenmiştir. Hat etütleri için belirlenen ortalama süreksizlik aralığı ve süreksizlik sıklıkları Çizelge 5.1'de sunulmuştur.

Çizelge 5-1 Hat etüt çalışmaları ile belirlenen ortalama süreksizlik aralığı ve süreksizlik sıklıkları

Yapılan Yer	Hat Uzunluğu, L, (m)	Süreksizlik Sayısı (N)	Ortalama Süreksizlik Aralığı ($x=L/N$) (m)	Süreksizlik Sıklığı ($=N/L$)(m^{-1})
1	2,7	9	0,30	3,33
2	1,5	8	0,19	5,33
3	3,5	12	0,29	3,43
4	6,6	18	0,37	2,73
5	2,4	10	0,24	4,17
6	3	11	0,27	3,67
7	5,5	16	0,34	2,91
8	2	8	0,25	4,00

5.2. Düzenli Kaya Bloklarına İlişkin Çalışmalar

Aktif kaynak alandan itibaren Susuz köyüne doğru erişim alanı topoğrafya üzerinde 585 adet düzenli kaya bloğunun konumları ve yaklaşık en kısa (eni), en uzun (boyu) ve yükseklik boyutları ölçülmüştür (ekil 5.9).



ekil 5-9 Sahadaki dü en kaya blo unun boyutlarını ölçme ekli.

5.2.1. Dü en kaya bloklarının istatistiksel de erlendirmesi

Aktif kaynak alandan itibaren Susuz köyüne do ru e im a a ı topo rafya üzerinde en az bir boyutu 10 cm'den büyük olan 585 adet dü mü kaya blo unun konumları ve boyutları (eni, uzunlu u ve yüksekli i) ölçülmü ve veritabanı olu turulmu tur (Ek-1). Blok hacmi 0.027 m^3 (üç boyutu da en az 30 cm) ve 0.125 m^3 (üç boyutu da en az 50 cm) olan kaya bloklarının sayısı da sırasıyla 57 ve 495'dür. Tüm veritabanının istatistiksel de erlendirmesi ekil 5-10a'da görölmektedir. Bu de erlendirmede en dü ük ve en yüksek blok hacimleri sırasıyla 0.0005 m^3 ve 10.4 m^3 olarak belirlenmi tir. Bununla birlikte, hasar verici etkisi daha büyük olabilecek yakla ık blok hacmi 1 m^3 'den daha büyük 79 adet kaya blo unun istatistiksel de erlendirmesi ayrıca yapılmı ve ortalama blok hacmi 2.25 m^3 olarak belirlenmi tir (Çizelge 5.2 ve ekil 5.10b).

Çizelge 5-2 Sahada ölçülen dü mü kaya bloklarının yakla ık hacimlerine ili kin istatistiksel de erlendirme

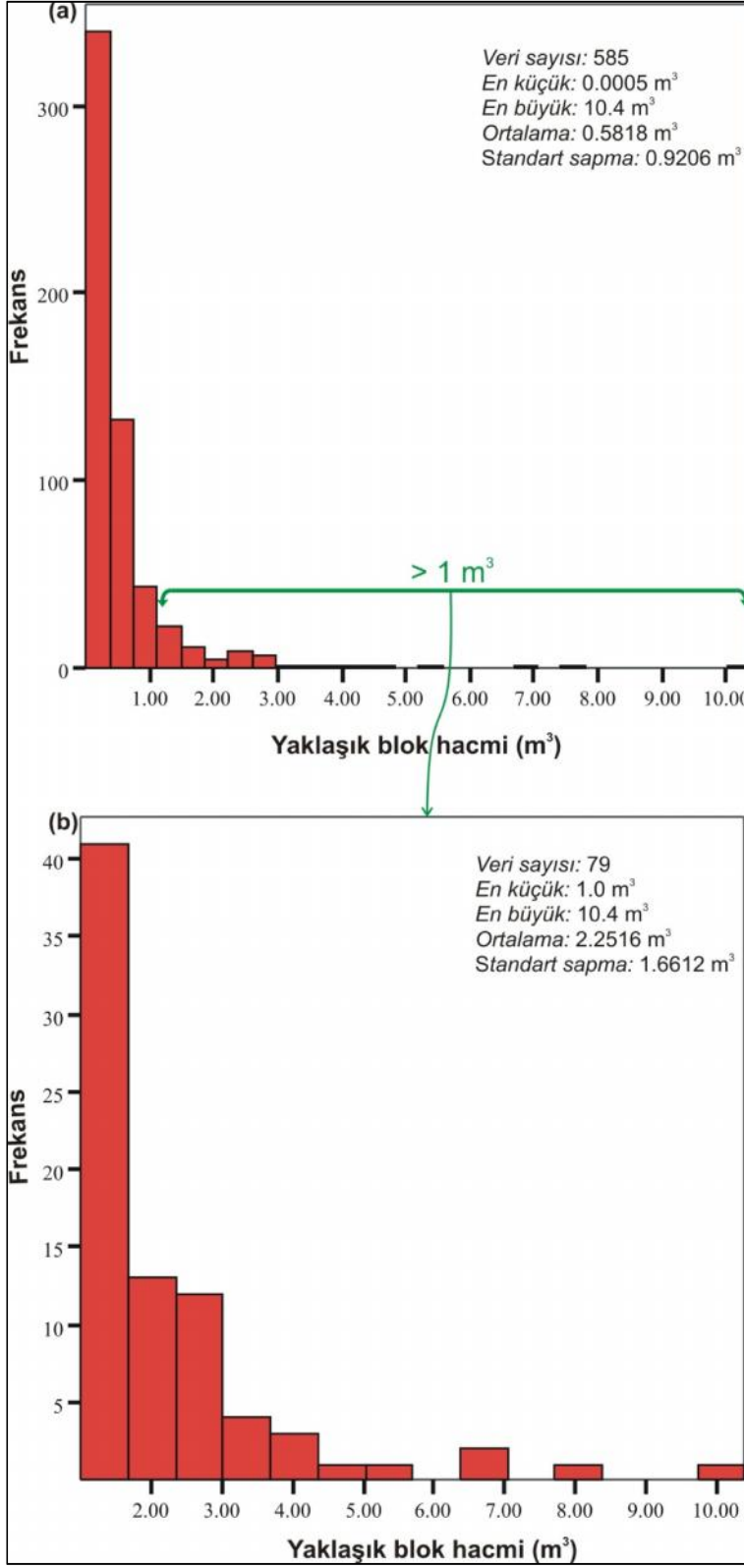
De i ken	Veri Sayısı	En Küçük	En Büyük	Ortalama	St. Sapma
Yakla ık Blok hacmi tüm veri (m ³)	585	0.0005	10.4	0.5818	0.9206
Yakla ık Blok hacmi 1 m ³ 'den büyük (m ³)	79	1.0	10.4	2.2516	1.6612

5.2.2. Schmidt çekici deneylerinin de erlendirilmesi

ncelenen arazide 5 ayrı yerde andezitler üzerinde Schmidt çekici deneyi yapılmı tır (ekil 4-11). Arazide alınan geri sıçrama de erleri en büyükten en küçük de ere do ru sıralanmı ve bu de erlerin en küçük %50'si iptal edilmi tir. Di er sıçrama de erlerinin ortalama de erlerinin aritmetik ortalaması alınmı tır. Laboratuvar deneylerinden elde edilen ortalama birim hacim a ırlık de eri (26.8 kN/m³) ve ortalama geri sıçrama de erleri kullanılarak, Deere ve Miller [51] tarafından önerilen abak kullanılarak süreksizlik yüzeylerinin tek eksenli sıkı ma dayanımları bulunmu tur. Süreksizlik yüzeylerinin ortalama tek eksenli sıkı ma dayanımının bozunma derecelerine göre 85 MPa ile 200 MPa arasında de i ebildi i belirlenmi tir (Çizelge 5.3).

Çizelge 5-3 Arazide yapılan Schmidt Çekici Deneyinin De erlendirilmesi

Yapılan Yer	Süreksizli in bozunma durumu	Ortalama Geri Sıçrama De eri, N	Birim Hacim A ırlık, χ (kN/m ³)	f_c (Mpa)
1	Orta-ileri	50		85±30
2	Orta	60		125±50
3	Az	64	26.8	200±70
4	Az-orta	63		180±60
5	Orta	62		160±60



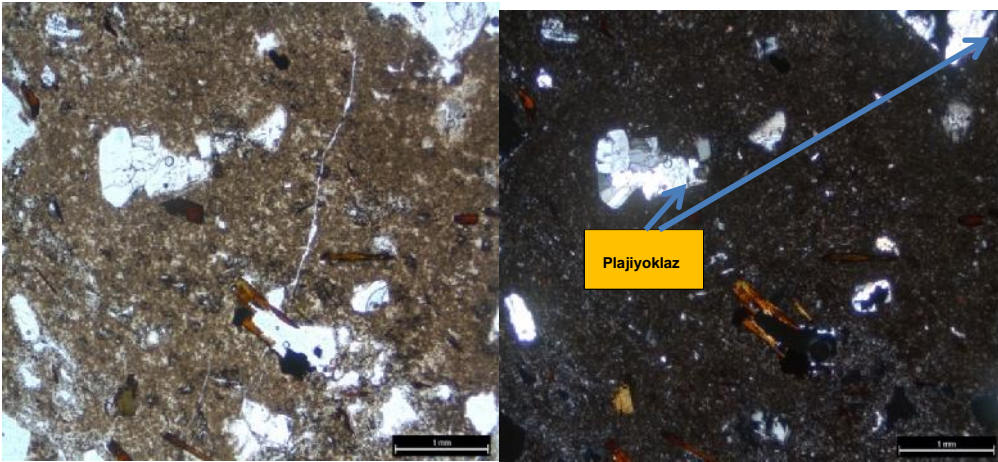
ekil 5-10 Sahada ölçülen dü mü kaya bloklarının yaklaşık blok hacmi histogramı (a) tüm veriler, (b) yaklaşık hacmi 1 m³'den büyük bloklar



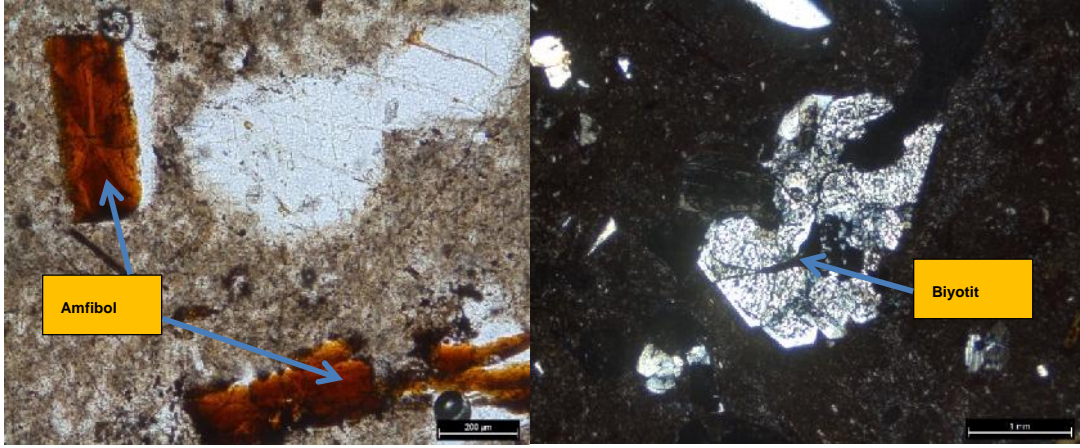
ekil 5-11 Çalı ma arazisinde süreksizlik yüzeylerinde Schmidt çekici uygulaması.

5.2.3. Petrografik analizler

Sahada dü en kaya bloklardan alınan numunelerin andezite birimine ait oldu unu kanıtlamak amacıyla petrografik analiz yapılmı tır. Yapılan petrografik analiz sonucunda kayacın hipoporfirik dokusunda, % 60-70 plajiyoklaz, %5 amfibol, %5 biyotit,%20-30 volkan camı mevcuttur. Volkan camı fenokristaller ve mikrolit ekinde plajiyoklazdan olu tu u görülmektedir. Biyotitler küçük boyutta, amfibolller kahverengindedir. Alkali feldispat ve kuvars mineralleri yoktur. Volkan camı haricinde %3-5 oranında gaz bo lukları mevcuttur (ekil 5.12).



ekil 5-12 nceleme sahasındaki andezitik kayaç örneklerinden ikisine ait petrografik analiz görüntüleri



ekil 5.12. devam ediyor.

6. SUSUZ KÖYÜNÜN KAYA DÜ MES HAR TASININ ÜRET LMES

Ankara ili Çubuk ilçesinin Susuz köyü eteklerinde yerle ti i ve kaya dü mesi olaylarının etkin oldu u çalı ma sahasının kaya dü mesi haritaları tez çalı ması kapsamında hazırlanmı tır. Bu amaçla, öncelikle Susuz köyü ve çevresine ait sayısal yükseklik modeli (DEM) hazırlanmı ve tezin ikinci bölümünde ayrıntısı verilen enerji açısı ve gölge enerji açısı kavramları ile Susuz köyüne yönelik tehlike olu turabilecek kaya dü me yayılım, enerji ve hız haritaları olu turulmu tur. Kaya dü mesi olayları için üretilen haritalar kullanılarak menzil mesafesi, enerji ve hız de erleri yorumlanmı , Susuz köyü için dikkate alınabilecek kaya dü mesi önleme yapıları bir sonraki bölümde tartı ılmı tır.

Bu amaçla, öncelikle kaya dü mesine neden olabilecek kaynak alan belirlenmi , sonrasında ise CONEFALL [52] programı kullanılarak farklı konik açıları için kaya dü mesinden etkilenebilecek alanlar ayırtlanmı tır. Farklı konik açıları için belirlenen kaya dü mesi yayılma zonları ile saha çalı maları kapsamında konumları belirlenen kaya dü meleri de kar ıla tırılmı tır.

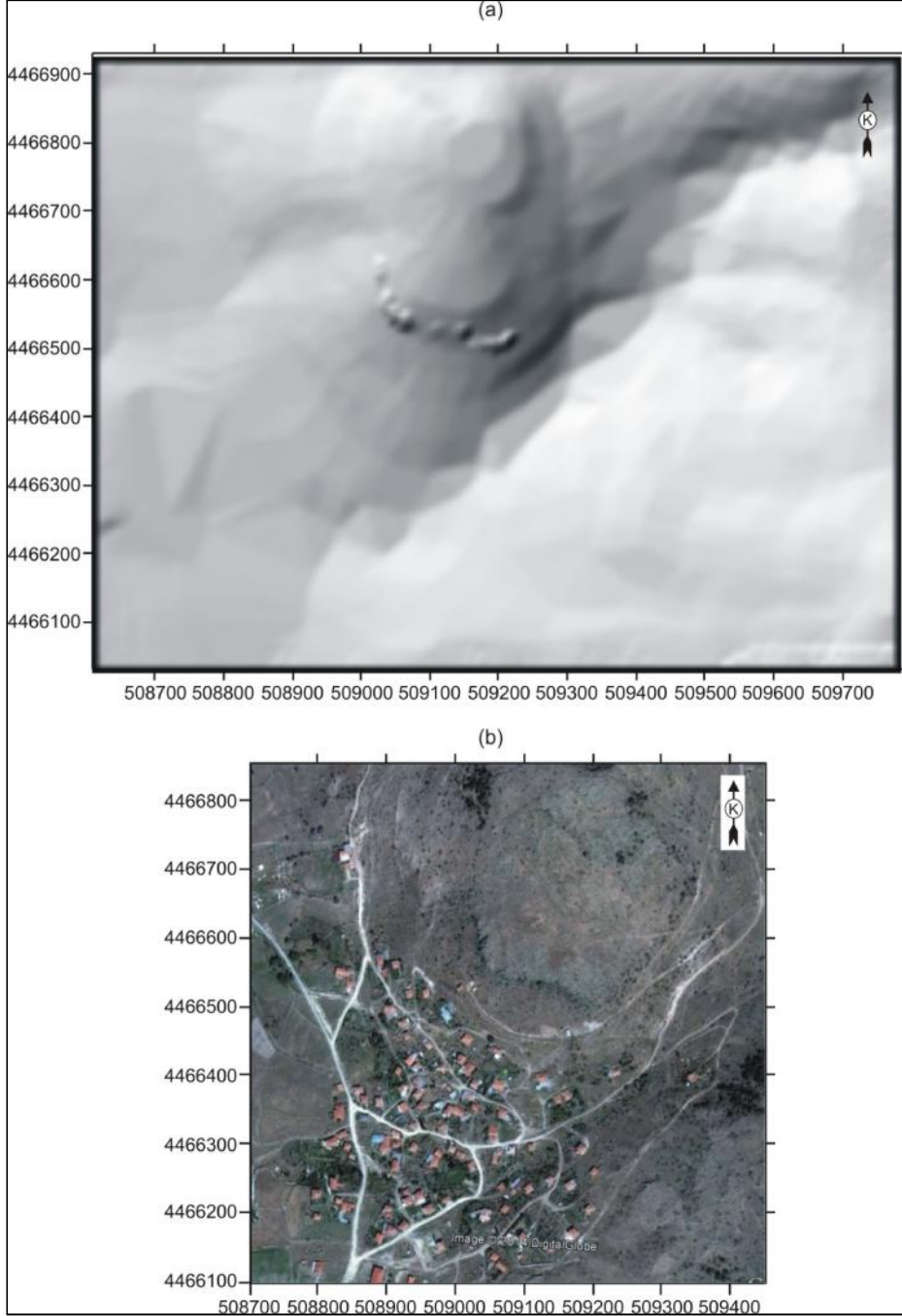
Çalı ma alanına yönelik kaya dü mesi haritalamasına yönelik yapılan çalı malar a a ıda sunulmu tur.

6.1. Sayısal Yükseklik Modeli ve Aktif Kaynak Alanların Ayırtlanması

Kaya dü meleri dik bir topo rafya ile yüzeylenen ve süreksizliklerin sınırlandırdı ı kaya bloklarının dik yüzeyden e im a a ı dengesini yitirerek dü mesi ve topo rafya üzerinde tüm enerjisi sönmülene kadar devam eden hareketinin tümünü ifade etmektedir. Bu nedenle, kaya bloklarının yüzeyinden ayrılarak e im a a ı harekete ba ladıkları aktif kaynak alanların belirlenmesi, kaya dü mesi haritalarının üretilmesinden ilk a ama olup, ba arılı bir haritalama için büyük öneme sahiptir.

Tezin 3. Bölümünde de belirtildi i üzere aktif kaynak alanlar topo rafik dikliklerle karakterize olmaktadır. Bu amaçla sayısal yükseklik modeli (DEM) üzerinde çözünürlü üne de ba lı olarak belirli bir e imin üzerindeki alanların potansiyel kaynak alan olarak ayırtlanması ilk a ama olarak de erlendirilebilir.

Susuz köyü ve yakın çevresini içine alan bölgenin 1/25 000 ölçekli haritadan itibaren üretilen (10X10 m) çözünürlü ündeki sayısal yükseklik modeli , Susuz köyünün de görülebildi i Google Earth görüntüsü ile birlikte ekil 6.1.'de verilmi tir.



ekil 6-1 (a) Susuz köyü ve çevresine ait sayısal yükseklik modeli (DEM) ve (b) Susuz köyünün de görüldü ü Google Earth görüntüsü.

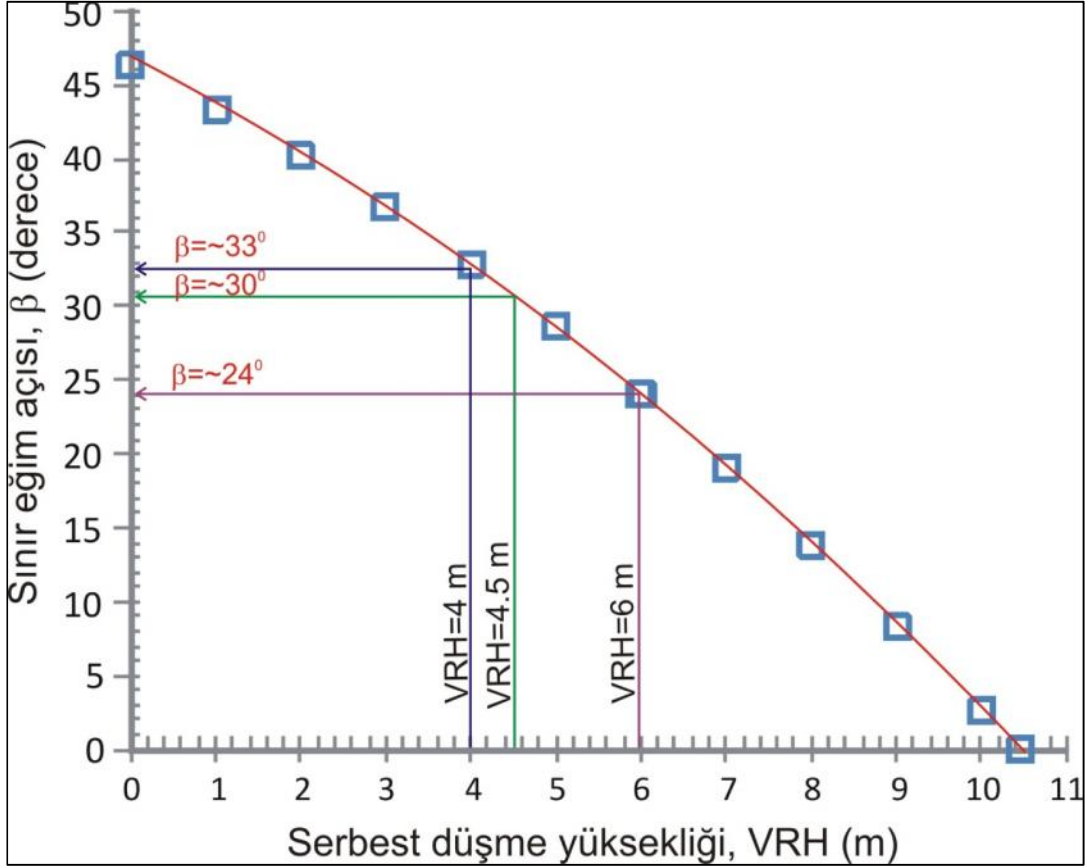
Tez alı masının 3. Bölümünde ayrıntılı olarak verildi i üzere sayısal yükseklik modeli üzerinde belirli bir e imin üzerindeki (diklikteki) potansiyel kaya dümesi kaynak alanların ayırtlanması DEM'in znrl  ile kaynak alanların sınır e imi arasında bir ili ki vardır. DEM üzerinde "h" yüksekli ine sahip dik bir topo rafyayı temsil eden grid hücresinin DEM'in znrl ne ba lı olarak sınır e imi Tezin 3. Bölümünde ekil 3.2'deki gibi bir birleriyle ili kilidir.

Potansiyel kaya dümesi kaynak alanları için seçilebilecek sınır (alabilece i en dü ük) e im Dorren ve Berger [18] ve Troisi, Berger ve Dorren [19] tarafından verilen ve DEM'in znrl ünün girdi olarak kullanıldı ı a a ıdaki e itlikten belirlenebilir.

$$\alpha = 55 \times R^{-0.0} \quad (\text{E itlik 6.1})$$

Yukarıdaki e itlikte, α (derece) potansiyel aktif kaynak alanlar için sınır e im de eri, RES ise sayısal yükseklik modelinin znrl dr. Yukarıdaki e itlikten 10x10 metre znrl ndeki DEM'de dik bir topo rafya için sınır e im 46.28^0 olarak hesaplanabilir.

Kaya dümesi kaynak alanı için dik topo rafya sunan serbest dme yüksekli inin belirlenebilmesi durumunda, potansiyel kaya dümesi kaynak alanlarının belirlenmesinde yukarıdaki (6.1) no.lu e itlikten DEM'in znrl ne de ba lı olarak seçilebilecek sınır e im açısından daha dü ük sınır aı de erlerinin seçilmesi aktif kaynak alanların atlanmaması açısından dikkate alınmalıdır. Serbest dme yüksekli ine (Vertical release height, VRH) ba lı olarak sınır e im açısı (β) ekil 3.4'deki geometrik yakla ımla hesaplanabilir. DEM'in 10x10 znrl  için (6.1) no.lu e itlikten sınır açısı de eri olarak hesaplanan (α) 46.28^0 de erinden itibaren ekil 3.4'deki yakla ımda dikte alınarak serbest dme yüksekli ine (VRH) ba lı olarak potansiyel kaynak alanların ayırtlanmasında alınabilecek sınır açısı de eri (β) ili kisi ise ekil 6.2'de sunulmu tur.

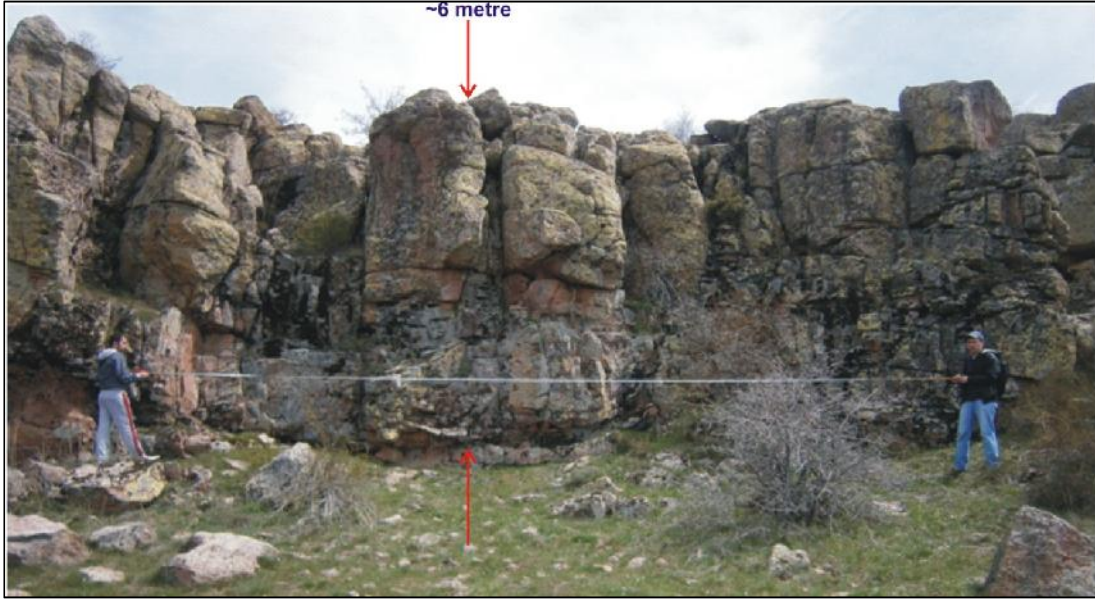


ekil 6-2 DEM'in 10x10 çözünürlüğü için serbest düşme yüksekliği (VRH)ye bağlı olarak alınabilecek sınır açısı değeri (β) ilişki grafiği.

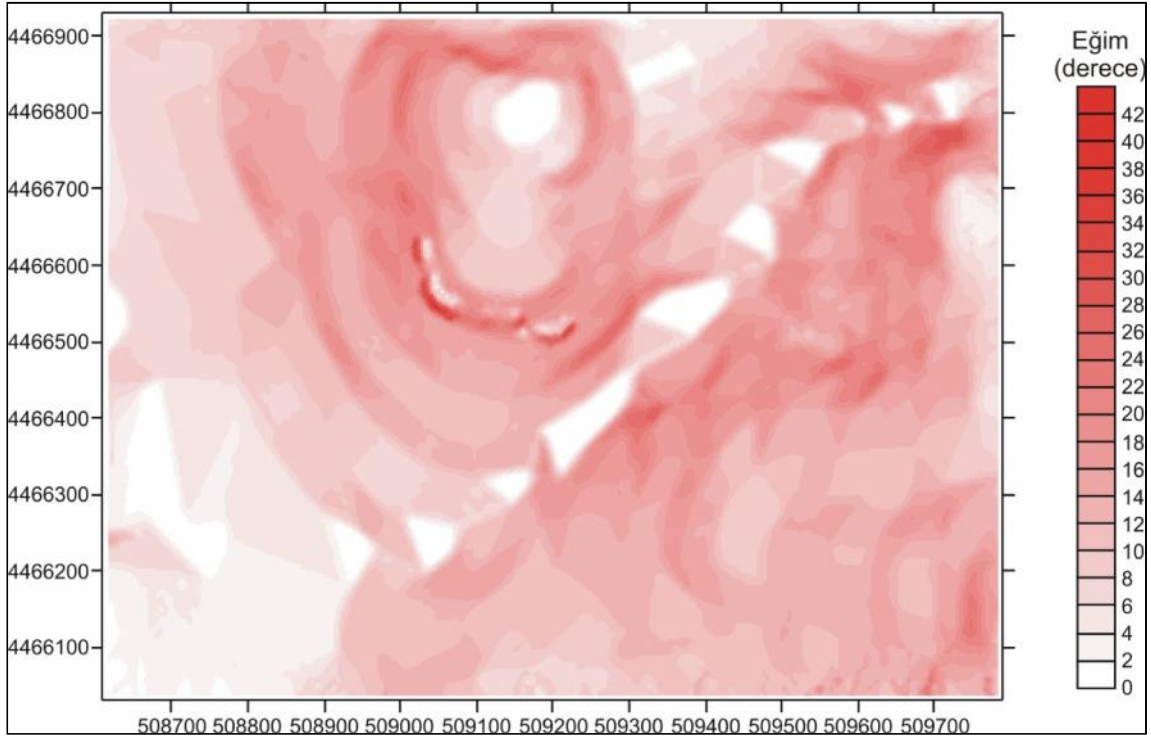
Susuz köyünün üst kotlarında kaya düşmesi için kaynak alan olarak belirlenen bölgede serbest düşme yüksekliği olarak değerlendirilebilecek dik kaya yüzeyinin yüksekliğinin yer yer değişim göstermekle birlikte genellikle 4 metre ile 6 metre arasında değiştiği saha çalışmaları sırasında gözlenmiştir (ekil 6.3). DEM'in 10x10 metre çözünürlüğünde olması durumunda, serbest düşme yüksekliği 4 metre olduğunda potansiyel kaynak alan için alınabilecek sınır açısı değeri $\sim 33^\circ$ iken, serbest düşme yüksekliğinin 6 metre olması halinde alınabilecek sınır açısı $\sim 24^\circ$ olmaktadır (bkz. ekil 6.2).

Susuz köyü ve yakın çevresine ait ekil 6.1a'da verilen sayısal yükseklik modelinden eğim haritası üretilmiştir (ekil 6.6). Sahadaki kaynak alan bölgelerinde yapılan gözlemlerde serbest düşme yüksekliğinin 4 metre ile 6 metre arasında değiştiği, bu değerlere bağlı olarak da potansiyel kaya düşmesi kaynak alanlarının ayırtılmasında 24° eğimin en düşük sınır eğimi olarak alınması mümkündür. Sonuç olarak eğim haritası üzerinde $\sim 30^\circ$ 'den büyük

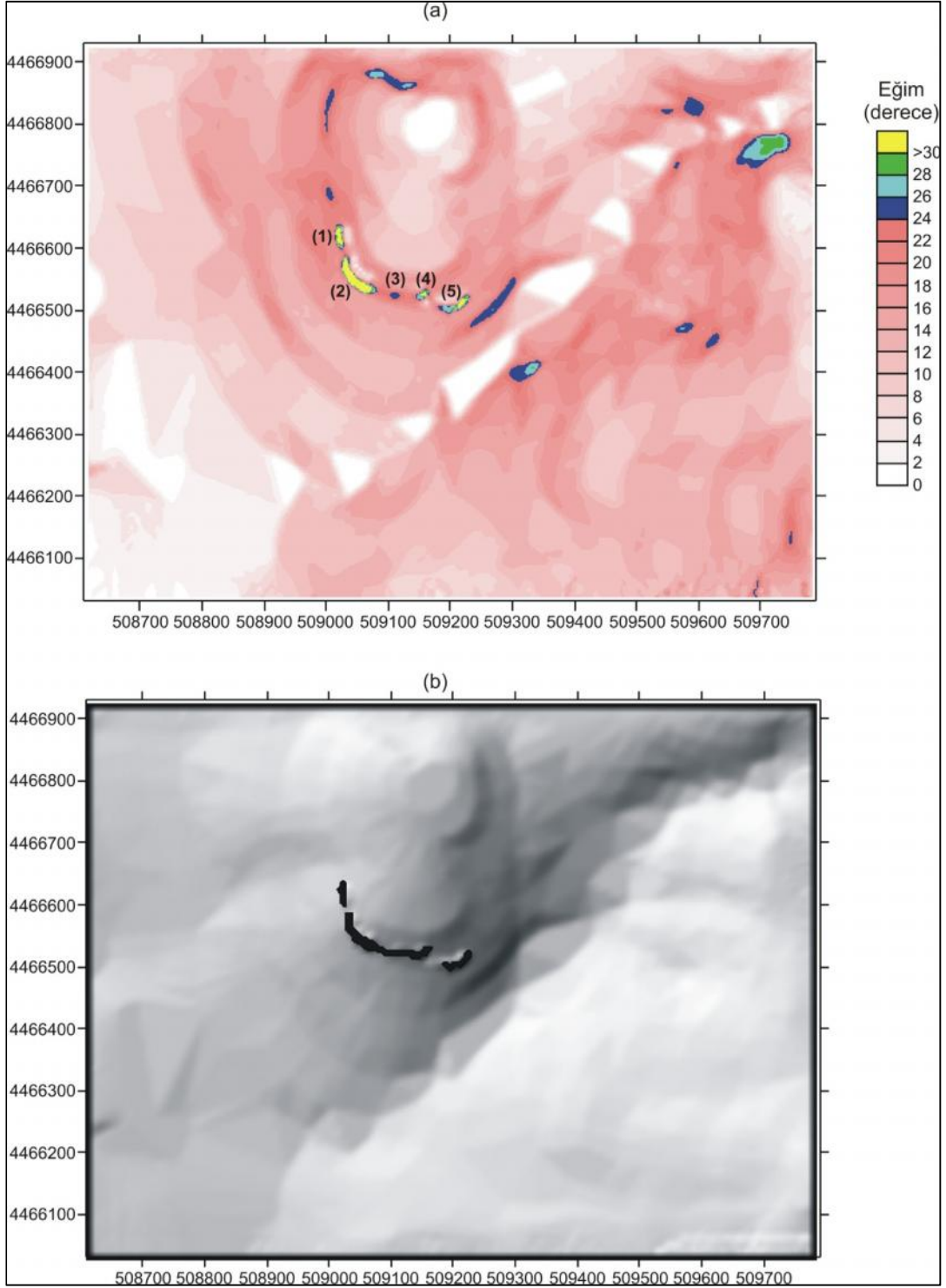
alanlar, 30° ile 28°, 28° ile 26° ve 26° ile 24° ve 24°'den düşük eğime sahip alanlar dikkate alınarak eğim haritası sınıflandırılmıştır (ekil 6.5a).



ekil 6-3 Yaklaşık serbest düzme yüksekliği 6 metre olan kaynak alandan bir görünüm.



ekil 6-4 Susuz köyü ve çevresine ait eğim haritası

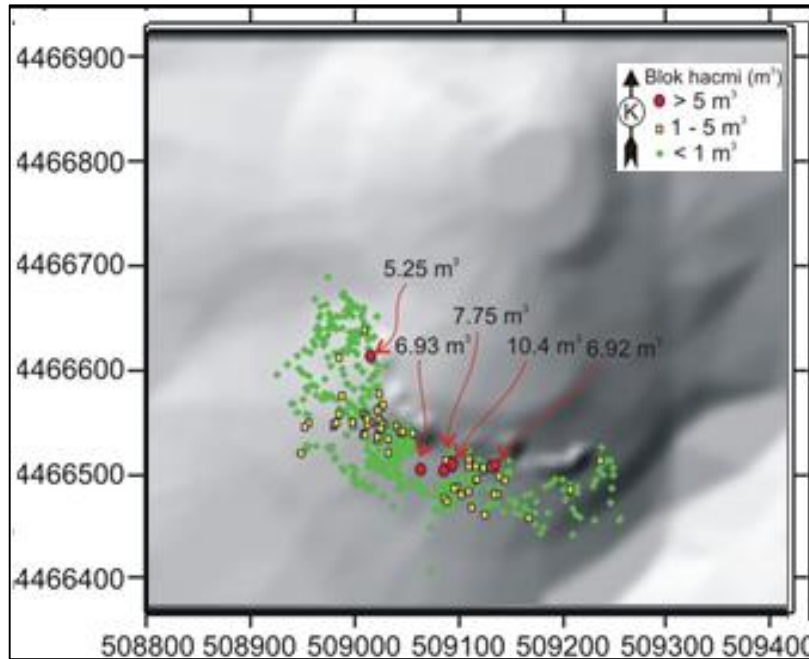


ekil 6-5(a) E im haritası üzerinde sınır açısı kavramı ile ayırtılan potansiyel kaya dümesi alanları, (b) saha çalınmaları ile Susuz köyü açısından dikkate alınacak aktif kaynak alanların CONEFALL programında kullanılacak ekli.

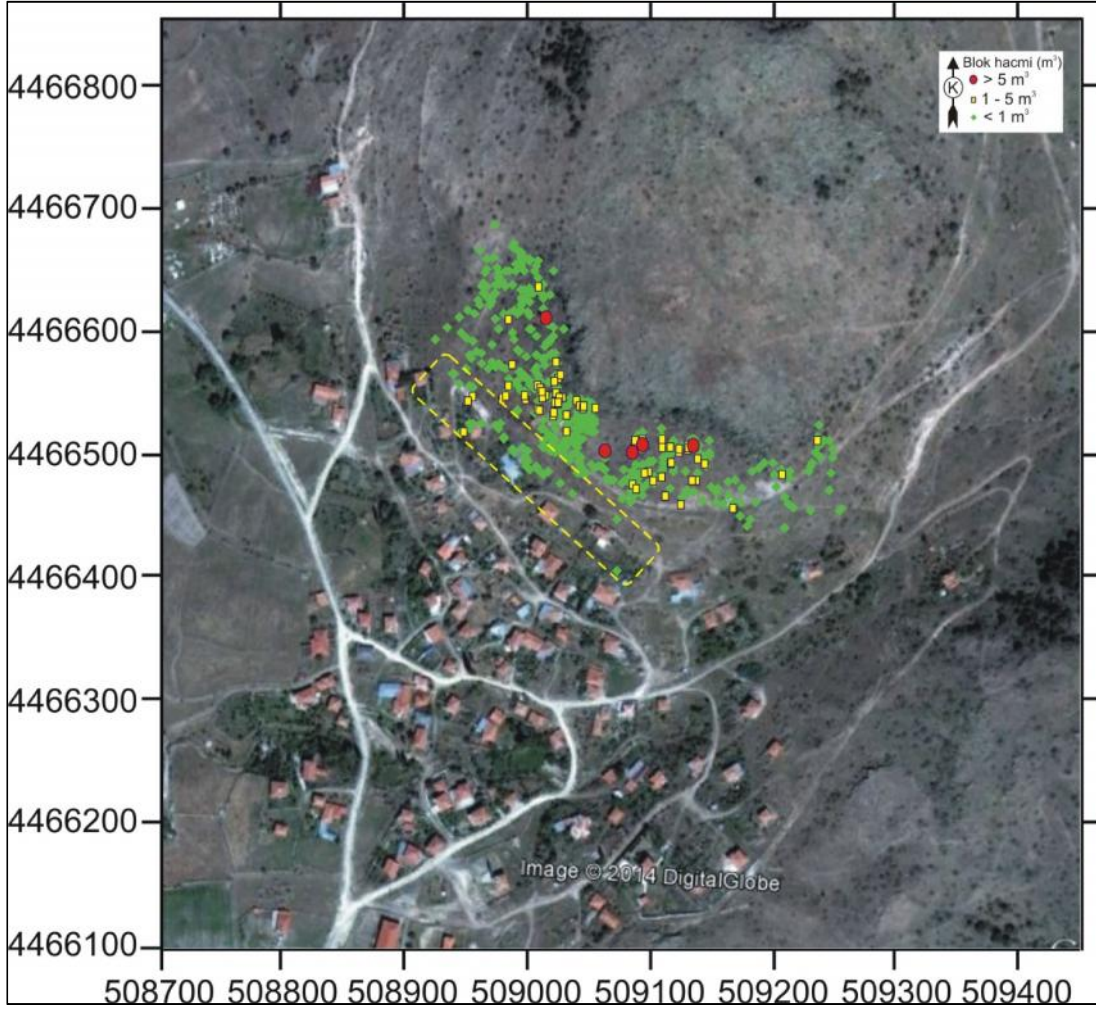
Susuz köyünün e im yukarı alanda gözlenen kaya dü mesi kaynak alanları saha çalı maları sırasında yerinde incelenmi ve çalı ma alanına ait e im haritası üzerinde sınır e im de erine göre ayırtlanan potansiyel kaynak alanlardan 1'den 5'e kadar numaralandırılan alanlarla oldukça uyumlu oldu u belirlenmi tir (ekil 6.5a). CONEFALL programı [52] ile yapılan kaya dü mesi de erlendirmelerinde kullanılmak üzere ekil 6.5a'da 1'den 5'e kadar numaralandırılarak ayırtlanan alanlar dikkate alınarak, çalı ma sahası için aktif kaynak alanları saha gözlemleri ile son ekli verilmi olup, ekil 6.5b'de DEM üzerinde gösterilmi tir.

6.2. Dü mü Kaya Bloklarının Susuz Köyü Yakınlarındaki Da ılımı

Tezin saha çalı maları bölümünde de verildi i üzere 585 adet dü mü kaya blo u lokasyonları ve eni, boyu ve yüksekli i ile yakla ık boyutlarıyla birlikte ölçülmü tür. Dü en kaya bloklarının büyüklüklerine ba lı olarak yayılım (menzil) zonlarının da genel olarak yorumlanabilmesi için ölçümlenen tüm blokları 5 m^3 'den büyük, 5 m^3 ile 1 m^3 ve 1 m^3 'den küçük olmak üzere üç sınıfa ayrılmı DEM üzerine i lenmi tir (ekil 6.6). Ayrıca, Susuz köyüne ait yapılarla olan konumsal durumların da yorumlanabilmesi için Google Earth görüntüsü üzerine de i lenmi tir (ekil 6.9).



ekil 6-6 Saha çalı maları sırasında ölçülen blokların sayısal yükseklik modeli (DEM) üzerindeki da ılımı



ekil 6-7 Susuz köyünden e im yukarı alanda ölçülen kaya bloklarının Google Earth görüntüsü üzerindeki sınıflandırılması da ılımı (sarı kesikli alan Susuz köyüne ulaşabilen blokların da ılım alanını i aret etmektedir)

Dü en kaya bloklarının da ılımı incelendi inde 5m^3 'den büyük blokların menzil mesafelerinin çok fazla olmadığı ve Susuz köyüne kadar uzanmadığı görülmektedir. Bu durumda kaya bloğunun büyüklüğünün yanı sıra, blokla ekinin (yüzey sayısının) de etkisinin olduğunu belirtmesinde yarar vardır. Buna karşın, kaya bloğunun boyutlarının azalmasına da bağlı olarak 1m^3 'den daha küçük blokların nispeten sıklıkla, 1m^3 ile 5m^3 boyutlarındaki kaya bloklarının ise seyrek olarak Susuz köyünün üst kotlardaki evlerine kadar ulaşabildiği görülmektedir.

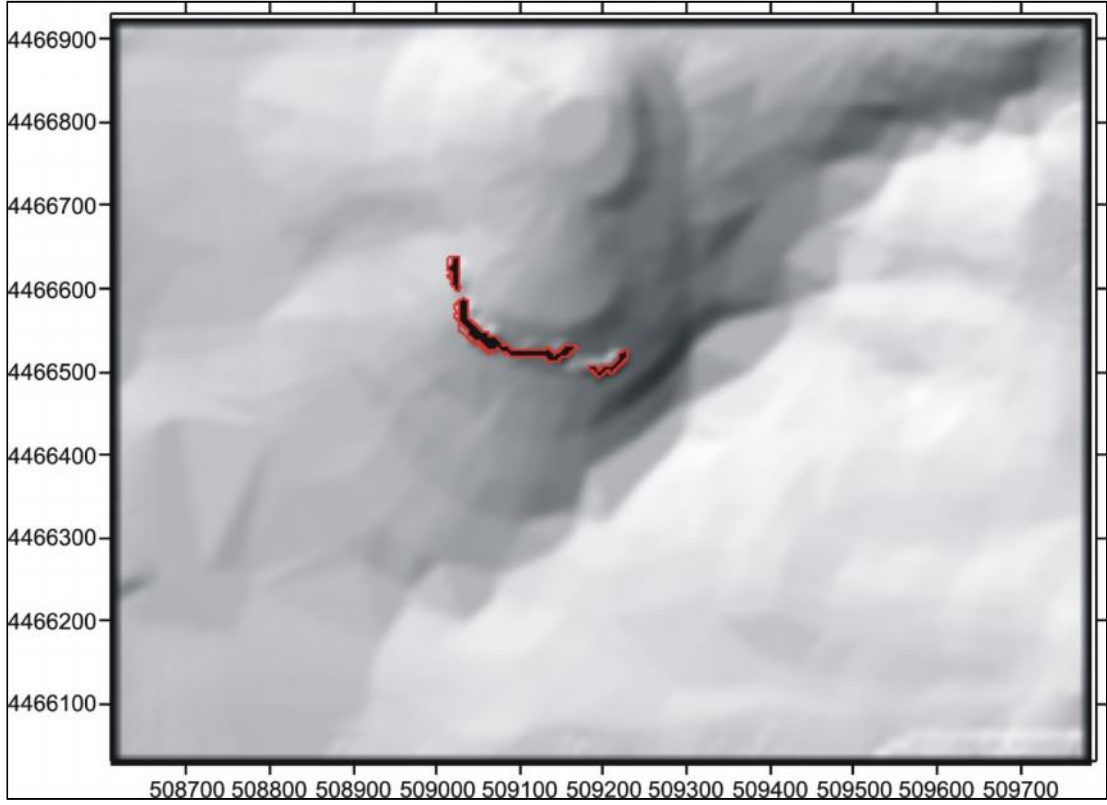
6.3. Kaya Dümesi Haritalarının CONEFALL Programıyla Üretilmesi

Jaboyedoff ve Labiouse [26] tarafından önerilen konik yayılım yaklaşımıyla kayadümeslerinin yayılım zonlarının belirlenebildiği yöntemle ilgili ayrıntılar ve enerji çizgisi ve gölge zonu kavramlarını dikkate alan konik alan yaklaşımına göre hazırlananmış olan CONEFALL [52] programından elde edilen yayılım zonu, enerji dağılımı ve hız dağılımı haritalarının hazırlanmasına yönelik teorik yaklaşımları bir saha uygulaması ile birlikte Jabodeyoff ve Labiouse, [24] tarafından yapılan teknik not niteliindeki çalışmalarında sunulmuştur. Ayrıca bu konular tezin 2. Bölümünde de ayrıntısı ile verildiğinden bu bölümde doğrudan Susuz köyüne yönelik kayadümesi haritalarının hazırlanması hakkında da sunulmuştur.

6.3.1. Kaya Dümesi Yayılma Zonu Haritasının Üretilmesi

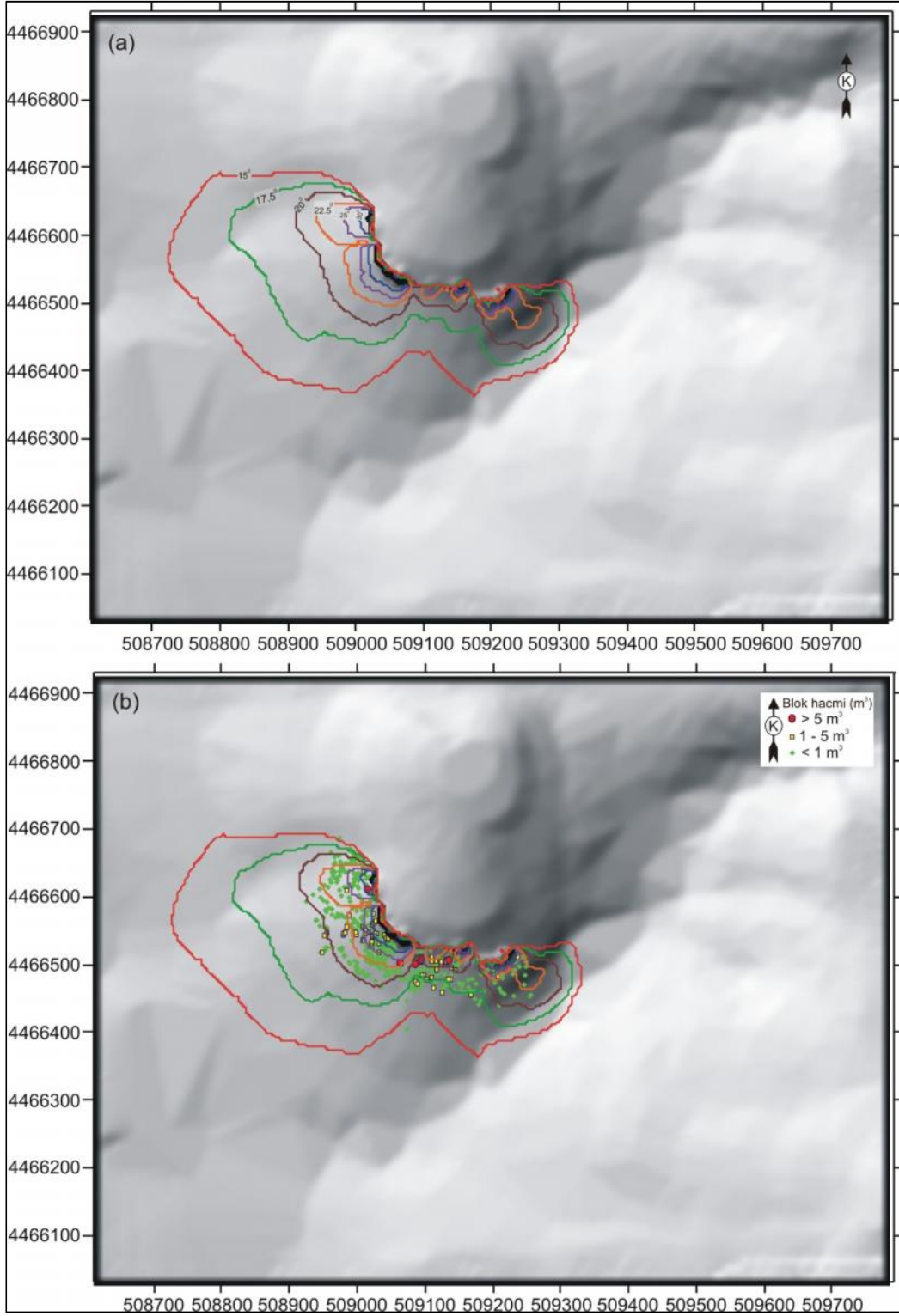
CONFALL [52] programının da temel çalışması prensibini oluşturduğu kayadümesi koni ve topoğrafya üzerindeki ara kestin nasıl belirlendiği ekil 3.13'de görülmektedir. Bu yaklaşımda kaynak alandaki her bir grid hücresi için, tanımlanan sınır açısı değerine sahip kayadümesi koni ile topoğrafya arasında kalan noktalar potansiyel yayılma zonu olarak belirlenmektedir. Potansiyel yayılma zonu içerisindeki bazı grid hücreleri de doğrudan olarak aktif alandaki pek çok grid hücresini dikkate alan konik alan içerisinde kalabilir ki bu da kayadümesi frekansı (sıklığı) ifade etmek için yine CONEFALL programı [52] tarafından sayılabilmektedir.

Kayadümesi haritalarının üretilmesinde CONEFALL programına [52] ekil 5.1'de verilen sayısal yükseklik modeli ile ekil 5.7b'de verilen aktif kaynak alan haritası girdi olarak tanımlanmıştır. Konik yayılım açısı değeri öncelikle 35° olarak girilmiştir ve program çalıştırılmıştır. Ancak yayılım açısının 35° alınması durumunda çalışması sahasındaki topografik eğimlere de bağlı olarak yayılım zonu sadece kaynak alanın hemen eteklerinde çok sınırlı bir zon olarak belirlenmiştir (ekil 6.8). Oldukça sınırlı bir alanı kaplayan yayılım zonu saha gerçeğini yansıtmaktan oldukça uzaktır. Bu nedenle, farklı konik yayılım açısı değerleri için yayılım zonlarının belirlenerek sahadaki ölçülen blokların yayılımları ile karşılaştırılmasına gidilmiştir.



ekil 6-8 Konik yayılım açısının 35° alınması durumunda belirlenen yayılma zonu.

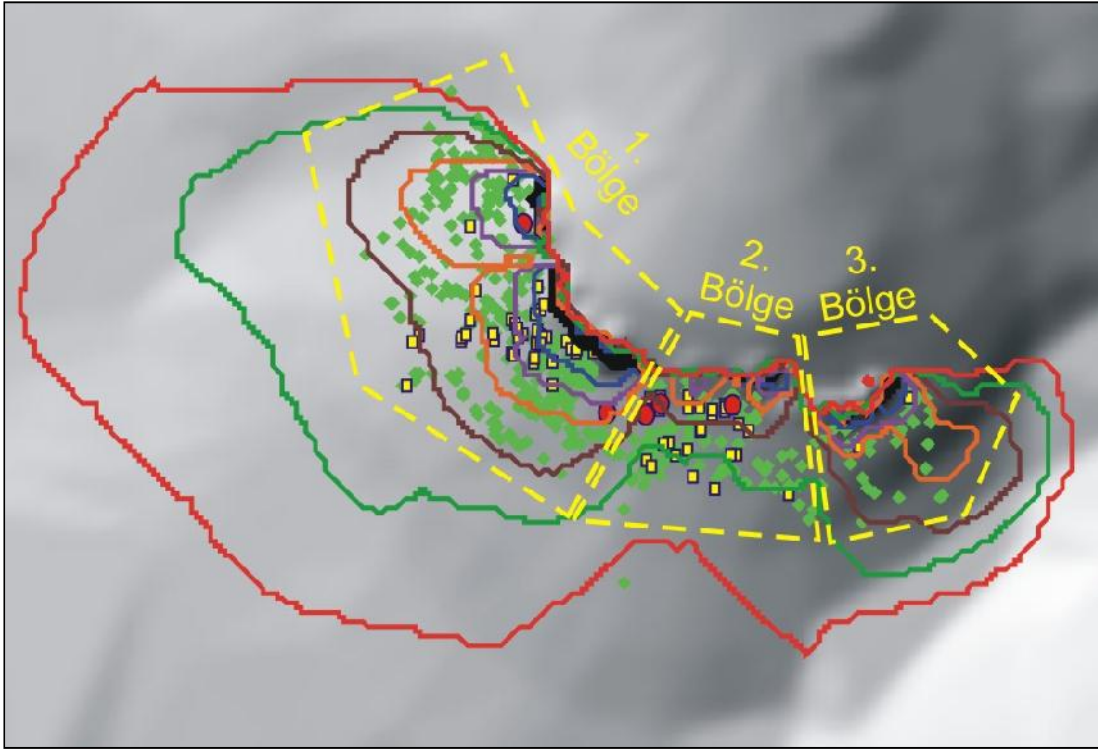
Bu amaçla, konik yayılım açısı de eri sırasıyla 30° , 25° , 22.5° , 20° , 17.5° ve 15° olarak alınımı ve CONEFALL programı [52] çalı tırılarak kaya dü mesi yayılım zonları belirlenmi ve DEM üzerine i lenmi tir (ekil 6.9a). Farklı yayılım açısı de erleri için belirlenen yayılım zonları saha çalı malarında ölçülen kaya dü me lokasyonlarının da ılımı ve blok büyüklükleriyle de kar ıla tırılmı tır (ekil 6.12b).



ekil 6-9 Konik yayılım açısı de erinin sırasıyla 30°, 25°, 22.5°, 20°, 17.5° ve 15° de erleri için belirlenen (a) yayılım zonları ve (b) dü mü bloklarla birlikte da lımı.

Çalı ma sahasındaki kaya dü me alanlarını yayılım zonlarına göre üç bölgeye ayırmak mümkündür (ekil 6.10). 1. ve 3. bölgeler birbirleri ile uyumlu bir yayılım göstermekte olup, saha çalı malarında ölçülen hemen hemen tüm kaya blokları 20° konik yayılım e im de erine ait yayılım zonu sınırları içerisinde kalmaktadır. Bu kar ın, 2. bölgede, yayılım açısı de erinin $\sim 17^\circ$ düzeylerine kadar dü mesi görülmektedir.

Bu de erler, tezin 3. Bölümünde sunulan enerji çizgisi açısı ve gölge enerji çizgisi açı de erlerinin nispeten altındadır. Lied [39] 28° ile 30° arasında de erler önerirken, Evans ve Hungr [38] on altı kaya dü mesi olayının analizi sonucunda gölge açısı için 27.5° de erini önermi lerdir. Yosemite vadisinde 25 kaya blo nu üzerindeki de erlendirmesi sonucunda Wieczorek vd. [40] ortalama ve en dü ük gölge açısı de erlerini sırasıyla 26° ve 22° olarak belirlemi tir.



ekil 6-10 Kaya dü mesi yayılım zonları açısından irdelenen üç bölge.

Meissl [41] Almanya ve Avusturya Alplerindeki gözlemlerine göre 31.5° , Copons [22] Sol'a d' Andorra'daki çalı masında genellikle gölge açısının 27° düzeylerinde oldu unu en dü ük gölge açısının ise 25.5° oldu unu belirlemi tir. Bu de erlerin yanı sıra, gölge açısının otlak, çim veya karla kaplı olması gibi özel durumlarda

daha da dü ük olabilece i Evans ve Hungr [38], Domaas [30] ve Holm ve Jakob [43] tarafından yapılan çalı malardaki sırasıyla 24°, 17° ve 21° gibi daha dü ük gölge açısı de erleriyle literatürde yer almaktadır.

Sonuç olarak konik yayılım açısı de erinin yüzey özelliklerine ba lı olarak 17° düzeylerine kadar dü ebildi i de literatürde belirtilmektedir. Çalı ma alanında genel olarak yüzeylerin ince bir örtü toprak tabakası ve otlarla kaplı oldu u görülmektedir. Bir birleriyle uyumlu olan 1. ve 3. bölgelere göre nispeten daha dü ük yayılım açısı de erleri ile sahadaki ölçülen kaya dü mesi alanlarını kapsayan 2. bölgedeki ~17°'lik yayılım açısının yüzey özelliklerine ba lı olması muhtemeldir. Ayrıca bu kesimde genel e imin 1. ve 3. bölgelere göre nispeten dü ük olması da bu belirlemeye ilave bir gösterge olarak de erlendirilebilir (bkz. ekil 6.6).

6.3.2. Kaya Dü mesi Yayılma Zonunda Blok Hızı ve Enerjisi Da ılımı Haritalarının Üretilmesi

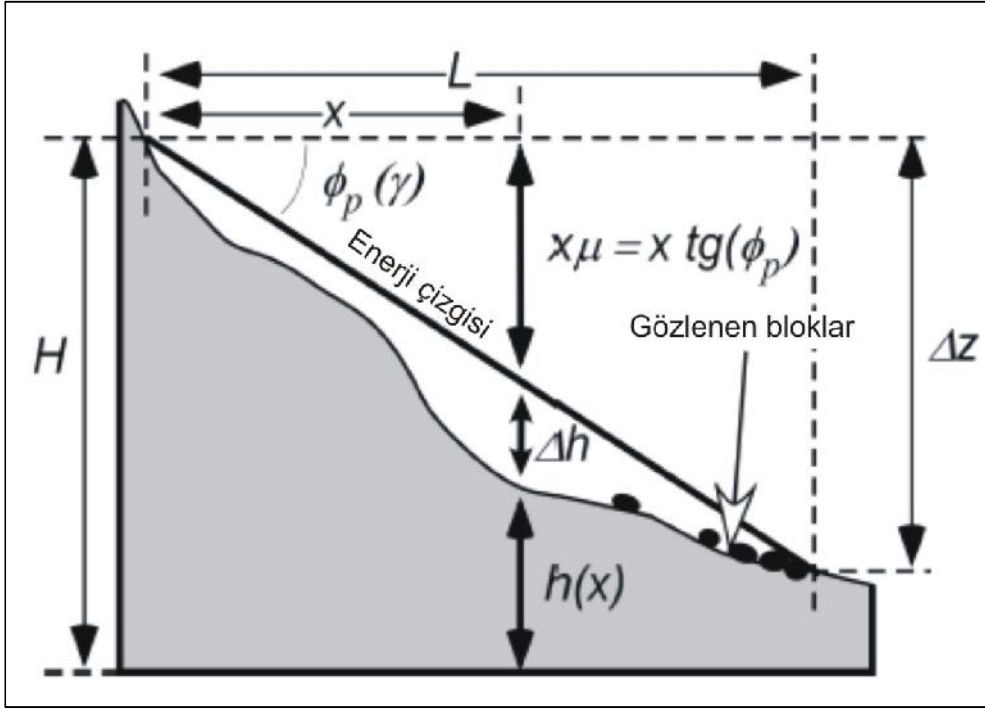
Kaya dü mesi olayında menzil mesafesinin izlenebildi i kaya dü mesi potansiyel yayılma zonlarının izlenebildi i haritaların yanı sıra, özellikle önleme yapılarının tasarımında öneme sahip olan kaya dü mesi hızı ve enerjisi da ılım haritalarının da üretilmesi do ru ve etkin tasarım açısından oldukça önemlidir.

Enerji açısı kavramına göre kaya blo u hızı ve enerjisinin hesaplanmasına yönelik de i kenler ekil 6.14'de görülmektedir. De i kenleri ekil 6.11'de verilen ve hareket halindeki kaya blo unun ili kin enerji denklemiyle hızının hesaplanmasında kullanılan e itlikler ise a a ıda verilmi tir.

$$m \quad - m \quad h(x) = \frac{1}{2} m \quad (x)^2 + m \quad \text{(E itlik 6.2)}$$

$$\mu = t \quad \phi_p = \frac{H-h(x_{S1})}{x_{S1}} \quad \text{(E itlik 6.3)}$$

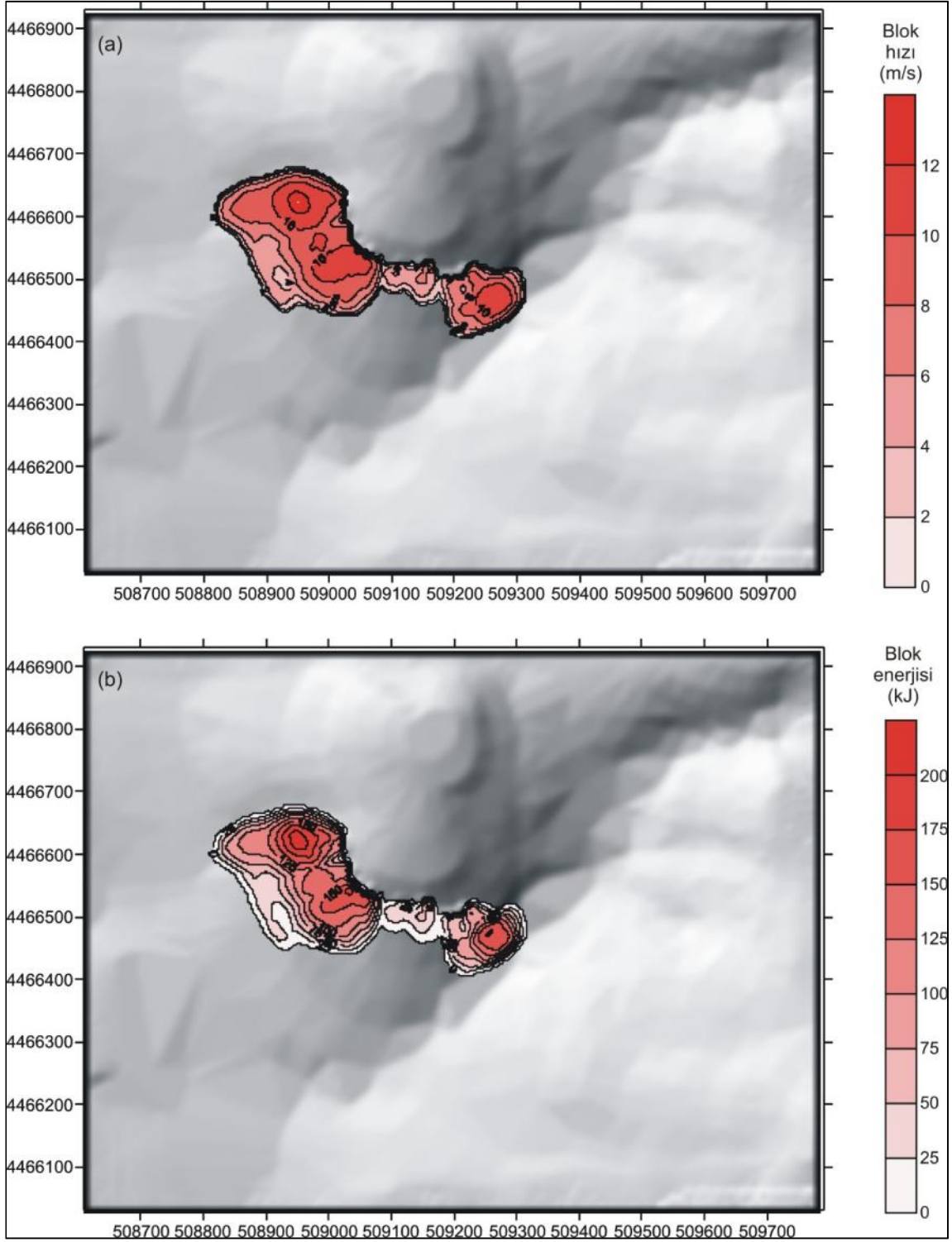
$$v(x) = \sqrt{2g(H - h(x) - t \quad \phi_p)} \quad \text{veya} \quad \Delta h = \frac{v^2(x)}{2g} \quad \text{(E itlik 6.4)}$$



ekil 6-11 Enerji açısı kavramına göre kaya blo u hızı ve enerjisinin hesaplanmasına yönelik di ğerkenler [24].

Konik açısı de ğeri 17.5° alınarak, çalı şma sahasının kaya blo u hız dağılımı ve kaya blo u kinetik enerji dağılımı haritaları da CONEFALL programı [52] kullanılarak üretilmiştir (ekil 6.12a ve b). Kaya blo unun enerjisinin hesaplanmasında blok büyüklü ğü $1m^3$ (~2200 kg) olarak alınmıştır.

ekil 6.12'deki kaya blo u hızı ve enerjisi haritaları incelendi inde de ğal olarak dura an halde ba layan blok hareketinin önce hızlandı ı ve daha sonrasında da durdu ğunu ifade eden e ğer hız konturlarına sahip oldu ğu görülmektedir. Bunun bir sonucu olarak kaya blo u enerji haritası da benzer bir dağılım sergilemektedir. Tezin bir sonraki bölümünde, çalı şma alanında olası önleme yapılarının seçilmesine yönelik yorumlarda bu haritalara tekrar de ğinilmiştir.



ekil 6-12 Konik açısının 17.5° alındı ı durumunda (a) kaya blo u hızı (b) 1m^3 lük kaya blo unun ($\sim 2220\text{ kg}$) enerji da ılımı haritası.

7. KAYA DÜ MES ÖNLEME YAPILARI VE ÇALI MA SAHASINA YÖNEL K ÖNLEY C ÖNER LER

Aktif kaynak alanındaki kaya blo unun serbest yüzeye do ru küçük hareketlerde duraylılı ını kaybederek e im a a ı oldukça hızlı olarak hareket etti i bir tür ev duraysızlı ı olan kaya dü meleri olay anında hızlarını ve blok boyutuna da ba lı olarak kinetik enerjilerinin yüksek olması nedeniyle yollar ve yapıla ma alanları için can ve mal güvenli i açısından oldukça zarar verici olabilmektedirler. Kaya bloklarının menzil mesafelerinin dı ında kalabilmek her zaman mümkün olamayabilmektedir. Bu nedenle, kaya dü mesi tehlikesi altındaki alanlarda önleyici veya zararı azaltıcı bazı mühendislik uygulamaları da yapılabilmektedir.

Volkwein vd. [55] kaya dü mesi önleme yapılarını, kaynak alanda ve yayılma zonunda alınabilecek uygulamalar ekinde a a ıdaki gibi özetlemi tir.

Aktif kaynak alanında önleyici uygulamalar

Duraysızlık potansiyeli olan kaya bloklarının temizlenmesi

- Bloklarının yerinde temizlenmesi
- Kaynak bölgesinde dik topo rafyanın yeniden tasarımı (basamaklama ve/veya e imin dü ülmesi)

Duraysızlık potansiyeli olan kaya bloklarının duraylılı ının artırılması

- Sı ve/veya derin drenaj
- Çelik hasır uygulanması
- A açlandırma
- Ankraj veya bolt uygulamaları
- Püskürtme beton (shotcrete) kaplaması
- Aktif kaynak alana yakın istinat yapıları

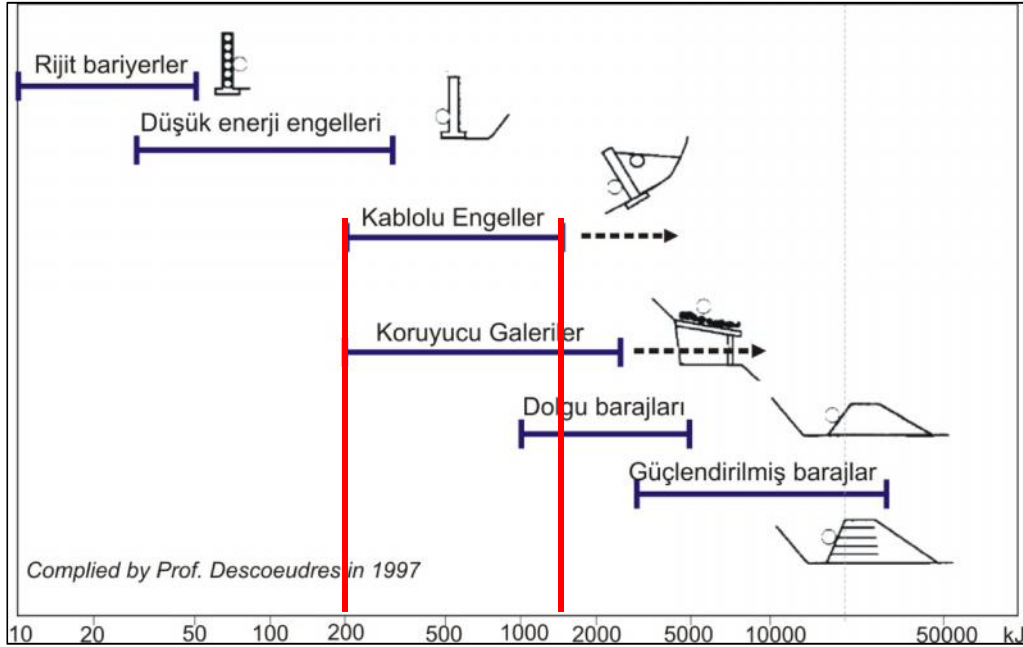
Yayılim zonunda önleyici uygulamalar

- Do al bariyerler (A açlık, ormanlık alanlar)
- Kaya toplama hendekleri/kapanları
- Çelik hasır ve kablo a perdeler
- Ah ap, metal veya beton gibi rijit bariyerler
- Dü ük enerjili bloklar için engeller

- Yüksek enerjili bloklar için engeller
- Kaya blo u koruma galerileri
- Dolgu barajları veya güçlendirilmi barajlar

Yayılmı zonu içerisindeki e im a a ı alanda a açlık alanların bulunması do al nleme yapıları olarak de erlendirilebilir. A aların varlı ı, türüne gövde kalınlı ına sıklı ına da ba lı olarak d en blokların hareketini durudurucu, hızını ve enerjisini azaltıcı bir rol oynayabilir. Ancak, a açlık alanların varlı ı do al bir kaya d mesi nleme yapısı olarak de erlendirilmekle birlikte, her zaman kaya d mesi tehlikesini tümüyle ortadan kaldıracı i d nlmemelidir [54].

Tüm mühendislik uygulamaları ilgili problemin zmne yönelik olarak tasarılır. Bu nedenle, kaya d mesi önleyici yapılarının da bir veya bir kaçının birlikte kullanılması da söz konusu olabilir. Ancak kaya d melerinde önleyici bazı mühendislik yakla ımlarının uygulanabildi i kaya d mesi enerji kapasite aralıkları ekil 7.1'de verilmi tir. Geli en teknoloji ve malzeme bilimi farklı uygulamalarında sürekli geli imini de beraberinde getirmektedir. Bu nedenle, ekil 7.1'deki bilgileri kaya d mesine yönelik uygulanan nleme yapıları enerji kapasitesi açısından genel bir kar ıla tırma olarak de erlendirilmelidir.



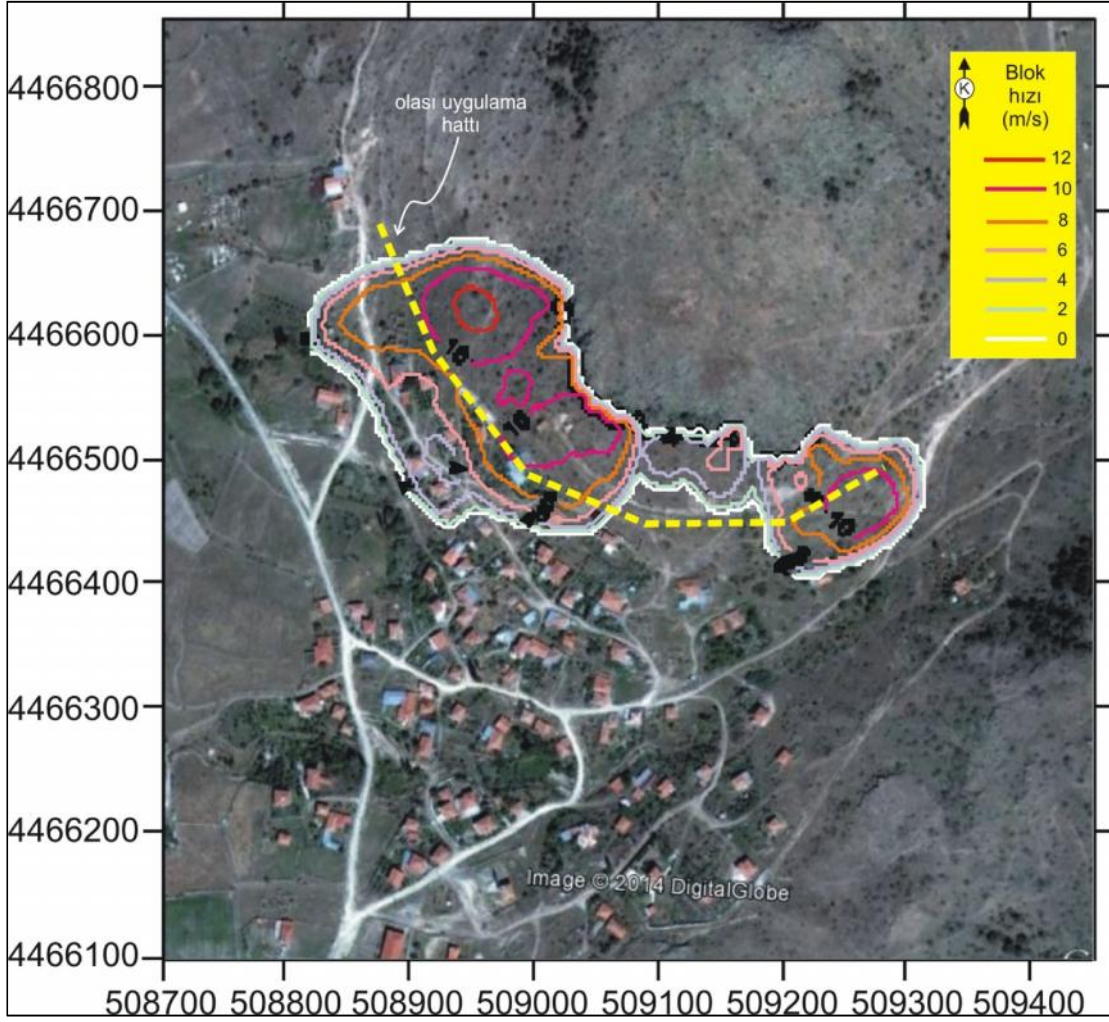
ekil 7-1 Kaya blo unun enerji kapasitelerine göre önleyici mühendislik uygulamaları [53]

7.1. Susuz Köyü'ne Yönelik Önleyici Olası Kaya Düşmesi Önerileri

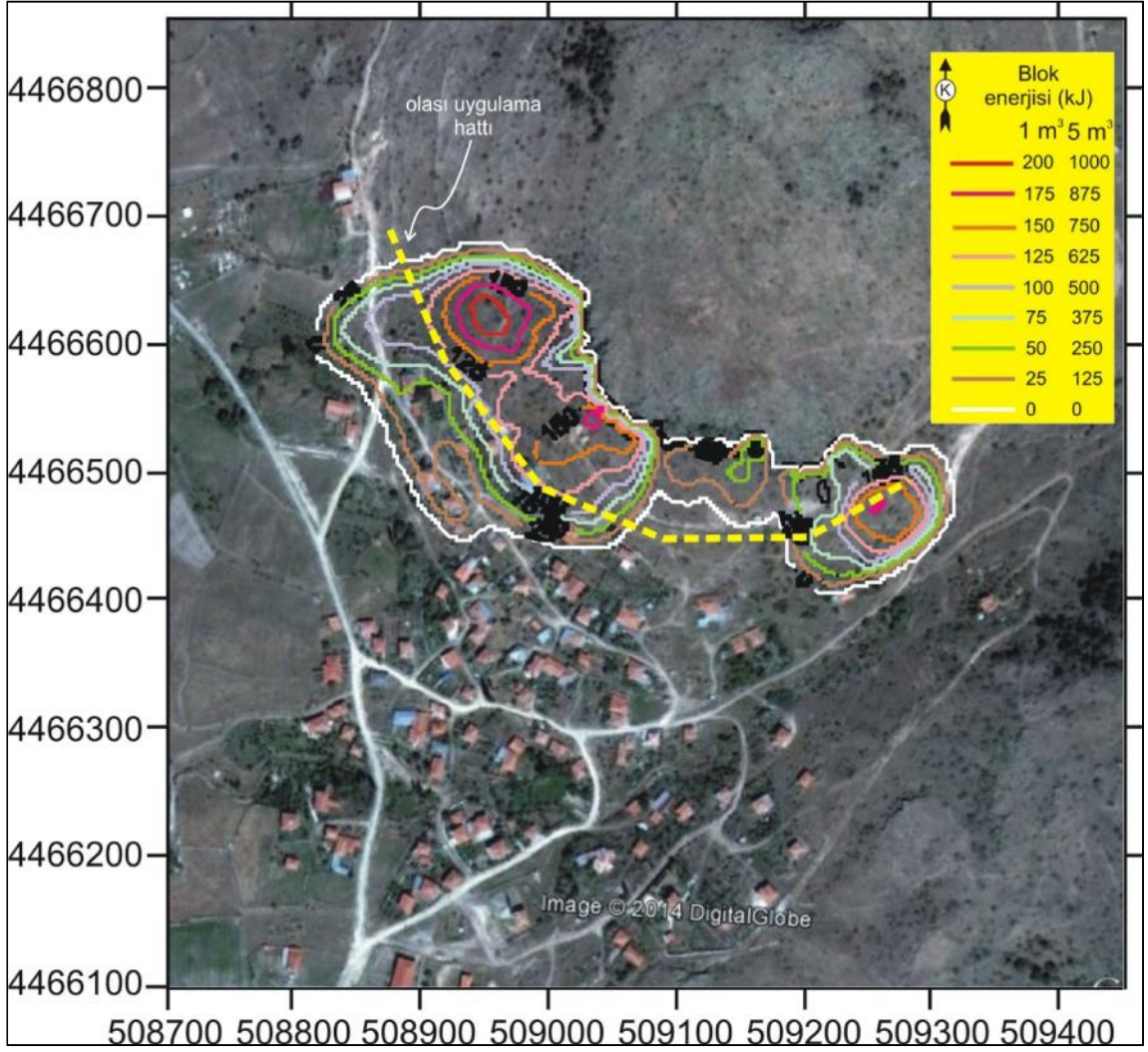
Tezin 5. Bölümünde de belirtildiği üzere, 5 m³'den büyük bloklar gerek yamaç eğiminin, literatürdeki pek çok kaya düşmesi vakasına oranla nispeten düşük olması ve kaya bloklarının eğlinde de bağılı olarak menzil mesafeleri az olup, Susuz köyüne kadar ulaşması oldukça düşük ihtimale sahiptir. Bununla birlikte, 1m³'den küçük blokların sıklıkla ve 1 m³ ile 5 m³ arasındaki boyutlara sahip blokların ise nispeten seyrek olarak Susuz Köyü'nün üst kotlarındaki evlere ulaşabildiği gerek saha çalışmalarında ve gerekse tez kapsamında yapılan değerlendirmelerde belirlenmiştir.

Bir önceki bölümde 17.5⁰ enerji açısı için belirlenen yayılım alanı içerisinde kaya bloğu hızı dağınılığı ve yaklaşık 1m³ ve 5m³'lük kaya bloklarının bu alan içerisindeki hareketlerine bağlı enerji dağınılığı konturları çizilmiştir ve bu konturların Susuz köyü yerleşim alanı ile ilişkisini de görebilmek amacıyla Google Earth görüntüsü üzerinde gösterilmiştir (ekil 7.3 ve 7.4).

Yayılım alanı içerisinde etkili olabilecek bir kaya düşmesi önleyici yapısı için köy yerleşim alanından uzak ve ayrıca olabildiğince karılabilir uygun hız ve enerji büyüklüğünü seçmek doğru bir yaklaşım olacaktır. Bu yönüyle değerlendirildiğinde düşen kaya bloğunun hızının azalmaya ve enerjisinin de sönmeye başladığı hat uygulama açısından daha olumlu bir kesim olarak yorumlanabilir (ekil 7.3 ve 7.4). ekil 6.4'de verilen kaya bloğu enerji dağınılığı incelendiğinde 1 m³ ve 5 m³'lük kaya blokları için en büyük enerji düzeyleri sırasıyla 200 kJ ve 1000 kJ olarak izlenmektedir. Ancak uygulama için önerilen hatta bu değerler sırasıyla 125 kJ ile 625 kJ düzeylerine inmektedir. Bu değerler dikkate alındığında kablolu engelleme önleyici yapısının etkin sonuç verebileceği görülmektedir.



ekil 7-2 Susuz köyü üst kotlarında 17.5° yayılım açısı için belirlenen alanda kaya dümesi hız dağılımı



ekil 7-3 Susuz köyü üst kotlarında 17.5° yayılım açısı için belirlenen alanda 1 m³ ve 5 m³'lük kaya blo u için enerji da ılımı

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında Ankara ili, Çubuk ilçesi, Susuz köyünün yerleşim yeri ve çevresinde kaya düşmesi olayı incelenmiş ve elde edilen veriler kullanılarak kaya düşmesi haritaları oluşturulmuştur. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıdaki gibidir.

- a) Susuz köyü ve çevresi içerisine alan (10 x 10 m) çözünürlükte sayısal yükseklik modeli (DEM) oluşturulmuştur. Sayısal yükseklik modelinin çözünürlüğüne göre aktif kaynak alanları için sınır değeri olarak $46,28^\circ$ olarak hesaplanmıştır. Serbest düşme yüksekliğine (VHR)'ye göre 4-6 m için sınır değeri açısı $\sim 24^\circ$ - $\sim 33^\circ$ olarak bulunmuştur. DEM haritasında sınır değeri açı aralığı dikkate alınarak $\sim 30^\circ$ büyük alanlar, 30° - 28° , 28° - 26° , 26° - 24° , ve 24° küçük eğime sahip potansiyel alanlar belirlenmiştir. Elde edilen DEM haritası ile saha çalışmaları belirlenen 1'den 5'e kadar numaralandırılan potansiyel kaynak alanlar ile karşılaştırılması sonucunda nihai aktif kaynak alan haritası oluşturulmuştur.
- b) Çalışma alanında 585 adet düşme kaya bloğunun konumu ve boyutları yaklaşık olarak ölçülmüştür. Çalışma alanını blok büyüklüklerine göre $<1 \text{ m}^3$, $1 \text{ m}^3 - 5 \text{ m}^3$, $>5 \text{ m}^3$ olmak üzere üç sınıfa ayrılmış olup, sahadaki konumları sayısal yükseklik modeli üzerinde gösterilmiştir. Yerleşim alanlarının da bulunduğu harita üzerinde düşme kaya bloklarının dağılımı, $<1 \text{ m}^3$ alanların yerleşim alanında daha sıklıkla, $1 \text{ m}^3 - 5 \text{ m}^3$ yerleşim alanında seyrek olduğu ve $>5 \text{ m}^3$ yerleşim alanlarının daha üst kotlarında olduğu görülmüştür.
- c) Kaya düşmesi haritalarının üretilmesi için Conefall programı [52] kullanılmıştır. Aktif kaynak alanların programa girilmesinden sonra yayılma açısı; 30° , 25° , 22.5° , 20° , 17.5° ve 15° alınarak yayılım zonları belirlenmiş olup, düşme bloklar içerisindeki dağılımı incelenmiştir.
- d) Belirlenen yayılım zonlarına göre düşme blokların yayılımı dikkate alınarak çalışma sahasını yayılım zonlarına göre üç bölgeye ayrılması mümkündür. 1. ve 3. bölgelerin yayılım zonları birbirleri ile uyumlu olup; yayılma değeri ise 20° 'dir. 2. bölge de ise $\sim 17^\circ$ yayılma değerine sahip olduğu görülmektedir. Literatürde belirtilen eğim çizgisi veya gölge açısı

de erlerinin altında olmasının sebebi olarak yüzey özellikleri ve üç bölgenin genel eğiminin düşük olması gösterilebilir.

- e) Çalı ma sahasının kaya blo u hız da ılımı ve kaya blo u kinetik enerji da ılımı belirlenmesi için yine Conefall programı [52] kullanılmı tır. Girdi parametreleri olarak; yayılım eğim açısı de eri 17.5°, blok büyüklü ü 1m³ ve blok kütlesi olarak ~2700 kg de erleri girilmi tir. Program çalı tırılarak kaya blo u enerji da ılımı ve blok hızı haritası olu turulmu tur. Haritaların incelenmesi sonucunda her iki haritanın birbirleri ile uyumlu oldu u ve aktif kaynak alandan dü en kaya blo unun önce hızlandı ı ve daha sonrasında da durdu unu ifade eden eğim hız konturlarına sahip oldu u görülmektedir.
- f) Susuz köyü için potansiyel kaya dü mesi sırasında önleme yapısı olarak yerle imden uzak, kaya blo unun hızının azalmaya ve enerjisinin sönmülmeye ba ladı ı olası uygulama hattı belirlenmi olup harita üzerinde gösterilmi tir. Enerji da ılımı haritası incelenmesi sonucu, tehlike yaratabilecek 1 m³ ve 5 m³lük kaya blokları için enerji düzeyleri sırasıyla 200 kJ ve 1000 kJ olarak izlenmektedir. Önerilen uygulama hattında ise enerjilerin 125 kJ ile 625 kJ düzeylerine indi i görülmektedir. Bu enerji de erleri dikkate alındı ında yapılması pratik ve maliyeti düşük olan “Kablolu Engeller” önleyici yapısının önleyici yapı olarak yapılması önerilmektedir.
- g) Susuz köyünün eteklerinde yer aldı ı bölgede dü mü kaya bloklarının sahadaki konumlarıyla konik yayılım kavramı kullanılarak belirlenen yayılım zonu konturları birlikte ele alındı ında, bölgesel ölçekli haritalamalarda kaynak alandan itibaren kaya dü mesi yayılım zonlarının belirlenmesinde konik yayılım yaklaşı mının kabul edilebilir sonuçlar üretti i söylenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Gökçe vd , Türkiye'de Afetlerin Mekansal ve istatistiksel Da ılımı Afet Bölgeleri Envanteri, Ankara, 10-11, **2008**.
- [2] EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database, Universite catholique de Louvain, Brussels, Belgium, **2014**.
- [3] Evans, S. , Catastrophic landslides: effects, occurrence, and mechanisms. Boulder, CO, *Geological Society of America* 412-422, **2002**.
- [4] Guzzetti, F., Reichenbach, P.A. and Ghigi, S., Rockfall Hazard and Risk Assessment Along a Transportation Corridor in the Nera Valley , Central Italy, *Environmental Management*, 34 (2), 191-208, **2004**.
- [5] Ayala-Carcedo, F.J., Cubillo-Nielssen, S., Alvarez, A., Dominguez, M:J., Lain, L., Lain, R. and Ortiz G., 2003, Large Scale Rockfall Reach Susceptibility Maps in La Cabrera Sierra (Madrid) performed with GIS and Dynamic Analysis at 1:5000, *Natural Hazards* 30, 325-340, **2003**.
- [6] Marquínez, J., Menéndez Duarte, R., Farias, P. and Jiménez, M, Predictive GIS-Based Model of Rockfall Activity in Mountain Cliffs, *Natural Hazards*, 30, 341-360, **2003**.
- [7] Schweigl J., Ferretti, C. and Nössing L., , Geotechnical characterization and rockfall simulation of a slope: a practical case study from South Tyrol (Italy), *Engineering Geology*, 67, 281-296, **2003**.
- [8] Dorren, L.K.A., Maier B., Putters, U.S. and Seijmonsbergen A.C., 2004,Combining field and modelling techniques to assess rockfall dynamics on a protection forest hillslope in the European Alps, *Geomorphology*, 57, 151- 167 **2004**.
- [9] Aksoy, H. and Ercano lu, M., Determination of the rockfall source in an urban settlement area by using a rule-based fuzzy evaluation, *Natural Hazards and Earth System Science*, 6, 941-954 **2006**.
- [10] Ulusay, R. et all, Assessment of environmental and engineering geological problems for the possible re-use of an abandoned rock-hewn settlement in Urgüp (Cappadocia), *Environmental Geology*, Volume 50, Issue 4, pp 473-494, **2006**.
- [11] Yılmaz, I. et all., A method for mapping the spatial distribution of *RockFall* computer program analyses results using *ArcGIS* software, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Volume 67, 547-554, **2008**.
- [12] Binal ,A., Ercano lu,M., Assessment of rockfall potential in the Kula (Manisa, Turkey) Geopark Region, *Environmental Earth Sciences*,61, pp.1361–1373, **2010**.
- [13] Topal et al. Rockfall hazard analysis for an historical Castle in Kastamonu (Turkey), *Springer Natural Hazards (2012)*, 62: 255–274, **2012**.
- [14] Varnes, D.J., Slope movements, type and processes. R.L., Schuster, R.J., Krizek, (eds.) *Landslide analysis and control*, Special Report, vol.

176. *Transportation Research Board, National Academy of Sciences*, Washington D.C., 11-33. **1978**.
- [15] Cruden, D.M., Varnes, D.J., Landslide types and processes , *Landslides Investigation and Mitigation, National Research Council, Transportation Research Board*, Washington, DC, 36–75, **1996**.
- [16] Hoek, E., Analysis of rockfall hazards, *Practical Rock Engineering*, pp: 1-25, **2007**.
- [17] Larcher, V. , *Rockfall and Forecast systems, PARAMount and Alpine Space*, 1-57, **2012**.
- [18] Dorren, L.K.A. and Berger, F., Review of rockfall mechanics and modelling approaches. Program. *Physical Geology*. 27: 69–87, **2003**.
- [19] Troisi, C., Dorren, L.K.A. and Berger, F., Objective comparison of rockfall models using real size experimental data, *Disaster Mitigation of Debris Flows, Slope Failures and Landslides, Universal Academy Press*, Tokyo, Japan, 245–252, **2006**
- [20] Strahler, A. N., Equilibrium theory of erosional slopes, approached by frequency distribution analysis: *American Journal Science*., v. 248, p. 673-696, 800-814, **1950**.
- [21] Loye, A., Identification of potential rockfall source areas at a regional scale using a DEM-based geomorphometric analysis, *Natural Hazards Earth System Sciences*, 9, 1643–1653, **2009**.
- [22] Copons, R., Rockfall travel distance analysis by using empirical models (Sol'a d'Andorra la Vella, Central Pyrenees), *Natural Hazards Earth System Sciences*, 9, pp.2107–2118, **2009**.
- [23] Heim, A., *Bergsturz und Menschenleben*. Zürich: Fretz & Wasmuth, **1932**.
- [24] Jaboyedoff, M. and Labiouse, V., Technical Note: Preliminary estimation of rockfall runout zones, *Natural Hazards Earth System Sciences* 11, 819–828, **2011**.
- [25] Gerber, W., Beurteilung des Prozesses Steinschlag, Forstliche Arbeitsgruppe Naturgefahren (FAN), Herbstkurs Poschiavo, Kursunterlagen, WSL, Birmensdorf, 20 pp., German, **1994**.
- [26] Jaboyedoff, M. and Labiouse, V.: Preliminary assessment of rockfall hazard based on GIS data, *In 10th International Congress on Rock Mechanics ISRM 2003 – Technology roadmap for rockmechanics*, 575–578, Johannesburg, South Africa, **2003**.
- [27] Shreve, R. L. C, The Blackhawk landslide, Geological Society of America , 47 pp., **1968**.
- [28] Onofri, R., Candian, C. , Indagine sui limiti di massima invasione di blocchi rocciosi franati durante il sisma del Friuli del, Venezia Giulia, CLUET, 42 pp. **1979**.
- [29] Grunder, M., Mapping of Mountain Hazards and Slope Stability, Mountain Research And Development, Vol:4, No:3, 247-266, **1984**.

- [30] Domaas, U., Rekkevidden av steinprang, *NGA,Report, Norwegian Geotechnical Institute*, Oslo, **1985**.
- [31] Toppe, R. Terrain models: a tool for natural hazardmapping. In: *Avalanche formation, movement and effects*, The International Association of Hydrological Sciences (IAHS). Wallingford, UK. Publ. 162, pp. 629-638, **1987**.
- [32] Meissl, G. , *Modellierung der Reichweite von Felsstürzen. Fallbeispiele zur GISgestützten Gefahrenbeurteilung aus dem Beierischen und Tiroler Alpenraum.Innsbrucker Geografischen Studien 28. Ph.D.Thesis*, Universität Innsbruck, Innsbruck, 249pp, **1998**.
- [33] Heinimann, H.R., Holtenstein, K., Kienholz, H., Krummenhacher, P. Methoden zur Analyse und Bewertung von Naturgefahren, *Umwelt-Materialien Nr. 85, Naturgefahren, BUWAL*, Bern, 248 pp, **1998**.
- [34] Corominas, J., Copons, R. J. M., Vilaplana, J., Altimir, J., and Amigo, J. *Quantitative assessment of the residual risk in a rockfall protected area, Landslides*, 2, pp:343–357, **2003**.
- [35] Scheidegger, A. E., On the Prediction of the Reach and Velocity of Catastrophic Landslides, *Rock Mechanics*, 231–236, **1973**.
- [36] Deparis, J., Jongmans, D., Cotton, F., Baillel, L., Thouvenot F. , Hantz, D., Analysis of Rock-Fall and Rock-Fall Avalanche Seismograms in the French Alps, *Bulletin of the Seismological Society of America August 2008 vol. 98 no. 4*, 1781-1796, **2008**.
- [37] Hyndman, D., Hyndman, D., *Natural Hazards And Disasters*, Canada, 550 pages, **2009**.
- [38] Evans, S. and Hungr, O., The assessment of rockfall hazard at the base of talus slopes, Canada. *Geotechnical Journal*, 30, 620–636, **1993**.
- [39] Lied, K., *Rockfall problems in Norway, in: Rockfall dynamics and protective work effectiveness*, Bergamo, 90, 51–53, **1977**.
- [40] Wieczorek, G. F., Morrissey, M. M., Iovine, G., and Godt, J., Rockfall Potential in the Yosemite Valley, California., *United States Geological Survey Open-file Report*, 99–578, **1998**.
- [41] Meissl, G., Modelling the runout distances of rockfall using a geographic information system, *Z. Geomorphol.*, 125, 129–137, **2001**.
- [42] Domaas, U., Geometrical methods of calculating rockfall range, *Norwegian Geotechnical Institute Report 585910-1*, Oslo, **1994**.
- [43] Holm, K. and Jakob, M., Glacier change in western North America: influences on hydrology, geomorphic hazards and water quality, Wiley Online Library, **2009**.
- [44] Derron, M.H., Jaboyedoff, M., Oppikofer, T., Abellan, A., Loya, A., Metzger, R., Pedrazzini, A., Use of LIDAR in landslide investigations: a review, *Natural Hazards Earth System Sciences*, 61, 5-28, **2010**.
- [45] Çubuk ilçesi iklimi ve bitki örtüsü, http://www.cubuk.gov.tr/default_B0.aspx?content=195 .**2014**.
- [46] Afet İleri Genel Müdürlüğü, Coğrafi Bilgi Sistemi Uygulamaları, 1-3, **2005**.

- [47] algın, R., Pehlivanolu, H., Ercan, T., ve Engün, M., Ankara civarının jeolojisi, *Maden Tetkik ve Arama Enstitü Raporu*, 6487 sayfa, **1973**.
- [48] Akyürek, B., Bilginer, E., Çatal, E., Daer, Z., Soysal, Y., ve Sunu, O., Eldivan abanözü(Çankırı), Hasayaz-Çandır(Kalecik-Ankara) dolayının jeolojisi, *MTA Derleme Raporu. No: 6741, (yayımlanmamı)*, Ankara, **1980**.
- [49] Suludere, Y., Me eli-A a emirler-Dedeler(Çubuk-Ankara) bölgesi jeolojisi, *MTA Rap.6030, (yayınlanmamı)* Ankara, **1976**.
- [50] ISRM, Rock Characterisation, Testing and Monitoring ISRM Suggested Methods Pergamon, Oxford, **1981**.
- [51] Deere, D. U. and R. P. Miller, Engineering classification and index properties of rock, *Tech. Report Air Force Weapons Laboratory*, New Mexico, 65-116, **1966**.
- [52] CONEFALL programs, (<http://www.quanterra.org/softs.htm>), **(1998)**.
- [53] Volkwein, A., Schellenberg, K, Labiouse, V., Agliardi, F., F. Berger, F., Bourrier, F., L. Dorren, K.A., Gerber, W, and Jaboyedoff, M., Rockfall characterisation and structural protection – a review, *Natural Hazards Earth System Sciences*, *11*, 2617–2651, **2011**.
- [54] Labiouse, A., V., Volkwein, A, Schellenberg, K., Interdisciplinary Workshop on Rockfall Protection, *Swiss Federal Research Institue*, 49–51, Morschach, Switzerland, **2008**.

EKLER

EK-1 Kaya Bloklarının Konumları ve Boyutları.

No	ED50(27-6°)		En (cm)	Boy (cm)	Yükseklik (cm)	Yaklaşık blok hacmi (m ³)
	Y	X				
1	509125	4466462	140	130	80	1.456
2	509125	4466462	75	80	75	0.45
3	509128	4466464	90	56	70	0.3528
4	509128	4466464	60	100	25	0.15
5	509128	4466464	65	43	47	0.131365
6	509130	4466467	70	100	48	0.336
7	509130	4466467	50	50	48	0.12
8	509135	4466465	60	70	40	0.168
9	509135	4466465	38	47	40	0.07144
10	509143	4466459	65	90	38	0.2223
11	509143	4466459	100	67	38	0.2546
12	509153	4466458	65	80	30	0.156
13	509153	4466458	100	110	50	0.55
14	509167	4466458	100	80	110	0.88
15	509167	4466458	130	90	90	1.053
16	509167	4466458	110	70	48	0.3696
17	509173	4466458	110	70	48	0.3696
18	509173	4466458	80	120	75	0.72
19	509163	4466463	100	120	50	0.6
20	509163	4466463	100	80	50	0.4
21	509163	4466463	50	55	50	0.1375
22	509154	4466465	110	40	50	0.22
23	509154	4466465	80	50	86	0.344
24	509156	4466469	100	70	77	0.539
25	509148	4466508	80	90	75	0.54
26	509089	4466512	130	50	90	0.585
27	509090	4466512	150	110	48	0.792
28	509090	4466502	160	130	35	0.728
29	509063	4466502	210	300	110	6.93
30	509063	4466502	110	200	35	0.77
31	509063	4466493	100	110	30	0.33
32	509095	4466487	150	90	40	0.54
33	509095	4466487	115	70	45	0.36225
34	509095	4466487	130	110	90	1.287
35	509115	4466489	160	70	50	0.56
36	509099	4466489	100	70	40	0.28
37	509099	4466489	150	120	90	1.62
38	509099	4466491	70	50	40	0.14
39	509102	4466491	80	40	30	0.096
40	509102	4466491	60	30	70	0.126

No	ED50(27-6°)		En (cm)	Boy (cm)	Yükseklik (cm)	Yaklaşık blok hacmi (m ³)
	Y	X				
41	509102	4466491	60	60	40	0.144
42	509110	4466489	120	70	50	0.42
43	509110	4466489	40	55	60	0.132
44	509110	4466494	130	70	35	0.3185
45	509110	4466494	90	40	40	0.144
46	509113	4466494	80	70	30	0.168
47	509113	4466494	60	50	50	0.15
48	509117	4466496	140	130	70	1.274
49	509116	4466496	210	120	60	1.512
50	509116	4466496	70	70	45	0.2205
51	509116	4466499	80	80	35	0.224
52	509117	4466499	50	70	50	0.175
53	509117	4466499	80	90	30	0.216
54	509117	4466499	90	60	50	0.27
55	509118	4466499	100	50	60	0.3
56	509118	4466506	110	60	50	0.33
57	509118	4466506	100	100	70	0.7
58	509118	4466508	80	60	60	0.288
59	509111	4466485	130	90	70	0.819
60	509110	4466485	90	120	50	0.54
61	509110	4466485	120	100	90	1.08
62	509102	4466482	280	150	100	4.2
63	509128	4466482	80	70	80	0.448
64	509128	4466482	90	70	60	0.378
65	509134	4466481	150	110	70	1.155
66	509138	4466481	120	80	40	0.384
67	509138	4466481	160	210	50	1.68
68	509138	4466481	90	60	48	0.2592
69	509145	4466487	150	80	40	0.48
70	509145	4466494	100	150	40	0.6
71	509145	4466494	85	70	60	0.357
72	509145	4466494	70	60	30	0.126
73	509145	4466495	70	110	30	0.231
74	509145	4466495	70	120	110	0.924
75	509145	4466495	80	150	70	0.84
76	509145	4466495	180	250	70	3.15
77	509148	4466495	120	90	60	0.648
78	509148	4466495	140	90	50	0.63
79	509148	4466495	110	50	80	0.44
80	509148	4466498	110	70	80	0.616
81	509139	4466498	180	120	90	1.944
82	509139	4466498	120	90	60	0.648
83	509139	4466504	70	70	70	0.343
84	509134	4466504	100	90	30	0.27
85	509134	4466509	90	60	60	0.324

No	ED50(27-6°)		En (cm)	Boy (cm)	Yükseklik (cm)	Yaklaşık blok hacmi (m ³)
	Y	X				
86	509134	4466509	230	130	80	2.392
87	509136	4466509	90	78	30	0.2106
88	509136	4466509	150	140	90	1.89
89	509135	4466509	100	180	80	1.44
90	509135	4466507	120	110	70	0.924
91	509135	4466507	280	190	130	6.916
92	509135	4466507	150	100	50	0.75
93	509135	4466507	100	80	150	1.2
94	509131	4466506	250	100	80	2
95	509131	4466506	80	120	80	0.768
96	509131	4466510	100	120	100	1.2
97	509131	4466506	160	160	130	3.328
98	509123	4466506	140	130	160	2.912
99	509123	4466504	170	120	120	2.448
100	509125	4466504	120	90	70	0.756
101	509116	4466504	120	120	40	0.576
102	509116	4466509	180	110	150	2.97
103	509109	4466509	200	130	140	3.64
104	509109	4466512	80	110	70	0.616
105	509109	4466514	170	170	100	2.89
106	509094	4466514	90	80	80	0.576
107	509094	4466514	90	90	60	0.486
108	509088	4466514	200	130	90	2.34
109	509093	4466514	110	190	50	1.045
110	509093	4466507	270	100	110	2.97
111	509093	4466507	400	200	130	10.4
112	509093	4466507	180	130	100	2.34
113	509093	4466507	80	90	30	0.216
114	509086	4466507	140	90	90	1.134
115	509086	4466500	310	250	100	7.75
116	509086	4466500	140	110	40	0.616
117	509086	4466500	70	140	50	0.49
118	509086	4466500	120	90	60	0.648
119	509093	4466486	130	70	40	0.364
120	509093	4466486	140	80	50	0.56
121	509093	4466482	70	220	60	0.924
122	509093	4466482	140	70	30	0.294
123	509091	4466478	120	60	40	0.288
124	509091	4466478	90	130	60	0.702
125	509088	4466475	100	170	60	1.02
126	509088	4466475	100	100	50	0.5
127	509090	4466470	60	70	60	0.252
128	509090	4466470	90	100	50	0.45
129	509084	4466465	120	90	70	0.756
130	509084	4466465	125	80	30	0.3

No	ED50(27-6°)		En (cm)	Boy (cm)	Yükseklik (cm)	Yaklaşık blok hacmi (m ³)
	Y	X				
131	509086	4466465	40	70	50	0.14
132	509086	4466463	40	80	70	0.224
133	509093	4466463	100	100	40	0.4
134	509093	4466468	80	40	30	0.096
135	509093	4466468	90	110	90	0.891
136	509098	4466473	80	60	30	0.144
137	509098	4466473	50	60	50	0.15
138	509104	4466473	100	90	30	0.27
139	509104	4466478	90	70	25	0.1575
140	509109	4466478	80	50	70	0.28
141	509109	4466478	50	70	50	0.175
142	509109	4466482	70	100	65	0.455
143	509118	4466482	50	80	80	0.32
144	509118	4466485	110	110	25	0.3025
145	509118	4466485	50	120	50	0.3
146	509116	4466468	40	120	60	0.288
147	509116	4466468	120	70	50	0.42
148	509112	4466468	80	180	70	1.008
149	509112	4466495	80	100	45	0.36
150	509109	4466518	100	90	70	0.63
151	509109	4466518	140	60	80	0.672
152	509109	4466518	130	60	40	0.312
153	509021	4466646	100	40	50	0.2
154	509030	4466599	70	130	60	0.546
155	509054	4466522	110	75	40	0.33
156	509055	4466525	100	20	80	0.16
157	509053	4466526	90	90	60	0.486
158	509049	4466525	80	80	40	0.256
159	509050	4466528	125	60	40	0.3
160	509050	4466530	60	30	50	0.09
161	509049	4466529	120	90	60	0.648
162	509052	4466534	90	70	50	0.315
163	509053	4466535	150	70	30	0.315
164	509053	4466537	70	30	50	0.105
165	509052	4466538	110	60	80	0.528
166	509051	4466538	50	50	60	0.15
167	509050	4466518	90	50	40	0.18
168	509055	4466540	120	120	70	1.008
169	509049	4466539	90	50	20	0.09
170	509049	4466540	90	40	90	0.324
171	509046	4466540	140	120	80	1.344
172	509045	4466540	130	110	130	1.859
173	509042	4466542	180	140	70	1.764
174	509043	4466541	120	120	30	0.432
175	509042	4466540	70	30	70	0.147

No	ED50(27-6°)		En (cm)	Boy (cm)	Yükseklik (cm)	Yaklaşık blok hacmi (m ³)
	Y	X				
176	509044	4466536	70	80	50	0.28
177	509045	4466536	150	70	50	0.525
178	509047	4466535	70	80	40	0.224
179	509050	4466535	100	60	30	0.18
180	509049	4466535	80	70	60	0.336
181	509049	4466534	70	50	30	0.105
182	509043	4466532	140	50	60	0.42
183	509042	4466532	90	50	40	0.18
184	509045	4466533	135	50	50	0.3375
185	509044	4466533	80	50	60	0.24
186	509042	4466531	150	80	60	0.72
187	509043	4466531	90	110	20	0.198
188	509042	4466531	150	110	60	0.99
189	509041	4466531	110	110	40	0.484
190	509041	4466529	100	60	20	0.12
191	509045	4466526	70	60	60	0.252
192	509045	4466525	60	60	40	0.144
193	509043	4466525	110	130	33	0.4719
194	509047	4466525	110	75	40	0.33
195	509050	4466520	110	60	40	0.264
196	509052	4466516	70	40	50	0.14
197	509052	4466515	100	40	40	0.16
198	509054	4466514	100	70	50	0.35
199	509048	4466516	50	60	60	0.18
200	509043	4466517	80	60	70	0.336
201	509043	4466518	90	90	20	0.162
202	509043	4466520	90	90	40	0.324
203	509043	4466522	90	80	70	0.504
204	509038	4466525	100	70	20	0.14
205	509039	4466518	110	80	90	0.792
206	509040	4466514	80	70	30	0.168
207	509041	4466515	120	70	50	0.42
208	509038	4466511	150	70	50	0.525
209	509037	4466511	100	50	50	0.25
210	509035	4466511	135	80	40	0.432
211	509031	4466513	110	90	70	0.693
212	509032	4466518	80	70	70	0.392
213	509033	4466519	100	70	40	0.28
214	509032	4466521	130	80	120	1.248
215	509032	4466521	150	90	30	0.405
216	509034	4466525	110	110	30	0.363
217	509045	4466509	90	40	40	0.144
218	509042	4466509	70	60	60	0.252
219	509040	4466507	75	35	50	0.13125
220	509039	4466506	70	90	40	0.252

No	ED50(27-6°)		En (cm)	Boy (cm)	Yükseklik (cm)	Yaklaşık blok hacmi (m ³)
	Y	X				
221	509041	4466505	100	70	40	0.28
222	509041	4466502	65	55	10	0.03575
223	509040	4466502	100	90	70	0.63
224	509037	4466506	100	100	30	0.3
225	509034	4466507	60	50	70	0.21
226	509032	4466505	100	100	30	0.3
227	509030	4466506	130	80	30	0.312
228	509029	4466505	100	75	20	0.15
229	509030	4466506	100	60	30	0.18
230	509029	4466503	100	80	30	0.24
231	509022	4466503	120	70	30	0.252
232	509020	4466501	110	70	20	0.154
233	509020	4466499	70	70	20	0.098
234	509028	4466498	50	50	10	0.025
235	509030	4466495	90	90	50	0.405
236	509034	4466491	100	40	10	0.04
237	509036	4466496	100	70	80	0.56
238	509039	4466498	100	90	60	0.54
239	509043	4466493	75	90	20	0.135
240	509042	4466490	90	70	50	0.315
241	509042	4466491	90	80	40	0.288
242	509043	4466487	130	80	60	0.624
243	509041	4466481	100	60	60	0.36
244	509043	4466481	80	60	10	0.048
245	509043	4466482	120	70	70	0.588
246	509048	4466481	70	60	40	0.168
247	509051	4466488	80	70	70	0.392
248	509055	4466485	75	60	40	0.18
249	509057	4466486	130	70	40	0.364
250	509063	4466484	100	70	70	0.49
251	509057	4466487	70	60	50	0.21
252	509060	4466487	90	70	40	0.252
253	509064	4466477	140	100	40	0.56
254	509067	4466475	100	50	70	0.35
255	509070	4466475	60	80	30	0.144
256	509077	4466472	110	100	30	0.33
257	509078	4466474	80	60	30	0.144
258	509084	4466472	110	80	70	0.616
259	509080	4466476	100	60	10	0.06
260	509084	4466478	180	100	20	0.36
261	509087	4466474	80	70	80	0.448
262	509090	4466472	90	70	40	0.252
263	509086	4466479	150	150	100	2.25
264	509088	4466481	70	90	70	0.441
265	509085	4466483	110	30	40	0.132

No	ED50(27-6°)		En (cm)	Boy (cm)	Yükseklik (cm)	Yaklaşık blok hacmi (m ³)
	Y	X				
266	509078	4466484	100	110	40	0.44
267	509088	4466488	100	60	50	0.3
268	509093	4466488	70	60	30	0.126
269	509150	4466470	160	70	40	0.448
270	509155	4466469	100	90	80	0.72
271	509164	4466474	70	50	50	0.175
272	509169	4466475	100	50	30	0.15
273	509174	4466468	100	70	70	0.49
274	509183	4466482	90	50	40	0.18
275	509188	4466485	70	50	20	0.07
276	509192	4466489	80	70	50	0.28
277	509200	4466490	90	60	90	0.486
278	509206	4466484	100	100	50	0.5
279	509208	4466486	140	140	90	1.764
280	509214	4466483	80	60	40	0.192
281	509211	4466481	110	80	40	0.352
282	509210	4466479	100	100	55	0.55
283	509214	4466477	120	70	50	0.42
284	509229	4466482	70	60	30	0.126
285	509201	4466480	80	90	50	0.36
286	509231	4466487	100	70	30	0.21
287	509232	4466489	150	90	30	0.405
288	509239	4466494	110	80	50	0.44
289	509234	4466498	90	90	50	0.405
290	509237	4466503	80	60	50	0.24
291	509236	4466510	110	70	30	0.231
292	509237	4466514	120	100	100	1.2
293	509237	4466520	100	90	40	0.36
294	509242	4466507	70	40	50	0.14
295	509246	4466508	50	70	30	0.105
296	509249	4466501	90	60	40	0.216
297	509249	4466494	60	40	50	0.12
298	509247	4466481	70	60	50	0.21
299	509246	4466467	70	60	50	0.21
300	509256	4466452	80	60	50	0.24
301	509254	4466450	40	50	40	0.08
302	509230	4466451	60	60	60	0.216
303	509216	4466453	110	90	90	0.891
304	509212	4466456	90	70	60	0.378
305	509209	4466461	90	90	70	0.567
306	509210	4466437	70	70	110	0.539
307	509203	4466470	60	50	50	0.15
308	509186	4466458	100	60	30	0.18
309	509181	4466444	90	80	50	0.36
310	509179	4466438	90	80	90	0.648

No	ED50(27-6°)		En (cm)	Boy (cm)	Yükseklik (cm)	Yaklaşık blok hacmi (m ³)
	Y	X				
311	509173	4466446	90	80	50	0.36
312	509166	4466453	90	70	60	0.378
313	509159	4466456	80	80	30	0.192
314	509026	4466527	170	70	25	0.2975
315	509025	4466529	130	120	30	0.468
316	509024	4466524	160	110	55	0.968
317	509027	4466533	160	100	60	0.96
318	509031	4466535	130	160	80	1.664
319	509031	4466535	120	70	100	0.84
320	509033	4466537	170	120	40	0.816
321	509035	4466542	150	110	40	0.66
322	509040	4466546	210	100	130	2.73
323	509025	4466539	100	50	30	0.15
324	509024	4466545	160	100	70	1.12
325	509023	4466546	170	150	50	1.275
326	509025	4466545	140	140	80	1.568
327	509026	4466547	140	130	70	1.274
328	509029	4466549	300	110	70	2.31
329	509024	4466551	130	80	30	0.312
330	509023	4466552	210	100	50	1.05
331	509024	4466549	200	90	90	1.62
332	509023	4466547	100	160	80	1.28
333	509021	4466544	100	100	60	0.6
334	509018	4466543	100	130	70	0.91
335	509021	4466536	150	150	130	2.925
336	509021	4466534	110	100	100	1.1
337	509021	4466533	90	70	50	0.315
338	509023	4466530	100	100	30	0.3
339	509020	4466529	150	60	90	0.81
340	509020	4466525	80	50	40	0.16
341	509022	4466525	130	80	60	0.624
342	509023	4466524	80	60	35	0.168
343	509022	4466518	140	70	90	0.882
344	509013	4466524	100	70	50	0.35
345	509013	4466518	60	40	30	0.072
346	509011	4466517	100	60	50	0.3
347	509017	4466513	70	60	30	0.126
348	509018	4466512	110	120	40	0.528
349	509017	4466511	100	60	60	0.36
350	509021	4466510	150	80	50	0.6
351	509023	4466508	110	65	40	0.286
352	509019	4466505	135	70	50	0.4725
353	509027	4466502	130	70	35	0.3185
354	509031	4466502	50	60	50	0.15
355	509021	4466499	80	80	20	0.128

No	ED50(27-6°)		En (cm)	Boy (cm)	Yükseklik (cm)	Yaklaşık blok hacmi (m ³)
	Y	X				
356	509022	4466498	20	20	20	0.008
357	509018	4466499	5	10	10	0.0005
358	509018	4466499	90	80	30	0.216
359	509012	4466502	5	15	15	0.001125
360	509013	4466504	100	80	60	0.48
361	509012	4466507	60	50	40	0.12
362	508996	4466502	20	20	10	0.004
363	509000	4466499	50	40	30	0.06
364	509000	4466491	40	50	70	0.14
365	509007	4466487	50	50	30	0.075
366	509008	4466484	40	50	40	0.08
367	509012	4466480	70	50	60	0.21
368	509017	4466482	100	60	70	0.42
369	509027	4466472	40	30	40	0.048
370	509037	4466464	110	90	40	0.396
371	509001	4466484	50	30	40	0.06
372	508999	4466486	60	80	70	0.336
373	508998	4466490	20	10	10	0.002
374	508998	4466493	40	50	40	0.08
375	508997	4466494	60	50	50	0.15
376	508989	4466498	40	40	40	0.064
377	508988	4466500	100	40	60	0.24
378	508981	4466509	80	50	60	0.24
379	508980	4466511	100	40	60	0.24
380	508980	4466511	90	70	120	0.756
381	508976	4466518	110	50	50	0.275
382	508974	4466520	40	40	30	0.048
383	508963	4466522	40	50	40	0.08
384	508956	4466521	80	60	120	0.576
385	508952	4466522	100	60	50	0.3
386	508949	4466520	120	100	100	1.2
387	508952	4466518	60	70	40	0.168
388	508946	4466515	100	80	60	0.48
389	508978	4466521	70	80	30	0.168
390	508925	4466590	80	80	80	0.512
391	508939	4466562	70	30	70	0.147
392	508940	4466562	90	50	90	0.405
393	508944	4466553	80	70	80	0.448
394	508951	4466545	150	200	150	4.5
395	508955	4466551	60	50	40	0.12
396	508950	4466566	140	30	70	0.294
397	508954	4466575	80	70	50	0.28
398	508953	4466577	70	60	70	0.294
399	508958	4466580	70	50	30	0.105
400	508955	4466588	80	50	40	0.16

No	ED50(27-6°)		En (cm)	Boy (cm)	Yükseklik (cm)	Yaklaşık blok hacmi (m ³)
	Y	X				
401	508950	4466591	60	50	50	0.15
402	508946	4466596	50	40	20	0.04
403	508935	4466600	70	40	30	0.084
404	508944	4466608	70	60	50	0.21
405	508951	4466613	30	20	40	0.024
406	508957	4466611	20	10	5	0.001
407	508959	4466622	60	40	30	0.072
408	508964	4466627	70	50	40	0.14
409	508962	4466633	90	80	80	0.576
410	508961	4466618	50	50	40	0.1
411	508965	4466645	70	60	50	0.21
412	508966	4466647	10	10	20	0.002
413	508966	4466655	30	40	60	0.072
414	508961	4466662	60	50	40	0.12
415	508964	4466636	60	70	50	0.21
416	508966	4466633	40	50	60	0.12
417	508966	4466625	70	50	50	0.175
418	508968	4466623	110	90	30	0.297
419	508970	4466618	80	80	70	0.448
420	508971	4466621	70	60	30	0.126
421	508969	4466623	80	80	50	0.32
422	508974	4466628	20	20	20	0.008
423	508974	4466628	100	70	30	0.21
424	508973	4466634	80	70	50	0.28
425	508976	4466635	90	70	50	0.315
426	508977	4466642	60	50	50	0.15
427	508977	4466645	70	60	80	0.336
428	508974	4466684	70	60	50	0.21
429	508972	4466657	40	30	40	0.048
430	509012	4466553	180	130	70	1.638
431	509011	4466556	90	230	120	2.484
432	509008	4466558	190	140	100	2.66
433	508997	4466551	140	100	100	1.4
434	508997	4466548	90	90	50	0.405
435	508994	4466548	80	120	60	0.576
436	508982	4466549	100	200	120	2.4
437	508956	4466550	190	90	100	1.71
438	508985	4466550	90	70	60	0.378
439	508952	4466552	130	70	50	0.455
440	508979	4466547	230	180	100	4.14
441	508979	4466546	130	100	100	1.3
442	508980	4466545	130	80	40	0.416
443	508981	4466542	90	90	100	0.81
444	508987	4466575	130	130	80	1.352
445	508991	4466552	150	80	50	0.6

No	ED50(27-6°)		En (cm)	Boy (cm)	Yükseklik (cm)	Yaklaşık blok hacmi (m ³)
	Y	X				
446	508988	4466555	150	70	50	0.525
447	508986	4466554	90	70	50	0.315
448	508984	4466557	110	100	100	1.1
449	508984	4466558	120	110	30	0.396
450	509078	4466462	70	70	70	0.343
451	509077	4466460	60	50	20	0.06
452	509084	4466457	60	60	60	0.216
453	509072	4466444	50	60	30	0.09
454	509072	4466402	60	60	60	0.216
455	509012	4466542	20	20	5	0.002
456	509011	4466545	100	100	40	0.4
457	509012	4466548	120	190	60	1.368
458	509015	4466550	90	130	110	1.287
459	509017	4466555	100	80	30	0.24
460	509022	4466561	220	120	50	1.32
461	509023	4466561	110	100	90	0.99
462	509026	4466566	140	260	100	3.64
463	509025	4466563	150	250	100	3.75
464	509023	4466571	100	90	80	0.72
465	509024	4466571	50	110	90	0.495
466	509018	4466577	100	100	10	0.1
467	509020	4466579	100	100	70	0.7
468	509023	4466578	220	120	50	1.32
469	509022	4466579	90	40	30	0.108
470	509014	4466584	70	72	80	0.4032
471	509016	4466587	110	70	60	0.462
472	509018	4466588	120	110	40	0.528
473	509020	4466592	40	40	40	0.064
474	509021	4466593	80	50	70	0.28
475	509021	4466600	80	50	40	0.16
476	509017	4466602	80	70	100	0.56
477	509013	4466606	10	110	90	0.099
478	509014	4466611	350	150	100	5.25
479	509012	4466615	80	60	60	0.288
480	509013	4466624	100	80	90	0.72
481	509018	4466626	160	100	50	0.8
482	509011	4466627	60	50	30	0.09
483	509012	4466635	110	180	50	0.99
484	509008	4466638	130	100	80	1.04
485	509008	4466640	60	30	20	0.036
486	509006	4466646	60	40	30	0.072
487	509007	4466650	80	120	60	0.576
488	509008	4466654	100	90	50	0.45
489	509002	4466655	30	30	30	0.027
490	508997	4466657	60	50	30	0.09

No	ED50(27-6°)		En (cm)	Boy (cm)	Yükseklik (cm)	Yaklaşık blok hacmi (m ³)
	Y	X				
491	508995	4466661	110	80	50	0.44
492	508989	4466668	70	60	40	0.168
493	508988	4466666	90	70	50	0.315
494	508992	4466662	60	30	40	0.072
495	508994	4466657	40	50	40	0.08
496	508994	4466657	110	50	30	0.165
497	508995	4466652	30	40	30	0.036
498	508994	4466653	70	50	30	0.105
499	508994	4466650	30	50	30	0.045
500	508990	4466651	150	70	30	0.315
501	508991	4466651	40	40	40	0.064
502	508990	4466646	40	40	40	0.064
503	508985	4466646	50	40	40	0.08
504	508982	4466646	40	30	40	0.048
505	508975	4466648	40	30	20	0.024
506	508977	4466640	50	20	50	0.05
507	508979	4466637	50	50	50	0.125
508	508980	4466635	20	20	20	0.008
509	508982	4466633	50	30	40	0.06
510	508988	4466634	60	80	40	0.192
511	508995	4466630	100	90	40	0.36
512	508997	4466630	80	60	20	0.096
513	509001	4466632	6	50	50	0.015
514	509001	4466627	60	70	80	0.336
515	509002	4466621	60	60	100	0.36
516	508994	4466623	40	50	60	0.12
517	508994	4466618	40	50	50	0.1
518	508994	4466613	60	60	60	0.216
519	508994	4466614	90	80	50	0.36
520	508989	4466613	80	80	80	0.512
521	508984	4466611	40	50	60	0.12
522	508985	4466612	160	100	100	1.6
523	508980	4466611	80	40	40	0.128
524	508973	4466606	40	50	20	0.04
525	508977	4466598	70	60	50	0.21
526	508971	4466586	70	70	40	0.196
527	508971	4466572	120	60	100	0.72
528	508963	4466579	50	40	50	0.1
529	508962	4466571	90	40	40	0.144
530	508968	4466566	30	50	50	0.075
531	508973	4466567	70	50	70	0.245
532	508976	4466570	50	100	40	0.2
533	508979	4466567	60	50	70	0.21
534	508982	4466566	110	80	40	0.352
535	508993	4466563	10	50	80	0.04

No	ED50(27-6°)		En (cm)	Boy (cm)	Yükseklik (cm)	Yaklaşık blok hacmi (m ³)
	Y	X				
536	508994	4466563	90	70	60	0.378
537	508997	4466559	60	60	60	0.216
538	508999	4466559	90	80	60	0.432
539	509002	4466554	120	80	80	0.768
540	509002	4466556	90	100	100	0.9
541	509002	4466556	80	60	60	0.288
542	509007	4466568	60	80	80	0.384
543	509008	4466557	90	70	70	0.441
544	509011	4466550	120	80	80	0.768
545	509005	4466549	80	80	50	0.32
546	508999	4466547	110	130	180	2.574
547	508999	4466545	50	40	50	0.1
548	508999	4466545	80	60	50	0.24
549	509009	4466539	150	160	80	1.92
550	509009	4466539	60	120	120	0.864
551	509009	4466539	100	100	100	1
552	509005	4466530	70	50	70	0.245
553	508992	4466532	120	70	100	0.84
554	508991	4466531	60	60	60	0.216
555	509010	4466557	100	70	70	0.49
556	509008	4466561	50	60	50	0.15
557	509006	4466565	40	40	40	0.064
558	509005	4466565	60	50	60	0.18
559	509014	4466569	80	80	70	0.448
560	509013	4466573	120	50	60	0.36
561	509013	4466575	70	110	50	0.385
562	509007	4466578	60	50	60	0.18
563	509007	4466578	40	40	40	0.064
564	509007	4466578	50	40	30	0.06
565	509007	4466578	50	100	60	0.3
566	509007	4466593	80	50	80	0.32
567	509003	4466599	80	60	50	0.24
568	509002	4466599	90	30	30	0.081
569	509002	4466610	60	80	60	0.288
570	509000	4466612	50	40	40	0.08
571	509002	4466654	90	70	30	0.189
572	509002	4466654	60	60	40	0.144
573	508997	4466646	30	40	50	0.06
574	509002	4466627	110	30	40	0.132
575	509004	4466627	60	80	40	0.192
576	509002	4466631	60	50	60	0.18
577	508997	4466623	70	60	50	0.21
578	508996	4466621	50	90	40	0.18
579	508992	4466611	70	80	70	0.392
580	508988	4466595	70	50	60	0.21

No	ED50(27-6°)		En (cm)	Boy (cm)	Yükseklik (cm)	Yaklaşık blok hacmi (m ³)
	Y	X				
581	508989	4466590	50	60	50	0.15
582	508992	4466556	100	100	70	0.7
583	508991	4466582	80	60	50	0.24
584	508993	4466580	50	40	40	0.08
585	508998	4466576	60	60	60	0.216

ÖZGEÇM

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı : Erkan Fikret ARTUÇ
Do um Yeri/Yılı : Ankara/1985
Medeni Hali : Evli
E-posta : erkanartuc@hacettepe.edu.tr
Adresi : Türközü Mah. 435. Sok. No:9/16 MAMAK / ANKARA

E itim

Lise : Çankaya 50. Yıl Lisesi (YDA)
Lisans : Hacettepe Üniversitesi-Jeoloji Mühendisli i Bölümü

Yabancı Dil ve Düzeyi

ngilizce Konu ma:Orta Seviye, Yazma:Orta Seviye, Okuma : Orta Seviye

Deneyimi

2010-..... Yüksel Domaniç Müh. Ltd. ti, Jeoloji Mühendisi

Deneyim Alanları

Karayolu ve Demiryolu projelerinde Jeoloji-Jeoteknik raporu hazırlama ve her türlü Zemin Etütleri, Laboratuvar çalı maları takibi, vb.

Tezden Üretilmi Projeler ve Bütçesi

-

Tezden Üretilmi Yayınlar

-

Tezden Üretilmi Tebli ve/veya Poster Sunumu ile Katıldı ı Toplantılar

-