

**T.C.
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TATLARIN (NEVŞEHİR) YERALTI ŞEHRİNİ VE
ÇEVRESİNİ ETKİLEYEN KAYA DÜŞMELERİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Tezi Hazırlayan
Mehmet Halit ŞARALDI**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. İsmail DİNÇER**

**Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Ocak 2015
NEVŞEHİR**

Doç. Dr. İsmail DİNÇER danışmanlığında **Mehmet Halit ŞARALDI** tarafından hazırlanan “**Tatların (Nevşehir) Yeraltı Şehri ve Civarını Etkileyen Kaya Düşmelerinin Değerlendirilmesi**” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

29/01/2015

JÜRİ

Başkan : Doç. Dr. İsmail DİNÇER

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ahmet ORHAN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mustafa KORKANÇ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ayşe ORHAN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Bülent ZORLUGENÇ

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 30.01.2015 tarih ve 2015/05-05 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

04.03/2015

Enstitü Müdürü
Doç. Dr. Şahlan ÖZTÜRK



TEZ BİLDİRİM SAYFASI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada yer alan bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu ve bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm

Mehmet Halit ŞARALDI



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim boyunca hiç bir desteğini esirgemeyen, akademik birikiminden çok istifade ettiğim, tezin bütün aşamalarında sabır ve özveri ile çalışmalarımı takip eden, kariyerimin bu safhasında çok büyük emeği bulunan Sayın Doç. Dr. İsmail DİNÇER'e,

Samimi ve teşvik edici desteklerinden ötürü Sayın Yrd. Doç. Dr. Ahmet ORHAN'a, Sayın Yrd. Doç. Dr. Ayşe ORHAN'a,

Mesleki birikimlerini gıpta ile izlediğim Sayın Yrd. Doç. Dr. Mustafa KORKANÇ'a, Sayın Yrd. Doç. Dr. Mustafa FENER'e,

Teknik ve idari yardımlarından dolayı Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Rektörlüğü'ne, Mühendislik Fakültesi Dekanlığı'na, Jeoloji Bölüm Başkanlığı'na ve Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi BAP Birimi'ne,

Ve, bu süre zarfında sabır ve sevgilerini eksiltmeden bana destek olan sevgili eşim Aysel ŞARALDI'ya, sevgili çocuklarım Ahmet Furkan ŞARALDI, Ayşe Berfin ŞARALDI ve Kerem Can ŞARALDI'ya teşekkür ederim.

**TATLARIN (NEVŞEHİR) YERALTI ŞEHRİNİ VE ÇEVRESİNİ ETKİLEYEN
KAYA DÜŞMELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Mehmet Halit ŞARALDI

**NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Ocak 2015**

ÖZET

1985' ten beri UNESCO'nun Dünya Miras Listesinde bulunan Kapadokya Bölgesi doğal, tarihsel ve kültürel değerleri bakımından Türkiye'deki en önemli turistik yerlerden birisidir. Ancak bölgenin bu değerleri kaya kütle duraysızlıkları tarafından ciddi şekilde tehdit edilmektedir. Bu çalışmanın amacı, Kapadokya'daki doğal mirası ve çevreyi tehdit eden kaya kütle duraysızlıklarının oluş mekanizmalarını ve süreci etkileyen faktörleri tipik bir model üzerinden belirlemektir. Bu amaç için bölgesel problemi en iyi yansıtan lokasyonlardan biri olan Tatların Yeraltı Şehri çalışma alanı olarak seçilmiştir. Çalışma boyunca, mevcut jeolojik birimlerin jeomekanik özelliklerinin belirlenmesine yönelik olarak yoğun arazi ve laboratuvar çalışmalarının (süreksizlik tanımlamaları, arazi deneyleri, şev geometrisinin belirlenmesi ve diğer haritalama çalışmaları) yanı sıra, kinematik analizler ve 2 boyutlu kaya düşmesi simülasyon analizleri yapılmıştır. Kaya kütle duraysızlıklarının süreksizlikler ve ayrışma tarafından kontrol edildikleri ortaya konulmuştur. 2 boyutlu kaya düşmesi analizlerinden elde edilen en uzak mesafelere göre Yeraltı Şehri civarında bulunan bütün yollar ve bazı yığma yapılar kaya düşmesinden kaynaklanacak afet riski altındadır.

Anahtar Kelimeler: *Kaya düşmesi, tüf, bazalt, yeraltı şehri, Kapadokya*
Tez Danışmanı: Doç. Dr. İsmail DİNÇER
Sayfa Adedi: 81

**EVALUATION OF ROCK FALLS AFFECTING THE TATLARIN (NEVSEHIR)
UNDERGROUND CITY AND ITS VICINITY
(M. Sc. Thesis)**

Mehmet Halit ŞARALDI

**NEVSEHIR HACI BEKTAS VELI UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

January 2015

ABSTRACT

The Cappadocia Region, which has been in the World Heritage List of the UNESCO since 1985, is one of the most important touristic sites in Turkey owing to its natural, historical and cultural values. But these values of the region are seriously threatened by rock mass instabilities. The purpose of this study is to determine the occurrence mechanisms and the factors affecting the process of rock mass instabilities which threat the natural heritage and the environment in Cappadocia, through a typical model. For this purpose, the Tatlarin Underground City, one of the best representative localities of the problem, has been selected as the study area. Throughout the study, kinematic and 2D rockfall simulation analyses as well as extensive laboratory and field works (i.e. identifying the discontinuities, in-situ tests, identifying the slope geometry, additional mapping and geodesic monitoring etc.) were carried out in order to determine the geomechanical properties of the geological units. It has been found that the rock mass instabilities are controlled by discontinuities and weathering. Based on the run out distances obtained from 2D rock fall analysis, all roads and some masonry structures located in the vicinity of the underground city are under the risk of rockfall disaster.

KeyWords: Rockfall, tuff, basalts, underground city, Cappadocia

Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Dr. İsmail DİNÇER

Pages: 81

İÇİNDEKİLER

KABÜL VE ONAY SAYFASI	i
TEZ BİLDİRİM SAYFASI	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
TABLOLAR LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
RESİMLER LİSTESİ	xiii
HARİTALAR LİSTESİ	xiv
SİMGE VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	xv
1. BÖLÜM	
GİRİŞ	1
2. BÖLÜM	
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	4
3. BÖLÜM	
MATERYAL ve METOD.....	8
3.1. Materyal	8
3.2. Metod	8
3.2.1. Literatür taraması	8
3.2.2. Arazi çalışmaları	8
3.2.2.1. Süreksizlik özelliklerinin tanımlaması	9
3.2.2.1.1. Yönelim.....	10
3.2.2.1.2. Aralık	11

3.2.2.1.3	Devamlılık.....	12
3.2.2.1.4	Pürüzlülük.....	13
3.2.2.1.5.	Açıklık.....	14
3.2.2.1.6.	Dolgu.....	15
3.2.2.1.7.	Yüzey mukavemeti.....	15
3.2.2.1.8.	Su durumu.....	16
3.2.2.1.9.	Blok Boyutu.....	16
3.2.3.	Laboratuvar çalışmaları.....	17
3.2.3.1.	Yoğunluk ve birim hacim ağırlığın belirlenmesi.....	18
3.2.3.2.	Schimidt sertliğinin belirlenmesi.....	18
3.2.3.3.	Porozite (gözeneklilik) ve boşluk oranının belirlenmesi	19
3.2.3.4.	Ağırlıkça ve hacimce su emme oranının belirlenmesi.....	19
3.2.3.5	Tek eksenli sıkışma dayanımı (UCS).....	19
3.2.4.	Büro çalışmaları.....	19
3.2.4.1.	Süreksizlik yüzeylerinin makaslama dayanımı	20
3.2.4.1.1.	Düz yüzeylerin makaslama dayanımı	20
3.2.4.1.2.	Pürüzlü yüzeylerin makaslama dayanımı	20
3.2.4.2.	Kinematik analizler	26
3.2.4.2.1.	Düzlemsel kaymanın analizi	28
3.2.4.2.2.	Kama tipi kaymanın analizi	28
3.2.4.2.3.	Devrilme tipi kaymanın analizi	28
3.2.4.3.	İki boyutlu kaya düşmesi analizleri	31

4. BÖLÜM

BULGULAR VE TARTIŞMA 33

4.1.	Çalışma Alanının Jeolojisi	33
4.1.1.	Ortaköy Granitoidi	33

4.1.2.	Tuzköy Formasyonu	34
4.1.3.	Peçenek Formasyonu	35
4.1.4.	Kızıldağ Bazaltı	35
4.1.5.	Ürgüp Formasyonu.....	35
4.1.6.	Karıyarıktepe Bazaltı.....	36
4.1.7.	Yamaç molozu ve güncel alüvyon.....	36
4.2.	Çalışma Alanının Mühendislik Jeolojisi.....	37
4.2.1.	Çalışma alanındaki kaya birimlerin jeomekanik özellikleri.....	39
4.2.2.	Kaya kütle ve süreksizlik özellikleri.....	43
4.2.3.	Duraysız bloklar ve boyutları.....	49
4.2.4.	Süreksizlik yüzeylerinin kayma dayanımı.....	50
4.2.5.	Kinematik analizler.....	53
4.2.6.	Kaya düşmesi analizleri	59
4.2.6.1.	Kesit 1: Kaya düşmesi simülasyonu.....	64
4.2.6.2.	Kesit 2: Kaya düşmesi simülasyonu.....	65
4.2.6.3.	Kesit 3: Kaya düşmesi simülasyonu.....	65
4.2.6.4.	Kesit 4: Kaya düşmesi simülasyonu.....	65
4.2.6.5.	Kesit 5: Kaya düşmesi simülasyonu.....	66
4.2.6.6.	Kesit 6: Kaya düşmesi simülasyonu.....	66
4.2.6.7.	Kesit 7: Kaya düşmesi simülasyonu.....	66
4.2.6.8.	Kesit 8: Kaya düşmesi simülasyonu.....	67
4.2.6.9.	Kesit 9: Kaya düşmesi simülasyonu.....	67
4.2.6.10.	Kesit 10: Kaya düşmesi simülasyonu.....	68
4.2.6.11.	Kesit 11: Kaya düşmesi simülasyonu.....	68
4.2.6.12.	Kesit 12: Kaya düşmesi simülasyonu.....	68
4.2.6.13.	Kesit 13: Kaya düşmesi simülasyonu.....	69
4.2.6.14.	Kesit 14: Kaya düşmesi simülasyonu.....	69

4.2.7.	Olası kaya düşmesi olaylarının çevreye etkileri	70
5. BÖLÜM		
	SONUÇ VE ÖNERİLER	72
	KAYNAKLAR	75
	ÖZGEÇMİŞ	80
	EKLER	81

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3.1	Süreksizlik aralığını tanımlama ölçütleri.....	11
Tablo 3.2	Süreksizlik devamlılığının sınıflandırılması ve tanımlanma ölçütleri....	12
Tablo 3.3	Süreksizlik açıklığının tanımlanması amacıyla önerilen ölçütler.....	15
Tablo 3.4	Hacimsel eklem sayısına (J_v) göre blok boyutunun tanımlanması.....	17
Tablo 4.1	Çalışma alanında gözlenen başlıca kaya birimlerinin jeomekanik özellikler.....	40
Tablo 4.2	Kinematik analizlerde göz önünde bulundurulan şev parametreleri.....	55
Tablo 4.3	Belirlenen sektörlere göre kinematik açıdan oluşabilecek duraysızlıkların dağılımı.....	58
Tablo 4.4	İki boyutlu kaya düşme analizlerinde kullanılan parametreler.....	62

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1	Doğrultu, eğim ve eğim yönü kavramları (a), doğrultu ve eğim yönü arasındaki ilişkiyi gösteren bir örnek (b)	10
Şekil 3.2	Üç egemen süreksizlik takımının gözleendiği bir kaya kütesine ait kontur diyagramı örneği.....	11
Şekil 3.3	Farklı süreksizlik takımlarında rölatif devamlılığı gösteren basit çizimler ve blok diyagramlar.....	12
Şekil 3.4	Pürüzlülüğün kalitatif olarak belirlenmesinde kullanılan pürüzlülük profilleri.....	14
Şekil 3.5	Pürüzsüz-düz yüzeylerde makaslama dayanımı ve yenilme zarfları.....	20
Şekil 3.6	Süreksizlik yüzeyi pürüzlülük katsayısının (JRC) belirlenmesinde kullanılan tipik pürüzlülük profilleri	22
Şekil 3.7	Schmidt sertliği ve tek eksenli sıkışma dayanımı arasındaki ilişki.....	23
Şekil 3.8	Başlıca şev duraysızlık türleri ve bunların stereonet çizimleri.....	27
Şekil 3.9	Düzlemsel kayma koşulu ve düzlemsel kaymanın kinematik analizi.....	29
Şekil 3.10	Kama tipi yenilme koşulu ve kinematik analizi.....	30
Şekil 3.11	Devrilme tipi duraysızlık koşulu ve kinematik analizi.....	31
Şekil 4.1	Çalışma alanında gözlenen kayaçların farklı dayanım sınıflandırmalarındaki konumu	42
Şekil 4.2	Çalışma alanında alınan süreksizlik ölçümlerine göre elde edilen kontur diyagramları; (a) bloklu bazalt (b) zayıf-iyi kaynaşmış tüf.....	45
Şekil 4.3	Bazalt kaya kütesi için süreksizlik aralığı histogramı.....	46
Şekil 4.4	Bazalt kaya kütesinde gözlenen süreksizlik yüzeylerinde telli profilmetre ile elde edilen pürüzlülük profilleri.....	47

Şekil 4.5	Tüf kaya kütleğinde gözlenen süreksizlik yüzeğinde telli profilmetre ile pürüzlülüğün belirlenmesi ve elde edilen pürüzlülük profilleri.....	48
Şekil 4.6	Çalışma alanında potansiyel duraysız blokların dağılımını gösteren histogram.....	50
Şekil 4.7	Çalışmanın konusu oluşturan bazalt ve tüfler için süreksizliklerin yenilme zarfı.....	52
Şekil 4.8	Yapılan geri analiz sonuçları	62

RESİMLER LİSTESİ

Resim 3.1	Arazide hat etüdü çalışmalarından bir görünüm.....	9
Resim 3.2	Çalışma alanında Schmidt sertlik çekici ile yüzey mukavemetinin belirlenmesi.....	16
Resim 3.3	Hazırlanan karot örneklerinin genel görünümü.....	18
Resim 3.4	Tilt deney düzeneği ve uygulamasından genel görünümler.....	25
Resim 3.5	Çalışma alanında süreksizliklere bağlı olarak meydana gelen duraysızlıklardan bir örnek.....	26
Resim 4.1	Meydana gelen kaya düşmeleri (a,b). Ekim 2011’de meydana gelen kaya düşmesi olayı (c) ve kaya düşmelerinin yeraltı şehri yapılarına verdiği zarar (d).....	39
Resim 4.2	Kaya örneklerinin tek eksenli sıkışma deney sonrası görünümleri.....	43
Resim 4.3	Çalışma alanındaki kaya kütlelerinin genel görünümü.....	44
Resim 4.4	Çalışma alanının genel görünümü.....	44
Resim 4.5	İnceleme alanında süreksizliklerin açıklıklarının genel görünümü; a) şev kenarında aşırı geniş açıklık, b) tüflerde gözlenen çok geniş açıklık, c) tüflerde gözlenen açık genişlik.....	48
Resim 4.6	Arazide süreksizlik yüzeylerinde Schmidt çekicinin uygulanması.....	49
Resim 4.7	Çalışma alanında tespit edilen duraysız blokların genel görünümü.....	51
Resim 4.8	Kaya düşme deneyi ve kaya düşmesi olayının genel görünümü.....	59

HARİTALAR LİSTESİ

Harita 1.1	Çalışma alanı ve ölçülü stratigrafi kesit lokasyonları yer bulduru haritası..	2
Harita 1.2	Ülkemizde ve çalışma alanında (Kapadokya-Nevşehir) görülen kaya düşmeleri dağılım haritası	3
Harita 4.1	Çalışma alanı ve yakın civarının jeoloji haritası.....	34
Harita 4.2	Çalışma alanının mühendislik jeolojisi haritası.....	38
Harita 4.3	Tasarım sektörlerine ayrılmış şevler ve yönelimleri	54
Harita 4.4	Arazi deneylerinin harita üzerinde genel görünümü.....	61
Harita 4.5	Kaya düşmesi analiz hatları ve çalışma alanın genel görünümü.....	63
Harita 4.6	Analiz sonuçlarına göre çalışma alanı kaya düşmesi tehlike haritası.....	71

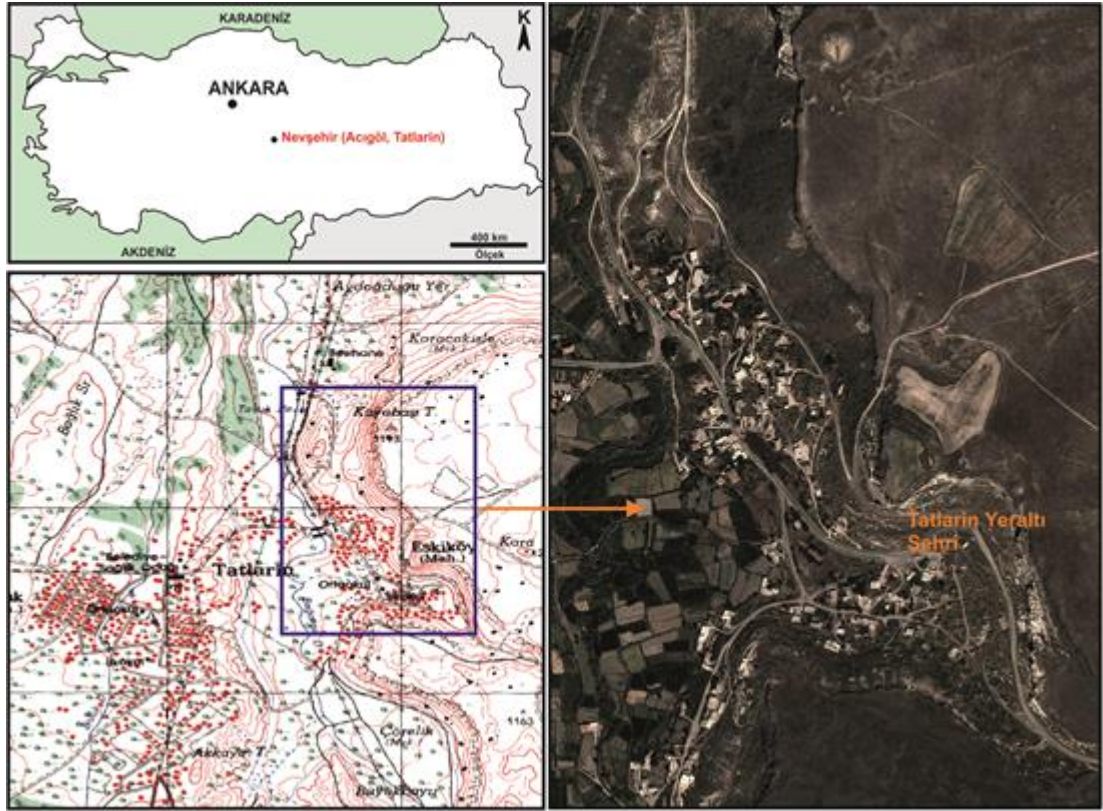
SİMGELER VE KISALTMALAR

ISRM	Uluslararası Kaya Mekaniği Topluluğu (International Society of Rock Mechanics)
GPS	Küresel Konumlama Sistemi (Global Positioning System)
JCS	Süreksizlik yüzey mukavemeti (joint compressive strength)
γ	Birim hacim ağırlık
R	Schmidt sertlik değeri
JRC	Süreksizlik pürüzlülük katsayısı (joint roughness coefficient)
kN	Kilo Newton
I _b	Blok boyutu indeksi
J _v	Hacimsel eklem sayısı
N _n	Ölçüm hattı boyunca sayılan süreksizlik sayısı
L _n	Ölçüm hattı uzunluğu
γ_{kuru}	Kuru birim hacim ağırlık
$\gamma_{\text{ıslak}}$	Islak birim hacim ağırlık
w	Su içeriği
σ_n	Normal gerilim
ϕ_b	Temel sürtünme açısı
ϕ	Artık sürtünme açısı
r	Ayrışmış ya da ıslak yüzey Schmidt değeri
R	Ayrışmamış yüzey Schmidt değeri
TLS	Karasal Lazer Tarama (Terrestrial Laser Scanning)
UCS	Tek eksenli basınç dayanımı (Uniaxial Compressive Strength)
NBG	Norveç Kaya Mekaniği Grubu (Norwegian Rock Mechanics Group)

1.BÖLÜM

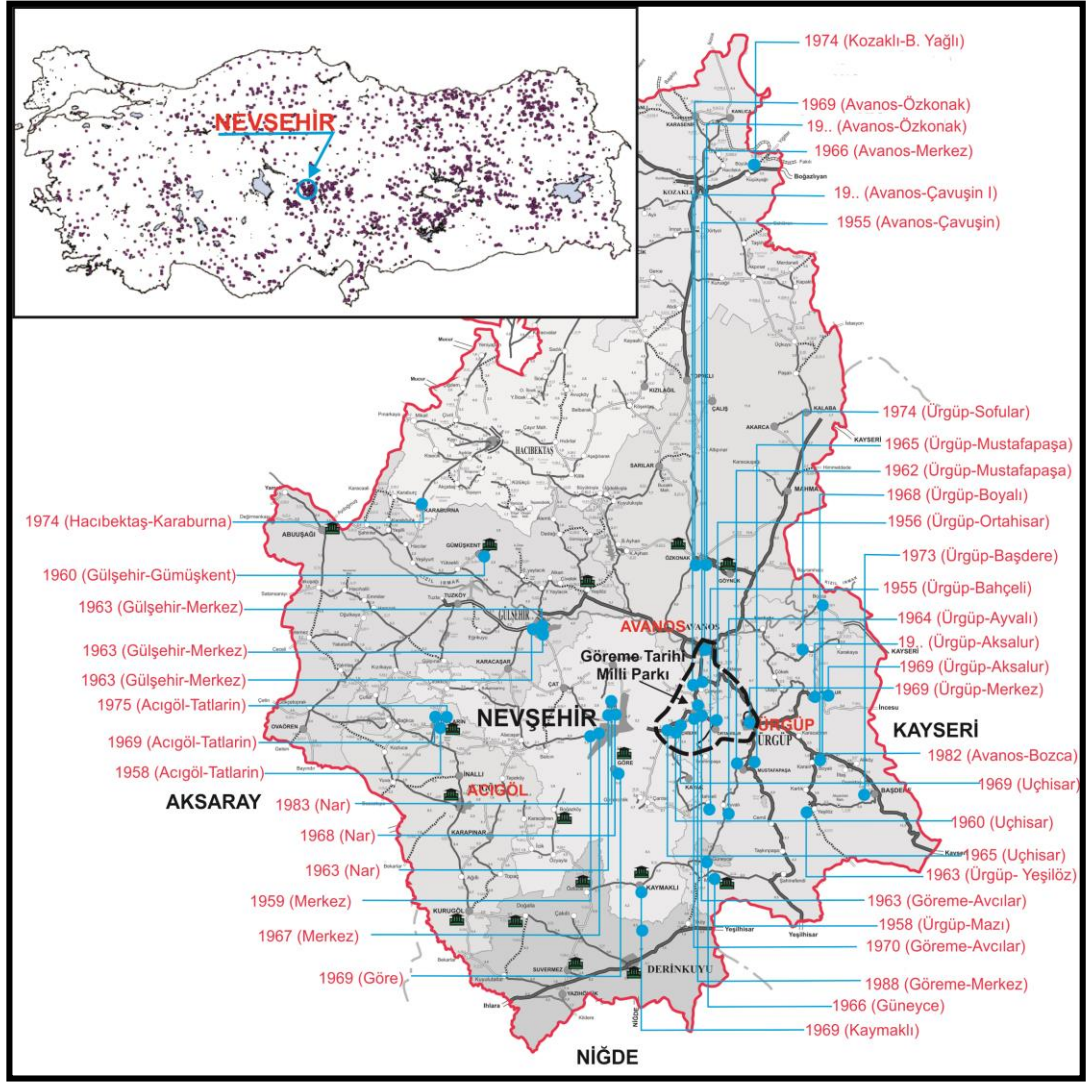
GİRİŞ

Bilindiği üzere ülkemiz jeolojik, morfolojik ve iklimsel konumu gereği farklı birçok doğal afet tehdidi altındadır. Doğal afetlerden dolayı uğradığımız maddi zarar, Gayri Safi Milli Hâsılamızın yaklaşık %3-4 ü oranındadır. Ortaya çıkardıkları etki açısından depremler öne çıkan en önemli doğal afet türü olmasına karşın, kaya kütle duraysızlıkları, özellikle kaya düşmeleri de ülkemizin maruz kaldığı önemli afet türlerinden biridir. Bu anlamda Afet İşleri Genel Müdürlüğünün 2008 yılında hazırladığı rapora göre, en fazla kaya düşmesi olayının yaşandığı il, 279 adet ile Kayseri olup, daha sonra sırasıyla Erzurum (229) ve Kapadokya'nın büyük bölümünün yer aldığı Nevşehir (179) gelmektedir [1]. Kapadokya, doğası, tarihi ve kültürel değerleri ile 1985 yılında UNESCO tarafından dünyada korunması gerekli Kültür Mirası listesine dâhil edilmiş olup, aynı zamanda ülkemizin de en önemli turizm bölgelerinden biridir. Bölge ve sahip olduğu doğal, tarihi ve kültürel miras meydana gelen kaya kütle duraysızlıkları tarafından ciddi şekilde tehdit edilmektedir. Bu anlamda bölgede yapılan ilk mühendislik jeolojisi çalışması bölgenin simgesi olan Ortahisar Kalesi'nden kaya düşmeleri ve konut amacı ile açılmış bazı mağaralardaki göçme olasılıkları bağlamında yapılmıştır [2]. Bu kapsamda yapılan diğer çalışmalarda kaya kütle duraysızlıklarının bölge için önemli doğal tehditlerden biri olduğu vurgulanmış ve bu duraysızlıkların süreksizlikler ve ayrışma tarafından kontrol edildiği belirtilmiştir [3-6]. Bölgede kaya düşmesi afetinin olumsuz etkilerinin gözleendiği yerlerden birisi de Acıgöl ilçesinde bulunan Tatların Yeraltı Şehri ve civarıdır (Harita 1.1). Tatların Yeraltı Şehri'nde gözlenen bu olumsuz tablo bölge için tipik bir model niteliğindedir. Yapılan bu çalışma ile seçilen Tatların Yeraltı Şehri ve yakın civarında kaya düşmesi afet riskinin belirlenmesi ve kaya düşmesi tehlikesinin boyutlarının ortaya konulması amaçlanmıştır.



Harita 1.1 Çalışma alanı ve ölçülü stratigrafi kesit lokasyonları yer bulduru haritası

Meydana gelen kaya düşmelerinin kültürel ve doğal miras üzerinde olumsuz etkiler yaratması, kaya düşmelerini daha da önemli hale getirmektedir. Nevşehir Valiliği, İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü verileri göz önüne alınarak hazırlanan kaya duraysızlıkları dağılım haritası incelendiğinde, kaya düşmelerinin yer altı şehirleri ve Göreme Tarihi Milli Park'ın bulunduğu bölgelerde yoğunlaştığı görülmektedir (Harita 1.2). Neojen yaşlı volkanik birimler içerisinde meydana gelen kaya düşmelerinin yoğunlaştığı alanlar, jeolojik birimler açısından değerlendirildiğinde, farklı litolojiler üzerindeki farklı erozyon etkilerinin kaya düşmelerini tetikleyen en önemli faktör olduğu belirtilmiştir [6]. Bölgede yapılan ön incelemelerde, düşük yamaç eğimine sahip alt seviyelerde marn, kiltası ve tuf gibi erozyona karşı düşük duraylılığa sahip birimlerin yer aldığı, dik morfoloji sunan üst seviyelerde ise kireçtaşı, bazalt ve ignimbirit gibi daha duraylı litolojilerin varlığı gözlenmiştir. Bu jeolojik ve morfolojik yapının gözlemlendiği alanlarda önemli ölçüde kaya düşmesi tehlikesi yaşanmaktadır.



Harita 1.2 Ülkemizde ve çalışma alanında (Kapadokya-Nevşehir) görülen kaya düşmeleri dağılım haritası [1]

Bölgede güncel birçok kaya düşmesi olayı meydana gelmektedir. Bunlardan 2007 yılında Ürgüp merkezde meydana gelen kaya düşmesi olayında 3 kişi hayatını kaybetmiş, 5 kişi yaralanmıştır. 2011 yılında Tatlarin beldesinde meydana gelen kaya düşmesinde herhangi can ve mal kaybı meydana gelmemiş ancak yakınında bulunan konutlarda yaşayan halkı ciddi anlamda tedirgin etmiştir.

2. BÖLÜM

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Kapadokya (Nevşehir) sahip olduğu jeolojik, kültürel ve tarihsel özelliklerinden dolayı birçok bilimsel çalışmaya konu olmuş; bunlar jeolojinin ilgi alanına giren birçok konuyu (volkanoloji, jeokimya, mineraloji, palinoloji, medikal jeoloji, tektonik vb.) kapsamaktadır [7-16].

Tez konusuyla doğrudan veya dolaylı olan mühendislik jeolojisi çalışmaları ise ilk kez 1970'li yıllarda yapılmış; günümüze kadar birçok araştırmacı tarafından bölgedeki jeolojik, morfolojik oluşumlar ile tarihsel ve kültürel yapılar üzerine çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar beş farklı grupta değerlendirilebilir.

- 1) Yapı malzemesi
- 2) Bozunma-duraylılık
- 3) Peri Bacaları
- 4) Yeraltı yapıları (açıklıkları)
- 5) Kaya kütle duraysızlıkları

Erdoğan'ın yapmış olduğu çalışma, Nevşehir yöresinde gözlenen tüflerin malzeme özellikleri üzerine yapılmış ilk çalışmalardan biri niteliğindedir [17]. Korkanç ile Tolğay ve çalışma arkadaşları da bu kapsamda araştırmalarda bulunmuşlardır [18-19]. Korkanç, ignimbiritlerin jeomekanik özelliklerinin yapı taşı kullanımına etkisini bölgede bulunan ignimbiritler üzerinden değerlendirmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonunda incelenen piroklastiklerin iyi kaynaşmamış ignimbirit özelliğinde olduğu, bunların jeolojik, kimyasal ve petrografik özellikleri ile jeomekanik özellikleri arasında önemli ilişkilerin olduğu ortaya konulmuştur. Özellikle opak mineral, ince taneli kayac parçası içeriği ile matriks oranı tane oranından yüksek olan örneklerin porozitesinin daha düşük, yoğunluklarının ve basınç dayanımlarının da nispeten daha yüksek değerler gösterdikleri belirlenmiştir [18]. Ayrıca bölgede ciddi bir pomza endüstrisi vardır. Tolğay ve çalışma arkadaşları, bu çerçevede yaptıkları incelemelerinde, Nevşehir

pomzasının yapı malzemesi olarak hafif betonda kullanılabilir uygun bir malzeme olduğunu belirtmişlerdir [19].

Bölgede doğal ve tarihi yapıların korunması kapsamında, tüflerde meydana gelen yüzey bozunmaları ilk kez Caner ve çalışma arkadaşları tarafından ele alınmıştır [20]. Daha sonra Yılmaz, Göreme vadisinde bulunan oyulmuş kaya kiliselerindeki zamanla artan bozunmayı değerlendirmiştir [21]. Topal ve Doyuran da yapmış oldukları çalışmada, Kapadokya bölgesindeki tüfler içinde şekillendirilmiş, geçmişte konut olarak kullanılan ve geçmişe ait değerli duvar resimleri içeren yapıların atmosferik etkilerden kaynaklanan fiziksel ve kimyasal bir bozunmanın etkisinde olduğunu belirtmişlerdir. Söz konusu bu yapıların korunabilmesi için tüflerin mühendislik jeolojisi özelliklerinin bilinmesi gerektiğini vurgulamış, bu çerçevede yapmış oldukları çalışmada tüflerin kütle ve malzeme özelliklerini değerlendirmişlerdir. Elde ettikleri verilere göre tüflerin kötü-çok kötü duraylılığa sahip olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, tüfler içindeki eklem sistemlerinin sadece peri bacalarının oluşumunu değil, aynı zamanda, doğal ve tarihi yapıların yapısal stabilitesini de etkilediğini ifade etmişlerdir. Topal ve Doyuran, yine aynı çalışmalarında, Kapadokya tüflerinde etkili olan kimyasal ayrışmayı değerlendirmek için farklı bir yaklaşım olarak tuz kristalizasyon testi yapmış; kimyasal ayrışmanın likenlerle kaplı olan yüzeyin altında 2 cm kadar ilerlediğini izlemişlerdir [22]. Çalışma alanında yer alan tüflerin bozunmasına yönelik olarak yapılan en güncel çalışmalardan biri Ergüler tarafından yapılmıştır. Ergüler bu çalışmada, erozyon sonucu ortaya çıkan peri bacalarının, yine erozyon tarafından yok edildiğini belirtmiştir. Ayrıca bölgede bulunan tüflerin mekanik, fiziksel ve mineralojik özelliklerinin birçok çalışmada ele alındığını, ancak ayrışma hızının değerlendirilmediğini belirtmiştir. Bölgenin korunması açısından ayrışma derecesinin bilinmesinin zorunlu olduğunu ve bunun acilen saptanması gerektiğini savunmuştur. Ergüler, anılan çalışmada Kapadokya tüfleri için ayrışma hızının 0.03 – 2.5 mm/yıl arasında değiştiğini hesaplamıştır [23].

Topal ve Doyuran, peri bacalarının gelişiminde süreksizliklerin etkisini inceledikleri çalışmalarında, peri bacalarının arazi yöneliminde, şeklinde ve büyüklüğünde süreksizliklerin eğim, doğrultu, süreklilik, açıklık ve aralığının önemli etkisi olduğunu belirtmişlerdir [24]. Buna ek olarak, Baba ve çalışma arkadaşları da fiziko-kimyasal

reaksiyonlar sonucu oluşan peri bacalarının kimyasal ve fiziksel özelliklerini incelemiş; peri bacalarını oluşturan tüflerin kimyasal özelliklerinin peri bacalarının boyutunu, gelişimini ve duraylılığını etkileyen birincil faktörlerden biri olduğunu belirtmişlerdir [25].

Tüflerin termal yalıtım özelliklerinden dolayı, içlerinde açılmış geniş yer altı açıklıkları tarih boyunca kullanıldığı gibi, günümüzde de soğuk hava deposu olarak kullanılmaktadır. Bu yapıların tarihsel ve güncel kullanımı üzerine ilk çalışma Erguvanlı ve Yüzer tarafından yapılmıştır [26]. Ayrıca bu yapıların tasarımını etkileyen mühendislik jeolojisi parametreleri de birçok araştırmacının ilgisini çekmiştir. Bu çalışmalara göre kalın ve masif tabakalı istifler içerisinde açılan yer altı açıklıkları herhangi bir sorun ile karşılaşmazken, ince ve orta tabakalı istifler içerisindeki yer altı açıklıkları duraysızlık problemleri ile karşılaşmıştır [27, 28]. Aydan ve Ulusay ise bu yapıların inşa edildiği tüflerin yatay ve düşey yönde herhangi bir değişim göstermediğini belirtmiştir [27]. Çalışma alanında yer alan kaya oyma yapılarında stabilite sorunlarını kontrol eden temel parametreler ayrışma ve süreksizliklerdir. Yer altı açıklıklarında blok duraysızlıkları, aşırı sökülme, erozyon, sütun kesmeleri ve kaya düşmeleri en önemli stabilite sorunları olarak tanımlanmıştır [3].

Yukarıda bahsedilen birçok çalışmada kaya düşmelerinin bölge için önemli sorun olduğu ve irdelenmesi gereken bir bölgesel sorun olduğu vurgulanmıştır. Bu anlamda bölgede yapılan ilk çalışma Doyuran tarafından yapılan “Ortahisar’ın çevresel ve jeolojik sorunları” başlıklı çalışmadır. Bu çalışmada, Ortahisar kasabesindeki başlıca jeolojik sorunların, kaya düşmeleri ve konut amacı ile açılmış bazı mağaralardaki göçme riski olarak tanımlanmıştır. Kaya düşmelerinin ilk kez değinildiği bu çalışmada, kaya düşmelerinin ıslahının mümkün olmadığı, bundan dolayı bölgenin afet bölgesi olarak değerlendirilip boşaltılması gerektiği savunulmuştur. Aynı çalışmada, kopma gerçekleşen mağaralar için yağmur sularının drene edilmesi, mevcut çatlaklardaki sızıntının önlenmesi ve desteklerin konulması, ıslah yöntemleri olarak önerilmiştir [2]. Aynı lokasyon (Ortahisar Kalesi) Tunusluoğlu ve Zorlu tarafından tekrar değerlendirilmiştir. Yapılan bu çalışmada, bölgede zaman zaman kaya düşmelerinin meydana geldiği ve bu doğal tehlikenin süreksizlikler, dik topoğrafya ve insan aktiviteleri tarafından tetiklendiği savunulmuştur [5]. Ortahisar Kalesi eklemli

İgnimbiritlerin bulunduğu dik bir tepede yapılmış olup, 50 metre yüksekliğinde 500 metrekare bir yayılımı bulunmaktadır. Burada potansiyel düşebilecek bloklar için iki boyutlu kaya düşme analizleri yapılmış, buna göre belirlenen en uzak mesafe, sıçrama yüksekliği, kinetik enerji ve hızları belirlenmiştir. Bu verilerle kaya düşmesi tehdidi altında bulunan alan haritalanmıştır. Yapılan haritaya göre maksimum uzaklık Doyuran tarafından belirlenen afet bölgesinden çok daha geniş bir alanı kapsamaktadır. Bunun muhtemel nedeni, iki çalışma arasında geçen 33 yıl gibi bir sürede kaya düşme riskinin erozyon ve diğer faktörlerin etkisiyle ciddi boyutlara ulaşması olabilir. Bu çalışmanın amaçlarından birisi de süreç içerisinde erozyonun ve diğer faktörlerin etkisini irdelemek olacaktır. Bunun için periyodik jeodezik yöntemler (Terrestrial Laser Scanning (TLS) ve Total station) kullanılarak jeoteknik izleme yapılması düşünülmüştür. Tuncay, yapmış olduğu çalışmasında, uzun süreli stabilite analizlerinde tüflerdeki yapılar için maksimum mukavemetin %15-30 kritik seviye olarak kabul edilmesi gerektiğini savunmuştur [4]. Kaya düşmelerinde yüzey süreçlerinin etkisi, Zorlu ve çalışma arkadaşları tarafından ele alınmış; erozyona karşı farklı duraylılığa sahip İgnimbrit ve tüflerden oluşan jeolojik yapının kaya düşmelerine neden olduğu belirtilmiştir [6]. Ayrıca bu çalışmada Tunusluoğlu ve Zorlu [5] tarafından yapılan risk haritasının benzeri 4 farklı lokasyon (Çavuşini, Killiktepe, Ayvazkaya ve Aktepe) için yapılmıştır.

3. BÖLÜM

MATERYAL VE METOD

3.1. Materyal

Çalışma alanı, ülkemizin en önemli turizm bölgelerinden biri olduğu gibi aynı zamanda 1985 yılında UNESCO tarafından dünyada korunması gerekli Kültür Mirası listesine Türkiye’den kabul edilen 3 önemli merkezden biri olan Kapadokya bölgesinde Nevşehir’in 25 km batısında, Acıgöl ilçesinin kuzeyinde yer alan Tatların Yeraltı Şehri ve civardır. Kapadokya’nın birçok noktasında olduğu gibi, bölgenin önemli doğal ve kültürel miraslarından biri olan Tatların Yeraltı Şehri ve civarında etkili olan kaya kütle duraysızlıkları çalışmanın konusunu oluşturmaktadır.

Arazi çalışmalarında bölgenin 1/25000 ölçekli topoğrafik haritaları ve 1/1000 ölçekli haritalar kullanılmıştır. Ayrıca arazi çalışmalarında, jeolog pusulası, şeritmetre, GPS, Schmidt Çekici, dijital fotoğraf makinası ve numune torbaları kullanılmıştır. Laboratuvar çalışmalarında, jeoloji mühendisliği bölümü Kaya - Zemin Mekaniği laboratuvarında bulunan cihazlar ve büro çalışmalarında bilgisayar ve ilgili paket bilgisayar programları kullanılmıştır.

3.2. Metot

Bu çalışma, literatür taraması, arazi çalışmaları, laboratuvar çalışmaları ve büro çalışmaları olmak üzere dört aşamada tamamlanmıştır.

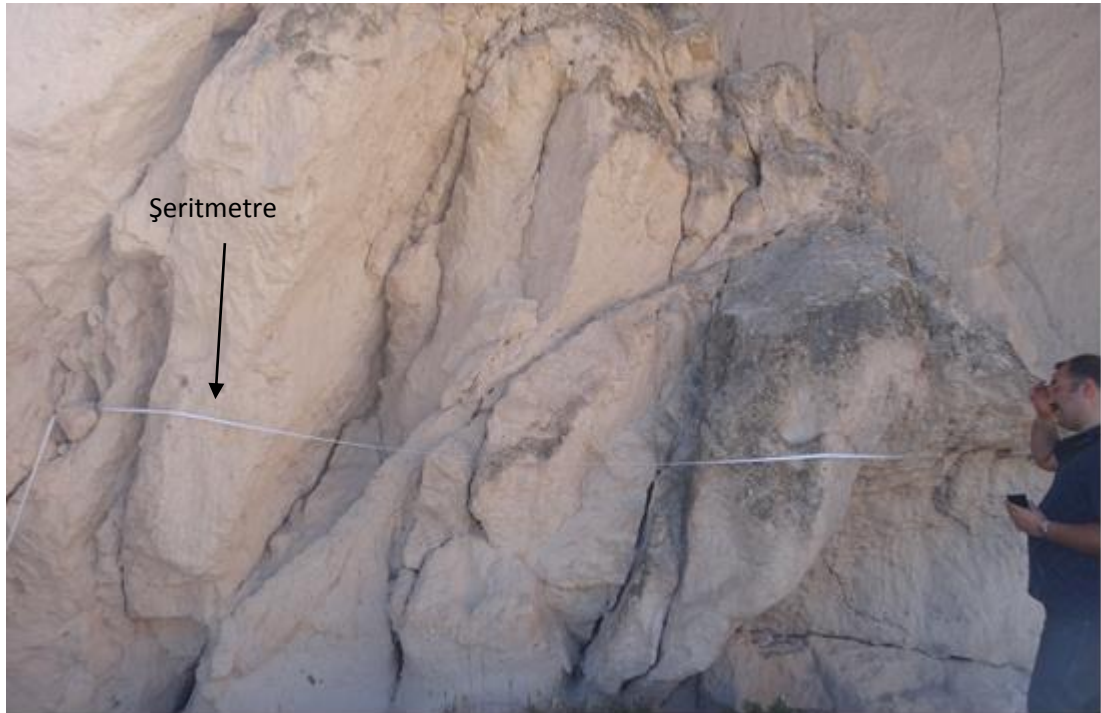
3.2.1. Literatür taraması

Bu aşamada inceleme alanı ve çevresi ile ilgili bütün jeolojik verilerin sağlanmasına ilişkin literatür derlemesi yapılmıştır. Bu kapsamda çalışma alanında ve bölgede yapılmış olan tezler, makaleler ve raporlar incelenmiştir. Bu çalışmalarla ilgili detay Önceki Çalışmalar bölümünde ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.

3.2.2. Arazi çalışmaları

Litolojik birimlerin haritalanması, blok örnek alımı ve süreksizliklerin tanımlanması arazi çalışmalarının en önemli iş kalemlerini oluşturmaktadır. Öncelikle, farklı

mühendislik özellikleri sunan kaya birimleri sınırları haritalanmış ve olası düşme potansiyeli taşıyan blokların lokasyonları GPS yardımıyla belirlenmiştir. Bilindiği üzere kaya kütleleri, sürekli, homojen ve izotop malzemelerden olmayıp, çeşitli süreksizlikler tarafından kesilirler [29]. Süreksizlikler kaya kütlelerinin duraylılığını etkileyen en önemli parametredir. Bundan dolayı, haritalama çalışmaları tamamlandıktan sonra süreksizliklere ve kaya kütlelerine ait özellikleri belirlemek için “hat etüdü” yöntemi kullanılmıştır (Resim 3.1).



Resim 3.1 Arazide hat etüdü çalışmalarından bir görünüm

Çalışmanın konusunu oluşturan kaya kütle duraysızlıkları, tüfler ve bazaltlar üzerinde gözlenmektedir. Bundan dolayı söz konusu kaya litolojilerin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek maksadıyla, bazalt ve tüflerden farklı lokasyonlardan (25x25x30cm) boyutlarında blok numune alımları gerçekleştirilmiştir.

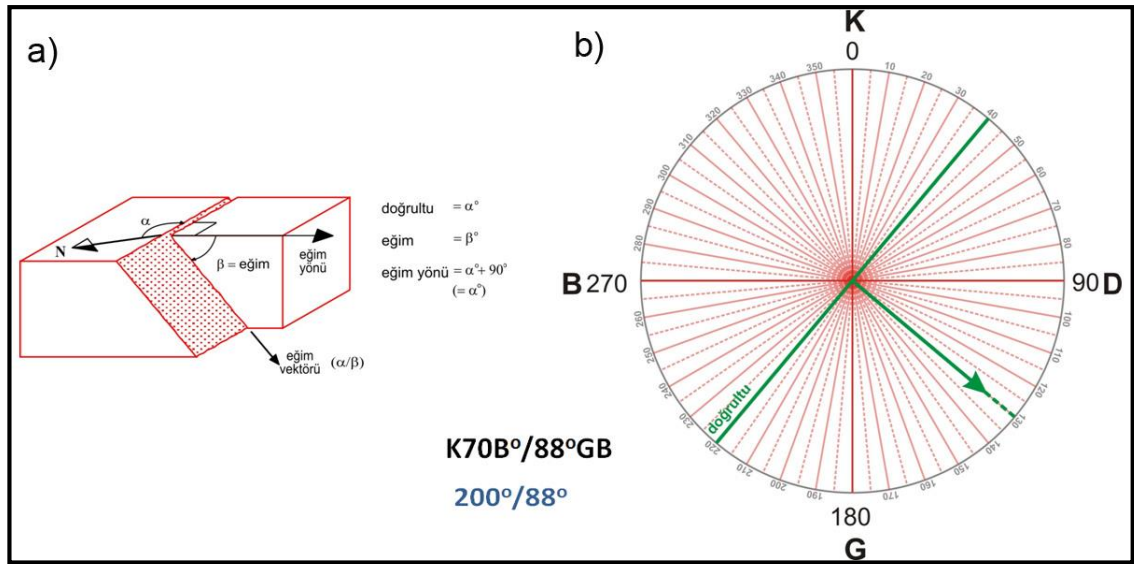
3.2.2.1. Süreksizlik özelliklerinin tanımlanması

Kaya kütlelerinin mühendislik özelliklerinin ortaya tam olarak konulabilmesi için süreksizliklere ait yönelim, aralık, devamlılık, pürüzlülük, yüzey mukavemeti, açıklık,

dolgu, sızıntı, takım sayısı ve blok boyutu gibi fiziksel parametrelerin tanımlanması gerekir.

3.2.2.1.1. Yönelim

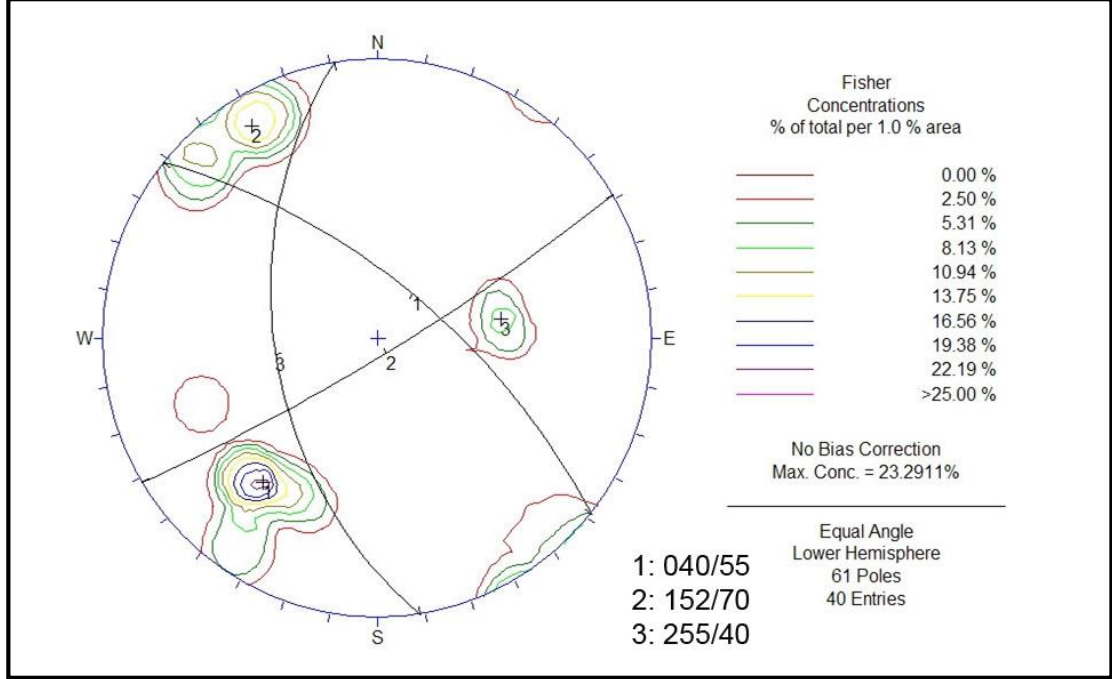
Süreksizliklerin uzaydaki konumu, eğim ve doğrultuyla ifade edilir. Genel jeoloji çalışmalarında ifade edilen bu iki parametre jeolog pusulası yardımıyla belirlenir. Buna karşın hızlı ölçüm almak ve veri değerlendirmeyi kolaylaştırmak için süreksizlik çalışmalarında eğim yönü/eğim olarak ifade edilir (Şekil 3.1) [30].



Şekil 3.1 Doğrultu, eğim ve eğim yönü kavramları (a), doğrultu ve eğim yönü arasındaki ilişkiyi gösteren bir örnek (b)

Uzaydaki konumları hemen hemen aynı olan, yani mostrada birbirine paralellik sunan süreksizliklerin oluşturduğu topluluğa “süreksizlik takımı” denir. Baskın süreksizlik takımının yönelimi ile şevnin konumu arasındaki ilişki duraysızlık modelinin ortaya konulmasında oldukça önemlidir. Bundan dolayı, çok sayıdaki süreksizlik yönelimini istatistiksel yöntemlerle değerlendirmek ve süreksizlik sayısını ortaya koymak kaya duraysızlık çalışmalarının en önemli işlemlerinden birisidir. Bu çalışmada, arazide ölçülen süreksizlik eğim yönü/eğim değerleri stereografik izdüşüm teknikleriyle değerlendirilmiştir. Bu amaçla Dips 4.0 bilgisayar programı kullanılmıştır. Buna ait bir örnek Şekil 3.2’de verilmiştir. Şekilde süreksizliklerin üç alanda kümelendiği görülmektedir. Kutup noktalarının bu yoğunlaşmasına göre kaya kütlesi üç süreksizlik takımı içermektedir. Kontur diyagramlarında, kutup noktaların en fazla yoğunlaştığı konturların merkezi göz önünde bulundurularak süreksizlik takımlarına ait egemen

yönelimler belirlenir. Ancak tali bir takım yönelimler de mutlaka çalışmalarda göz önünde bulundurulmalıdır [30].



Şekil 3.2 Üç egemen süreksizlik takımının gözlemlendiği bir kaya kütesine ait kontur diyagramı örneği

3.2.2.1.2. Aralık

Bir süreksizlik setindeki komşu iki süreksizliğin arasındaki dik mesafedir. Bu çalışmada süreksizlik aralığı bazalt ve ignimbirit mostra yüzeylerinde bir doğrultuda serilen şerit metre boyunca kesilen süreksizlerin aralıklarının ölçülmesiyle elde edilmiştir. Bu çalışmada süreksizlik aralığı parametresinin tanımlaması amacıyla ISRM tarafından önerilen ve Tablo 3.1’de verilen tanımlama ölçütleri kullanılmıştır [31].

Tablo 3.1 Süreksizlik aralığını tanımlama ölçütleri

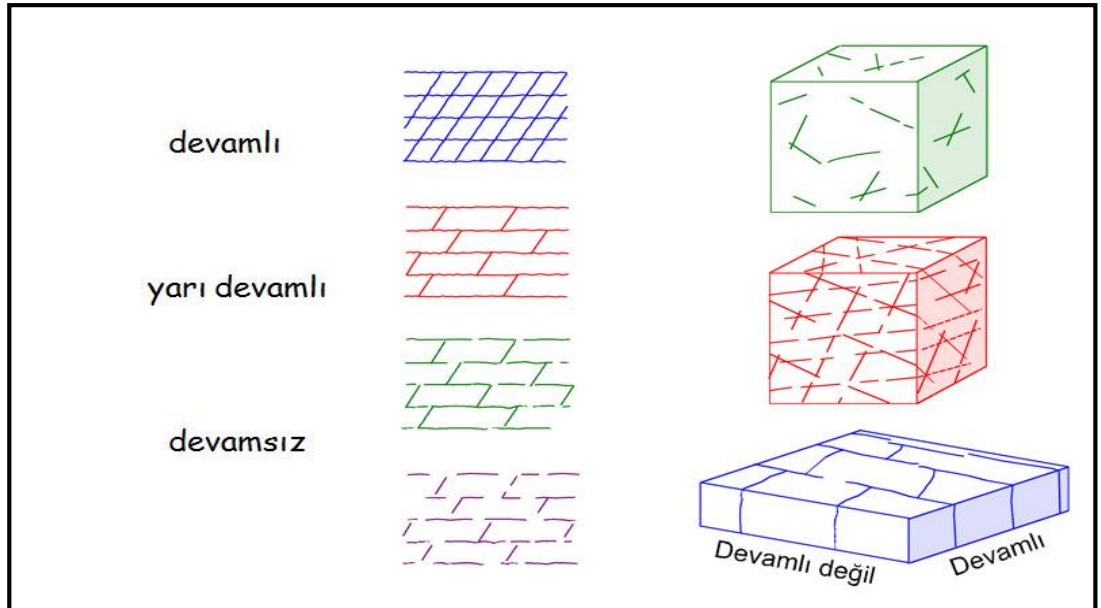
Tanımlama	Aralık
Çok fazla yakın aralıklı	<2 cm
Çok yakın aralıklı	2-6 cm
Yakın aralıklı	6-20 cm
Orta aralıklı	20-60 cm
Geniş aralıklı	60-200 cm
Çok geniş aralıklı	200-600 cm

3.2.2.1.3. Devamlılık

Süreksizliklerin bir düzlemdeki alansal yayılımının göstergesi olan devamlılık yönlerine göre farklılık göstereceğinden birbirine dik yönlerde ölçüm alınması gerekir. Bu çalışmada devamlılığın tanımlanması amacıyla ISRM tarafından önerilen ve Tablo 3.2’de verilen ölçütler kullanılmıştır [31]. Devamlılık en önemli süreksizlik parametrelerinden biri olmasına rağmen kantitatif olarak değerlendirilmesi oldukça zordur. Bundan dolayı, Şekil 3.3’ de verilen basit çizim ve blok diyagramlar kullanılabilir [32].

Tablo 3.2 Süreksizlik devamlılığının sınıflandırılması ve tanımlama ölçütleri [31]

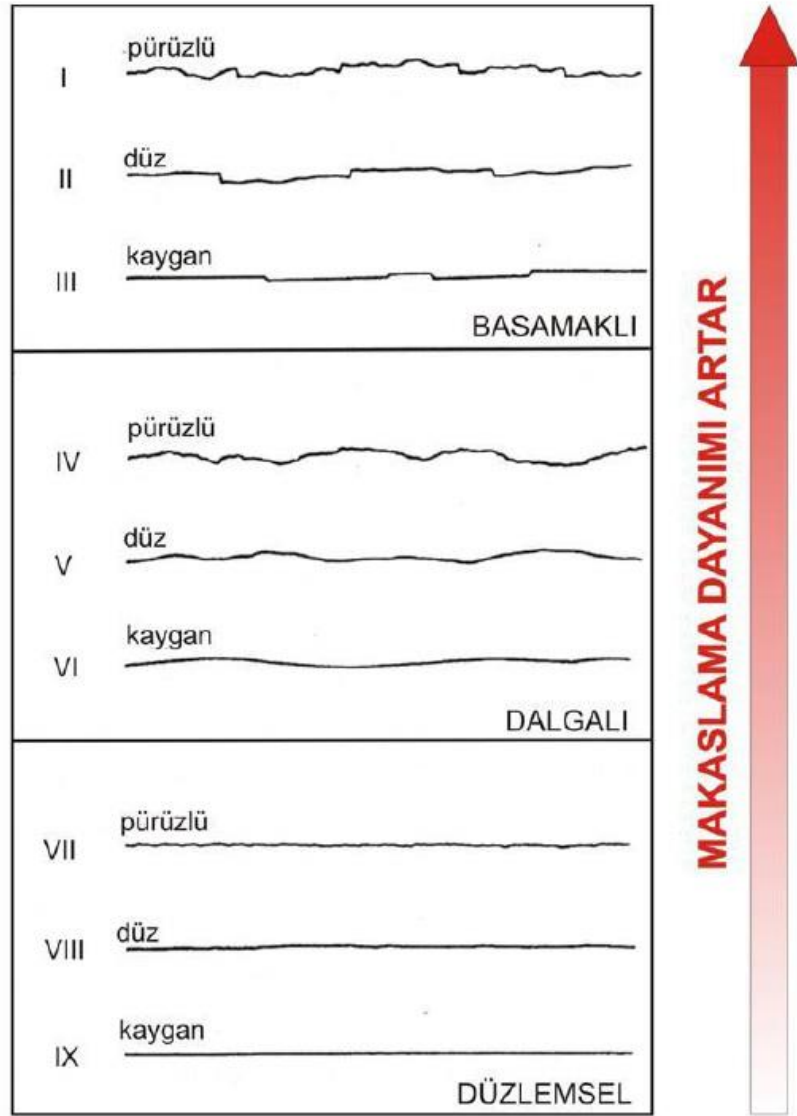
Tanımlama	Süreksizlik izinin ölçülen uzunluğu
Çok düşük devamlılık	< 1m
Düşük devamlılık	1-3 m
Orta devamlılık	3-10 m
Yüksek devamlılık	10-20 m
Çok yüksek devamlılık	>20 m



Şekil 3.3 Farklı süreksizlik takımlarında rölatif devamlılığı gösteren basit çizimler ve blok diyagramlar [32]

3.2.2.1.4. Pürüzlülük

Bir süreksizliğin makaslama mukavemetinin bir bileşeni olarak önem taşır ve dalgalılık ile birlikte değerlendirilmelidir. Pürüzlülük ve dalgalılık sırasıyla, süreksizlik yüzeyinin küçük ve büyük ölçekte düzlemsellikten sapmanın bir ölçüsüdür. Pürüzlülüğün belirlenmesindeki başlıca amaç; kaya kütlesi sınıflaması için bir girdi parametresi elde etmek, süreksizlik yüzeyinin makaslama dayanımının belirlenmesi ve potansiyel kayma yönünü belirlemektir [30]. Bu amaç için hem kantitatif hem de kalitatif bazı yöntemler bulunmaktadır. Bu çalışmada kalitatif pürüzlük tanımlamaları kullanılmıştır. Bunun için ISRM tarafından önerilen ve Şekil 3.4’de verilen tipik pürüzlülük profillerine göre pürüzlülük tanımlanır ve sınıflandırılır. Bu sınıflandırmaya göre profiller; basamaklı, dalgalı ve düzlemsel şeklinde üçe ayrılmakta ve ayrıca her grup kendi içinde küçük ölçek bazında pürüzlü, düz ve kaygan olarak sınıflama yapılmaktadır [31]. Şekil 3.4’de görüldüğü üzere pürüzlülüğün artmasıyla makaslama dayanımında okla gösterilen yönde artış görülmektedir.



Şekil 3.4 Pürüzlülüğün kalitatif olarak belirlenmesinde kullanılan pürüzlülük profilleri

3.2.2.1.5. Açıklık

Bir süreksizliğin karşılıklı iki yüzeyi arasındaki dik uzaklık olup, boş olabileceği gibi, su veya herhangi bir malzeme ile doldurulmuş olabilir. En basit ve pratik bir şekilde ölçüm milimetre bölmeli mikrometre ile yapılabilir. Süreksizliklerin açıklıklarının tanımlanması amacıyla ISRM tarafından önerilmiş ölçütler Tablo 3.3'de verilmiştir [31].

Tablo 3.3 Süreksizlik açıklığının tanımlanması amacıyla önerilen ölçütler

Açıklık	Tanımlama	
<0.1 mm	Çok Sıkı	
0.1-0.25 mm	Sıkı	“Kapalı” yapılar
0.25-0.5 mm	Kısmen Açık	
0.5-2.5 mm	Açık	
2.5-10 mm	Orta Derecede Geniş	“Boşluklu” yapılar
>10mm	Geniş	
1-10 cm	Çok Geniş	
10-100 cm	Aşırı Geniş	“Açık” yapılar
>100 cm	Boşluklu	

3.2.2.1.6. Dolgu

Süreksizliğin karşılıklı iki yüzeyinin arasını dolduran ve genellikle ana kayaç malzemesinden daha zayıf olan malzemedir. Dolgunun varlığı makaslama dayanımını etkileyeceğinden, varlığının tespit edilmesi duraylılık çalışmalarında oldukça önemlidir. Eğer varsa dolgu malzemesinin mühendislik özelliklerinin de ayrıca belirlenmesi gerekir.

3.2.2.1.7. Yüzey mukavemeti

Süreksizlik yüzeylerinin bulunduğu kaya malzemesinin dayanımı, özellikle süreksizlik yüzeylerinin dolgusuz ve birbiriyle temas halinde olması durumunda makaslama dayanımı açısından oldukça önemlidir. Bu amaç için, Schmidt çekici deneyi, eklem yüzeylerinin sıkışma dayanımının, dolaylı da olsa arazide tahmini açısından pratik bir yöntemdir. Bu çalışmada, Schmidt çekici süreksizlik yüzeylerine dik yönde

uygulanmıştır (Resim 3.2). Belirlenen ortalama Schmidt değerinden süreksizlik yüzeyinin tek eksenli sıkışma dayanımı belirlenmiştir. Bu amaç için, Miller ile Barton ve Choubey aşağıdaki ilişkiyi önermiştir [33,34].

$$\log JCS = 0.00088\gamma.R + 1.01 \quad (3.1)$$

Burada, JCS süreksizlik yüzeyinin dayanımı (MPa), γ birim hacim ağırlık (kN/m^3) ve R ise Schmidt Sertlik değeridir.



Resim 3.2 Çalışma alanında Schmidt çekici ile yüzey mukavemetinin belirlenmesi

3.2.2.1.8. Su durumu

Suyun varlığı durumunda kaya kütlelerinin mühendislik özelliklerinin önemli oranda değişeceği düşünülürse, mutlaka süreksizliklerde su durumunun değerlendirilmesi gerekmektedir. Çalışma alanında süreksizliklerde suyun varlığına rastlanmadığı için bu parametre detaylı olarak bu çalışmada irdelenmemiştir.

3.2.2.1.9. Blok boyutu

Kaya kütlelerinin davranışının önemli bir göstergesi olup, süreksizlik aralığı, set sayısı ve yönelimi gibi faktörler blokların şeklini tayin eder. Blok boyutu, tipik blokların

ortalama boyutuyla (blok boyutu indeksi, I_b) veya birim hacimdeki bir kaya kütlesinde gözlenen süreksizliklerin toplam sayısı (hacimsel eklem sayısı, J_v) tanımlanır [30]. Bu çalışmada hacimsel eklem sayısı yaklaşımı blok boyutunu değerlendirmek için kullanılmıştır. Palmström tarafından tanımlanan hacimsel eklem sayısı (J_v), birim hacimdeki bir kaya kütlesinde gözlenen süreksizliklerin toplamıdır [35].

$$J_v = \frac{N_1}{L_1} + \frac{N_2}{L_2} + \dots + \frac{N_n}{L_n} \quad (3.2)$$

Burada, N_n gözlenen her bir eklem seti için ölçüm hattı boyunca sayılan süreksizlik sayısı ve L_n ise ölçüm hattının uzunluğudur. J_v değerine göre Tablo 3.4’de verilen ölçütler göz önünde bulundurularak blok tanımı yapılır [31].

Tablo 3.4 Hacimsel eklem sayısına (J_v) göre blok boyutunun tanımlanması [31]

Tanım	J_v , eklem/m ³
Çok geniş bloklar	<1.0
Geniş Bloklar	1-3
Orta Boyutlu Bloklar	3-10
Küçük bloklar	10-30
Çok küçük bloklar	>30

3.2.3. Laboratuvar çalışmaları

Öncelikle, araziden alınan ve çalışmanın konusunu oluşturan bazalt ve ignimbirit seviyelerine ait bloklardan karotların alınmasıyla başlanmıştır. Bu kapsamda bloklar, bazalt ve ignimbirit olmak üzere iki farklı grup olarak değerlendirilmiş ve blok örneklerden yaklaşık 20 adet, NX boyutlu karot numuneleri (Resim 3.3) standartlara uygun bir şekilde hazırlanmıştır. Bu numuneler üzerinde indeks, fiziksel ve mekanik özellikleri belirlemeye yönelik kaya mekaniği deneyleri yapılmıştır.



Resim 3.3 Hazırlanan karot örneklerinin genel görünümü

3.2.3.1. Yoğunluk ve birim hacim ağırlığın belirlenmesi

Düzenli şekilli olarak blok örneklerinden hazırlanan karot numunelerinin öncelikle ayrı ayrı ISRM [31] tarafından önerildiği şekliyle (kumpas yöntemi ile) yoğunluk ve birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir. Bu deneylerde kayaçların doğal yoğunlukları ve birim hacim ağırlıkları aritmetik ortalama ile tanımlanmıştır.

3.2.3.2. Schmidt sertliğinin belirlenmesi

Schmidt çekici deneyi N tipi çekiç kullanılarak arazide bloklar üzerinde ISRM [31] tarafından önerilen şekilde yapılmıştır. Deneyler bloklar üzerinde çatlak ve süreksizliğin olmadığı alanlarda düşey olarak yapılmış olup, her deneyde alınan 20 okumanın en yüksek 10'unun ortalaması tek blok numune için Schmidt sertliği olarak belirlenmiştir.

3.2.3.3. Porozite (gözeneklilik) ve boşluk oranının belirlenmesi

Karot olarak hazırlanan numuneler 105°C'ye ayarlanmış fırında 18 saat bekletildikten sonra desikatör içine alınmıştır. Kuru ağırlıkları belirlenen numuneler daha sonra 48 saat suda bekletilmiştir. Suyu doymuş numunelerin ağırlıkları belirlenerek, porozite ve boşluk oranları değerleri elde edilmiştir. Ayrıca suda doyurulduktan sonra her bir numunenin ıslak birim hacim ağırlığı kuru yoğunluk ile aşağıdaki şekilde ilişkilendirilmiştir. Bu bağıntı kullanılarak ıslak birim hacim ağırlık değerleri hesaplanmıştır:

$$\gamma_{kuru} = \frac{\gamma_{ıslak}}{1 + w} \quad (3.3)$$

3.2.3.4. Ağırlıkça ve hacimce su emme oranının belirlenmesi

Yaklaşık aynı boyutlarda önceden hazırlanan karot numuneleri saf su içinde 18 saat bekletildikten sonra ıslak ağırlıkları belirlenmiştir. Daha sonra numuneler 105°C'ye ayarlanmış fırında 18 saat kurutulmuştur. Fırından çıkarılan numunelerin kuru ağırlıkları belirlendikten sonra ağırlıkça ve hacimce su emme oranları tanımlanmıştır.

3.2.3.5. Tek eksenli sıkışma dayanımı (UCS)

Kapasitesi 2000 kN olan ekipmanın kullanıldığı deneylerde uzunluk/çap oranı 2.0–2.5 olan karot numunelerinin tek eksenli sıkışma dayanımları belirlenmiştir. Yükleme hızı olarak 0.1 kN/s seçilmiş olup, numuneler 5–10 dakika arasında yenilmiştir. Her bir blok numune için en az 5 örnek üzerinde deney tekrar edilmiştir.

3.2.4. Büro çalışmaları

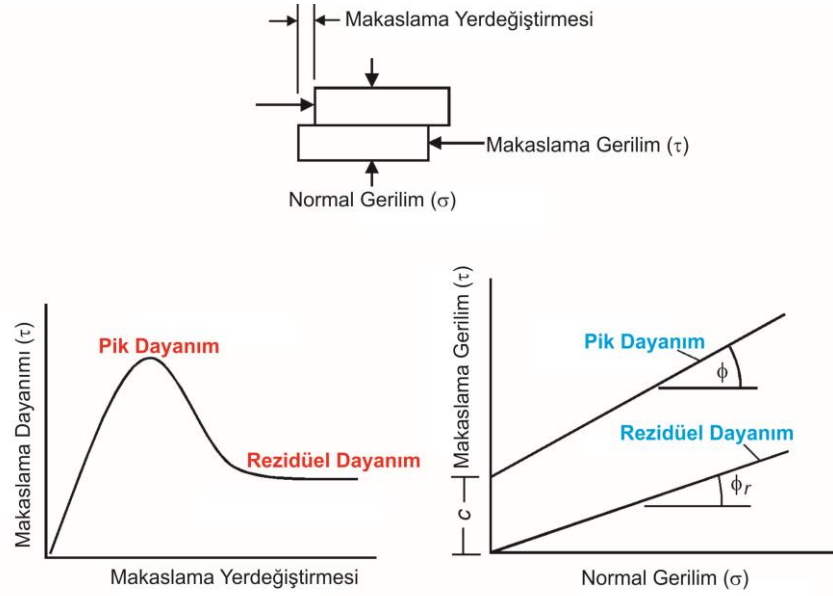
Büro çalışmaları ağırlıklı olarak arazi ve laboratuvar çalışmalarında elde edilen verilerin değerlendirilmesi, kinematik analizler, 2 boyutlu kaya düşme analizleri ve tez yazım çalışmalarından oluşmaktadır.

3.2.4.1. Süreksizlik yüzeylerinin makaslama dayanımı

Kaya kütleleri bilindiği üzere süreksizliklerle bölünmüş bir yapıya sahiptir. Düşük gerilme koşullarında yani yüzeye yakın koşullarda duraysızlık kayaç malzemesinden çok süreksizliklerin kayma mukavemeti parametreleri tarafından kontrol edilirler [36].

3.2.4.1.1. Düz yüzeylerin makaslama dayanımı

Bu tür yüzeylerde kayma deformasyonuna direnç gösterecek pürüzlülük gibi yapılar olmadığı için az bir deformasyonun sonucunda pik dayanıma ulaşılır [36]. Bağlayıcı malzeme yenilir ve makaslama dayanımı artık (rezidüel) değere düşer (Şekil 3.5).



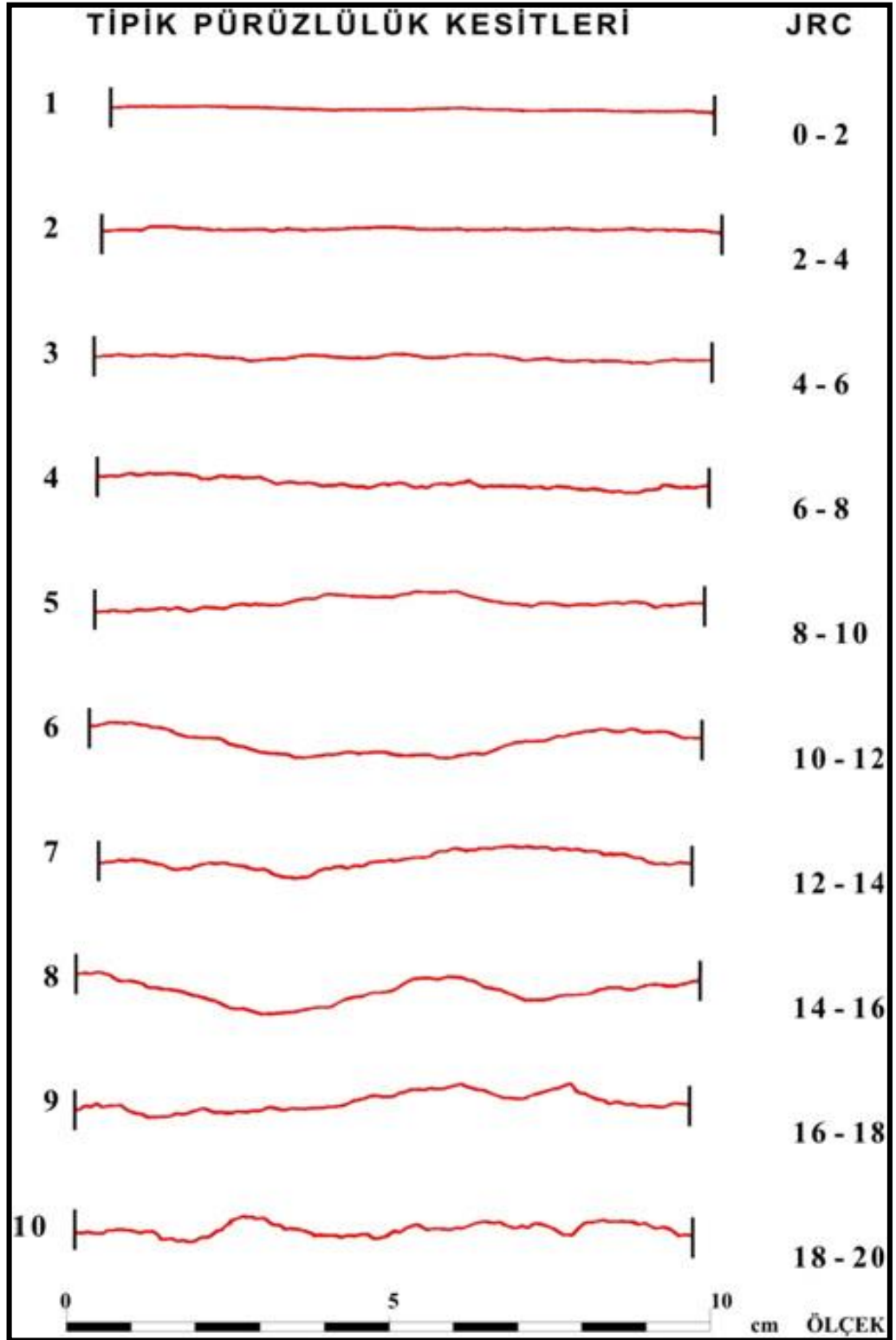
Şekil 3.5 Pürüzsüz - düz yüzeylerde makaslama dayanımı ve yenilme zarfları

3.2.4.1.2. Pürüzlü yüzeylerin makaslama dayanımı

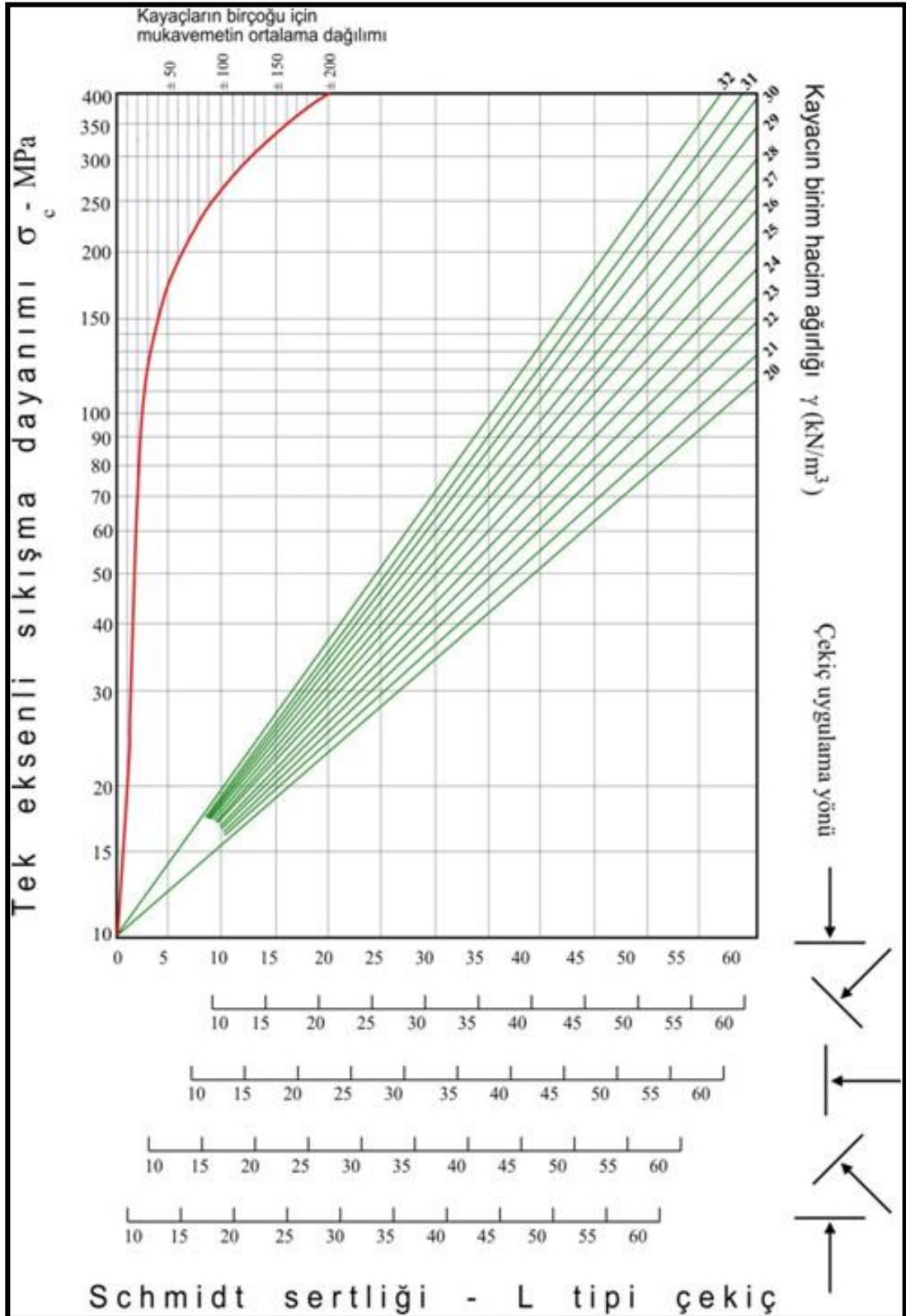
Doğal eklem yüzeylerindeki dalgalılık ve pürüzlülük süreksizliklerin kayma davranışı üzerinde büyük bir öneme sahiptir. Genellikle yüzey pürüzlülüğü kayma dayanımını artırır ve bu dayanım kayadaki kazı stabiliteler açısından oldukça önemlidir [34]. Bu çalışmada, süreksizlik kayama dayanımının değerlendirilmesi amacıyla Barton yenilme kriteri kullanılmıştır. Barton doğal kaya eklemlerinin davranışı üzerine çalışmış ve şu formülü önermiştir [37, 38].

$$\tau = \sigma_n \tan \left[\phi_b + JRC \log_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma_n} \right) \right] \quad (3.4)$$

Burada, JRC eklem pürüzlülük katsayısı ve JCS ise eklem yüzey dayanımıdır. JRC değerinin bulunabilmesi için ölçülen pürüzlülük kesitleri, Şekil 3.6'da verilen ve Barton ve Choubey [34] tarafından tanımlanan pürüzlülük kesitleri ile karşılaştırılarak JRC değerleri bulunmuştur. Kayacın eklem yüzeylerine komşu konumdaki kısımları, kaya kütesinin dayanım ve deformasyon özelliklerini denetler. Süreksizlik yüzeylerinde gözlenen bozunma kayacın içine doğru ilerledikçe kayacın tek eksenli sıkışma dayanımını azaltacaktır. Süreksizlik yüzeylerinde gözlenen bozunma derinliği bir milimetreden az olabileceği gibi bazen birkaç milimetreyi bulabilir. Ayrışmamış kayalar için, JCS tek eksenli sıkışma dayanımına eşit olarak alınabilir, fakat ayrışmış kayalar için tek eksenli sıkışma dayanımını %75 oranında azaltmak gerekebilir [39]. Benzer bir şekilde Barton, süreksizlik yüzey mukavemeti ile tek eksenli sıkışma dayanımı arasındaki (JCS/UCS) oranının ¼ şeklinde kullanılabileceğini belirtmiştir [37]. Bundan dolayı, JCS değerinin belirlenmesi için en pratik yöntem Schmidt deneyidir. JCS değerinin tahmini için kullanılan Schmidt deneyi ile ilgili standart ISRM tarafından yayınlanmış olup, ilgili abak ise Deere ve Miller tarafından oluşturulmuştur [40, 41]. Şekil 3.7'de verilen bu abak çalışmada süreksizlik yüzey mukavemetinin tahmini amacıyla kullanılmıştır. Bu yöntemin bir avantajı da herhangi bir işlem yapılmadan doğrudan süreksizlik yüzeylerine uygulanabilmesidir. Schmidt deneyi, JCS değeri 20-300 MPa arasında değişen süreksizlik yüzeyleri için uygundur [36].



Şekil 3.6 Süreksizlik yüzeyi pürüzlülük katsayısının (JRC) belirlenmesinde kullanılan tipik pürüzlülük profilleri [34]



Şekil 3.7 Schmidt sertliği ve tek eksenli sıkışma dayanımı arasındaki ilişki [41]

Daha sonra Barton ve Choubey, ayrıışmış kayaçlardaki eklem yüzeylerine ait 130 adet direk kesme kutusu deney sonuçlarını kullanarak bu formülü şu şekilde değiştirmişleridir [34].

$$\tau = \sigma_n \tan \left[\phi_r + JRC \log_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma_n} \right) \right] \quad (3.5)$$

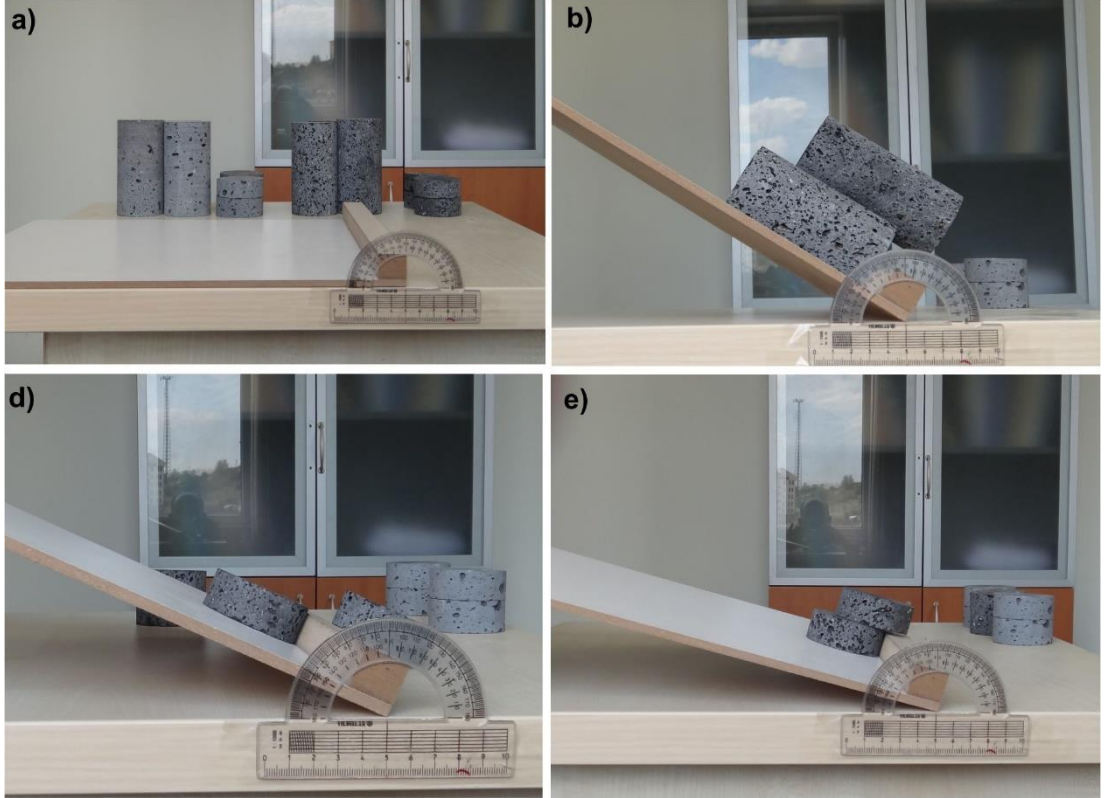
Eřitlikteki ϕ_r , artık sürtünme açısı olup, Barton ve Choubey, sürtünme açısının şu şekilde tahmin edilebileceğini belirtmiştir [34].

$$\phi_r = (\phi_b - 20) + 20 \left(\frac{r}{R} \right) \quad (3.6)$$

Burada, r ayrıışmış yüzeyin veya ıslak yüzeyin Schmidt değeri, R is ayrıışmamış yüzeyin Schmidt değeridir. Eřitlik incelendiğinde, temel sürtünme açısının (ϕ_b) süreksizliklerin kayma dayanımının tahmininde anahtar rol oynadığı görülmektedir. Temel sürtünme açısı taze yüzeyleri karakterize eder. Temel sürtünme açısı farklı kaya tipleri için incelenmiş ve sedimanter kayaçlar için 25°-30° bulunurken, magmatik ve metamorfik kayaçlar için 30°-35° bulunmuştur. Temel sürtünme açısı laboratuvarında tilt deneyi ve direk kesme kutusu deneyi kullanılarak taze düz yüzeyler için hesaplanabilir [42]. Bu çalışmada temel sürtünme açısı basit bir düzenek olan tilt deneyi yapılarak hesaplanmıştır. Bu yöntemle ilgili en yaygın kullanılan yöntem Stimpson tarafından önerilmiş olup, en güncel olan ise Alejano ve çalışma arkadaşları tarafından önerilmiştir [43,42]. Bu araştırmada daha yaygın olduğu için Stimpson önerisi kullanılmış; iki farklı örnek tipi kullanılarak deneyler yapılmıştır. Birinci tipte, Stimpson tarafından önerilen 54 mm çap ve 108 mm boya sahip silindirik üç karot örneğini kullanılmıştır. Silindirik örneklerin bir tanesi diğer ikisinin üzerine Resim 3.4a'da gösterildiği gibi yerleştirilmiş ve her bir test için beş tekrar gerçekleştirilmiştir. İkinci tipte ise Alejano ve çalışma arkadaşlarının çalışmalarında kullandıkları, diğerlerine göre daha muhafazakâr değerler elde edilen ve Resim 3.4e'de gösterilen iki tane disk şeklinde örnek kullanılmıştır.

$$\phi_b = \tan^{-1} \left(\frac{2}{\sqrt{3}} \tan \beta \right) \quad (3.7)$$

Formülde β , kaymanın başladığı andaki tilt masasının eğimidir. Alejano ve çalışma arkadaşları [42] formüldeki $\frac{2}{\sqrt{3}}$ yerine $\frac{\sqrt{3}}{2}$ nin kullanılması gerektiğini belirtmiş iseler de kendileri de çalışmalarında formülü orijinal haliyle kullanmışlardır. Bu çalışmada da formül, (3.7) de verildiği şekliyle kullanılmıştır.



Resim 3.4 Tilt deney düzeneği ve uygulamasından genel görünümeler.

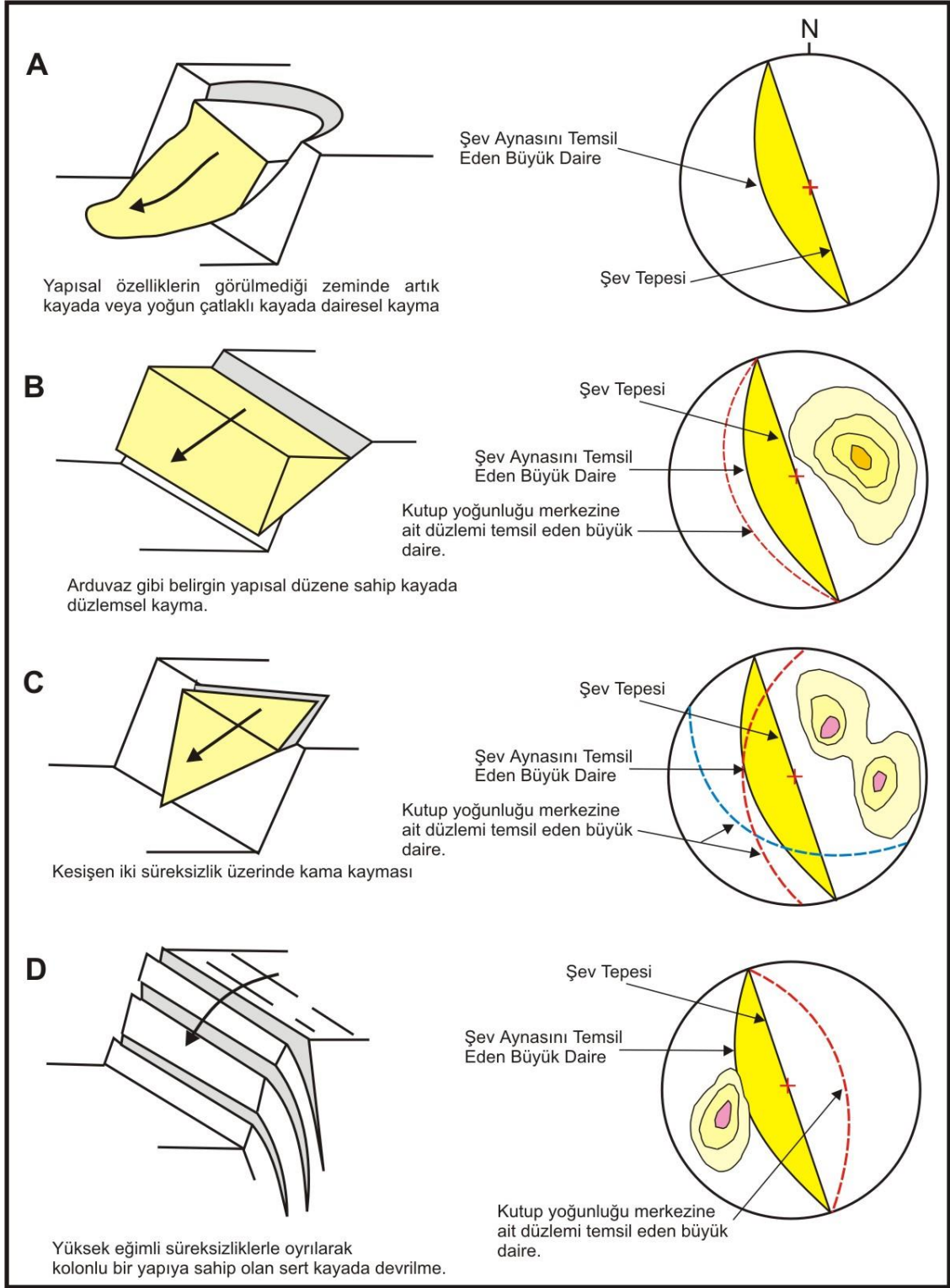
3.2.4.2. Kinematik analizler

Kinematik analizler, duraylılığın süreksizlik sistemleri tarafından kontrol edildiği kaya kütlelerinde stabilite problemleri yaşanabilecek olası şevlerin ayırt edilmesi amacıyla ayrıntılı analizlere başlamadan önce kullanılan bir yöntemdir [44]. Bu yöntemde süreksizliklerin doğrultu ve eğimi, şevin doğrultu ve eğimi ve süreksizlik yüzeylerinin sürtünme açısı girdi parametresi olarak kullanılır. Buna göre, kaya şevlerde sadece düzlemsel, kama ve devrilme türü duraysızlıklar incelenebilir. Çalışmanın konusunu süreksizliklere bağlı kaya kütle duraysızlıkları (Resim 3.5) oluşturduğu için analiz çalışmalarının ilk aşamasında çalışma alanı farklı sektörlerle (kısm) ayrılarak düzlemsel, kama ve devrilme tipi duraysızlıklar açısından değerlendirilmiştir.



Resim 3.5 Çalışma alanında süreksizliklere bağlı olarak meydana gelen duraysızlıklardan bir örnek

Ekvatoryal eş alan stereoneti kullanılarak şevin ve süreksizliklerin yöneliminden ortaya çıkan durum, Şekil 3.8’de verilen koşullara göre değerlendirilerek, düzlemsel, kama ve devrilme tipi duraysızlıklar incelenmiştir.



Şekil 3.8 Başlıca şev duraysızlık türleri ve bunların stereonet çizimleri [57]

3.2.4.2.1. Düzlemsel kaymanın analizi

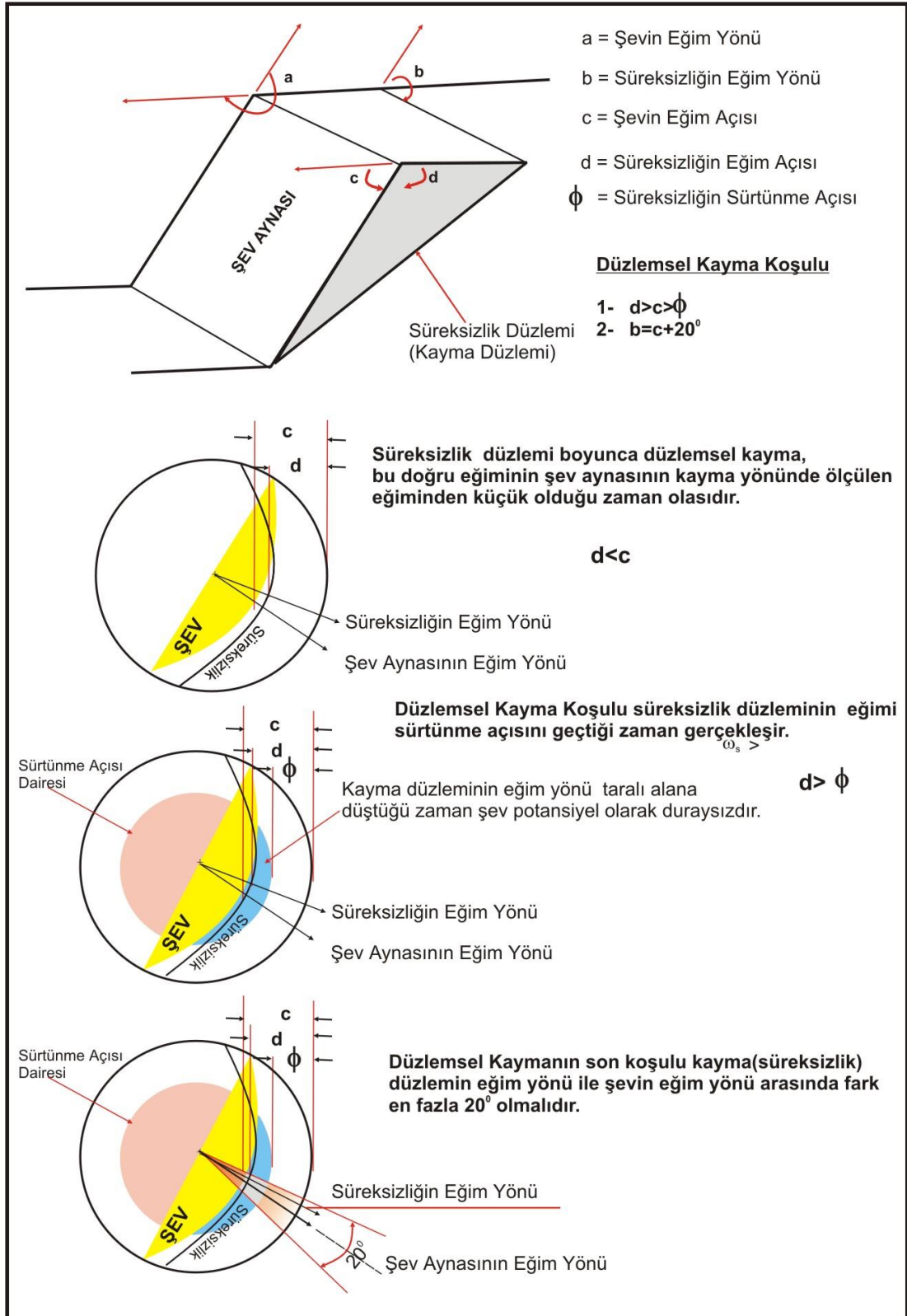
Düzlemsel türü duraysızlığın gerçekleşebilmesi için Şekil 3.9'daki koşulların sağlanması gerekir. Buna göre düzlemsel kaymanın gerçekleşebilmesi için kayma düzleminin eğiminin şev aynasının eğiminden küçük olması ve sürtünme açısı değerinden büyük olması gerekir. Diğer bir durum ise kayma düzlemin eğim yönü ile şev aynasının eğim yönü birbirlerine yaklaşık olarak paralellik sunmaları gerekir. Yani kayma düzlemin eğim yönü ile şev aynasının eğim yönü arasındaki fark en fazla 20^0 olması gerekir. Şekil 3.9'da söz konusu durumların net üzerindeki konumları gösterilmektedir. Stereonet üzerinde kayma için uygun koşul göz önünde bulundurulmuştur. Eğim yönü gri olarak taranmış bölgeye düşen her süreksizlik düzlemsel kayma potansiyeli taşımaktadır [57].

3.2.4.2.2. Kama tipi kaymanın analizi

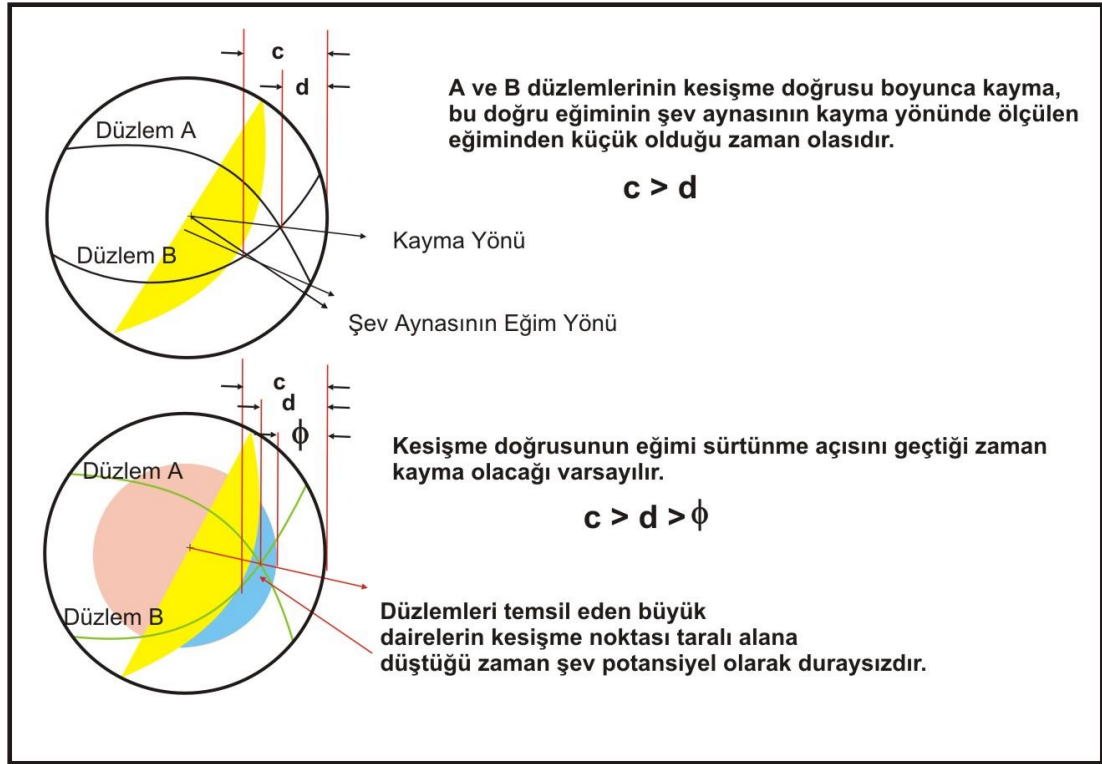
Kama tipi kaymanın oluşabilmesi için öncelikle iki farklı süreksizliğin sebep olduğu bir kesişme düzlemin olması gerekmektedir. Dolayısıyla net üzerinde en az iki farklı kutup yoğunlaşmasının gözlenmesi gerekir. Şekil 3.10 incelendiğinde kama tipi yenilmenin oluşabilmesi için birinci koşul, verilen A ve B düzlemlerinin kesişme doğrusunun eğiminin şev aynasının kayma yönünde ölçülen eğiminden küçük olması gerekmektedir. İkinci koşul olarak kesişme doğrusunun eğimi sürtünme açısı eğimden daha fazla olduğu zaman kayma olacağı varsayılır. Şekilde verilen taralı bölge kritik alan olarak nitelendirilir. Bu bölgeye düşen kesişme noktaları kama tipi yenilme potansiyeli taşımaktadır [57].

3.2.4.2.3. Devrilme tipi kaymanın analizi

Devrileme tipi yenilmenin gerçekleşebilmesi için Şekil 3.11'de verilen koşulların sağlanması gerekir. Buna göre şevin büyük dairesi çizildikten sonra, şevin büyük dairesinden itibaren netin kenarına doğru sürtünme açısı kadar sayılarak sürtünme açısını tanımlayan büyük daire çizilir [57].



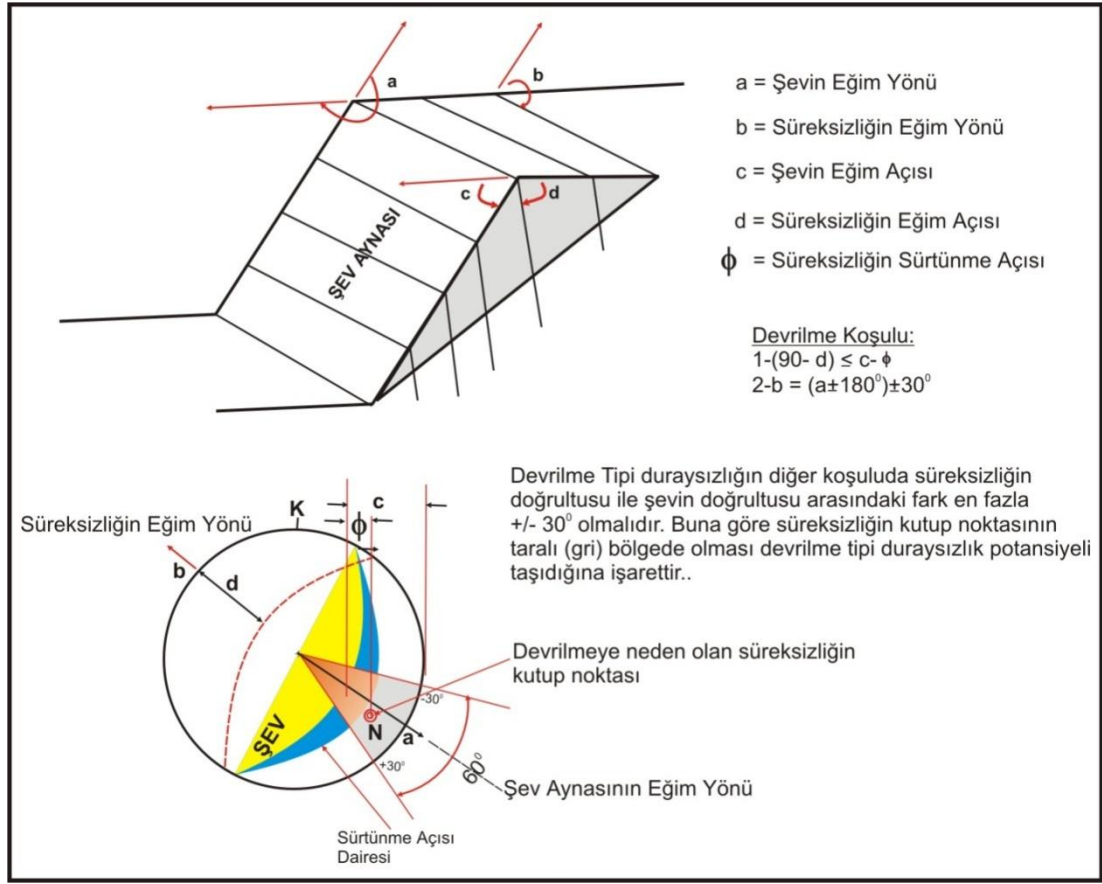
Şekil 3.9 Düzlemsel kayma koşulu ve düzlemsel kaymanın kinematik analizi [57]



Şekil 3.10 Kama tipi yenilme koşulu ve kinematik analizi [57]

Ayrıca incelenen süreksizliğin büyük dairesi ile kutup noktası (N) gösterilir. Devrilmenin diğer koşulu, süreksizliğin ve şevin doğrultuları arasındaki farkın 30^0 sınırları içerisinde olmasıdır. Bu sınır koşulu da, şev aynasının D-B doğrultusu ile çakıştırılmış olan eğim yönü çizgisinin üzerinde ve altında kalan bölgelerde 30^0 sayılarak, şekilde gösterildiği gibi işaretlenir. Sürtünme açısının büyük dairesi ile 30^0 sınırları arasında kalan gri taralı bölge devrilme tipi yenilme için kritik alan olup, kutup noktası bu alana düşen süreksizlikler devrilme potansiyeli taşımaktadır. Benzer şekilde düzlemsel ve kama tipi kaymada olduğu gibi şevin eğim yönü veya eğimi değiştirilerek kutup noktaları kritik bölge dışına taşınarak duraylı koşullar için önceden bir fikir sahibi olunabilir.

Sonuç olarak aynı jeolojik özelliklere sahip bir bölgede şev aynasının geometrik özelliklerine (yönelim, eğim) bağlı olarak farklı yenilme tipleri oluşabilmektedir. Bu çalışma yapıldıktan sonra potansiyel duraysızlıklar için şev stabilitesi çalışmaları yapılması gerekmektedir.



Şekil 3.11 Devrilme tipi duraysızlık koşulu ve kinematik analizi.[57]

3.2.4.3. İki boyutlu kaya düşmesi analizleri

Çalışma sahasında gözlenen kaya düşmelerinin risk analizlerinde Rocscience Inc. Kanada firması tarafından hazırlanan RockFall V.4.054 bilgisayar yazılım programı kullanılmıştır. RocFall, istatistiksel bir analiz programı olup, simülasyon tekniği ile kaya düşmeleri riski olan yamaçların değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Sıçrama yüksekliği, hız ve enerji dağılımlarının, yamaç kesiti boyunca istatistiksel kapsamda hesaplanması mümkün olmaktadır. Koruma bariyeri gibi kaya düşmelerine karşı alınacak önlemlerin tasarımı için, düşme yapacak kaya bloklarının maksimum kinetik enerjileri (koruma bariyerinin kaya bloğunu tutma kapasitesi için) ve maksimum ilk sıçrama yüksekliklerinin (bariyer yüksekliği için) belirlenmesi gerekir. Ayrıca kaya düşmesi tehlikesinin tahmin edilmesi için durma mesafesinin değerlendirilmesi de diğer bir zorunluluktur. Kaya bloklarının koparak düşme yapması veya koparak önce düşmesi daha sonra yuvarlanması ve çarptığı yüzeyde sıçraması, hareket esnasında kazanılan kinetik enerji, enerjinin sönmülmesi ve sonuçta düşen blokların durması, yamaç geometrisi ve yamaçta yer alan yüzeylerin temel fiziksel özelliklerine bağlıdır. Bu

fiziksel özellikler arasında şev geometrisi, geri sıçrama katsayıları (coefficient of restitution) ve sürtünme oldukça önemlidir. Geri sıçrama katsayısı, bitki örtüsü, düşen blok çapı ve şevin fiziksel özellikleri tarafından kontrol edilir [45]. Bu katsayılar direkt arazi testlerinden [46, 47], düşen blokların geri analizinden [46, 48] veya teorik tahmin yöntemlerinden [49-51] saptanabilirler. Tüm bu yaklaşımların çalışma alanında uygulanması mümkün olamamıştır. Kısmen yapılan arazi deneyleri ve kısmen de 2011 yılında meydana gelen kaya düşmesi olayı kullanılmıştır. Ancak yapılan bu arazi deneyleri ve meydana gelen gerçek kaya düşmesi olayı tüm çalışma alanını karakterize edecek nitelikte değildir. Bundan dolayı bu testler sonucu elde edilen değerler ile literatürde ve RockFall 4.0 bilgisayar programında tanımlı olan değerler kullanılmıştır. Bu katsayıların detayı ilgili bölümde verilmiştir.

4. BÖLÜM

BULGULAR VE TARTIŞMA

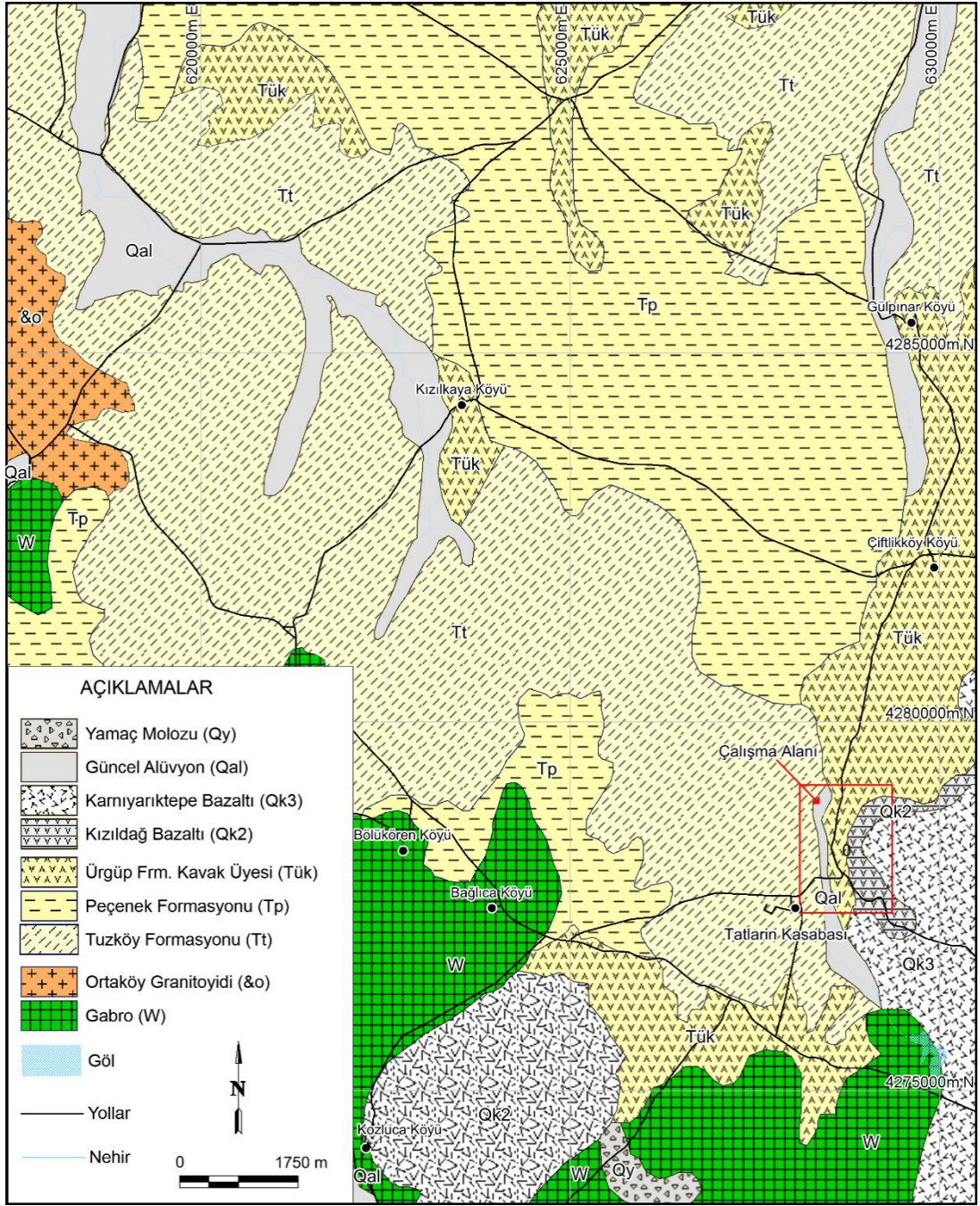
4.1. Çalışma Alanının Jeolojisi

Senozoik ve Mezozoik birimlerden oluşan çalışma alanının jeolojisini Üst Kretase yaşlı Ortaköy Granitoidi, Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Tuzköy, Peçenek ve Ürgüp Formasyonun Kavak Üyesi, Kuvaterner volkanizmasının ürünleri olan Kızıldağ bazaltı, Karnıyarık Tepe Bazaltı ile güncel yamaç molozu ve alüvyonlar oluşturmaktadır (Harita 4.1).

4.1.1. Ortaköy Granitoidi

Çalışma alanının güney ve güney batısında Ortaköy granitoidinin gabro kayaları gözlenmektedir. Ortaköy granitoidi, gabro, bantlı gabro, diyorit, tonalit, granit, granodiyorit, diyorit porfir, monzonit, siyenit, monzodiyorit, lökogradit, granit porfir bileşimlidir. Gabro kayalarının granitik kayalar içinde anklavları izlenir. Gabro türü kayalar, koyu yeşil-siyah renkli, iri kristalli, sert ve parlaktır. Ayrışma zonları uralitleşmiştir. Riyolitik ve aplitik damarlar tarafından yer yer kesilmiştir. Ortaköy granitoidi içinde bulunan gabro türü kayalar Karakaya ultramafitine karşılık gelmektedir Karakaya ultramafitinin yaşını, Seymen Üst Maestrihtiyen öncesi, Batman Alt Kretase-Kampaniyen öncesi olarak düşünmüşlerdir[52-53].

Granitik kayalar içinde yer yer korunmuş gnays, mermer, amfibolit gibi ksenolitler vardır. Siyenit-granit, alkali granitler, gri-boz-pembe renkli ve iri kristallidir. Yer yer de iri ortoklas kristalleri gözlenmektedir. Granodiyoritlerin yüzeylendiği yerlerde granit arenası oluşmuştur [54].



Harita 4.1 Çalışma alanı ve yakın civarının jeolojik haritası [54]

4.1.2. Tuzköy Formasyonu

Çalışma alanında geniş bir alanda izlenen Tuzköy formasyonu Tatların Yeraltı Şehri ve yakın civarında gözlenmektedir. Atabey ve çalışma arkadaşları tarafından adlandırılan birim çakıtaşı, kumtaşı, kiltası ve tüfit ardalanmasından oluşmuştur. Çakıtaşı gevşek çimentoludur ve 10-20 santimetre çapında çakıllar (diyabaz, spilit, granit, andezit, granodiyorit, metamorfik kayaç) içermektedir. Kumtaşı ve kiltaları, sarımsı kahve

renkli; tuf ara düzeyleri ve pomza parçaları içermektedir. Orta düzeylerde 5-6 metre kalınlığında sarımsı renkli, çapraz tabakalı tüfit, üst düzeylerde ise kahve-gri renkli, kalın tabakalı tüfit ve gri renkli ince tabakalı-laminalı kumtaşları yer alır. Birim toplam kalınlığı 100 metre dolayındadır [55]. Birimin yaşı Atabey tarafından Üst Miyosen-Pliyosen olarak belirlenmiştir [56].

4.1.3. Peçenek Formasyonu

Birim, çakıltaşı, teknesel çapraz tabakalı, gevşek tutturulmuş, orta-ince tabakalı kumtaşı, marn ve yer yer tüfit ara düzeyleri ile miltaşından oluşmaktadır. Peçenek Formasyonu, Peçenek vadisinin Alt Pliyosende düşey faylanma ile havza haline dönüşmesi ve bu havzaya masife ait malzemenin taşınıp doldurulmasıyla oluşmuştur. Birimin kalınlığı 150 m'dir. Tabanda Oligosen yaşlı birimlerle uyumsuzdur. Birimin yaşı Atabey tarafından Üst Miyosen-Pliyosen olarak belirlenmiştir [54].

4.1.4. Kızıldağ Bazaltı

Çalışma alanının güney batısında ve çalışmanın konusu oluşturan kaya düşmelerinin büyük bir bölümünün gerçekleştiği Kızıldağ bazaltları, kızılımsı, siyah renkli, tavan düzeyleri gözenekli, taban düzeyleri sert ve siyah renkli masif bazalttır. Soğuma çatlaklı, plajyoklas ve olivince zengindir. Olivin bazalt özelliğindeki birimin kalınlığı 10 m kadardır [56].

4.1.5. Ürgüp Formasyonu

Çalışma alanında Kavak Üyesi (Tük) ile temsil edilen birim, oldukça dar bir alanda izlenmektedir. Ancak çalışmanın konusunu oluşturan Tatların Yeraltı Şehrinin kaya oyma yapılarının yer aldığı birim çalışma açısından oldukça önemlidir. İgnimbirit karakterli olan tüfler açık kahve, bej ve sarımsı beyaz renkli homojen ignimbirit, ankelit ve pomza içermektedir. Kavak üyesinde beyaz-kirli beyaz renkli, andezitik bileşenli camsı tüfitli, köşeli parçacıklı pomza külü düzeyleri de izlenmiştir. Farklı seviyeler şeklinde çalışma alanında izlenen birim yörede ilk ignimbirit oluşumlarını temsil etmektedir. Kapadokya bölgesinde kalınlığı 100 metreyi bulan birim Tuzköy Formasyonu ile geçişlidir [56].

4.1.6. Karnıyarıktepe Bazaltı

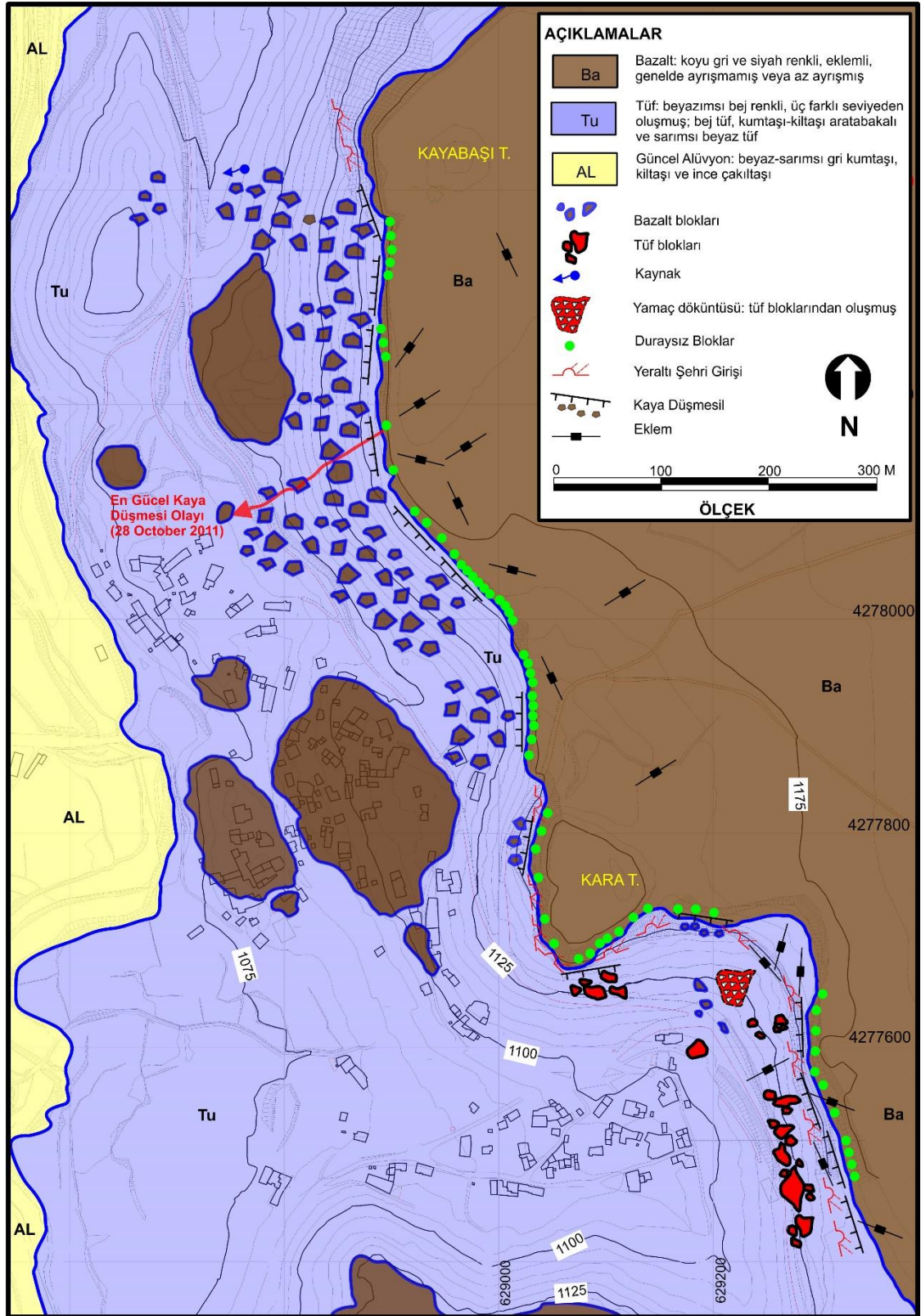
Önceki çalışmalarda belirtildiği üzere pembe turuncu siyah renkli, bazaltik andezit ve traki-andezit niteliklidir. Kırıklı, sert ve dayanımlıdır. Keskin kenarlı plato şeklinde yüzeyler. Camsı hamur içinde plajioklaslar arasına dağılmış plajioklas fenokristalleri ve piroksen lataları gözlenir [56].

4.1.7. Yamaç molozu ve güncel alüvyon

Yamaç molozları haritanın güneyinde sınırlı bir alanda izlenmekte olup, Kızıldağ Bazaltı çevresinde görülür. Çalışma alanında dar hatlar boyunca tali derelerin oluşturduğu güncel alüvyonların kalınlığı birkaç metre civarındadır. Alüvyonlar genelde çakıl, kum, silt ve kilden oluşmaktadır [56].

4.2. Çalışma Alanının Mühendislik Jeolojisi

Kapadokya bölgesinde meydana gelen bazı kaya kütle duraysızlıkları bölgede birçok tarihi kültürel mirası ciddi olarak tehdit etmektedir. Kaya kütle duraysızlıklarının başında kaya düşmeleri gelmektedir. Kaya düşmesi afetinin olumsuz etkilerinin bölgede gözlemlendiği doğal, tarihi ve kültürel miraslardan biride Acıgöl ilçesinde bulunan Tatların Yeraltı Şehri ve civarındadır. Çalışma alanı olarak seçilen bölgede meydana gelen kaya düşmeleri mühendislik jeolojisi açısından incelenmiştir. Çalışma alanında mühendislik jeolojisi açısından, bazalt, tuf ve güncel alüvyon olmak üzere üç farklı birim ayırt edilmiştir (Harita 4.2). Bazaltlar genelde koyu gri ve siyah renkli olarak gözlenmekte olup, yoğun düşey eklemlili ve yer yer kalınlığı 10 metreyi aşan bir yapı sunmaktadır. Bazaltlar içerisinde üç farklı seviyenin varlığı dikkati çekmekte olup, boşluklu, orta boşluklu ve masif olarak ayırt edilmiştir. Boşluk miktarının yüzeye doğru artışı bazaltlarda, masif yapı tabanda yer almakta ve oldukça kalın bir yapı sunmaktadır. Saha çalışmalarında yapılan gözlemlerde daha önceden meydana gelen kaya düşmelerinin büyük bir bölümü bazalt bloklarından oluşmuş olup, bunlardan en güncel olanı 2011 yılında meydana gelmiştir. Herhangi bir can ve mal kaybının yaşanmadığı olayda, düşen bloğun genel görünümü Resim 4.1c'de verilmiştir. Düşen bloklar, zaman zaman daha düşük kotlarda yer alan ve tüfler içerisinde yapılmış yeraltı şehrinin yapılarında tahribata neden olabilmektedir.



Harita 4.2 Çalışma alanının mühendislik jeolojisi haritası

Çalışma alanının diğer önemli kaya kütlelerini oluşturan tüfler ise farklı seviyelerden oluşmaktadır. Genelde bej ve sarımsı beyaz renklere gözlenen ve düşük dayanımlı

kaya sınıfında yer alan kaya kütlesi içerisinde sınırlı sayıda kaya düşmesi olayı meydana gelmiştir. Tüfler içerisinde kaya kütle duraysızlıkları çökme ve devrilme şeklinde kendini göstermektedir (Resim 4.1).



Resim 4.1 Meydana gelen kaya düşmeleri (a, b). Ekim 2011'de meydana gelen kaya düşmesi olayı (c) ve kaya düşmelerinin yeraltı şehri yapılarına verdiği zarar (d)

Çalışma alanının ve kaya kütle duraysızlıklarına neden olan kaya birimlerinin diğer mühendislik özellikleri sonraki alt bölümlerde daha detaylı olarak verilmiştir. Bundan sonraki değerlendirmelerde kaya kütle özellikleri ve duraysızlık problemleri üzerinde durulmuştur. Bu kapsamda özellikle duraysızlık mekanizmalarını kontrol eden süreksizliklerin mühendislik özellikleri alt bölümlerde detaylı bir şekilde verilmiştir.

4.2.1. Çalışma alanındaki kaya birimlerinin jeomekanik özellikleri

Tatların Yeraltı Şehri ve yakın civarında meydana gelen kaya kütle duraysızlıklarının tamamı ağırlıklı olarak bazalt ve tüflerden oluşan volkanik kayalar içerisinde meydana gelmektedir. Bundan dolayı bu bölümde bazalt ve tüflere ait indeks, fiziksel ve bazı mekanik özellikler değerlendirilmiştir. Bu iki kaya kütlesi kendi içerisinde ayrı ayrı

düşünüldüğünde farklı seviyelerin varlığı açık bir şekilde görülmektedir. Boşluk yapısı düşünüldüğünde bazaltlarda üç farklı seviye tespit edilirken, tüfler için ise farklı birçok seviyenin varlığından söz edilebilir. Ancak temel olarak, az kaynaklaşmış, orta kaynaklanmış ve volkano sedimanter seviyelerden bahsedilebilir. Bu seviyelerden sadece orta kaynaklaşmış seviyeden karot örnekleri alınabilmektedir. Bu yüzden bu bölümde verilen değerler orta kaynaklanmış seviyeye aittir. Kaya birimlerinin fiziksel ve mekanik özellikleri ISRM 'e göre belirlenmiştir (Tablo 4.1) [40].

Tablo 4.1 Çalışma alanındaki başlıca kaya birimlerinin jeomekanik özellikleri

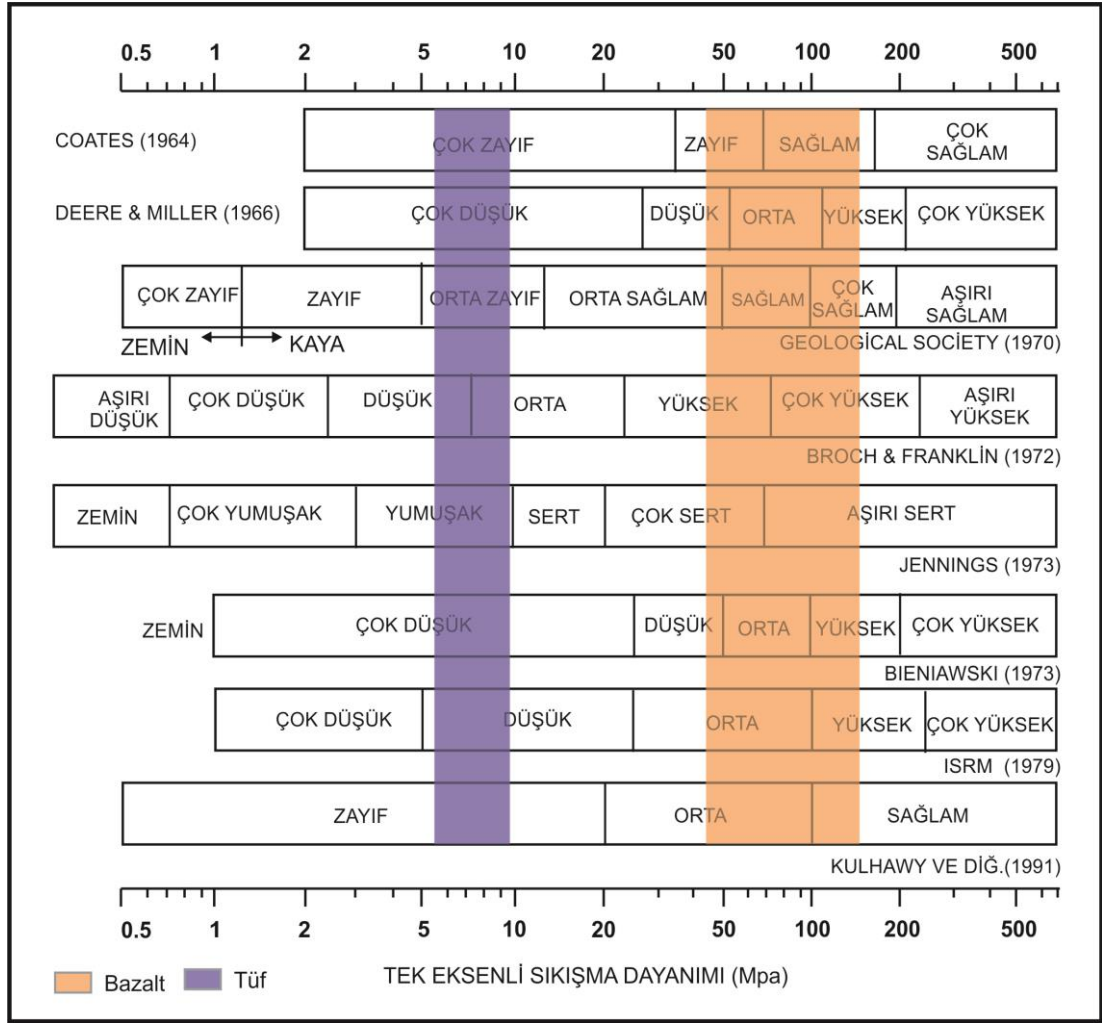
Özellik	Boşluklu Bazalt	Orta Boşluklu Bazalt	Masif Bazalt	Tüf
Doğal Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	21.74	25.11	26.06	15.06
Islak Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	22.63	25.96	26.79	16.05
Boşluk Oranı	0.04	0.03	0.03	0.35
Görünür Porozite (%)	3.64	3.12	2.60	25.83
Hacimce Su Emme (%)	3.55	2.87	2.51	8.61
Ağırlıkça Su Emme (%)	1.59	1.12	0.95	5.68
Schmidt Sertliği (N)	--	--	50.40	21.90
Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (MPa)	43.90	98.18	146.18	7.52

Buna göre doğal birim hacim ağırlıkları bazaltlar için 21.74-26.06 (EK.1) aralığında olup ortalama ıslak birim hacim ağırlıkları ise 22.63-26.79 kN/m³ aralığında değişmektedir. Doğal olarak, bazaltlarda boşluk yapısı birim hacim ağırlık değerlerini etkilemektedir. Bazaltlar, arazide yer yer kalınlığı 10 metreyi geçmekte olup, üst seviyelere doğru boşluk miktarı fazla ve alt seviyelerde tamamen masif yapıdadır. Tüflerin ortalama doğal birim hacim ağırlığı 15.06 kN/m³ olarak belirlenirken, ortalama ıslak birim hacim ağırlığı 16.05 kN/m³ olarak belirlenmiştir. Örnek almada yaşanan güçlükler tüflerin geneli için değerlendirme yapma imkânı vermemiştir. NBG kriterine

göre bazaltlar düşük-orta birim hacim ağırlıklı kaya grubunda yer alırken, tüfler çok düşük birim hacim ağırlıklı kaya grubunda yer almıştır.

Bazaltların boşluk oranı değerleri 0.04-0.03 ve görünür poroziteleri ise % 2.60–3.64 arasında değişirken, tüflerin ortalama görünür porozite değeri % 25.83 olarak belirlenmiştir. Elde edilen porozite değerlerine ve NBG kriterine göre bazaltlar düşük-orta poroziteli kayalar olarak tanımlanırken, tüfler çok yüksek poroziteli kayalar olarak tanımlanmıştır. Ayrıca bazaltların ağırlıkça ve hacimce su emme değerleri sırasıyla %0.95–1.59 ve %2.51-3.55 arasında değişmektedir (EK 1). Tüflerin ortalama ağırlıkça ve hacimce su emme değerleri sırasıyla % 5.68 ve %8.61 olarak hesaplanmıştır. Arazide ve laboratuvarında pratik şekilde uygulama imkânı veren ve yüzey sertliğine dayanarak kayaların dayanımı hakkında fikir sahibi olmamızı sağlayan Schmidt çekici deneyleri ISRM'ye göre yapılmıştır [31]. Buna göre masif bazaltların ortalama Schmidt sertliği değeri 50.40 olurken, tüflerin 21.90 olarak belirlenmiştir.

Kayaların mukavemet özelliklerini açıklamak üzere tek eksenli sıkışma dayanımı deneyleri ISRM 'ye göre yapılmıştır [31]. Bazaltların tek eksenli sıkışma dayanımları 43.90-146.18 MPa arasında değişmekte olup (EK.1), Deere ve Miller 'a göre [41] orta-çok yüksek dayanımlı kayalar olarak tanımlanmışlardır (Şekil 4.1). Tüfler için yapılan tek eksenli deney sonuçlarına göre ise elde edilen değerler 9.21-5.75 MPa arasında değişmekte olup (EK.1), Deere ve Miller'a göre çok düşük dayanımlı kayalar olarak tanımlanmışlardır (Şekil 4.1) [41].



Şekil 4.1 Çalışma alanında gözlenen kayaların farklı dayanım sınıflandırmalarındaki konumu [41]

Yapılan tek eksenli deney sonuçlarına göre örnekler üzerindeki yenilme düzlemleri incelendiğinde, masif bazaltlar net düzlemler sergilerken, boşluklu ve orta boşluklu bazaltlar daha az belirgin düzlemler sergilemektedir. Buna göre masif bazaltlar tamamen gevrek davranış sergilerken, diğer kaya türleri kısmen sünek davranış göstermektedir. Resim 4.2'de kaya örneklerin tek eksenli sıkışma deney sonrası görünüşleri verilmiştir.



Resim 4.2 Kaya örneklerinin tek eksenli sıkışma deneyi sonrası görünüşleri

4.2.2. Kaya kütle ve süreksizlik özellikleri

Çalışma alanında yapılan mühendislik jeolojisi çalışmalarına göre başlıca iki farklı kaya kütlesi varlığı açık bir şekilde görülmektedir. Bunlardan birincisini yüksek kotlarda ve geniş yayılım gösteren bloklu bazaltlar oluştururken, ikincisini ise bazaltların altında yer alan ve yeraltı şehrine ait birçok kaya oyma yapının inşa edildiği farklı kaynaşma derecelerine sahip tüflerden oluşan kaya kütesidir (Resim 4.3 ve 4.4). Kaya kütlelerinin duraylılıklarını kontrol eden en önemli yapısal unsurların başında süreksizlikler gelmektedir. Çalışma alanında genelde eklem olarak tanımlanan süreksizlik tipleri görülmektedir. Çalışmanın bu aşmasında arazide gözlenen süreksizliklerin detaylı bir araştırması yapılmıştır. Bu amaç için ISRM [40] tarafından tanımlanan fiziksel parametreler belirlenmiştir. Bu eklemelerin mühendislik özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan gözlem ve ölçümler, arazide mostra ve doğal şevler boyunca her biri yaklaşık 3-5m'lik ve toplam 8 hat boyunca gerçekleştirilmiştir.



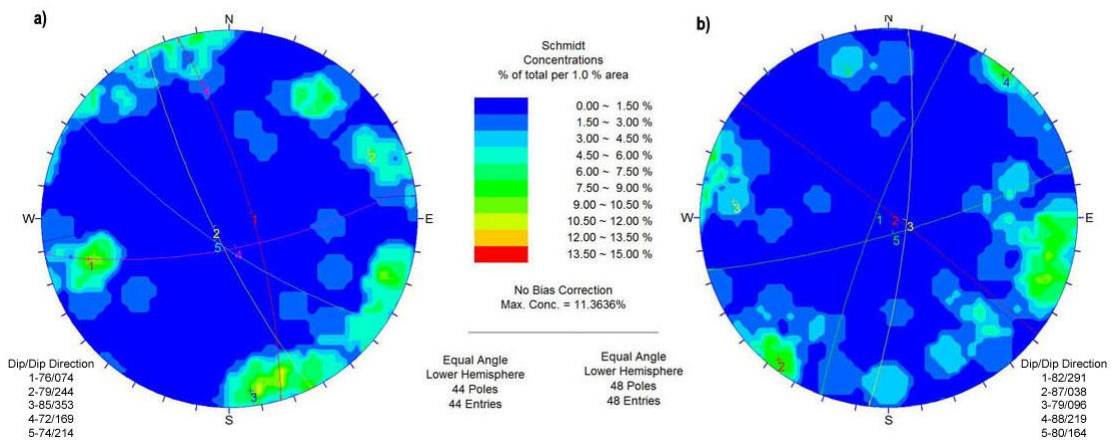
Resim 4.3 Çalışma alanındaki kaya kütlelerinin genel görünümü



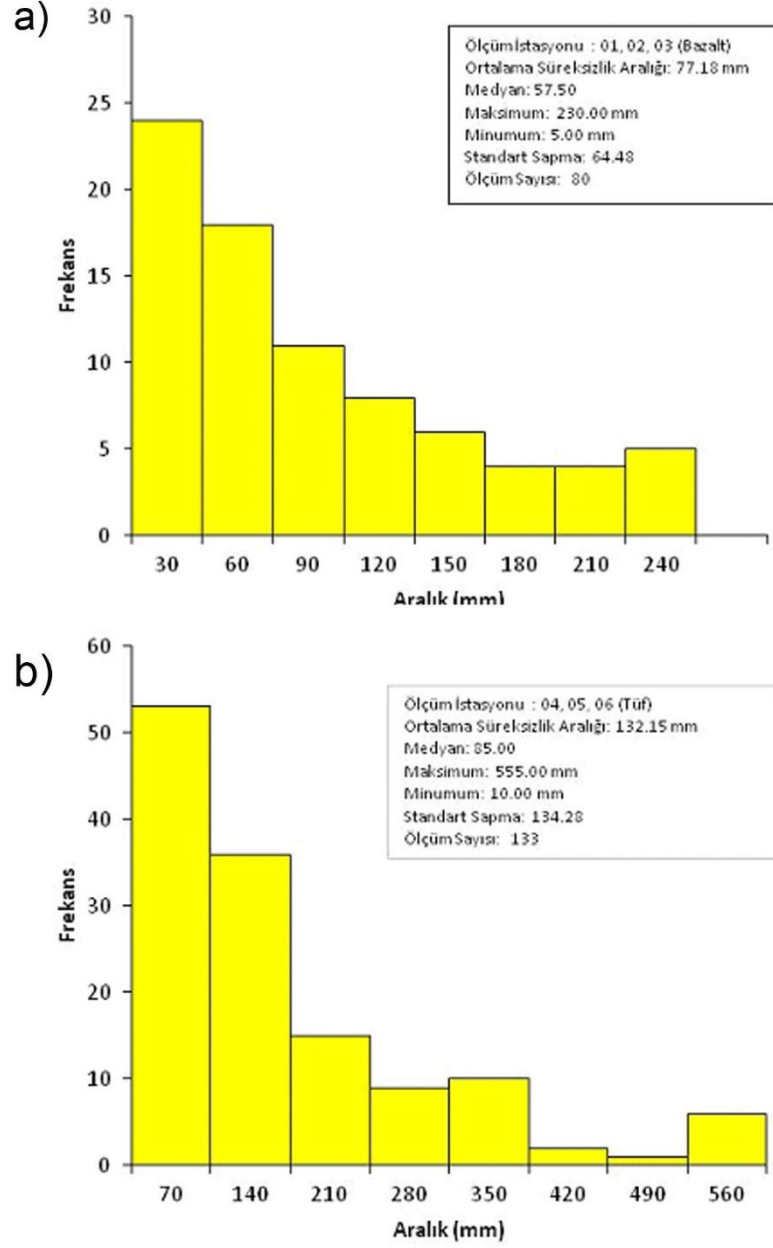
Resim 4.4 Çalışma alanının genel görünümü

Öncelikle her iki farklı kaya kütlelerinde gözlenen eklemlerin hâkim olanlarının belirlenmesi için kontur diyagramları hazırlanmıştır. Buna göre bazalt ve tüfler için eğimleri genelde 70 dereceden yüksek olan beş farklı süreksizlik yönelimi belirlenmiştir. Bunlar, eğim/eğim yönü olarak bazaltlar için 76/074, 79/244, 85/353, 72/109 ve 74/214 olarak belirlenirken, tüfler için 82/291, 87/038, 79/096, 88/219 ve 80/164 olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.2). İnceleme alanında bazı noktalarda eklemler şev doğrultusuna paralel olarak gelişmiş ve bunlar bazen tüfler içerisinde gözlenen doğal kaya şevlerini oluşturabilmektedir.

Hat etütleri yapılırken, süreksizliklerin aralık değerleri ölçülmüş ve buna göre elde edilen histogram eğrileri her iki kaya kütlesi için ayrı ayrı Şekil 4.3'te verilmiştir. Buna göre, bazalt kaya kütlesi için 5.00-230.00 mm arasında değişirken, tüf kaya kütlesinde süreksizliklerin aralık değerleri 10.00-555.00 mm gibi daha geniş bir aralıkta değişmektedir. Ortalama değerler göz önünde bulundurulduğunda her iki kaya kütlesi de ISRM [32] kriterine göre "yakın aralıklı", olarak tanımlanmıştır. Çalışma alanında gözlenen süreksizlikler devamlılık açısından oldukça büyük değişkenlik göstermektedirler. Fakat genel olarak tüf kaya kütlesi içinde izlenen süreksizlikler daha yüksek devamlılık göstermektedir.



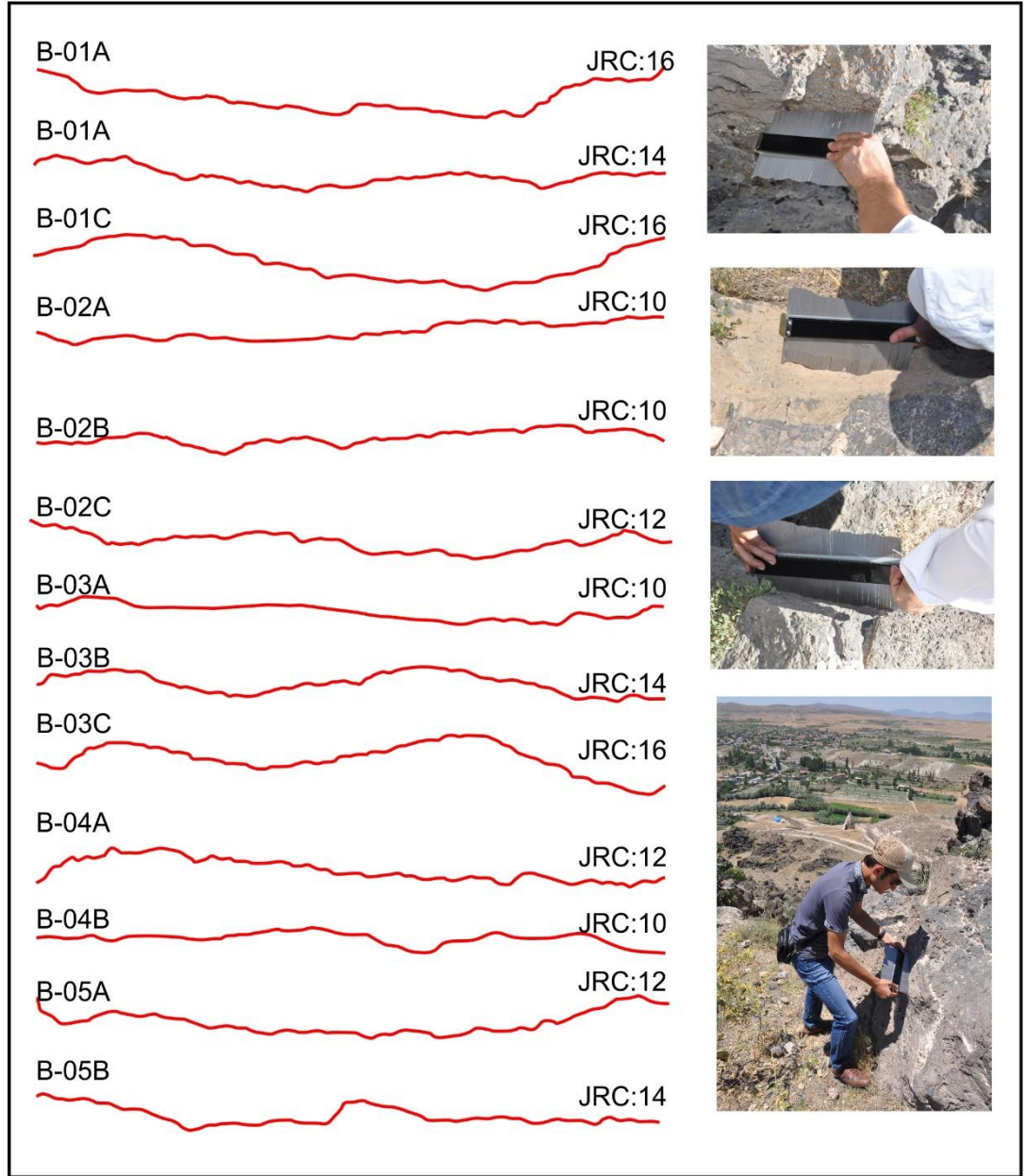
Şekil 4.2 Çalışma alanında alınan süreksizlik ölçümlerine göre elde edilen kontur diyagramları; (a) bloklı bazalt (b) zayıf-iyi kaynaşmış tüf



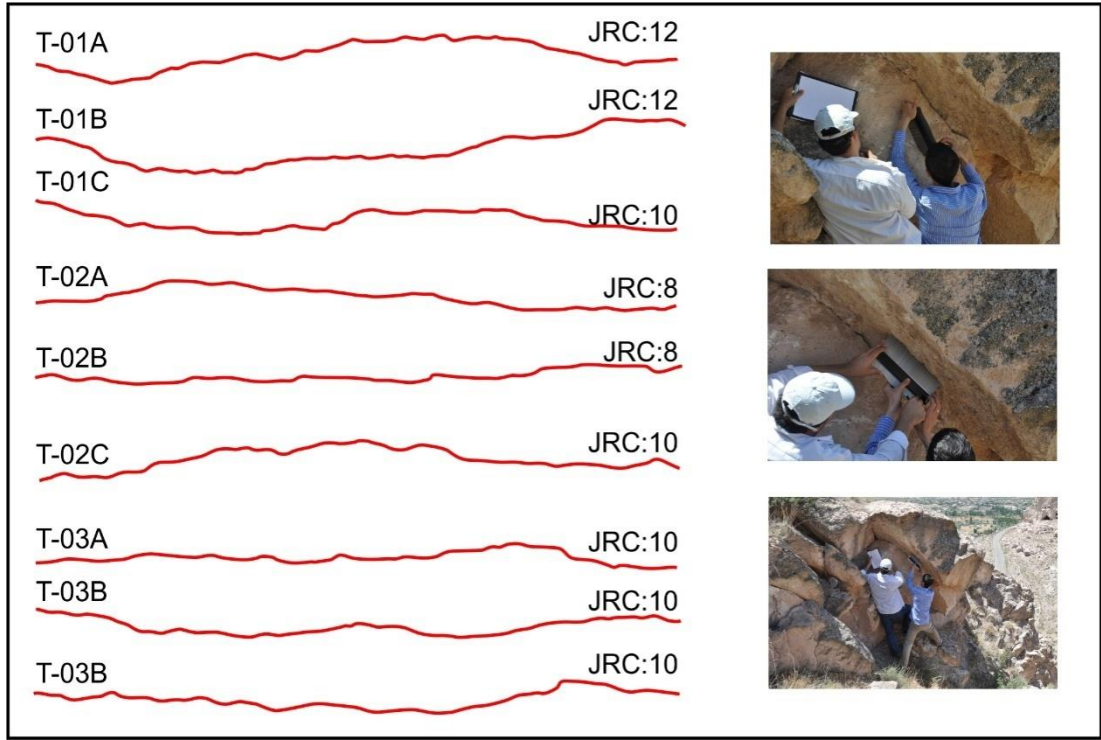
Şekil 4.3 Bazalt kaya kütlesi için süreksizlik aralığı histogramı

Bazalt ve tuf kaya kütlesinde gözlenen süreksizlik yüzeylerinin pürüzlülük tanımlanmasında mekanik profilmetreler kullanılmıştır. Farklı yüzeylerden alınan pürüzlülük profilleri Barton ve Choubey tarafından önerilen tipik pürüzlülük profilleri ile karşılaştırılarak süreksizlik yüzeyi pürüzlülük katsayısı (JRC) belirlenmiştir [34]. Araziden alınan pürüzlülük profilleri ve bunlara karşılık gelen JRC değerleri Şekil 4.4 ve 4.5'te verilmiştir. Buna göre bazalt için 10, tuf için 8 en küçük eklem yüzey pürüzlülük katsayısı (JRC) değerleri tanımlanmıştır. İnceleme alanında gözlenen süreksizlik açıklıkları oldukça değişken karakterde olup, özellikle yamaç kenarlarında

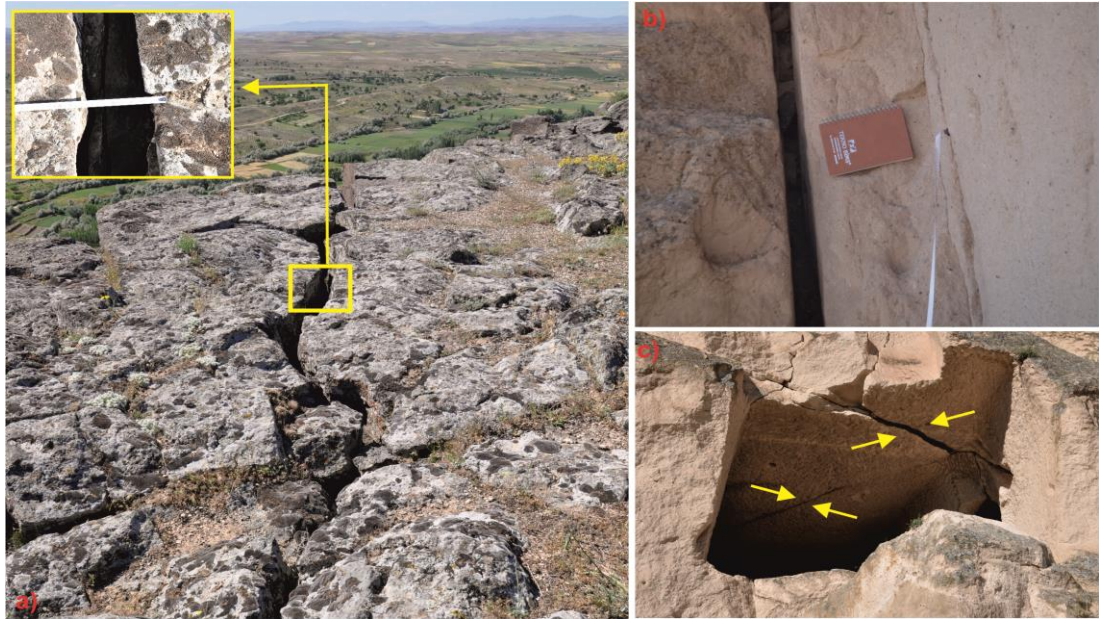
bu açıklıklar 5-10 santimetreye kadar ulaşmaktadır (Resim 4.5). Şevden uzaklaştıkça açıklıklar azalmakta ve kapalı şekilde gözlenmektedir. Çalışmanın konusu şevlerde kaya duraysızlıkları oluşturduğu için bu çalışma kapsamında süreksizlikler ISRM [31] kriterine göre açık yapılar şeklinde değerlendirilmiştir.



Şekil 4.4 Bazalt kaya kütleğinde gözlenen süreksizlik yüzeylerinde telli profilmetre ile elde edilen pürüzlülük profilleri



Şekil 4.5 Tüf kaya kütleğinde gözlenen süreksizlik yüzeylerinde telli profilmetre ile pürüzlülüğün belirlenmesi ve elde edilen pürüzlülük profilleri



Resim 4.5 İnceleme alanında süreksizliklerin açıklıklarının genel görünümü; a) şev kenarında aşırı geniş açıklık, b) tüflerde gözlenen çok geniş açıklık, c) tüflerde gözlenen açık genişlik

Süreksizliklerin makaslama dayanımı üzerinde oldukça etkili olan süreksizlik yüzey dayanımı arazide Schmidt çekici kullanılarak belirlenmiştir (Resim 4.6). Arazide süreksizlik yüzeylerinden elde edilen ölçümlere göre, bazalt kaya kütleşi için ortalama

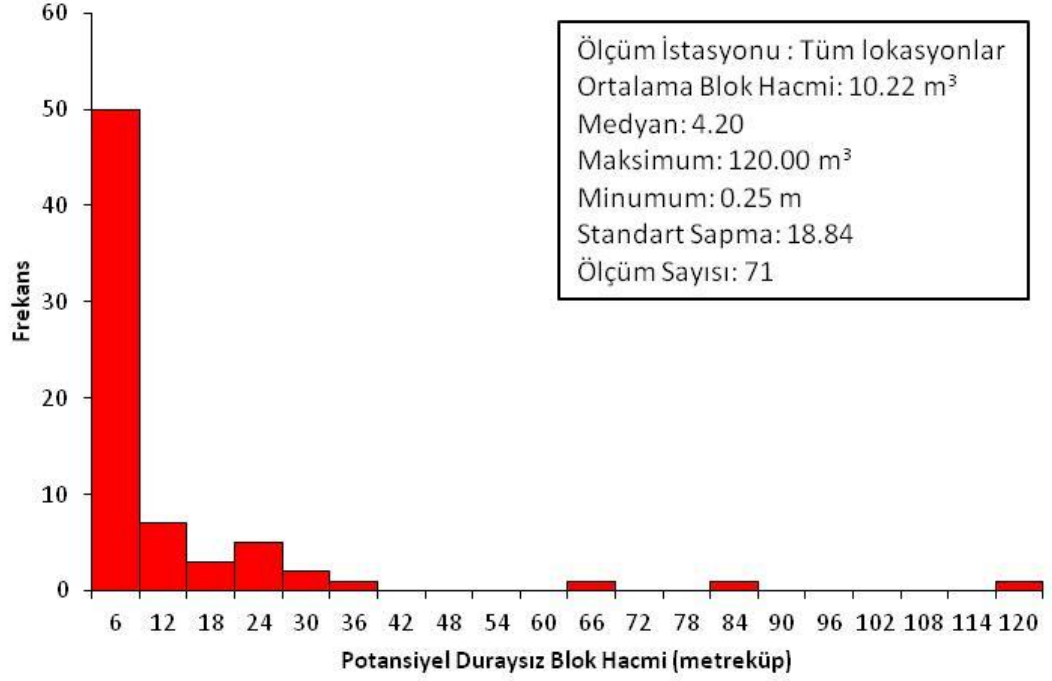
Schmidt sertlik değeri 46.50 ile 55.10 arasında değişirken, tuf kaya kütlesi için geri sıçrama değerleri 24.10 ile 19.30 arasında değişmektedir. Çalışma alanında gözlenen süreksizlerde herhangi bir dolgu malzemesi ve su varlığı tespit edilmemiştir.



Resim 4.6 Arazide süreksizlik yüzeylerinde Schmidt çekicinin uygulanması

4.2.3. Duraysız bloklar ve boyutları

Tatların Yeraltı Şehri ve yakın civarını tehdit eden kaya kütle duraysızlıklarının değerlendirilmesi için detaylı mühendislik jeolojisi çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar esnasında kaya şevlerinde farklı boyutlarda toplam 71 adet duraysız blok tespit edilmiştir. Duraysız bloklar ağırlıklı olarak bazaltlardan oluşmaktadır. Bu blokların dağılımına ait histogram grafiği Şekil 4.6'da verilmiştir. Buna göre duraysız blokların %70 i 6 m^3 'den daha küçük bloklardan oluşurken, %10 u ise 6 m^3 ile 12 m^3 arası bloklardan oluşmaktadır. Ağırlıklı ortalama değeri 4.20 m^3 olup, ileriki bölümlerde yapılacak analizlerde bu değer göz önünde bulundurulacaktır. Ayrıca çalışma alanında bazı lokasyonlarda birkaç bloktan oluşan potansiyel duraysız kütleler gözlenmiştir. Bunların boyutları ise 100 m^3 'e kadar çıkmaktadır (Resim 4.7).



Şekil 4.6 Çalışma alanında potansiyel duraysız blokların dağılımını gösteren histogram

4.2.4 Süreksizlik yüzeylerinin kayma dayanımı

Saha çalışmalarında şevlerde ve yeraltı şehrinde meydana gelen kaya kütle duraysızlıklarının büyük bir bölümü süreksizlikler tarafından kontrol edilmektedir. Bundan dolayı, süreksizliklerin kayma dayanım parametreleri stabilite analizleri açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu çalışmada, duraysızlıklar üzerinde dik ve dike yakın süreksizlikler önemli bir rol oynamaktadır. Bunun için materyal ve metod bölümünde detaylı bir şekilde verilen Barton deneysel yenilme kriteri süreksizlik yüzeylerin kayma dayanım parametrelerinin belirlenmesi için kullanılmıştır [34].

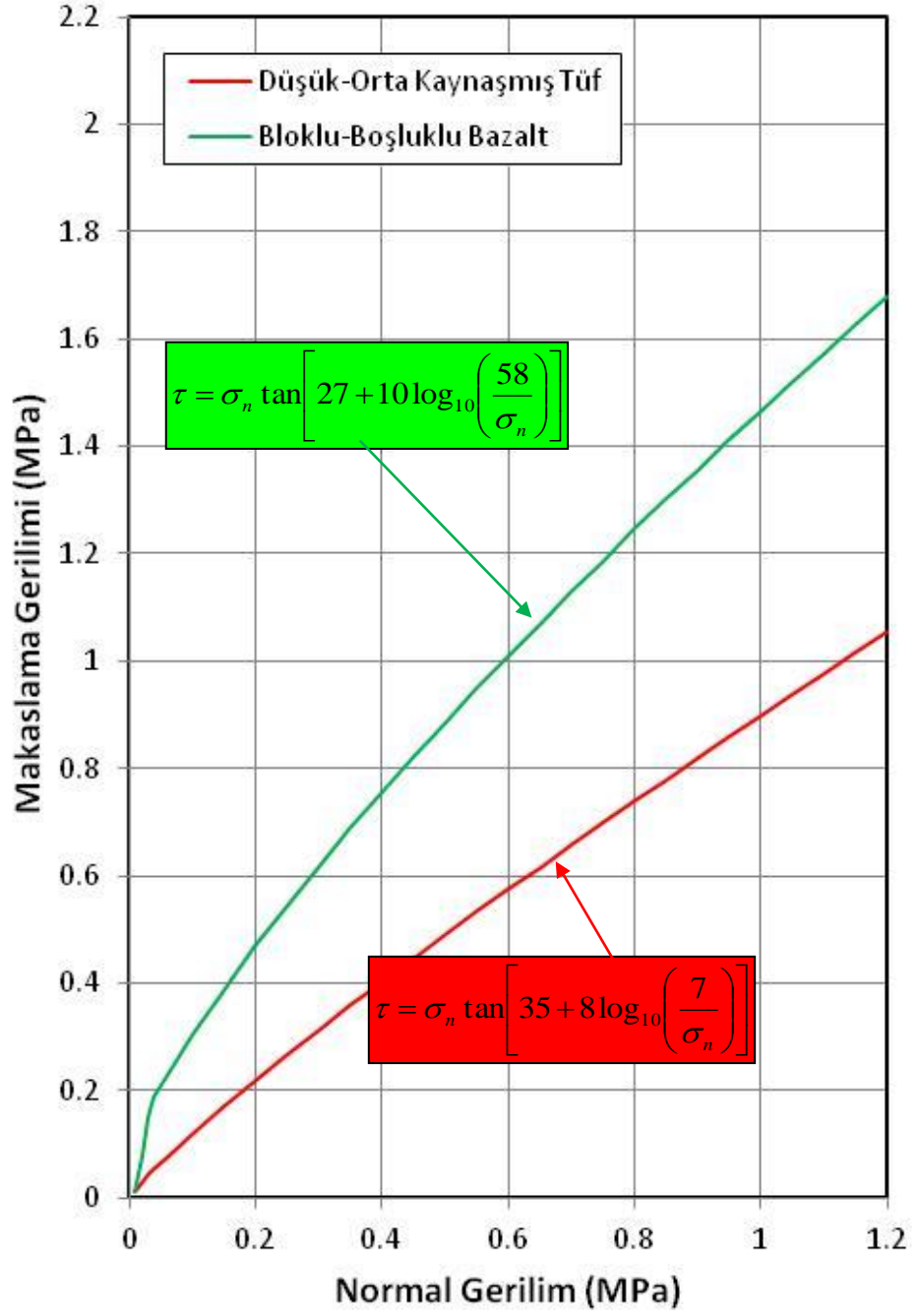
$$\tau = \sigma_n \tan \left[\phi_r + JRC \log_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma_n} \right) \right] \quad (4.1)$$

Formülde, τ pürüzlü süreksizlik yüzeyinin kayma dayanımı (MPa), JRC süreksizlik yüzeyinin pürüzlülük katsayısı, JCS süreksizlik yüzey mukavemeti, σ_n normal gerilme ve ϕ_r ise rezidüel sürtünme açısıdır.



Resim 4.7 Çalışma alanında tespit edilen duraysız blokların genel görünümü

JRC arazide mekanik telli profilmetre ile alınan pürüzlülük profilleri ile ISRM tarafından önerilen profiller karşılaştırılarak tahmin edilmiştir. Buna göre JRC, bazaltlar için 16-10 arasında değişirken, tüfler için 8 ile 12 arasında değişmektedir. Hesaplamalarda güvenli koşullarda kalmak adına minimum değerler olan 8 ile 10 kullanılmıştır. JCS ise Schmidt çekici deneyinden elde edilmiştir. Buna göre bazaltlar ve tüfler için JCS değeri sırasıyla 58 MPa ve 7 MPa elde edilmiştir. Rezidüel sürtünme açısı, tilt deneyinden elde edilen temel sürtünme açısı kullanılarak Barton ve Choubey ile Stimpson' a göre hesaplanmıştır [34, 43]. Buna göre bazalt için 27 derece, tüfler için 35 derece elde edilmiştir. Bu parametrelere göre elde edilen yenilme zarfı şekil 4.7'de verilmiştir.

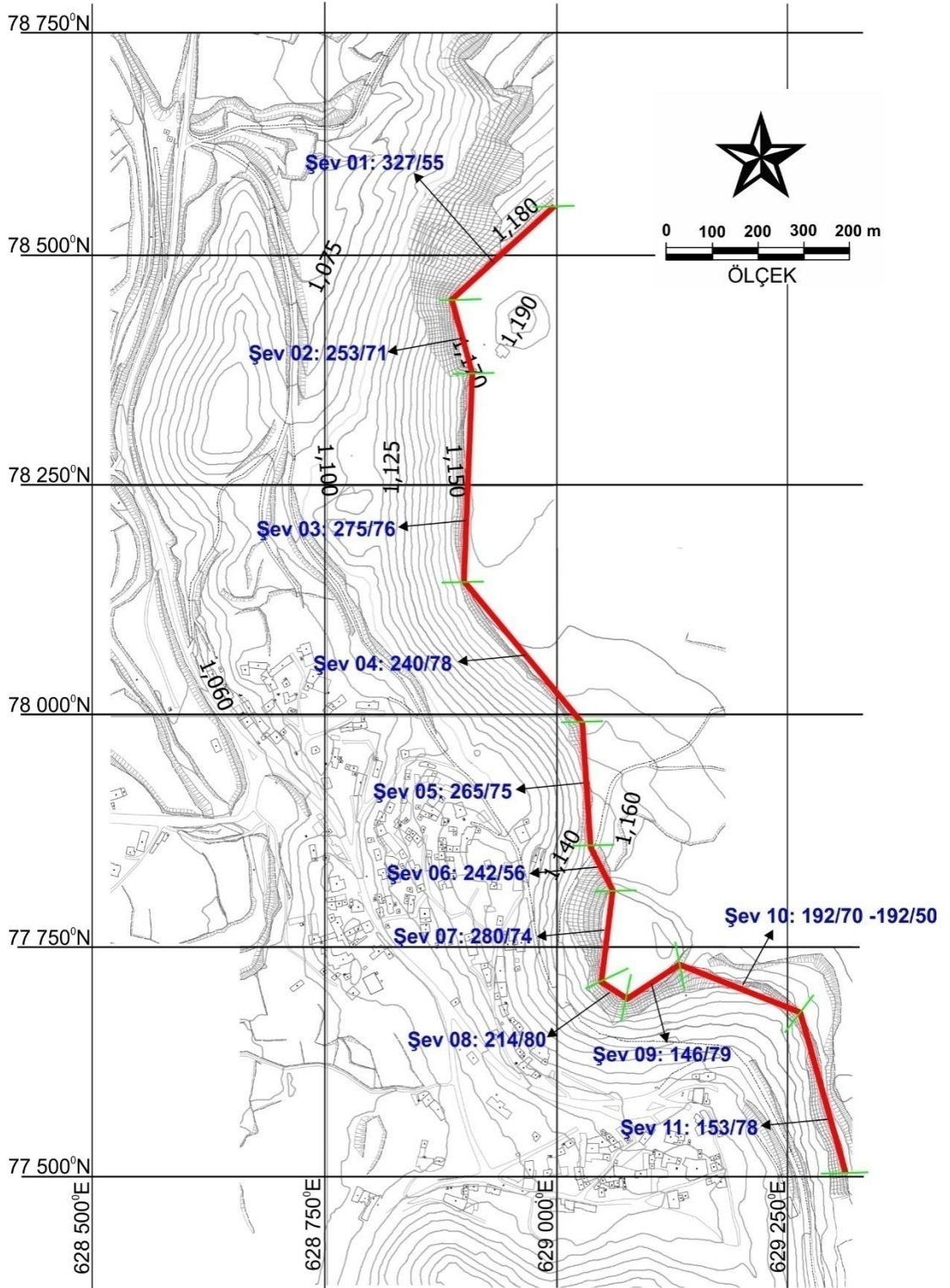


Şekil 4.7 Çalışma alanındaki bazalt ve tüfler için süreksizliklerin yenilme zarfı

4.2.5. Kinematik analizler

Kinematik analiz yöntemleri duraylılığın süreksizlik sistemleri tarafından denetlendiği kaya kütlelerinde duraylı ve duraysız olabilecek şevlerin ayırt edilmesi amacıyla, ayrıntılı analizlere başlanmadan önce kullanılan pratik bir yöntemdir [36]. Süreksizliklerin kontrol ettiği düzlemsel, kama ve devrilme türü duraysızlıkların değerlendirildiği bu yöntemde, süreksizliklerin yönelimi, şevin yönelimi ve süreksizlik yüzeylerinin sürtünme açısı dikkate alınır. Materyal ve metot bölümünde detayları verilen analizleri yapmak için çalışma alanında duraysızlık problemi yaşanan şevler 11 farklı tasarım sektörüne ayrılmıştır (Harita 4.3). Bu ayırım yapılırken şevlerin yönelimi gibi benzerlik gösteren yapısal unsurlar göz önünde bulundurulmuş ve kinematik analizler Dips 6.0 programı kullanılarak yapılmıştır. Çalışma alanında genelde 70 dereceden yüksek olan baskın süreksizlik yönelimleri belirlenmiştir. İnceleme alanında bazı noktalarda eklemeler şev doğrultusuna paralel olarak gelişmiş ve bunlar bazen tüfler içerisinde gözlenen doğal kaya şevlerini oluşturabilmektedir. Tablo 4.2’de her bir sektörde etkili olan süreksizlik yönelimleri ve göz önünde bulundurulan diğer parametreler verilmiştir. Yapılan kinematik analiz sonuçları EK-4’de her bir sektör için ayrı ayrı verilmiştir.

Şev 01 olarak adlandırılan, çalışma alanının kuzeyindeki yeraltı şehrinin üst kısımlarında genelde bazaltlar içerisinde yer alan sektörde beş farklı hâkim süreksizlik sistemi bulunmaktadır. Yapılan kinematik analiz sonucunda mevcut süreksizlikler herhangi bir düzlemsel, kama ve devrilme türünde duraysızlığa neden olmamaktadır. Dolayısıyla bu şev kinematik açıdan herhangi bir duraysızlık potansiyeli taşımamaktadır (EK-4). Şev 02 ve 03 olarak incelenen sektörlerde herhangi bir düzlemsel duraysızlık türü gözlenmezken, şevde kama ve devrilme tipi duraysızlıkların oluşma potansiyeli vardır. 76/074 yönelimine sahip süreksizlik devrilme tipi oluşturacak potansiyele sahiptir. Ayrıca, 85/353 ve 74/214 yönelimine sahip süreksizliklerin kesişmesi sonucu oluşan arakesit (61/279) yönünde kama tipi yenilme oluşma potansiyeli bulunmaktadır.



Harita 4.3 Tasarım sektörlerine ayrılmış şevler ve yönelimleri

Tablo 4.2 Kinematik analizlerde göz önünde bulundurulmuş şev parametreleri

Şev No	Uzunluğu (m)	Şev Yönelimi	Hâkim Süreksizlik Yönelimleri	Süreksizlik Düzlemlerinin İçsel Sürtünme Açısı (ϕ_r)	Litoloji
01	600	327/55	76/074, 79/244, 85/353, 72/109, 74/214	27°	BAZALT
02	325	253/71			BAZALT
03	900	275/76			BAZALT
04	800	240/78			BAZALT
05	550	265/75			BAZALT
06	200	242/56			BAZALT
07	375	280/74			BAZALT
08	100	214/80			BAZALT
08A	100		82/291, 87/038, 79/096, 88/219, 80/164	35°	TÜF
09	250	146/79	76/074, 79/244, 85/353, 72/109, 74/214	27°	BAZALT
09A	250		82/291, 87/038, 79/096, 88/219, 80/164	35°	TÜF
10	575	192/50	76/074, 79/244, 85/353, 72/109, 74/214	27°	BAZALT
10A	575	192/70	82/291, 87/038, 79/096, 88/219, 80/164	35°	TÜF
11	725	153/78	82/291, 87/038, 79/096, 88/219, 80/164	35°	TÜF

Şev 04 adlı sektörde ise, 74/214 yönelimine sahip süreksizlik düzlemsel kayma oluştururken, Kama türü duraysızlıklar 76/074, 79/244 ve 85/353 yönelime sahip süreksizliklerin kesişmesi sonucu oluşturmaktadır. Kesişmeler sonucu oluşan kama düzlemlerinin eğim/eğim yönü 55/177, 72/200 ve 61/279 şeklinde oluşmuştur. Devrilme

türü açısından herhangi bir riskin bulunmadığı sektör diğer şevlere göre sahip olduğu kama türü duraysızlık ile ön plana çıkmaktadır.

550 metre uzunluğunda, 75/265 yönelimine sahip ve Şev 05 olarak değerlendirilen sektörde yapılan kinematik analizler sonucunda herhangi bir düzlemsel kayma oluşturacak süreksizlik sistemi bulunmamasına rağmen kama ve devrilme türü duraysızlık potansiyeli görülmektedir. Buna göre, 76/074 yönelime sahip süreksizlik devrilme riski oluştururken, 76/074 ve 85/353 yönelimine sahip süreksizlik kesişme doğrultusu boyunca (61/279) yönünde kama türü duraysızlık potansiyeli bulunmaktadır.

Şev 06 sektöründe ise, düzlemsel ve kama türü duraysızlık potansiyeli gözlenmezken, sadece 76/074 yönelime sahip süreksizlik sistemi devrilme türü duraysızlık oluşturabilecek durumdadır. Bu sevin hemen batı tarafında yer alan ve özellikle çalışma alanının en yüksek şevlerinin birini oluşturan sektör şev 07 olarak adlandırılmış olup, üzerinde meydana gelen kaya duraysızlıkları aşağıda yer alan kaya oyma yapılarına zarar vermektedir. Bu bölgede yapılan kinematik analiz sonuçlarına göre herhangi bir düzlemsel duraysızlık riski bulunmamaktadır. Fakat söz konusu şevde hem kama hem de devrilme türü duraysızlık oluşma potansiyeli vardır. Devrilme türü duraysızlıklar 76/074 ve 72/109 yönelimine sahip eklem sistemleri kontrolünde oluşmaktadır. Kama türü duraysızlık ise 85/353 ve 74/214 yönelimindeki süreksizliklerin kesişme sonucunda oluşan ve yönelimi 61/279 olan kama boyunca oluşmaktadır.

Şev 08, 80/214 yöneliminde olup, bazalt kaya kütleleri içerisinde yer almaktadır. Arazi gözlemlerinde en riskli sektörlerden biri olarak dikkati çeken bölge, olası kaya kütle duraysızlıkları hemen altında yer alan tüfler içerisinde açılmış kaya oyma yapıları, yeraltı şehri ulaşım yolunu ve daha aşağıda bulunan yerleşim yerlerini tehdit edebilecek konumdadır. Yapılan kinematik analizlerde, devrilme türü bir duraysızlık gözlenmezken, 74/214 yönelimindeki eklem sistemleri düzlemsel kayma ve diğer eklem takımlarının kesişmesi sonucu beş farklı kama yöneliminde kama türü duraysızlık kinematik olarak mümkündür. Oluşan kama yönelimleri 51/152, 55/177, 72/200, 61/279 ve 63/165 şeklinde oluşmuştur. Bu sonuçların şevin üst bölümünde yer alan ve bazalt kaya kütlesi içerisinde bölüm için geçerlidir. Aynı sektörün hemen altında Şev basamaklı bir şekilde hem bazalt hem de tüflerden oluşmaktadır. Tüflerden oluşan

bölüm şev 08A adlandırılmış ve bu bölümde düşük-iyi kaynaşmış tüflere ait kaya kütle özellikleri göz önünde bulundurulmuştur. Yapılan kinematik analiz sonuçlarına göre, süreksizlik çalışmaları sonucu elde edilen eklem sistemleri herhangi bir düzlemsel duraysızlık oluşturmamaktadır. Bununla birlikte aynı süreksizlik sistemleri kama ve devrilme türü kaya kütle duraysızlıkları oluşturabilecek niteliktedir. 87/038 yönelimine sahip süreksizlik takımı devrilme oluştururken, 82/291 ve 80/164 doğrultudaki eklemlerin kesişmesi sonucu oluşan ve 70/231 yönelimindeki kama boyunca duraysızlık potansiyeli kinematik olarak belirlenmiştir.

Şev 09, 250 metre uzunluğunda olup, 79/146 yönelimine sahip olup, şevin üst kısımları bazaltlardan oluşurken, alt tarafı düşük-orta kaynaşmış tuf kaya külesinden oluşmaktadır. Her iki kaya külesi için ayrı ayrı kinematik analizler yapılmıştır. Üst taraftaki bazaltlar için yapılan kinematik analiz sonuçlarına göre, devrilme türü duraysızlık gözlenmezken, düzlemsel ve kama türü duraysızlık kinematik açıdan mümkündür. 72/109 yönelimine sahip eklemler düzlemsel kayama potansiyeli taşırken, 71/121, 51/152, 55/177 ve 63/165 yönelimine sahip kamalar boyunca duraysızlık potansiyeli bulunmaktadır. Hemen alta tüflerden oluşan seviyeler için yapılan kinematik analiz sonuçlarına göre düzlemsel ve devrilme türü duraysızlıkların beklenmediği Şev 09A adlı sektörde, kinematik açıdan kama türü duraysızlık oluşturacak sistemler mevcuttur. Oluşan kamaların eğim/eğim yönü 53/131, 75/143 ve 59/173 olarak bulunmuştur.

Şev 10'da kama ve düzlemsel kayma potansiyeli kinematik açıdan oluşmazken, 85/353 yönelimine sahip eklem sistemi devrilme türü duraysızlık oluşturacak niteliktedir. Aynı konuma sahip fakat şev eğiminin 70 derece olduğu şev 10A sektörü düşük-orta kaynaşmış tüfler içerisinde yer almaktadır. Yapılan kinematik analiz sonuçlarına göre herhangi bir duraysızlık tespit edilmemiştir.

Çalışma alanındaki son sektör olan tamamen düşük-orta kaynaşmış tüfler içerisinde yer alan Şev 11, yapılan kinematik analiz sonuçlarına göre sadece kama türü duraysızlık potansiyeli taşımaktadır. Kama yönelimleri 75/123 ve 75/143 şeklinde belirlenmiştir. Fakat hem düzlemsel kayma hem de devrilme için kritik alanların hemen yakınında bazı eklem sistemlerinin varlığı dikkati çekmektedir.

Sonuç olarak bakıldığında farklı yapısal ve mühendislik jeolojisi özelliklerine göre tanımlanan şevlerin büyük bir bölümünde kinematik açıdan farklı kaya kütle duraysızlıklarını oluşturabilecek süreksizlik sistemleri bulunmaktadır (Tablo 4.3). Kama ve devrilme türü duraysızlıklar daha yoğun gözlemlenirken, düzlemsel kayma sınırlı sayıda şevde izlenmiştir. Bu şevler 04, 08 ve 09 olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.3 Belirlenen sektörlere göre kinematik açıdan oluşabilecek duraysızlıkların dağılımı

Şev No	Düzlemsel Kayma	Kama Tipi Duraysızlık	Devrilme Tipi Duraysızlık
01			
02		√	√
03		√	√
04	√	√	
05		√	√
06			√
07		√	√
08	√	√	
08A		√	√
09	√	√	
09A		√	
10			√
10A			
11		√	

Üzerinde durulması gereken diğer bir durum ise, düzlemsel, kama ve devrilme şeklinde başlayan kaya kütle duraysızlıkları şevin genel eğimine bağlı olarak kaya düşmesi ve yuvarlanması şekline devam etmektedir. Bu mekanizma sonucu, hem yeraltı şehrinin bazı ulaşım yollarını hem de güneyinde yer alan yerleşim yerlerini tehdit etmektedir. Bundan dolayı bir sonraki bölümde kaya düşme analizleri yapılarak kaya kütle duraysızlıklarının çevre için yaratmış olduğu tehdit daha somut bir şekilde ortaya konulmaya çalışılmıştır. Ayrıca, 07 ve 08 nolu şevlerde üst seviyelerde meydana gelen duraysızlıklar alt kotlarda yer alan kaya oyma yapılarına hasar vermiştir (Resim 4.1).

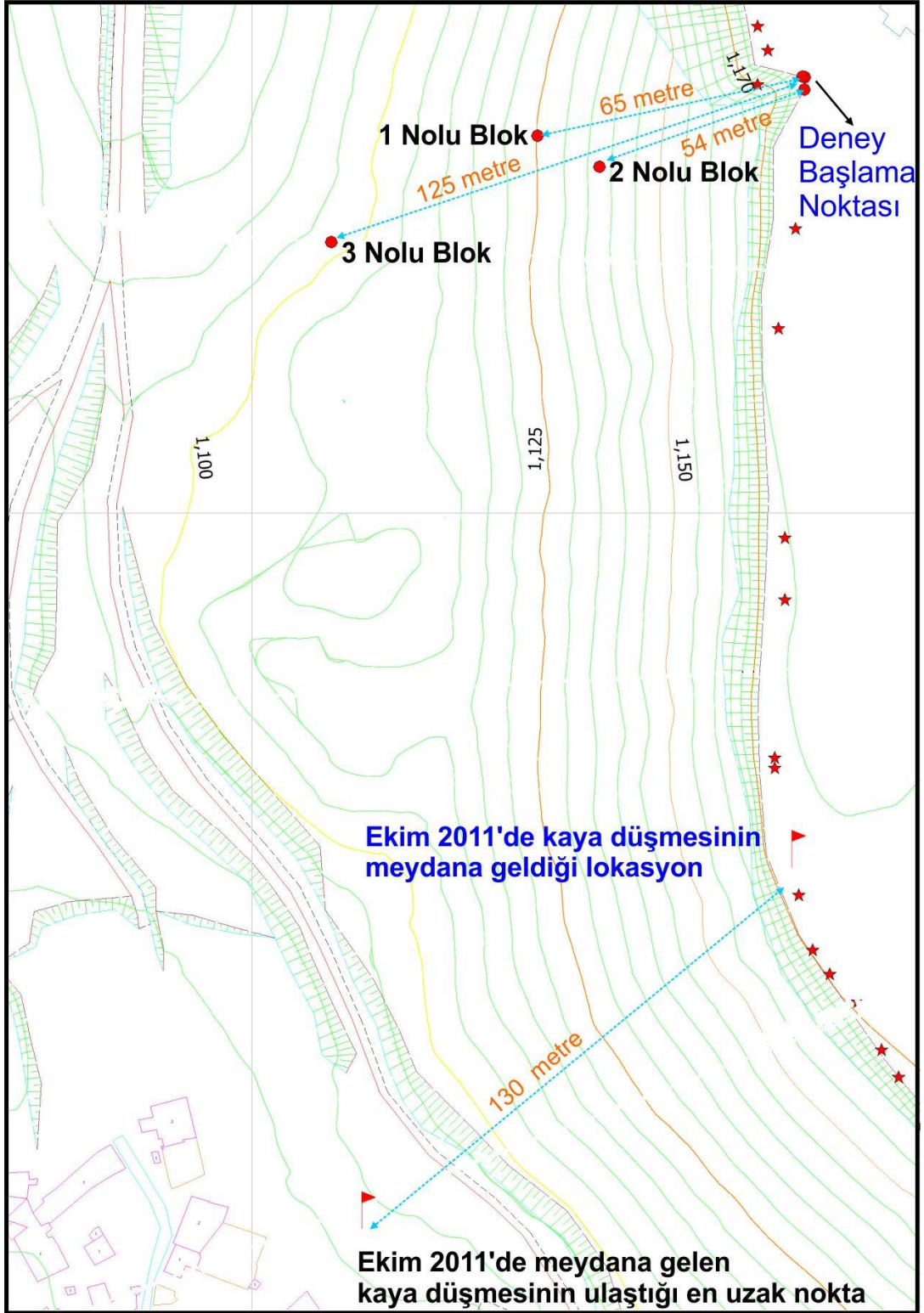
4.2.6. Kaya düşmesi analizleri

Çalışma alanında meydana gelen kaya düşmeleri 2-boyutlu olarak modellenmiştir. 2 boyutlu kaya düşme analizlerinin yapılması için öncelikle saha çalışmaları sırasında duraysız blokların lokasyonları ve bunlara ait geometrik özellikler verilmiştir. Yapılan saha çalışmalarında Tatların Yeraltı Şehri ve yakın civarında gözlenen doğal yamaçların hemen hemen tamamında farklı boyutlarda düşme potansiyeline sahip bloklar tespit edilmiştir. Bundan dolayı mevcut ulaşım yollarını ve yerleşim alanını etkileyecek tüm lokasyonlarda kaya düşme analizleri yapılmıştır. Bu analizler için Rockfall 4.0 bilgisayar programı kullanılmıştır. Bu programın en önemli girdi parametrelerinden olan R_n ve R_t arazide daha önce Ekim 2011 yılında meydana gelen kaya düşmesi ve arazide yapılan üç adet kaya düşme deneyi verileri kullanılarak yapılan geri analizler sonucunda belirlenmiştir. Kaya düşme deneylerinin ve Ekim 2011 de meydana gelen kaya düşmesi olayının genel görünümü Resim 4.8'de verilmiştir.

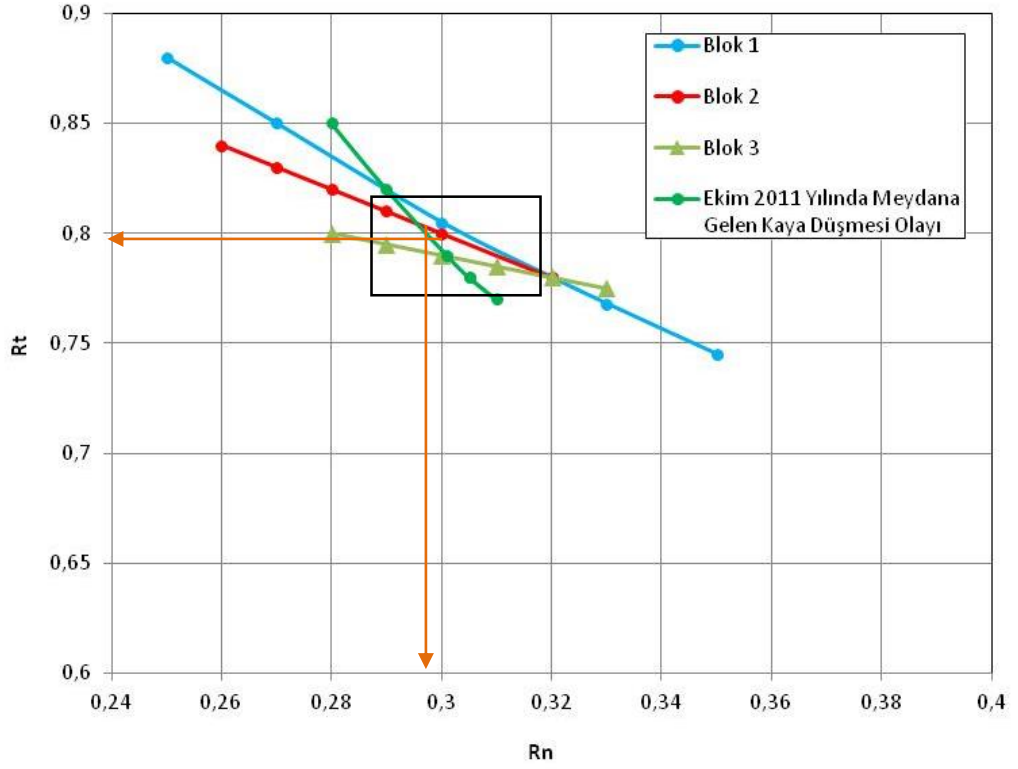


Resim 4.8 Kaya düşme deneyi ve kaya düşmesi olayının genel görünümü

Resim 4.8’de görüldüğü üzere 15 kilogram ağırlığındaki 1 nolu blok yatay olarak deney başlangıç noktasından itibaren 65 metre uzaklığa, 18 kilogram ağırlığındaki 2 nolu blok 54 metre uzaklığa ve 20 kilogram ağırlığındaki 3 nolu blok ise sıçrama davranışında bulunarak 125 metre uzaklığa kadar ulaşmıştır. Ekim 2011’de meydana gelen olayda büyük kaya bloğu parçalanmış ve en büyük blok 130 metre uzaklığa kadar ulaşmıştır (Harita 4.4). Söz konusu blokların ulaştığı noktalar göz önünde bulundurularak yapılan geri analiz sonuçlarına göre, $R_n = 0.30 \pm 0.5$ ve $R_t = 0.80 \pm 0.5$ olarak elde edilmiştir (Şekil 4.8).



Harita 4.4 Arazi deneylerinin harita üzerindeki genel görünümü

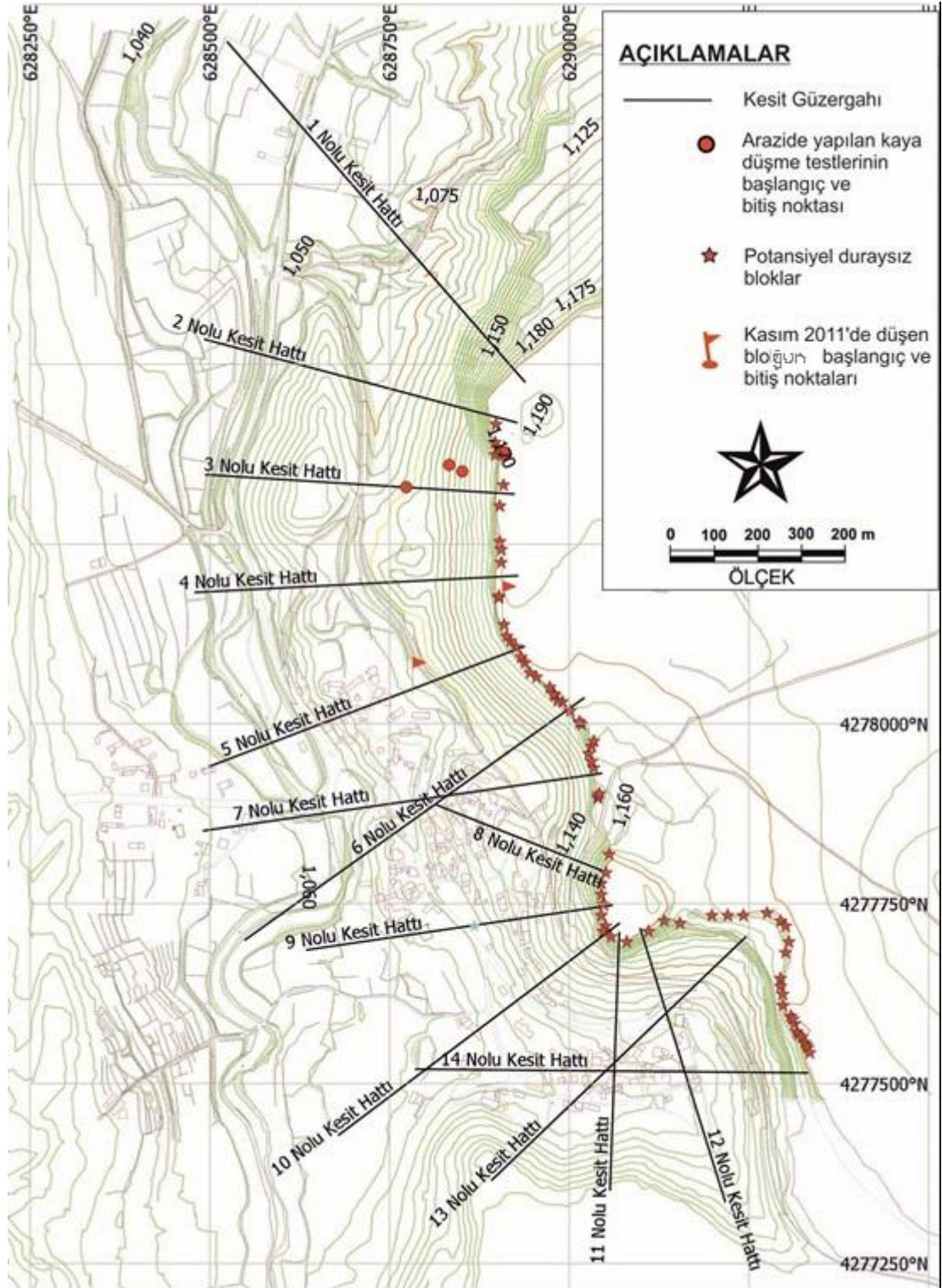


Şekil 4.8 Yapılan geri analiz sonuçları

İki boyutlu kaya düşme analizleri Tatların Yeraltışehrinin bulunduğu toplam 14 ayrı şev profili boyunca gerçekleştirilmiştir (Harita 4.5). Geri analizlerden elde edilen R_n ve R_t değerleri tüm analizlerde kullanılmıştır. Analizlerde kullanılan diğer parametreler Tablo 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.4 İki boyutlu kaya düşme analizlerinde kullanılan parametreler

Girdi Parametreleri	Değer
Toplam Düşen Blok Sayısı	50
Sürtünme Açısı	R_t 'den belirleniyor
Şev Pürüzlülüğü	0
Blok Ağırlığı (kg)	25000
Başlangıç Hızı (m/s)	0.1
Örnekleme Aralığı (m)	50



Harita 4.5 Kaya düşmesi analiz hatları ve çalışma alanının genel görünümü

Bu çalışmada yapılan analizlerde, 1 nolu ve 5 nolu kesitlerin gözlemlendiği bölgelerde arazi deneylerinden elde edilen parametreler kullanılmıştır. Ancak diğer kesitlerde Rockfall 4.0 da temiz kaya yüzeyi, asfalt yol ve zemin olarak tanımlanan zemin yüzey parametreleri birlikte kullanılmıştır. Bunlardan özellikle tüflerin dik şevler oluşturduğu ve çalışma alanının güneyinde yer alan asfalt yol düşen blokların sıçramasına neden olmaktadır. Dolayısıyla asfalt yolun varlığı sonuçları etkilemektedir. Yapılan analizlerde, ortalama blok boyundan yola çıkararak 25000 kg'lık bir kaya bloğunun maksimum hızda hareket edeceği düşünülerek, düşme yapacak bir bloğun hareket yörüngesi ve sıçrama yükseklikleri bu tip bloğa göre belirlenmiştir. Buna göre kaya blokları, başlangıçta 0.1 m/s yatay hızla koparak sırasıyla düşme, yuvarlanma ve sıçrama hareketlerini yapacaklardır. Bu hareket mekanizması içinde yatay ve düşey hızlar artarken açısız (dönme) hıza da sahip olacaklardır. Hızın artması kinetik enerjide de yükselmeye neden olacaktır. 25 tonluk kaya bloğu göz önüne alınmış ve maksimum kinetik enerji oluşumu için de 25 tonluk bir kaya bloğunun sıçrama yapacağı varsayımı yapılarak sırasıyla ötelenme, dönme ve toplam kinetik enerjileri hesaplanmıştır.

Farklı kütleyle sahip blokların düşme esnasında oluşturdukları simülasyon hemen hemen aynı olduğundan bu çalışmada sadece 25 tonluk bloğun hareketi esnasında oluşacak simülasyonlara yer verilmiştir. Kaya düşmesi simülasyonları her kesit için EK-2'de, sıçrama yükseklikleri, kinetik enerji ve hız dağılımları da EK-3'de verilmiştir

4.2.6.1. Kesit 1: Kaya düşmesi simülasyonu

İstatiksel olarak, 25000 kg'lık blokların hareketinin tam olarak anlaşılması için aynı anda 50 adet kaya bloğunun düşme yaptığı kabul edilmiştir (EK-2A). EK-2A'da verilen sıçrama simülasyonuna göre, kaya blokları tüm şev yüzeyi boyunca sıçrama hareketi yapmamakta ve tamamen yuvarlanma hareketi yapmaktadır. Maksimum sıçrama yüksekliği üst palye kenarı, km 0+0.070'de 5.00 cm gibi önemli sayılmayacak bir sıçrama olacaktır (EK-3A1). Kaya blokları maksimum toplam kinetik enerjiye (1304 kJ) km 0+0.064'de ulaşmakta (EK-3A3), kesit güzergâhına paralel olarak ulaşacakları maksimum ötelenme hızına (9.08 m/s) ise, km 0+0.064'de sahip olacaklardır (EK-3A4).

4.2.6.2. Kesit 2: Kaya düşmesi simülasyonu

İstatiksel olarak, 25000 kg'lık blokların hareketinin tam olarak anlaşılması için aynı anda 50 adet kaya bloğunun düşme yaptığı kabul edilmiştir (EK-2B). EK-2B'de verilen sıçrama simülasyonuna göre, kaya blokları tüm şev yüzeyi boyunca sıçrama hareketi yapmamakta ve tamamen yuvarlanma hareketi yapmaktadır. Maksimum sıçrama yüksekliği, üst palye kenarı km 0+0.062'de 5.80 cm gibi önemli sayılmayacak bir sıçrama yapacaktır. (EK-3B1). Kaya blokları maksimum toplam kinetik enerjiye (2694.65 kJ) km 0+0.080'de ulaşmakta (EK-3B3), kesit güzergahına paralel olarak ulaşacakları maksimum ötelenme hızına (13.47 m/s) ise, km 0+0.048'de sahip olacaklardır (EK-3B4).

4.2.6.3. Kesit 3: Kaya düşmesi simülasyonu

İstatiksel olarak, 25000 kg'lık blokların hareketinin tam olarak anlaşılması için aynı anda 50 adet kaya bloğunun düşme yaptığı kabul edilmiştir (EK-2C). EK-2C'de verilen sıçrama simülasyonuna göre, kaya blokları tüm şev yüzeyi boyunca sıçrama hareketi yapmaktadır. İlk sıçrama hareketini km 0+0.048'de 7.76 m olarak hemen hemen maksimum sıçrama yüksekliğine ulaşmıştır (EK-3C1). Kaya blokları maksimum toplam kinetik enerjiye (1159.07 kJ) km 0+0.104'de sahip olacaklardır (EK-3C3). Kaya blokları kesit güzergahına paralel olarak ulaşacakları maksimum ötelenme hızına (28.84 m/s) km 0+0.104'de sahip olacaklardır (EK-3C4).

4.2.6.4. Kesit 4: Kaya düşmesi simülasyonu

İstatiksel olarak, 25000 kg'lık blokların hareketinin tam olarak anlaşılması için aynı anda 50 adet kaya bloğunun düşme yaptığı kabul edilmiştir (EK-2D). EK-2D'de verilen sıçrama simülasyonuna göre, kaya blokları tüm şev yüzeyi boyunca sıçrama hareketi yapmamaktadır. İlk sıçrama hareketi km 0+0.040'da 5.9 cm gibi önemsenmeyecek düzeyde gerçekleşecektir. (EK-3D1). Kaya blokları maksimum toplam kinetik enerjiye (808.037 kJ) km 0+0.056'de sahip olacaklar (EK-3D3), kesit güzergahına paralel olarak elde edebilecekleri maksimum ötelenme hızına (7.52 m/s) ise, km 0+0.058'de sahip olacaklardır (EK-3D4).

4.2.6.5. Kesit 5: Kaya düşmesi simülasyonu

İstatiksel olarak, 25000 kg'lık blokların hareketinin tam olarak anlaşılması için aynı anda 50 adet kaya bloğunun düşme yaptığı kabul edilmiştir (EK-2E). EK-2E'de verilen sıçrama simülasyonuna göre, kaya blokları tüm şev yüzeyi boyunca küçük sıçrama hareketi yapmaktadır. İlk sıçrama hareketini km 0+0.064'de 0.80 m'de maksimum sıçrama yüksekliğine ulaşmıştır (EK-3E1). Kaya blokları maksimum toplam kinetik enerjiye (8782.76 kJ) km 0+0.072'de ulaşmakta (EK-3E3); kesit güzergahına paralel olarak elde edebilecekleri maksimum ötelenme hızına (22.89 m/s) ise, km 0+0.080'de sahip olacaktırlar (EK-3E4).

4.2.6.6. Kesit 6: Kaya düşmesi simülasyonu

İstatiksel olarak, 25000 kg'lık blokların hareketinin tam olarak anlaşılması için aynı anda 50 adet kaya bloğunun düşme yaptığı kabul edilmiştir (EK-2F). EK-2F'de verilen sıçrama simülasyonuna göre, kaya blokları tüm şev yüzeyi boyunca sıçrama hareketi yapmaktadır. İlk sıçrama hareketini km 0+0.144'de 6.290 m maksimum sıçrama yüksekliğine ulaşmıştır (EK-3F1). Burada mevcut ulaşım yolu bu sıçrama hareketinin oluşmasına neden olmuştur. Kaya blokları maksimum toplam kinetik enerjiye (3.66 kJ) km 0+0.096'de ulaşacaklar (EK-3F3); kesit güzergahına paralel olarak elde edebilecekleri maksimum ötelenme hızına (24.37 m/s) ise, km 0+0.096'da sahip olacaktırlar (EK-3F4). Söz konusu kesit güzergahında blokların ulaştığı maksimum uzaklık mevcut yığma yapıları etkileyecek düzeydedir.

4.2.6.7. Kesit 7: Kaya düşmesi simülasyonu

İstatiksel olarak, 25000 kg'lık blokların hareketinin tam olarak anlaşılması için aynı anda 50 adet kaya bloğunun düşme yaptığı kabul edilmiştir (EK-2G). EK-2G'de verilen sıçrama simülasyonuna göre, kaya blokları tüm şev yüzeyi boyunca küçük sıçrama hareketi yapmaktadır. İlk sıçrama hareketini km 0+0.032'de 0.84 m'de maksimum sıçrama yüksekliğine ulaşmıştır (EK-3G1). Kaya blokları maksimum toplam kinetik enerjiye (7702,50 kJ) km 0+0.048'de ulaşacaklar (EK-3G3); kesit güzergahına paralel olarak elde edebilecekleri maksimum ötelenme hızına (21.13 m/s) ise, km 0+0.048'de

sahip olacaklardır (EK-3G4). Söz konusu kesit güzergâhında blokların ulaştığı maksimum uzaklık, mevcut yığma yapıları kısmen etkileyecek düzeydedir.

4.2.6.8. Kesit 8: Kaya düşmesi simülasyonu

İstatiksel olarak, 25000 kg'lık blokların hareketinin tam olarak anlaşılması için aynı anda 50 adet kaya bloğunun düşme yaptığı kabul edilmiştir (EK-2H). EK-2H'da verilen sıçrama simülasyonuna göre, kaya blokları tüm şev yüzeyi boyunca önemli sayılabilecek sıçrama hareketi yapmaktadır. İlk sıçrama hareketini km 0+0.055'de 9.09 m olarak maksimum sıçrama yüksekliğine ulaşmıştır (EK-3H1). Kaya blokları maksimum toplam kinetik enerjiye (8834.24 kJ) km 0+0.074'de ulaşacaklar (EK-3H3); kesit güzergâhına paralel olarak elde edebilecekleri maksimum ötelenme hızına (25.14 m/s) ise, km 0+0.074'de sahip olacaklardır (EK-3H4). Söz konusu kesit güzergâhında blokların ulaştığı maksimum uzaklık, mevcut yığma yapıları ciddi anlamda etkileyecek düzeydedir.

4.2.6.9 Kesit 9: Kaya düşmesi simülasyonu

İstatiksel olarak, 25000 kg'lık blokların hareketinin tam olarak anlaşılması için aynı anda 50 adet kaya bloğunun düşme yaptığı kabul edilmiştir (EK-2I). EK-2I'da verilen sıçrama simülasyonuna göre, kaya blokları tüm şev yüzeyi boyunca önemli sayılabilecek sıçrama hareketi yapmaktadır. İlk sıçrama hareketini km 0+0.112'de 5.03 m olarak maksimum sıçrama yüksekliğine ulaşmıştır (EK-3I1). Kaya blokları maksimum toplam kinetik enerjiye (12374,90 kJ) km 0+0.128'de ulaşacaklar (EK-3I3); kesit güzergâhına paralel olarak elde edebilecekleri maksimum ötelenme hızına (28.57 m/s) ise, km 0+0.128'de sahip olacaklardır (EK-3I4). Söz konusu kesit güzergâhında blokların ulaştığı maksimum uzaklık mevcut yığma yapıları ciddi anlamda etkileyecek düzeydedir.

4.2.6.10. Kesit 10: Kaya düşmesi simülasyonu

İstatiksel olarak, 25000 kg'lık blokların hareketinin tam olarak anlaşılması için aynı anda 50 adet kaya bloğunun düşme yaptığı kabul edilmiştir (EK-2K). EK-2K'da verilen sıçrama simülasyonuna göre, kaya blokları şev yüzeyi boyunca sıçrama hareketi yapmaktadır. İlk sıçrama hareketini km 0+0.036'da 6,5 m olarak maksimum sıçrama yüksekliğine ulaşmıştır (EK-3K1). Kaya blokları maksimum toplam kinetik enerjiye (12285,11 kJ) km 0+0.152'de sahip olacaktadırlar (EK-3K3). Kaya blokları kesit güzergâhına paralel olarak ulaşacakları maksimum ötelenme hızına (28.44 m/s) km 0+0.152'de ulaşacaklardır. (EK-3K4). Kesit güzergâhında blokların ulaştığı maksimum uzaklık, kaya düşmelerinin mevcut yığma yapıları ciddi anlamda etkileyecek düzeydedir.

4.2.6.11. Kesit 11: Kaya düşmesi simülasyonu

İstatiksel olarak, 25000 kg'lık blokların hareketinin tam olarak anlaşılması için aynı anda 50 adet kaya bloğunun düşme yaptığı kabul edilmiştir (EK-2L). EK-2L'de verilen sıçrama simülasyonuna göre, kaya blokları şev yüzeyi boyunca özellikle de asfalt yolun bulunduğu noktada ciddi sıçrama hareketi yapmaktadır. İlk sıçrama hareketini km 0+0.084'de 7.53 m olarak maksimum sıçrama yüksekliğine ulaşmıştır (EK-3L1). Kaya blokları maksimum toplam kinetik enerjiye (9439,17 kJ) km 0+0.104'de sahip olacaktadırlar (EK-3L3). Kaya blokları kesit güzergâhına paralel olarak ulaşacakları maksimum ötelenme hızına (25.19 m/s) km 0+0.104'de sahip olacaktadırlar (EK-3L4). Söz konusu kesit güzergâhında blokların ulaştığı maksimum uzaklık, kaya düşmelerinin mevcut yığma yapıları kısmen etkileyecek düzeydedir.

4.2.6.12. Kesit 12: Kaya düşmesi simülasyonu

İstatiksel olarak, 25000 kg'lık blokların hareketinin tam olarak anlaşılması için aynı anda 50 adet kaya bloğunun düşme yaptığı kabul edilmiştir (EK-2M). EK-2M'de verilen sıçrama simülasyonuna göre, kaya blokları şev yüzeyi boyunca özellikle de asfalt yolun bulunduğu noktada ciddi sıçrama hareketi yapmaktadır. İlk sıçrama hareketini km 0+0.096'da 6.73 m olarak maksimum sıçrama yüksekliğine ulaşmıştır (EK-3M1). Kaya blokları maksimum toplam kinetik enerjiye (9439,71 kJ) km

0+0.104'de sahip olacaklardır (EK-3M3). Kaya blokları kesit güzergâhına paralel olarak ulaşacakları maksimum ötelenme hızına (25.19 m/s) km 0+0.104'de sahip olacaklardır (EK-3M4). Söz konusu kesit güzergâhında blokların ulaştığı maksimum uzaklık, kaya düşmelerinin mevcut yığma yapıları etkileyecek düzeydedir.

4.2.6.13. Kesit 13: Kaya düşmesi simülasyonu

İstatiksel olarak, 25000 kg'lık blokların hareketinin tam olarak anlaşılması için aynı anda 50 adet kaya bloğunun düşme yaptığı kabul edilmiştir (EK-2N). EK-2N'de verilen sıçrama simülasyonuna göre, kaya blokları şev yüzeyi boyunca özellikle de asfalt yolun bulunduğu noktada ciddi sıçrama hareketi yapmaktadır. İlk sıçrama hareketini km 0+0.064'de 20.45 m olarak maksimum sıçrama yüksekliğine ulaşmıştır (EK-3N1). Kaya blokları maksimum toplam kinetik enerjiye (18472,67 kJ) km 0+0.095'de sahip olacaklardır (EK-3N3). Kaya blokları kesit güzergâhına paralel olarak ulaşacakları maksimum ötelenme hızına (37.02 m/s) km 0+0.095'de sahip olacaklardır (EK-3N4). Söz konusu kesit güzergâhında blokların ulaştığı maksimum uzaklık, kaya düşmelerinin mevcut yığma yapıları etkileyecek düzeydedir.

4.2.6.14. Kesit 14: Kaya düşmesi simülasyonu

İstatiksel olarak, 25000 kg'lık blokların hareketinin tam olarak anlaşılması için aynı anda 50 adet kaya bloğunun düşme yaptığı kabul edilmiştir (EK-2O). EK-2O'de verilen sıçrama simülasyonuna göre, kaya blokları şev yüzeyi boyunca özellikle de asfalt yolun bulunduğu noktada ciddi sıçrama hareketi yapmaktadır. İlk sıçrama hareketini km 0+0.120'de 28.40 m olarak maksimum sıçrama yüksekliğine ulaşmıştır (EK-3O1). Kaya blokları maksimum toplam kinetik enerjiye (24100,00 kJ) km 0+0.112'de sahip olacaklardır (EK-3O3). Kaya blokları kesit güzergâhına paralel olarak ulaşacakları maksimum ötelenme hızına (41.30 m/s) km 0+0.112'de sahip olacaklardır (EK-3O4). Söz konusu kesit güzergâhında blokların ulaştığı maksimum uzaklık, kaya düşmelerinin mevcut yığma yapıları kısmen etkileyecek düzeydedir.

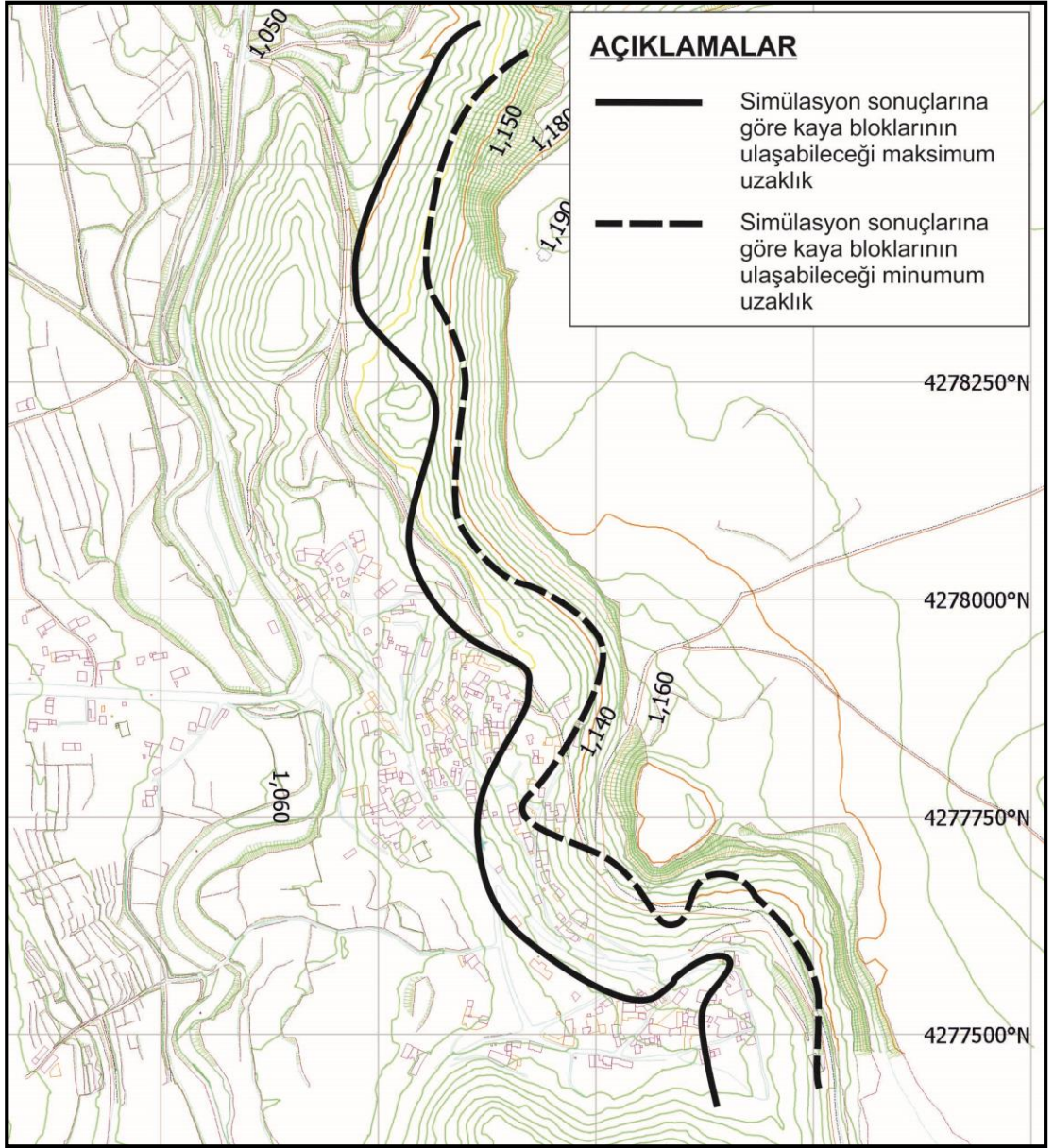
4.2.7. Olası kaya düşmesi olaylarının çevreye etkileri

Tatların Yeraltı Şehri ve yakın civarında bulunan olası şevleri karakterize edecek toplam 14 adet profil için iki boyutlu kaya düşmesi analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, blokların ulaşacağı en uzak noktalara göre bir tehlike zon haritası oluşturulmuştur (Harita 4.6).

Buna göre, yeraltı şehrinin konumlandığı şev boyunca yaklaşık 1.5 kilometrelik bir tehlike zonu ortaya çıkmıştır. Bu tehlike zonunun içerisinde Tatların Yeraltışehrine ulaşımı sağlayan bütün yollar kaya düşmesinin tehditi altındadır. Bu durum yeraltı şehrini ziyarete gelen tüm ziyaretçiler için riskli bir durumun oluşmasına neden olmaktadır. Ayrıca, yeraltı şehrinin yakınında bulunan yığma yapıların bir bölümü risk altındadır. Özellikle çalışma alanının güneyinde yeraltı şehrinin ziyaret girişi ve civarındaki yapılar bu tehdit altındadır. Kaya düşmelerinin etkileyecek yapı sayısı 30 civarında olup, bu yapıların bazıları halen sahipleri tarafından kullanılmakta olup, boşaltılmasının bir an önce yapılması gerekmektedir.

Çalışma alanının kuzeyine doğru daha önce düşen bazalt blokları şev yüzeyinin blokların daha uzağa gitmesini engelleyecek şekilde davranmaktadır. Fakat güney tarafında yani yeraltı şehrine ait yapıların yoğun olarak gözlendiği bölgede böyle bir durum söz konusu değildir. Bu yüzden bu bölgede meydana gelecek kaya düşmeleri çevreyi daha çok etkileyecektir.

Sonuç olarak, olası olumsuzlukların giderilmesine yönelik yapılacak uygulamalarda bu çalışmadan elde edilen bulguların kullanılması oldukça önemlidir.



Harita 4.6 Analiz sonuçlarına göre çalışma alanı kaya düşmesi tehlike haritası

5. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

Tatların Yeraltı Şehri ve Civarını etkileyen kaya kütle duraysızlıklarının incelendiği bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Çalışma alanı ve dolayında, Üst Kretase yaşlı Ortaköy Granitoidi, Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Tuzköy, Peçenek ve Ürgüp Formasyonun Kavak Üyesi, Kuvaterner volkanizmasının ürünleri olan Kızıldağ bazaltı ve Karnıyarık Tepe Bazaltı ve güncel yamaç molozu ve alüvyonlar bulunmaktadır.
- Çalışma alanında mühendislik jeolojisi açısından, bazalt, tuf ve güncel alüvyon olmak üzere üç farklı birim ayırt edilmiştir. Bazaltların doğal birim hacim ağırlıkları 21.74-26.06 aralığında değişirken, tüflerin ortalama doğal birim hacim ağırlığı 15.06 kN/m³ olarak bulunmuştur.
- Bazaltların boşluk oranı değerleri 0.03-0.04 aralığında ve görünür poroziteleri ise % 2.60–3.64 arasında değişirken, tüflerin ortalama görünür porozite değeri % 25.83 olarak belirlenmiştir. Bazaltların ağırlıkça ve hacimce su emme değerleri sırasıyla %0.95–1.59 ve %2.51-3.55 aralığında değişirken, tüflerin ortalama ağırlıkça ve hacimce su emme değerleri sırasıyla % 5.68 ve %8.61 olarak bulunmuştur.
- Bazaltların tek eksenli sıkışma dayanımları ise 43.90-146.18 MPa arasında değişmekte olup, Deere ve Miller'a göre orta – çok yüksek dayanımlı kaya olarak tanımlanmışlardır [41]. Tüfler için yapılan tek eksenli deney sonuçlarına göre ise elde edilen değerler 5.75 – 9.21 MPa arasında değişmekte olup, çok düşük dayanımlı kaya sınıfındadır [41].
- Çalışma alanında meydana gelen kaya kütle duraysızlıklarında süreksizlik büyük rol oynamaktadır. Yapılan süreksizlik çalışmalarına göre, bazalt ve tüfler için eğimleri genelde 70 dereceden yüksek olan beş farklı süreksizlik yönelimi belirlenmiştir. Bunlar, eğim/eğim yönü olarak bazaltlar için 76/074, 79/244, 85/353, 72/109 ve 74/214 olarak belirlenirken, tüfler için 82/291, 87/038, 79/096, 88/219 ve 80/164 olarak tespit edilmiştir. İnceleme alanında bazı noktalarda eklemler şev doğrultusuna paralel olarak gelişmiş ve bunlar bazen tüfler içerisinde gözlenen doğal kaya şevlerini oluşturabilmektedir. Genelde

yakın aralıklı olarak tanımlanan süreksizliklerin devamlılıkları oldukça değişkendir.

- Duraysızlıkların gözlemlendiği kaya şevlerinde farklı boyutlarda toplam 71 adet duraysız blok tespit edilmiştir. Duraysız bloklar ağırlıklı olarak bazaltlardan oluşmaktadır. Duraysız blokların %70'i 6 m³'den daha küçük bloklardan oluşurken, %10'u ise 6 m³ ile 12 m³ arası bloklardan oluşmaktadır. Ağırlıklı ortalama boyutu 4.20 m³ olup, yapılan analizlerde bu değer göz önünde bulundurulacaktır. Ayrıca çalışma alanında bazı lokasyonlarda birkaç bloktan oluşan potansiyel duraysız kütleler gözlenmiştir. Bunların boyutları ise 100 m³'e kadar çıkmaktadır.
- Kaya kütle duraysızlıklarının oluşmasında önemli rol oynayan süreksizlik düzlemlerinin kayma dayanımları değerlendirilmiş olup, yapılan tilt deney sonuçlarına göre temel sürtünme açısı bazalt için 27 derece, tüfler için 35 derece olarak elde edilmiştir.
- Çalışma alanında duraysızlıkların gözlemlendiği şevler, 11 farklı tasarım sektörüne ayrılmıştır. Farklı yapısal ve mühendislik jeolojisi özelliklerine göre tanımlanan şevlerin büyük bir bölümünde kinematik açıdan farklı kaya kütle duraysızlığını oluşturabilecek süreksizlik sistemleri bulunmaktadır. Kinematik açıdan kama ve devrilme türü duraysızlıklar daha yoğun gözlenirken, düzlemsel kaymalar ise sınırlı sayıda şevde izlenmiştir.
- Düzlemsel, kama ve devrilme şeklinde başlayan kaya kütle duraysızlıkları, şevin genel eğimine bağlı olarak kaya düşmesi ve yuvarlanma şeklinde devam etmektedir. Bu mekanizma sonucu, hem yeraltı şehrinin bazı ulaşım yolları, hem de güneyinde yer alan yerleşim birimleri zarar görebilecek konumdadır.
- Tatların Yeraltı Şehri ve yakın civarında bulunan olası şevleri karakterize edecek toplam 14 adet profil için iki boyutlu kaya düşmesi analizleri yapılmıştır. Analizler sonucu elde edilen maksimum sıçrama yüksekliği, maksimum ötelenme hızı ve maksimum toplam kinetik enerji değerleri her bir profil için ayrı ayrı tanımlanmıştır.
- Simülasyon sonuçlarına göre, blokların ulaşacağı en uzak noktalara göre bir tehlike zon haritası oluşturulmuştur. Buna göre, yeraltı şehrinin konumlandığı şev boyunca yaklaşık 1,5 kilometrelik bir tehlike zonu ortaya çıkmıştır. Bu

tehlike zonunun içerisinde Tatların Yeraltı Şehrine ulaşımı sağlayan bütün yollar kaya düşmesinin tehdidi altındadır. Ayrıca, yeraltı şehrinin yakınında bulunan yığma yapıların bir bölümü de risk altındadır. Özellikle çalışma alanının güneyinde yeraltı şehrinin ziyaret girişi ve civarındaki yapılar, bu tehdit altındadır. Olası kaya düşmelerinden etkilenebilecek yapı sayısı 30 civarındadır.

Elde edilen sonuçlar ışığında inceleme alanı için öneriler aşağıda belirtilmiştir.

- Analizler sonucu çalışma alanında yaklaşık 30 civarında bina kaya düşme tehlikesi ile karşı karşıyadır. Bu binalar yığma şeklinde olup, bazıları harabe durumuna gelmiştir. Fakat bazılarının kullanılmaya devam edildiği arazi çalışmalarında gözlenmiştir. Bu binaların biran önce boşaltılmaları gerekmektedir.
- Diğer bir durum ise, Tatların Yeraltı Şehri ulaşım yollarının (ziyaret rotaları) hemen hemen tamamı kaya düşmesinin tehdidi altındadır. Bölgeyi ziyaret eden kişilerin olumsuz bir durumla karşılaşmaması için yeni ziyaret rotalarının belirlenmesi yeraltı şehri turizme kazandırılması açısından oldukça önemlidir.
- Olası kaya düşmelerinin önlenmesine yönelik olarak, çelik tel kafes, tutma hendeği ve kontrollü şekilde duraysız blokların sökülmesi gibi iyileştirme yöntemlerinin uygulaması aşamasında, bu çalışmadan elde edilen sonuçların değerlendirilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

1. Gökçe O., Ozden, S., Demir, A., “Türkiye’de afetlerin mekansal ve istatistiksel dağılımı afet bilgileri envanteri”, *Afet İşleri Genel Müdürlüğü Afet Etüt ve Hasar Tespit Dairesi Başkanlığı, Ankara*, 112, 2008
2. Doyuran, V., “Ortahisar’ın çevresel jeolojik koşulları”, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 19, 83-88, 1976
3. Ulusay, R., Gökçeoğlu, C., Topal, T., Sönmez, H., Tuncay, E., Ergüler, Z. A., ve Kasmer, Ö., “Assessment of environmental and engineering geological problems for the possible re-use of an abandoned rock-hewn settlement in Ürgüp (Cappadocia), Turkey”, *Environmental Geology*, 50 (4), 473-494, 2006
4. Tuncay, E., “Rock rupture phenomenon and pillar failure in tuffs in the Cappadocia region, Turkey”, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 46, (8), 1253-1266, 2009
5. Tunusluoglu, MC., Zorlu, K., “Rockfall hazard assessment in a cultural and natural heritage (Ortahisar Castle, Cappadocia Turkey)”, *Environ Geol*, 56, 963–972, 2009
6. Zorlu, K., Tunusluoglu, M. C., Gorum, T., Nefeslioglu, H. A., Yalcin, A., Turer, D., Gokceoglu, C., “Landform effect on rockfall and hazard mapping in Cappadocia (Turkey)”, *Environmental Earth Sciences*, 62 (8), 1685-1693, 2011
7. Ataman, G., “Mise en evidence du role d’erionite (zeolite) darts le Mesothelioma pulmonaire”, *C.R. Acad. Sci. Paris*, 291, serge D, 167-169, 1980
8. Göncüoğlu, M. C., Toprak, V.,” Neogene and Quaternary volcanism of central Anatolia: A volcano-structural evaluation”, *Bulletin de la Section de Volcanologie*, 26, 1-6, 1992
9. Temel, A., “Kapadokya eksplosif volkanizmasının: petrolojik ve jeokimyasal özellikleri”, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, s. 209, Ankara, 1992.
10. Aydar, E., Gourgaud, A., Deniel, C., Lyberis, N. and Gündoğdu, N., “Le volcanisme quaretrnaire d’Anatolie centrale (Turquie): association de magmatismes calco-alcalin et alcalin en domanie de convergence”, *Can. J. Earth Sci.*, 32, 1058-1069, 1995

11. Akgün, F., Olgun, E., Kuşçu, İ., Toprak, V. and Göncüoğlu, M.C., “Orta Anadolu Kristalen Kompleksi'nin Oligo-Miyosen örtüsünün stratigrafisi, çökme ortamı ve gerçek yaşına ilişkin yeni bulgular”, *TPJD Bülteni*, 6(1), 51-68, 1995.
12. Toprak, V., “Kapadokya volkanik çöküntüsünde gelişmiş kuvaterner yaşlı havzaların kökeni, Orta Anadolu”, *Jeoloji Müh. Bölümü 30. Yıl Sempozyumu Bildirileri*, 327-339, Trabzon, 1996
13. Temel, A., Gündoğdu, M. N., Gourgaud, A., and Le Pennec, J. L., “Ignimbrites of Cappadocia (Central Anatolia, Turkey): petrology and geochemistry”, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 88, 447-471, 1998
14. Doğan, Ü., “Zeolite mineralogy and Cappadocian Erionite”, *Built Environment*, 12 (5) 337-342, 2003
15. Ocakoğlu, F., “Mio-Pliocene basin development in the eastern part of the Cappadocian Volcanic Province (Central Anatolia, Turkey) and its implications for regional tectonics”, *International. Journal of Earth Sciences*, 93 (2), 314-328, 2004
16. Gürel, A. ve Kadir, S., “Geology, mineralogy and origin of clay minerals of the Pliocene fluvial- lacustrine deposits in the Cappadocian Volcanic Province, Central Anatolia, Turkey”, *Clays and Clay Minerals*; 54 (5), 555-570, 2006
17. Erdoğan, M., “Nevşehir tüflerinin hafif yapı gereci olarak değerlendirilebilen özelliklerinin araştırılması”, *Mühendislik Jeolojisi Bülteni*, 11, 75-82, 1989
18. Korkanç, M., “İgnimbiritlerin jeomekanik özelliklerinin yapı taşı olarak kullanımına etkisi: Nevşehir Taşı”, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 31(1), 40-49, 2007
19. Tolğay A., Yaşar, E., Erdoğan, Y., “Nevşehir pomzasının agrega olarak kullanılabilirliğinin araştırılması”. *5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, s. 345-354, İzmir, 2004
20. Caner, E. N., Türkmenoğlu, A. G., Göktürk, H., Demirci, Ş. and Böke, H., “Examination of surface deterioration of Göreme tuffs for the purpose of conservation”, *6th. Int. Cong. On Deterioration and Conservation of Stone*, s. 287-302, Torun, Polonya, 1988
21. Yılmaz, İ., “Time factor accelerating deterioration at the Göreme Historical Site”, *Int. Seminar on the safeguard of the rock-hewn churches of the Göreme Valley*, (abstract), Roma, İtalya, 1993

22. Topal, T., ve Doyuran, V., “Analysis of deterioration of the Cappadocian tuff, Turkey”, *Intern. Jour. of Geosc., Environ. Geol.*, 34, 5-20, 1997
23. Ergüler Z. A., “Field-based experimental determination of the weathering rates of the Cappadocian tuffs”, *Engineering Geology*, 105, 186-199, 2009
24. Topal, T. ve Doyuran, V., “Effects of discontinuities on the development of fairy chimneys in the Cappadocia Region (Central Anatolia-Turkey)”, *TÜBİTAK Turkish Journal of Earth Sciences*, 4, 49-54, 1995
25. Baba, A., Kaya, A. ve Türk, N., “Fairy chimneys of Cappadocia and their engineering properties”, *Journal of Applied Sciences*, 5, 800-805, 2005
26. Erguvanlı, A. K., ve Yüzer, A. E., “Past and present use of underground openings excavated in volcanic tuffs at Cappadocia area”, *Proc. on Rock Storage*, 15-17, 1977
27. Aydan, Ö. and Ulusay, R., “Geotechnical and geo-environmental characteristics of man-made underground structures in Cappadocia, Turkey”, *Engineering Geology*, 6, 245-272, 2003
28. Yılmaz, I., “Engineering geologic factors in the design of a large underground structure in a tuff sequence in Cappadocia”, *Engineering Geology*, 40 (3-4), 235-241, 1995
29. Ulusay, R. ve Sönmez H., “Kaya kütlelerinin mühendislik özellikleri”, *Türkiye Jeoloji Mühendisleri Odası yayını*, 60, s. 243, Ankara, 2002
30. Sönmez, H., Ulusay, R., “A discussion on the Hoek–Brown failure criterion and suggested modification to the criterion verified by slope stability case studies”, *Yerbilimleri (Earth sciences)*, 26, 77–99, 2002
31. ISRM 1981, “Rock Characterisation, Testing and Monitoring - ISRM Suggested Methods”, E. T. Brown, s.200, *Pergamon*, Oxford, 1981
32. ISRM 1978, “Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses”, *International Journal of Rock Mechanics Mining Sciences and Geomechanics, Abstracts*, 15, 319-368, 1978
33. Miller, R. P., “Engineering classification and index properties for intact rock”, *University of Illinois, PhD Thesis*, Urbana, Illinois, 1965, (yayımlanmamış)
34. Barton, N.R. and Choubey, V., “The shear strength of rock joints in theory and practice”, *Rock Mech.* 10(1-2), 1-54, 1977

35. Palmström A., “A new method to characterize rock masses for applications in rock engineering”, *National annual tunnelling conference*, 1-28, Bergmekanikkdagen, Oslo, 1996
36. Ulusay, R., “Şevlerin duraylılığı ve tasarımı”, *Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Vakfı Kurs Notu*, s.179, Ankara, 2002
37. Barton, N. R., “Review of a new shear strength criterion for rock joints”, *Engineering Geology*, 7, 287-332, 1973
38. Barton, N. R., “The shear strength of rock and rock joints”, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics*, Abstracts,13 (9), 255-279, 1976
39. Bell, F. G., “Engineering Geology”, *Butterworth-Heinemann*, 2nd Edition, s. 581, Amsterdam, Hollanda, 2007
40. ISRM (International Society For Rock Mechanics), 2007. “The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 1974-2006. Suggested Methods”, Editörleri, R. Ulusay and J.A. Hudson, s. 628 , Ankara, 2007
41. Deere, D. U. and Miller, RP. “Engineering classification and index properties for intact rocks, Report no., AFNL-TR”, *Air Force Weapons Lab*, 65-116, New Mexico, 1966
42. Alejano, L. R., Gonzalez, J. and Muralha, J.” Comparison of different techniques of tilt testing and basic friction angle variability assessment”, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 45, 1023–1035, 2012
43. Stimpson B., “A suggested technique for determining the basic friction angle of rock surfaces using core”, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics*, Abstracts 18, 63–65, 1981
44. Ulusay, R., “Uygulamalı jeoteknik bilgiler”, *Türkiye Jeoloji Mühendisleri Odası Yayını*, 38, s. 458, Ankara, 2010
45. Dorren, L. K. A., Berger, F., Putters, U. S., “Real-size experiment sand 3-Dsimulation of rock fall on forested and non-forested slopes”, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 6, 145–53, 2006
46. Evans, S. G., Hungr, O., “The assessment of rockfall hazard at the base of talus slopes”, *Canadian Geotechnical Journal*, 30, 620-636, 1993

47. Robotham, M. E., Wang, H., and Walton, G., "Assessment of risk from rockfall from active and abandoned quarry slopes", *I.M.M., Section A*, 104, 25–33, 1995
48. Budetta, P. and Santo, A., "Morphostructural evolution and related kinematics of rockfalls in Campania (southern Italy): a case study", *Engineering Geology*, 36, 197–210, 1994
49. Bozzolo, D., Pamini, R., "Simulation of rock falls down a valley side", *Acta Mechanica*, 63, 113-130, 1986
50. Kobayashi, Y., Harp, E. L., Kagawa, T., "Simulation of rockfalls triggered by earthquakes", *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 23, 1-20, 1990
51. Chau K. T., Wong, R. H. C., Wu, J. J., "Coefficient of restitution and rotational motions of rock fall impacts" *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 39, 69–77, 2002
52. Seymen, İ., "Karaman (Kırşehir) dolayında Kırşehir Masifinin stratigrafisi ve metamorfizması", *TJK Bülteni*, 24 (2), 101-108, 1981
53. Batman, B., "Haymana kuzeyinin jeolojik evrimi ve yöredeki melanjin incelenmesi – I. Stratigrafi Birimleri", *Yerbilimleri*, 4 (1-2), 95-124, 1978
54. Atabey, E., "MTA 1/100.000 ölçekli açın-sama nitelikli Türkiye jeoloji haritaları serisi, Aksaray H18 (K32) paftası", *MTA Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara*, 1989
55. Atabey, E., Tarhan, N., Papak, İ., Akarsu, B. ve Taşkıran, A., "Ortaköy, Tuzköy (Nevşehir) – Kesikköprü (Kırşehir) yöresinin jeolojisi", *MTA Rapor No 8156, Ankara (Yayınlanmamış)*, 1987
56. Atabey, E., "MTA 1/100.000 ölçekli açın-sama nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Aksaray H19 (K33) Paftası" *MTA Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara*, 1989
57. Evert, H. and Bray, J., "Rock slope engineering", *Institution of Mining and Metallurgy*, s. 402, Londra, 1977

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Halit ŞARALDI 1966 yılında Adıyaman'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Adıyaman'da tamamladı. 1984 yılında kazandığı Orta Doğu Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünden 1992 yılında mezun oldu. Aynı yıl, Milli Eğitim Bakanlığında İngilizce Öğretmeni olarak göreve başladı. 1996 yılında Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü 20. Bölge Müdürlüğü Adıyaman Şubesinde Jeoloji Mühendisi olarak çalışmaya başladı. Halen aynı kurumda Jeoteknik Kontrol Mühendisi olarak görevine devam etmektedir. 2012 yılında Nevşehir Üniversitesi Jeoloji Mühendisliğinde yüksek lisans programına kabul edildi. 2015 Ocak ayında yüksek lisansını tamamladı. İyi derecede İngilizce bilen Mehmet Halit ŞARALDI, evli ve üç çocuk babasıdır.

EKLER

EK-1: Laboratuvar deney sonuçları

EK-2: Kaya düşmesi simülasyon sonuçları

EK-3: Kaya düşmesi simülasyon sonuç grafikleri

EK-4: Kinematik Analiz sonuçları

EK: 1 Laboratuvar Deney Sonuçları

YOĞUNLUK VE BİRİM HACİM AĞIRLIK DENEYİ

Proje	NEÜBAP13F12
Lokasyon	Tatların/Acıgöl
Yöntem	ISRM (1981)
Tarih	22.7.2014
Deneyi Yapan	İsmail DİNÇER

ORTALAMA			
Yoğunluk	ρ	2,22	gr/cm ³
Yoğunluk	ρ	2217,91	kg/m ³
Yoğunluk	ρ	2,22	ton/m ³
Birim Hacim Ağırlık	γ	21,74	kN/m ³

No	Numune Derinliği (m)	Numunenin Tanımlaması	KAROT				Yoğunluk		Birim Hacim Ağırlık γ kN/m ³
			Çap D (mm)	Uzunluk L (mm)	Hacim V (cm ³)	Ağırlık W (gr)	ρ gr/cm ³	ρ kg/m ³	
TB-01	Kaya yüzeyi	Koyu gri boşluklu bazalt	54,00	107,00	245,05	547,81	2,24	2235,47	21,92
TB-02	Kaya yüzeyi	Koyu gri boşluklu bazalt	54,00	107,70	246,66	540,03	2,19	2189,40	21,46
TB-03	Kaya yüzeyi	Koyu gri boşluklu bazalt	54,00	110,60	253,30	561,58	2,22	2217,07	21,74
TB-04	Kaya yüzeyi	Koyu gri boşluklu bazalt	54,00	111,60	255,59	565,98	2,21	2214,42	21,71
TB-05	Kaya yüzeyi	Koyu gri boşluklu bazalt	54,00	111,75	255,93	571,55	2,23	2233,21	21,89

YOĞUNLUK VE BİRİM HACİM AĞIRLIK DENEYİ

Proje	NEÜBAP13F12
Lokasyon	Tatların/Acıgöl
Yöntem	ISRM (1981)
Tarih	22.7.2014
Deneyi Yapan	İsmail DİNÇER

ORTALAMA			
Yoğunluk	ρ	2,56	gr/cm ³
Yoğunluk	ρ	2560,88	kg/m ³
Yoğunluk	ρ	2,56	ton/m ³
Birim Hacim Ağırlık	γ	25,11	kN/m ³

No	Numune Derinliği (m)	Numunenin Tanımlaması	KAROT				Yoğunluk		Birim Hacim Ağırlık γ kN/m ³
			Çap D (mm)	Uzunluk L (mm)	Hacim V (cm ³)	Ağırlık W (gr)	ρ gr/cm ³	ρ kg/m ³	
TOB-01	Kaya yüzeyi	Koyu gri az boşluklu bazalt	54,00	108,30	248,03	638,32	2,57	2573,55	25,23
TOB-02	Kaya yüzeyi	Koyu gri az boşluklu bazalt	54,00	108,20	247,80	638,88	2,58	2578,19	25,28
TOB-03	Kaya yüzeyi	Koyu gri az boşluklu bazalt	54,00	112,00	256,50	658,20	2,57	2566,03	25,16
TOB-04	Kaya yüzeyi	Koyu gri az boşluklu bazalt	54,00	111,20	254,67	645,68	2,54	2535,33	24,86
TOB-05	Kaya yüzeyi	Koyu gri az boşluklu bazalt	54,00	110,40	252,84	645,07	2,55	2551,29	25,01

SCHMIDT SERTLİK DENEYİ

Proje	NEÜBAP13F12	Açıklama: deneyler arazide süreksizlik yüzeylerinde yapılmıştır.	Tarih	21.5.2013
Yöntem	ISRM (1981)		Deneyi Yapan	İsmail DİNÇER

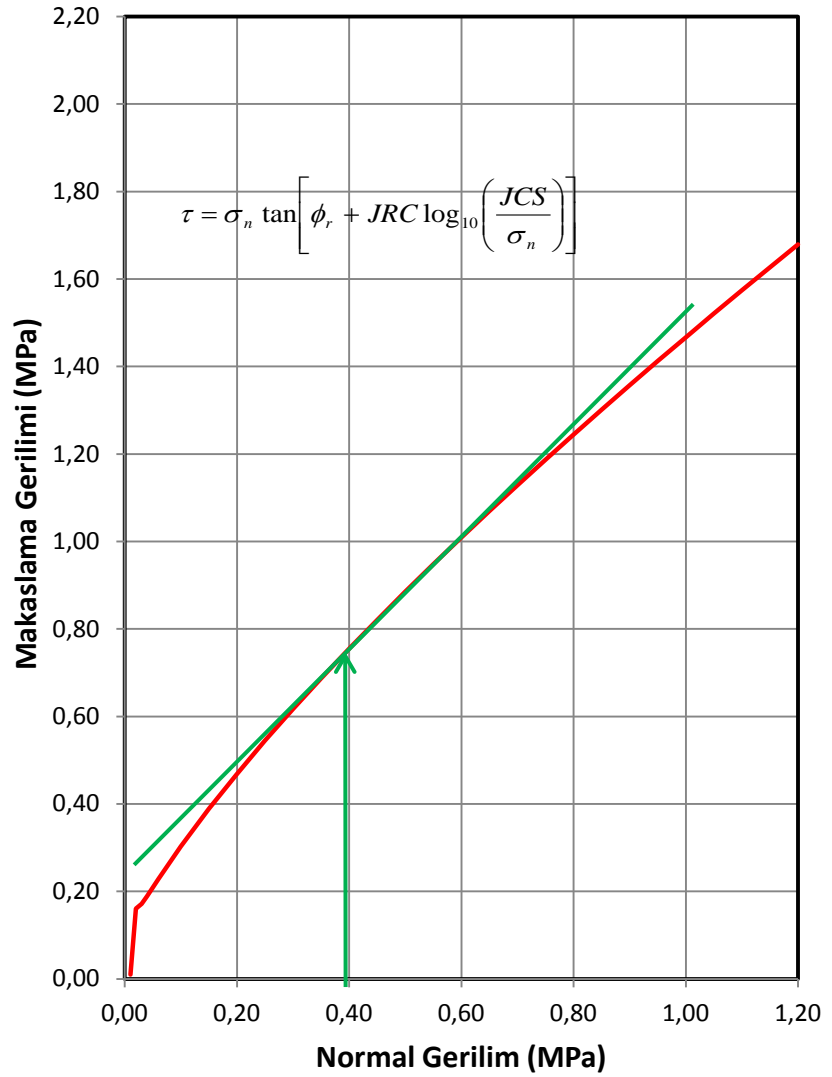
No	Numune Derinliği (m)	Lokasyon	Çekicinin Konumu	Geri Sıçrama Sertlik Değerleri (N)																				Ortalama N	Kayaç Tanımı		
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20				
LOK-1	Kaya Yüzeyi		↓	44,0	54,0	32,0	32,0	31,0	22,0	33,0	40,0	34,0	41,0	44,0	40,0	48,0	24,0	48,0	51,0	46,0	33,0	36,0	49,0	46,50	BAZALT		
LOK-2	Kaya Yüzeyi		↓	28,0	58,0	46,0	62,0	46,0	62,0	45,0	56,0	57,0	44,0	50,0	60,0	22,0	42,0	48,0	22,0	51,0	47,0	43,0	31,0	55,10	BAZALT		
LOK-3	Kaya Yüzeyi		↓	34,0	48,0	49,0	26,0	24,0	36,0	49,0	42,0	60,0	46,0	54,0	38,0	49,0	61,0	50,0	35,0	42,0	31,0	46,0	51,0	51,30	BAZALT		
LOK-4	Kaya Yüzeyi		↓	20,0	23,0	34,0	42,0	60,0	38,0	48,0	24,0	45,0	18,0	34,0	52,0	38,0	41,0	44,0	46,0	54,0	44,0	52,0	49,0	49,40	BAZALT		
LOK-5	Kaya Yüzeyi		↓	47,0	50,0	46,0	41,0	46,0	52,0	57,0	39,0	40,0	43,0	39,0	44,0	42,0	46,0	41,0	37,0	57,0	50,0	48,0	44,0	49,70	BAZALT		
LOK-6	Kaya Yüzeyi		↓	22,0	23,0	22,0	20,0	26,0	26,0	23,0	23,0	18,0	20,0	19,0	18,0	16,0	18,0	18,0	18,0	22,0	30,0	23,0	33,0	24,10	TÜF		
LOK-7	Kaya Yüzeyi		↓	24,0	22,0	28,0	19,0	22,0	20,0	24,0	23,0	18,0	20,0	14,0	17,0	10,0	21,0	18,0	16,0	19,0	17,0	12,0	16,0	22,30	TÜF		
LOK-8	Kaya Yüzeyi		↓	15,0	15,0	18,0	19,0	17,0	16,0	17,0	18,0	16,0	18,0	19,0	20,0	18,0	16,0	19,0	20,0	21,0	18,0	22,0	15,0	19,30	TÜF		
																								ORTALAMA N DEĞERİ (BAZALT)	50,40		
																									ORTALAMA N DEĞERİ (TÜF)	21,90	

Süreksizliklerin Makaslama Dayanımı (Barton ve Choubey, 1977)

Proje:	: NEÜBAP13F12	Temel Sürtünme Açısı(ϕ_b)	: 28,30
Lokasyon:	: BM-01	Artık Sürtünme Açısı (ϕ_r)	: 26,40
Tarih:	: 7.7.2014	Süreksizlik Yüzey Dayanımı (JCS)	: 68,00
		Süreksizlik Pürüzlülük Katsayısı (JCR)	: 16,00

Kayaç Tanımı: Koyu gri-sihay renkli bol gaz boşluklu genelde düşey, dogusuz süreksizlikler içermektedir.

Normal Gerilme (Mpa)	Makaslama Gerilmesi (Mpa)
0,01	0,01
0,02	0,16
0,03	0,17
0,04	0,19
0,06	0,23
0,10	0,30
0,15	0,39
0,20	0,47
0,25	0,54
0,30	0,62
0,35	0,69
0,40	0,75
0,45	0,82
0,50	0,88
0,55	0,95
0,60	1,01
0,65	1,07
0,70	1,13
0,75	1,19
0,80	1,24
0,85	1,30
0,90	1,36
0,95	1,41
1,00	1,47
1,05	1,52
1,10	1,57
1,15	1,63
1,20	1,68



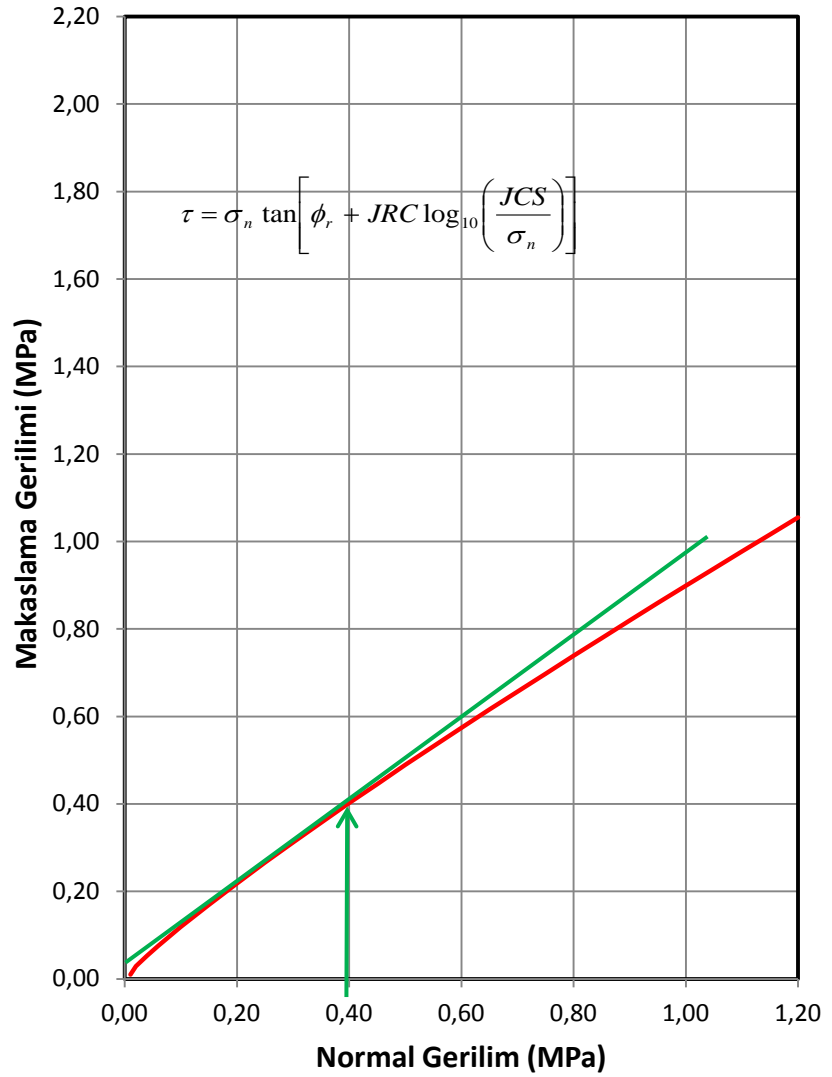
Anlık Kohezyon ve İçsel Sürtünme Açısı:

Süreksizliklerin Makaslama Dayanımı (Barton ve Choubey, 1977)

Proje:	: NEÜBAP13F12	Temel Sürtünme Açısı(ϕ_b)	: 37,91
Lokasyon:	: BM-01	Artık Sürtünme Açısı (ϕ_r)	: 35,19
Tarih:	: 7.7.2014	Süreksizlik Yüzey Dayanımı (JCS)	: 7,00
		Süreksizlik Pürüzlülük Katsayısı (JCR)	: 8,00

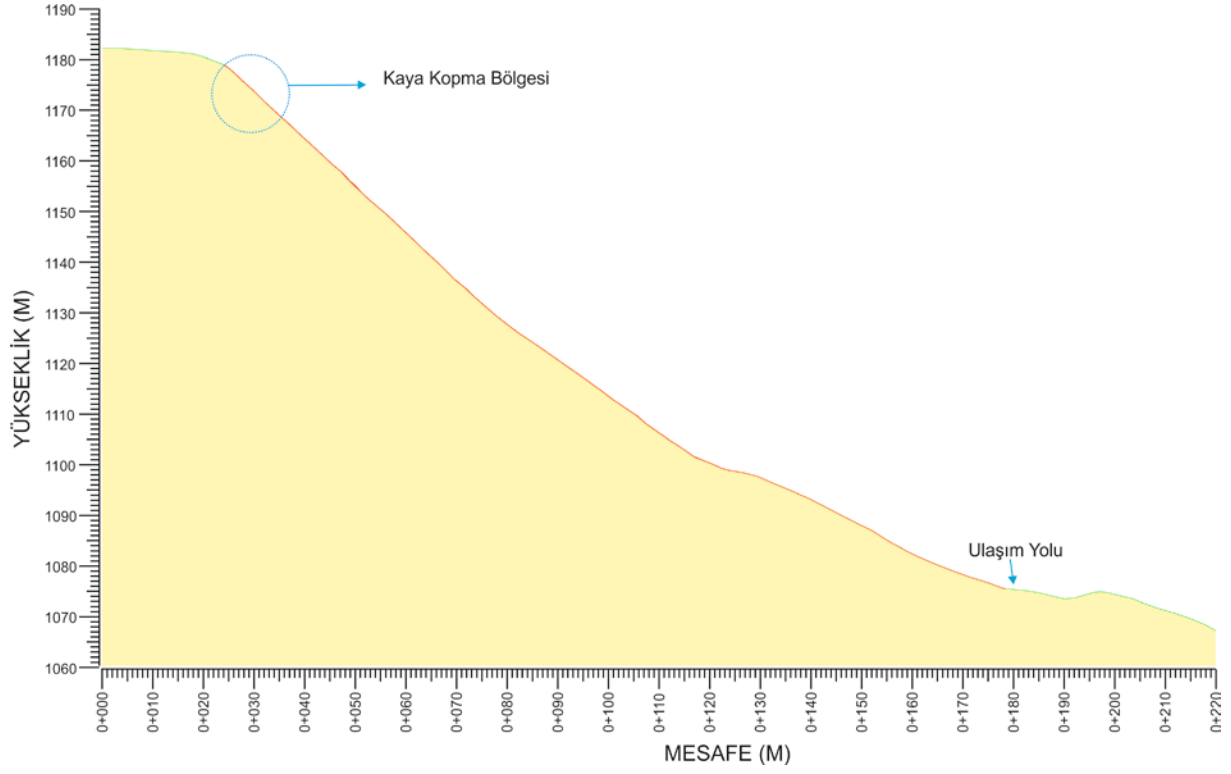
Kayaç Tanımı: Koyu gri-sihay renkli bol gaz boşluklu genelde düşey, dogusuz süreksizlikler içermektedir.

Normal Gerilme (Mpa)	Makaslama Gerilmesi (Mpa)
0,01	0,01
0,02	0,03
0,03	0,04
0,04	0,05
0,06	0,08
0,10	0,12
0,15	0,17
0,20	0,22
0,25	0,27
0,30	0,31
0,35	0,36
0,40	0,40
0,45	0,45
0,50	0,49
0,55	0,53
0,60	0,57
0,65	0,62
0,70	0,66
0,75	0,70
0,80	0,74
0,85	0,78
0,90	0,82
0,95	0,86
1,00	0,90
1,05	0,94
1,10	0,98
1,15	1,02
1,20	1,05

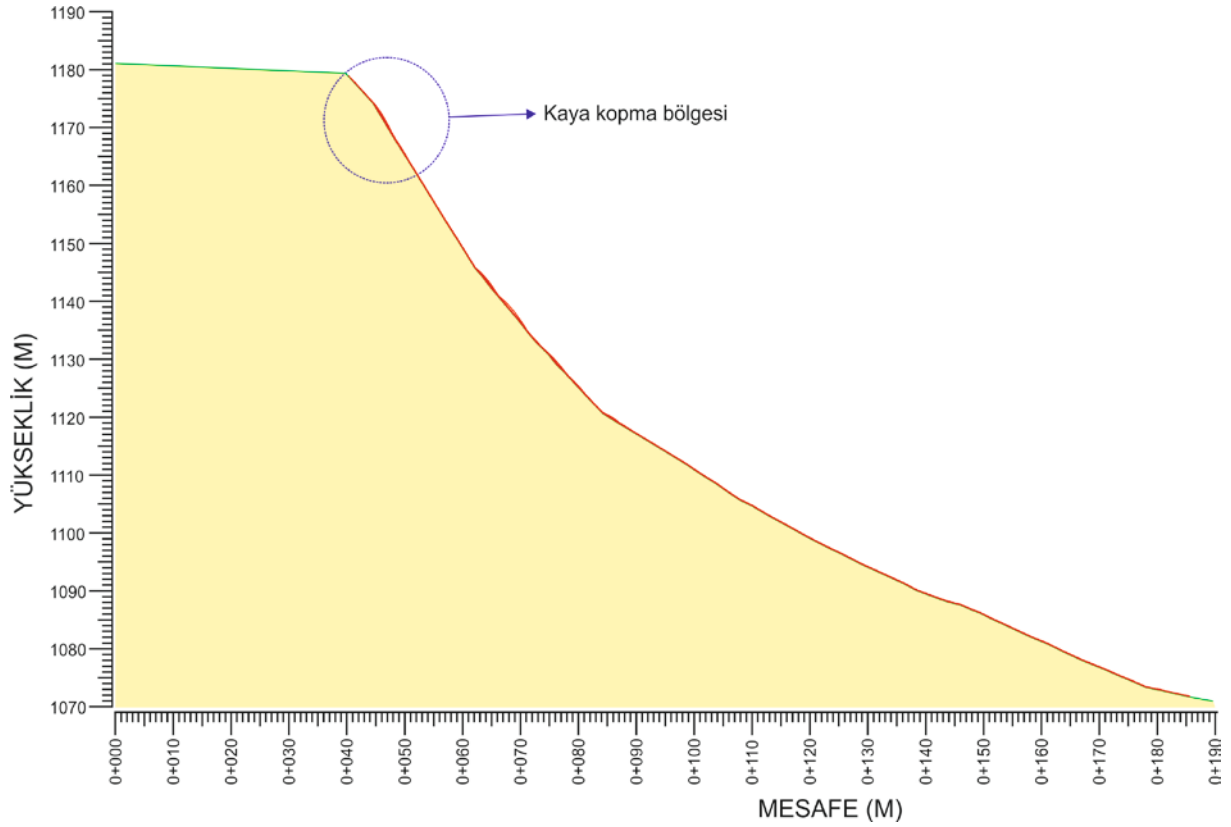


Anlık Kohezyon ve İçsel Sürtünme Açısı:

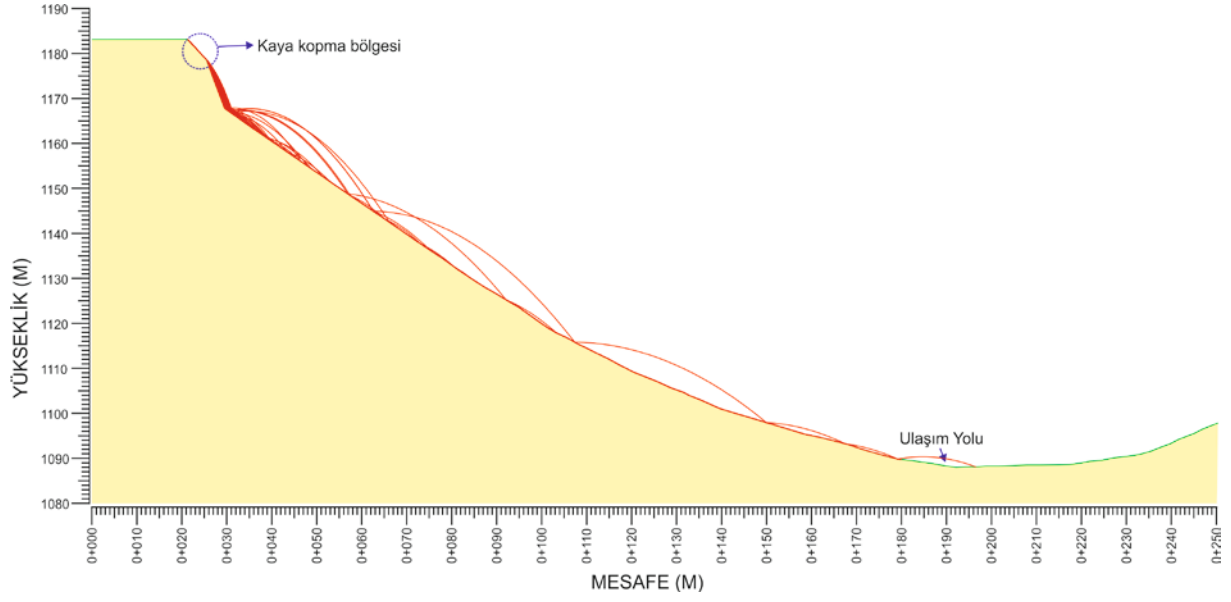
EK-2: Kaya Düşmesi Simülasyonları



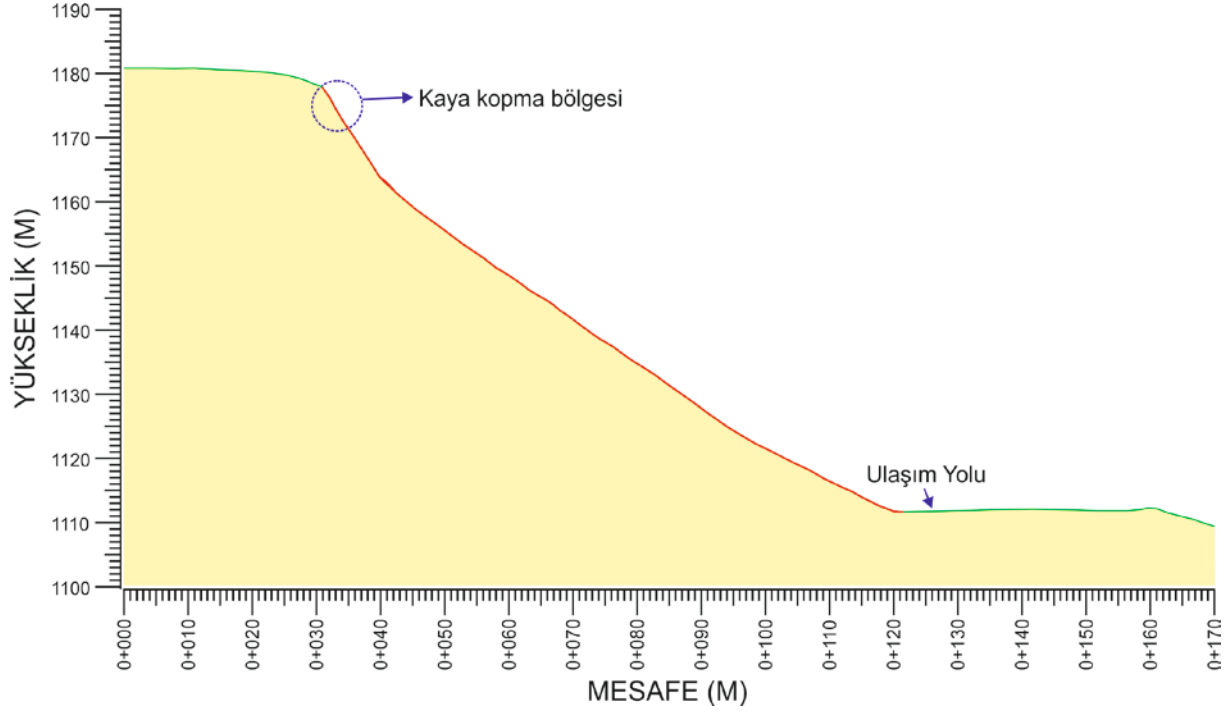
Ek-2A: Kesit 1 için kaya düşmesi simülasyonu



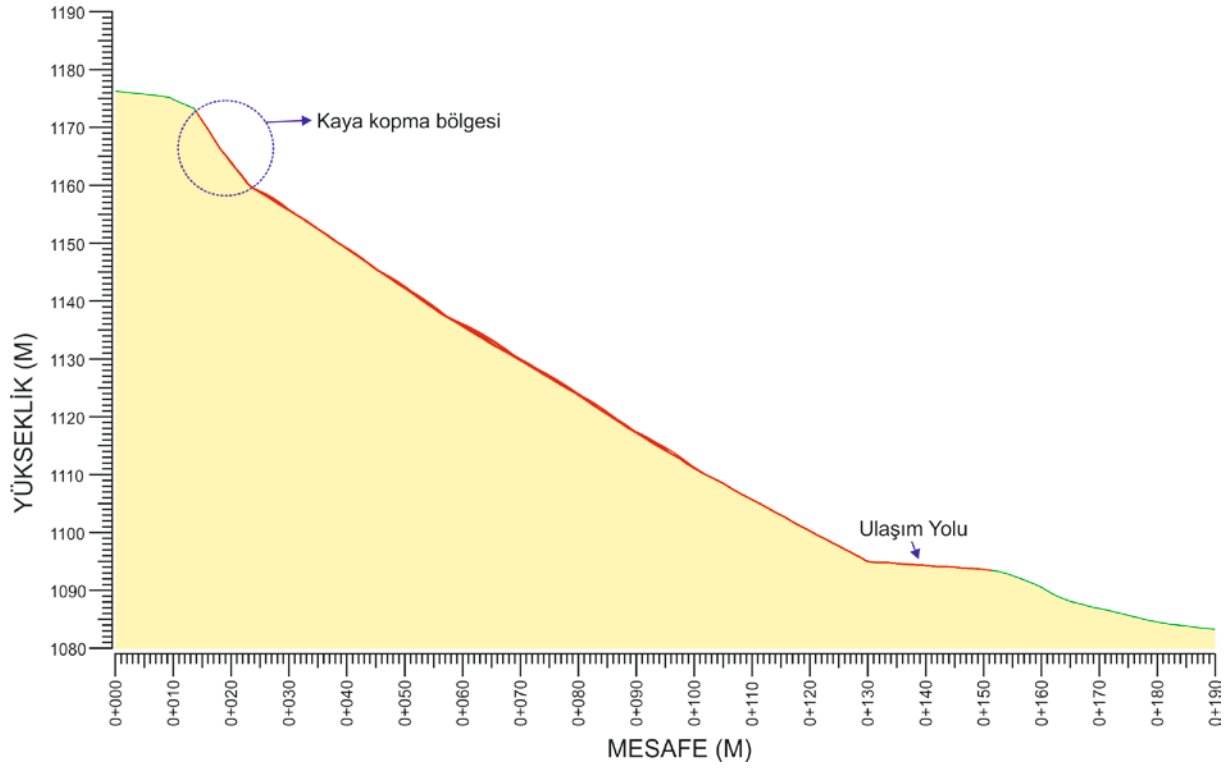
Ek-2B: Kesit 2 için kaya düşmesi simülasyonu



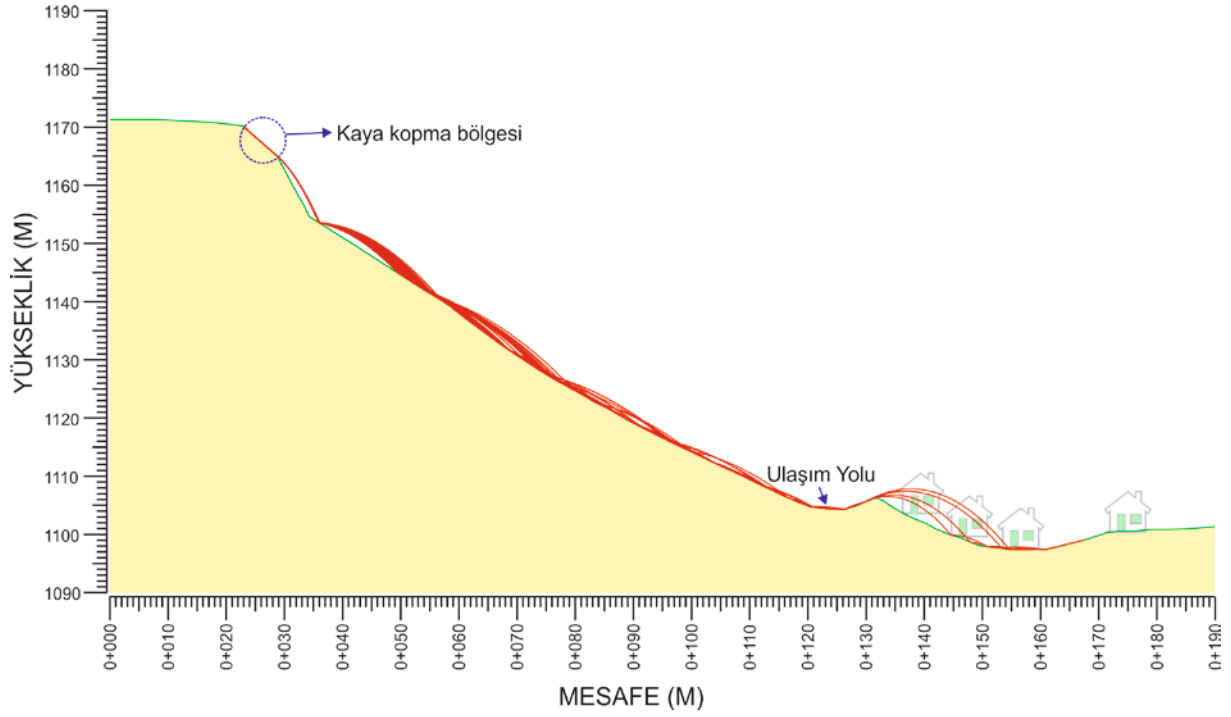
Ek-2C: Kesit 3 için kaya düşmesi simülasyonu



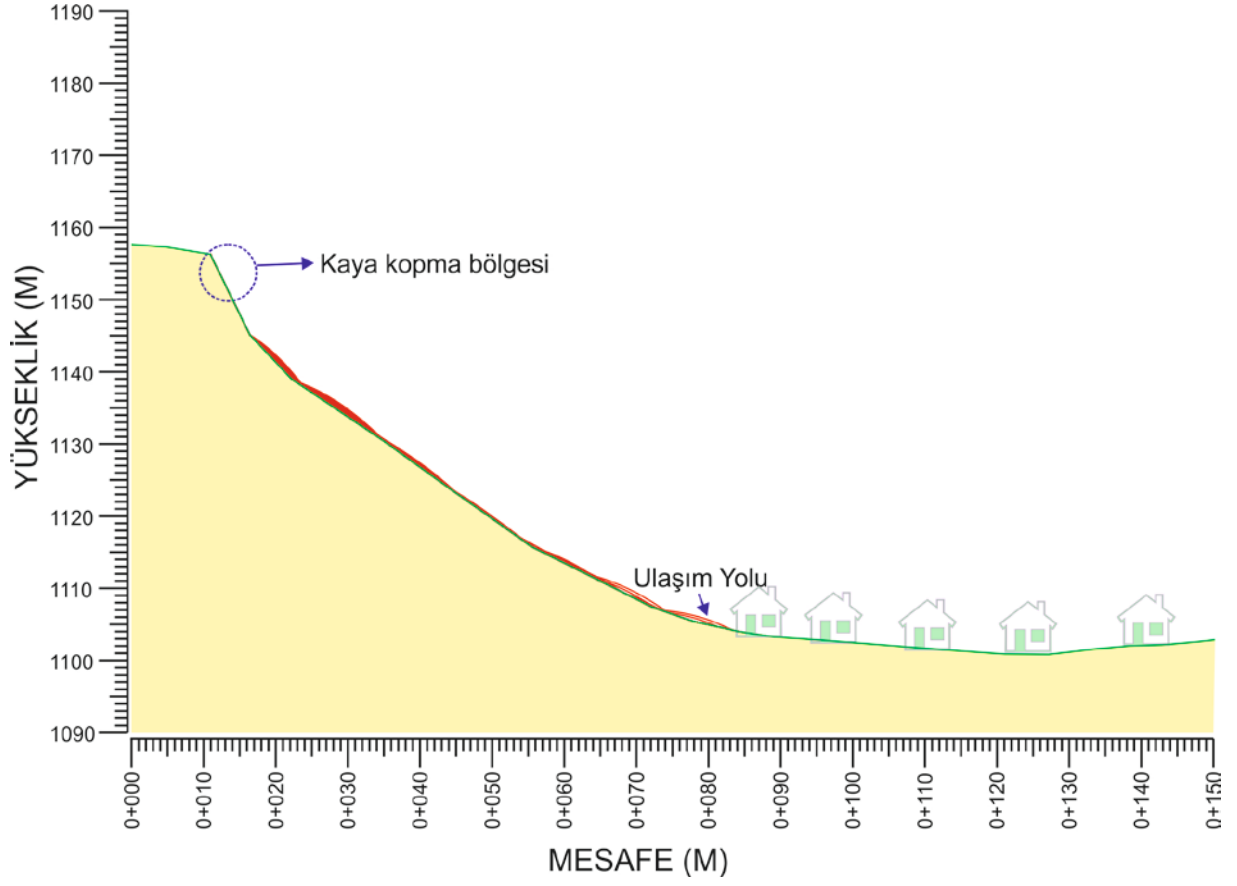
Ek-2D: Kesit 4 için kaya düşmesi simülasyonu



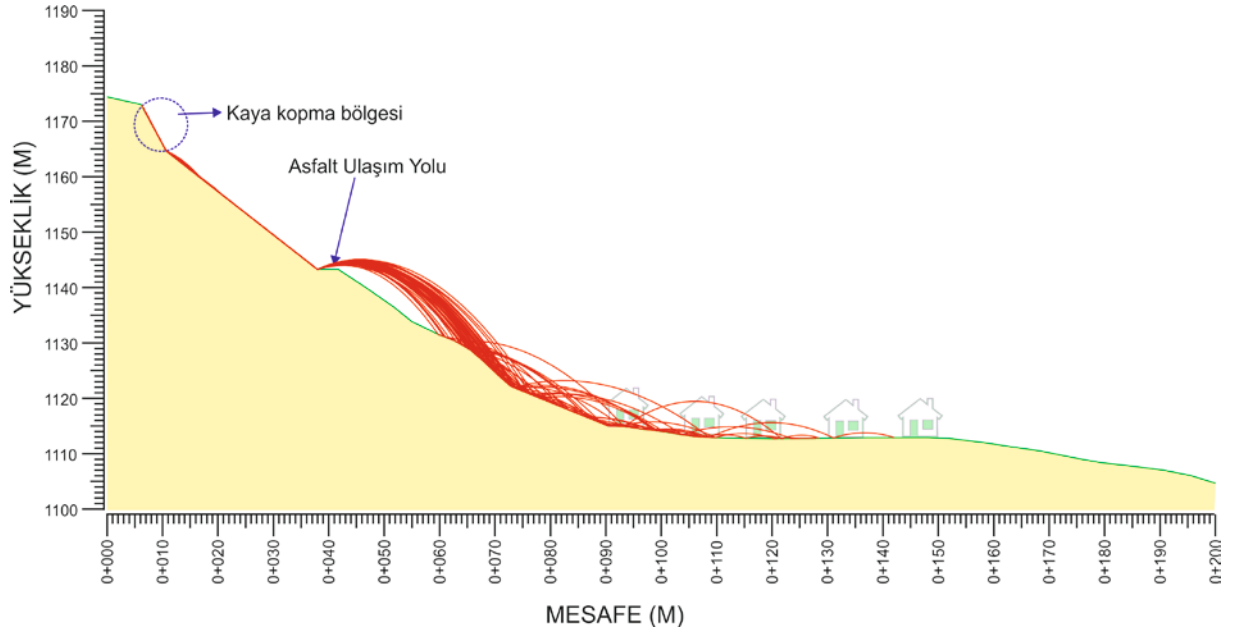
Ek-2E: Kesit 5 için kaya düşmesi simülasyonu



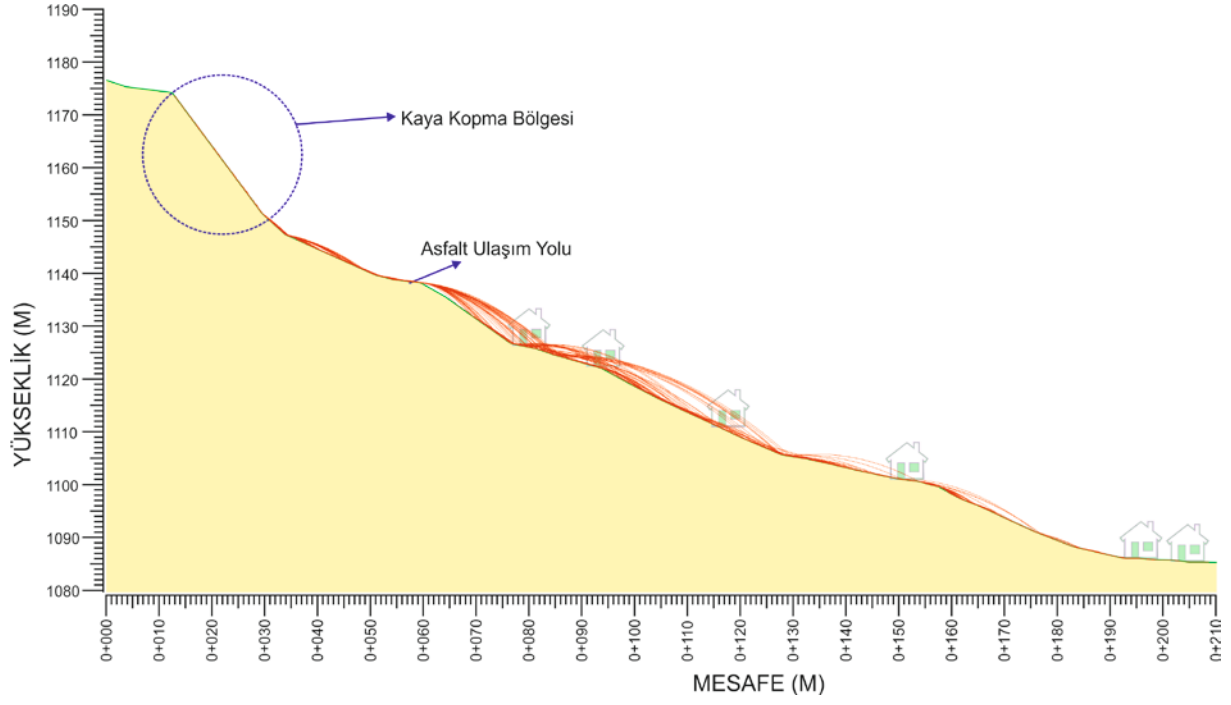
Ek-2F: Kesit 6 için kaya düşmesi simülasyonu



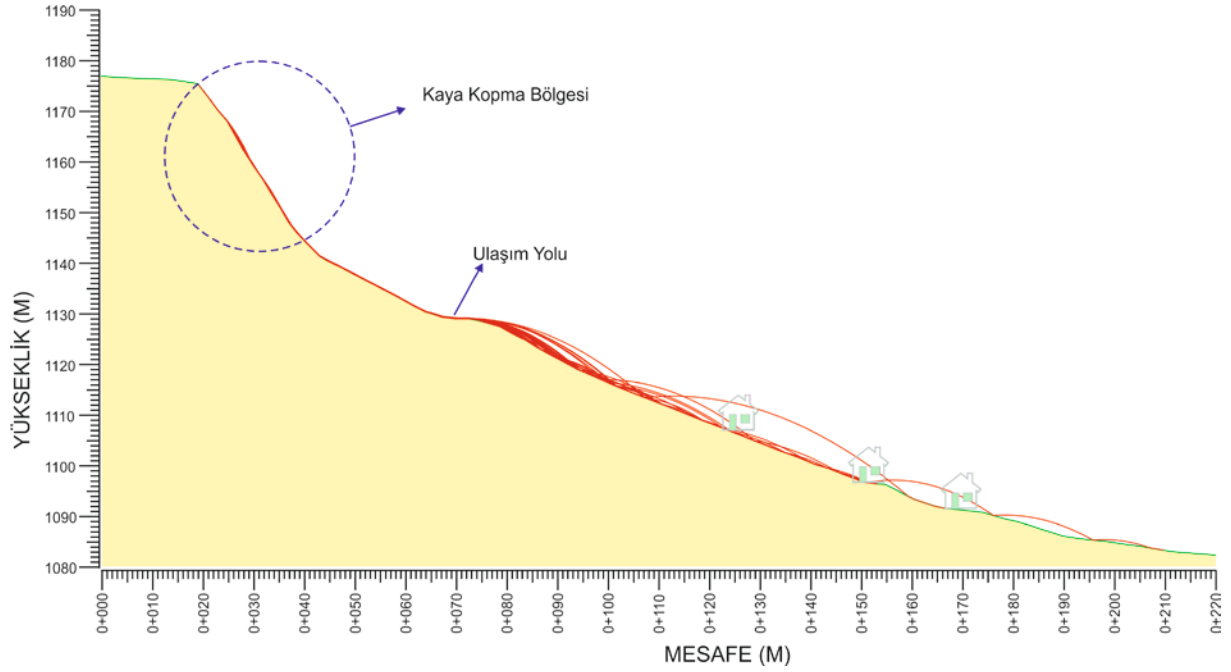
Ek-2G: Kesit 7 için kaya düşmesi simülasyonu



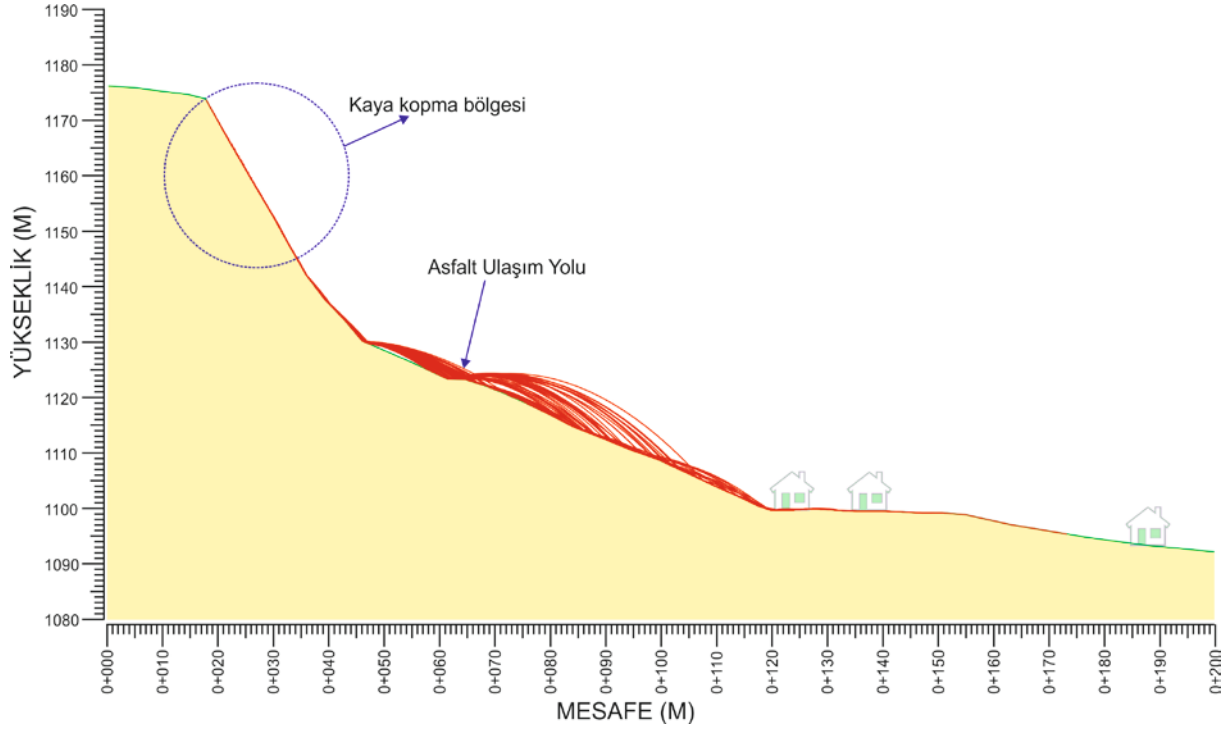
Ek-2H: Kesit 8 için kaya düşmesi simülasyonu



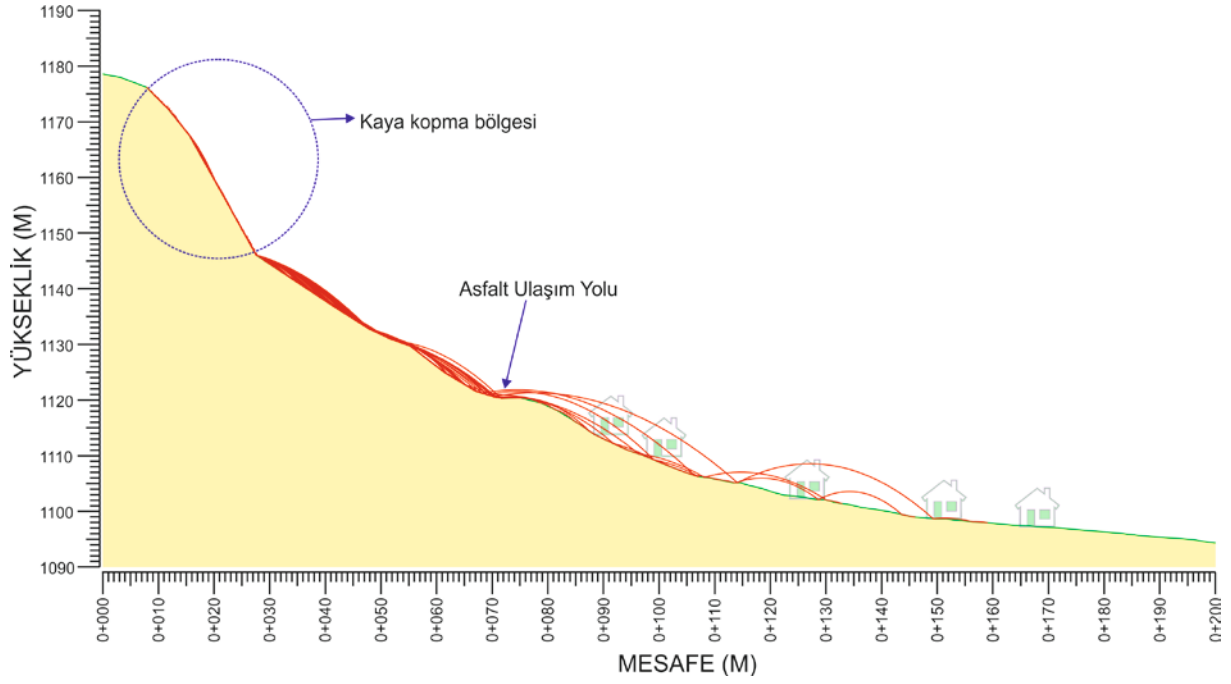
Ek-2I: Kesit 9 için kaya düşmesi simülasyonu



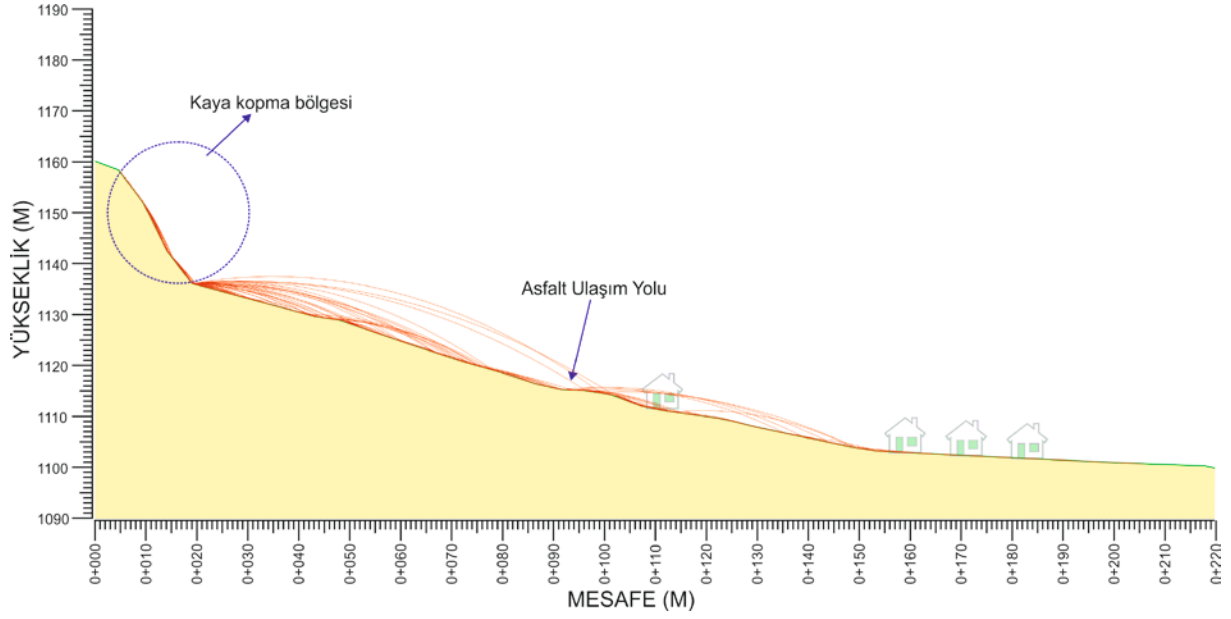
Ek-2K: Kesit 10 için kaya düşmesi simülasyonu



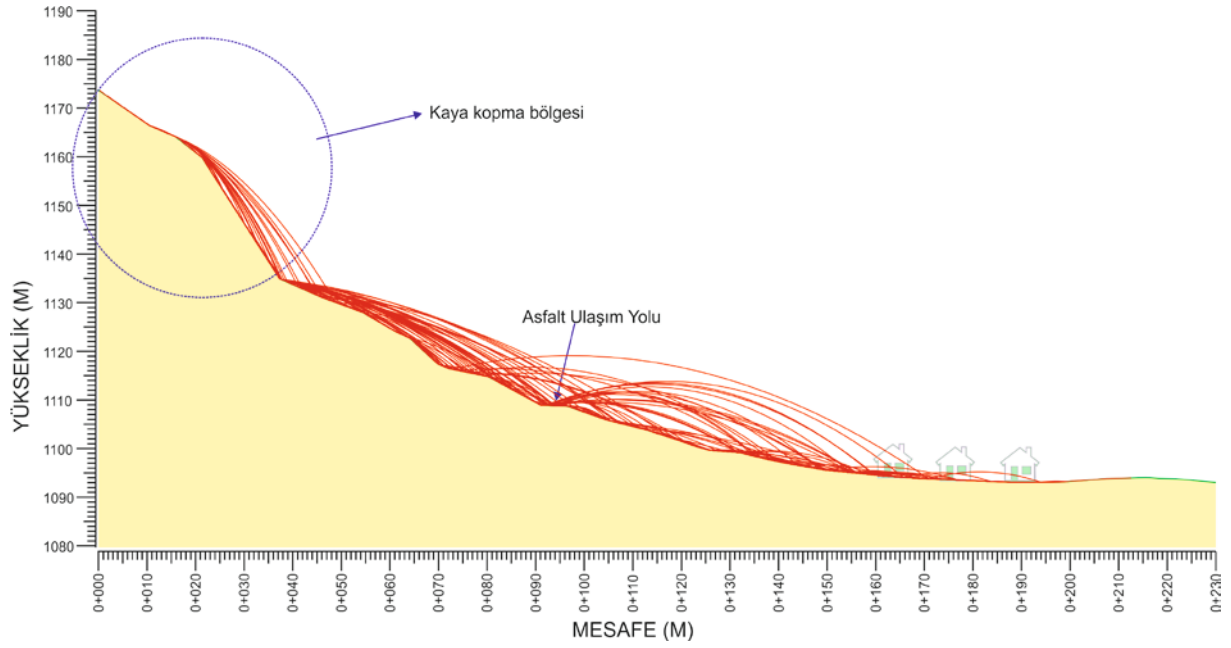
Ek-2L: Kesit 11 için kaya düşmesi simülasyonu



Ek-2M: Kesit 12 için kaya düşmesi simülasyonu

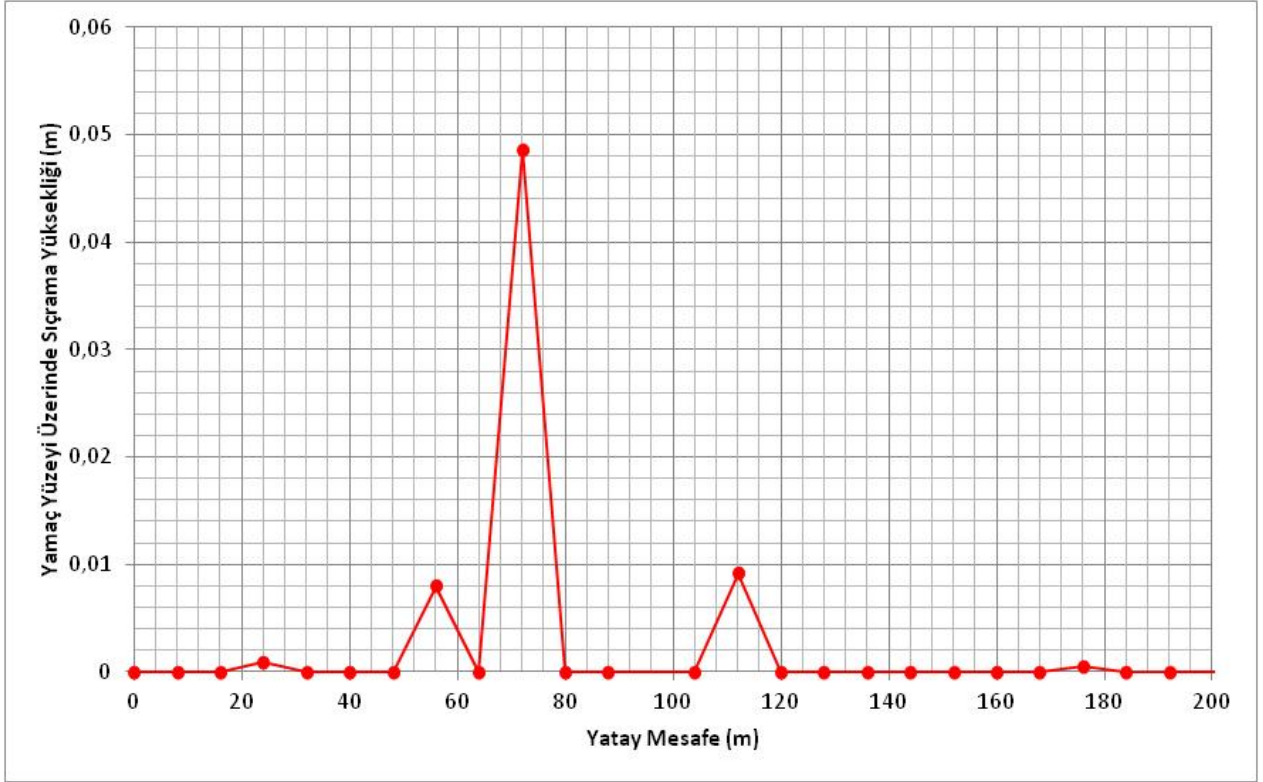


Ek-2N: Kesit 13 için kaya düşmesi simülasyonu

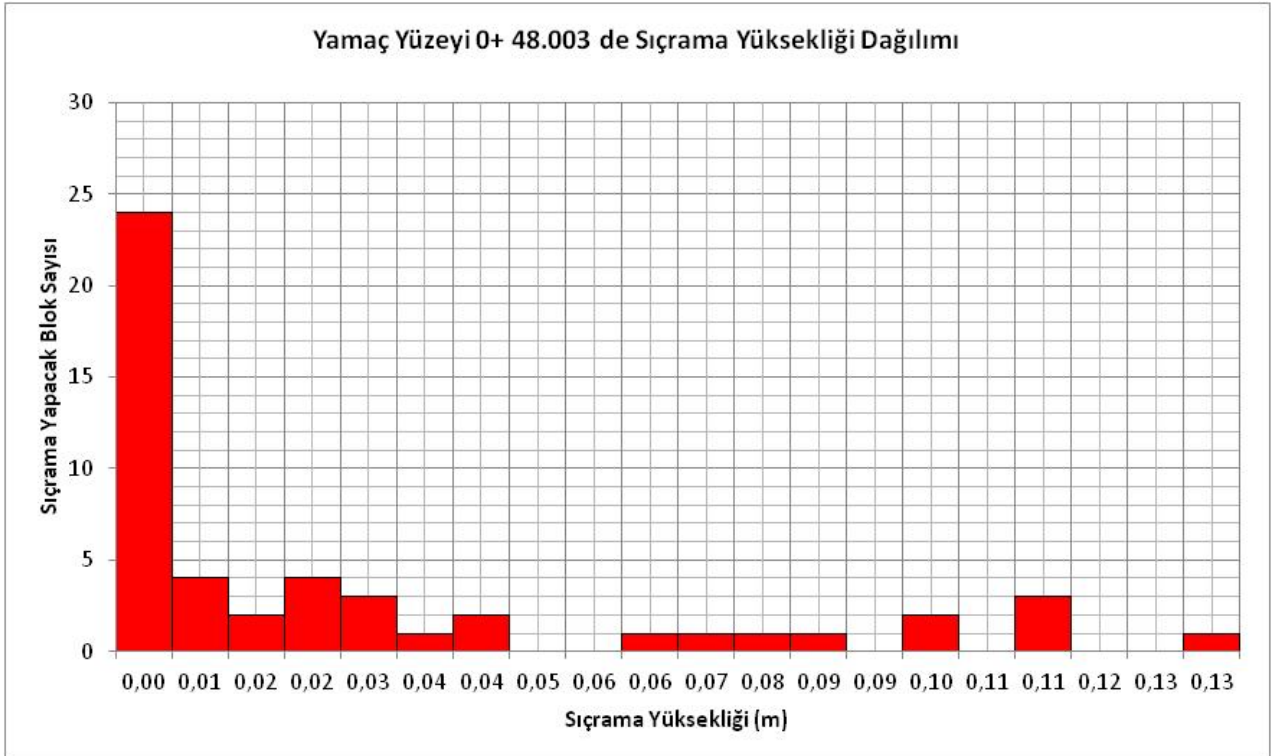


Ek-2O: Kesit 14 için kaya düşmesi simülasyonu

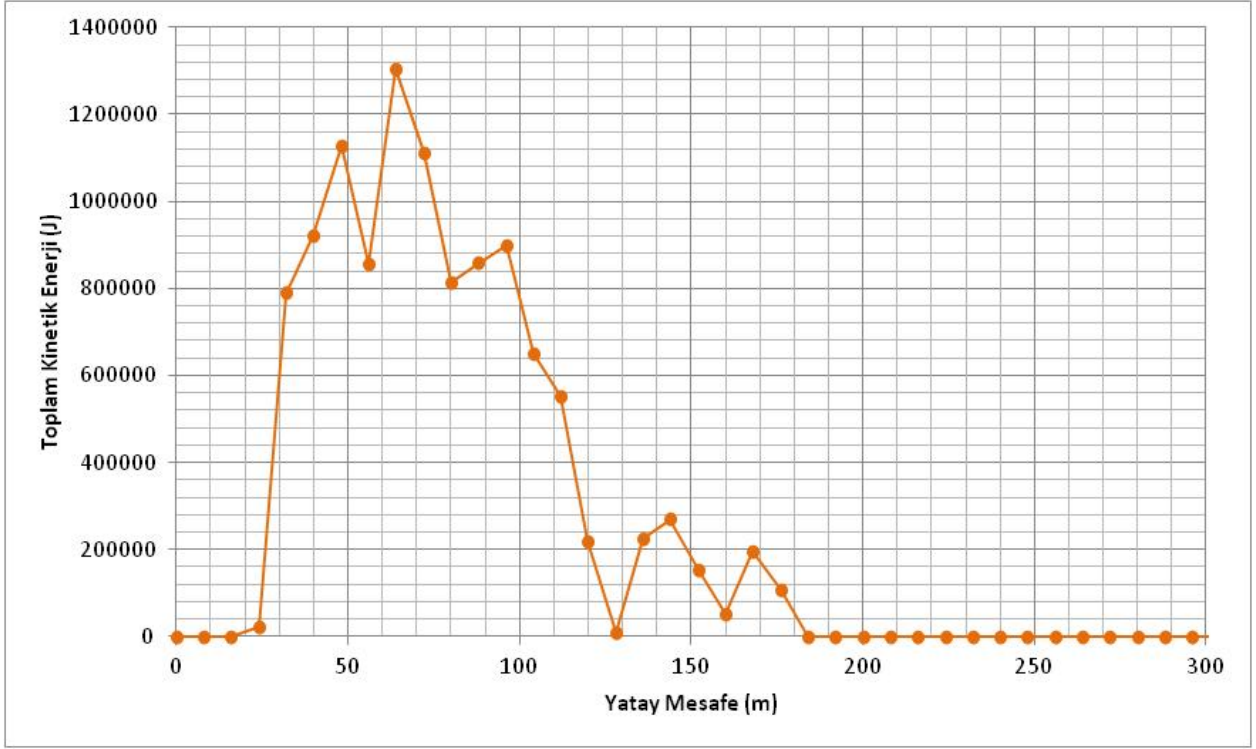
EK 3: Kaya Düşmesi Analiz Sonuç Grafikleri



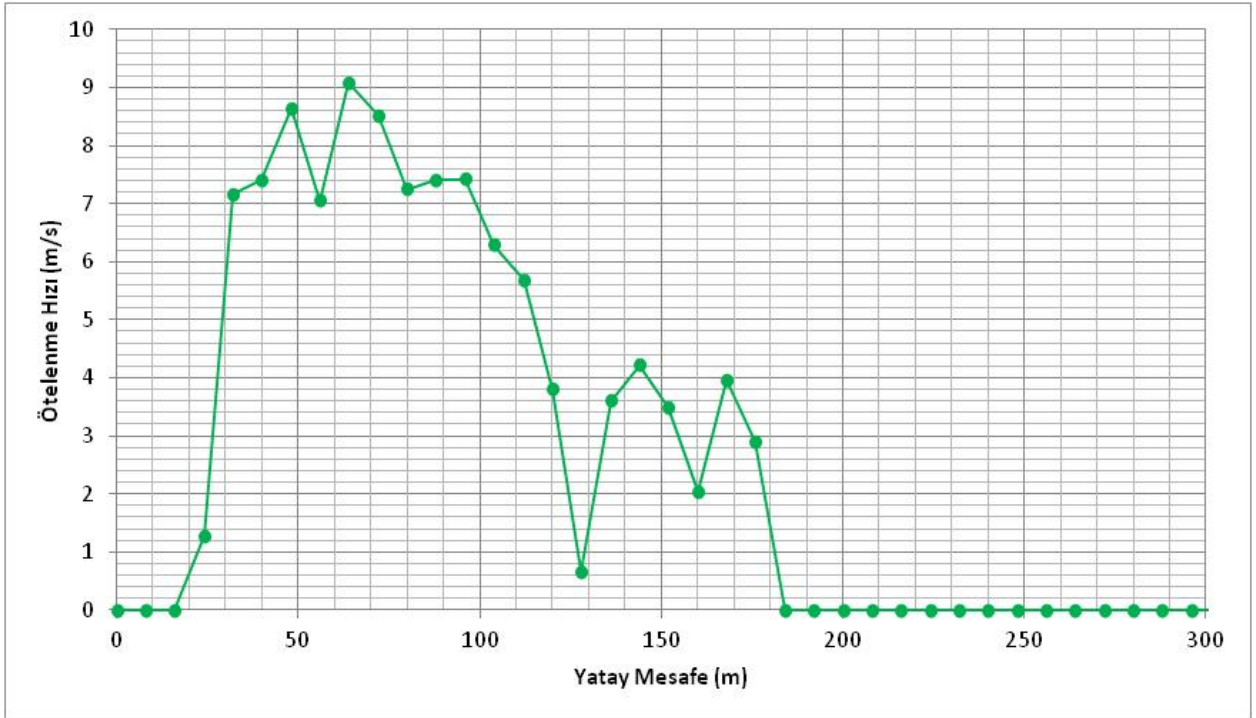
Ek-3A1: Kesit 01 için Şev Yüzeyi Sıçrama Yüksekliği grafiği



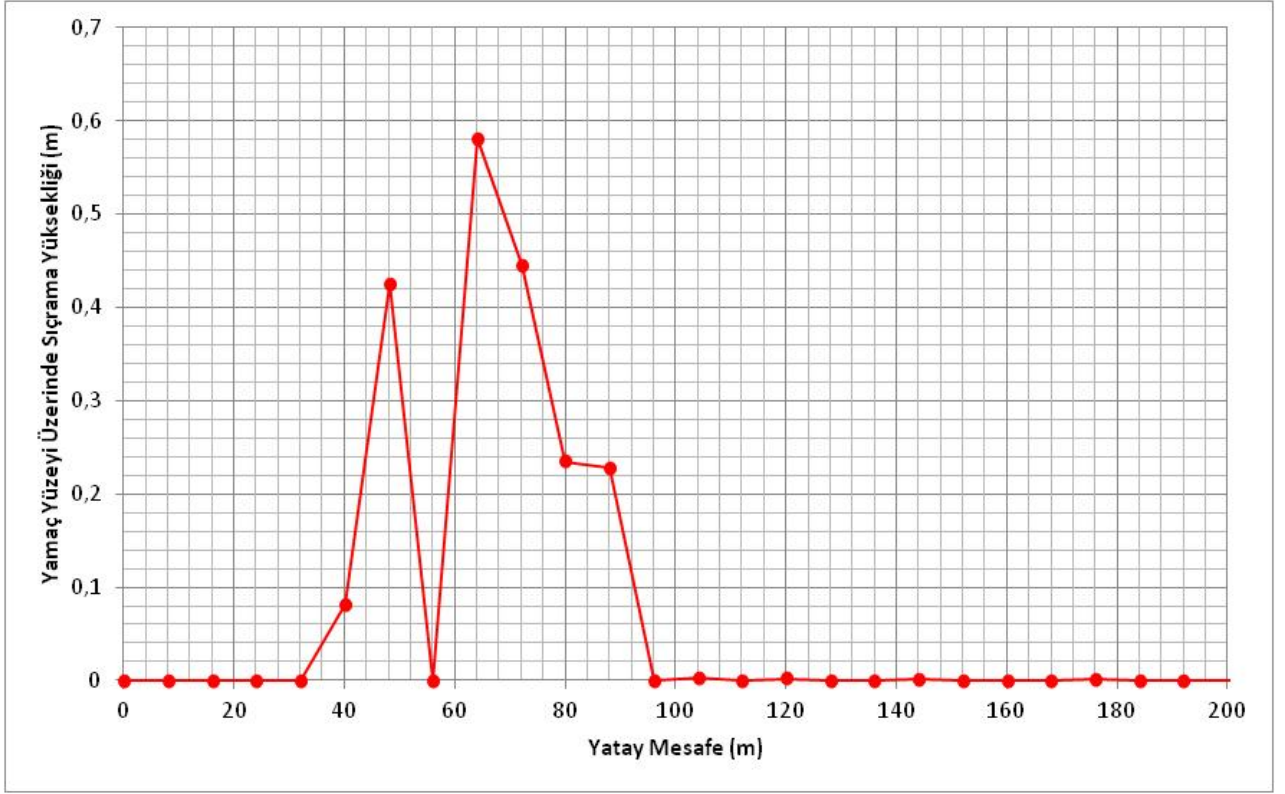
Ek-3A2: Kesit 01 0+48.003 de sıçrama yüksekliği dağılım grafiği



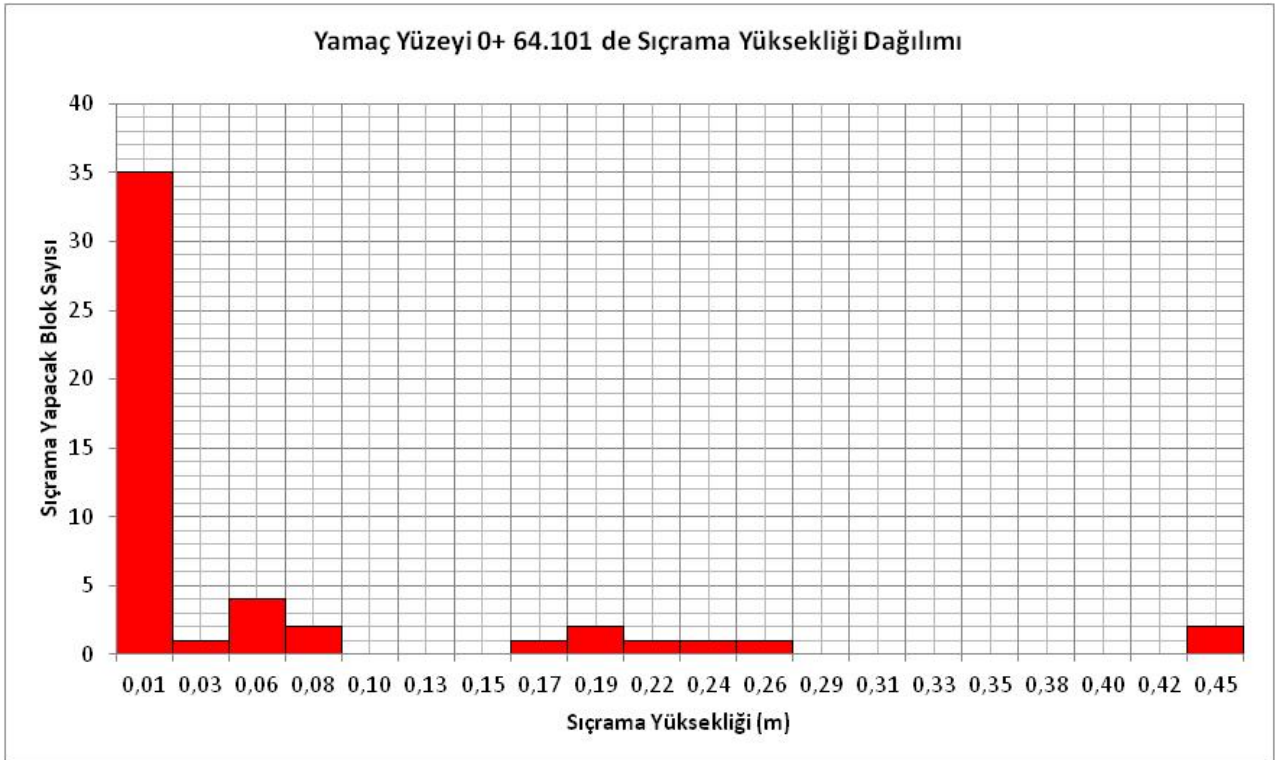
Ek-3A3: Kesit 01 Şev yüzeyi toplam kinetik enerji grafiği



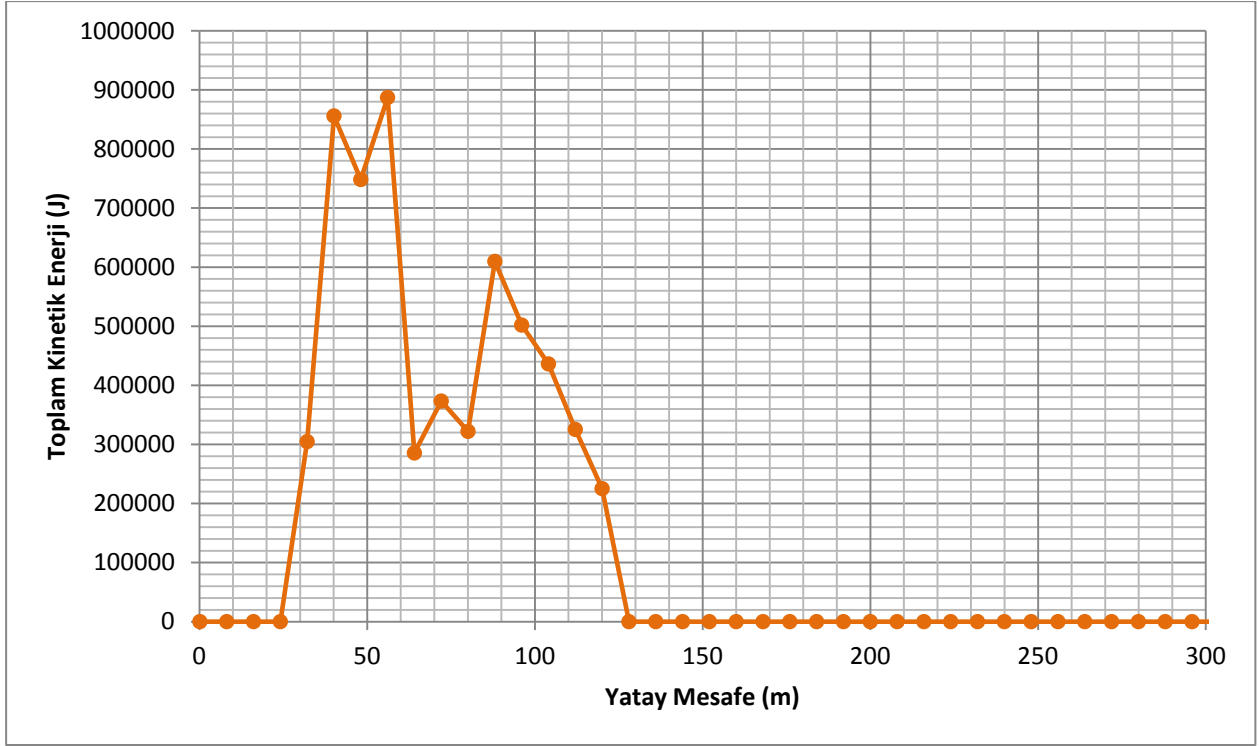
Ek-3A4: Kesit 01 Şev Yüzeyi ötelenme hızı grafiği



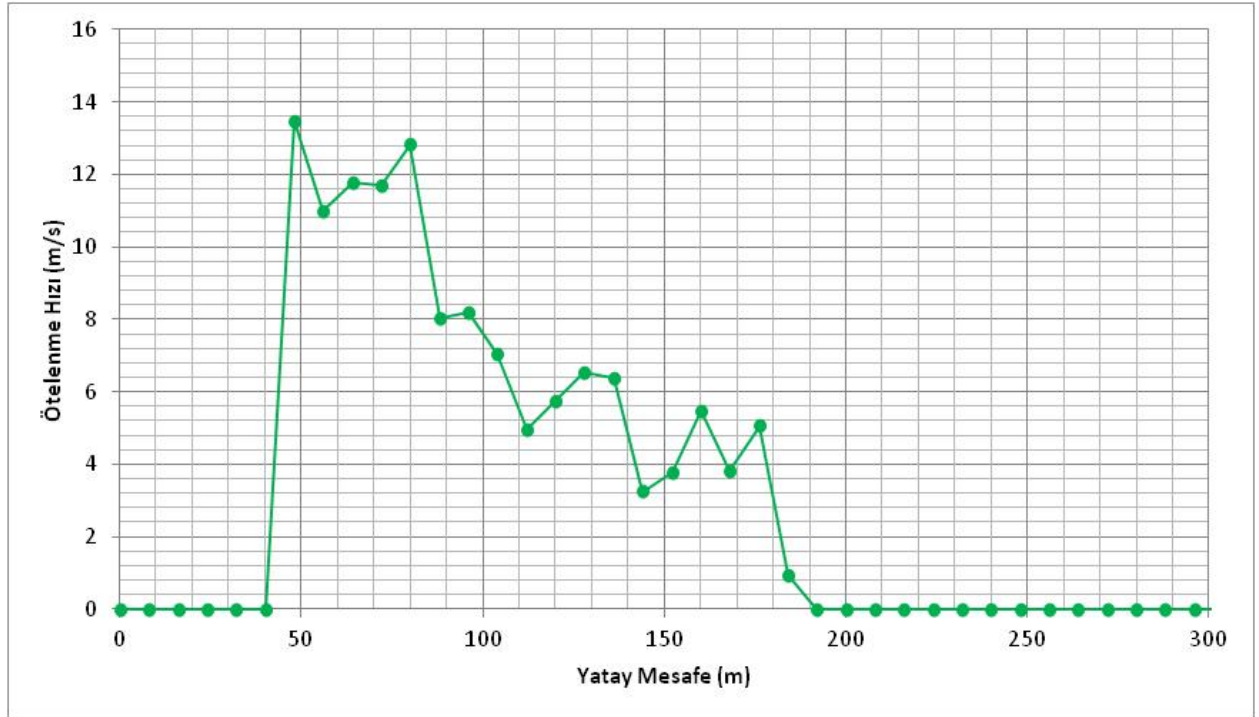
Ek-3B1: Kesit O2 Şev Yüzeği Sıçrama Yüksekliği grafiği



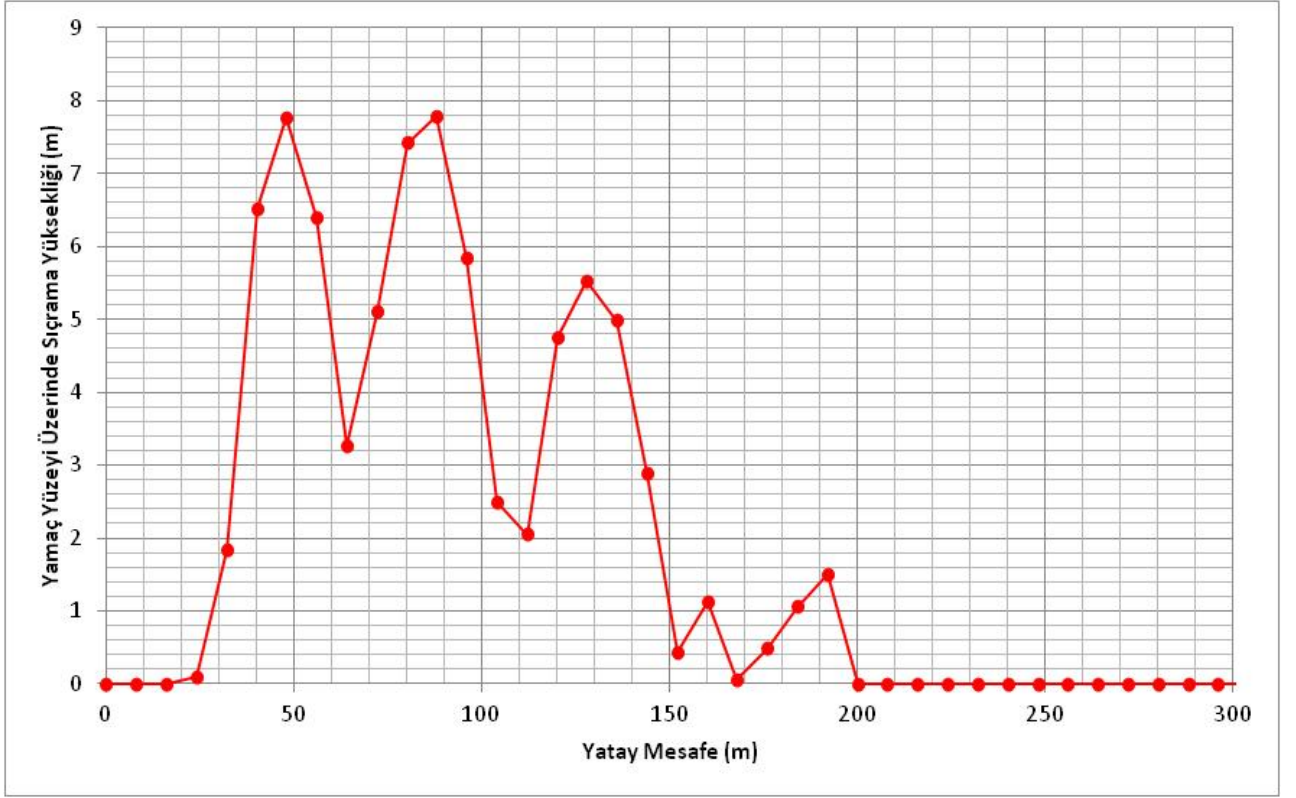
Ek-3B2: Kesit O2 0+64.101 de sıçrama yüksekliği dağılım grafiği



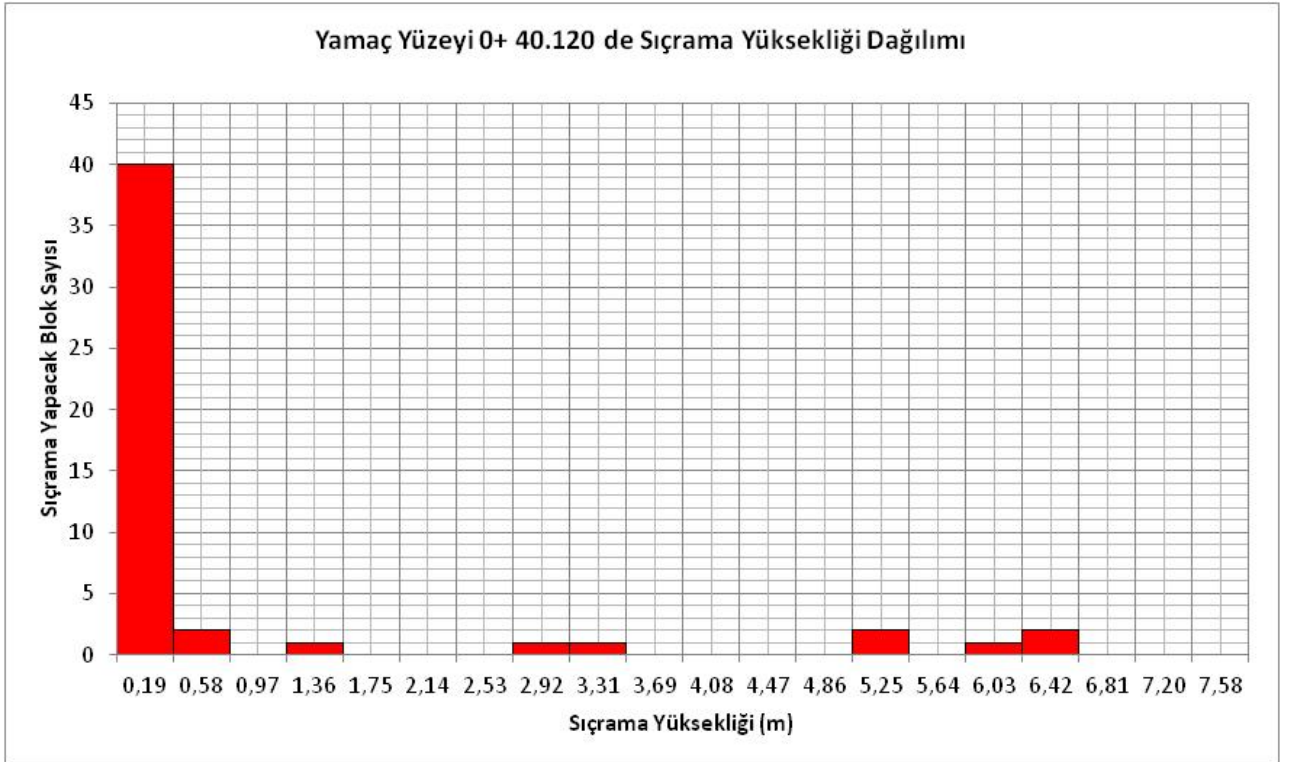
Ek-3B3: Kesit 02 Şev yüzeyi toplam kinetik enerji grafiği



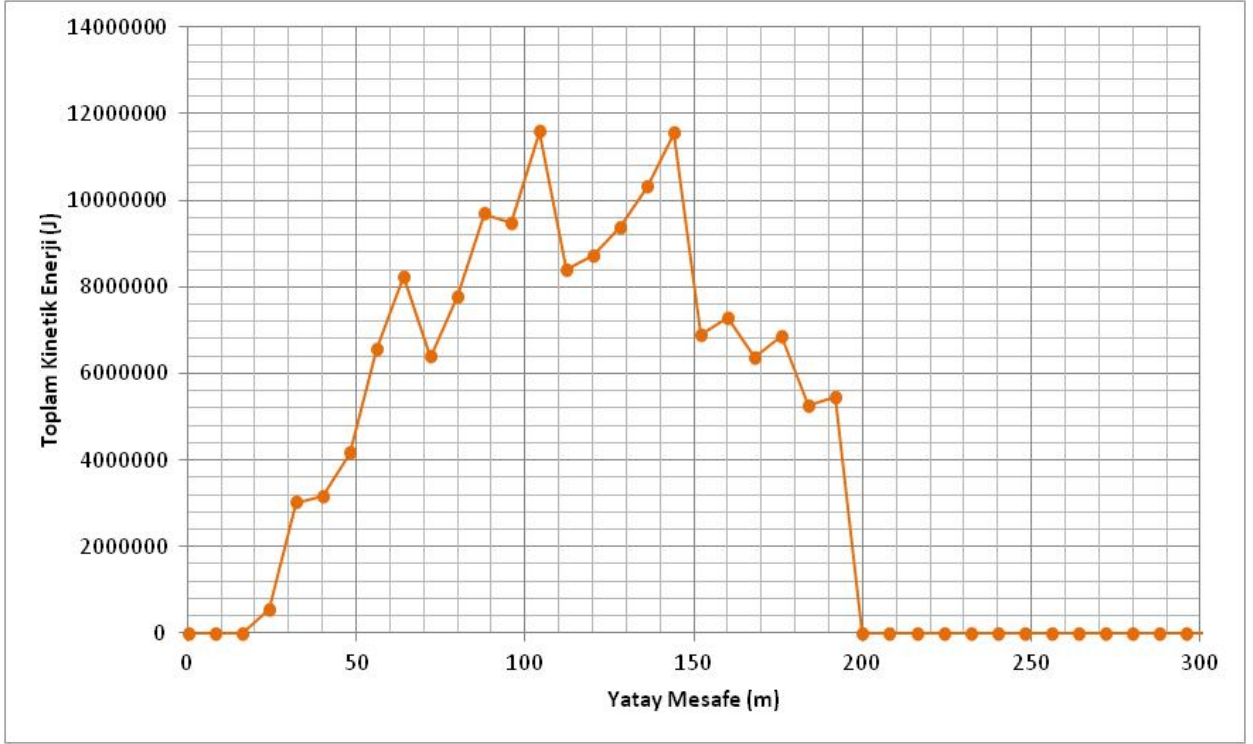
Ek-3B4: Kesit 02 Şev Yüzeyi ötelenme hızı grafiği



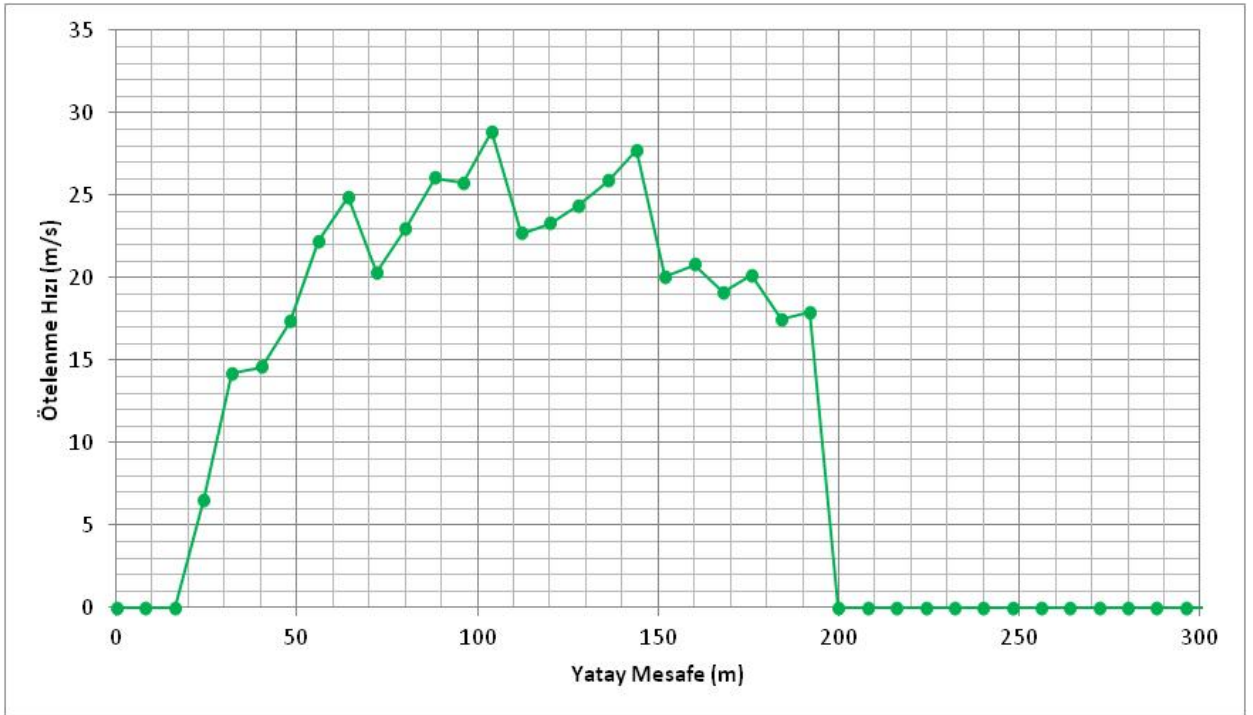
Ek-3C1: Kesit 03 Şev Yüzeği Sıçrama Yüksekliği grafiği



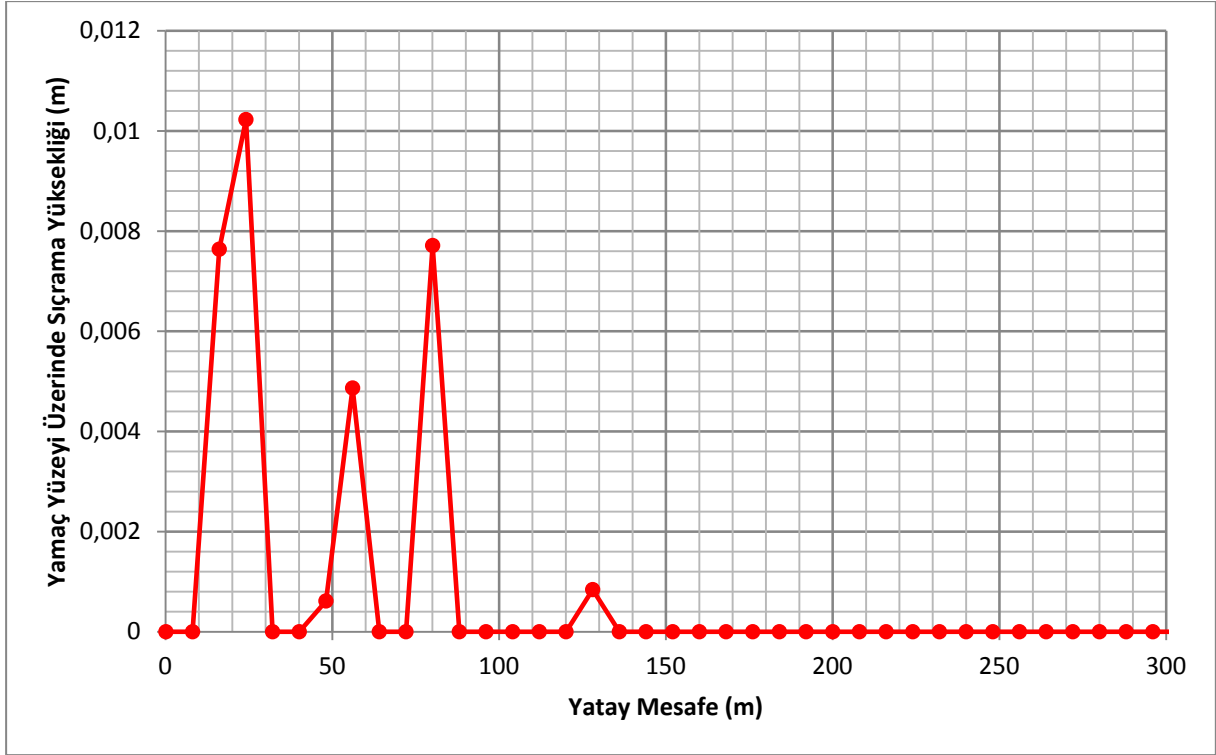
Ek-3C2: Kesit 03 0+40.120 de sıçrama yüksekliği dağılım grafiği



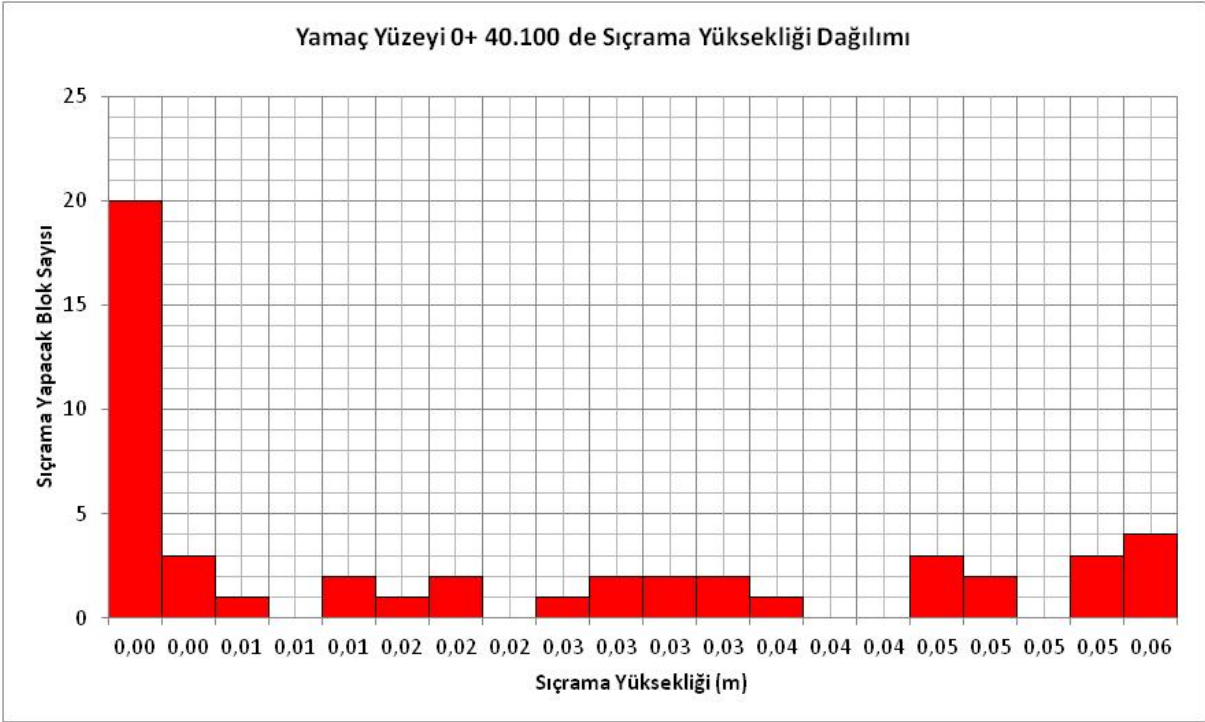
Ek-3C3: Kesit 03 Şev yüzeyi toplam kinetik enerji grafiği



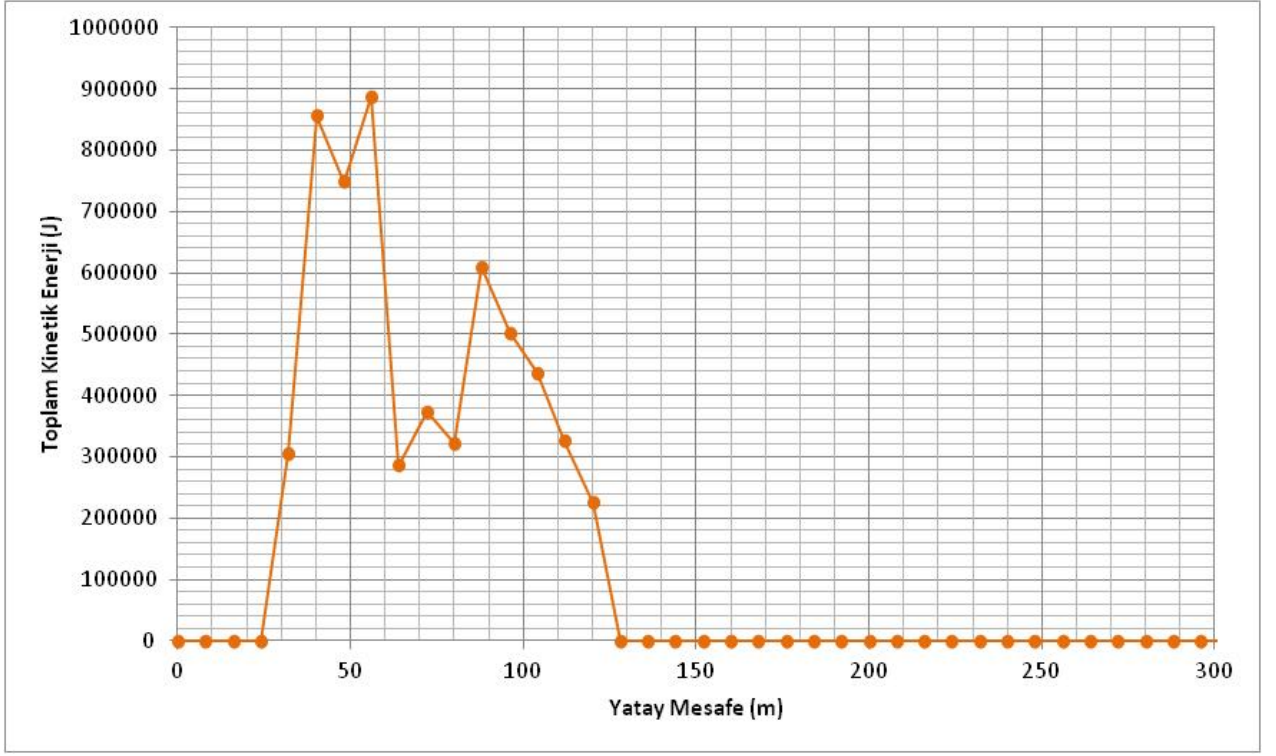
Ek-3C4: Kesit 03 Şev Yüzeyi ötelenme hızı grafiği



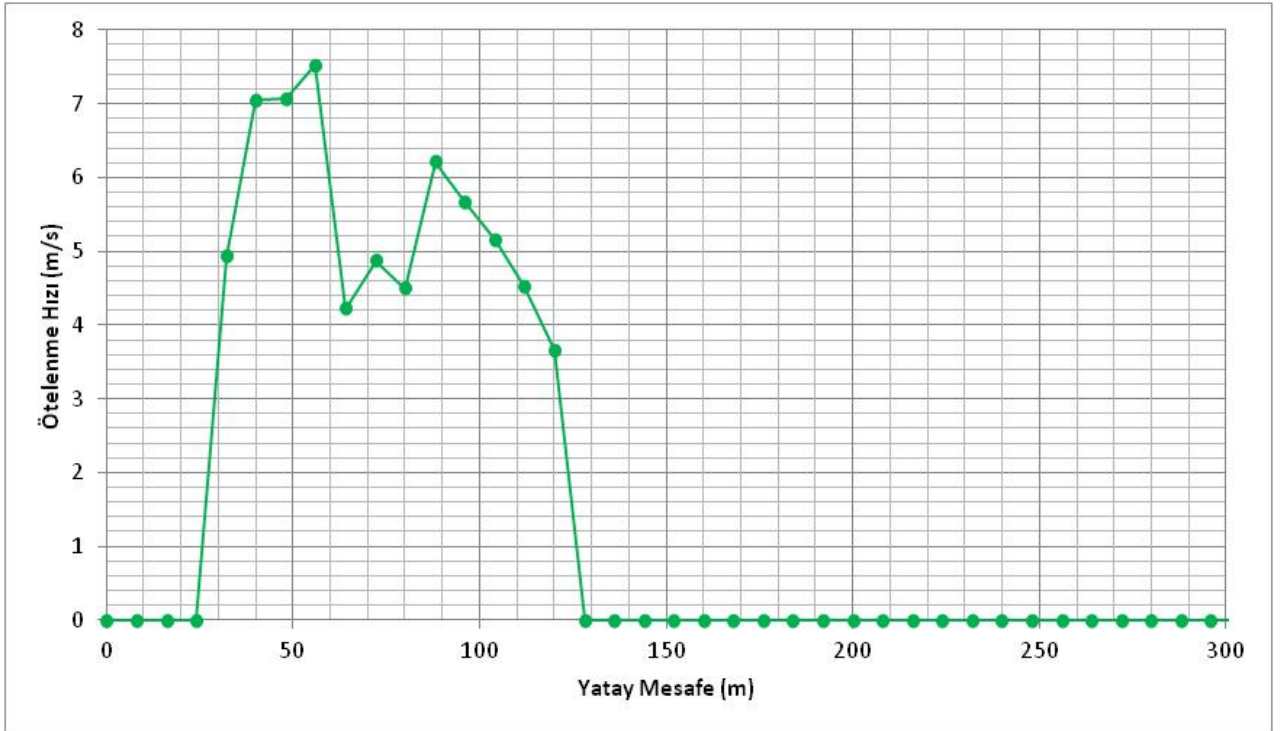
Ek-3D1: Kesit 04 Şev Yüzeyi Sıçrama Yüksekliği grafiği



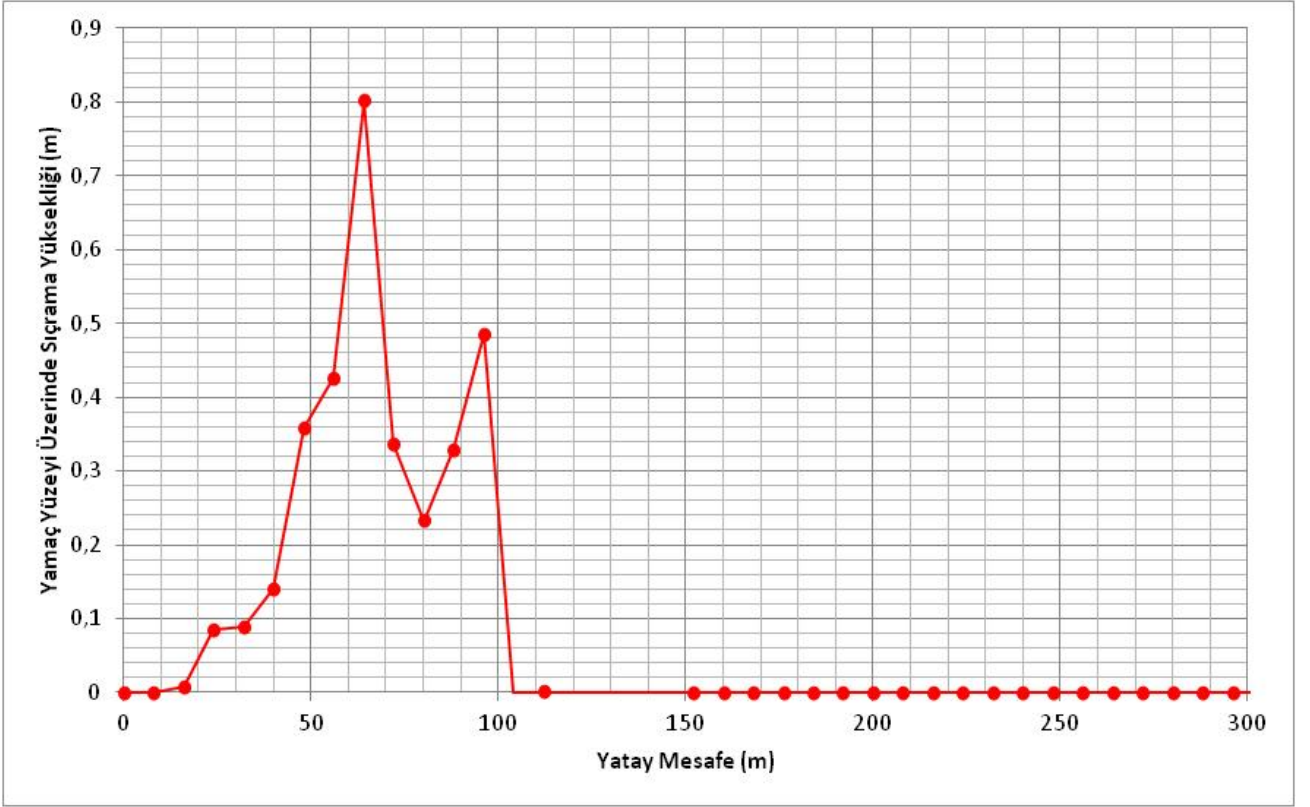
Ek-3D2: Kesit 04 0+40.100 de sıçrama yüksekliği dağılım grafiği



Ek-3D3: Kesit 04 Şev yüzeyi toplam kinetik enerji grafiği



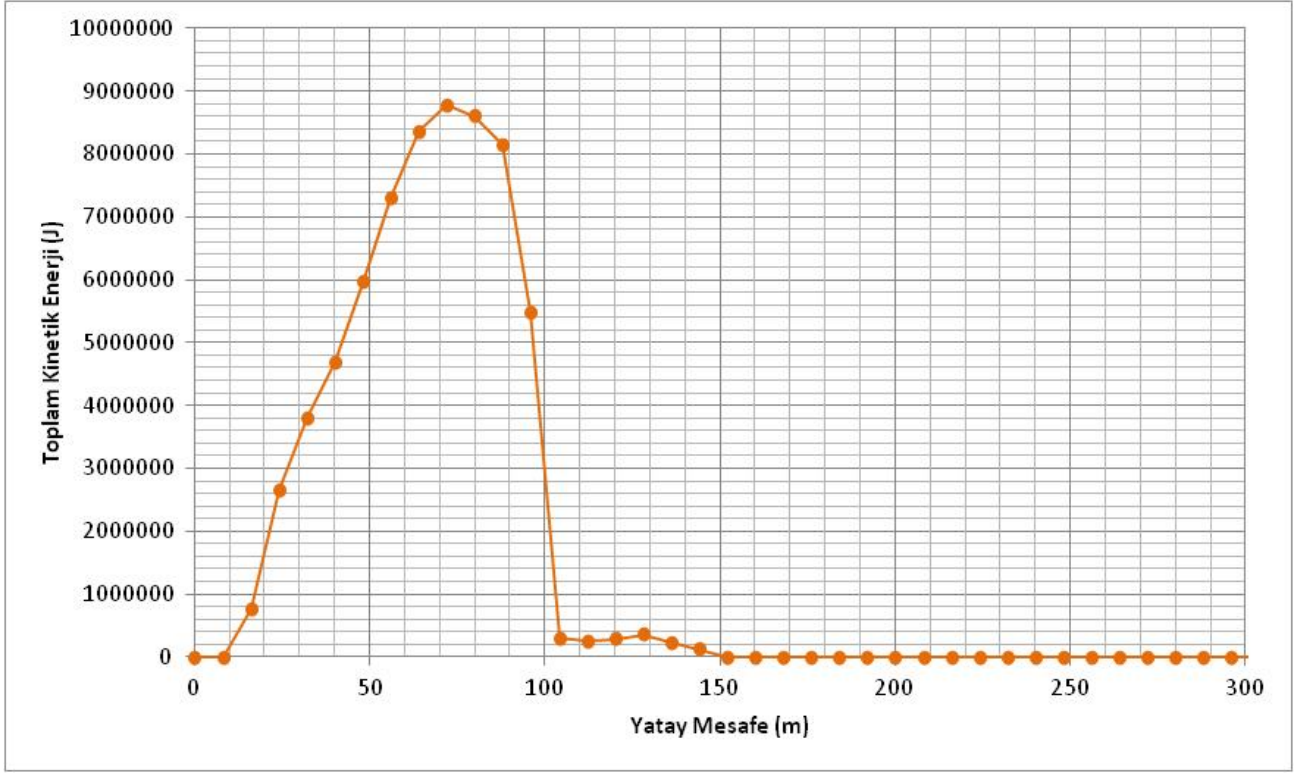
Ek-3D4: Kesit 04 Şev Yüzeyi ötelenme hızı grafiği



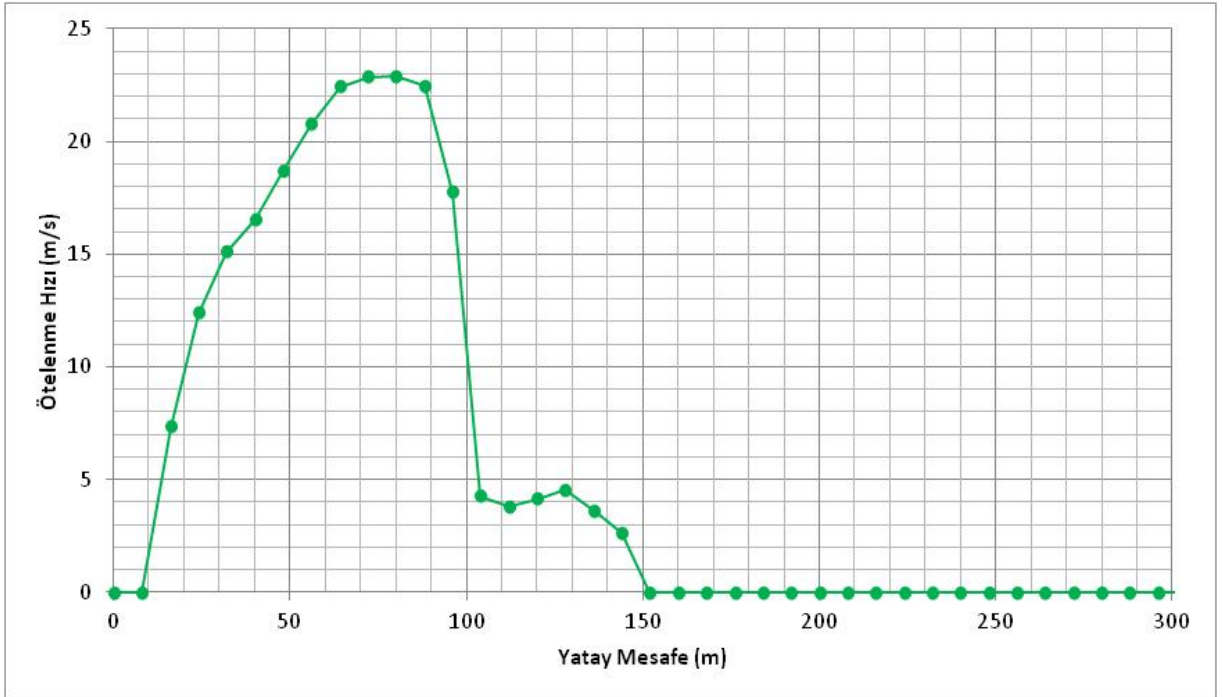
Ek-3E1: Kesit 05 Şev Yüzevi Sıçrama Yüksekliği grafiği



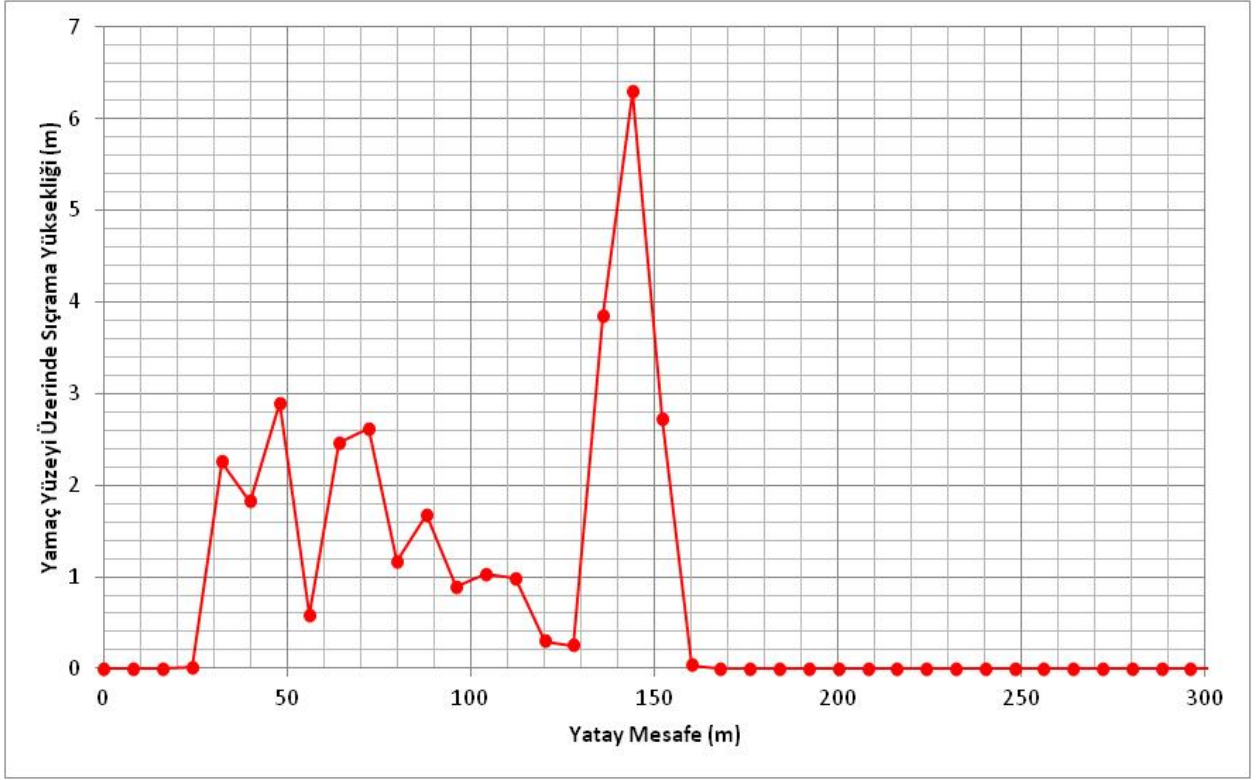
Ek-3E2: Kesit 04 0+72.080 de sıçrama yüksekliği dağılım grafiği



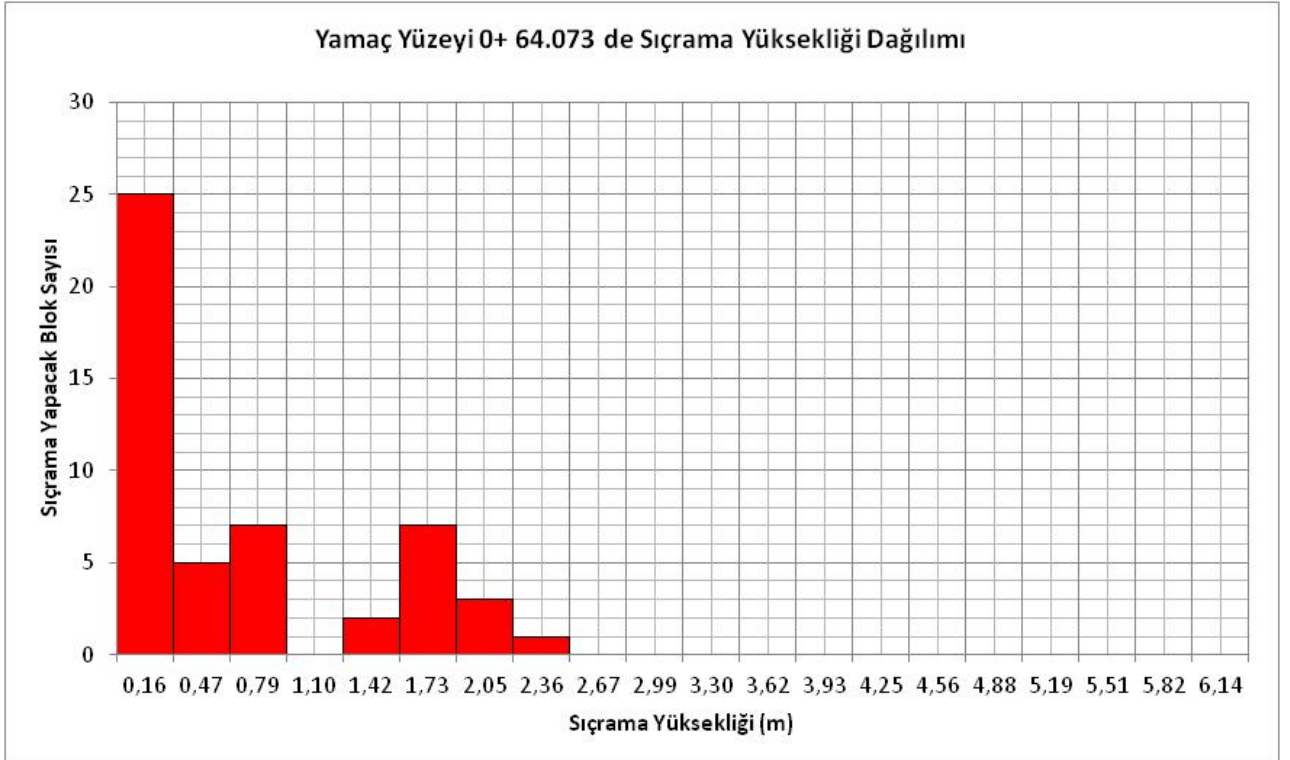
Ek-3E3: Kesit 05 Şev yüzeyi toplam kinetik enerji grafiği



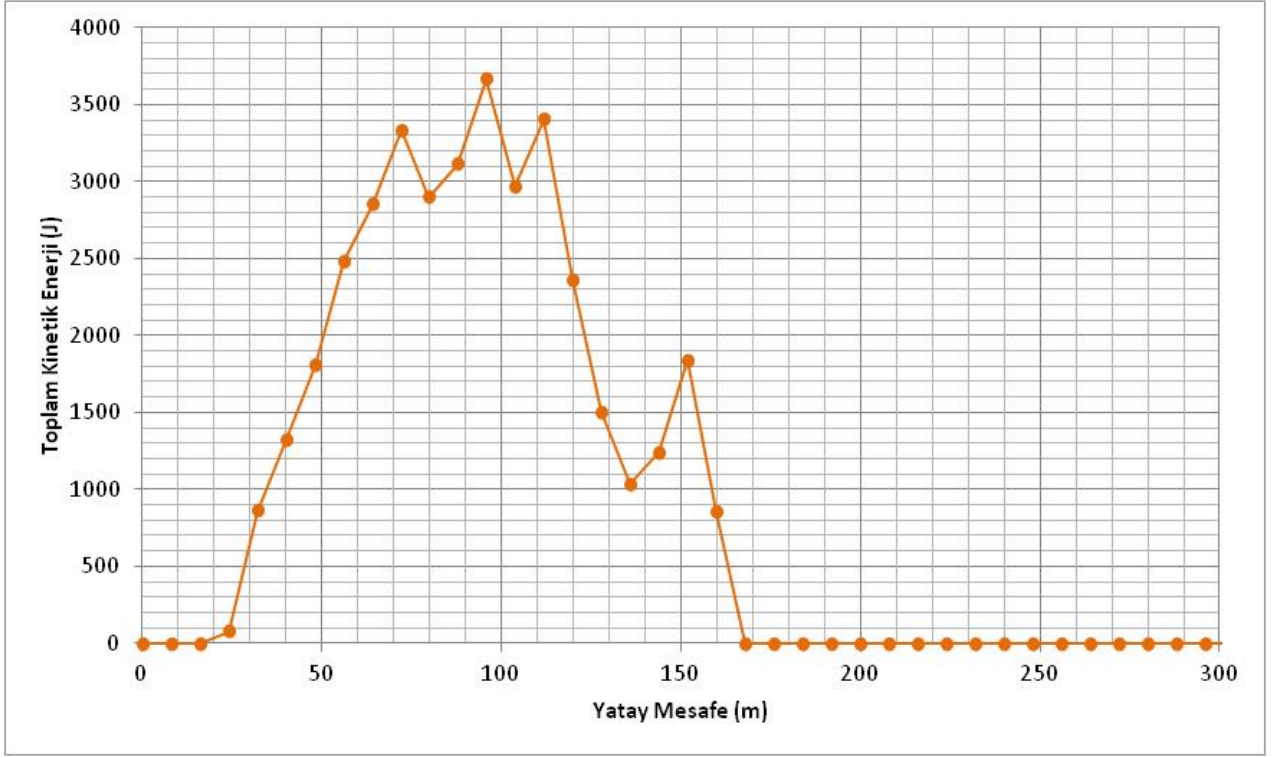
Ek-3E4: Kesit 05 Şev Yüzeyi ötelenme hızı grafiği



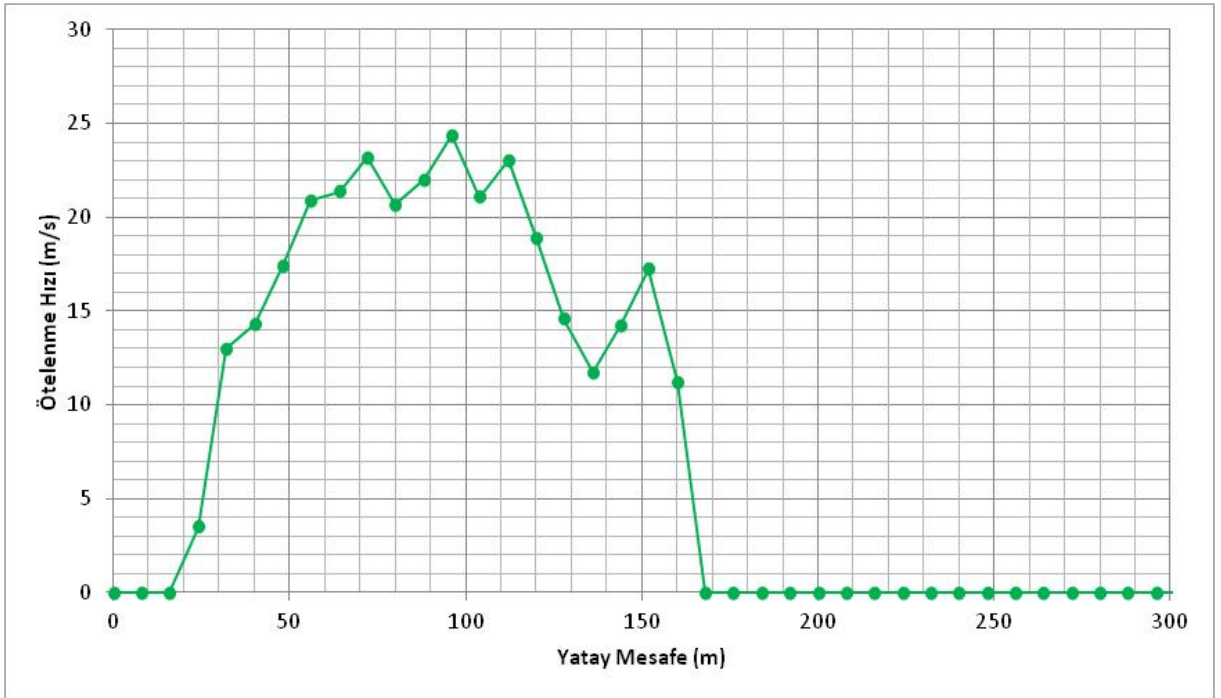
Ek-3F1: Kesit 06 Şev Yüzeyi Sıçrama Yüksekliği grafiği



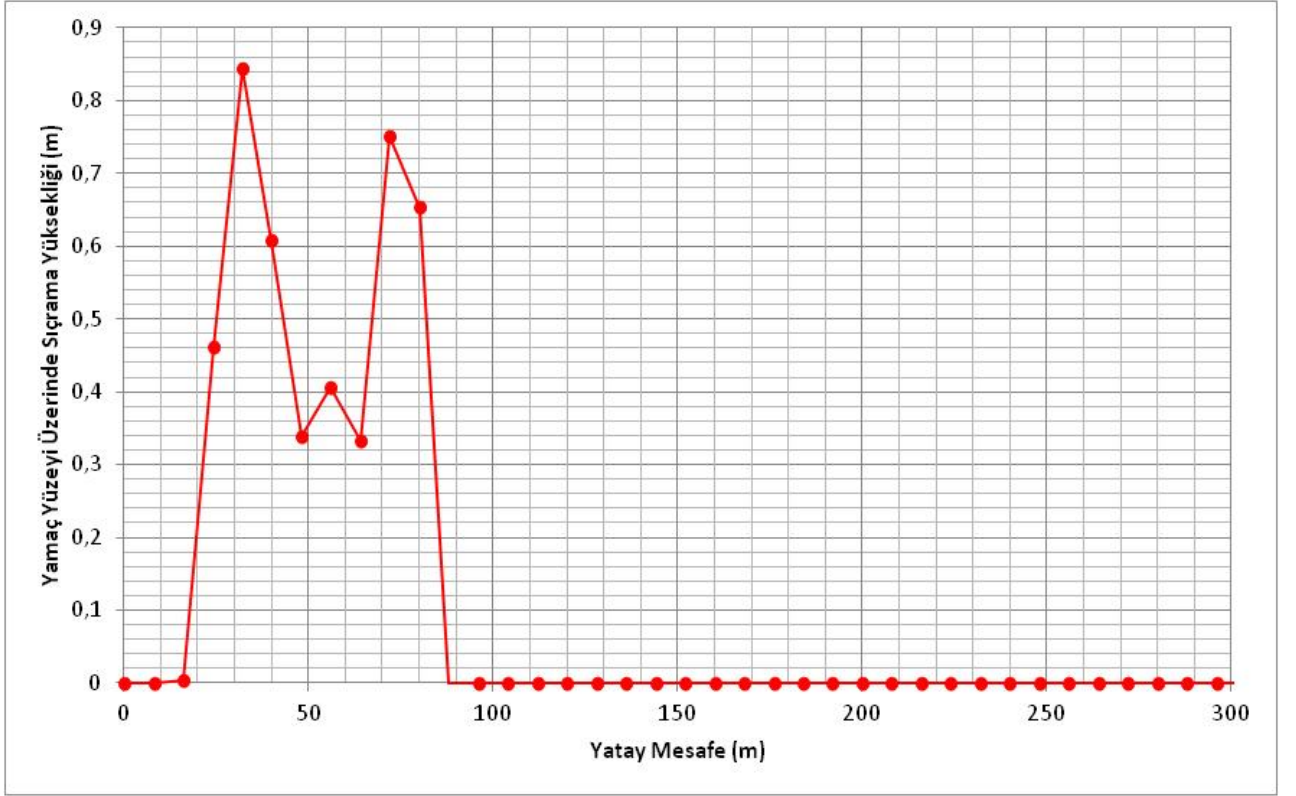
Ek-3F2: Kesit 06 0+64.073 de sıçrama yüksekliği dağılım grafiği



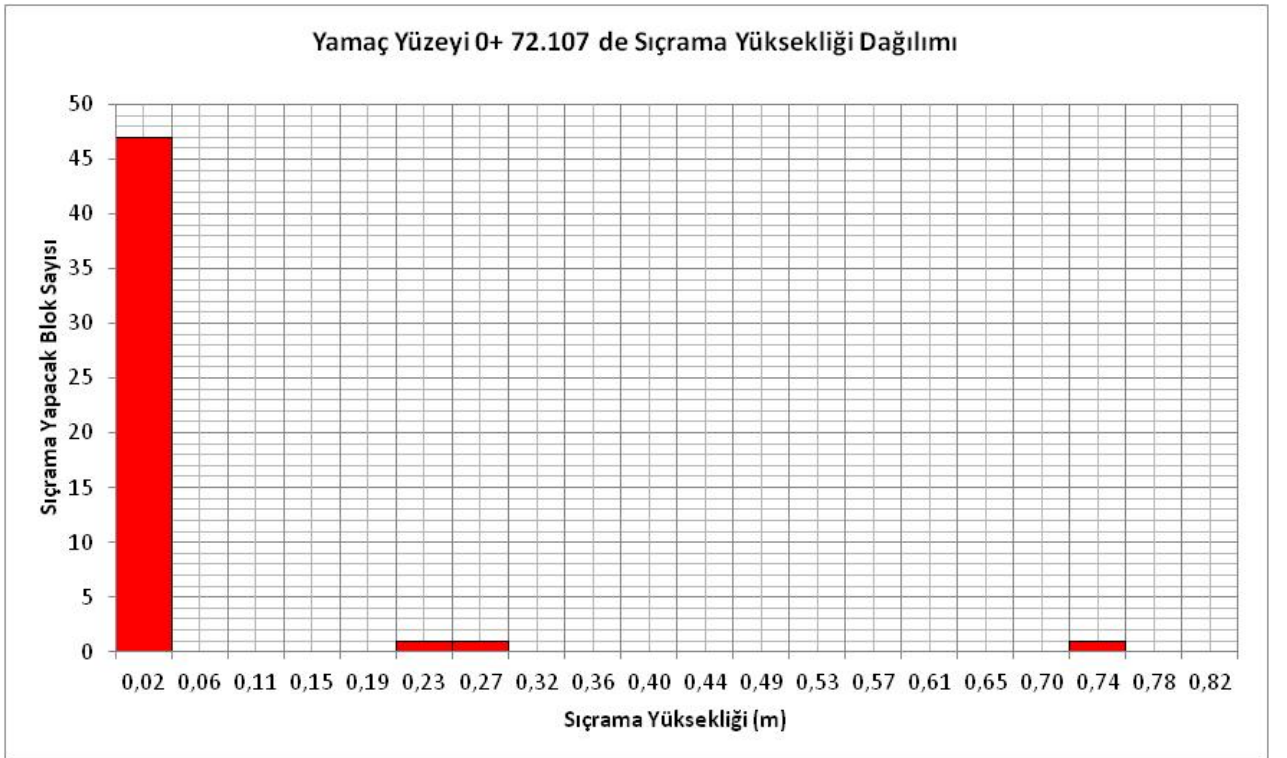
Ek-3F3: Kesit 06 Şev yüzeyi toplam kinetik enerji grafiği



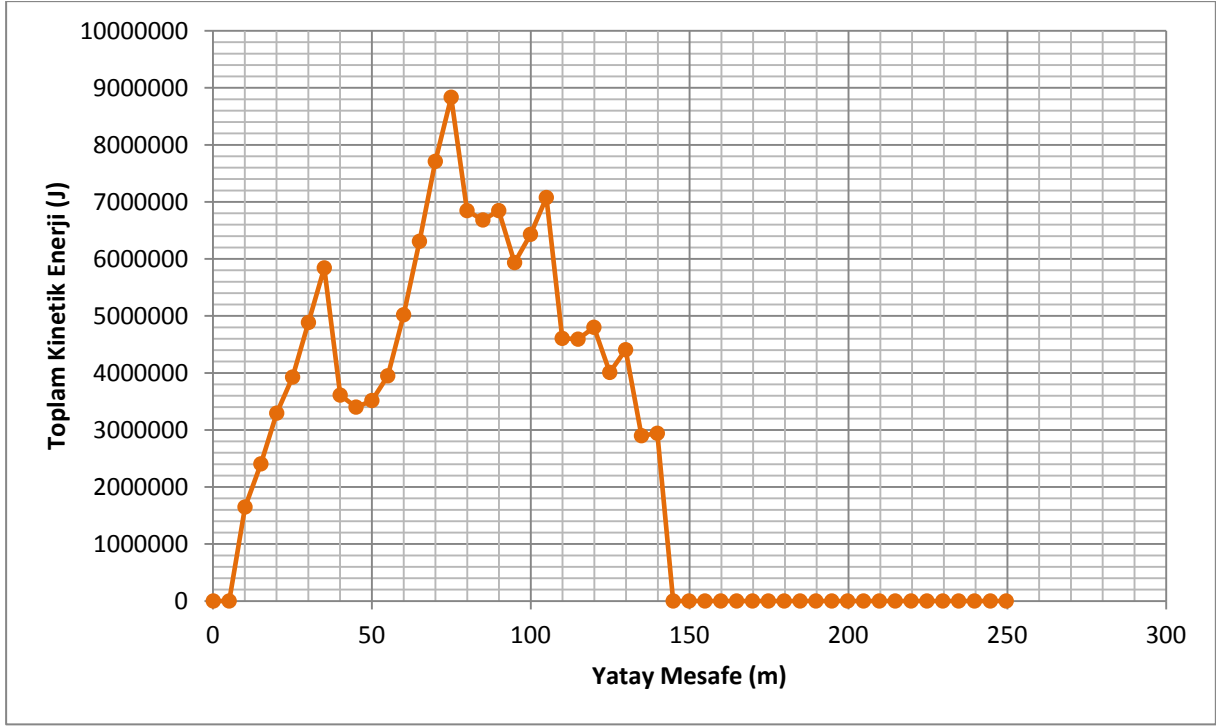
Ek-3F4: Kesit 06 Şev Yüzeyi ötelenme hızı grafiği



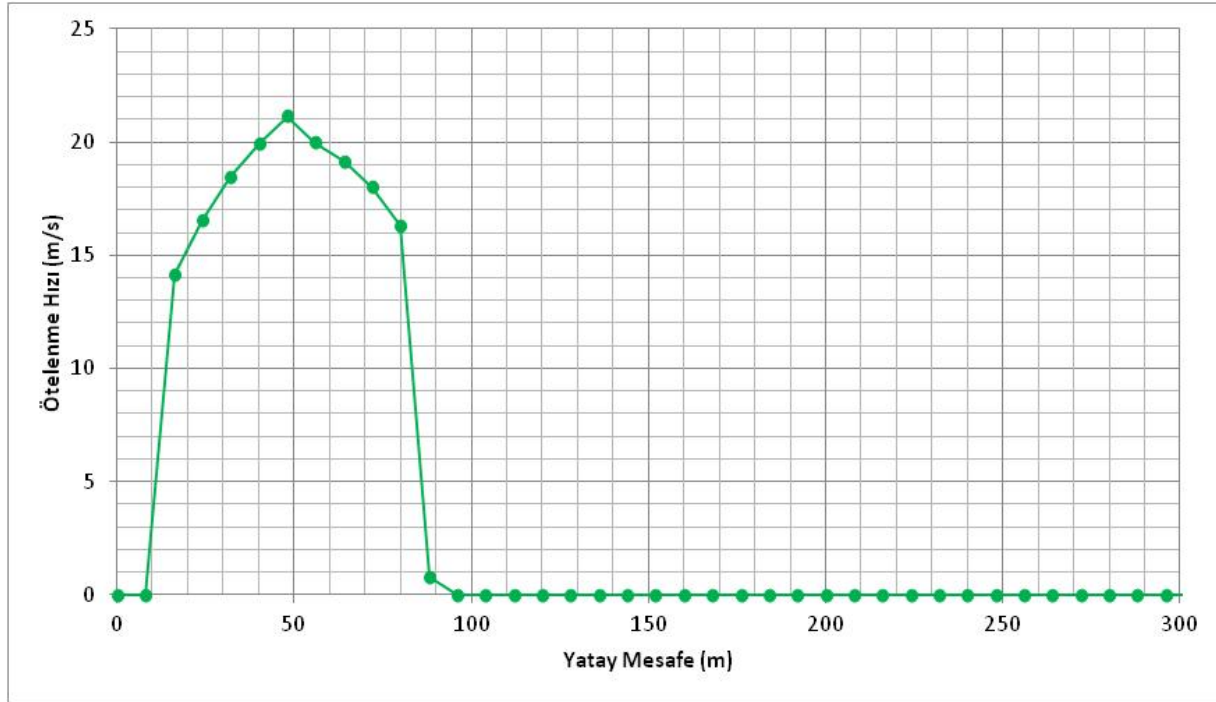
Ek-3G1: Kesit 07 Şev Yüzeği Sıçrama Yüksekliği grafiği



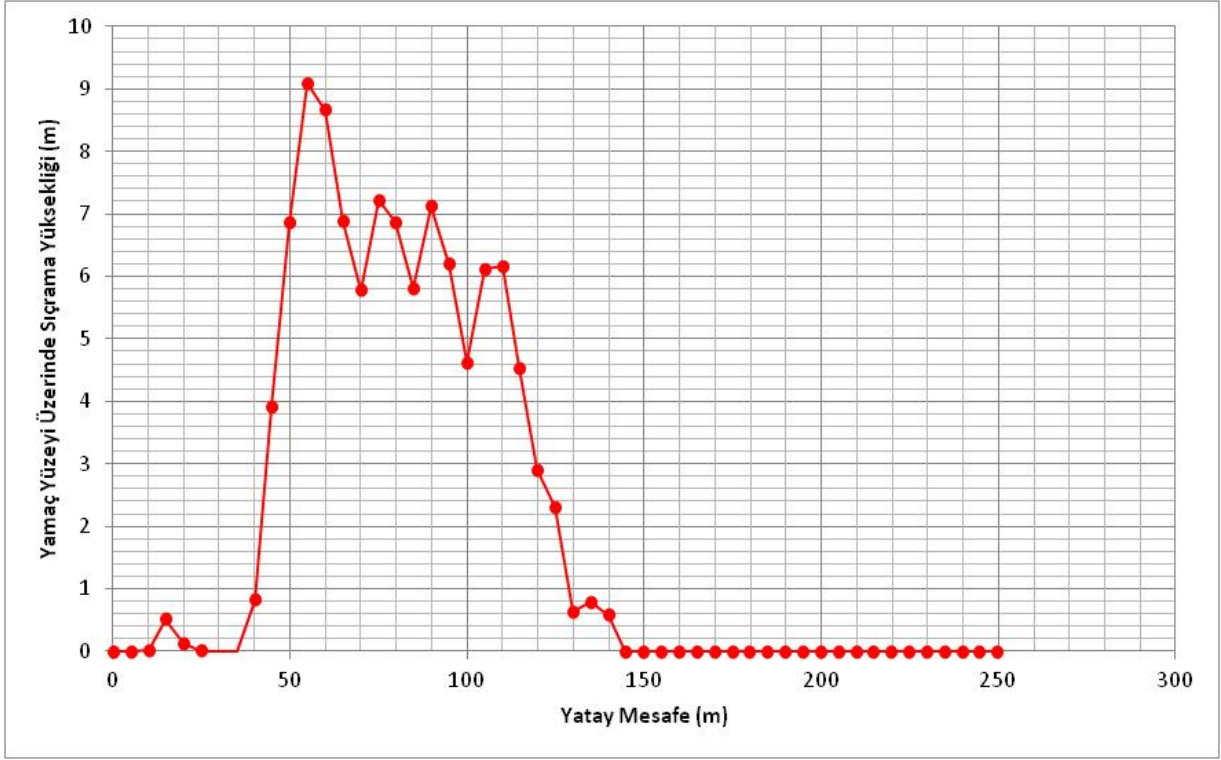
Ek-3G2: Kesit 07 0+72.107 de sıçrama yüksekliği dağılım grafiği



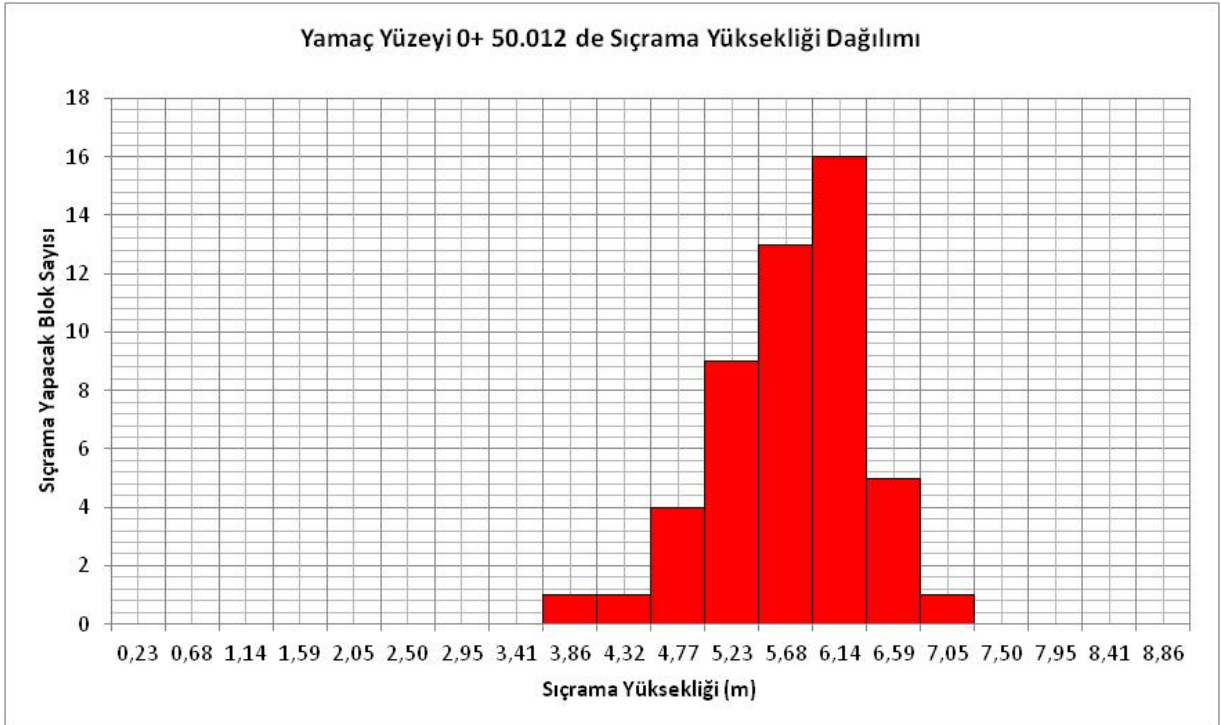
Ek-3G3: Kesit 07 Şev yüzeyi toplam kinetik enerji grafiği



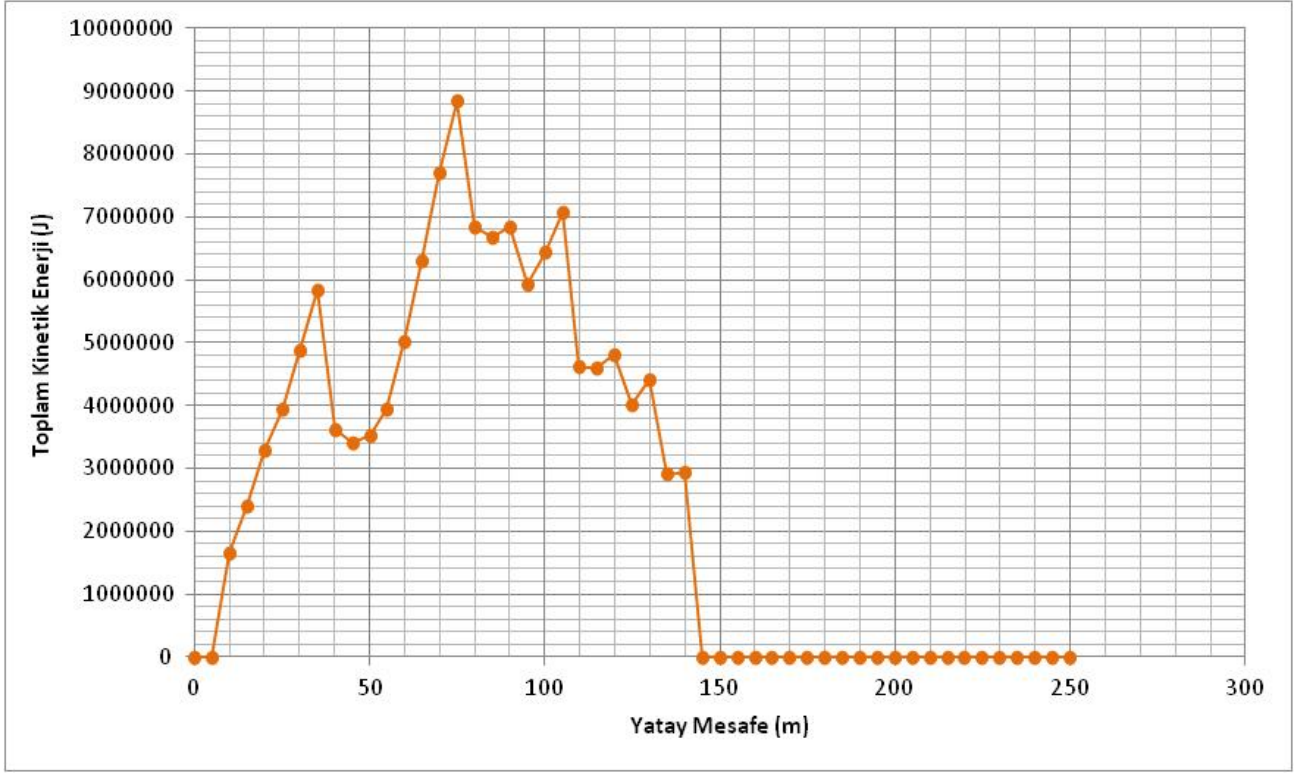
Ek-3G4: Kesit 07 Şev Yüzeyi ötelenme hızı grafiği



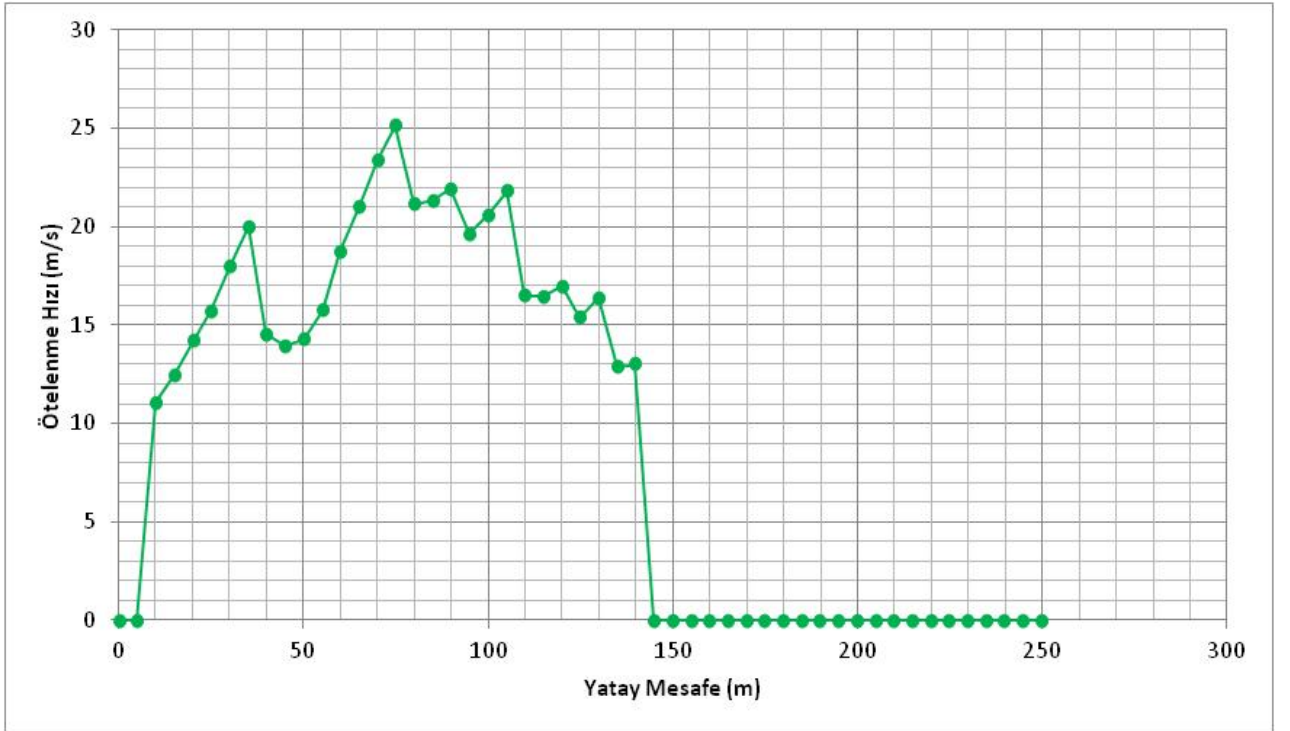
Ek-3H1: Kesit 08 Şev Yüzeği Sıçrama Yüksekliği grafiği



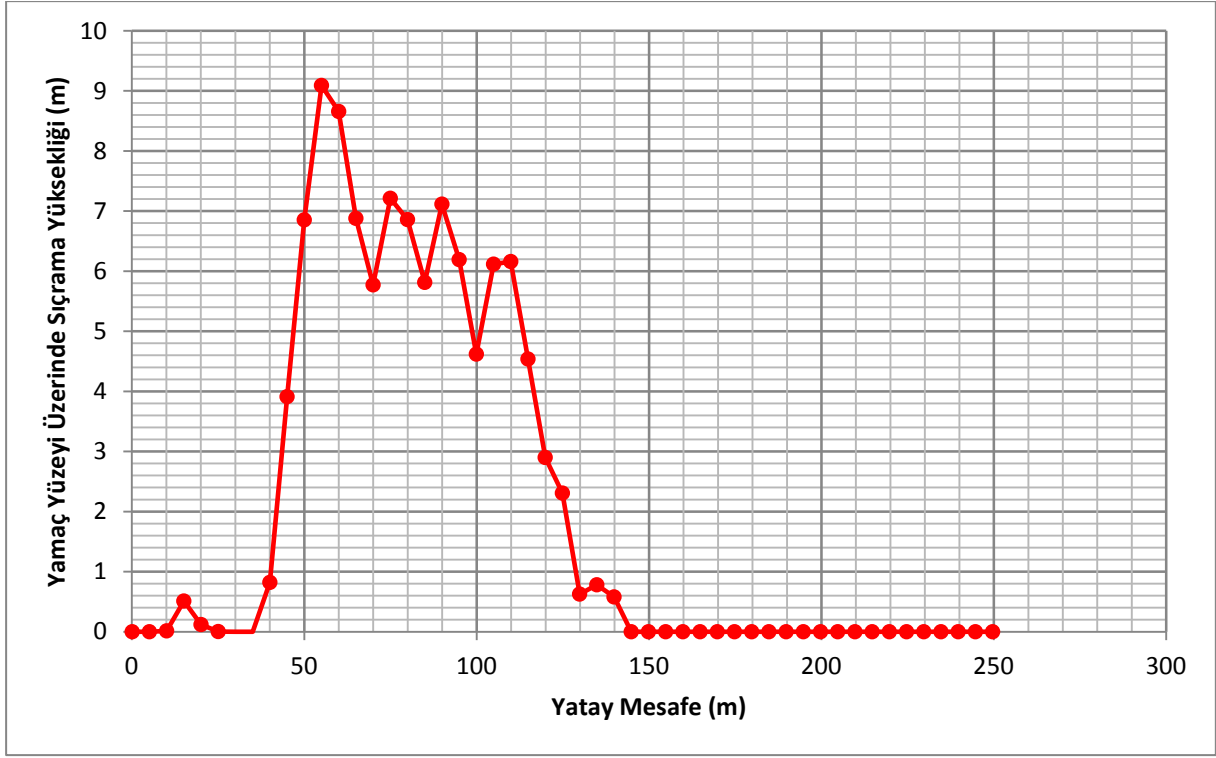
Ek-3H2: Kesit 08 0+50.012 de sıçrama yüksekliği dağılım grafiği



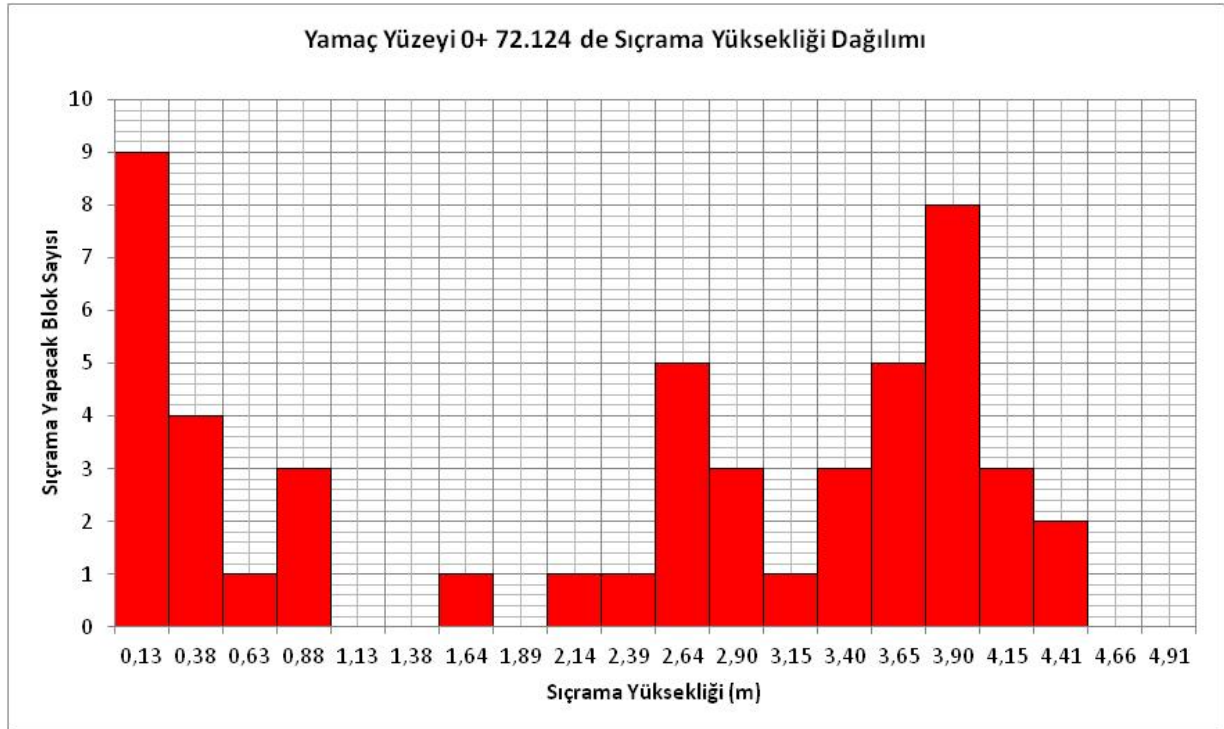
Ek-3H3: Kesit 08 Şev yüzeyi toplam kinetik enerji grafiği



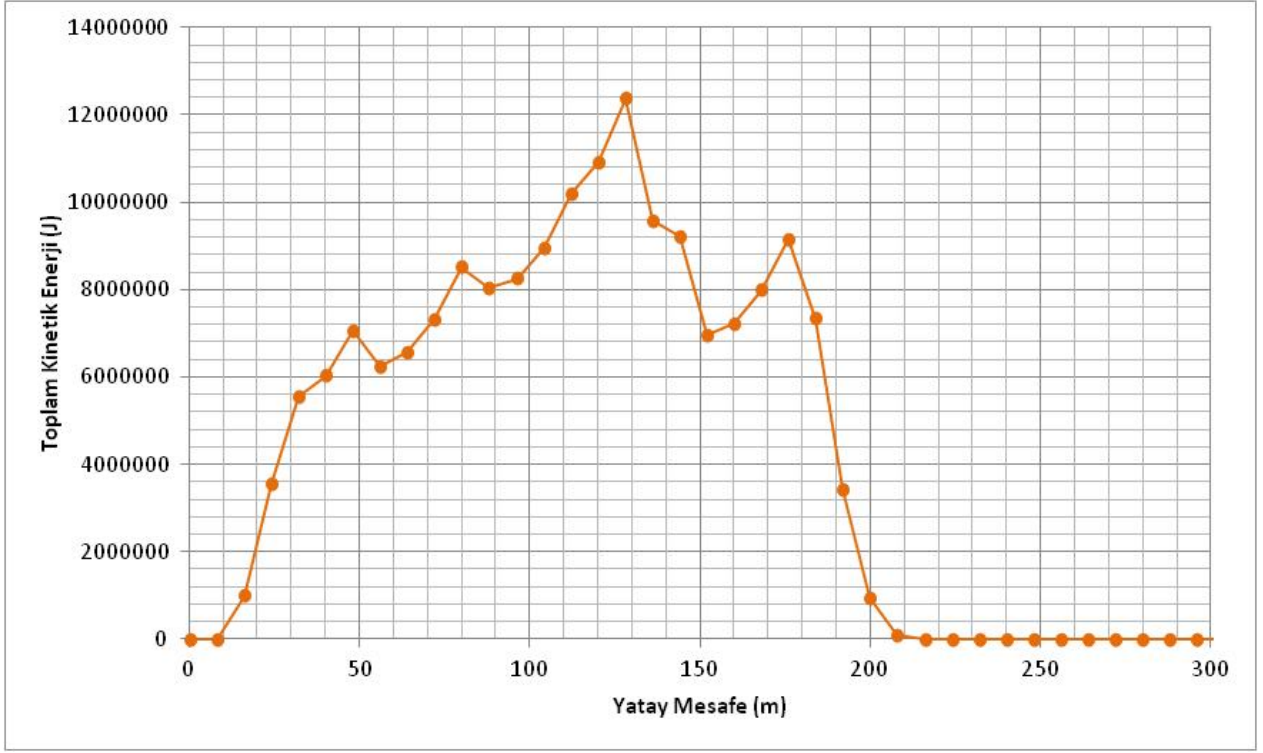
Ek-3H4: Kesit 08 Şev Yüzeyi ötelenme hızı grafiği



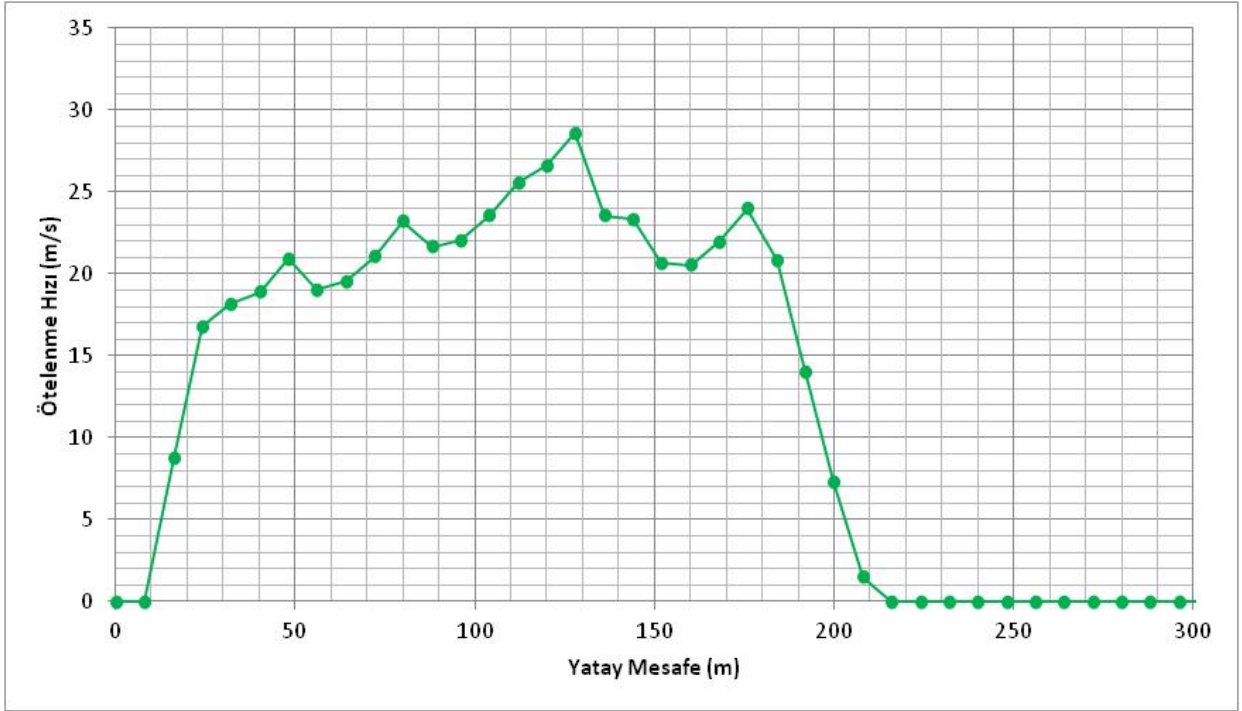
Ek-3I1: Kesit 09 Şev Yüzeyi Sıçrama Yüksekliği grafiği



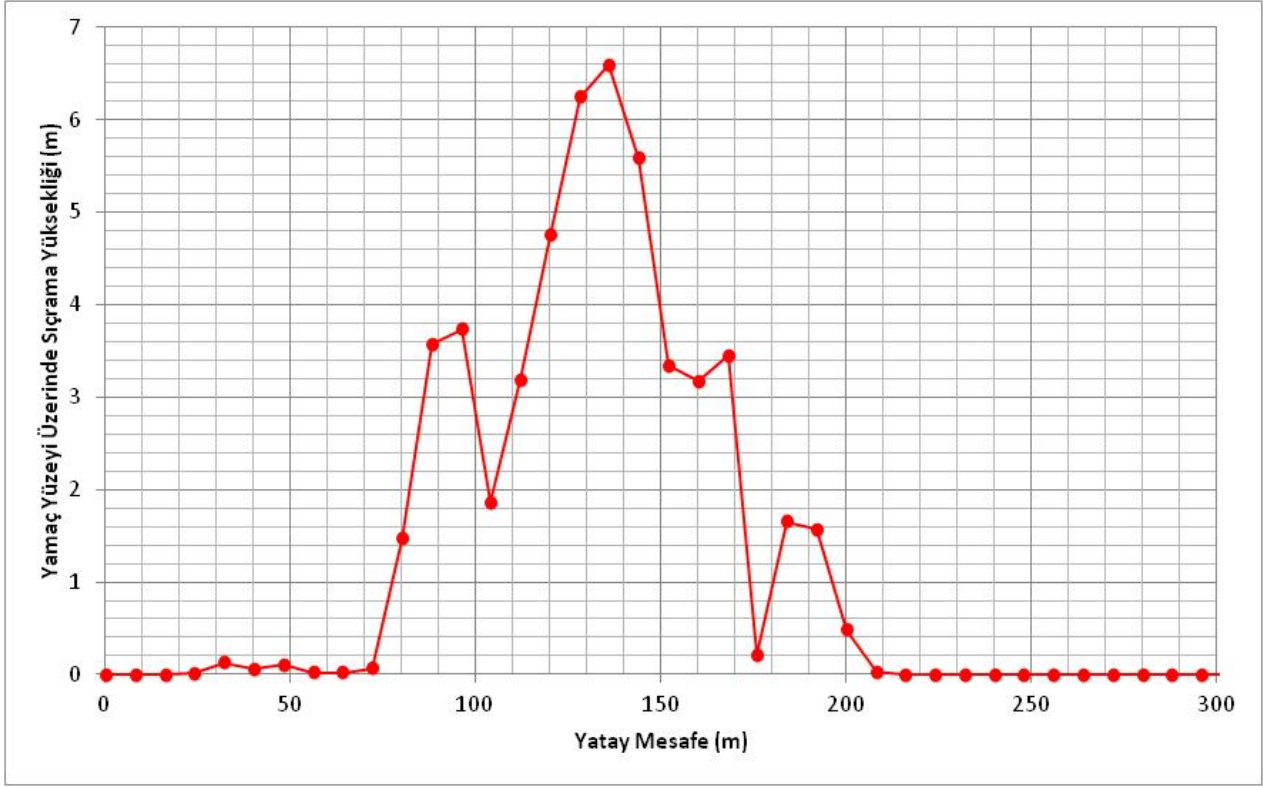
Ek-3I2: Kesit 09 0+72.124 de sıçrama yüksekliği dağılım grafiği



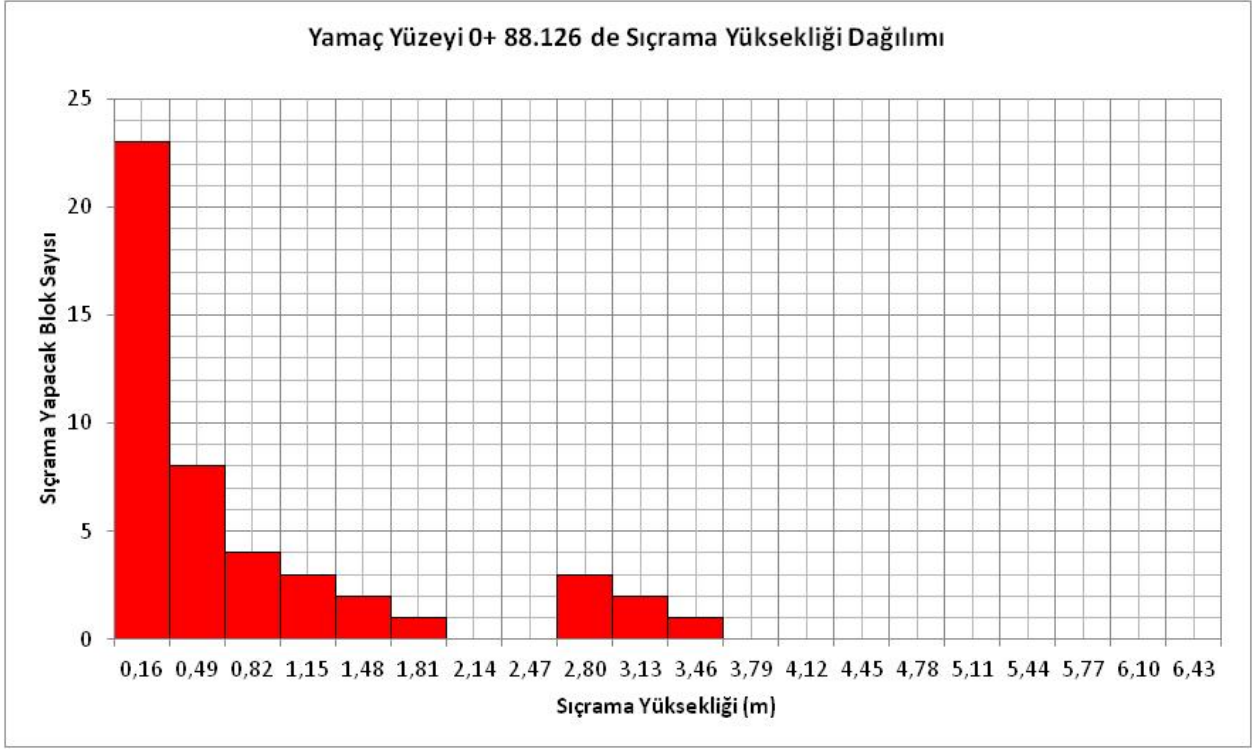
Ek-3I3: Kesit 09 Şev yüzeyi toplam kinetik enerji grafiği



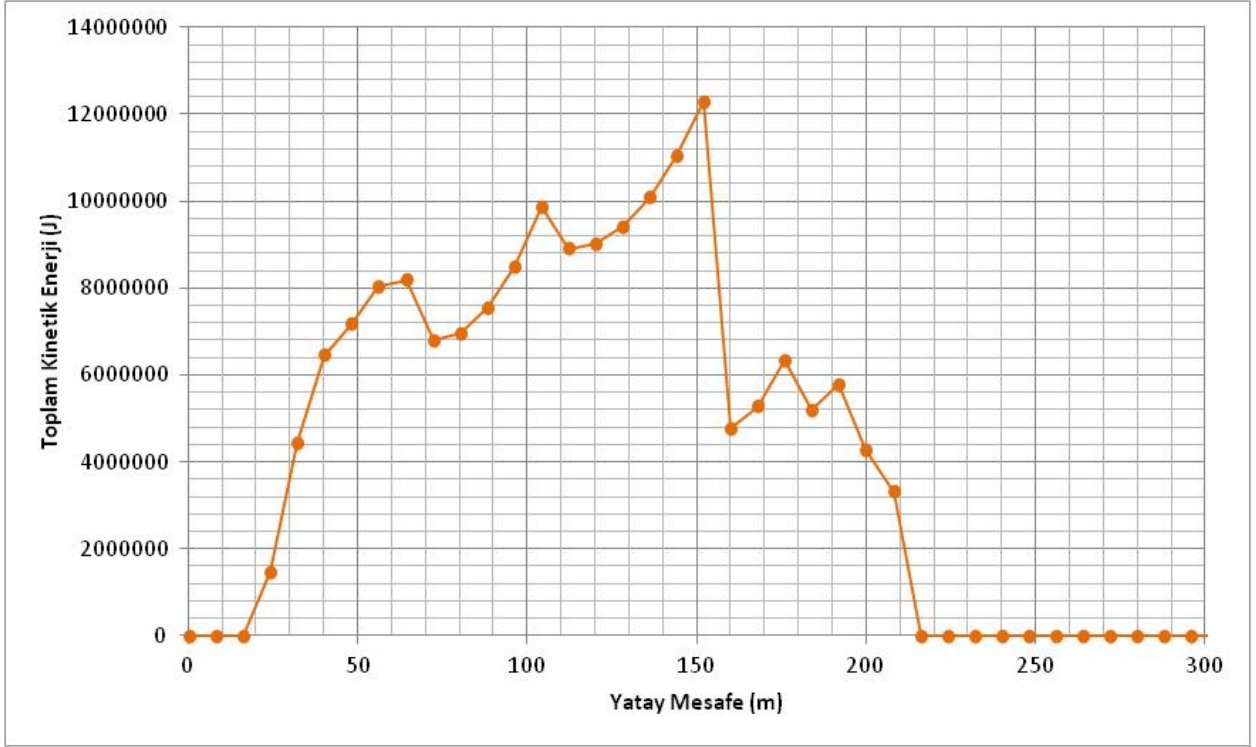
Ek-3I4: Kesit 09 Şev Yüzeyi ötelenme hızı grafiği



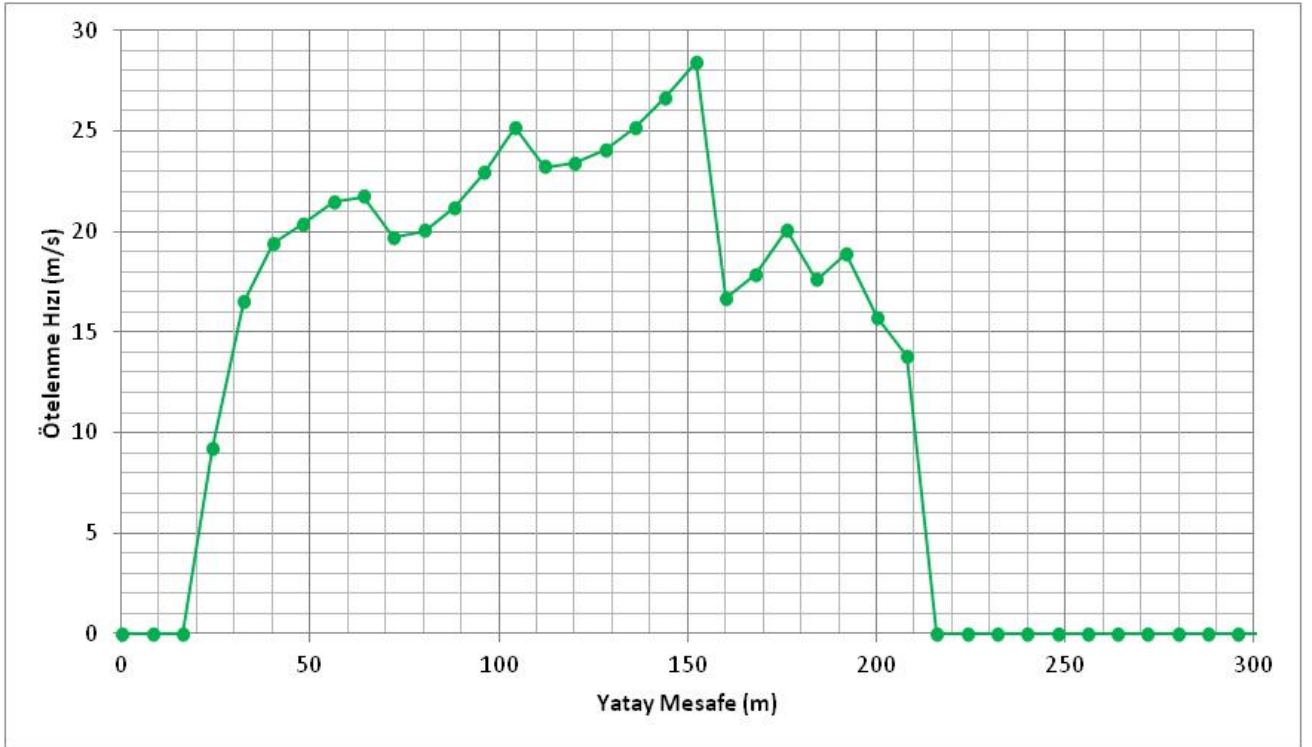
Ek-3K1: Kesit 10 Şev Yüzeği Sıçrama Yüksekliği grafiği



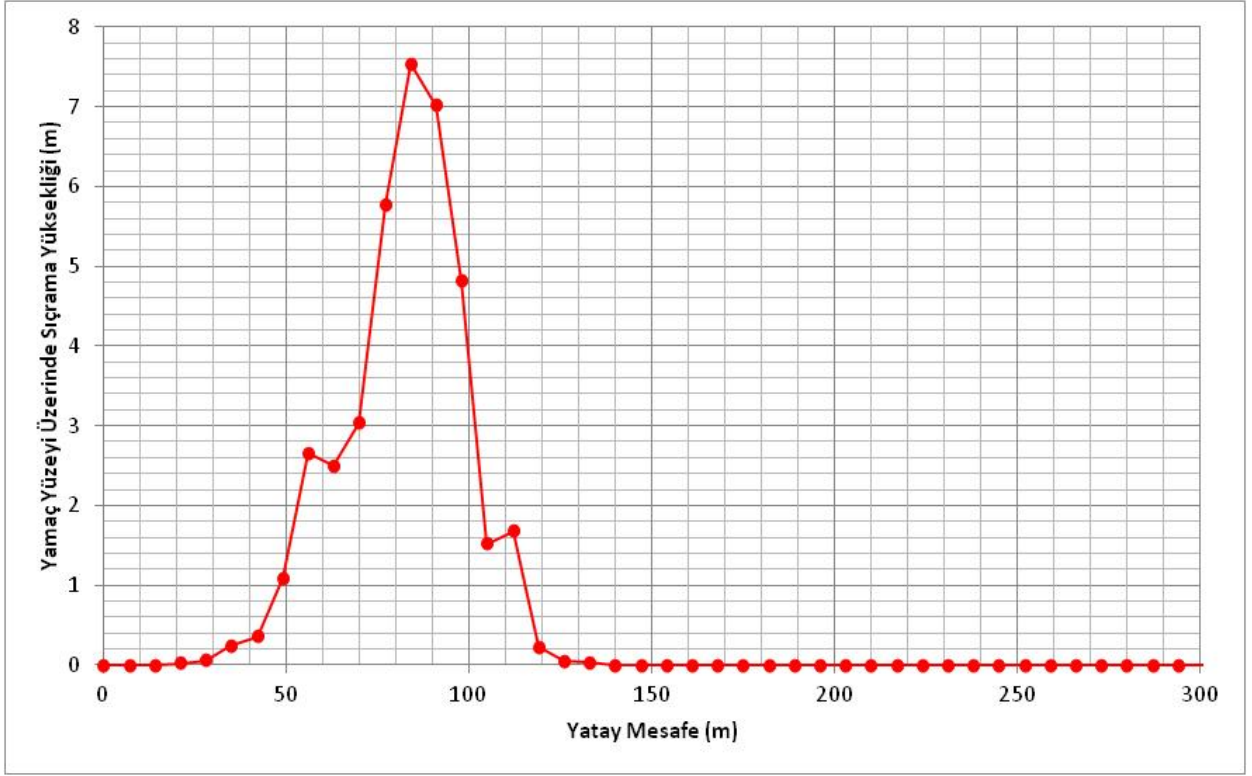
Ek-3K2: Kesit 10 0+88.126 de sıçrama yüksekliği dağılım grafiği



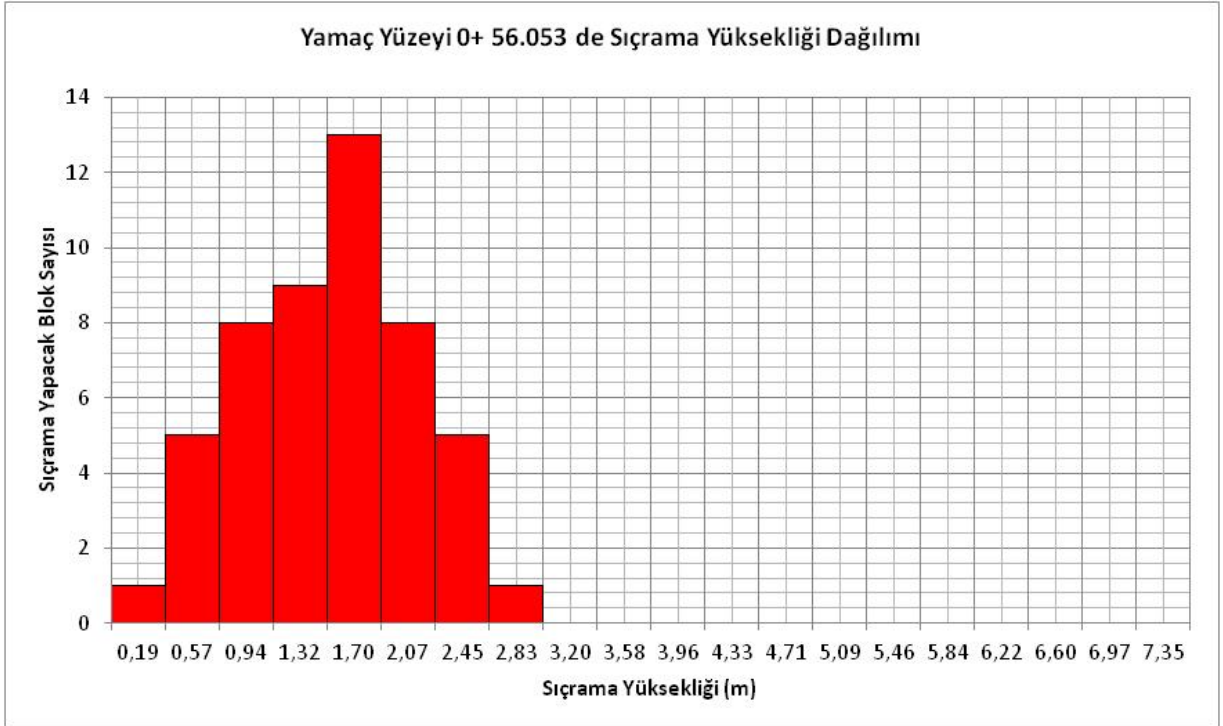
Ek-3K3: Kesit 10 Şev yüzeyi toplam kinetik enerji grafiği



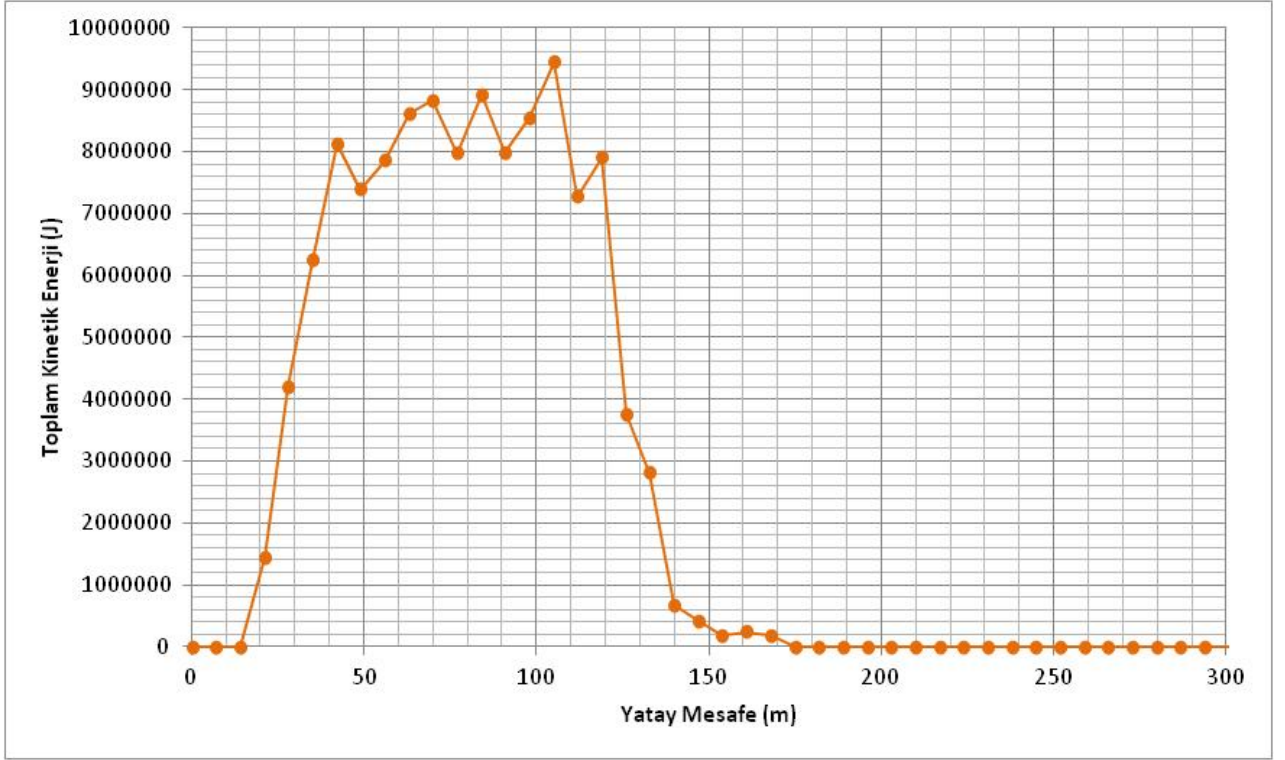
Ek-3K4: Kesit 10 Şev Yüzeyi ötelenme hızı grafiği



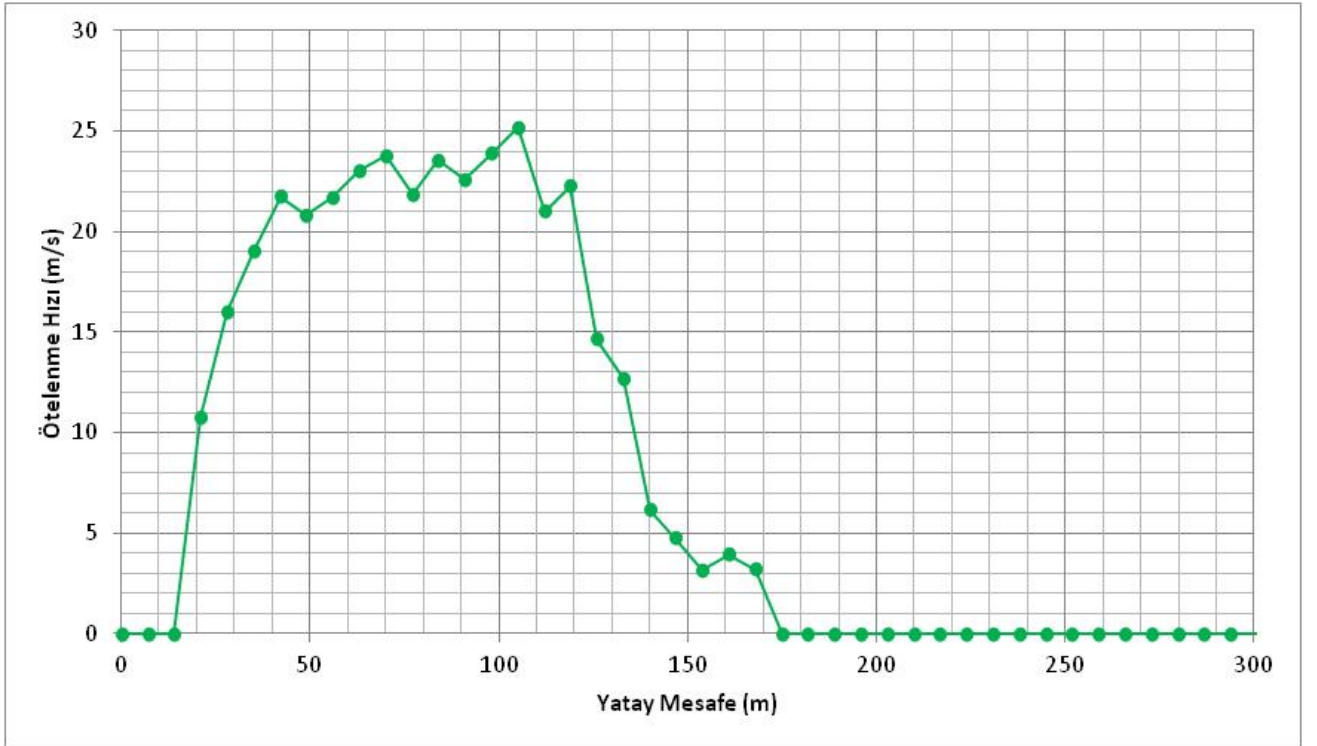
Ek-3L1: Kesit 11 Şev Yüzeyi Sıçrama Yüksekliği grafiği



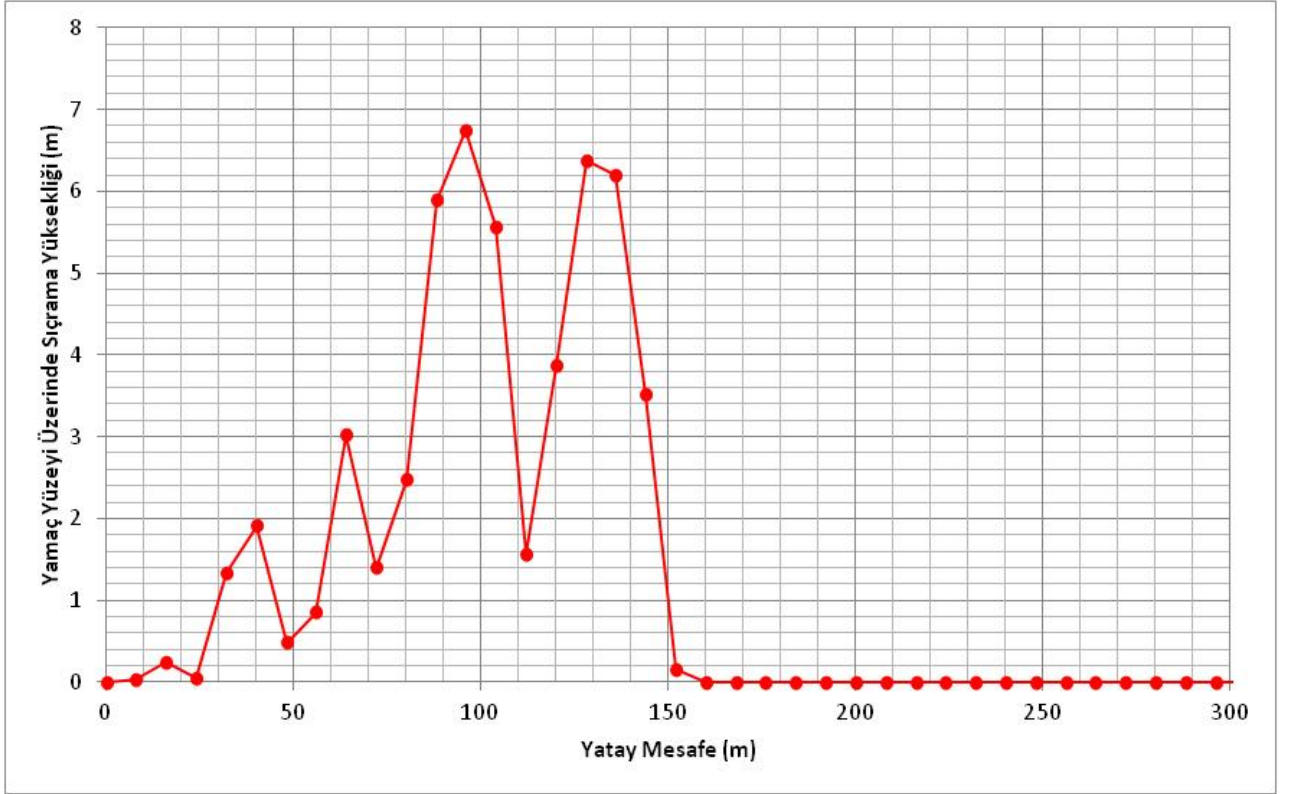
Ek-3L2: Kesit 11 0+56.053 de sıçrama yüksekliği dağılım grafiği



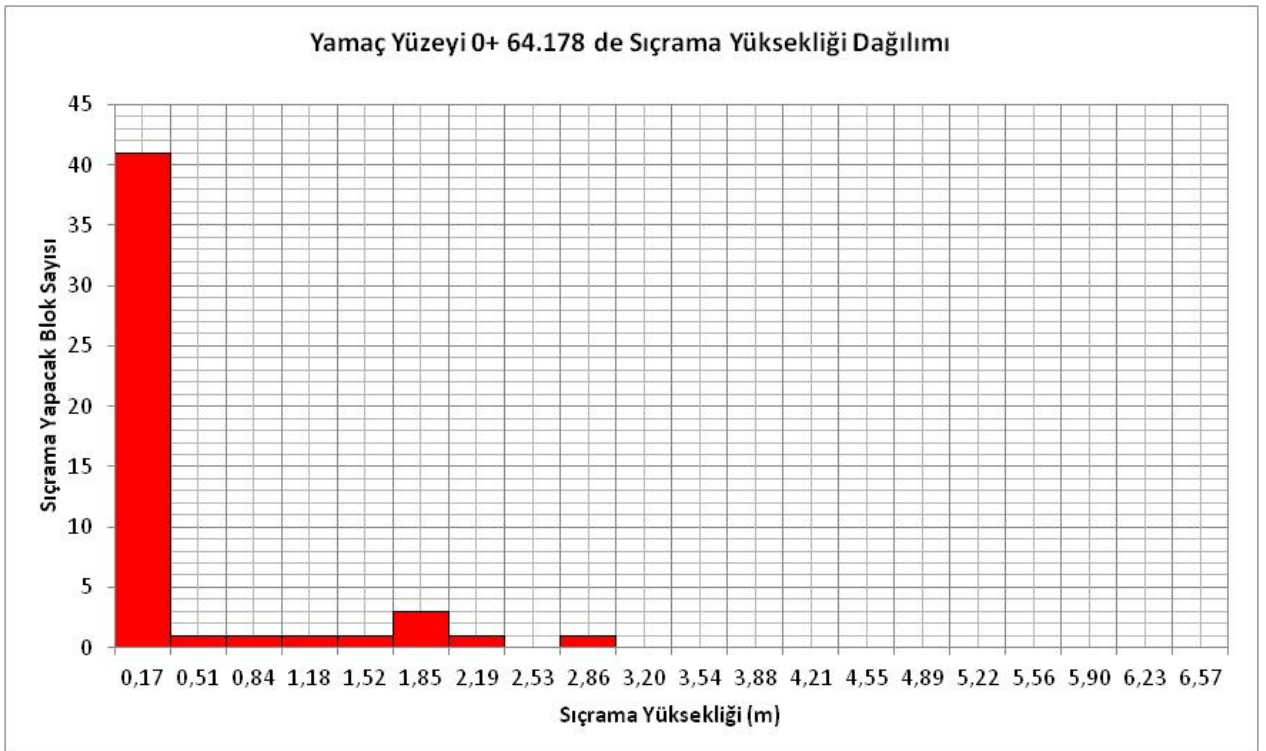
Ek-3L3: Kesit 11 Şev yüzeyi toplam kinetik enerji grafiği



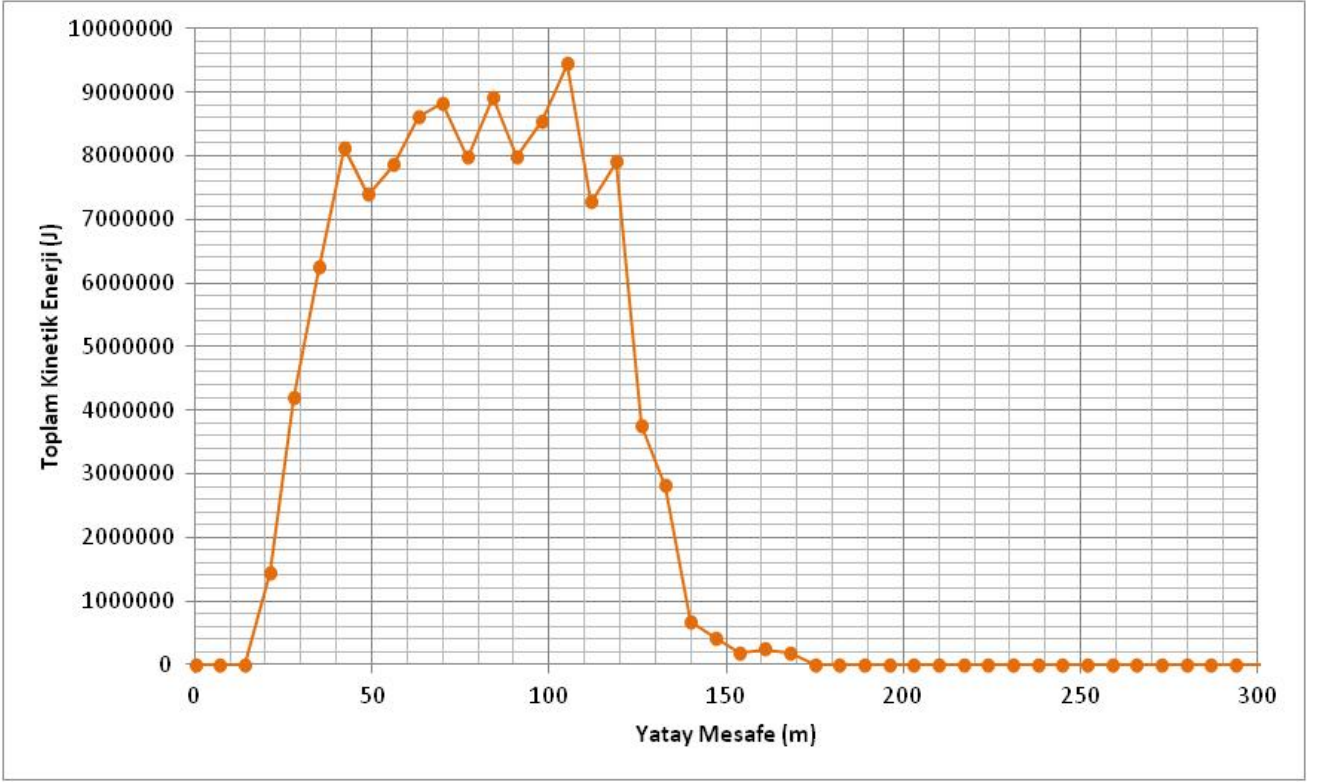
Ek-3L4: Kesit 11 Şev Yüzeyi ötelenme hızı grafiği



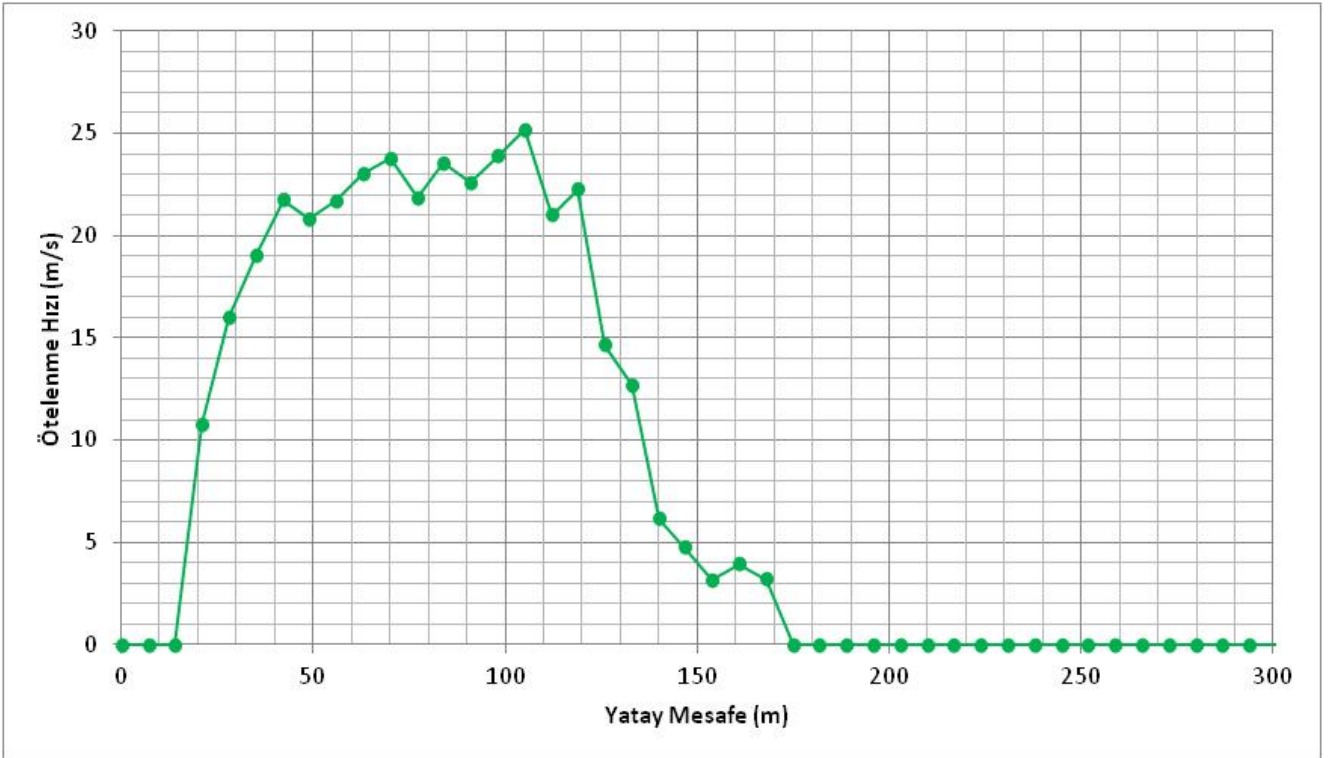
Ek-3M1: Kesit 12 Şev Yüzeği Sıçrama Yüksekliği grafiği



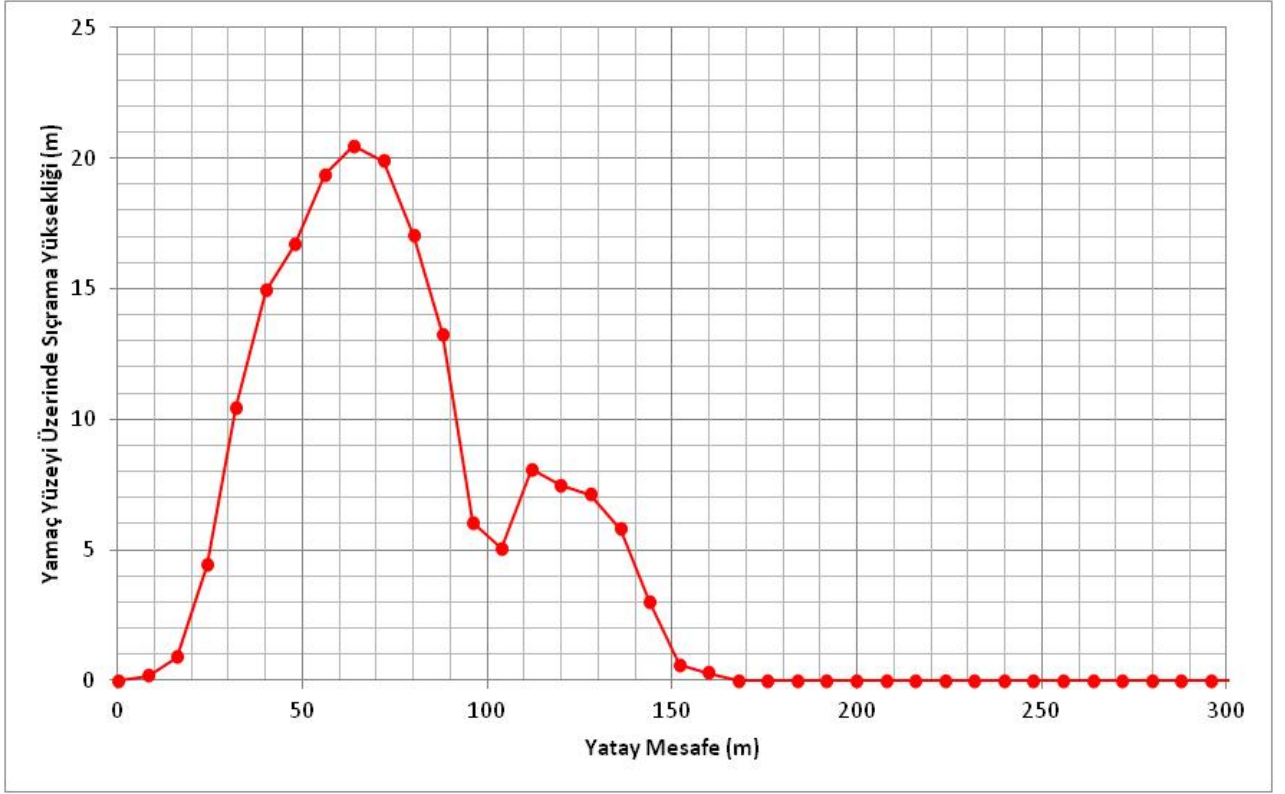
Ek-3M2: Kesit 12 0+64.178 de sıçrama yüksekliği dağılım grafiği



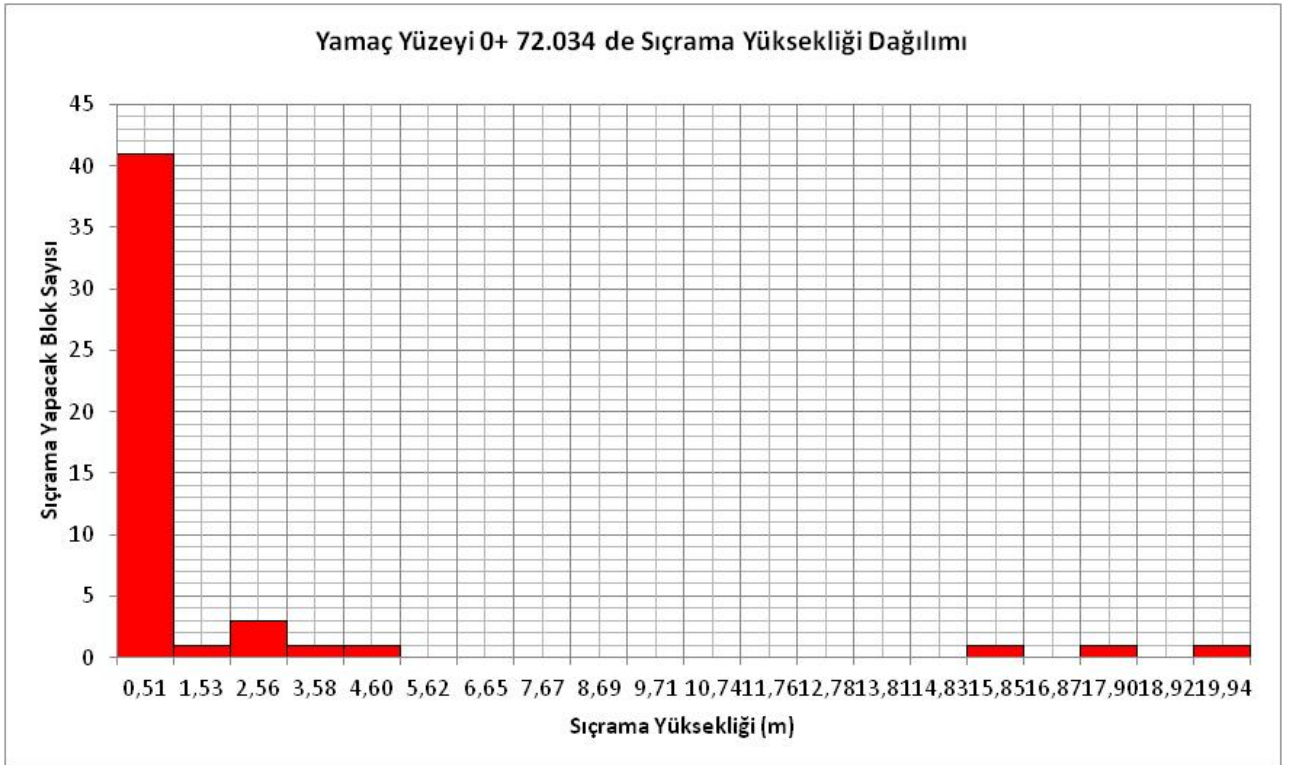
Ek-3M3: Kesit 12 Şev yüzeyi toplam kinetik enerji grafiği



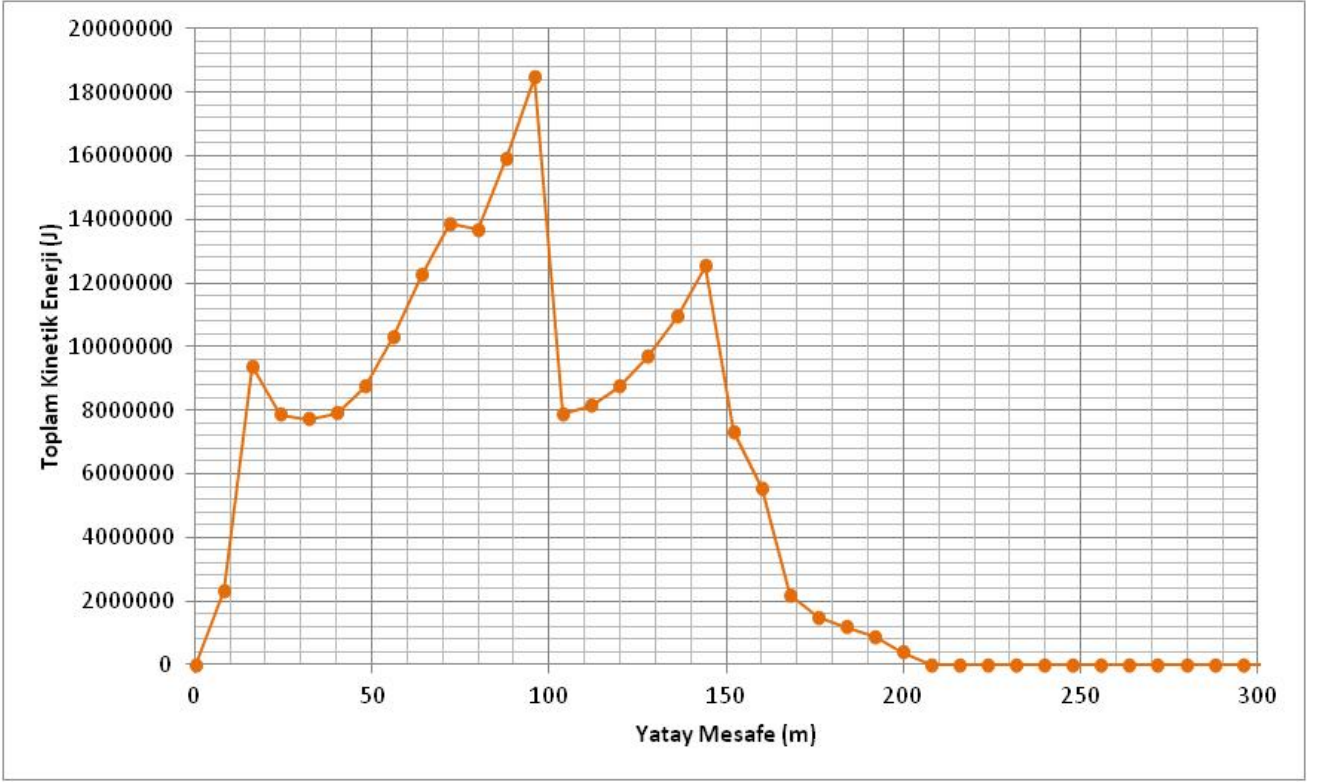
Ek-3M4: Kesit 12 Şev Yüzeyi ötelenme hızı grafiği



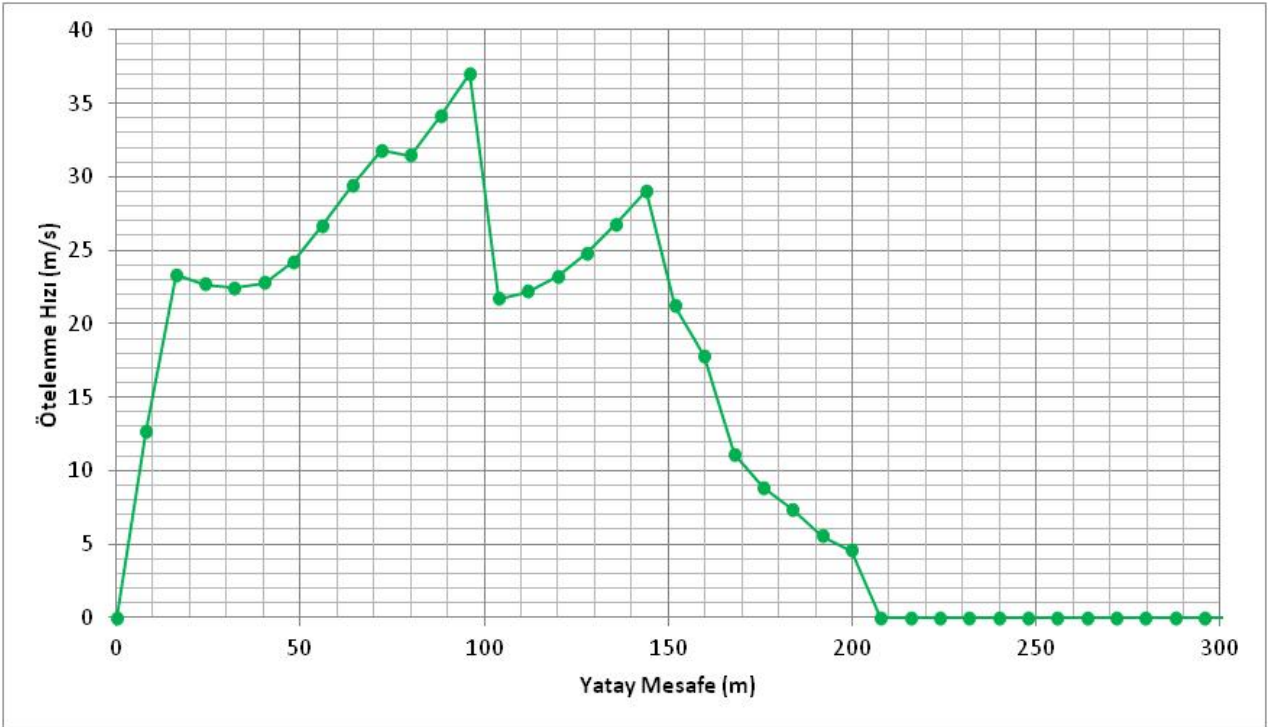
Ek-3N1: Kesit 13 Şev Yüzeği Sıçrama Yüksekliği grafiği



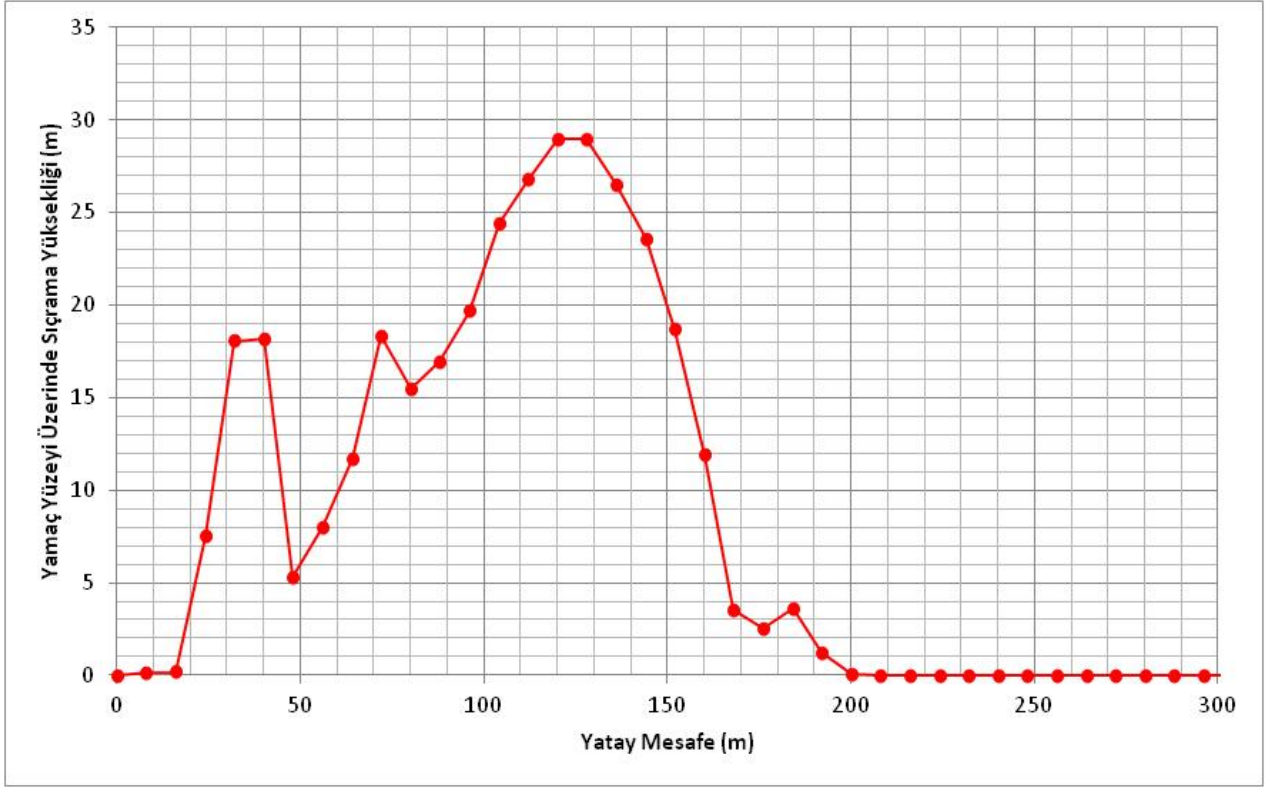
Ek-3N2: Kesit 13 0+72.034 de sıçrama yüksekliği dağılım grafiği



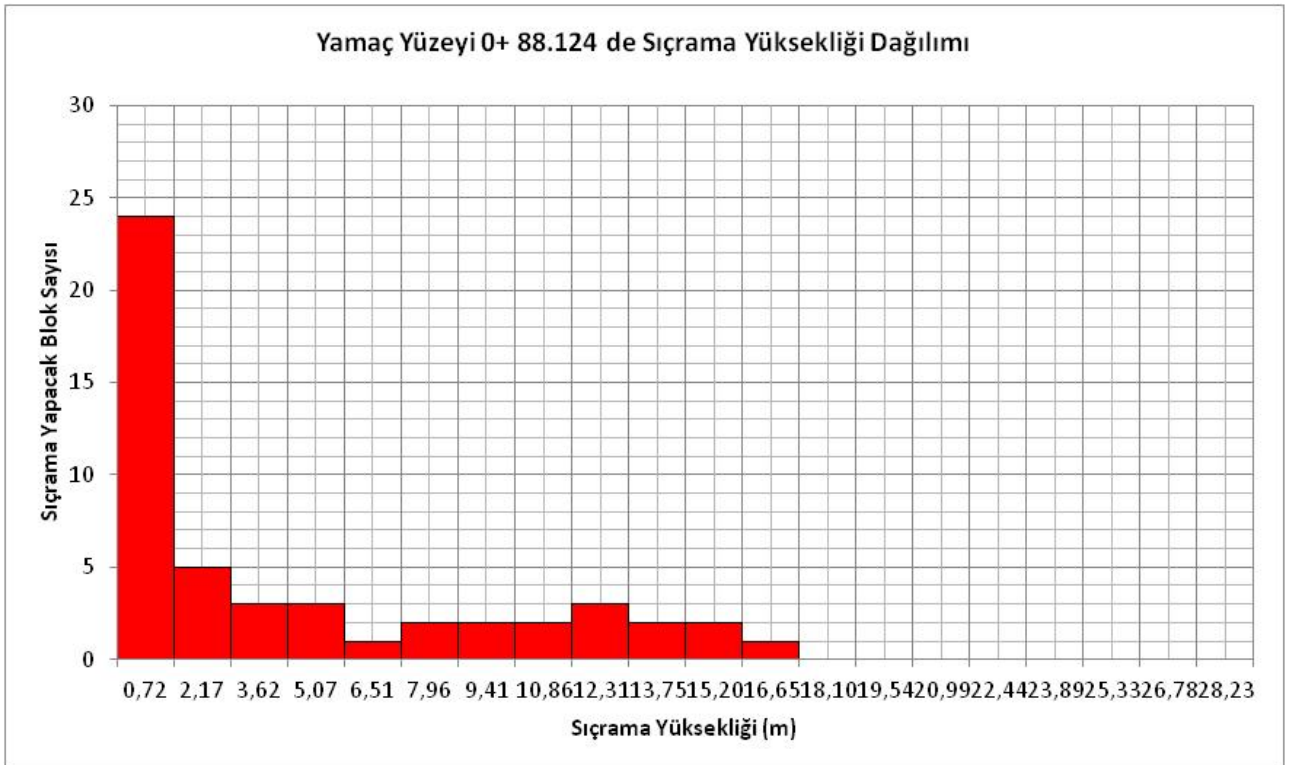
Ek-3N3: Kesit 13 Şev yüzeyi toplam kinetik enerji grafiği



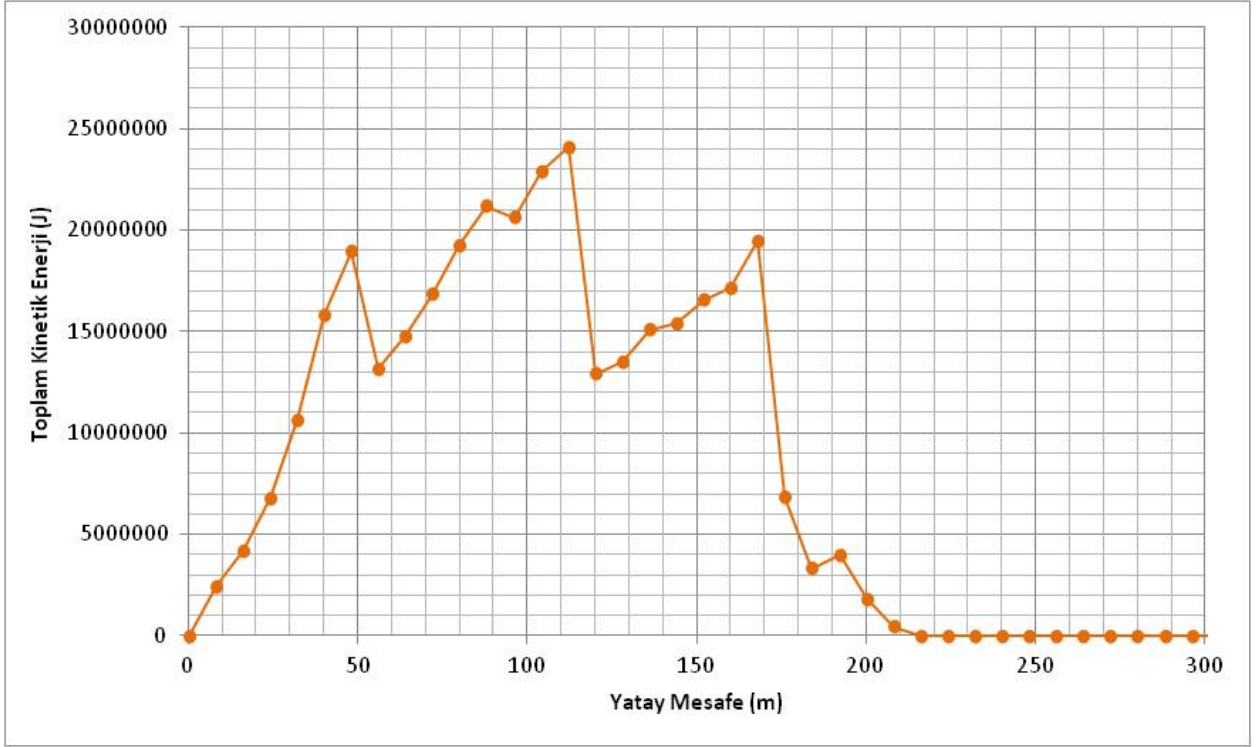
Ek-3N4: Kesit 13 Şev Yüzeyi ötelenme hızı grafiği



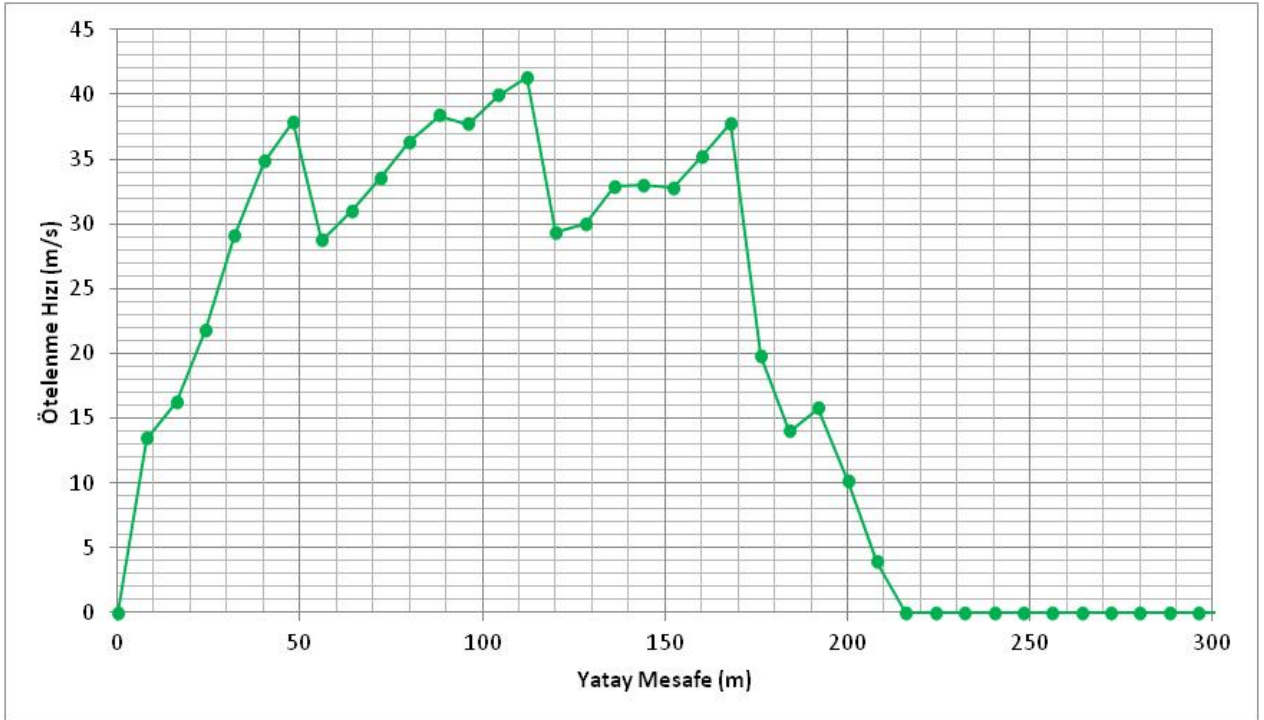
Ek-301: Kesit 14 Şev Yüzeği Sıçrama Yüksekliği grafiği



Ek-302: Kesit 14 0+88.124 de sıçrama yüksekliği dağılım grafiği

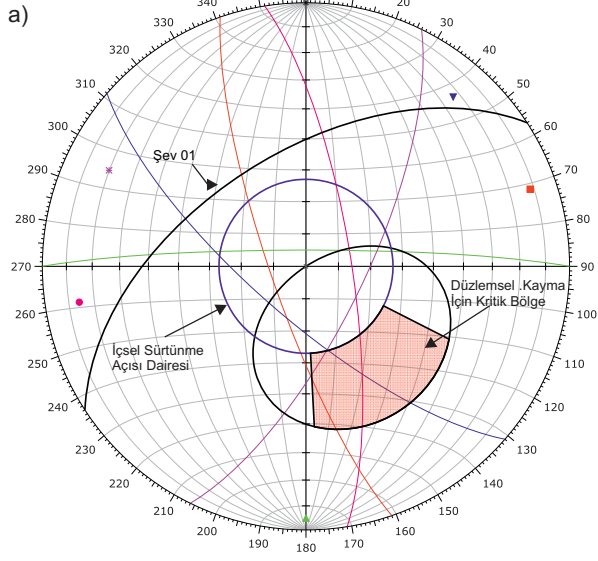


Ek-303: Kesit 14 Şev yüzeyi toplam kinetik enerji grafiği



Ek-304: Kesit 14 Şev Yüzeyi ötelenme hızı grafiği

EK: 4 Kinematik Analiz Sonuçları

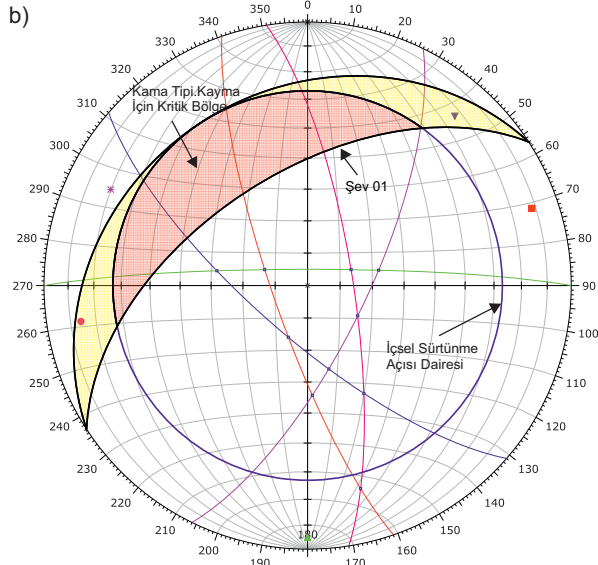


Symbol	ISIM	Quantity
●	J1	1
■	J2	1
▲	J3	1
✱	J4	1
▼	J5	1

Kinematic Analysis	Planar Sliding
Slope Dip	55
Slope Dip Direction	327
Friction Angle	27°
Lateral Limits	30°

	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	0	5	0.00%

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	5 (5 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area



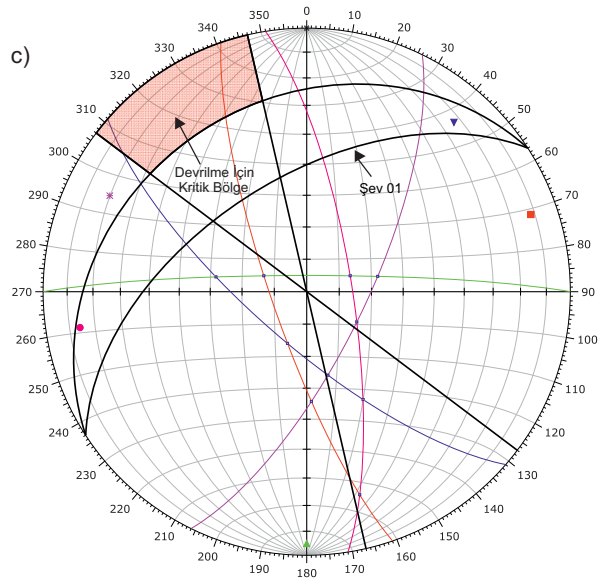
Symbol	ISIM	Quantity
●	J1	1
■	J2	1
▲	J3	1
✱	J4	1
▼	J5	1

Symbol	Feature
■	Critical Intersection
□	Intersection

Kinematic Analysis	Wedge Sliding
Slope Dip	55
Slope Dip Direction	327
Friction Angle	27°

	Critical	Total	%
Wedge Sliding	0	10	0.00%

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	5 (5 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	10
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area



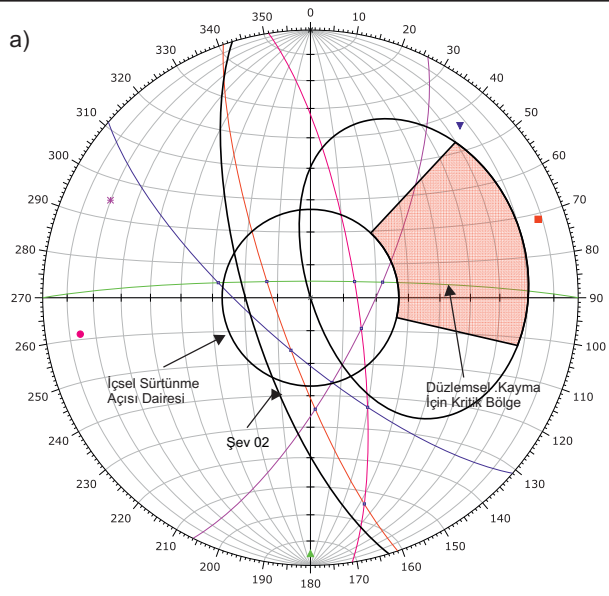
Symbol	ISIM	Quantity
●	J1	1
■	J2	1
▲	J3	1
✱	J4	1
▼	J5	1

Symbol	Feature
□	Intersection

Kinematic Analysis	Flexural Toppling
Slope Dip	55
Slope Dip Direction	327
Friction Angle	27°
Lateral Limits	20°

	Critical	Total	%
Flexural Toppling (All)	0	5	0.00%

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	5 (5 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	10
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

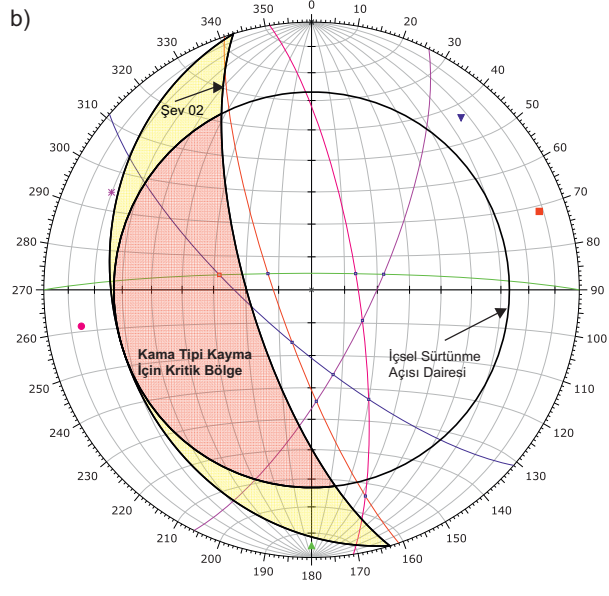


Symbol	ISIM	Quantity
●	J1	1
■	J2	1
▲	J3	1
*	J4	1
▼	J5	1

Symbol	Feature
□	Intersection

Kinematic Analysis		Planar Sliding		
Slope Dip	71			
Slope Dip Direction	253			
Friction Angle	27°			
Lateral Limits	30°			
	Critical	Total	%	
Planar Sliding (All)	0	5	0.00%	

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	5 (5 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	10
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

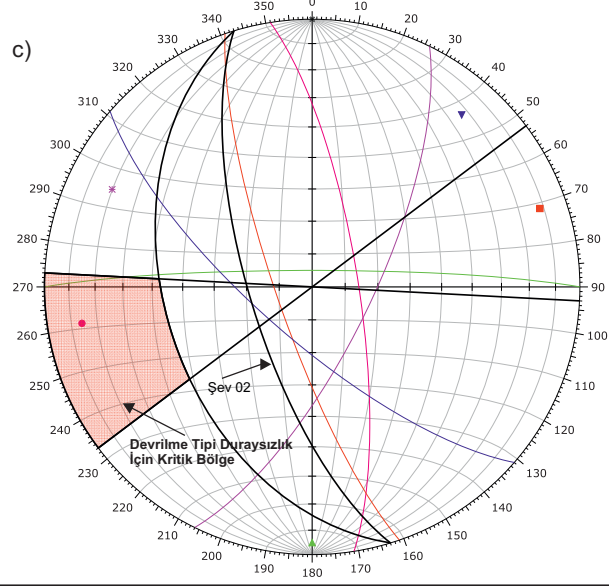


Symbol	ISIM	Quantity
●	J1	1
■	J2	1
▲	J3	1
*	J4	1
▼	J5	1

Symbol	Feature
■	Critical Intersection
□	Intersection

Kinematic Analysis		Wedge Sliding		
Slope Dip	71			
Slope Dip Direction	253			
Friction Angle	27°			
	Critical	Total	%	
Wedge Sliding	1	10	10.00%	

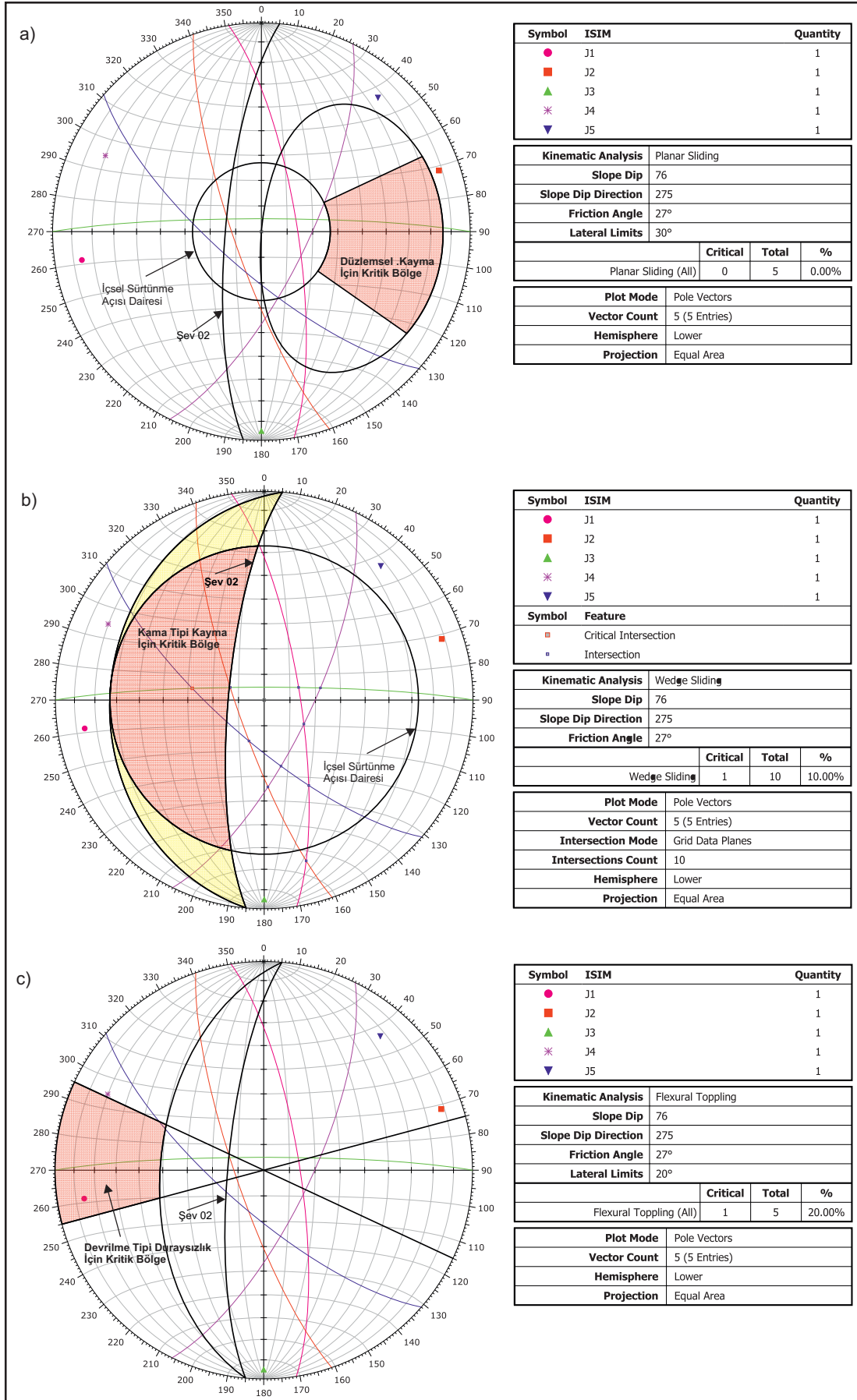
Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	5 (5 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	10
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

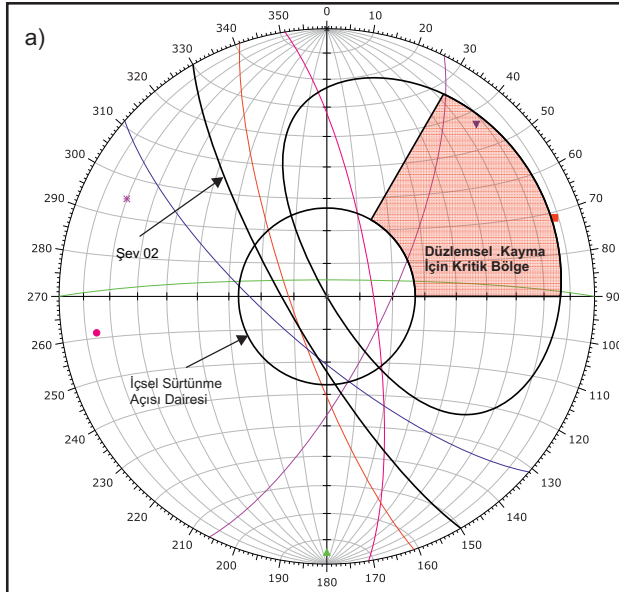


Symbol	ISIM	Quantity
●	J1	1
■	J2	1
▲	J3	1
*	J4	1
▼	J5	1

Kinematic Analysis		Flexural Toppling		
Slope Dip	71			
Slope Dip Direction	253			
Friction Angle	27°			
Lateral Limits	20°			
	Critical	Total	%	
Flexural Toppling (All)	1	5	20.00%	

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	5 (5 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

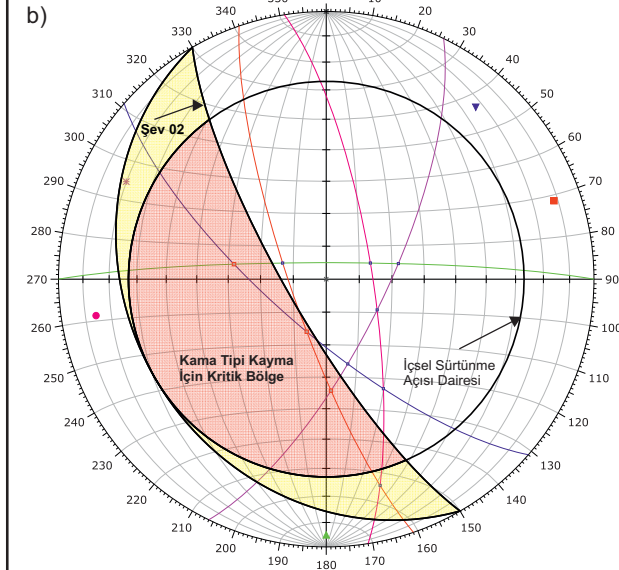




Symbol	ISIM	Quantity
●	J1	1
■	J2	1
▲	J3	1
✱	J4	1
▼	J5	1

Kinematic Analysis	Planar Sliding		
Slope Dip	78		
Slope Dip Direction	240		
Friction Angle	27°		
Lateral Limits	30°		
	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	1	5	20.00%

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	5 (5 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

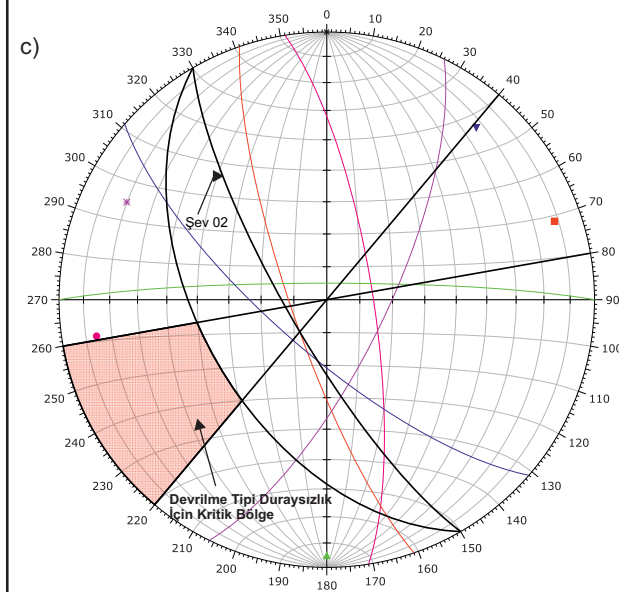


Symbol	ISIM	Quantity
●	J1	1
■	J2	1
▲	J3	1
✱	J4	1
▼	J5	1

Symbol	Feature
■	Critical Intersection
■	Intersection

Kinematic Analysis	Wedge Sliding		
Slope Dip	78		
Slope Dip Direction	240		
Friction Angle	27°		
	Critical	Total	%
Wedge Sliding	3	10	30.00%

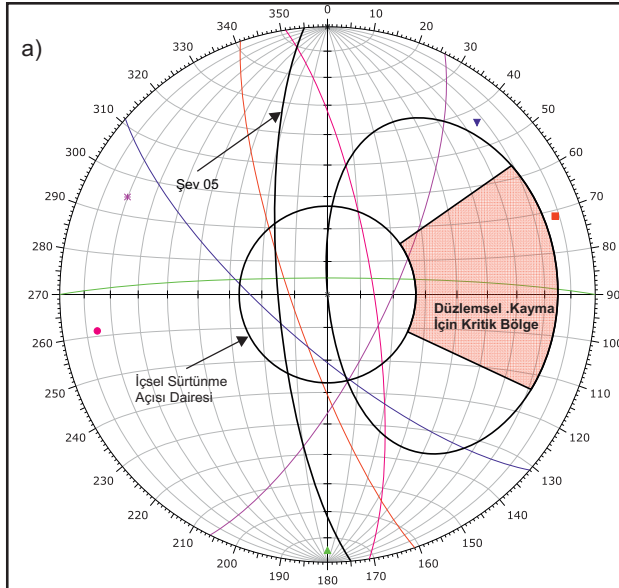
Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	5 (5 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	10
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area



Symbol	ISIM	Quantity
●	J1	1
■	J2	1
▲	J3	1
✱	J4	1
▼	J5	1

Kinematic Analysis	Flexural Toppling		
Slope Dip	78		
Slope Dip Direction	240		
Friction Angle	27°		
Lateral Limits	20°		
	Critical	Total	%
Flexural Toppling (All)	0	5	0.00%

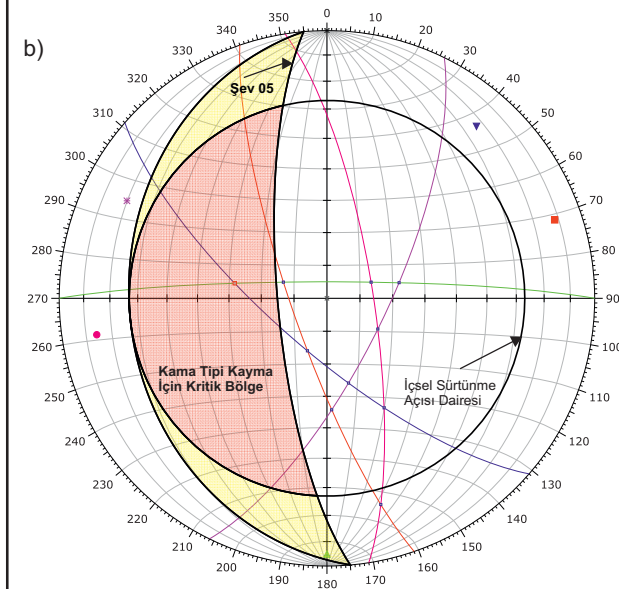
Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	5 (5 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area



Symbol	ISIM	Quantity
●	J1	1
■	J2	1
▲	J3	1
✱	J4	1
▼	J5	1

Kinematic Analysis	Planar Sliding		
Slope Dip	75		
Slope Dip Direction	265		
Friction Angle	27°		
Lateral Limits	30°		
	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	0	5	0.00%

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	5 (5 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

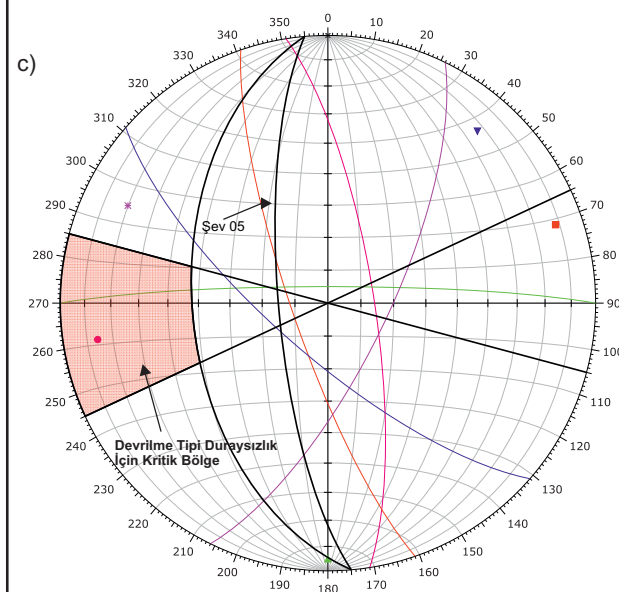


Symbol	ISIM	Quantity
●	J1	1
■	J2	1
▲	J3	1
✱	J4	1
▼	J5	1

Symbol	Feature
■	Critical Intersection
□	Intersection

Kinematic Analysis	Wedge Sliding		
Slope Dip	75		
Slope Dip Direction	265		
Friction Angle	27°		
	Critical	Total	%
Wedge Sliding	1	10	10.00%

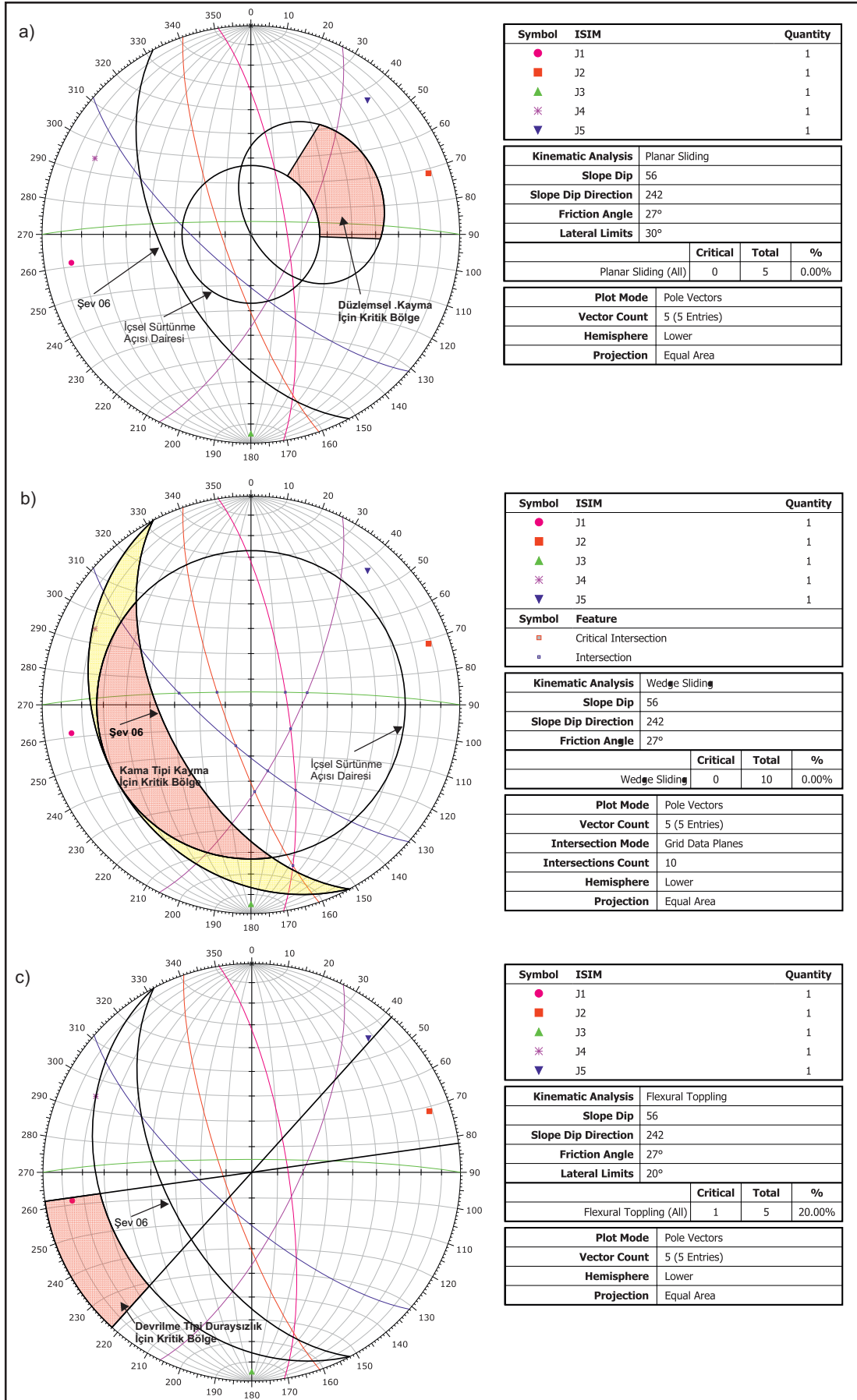
Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	5 (5 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	10
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

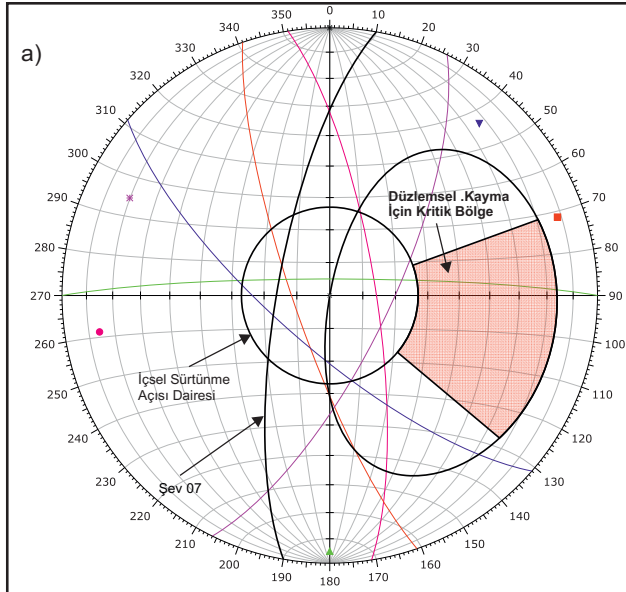


Symbol	ISIM	Quantity
●	J1	1
■	J2	1
▲	J3	1
✱	J4	1
▼	J5	1

Kinematic Analysis	Flexural Toppling		
Slope Dip	75		
Slope Dip Direction	265		
Friction Angle	27°		
Lateral Limits	20°		
	Critical	Total	%
Flexural Toppling (All)	1	5	20.00%

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	5 (5 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

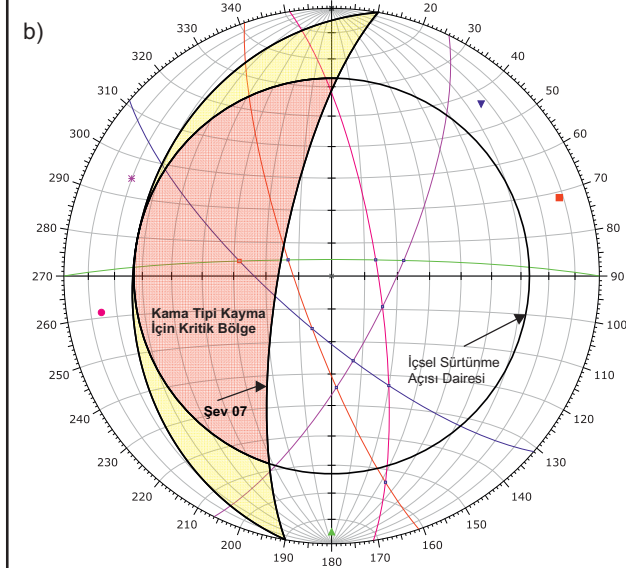




Symbol	ISIM	Quantity
●	J1	1
■	J2	1
▲	J3	1
*	J4	1
▼	J5	1

Kinematic Analysis	Planar Sliding		
Slope Dip	74		
Slope Dip Direction	280		
Friction Angle	27°		
Lateral Limits	30°		
	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	0	5	0.00%

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	5 (5 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

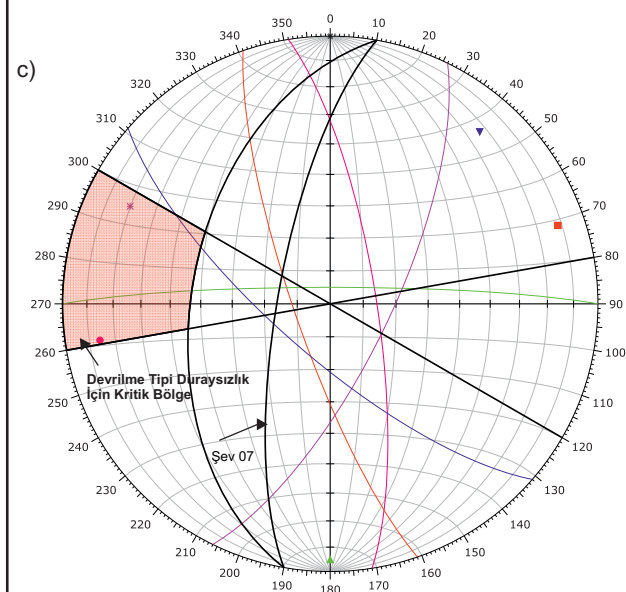


Symbol	ISIM	Quantity
●	J1	1
■	J2	1
▲	J3	1
*	J4	1
▼	J5	1

Symbol	Feature
■	Critical Intersection
□	Intersection

Kinematic Analysis	Wedge Sliding		
Slope Dip	74		
Slope Dip Direction	280		
Friction Angle	27°		
	Critical	Total	%
Wedge Sliding	1	10	10.00%

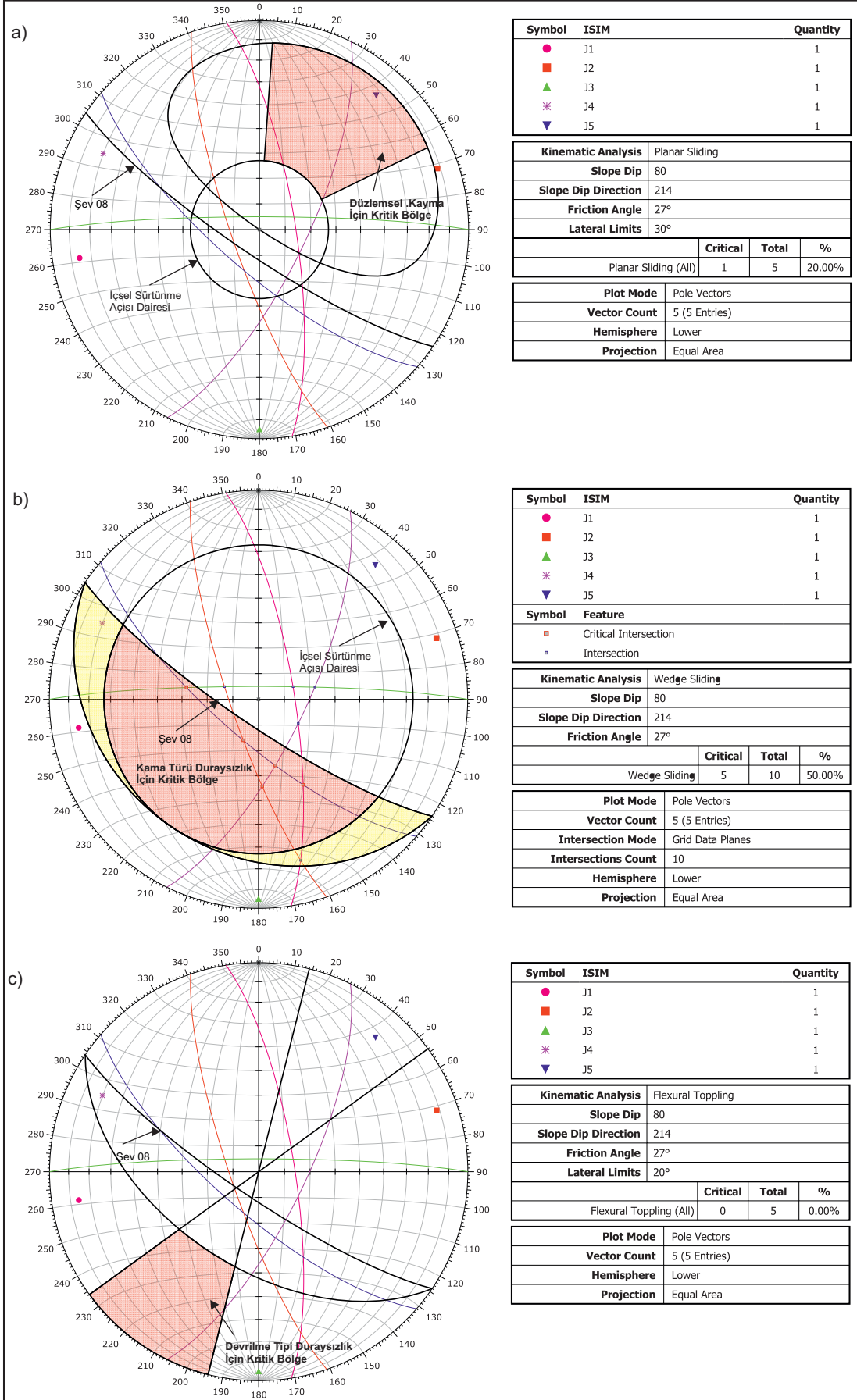
Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	5 (5 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	10
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

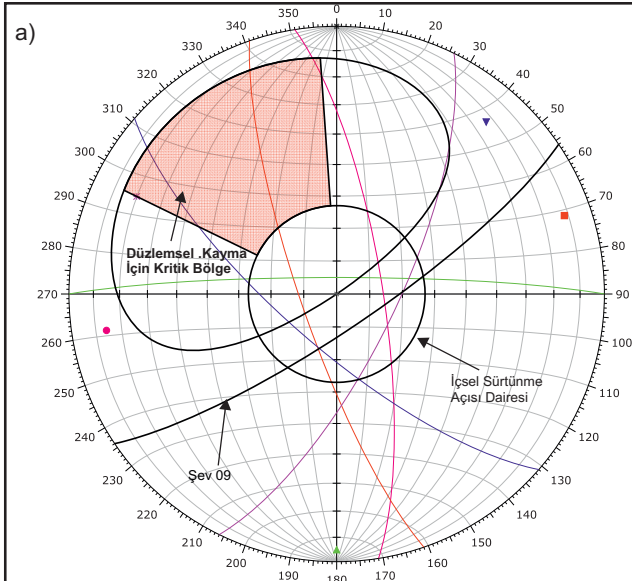


Symbol	ISIM	Quantity
●	J1	1
■	J2	1
▲	J3	1
*	J4	1
▼	J5	1

Kinematic Analysis	Flexural Toppling		
Slope Dip	74		
Slope Dip Direction	280		
Friction Angle	27°		
Lateral Limits	20°		
	Critical	Total	%
Flexural Toppling (All)	2	5	40.00%

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	5 (5 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

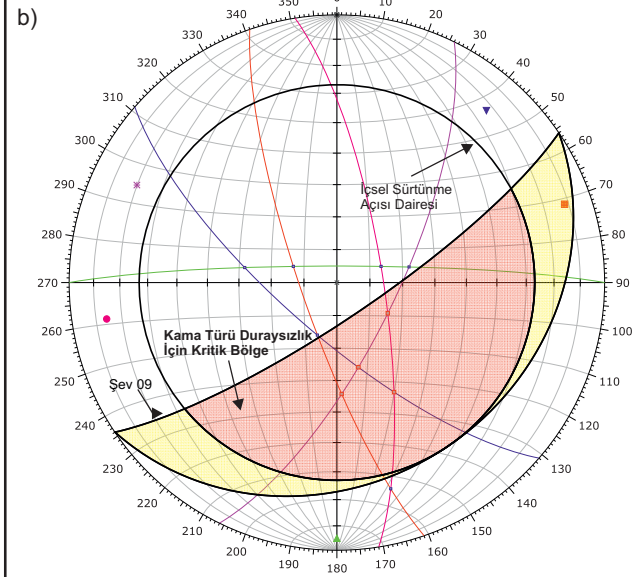




Symbol	ISIM	Quantity
●	J1	1
■	J2	1
▲	J3	1
✱	J4	1
▼	J5	1

Kinematic Analysis	Planar Sliding
Slope Dip	79
Slope Dip Direction	146
Friction Angle	27°
Lateral Limits	30°
	Critical Total %
Planar Sliding (All)	1 5 20.00%

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	5 (5 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

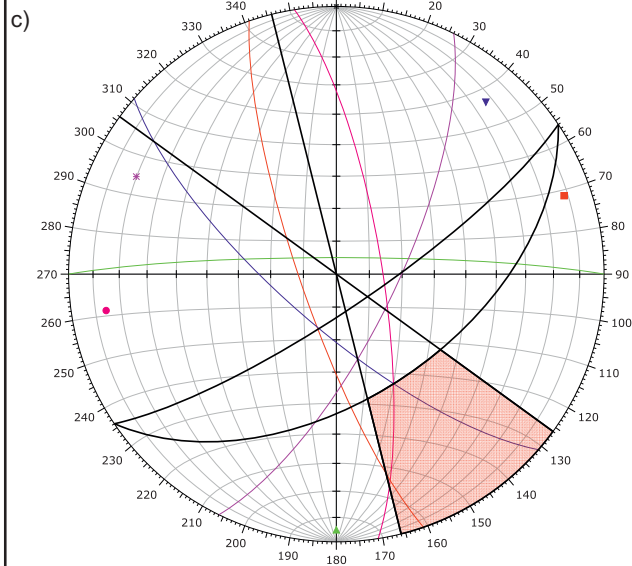


Symbol	ISIM	Quantity
●	J1	1
■	J2	1
▲	J3	1
✱	J4	1
▼	J5	1

Symbol	Feature
■	Critical Intersection
□	Intersection

Kinematic Analysis	Wedge Sliding
Slope Dip	79
Slope Dip Direction	146
Friction Angle	27°
	Critical Total %
Wedge Sliding	4 10 40.00%

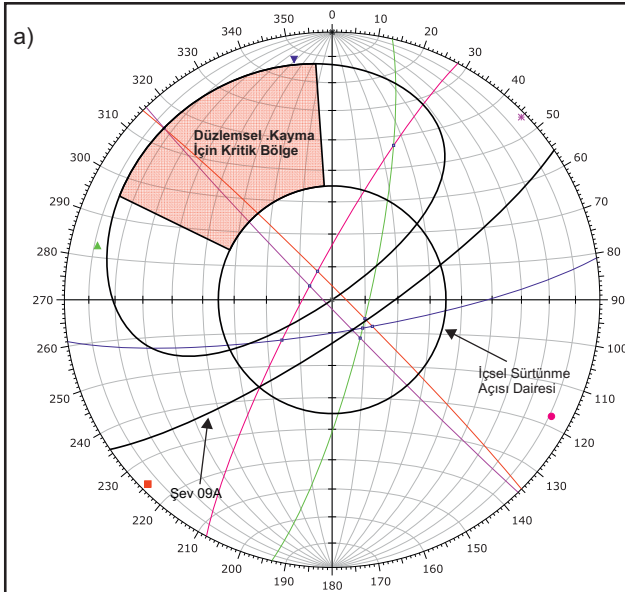
Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	5 (5 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	10
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area



Symbol	ISIM	Quantity
●	J1	1
■	J2	1
▲	J3	1
✱	J4	1
▼	J5	1

Kinematic Analysis	Flexural Toppling
Slope Dip	79
Slope Dip Direction	146
Friction Angle	27°
Lateral Limits	20°
	Critical Total %
Flexural Toppling (All)	0 5 0.00%

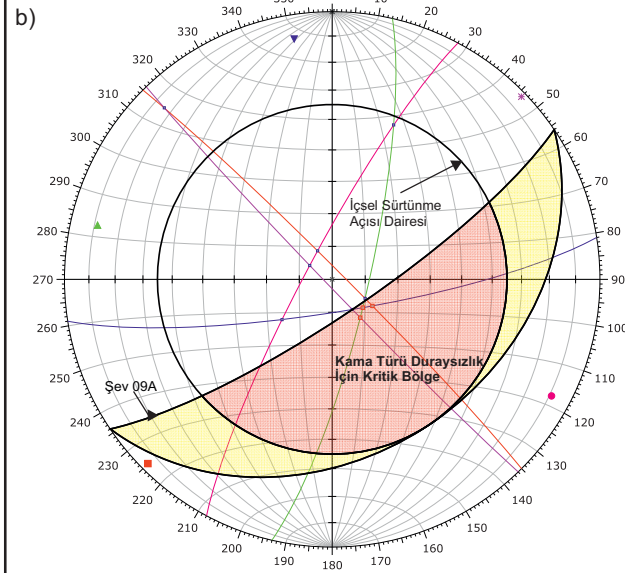
Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	5 (5 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area



Symbol	ISIM	Quantity
●	J1	1
■	J2	1
▲	J3	1
✱	J4	1
▼	J5	1
Symbol Feature		
■	Intersection	

Kinematic Analysis		Planar Sliding
Slope Dip	79	
Slope Dip Direction	146	
Friction Angle	35°	
Lateral Limits	30°	
	Critical	Total
Planar Sliding (All)	0	5
		%
		0.00%

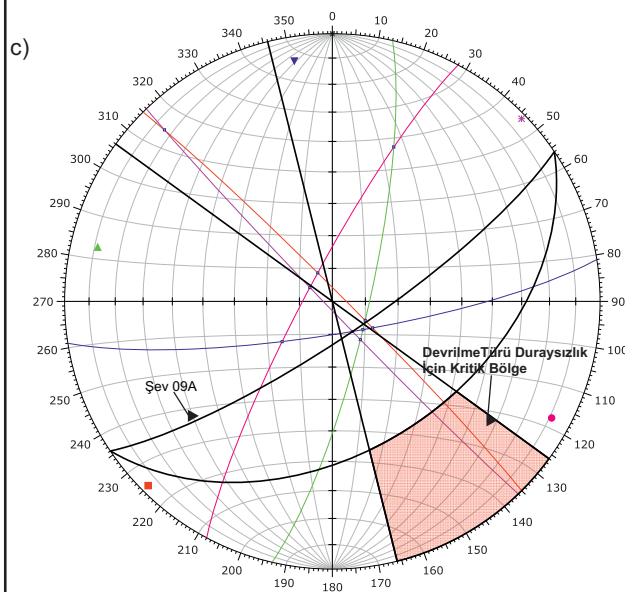
Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	5 (5 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	10
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area



Symbol	ISIM	Quantity
●	J1	1
■	J2	1
▲	J3	1
✱	J4	1
▼	J5	1
Symbol Feature		
■	Critical Intersection	
■	Intersection	

Kinematic Analysis		Wedge Sliding
Slope Dip	79	
Slope Dip Direction	146	
Friction Angle	35°	
	Critical	Total
Wedge Sliding	3	10
		%
		30.00%

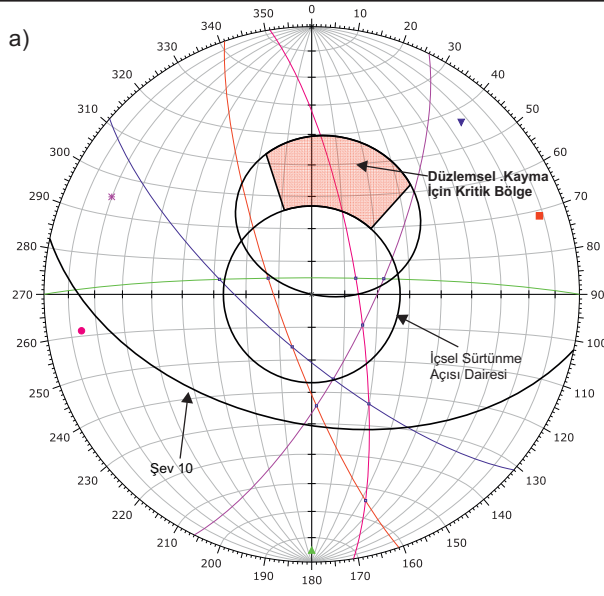
Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	5 (5 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	10
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area



Symbol	ISIM	Quantity
●	J1	1
■	J2	1
▲	J3	1
✱	J4	1
▼	J5	1
Symbol Feature		
■	Intersection	

Kinematic Analysis		Flexural Toppling
Slope Dip	79	
Slope Dip Direction	146	
Friction Angle	35°	
Lateral Limits	20°	
	Critical	Total
Flexural Toppling (All)	0	5
		%
		0.00%

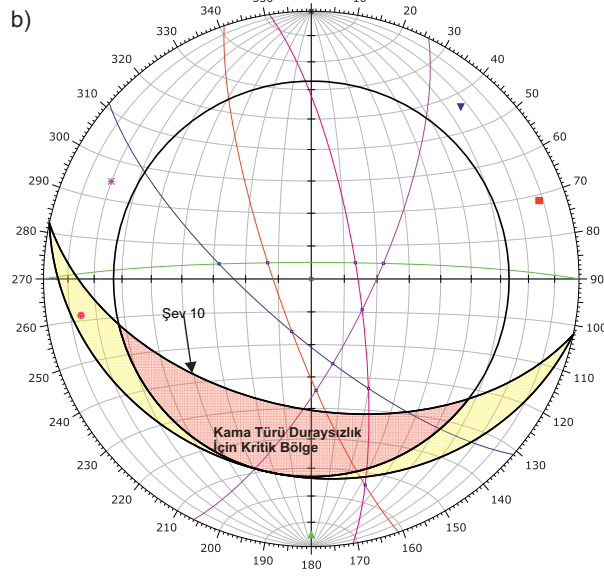
Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	5 (5 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	10
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area



Symbol	ISIM	Quantity
●	J1	1
■	J2	1
▲	J3	1
✱	J4	1
▼	J5	1
Symbol Feature		
■	Intersection	

Kinematic Analysis		Planar Sliding	
Slope Dip	50		
Slope Dip Direction	192		
Friction Angle	27°		
Lateral Limits	30°		
	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	0	5	0.00%

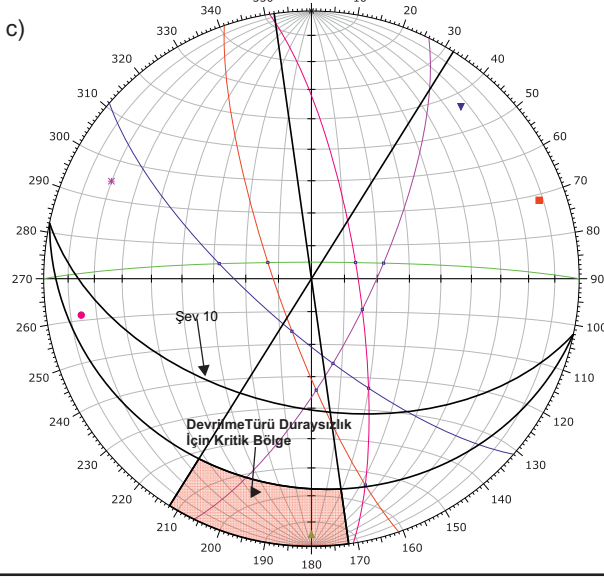
Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	5 (5 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	10
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area



Symbol	ISIM	Quantity
●	J1	1
■	J2	1
▲	J3	1
✱	J4	1
▼	J5	1
Symbol Feature		
■	Critical Intersection	
■	Intersection	

Kinematic Analysis		Wedge Sliding	
Slope Dip	50		
Slope Dip Direction	192		
Friction Angle	27°		
	Critical	Total	%
Wedge Sliding	0	10	0.00%

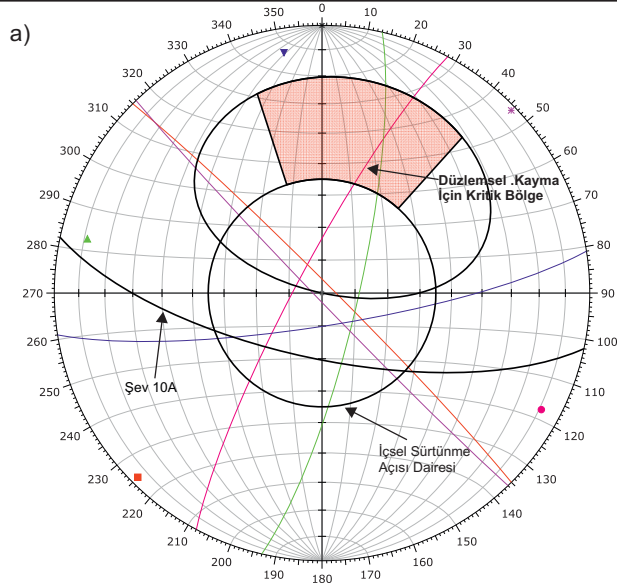
Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	5 (5 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	10
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area



Symbol	ISIM	Quantity
●	J1	1
■	J2	1
▲	J3	1
✱	J4	1
▼	J5	1
Symbol Feature		
■	Intersection	

Kinematic Analysis		Flexural Toppling	
Slope Dip	50		
Slope Dip Direction	192		
Friction Angle	27°		
Lateral Limits	20°		
	Critical	Total	%
Flexural Toppling (All)	1	5	20.00%

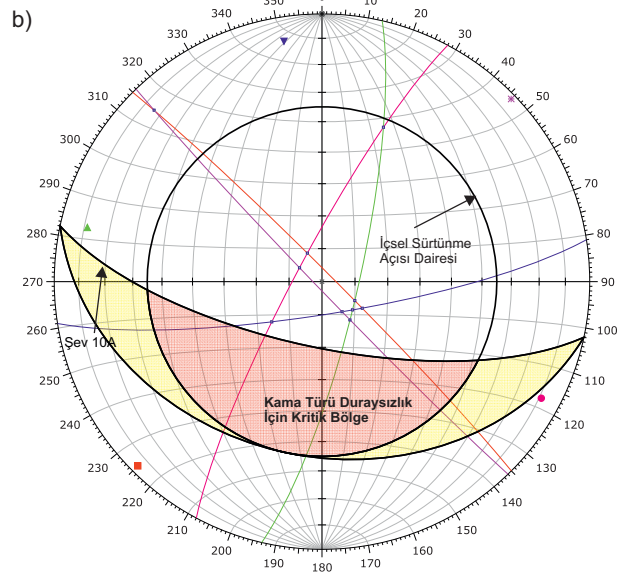
Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	5 (5 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	10
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area



Symbol	ISIM	Quantity
●	J1	1
■	J2	1
▲	J3	1
✱	J4	1
▼	J5	1

Kinematic Analysis		Planar Sliding		
Slope Dip		70		
Slope Dip Direction		192		
Friction Angle		35°		
Lateral Limits		30°		
		Critical	Total	%
Planar Sliding (All)		0	5	0.00%

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	5 (5 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

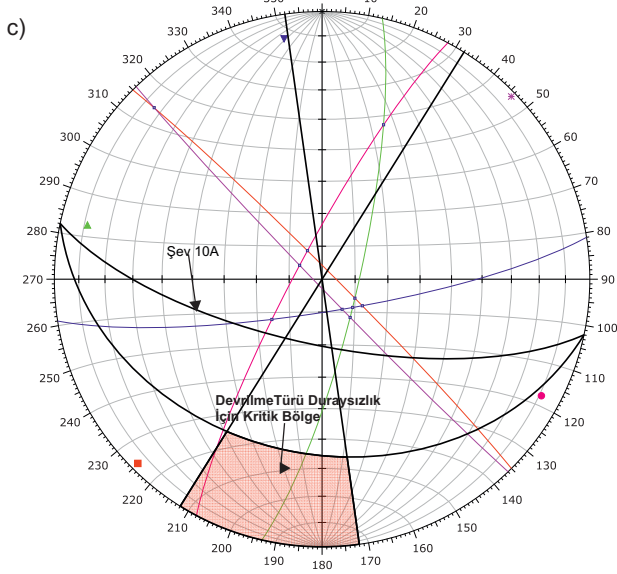


Symbol	ISIM	Quantity
●	J1	1
■	J2	1
▲	J3	1
✱	J4	1
▼	J5	1

Symbol	Feature
■	Critical Intersection
□	Intersection

Kinematic Analysis		Wedge Sliding		
Slope Dip		70		
Slope Dip Direction		192		
Friction Angle		35°		
		Critical	Total	%
Wedge Sliding (All)		0	10	0.00%

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	5 (5 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	10
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

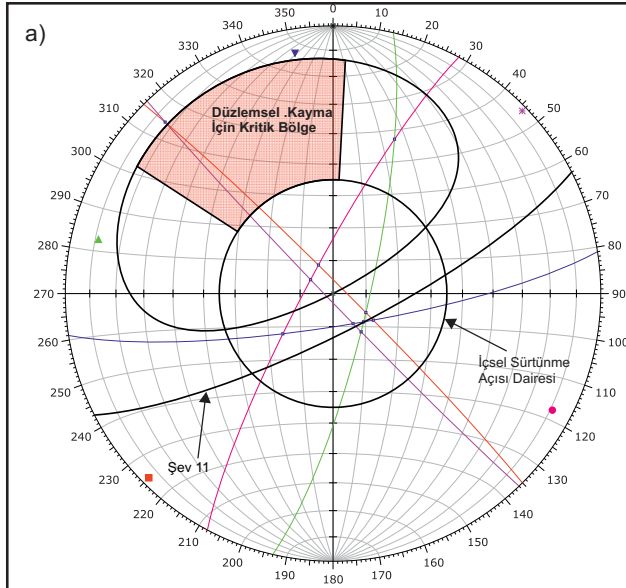


Symbol	ISIM	Quantity
●	J1	1
■	J2	1
▲	J3	1
✱	J4	1
▼	J5	1

Symbol	Feature
□	Intersection

Kinematic Analysis		Flexural Toppling		
Slope Dip		70		
Slope Dip Direction		192		
Friction Angle		35°		
Lateral Limits		20°		
		Critical	Total	%
Flexural Toppling (All)		0	5	0.00%

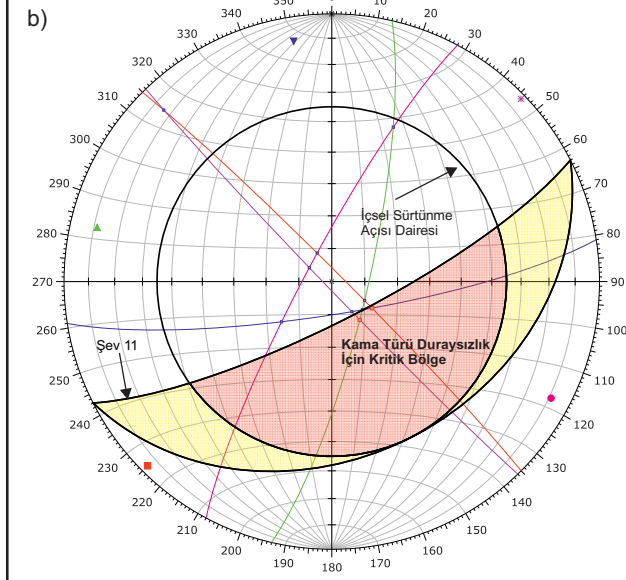
Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	5 (5 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	10
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area



Symbol	ISIM	Quantity
●	J1	1
■	J2	1
▲	J3	1
✱	J4	1
▼	J5	1
Symbol	Feature	
■	Intersection	

Kinematic Analysis	Planar Sliding		
Slope Dip	78		
Slope Dip Direction	153		
Friction Angle	35°		
Lateral Limits	30°		
	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	0	5	0.00%

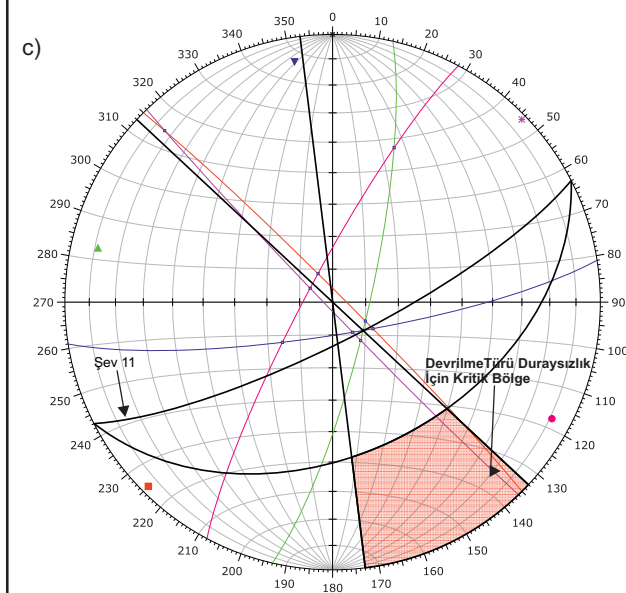
Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	5 (5 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	10
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area



Symbol	ISIM	Quantity
●	J1	1
■	J2	1
▲	J3	1
✱	J4	1
▼	J5	1
Symbol	Feature	
■	Critical Intersection	
■	Intersection	

Kinematic Analysis	Wedge Sliding		
Slope Dip	78		
Slope Dip Direction	153		
Friction Angle	35°		
	Critical	Total	%
Wedge Sliding	2	10	20.00%

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	5 (5 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	10
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area



Symbol	ISIM	Quantity
●	J1	1
■	J2	1
▲	J3	1
✱	J4	1
▼	J5	1
Symbol	Feature	
■	Intersection	

Kinematic Analysis	Flexural Toppling		
Slope Dip	78		
Slope Dip Direction	153		
Friction Angle	35°		
Lateral Limits	20°		
	Critical	Total	%
Flexural Toppling (All)	0	5	0.00%

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	5 (5 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	10
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area