

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YOMRA-ÖZDİL YÖRESİNDE KAYA DÜŞME POTANSİYELİNİN ÜÇ BOYUTLU MODELLERLE
ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Pınarcan ALKAN

EYLÜL 2024
TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**YOMRA-ÖZDİL YÖRESİNDE KAYA DÜŞME POTANSİYELİNİN ÜÇ
BOYUTLU MODELLERLE ANALİZİ**

Pınarcan ALKAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce
"YÜKSEK LİSANS (JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ)"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 31/07/2024
Tezin Savunma Tarihi : 09/09/2024

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hakan ERSOY

Trabzon 2024

ÖNSÖZ

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. Bu çalışmada kaya düşmelerinin sıklıkla yaşandığı Yomra-Özdil Karayolunda kaya düşme potansiyelinin üç boyutlu modellerle analizi yapılarak, Yomra-Özdil-Yağmurdere (DOKAP) İl yolu Çalışması kapsamında km: 09+700 - 10+200 arasında bulunan kaya kütlelerinde yapılacak patlatmalı kazıların HES' e etkisi değerlendirilip kaya kırıcı kartuşların performansı araştırılarak ve normal patlatmalarla kaya kırıcı kartuşlarının etkileri karşılaştırılmıştır. Yüksek lisans eğitimi dönemimde kendisini tanıyıp değerli bilgilerinden faydalanma şansı bulduğum sevgili danışman hocam sayın Prof. Dr. Hakan ERSOY' a teşekkürlerimi ve saygımı sunarım.

Bu çalışma sürecimde desteğini ve yardımlarını esirgemeyen, çalışma disiplini örnek aldığım Dr. Öğr. Üyesi Muhammet Oğuz SÜNNETCİ hocama teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Değerli bilgileri için Öğr. Gör. Dr. Murat KARAHAN' a teşekkürlerimi sunarım.

Tüm öğrenim hayatım boyunca yanımda olan ve bana güvenip her zaman güç veren anneme ve kardeşime minnettar olup sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans tez dönemimde desteğini esirgemeyen ve yanımda olan arkadaşım Kadir YILMAZ' a teşekkürlerimi sunarım.

Pınarcan ALKAN

Trabzon, 2024

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Yomra-Özdil Yöresinde Kaya Düşme Potansiyelinin Üç Boyutlu Modellerle Analizi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Hakan ERSOY’ un sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 09 / 09 / 2024

Pınarcan ALKAN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XIII
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XV
1.GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı	2
1.3. Çalışma Sahası ve Çevresinin Deprem Durumu	4
2.YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	6
2.1. Kaya Mekaniği Laboratuvar Deneyleri.....	8
2.2. Kaya Kütlelerinde Süreksizlik Özellikleri	9
2.2.1. Süreksizliklerin Yönelimi ve Süreksizlik Setleri	10
2.2.2. Süreksizlik Aralığı.....	11
2.2.3. Süreksizlik Açıklığı ve Dolgu	11
2.2.4. Süreksizliklerin Devamlılığı	12
2.2.5. Süreksizliklerin Pürüzlülüğü	12
2.2.6. Süreksizliklerin Yüzeylerinin Bozunma Derecesi	13
3.BULGULAR VE İRDELEMELER	14
3.1. Çalışma Sahası ve Çevresinin Jeolojisi.....	14
3.2. Süreksizlik Özellikleri.....	15
3.3. Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI).....	19
3.3.1. Hoek-Brown Yenilme Kriteri ve Kaya Kütle Dayanımı.....	21
3.4. Şev Stabilite Analizleri (Kinematik Analizler).....	24

3.5. Kaya Düşme Riskinin Belirlenmesi	29
3.5.1. Kaya Düşme Riski Sınıflaması.....	29
3.5.2. Üç Boyutlu Kaya Düşme Analizleri.....	32
3.5.3.Üç Boyutlu Modelin Kurulması.....	33
3.5.4. Kaya Düşme Analizleri	36
3.5.5.Kaya Düşmelerinin Regülatöre Etkisinin Değerlendirilmesi	46
3.6. Patlatmalı Kazı Faaliyetleri	49
3.6.1. KM:09+900 – 10+050 Arası Kaya Kırıcı Kartuşla Kazı Faaliyetleri	49
3.6.2. Patlatma Tasarımı ve Uygulaması	50
3.6.3. Kaya Kırıcı Kartuşla Gerçekleştirilen Patlatma Titreşim Ölçümleri	58
3.6.4. KM:09+900 Kuzeyi, KM:10+050 Güneyi Patlatmalı Kazı Faaliyetleri	62
3.6.5. Patlatma Tasarımı.....	63
3.6.6. Patlatma Kaynaklı Titreşimler.....	69
3.6.7. Hava Şoku ve Gürültü	73
3.6.8. Taş Savrulması	75
3.6.9. Önerilen Kazı Geometrisi için Şev Stabilite Analizleri.....	77
4.TARTIŞMA	82
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	93
6.KAYNAKLAR	95
ÖZGEÇMİŞ	

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

YOMRA ÖZDİL YÖRESİNDE KAYA DÜŞME POTANSİYELİNİN ÜÇ BOYUTLU
MODELLERLE ANALİZİ

Pınarcan ALKAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Hakan ERSOY
2024, 96 Sayfa

Bu çalışmada kaya düşmelerinin sıklıkla yaşandığı Yomra-Özdil Karayolunda kaya düşme potansiyelinin üç boyutlu modellerle analizi yapılmış, Yomra-Özdil-Yağmurdere (DOKAP) İl yolu çalışması kapsamında km: 09+700 - 10+200 arasında bulunan kaya kütlelerinde yapılacak patlatmalı kazıların HES' e etkisi değerlendirilmiş, normal patlatmalarla kaya kırıcı kartuşlarının etkileri karşılaştırılmıştır. Karayolu kazılarında, taş ocakçılığı, madencilik, inşaat altyapı kazılarında, kuyu, tünel gibi çeşitli alanlarda patlatmalar kaçınılmazdır. Haliyle yer sarsıntısı, hava şokundan kaynaklanan kaya düşmeleri sıkça karşımıza çıkmaktadır. Bu kapsamda arazide kaya düşmesi potansiyeli taşıyan alanlardan toplanan veriler olasılıksal-numerik yöntemler ile değerlendirilerek analizler RocPro3D, RocPlane, Swedge yazılımlarından faydalanılarak yapılmıştır. Bu değerlendirmelere dayanılarak oluşabilecek kütle hareketlerinin potansiyel tehlikeleri analiz edilip kaya kırıcı kartuşlarla kaya düşme potansiyelinin minimuma indirgenmesi amaçlanmıştır. Kaya kırıcı kartuşlar daha hassas yapıların olduğu alanlarda kullanıma uygundur. Kaya kırıcı kartuşun dinamitten farkı patlatma yerine kayaları çatlatarak kırmasıdır. Bu çalışmada kaya düşme potansiyellerinin üç boyutlu modellerle analizi yapılarak kaya kırıcı kartuşların performansı araştırılmış ve normal patlatmalarla kaya kırıcı kartuşların etkileri bütün halde değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kaya düşmesi, Kaya kırıcı kartuş, Üç boyutlu model, Kaya düşme potansiyeli

Master Thesis

SUMMARY

ANALYSIS OF ROCKFALL POTENTIAL IN YOMRA ÖZDİL REGION WITH THREE DIMENSIONAL MODELS

Pınarcan ALKAN

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Geology Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Hakan ERSOY
2024, 96 Pages

In this study, the rockfall potential on the Yomra-Özdil Highway, where rockfalls occur frequently, was analyzed with three-dimensional models, within the scope of Yomra-Özdil-Yağmurdere (DOKAP) provincial road work, the impact of explosive excavations on the rock masses located between km: 09+700 - 10+200 on the HEPP was evaluated. The effects of rock crusher cartridges were compared with normal blasts. Blasting is inevitable in various areas such as highway excavations, quarrying, mining, construction infrastructure excavations, wells and tunnels. Naturally, ground shaking and rock falls caused by air shock are frequently encountered. In this context, the data collected from areas with rockfall potential in the field were evaluated with probabilistic-numerical methods and the analyzes were made using RocPro3D, RocPlane, Swedge software. Based on these evaluations, the potential dangers of mass movements that may occur are analyzed and it is aimed to minimize the rockfall potential with rock crusher cartridges. Rock breaker cartridges are suitable for use in areas with more sensitive structures. The difference between the rock-breaking cartridge and dynamite is that it breaks rocks by cracking them instead of exploding. In this study, the performance of rock-breaking cartridges was investigated by analyzing rockfall potentials with three-dimensional models, and the effects of normal blasting and rock-breaking cartridges were evaluated as a whole.

Key Words: Rockfall, Rockbreaker cartridge, Three-dimensional model, Rockfall potential

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.	Çalışma sahasının Google Earth uydu görüntüsündeki konumu	3
Şekil 2.	Çalışma alanının AFAD Türkiye deprem tehlike haritasındaki yeri ve 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyindeki maksimum yer ivmesi verisi.....	4
Şekil 3.	Şev çalışması yapılacak alanda KM: 09+700 – 10+200 arasında kalan güzergah.....	6
Şekil 4.	KM: 09+800 – 09+900 güzergâhında bulunan düşme riski yüksek olan bloklar	7
Şekil 5.	KM: 09+900 – 10+100 güzergâhında bulunan düzlemsel kayma ve kama tipi kayma riski yüksek olan kaya kütleleri	7
Şekil 6.	KM: 09+900 – 10+100 arasında 2 farklı süreksizlik düzleminin ara kesiti boyunca meydana gelen kama tipi yenilme sonrası açığa çıkan süreksizlik yüzeyleri.....	8
Şekil 7.	Çalışma sahası ve çevresinin jeoloji haritası (Güven 1998'den değiştirilerek)	14
Şekil 8.	Bazaltlardan oluşan kaya kütlelerindeki süreksizlik setlerindeki kontur diyagramı (alt yarı küre) ve ana süreksizlik takımlarındaki konumlar....	16
Şekil 9.	Hoek vd. (2013) tarafından önerilen GSI grafiği ve kaya kütledeki GSI verileri	21
Şekil 10.	Hoek-Brown yenilme kriterine dayanılarak belirlenen kaya kütle nitelikleri	24
Şekil 11.	120/80 duruşlu şevlerde 90/65 ve 130/70 duruşlu süreksizlikler boyunca düzlemsel kayma riskini oluşturan kinematik analizlerin sonuçları.....	27
Şekil 12.	120/80 duruşlu şevlerde 90/65-130/70, 130/70-210/70 ve 90/65-210/70 duruşlu süreksizlik setlerinde ara kesit boyunca kama tipi kayma riskini oluşturan kinematik analizlerin sonuçları.....	28

Şekil 13.	120/80 duruşlu şevlerde negatif eğim nedeniyle 130/70 duruşlu süreksizlikler boyunca serbest düşme riskini gösteren kinematik analizlerin sonuçları.....	28
Şekil 14.	120/80 duruşlu şevlerde devrilme tipi yenilmenin kinematik analizler.....	29
Şekil 15.	RocPro3D yazılımı kullanılarak oluşturulan 3 boyutlu katı model	33
Şekil 16.	RocPro3D yazılımında oluşturulan düzensiz üçgen ağı (TIN) (alt şekil)	34
Şekil 17.	RocPro3D yazılımında oluşturulan nokta bulutu (üst şekil).....	34
Şekil 18.	RocPro3D yazılımında oluşturulan çalışma sahasına ait 3 boyutlu eğim haritası.....	35
Şekil 19.	RocPro3D yazılımında oluşturulan eğim derecesi (üst şekil) ve sayısal yükseklik modeli (alt şekil)	36
Şekil 20.	Karayolu şevleri üzerinden 100 kg kütleyle sahip kaya bloklarının düşmesi/yuvarlanması durumu için hesaplanan enerji miktarları.....	37
Şekil 21.	Karayolu şevleri üzerinden 100 kg kütleyle sahip kaya bloklarının düşmesi/yuvarlanması durumu için hesaplanan hız değerleri	38
Şekil 22.	Karayolu şevleri üzerinden 100 kg kütleyle sahip kaya bloklarına ait darbe izi dağılım noktası haritası.....	38
Şekil 23.	Karayolu şevleri üzerinden 100 kg kütleyle sahip kaya bloklarına ait son ilerleme noktası haritası.....	39
Şekil 24.	Karayolu şevleri üzerinden 100 kg kütleyle sahip kaya bloklarına ait hareket izi dağılım haritası	39
Şekil 25.	Karayolu şevleri üzerinden 500 kg kütleyle sahip kaya bloklarının düşmesi/yuvarlanması durumu için hesaplanan enerji miktarları	40
Şekil 26.	Karayolu şevleri üzerinden 500 kg kütleyle sahip kaya bloklarının düşmesi/yuvarlanması durumu için hesaplanan hız değerleri	41
Şekil 27.	Karayolu şevleri üzerinden 500 kg kütleyle sahip kaya bloklarına ait darbe izi dağılım noktası haritası.....	41
Şekil 28.	Karayolu şevleri üzerinden 500 kg kütleyle sahip kaya bloklarına ait son ilerleme noktası haritası.....	42
Şekil 29.	Karayolu şevleri üzerinden 500 kg kütleyle sahip kaya bloklarına ait hareket izi dağılım haritası	42
Şekil 30.	Karayolu şevleri üzerinden 1000 kg kütleyle sahip kaya bloklarının düşmesi/yuvarlanması durumu için hesaplanan enerji miktarları	43

Şekil 31.	Karayolu şevleri üzerinden 1000 kg kütleye sahip kaya bloklarının düşmesi/yuvarlanması durumu için hesaplanan hız değerleri	44
Şekil 32.	Karayolu şevleri üzerinden 1000 kg kütleye sahip kaya bloklarına ait darbe izi dağılım noktası haritası	44
Şekil 33.	Karayolu şevleri üzerinden 1000 kg kütleye sahip kaya bloklarına ait son ilerleme noktası haritası.....	45
Şekil 34.	Karayolu şevleri üzerinden 1000 kg kütleye sahip kaya bloklarına ait hareket izi dağılım haritası	45
Şekil 35.	Yomra Deresi üzerinden bulunan regülatörün Yomra-Özdil karayoluna ve kazı çalışması yapılacak şeve göre konumu	46
Şekil 36.	09.10.2022 tarihinde km: 09+900'da süreksizliler boyunca meydana gelen kama tipi yenilme sonrası kaya düşme vakasının yaşandığı alan ile patlatma yapılan alanlar arasındaki konumsal ilişki.....	47
Şekil 37.	Regülatöre çarpan bloklar içinde en uzak seyahat mesafesine sahip 500 kg'lık bir bloğun izlediği yol (sağ ve sol şekil: regülatör membası ve mansabı).....	48
Şekil 38.	Regülatöre çarpan bloklar içinde en uzak seyahat mesafesine sahip 1000 kg'lık bir bloğun izlediği yol (sağ ve sol şekil: regülatör membası ve mansabı).....	48
Şekil 39.	Çalışma kapsamında 1. deneme patlatması yapılan alan ve bu alana göre regülatörün konumu.....	51
Şekil 40.	Çalışma kapsamında kaya kırıcı kartuşla yapılan ilk deneme patlatmasına ait tasarım, uygulanan delik kesiti ve tasarım verileri	52
Şekil 41.	Kaya kırıcı kartuş ile yapılan patlatmanın zamana bağlı görünümü (tüm fotoğraflar patlatma anından itibaren toplam 5 sn içerisinde alınmıştır).....	53
Şekil 42.	Patlatmadan 5 dakika sonra karayolunun görünümü (5-10 cm çapında kaya blokları haricinde şevde yenilme ve kaya düşme olayı izlenmemiştir)	54
Şekil 43.	Çalışma kapsamında kaya kırıcı kartuşla yapılan deneme patlatmasına ait tasarım, uygulanan delik kesiti ve tasarım verileri.....	55
Şekil 44.	Çalışma kapsamında 2. deneme patlatması yapılan alanlar ve bu alana göre regülatörün konumu	56

Şekil 45.	Kaya kırıcı kartuş ile yapılan 2.deneme patlatmasının zamana bağlı görünümü (tüm fotoğraflar patlatma anından itibaren toplam 5 sn içerisinde alınmıştır)	57
Şekil 46.	Patlatmadan 15 dakika sonra karayolunun görünümü (Blokların çoğu şev temizliği ile düşürülen bloklardır).....	58
Şekil 47.	Patlatma ve ölçüm noktalarının görünümü	59
Şekil 48.	Ölçülen titreşimlerin ÇGYK kriterlerine göre grafiksel değerlendirmesi.....	62
Şekil 49.	Kademelerde ateşleme yönü ve patlatma aynasının konumu	63
Şekil 50.	Amerikan Madencilik Dairesi tarafından önerilen titreşim hızı hasar sınırları grafiği	71
Şekil 51.	Tasarlanan 120/72 duruşlu (eğim 1/3) 10 metre yüksekliğe sahip şevlerin (basamak genişliği 5 m) Swedge programına girilmesi.....	78
Şekil 52.	Kinematik analizler sonucunda kama tipi kayma riski görülen 90/65 ve 130/70 duruşlu süreksizliklerin özelliklerinin Swedge programına girilmesi	78
Şekil 53.	Deprem yükünün (bakınız Bölüm 6) Swedge programına girilmesi	79
Şekil 54.	Çalışma kapsamında onaylanan şev tasarımı (10 m yükseklik, 1/3 eğim ve 5 m basamak genişliği) için dinamik koşulda yapılan kama tipi kayma analiz sonucu.....	79
Şekil 55.	Çatlakların sadece %30'luk kesiminin su basıncı etkisinde kalması durumunun SWedge programına tanımlanması	80
Şekil 56.	Çatlak suyu basıncı dikkate alınarak yapılan kama tipi kayma analizi ...	81
Şekil 57.	Çalışma sahasında önerilen patlatmalı kazı tekniği	90
Şekil 58.	Çalışma kapsamında kaya kırıcı kartuşla yapılacak patlatmada önerilen delik kesiti ve tasarım verileri	89

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.	Kaya kütlesinden temin edilen blok örneklerden temin edilen karot numunelerinin fiziksel ve dayanım nitelikleri	9
Tablo 2.	Süreksizliklerin bozunma derecesi ile ilgili sınıflama	13
Tablo 3.	Süreksizlik setlerindeki eğim yönü ve eğim açısı verileri.....	15
Tablo 4.	Süreksizlik ara uzaklığı belirleme ölçütleri (ISRM, 1981) ve çalışma sahasında tespit edilen süreksizlik takımları için ortalama süreksizlik ara uzaklığı verileri.....	17
Tablo 5.	Süreksizlik açıklığı belirleme ölçütleri (ISRM, 1981) ve çalışma sahasında tespit edilen süreksizlik takımları için süreksizlik açıklığı verileri.....	17
Tablo 6.	Süreksizlik devamlılığı belirleme ölçütleri (ISRM, 1981) ve çalışma sahasında tespit edilen süreksizlik takımları için süreksizlik devamlılığı verileri.....	18
Tablo 7.	Bazalttan oluşan kaya şevi için süreksizlik durumunun puanlarının hesaplanması	20
Tablo 8.	Hoek-Brown yenilme kriterine dayanılarak hesaplanan ve çalışma konusu kaya kütlesinin mühendislik nitelikleri.....	24
Tablo 9.	120/80 duruşlu şevlerde yapılan kinematik analizlerin sonuçları.....	26
Tablo 10.	Kaya düşme riskine göre kaya yamacın sınıflandırılması (Saroglou vd. 2012)	30
Tablo 11.	Kaya düşme riskine göre çalışma konusu yamaçların sınıflandırılması (Saroglou vd. 2012) ve çalışma konusu kaya yamacın bu sınıflama sistemi içerisindeki vaziyeti	32
Tablo 12.	Karayolu şevleri üzerinden farklı kütleye sahip kaya bloklarına hız ve enerji değerleri.....	46
Tablo 13.	Regülatöre mansap ve memba tarafında çarpan bloklar içinde en uzak seyahat mesafesine sahip blokların kaynak noktalarına (şev üst kesimi) ait koordinatlar	49
Tablo 14.	Ölçüm noktasında üç yönde titreşim değerleri.....	60

Tablo 15.	Maden ve taşocakları ile benzeri mahallerde patlatma sebebiyle ortaya çıkabilecek titreşimlerin en yakın yapıda oluşturacağı zemin titreşimlerinin izin verilen en yüksek verileri.....	61
Tablo 16.	Taşocağının üretim öncesi ve sonrası topoğrafik özellikleri.....	63
Tablo 17.	Delik çapı ve patlayıcı madde yoğunluğu (I_b) ilişkisi	64
Tablo 18.	Farklı delik eğim durumlarında R1 düzeltme kriterleri.....	64
Tablo 19.	Farklı kaya sabitlerinde R2 düzeltme kriterleri.....	65
Tablo 20.	Farklı delik eğim durumlarında delik boyu hesabında kullanılacak K kriterleri	65
Tablo 21.	Taşocağında uygulanan çalışma, delik ve basamak tasarımı parametreleri	68
Tablo 22.	Farklı faaliyetlerde uygulanan patlatma işlemleri için önerilen titreşim tahmin bağıntıları	70
Tablo 23.	Titreşimlerin yapılar üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi için hazırlanmış olan Alman DIN4150-3 (1999) standardı (DIN 4150-3, 1999)	71
Tablo 24.	Maden ve taş ocakları ile benzeri alanlarda patlama sebebiyle doğacak titreşimlerin en yakın çok hassas ve hassas kullanım alanının dışında oluşturacağı zemin titreşimlerinin izin verilen en yüksek verileri.....	72
Tablo 25.	Farklı madencilik çeşitleri ve patlatma yapılan işkollarında geçerli hava şoku tahmin formülleri.....	74
Tablo 26.	ABD federal tüzüğünde cihazın düşük frekansları ölçme yeteneğine bağlı alınarak izin verilen en yüksek gürültü düzeyleri.....	74
Tablo 27.	Sayısal analizler sonucunda farklı bölgelerde uygulanması gerekli patlatma şekilleri.....	87
Tablo 28.	Sayısal analizler ve arazi çalışmaları sırasında yapılan gözlemler sonucunda farklı bölgelerde uygulanması önerilen patlatma şekilleri.....	87

SEMBOLLER DİZİNİ

α	: Süreksizlik sıklığı
Φ	: Süreksizlik yüzeylerinin sürtünme açısı
q	: Özgül şarj
γ_{RK}	: Kaymaya karşı tasarım güvenlik sayısı
ρ_e	: Patlayıcı yoğunluğu (g/cm ³)
B_{max}	: Azami yük mesafesi
E_t	: Göçmeye zorlayan etkiler toplamı
h_o	: Sıkılama uzunluğu
h_b	: Dip şarj uzunluğu
h_c	: Kolon şarj yüksekliği
I_b	: Patlayıcı madde yoğunluğu
I_c	: Kolon şarj yoğunluğu
l_s	: Sıkılama uzunluğu (m)
L_{max}	: Taş savrulma mesafesi (m)
m_i	: Kırıksız kaya için malzeme sabiti
Q_b	: Dip şarj miktarı
Q_c	: Kolon şarj miktarı
Q_{top}	: Toplam Şarj Miktarı
R_t	: Göçmeye karşı koyan etkiler
V_d	: Teorik kaya hacmi
W	: Gecikme aralığındaki patlayıcı miktarı (kg)
B	: Uygulama yük mesafesi
b	: Özgül Delme
D	: Kaya kütlesi örselenme derecesi
D	: Patlatma noktası ile çevre yerleşim birimleri arasındaki etkili uzaklık (m)
d	: Delik çapı (mm)
E	: Delme hatası
H	: Toplam şev yüksekliği
H	: Delik boyu (m)

JRC	: Süreksizlik yüzeyi pürüzlülük sayısı
K	: Basamak Yüksekliği
k	: Delik eğimi düzeltme faktörü
PPV	: Kayaç içinde yayılan titreşim hızı (mm/sn)
R1	: Eğim düzeltme faktörü
R2	: Farklı kaya sabitleri için düzeltme faktörü
RMR	: Kaya kütlesi puanlaması
Rn	: Normal geri verme katsayısı
Rt	: Tanjant geri verme katsayısı
RQD	: Kayaç kalite göstergesi
S	: Uygulama delik aralığı
SD	: Ölçekli mesafe
SDS	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
SDOBm	: Ölçekli gömme derinliği (m/Kg)
SPL	: hava şoku değeri
U	: Alt delme (m)

1.GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Patlatmanın mutlak olduğu karayolu kazıları, sanat yapıları, madencilik, kuyu, tünel, boru hattı, taş ocakçılığı, inşaat altyapı kazıları, baraj ve HES projeleri gibi birçok farklı sektörde; hava şokundan ve yer sarsıntısından kaynaklı çeşitli çevre sorunları sıkça karşımıza çıkmaktadır. İnşaat alanında mühendislik yapılarının neredeyse tümünde delme-patlatma faaliyetleri gerçekleştirilmektedir.

Patlatmalardan kaynaklanan titreşim bileşenlerinin ve etkilerinin öngörülmesi çevresel şikayetleri önlemede oldukça önem taşımaktadır. Günümüzde, gevşetme amaçlı yapılan patlatmalı kazılarda karşılaşılan problemlerden biri de kaya kütlelerinde görülen yenilmelerdir. Bu yenilmelerin nedeni patlatmalardan kaynaklı yer sarsıntısı ve hava şoklarıdır.

Yıllardır görülmesine rağmen her geçen gün artan bilinçsiz yapılaşmanın getirdiği etkenlerle özellikle son yıllarda köprüler, binalar, yollar, barajlar, tüneller vb. birçok mühendislik yapısı kayaya maruz kalmıştır. Depremlerin artması, donma-çözülme gibi çeşitli faktörler kaya düşme olaylarının artmasına neden olmaktadır.

Alanlardaki kaya düşmesi potansiyeli altında olan mühendislik yapıları tasarlanırken, kaya düşmesi hesaplarda dikkate alınarak gerekli önlemler alınmalıdır. Bu hususta dağlık ve süreksizliklerin fazlaca olduğu bölgelerde yapılan patlatmalar kaya düşme potansiyelinin diğer yerlere göre daha yüksek olduğu yerlerdir. Hareket eden veya düşen kayalar çevreye, altyapıya, yoldaki araçlara ve daha da önemlisi insanların yaralanmasına veya can kaybına yol açabilir. Bu nedenle bölgede yapılacak olan patlatma yönteminin çok iyi seçilmesi ve en az hasarla uygulanabilir bir yöntem olması çok ciddi bir iştir. Bu sebeple, iyi bir patlatmadan beklenen başlıca unsurlardan biri patlatma çevresinde yaşanan olumsuz etkileri minimuma indirmektir. Çevresel olumsuzlukların önüne geçebilmek için patlatma kaynağına yakın uzaklıkta bulunan yerleşkelerin, canlıların ve yapıların; patlatma esnasında ve sonrasında yer sarsıntısı, hava şoku, kaya fırlaması veya düşmesi gibi sonuçlarla karşılaşmaması adına patlayıcı

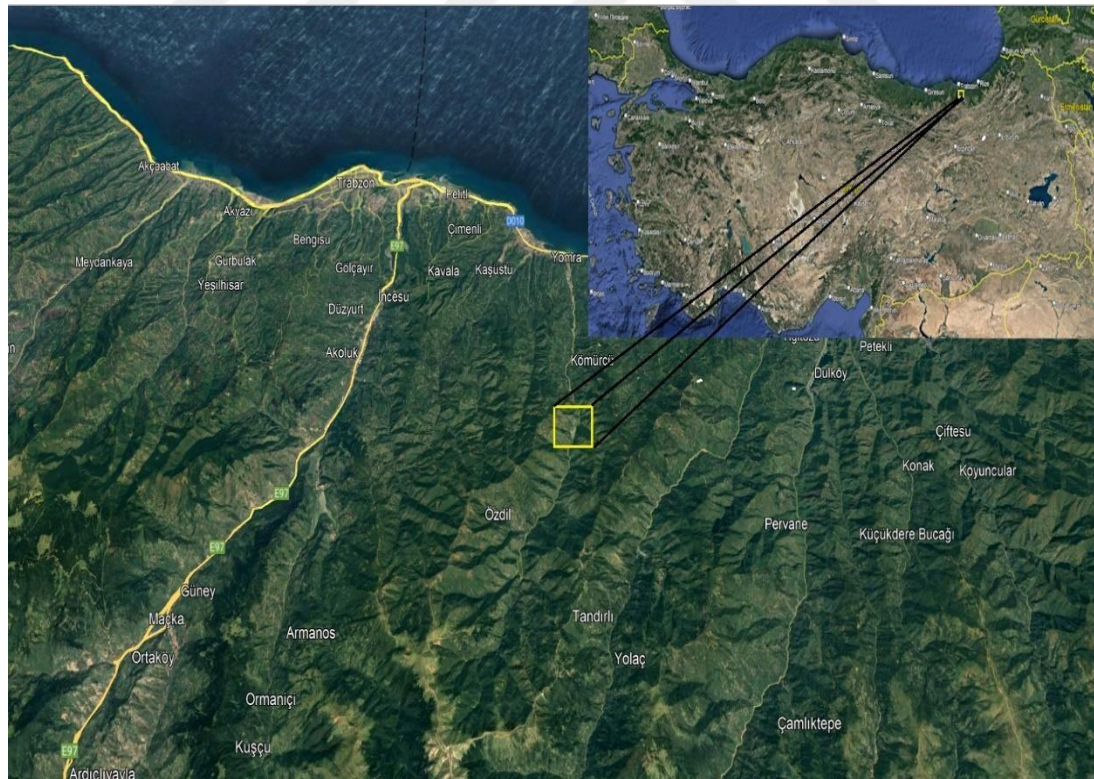
türünün iyi seçilmesi ve kullanılan patlayıcı miktarını yeterli dozda belirlemek gerekmektedir. Patlatmalardaki gecikme aralığında kullanılacak patlayıcı madde miktarını önceden hesaplamak ve kontrollü atımlar yapmak bu hususta oldukça önemlidir.

Son yıllarda teknolojik gelişmelerin bize sunduğu daha güvenli ve olumsuz çevresel etkileri daha aza indirgeyen modern patlayıcı madde ve ateşleme ürün çeşitliliği mevcuttur. Böylelikle patlatmalardaki titreşim ölçümlerinin ve atımların izlenmesi, patlatma ortamının titreşim yayılımlarının öngörülebilmesi kolaylaşmıştır.

1.1. Çalışmanın Amacı

Yomra-Özdil Karayolu üzerinde geçmişten günümüze kadar kaya düşme vakalarının sıklıkla yaşandığı bir bölgedir. Özellikle çalışma sahası ve çevresindeki kaya düşme olaylarının gelişmesinde; mevcut karayolu çevresinde yüksek eğimli bir topografyanın hakim olması, ayrışma bağlı olarak kaya kütle dayanımının düşük olması ve kaya kütlelerinin çok kırıklı yapı sunması gibi doğal faktörler etkili olduğu gibi, karayolu çalışmaları sırasında dike yakın şevlerin oluşturulması, kaya kütlelerinde yol yapım ve ocak işletme faaliyetleri sırasında uygulanan patlatma kaynaklı titreşimlerin süreksizlikler üzerinde olumsuz etki oluşturması gibi insan kaynaklı faktörlerde etkili olmaktadır.

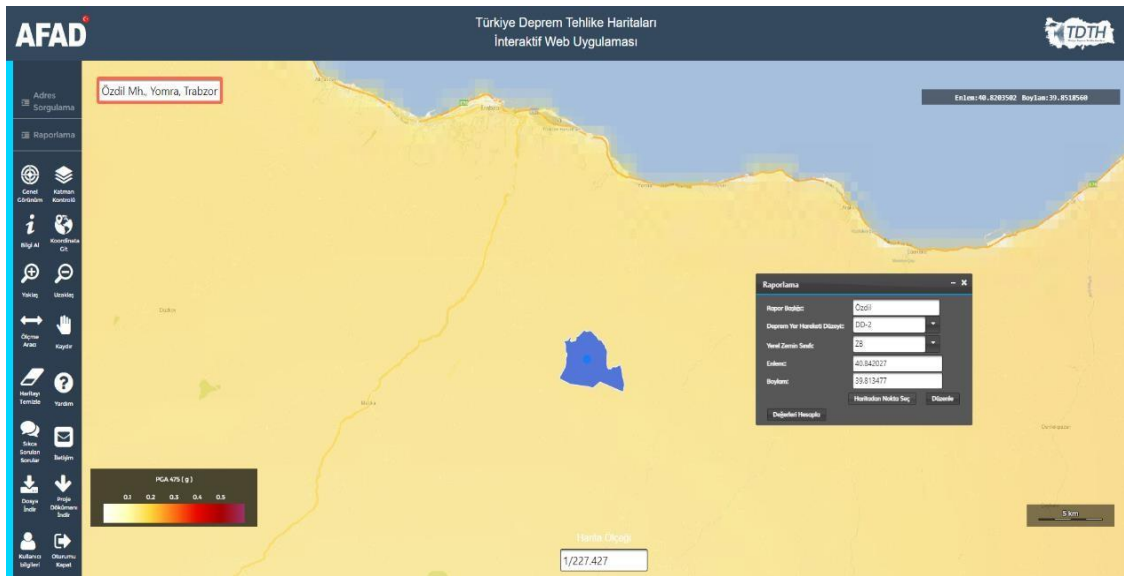
Tüm bu durumların dikkate alındığı bu çalışmada, Yomra-Özdil- Yağmurdere (DOKAP) İl yolu çalışması kapsamında KM: 09+700 - 10+200 arasında bulunan kaya kütlelerinde yapılacak patlatmalı kazı faaliyetleri değerlendirilmiş, bu amaçla şevlerde meydana gelebilecek kütle hareketi potansiyeli kinematik analizlerle ve 3 boyutlu kaya düşme analizleri ile ortaya konulmuş, kazı faaliyetlerinin karayolunun hemen altında inşa edilmiş HES tesisine zarar gelmeyecek şekilde sürdürülmesi amacıyla farklı bölgelerde farklı patlatma teknikleri (klasik patlatma, kaya kırıcı kartuş vb.) önerilmiştir.



Şekil 1. Çalışma sahasının Google Earth uydu görüntüsündeki konumu

1.3. Çalışma Sahası ve Çevresinin Deprem Durumu

Bir bölgenin deprem durumu; o mahalde gerçekleşmiş depremlerin coğrafik dağılımını, oluş zamanlarını, mekanizmalarını, büyüklüklerini ve oluşturdukları hasarı tanımlar. Bir bölgenin sismik riskini değerlendirmek için de genellikle depremsellik çalışmaları yapılır. Çalışma bütününde kullanılacak veri 2018 TBDY göz önünde bulundurularak AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritasından temin edilmiştir (Şekil 3).



Şekil 2. Çalışma alanının AFAD Türkiye deprem tehlike haritasındaki yeri ve 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyindeki maksimum yer ivmesi verisi

Bu durumda 2018 TBDY göz önünde bulundurularak; “deprem yer hareketi düzeyi” **DD-2** olarak (ve 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl), “yerel zemin sınıfı” şev stabilite analizleri için **ZB** olarak alınmış ve şu verilere ulaşılmıştır.

$$S_s \text{ (kısa periyot harita spektral ivme katsayısı)} = 0.458$$

$$S_1 \text{ (1 sn periyot için harita spektral ivme katsayısı)} = 0.125$$

$$S_{DS} \text{ (kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı)} = 0.412$$

$$S_{D1} \text{ (1 sn periyot için tasarım spektral ivme katsayısı)} = 0.100$$

$$PGA \text{ (en büyük yer ivmesi)} = 0.197g$$

$$PGV \text{ (en büyük yer hızı)} = 10.937 \text{ cm/s}$$

2018 TBDY'ne dayanılarak şevlerin duraylılık analizinde zemin cinsine göre bir göçme modeli seçilerek, zemin veya kaya kütesinin dengesi üzerinde durulmasının önemi arz edilmiştir. Bu duruma nazaran bir şevde toptan göçmeye karşı güvenliğin sağlanabilmesi için aşağıda belirtilen eşitlikte verilen şart gerçekleşmelidir:

$$E_t \leq \frac{R_t}{\gamma_{RK}} \quad (1)$$

Bu eşitlikte, E_t göçmeye zorlayan tesirler toplamı, R_t göçmeye karşı koyan tesirler ve dirençler toplamı, γ_{RK} ise kaymaya karşı tasarım güvenlik sayısı şeklinde açıklanır.

Kaymaya karşı güvenlik sayısı (γ_{RK}) ardışık yaklaşımla ortaya çıkarılmaktadır. Özel riskler içeren vaziyetler haricinde $\gamma_{RK} \geq 1.10$ toptan kaymaya karşı yeterli güvenlik seviyesi şeklinde ele alınır. Yönetmeliğe dayanılarak yatay ve düşey eşdeğer deprem katsayısı verileri (k_h ve k_v) aşağıda belirtilen eşitliklere dayanılarak ortaya çıkarılmıştır. Tüm eşitliklerde hesaplanarak oluşturulan S_{DS} , AFAD Türkiye Deprem Tehlikesi Haritası doğrultusunda 0.412 şeklinde tespit edilmiştir.

$$k_h = 0.2 \times S_{DS} = 0.2 \times 0.412 = 0.082 \quad (2)$$

2.YAPILAN ÇALIŞMALAR



Şekil 3. Şev çalışması yapılacak alanda KM: 09+700 – 10+200 arasında kalan güzergah

Bu alanda karayolunun batı kesiminde bulunan ve eğimi 80°ye ulaşan yamaçlarda süreksizliklerle bölünmüş kaya kütlesi üzerinde düşme riskli bulunan birçok blok mevcut olduğu gözlenmiştir (Şekil 3). Bu bloklar genel olarak KM: 09+700 – 09+900 arasında daha çok görülmektedir. Karayolunun özellikle KM: 09+900 – 10+100 arasında yüzeylenen kaya kütlelerinde ise süreksizlikler boyunca düzlemsel kayma ve kaya tipi kayma riski çok olduğu gözlenmiştir (Şekil 5).



Şekil 4. KM: 09+800 – 09+900 güzergâhında bulunan düşme riski yüksek olan bloklar



Şekil 5. KM: 09+900 – 10+100 güzergâhında bulunan düzlemsel kayma ve kama tipi kayma riski yüksek olan kaya kütleleri

Çalışma sahasında geçmiş yıllarda KM: 09+900 – 10+100 arasında şev dışına eğimli 2 farklı süreksizliğin ara kesiti boyunca meydana gelen kama tipi kayma sonucu açığa çıkan süreksizlik yüzeyleri de net bir şekilde görülmektedir.

Çalışma sahasında KM: 09+700 – 10+100 arasında kalan hat hem kaya düşmesi hem de düzlemsel ve kama tipi kayma açısından riskli olduğu gözlenmiştir.



Şekil 6. KM: 09+900 – 10+100 arasında 2 farklı süreksizlik düzleminin ara kesiti boyunca meydana gelen kama tipi yenilme sonrası açığa çıkan süreksizlik yüzeyleri

2.1. Kaya Mekaniği Laboratuvar Deneyleri

Mühendislik amacıyla kayaçların kategorizelendirilmesi ve mühendislik niteliklerinin tespiti için, kaya mekaniği biliminin ve bu hususta tasarım çalışmalarının bir bütünü olmakla beraber mühim bir destekleyicisidir. Kayaç malzemesini mühendislik türlerini ayırma bakımından belirleme amaçlı nitelikler, indeks niteliklerdir. İndeks nitelikler içerisinde fazla korelasyona ulaşılması mümkün olmakla beraber yerinde indeks uygulamalarının kullanılıp belirlenmesi şartıyla, kökenine bakılmadan, birbirine benzer indeks değerine yakın kayaçların benzer mühendislik duruş sergilemeleri beklenmektedir (Ulusay ve Sönmez, 2002). Bunun yanında bu çeşit indeks deneylerinden çıkarılan değerler, mühendislik dizaynlarında olduğu gibi seçilmektedir. Kayaçların tek eksenli ve üç eksenli sıkışma şartları, çekilme ve makaslama kuvvetleri altında gösterdikleri davranışları ve tüm bu parametrelerle bağlantılı değişkenler ise mühendislik dizaynlarında önemli görülen girdi parametreleri olup tamamının tasarım uygulamaları olarak gruplandırılan deneylerle belirtilmelidir.

Yapılacak olan çalışmada, yoğunluk, birim hacim ağırlık, tek eksenli sıkışma dayanımı ve nokta yükü dayanım indeksi deneyi gibi tasarım uygulamaları ISRM (2007) standartlarına dayanılarak oluşturulmuştur (Tablo 1).

Tablo 1. Kaya kütlesinden temin edilen blok örneklerden temin edilen karot numunelerinin fiziksel ve dayanım nitelikleri

Yoğunluk (gr/cm ³)	BHA* (kN/m ³)	TEBD** (MPa)	Nokta yük (MPa)	Geri tepme sayısı
2.65	26.00	75	3.20	48
2.54	24.92	82	3.35	55
2.50	24.53	94	3.60	45
2.60	25.51	85	3.40	52
2.52	24.72	78	3.22	52
2.56	25.11	80	3.30	58
2.53	24.82	90	3.55	58
2.50	24.53	92	3.60	40

2.2. Kaya Kütlelerinde Süreksizlik Özellikleri

Kaya kütlelerindeki farklı büyüklükteki yapısal özelliklerin bilinmesi çeşitli mühendislik alanlarında etkisini göstermektedir. Süreksizlik özelliklerinin bilinmesi yapısal jeolojik değerlendirmede, kaya kütlesi sınıflamalarının girdi parametrelerini sunmada, kaya kütlelerinin dayanım ve deformasyon özelliklerini belirlemede en önemli faktördür.

Kaya mühendisliği pratiklerinde kaya kütlelerinin en mühim parametreleri olan süreksizliklerin niteliklerinin, dağılımlarının ve yönelimlerinin tespiti için birçok metot geliştirilmiştir. Bu metotlardan sıkça karşımıza çıkanı kaya kütlelerinin mühendislik yönünden açıklanmasında ve kategorizelendirilmesinde belirlenen ve istatistiksel olarak en mantıklı ve kayda değer neticelerin olduğu hat etüdü metodudur. Bu uygulamada, makul mostralarda belirlenen hatlar sırasınca gerçekleştirilen ölçümlerle, kaya malzemesinin ve kaya süreksizliklerinin nitelikleri, dolgu durumu, kaya kütlesini açıklayan nitelikler ve yeraltı suyu vaziyeti tespit edilmiş, jeoteknik katmanlarda incelenip izlenen çeşitli süreksizlik zonlarında farklı nicel tespitlerde bulunulmuş ve kaya kütlelerinin mühendislik nitelikleri ISRM (1978 ve 1981) yönünden sunulan standartlar göz önüne alınarak irdelenmiştir.

Çalışma mahalinde büyük bir sahada kaya kütlelerinin araştırılması ve süreksizliklerden direkt ölçüm çıkarılması ve hat etüdü metodunun uygulaması aşağıda belirtilen özellikler dikkate alınarak yapılmıştır:

- İlk başta süreksizlik ara mesafesi ve sürekliliği göz önünde bulundurularak uygun uzunlukta mostra yüzeyleri belirlenmiş, ölçümler genel olarak tek hat boyunca gerçekleştirilmiştir.
- Mostranın belirlenmesinde, süreksizliklerin en az %50'sinin uç kısmı görünecek şekilde ve en az 100 adet süreksizliğin ölçülüp belirlenebilmesi şartı önemli tutulmuştur.
- Bazı olaylarda mostraların kısım kısım döküntüyle kapanması sebebiyle daha kısa uzaklıklar boyunca uygulama mecburiyeti oluşmuştur.
- Ölçümlerin gerçekleştirileceği hat üstüne şerit metre serilmiştir. Hattın başlangıç ve bitiş noktaları ahşap kazıkla işaretlenip belirlenmiştir. Şerit metre merkezde olmakla beraber hattın 50 cm üstünde ve altında kalmış bölgeler esas alınarak süreksizlikler ölçülerek belirlenmiştir.

Çalışma sahasında yukarıdaki açıklamalar doğrultusunda, hat etüdü çalışmalarında ISRM (1981) tarafından önerilen açıklanmış değerler göz önünde bulundurularak en başta var olan süreksizliklerin yönelimleri tanımlanmış, sonrasında süreksizlik ara mesafesi, devamlılığı, açıklığı, süreksizlik yüzeylerindeki pürüzlülük oranı ve dalgalılığı, süreksizlik yüzeyleri üzerindeki su, dolgu hususu ve bozuşma gibi özellikleri de araştırılmıştır.

2.2.1. Süreksizliklerin Yönelimi ve Süreksizlik Setleri

Mühendislik amacıyla yeraltında ve yüzeyinde yapılan uygulamalarda kaya kütlelerinin fiziko-mekanik niteliklerine nazaran süreksizlik sistemlerinin nitelikleri ve gösterdikleri davranışları önemlidir. Bundan dolayı, mühendislik amaçlı kaya kütle sınıflamaları, laboratuvar deney ve uygulamalarından alınan değerlerden çok arazideki kaya kütlelerinin davranış ve duruşunu kontrol eden süreksizliklerin yönelimleri ve bu süreksizliklerin niteliklerinin tespit edilmesi koşuluyla öne sürülmüştür (Goodman, 1989). Herhangi bir süreksizliğin uzaysal yöneliminin tanımı, yataydan ölçülen en büyük eğim açısıyla eğim yönünün gerçek kuzeyle saat ibresinde dönüş yönündeki yaptığı açıdır. Süreksizliklerin yönelimi, duraylılık şartları veya oluşan fazla deformasyonlar bir mühendislik yapısında büyük oranda ele alınır.

Ayrıca süreksizliklerin birbirleriyle ilişkili yönelimleri kaya kütleindeki bireysel blokların şekil ve duruşunu belirlemede önemli bir etkidir. Yönelimleri neredeyse aynı olan kendi başına süreksizliklerin oluşturduğu çoğunluk veya topluluğa, süreksizlik seti veya süreksizlik takımı denilmektedir. Süreksizlik takımlarının adedinin ve bu takımların ağırlıklı yönelimlerinin tespit edilmesi ve mühendislik çalışmalarında yorumlanması maksadıyla, ekvatorial eş-alan stereonetine işaretlerip belirlenen kutup noktalarından faydalanılarak kontur diyagramları işlenmektedir. Sözü edilen bu diyagram çalışmalarının başlıca nedeni, birbirine yakın niteliklere sahip süreksizliklerin dağılımından, bu vasıta ile kutup noktalarının gruplaşmasından kaynaklı süreksizlik takımı sayılarının ve bu takımların yönelimlerindeki hakimiyetlerin tespit edilmesidir. Kontur diyagramlarıyla gerçekleştirilen çalışma ve yorumlamalarda, kutupların en çok yoğunlaştığı konturların merkezi başlıca sayılarak süreksizlik takımları için hakim olan yönelimler tespit edilmektedir. Bunun yanında, en fazla gözlenip yorumlanan yönelim değerlerinden sapma gerçekleştiren tali yönelimlerin var olabileceği çalışma ve yorumlama da göz önüne alınması gerekmektedir. Bu çalışmada, değerlendirme konusu yamaçta yüzeylenme gösteren kaya kütlelerinde gerçekleştirilen pusula ölçümleri ile her bir başlıca süreksizlik takımları ve bu süreksizlik takımlarının yönelimleri belirlenmiş ve Dips v5.0 programı yardımıyla kontur diyagramları oluşturulmuştur.

2.2.2. Süreksizlik Aralığı

Bir süreksizlik takımındaki süreksizliklerin aralarındaki dik uzaklık süreksizlik aralığı şeklinde açıklanmaktadır (ISRM, 2007). Süreksizlik aralığı, mostra yüzeyinde süreksizlik boyuna dik yönde çekilen bir şerit metre doğrultusunda görülen süreksizliklerin sayılarak tespit edilebileceği gibi sondaj karot numunelerinden de karar verilebilmektedir. Sondaj eksenini doğrultusunda iki süreksizliğin arasındaki uzaklığın ölçülmesiyle elde edilen değer “görünür ara uzaklık” şeklinde tanımlanır. Burada kaya mostrasında yapılan hat etüdü çalışması neticesinde süreksizlik ara uzaklığı verileri ISRM (2007) ışığında sunulan tanımlama kriterleriyle sonuçlandırılmıştır (Tablo 3).

2.2.3. Süreksizlik Açıklığı ve Dolgu

Açıklık, bir süreksizliğin birbirine yönelen karşılıklı iki yüzeyi arasındaki dik uzaklıktır. Açıklık boş olabilir veya su ya da herhangi bir dolgu maddesi tarafından da

doldurulmuş olabilir (ISRM, 2007). Bu değerlendirmede, kompas mikrometresi kullanılmıştır. Süreksizliklere ait açıklık değeri ölçülmüştür ve açıklık değerlerinin ortalaması bulunmuştur. Süreksizliklerdeki açıklık, ISRM (2007) doğrultusunda sunulan tanımlama kriterleriyle değerlendirilip belirtilmiştir (Tablo 4).

2.2.4. Süreksizliklerin Devamlılığı

Süreksizliklerin devamlılığı, süreksizliklerin bir düzlem mahalindeki alansal yayılımının göstergesi veya boyutları olup duraylılığı değiştiren oldukça değerli bir unsurdur. Devamlılık alansal oran olarak tanımlanmasına karşın, alansal ölçümün zor olmasından kaynaklı çoğunlukla mostradaki süreksizlik izinin ölçülmesiyle belirlenmektedir (ISRM, 2007). Bu durumda devamlılık, süreksizlik izi şeklinde anlaşılmaktadır. Bu değerlendirmede, devamlılık değişkeni ISRM'deki (2007) tanımlamalara dayanılarak direkt şerit metre ile mostra yüzeylerinde gerçekleştirilen çalışmalar ve ölçümlerle tespit edilmiştir. (Tablo 5).

2.2.5. Süreksizliklerin Pürüzlülüğü

Pürüzlülük, bir süreksizlik yüzeyinin küçük ölçekte (cm boyutunda), dalgalılık ise büyük ölçekte (metre boyutunda) düzlemsellikten sapmasının bir ölçütü olarak açıklanabilir (ISRM, 2007). Her iki özellik de süreksizlik yüzeylerine ait makaslama dayanımının oldukça önemli bir unsuru şeklinde yer alır. Süreksizlik pürüzlülüğünün tespit edilmesine yönelik farklı metotlar sunulmuştur (ISRM, 2007). Bunlar doğrusal profil alma metodu, pusula ve disk şeklindeki klinometre ile gerçekleştirilen ölçümler ve mekanik profilometreler ile gerçekleştirilen ölçümler dahilindedir. Profilometreler, arazide veya laboratuvar düzeyinde süreksizliklerin pürüzlülük profillerinin sayısallaştırılması maksadıyla kullanılan mekanik araçlardır.

Standart profillerde verilen JRC değerleri 0-20 sınır aralığında değişkenlik göstermektedir. Barton ve Bandis (1982 ve 1990) süreksizlik yüzeyinde seçilen farklı ölçüm uzunlukları için süreksizlik yüzeyindeki pürüzlülük sayı değerlerini bulmak maksadıyla pürüzlülük genliği ve ölçüm mesafesinden yararlanarak ilerlemişlerdir.

2.2.6. Süreksizliklerin Yüzeylerinin Bozunma Derecesi

Kaya kütleleri yüzeye yakın kesimlerde çoğunlukla bozunmaya uğramış, daha derinlerde ise hidrotermal süreçlere ilişkin alterasyona uğramış olabilmektedirler. Bu sebeple süreksizlik yüzeylerinin dayanımı, bu yüzeylerin ve yakın çevredeki kayaç malzemesinin bozunma derecesiyle ilişkilidir. Süreksizlik yüzeylerinin dayanıma etkisi yönünden önemi göz önüne getirilerek, önce kaya kütlelerinin sonrasında kayaç malzemesinin bozunma derecesinin tanımlanıp açıklanması gerekir. Bu çalışmada ISRM (2007) doğrultusunda, saha çalışmaları esnasında faydalanılacak bozunma derecelendirmesi kriterleri kullanılmıştır (Tablo 2).

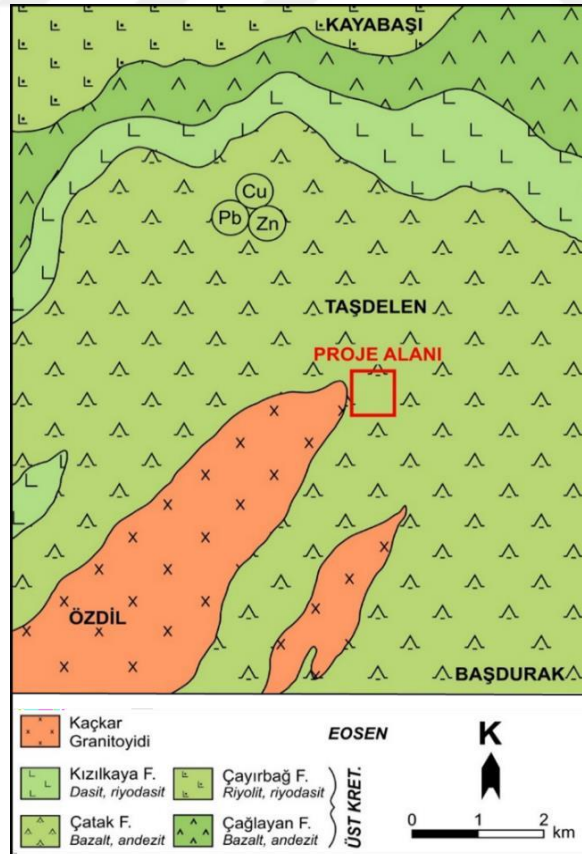
Tablo 2. Süreksizliklerin bozunma derecesi ile ilgili sınıflama

Tanım	Tanımlama Ölçütü	Bozunma
Bozunmamış (taze)	Kayaçın bozunduğuna ilişkin gözle ayırt edilebilir bir belirti olmamakla birlikte, ana süreksizlik yüzeylerinde önemsiz bir renk değişimi gözükmemektedir.	W1
Az bozunmuş	Kayaç malzemesinde ve süreksizlik yüzeylerinde renk değişimi gözlenir. Bozunma nedeniyle tüm kayaçın rengi değişmiştir. Kayaç taze halinden zayıf olabilir.	W2
Orta derecede bozunmuş	Kayaçın yarısından az bir kısmı toprak zemine dönüşerek ayrılmış ve/veya parçalanmıştır. Taze veya rengi değişmiş kaya sürekli bir kütle veya çekirdek taşı halindedir.	W3
Tamamen bozunmuş	Kayaçın tümü toprak zemine dönüşerek ayrılmış ve/veya parçalanmıştır. Ancak orijinal kaya kütlelerinin yapısı halen korunmaktadır.	W4
Artık zemin	Kayaçın tümü toprak zemine dönüşmüştür. Kaya kütlelerinin yapısı ve dokusu kaybolmuştur. Hacim olarak büyük bir değişiklik olmamakla beraber zemin taşınmamıştır.	W5

3.BULGULAR VE İRDELEMELER

3.1. Çalışma Sahası ve Çevresinin Jeolojisi

Türkiye'nin tektonik ve jeolojik birlikteliklerinden biri olan Doğu Pontidler, yapısal ve litolojik nitelikler göz önünde bulundurularak Kuzey ve Güney Zon olarak tanımlanan iki ayrı bölgeye ayrılmıştır (Ketin 1966; Gedikoğlu vd.,1979; Bektaş vd., 1999; Okay ve Tüysüz, 1999). Kuzey Zon Üst Kretase ve Orta Miyosen volkanik ve piroklastik kayalarla karakteristiktir. Güney Zon ise Üst Kretase öncesi tortul birimlerle karakteristiktir. Trabzon ili sınırları içerisinde kalan çalışma alanı ise Doğu Pontidler Kuzey Zonda bulunmaktadır. Çalışma sahası ve saha mahalindeki kayalar, litostratigrafik kategorize ve tanımlama şartları (NACS, 1983) doğrultusunda belirlenmiş, çalışma Geç Kretase yaşlı Çatak Formasyonu'nun yüzeylendiği tespit edilmiştir.



Şekil 7. Çalışma sahası ve çevresinin jeoloji haritası (Güven 1998'den değiştirilerek)

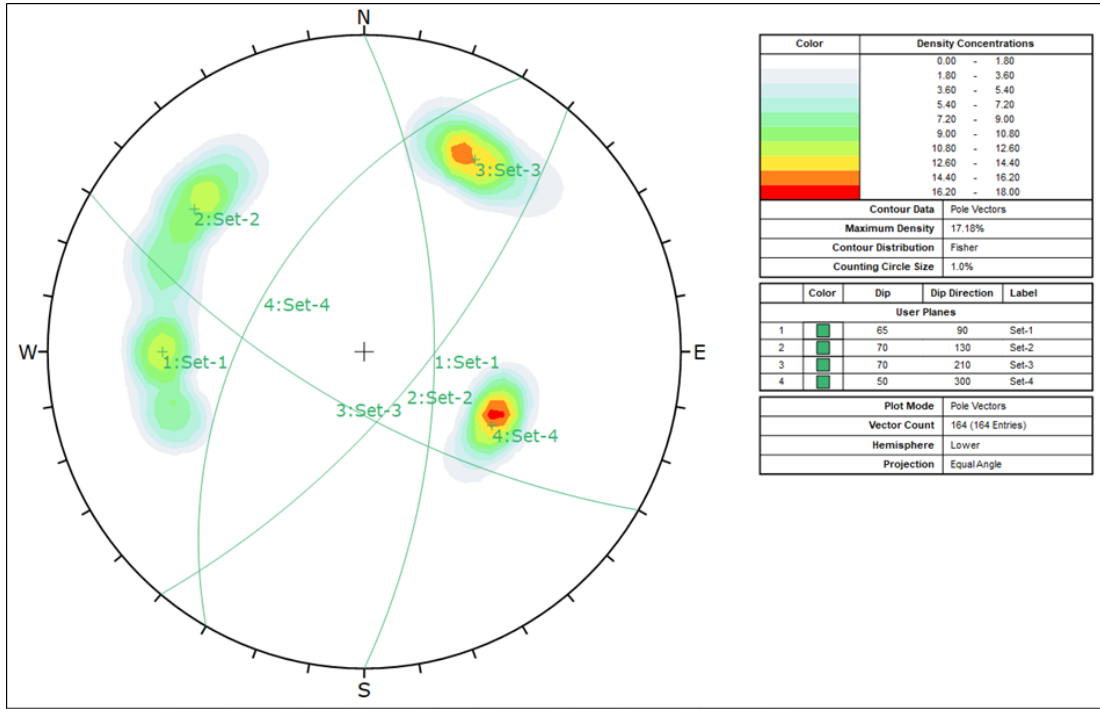
Güven (1993) tarafından tanımlanan Çatak Formasyonu, koyu gri-yeşil renkli andezit-bazalt ve piroklastitlerinden oluşmaktadır. Ara katkılı şekilde kıltaşı, kumtaşı ve tüfit düzeylerine rastlanmaktadır. Çoğunlukla gri-yeşil renklidir. Doğu Pontidler'in kuzey zonunda Üst Kretase dönemi başlarında gerçekleşen toleyitik ve kalkalkalen özellikli volkanitler derin denizel bir ortamda yayılarak tortullarla beraber volkano-tortul istif oluşturmuşlardır. Formasyon içinde Berdiga Formasyonu'na ait, düzensiz ve büyük ölçekte kireçtaşı blokları da gözlenmektedir. Çalışma sahasında sadece volkanik kayalar yüzeylenmektedir.

3.2. Süreksizlik Özellikleri

Kontur diyagramının değerlendirilmesi neticesi bazaltlara ait kaya kütesinde 4 adet süreksizlik takımı tespit edilmiştir. Tespit edilen süreksizliklerin sahadaki yerleri Şekil 8'de, kaya kütlelerine ait süreksizlik takımlarının yönelimleri Tablo 3'te belirtilmiştir.

Tablo 3. Süreksizlik setlerindeki eğim yönü ve eğim açısı verileri

Litoloji	Takım No	Süreksizlik Türü	Eğim Yönü Açısı	Eğim Açısı
Bazalt	1	Eklem	90	65
	2	Eklem	130	70
	3	Eklem	210	70
	4	Eklem	300	50



Şekil 8. Bazaltlardan oluşan kaya kütlelerindeki süreksizlik setlerindeki kontur diyagramı (alt yarı küre) ve ana süreksizlik takımlarındaki konumlar

- Ortalama süreksizlik ara uzaklığı değerleri dar ara uzaklı, yakın ara uzaklı ve orta derece ara uzaklı şeklinde değer göstermiştir.
- 20-60 mm aralık için 50 mm süreksizlik ara uzaklık değeri belirlenmiş ve dar ara uzaklıklılı şeklinde tanımlanmıştır.
- 60-200 mm aralık için 120 mm süreksizlik ara uzaklık değeri belirlenmiş ve yakın ara uzaklıklılı şeklinde tanımlanmıştır.
- 200-600 mm aralık için 350 mm süreksizlik ara uzaklık değeri belirlenmiş ve orta derecede ara uzaklıklılı şeklinde tanımlanmıştır.
- 60-200 mm aralık için 80 mm süreksizlik ara uzaklık değeri belirlenmiş ve yakın ara uzaklıklılı şeklinde tanımlanmıştır.

Tablo 4. Süreksizlik ara uzaklığı belirleme ölçütleri (ISRM, 1981) ve çalışma sahasında tespit edilen süreksizlik takımları için ortalama süreksizlik ara uzaklığı verileri

Aralık (mm)	Tanımlama	Süreksizlik Ara Uzaklık Değeri (mm)			
		1	2	3	4
< 20	Çok dar ara uzaklıklı				
20-60	Dar ara uzaklıklı	50			
60-200	Yakın ara uzaklıklı		120		80
200-600	Orta derecede ara uzaklıklı			350	
600-2000	Geniş ara uzaklıklı				
2000-6000	Çok geniş ara uzaklıklı				
> 6000	İleri derecede geniş ara uzaklıklı				

- Belirlenen süreksizlik açıklığı değerleri ölçütlere göre açık, orta derece geniş ve geniş şeklindedir.
- 0.5-2.5 mm açıklık için 1-2 mm süreksizlik ara uzaklık değeri belirlenmiş ve açık olarak tanımlanmıştır.
- 2.5-10 mm açıklık için 5-10 mm süreksizlik ara uzaklık değeri belirlenmiş ve orta derecede geniş olarak tanımlanmıştır.
- >10 mm'den fazla açıklık için sırasıyla 10-40 mm ve 10-50 mm süreksizlik ara uzaklık değeri belirlenmiş ve geniş olarak tanımlanmıştır.

Tablo 5. Süreksizlik açıklığı belirleme ölçütleri (ISRM, 1981) ve çalışma alanında tespit edilen süreksizlik takımları için süreksizlik açıklığı verileri

Açıklık (mm)	Tanımlama	Süreksizlik Ara Uzaklık Değeri (mm)			
		1	2	3	4
< 0.1	Çok sıkı				
0.1-0.25	Sıkı				
0.25-0.5	Kısmen açık				
0.5-2.5	Açık	1-2			
2.5-10	Orta derecede geniş		5-10		
> 10	Geniş			10-40	10-50

- Belirlenen süreksizlik devamlılığı tanımlamaları orta derecede devamlılık ve çoğunlukla yüksek devamlılık şeklindedir.
- Üç süreksizlik takımında açıklığı 10-20 m için 10-15 devamlılık değeri belirlenmiş ve yüksek devamlılık tanımlaması yapılmıştır.
- Bir süreksizlik takımında açıklığı 3-10 m için 5-8 devamlılık değeri belirlenmiş ve orta derece devamlılık tanımlaması yapılmıştır.

Tablo 6. Süreksizlik devamlılığı belirleme ölçütleri (ISRM, 1981) ve çalışma alanında tespit edilen süreksizlik takımları için süreksizlik devamlılığı verileri

Açıklık (m)	Tanımlama	Devamlılık Değerleri			
		1	2	3	4
< 1	Çok düşük devamlılık				
1-3	Düşük derecede devamlılık				
3-10	Orta derecede devamlılık		5-8		
10-20	Yüksek devamlılık	10-15		10-15	10-15
> 20	Çok yüksek devamlılık				

Süreksizliklerin bozunma derecesi sınıflamasına göre az bozunmuş (W2) ve orta derecede bozunmuş (W3) tanımı yapılmıştır. Kayaç malzemesinde ve süreksizlik yüzeylerinde renk değişimi gözlenmektedir. Bozunma sebebiyle kayacın tamamının rengi değişkenlik göstermiştir. Kayaç taze haline göre daha zayıf olabilmektedir. Kayacın yarısından az bir bölümü toprak zemine dönüşmüş, parçalanmış ve ayrılmıştır. Rengi değişmiş veya taze kaya sürekli bir kütle veya çekirdek taşı şeklindedir.

Uygulamada pürüzlülük tarağıyla belirlenen profiller neticesinde JRC verisinin 4-6 aralığında değişkenlik gösterdiği (az pürüzlü) tespit edilmiştir.

3.3. Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI)

Bu uygulamada, uygun ve yerinde mostralarda tespit edilen hatlar doğrultusunda gerçekleştirilen ölçümlerle, kaya malzemesi ve süreksizliklerin nitelikleri, dolgu durumu, kaya kütlelerini belirleyen nitelikler ve yeraltı suyu durumu tespit edilmiş değişik süreksizlik zonlarında farklı nicel tespitlerde bulunulmuş ve kaya kütlelerinin mühendislik nitelikleri ISRM (1978 ve 1981) doğrultusunda sunulan standartlar ışığında incelenip araştırılmıştır.

Hoek ve Brown, bu yenilme kriterini sağlam kayadaki yer altı açıklıklarının modeli için gerekli analizlerin değerlendirilmesinde girdi değerlerini gerçekleştirmek maksadıyla sunmuşlardır. Kriterde kırıksız kaya malzemesinin niteliklerinden başlayarak, kaya kütlelerindeki süreksizliklerin niteliklerine bağlı şekilde bu nitelikleri indirgemek maksadıyla farklı farklı unsurlar öne sürmüşlerdir. Yazarlar, mevcut kaya kütleleri kategorize sistemlerinden birini seçerek ampirik kriteri jeolojik gözlemlerle uzlaştırmayı deneyip bu maksatla Bieniawski (1989) doğrultusunda ileriye ilenilen RMR' yi belirlemişlerdir.

Uygun seçeneklerin var olmayışından ötürü, ölçüt kısa sürede kaya mekaniği uygulamalarında benimsenmiş ve ölçütün kullanımı, dayanım azaltma ilişkilerini ortaya çıkarmada tercih edilen orijinal sınırların dışına taşıp çıkmaktadır. Bu sebeple bu ilişkileri tekrar irdeleme sebebi doğmuş, ölçütün kullanıldığı pratik problemlerin geniş aralığı göz önüne alınarak, ölçüte zamanla yeni öğeler dahil edilmiştir (Hoek vd., 2002). Ölçütteki değişikliklere ilaveten, yenilme ölçütünü sahadaki jeolojik gözlemlerle ilişkilendirmede, özellikle çok zayıf kayalar olmak üzere, Bieniawski'nin sunduğu RMR'nin artık yetersiz geldiği neticesine ulaşılmıştır. Bu vaziyet Jeolojik Dayanım İndeksi'nin (GSI) doğmasına neden olmuştur (Hoek vd., 1992; Hoek, 1994, Hoek vd., 1995). Bu indeks daha sonrasında gerçekleştirilen birçok uygulamada (Hoek vd., 1998; Sönmez ve Ulusay, 1999; Hoek, 2000 ve 2001; Hoek vd., 1998) zayıf kaya kütlelerine uyarlanmak amacıyla değiştirilip uyarlanmıştır.

Hoek vd. (2013) doğrultusunda sunulan GSI grafiğinde uygulanan girdi parametrelerinden biri olan süreksizlik durumu (JCond₈₉) puanı ise Bieniawski (1989) doğrultusunda sunulan tablodan faydalanılarak bahsedilen standartlar göz önünde bulundurularak hesaplanıp bulunmuştur (Tablo 7).

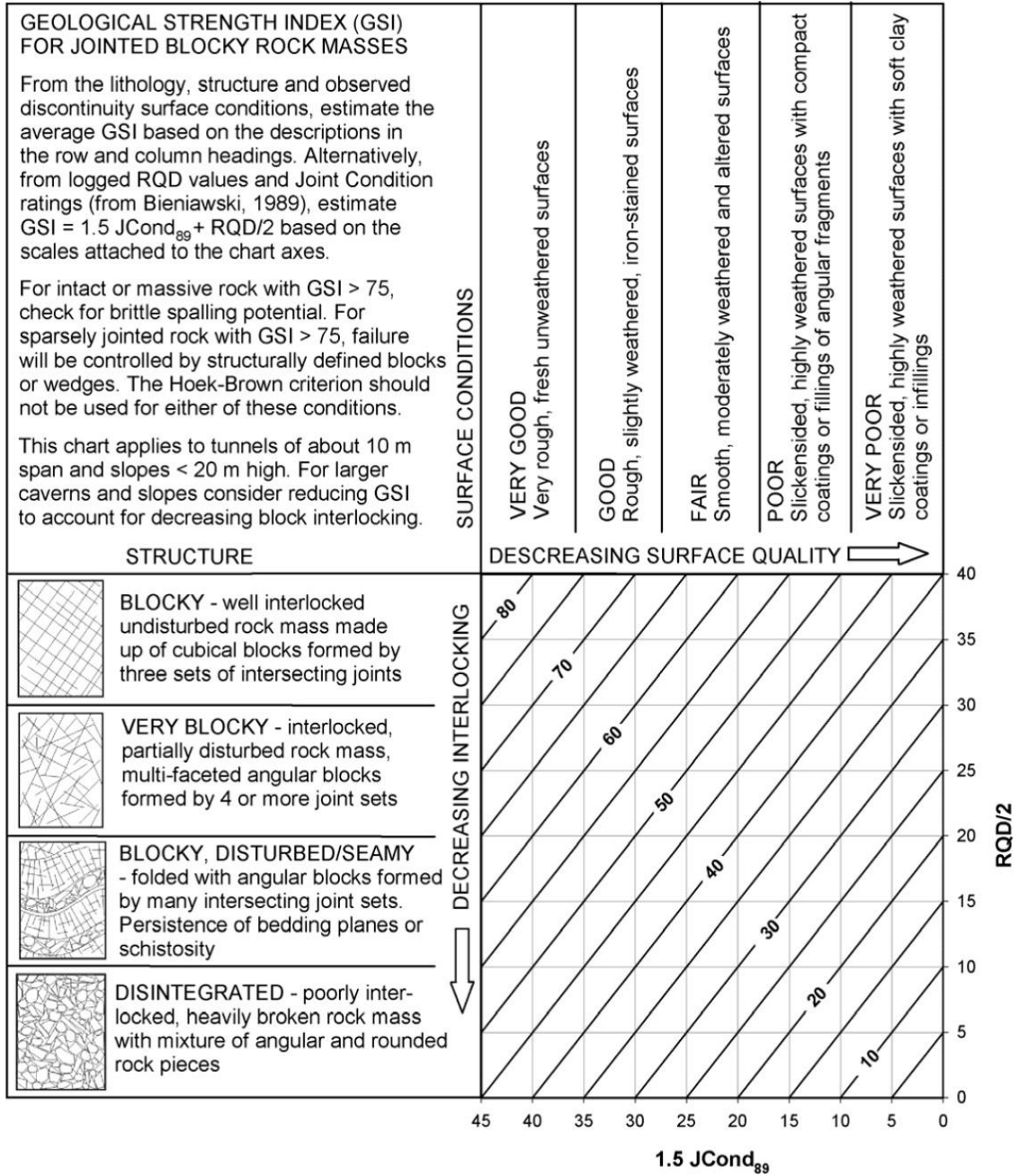
Tablo 7. Bazalttan oluşan kaya şevi için süreksizlik durumunun puanlarının hesaplanması

Devamlılık (m)	< 1	1-3	3-10	10-20	> 20
Puan	6	4	2	1	0
Açıklık (mm)	Yok	< 0.1	0.1-1	1-5	> 5
Puan	6	5	4	1	0
Pürüzlülük	Çok pürüzlü	Pürüzlü	Az pürüzlü	Düz	Kaygan
Puan	6	5	3	1	0
Dolgu	Yok	< 5 mm (sert)	> 5 mm (sert)	< 5 mm (yumuşak)	> 5 mm (yumuşak)
Puan	6	4	2	2	0
Bozunma	Bozunmamış	Az bozunmuş	Orta derecede bozunmuş	Bozunmuş	Çok bozunmuş
Puan	6	5	3	1	0
PUAN					12

RMR₈₉ (Süreksizliklerin puan durumu) değerleri kaya kütlelerinde gerçekleştirilen laboratuvar çalışmaları ve saha uygulamaları neticesinde 12 değeri bulunmuştur. Çalışma bütününde RQD hesaplanırken aşağıda belirtilen eşitlik değeri kullanılmıştır. Burada α : süreksizlik sıklığı (1 metredeki süreksizlik sayıları)

$$RQD (\%) = 100 e^{-0.1\alpha} (0.1\alpha + 1) \quad (3)$$

Bulunan tüm değerlerin ele alınıp yorumlanması neticesinde orta derecede ayrılmış olan kaya kütleindeki GSI değeri Hoek vd. (2013) tarafından önerilen grafik kullanılarak 51 olarak (Şekil 9) elde edilmiştir.



Şekil 9. Hoek vd. (2013) tarafından önerilen GSI grafiği ve kaya kütledeki GSI verileri

3.3.1. Hoek-Brown Yenilme Kriteri ve Kaya Kütle Dayanımı

Kayaçlar küçük ölçekte göz önünde bulundurulduklarında kayaç malzemesi değer arz ederken, ölçek büyüdükçe sağlam kayaç malzemesinden eklemli kayaç kütlelerine geçiş olmaktadır. Bu sebeple birçok sayıda süreksizlik içeren kaya kütlelerinin

davranışını ve durumunu kayaç malzemesiyle beraber süreksizlikler denetlemektedir. Bundan dolayı, çatlaklı kaya kütlelerinin dayanımını tespit etmek maksadıyla Hoek ve Brown (1980a ve b) doğrultusunda görgül ve deneysel bir metot öne sürülmüştür. Bu metotta kesme dayanımı eğrisel bir Mohr zarfı ile simgelenmiştir. Bu dayanım kriteri gevrek kayadaki kırığa ait Griffith çatlak teorisinden (Hoek, 1968) ve laboratuvar ile sahadaki kaya kütlelerinin izlenen davranışlarından doğmuştur (Marsal, 1967; Brown, 1970; Jaeger, 1970).

Hoek ve Brown, bu yenilme kriterini sağlam kayadaki yer altı açıklıklarının tasviri için gerekli çözümlemelerde kullanılması üzerine girdi değerlerini sağlamak maksadıyla öne sürmüşlerdir. Kriterde kırıksız kaya malzemesinin niteliklerinden başlayarak, kaya kütleindeki süreksizliklerin niteliklerine dayanılarak bu nitelikleri indirgemek maksadıyla birçok farklı unsurlar öne sürmüşlerdir. Yazarlar, mevcut kaya kütleleri kategorize sistemlerinden birini kullanarak görgül ve deneysel kriteri jeolojik gözlemlerle bağdaştırmayı denemişler ve bu amaç için Bieniawski (1989) doğrultusunda sunulan Kaya Kütleli Puanlamasını (RMR) belirleyip kullanmışlardır.

Uygun seçeneklerin bulunmamasından ötürü, kriter kısa süreçte kaya mekaniği uygulamalarında benimsenmiş ve kriterin kullanımı, dayanım azaltma ilişkilerini ortaya çıkarmada kullanılan orijinal sınırların dışına çıkmıştır. Bu sebeple bu ilişkileri tekrar irdeleme zorunluluğu doğmuş, kriterin kullanıldığı pratik sorunların geniş aralığı doğrultusunda, kritere zamanla yeni unsurlar ilave edilmiştir (Hoek vd., 2002). Kriterdeki varyasyonlara ilaveten, yenilme kriterini sahadaki jeolojik gözlemlerle bağdaştırmda, özellikle çok zayıf kayalar olmak üzere, Bieniawski'nin sunduğu RMR'nin artık yetersiz olduğu neticesine ulaşılmıştır. Bu husus Jeolojik Dayanım İndeksi'nin (GSI) doğmasına sebep olmuştur (Hoek vd., 1992; Hoek, 1994, Hoek vd., 1995). Bu indeks sonrasında gerçekleştirilen birçok uygulama da (Hoek vd., 1998; Sönmez ve Ulusay, 1999; Hoek, 2000 ve 2001; Hoek vd., 1998) zayıf kaya kütlelerinde gerçekleştirmek koşuluyla uyarlanmıştır.

Sönmez ve Ulusay (1999, 2002) doğrultusunda öne sürülen bir yaklaşımla, ISRM (1981) doğrultusunda sunulan aralıklara uygun şekilde belirlenen hacimsel eklem sayısı (J_v) verileri yardımıyla ortaya çıkarılan Yapısal Özellik Puanı'nı GSI sistemine uyarlanıp belirlenmiştir.

En büyük ve en küçük asal gerilmeler türünden öne sürülen genelleştirilmiş Hoek-Brown dayanım kriteri şu şekilde belirtilmiştir (Hoek, 1994).

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} \left[m_b \frac{\sigma_3'}{\sigma_{ci}} + s \right]^a \quad (4)$$

Burada m_b : kırıksız kaya için malzeme sabiti olan m_i 'nin aşağıda belirtilen gibi azaltılmış değeridir.

$$m_b = m_i \exp \left[\frac{GSI - 100}{28 - 14D} \right] \quad (5)$$

Hoek-Brown eşitliğinde kaya kütleleri için s ve a sabitleri aşağıda belirtilen gibi şu şekildedir.

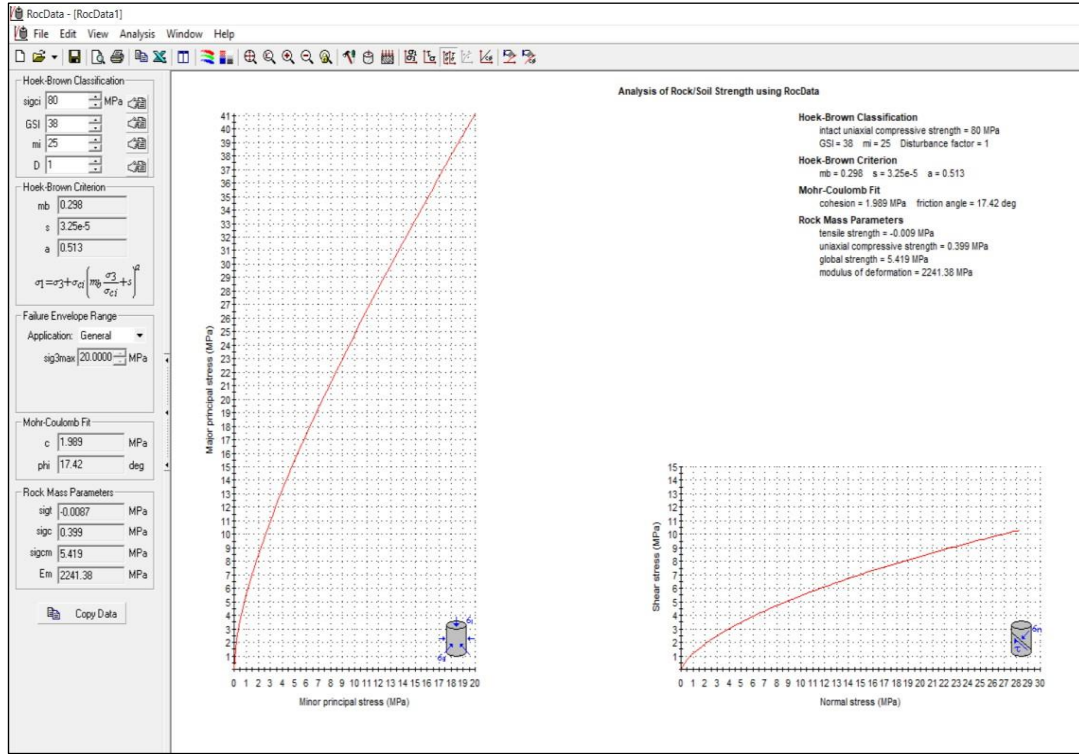
$$s = \exp \left[\frac{GSI - 100}{9 - 3D} \right] \quad (6)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left[e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right] \quad (7)$$

Burada kullanılan D terimi, kaya kütlelerinin patlatması sonucu oluşabilecek hasar ve gerilmelerin örselenme derecesini ifade etmektedir. Örselenmemiş kaya kütleleri için 0 dereceden başlanarak, fazla örselenmiş kaya kütlelerinde 1 dereceye kadar çıkabilmektedir.

Hoek vd. (2013) doğrultusunda sunulan GSI grafiğinde değerlendirilen girdi parametrelerinden biri olan süreksizlik durumu ($JCond_{89}$) puanı ise Bieniawski (1989) doğrultusunda sunulan tablodan faydalanılarak yukarıda konu olan standartlar göz önünde bulundurularak hesaplanıp ortaya çıkarılmıştır.

Yapılan tüm çalışmaların değerlendirmeleri neticesinde bulunan bilgiler yardımıyla kaya kütlelerinin mühendislik nitelikleri Hoek-Brown yenilme kriteri kullanılarak belirlenip ortaya çıkarılmıştır (Şekil 10). Tablo 8'de kaya kütlelerinin mühendislik nitelikleri kısaca belirtilmiştir.



Şekil 10. Hoek-Brown yenilme kriterine dayanılarak belirlenen kaya kütle nitelikleri

Tablo 8. Hoek-Brown yenilme kriterine dayanılarak hesaplanan ve çalışma konusu kaya kütesinin mühendislik nitelikleri

Girdi parametreleri						
GSI	m_i	D	UCS (kaya malzeme)	RMR ₈₉	Litoloji	RQD
38	25	1	80 MPa	12	Volkanik	40%
Hesaplanan Kaya Kütle Özellikleri						
c (MPa)	Sürtünme açısı	Deformasyon modülü	UCS (kaya kütle)	m_b	s	a
1.99 MPa	17 °	2241 MPa	0.399 MPa	0.298	0.0000325	0.513

3.4. Şev Stabilite Analizleri (Kinematik Analizler)

Şevlerin duraylılığı; kinematik, analitik ve nümerik analiz metotlarından yararlanılarak incelenmektedir. Bu çalışma bütününde kinematik ve analitik (limit denge) analizleri ışığında güvenli şev açısı-şev yüksekliği bağlantısı tespit edilmiştir.

(a) Süreksizliklerin yönelimi

(b) Şevin yönelimi

(c) Süreksizlik yüzeylerinin içsel sürtünme açısı dikkate alınmaktadır. Yöntemler dışında kalan; kohezyon, dış yükler, yeraltı suyu koşulları, şev geometrisi, kayan kütlelerin ağırlığı ve dinamik yükler gibi faktörler ise göz ardı edilmektedir. Bundan dolayı, kinematik analiz yöntemi daha çok bir ön değerlendirme yöntemi olarak kabul edilmektedir. Bu yöntemde ise düzlemsel kayma, kama tipi kayma ve devrilme analizleri yapılabilmektedir.

Düzlemsel kaymanın başlıca nedeni yamaç topuklarında yapılan kazılar ve aşınmalar, yamaçlara fazla yük konması, yüzey ve yer altı suları, ayrışma, hidratasyon olayı, farklı litolojide kayaç aralanması ve yerçekiminin etkisi olabilmektedir. Tüm faktörler zayıflık düzlemindeki direnç (kohezyon, içsel sürtünme açısı) ve gerilme özelliklerinin değişmesine neden olur.

Kaya bloğunun şev yüzeyini kesen bir düzlem üstünde kaydığı düzlemsel kaymanın gerçekleşebilmesi için aşağıda verilen geometrik şartlar gerçekleşmelidir:

- Kaymanın gerçekleştiği düzlemin doğrultusu şev yüzeyine paralel veya paralele çok yakın (yaklaşık $\pm 20^\circ$ içinde) olması gerekmektedir.
- Kayma düzlemi şev düzlemini kesmelidir; bir diğer deyişle yani düzlemin eğimi şev yüzeyinin eğiminden küçük olması gerekmektedir.
- Kayma düzleminin eğiminin, aynı düzlemin sürtünme açısından büyük olması gerekmektedir.
- Kayma yüzeyinin üst ucu ya bir çekme çatlağını ya da üst şevi kesmelidir.
- Kaymanın yanal sınırlarını belirleyip sınırlandırmak için, kaymaya karşı ihmal gösterilebilir direnç gösteren zayıflık yüzeyleri bulunmalıdır. Seçenek olarak kayma düzlemi şevin dışbükey kesimi boyunca gelişip ilerleyebilmektedir.

Kama tipi yenilme süreksizliklerin şev yüzeyine verrev olduğu, kaymanın da bu tür iki düzlemin arakesit çizgisi doğrultusunda ilerlediği yenilme türüdür. Kama tipi yenilmeler jeolojik ve geometrik şartların düzlemsel yenilmelerle karşılaştırıldığında fazlaca geniş bir aralıkta değişim gösterdiği şartlarda ortaya çıkar. Bu sebeple, kama duraylılığının araştırılıp irdelenmesi kaya şev mühendisliğinin değerli bir unsurunu oluşturmaktadır.

Kama tipi yenilmelerin kinematik analizi düzlemsel yenilmelerin ayrıştırmasına benzer bir yolla yapılabilmektedir. Bu pozisyonda iki süreksizliğin arakesitine dik düzlemle arakesitten geçen düşey düzlemden geçen doğrunun izdüşümü stereonet

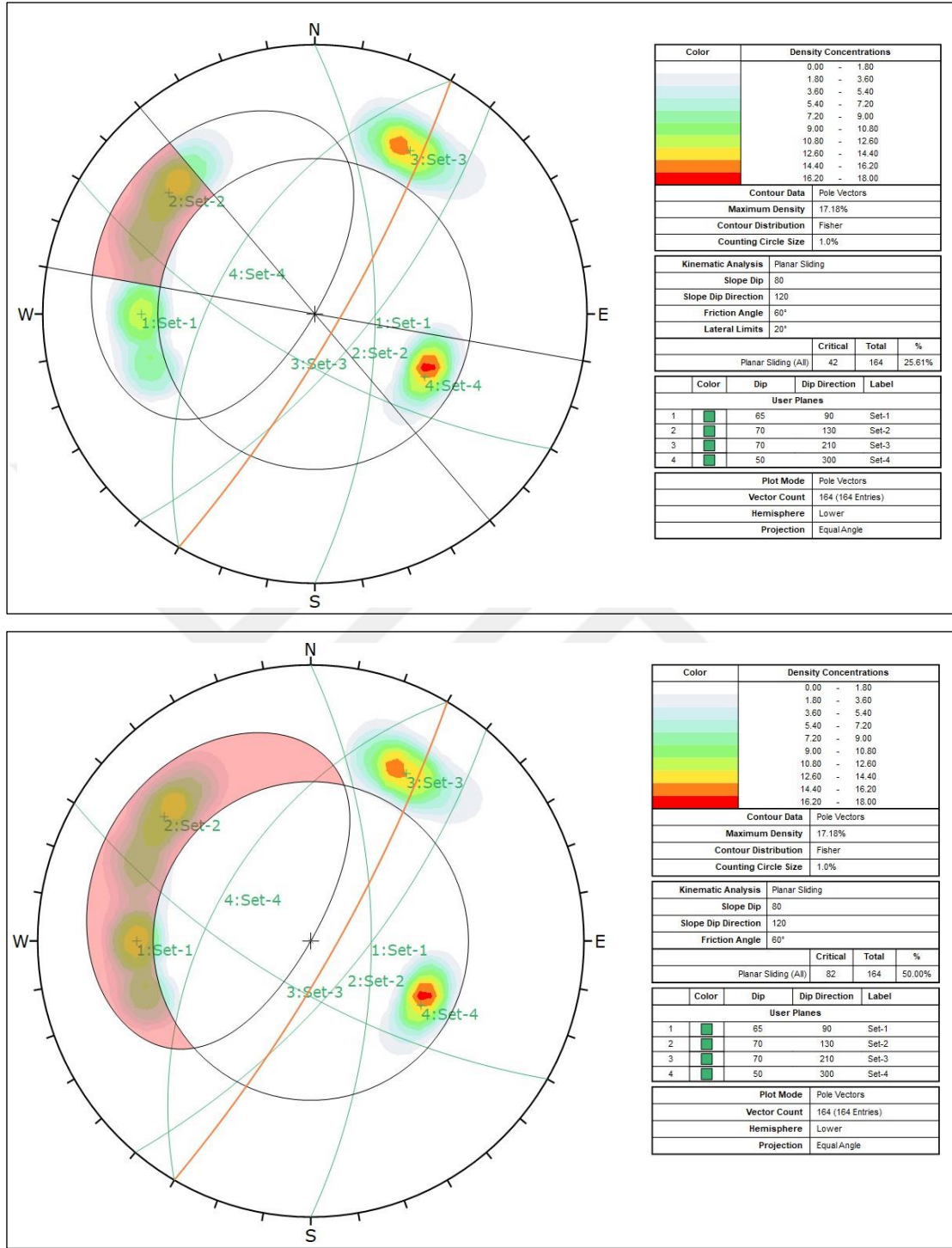
üstüne işaretlenip belirlenir; bu noktanın şev yüzeyini kesmesi halinde kama türü yenilme gelişim gösterebilir. Kinematik olarak izin verilen kamaların kayma yönü için düzlemsel yenilmelerine kıyasla çok daha az sınırlama durumu ortaya çıkmaktadır; bunun sebebi serbestleme yüzeyleri oluşturmak için iki yüzeyin mevcut olmasıdır.

Devrilme çeşidinin sebebi blokların ağırlık vektörünün taban alanı dışına çıkmasıdır. Ayrıca blokların en/yükseklik oranı devrilme üstünde etkin olmaktadır. Devrilme tipi yenilmenin ortaya çıkabilmesi için, şev içine doğru eğimli süreksizliklerin eğim yönü, şevin eğim yönünden 30° den fazla sapma göstermemeli; şev yüzeyine paralel birçok blok oluşması gerekmektedir. Üstelik düzlemlerin eğiminin de düzlem arası kayma oluşmasına yeteri kadar büyüklükte olması gerekmektedir. Kayma, yalnızca gerçekleştirilen gerilmenin yönü bloğun normali ile süreksizlik yüzeylerinin sürtünme açısından (Φ) büyük açıda olduğunda gerçekleşmektedir. Şevde majör asal gerilmelerin yönü şev yüzeyine paralel olmaktadır. Kayma ve devrilme yenilmesi aşağıda bahsedilen şartlar olduğunda Ψ_p eğimli düzlemler üstünde gerçekleşmektedir (Goodman ve Bray, 1976). Çalışma kapsamı doğrultusunda gerçekleştirilen ölçümler neticesinde çalışma alanında 100/70 duruşlu şevlerin gerçekleştirileceği göz önünde bulundurulmuştur ve planlanan kaya şevinde yenilme riski olup olmadığı kinematik şekilde yorumlanmıştır (Şekil 16, 17, 18 ve 19). Süreksizlik yüzeylerini temsil eden bloklar üstünde gerçekleştirilen tilt deneyleri neticesinde süreksizlik yüzeylerine ait içsel sürtünme açısı verileri yaklaşık 30° belirlenmiştir. Gerçekleştirilen analiz neticeleri Tablo 9’da belirtilmiştir.

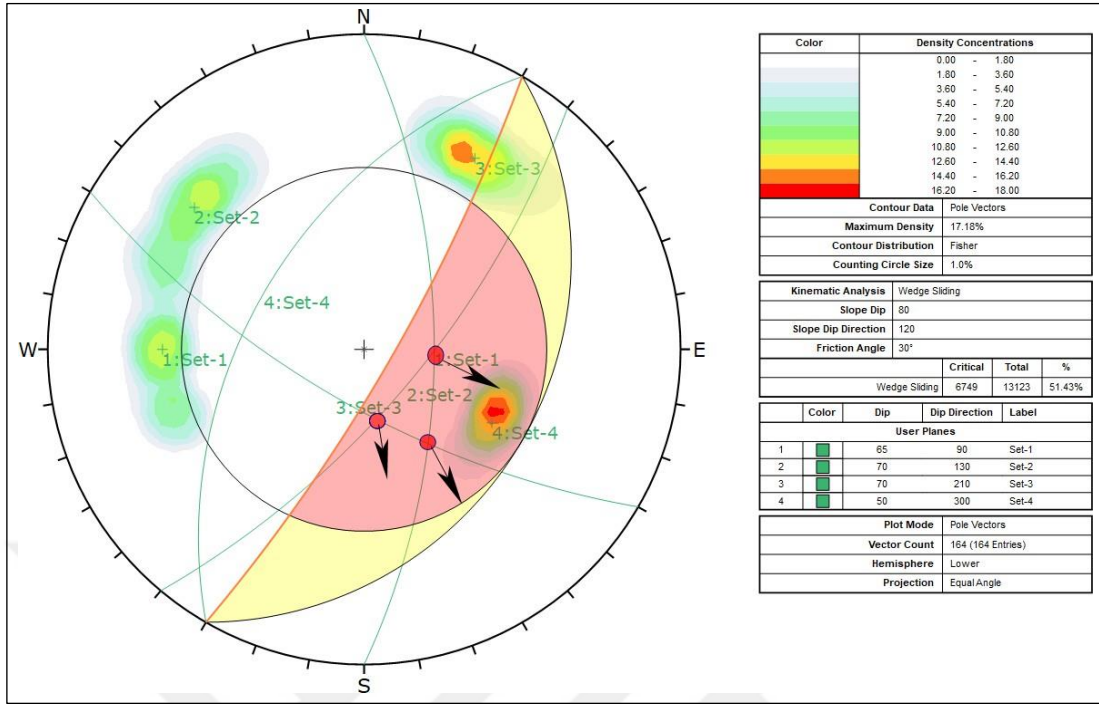
Tablo 9. 120/80 duruşlu şevlerde yapılan kinematik analizlerin sonuçları

Süreksizlik Duruşu	Düzlemsel Kayma	Serbest Düşme	Devrilme	Kaya Tipi Kayma
90/65	Risk Var	-	-	Risk Var
130/70	Risk Var	Risk Var	-	
210/70	-	-	-	
300/50	-	-	-	

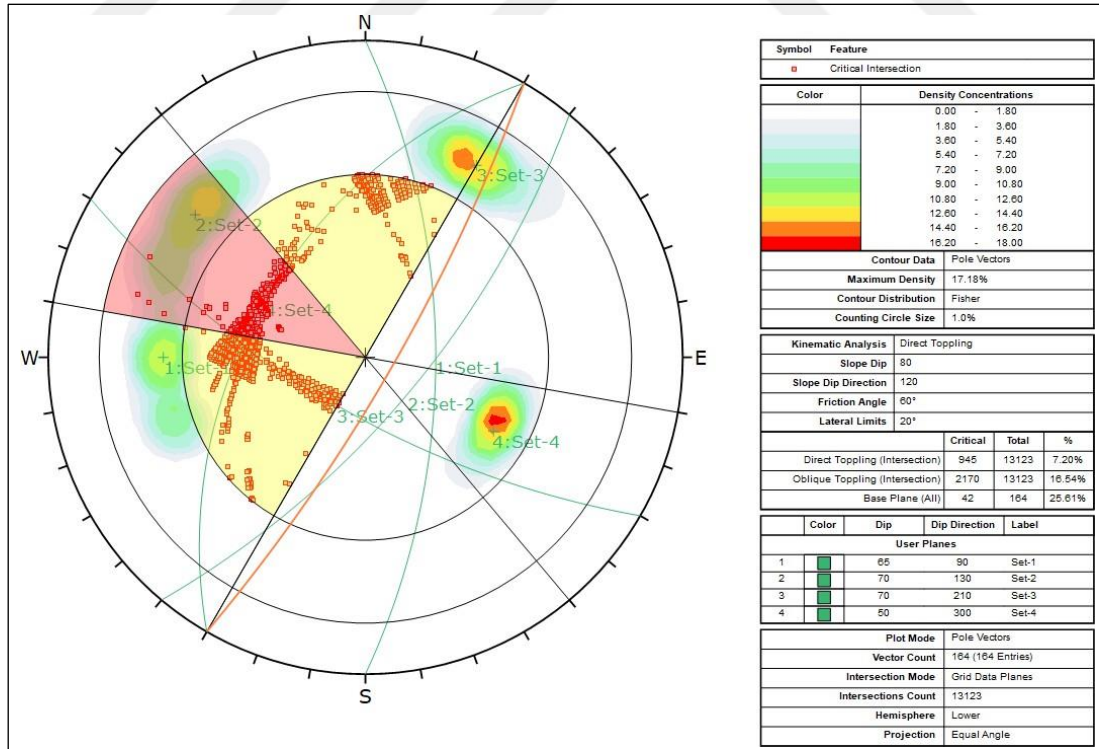
Kinematik analiz metodu, duraylılığın süreksizlik sistemlerince kontrol edildiği kaya kütlelerinde duraylı ve duraysız olabilecek şevlerin ayrılması için, detaylı çözümleme ve ayrıştırmalara başlanmadan önce faydalanılan kılğısal bir metottur. Bu metotta; düzlemsel, kama ve devrilme türü duraysızlıkların üzerinde durulmaktadır.



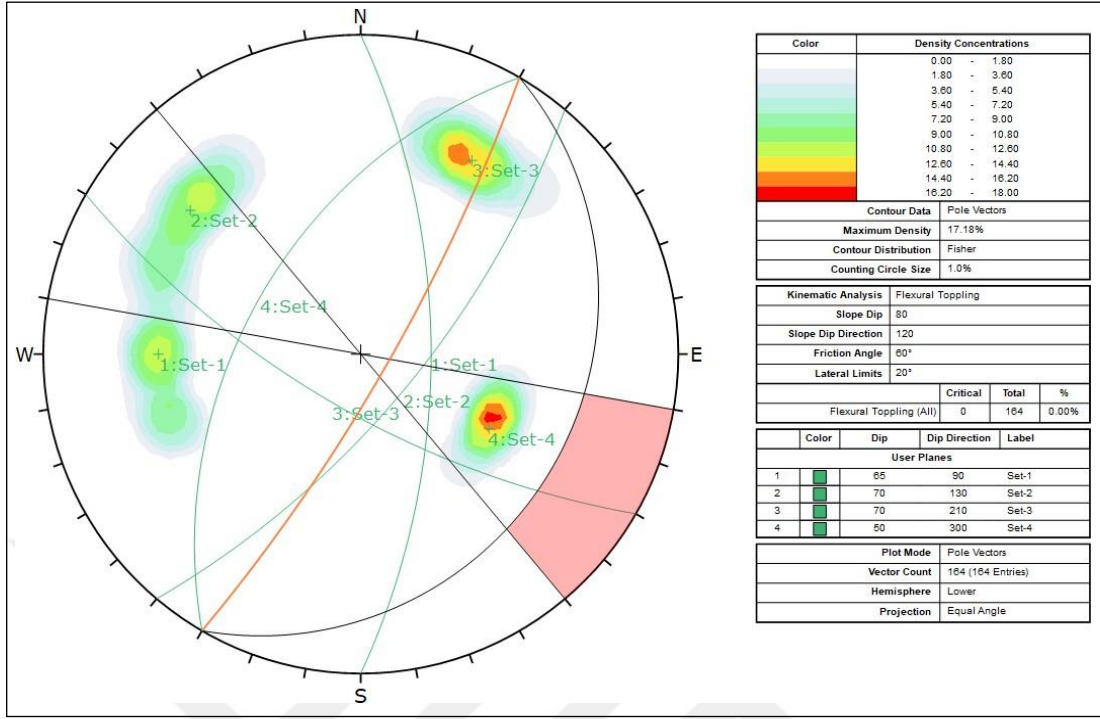
Şekil 11. 120/80 duruşlu şevlerde 90/65 ve 130/70 duruşlu süreksizlikler boyunca düzlemsel kayma riskini oluşturan kinematik analizlerin sonuçları



Şekil 12. 120/80 duruşlu şevlerde 90/65-130/70, 130/70-210/70 ve 90/65-210/70 duruşlu süreksizlik setlerinde ara kesit boyunca kama tipi kayma riskini oluşturan kinematik analizlerin sonuçları



Şekil 13. 120/80 duruşlu şevlerde negatif eğim nedeniyle 130/70 duruşlu süreksizlikler boyunca serbest düşme riskini gösteren kinematik analizlerin sonuçları



Şekil 14. 120/80 duruşlu şevlerde devrilme tipi yenilmenin kinematik analizler

3.5. Kaya Düşme Riskinin Değerlendirilmesi

3.5.1. Kaya Düşme Riski Sınıflaması

Kaya şevi duraylılığının irdelenmesi, karayolları, doğal yamaçlar ve açık ocak madenleri gibi birçok mühendislik sürecinin tasarlanması için önem arz etmektedir. Doğru ve uygun metotlar doğrultusunda gerçekleştirilen şev tasarımları; şev duraylılığını artırır, kazaları da azaltarak emniyetli alanda çalışma imkânları oluşturmaktadır. Kayalarda bulunan şevlerindeki yenilmeler genellikle kütle içindeki süreksizliklere bağlı olmaktadır. Bu çalışma kapsamında kaya yamaç Saroglou vd. 2021 doğrultusunda sunulan “kaya düşme riski” potansiyeline göre kategorize edilmiştir (Tablo 10 ve Tablo 11).

Sınıflama oluşturulurken (Tablo 10’e göre), arazi ölçümleri ve laboratuvarında gerçekleştirilen deneylerden sağlanan veriler kullanılmış ve olağan yamaç için kaya düşme riski ağırlıklı puanı 61.05 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 10. Kaya düşme riskine göre kaya yamacın sınıflandırılması (Saroglou vd. 2012)

Parametre	Sınıf/ Parametre Önem Faktörü	Puan					Skor (Puan ve parametre önem faktörünün çarpımı)
1. Şev açısı (°)	A/%7	25-40	Orta 40-50	Yüksek 50-60		Çok Yüksek >60 Konsol	
Puan		10	30	60		100	7
2. Şev yüksekliği (m)	A/%4	<15	15-30	30-60		>60	
Puan		10	30	60		100	1.2
3. Düşme yüksekliği (H toplam şev yüksekliğidir)	A/%7	Kayalar şevin alçak kesimlerinden düşüyor (H/4)	Kayalar şevin orta kesimlerinden düşüyor (H/2)	Kayalar şevin orta-yüksek kesimlerinden düşüyor (3H/2)		Kayalar şevin tamamını kat ediyor (H)	
Puan		10	30	60		100	7
4. Şev pürüzlülüğü	A/%3	Pürüzlü, düzlemsel, (sürtünme ivmeyi düşürüyor)	Düzlemsel kaygan (ivmeyi artırıyor)	Pürüzlü, dar basamaklar (sıçramaya neden oluyor)		Çok pürüzlü, dar basamaklar	
Puan		10	30	60		100	0.9
5. Şevdeki bitki örtüsü	A/%4	Yoğun bitki örtüsü, yüksek ağaçlar	Kısa boylu bitkiler, çalılıklar	Seyrek bitki örtüsü		Bitki örtüsü yok	
Puan		10	30	60		100	4.0
6. Süreksizlik pürüzlülüğü/ Süreksizliklerdeki dolgu malzemesi/ Süreksizlik açıklığı	B/%6	Pürüzlü, kademeli	Kaygan, kademeli	Dalgalı ya da pürüzlülüğe bakılmaksızın açılı parçalar içeren dolgu malzemesi ya da orta açıklıkta süreksizlikler 2.5-10 mm	Az pürüzlü düzlemsel ya da pürüzlülüğe bakılmaksızın >5mm sert kil dolgulu ya da çok geniş açıklık 10-100mm	Kaygan düzlemsel ya da pürüzlülüğe bakılmaksızın >5mm yumuşak kil dolgulu ya da aşırı geniş açıklık >100mm	
Puan		10	15	30	60	100	3.6
7. Süreksizlik yönelimi (ya da süreksizliklerin kesişimi)	B/%5	Stabilite için olumlu		Orta	Olumsuz	Çok olumsuz	
Puan		10		30	60	100	5
8. Süreksizlik devamlılığı (m)	B/%4	Çok düşük <1m	Düşük 1-2m	Orta 2-5m	Yüksek 5-10m	Çok yüksek >10m	
Puan		10	15	30	60	100	4
9. Süreksizlik sıkışma dayanımı (SSD, MPa, süreksizliklerdeki sürtünmeyi etkiler)	B/%1	>30	20-30		5-20	<5 ayrılmış	
Puan		10	30		60	100	0.6

Değerlendirme konusu kaya yamacının değeri “yüksek riskli yamaç (Risk Sınıfı IV)” kategorisinde olduğu sonucundadır (Tablo 11). Bu vaziyette irdelenen kaya yamacın hafif önlemlerde [Aktif (ankrajlar, bulonlar gibi) ve pasif (ağlar, çelik halatlar, payandalı duvarlar, çitler, duraysız kayaların temizlenmesi) önlemlerin birleşimi] gerçekleştirilebilir özelliktedir.

Tablo 11. Kaya düşme riskine göre çalışma konusu yamaçların sınıflandırılması (Saroglou vd. 2012) ve çalışma konusu kaya yamacın bu sınıflama sistemi içerisindeki vaziyeti

Risk Sınıfı	Toplam ağırlıklı skor 1-100	Risk	Gösterge koruma tedbirleri (seçim çalışılan bölgeye özgüdür)
I	<20	Çok düşük	Gerek yok. Seyrek müdahaleler olabilir.
II	21-40	Düşük	Kısıtlı derecede
III	41-60	Orta	Hafif tedbirler (örneğin bulonlar, ağlar, duraysız blokların alınması, basit hafif çitler)
IV	61-80	Yüksek	Aktif (bulonlar, ankrajlar gibi) ve pasif (ağlar, çelik halatlar, payandalı duvarlar, çitler, duraysız kayaların alınması) tedbirlerin birleşimi
V	81-100	Çok yüksek	Kritik stabilite durumu, genelleştirilmiş ve/veya güçlü aktif ve pasif tedbirlerin birleşimi. Geriye kalan risk kabullenilmelidir.

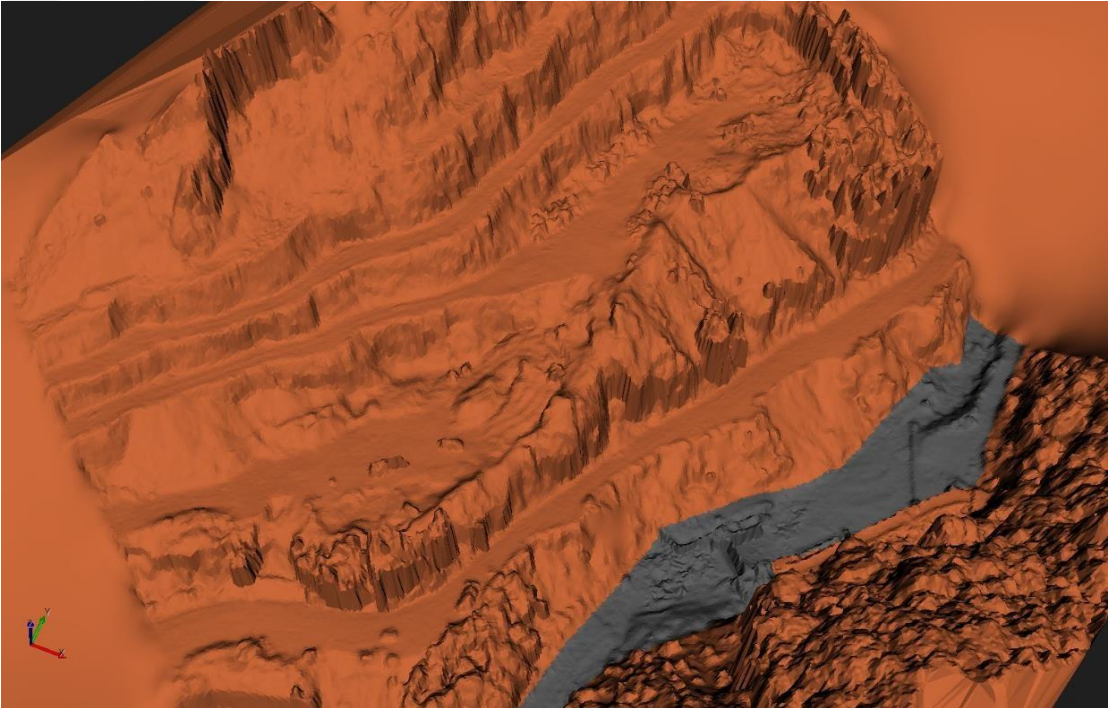
3.5.2. Üç Boyutlu Kaya Düşme Analizleri

Çalışma kapsamında uygulanan 3 boyutlu kaya düşme analizleri 3 ana başlıkta irdelenmiş ve yorumlanmıştır. Bu başlıklar;

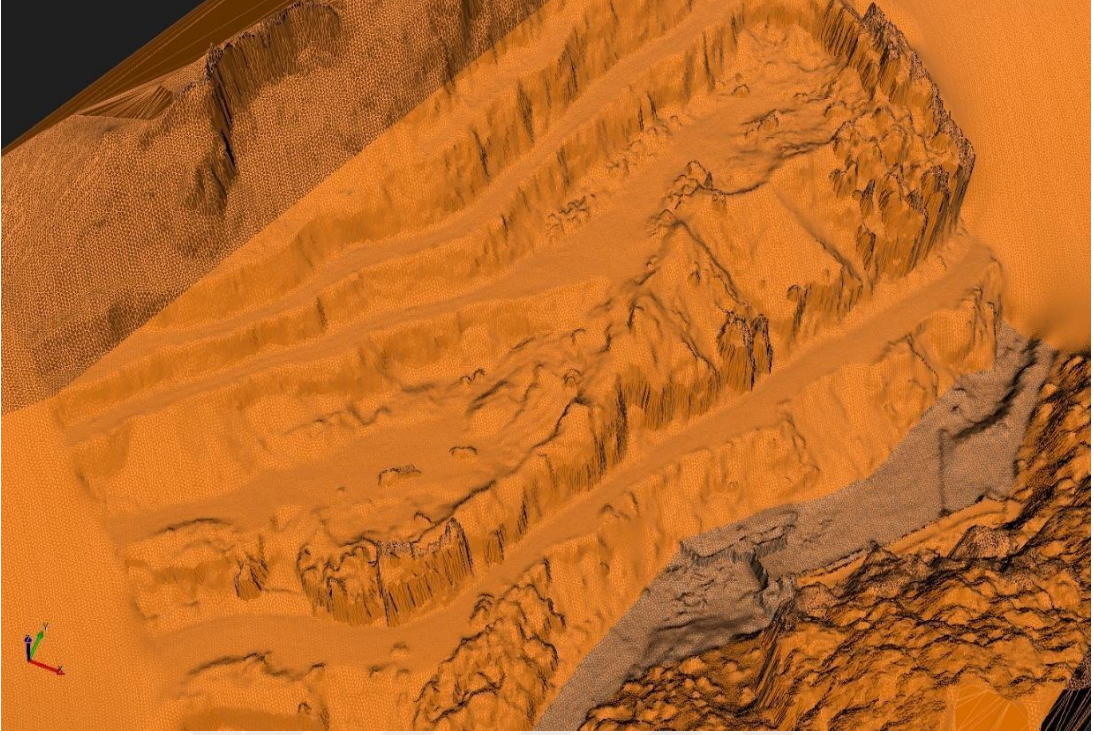
- Üç boyutlu arazi modelinin oluşturulup tasarlanması
- Değişik kütlelerdeki blokların hareketinin modellenmesi (Kaya düşme analizi)
- Kaya düşme etkisinin değerlendirilip yorumlanması

3.5.3. Üç Boyutlu Modelin Kurulması

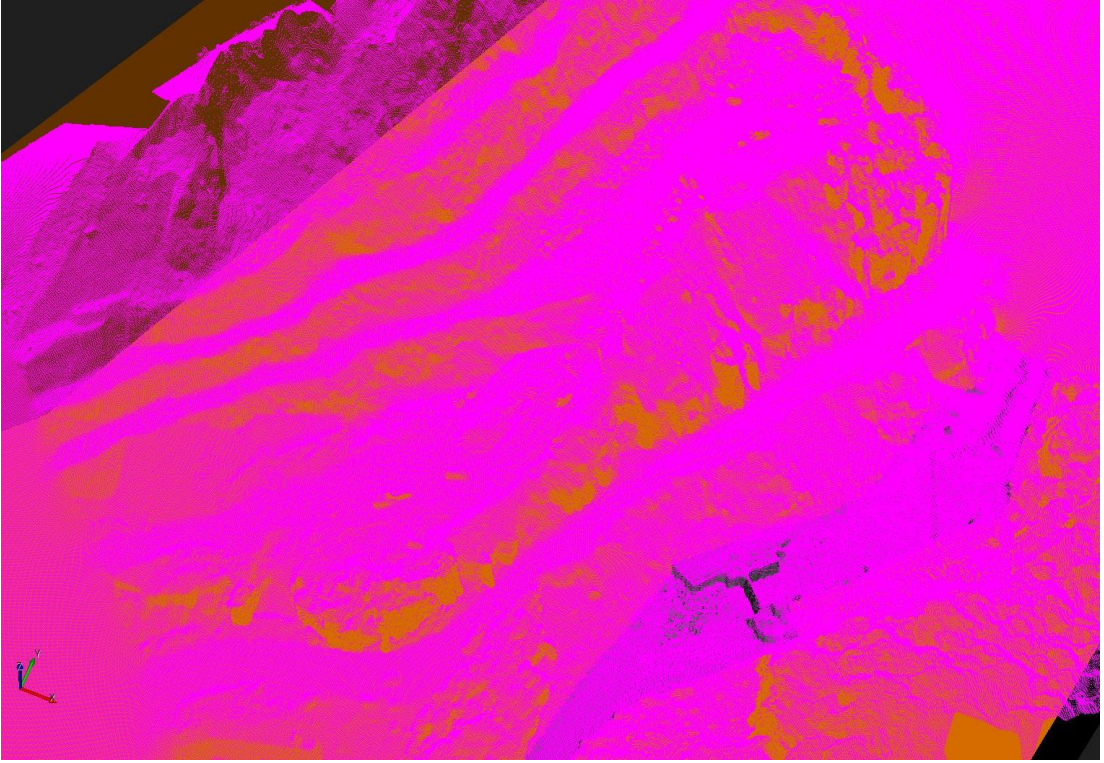
Çalışma sahasının üç boyutlu sayısal yüzey modeli çalışma alanında ilgili firma tarafından dron uçuşları ile gerçekleştirilen nokta bulutları yardımıyla oluşturulmuştur (Şekil 15). Üç boyutlu kaya düşme analizleri RocPro3D (RocPro3D, 2014) yazılımıyla gerçekleştirilmiştir. Sayısallaştırılmış haritadan elde edilen nokta bulutu ve üç boyutlu kaya düşme analizlerinin altlığını oluşturan düzensiz üçgen ağı (TIN) Şekil 16’de ve bunun beraberinde oluşturulan eğim derecesi ve yükseklik modeli Şekil 17’de verilmiştir.



Şekil 15. RocPro3D yazılımı kullanılarak oluşturulan 3 boyutlu katı model



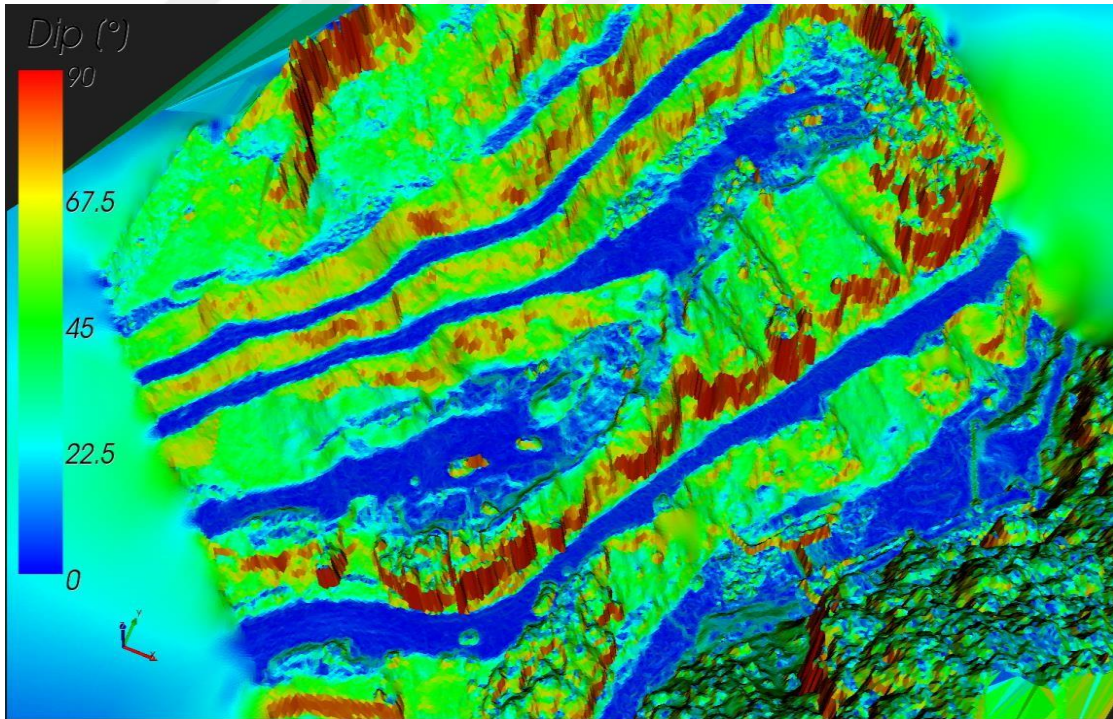
Şekil 16. RocPro3D yazılımında oluşturulan düzensiz üçgen ağı (TIN) (alt şekil)



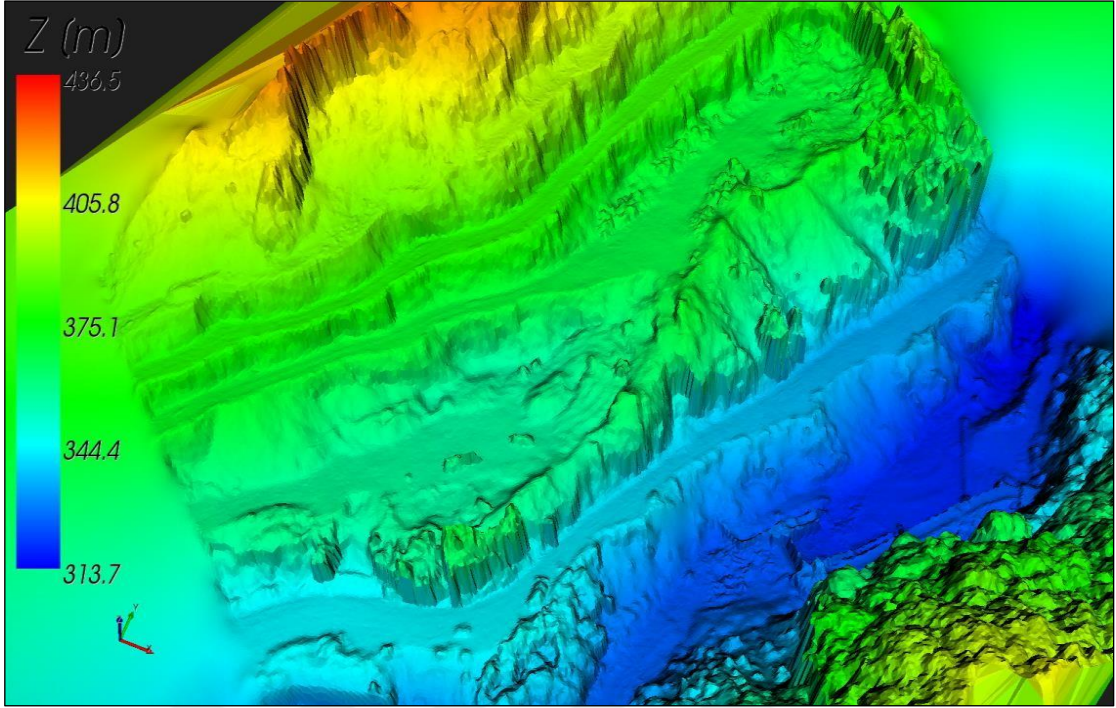
Şekil 17. RocPro3D yazılımında oluşturulan nokta bulutu (üst şekil)

Çalışma sahası için hazırlanan 3 boyutlu eğim haritası değerlendirildiğinde (Şekil 18), Yomra-Özdil karayolu şevinin eğiminin 80-90 derece arasında değiştiği görülmektedir. Şev boyunca eğimin 50-60 derecelere düştüğü alanlar ise önceki tarihlerde kama tipi kayma sonrası açığa çıkan süreksizlik düzlemleridir. Karayolunun doğu kesiminde bulunan ve karayolu ile Yomra Deresi arasında kalan yamaçların eğimi 50-60 derece arasında değişmektedir. Batıda bulunan ve patlatmalı üretim yapılan taş ocağında bulunan şevlerin eğimlerinin yaklaşık 70 derece olduğu görülmektedir.

Çalışma sahası için hazırlanan 3 boyutlu yükseklik kademeleri haritası değerlendirildiğinde (Şekil 19), Yomra-Özdil karayolunun yaklaşık 340 metre kotlarda olduğu, regülatörün bulunduğu alanda dere kotunun 318 metre olduğu görülmektedir. Çalışma sahasında bulunan yamaç yükseklikleri 20 metreyi aşmaktadır. Karayolu batısında bulunan şevlerin üst kotu 360-370 metre arasında değişmektedir. Yapılan çalışmalar sonucunda şev yüksekliklerinin değerleri genel olarak 20 metre olduğu bazı dik kesimlerde 30 metreye ulaştığını göstermektedir.



Şekil 18. RocPro3D yazılımında oluşturulan çalışma sahasına ait 3 boyutlu eğim haritası



Şekil 19. RocPro3D yazılımında oluşturulan eğim derecesi (üst şekil) ve sayısal yükseklik modeli (alt şekil)

3.5.4. Kaya Düşme Analizleri

3-boyutlu kaya düşme analizlerinde 100 kg, 500 kg ve 1000 kg kütleye sahip bloklar kaynak kayanın en yüksek noktasından (karayolu şev tepesi) bir hat boyunca düşürülmüş, toplam 300 blok hareketi simüle edilmiştir.

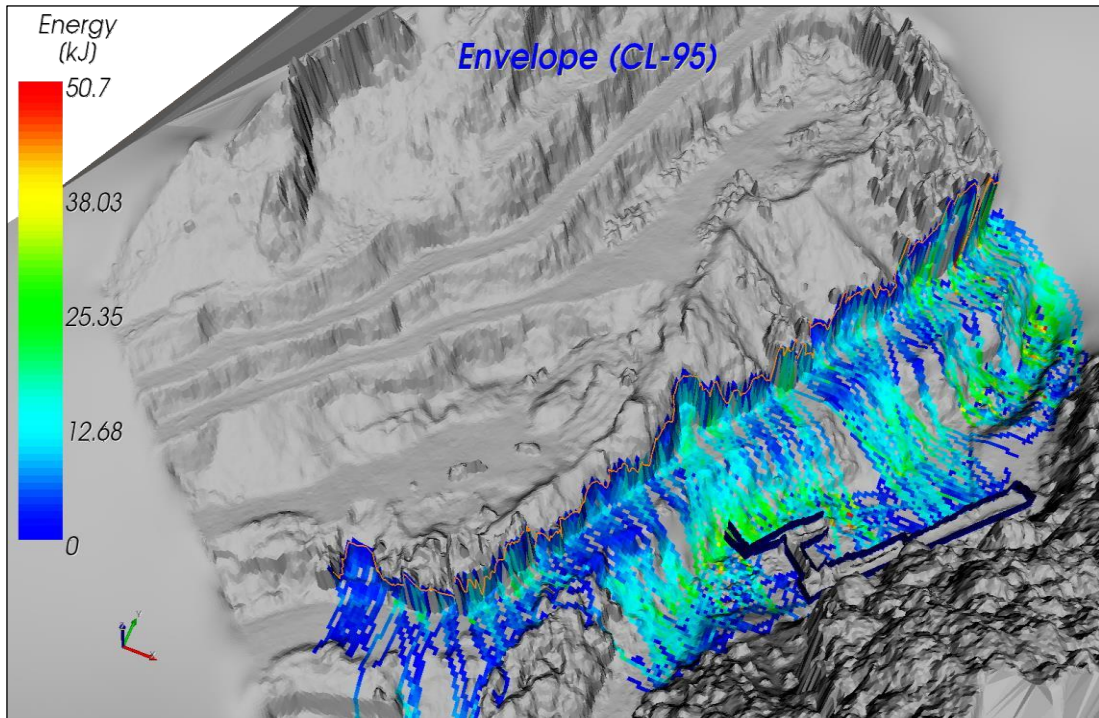
RocPro3D yazılımında kaya düşmesinin modelleneyeceği 3-boyutlu sayısal yüzey modeli üzerine farklı jeolojik birimler tanımlanabilmekte ve bu birimler için farklı geri verme katsayıları (R_n ve R_t) ve sürtünme katsayıları atanabilmektedir. Çalışma sahasında, kaya düşmelerinin gerçekleştiği bölgede arazi gözlemlerine bağlı olarak tek bir jeolojik birim ayırtlanmıştır. Birçok alanda mostra veren bazaltlar ve literatür verileri dikkate alınarak normal geri verme katsayısı (R_n) 0.75, tanjant geri verme katsayısı (R_t) 0.75, sürtünme katsayısı (k) 0.4 olarak kabul edilmiştir.

Çalışmanın ilk aşamasında 100 kg (0.3 m x 0.3 m x 0.4 m) kütleye sahip bloklar modellenmiş, 3-boyutlu kaya düşme analizlerinden enerji ve hız değerleri hesaplanmış, darbe izi dağılım noktası, son ilerleme noktası ve dağılım izi haritaları hazırlanmıştır.

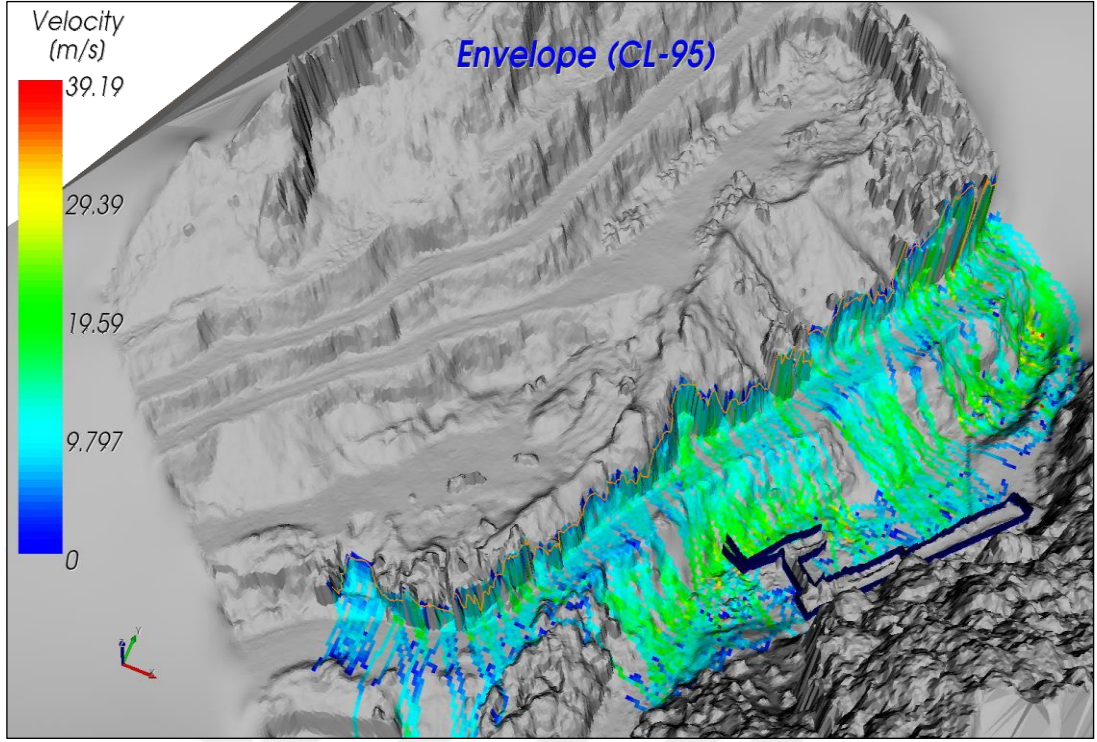
Şekil 20 ve 21 değerlendirildiğinde, maksimum blok hız değerinin 39 m/s, ortalama hız değerinin yaklaşık 15 m/s, regülatöre çarpan blokların hız değerinin ise yaklaşık 30 m/s olduğu görülmüştür. Aynı şekilde maksimum blok enerjisinin 51 kJ, ortalama enerji değerinin yaklaşık 15 kJ, regülatöre çarpan blokların enerji değerinin yaklaşık 30 kJ olduğu görülmüştür.

Enerji ve hız değerlerine ek olarak çalışma kapsamında darbe izi dağılım noktası ve son ilerleme noktası haritaları da hazırlanmıştır (Şekil 22 ve 23). Şekiller değerlendirildiğinde darbe dağılımının karayolunda ve alt kotlarda bulunan regülatör çevresinde yoğunlaştığı, kuzey kesimlerde tüm blokların yolu aşarak dere kotunda hareketine son verdiği, daha güney kesimlerde ise bazı blokların karayolu üzerinde kaldığı görülmektedir.

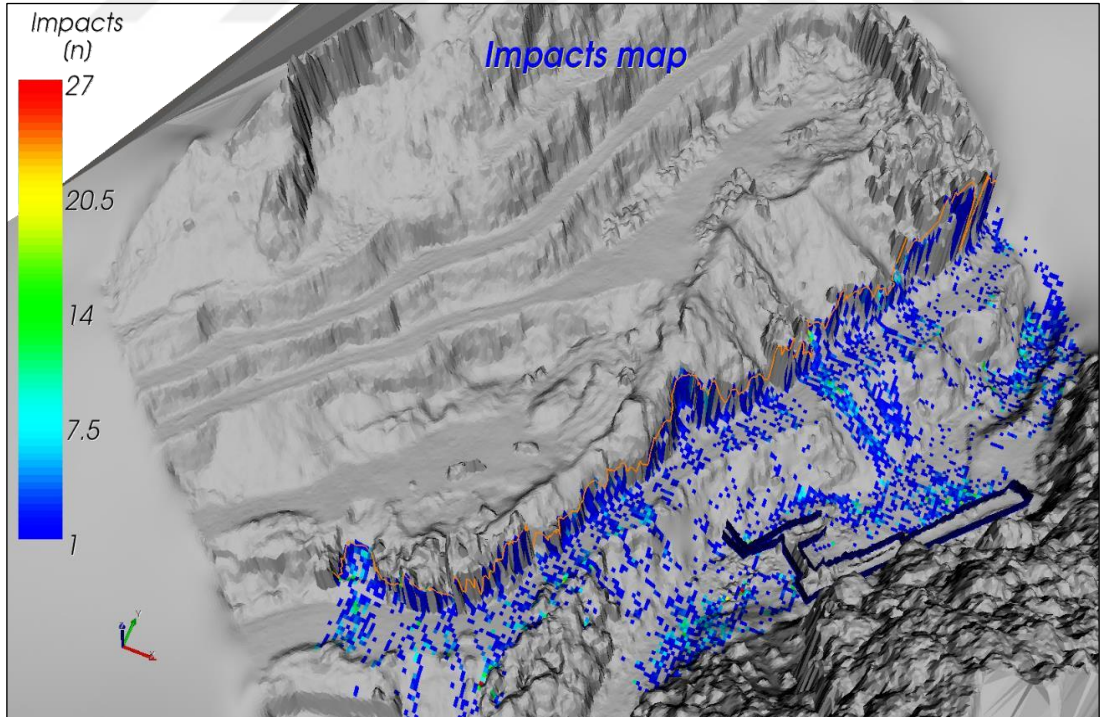
Tüm bu haritalara ek olarak Şekil 24'da 100 kg'lık blokların hareket izini gösteren üç boyutlu harita hazırlanmıştır. Bu harita bir bloğun hareketi başladığı noktayı, seyahat süresi boyunca hangi hattı izlediği ve hareketini tamamladığı noktaları göstermektedir. Bu nedenle kaya düşmesi duyarlılık haritaları hazırlanırken kullanılan en önemli haritalardan biri olduğu gözlenmiştir.



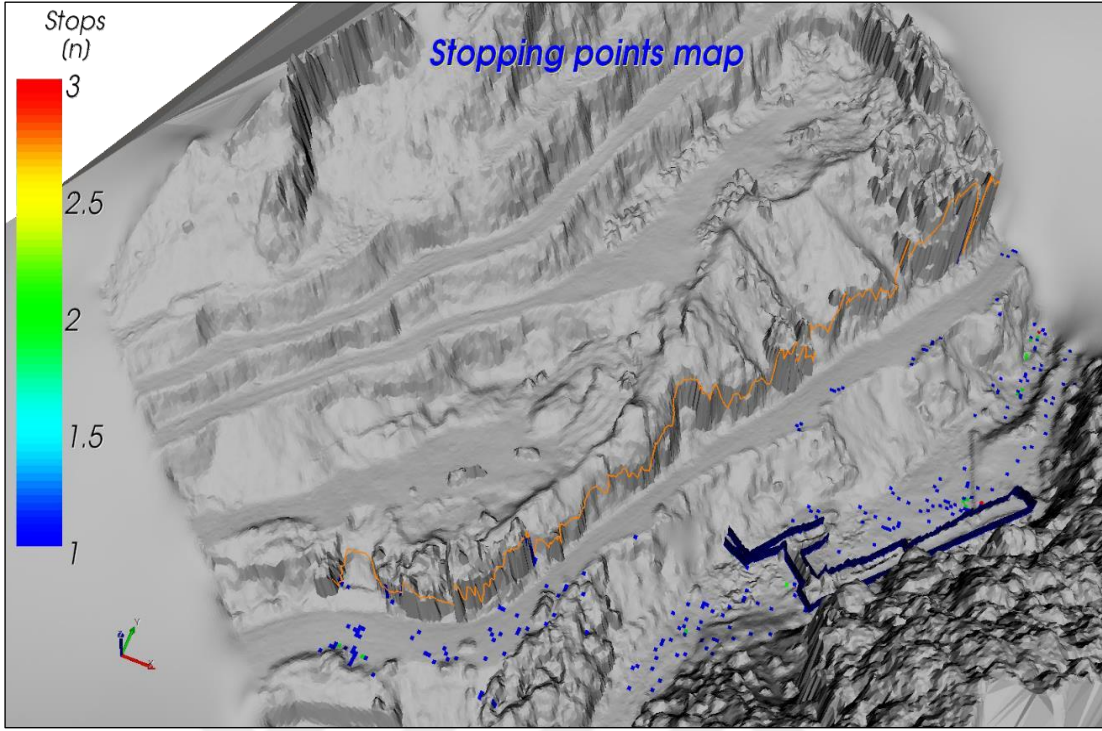
Şekil 20. Karayolu şevleri üzerinden 100 kg kütleyle sahip kaya bloklarının düşmesi/yuvarlanması durumu için hesaplanan enerji miktarları



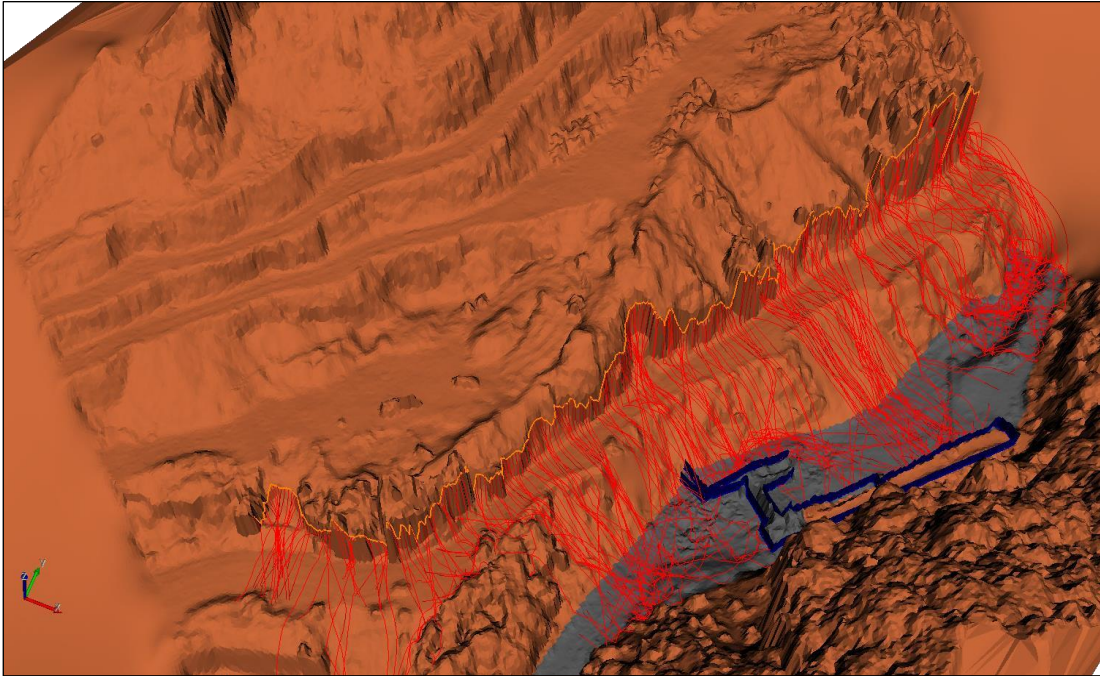
Şekil 21. Karayolu şevleri üzerinden 100 kg kütleye sahip kaya bloklarının düşmesi/yuvarlanması durumu için hesaplanan hız değerleri



Şekil 22. Karayolu şevleri üzerinden 100 kg kütleye sahip kaya bloklarına ait darbe izi dağılım noktası haritası



Şekil 23. Karayolu şevleri üzerinden 100 kg kütleye sahip kaya bloklarına ait son ilerleme noktası haritası

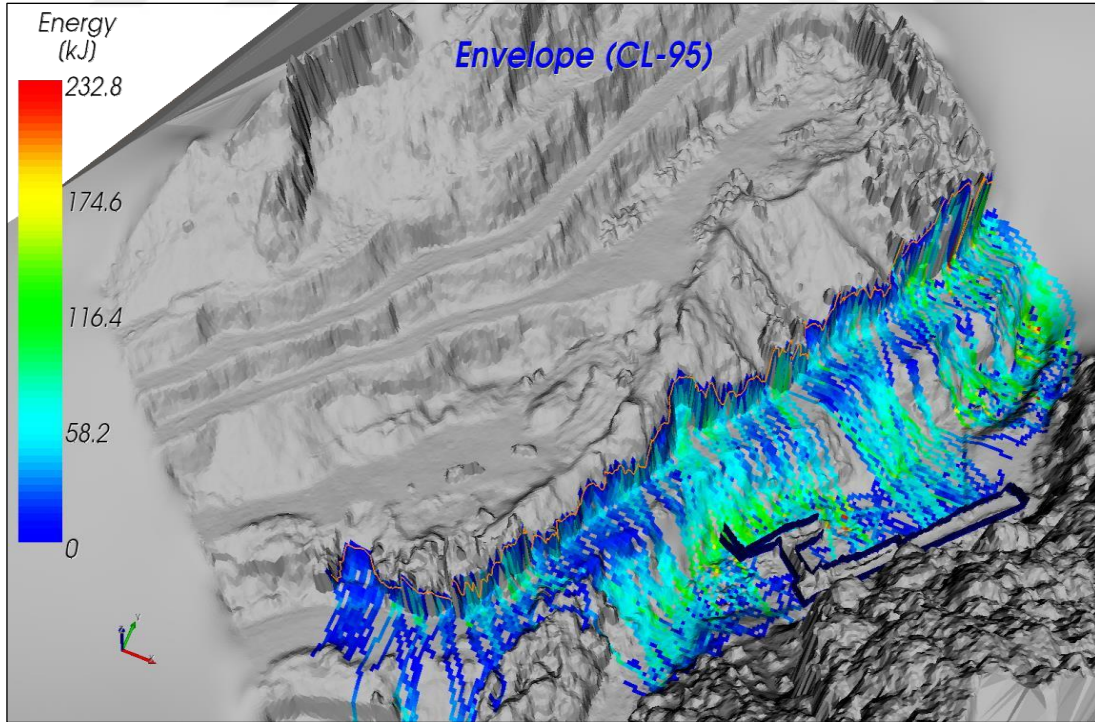


Şekil 24. Karayolu şevleri üzerinden 100 kg kütleye sahip kaya bloklarına ait hareket izi dağılım haritası

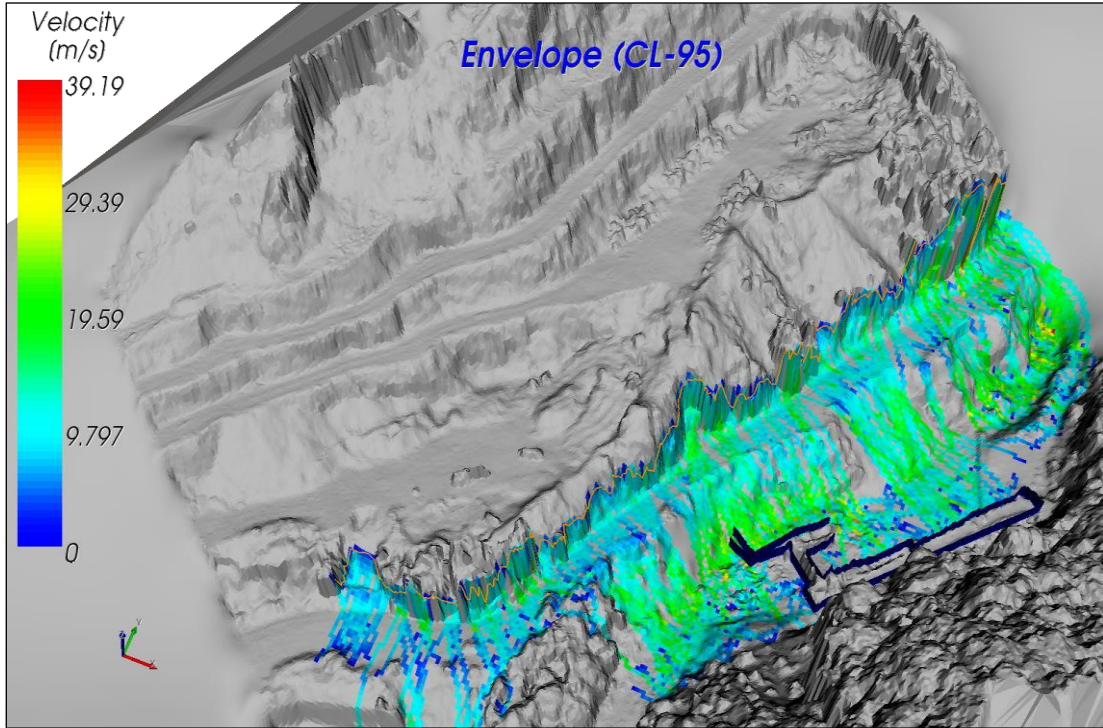
Çalışmanın ikinci aşamasında 500 kg (0.6 m x 0.5 m x 1.0 m) kütleyle sahip bloklar modellenmiş, 3-boyutlu kaya düşme haritaları hazırlanmıştır. Şekil 30 ve 31 değerlendirildiğinde, maksimum blok hız değerinin 39 m/s, ortalama hız değerinin yaklaşık 15 m/s, regülatöre çarpan blokların hız değerinin ise yaklaşık 30 m/s olduğu görülmüştür. Aynı şekilde maksimum blok enerjisinin 233 kJ, ortalama enerji değerinin yaklaşık 70 kJ, regülatöre çarpan blokların enerji değerinin yaklaşık 150 kJ olduğu görülmüştür.

Enerji ve hız değerlerine ek olarak çalışma kapsamında darbe izi dağılım noktası ve son ilerleme noktası haritaları da hazırlanmıştır (Şekil 32 ve 33). Şekiller değerlendirildiğinde darbe dağılımının karayolunda ve alt kotlarda bulunan regülatör çevresinde yoğunlaştığı, kuzey kesimlerde tüm blokların yolu aşarak dere kotunda hareketine son verdiği, daha güney kesimlerde ise bazı blokların karayolu üzerinde kaldığı görülmektedir.

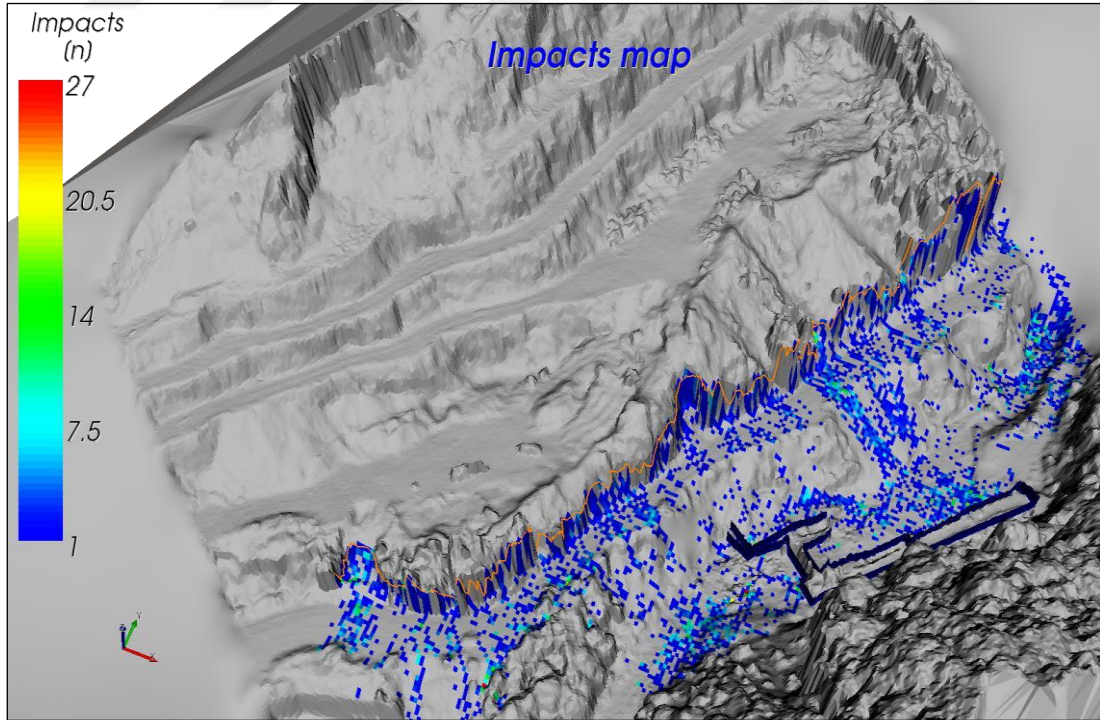
Tüm bu haritalara ek olarak Şekil 34’te 500 kg’lık blokların hareket izini gösteren üç boyutlu harita hazırlanmıştır.



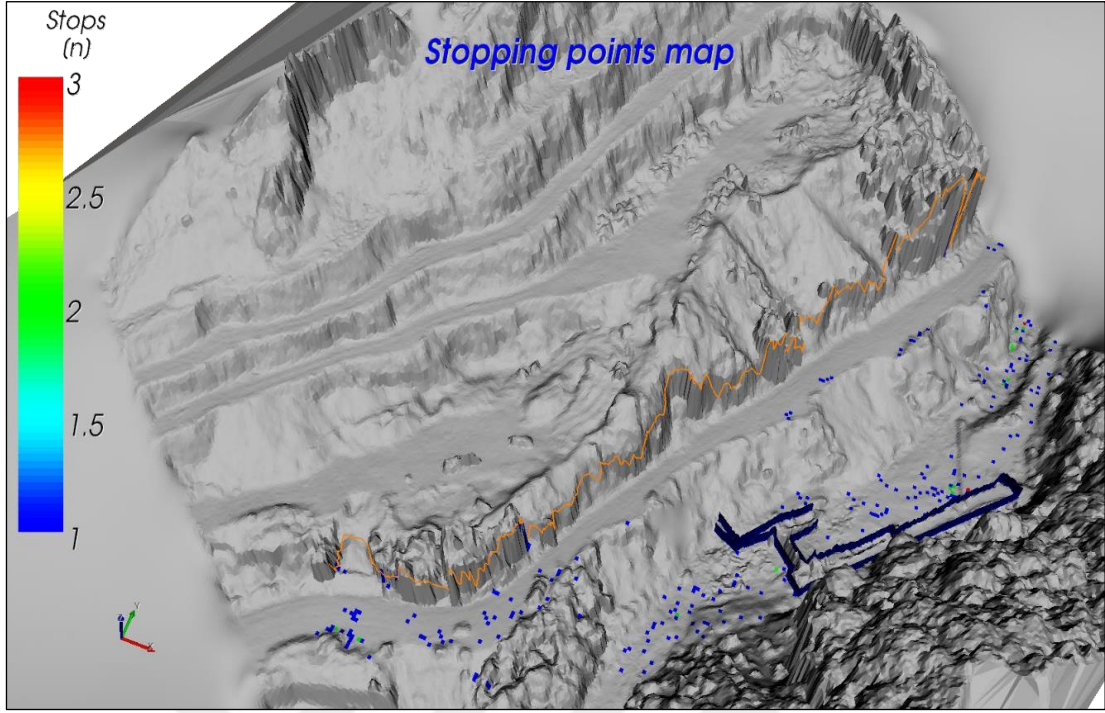
Şekil 25. Karayolu şevleri üzerinden 500 kg kütleyle sahip kaya bloklarının düşmesi/yuvarlanması durumu için hesaplanan enerji miktarları



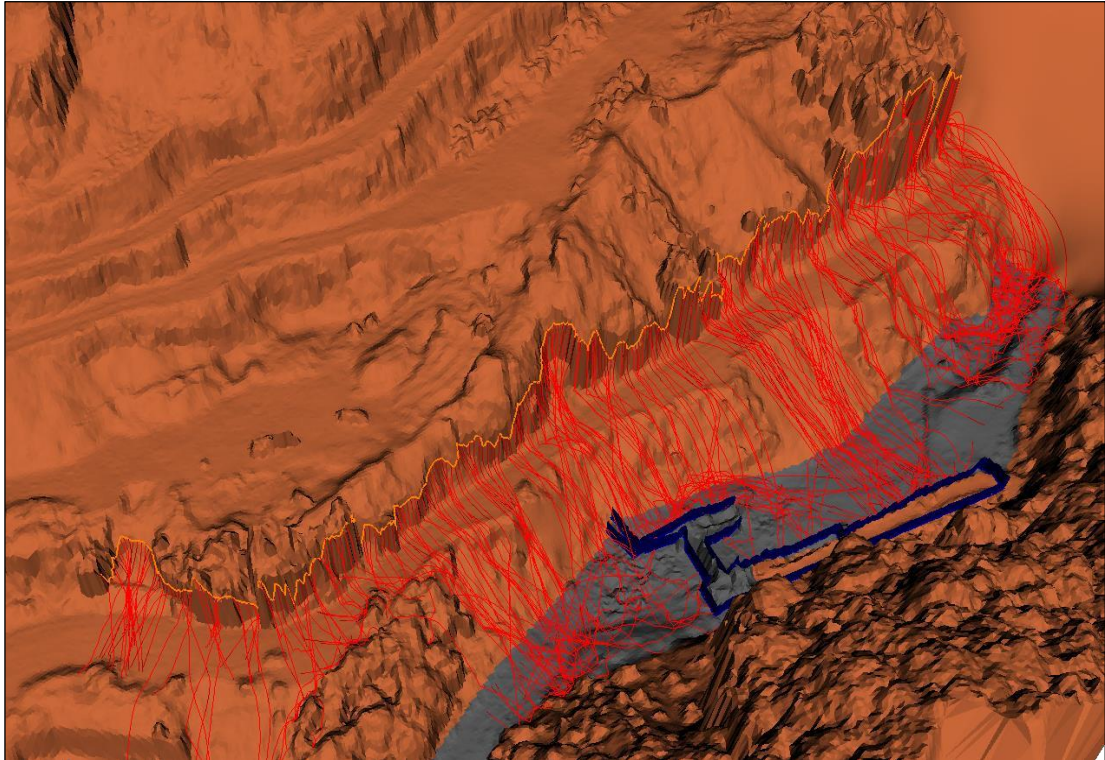
Şekil 26. Karayolu şevleri üzerinden 500 kg kütleye sahip kaya bloklarının düşmesi/yuvarlanması durumu için hesaplanan hız değerleri



Şekil 27. Karayolu şevleri üzerinden 500 kg kütleye sahip kaya bloklarına ait darbe izi dağılım noktası haritası



Şekil 28. Karayolu şevleri üzerinden 500 kg kütleye sahip kaya bloklarına ait son ilerleme noktası haritası

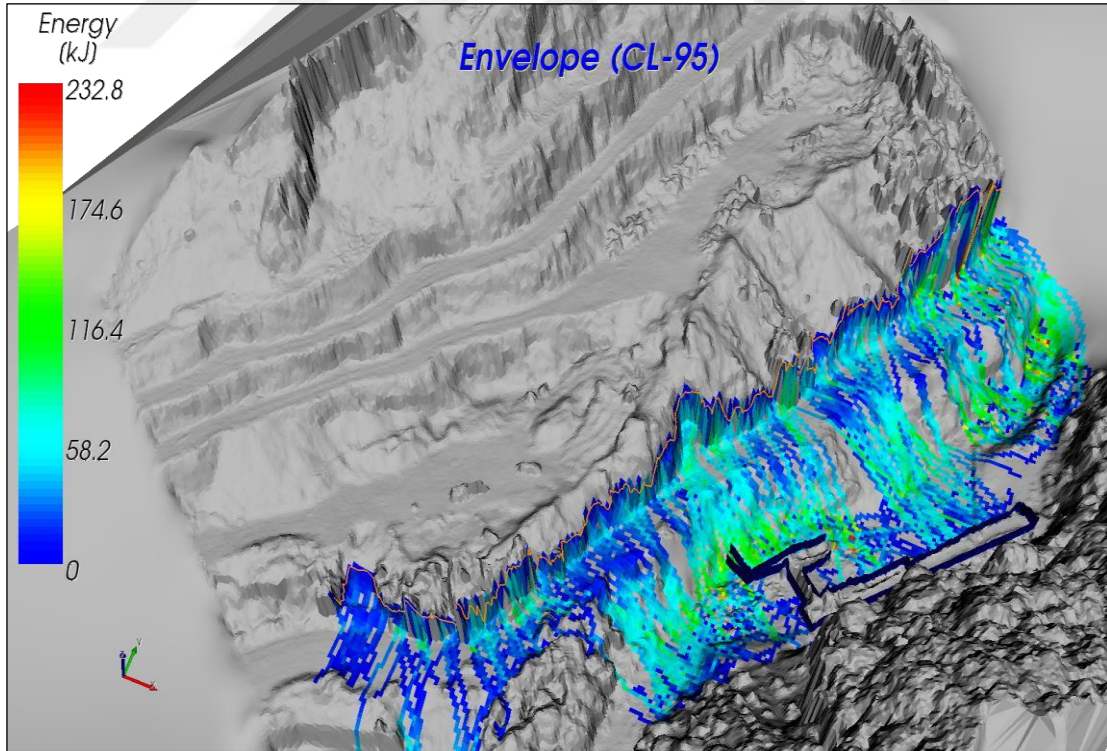


Şekil 29. Karayolu şevleri üzerinden 500 kg kütleye sahip kaya bloklarına ait hareket izi dağılım haritası

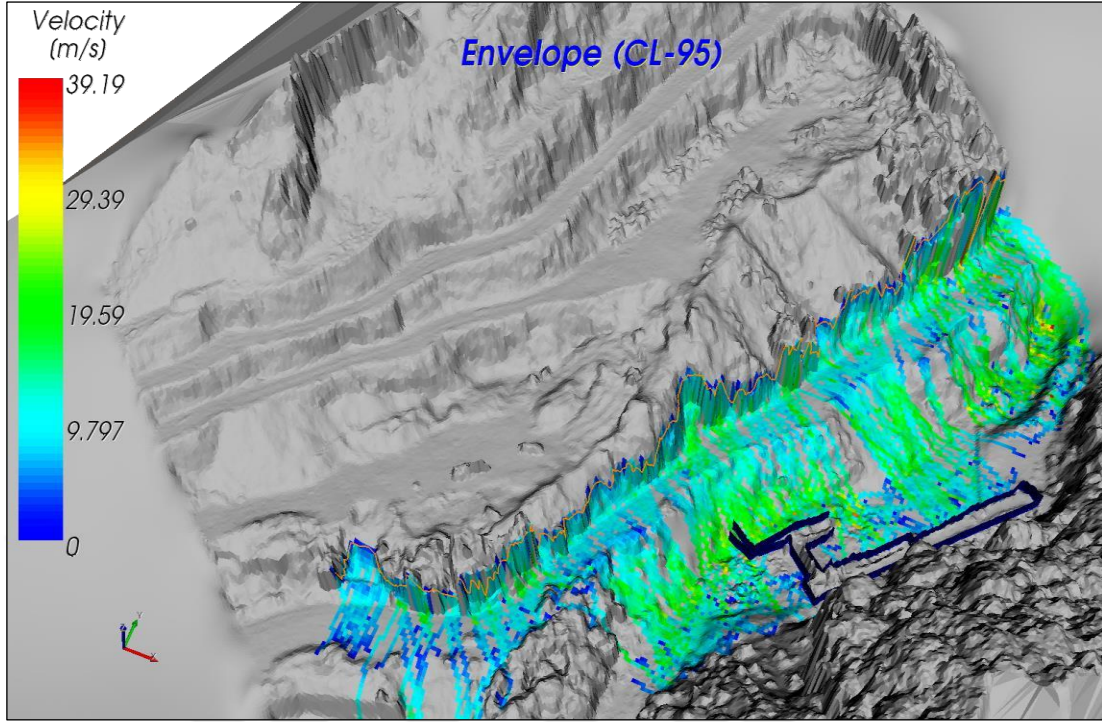
Çalışmanın üçüncü aşamasında 1000 kg (0.6 m x 0.7 m x 1.0 m) kütleyle sahip bloklar modellenmiş, 3-boyutlu kaya düşme haritaları hazırlanmıştır. Şekil 35 ve 36 değerlendirildiğinde, maksimum blok hız değerinin 39 m/s, ortalama hız değerinin yaklaşık 15 m/s, regülatöre çarpan blokların hız değerinin ise yaklaşık 30 m/s olduğu görülmüştür. Aynı şekilde maksimum blok enerjisinin 486 kJ, ortalama enerji değerinin yaklaşık 200 kJ, regülatöre çarpan blokların enerji değerinin yaklaşık 300 kJ olduğu görülmüştür.

Enerji ve hız değerlerine ek olarak çalışma kapsamında darbe izi dağılım noktası ve son ilerleme noktası haritaları da hazırlanmıştır (Şekil 37 ve 38). Şekiller değerlendirildiğinde darbe dağılımının karayolunda ve alt kotlarda bulunan regülatör çevresinde yoğunlaştığı, kuzey kesimlerde tüm blokların yolu aşarak dere kotunda hareketine son verdiği, daha güney kesimlerde ise bazı blokların karayolu üzerinde kaldığı görülmektedir.

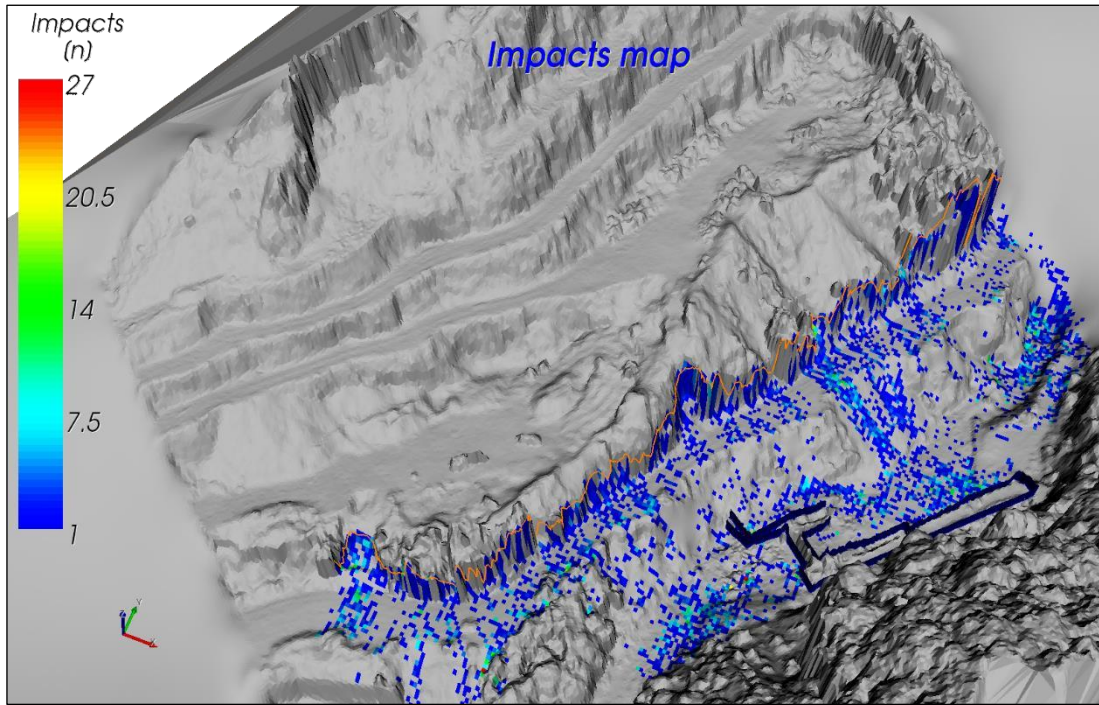
Tüm bu haritalara ek olarak Şekil 39’da 1000 kg’lık blokların hareket izini gösteren üç boyutlu harita hazırlanmıştır.



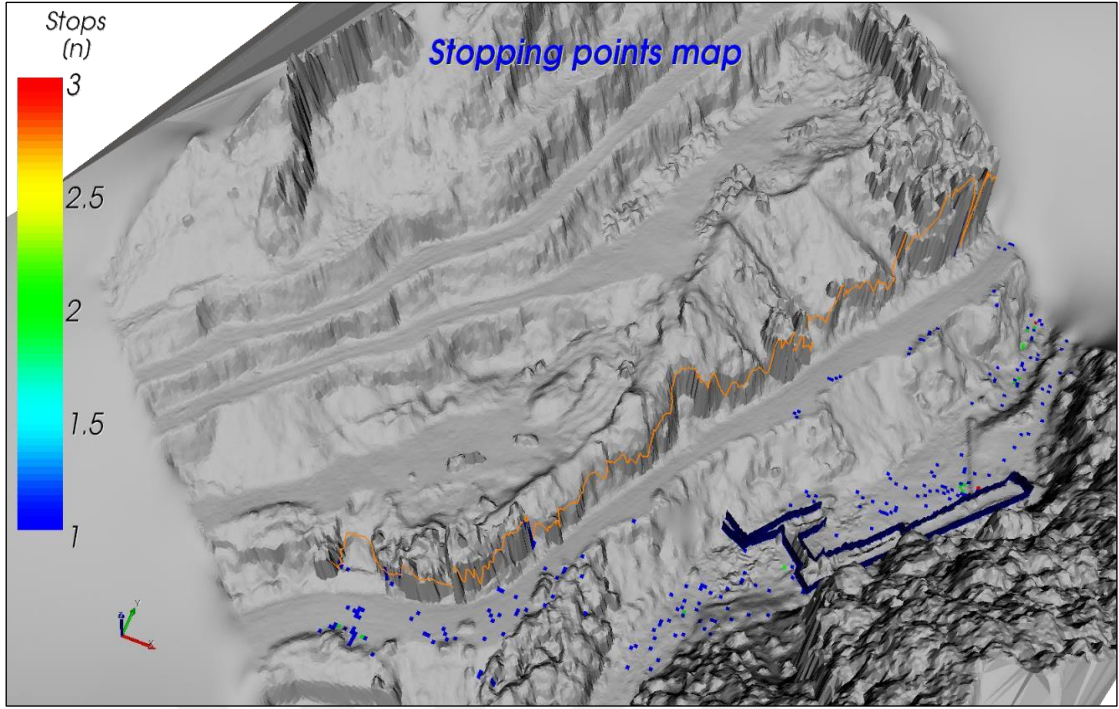
Şekil 30. Karayolu şevleri üzerinden 1000 kg kütleyle sahip kaya bloklarının düşmesi/yuvarlanması durumu için hesaplanan enerji miktarları



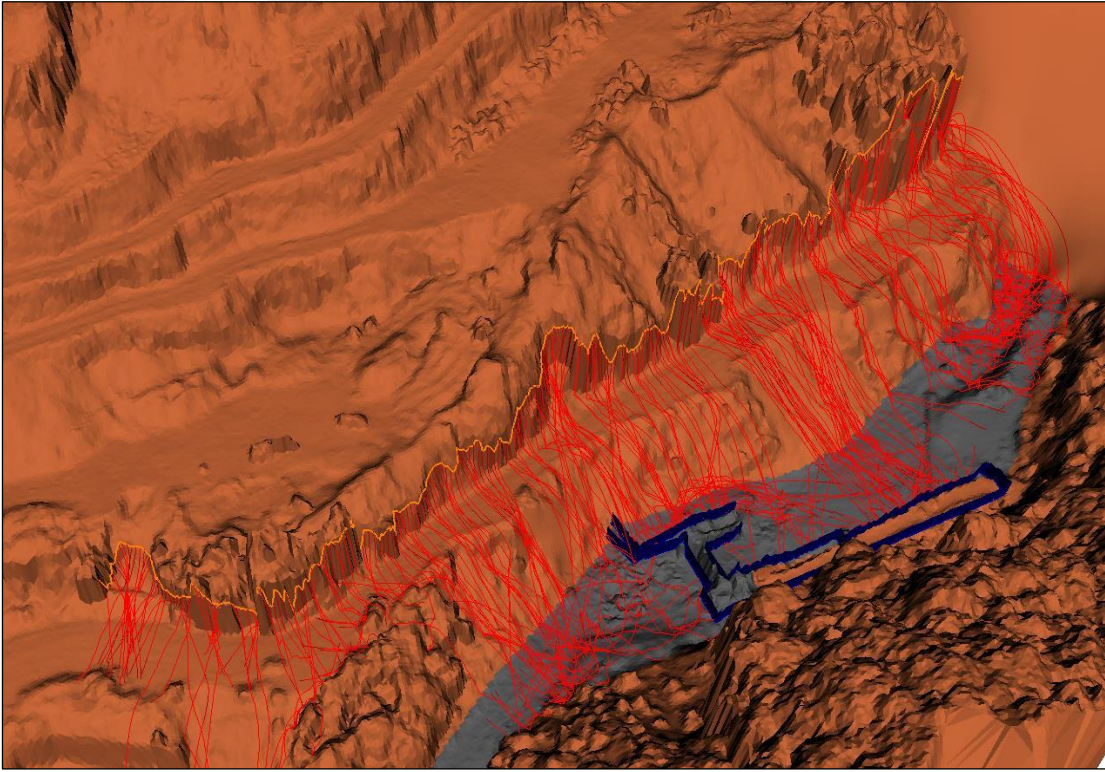
Şekil 31. Karayolu şevleri üzerinden 1000 kg kütleye sahip kaya bloklarının düşmesi/yuvarlanması durumu için hesaplanan hız değerleri



Şekil 32. Karayolu şevleri üzerinden 1000 kg kütleye sahip kaya bloklarına ait darbe izi dağılım noktası haritası



Şekil 33. Karayolu şevleri üzerinden 1000 kg kütleye sahip kaya bloklarına ait son ilerleme noktası haritası



Şekil 34. Karayolu şevleri üzerinden 1000 kg kütleye sahip kaya bloklarına ait hareket izi dağılım haritası

Tablo 12. Karayolu şevleri üzerinden farklı kütleye sahip kaya bloklarına hız ve enerji değerleri

Özellik	İstatistiksel	100 kg	500 kg	1000 kg
Hız (m/s)	Maksimum	39		
	Ortalama	15		
	Regülatör sahası	30		
Enerji (kJ)	Maksimum	51	233	486
	Ortalama	15	70	200
	Regülatör sahası	30	150	300
Maksimum ilerleme noktası		Regülatör sahası		

3.5.5. Kaya Düşmelerinin Regülatöre Etkisinin Değerlendirilmesi

Patlatmalı taşocağı işletmelerinde veya kaya şevlerinde yapılan patlatmalı kazılarda, etki alanı içerisinde bulunan hassas yapıların (ev, okul, köprü, regülatör vb) konumlarının bilinmesi ve tasarım parametrelerinin bu yapılara zarar gelmeyecek şekilde planlanması büyük önem taşımaktadır. Çalışma sahasında Yomra-Özdil Karayolu'nun doğu kesiminde yoldan yaklaşık 20-25 m düşük kotta ve Yomra Deresi üzerinde bir regülatör bulunmaktadır. Regülatör tesislerinin karayoluna yatay uzaklığı 20 m, karayolu şevine yatay uzaklığı ise yaklaşık 28 metredir (Şekil 35).



Şekil 35. Yomra Deresi üzerinden bulunan regülatörün Yomra-Özdil karayoluna ve kazı çalışması yapılacak şeve göre konumu

Çalışma alanında kaya düşme riski içeren birçok blok bulunmaktadır. Bununla birlikte süreksizliklerle bölünmüş kaya kütlelerinde birçok alanda düzlemsel kayma ve kama tipi kayma riski söz konusudur (bakınız Şekil 11, 12, 13 ve 14). Bu nedenle karayolunda yapılacak patlatmalı kazılarda, şev boyunca patlatma yapılan alan dışında kalan kaya kütlelerinde yenilme veya kaya düşmesi meydana gelerek regülatöre zarar verebilir.

Çalışma alanında 05.09.2022 ve 04.10.2022 tarihlerinde çalışma konuları gereği kaya şevinde 1'er adet patlatma yapılmış, karayolu üst kotlarında 03.10.2022 tarihinde bir adet patlatma yapılmıştır. Patlatma yapılan tarihlerde kaya şevi üzerinde bir kaya düşme vakası yaşanmazken, 3 gün süren şiddetli yağış sonrasında 09.10.2022 tarihinde patlatma yapılan noktaya yaklaşık 170 metre ve patlatma yapılan noktaya yaklaşık 35 metre uzaklıkta bulunan kaya kütlelerinde bir kaya düşme vakası gelişmiştir.



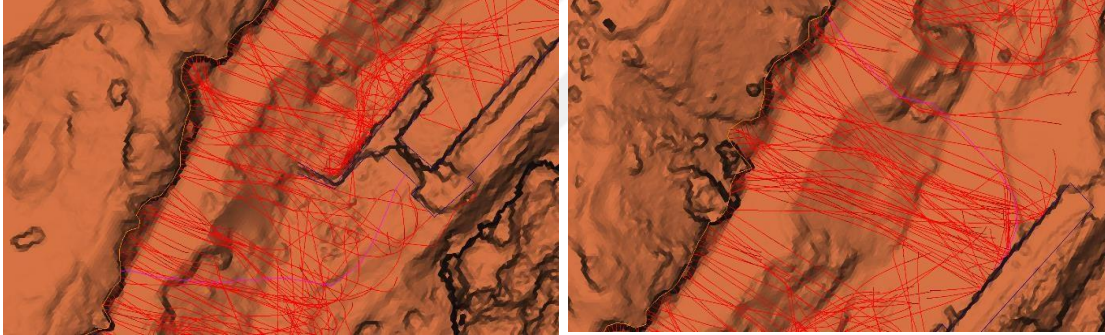
Şekil 36. 09.10.2022 tarihinde KM: 09+900'da süreksizlikler boyunca meydana gelen kama tipi yenilme sonrası kaya düşme vakasının yaşandığı alan ile patlatma yapılan alanlar arasındaki konumsal ilişki

Kaya düşme vakasının meydana gelmesinde; **(i)** o bölgedeki kaya kütlelerinin çok kırıklı bir yapı sunması, **(ii)** süreksizliklerin yamaç dışına doğru eğimli olması, **(iii)** dik ve yüksek karayolu şevlerinin varlığı, **(iv)** karayolu hattı boyunca kaya kütlesi üzerinde askıda bulunan çok sayıda bloğun varlığı, **(v)** çevrede bulunan ocaklarda

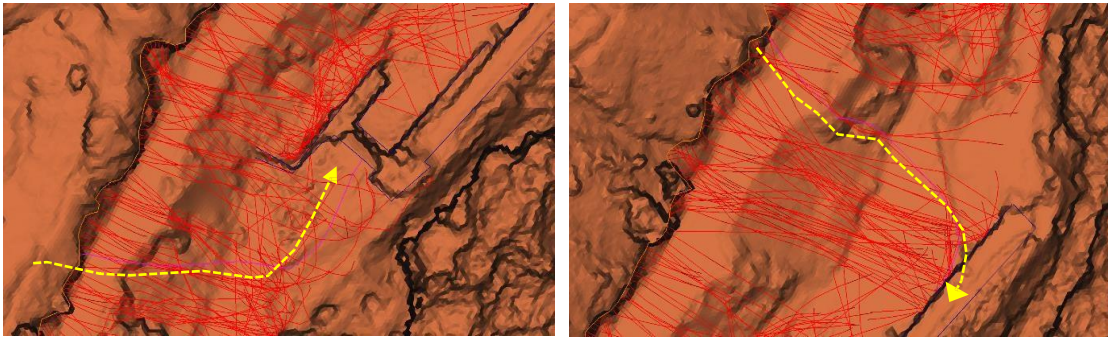
uygulanan patlatmalı üretimin mevcut kaya kütlelerini sürekli örselemesi gibi faktörler etkilidir. Tüm bu faktörler ve yaşanan vakalar, regülatörün güvenliği açısından bu hat boyunca Yemlemeye Duyarlı Patlayıcılar (ANFO veya Suya Dayanıklı Emülsiyon) kullanılarak yapılacak bir uygulamanın uygun olmayacağını göstermektedir.

Patlatmalı şev oluşturma faaliyetlerinin kaya düşme riskini arttıracak dikkate alındığında, özellikle bu hattın ne kadarlık kısmında standart patlatma tekniklerinin uygulanmayacağını belirlenmesi amacıyla, 3-boyutlu kaya düşme analizleri değerlendirilmiştir.

Bu amaçla, Yomra-Özdil-Yağmurdere (DOKAP) İl Yolu Çalışması kapsamında km: 09+700 – 10+200 arasında bulunan kaya kütlelerinde için yapılan kaya düşme analizlerinde regülatörün mansap ve memba kesiminde regülatöre ulaşarak çarpacak bloklar içinde en uzak seyahat mesafesine sahip olan noktalar belirlenmiştir. Şekil 38, 39 ve 40'ta, regülatöre çarpan bloklar içinde en uzak seyahat mesafesine sahip bloğun harekete başladığı noktalar görülmektedir.



Şekil 37. Regülatöre çarpan bloklar içinde en uzak seyahat mesafesine sahip 500 kg'lık bir bloğun izlediği yol (sağ ve sol şekil: regülatör memba ve mansapı)



Şekil 38. Regülatöre çarpan bloklar içinde en uzak seyahat mesafesine sahip 1000 kg'lık bir bloğun izlediği yol (sağ ve sol şekil: regülatör memba ve mansapı)

Analizlerde, bu noktalardan daha uzak mesafelerde meydana gelen kaya düşme vakalarının regülatörü etkilemediği görülmüştür. Tablo 3'te regülatörün memba ve mansap tarafında regülatöre çarpan bloklar içinde en uzak seyahat mesafesine sahip bloklara ait kaynak noktalarının koordinat değerleri verilmiştir. Bu koordinat değerleri arasında kalan alanda şev kazı çalışmalarının Yemlemeye Duyarlı Patlayıcılar (ANFO veya Suya Dayanıklı Emülsiyon) kullanılarak yapılmaması gerekmektedir.

Tablo 13. Regülatöre mansap ve memba tarafında çarpan bloklar içinde en uzak seyahat mesafesine sahip blokların kaynak noktalarına (şev üst kesimi) ait koordinatlar

Lokasyon	X (m)	Y (m)	Z (m)	KM	Önerilen KM
Regülatör mansabı	572834	4524942	345	09+930	09+900
Regülatör membası	572775	4524843	352	10+020	10+050

3.6. Patlatmalı Kazı Faaliyetleri

3.6.1. KM: 09+900 – 10+050 Arası Kaya Kırıcı Kartuşla Kazı Faaliyetleri

Çalışma alanı Yomra-Özdil karayolunun 9+700 – 10+200 Km bölümüdür. Bu bölgede yaklaşık 80-90° eğimli, çatlaklı ve birçok yerde ayrılmış kaya blokları yer almaktadır. Bu bölgede gerçekleştirilecek çalışmalar karayolu sınırında yer alan şev yüzeylerinin basamaklama yapılarak uygun eğimlere indirilmesini (yatayda 1 düşeyde 3 birim) kapsamaktadır.

Yapılan 3 boyutlu kaya düşme analizlerinde KM: 09+930 ile 10+030 arasında kalan alanda meydana gelebilecek kaya düşme vakalarında hareket edecek bir kaya bloğunun Yomra Deresi üzerinde bulunan regülatöre ulaştığı net olarak görülmektedir (Tablo 13).

Bu nedenle topografik yapı, karayolu şevinin konumu ve yüksekliği, kırıklı kaya kütlelerinin kırıklı yapı sunması, kaya şevinde birçok noktada serbest ve düşme riski olan blokların varlığı ve kazı şevi çevresinde bulunan taşocaklarında yapılan atımların kaya kalitesini bozması gibi durumlar dikkate alınlığında bu

noktalardan yaklaşık 30 metre uzaklıkta bulunan noktalar arasında kalan 150 metrelik karayolu hattı boyunca (KM: 09+900-10+030) kaya kırıcı kartuşların kullanılması önerilmektedir. Kaya kırıcı kartuşların birçok avantajı söz konusu olmakla birlikte bu çalışma kapsamında 3 önemli avantajı ön plana çıkmaktadır.

Bunlar aşağıda sıralanmıştır;

- (1) Kaya kırıcı kartuş patlatmalı kazılar, diğer patlatmalı kazılara göre hassas yapılar için riski minimuma indirmektedir (Minimal hareketli kaya < 10m, minimum titreşim ve gürültü)
- (2) Küçük çaplı geleneksel patlatma ile benzer verimler, daha küçük şarj ağırlıkları kullanılarak elde edilebilir.
- (3) Kaya Kırıcı Kartuş kullanılırken sadece uygulama yapılacak alanın 50 metre etrafında güvenlik önlemleri alınır.

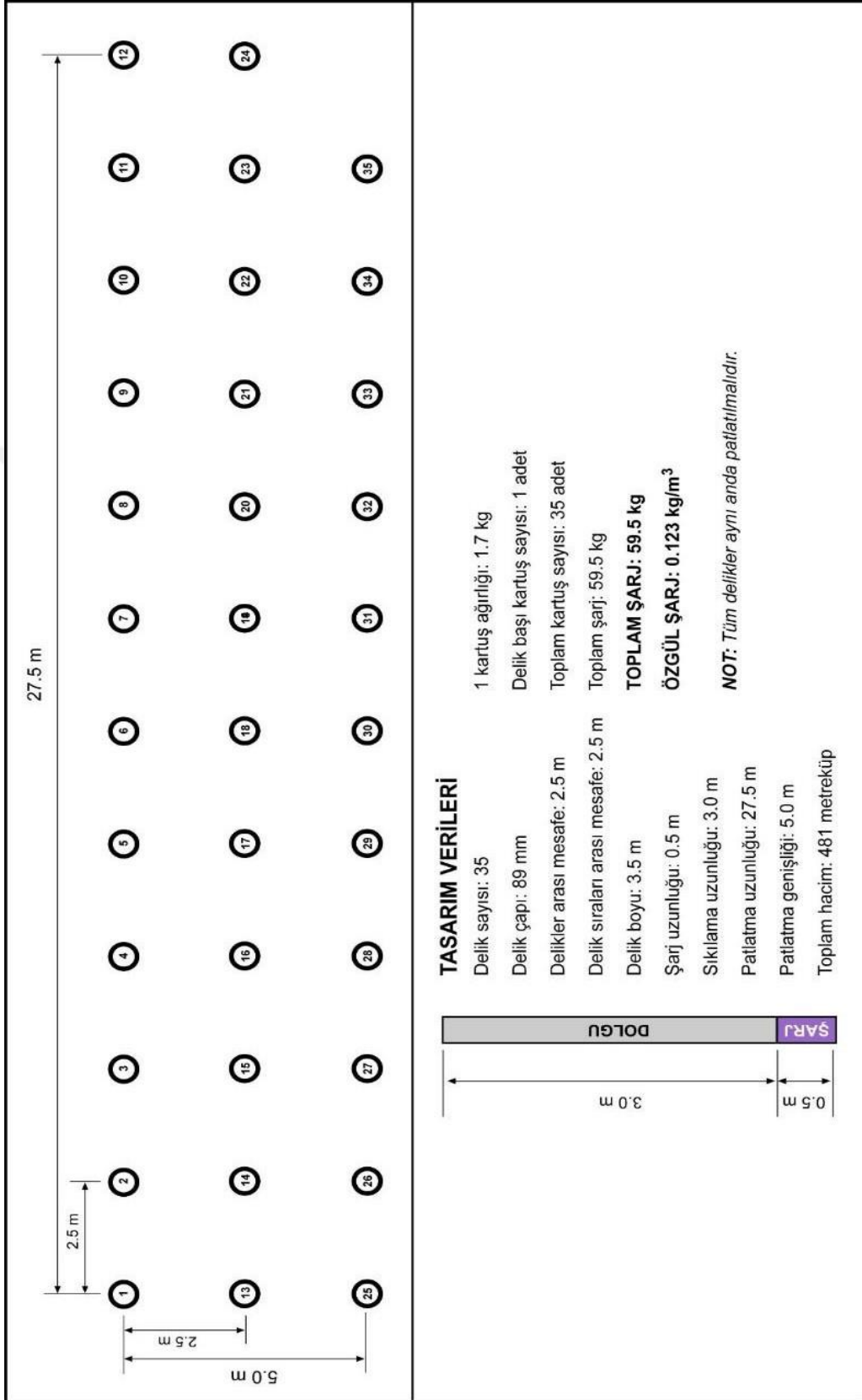
Bu nedenle çalışma kapsamında yaklaşık KM: 10+030'a gelen ve şev üstünde bulunan 150 m² lik bir alanda (15 m x 10 m) (alanın doğu sınırı karayolu şevi tepesi) kaya kırıcı kartuş kullanılarak bir deneme patlatmasının yapılması önerilmiştir.

3.6.2. Patlatma Tasarımı ve Uygulaması

Kaya kırıcı kartuşla gerçekleştirilen ilk deneme patlatması 26 Aralık 2022 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında uygulanan deneme patlatması sırasında delikler arası ve sıralar arası uzaklık 2.5 metre, deliklerin şev tepesine en yakın mesafesi 2.0 m olarak planlanmıştır. Uzunluğu 15 m, genişliği 5.0 m olan patlatma alanında dik olarak 3.5 m derinliğinde toplam 35 patlatma deliği açılmıştır. Çapları 89 mm olacak deliklerde 83 mm çaplı kaya kırıcı kartuş kullanılmıştır. Kartuş net ağırlığı 1,7 kg olduğu için deneme patlatması sırasında kullanılan toplam patlayıcı miktarı 59.5 kg olmuştur. Deneme atımı sonrasında yapılacak kazı miktarının 481 m³ olması planlanmıştır.



Şekil 39. Çalışma kapsamında 1. deneme patlatması yapılan alan ve bu alana göre regülatörün konumu



Şekil 40. Çalışma kapsamında kaya kırıcı kartuşla yapılan ilk deneme patlatmasına ait tasarım, uygulanan delik kesiti ve tasarım verileri

Patlatma sırasında ve sonrasında kaya düşmesi veya düzlemsel/kama tipi kayma şeklinde kütle hareketleri gözlenmiştir. Yerinde yapılan incelemelerde patlama alanı sahası dışında kalan kaya kütleleri süreksizlik açıklıklarında herhangi bir değişiklik olduğu görülmemiştir. Patlama sahasında yapılan uygulamanın güvenli olduğu net olarak görülmektedir (Şekil 41 ve 42).



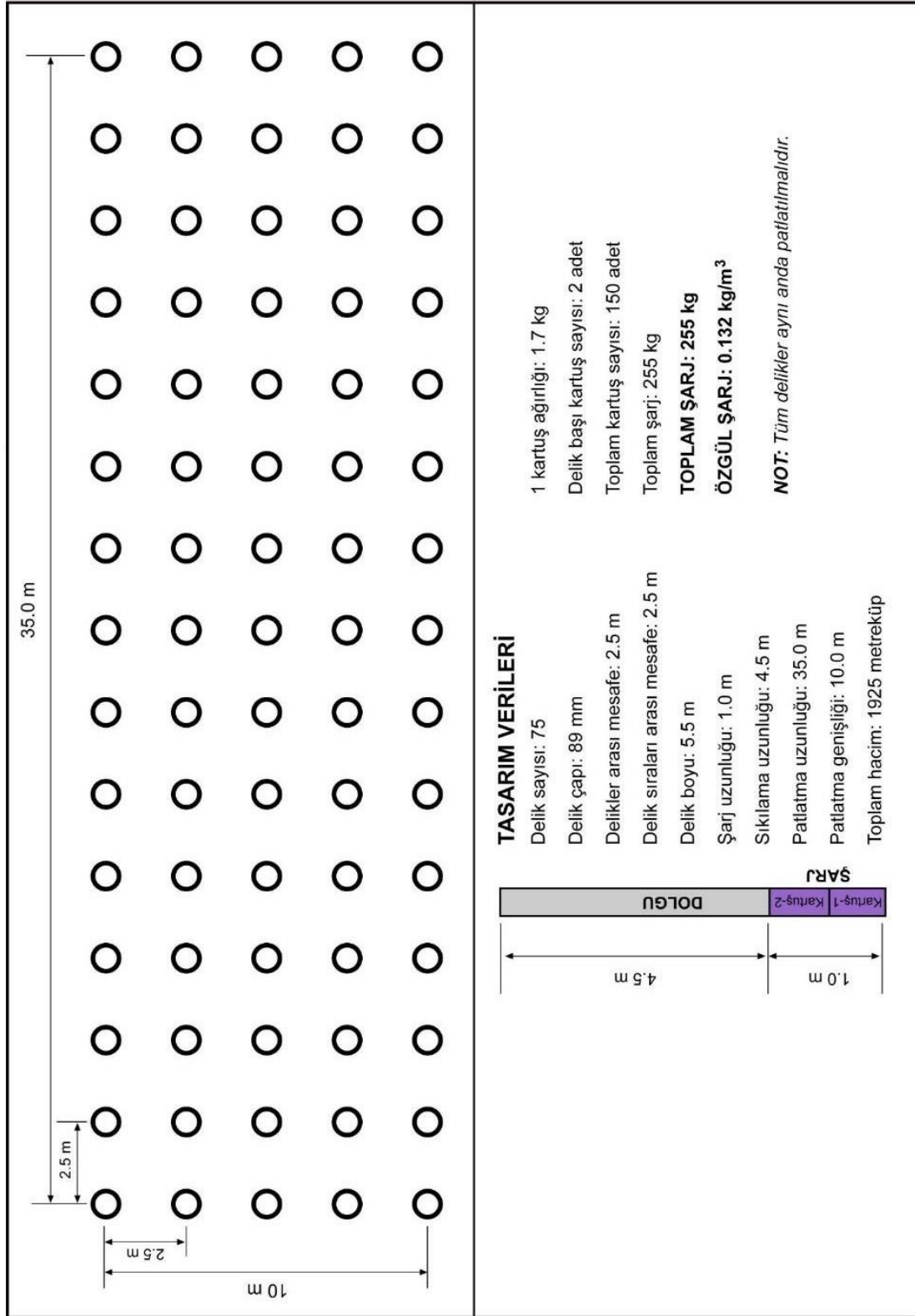
Şekil 41. Kaya kırıcı kartuş ile yapılan patlatmanın zamana bağlı görünümü (tüm fotoğraflar patlatma anından itibaren toplam 5 sn içerisinde alınmıştır)



Şekil 42. Patlatmadan 5 dakika sonra karayolunun görünümü (5-10 cm çapında kaya blokları haricinde şevde yenilme ve kaya düşme olayı izlenmemiştir)

26 Aralık 2022 tarihinde yapılan ilk deneme patlatmasının güvenli olduğu ve yol şevinde heyelan riski oluşturmadığı dikkate alınarak çalışmanın ikinci aşamasında patlayıcı miktarının artırılmasına karar verilerek yeni önerilen patlayıcı paterninin risk oluşturup oluşturmayacağı araştırılmış, bu aşamada ayrıca titreşim ölçümleri alınmıştır.

Çalışma kapsamında 25 Mayıs 2023 tarihinde kaya kırıcı kartuşla gerçekleştirilen ikinci deneme patlatması sırasında delikler arası ve sıralar arası uzaklık 2.5 metre, deliklerin şev tepesine en yakın mesafesi 2.0 m olarak planlanmıştır. Uzunluğu 35 m, genişliği 10 m olan patlatma alanında dik olarak 5.5 m derinliğinde toplam 75 patlatma deliği açılmıştır. Çapları 89 mm olacak deliklerde 83 mm çaplı 2 adet kaya kırıcı kartuş kullanılmıştır (150 adet). Kartuş net ağırlığı 1,7 kg olduğu için deneme patlatması sırasında kullanılan toplam patlayıcı miktarı 255 kg olmuştur. Deneme atımı sonrasında yapılacak kazı miktarının 1925 m^3 olması planlanmıştır (Şekil 45, 46). Patlatma bitişik alanda tekrarlanmış ve toplamda 300 kartuş kullanılmıştır.



Şekil 43. Çalışma kapsamında kaya kırıcı kartuşla yapılan deneme patlatmasına ait tasarım, uygulanan delik kesiti ve tasarım verileri



Şekil 44. Çalışma kapsamında 2. deneme patlatması yapılan alanlar ve bu alana göre regülatörün konumu

Patlatma sonrasında çevrede bulunan kaya kütlelerinde bir yenilme meydana gelmemiştir (Şekil 45). Ancak patlatma sonrasında birkaç m çapındaki blokların karayoluna düştüğü görülmüştür. Askıda kalan blokların yol şevinden temizlenmesi ve yolun trafiğe açılması ise yaklaşık 4 saat sürmüştür (Şekil 46). Kaya düşme vakaları daha az oranda patlatma etkisiyle, daha çok oranda delik ilk sırasının şeve çok yakın (2 m) ve delik derinliğinin 5.5 m olmasından ve bu nedenle istenilen sandık yarmanın oluşturulamamasından kaynaklanmıştır. Büyük bloklar karayoluna düşmesine rağmen, hiçbir blok yolu aşarak regülatöre kadar ilerlememiştir. Bu sonuç patlatmanın şiddetinden daha çok 90 dereceye yakın şevin konumundan ve çatlaklı kırıklı kaya yapısının ürünüdür.

Elde edilen bu sonuçlar değerlendirildiğinde, kaya kırıcı kartuş ile yapılacak patlatmaların bile düşüğe olsa kaya düşme riskine neden olabileceği anlaşılmaktadır. Ayrıca kuzeye doğru tam olarak regülatörün karşısında olan daha yüksek şevlerin varlığı, bu şevlerde bulunan süreksizliklerin yamaç dışına eğimli olması gibi faktörler dikkate alındığında 150 metrelik bu hat boyunca kaya kırıcı kartuştan başka hiçbir patlatma yönteminin uygun olmayacağını net olarak anlaşılmaktadır.



Şekil 45. Kaya kırıcı kartuş ile yapılan 2.deneme patlatmasının zamana bağlı görünümü (tüm fotoğraflar patlatma anından itibaren toplam 5 sn içerisinde alınmıştır)



Şekil 46. Patlatmadan 15 dakika sonra karayolunun görünümü (Blokların çoğu şev temizliği ile düşürülen bloklardır)

3.6.3. Kaya Kırıcı Kartuşla Gerçekleştirilen Patlatma Titreşim Ölçümleri

Çalışma kapsamında uygulanan ikinci deneme patlatması 15 m yüksekliğindeki yol şevinin 2 metre gerisinden itibaren açılan delikler içerisinde yapılmıştır. Delikler arası ve sıralar arası uzaklık 2.5 metre planlanmıştır. Uzunluğu 35 m, genişliği 10 m olan patlatma alanında dik olarak 5.5 m derinliğinde toplam 75 patlatma deliği açılmış, çapları 89 mm olan deliklere her deliğe 83 mm çaplı 2 adet kaya kırıcı kartuş yerleştirilmiştir (150 adet). Deneme patlatması sırasında kullanılan toplam patlayıcı miktarı 255 kg olmuştur. Bu durumda özgül şarj 0.132 olarak hesaplanmıştır. Patlatma bitişik alanda tekrarlanmış ve toplamda 300 kartuş kullanılmıştır. Ancak sadece ilk patlatma sırasında 150 mesafede bulunan trafo yakınında titreşim ölçümü alınmıştır. Patlatma yapılan alanda patlatma ve ölçüm noktalarının konumları Şekil 49’de verilen harita üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 47. Patlatma ve ölçüm noktalarının görünümü

26.05.2023 tarihinde saat 16:46'da gerçekleştirilen patlatamaya ait titreşim ölçümü akredite laboratuvar tarafından SVANTEK SVAN 958A marka titreşim ve gürültü ölçer kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Patlatma noktasına 170 m uzaklıkta yer alan ölçüm noktasında (Şekil 47, Ölçüm Noktası) üç yönde titreşim ölçümleri alınmıştır. Kaydedilen titreşim değerleri (Pik Parçacık Hızı, mm/sn) ve her titreşime ait frekans (Hz) Tablo 14'te verilmiştir.

Türkiye'de maden ve taşocakları ile benzeri alanlarda patlatma nedeniyle oluşacak titreşimlerin etkilerinin değerlendirilmesinde *Çevresel Gürültünün Yönetimi Yönetmeliği* esas alınmaktadır.

Maden ve taşocakları ile benzer mahallerde patlatma sebebiyle gerçekleşecek titreşimlerin en yakın noktada/yapıda oluşturacağı zemin titreşimlerinin uygun görülen en yüksek verileri Tablo 15'te verilmektedir.

Tablo 14. Ölçüm noktasında üç yönde titreşim değerleri

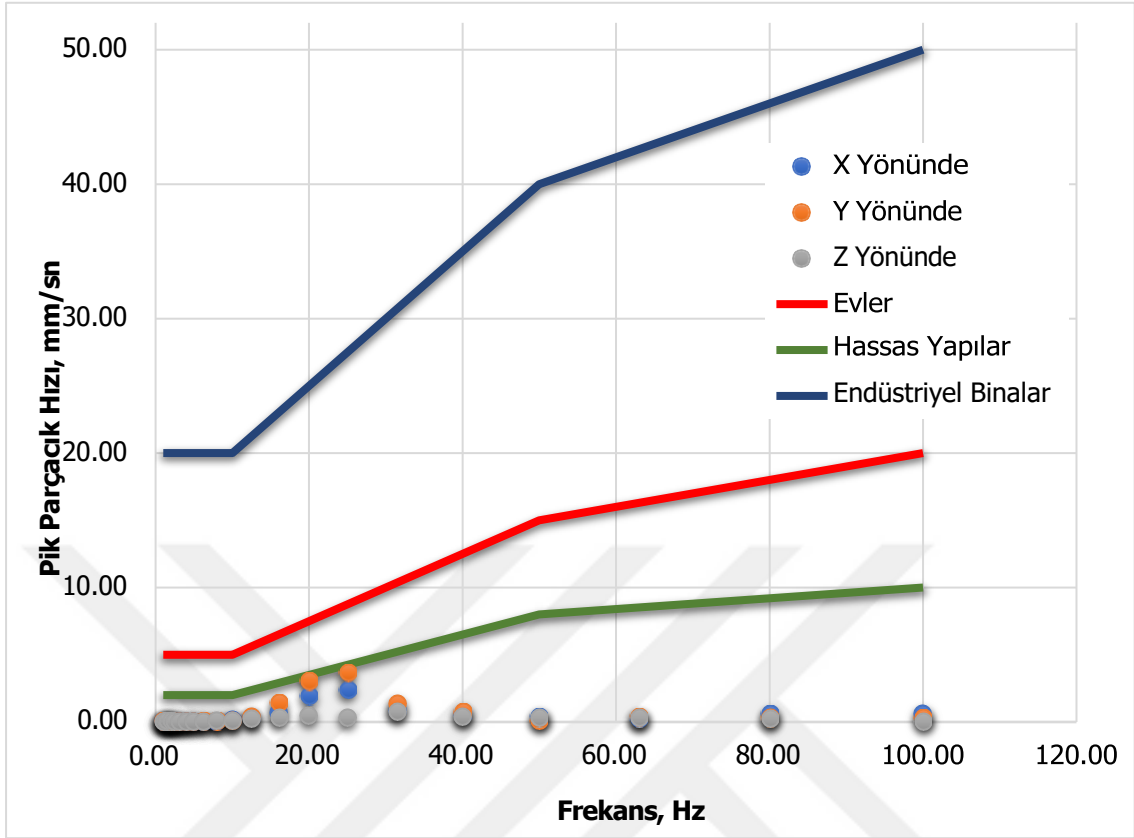
X Yönünde		Y Yönünde		Z Yönünde	
Frekans, Hz	PPV, mm/sn	Frekans, Hz	PPV, mm/sn	Frekans, Hz	PPV, mm/sn
1,00	0,0494311	1,00	0,0412098	1,00	0,0333426
1,25	0,0523600	1,25	0,0458142	1,25	0,0529663
1,60	0,0181761	1,60	0,0129867	1,60	0,0183865
2,00	0,0206063	2,00	0,0164816	2,00	0,0166725
2,50	0,0261517	2,50	0,0228823	2,50	0,0281190
3,15	0,0103872	3,15	0,0090887	3,15	0,0118168
4,00	0,0123595	4,00	0,0113240	4,00	0,0197925
5,00	0,0138995	5,00	0,0147062	5,00	0,0157036
6,30	0,0175186	6,30	0,0155776	6,30	0,0275740
8,00	0,0438026	8,00	0,0329610	8,00	0,0718621
10,00	0,1433838	10,00	0,0996552	10,00	0,1124605
12,50	0,3376758	12,50	0,3677054	12,50	0,2288232
16,00	0,7136742	16,00	1,3443118	16,00	0,3093855
20,00	1,8771544	20,00	3,0026174	20,00	0,4875285
25,00	2,3878113	25,00	3,5974934	25,00	0,3040885
31,50	0,8308067	31,50	1,3228177	31,50	0,7336687
40,00	0,4731513	40,00	0,6652732	40,00	0,3471363
50,00	0,3303695	50,00	0,1272038	50,00	0,3009539
63,00	0,2037042	63,00	0,2770129	63,00	0,2454709
80,00	0,5116818	80,00	0,2466039	80,00	0,2137962
100,00	0,6109420	100,00	0,2437811	100,00	0,0285759

Tablo 15. Maden ve taşocakları ile benzeri mahallerde patlatma sebebiyle ortaya çıkabilecek titreşimlerin en yakın yapıda oluşturacağı zemin titreşimlerinin izin verilen en yüksek verileri

Yapı Tipi	Binaların Temelinde En Yüksek Titreşim Hızı, (mm/sn) Frekansa göre, $f = \text{Hz}$			Tüm frekanslar için en üst katın döşemesinde (tabanında) ⁽²⁾
	$f = 1-10 \text{ Hz}$	$f = 10-50 \text{ Hz}$	$f = 50-100 \text{ Hz}$ ⁽¹⁾	
Endüstriyel Binalar	20	40	50	40
Evler, tuğla ve beton gibi dayanıklı yapılar	5	15	20	15
Titreşime duyarlı olup ta 1. ve 2. maddenin dışında kalan tarihi ve doğal yapılar ⁽³⁾ .	2	8	10	8
⁽¹⁾ 100 devir/sn büyük frekanslar için titreşim düzeyine müsaade edilebilir. ⁽²⁾ Birden fazla katlı binalar için, ölçümlerin hem binaların temelinde hem de en üst katın döşemesinde alınması gerekmektedir. ⁽³⁾ Tarihi ve doğal yapılar için bu sınır değerler, yerinde yapılacak hassas, geniş kapsamlı titreşim ölçümleri ve bilimsel araştırma ve çalışmalar ile sınırlandırılabilir.				

Şekil 50 ÇGYT tarafından önerilen titreşim hasar kriterleri tablosunun grafiksel gösterimidir. Grafik üzerinde taşocağında ölçülen titreşim verileri de işlenmiştir. Grafik konut/ev grubu yapılar (kırmızı), endüstriyel binalar (lacivert) ve hassas/tarihi yapılar (yeşil) için önerilen sınır değerleri göstermektedir.

Ölçüm yapılan nokta endüstriyel binalar kategorisinde bir yapıyı temsil etmektedir. Ölçüm noktasında kaydedilen titreşim değerleri en çok 3,597 mm/sn olmuştur. Bu titreşimin frekansı ise 25 Hz'dir. Ölçüm noktasında ağırlıklı olarak Y yönünde (patlatma noktasından ölçüm noktasına doğru) olmak üzere 16,00-31,50 Hz frekans aralığında şiddetleri 1,00 mm/sn ile 3.597 mm/sn arasında değişen titreşimler ölçülmüştür. Tablo 15 ($f = 10-50 \text{ Hz}$) ve Şekil 50 incelendiğinde ölçülen titreşimlerin endüstriyel binalar için tanımlanan hasar sınır değerlerinden düşük olduğu görülür. Ölçülen titreşim değerleri diğer yapı kategorileri (evler ve hassas yapılar) için de hasar sınırı değerlerini ($f = 10-50 \text{ Hz}$ frekans aralığı için) aşmamıştır.



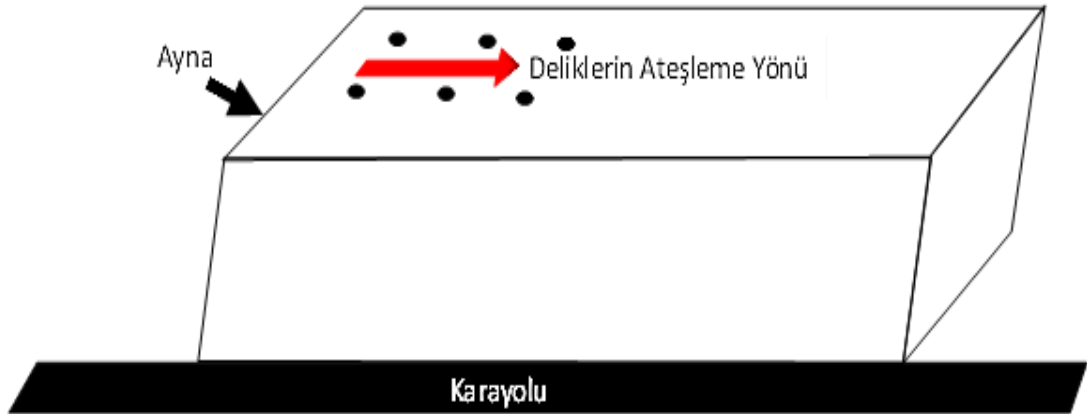
Şekil 48. Ölçülen titreşimlerin ÇGYK kriterlerine göre grafiksel değerlendirmesi

3.6.4. KM: 09+900 Kuzeyi, KM: 10+050 Güneyi Patlatmalı Kazı Faaliyetleri

Çalışma sahasında yukarıda açıklanan gerekçeler dikkate alınarak KM: 09+900 – 10+050 arasında kalan hattın dışında delme-patlatma uygulaması ile basamak patlatması yapılarak genel şev eğimi 1/3 (yatayda 1 düşeyde 3 birim) olacak şekilde basamaklar oluşturulacaktır.

Çalışma alanında oluşturulacak basamakların sayısı çalışılan bölgenin topoğrafik koşullarına bağlı olarak belirlenecektir. Basamak sayısının en fazla olacağı bölüm 9+700 – 9+900 Km aralığı olacaktır. Bu bölümde 3 basamak oluşturulacaktır. Basamak genişliği 5,00 m ve basamak yüksekliği 15,00 m olacaktır. Her basamakta yüksekliği 4,00 m olan kademeler oluşturularak patlatma yapılacaktır.

Kademelerde delikler karayoluna dik aynalar oluşturulacak şekilde ateşlenecektir (Şekil 51). Bu uygulama patlatma sırasında gevşeyen malzemenin yola ve özellikle de Yomra Deresi içerisinde yer alan regülatör yönünde akmasını/düşmesini engellemeye yönelik bir önlem olacaktır.



Şekil 49. Kademelerde ateşleme yönü ve patlatma aynasının konumu

3.6.5. Patlatma Tasarımı

Çalışma alanında şev düzenlemesi dik deliklerle basamak patlatması uygulanarak gerçekleştirilecektir. Basamak yükseklikleri 15 m seçilmiştir. 9+700 ve 10+00 Km aralığındaki bölgede 3 olmak üzere çalışma alanında topoğrafik koşullara bağlı olarak farklı sayıda basamaklar oluşturulacaktır. Proje alanının doğusunda yer alan regülatör ve ilgili yapıları patlatma kaynaklı titreşim ve taş savrulması etkilerinden korumak amacıyla basamaklarda patlama işlemi kademeli olarak gerçekleştirilecektir. Kademe yüksekliği 4,00 m olarak belirlenmiştir. Basamak ve kademe genişliği 5,00 m ve basamak şev açısı 70-75° olarak planlanmıştır. Delikler 90° eğimli olarak delinecektir. Delik başına patlayıcı miktarının kısıtlanması amacıyla delik çapı 76 mm olarak belirlenmiştir. Tablo 16’da basamak genel tasarım parametreleri bulunmaktadır. İzleyen bölümde çalışma alanında uygulanacak basamak ve delik geometrisi parametrelerine ait hesaplama verilmektedir.

Tablo 16. Taşocağının üretim öncesi ve sonrası topoğrafik özellikleri

Basamak şev açısı	90°
Basamak yüksekliği	15,00 m
Basamak genişliği	5,00 m
Kazı sonrası genel şev açısı	70-75°
Kademe Yüksekliği	4,00 m

Azami Yük Mesafesi

$$B_{\max} = 1,36 \times \sqrt{I_b} \times R_1 \times R_2$$

$$B_{\max} = 1,36 \times \sqrt{3,65} \times 0,95 \times 1,075$$

$$B_{\max} = 2,625 \text{ m (2,50 m alınmıştır)}$$

76 mm delik çapı için Patlayıcı Madde Yoğunluğu (I_b) Tablo 17’den 3,65 Kg/m olarak seçilmiştir.

Tablo 17. Delik apı ve patlayıcı madde yoğunluğu (I_b) ilişkisi

Delik apı		Patlayıcı Madde Yoğunluğu, gr/cm ³						
inch	mm.	0,80	0,82	0,90	0,95	1,00	1,10	1,15
1 ^{1/4}	31,7	0,64	0,65	0,71	0,76	0,79	0,88	0,91
1 ^{3/4}	34,9	0,77	0,79	0,86	0,91	0,95	1,06	1,10
1 ^{1/2}	38,1	0,91	0,94	1,03	1,09	1,15	1,25	1,31
1 ^{5/8}	41,2	1,07	1,10	1,21	1,26	1,34	1,47	1,53
1 ^{3/4}	44,4	1,24	1,28	1,40	1,47	1,55	1,71	1,79
2	50,8	1,62	1,67	1,83	1,92	2,02	2,23	2,34
2 ^{1/4}	57,1	2,05	2,10	2,31	2,44	2,56	2,83	2,95
2 ^{1/2}	63,5	2,53	2,60	2,86	3,01	3,17	3,48	3,65
2 ^{3/4}	69,8	3,07	3,14	3,45	3,65	3,84	4,21	4,40
3	76,2	3,65	3,73	4,11	4,33	4,55	5,01	5,24
3 ^{1/2}	88,9	4,97	5,09	5,58	5,89	6,20	6,83	7,14
4	101,6	6,49	6,65	7,29	7,71	8,11	8,11	8,91
4 ^{1/4}	107,9	7,32	7,50	8,24	8,69	9,15	10,7	10,52

*şarj konsantrasyonu I_b 76 mm delik çapı ve yoğunluğu 0,8 gr/cm³ olan ANFO için seçilmiştir

90° delik eğimi için Tablo 18’den eğim düzeltme faktörü (R_1) 0,95 olarak okunmuřtur.

Tablo 18. Farklı delik eğim durumlarında R_1 düzeltme kriterleri

Düzeltme Faktörü	Eğim					
	Dik	10:1	5:1	3:1	2:1	1:1
R1	0,95	0,96	0,98	1,00	1,03	1,11

$c = 0,35$ kaya sabiti için düzeltme faktörü Tablo 19’dan orantılama yoluyla 1,075 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 19. Farklı kaya sabitlerinde R2 düzeltme kriterleri

c	0,3	0,4	0,5
R2	1,15	1,0	0,90

Alt Delme

U = Alt delme, m

U = 0,3 x B_{max}

U = 0,3 x 2,50

U = 0,75 m **(1,00 m alınmıştır)**

Delik Boyu

H = k x (K+U)

H = Delik Boyu (m)

k = Delik eğimi düzeltme faktörü, Tablo 20'den 90° delik eğimi için 1 alınmıştır.

K = Basamak Yüksekliği, 10 m.

U = Alt Delme, 1,00 m

H = 5,00 m

Tablo 20. Farklı delik eğim durumlarında delik boyu hesabında kullanılacak K kriterleri

	Delik Eğimi						
	Dik,	10:1, 84°	5:1, 79°	4:1, 76°	3:1, 72°	2:1, 63°	1:1, 45°
k	1,0	1,005	1,02	1,03	1,05	1,12	1,41

Delme Hatası

$$E = \frac{d}{1000} + 0,03 \times H$$

++ +4

E = 0,226 m **(0,226 m alınmıştır)**

Uygulama Yük Mesafesi

B = B_{max} - E

B = 2,274 - 0,226

B = 2,048 m **(2,50 m alınmıştır)**

Uygulama Delik Aralığı

$$S = 1,25 \times B$$

$$S = 1,25 \times 2,50$$

$$S = 3,125 \text{ m (2,50 m alınmıştır)}$$

Bir Delikten Elde Edilen Teorik Kaya Hacmi

$$V_d = B \times S \times K$$

$$V_d = 2,50 \times 2,50 \times 4$$

$$V_d = 25,00 \text{ m}^3$$

Özgöl Delme

$$b = \frac{H}{B \times S \times K}$$

$$b = \frac{5,00}{25,00}$$

$$b = 0,200 \text{ m/m}^3$$

Dip Şarj Uzunluğu

$$h_b = 0,40 \times B_{\max}$$

$$h_b = 0,40 \times 2,50$$

$$h_b = 1,00 \text{ m (1,00 m alınmıştır)}$$

Dip Şarj Miktarı

$$Q_b = I_b \times h_b$$

$$Q_b = 3,65 \times 1,00$$

$$Q_b = 3,65 \text{ Kg (4,00 Kg alınmıştır)}$$

Sıkılama Uzunluğu

Sıkılama uzunluğu (h_0), yaygın olarak uygulama yük mesafesine (B) eşit alınır.

$$h_0 = B = 2,50 \text{ m}$$

Kolon Şarj Yoğunluğu (I_c)

Yaygın bir uygulama olarak kolonda ve dipte uygulanan patlayıcı cinsi ve dip şarj yoğunluğu aynıdır. Bu nedenle $I_c = I_b = 3,65 \text{ Kg/m}$ alınmıştır.

Kolon Şarj Yüksekliği

$$h_c = H - h_b - h_0$$

$$h_c = 5,00 - 1,00 - 2,50$$

$$h_c = 1,50 \text{ m}$$

Kolon Şarj Miktarı

$$Q_c = I_c \times h_c$$

$$Q_c = 3,65 \times 1,50$$

$$Q_c = 5,48 \text{ Kg (5,00 Kg alınmıştır)}$$

Toplam Şarj Miktarı

$$Q_{top} = Q_b + Q_c$$

$$Q_{top} = 4,00 + 5,00$$

$$Q_{top} = 9,00 \text{ Kg (9,00 Kg alınmıştır)}$$

Özgül Şarj

$$q = \frac{Q_{top}}{B * S * K}$$

$$q = \frac{9,00}{25,00}$$

$$q = 0,360 \text{ Kg/m}^3$$

Hesaplanan $q = 0,360 \text{ Kg/m}^3$ 'lük özgül şarj değeri öngörülen kaya sabiti 0,35'e yakın bir değerdir. Verimli bir patlatma işlemi için andezit-bazalt için $0,30\text{-}0,35 \text{ Kg/m}^3$ aralığında seçilecek özgül şarj değeri makul düzeyde parçalanma sağlar. Bu nedenle hesaplanan $0,360 \text{ Kg/m}^3$ değeri taşıdığı için uygun patlayıcı miktarı olarak kabul edilir.

Çalışılacak bölgenin topoğrafik düzensizlikleri nedeniyle bir atımda ateşlenecek delik sayısı iş planı ve topoğrafik koşullara göre seçilebilir. Başka ifadelerle, uygulama sürecinde bir atımda ateşlenecek delik sayısının arttırılması ya da azaltılması mümkündür. Delikler gecikmeli olarak ateşleneceği için delik sayısının patlatma kaynaklı titreşimlerin etki mesafesi üzerinde etkisi olmayacaktır.

Tablo 21. Taşocağında uygulanan çalışma, delik ve basamak tasarımı parametreleri

Parametreler	Miktar/Değer	Birim
Formasyon	Andezit-Bazalt	
Kayaç Yoğunluğu	2,60	ton/m ³
Sıkılama Malzemesi	Kırmataş	cinsi
Bir Atımda Delinmesi Gereken Delik sayısı		
Delik Sayısı	Değişken	adet/atım
<u>Delik paterni</u>		
Delik Çapı	76	mm
Delik Eğimi	90	°
Basamak Boyu	15,00	m
Kadem Boyu	4,00	
Dip Delgi	1,00	m
Delik Boyu	5,00	m
Sıkılama Boyu	2,50	m
Yük Mesafesi	2,50	m
Delikler Arası Mesafe	2,50	m
Bir delikte yüzey/delik içi gecikme süreleri	25/500	ms
Sıralar Arası Gecikme Süresi	42	ms
Bir Delikten Elde Edilen Teorik Hacim	25,00	m ³
Bir Delikten Elde Edilen Teorik Hacim	225,00	ton
Bir Deliğe Doldurulan Patlayıcı Madde Miktarları		
Ana Şarj (ANFO) Miktarı	9,00	Kg
Yemleyici (Dinamit) Miktarı	1,00	Kg
Elektriksiz Kapsül Miktarı	2	adet
Bir delikte toplam patlayıcı madde miktarı	10,00	Kg

Çalışma kapsamında yapılacak olan patlatma çalışmalarında her bir atım öncesinde 76 mm çapında iki sıra delik delinecek ve her bir deliğe 9,00 Kg ANFO ve 1,00 Kg dinamit şarj edilecektir. Delikler elektriksiz kapsüller kullanılarak gecikmeli olarak ateşlenecektir. 4 metre yüksekliğinde olması planlanan kademelerde açılacak olan 5,00 metrelik deliklerin arasında ve delik sıraları arasındaki mesafeler 2,50 m olacaktır. Uygulanacak patlatma düzeni ile anlık şarj tek bir deliğe şarj edilen patlayıcı miktarına (9,00 Kg ANFO + 1,00 Kg Dinamit) eşittir.

3.6.6. Patlatma Kaynaklı Titreşimler

Çalışma alanına en yakın konumdaki yapı Yomra Deresi içinde yer alan regülatördür. Regülatör çalışma alanı sınırına en çok 30 m uzaklıktadır. Titreşim, hava şoku ve taş savrulması ile ilgili değerlendirmeler bu yapı için gerçekleştirilmiştir.

Çalışma bölgesinde yer alan kaya kütlesi içinde yer yer titreşim etkisini sönmüleyecek lokal çatlak ve zayıflık zonları bulunmaktadır. Ancak tedbirli davranmak amacıyla kaya kütlesinin, titreşim iletim yeteneğinin ideal masif bir kütlenin iletim yeteneğine yakın olduğu varsayılmıştır.

Çalışma bölgesinde her atımda her birine 9,00 Kg ANFO ve 1,00 Kg jelatinit dinamit şarj edilecek olan delikler ateşlenecektir. Delikler, aralarında gecikme verilerek tek tek patlatılacaktır. Bağlı olarak, bu ateşleme düzeni ile yapılacak patlatmalarda anlık şarj toplam 10,00 Kg olacaktır.

Patlatmayla oluşturulan titreşimlerin patlatma noktasından belirli bir uzaklıktaki şiddeti ya da hızı (Pik Parçacık Hızı, PPV) Devine bağıntısı (Devine et al,1966) ile tahmin edilir.

$$PPV = k \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1,6} \quad (8)$$

PPV = Kayaç içinde yayılan titreşim hızı, mm/sn k

= Kayaç türüne bağlı katsayı

D = Patlatma noktası ile çevre yerleşim birimleri arasındaki etkili mesafe, m

W = Bir gecikme aralığındaki patlayıcı miktarı, Kg

Devine Bağıntısındaki $D/\sqrt{W}$ ifadesi ölçekli mesafe olarak tanımlanır ve bilinen bir mesafe için emniyetli anlık şarj miktarını ifade eder.

$$SD = \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right) \quad (9)$$

Çalışma alanına yakın konumdaki yapılar için ölçekli mesafe (SD) bu yapıların her birisinin patlatma noktasına uzaklıkları ve patlatmalarda uygulanacak anlık şarj miktarları kullanılarak hesaplanır. Ölçekli mesafeden yararlanarak da patlatmaların bir yapıya en yakın konumda yapıldığı durumda yapı tabanındaki kaya kütlesinde oluşacak titreşimlerin pik parçacık hızı (PPV) belirlenir.

ÇED alan sınırına en fazla 50 m uzaklıkta yer alan regülatörün bulunduğu bölge için ölçekli mesafe aşağıda hesaplanmıştır.

$$SD = \left(\frac{50}{\sqrt{10,00}} \right)$$

$$SD = 15,811 \text{ , m}$$

Farklı madencilik faaliyetleri için saha çalışmalarından elde edilmiş görgül bağıntılar titreşim hızlarının (PPV) hesaplanmasında ölçekli mesafe ifadesini içerecek şekilde geliştirilmiştir (Tablo 22).

Tablo 22. Farklı faaliyetlerde uygulanan patlatma işlemleri için önerilen titreşim tahmin bağıntıları

Patlatma Türü	Metrik Formül, mm/sn	Güvenirlilik Derecesi	Kaynak
Genel	$P = 1140 \times SD^{-1.6}$	En iyi uyum (%50 güvenirlilik)	Dupont
İnşaat	$P = 173 \times SD^{-1.6}$	Alt sınır eşitliği (%50'den az güvenirlilik)	Oriard
İnşaat	$P = 1730 \times SD^{-1.6}$	Üst sınır eşitliği %95 güvenirlilik)	Oriard (2005)
İnşaat	$P = 4320 \times SD^{-1.6}$	Üst sınır-yüksek hapsetme/patlayıcı fazla gömülmüş (%95 güvenirlilik)	Oriard (2005)
İnşaat	$P = 53 \times SD^{-1.09}$	En iyi uyum (%50 güvenirlilik)	USBM RI 8507
Taşocağı	$P = 1090 \times SD^{-1.82}$	En iyi uyum (%50 güvenirlilik)	USBM RI 656
Kömür Madeni	$P = 905 \times SD^{-1.52}$	En iyi uyum (%50 güvenirlilik)	USBM RI 8507
Kömür Madeni	$P = 3330 \times SD^{-1.52}$	Üst sınır eşitliği (%95 güvenirlilik)	USBM RI 8507
Kömür (Düşük Frekanslı Sahalar)	$P = 1252 \times SD^{-1.31}$	En iyi uyum (%50 güvenirlilik)	USBM RI 9226

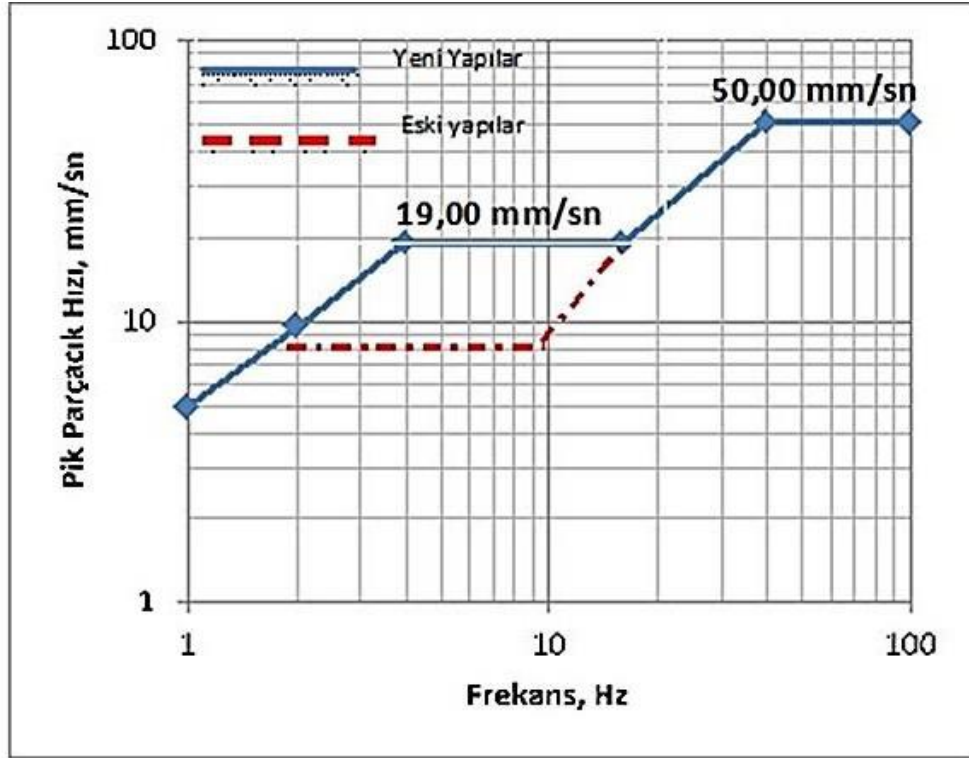
ER: 3123391 erişim nolu andezit ocağı için uygun bağıntı Tablo 20'de taşocağı için verilmiş olan bağıntıdır.

$$PPV = 1090 \cdot SD^{-1,82}$$

$$PPV = 1090 \cdot 15,811^{-1,82}$$

$$PPV = 7,166 \text{ mm/sn}$$

Patlatma hasar sınırlarını tanımlayan iki ölçüt vardır bunlardan birisi Amerikan Madencilik Dairesinin ölçütü (Şekil 52) diğeri ise Alman DIN 4150 normudur (Tablo 23). DIN 4150 normu daha hassas bir değerlendirme için tahmin olanağı sağlar. Amerikan Madencilik Dairesi patlatma hasarı değerlendirme ölçütleri madencilik faaliyetlerinde yaygın olarak kullanılır.



Şekil 50. Amerikan Madencilik Dairesi tarafından önerilen titreşim hızı hasar sınırları grafiği

Tablo 23. Titreşimlerin yapılar üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi için hazırlanmış olan Alman DIN4150-3 (1999) standardı (DIN 4150-3, 1999)

Yapı Türü	Titreşim Eşik Değeri (PPV), mm/sn				
	Kısa Süreli				Uzun
	En Alt Katın Tabanında			En Üst	En Üst
	0-10 Hz	10-50 Hz	50-100 Hz	Tüm	Tüm
Ticari/Endüstri	20	20-40	40-50	40	10
Konutlar	5	5-15	15-20	15	5
Hassas/Tarihi	3	3-8	8-10	8	2,50

Patlatma sonucu oluşacak titreşimlerin etkilerinin değerlendirilmesi için temel alınacak kriterler ülkemizde 04.06.2010 tarihli Resmî Gazetenin 27601 nolu sayısında yayınlanarak yürürlüğe giren Çevresel Gürültünün değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği (ÇGDYY) ile tanımlanmıştır. Yönetmeliğin 25.a maddesi madencilik etkinlikleri esnasında oluşturulacak patlatmaların gerçekleştireceği titreşimler için sınır verileri tanımlar (Tablo 24).

Tablo 24. Maden ve taş ocakları ile benzeri alanlarda patlama sebebiyle doğacak titreşimlerin en yakın çok hassas ve hassas kullanım alanının dışında oluşturacağı zemin titreşimlerinin izin verilen en yüksek verileri

Yapı Tipi	Binaların Temelinde En Yüksek Titreşim Hızı, (mm/s) (frekansa göre, $f=Hz$)			Tüm frekanslar için en üst katın döşemesinde (tabanında) ⁽²⁾
	$f=1-10$	$f=10-50$	$f=50-100^{(1)}$	
1 Endüstriyel binalar	20	40	50	40
2 Evler, tuğla ve beton gibi dayanıklı yapılar	5	15	20	15
3 Titreşime duyarlı olup 1. ve 2. maddenin dışında kalan binalar, tarihi ve doğal yapılar ⁽³⁾	2	8	10	8
⁽¹⁾ 100 devir/sn büyük frekanslar için, büyük titreşim düzeyine izin verilebilir. ⁽²⁾ Birden fazla katlı binalar için, ölçümlerin hem binaların temelinde hem de en üst katın döşemesinde alınması gerekir. ⁽³⁾ Tarihi ve doğal yapılar için belirlenen bu sınır değerler, yerinde yapılacak hassas, kapsamlı titreşim ölçümleri ve bilimsel çalışmalar ile kısıtlanabilir.				

Regülatörün bulunduğu bölge için hesaplanan teorik Pik Parçacık Hızı 7,166 mm/sn'dir. Bu değer Amerikan Madencilik Dairesi Kriterleri (Şekil 44) ile Ulusal yönetmelikte (ÇGDYY) tanımlanan en düşük frekans aralığı için belirlenmiş olan 5 mm/sn eşik değerinin biraz üzerindedir (Tablo 24). Her iki standart gözetilen yapıların konut ya da endüstri yapıları olup olmadığı konusunda ayırım yapmaz. DIN4150-3 standardı ise (Tablo 23) yapıların kullanım türü ve yaş vb. özellikleri ile yapıların maruz kalacakları titreşimin süresini de dikkate alır. Bu bakımdan regülatör ile ilgili değerlendirmenin DIN4150-3 standardı temelinde yapılması uygundur.

DIN4150-3 standardına göre madencilik patlatmaları kısa süreli titreşim kaynaklarıdır. Çalışma alanına 50 m uzaklıkta yer alan regülatör, tasarımında/inşasında yüksek titreşim (deprem gibi) etkilerine maruz kalması olasılığı dikkate alınan bir endüstri yapısıdır. Bağlı olarak DIN4150-3 tablosundan (Ticari/Endüstri Yapıları için Kısa Süreli Titreşimler) değerlendirme yapıldığında regülatörün bulundu uzaklık için hesaplanan 7,166 mm/sn Pik Parçacık Hızı değerinin tanımlanmış her frekans aralığı

için belirlenen eşik değerleri aşmadığı görülür. Bağlı olarak çalışma alanında 10,00 Kg anlık şarj (9,00 Kg ANFO + 1,00 Kg Jelatinit Dinamit) ile gerçekleştirilecek patlatmaların oluşturacağı 7,166 mm/sn Pik Parçacık Hızının regülatör için (50 m) hasar oluşturma potansiyelinin bulunmadığı söylenebilir.

3.6.7. Hava Şoku ve Gürültü

Hava şoku seviyesinin tahmininde değişik madencilik çeşitleri ve patlatma gerçekleştirilen işkolları için oluşturulmuş ve ağırlıklı olarak saha gözlem ve ölçümlerine dayanan tahmin modellerinden faydalanılır. Bu modeller anlık şarj ve dikkate alınan yapı ile patlatma noktası arasındaki mesafe parametrelerini temel alır. Yapı ve patlatma noktası ile anlık şarj değeri arasındaki ilişki ölçekli mesafe olarak tanımlanır ve aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

Çalışma alanında anlık şarj miktarı 10,00 Kg'dır (9,00 Kg ANFO + 1,00 Kg Dinamit). Proje alanına en yakın yapı 50 m mesafedeki regülatördür. Çalışma alanında gerçekleştirilecek patlatmaların regülatörün bulunduğu bölgede neden olacağı hava şoku ve gürültü seviyesine ilişkin hesaplamalar aşağıda verilmiştir.

$$SD = \frac{D}{\sqrt[3]{W}} = \frac{50}{\sqrt[3]{10,00}}$$

$$SD = 23,207 \text{ m}$$

Hava şoku değerini hesaplamak için kullanılacak bağıntı Tablo 25'ten taşocakları için geliştirilmiş olan bağıntı seçilir.

$$P = 37,1 * SD^{-0,97} \quad (\text{USBM RI 8485})$$

$$P = 37,1 * 23,207^{-0,97}$$

$$P = 1,757 \text{ mbar}$$

Tablo 25. Farklı madencilik çeşitleri ve patlatma yapılan işkollarında geçerli hava şoku tahmin formülleri

Patlatma Türü	Metrik Formül, Mbar	Güvenirlilik	Kaynak
Açıkta Patlama (Hapsedilmemiş)	$P = 3589 \times SD^{-1,38}$	En iyi uyum	Perkins
Kömür Madeni (Arakesme Patl.)	$P = 2596 \times SD^{-1,62}$	En iyi uyum	USBM RI 8485
Kömür Madeni (Şev öteleme Patl.)	$P = 5.37 \times SD^{-0,79}$	En iyi uyum	USBM RI 8485
Taşocağı basamak <u>patlatması</u>	$P = 37.1 \times SD^{-0,97}$	En iyi uyum	USBM RI 8485
Metal Madeni	$P = 14.3 \times SD^{-0,71}$	En iyi uyum	USBM RI 8485
İnşaat (ortalama)	$P = 24.8 \times SD^{-1,1}$	En iyi uyum	Oriard (2005)
İnşaat (iyi hapsedilmiş)	$P = 2.48 \times SD^{-1,1}$	En iyi uyum	Oriard (2005)
Gömülü (Tam hapsedme)	$P = 1.73 \times SD^{-0,96}$	En iyi uyum	USBM RI 8485

Milibar cinsinden hesaplanmış hava şoku değerini desibele çevirmek

için; $SPL_{dB} = 20 \times \log P_{mb} + 134,1$ (Siskind, 2000)

$SPL_{dB} = 20 \times \log (1,757) + 134,1$

$SPL_{dB} = 138,991 \text{ dB}$

Patlatma gürültüsünün ağırlıklı olarak düşük frekanslı bir gürültü olması ve kısa süreli bir (beş dakikadan kısa) etki olması nedeniyle yönetmelikte açıklanan 12 saatlik toplam gündüz süresi içinde 20%'den daha az süre tutacağı göz önüne alındığında gürültü değerlendirmesinde L cetvelinin ve ABD Tüzüğünde verilen sınır değerlerinin (Tablo 26) esas alınması bilimsel ve teknik esaslara ve yönetmeliğe uygundur.

Tablo 26. ABD federal tüzüğünde cihazın düşük frekansları ölçme yeteneğine bağlı kalınarak izin verilen en yüksek gürültü düzeyleri

Ölçüm Sisteminin Düşük Frekans Limiti, Hz	Azami Gürültü Seviyesi, dB
2 Hz veya daha düşük	133 (En Yüksek)
2-6 Hz	129 (En Yüksek)

Hesaplanan 138,991 dB hava şoku değeri izin verilen en yüksek azami gürültü seviyesi olan 133 dB'den yüksektir. Çalışma alanına 50 m uzaklıktaki regülatörün patlatma kaynaklı hava şokundan olumsuz etkileneceği söylenebilir. Ancak regülatörün bir endüstri yapısı olması ve patlatma işleminin spot (kısa süreli) bir şok kaynağı olmasından dolayı deneme patlatmaları yapılarak alınacak hava şoku ölçümleri sonrasında patlatma/delik paterninin optimize edilmesi düşünülmelidir.

3.6.8. Taş Savrulması

Patlatma sırasında sıkılama boyunun yanlış seçilmiş olması, sıkılama kalitesinin kötü olması ve yük mesafesinin uygun seçilmemiş olması gibi faktörlere bağlı olarak ana kayadan koparılan malzemenin bir kısmı havada uçarak yakın bölgede dağılır. Taş savrulması için en önemli sebep delik sıkılama kalitesinin kötü olmasıdır. Taşın savrulma mesafesi ağırlıklı olarak savrulan taşın boyutu tarafından kontrol edilir. Taş savrulması ile ilgili hesaplamalar için saha çalışmalarının sonuçlarına göre tahmin modelleri oluşturulmuştur. Bunlardan birisi Ölçekli Gömme Derinliği (SDOB) modelidir. Model sıkılama, delik çapı ve patlayıcı miktarı gibi taş savrulmasında etkin faktörleri dikkate alması nedeniyle geliştirilmiş olan diğer yaklaşımlara oranla daha tutarlı sonuçlar üreten bir modeldir.

Ölçekli Gömme Derinliği (SDOBm) modeli ile taş savrulması mesafesi hesaplamasında aşağıdaki bağıntı kullanılır.

$$SDOB_m = \frac{l_s + 0.0005 \times m \times d}{0.00923 \times (m \times d^3 \times \rho_e)^{0.333}} \quad (10)$$

Bağıntıda;

$SDOB_m$ = Ölçekli gömme derinliği, m/Kg,

l_s = Sıkılama uzunluğu, m

d = Delik çapı, mm

m = Patlayıcı şarj uzunluğu

$m = 1000 \times l_c / d$

l_c = Patlayıcı şarj uzunluğu, m

d = Delik çapı, mm

$m = 8$ (delik çapı < 100 mm)

$m = 10$ (delik çapı $\geq$ 100 mm)

ρ_e = patlayıcı yoğunluğu, g/cm³

Ölçekli Gömme Mesafesi modeli kullanılarak taş savrulma mesafesi,

$$L_{max} = 10,929(SDOB)^{-2,167} * d^{0,667}$$

Delik çapı 100 mm'den küçük olduğu için $m = 8$ 'dir.

$\rho_{ANFO} = 0,80$ gr/cm³

Ölçekli gömme derinliği ($SDOB_m$);

$$SDOB_m = \frac{2,50+0,0005*8*76}{0,00923*(0,80*8*76^3)^{0,333}} = 2,120 \text{ m/Kg}$$

Hesaplanan SDOB değeri L_{max} bağıntısında yazılarak SDOB değeri azami taş savrulması mesafesi belirlenir.

$$L_{max} = 11 \times (2,120)^{-2,167} \times 76^{0,667} \approx 38,776 \text{ m}$$

$L_{max} = 38,776$ m değeri için patlatma sırasında taşların patlatma noktasından en çok 38,776 m uzaklığa savrulacakları sonucuna ulaşılır. Elde edilen sonuca göre çalışma sahasına en yakın yapı olan regülatör hesaplanan teorik taş savrulması mesafesinden (L_{max}) daha yakın mesafede bulunduğu regülatöre 39 m mesafeden yakın kesimlerde standart patlatma tekniklerinin uygulanmaması önerilmektedir.

Patlatma yapılacak çalışma bölgesi ile regülatörün bulunduğu bölgenin topoğrafik yapısı dikkate alındığında patlatma deliklerinin yerleşimi ve deliklerin sıkılanması konularındaki olası uygulama hataları taş savrulması konusunda yüksek özenin gösterilmesini zorunlu kılmaktadır. Özellikle şevin karayoluna bakan yüzeyi ve kademe üstlerinde (özellikle karayoluna yakın delikler) ateşleme sırasında lastik örtüler kullanılması taş savrulmasına karşı bir önlem olarak değerlendirilebilir.

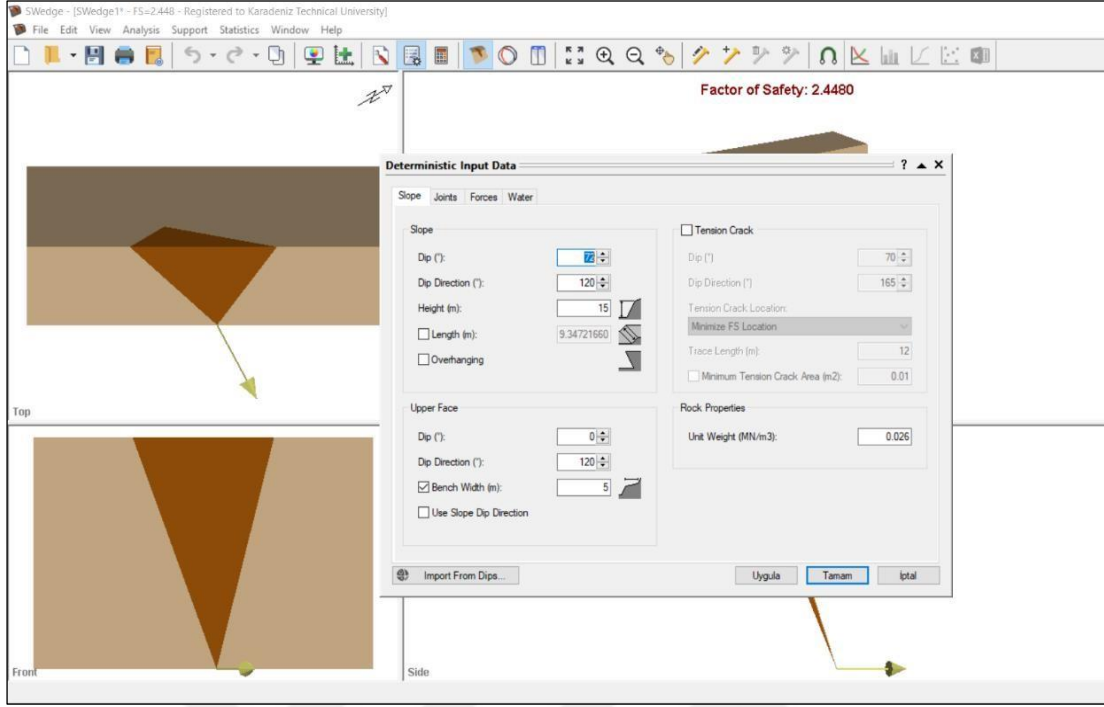
3.6.9. Önerilen Kazı Geometrisi İçin Şev Stabilite Analizleri

Kinematik analizler ön değerlendirme aşamasında tercih edilen analizler olup süreksizlik kontrollü kaya kütleleri için uygundur. Bu nedenle elde edilen sonuçlar limit denge veya nümerik analizlerle doğrulanmalıdır. Bu nedenle çalışma kapsamında kinematik analizlere ek olarak limit denge analizleri uygulanmıştır.

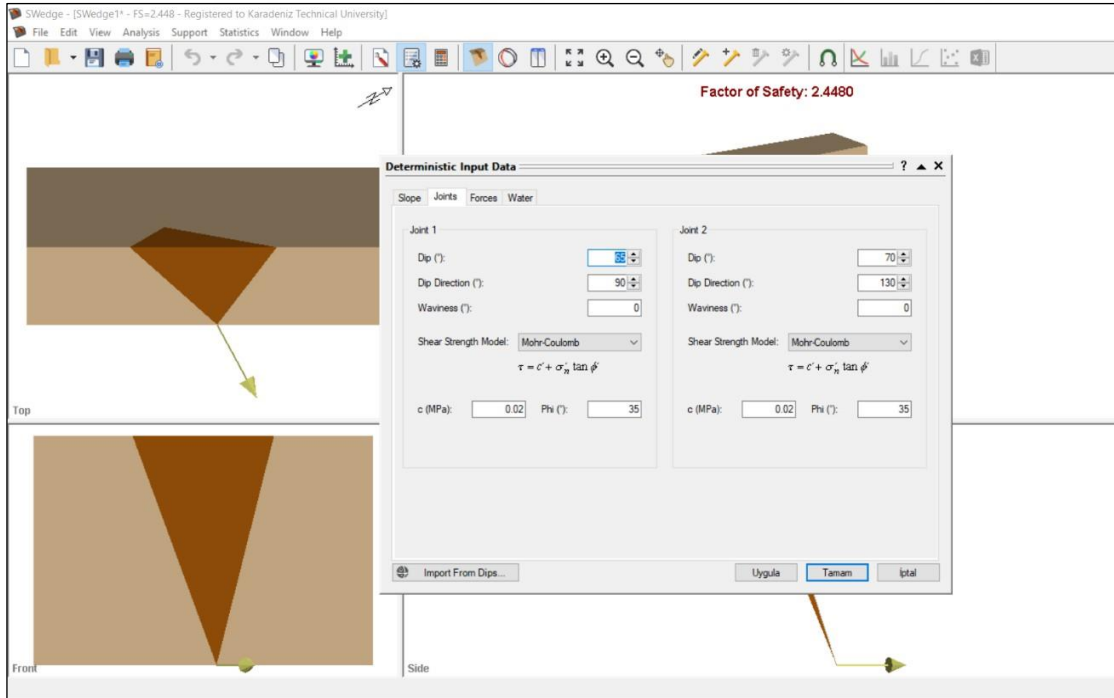
Limit denge analizleri kayan kütlelerin dilimlere bölünüp ayrılarak en başta her dilimin ayrı ayrı, sonrasında bütün dilimler göz önünde bulundurularak dengesinin gerçekleşmesi esastır. Hesaplamalardan çıkarılan netice (güvenlik katsayısı, F), yalnızca irdelenen yenilme yüzeyi için geçerli olmakla beraber, en küçük F verisini veren kritik kayma yüzeyi bulunana kadar süreçte hesaplamalar yapılmaya devam edilir.

Bu çalışma boyutunda ortamın nitelikleri de göz önüne alınarak (4 süreksizlik seti ve zayıf zonların yönelimi), ayrılmış kaya kütlelerinde düzlemsel ve kama tipi kayma gelişip oluşabileceği şartıyla yamaç stabilite analizleri gerçekleştirilmiş ve belirlenen güvenlik sayısı verileri yorumlanmıştır. Limit denge analizleri onaylanmış projede belirtildiği şekilde basamak genişliği 5 metre yüksekliği 15 metre olan 1/3 eğimli şevler dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.

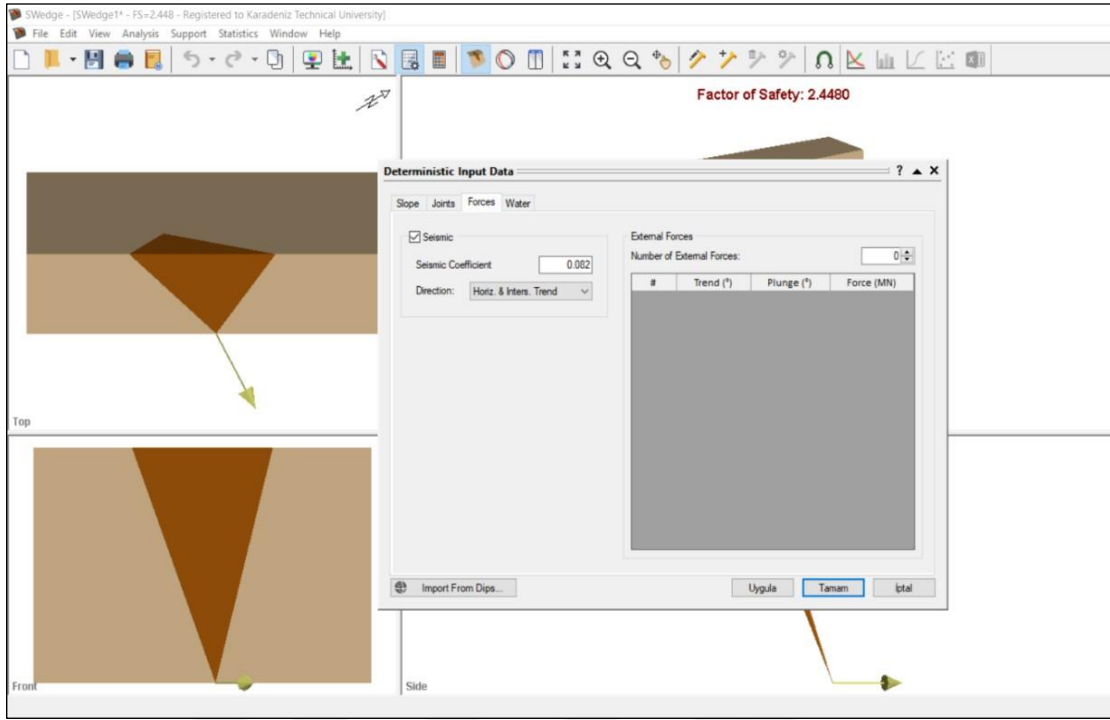
Şekil 56’te planlanan şevlerin geometrisinin, Şekil 57’te kinematik analizler sonucunda kama tipi kayma riski görülen 90/65 ve 130/70 duruşlu süreksizliklerin özelliklerinin, Şekil 58’te ise deprem yükü etkisinin Swedge programında girdi parametresi olarak tanımlanması aşamaları verilmiştir.



Şekil 51. Tasarlanan 120/72 duruşlu (eğim 1/3) 10 metre yüksekliğe sahip şevlerin (basamak genişliği 5 m) Swedge programına girilmesi

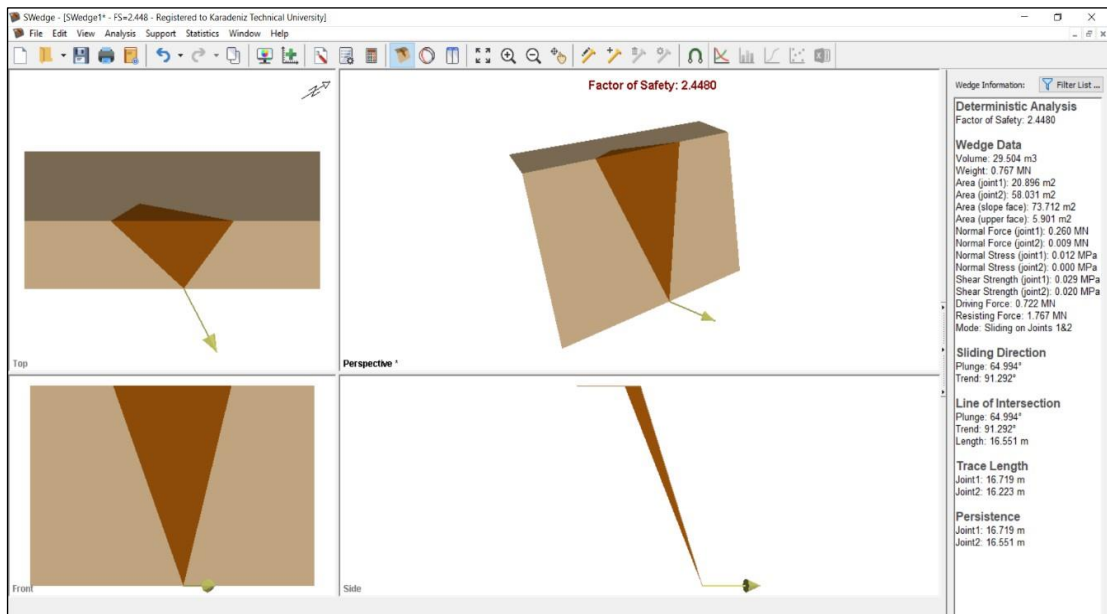


Şekil 52. Kinematik analizler sonucunda kama tipi kayma riski görülen 90/65 ve 130/70 duruşlu süreksizliklerin özelliklerinin Swedge programına girilmesi



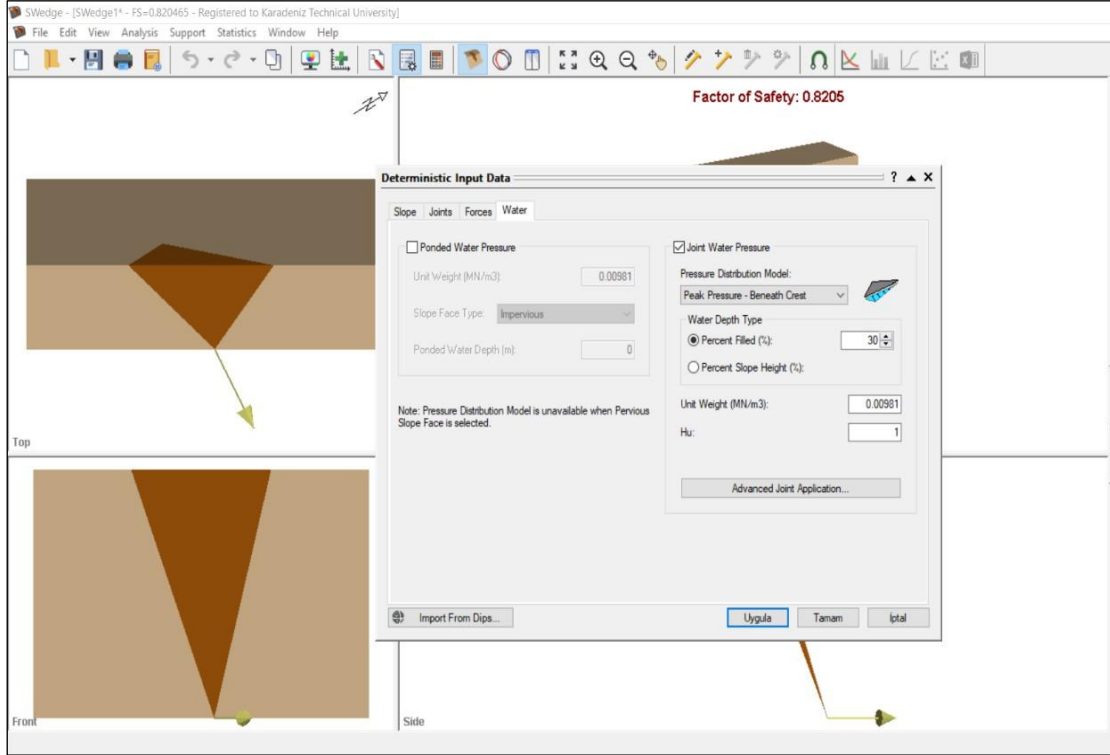
Şekil 53. Deprem yükünün Swedge programına girilmesi

Depremlili durum dikkate alınarak yapılan limit denge analizlerinde güvenlik sayısı değeri 2.45 olarak hesaplanmıştır (Şekil 54). 2018 TBDY'ye göre özel riskler içeren hususlar hariç $\gamma_{RK} \geq 1.10$ toptan kaymaya karşı yeterli ve uygun güvenlik düzeyi olarak kabul edildiği için mevcut tasarımın güvenli olduğu anlaşılmaktadır.



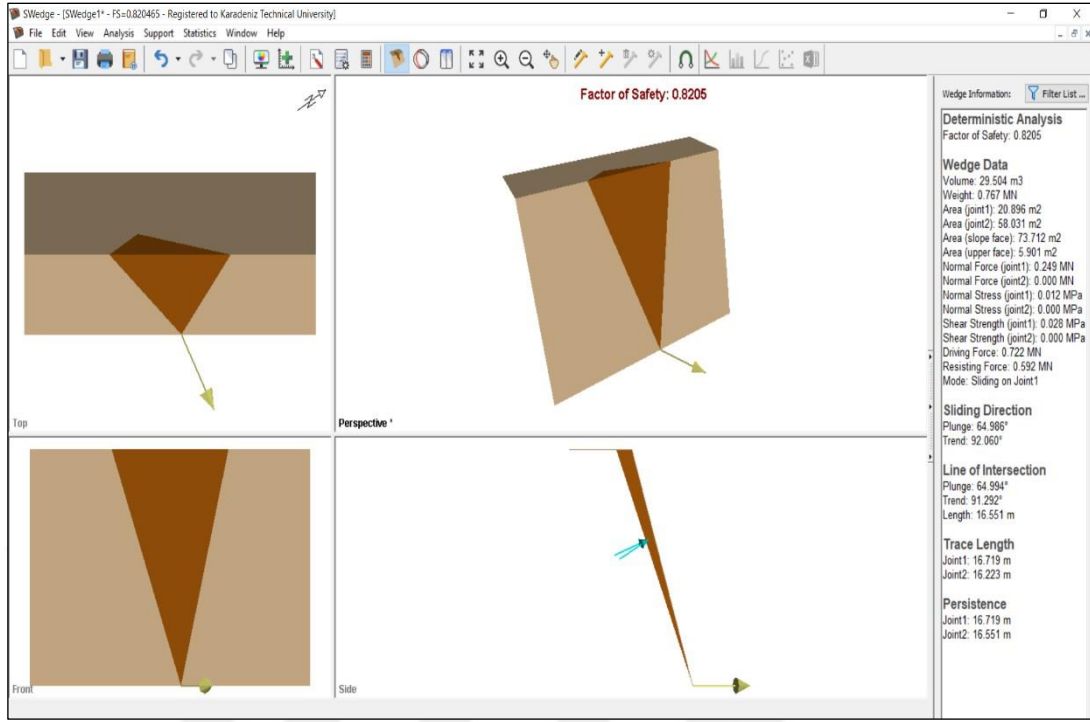
Şekil 54. Çalışma kapsamında onaylanan şev tasarımı (10 m yükseklik, 1/3 eğim ve 5 m basamak genişliği) için dinamik koşulda yapılan kama tipi kayma analiz sonucu

Ancak 09.10.2022 tarihinde meydana gelen kaya düşme vakasının aşırı yağışlar sonrasında geliştiği ve bölgenin aşırı ve şiddetli yağışla karakteristik iklim özellikleri dikkate alınarak analizlerin 2. aşamasında çatlak suyu basıncı etkisi dikkate alınmış, çatlakların sadece %30'luk kesiminin su basıncı etkisinde kalacağı durumu modellenmiştir (Şekil 55).



Şekil 55. Çatlakların sadece %30'luk kesiminin su basıncı etkisinde kalması durumunun SWedge programına tanımlanması

Çatlak suyu basınçlarının etkisi dikkate alınarak yapılan analizlerde ise güvenlik sayısı değeri 0.83 olarak hesaplanmıştır (Şekil 61). 2018 TBDY'ye göre özel riskler içeren hususlar hariç $\gamma_{RK} \geq 1.10$ toptan kaymaya karşı yeterli ve uygun güvenlik düzeyi olarak kabul edildiği için mevcut tasarımın aşırı yağışlar sonrasında güvenli olmadığı anlaşılmaktadır. Bu nedenle kazı şevi tasarımı yapılırken şev geometrilerinin destek elemanları (kaya blonu vb.) kullanılarak tasarlanması gerekmektedir.



Şekil 56. Çatlak suyu basıncı dikkate alınarak yapılan kama tipi kayma analizi

4. TARTIŞMA

Karayolu kazılarında, inşaat altyapı kazılarında, taş ocakçılığı, madencilik, tünel, kuyu, boru hattı, baraj gibi çeşitli alanlarda patlatmalar kaçınılmazdır. Haliyle yer sarsıntısı, hava şokundan kaynaklanan çevre problemleri, kaya düşmeleri veya kaya düşme tehlikeleri sıkça karşımıza çıkmakta ve tartışılmaktadır. Bu sebeple sağlıklı bir patlatmadan beklenen en önemli faktörlerden biri çevresel anlamda yaşanan olumsuz etkileri en aza indirmektir.

Çalışma alanında karayolu, batı kesimde eğimi 70°den fazla olan ve bitki örtüsüyle kaplı yamaç ve şevlerle sınırlıdır. Karayolunun doğu kesiminde ise 20-25 m kadar düşük kotlarda Yomra Deresi bulunmaktadır. Dere ile karayolu arasındaki şevin eğimi 50-60° arasında farklılık göstermektedir. Hem yolun doğusunda gerçekleşen kaya düşme vakaları hem de Yomra Deresi'nin karayolu şevi topuğun oyması nedeniyle yol genişliği bazı bölgelerde 6-7 m arasına düşmektedir. Bu alanda karayolunun dayanma yapısı ve dolgu uygulamasıyla genişletilmesi, dere kotunda bulunan su yapısının konumundan dolayı mümkün görülmemektedir.

Karayolunun batı kesiminde bulunan ve eğimi 80°ye kadar ulaşan yamaçlarda süreksizliklerle bölünmüş kaya kütlesi üzerinde düşme riski bulunan bloklar mevcuttur. Bu bloklar genellikle KM: 09+800 – 09+900 arasında görülmektedir. Karayolunun devamında özellikle 09+900 – 10+100 arasında yüzeylenen kaya kütlelerinde ise süreksizlikler boyunca düzlemsel kayma ve kaya tipi kayma riski bulunmaktadır. Özellikle bu alanda üst kotlarda patlatmalı üretim yapan bir taş ocağının faaliyette olması, yol şevinde yüzeylenen kaya kütlelerinin sürekli olarak örselenmesine sebep olmaktadır. Bununla beraber Yomra-Özdil Karayolu'nun doğu kesiminde 20-25 m düşük kotlarda, Yomra Deresi üzerinde bir regülatör bulunmaktadır. Regülatör tesislerinin karayoluna yatay uzaklığı 20 m, karayolu şevine yatay uzaklığı ise yaklaşık 28 metredir. Bu nedenle su alma yapısının da kaya düşme olaylarından olumsuz etkilenme riski mevcuttur. Tüm bu değerler dikkate alınarak Yomra-Özdil -Yağmurdere (DOKAP) İl Yolu Çalışması kapsamında KM: 09+700 – 10+200 arasında bulunan kaya kütlelerinde yapılacak patlatmalı kazılara ve güvenli şev tasarımına yönelik çalışmalar yapılmıştır.

Yapılan gözlem, arazi çalışması, sayısal analiz ve uygulama sonuçlarının bir bütün halinde değerlendirilmesi sonucunda çalışma kapsamında;

Mevcut kazı şevlerinde herhangi bir şev duraylılık probleminin olup olmayacağı kinematik ve limit denge analizleriyle belirlenmiştir. Patlatma kaynaklı çevresel etkilerin değerlendirilmesi ve uygun patlatma tasarımının planlanması amacıyla hassas yapıların konumları ve kaya kütle karakterizasyonuna yönelik analizler dikkate alınarak kazı hattı farklı bölgelere ayrılmıştır. Her bir farklı bölge için patlatma kaynaklı kaya düşmesi, kayma ve benzer jeolojik risklerin minimuma indirgenmesi amacıyla farklı kazı yöntemleri değerlendirilmiştir. Farklı kazı yöntemleri dikkate alınarak tasarlanan kazı şevleri için kinematik ve limit denge analizleri yapılmıştır. Güvenli şev tasarımına yönelik şev açısı-şev yüksekliği ilişkisi belirlenmiştir. Kütle hareketi riskini minimuma indireyecek kazı destek tasarımı analizler sonucunda modellenmiştir. 26 Aralık 2022 ve 25 Mayıs 2023 tarihlerinde yapılan deneme patlatmaları ve patlatma sonucunda elde edilen veriler ve titreşim etkileri değerlendirilmiştir. Yapılan tüm ölçüm ve deneyler, analizler ve deneme patlatmalarından elde edilen sonuçlar bütünüyle değerlendirilerek patlatma kaynaklı çevresel etkilerin minimuma indirgenmesi, uygun patlatma yönteminin, uygun patlatma tasarımının belirlenmesi ve kazı faaliyetlerinin güvenli bir şekilde yürütülmesi amacıyla en uygun yöntem planlanmıştır.

Çalışmalar neticesinde ortaya çıkan bulgular aşağıda maddeler şeklinde şu şekildedir;

1) Uygulama kapsamında elde edilen sonuçlara göre gerçekleştirilen ölçümler sonucunda çalışma alanında 100/70 duruşlu şevlerin gerçekleştirileceği göz önünde bulundurulmuştur ve planlanan kaya şevinde yenilme riski olup olmadığı kinematik olarak yorumlanmıştır. Yapılan analizlerde çalışma sahasında düzlemsel kayma, kama tipi kayma riski olduğu belirlenmiştir.

2) Çalışma alanında bulunan kaya kütleleri Saroglou vd. (2012) tarafından önerilen sınıflama sistemine göre değerlendirilmiştir ve çalışma konusundaki kaya yamacın “yüksek riskli yamaç (Risk Sınıfı IV)” sınıfına girdiği belirlenmiştir. Bu durum incelenen kaya yamacın stabilitesinin sağlanması için hafif tedbirlerin [Aktif (bulonlar, ankrajlar gibi) ve pasif (ağlar, çelik halatlar, payandalı duvarlar, çitler, duraysız kayaların alınması) tedbirlerin birleşimi] kullanılması gerektiğini göstermektedir. Özellikle bu alanda üst kotlarda patlatmalı üretim yapan bir taş ocağının faaliyette olması, yol şevinde yüzeyleyen kaya kütlelerinin sürekli olarak örselenmesine neden olmaktadır.

3) Çalışma sahasında Yomra-Özdil Karayolu’nun doğu kesiminde 20-25 m düşük kotlarda, Yomra Deresi üzerinde bir regülatör bulunmaktadır. Regülatör tesislerinin karayoluna yatay uzaklığı 20 m, karayolu şevine yatay uzaklığı ise yaklaşık 28 metredir. Bu nedenle su alma yapısının da kaya düşme olaylarından olumsuz etkilenme riski mevcuttur. Tüm bunlar dikkate alınarak bu çalışma kapsamında, Yomra-Özdil-Yağmurdere (DOKAP) İl Yolu Çalışması kapsamında km: 09+700 – 10+200 arasında bulunan kaya kütlelerinde yapılacak patlatmalı kazılara ve güvenli şev tasarımına yönelik çalışmalar yapılmıştır. Çalışmada, sahanın üç boyutlu sayısal yüzey modeli çalışma alanında dron uçuşları ile oluşturulan nokta bulutları yardımıyla oluşturulmuştur. Üç boyutlu kaya düşme analizleri RocPro3D (RocPro3D, 2014) yazılımıyla gerçekleştirilmiştir. 3-boyutlu kaya düşme analizlerinde 100 kg, 500 kg ve 1000 kg kütleyle sahip bloklar kaynak kayanın en yüksek noktasından (karayolu şev tepesi) bir hat boyunca düşürülmüş, toplam 300 blok hareketi simüle edilmiştir.

4) Yomra-Özdil-Yağmurdere (DOKAP) İl Yolu Çalışması kapsamında KM: 09+700 – 10+200 arasında bulunan kaya kütlelerinde için yapılan kaya düşme analizlerinde regülatörün mansap ve memba kesiminde regülatöre ulaşarak çarpacak bloklar içinde en uzak seyahat mesafesine sahip olan noktalar belirlenmiştir (KM: 09+930-10+020).

5) Topografik yapı, karayolu şevinin konumu ve yüksekliği, kırıklı kaya kütlelerinin kırıklı yapı sunması, kaya şevinde birçok noktada serbest ve düşme riski olan blokların varlığı gibi nedenler dikkate alınığında bu noktalardan yaklaşık 30 metre uzaklıkta bulunan noktalar arasında kalan 150 metrelik karayolu hattının (KM: 09+900-

10+050) kaya düşmesi açısından çok yüksek risk taşıdığı anlaşılmaktadır. Bu nedenle bu hat boyunca kaya kırıcı kartuşların kullanılması gerekmektedir (Tablo 27).

Tablo 27. Sayısal analizler sonucunda farklı bölgelerde uygulanması gerekli patlatma şekilleri

Lokasyon	Kazı şekli (Zorunlu durum)
KM: 09+900 – 10+050 arası	Kaya kırıcı kartuş
KM: 09+900 kuzeyi KM: 10+050 güneyi	Standart patlatma (ANFO)

6) Karayolu kazı çalışması yapılacak alanın çevresinde bulunan taşocaklarında yapılan patlatmalı üretim faaliyetlerinin çalışma sırasında ve sonrasında kaya kalitesini bozması söz konusudur. Bu nedenle karayolu şev düzenleme kazı çalışmasında meydana gelecek örselenmeyi azaltmak ve oluşturulacak nihai kazı şevlerinde proje sonrası meydana gelebilecek kütle hareketi risklerini minimuma indirmek amacıyla KM: 09+700 – 10+200 arasında kalan hatta da aynı uygulamanın yapılması (kaya kırıcı kartuş) önerilmektedir (Tablo 28).

Tablo 28. Sayısal analizler ve arazi çalışmaları sırasında yapılan gözlemler sonucunda farklı bölgelerde uygulanması önerilen patlatma şekilleri

Lokasyon	Önerilen kazı şekli (Önerilen durum)
KM: 09+700 – 10+200 arası	Kaya kırıcı kartuş
KM: 09+700 kuzeyi KM: 10+200 güneyi	Standart patlatma (ANFO)

7) Çalışma kapsamında Tablo 27 ve 28’de verilen hatlar için kaya kırıcı kartuş kullanarak deneme patlatması yapılması ve en yakın hassas yapıda titreşim ölçümlerinin yapılması önerilmiştir. İlk deneme patlatması 26 Aralık 2022 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında uygulanan deneme patlatması sırasında delikler arası ve sıralar arası uzaklık 2.5 metre, deliklerin şev tepesine en yakın mesafesi 2.0 m olarak planlanmıştır. Uzunluğu 15 m, genişliği 5.0 m olan patlatma alanında dik olarak 3.5 m derinliğinde toplam 35 patlatma deliği açılmıştır. Çapları 89 mm olacak deliklerde 83 mm çaplı kaya kırıcı kartuş kullanılmıştır. Kartuş net ağırlığı 1,7 kg olduğu için deneme patlatması sırasında kullanılan toplam patlayıcı miktarı 59.5 kg olmuştur. Patlatma sırasında ve sonrasında kaya düşmesi veya düzlemsel/kama tipi kayma şeklinde kütle hareketlerine rastlanmamıştır. Yerinde yapılan incelemelerde patlatma alanı dışındaki kaya kütlelerindeki süreksizliklere ait açıklıkların değişmediği görülmüştür. Bu sonuçlar yapılan uygulamanın güvenli olduğu net olarak göstermektedir.

8) 26 Aralık 2022 tarihinde yapılan ilk deneme patlatmasının güvenli olduğu ve yol şevinde heyelan riski oluşturmadığı dikkate alınarak çalışmanın ikinci aşamasında patlayıcı miktarının artırılmasına karar verilerek yeni önerilen patlayıcı paterninin risk oluşturup oluşturmayacağı araştırılmış, bu aşamada ayrıca titreşim ölçümleri alınmıştır. Çalışma kapsamında 25 Mayıs 2023 tarihinde uygulanan ikinci deneme patlatması sırasında delikler arası ve sıralar arası uzaklık 2.5 metre, deliklerin şev tepesine en yakın mesafesi 2.0 m olarak planlanmıştır. Uzunluğu 35 m, genişliği 10 m olan patlatma alanında dik olarak 5.5 m derinliğinde toplam 75 patlatma deliği açılmıştır. Çapları 89 mm olacak deliklerde 83 mm çaplı 2 adet kaya kırıcı kartuş kullanılmıştır (150 adet). Kartuş net ağırlığı 1,7 kg olduğu için deneme patlatması sırasında kullanılan toplam patlayıcı miktarı 255 kg olmuştur. Patlatma bitişik alanda tekrarlanmış ve toplamda 300 kartuş kullanılmıştır.

9) Patlatma sonrasında çevrede bulunan kaya kütlelerinde bir yenilme meydana gelmemiştir. Ancak patlatma sonrasında birkaç m çapındaki blokların karayoluna düştüğü görülmüştür. Askıda kalan blokların yol şevinden temizlenmesi ve yolun trafiğe açılması ise yaklaşık 4 saat sürmüştür. Kaya düşme vakaları daha az oranda patlatma

etkisiyle, daha çok oranda delik ilk sırasının şeve çok yakın (2 m) ve delik derinliğinin 5.5 m olmasından ve bu nedenle istenilen sandık yarmanın oluşturulamamasından kaynaklanmıştır. Büyük bloklar karayoluna düşmesine rağmen, hiçbir blok yolu aşarak regülatöre kadar ilerlememiştir. Bu sonuç patlatmanın şiddetinden daha çok 90 dereceye yakın şevin konumundan ve çatlaklı kırıklı kaya yapısının ürünüdür.

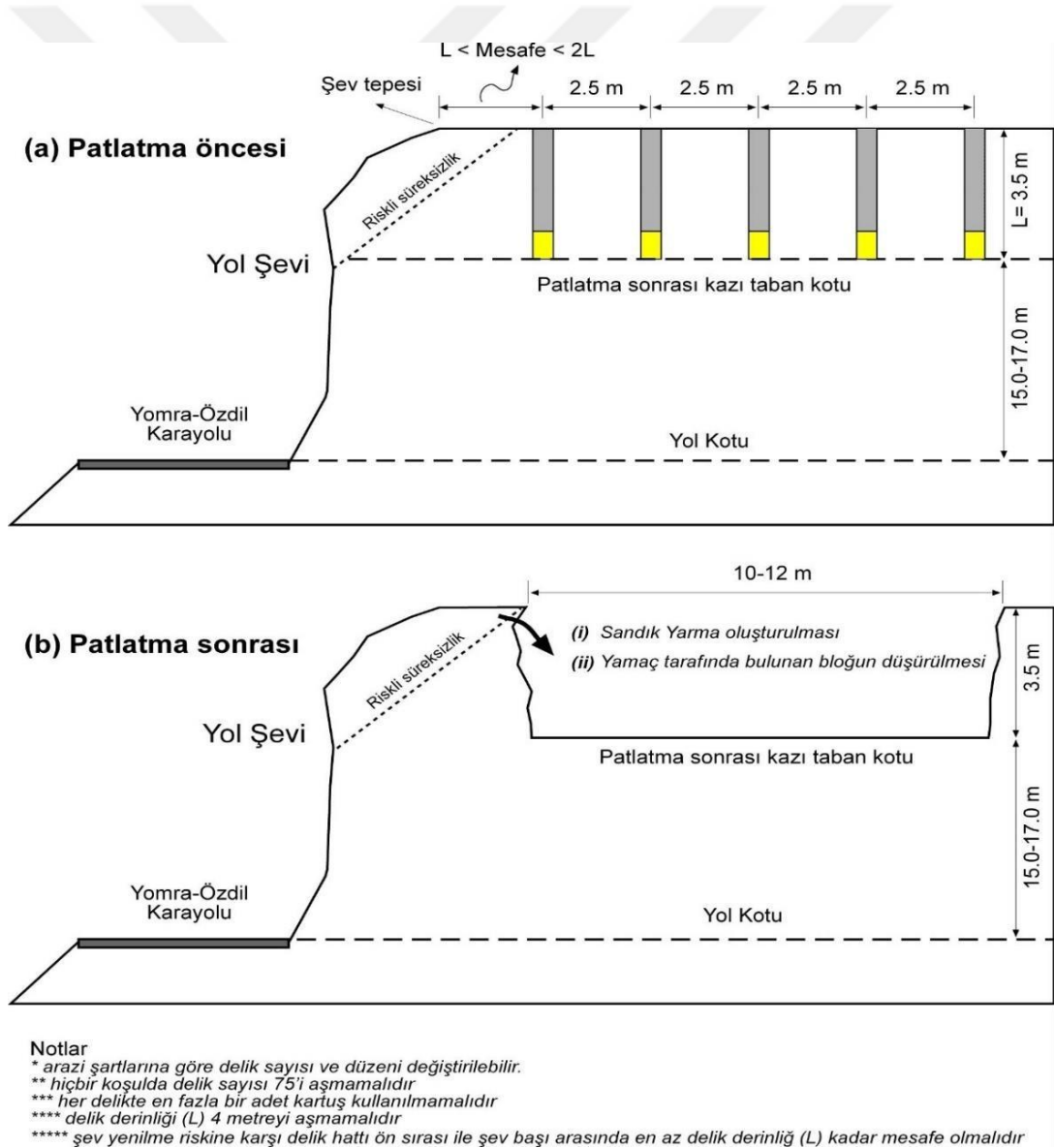
10) Elde edilen bu sonuçlar değerlendirildiğinde, kaya kırıcı kartuş ile yapılacak patlatmaların bile düşüğe olsa kaya düşme riskine neden olabileceği anlaşılmaktadır. Ayrıca kuzeye doğru tam olarak regülatörün karşısında olan daha yüksek şevlerin varlığı, bu şevlerde bulunan süreksizliklerin yamaç dışına eğimli olması gibi faktörler dikkate alındığında yukarıda uzunluğu verilen bu hat boyunca kaya kırıcı kartuştan başka hiçbir patlatma yönteminin uygun olmayacağını net olarak anlaşılmaktadır.

11) Çalışmada ikinci deneme patlatmasında titreşim ölçümleri alınmıştır. Ölçüm noktasında titreşimlerin büyüklüğü en çok 3,597 mm/sn olmuştur. Bu titreşimin frekansı 25 Hz'dir. Ölçüm noktasında frekansları 16,00-31,50 Hz arasında değişen ve hızları 1,00-3.597 mm/sn aralığında başka titreşimler de ölçülmüştür. Ölçülen titreşimlerin tamamı ölçüm noktası için hasar oluşturacak büyüklüğe ulaşmamıştır.

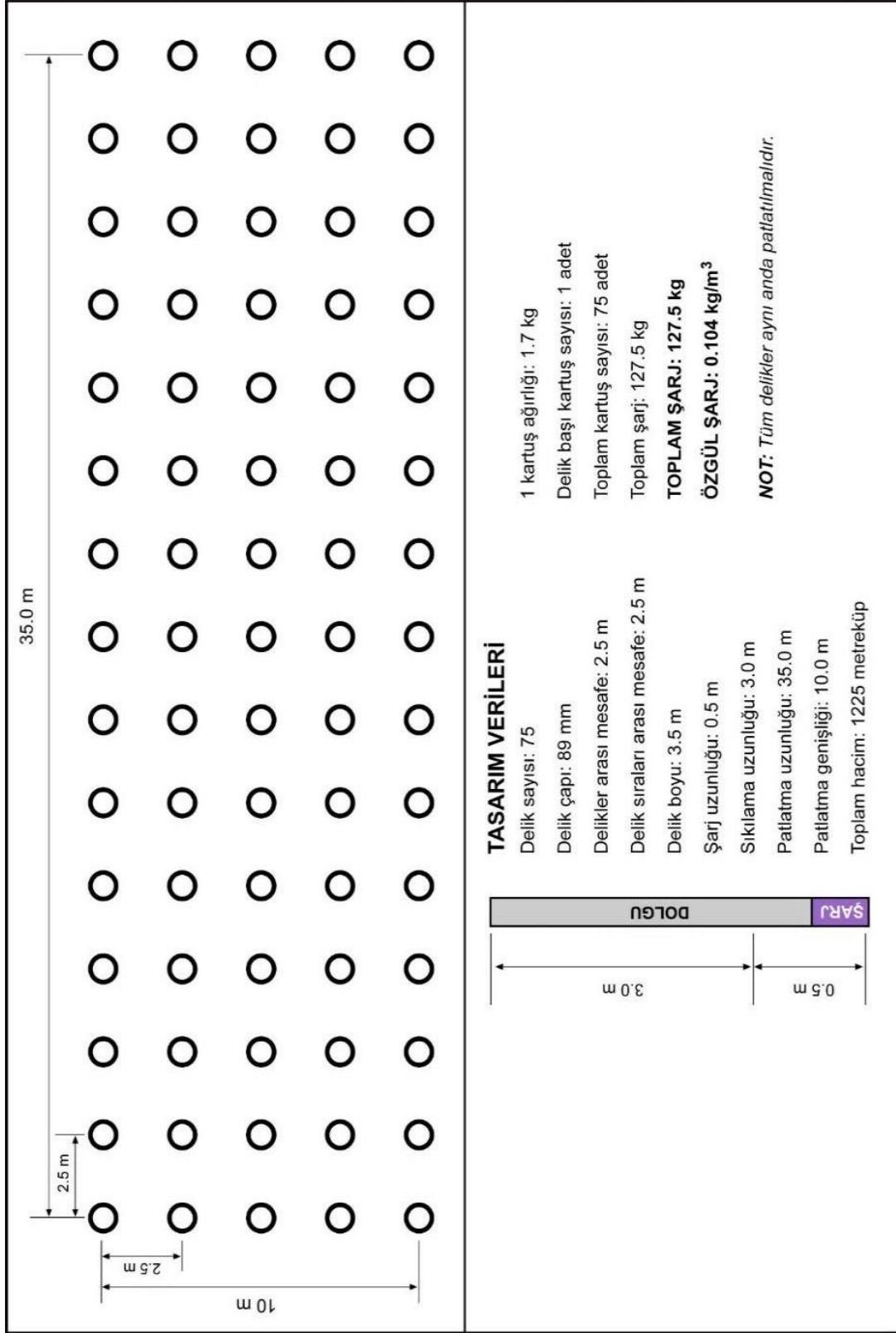
12) Kaya kırıcı kartuşla yapılan 2 deneme patlatması sonrası elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve Tablo 25 ve 26'da önerilen hatlar için Şekil 61 ve Şekil 62'de önerilen kazı şekli ve patlatma paterninin kullanılması önerilmektedir.

13) Kaya kırıcı kartuş kullanılan alanların dışında kalan hatta şev düzenlemesi amacıyla gerçekleştirilecek basamaklama çalışmalarında delme-patlatma uygulaması ile basamak patlatması yapılacaktır. Basamaklarda patlamalar kademli olarak gerçekleştirilecektir. Kademe yükseklikleri 4,00 m olacaktır. Delikler 5,00 m derinlik ve 90° eğimli olarak delinecektir. Deliklere 9,00 Kg ANFO ve 1,00 Kg jelatinit dinamit şarj edilecektir. Bir defada ateşlenecek delik sayısı iş planı ve çalışılan bölgenin topoğrafik koşullarına bağlı olarak seçilecektir. Patlatma işleminde anlık şarj bir deliğin patlayıcı yükü olan 10,00 Kg (9,00 Kg ANFO + 1,00 Kg Dinamit) olacaktır. Kademelerde aynanın karayoluna dik olacak şekilde oluşturulması uygun bir yaklaşım olacaktır. Bu uygulama ile ayna önünden gerçekleşebilecek taş savrulmalarının regülatörü etkilemesi ve gevşeyen malzemenin karayolu ve dereye akışının kısıtlanması mümkün olabilecektir.

14) Teorik hesaplamalar ışığında patlatma işleminde 10,00 Kg anlık şarj (9,00 Kg ANFO + 1,00 Kg Dinamit) ile yapılacak patlatmalarda çalışma alanına en yakın konumdaki yapı olan regülatörün (50 m uzaklıkta) bulunduğu bölgede titreşimlerin teorik Pik Parçacık Hızı 7,166 mm/sn olarak hesaplanmıştır. Bir ticari/endüstri yapı olan regülatörün gerçekleştirilecek patlatmaların neden olacağı titreşimlerin regülatör için tehlike oluşturması beklenmemektedir. Ancak sahada patlatma çalışmalarına başlamadan önce deneme patlatmaları yapılarak titreşim ölçümlerinin alınması çalışma alanının titreşim iletme yeteneği ve patlatmaların olası etki alanının belirlenmesi önerilir. Yüksek titreşim değerleri için delik ve patlatma paterni yeniden düzenlenmelidir.



Şekil 57. Çalışma sahasında önerilen patlatmalı kazı tekniği



Şekil 58. Çalışma kapsamında kaya kırıcı kartuşla yapılacak patlatmada önerilen delik kesiti ve tasarım verileri

15) Uygulanması planlanan delik ve patlatma paterni için belirlenen taş savrulma mesafesi 38,776 m olarak hesaplanmıştır. Dikkate alınan regülatör alanına 38,776 m'den daha uzakta yer aldığı için delik sıkılama işlemlerinin ideal yapılması koşuluyla bu yapının olası taş savrulmalarından etkilenmesi beklenmemektedir. Patlatma çalışmalarını başlatmadan önce deneme patlatmaları ile şev yüzeyinden (karayolu tarafı) ile kademe yüzeylerinde (özellikle karayoluna yakın delikler) lastik malzeme ile kapama yapılması ve bir atımda ateşlenecek delik sayısının kısıtlanması seçenekleri değerlendirilmelidir. Olumsuz sonuçlar için delik ve patlatma tasarımının optimize edilmesi seçeneği dikkate alınmalıdır.

16) Patlatmaların neden olacağı hava şokunun teorik değeri (ABD yönetmelikleri dikkate alınmıştır) izin verilebilir sınırların üzerinde hesaplanmıştır. Gözetilen regülatörün bir endüstri yapısı olması ve patlatmaların kısa süreli şok kaynakları olması nedeni ile söz konusu yapını oluşacak hava şokundan etkilenmesi beklenmemektedir. Ancak çalışma alanında deneme patlatmaları yapıldıktan sonra gerekirse patlatma paterninin hava şoku şiddetinin azaltılması amacı için optimize edilmesi düşünülmelidir.

17) Bu çalışmada verilen değerlendirme ve kanaatler saha gözlemlerinden elde edilen sınırlı veri ve teorik hesaplamaların bir sonucudur. Ancak sahada titreşim yayılımı ile ilgili parametrelerin net olarak bilinmemesi nedeniyle ocağa en yakın durumdaki yapılar civarında oluşacak titreşimlerin şiddet ve frekanslarının belirlenmesine yönelik olarak ocağa deneme patlatması ya da patlatmalarının gerçekleştirilmesi bir seçenek olarak dikkate alınabilir. Üretim faaliyetleri başlatılmadan önce gerçekleştirilecek deneme patlatmaları ile oluşacak titreşimlerin yayılma yönü ve büyüklükleri ile dikkate alınan yapı ve yerleşim birimlerinin etkilenmesi olasılıkları konusunda daha kesin değerlendirmeler yapmak mümkün olacaktır.

18) Patlatmalardan öncesi, patlatmalar sırası ve sonrasında yakın bölgede yaşayanların haberdar edilmesi, yakındaki karayollarında trafiğin engellenmesi gibi yerel güvenlik önlemlerinin uygulanmasına azami özen gösterilmesi gereklidir. Atımların uzman mühendisi ve patlatma elemanlarınca ilgili yönetmeliklere riayet ederek gerçekleştirilmesi zorunludur.

19) Bu çalışma doğrultusunda ortamın nitelikleri de göz önüne alınarak (4 süreksizlik seti ve zayıf zonların yönelimi), ayrılmış kaya kütlelerinde düzlemsel ve kama tipi kayma gelişebileceği koşuluyla yamaç stabilite çözümleme ve ayrıştırılmaları yapılmış ve bulunan güvenlik sayısı verileri yorumlanmıştır. Limit denge analizleri onaylanmış çalışmada belirtildiği şekilde basamak genişliği 5 metre yüksekliği 15 metre olan 1/3 eğimli şevler dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Depremleri durum dikkate alınarak yapılan limit denge analizlerinde güvenlik sayısı değeri 2.45 olarak hesaplanmıştır. 2018 TB DY'ye göre özel riskler içeren hususlar hariç $\gamma_{RK} \geq 1.10$ toptan kaymaya karşı yeterli güvenlik düzeyi olarak kabul edildiği için mevcut tasarımın güvenli olduğu anlaşılmaktadır.

20) Ancak 09.10.2022 tarihinde meydana gelen kaya düşme vakasının aşırı yağışlar sonrasında geliştiği ve bölgenin aşırı ve şiddetli yağışla karakteristik iklim özellikleri dikkate alınarak analizlerin 2. aşamasında çatlak suyu basıncı etkisi dikkate alınmış, çatlakların sadece %30'luk kesiminin su basıncı etkisinde kalacağı durumu modellenmiştir. Çatlak suyu basınçlarının etkisi dikkate alınarak yapılan analizlerde ise güvenlik sayısı değeri 0.83 olarak hesaplanmıştır (Şekil 50). 2018 TB DY'ye göre özel riskler içeren hususlar hariç $\gamma_{RK} \geq 1.10$ toptan kaymaya karşı yeterli güvenlik düzeyi olarak kabul edildiği için mevcut tasarımın aşırı yağışlar sonrasında güvenli olmadığı anlaşılmaktadır. Bu nedenle kazı şevi tasarımı yapılırken şev geometrilerinin destek elemanları (kaya blonu vb.) kullanılarak tasarlanması gerekmektedir.

21) Çalışma sahası ve çevresinde taş ocağı işletmeleri bulunmaktadır. Özellikle çalışma alanı üst kotlarında bulunan taş ocağı faaliyetlerinin karayolu şev düzenleme çalışmaları sırasında ve sonrasında, planlanan tasarımı olumsuz etkileme riski söz konusu olabilir. Bu nedenle bu çalışma kapsamında şev iyileştirme çalışması sonrası oluşturulacak nihai şevlerin tepe noktasında yatayda en az 30 metre mesafede bir koruma bandının oluşturulması ve bu alanda taşocağı patlatmalı faaliyetlerinin yapılmaması gerekmektedir.

22) Yapılan detaylı çalışmalar ve analizler sonucunda önerilen yöntemlerin uygulanması durumunda bile kazı çalışmaları sırasında kaya kütlelerinde yenilme riski (kama tipi kayma, kaya düşmesi vb) söz konusu olabilir. Kullanılacak yöntemler ve alınacak önlemler kaya kütlelerinin süreksiz yapısı nedeniyle uygulama aşamasında kütle hareketi riskini minimuma indirmeden öteye gidemez. Bu nedenle uygulama

aşamasında (kazı ve şev düzenleme) mevcut karayolunun trafiğe tamamen kapatılması ve ulaşımın sağlanması açısından alternatif bir yol bulunması önerilmektedir.

23) Franklin vd. (1971) ve Pettifer ve Fookes (1994) tarafından tavsiye edilip sunulan kazılabilirlik derecelendirme sistemleri dikkate alındığında kaya kütlesinin kazılabilirlik açısından “zor ve çok zor sökülebilir” sınıfında, kazı için en uygun yöntemin “ön gevşetme ile patlatma” olduğu anlaşılmaktadır. Bu sonuçta çalışma konusu kaya kütlesi için en uygun ve güvenli kazı yönteminin kaya kırıcı kartuş ile patlatma olduğunu net olarak göstermektedir.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Yomra-Özdil- Yağmurdere (DOKAP) İl yolu çalışması kapsamında KM: 09+700 - 10+200 arasında bulunan kaya kütlelerinde yapılacak patlatmalı kazı faaliyetleri değerlendirilmiş, bu amaçla şevlerde meydana gelebilecek kütle hareketi potansiyeli kinematik analizlerle ve 3 boyutlu kaya düşme analizleri ile ortaya konulmuş, kazı faaliyetlerinin karayolunun hemen altında inşa edilmiş HES tesisine zarar gelmeyecek şekilde sürdürülmesi amacıyla farklı bölgelerde farklı patlatma teknikleri (klasik patlatma, kaya kırıcı kartuş vb.) önerilmiştir.

Şevlerin duraylılığı; kinematik, analitik ve nümerik analiz yöntemlerinden yararlanılarak incelenir. Bu çalışma kapsamında kinematik ve analitik (limit denge) analizleri yapılarak güvenli şev açısı-şev yüksekliği ilişkisi belirlenmiştir. Kayalarda bulunan şevlerindeki yenilmeler çoğunlukla kütle içindeki süreksizliklere bağlı olmaktadır. Bu çalışma kapsamında kaya yamaç Saroglou vd. 2021 tarafından önerilen “kaya düşme riski” potansiyeline göre sınıflandırılmıştır ve çalışma konusu kaya yamacının değeri yüksek riskli yamaç sınıfına girdiğini göstermektedir. 3 boyutlu kaya düşme analizlerinde 100 kg, 500 kg ve 1000 kg kütleyle sahip bloklar kaynak kayanın en yüksek noktasından (karayolu şev tepesi) bir hat boyunca düşürülmüş, toplam 300 blok hareketi simüle edilmiştir. Blokların hareket izini gösteren üç boyutlu haritalar hazırlanmıştır. Yapılan 3 boyutlu kaya düşme analizlerinde KM: 09+930 ile 10+030 arasında kalan alanda meydana gelebilecek kaya düşme vakalarında hareket edecek bir kaya bloğunun Yomra Deresi üzerinde bulunan regülatöre ulaştığı görülmektedir. Bu nedenle topografik yapı, karayolu şevinin konumu ve yüksekliği, kırıklı kaya kütlelerinin kırıklı yapı sunması, kaya şevinde birçok noktada serbest ve düşme riski olan blokların varlığı ve kazı şevi çevresinde bulunan taşocaklarında yapılan atımların kaya kalitesini bozması gibi durumlar dikkate alınığında bu noktalardan yaklaşık 30 metre uzaklıkta bulunan noktalar arasında kalan 150 metrelik karayolu hattı boyunca (KM: 09+00-10+030) kaya kırıcı kartuşların kullanılması önerilmektedir.

Haritalardaki izler yardımıyla belirlenen yerde klasik patlatma yapılamayacağı, proteknik patlatmanın uygun olacağı anlaşılmaktadır.

Patlatma tasarımında kütle hareketi riski dikkate alınarak analizler yapılmalıdır. Çalışma süresince patlatma sırasında ve sonrasında kaya düşmesi veya düzlemsel/kama tipi kayma şeklinde kütle hareketlerine rastlanmamıştır. Tüm bunlarla birlikte şu belirtilmelidir ki kaya kırıcı kartuş yöntemi dinamitin bir rakibi değildir. Ancak hassas yapıların veya yerleşimlerin olduğu alanlarda patlatma çevresinde meydana gelebilecek olumsuz etkileri bertaraf etmek veya en aza indirmek için kaya kırıcı kartuşun, yapılan bu çalışmalar sonucuna dayanılarak en uygun ve güvenli patlatma olduğu net olarak görülmektedir.



6. KAYNAKLAR

- Barton, N.R. and Bandis, S.C. (1982). Effects of block size on the the shear behaviour of jointed rock. 23rd U.S. symp. on rock mechanics, Berkeley, s. 739-760.
- Barton, N.R. and Bandis, S.C. (1990). Review of predictive capabilites of JRC-JCS model in engineering practice. In Rock joints, proc. int. symp. on rock joints, Loen, Norway, (eds N. Barton and O. Stephansson), Rotterdam: Balkema, s. 603-610.
- Bektaş, O., Şen, C., Atıcı, Y. ve Köprübaşı, N. (1999). Migration of the Upper Cretaceous Subduction Related Volcanism Towards the Back-arc Basin of the Eastern Pontide Magmatic Arc (NE Turkey). Geological Journal, 34, s. 95-106.
- Bieniawski Z.T. (1989). “Engineering Rock Mass Classification”, Mc Graw Hill, s. 237.
- Brown, E.T. (1970). Strength of models of rock with intermittent joints. J. Soil Mech. Foundn Div., ASCE 96, SM6, s. 1935-1949
- Ersoy, H. , Yalçınalp, B. ve Babacan, A.E. (2014, 15 Haziran) . Saraftepe (Trabzon) Tefrit Silinin Jeolojik ve Jeomekanik Özelliklerinin Araştırılması. (2024,4 Mart), <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/277649>
- Gedikoğlu, A., Pelin, S. ve Özsayar, T. (1979). The main lines of geotectonic development in the East Pontids in the Mesozoic areas: Geochome-I, s. 555-580.
- Goodman, R.E. & Bray, J.W. (1976). Toppling of Rock Slopes, Proc. Conf. on Rock Engineering For foundations and Slopes, ASCE, Boulder, Colo. (USA), Vol. 2, 1976, s. 201-234.
- Hoek, E. (1968). “Brittle failure of rock in: Rock Mechanics in Engineering Practice, Stagg, K.G., Zienkiewicz O.C. (eds). London: Wiley, s. 19-124.
- Hoek, E. (1994). Strength of Rock and Rock Masses. ISRM News Journal, 2, 2, 4-16
- Hoek, E. (1999). Putting numbers to geology-an engineer’s view point. Quarterly Journal of Engineering Geology, 32, s. 1-19
- Hoek, E., Carranza-Torres C.T. and Corkum, B. (2002). “Hoek-Brown Failure Criterion-2002 Edition”, Proc. North American Rock Mechanics Society Meeting in Toronto in July 2002, 1, s. 267-273.
- Hoek, E., Kaiser P.K. and Bawden W.F. (1995): “Support of Underground Excavations in Hard Rock”, Rotterdam, Balkema.

- Hoek, E. and Marinos, P. (2000). Predicting Tunnel Squeezing. Tunnels and Tunnelling International. Part 1 – November 2000, Part 2 – December, 2000.
- Hoek, E., Marinos, P. and Benissi, M. (1998). Applicability of the geological strength index (GSI) classification for very weak and sheared rock masses: the case of the Athens schist formation. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 57, s. 151-160.
- Hoek, E., Wood, D. and Shah, S. (1992). A modified Hoek-Brown criterion for jointed rock masses. Proceedings ISRM Symposium: Eurock'92, Thomas Telford, s. 209-213.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), (1978). The complete ISRM suggested methods for rock characterization testing and monitoring. Eds: Ulusay, R., Hudson J.A. , s. 89-97.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), (1981). Rock Characterisation Testing and Monitoring ISRM Suggested Methods. Brown, E.T., (Editor), Pergamon Press, s. 211.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), (1985). Suggested method for determining point load strength. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts 22, s. 51-60.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), (2007). The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring, eds: Ulusay R., J.A. Hudson, Kazan Offset Pres, Ankara, 628.
- Ketin, I. (1966). Anadolu'nun Tektonik Birliktelikleri. Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 66, s. 23-34.
- NACS (North American Commission On Stratigraphy), (1983). The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 67(5), s. 841- 875.
- Sönmez, H., ve Ulusay. R. (1999). Modifications to the geological strength index (GSI) and their applicability to stability of slopes. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, (36), s. 743-760.
- Şaroğlu, F. ve Yılmaz, Y. (1986,1 Aralık). Geological Evolution and Basın Models During Neotectonic Episode In The Eastern Anatolia. (2024,9 Mart), <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/44554>.
- URL-1. (2024,10 Şubat). Çalışma Sahası ve Çevresinin Deprem Durumu. <https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml>

ÖZGEÇMİŞ

Pınarcan ALKAN, İlköğretimi Trabzon’ da, lise öğrenimini 2010-2014 yılları arasında Ankara’ da tamamladıktan sonra 2014-2018 yılları arasında Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümü lisans programını tamamladı. 2019 yılında özel sektörde inşaat mühendisi olarak çalışmaya başladı. 2020 yılında KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans eğitime başladı. 2020-2021 döneminde İngilizce Hazırlığı ve 2021-2022 döneminde Bilimsel Hazırlığı başarıyla geçerek Jeoloji Mühendisliği yüksek lisans ders dönemine başladı. 2023 yılında İSG sınavında başarılı olarak C Sınıfı İSG Uzmanlığını aldı. Tüm bu zaman dilimlerinde özel sektörde farklı firmalarda inşaat mühendisi olarak görevini sürdürdü ve halen görevine devam etmektedir.