



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DELME-PATLATMA VERİMİ VE KAYAÇLARIN FİZİKSEL-
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN HİDROLİK KIRICI
PERFORMANSINA ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tevhit YILMAZ

DANIŞMAN

Prof. Dr. Mehmet SARI

AKSARAY, 2019



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DELME-PATLATMA VERİMİ VE KAYAÇLARIN FİZİKSEL-
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN HİDROLİK KIRICI
PERFORMANSINA ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tevhit YILMAZ

DANIŞMAN

Prof. Dr. Mehmet SARI

AKSARAY, 2019

Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 152313401 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi, **Tevhit YILMAZ** tarafından hazırlanan **“DELME-PATLATMA VERİMİ VE KAYAÇLARIN FİZİKSEL-MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN HİDROLİK KIRICI PERFORMANSINA ETKİSİ”** adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Maden Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir

Danışman: Prof. Dr. Mehmet SARI

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Üye: Doç. Dr. Mustafa Murat KAVURMACI

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Üye: Doç. Dr. Ümit ATICI

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Tez Savunma Tarihi: 14/01/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Doç. Dr Mehmet Ali HINIS
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, çalışmamda kullandığım verilerin orijinallliğini ve her türlü intihalden uzak olduğunu beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

Tevhit YILMAZ

TEŞEKKÜR

Aksaray Üniversitesi, Maden Mühendisliği Anabilim Dalında yapmış olduğum Yüksek Lisans tez çalışması esnasında yardımlarını ve desteğini benden hiç esirgemeyen aynı zamanda da bilgilerinden ve tecrübelerinden yararlandığım, değerli danışman hocam Prof. Dr. Mehmet SARI'ya, teşekkürlerimi sunarım. Deney ve arazi çalışmalarında her türlü desteği sağlayan ve yönlendirici katkılarından dolayı değerli eş danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Ramazan ÇOMAKLI'ya ve bana laboratuvar imkânını sağlayan Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'ne teşekkür ederim.

Tez çalışması esnasında bana her konuda yardımcı olan Bor İlçe Müftüsü Cafer KILINÇ'a ve mesai arkadaşlarıma, arazi çalışmalarında araç konusunda yardımcı olan ve maddi yardımlarını esirgemeyen arkadaşım İsmail ADIGÜZEL'e teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca olduğu gibi tez çalışmalarım sırasında da her türlü sıkıntı ve zorluklarda maddi ve manevi yönden beni destekleyen ve yalnız bırakmayan eşim Kamer YILMAZ'a ve aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Tevhit YILMAZ

AKSARAY, 2019

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI	3
2.1 Genel.....	3
2.2 Delme Patlatma Verimini Etkileyen Parametreler	3
2.2.1 Sıkılama	5
2.2.2 Delik çapı	6
2.2.3 Dilim kalınlığı ve delikler arası mesafe	7
2.2.4 Özgül şarj	7
2.2.5 Patlayıcı malzemenin cinsi ve ateşleme sistemi.....	8
2.3 Delme-Patlatma Sonrası Oluşan Yığın ile Hidrolik Kırıcı Performansı Arasındaki İlişki	9
2.4 Kayaçların Genel Özellikleri	10
2.5 Görüntü Analizi.....	11
3. GENEL BİLGİLER	13
3.1 Taş Ocakları	13
3.1.1 TO-1 kodlu işletme	13
3.1.2 TO-2 kodlu işletme	14
3.1.3 TO-3 kodlu işletme	15
3.1.4 TO-4 kodlu işletme	15
3.1.5 TO-5 kodlu işletme	16
3.1.6 TO-6 kodlu işletme	17
3.1.7 TO-7 kodlu işletme	17
3.2 Hidrolik Kırıcılar	18
4. MALZEME VE YÖNTEM.....	21
4.1 Arazi Çalışmaları.....	21
4.2 Görüntü İşleme Tekniği.....	21
4.2.1 Fotoğraflama tekniği.....	23
4.2.2 Fotoğrafların ölçeklenmesi.....	23
4.3 Laboratuvar Deneyleri.....	24
4.3.1 Yoğunluk (birim hacim ağırlık) tayini.....	24
4.3.2 Schmidt çekici kaya sertlik deneyi	25
4.3.3 Görünür porozite ve boşluk oranı tayini	26
4.3.4 Brazilian (dolaylı çekme) dayanımı deneyi	27
4.3.5 Tek eksenli basma dayanımı deneyi.....	28
4.3.6 Nokta yükleme dayanım indeksi deneyi	29
4.4 Numune Hazırlama.....	30
5. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	33
5.1 Kayaçların Fiziksel Özellikleri	33
5.1.1 Kuru yoğunluk.....	33
5.1.2 Görünür porozite ve boşluk oranı.....	33

5.2 Kayaçların Mekanik Özellikleri.....	34
5.2.1 Brazilian çekme deneyi.....	34
5.2.2 Nokta yükü indeks deneyi.....	36
5.2.3 Schmidt sertlik deneyi	37
5.2.4 Tek eksenli basınç dayanım deneyi	38
5.3 Görüntü İşleme Analizi.....	40
5.4 Hidrolik Kırıcı Performans Değerleri.....	54
5.4.1 Hidrolik kırıcı arazi performansı	54
5.4.2 Hidrolik kırıcı teorik performansı	55
5.5 Delme-Patlatma Maliyet Analizleri.....	57
6. TARTIŞMA VE DEĞERLENDİRME	60
6.1 Delme-Patlatma ve Hidrolik Kırıcı Maliyetinin Karşılaştırılması	60
6.2 Fiziksel ve Mekanik Özellikler İle Üretimin Karşılaştırılması.....	61
6.2.1 Tek eksenli basınç dayanımının karşılaştırılması.....	61
6.2.2 Brazilian çekme dayanımının karşılaştırılması	62
6.2.3 UCS ve BTS dayanım oranlarının karşılaştırılması	63
6.2.4 Nokta yük dayanım indeksinin karşılaştırılması	63
6.2.5 Schmidt sertliğinin karşılaştırılması	64
6.2.6 Görünür porozitenin karşılaştırılması.....	65
6.2.7 Kuru yoğunluğun karşılaştırılması	65
6.2.8 Teorik üretim ile karşılaştırılması	66
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	67
KAYNAKLAR.....	70
EKLER.....	73
Ek A. Kuru Yoğunluk Deneyi	74
Ek B. Görünür Porozite ve Boşluk Oranı Deneyi.....	75
Ek C. Brazilian Deneyi.....	76
Ek D. Nokta Yük Deneyi.....	77
Ek E. Schmidt Sertlik Deneyi	77
Ek F. Tek Eksenli Basınç Deneyi	78
ÖZGEÇMİŞ	79

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DELME-PATLATMA VERİMİ VE KAYAÇLARIN FİZİKSEL-MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN HİDROLİK KIRICI PERFORMANSINA ETKİSİ

Tevhit YILMAZ

**Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Mehmet Sarı
Eş Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ramazan Çomaklı**

ÖZET

Bu çalışmada, Niğde ilinde faaliyet gösteren yedi farklı taş ocağı için delme-patlatma performansları analiz edilmiştir. Delme-patlatma performansları görüntü işleme yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Delme-patlatma veriminin değerlendirilmesindeki amaç patlatma sonrası hidrolik kırıcının çalışma süresine etkisinin belirlenmesidir. Her bir patlatma için hidrolik kırıcının toplam çalışma süresi ve kırma hızı belirlenmiştir. Patlatma sonrası elde edilen malzeme miktarına bağlı olarak delme-patlatma birim maliyet miktarı ve hidrolik kırıcı birim maliyet miktarı belirlenmiştir. Belirlenen bu değerlere bağlı olarak delme-patlatma yöntemi ile hidrolik kırıcıyla yapılan kazı yöntemleri karşılaştırılmıştır. Tüm taş ocaklarında aynı özelliklere sahip hidrolik kırıcı kullanılmıştır. Bu kapsamda, kayaçların fiziksel-mekanik özelliklerinin hidrolik kırıcı performansına olan etkileri araştırılmıştır. Basit regresyon yöntemi kullanılarak kayaçların tek eksenli basınç dayanımı, dolaylı çekme dayanımı, Schmidt sertlik, nokta yük indeksi, kuru yoğunluk ve görünür porozite değerleri ile hidrolik kırıcı anlık kırma miktarı arasında yeni eşitlikler elde edilmiştir. Buna göre, bahsi geçen kaya malzemesinin mekanik ve fiziksel özellikleri ile hidrolik kırıcı performansı arasında anlamlı doğrusal ilişkiler elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Delme-patlatma, Taş ocağı, Hidrolik kırıcı, Fiziksel-mekanik özellikler.

Ocak, 2019; 79 Sayfa

M.Sc. THESIS

**DRILLING-BLASTING EFFICIENCY AND EFFECT OF PHYSICAL-
MECHANICAL PROPERTIES OF ROCKS ON THE PERFORMANCE OF
IMPACT HAMMER**

Tevhit YILMAZ

**Aksaray University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mining Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Mehmet SARI

Co-supervisor: Assist. Prof. Dr. Ramazan ÇOMAKLI

ABSTRACT

In this study, the drilling and blasting performances of seven different quarries are analyzed in Niğde municipality. The drilling and blasting performances were made by using the image processing method. The aim for analyzing drilling and blasting performances are to investigate the possible effects of them on the impact hammer working durations. The total working and breaking time for impact hammers were determined for each blasting cycle. Depending on the amount of rock material obtained after each blasting, the unit costs of drilling-blasting and impact hammers were determined. The methods of drilling-blasting and excavation by impact hammer were compared based on these determined values. The impact hammers operated in all quarries had the same technical specifications. In this respect, the effects of the physical-mechanical properties of rocks were investigated on the performance of impact hammers. The new equations between the breaking amount of impact hammers and uniaxial compressive strength, indirect tensile strength, Schmidt hammer, point load index, dry density and porosity values of rocks were obtained by using the simple regression analysis method. There were found significant linear relationships between rock mechanical-physical properties and performance of impact hammers.

Keywords: Drilling–blasting, Quarry, Impact hammer, Physical-mechanical properties

January, 2019; 79 Pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Taş ocaklarının konumunu gösteren Google uydu görüntüsü.....	13
Şekil 3.2. Araştırma çalışmasının yapıldığı TO-1 kodlu işletme.	14
Şekil 3.3. Araştırma çalışmasının yapıldığı TO-2 kodlu işletme.	14
Şekil 3.4. Araştırma çalışmasının yapıldığı TO-3 kodlu işletme.	15
Şekil 3.5. Araştırma çalışmasının yapıldığı TO-4 kodlu işletme.	16
Şekil 3.6. Araştırma çalışmasının yapıldığı TO-5 kodlu işletme.	16
Şekil 3.7. Araştırma çalışmasının yapıldığı TO-6 kodlu işletme.	17
Şekil 3.8. Araştırma çalışmasının yapıldığı TO-7 kodlu işletme.	18
Şekil 3.9. Paletli ekskavatör.....	18
Şekil 3.10. Paletli hidrolik kırıcı.	19
Şekil 3.11. Hidrolik kırıcı ve elemanları.....	20
Şekil 4.1. Brazilian deney numunesi ve yükleme çeneleri.	27
Şekil 4.2. Nokta yük dayanım indeksi deneyi için örnek şekilleri.	30
Şekil 4.3. Karot alma makinesi ile karot alma işlemi.	31
Şekil 4.4. Karot kesme makinesi.	31
Şekil 4.5. Deneyler için hazırlanmış numuneler.	32
Şekil 5.1. Hassas terazi ile numune ağırlığının belirlenmesi.	33
Şekil 5.2. Numunelerin etüvde kurutulma işlemi.....	34
Şekil 5.3. Brazilian deneyi için hazırlanmış numuneler.	35
Şekil 5.4. Brazilian deneyinde çeneler arasına yerleştirilen numune.	35
Şekil 5.5. Brazilian (dolaylı çekme) deney aleti.	35
Şekil 5.6. Brazilian deneyinde kırılan numuneler.	36
Şekil 5.7. Nokta yükü indeks deneyi yapılan numuneler.	36
Şekil 5.8. Nokta yükü indeks deneyinde kırılan numuneler.	37
Şekil 5.9. Schmidt çekici deneyi için blok numuneler.	37
Şekil 5.10. Schmidt çekici deney aleti (N-tipi).	38
Şekil 5.11. Tek eksenli basınç dayanımı deneyi için hazırlanan numuneler.	38
Şekil 5.12. Tek eksenli basınç dayanımı deney presi.	39
Şekil 5.13. Tek eksenli basınç dayanımı deneyi esnasında kırılan numune.	39
Şekil 5.14. TO-1 kodlu ocağın patlatma sonrası oluşan yığın görüntüsü.....	40
Şekil 5.15. TO-1 kodlu ocağın patlatma sonrası oluşan fotoğrafın işlenmiş hali.	41
Şekil 5.16. TO-2 kodlu ocağın patlatma sonrası oluşan yığın görüntüsü.....	41
Şekil 5.17. TO-2 kodlu ocağın patlatma sonrası oluşan fotoğrafın işlenmiş hali.	41
Şekil 5.18. TO-3 kodlu ocağın 1. patlatma sonrası oluşan yığın görüntüsü.....	42
Şekil 5.19. TO-3 kodlu ocağın 1. patlatma sonrası oluşan fotoğrafın işlenmiş hali.	42
Şekil 5.20. TO-3 kodlu ocağın 2. patlatma sonrası oluşan yığın görüntüsü.....	42
Şekil 5.21. TO-3 kodlu ocağın 2. patlatma sonrası oluşan fotoğrafın işlenmiş hali.	43
Şekil 5.22. TO-3 kodlu ocağın 3. patlatma sonrası oluşan yığın görüntüsü.....	43
Şekil 5.23. TO-3 kodlu ocağın 3. patlatma sonrası oluşan fotoğrafın işlenmiş hali.	43
Şekil 5.24. TO-4 kodlu ocağın 1. patlatma sonrası oluşan yığın görüntüsü.....	44
Şekil 5.25. TO-4 kodlu ocağın 1. patlatma sonrası oluşan fotoğrafın işlenmiş hali.	44
Şekil 5.26. TO-4 kodlu ocağın 2. patlatma sonrası oluşan yığın görüntüsü.....	44
Şekil 5.27. TO-4 kodlu ocağın 2. patlatma sonrası oluşan fotoğrafın işlenmiş hali.	45
Şekil 5.28. TO-5 kodlu ocağın 1. patlatma sonrası oluşan yığın görüntüsü.....	45
Şekil 5.29. TO-5 kodlu ocağın 1. patlatma sonrası oluşan fotoğrafın işlenmiş hali.	45
Şekil 5.30. TO-5 kodlu ocağın 2. patlatma sonrası oluşan yığın görüntüsü.....	46

Şekil 5.31. TO-5 kodlu ocağın 2. patlatma sonrası oluşan fotoğrafın işlenmiş hali. .46	46
Şekil 5.32. TO-6 kodlu ocağın 1. patlatma sonrası oluşan yığın görüntüsü.46	46
Şekil 5.33. TO-6 kodlu ocağın 1. patlatma sonrası oluşan fotoğrafın işlenmiş hali. .47	47
Şekil 5.34. TO-6 kodlu ocağın 2. patlatma sonrası oluşan yığın görüntüsü.47	47
Şekil 5.35. TO-6 kodlu ocağın 2. patlatma sonrası oluşan fotoğrafın işlenmiş hali. .47	47
Şekil 5.36. TO-6 kodlu ocağın 3. patlatma sonrası oluşan yığın görüntüsü.48	48
Şekil 5.37. TO-6 kodlu ocağın 3. patlatma sonrası oluşan fotoğrafın işlenmiş hali. .48	48
Şekil 5.38. TO-7 kodlu ocağın patlatma sonrası oluşan yığın görüntüsü.48	48
Şekil 5.39. TO-7 kodlu ocağın patlatma sonrası oluşan fotoğrafın işlenmiş hali.49	49
Şekil 5.40. TO-1 kodlu ocağa ait parça boyut dağılımı.49	49
Şekil 5.41. TO-2 kodlu ocağa ait parça boyut dağılımı.50	50
Şekil 5.42. TO-3 kodlu ocağa ait 1. patlatma parça boyut dağılımı.50	50
Şekil 5.43. TO-3 kodlu ocağa ait 2. patlatma parça boyut dağılımı.50	50
Şekil 5.44. TO-3 kodlu ocağa ait 3. patlatma parça boyut dağılımı.51	51
Şekil 5.45. TO-4 kodlu ocağa ait 1. patlatma parça boyut dağılımı.51	51
Şekil 5.46. TO-4 kodlu ocağa ait 2. patlatma parça boyut dağılımı.51	51
Şekil 5.47. TO-5 kodlu ocağa ait 1. patlatma parça boyut dağılımı.52	52
Şekil 5.48. TO-5 kodlu ocağa ait 2. patlatma parça boyut dağılımı.52	52
Şekil 5.49. TO-6 kodlu ocağa ait 1. patlatma parça boyut dağılımı.52	52
Şekil 5.50. TO-6 kodlu ocağa ait 2. patlatma parça boyut dağılımı.53	53
Şekil 5.51. TO-6 kodlu ocağa ait 3. patlatma parça boyut dağılımı.53	53
Şekil 5.52. TO-7 kodlu ocağa ait parça boyut dağılımı.53	53
Şekil 5.53. Hidrolik kaya delme makinesi.58	58
Şekil 6.1. Tek eksenli basınç dayanımı ile üretim miktarı arasındaki ilişki.62	62
Şekil 6.2. Brazilian çekme dayanımı ile üretim miktarı arasındaki ilişki.62	62
Şekil 6.3. UCS ve BTS dayanım oranı ile üretim miktarı arasındaki ilişkisi.63	63
Şekil 6.4. Nokta yük dayanım indeksi ile üretim miktarı arasındaki ilişki.64	64
Şekil 6.5. Schmidt çekici sertliği ile üretim miktarı arasındaki ilişki.64	64
Şekil 6.6. Görünür porozite ile üretim miktarı arasındaki ilişki.65	65
Şekil 6.7. Kuru yoğunluk ile üretim miktarı arasındaki ilişki.66	66
Şekil 6.8. Teorik üretim miktarı ile arazideki üretim miktarı arasındaki ilişki.66	66

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1. Taş ocakları için delme–patlatma parametreleri.	22
Çizelge 5.1. Çalışmaya konu kayaçların temel fiziksel ve mekanik özellikleri.....	39
Çizelge 5.2. Hidrolik kırıcı Frukava FXJ 375’in teknik özellikleri.	54
Çizelge 5.3. Hidrolik kırıcı üretim miktarı.	55
Çizelge 5.4. İşletmelerin teorik saatlik üretim miktarları.	57
Çizelge 5.5. İşletmelerin delme-patlatma maliyeti.....	59
Çizelge 5.6. Delme-patlatma sonucu üretilen malzeme miktarı.	59
Çizelge 6.1. Delme-patlatma ve hidrolik kırıcı maliyetlerinin karşılaştırılması.	61



SİMGELER VE KISALTMALAR

ANFO	Amonyum Nitrat Fuel Oil
BTS	Brazilian Çekme Dayanımı
e	Boşluk Oranı
I_s	Nokta Yük İndeks Değeri
kN	Kilo Newton
MPa	Megapascal
n	Görünür Porozite
Nm	Newton metre
P	Boyuna Dalga Hızı
RQD	Kaya Kalite Değeri
S	Enine Dalga Hızı
SÇSD	Schmidt Çekici Sertlik Değeri
TO-1	Andezit Ocak İşletmesi
TO-2	Alçı Taşı Ocak İşletmesi
TO-3	Kalker Ocak İşletmesi
TO-4	Bazalt Ocak İşletmesi
TO-5	Andezit Ocak İşletmesi
TO-6	Kalker Ocak İşletmesi
TO-7	Kalsit Ocak İşletmesi
UCS	Tek Eksenli Basınç Dayanımı
V_v	Boşluk Hacmi
σ_c	Tek Eksenli Basınç Dayanımı
σ_t	Brazilian Çekme Dayanımı
δ	Kuru Yoğunluk

1. GİRİŞ

Kırma-eleme tesislerinde üretilen kırmataş (agrega) malzemelerin satılabilir ürün olarak vasıflandırılabilmesi için istenilen boyutlarda olması gerekmektedir. Ocak sahasında delme-patlatma ile yapılan üretimlerde yeterince parçalanmamış malzeme elde edilmesi durumunda bu malzemenin yeniden kırma ve sınıflandırmaya tabi tutulması gerekmektedir. Toplam üretim maliyetinin en az olması için ocağın verimini ve maliyetini etkileyen en önemli parametrelerden birisi olan delme-patlatma veriminin en yüksek olması gerekmektedir.

Agrega üretim tesislerinin toplam maliyetini oluşturan belli başlı parametreler delme-patlatma, yükleme, taşıma, kırma-eleme ve sınıflandırmadır. Bu parametrelerin her birisi en az maliyetin oluşturulması için oldukça önem arz etmektedir. Özellikle de delme-patlatma parametresi diğer parametreleri doğrudan etkilemektedir. Yeterli mühendislik çalışması yapmayan ve üretim çalışmalarında bu parametreleri en etkin şekilde uygulamayan işletmeler sadece kendi ekonomisini değil ülke ekonomisini de zarara sokmaktadır.

Delme-patlatma ile üretim yapılan işletmelerde sistemin en verimli şekilde çalışması için parça boyut analiz çalışmaları ve görüntü işleme tekniğinden faydalanılmaktadır. Bu tekniğin uygulanmasındaki en belirgin avantaj üretimde herhangi bir aksamaya sebep olmadan en kısa zamanda ve en hızlı şekilde sonuç vermesidir.

Delme-patlatma ile üretim yapılan işletmelerde çoğu kez birincil kırıcılara gidecek malzeme boyutunu küçültmek için ikincil kırma işlemleri yapılmaktadır. Delme-patlatma verimine ve kayaçların fiziksel-mekanik özelliklerine bağlı olarak hidrolik kırıcı maliyetleri ocaktan ocağa değişiklik gösterebilmektedir. İkincil kırma işlemlerinde çeşitli çalışmalardan belirlendiği şekilde hidrolik kırıcılar yaklaşık olarak toplam maliyetin % 15'ini oluşturmaktadır. Burada kayaçların fiziksel-mekanik özelliklerini değiştirmek mümkün değildir. Fakat kayaçların fiziksel-

mekanik özelliklerine bağlı olarak delme-patlatma verimi üzerinde en etkin olanların belirlenmesiyle ocaklarda optimum üretim verimi sağlanabilir.

Bu çalışmada, Niğde ilinde faaliyet gösteren 7 farklı taş ocağı için delme-patlatma verimi görüntü işleme yöntemiyle belirlenmiştir. Ocaklardan toplanmış bloklardan elde edilen numuneler üzerinde çeşitli laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Delme-patlatma verimi ve kayaçların fiziksel-mekanik özellikleri ile hidrolik kırıcı performansı arasındaki ilişkiler araştırılmıştır.



2. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

2.1 Genel

Araştırma kapsamında delme-patlatma verimi, kayaçların fiziksel-mekanik özellikleri ve hidrolik kırıcı performansı ile alakalı daha önce yapılan çalışmaların incelenmesi amacıyla genel bir literatür araştırması yapılmıştır.

2.2 Delme Patlatma Verimini Etkileyen Parametreler

Delme-patlatma işlemlerinin genel olarak iki amacı bulunmaktadır. Bunlar, kayaç kütlelerini parçalamak ve ötelemektir. Parçalamadaki en temel amaç kayacın kazı makinesinin kepçesine kolaylıkla girebilecek, kazı makinesinin çalışmalarını olumsuz yönde etkilemeyecek ve patar oluşumu gerektirmeyecek boyutlarda kırılmış malzeme elde etmektir. Ötelemenin amacı ise kayacın kabarması sonucu istenen hacim büyüklüğünü karşılayarak, yığının kazılabilirliğinin kolay yapılmasını temin etmektir. Fakat kırmataş işletmeciliğinde yapılan delme-patlatma işlemlerindeki amaç sadece kayanın parçalanması ve ötelenmesi değildir. Topal vd. (2011) satılabilir ürünün eldesi için parçalanmış malzemenin yeniden kırma-eleme işlemlerine tabi tutulacağından dolayı, kırma-eleme işlemlerinde maliyeti minimize yapacak bir boyut küçültmenin elde edilmesi gerektiğini söylemektedir.

Ocağın verimini ve maliyetini etkileyen en önemli parametre üretimdeki ilk aşama olan delme ve patlatma işlemleridir. İş güvenliğinin tam olması ve toplam maliyetin minimum olması ancak optimizasyon çalışmaları ile mümkün olmaktadır. İşletmenin toplam maliyetini oluşturan delme ve patlatma, yükleme, taşıma ve kırma işlemlerinde oluşturulacak gerçekçi maliyet analizlerinin, işletmenin ana hedefi olan minimum toplam maliyetin elde edilmesinde büyük rol oynamaktadır. Ancak, ülkemizdeki birçok işletme oluşan bu toplam maliyetin sadece görünür kısımlarını düşünmektedirler. Özellikle, diğer parametrelerin verimini doğrudan veya dolaylı yoldan etkileyen delme-patlatma işlemlerinde ucuzluk düşüncesi ve kalitesiz

malzemelerin kullanımı ardışık maliyetleri meydana getirmektedir. Ayhan (1999) çalışmalarında göz ardı edilen bu maliyetlerin sadece işletme ekonomisine değil ülke ekonomisine de ağır yükler getirdiğini ortaya koymuştur.

Pekin (2010) istenilen bir patlatma tasarımı için ocağın süreksizlik sistemleri, jeolojisi, kayacın mekanik ve fiziksel özelliklerinin tahmin edilebilmesi ve bu özelliklere göre de patlayıcı maddenin seçimi, deliğin geometrisi ve patlatma sistemlerinin belirlenmesinin önem arz ettiğini vurgulamaktadır.

Kalaycı vd. (2012) patlatma verimliliğinin değerlendirilmesinde genel olarak aşağıda belirtilen hususların göz önüne alınması gerektiğini belirtir.

- Parçalanmış olan malzeme eşit olarak ileri ötelenmeli ve aşırı fırlamış bloklar olmamalıdır.
- Parçalanma en ideal şekilde olmalıdır.
- Parçalanmış malzeme homojen olmalı ve patar oluşturan parça sayısının en az olması gerekmektedir.
- Yığının kazılabilirliği kolay olmalıdır, yani ekskavatör kazı işi değil, yükleme işiyle uğraşmalıdır.
- Yığının yüksekliği ekskavatörün kepçesine göre ayarlanmalıdır. Bununla birlikte, arka taraflarında bir miktar alçak yükleme bölgeleri kaçınılmaz olduğundan, bunlar en az düzeyde yapılmalıdır.
- Parçalanma eşit olarak gözükmelidir.
- Yığının arka tarafında çukur oluşmalıdır. Bu parçalanmanın iyi olduğunu göstermektedir.
- Tabanda kazıya engel olan tırnaklar oluşmamalıdır.

Delme ve patlatmanın önemi aşağıda kısaca özetlenmiştir (Koruç, 2010).

- Ekonomik sonuçların elde edilmesi; delme-patlatma parametreleri optimize edilerek minimum maliyetler ile üretimin yapılması sağlanmalı.
- Teknik verimliliğin kullanılması; optimize hale getirilmiş delme-patlatma çalışmaları sonucunda patlatılan malzemelerin tane boyutu istenilen özellikte olmasının sağlanması ile üretim verimliliğinin artırılması.

- Zamanı etkin kullanma; istenilen miktarda üretimin yapılmasında zamanın verimli kullanılmasını sağlama.
- İş makinelerinin performanslarını arttırma; patlatılmış malzemenin tane boyutunu istenilen boyutta tutma böylece makine kapasitelerinin maksimum düzeyde çalışmasının sağlanması.
- Kapasitede artış; delme ve patlatmanın optimum olmasıyla daha kısa zamanda ve daha fazla miktarda çıkarılmasının sağlanması.
- Ardışık organizasyon faaliyetlerinde kolaylık; istenilen özellikte parçalanmış malzemelerin taşıma, yükleme ve ikincil kırma işlemlerinin daha rahat ve kolay yapılabilmesinin sağlanması.
- İstenilen özellikte malzeme; patlatma parametrelerinin geometrik düzenlerinin belirlenmesi ile istenilen boyutta ve özellikte malzemenin temin edilmesinin sağlanması.
- Güç kullanımı; optimum delme ve patlatma çalışmalarıyla üretimde kullanılan patlayıcı maddenin gücünden istenilen seviyede faydalanılmalı.
- Ekipman seçimi; istenilen şekilde parçalanmış ve ötelenmiş malzemenin taşınmasında kullanılacak makine kapasitelerinin daha iyi belirlenmesi.

2.2.1 Sıkılama

Sıkılama, patlatılacak olan deliğin serbest yüzeye yakın olan kısmının patlayıcı olmayan başka bir maddeyle kapatılarak, patlayıcı maddeden yararlanılan enerjinin, kapatılma başarısına bağlı olarak, daha yüksek verimlilikle, kayacın parçalanmasına yönelmesi işlemidir. İyi bir sıkılamanın en önemli yararı kayacın daha iyi parçalanmasıdır. Fakat iyi bir sıkılama, aynı zamanda daha iyi bir öteleme de sağlar. Dolayısıyla, taşıma ve yükleme daha kolay ve ekonomik olarak sağlanabilir.

Bir sıkılama malzemesinde sahip olması gerekli olan özellikleri Özözen ve Ünver (1998) şöyle sıralamıştır.

- Yükleme açısından sıkılama malzemesi emniyetli ve kolay olmalı, kolaylıkla sıkıştırılabilmeli, delikte boşluk kalmayacak şekilde doldurulmalı ve hata olması durumunda ise kolaylıkla geri çıkarılabilmelidir,

- Sıkılama malzemesinin içinde insan sağılığı açısından oldukça zararlı olan silisyum %1'den fazla olmamalı ve silisik asit bulunmamalıdır,
- Sıkılama malzemesi patlayıcı madde üzerinde olumsuz bir etki oluşturmamalı, sıkıştırılırken ateşleme kablolarına herhangi bir zarar verilmemelidir.

Ülkemizde de tüm dünyada olduğu gibi, çoğu zaman, sıkılama için, delik delinirken, delici makineden çıkan taş tozu ve toprak kullanılır. Bunun nedeni, ucuz ve temininin kolay olmasıdır. Bu yöntemde, patlatmadan elde edilen enerjinin, ciddi bir bölümü, atmosfere kaçarak, kaybolmaktadır (Cevizci, 2010). Yetersiz sıkılama ile oluşan problemler; gürültü, hava şoku, tırnak oluşumu, patar ve fırlayan kaya sorunlarıdır. Kaya kütlesi iyi parçalanıp ufalanmamaktadır. Çünkü delikteki patlatma enerjisi sıkılama yetersiz olduğundan delik ağzından püskürerek kaybolmaktadır.

2.2.2 Delik çapı

Basamak patlatmasında patlatma verimini ve ekonomisini belirleyen en önemli özelliklerinden bir tanesi de delik çapıdır. Delik çapı, patlatma ekonomisinde büyük yer tutmaktadır. Delik çapı, patlayıcının kayaç içerisindeki dağılımını belirler. Patlayıcı küçük çaplı deliklerde daha iyi dağılır. Büyük çaplı deliklerde ise delik geniş olduğundan elde edilen malzeme iri boyutlarda olmaktadır. Çap büyüdükçe delik genişlemekte ve iri boyutta malzeme meydana geldiği için ikincil kırma maliyetinin arttırmaktadır. Her işletme kendine uygun olan delik çapını belirlemelidir (Akkoyun, 2004).

Akkoyun (2004) yapılan patlatma sonrasında ince taneli malzeme, homojen ürün elde edebilmek amacıyla patlayıcı malzemenin kayaç içine iyi dağılması sağlanarak yapılan küçük çaplı delik düzeni, delik sayısındaki artışlar, delici makine giderlerindeki artışlar ve her delik için kullanılan patlayıcı madde giderindeki artışı beraberinde getireceğini belirtmektedir. Buna karşın, delik delmedeki masrafları azaltmak için delik çapında yapılacak herhangi bir artış ise iri boyutlu malzeme elde edilmesini sağlar ve kayaç özelliklerine bağlı olarak ikincil kırmayı gerektireceğinden işletme maliyetinin artmasına sebep olacaktır.

2.2.3 Dilim kalınlığı ve delikler arası mesafe

Patlatmanın verimliliği ve görüntü analiz yöntemleri kullanılarak bazı araştırmacılar tarafından çalışmalar yapılarak parça boyut dağılımı üzerine incelemeler yapılmıştır. Pekin ve Bayırlı (2015) basamak patlatma tasarımında, yapılan patlatma sonuçlarını çevresel ve verimlilik anlamında önemli şekilde etkileyen parametrelerden, dilim kalınlığının patlatma sonucuna olan etkisinin Karaoğlu ve Yılmaz (2010) tarafından araştırıldığını söylemektedir. Pekin ve Bayırlı (2015) yapmış olduğu çalışmalarda basamak patlatmasında dilim kalınlığının değişim göstermesiyle parça boyut dağılımının da değiştiği ve dilim kalınlığının artması ile de parça boyut değerlerinin arttığını tespit etmiştir.

Dilim kalınlığı ile delikler arası mesafe arasındaki en uygun oranların belirlenmesi gereklidir. Bu oranın açık ocaklarda 1 ile 5 arasında bir değer olduğu ancak genelde 1,25 oranında olduğu şeklinde farklı görüşler mevcuttur. Bu değer optimum değerden fazla olması, patlatma sırasında radyal çatlaklarının serbest yüzeylere kadar ulaşmasına bu nedenle de verimin kaybolmasıyla beraber patlatma sonucu gaz kaçaklarına, uçan kaya fırlamasına ve hava şoku sorunlarına, artan delikler arası mesafeyle delikler arasında tırnak kalmasına ve kötü parçalanmaya neden olmaktadır. Bu değer optimum değerden az olması patlatmanın boğularak genel verimin düşmesine, kötü parçalanmaya, tırnak kalmasına ve arka ayna bozulmasına neden olmaktadır. Her iki durumda da toplam maliyette artış meydana gelmektedir (Koruç, 2010).

Özkahraman (2002) yapmış olduğu atımlarda delikler arası mesafeyi kısaltarak blok parça boyutlarının küçüldüğünü belirlemiştir. Topal vd. (2011) yapmış olduğu çalışmalarda dilim kalınlığının artmasıyla, iri parçaların oluşma olasılığının da daha çok olduğu görülmüştür.

2.2.4 Özgül şarj

Açık ocak patlatmalarında patlatma işlemi öncesi, özgül şarj değerinin doğru olarak tahmin edilmesi patlatma verimi için çok önemlidir. Pratikte özgül şarj değerinin patlatma işlemi öncesi hesaplanması genellikle toplam patlayıcı madde miktarının delik geometrisine göre hesaplanan malzeme hacmine (ortalama delikler arası mesafe

× ortalama dilim kalınlığı × basamak yüksekliği) bölünmesiyle elde edilmektedir (Tosun ve Onur, 2013).

Kılıç (2011) yapmış olduğu atımlarda iri blok oranını yani 80 cm altı malzeme miktarını %0 olarak bulmuş, bütün parametrelerin aynı kaldığı sadece patlayıcı maddenin şarj miktarını %5 oranda azaltarak yaptığı patlatmada ise iri blok oranını yani 80 cm ve üstü malzeme miktarını %5 arttığını tespit etmiştir. Yapılan patlatmalardan özgül şarj miktarının az olduğu patlatmalarda daha çok, özgül şarjın yüksek olduğu patlatmalarda ise daha az miktarda patar oluştuğu gözlemlenmiştir.

2.2.5 Patlayıcı malzemenin cinsi ve ateşleme sistemi

Patlatma verimini ve toplam maliyeti etkileyen en önemli faktörlerden biriside patlayıcı maddenin cinsidir. Patlayıcı maddenin temel karakteristik özellikleri bilinerek yapılan patlatmalar, işletmenin ekonomisi açısından son derece önemlidir. Bayraktaroğlu (2003) patlayıcılarda kırıcı ve ezici türde olanlar toz (ince parça oluşumu) miktarını attırmakta olup, daha koparıcı ve itici türdeki patlayıcıların ise iri parça boyutlarını arttırdığını çalışmalarında göstermiştir.

Bayraktaroğlu (2003) suya direnci bulunmayan ANFO gibi patlayıcılarda su sızması sonucunda, patlayıcı veriminin düşeceğini, duyarlılığının azalacağını ve patlama özelliğinin yok olacağını söylemektedir. Bu patlayıcıların, suya dayanıklı bir malzemeye kaplanmak suretiyle dirençleri artırılabilir. Özellikle sulu olan deliklerde, suya direnci yüksek olduğundan suya direnci yüksek patlayıcılar kullanılmalıdır.

Patlatma uygulamalarının uygun başarıyı yakalayabilmesi için delik geometrisi, patlayıcı madde seçimi ve makine-ekipman kullanımında doğru tercihler yapılması şarttır. Ayrıca ateşleme sistemleri, patlatma operasyonlarının başlangıcını oluşturduğu için bir diğer dikkat edilmesi gereken konudur. Amacına uygun şekilde belirlenmeyen ateşleme sisteminin seçimi, bir atım grubunu tek başına olumsuz yönde etkilemeye yeterlidir (Ercins ve Şensöğüt, 2017).

2.3 Delme-Patlatma Sonrası Oluşan Yığın ile Hidrolik Kırıcı Performansı Arasındaki İlişki

Agrega üretim işletmelerinde, toplam maliyetleri oluşturan kalemler tek tek ele alındığında, en yüksek maliyetin kırma işlemlerinden meydana geldiği görülmüştür. Ayhan (1999) kırıcıya beslenen malzemelerin tane boyutlarının, kırıcı maliyeti ve veriminde önemli ölçüde belirleyici olduğunu belirtmektedir. Daha önce yapılan araştırmalar göstermiştir ki açık işletmelerde yapılan patlatmalarda, belirli koşullarda, oluşan yığının tane boyut dağılımı denetimi, patlatma tasarımının değişkenleri ile sağlanabilir (Tosun, 2013). Tosun vd. (2012) yaptığı araştırmada patlatma sonrasında oluşan yığının ortalama boyut dağılımı ile yığın içinde meydana gelen patar miktarı değerleri arasında da bir ilişkinin olduğunu ortaya koymuş, yığının ortalama boyut dağılımı değeri arttıkça yığın içindeki patar miktarının da arttığı sonucuna ulaşmıştır.

Kayaçların parça boyut dağılımları doğal olarak kırıcıların performanslarını etkilemektedirler. Bu nedenle uygulanan patlatma sistemlerinin planlanması ve verimliliğinin ölçülmesi bu nedenle çok önemlidir. Pekin ve Bayırlı (2015) Patlatma uygulamasındaki verimliliğin, patlatma sonrası meydana gelen yığındaki parça boyut dağılımının belirlenmesiyle de ölçülebileceğini belirtmektedir. Delme patlatma sisteminde uygun patlatma sisteminin seçimi de ikincil kırıcı maliyetini etkilemektedir. Elevation vd. (2003) yapmış olduğu çalışmada galeri atımı üretim şeklinden yamaç işletmesi üretimine geçmiş ve bu üretim de patar oluşturan malzeme oluşmadığından dolayı, ikincil kırma işlemi yapılmamıştır.

Ocaktaki basamak düzeni delme patlatma işlemlerinin düzenli olmamasıyla bozulmakta, patlatma sonrasında meydana gelen parça boyut dağılımlarının homojen olmaması ve büyük parçaların oluşmasıyla nakliye ve yükleme verimleri azalmakta aynı zamanda da kırma giderlerini arttırmaktadır. Topal vd. (2011) delme ve patlatmadaki düzensizlikler sonucu ortaya çıkan büyük parçaların, hidrolik kırıcı ile parçalanması sonucu ek maliyetlerin meydana geldiğini belirtmektedirler.

2.4 Kayaçların Genel Özellikleri

Kayaç kütlelerinin yapısal durum ve özellikleri, patlatma verimliliği ve iş güvenliği açısından önemlidir. Ayhan (1999) laboratuvar ve arazi çalışmaları sonucunda kaya malzemesi ve kütlesi özelliklerinin bilinmesinin tasarım parametreleri ile patlayıcı madde seçiminde büyük faydalar sağlayacağını belirtmektedir.

Optimum tasarlanmış delme ve patlatma işlemleri sonucu meydana gelen yığın yükleme, taşıma, kırma ve eleme çalışmalarının en verimli şekilde oluşturulabildiği parça boyutuyla elde edilebilir. Fakat Pekin ve Bayırlı (2015) süreksizlik sistemlerinin, kayacın farklı mekanik ve fiziksel özelliklerinin delme patlatma tasarımını olumsuz yönde etkileyeceğini belirtmektedirler.

Toprak (2012) kayaçların yoğunluğu arttıkça kazı işleminin zorlandığı, elastisite modülü arttıkça da kırılabilme özelliğinin arttığını çalışmalarında göstermiştir. Bu nedenle kayaçların bütün özellikleri en iyi şekilde incelenmeli, numunelerin daha önceden laboratuvar ortamlarında incelenerek en uygun seçimin yapılması gerekmektedir.

Karaman (2008) yapmış olduğu tez çalışmasında kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri ile delinebilirlik oranları arasında bazı ilişkiler bulmuştur. Kayacın sertliği arttıkça delinebilirlik oranının azaldığı bunda delme patlatma maliyetini arttırdığı sonucuna ulaşmıştır.

Açık maden işletmelerinde patlatma sonrası oluşan yığın dağılımının belirlenmesinde etkili olan kontrol edilebilir ve edilemeyen parametreler mevcuttur. Kontrol edilebilir parametreler patlatma geometrisiyle ilgiliyken, kontrol edilemeyen parametreler tamamen kayacın özellikleri ile ilgilidir. Kayacın jeolojik özellikleri yani içerdiği süreksizlik takımlarının sayısı ve konumu patlatma sonuçlarını etkilemektedir. Kayaç yapılarının ve patlatmaya olan etkilerinin kesin olarak bilinmemesi, kötü bir patlatma olma olasılığını artırır. Hâkim süreksizlik olarak kabul edilen tabakalanma ile ayna birbirine paralel olduğu takdirde, tabaka eğimi de düşük ise genellikle küçük boyutlu parçalardan meydana gelmiş bir yığın oluşumu gözlenecektir. Oluşacak yığının parça boyut dağılımı, patlatma sonrası işlemleri (yükleme-nakliye-kırma)

direkt etkilediğinden patlatma tasarımı yaparken kayacın içerdiği süreksizlikleri de dikkate almak gerekmektedir (Tosun, 2013).

Patlatma sonuçlarını kayaçların özellikleri önemli ölçüde etkilemektedir. Örneğin kil gibi plastik davranış gösteren formasyonlarda kovan oluşma ihtimali yüksektir. Bu gibi durumlarda yıkım enerjisi ve özgül hacmi fazla olan patlayıcılar tercih sebebi olmalıdır. Aynı zamanda dilim kalınlığı ve buna bağlı olarak bazı parametrelerinde dikkatli seçilmesi gerekir. Kayaç masif ve kırılğan ise kayacın kırılmasında patlayıcı malzemelerin daha kuvvetli ve daha çok yüksek ateşleme hızlı olması gerekmektedir. Çok çatlaklı ve mukavemeti düşük kayaçlarda, formasyonun parçalanmış olmasından dolayı; düşük yoğunlukta, düşük patlama hızı olan patlayıcı malzemeler seçilmelidir. Aynı zamanda formasyonun su içeriği de büyük önem taşımaktadır. Toprak (2012) sulu deliklerde kullanılacak patlayıcı malzemelerin sudan etkilenmeyen ve suda çözülmeyen malzemelerin olmasına dikkat edilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

2.5 Görüntü Analizi

Maden üretiminde delme ve patlatma sonrasında parça boyutu analiz çalışmaları; patar sayımları, ekskavatörün yükleme performansı, elek analizleri, dijital görüntü işleme metodu vb. yöntemler kullanılarak yapılabilmektedir. Belirtilen analiz yöntemlerinden olan dijital görüntü işleme metodu, yüksek çözünürlüklü kameraların gelişmesi ile sıklıkla kullanılmaktadır (Kılıç vd., 2017).

Görüntü işleme tekniğiyle parça boyut analizleri yapan pek çok program mevcuttur. Bunlardan başlıcaları Fragscan, Wipfrag, Split Desktop olarak tanımlanmaktadır. Bu programların algoritmalarının geliştirilmesiyle özellikle de madencilik sektöründe bu tür programlar yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bayraktaroğlu (2003), patlatma yapılan yığının %15'lik veya daha az kısmından fotoğraf çekerek bir ızgarayla test etmiştir. Sonuç olarak yapılan testte ortalama parça boyutlarından % 9,6'lık sapma göstermiştir. Görüntü işleme tekniği ile parça boyut dağılımlarının belirlenmesi elek analizine kıyasla daha büyük avantajlara sahiptir. Bunların başında pratik olması ve zaman kaybının olmamasıdır. Patlatma işlemlerinden sonra oluşan yığından sonra çıkan malzeme göz önünde bulundurulursa en kısa zamanda ve en hızlı sonucu veren yöntem parça boyut analizi ve görüntü işleme tekniğidir.

Üretimde herhangi bir aksaklığa sebep olmamaktadır. Maliyet yönünden daha uygun ve daha ucuz bir yöntemdir (Kılıç, 2011).

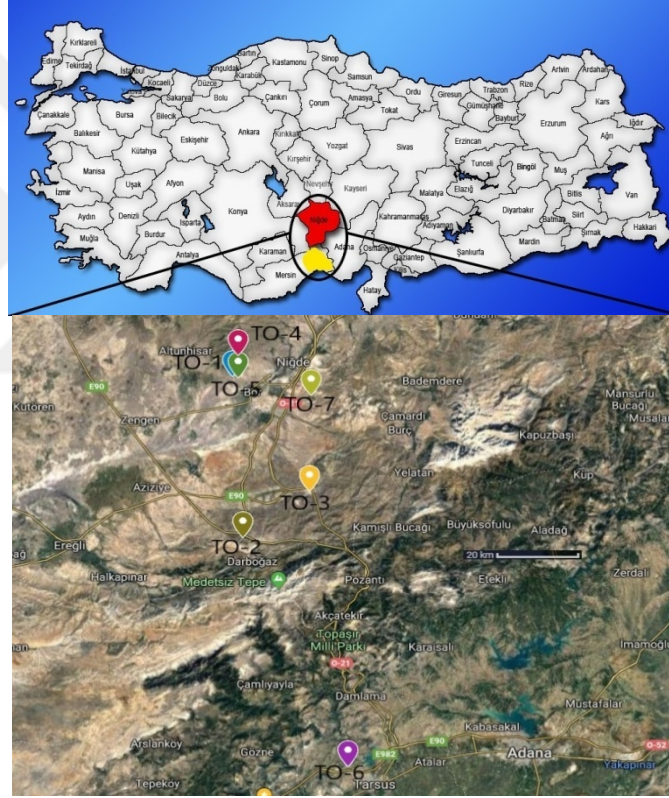
Dijital görüntü işleme yöntemi ile parça boyutu analizi, patlatma sonrası oluşan yığından veya bant konveyörden dijital olarak görüntü alınması, bu görüntünün uygun yazılımla (GoldSize, WipFrag, Split Desktop, ImageJ Programları vb.) analiz edilmesi ve sonucun parça boyut dağılımı grafikleri ile sunulması ilkesine dayanmaktadır (Kılıç vd., 2017).

Karakuş (2006) yaptığı araştırmada patlatmalarda dilim kalınlığı ile patlatma verimi arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Patlatma veriminin değerlendirilmesinde FRAGM görüntü işleme programını kullanmış ve parça boyut dağılımını bu yazılım ile hızlı bir şekilde hesaplayabilmiştir.

3. GENEL BİLGİLER

3.1 Taş Ocakları

Tez çalışmaları halen faaliyette bulunan yedi işletmeye ait yedi taş ocağında yürütülmüştür. Arazi çalışmaları 1 saha Mersin ili Tarsus ilçesinde 6 saha ise Niğde il sınırları içinde yapılmıştır. Bu işletmelerin konumlarını gösterir uydu görüntüleri Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Taş ocaklarının konumunu gösteren Google uydu görüntüsü.

3.1.1 TO-1 kodlu işletme

TO-1 işletmesi Bor-Altunhisar yolu 5. km’sinde yer almaktadır (Şekil 3.2). İşletmede günde bir vardiya ile toplamda 38 işçi çalışmaktadır. Delme-patlatma ile üretimi yapılan andezit ekskavatör ile kamyonlara yüklenerek çeneli kırıcılar ile boyutları küçültülmektedir. İşletme günde yaklaşık olarak 1.600 m^3 malzeme üretmektedir.

Üretilen malzeme demiryolu balast malzemesi, asfalt agregası olarak alt yapılarda ve hazır betonlarda kullanılmaktadır.



Şekil 3.2. Araştırma çalışmasının yapıldığı TO-1 kodlu işletme.

3.1.2 TO-2 kodlu işletme

TO-2 işletmesi Aksaray-Adana yolu üzeri 9. km'sinde bulunmaktadır (Şekil 3.3). İşletmede günde bir vardiya ile toplamda 13 işçi çalışmaktadır. Delme-patlatma ile üretimi yapılan alçıtaşı ekskavatör ile kamyonlara yüklenerak çeneli kırıcılar ile boyutları küçültülmektedir. İşletme günde yaklaşık olarak 875 m³ malzeme üretmektedir. Üretilen malzeme endüstriyel hammadde olarak fabrikalarda işlenmektedir.



Şekil 3.3. Araştırma çalışmasının yapıldığı TO-2 kodlu işletme.

3.1.3 TO-3 kodlu işletme

TO-3 işletmesi Niğde ili Ulukışla ilçesi Başmakçı köyü mevkiinde faaliyet göstermektedir (Şekil 3.4). Delme-patlatma ile üretimi yapılan kireçtaşı ekskavatör ile kamyonlara yüklenerak çeneli kırıcılar ile boyutları küçültölmektedir. İşletme günde yaklaşık olarak 2.500 m³ malzeme üretmektedir. İşletmede günde iki vardiya ile toplamda 21 işçi çalışmaktadır. Üretilen malzeme çimento yapımında kullanılmaktadır.



Şekil 3.4. Araştırma çalışmasının yapıldığı TO-3 kodlu işletme.

3.1.4 TO-4 kodlu işletme

TO-4 işletmesi Niğde ili Bor ilçesi Fesleğen köyü mevkiinde faaliyet göstermektedir (Şekil 3.5). İşletmede günde bir vardiya ile 16 işçi çalışmaktadır. İşletmede delme-patlatma verimini etkileyen parametreler üzerinde çalışılmadığı ve bu nedenle verimli patlatma yapılamadığından iri patarlarla yoğun olarak karşılaşölmektedir. Bu patarlar hidrolik kırıcı ile parçalanmaktadır. Ancak bu patarlama; akaryakıt, işçilik, makine yedek parça gibi masraflarla maliyeti arttırmaktadır. Delme-patlatma ile üretimi yapılan bazalt ekskavatör ile kamyonlara yüklenerak çeneli kırıcılar ile boyutları küçöültölmektedir. İşletme günde yaklaşık olarak 1.600 m³ malzeme üretmektedir. Üretilen malzeme demiryolu balast malzemesi, asfalt agregası olarak alt yapılarda ve hazır betonlarda kullanılmaktadır.



Şekil 3.5. Araştırma çalışmasının yapıldığı TO-4 kodlu işletme.

3.1.5 TO-5 kodu işletme

TO-5 işletmesi Bor-Altunhisar yolu 5. km'sinde yer almaktadır ve TO-1 işletmesi ile komşu bulunmaktadır (Şekil 3.6). İşletmede günde bir vardiya ile 18 işçi çalışmaktadır. Delme-patlatma ile üretimi yapılan andezit ekskavatör ile kamyonlara yüklenerek çeneli kırıcılar ile boyutları küçültülmektedir. İşletme günde yaklaşık olarak 2.000 m³ malzeme üretmektedir. Üretilen malzeme asfalt agregası olarak alt yapılarda kullanılmaktadır.



Şekil 3.6. Araştırma çalışmasının yapıldığı TO-5 kodlu işletme.

3.1.6 TO-6 kodlu işletme

TO-6 kodlu işletmesi Mersin ili Tarsus ilçesine 15 km uzaklıktadır (Şekil 3.7). İşletmede 35 kişi firma bünyesinde olmak üzere toplamda 48 işçi ile günde bir vardiya olarak çalışılmaktadır. Delme-patlatma ile üretimi yapılan kireçtaşı ekskavatör ile kamyonlara yüklenerek çeneli kırıcılar ile boyutları küçültülmektedir. İşletme günde yaklaşık olarak 1.000 m³ malzeme üretmektedir. Üretilen malzeme çimento yapımında kullanılmaktadır.



Şekil 3.7. Araştırma çalışmasının yapıldığı TO-6 kodlu işletme.

3.1.7 TO-7 kodlu işletme

TO-7 işletmesi Niğde ilinin Sazlıca kasabasında faaliyet göstermektedir (Şekil 3.8). Delme-patlatma ile üretimi yapılan kalsit ekskavatör ile kamyonlara yüklenerek çeneli kırıcılar ile boyutları küçültülmektedir. Daha sonra üretilen malzeme işletmenin yakınında bulunan mikronize kalsit fabrikasında işlenmektedir. İşletme günde yaklaşık olarak 2.500 m³ malzeme üretmektedir. İşletmede günde bir vardiya ile fabrikadaki işçiler de dâhil toplam 60 işçi çalışmaktadır.



Şekil 3.8. Araştırma çalışmasının yapıldığı TO-7 kodlu işletme.

3.2 Hidrolik Kırıcılar

Paletli ekskavatör ve hidrolik kırıcı kullanımı madencilik sektörü ve inşaat sektöründe önemli yer tutmaktadır. Ekskavatör ve hidrolik kırıcılar birbiri ile kombineli olarak çalışarak taş ocaklarında üretim ve hazırlık aşamalarında kazıcı, yükleyici ve kırıcı görevi yapmaktadırlar. Üzerinde bulunan paletler sayesinde yere sağlam tutunması ve bozuk zeminli arazilerde kolayca çalışabilmesi avantaj iken, hareket mesafesinin yavaş olması dezavantajdır (Şekil 3.9-3.10).



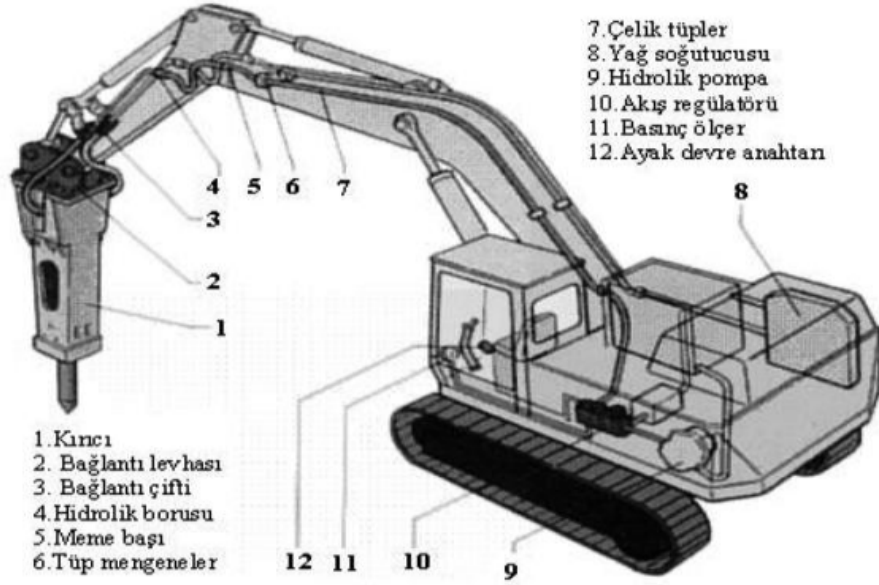
Şekil 3.9. Paletli ekskavatör.



Şekil 3.10. Paletli hidrolik kırıcı.

Kayaçların özelliği (sert veya kırılğan oluşu) küçültme performansında önemli rol oynamaktadır. Kırılğan yapıya sahip kayaç türleri, sert olanlara göre, hidrolik kırıcı ile daha kolay kırılabilmektedir. Küçültme işlemleri doğrudan tek vuruş enerjisine bağlı olduğundan, yeterli ve istenilen özellikte bir kırıcının seçilmesi çok önemlidir. Eğer kırıcıların darbe enerjileri yeterli gelmiyorsa, vuruş sayısının kayaçların kırılmasına herhangi bir etkisi olmayacağından, yüksek darbe frekansı önemini yitirmektedir. Çevre kayacın yapısı ve türü, çıkartılacak malzeme ve bunun hacmi gibi konular bu işlemlerin sadece çok küçük bir kısmını oluşturmaktadır. Buradaki en önemli faktörler; ekipman, arazi yapısı ve mevcut personellerdir. Ayrıca, kırıcılı ekskavatörün daha güvenilir şartlarda çalışabilmesini temin etmek amacıyla, taş ocaklarının daha alçak basamaklarda inşa edilmesi önerilmektedir (URL-1).

Hidrolik kırıcıların çalışması esnasında blok malzeme üzerine aynı noktada 15 saniyeden fazla çalıştırılmamalıdır. Hidrolik kırıcı çalışma sırasında boşa vurdurulmamalı ve hidrolik kırıcı ucunun çevresinin iki üç saatte bir yağlanması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında patar işleminde kullanılan hidrolik kırıcılara ait bilgiler verilmiştir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Hidrolik kırıcı ve elemanları (Imanbekov, 2012).

Şekil 3.11’de anlaşıldığı gibi kırıcı uç ile piston arasında darbe enerjisi iletimini sağlayan bir yağ yastığı vardır. Bu yastık, kırıcı uçta meydana gelen aşırı stres birikmelerini önleyerek yüksek darbe hızlarının oluşmasını sağlar. Pistonda oluşan kinetik enerjiyi yağda gerinim enerjisine dönüşümünü sağlar, yağda basınç yükselmesini sağlar ve kırıcı uç ileriye doğru hareket ederken oluşan basıncı tekrar kinetik enerjiye dönüştürür. Eski bir teknoloji olan pnömatik kırıcı makinelerinde darbe enerjisi piston ağırlığının iki katı iken, bu oran elde edilen yüksek hızlar sayesinde hidrolik kırıcılarda 8 katına kadar yükselmiştir. Bu nedenle hidrolik kırıcılar, pnömatik kırıcılara göre 20 kat daha güçlü olabilmektedir (Imanbekov, 2012).

4. MALZEME VE YÖNTEM

4.1 Arazi Çalışmaları

Arazi çalışmaları kapsamında Niğde ili bölgesinde 6 işletme ve Mersin ili Tarsus ilçesinde 1 işletme olmak üzere toplam 7 işletme sahasında araştırmalar yapılmıştır. Delme-patlama verimini belirleyebilmek için bazı parametrelerin patlatma öncesinde ve sonrasında kayıt altına alınması gerekmektedir. Patlatma yapılacak sahada patlatma öncesi delicinin, delikleri toplam kaç dakikada deldiği, delik sayısı, delik çapı, basamak yüksekliği, dilim kalınlığı, delikler arası mesafe, delik boyu, sıkılama boyu, kullanılan patlayıcı madde miktarı ve cinsi gibi delme-patlama verimini etkileyen parametreler kayıt altına alınmıştır. Patlatma yapıldıktan yaklaşık 2 saat sonra yığının boyut dağılımını belirlemek için dijital fotoğraf makinesi ile yığının koşullara uygun açılardan fotoğrafları çekilmiştir. Daha sonra patlatılan malzemeden çıkan patarlar hidrolik kırıcı ile kaç dakikada kırıldığı saat tutularak veriler kaydedilmiştir. 7 işletme sahasında çalışma kapsamında değerlendirilen toplamda 13 patlatma yapılmış olup kayıt altına alınan tüm verilerin bilgileri Çizelge 4.1 de gösterilmiştir.

4.2 Görüntü İşleme Tekniği

Bu tez kapsamında ortalama parça boyut analizi günümüz teknolojisinin yardımıyla çok verimli sonuçlar veren dijital görüntü işleme metoduyla yapılmıştır. Bu yöntem ile üretimin aksatılmadan analizlerin yapılmasından dolayı çok fazla tercih edilmektedir (Akyıldız, 2015). Bütün analizler İmage Pro Plus programı kullanılarak yapılmıştır. Bu program dünya çapında binlerce araştırmacı tarafından kullanılmaktadır. Kullanımı kolay alanlar, uzunluklar, yuvarlaklık, ana ve küçük eksenler, açılar ve delikler gibi ellinin üzerinde manüel ve otomatik olarak nesneleri karakterize eder. Bu program dijital fotoğraf ve video görüntüleri üzerinden çalışmaktadır. Program dijital fotoğraftaki parçaları sahip olduğu algoritmayla otomatik olarak belirleyerek herhangi bir ölçüm parametresine dayanarak belirler.

Çizelge 4.1. Taş ocakları için delme–patlatma parametreleri.

Taş Ocağı Kodu	TO1	TO2	TO3			TO4	
Patlatma Sayısı	1	1	1	2	3	1	2
Delik Sayısı	132	25	70	90	30	44	50
Delik Çapı (mm)	89	89	89	89	89	89	89
Delik Boyu (m)	7	16	15	10	13	21	17
Sıkılama Boyu (m)	2	3	3	2	3	3	3
Şarj Kolon Boyu (m)	5	13	12	8	10	18	14
Dilim Kalınlığı (m)	3	3	2,7	2,7	2,7	3	3
Delikler Arası Mesafe (m)	3	3,5	3	3	3	3	3
ANFO Miktarı (kg)	3.300	1.540	4.200	3.600	1.500	4.200	3.125
Dinamit Miktarı (kg)	66	25	35	45	15	44	25
Eğim Açısı (°)	85	85	85	85	85	85	85
Delik Delme Süresi (dk)	3.300	1.200	2.100	1.800	780	3.619	3.393
Hidrolik Kırıcı Çalışma Süresi (dk)	1.750	214	2.000	1.800	950	1.800	3.000

Çizelge 4.1 (Devam). Taş ocakları için delme–patlatma parametreleri.

Taş Ocağı Kodu	TO-5		TO-6			TO-7
Patlatma Sayısı	1	2	1	2	3	1
Delik Sayısı	100	106	59	32	9	67
Delik Çapı (mm)	89	89	89	89	89	89
Delik Boyu (m)	11	11	7	9	11	11
Sıkılama Boyu (m)	3	3	3	3	3	3
Şarj Kolon Boyu (m)	8	8	4	6	8	8
Dilim Kalınlığı (m)	3	3	3	3	3,5	3
Delikler Arası Mesafe (m)	3	3	4,8	3,5	4	3
ANFO Miktarı (kg)	3.350	3.360	1.180	960	360	3.015
Dinamit Miktarı (kg)	50	106	59	32	13,5	33,5
Eğim Açısı (°)	85	85	85	85	85	85
Delik Delme Süresi (dk)	4.000	4.346	236	144	38	1.206
Hidrolik Kırıcı Çalışma Süresi (dk)	3.000	2.600	139	271	18	773

İmage Pro Plus programı, görüntünün bilgisayara yüklenmesinden sonra içerisindeki algoritma yoluyla parçaların sınırlarını belirleyerek bir ağ oluşturmaktadır. Oluşabilecek muhtemel hatalar, kullanıcının oluşan bu ağa müdahale etmesi sonucu düzeltilir. Yine aynı şekilde programın otomatik olarak oluşturduğu ağ ile gerçek fotoğraf arasındaki farklılıklar kullanıcı tarafından düzeltilebilir. Bu yazılımın kullanılmasındaki en büyük avantaj hızlı ve ucuz bir yöntem olmasıdır.

4.2.1 Fotoğraflama tekniği

Dijital görüntü işleme tekniğinde kullanılacak olan fotoğraflar dikkatli ve titiz bir şekilde çekilmelidir. Görüntü analizinde kullanılacak fotoğrafın kalitesi yüksek olması gerektiğinden fotoğraf çekilmeden önce ayarları kontrol edilmelidir. Fotoğraflar yığma dik bir şekilde çekilmeli ve yazılımın en iyi sonucu vermesi için, yığının dik olacak şekilde ışık alması gerekeceğinden öğle vaktinde açık ve bulutlu olmayan bir havada fotoğraflanması gerekmektedir. Fotoğraflama yapılırken kamera ayarları yapılmazsa, gölge düşürecek derecede bulutlu havada veya yeterince ışık olmadan fotoğraflanırsa görüntüde karışıklık meydana gelir buda yazılım tarafından yanlış yorumlanarak sonuçları önemli ölçüde etkilemektedir.

4.2.2 Fotoğrafların ölçeklenmesi

Yığın üzerindeki boyut dağılımının belirlenmesi amacıyla boyutu belli olan bir cismin yığın üzerine konulması gerekmektedir. Yerleştirilen cismin ölçek boyutu analiz aşamasında programa girilerek bu uzunluk sayesinde program yığındaki diğer parçaların da boyutunu hesaplayacaktır. Fotoğrafların ölçeklendirmesi yapılırken yığın içinde her yönden kolaylıkla görülebilmesini sağlayacak top gibi yuvarlak cisimler kullanılmalıdır. Fotoğraflama yapılırken mümkün olduğunca aynı ölçek ile çok fazla sayıda fotoğraf alınmalıdır. Fotoğraflama yapılırken kameranın ölçeğe olan uzaklığı aynı olmalıdır. Fotoğraflar kontrol edildikten sonra yazılımın birleştirme özelliği kullanılarak tüm veriler tek bir dosyada birleştirilir ve tüm yığın için yapılan analiz sonuçları belirlenir.

4.3 Laboratuvar Deneyleri

Sahada yapılan delme-patlatma sonucu parçalanan kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla laboratuvar çalışmaları yapılmıştır. Kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerini belirleyebilmek amacıyla Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü'nün Kaya Mekaniği laboratuvarı kullanılmıştır.

Kaya mekaniği deneylerinden istenen sonuçların elde edilebilmesi, ancak standartlara uygun deney numuneleri hazırlanmasına ve deneyler yapılmasına bağlıdır. Laboratuvara alınan kayalar blok halinde olabileceği gibi, karot halinde de olabilmektedir. Blok halinde olan kayalardan karot alınabilmesi için, laboratuvarında bazı ekipmanların bulunması gerekir. Bu ekipmanlar; karot alma makinesi, karot kesme makinesi ve karot yüzey düzeltme makinesi olarak sıralanabilir. Karot alma makinesinden, deney numunelerinin kaya bloklarından alınması gerektiğinde faydalanılır. Bu makineye farklı çaplarda karotiyerler takılarak, farklı çaplarda karotlar elde edilir. Karot kesme makinesi, bloktan alınan karotlardan standartlara uygun ebatta deney numuneleri hazırlanması amacıyla kullanılır. Karot düzeltme makinesi de deney numunelerinin üst ve alt yüzeylerinin düzgün olması için kullanılır (Aras, 2009).

- Karot Alma Makinesi: Kayaç bloklarından silindirik numune almak için kullanılır. Farklı ebat ve çaptaki karotiyerler makineye takılarak kayaçtan istenilen çapta örnek alınabilir. Bu işlem sırasında karotiyerin soğutulması için devamlı olarak su akışı sağlanmaktadır.
- Karot Düzleme Makinesi: Daha önceden karot alma makinesi ile alınan numunenin, kesici disk yardımıyla istenilen uzunlukta kesme ve kesilen yüzeyleri düzeltme işlemi yapmaktadır. Toz oluşumunu önleme ve soğutmayı sağlamak amacıyla su akışı sağlanmaktadır.

4.3.1 Yoğunluk (birim hacim ağırlık) tayini

Bu deney, karot örneklerinin kütle olarak (gözenekleri de dâhil) birim hacim ağırlığının belirlenmesi amacıyla yapılır. Bu deneyde kullanılan araç ve gereçler; ölçüm kumpası (0,1 mm hassasiyetinde), fırın (105 ± 5 °C kapasiteli) ve terazi (0,1 gr

hassasiyetinde)'dir. Öncelikle, silindirik deney numunesinin boyu ve çapı, kumpas ile iki ayrı yönde birbirine dik olacak şekilde ölçülür daha sonra bu değerlerin ortalaması alınır. Bulunan çap ve boy değerleri kullanılarak numunenin hacmi hesaplanır. Numune hassas terazi ile tartılarak ağırlığı belirlenir. Numunenin kuru yoğunluğu ve birim hacim ağırlığı belirlenecek ise, örnek 105°C'li fırında en az 12 saat kurutulduktan sonra tartılmalıdır.

Silindir şeklindeki karot numuneleri için çap ve boy değerleri, prizma şeklindeki numuneler için de üç farklı yönden ölçülmüş değerler kullanılarak numunelerin hacimleri hesaplanır, numunelerin ağırlıkları ise hassas terazi kullanılarak hesaplanır. Daha sonra eşitlik (4.1) kullanılarak kayaçların yoğunlukları hesaplanmıştır. Bu deney için ISRM (2007) tarafından önerilen yöntem esas alınmıştır.

$$\delta = \frac{M}{V} \quad (4.1)$$

Burada;

δ : Yoğunluk, gr/cm³

M: Ağırlık, gr

V: Hacim, cm³.

4.3.2 Schmidt çekici kaya sertlik deneyi

Kaya sertliğinin belirlenmesinde Schmidt çekicinin kullanımı basitliği, hızlılığı, kaya maddesine zarar vermemesi ve portatif olmasından dolayı giderek artmaktadır. Schmidt çekicinin farklı darbe enerjisi olan L (0,735 Nm) ve N (2,207 Nm) tipleri bulunmaktadır. Laboratuvarda, karot numuneleri ve sağlam kaya blokları üzerinde bu deney gerçekleştirilebilmektedir (Aras, 2009).

Schmidt çekici deneyinde farklı uygulamalar olup, bunlar aşağıda sıralanmıştır (Çomaklı, 2010).

- Bir noktada 10 vuruş yapılır ve en yükseği alınır.
- Birbirine yakın 5 noktada 1'er vuruş yapılır ve en yüksek 3 değerlerin ortalaması alınır.

- 25 mm'den yakın olmamak şartıyla bir alanda 15 ayrı vuruş yapılır ve en yüksek 10 değerin ortalaması alınır.
- 100 mm² alanda 10 ayrı vuruş yapılır ve ortalamadan ± 5 sapan değerler atıldıktan sonra kalan değerlerin ortalaması alınır.
- 9 ile 25 arasında yapılan vuruşların ortalaması alınır.
- Bir nokta üzerinde üst üste 5 vuruş yapılır ve en yüksek değer alınır.
- Bir noktada 35 vuruş yapılır ve en düşük 10 değer atıldıktan sonra 25 değerin ortalaması alınır.
- Farklı noktalarda 20 vuruş yapılır ve en yüksek 10 değerin ortalaması alınır.

Schmidt çekici kayaçların sertliğini ölçmek için kullanılır. Deney sırasında Schmidt çekici, kayanın yüzeyine dik tutulmalı ve çekiç darbe yapıncaya kadar baskı uygulanmalıdır. Çekiç darbe yaptıktan sonra, üzerinde yer alan göstergeden sertlik değeri okunur.

4.3.3 Görünür porozite ve boşluk oranı tayini

Bu deney düzenli bir geometriye sahip olan kayaç numunelerinde görünür gözeneklilik (porozite) ve boşluk oranının belirlenmesi amacıyla yapılır. Bu deneyde cam beher, saf su, kumpas (0,1 mm hassasiyetli), fırın (105 ± 5 °C kapasiteli), desikatör ve kağıt havlu kullanılmaktadır.

Deney öncesi kaya türünü temsil edebilecek en az üç adet silindirik numunenin boyu ve çapı kumpas ile birbirine dik iki ayrı yönden ölçülerek ortalaması alınır. Numuneler, sıcaklığı 105 °C olan fırında en az 12 saat kurutulur ve havadan nem almaması için desikatörde soğuması için 30 dakika tutulduktan sonra hassas terazi ile tartılarak ağırlıkları belirlenir.

Örnek daha sonra, saf su dolu bir beherin içinde 48 saat bekletilir veya bir vakum altında en az 1 saat süreyle suya doygun hale getirilerek kağıt havlu ile yüzeyi kurulanır ve hassas terazi ile tartılarak doygun ağırlığı belirlenir. Aşağıdaki eşitlikler kullanılarak görünür gözeneklilik ve boşluk oranı belirlenir.

$$V_v = \frac{W_s - W_d}{\rho_w} \quad (4.2)$$

$$n = \frac{V_v}{V} \quad (4.3)$$

$$e = \frac{n}{n-100} \quad (4.4)$$

Burada;

V_v : Boşluk hacmi, cm^3

n : Görünür gözeneklilik (Porozite)

e : Boşluk oranı

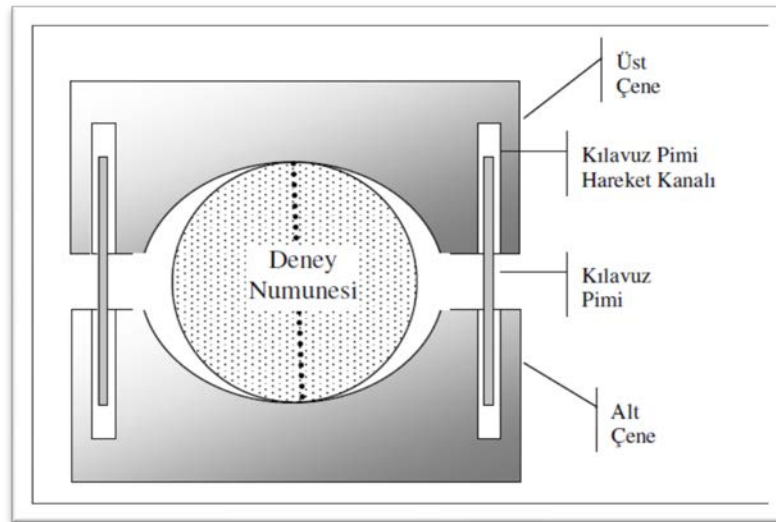
W_d : Kuru ağırlık, gr

W_s : Doygun ağırlık, gr

ρ_w : Su Yoğunluğu, gr/cm^3 .

4.3.4 Brazilian (dolaylı çekme) dayanımı deneyi

Bu deney, çapsal yükleme altında çekilme dayanımlarının dolaylı yoldan tayini amacıyla disk şeklinde hazırlanmış örnek numuneler üzerinde yapılır. Hazırlanmış numunenin çap olarak birbirine karşı zıt konumlu yüzeylerine temas eden, metalden imal edilmiş yükleme çenelerinden ve kılavuz saplamalardan oluşan sistem kullanılır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Brazilian deney numunesi ve yükleme çeneleri (Çomaklı, 2010).

Deney için yükleme çeneleri (çenelerin yarıçapları örnek yarıçapının en az 1,5 katı olmalı), ölçüm kumpası (0,1 mm hassasiyetli) ve yükleme presi kullanılır. Deneyde boy/çap oranı 0,5-1,0 arasında olacak şekilde (bu oranın 1'e yakın olması tercih edilmelidir), sağlam ve çatlaksız karot numunelerinden kesilerek disk şeklinde deney numuneleri hazırlanır. Numunenin boyu ve çapı kumpas ile birbirine dik ve iki farklı yönden ölçülerek değerlerin ortalaması alınır. Boy kısmı yükleme çenelerinin arasında kalacak şekilde, numune yükleme başlığının altına konan çenelerin arasına yerleştirilir. Yenilme yükü 15-30 dakika arasında olacak şekilde numune sabit bir hızla devamlı yüklenir. Numunenin yenildiği andaki yük pres göstergesinden okunur ve çekilme dayanımı eşitlik (4.5) formülü kullanılarak hesaplanır.

$$\sigma_c = \frac{0.636 * P}{D * t} * 10^{-3} \quad (4.5)$$

Burada;

σ_c : Numunenin çekme dayanımı, MPa

P: Numunenin yenildiği anki yük değeri, kN

D: Numunenin çapı, mm

t: Numunenin kalınlığı, mm.

4.3.5 Tek eksenli basma dayanımı deneyi

Bu deney, kaya mekaniğinde çok önemli bir sınıflama ve tasarım parametresi olan tek eksenli basma dayanımının belirlenmesi amacıyla yapılmaktadır. Bu deneyde, düzgün geometrik biçime (silindirik karot veya prizmatik) sahip olan kaya maddesinin sabit hızda ve sürekli olarak düşey ve tek eksenli uygulanan yük altındaki dayanımı belirlenmektedir. Mohammadian Balkabad (2015) deneydeki amacın kırılmadan önceki prizmatik veya silindirik karot şeklinde hazırlanan örneklerin, tek eksenli ve düşey olarak uygulanan yükler altındaki dayanım sınırını belirlemek olduğunu söylemektedir.

Deneyde uzunluk/çap oranı 2,5-3,0 arasında olacak şekilde hazır hale getirilmiş, alt ve üst yüzeyleri düzgün birbirine paralel, yan yüzeyleri ise pürüzsüz, düz ve herhangi bir çatlak ve kırık içermeyen karot numuneleri kullanılır. Deney, numune üzerine düşey yük uygulayan ve göstergesi olan bir hidrolik pres kullanılarak ve sürekli

olarak 0,5-1,0 MPa/sn sabit gerilme hızıyla gerçekleştirilir ve numunenin kırılma yükü kaydedilir. Numunenin tek eksenli basma dayanımı, Eşitlik (4.6) kullanılarak hesaplanır.

$$\sigma_c = \frac{F}{A} \quad (4.6)$$

Burada;

σ_c : Tek eksenli basma dayanımını (MPa),

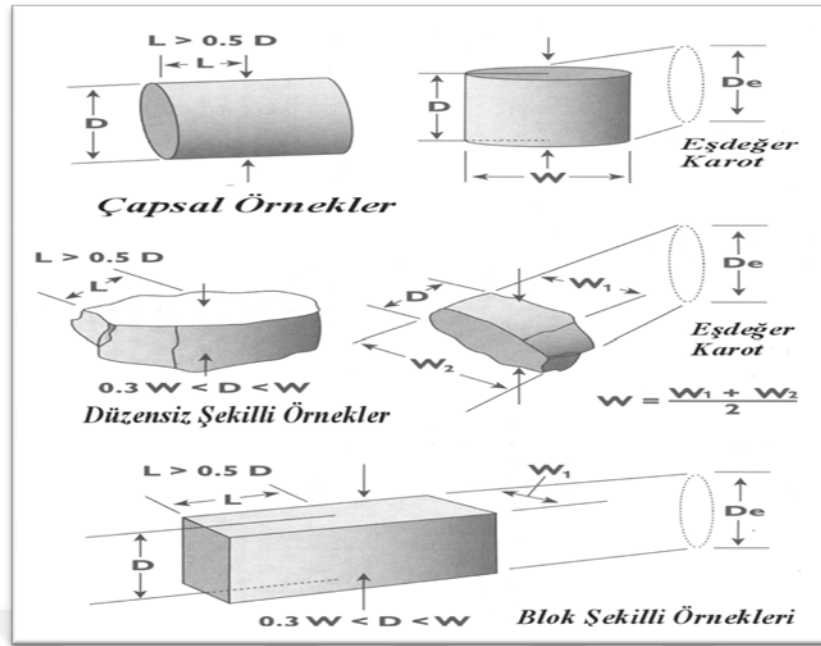
F: Kırılma yükünü (MN),

A: Karotun yüzey alanını (m²) göstermektedir.

4.3.6 Nokta yükleme dayanım indeksi deneyi

Nokta yük deneyi ilk olarak Protodyakonov tarafından muntazam olmayan kayaç parçalarının mukavemetlerinin tayininde kullanılmıştır. Bu deneyin geliştirilmesindeki en önemli amaç numunenin hazırlanmasında sarf edilen işçiliği büyük ölçüde azaltmaktır (İphar, 1996). Bu deney, kaya maddesinin dayanım sınıflaması için kullanılan bir indeks deneyidir. Deneyden elde edilen sonuçların kullanılmasıyla, dolaylı olarak kaya maddesinin tek eksenli basınç ve çekme dayanımları da hesaplanabilmektedir.

Nokta yükleme dayanımı deneyinde kullanılabilecek numuneler, karot şeklinde (çap deneyi ve eksenel deney) olabileceği gibi, bloklar ya da düzgün olmayan parçalar da olabilmektedir (Şekil 4.2). Çap deneyinde uzunluk/çap oranı 1'den büyük numuneler, eksenel deneylerde ise 0,3-1,0 arasında olan numuneler kullanılır.



Şekil 4.2. Nokta yük dayanım indeksi deneyi için örnek şekilleri (Çomaklı, 2010).

Deneyde, düşey yük uygulayan ve göstergesi olan bir yükleme sistemi kullanılarak konik platinlerin aracılığıyla numunenin kırılması sağlanır. Numunenin nokta yükleme dayanımı, Eşitlik (4.7) kullanılarak hesaplanır.

$$I_s = \frac{F}{D_e^2} \quad (4.7)$$

Burada;

I_s : Düzeltilmemiş nokta yükleme dayanımını (MPa),

F: Kırılma yükünü (N),

D_e : Eşdeğer karot çapını (mm) göstermektedir.

4.4 Numune Hazırlama

Numune alma işlemi, arazi çalışmaları süresi boyunca ocaklardan elde edilen çeşitli büyüklüklerde blok örnekleri üzerinde yapılmıştır. Yedi farklı ocaktan 13 patlatma sonrası alınan 40 adet bloktan, farklı çaplarda karotiyerler kullanılarak karot numuneler alınmıştır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Karot alma makinesi ile karot alma işlemi.

Alınan karotlar karot kesme makinesi ile önce bir tarafı, daha sonra hangi boyda numune alınmak isteniyorsa kumpasla dikkatlice ölçülerek diğer tarafı kesilerek düzeltilmiştir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Karot kesme makinesi.

Farklı bölgelerden alınmış ve alındığı yerlere göre numaralandırılmış toplamda 13 farklı grup olmak üzere 162 adet numune elde edilmiştir. Bu işlemler tamamlandıktan sonra numuneler numaralandırılarak deneylere hazır hale getirilmiştir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Deneyler için hazırlanmış numuneler.

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

5.1 Kayaçların Fiziksel Özellikleri

5.1.1 Kuru yoğunluk

Numunelerin kuru yoğunluklarının belirlenmesi amacıyla blok numunelerden düzenli bir geometriye sahip karot numuneler alınmış ve alınan bu numunelerin hacimleri hesaplanmıştır. Hacimleri hesaplanan numuneler daha sonra etüvde 105 °C sıcaklıkta bir gün bekletildikten sonra 0,01 duyarlılıkta olan hassas terazi ile kuru ağırlıkları belirlenmiştir (Şekil 5.1). Hesaplanan kuru ağırlık değerlerinin hacim miktarlarına bölünmesiyle kuru yoğunlukları bulunmuştur. Hesaplanan yoğunluk değerleri Çizelge 5.1’de geniş bilgi ise (Ek-A)’da verilmiştir.



Şekil 5.1. Hassas terazi ile numune ağırlığının belirlenmesi.

5.1.2 Görünür porozite ve boşluk oranı

Görünür porozite ve boşluk oranı tayini için örnekler ilk önce 24 saat boyunca 105 °C etüvde bekletilmiştir (Şekil 5.2). Numuneler etüvde kurutulduktan sonra kuru ağırlıkları hassas terazi ile tartılmıştır. Kuru ağırlıkları belirlenen numuneler daha sonra içi su ile doldurulmuş bir kaptan 48 saat bekletildikten sonra hassas teraziyle yağ

ağırlıkları tartılmıştır. Bu işlemler sonucunda görünür porozite ve boşluk oranı değerleri belirlenmiştir. Hesaplanan ortalama değerleri Çizelge 5.1’de geniş bilgi ise (Ek-B)’de verilmiştir.



Şekil 5.2. Numunelerin etüvde kurutulma işlemi.

5.2 Kayaçların Mekanik Özellikleri

5.2.1 Brazilian çekme deneyi

Bu deney ISRM (2007)’ye göre hazırlanmış karot numunelerinin (Şekil 5.3) çapsal yükleme altında çekme dayanımlarını dolaylı yoldan belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Deneyler çapı 38 mm-41mm, boyu ise 25 mm-29 mm karot numuneler kullanılarak yapılmıştır. Örnek, yan yüzeyleri yükleme çenelerinin arasında kalacak biçimde deney düzeneğine yerleştirilmiştir (Şekil 5.4). Yükleyci olarak nokta yük aleti kullanılmıştır. Örnekler 10-40 saniyede kırılacak şekilde bir hızla yüklenmiştir (Şekil 5.5). Deneye 200 N/sn yükleme hızı uygulanarak numuneler test edilmiştir (Şekil 5.6). Deney sonucunda bulunan değerlerin ortalaması Çizelge 5.1’de, geniş bilgi ise (Ek-C)’de verilmiştir.



Şekil 5.3. Brazilian deneyi için hazırlanmış numuneler.



Şekil 5.4. Brazilian deneyinde çeneler arasına yerleştirilen numune.



Şekil 5.5. Brazilian (dolaylı çekme) deney aleti.



Şekil 5.6. Brazilian deneyinde kırılan numuneler.

5.2.2 Nokta yükü indeks deneyi

Bu deney, çapı 41 mm, boyu ise 25 mm olan karot numuneleri kullanılarak yapılmıştır (Şekil 5.7). Çapsal olarak yapılan bu deneyde numuneler 10-60 saniye aralığında bir hızla yüklenmiştir. Deneyde 200 N/sn yükleme hızı uygulanarak numuneler test edilmiştir (Şekil 5.8). Deney sonucunda bulunan değerlerin ortalaması Çizelge 5.1’de, geniş bilgi ise (Ek-D)’de verilmiştir.



Şekil 5.7. Nokta yükü indeks deneyi yapılan numuneler.



Şekil 5.8. Nokta yükü indeks deneyinde kırılan numuneler.

5.2.3 Schmidt sertlik deneyi

Deneyler, karot numuneler almak için araziden toplanan aynı blok numuneler üzerinde (Şekil 5.9) N-tipi Proceq Silver Schmidt markalı çekiç (Şekil 5.10) kullanılarak yapılmıştır. Schmidt çekici, bloklar üzerine dik olacak şekilde yavaşça bastırılmış ve çekicinin içinde bulunan yaydan geri tepme sesi geldiği anda çekicinin üzerinde bulunan gösterge panelinden değerler okunmuştur. Her blok numune üzerinde 10 farklı noktada yapılan okumaların ortalamaları alınmış ve bu işlem beş kez tekrarlanmıştır. Deney sonucunda bulunan Schmidt çekici sertlik değerlerinin ortalaması Çizelge 5.1’de, geniş bilgi ise (Ek-E)’de verilmiştir.



Şekil 5.9. Schmidt çekici deneyi için blok numuneler.



Şekil 5.10. Schmidt çekici deney aleti (N-tipi).

5.2.4 Tek eksenli basınç dayanım deneyi

Deney, çapı 38 mm-42 mm ve boyu 107 mm olan karot örnekleri kullanılarak (Şekil 5.11) 200 tonluk preste yapılmıştır (Şekil 5.12). Yapılan deneyde yükleme hızı 100 kg/sn olacak şekilde uygulanmıştır. Uygulanan hız ayarlama düğmesi yardımıyla deney boyunca sabit olacak şekilde ayarlanmıştır. Daha sonra yükleme işlemi başlatılarak deney aşamasına geçilmiştir. Yüklenen numune yenildiği an (Şekil 5.13), yenilme yükü dijital göstergeden okunarak kaydedilmiştir. Yapılan bu işlemler bütün numuneler için ayrı ayrı tekrarlanmıştır. Deney sonucunda bulunan tek eksenli basınç dayanımı deney değerlerinin ortalaması Çizelge 5.1’de, geniş bilgi ise (Ek-F)’de verilmiştir.



Şekil 5.11. Tek eksenli basınç dayanımı deneyi için hazırlanan numuneler.



Şekil 5.12. Tek eksenli basınç dayanımı deney presi.



Şekil 5.13. Tek eksenli basınç dayanımı deneyi esnasında kırılan numune.

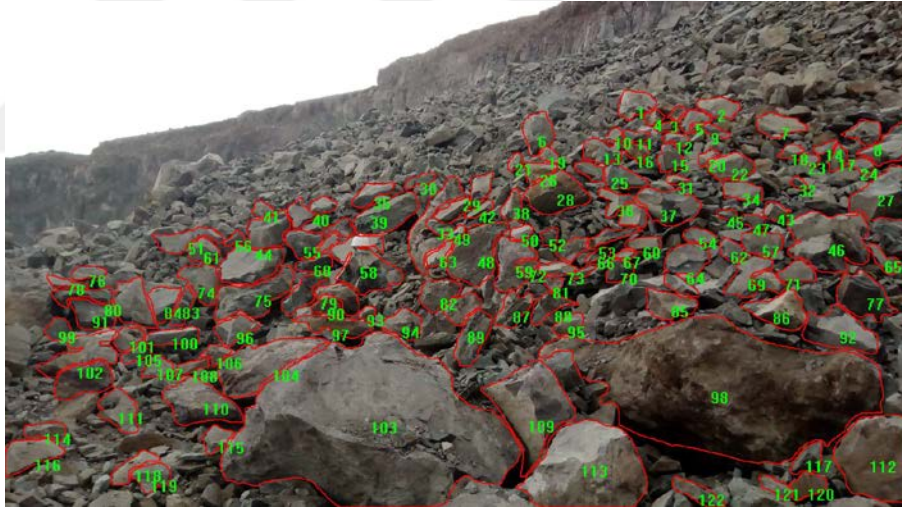
Çizelge 5.1. Çalışmaya konu kayaçların temel fiziksel ve mekanik özellikleri.

Taş Ocağı Kodu	Numune	δ (gr/cm ³)	n (%)	e	UCS (MPa)	BTS (MPa)	I _s (MPa)	SÇSD
TO-1	Andezit	2,6	1,65	0,02	276,8	14,31	10,98	72,6
TO-2	Alçıtaşı	2,17	29,48	0,43	14,5	2,58	1,42	32,8
TO-3	Kireçtaşı	2,64	0,85	0,01	155,9	7,77	3,56	55,8
TO-4	Bazalt	2,52	1,68	0,02	289,2	10,71	11,09	73,0
TO-5	Andezit	2,36	7,50	0,08	245,7	10,95	7,79	73,2
TO-6	Kireçtaşı	2,64	0,63	0,01	115,6	8,09	4,29	63,4
TO-7	Kalsit	2,62	1,68	0,02	67,9	6,20	2,98	52,9

δ : Kuru yoğunluk, n: Görünür porozite, e: Boşluk oranı, UCS: Tek eksenli basınç dayanımı, BTS: Brazilian çekme dayanımı, I_s: Nokta yükü dayanım indeksi, SÇSD: Schmidt çekici sertlik değeri

5.3 Görüntü İşleme Analizi

Tez kapsamında çalışılan 7 işletmeye ait toplamda 13 delme-patlatma sonrası oluşan yığın farklı açılarla fotoğraflanmıştır. Toplam 61 adet fotoğraf Image-Pro Plus 6.0 programı kullanılarak boyut analizi yapılmıştır. Bu programın çalışma prensibi fotoğrafta yer alan ölçeği belli olan malzeme boyutunu referans alarak her bir parçanın alanını, çevresini, maksimum ve minimum çapı gibi verileri hesaplamaktır. Yığın üzerindeki boyut dağılımının görüntü işleme tekniği ile belirlenebilmesi için belli bir ölçeği olan top, baret vb. malzemeler yığın üzerine konulmuştur. Daha sonra yerleştirilen ölçeğin boyutları programa girilerek yığındaki parça boyutları hesaplanmıştır. Her bir patlatmadan alınan farklı fotoğraf verileri tek bir dosyada birleştirilmiştir. Aşağıdaki fotoğraflarda her bir patlatmaya ait işlenmiş görüntüye birer örnek gösterilmiştir (Şekil 5.14-5.39).



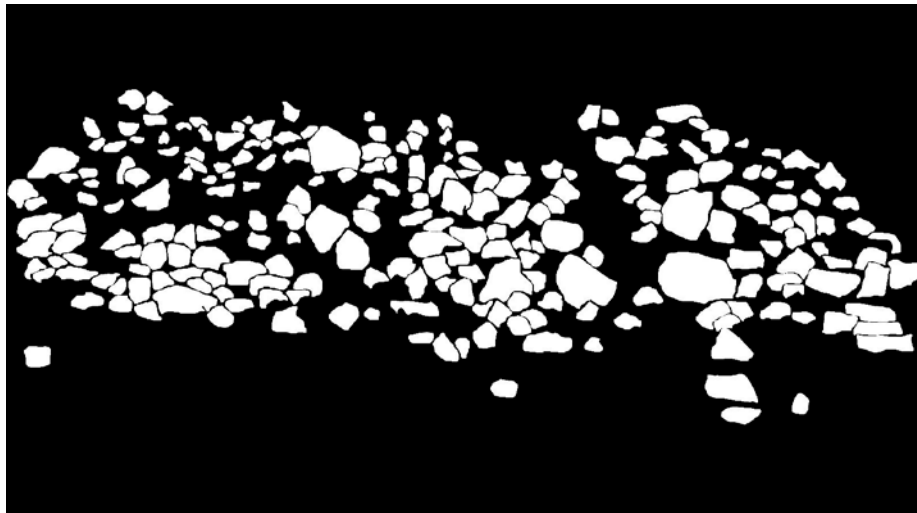
Şekil 5.14. TO-1 kodlu ocağın patlatma sonrası oluşan yığın görüntüsü.



Şekil 5.15. TO-1 kodlu ocağın patlatma sonrası oluşan fotoğrafın işlenmiş hali.



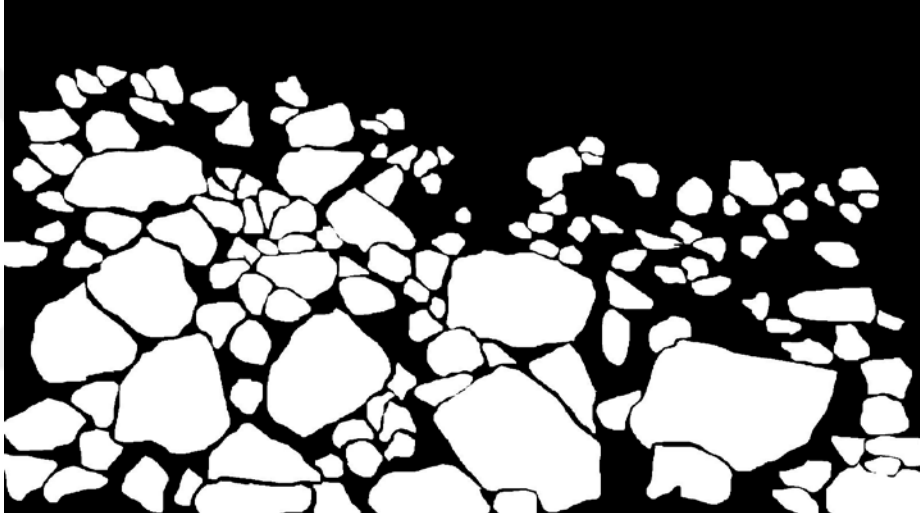
Şekil 5.16. TO-2 kodlu ocağın patlatma sonrası oluşan yığın görüntüsü.



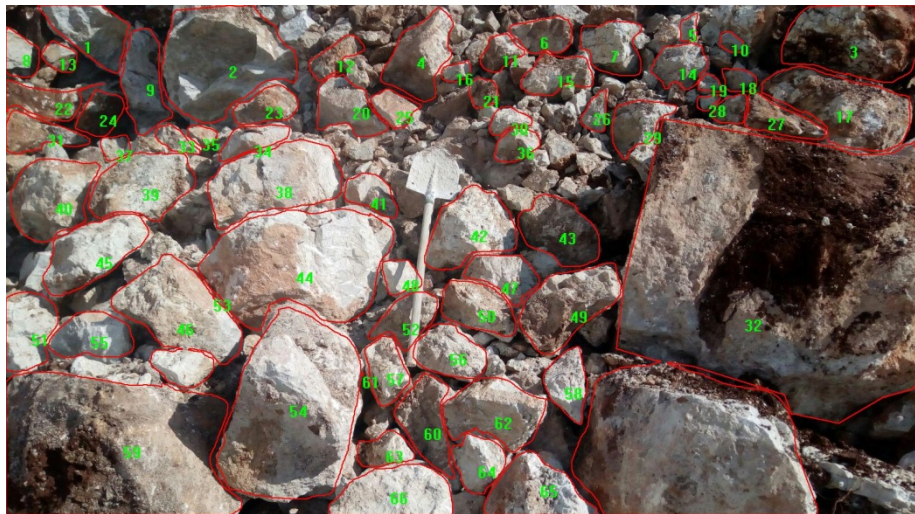
Şekil 5.17. TO-2 kodlu ocağın patlatma sonrası oluşan fotoğrafın işlenmiş hali.



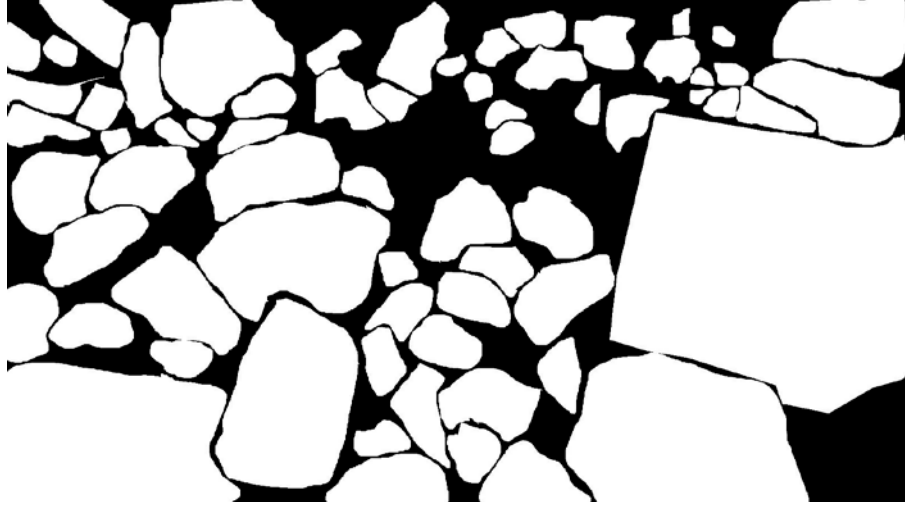
Şekil 5.18. TO-3 kodlu ocağın 1. patlatma sonrası oluşan yığın görüntüsü.



Şekil 5.19. TO-3 kodlu ocağın 1. patlatma sonrası oluşan fotoğrafın işlenmiş hali.



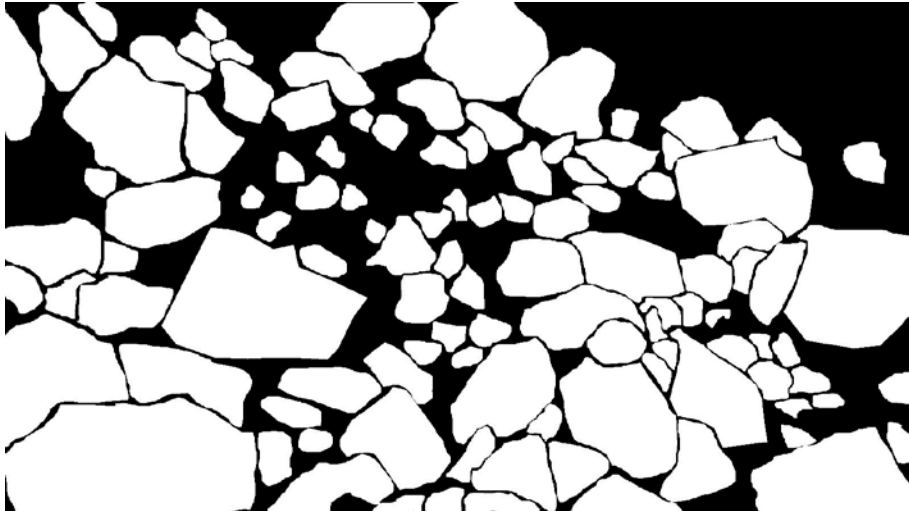
Şekil 5.20. TO-3 kodlu ocağın 2. patlatma sonrası oluşan yığın görüntüsü.



Şekil 5.21. TO-3 kodlu ocağın 2. patlatma sonrası oluşan fotoğrafın işlenmiş hali.



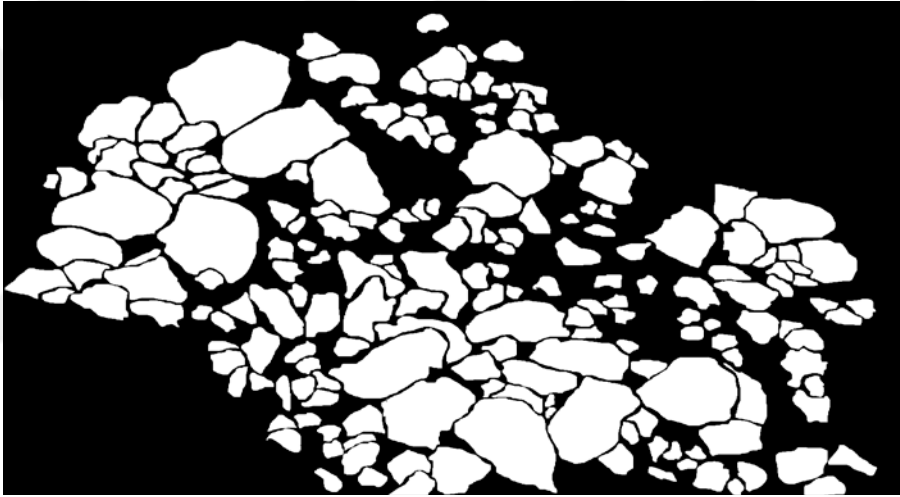
Şekil 5.22. TO-3 kodlu ocağın 3. patlatma sonrası oluşan yığın görüntüsü.



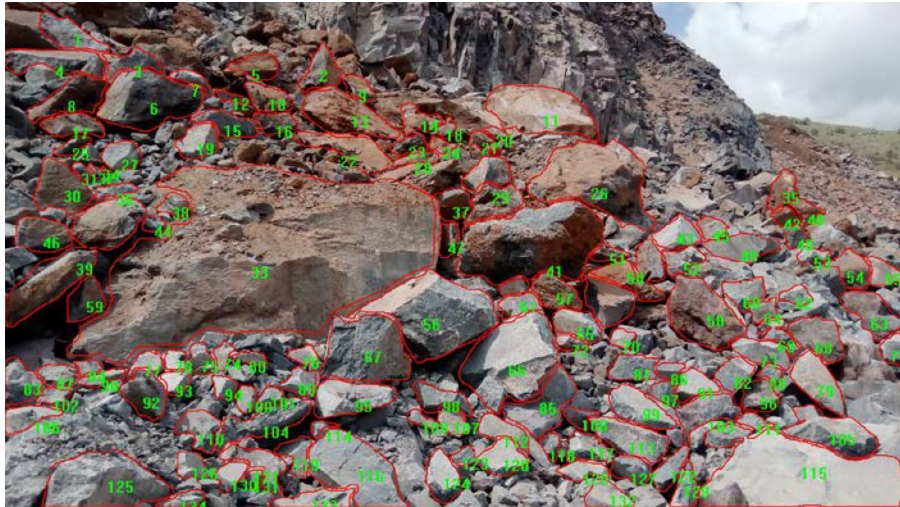
Şekil 5.23. TO-3 kodlu ocağın 3. patlatma sonrası oluşan fotoğrafın işlenmiş hali.



Şekil 5.24. TO-4 kodlu ocağın 1. patlatma sonrası oluşan yığın görüntüsü.



Şekil 5.25. TO-4 kodlu ocağın 1. patlatma sonrası oluşan fotoğrafın işlenmiş hali.



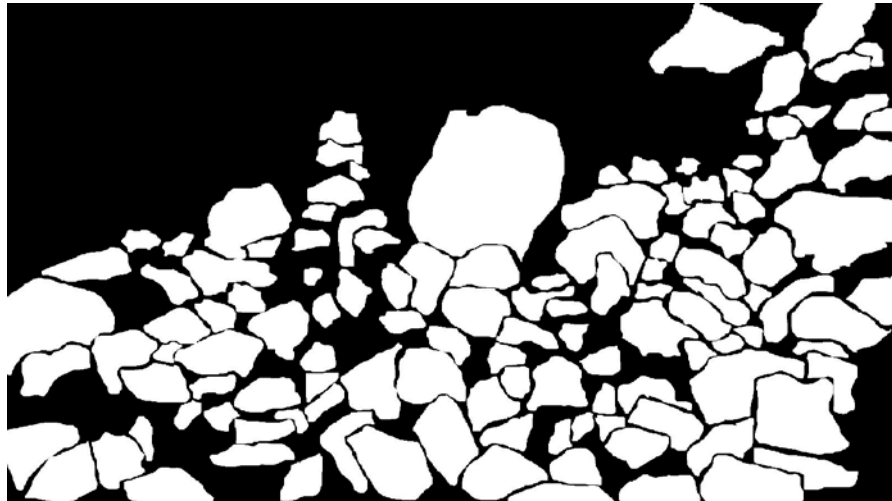
Şekil 5.26. TO-4 kodlu ocağın 2. patlatma sonrası oluşan yığın görüntüsü.



Şekil 5.27. TO-4 kodlu ocağın 2. patlatma sonrası oluşan fotoğrafın işlenmiş hali.



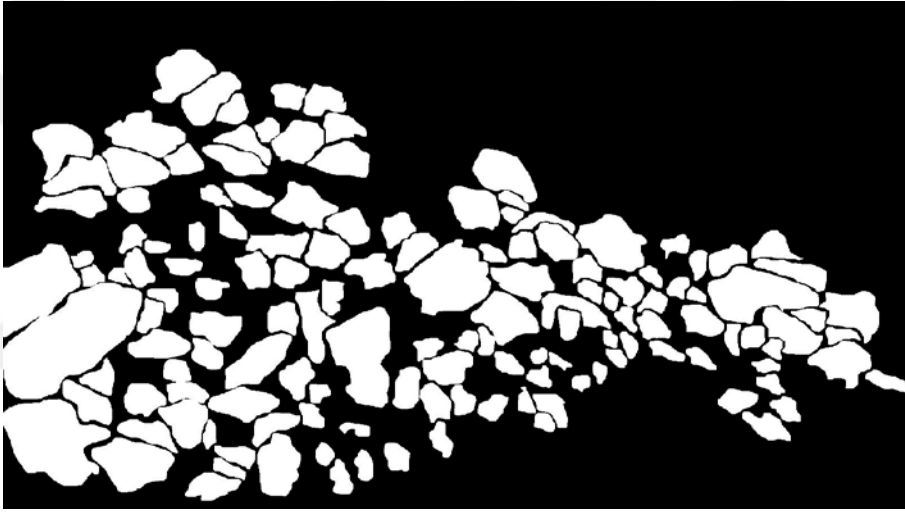
Şekil 5.28. TO-5 kodlu ocağın 1. patlatma sonrası oluşan yığın görüntüsü.



Şekil 5.29. TO-5 kodlu ocağın 1. patlatma sonrası oluşan fotoğrafın işlenmiş hali.



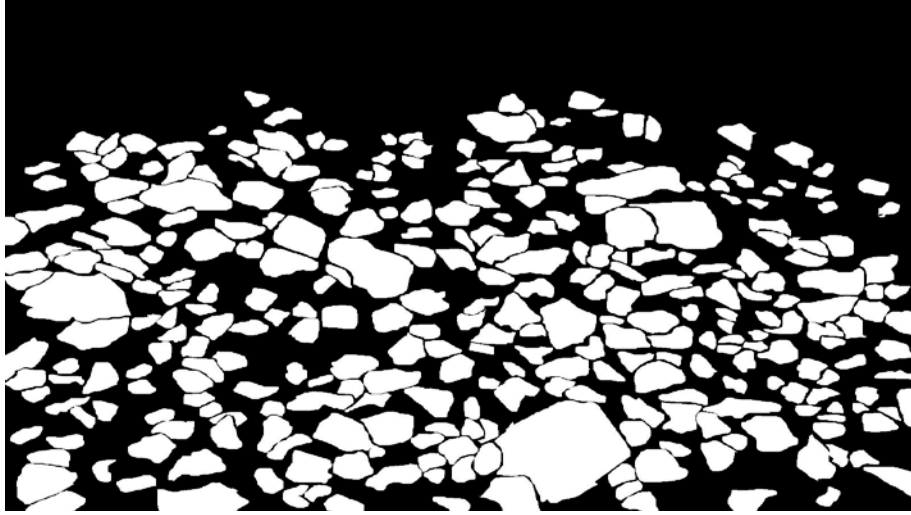
Şekil 5.30. TO-5 kodlu ocağın 2. patlatma sonrası oluşan yığın görüntüsü.



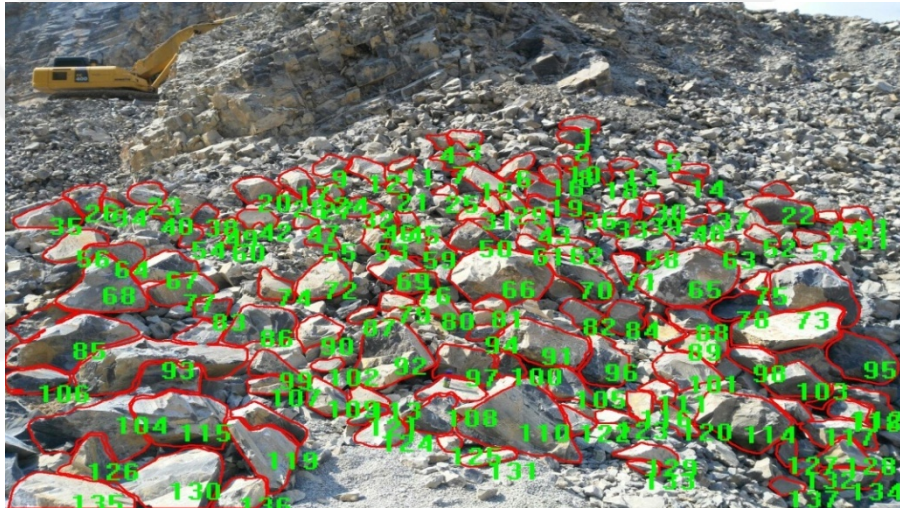
Şekil 5.31. TO-5 kodlu ocağın 2. patlatma sonrası oluşan fotoğrafın işlenmiş hali.



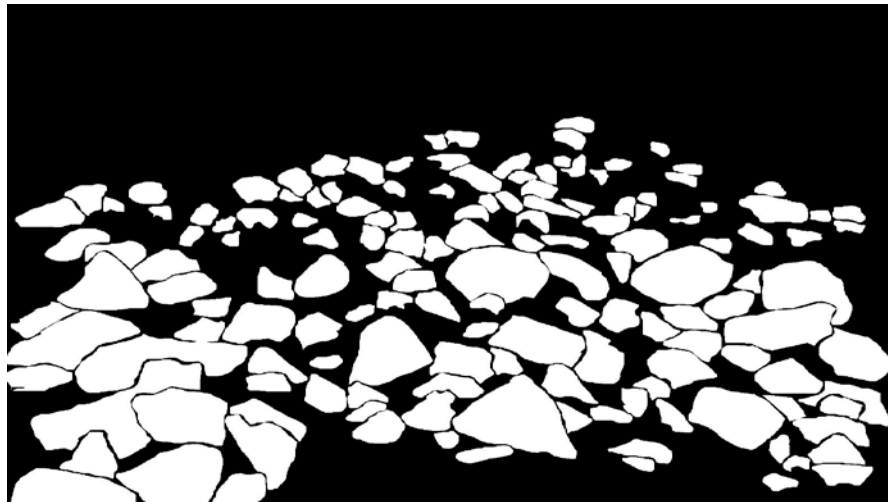
Şekil 5.32. TO-6 kodlu ocağın 1. patlatma sonrası oluşan yığın görüntüsü.



Şekil 5.33. TO-6 kodlu ocağın 1. patlatma sonrası oluşan fotoğrafın işlenmiş hali.



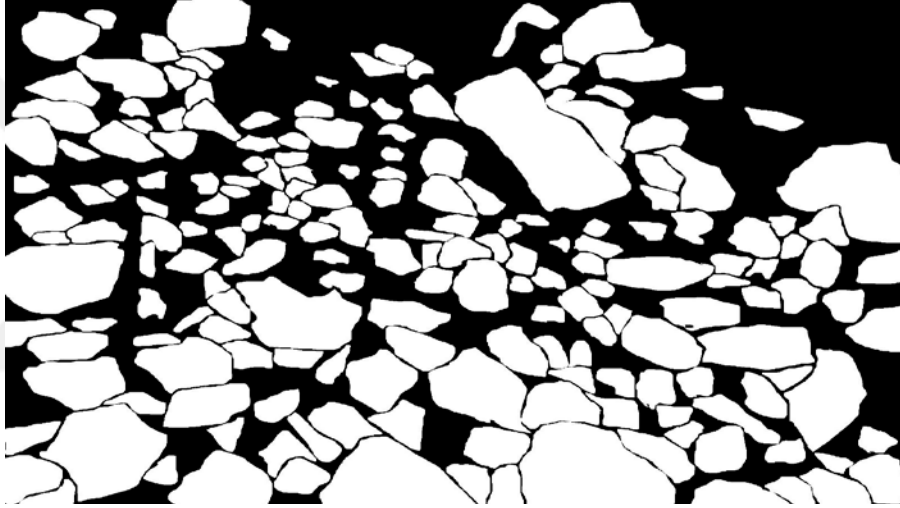
Şekil 5.34. TO-6 kodlu ocağın 2. patlatma sonrası oluşan yığın görüntüsü.



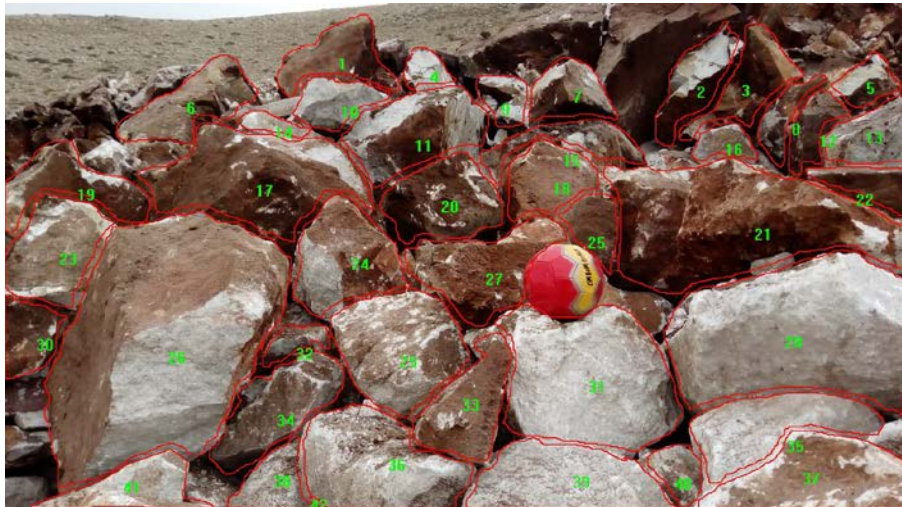
Şekil 5.35. TO-6 kodlu ocağın 2. patlatma sonrası oluşan fotoğrafın işlenmiş hali.



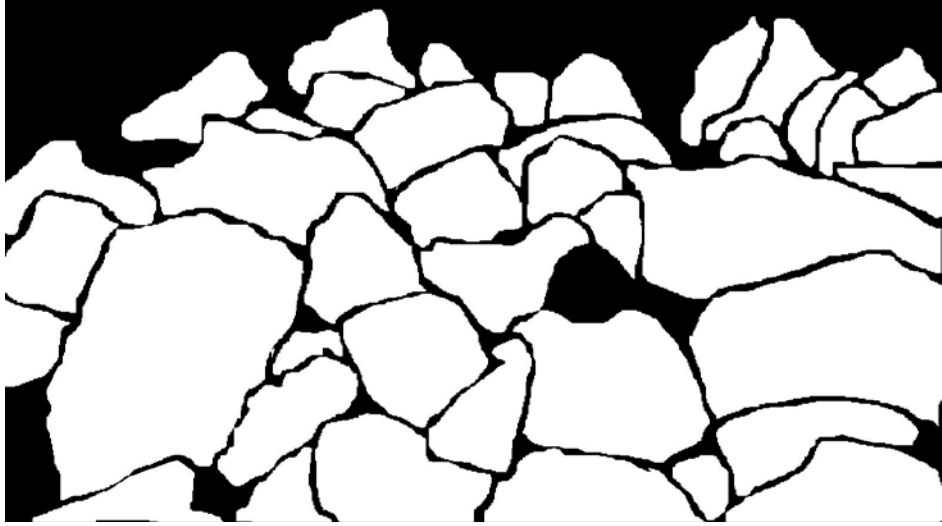
Şekil 5.36. TO-6 kodlu ocağın 3. patlatma sonrası oluşan yığın görüntüsü.



Şekil 5.37. TO-6 kodlu ocağın 3. patlatma sonrası oluşan fotoğrafın işlenmiş hali.

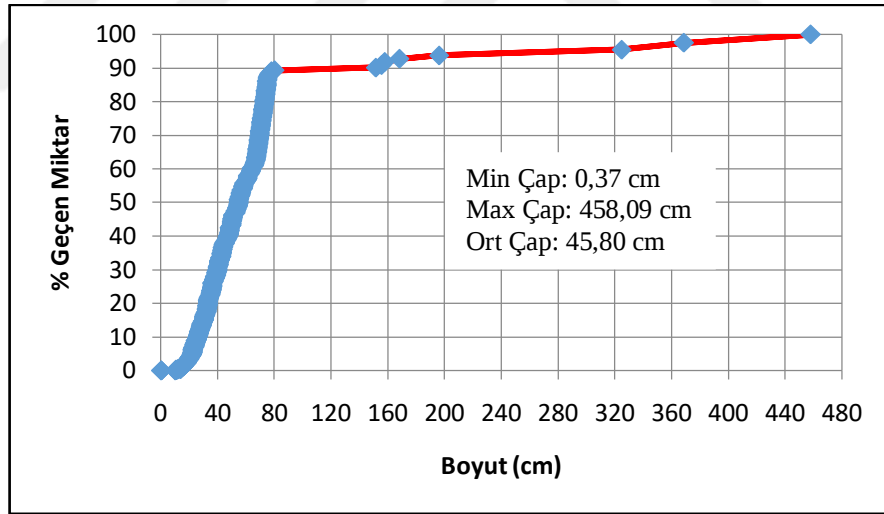


Şekil 5.38. TO-7 kodlu ocağın patlatma sonrası oluşan yığın görüntüsü.

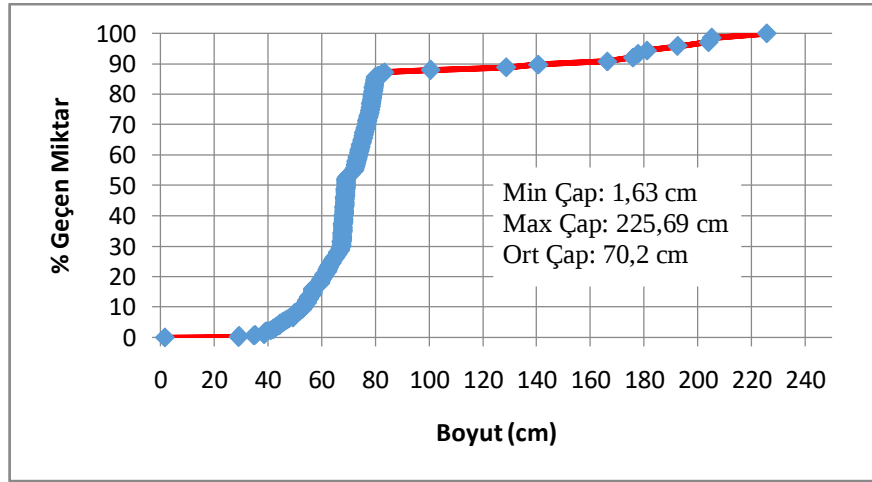


Şekil 5.39. TO-7 kodlu ocağın patlatma sonrası oluşan fotoğrafın işlenmiş hali.

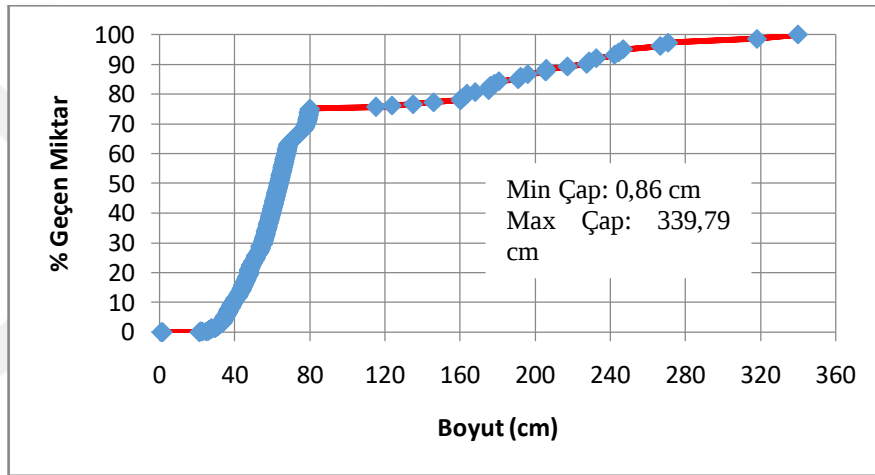
Görüntü işleme tekniği ile 61 adet fotoğrafın boyut analizleri yapılmış ve her bir patlatmadan alınan farklı fotoğraf verileri tek bir dosya halinde birleştirilerek elde edilen parça boyut dağılım grafikleri Şekil 5.40-5.52’de verilmiştir. Minimum, maksimum ve ortalama boyut değerleri belirlenmiş ve grafiklerde gösterilmiştir.



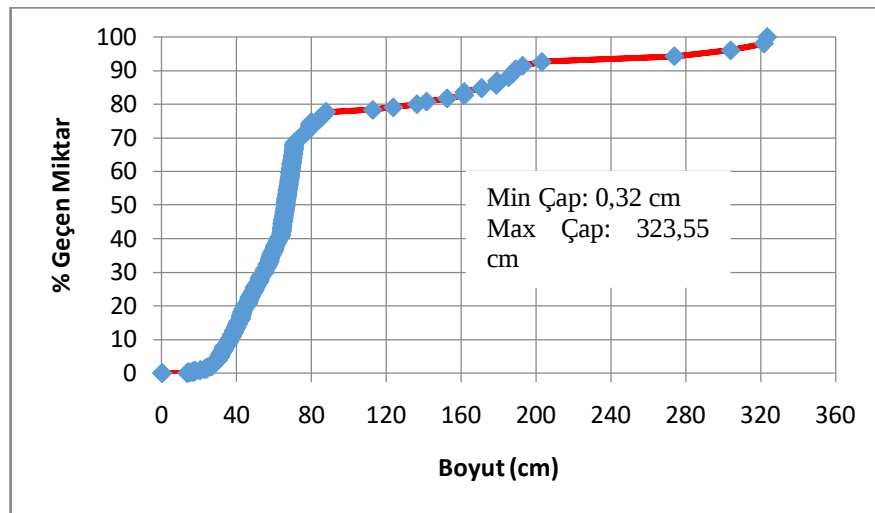
Şekil 5.40. TO-1 kodlu ocağa ait parça boyut dağılımı.



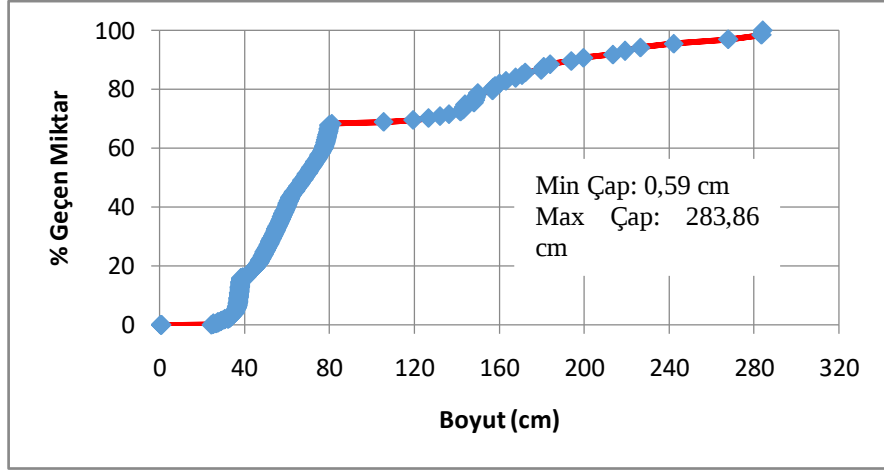
Şekil 5.41. TO-2 kodlu ocağa ait parça boyut dağılımı.



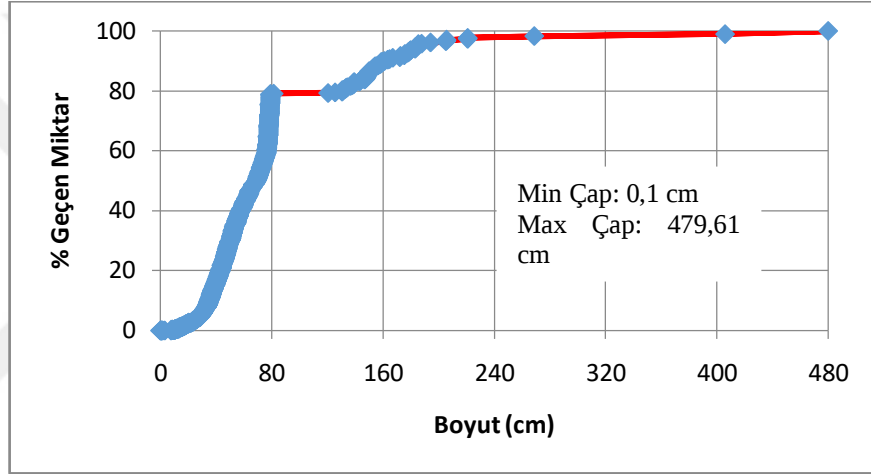
Şekil 5.42. TO-3 kodlu ocağa ait 1. patlatma parça boyut dağılımı.



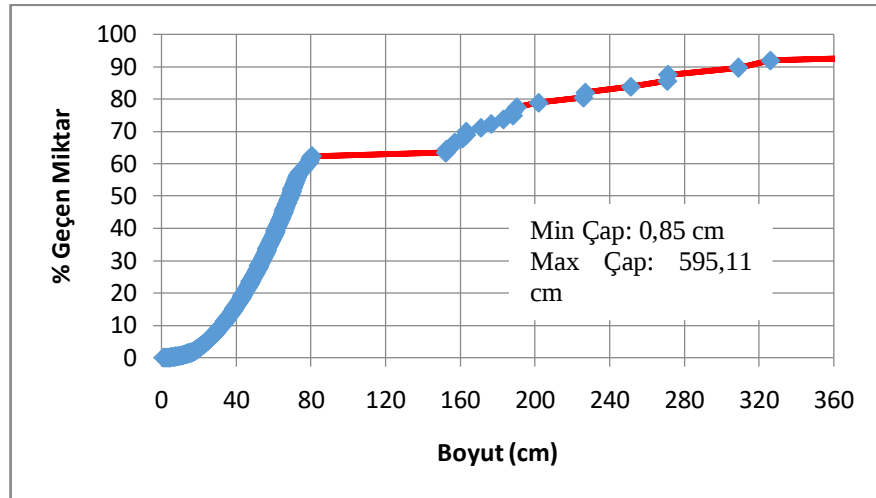
Şekil 5.43. TO-3 kodlu ocağa ait 2. patlatma parça boyut dağılımı.



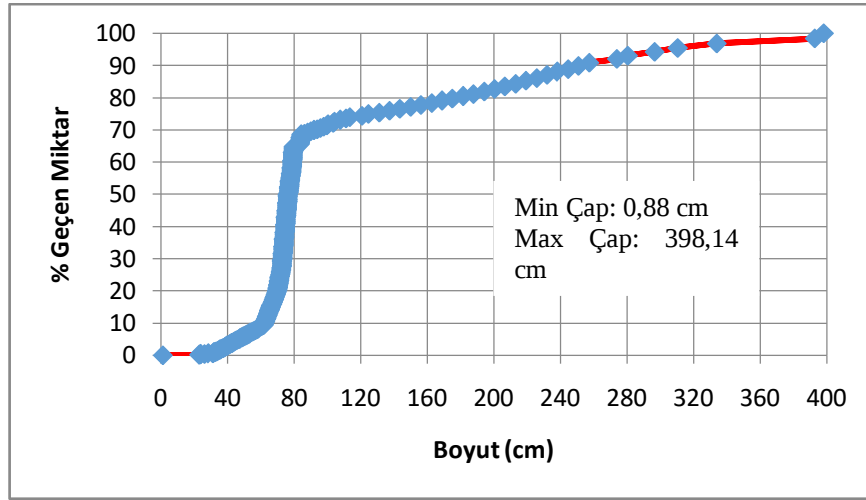
Şekil 5.44. TO-3 kodlu ocağa ait 3. patlatma parça boyut dağılımı.



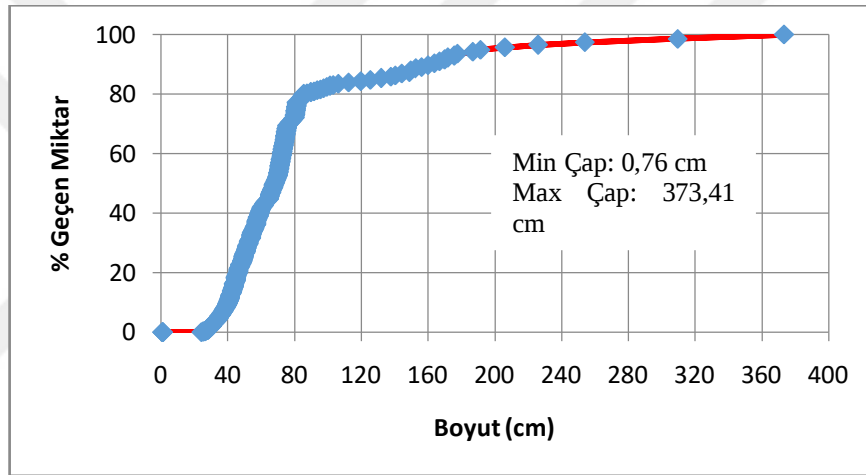
Şekil 5.45. TO-4 kodlu ocağa ait 1. patlatma parça boyut dağılımı.



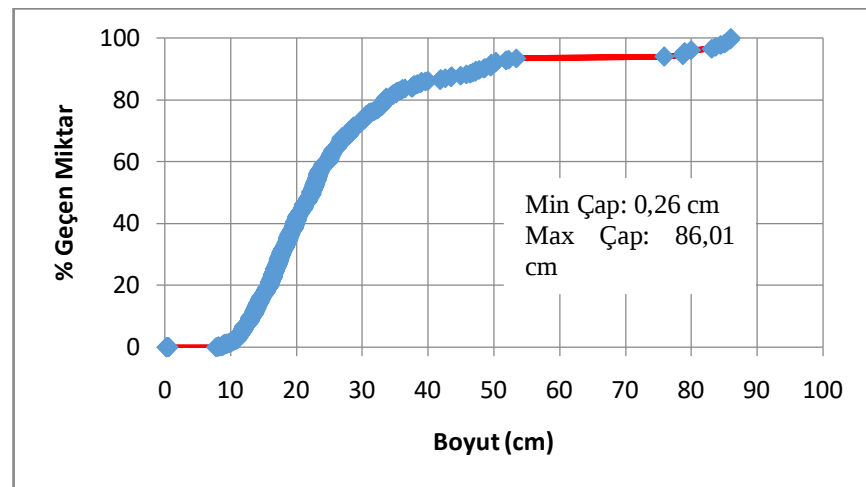
Şekil 5.46. TO-4 kodlu ocağa ait 2. patlatma parça boyut dağılımı.



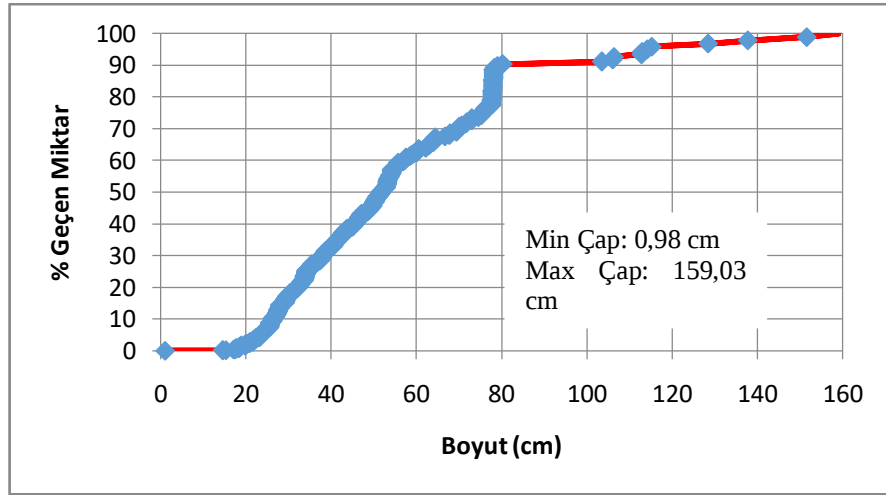
Şekil 5.47. TO-5 kodlu ocağa ait 1. patlatma parça boyut dağılımı.



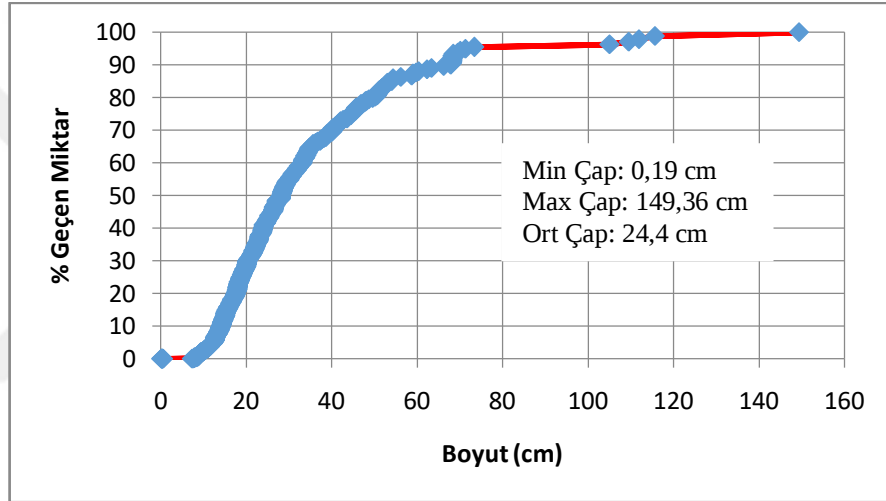
Şekil 5.48. TO-5 kodlu ocağa ait 2. patlatma parça boyut dağılımı.



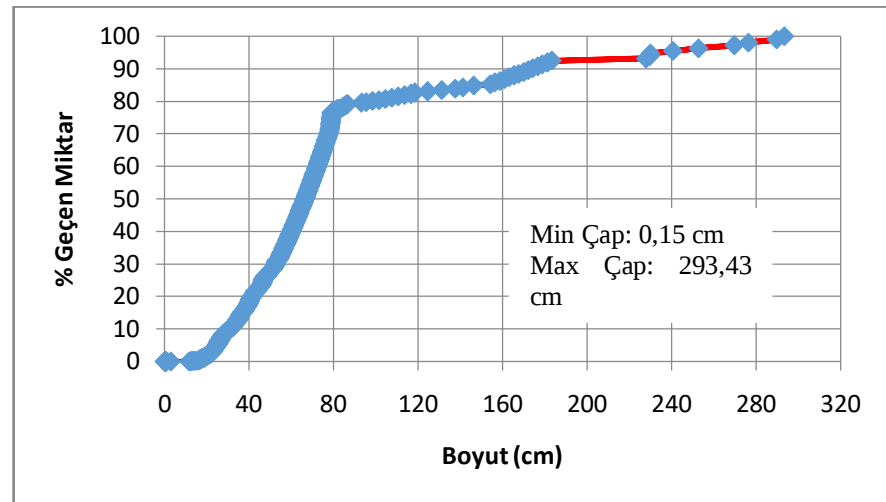
Şekil 5.49. TO-6 kodlu ocağa ait 1. patlatma parça boyut dağılımı.



Şekil 5.50. TO-6 kodlu ocağa ait 2. patlatma parça boyut dağılımı.



Şekil 5.51. TO-6 kodlu ocağa ait 3. patlatma parça boyut dağılımı.



Şekil 5.52. TO-7 kodlu ocağa ait parça boyut dağılımı.

5.4 Hidrolik Kırıcı Performans Değerleri

Bu çalışma kapsamında incelenen işletmelerde yapılan patlatmalar sonrasında ortaya çıkan patar ve tırnak kırma işinde kullanılan hidrolik kırıcılar Frukava FXJ 375 marka olup teknik özellikleri Çizelge 5.2’de verilmiştir. Hidrolik kırıcılar için arazi performansı ve teorik performansı ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Çizelge 5.2. Hidrolik kırıcı Frukava FXJ 375’in teknik özellikleri.

Parametre	Birimi
Ağırlık	2.449 kg
Çalışma Basıncı	16-18 MPa
Yağ Debisi	170-260 lt/dk
Darbe Sayısı	300-450 bpm
Uç Çapı	155 mm
Uç Boyu	810 mm
Uç Ağırlığı	172 kg

5.4.1 Hidrolik kırıcı arazi performansı

Arazi çalışmalarında, yapılan delme-patlatma işlemlerinden sonra oluşan ve patar olarak isimlendirilen 80 cm ve üzerindeki malzemeler kırma-eleme tesisinde bulunan çeneli kırıcı ağızından daha büyük olduğu için hidrolik kırıcı ile ikincil kırma işlemleri gerçekleştirilmektedir. Yapılan kırma işlemleri zaman açısından kayıt altına alınarak kırıcıların her bir işletme için saatlik üretimi Çizelge 5.3’de bulunmuştur. Burada 80 cm ve üzeri malzeme yüzdesi, görüntü işleme tekniği Image-Pro Plus 6.0 programı kullanılarak işlenen fotoğraflardaki parça boyut dağılım grafiklerinden elde edilmiştir. Grafiklerden elde edilen % değerler ile toplam üretilen malzeme miktarı kullanılarak hidrolik kırıcının üretim miktarı bulunmuştur. Örnek verecek olursak TO-1 kodlu işletmede yapılan patlatma sonucunda toplamda 8.316 m³ malzeme üretilmiş ve bu malzemenin % 12,32’si 1.024 m³ yapmaktadır.

Çizelge 5.3. Hidrolik kırıcı üretim miktarı.

Taş Ocağı Kodu	Patlatma No	Toplam Malzeme Miktarı (m ³)	80 cm ve Üzeri Malzeme (%)	80 cm ve Üzeri Malzeme (m ³)	Çalışma Süresi (dk)	Üretim Miktarı (m ³ /saat)
TO-1	1	8.316	12,32	1.024	1.750	35,10
TO-2	1	4.200	14,08	591	214	165,33
TO-3	1	8.505	25,07	2.130	2.000	63,90
	2	7.290	25,74	1.875	1.800	62,48
	3	3.159	31,06	997	950	62,97
TO-4	1	8.312	20,92	1.739	1.800	57,98
	2	7.650	37,92	2.902	3.000	58,03
TO-5	1	9.900	34,87	3.457	3.000	69,14
	2	10.494	27,23	2.862	2.600	66,04
TO-6	1	5.947	3,36	200	139	86,25
	2	4.032	9,10	404	271	89,33
	3	1.386	1,86	26	18	87,31
TO-7	1	5.569	22,82	1.270	773	98,63

5.4.2 Hidrolik kırıcı teorik performansı

Bu bölümde, Niğde yöresinde çalışması yapılan işletmelerde delme-patlatma sonucu oluşan patarların hidrolik kırıcı ile kırılabilirlik performansı değerlendirilmiştir. Hidrolik kırıcı performans tahmini için araştırmacılar bazı ampirik modeller önermiştir. Önerilen modellere ilişkin formüller şu şekildedir;

- Bilgin vd., (1996), tek eksenli basınç dayanım değerlerini kullanarak aşağıdaki formülleri geliştirmiştir.

$$IBR = 4,24 * P * (RMCI)^{(-0,567)} \quad (5.1)$$

$$RMCI = \sigma_c * (RQD/100)^{(2/3)} \quad (5.2)$$

Burada;

IBR: Anlık net kırılma oranı (m³/h),

RMCI: Kaya kütle kesilebilirlik indeksi (MPa),

RQD: Kaya kalite katsayısı (%),

σ_c : Tek eksenli basınç dayanımı (MPa),

P: Motor gücü (HP).

- Bilgin vd., (2002), Schmidt çekici değerlerini kullanarak aşağıdaki formülü geliştirmiştir.

$$IBR = (-1,05 * S\check{C}SD) + 70,1 \quad (5.3)$$

Burada;

IBR: Anlık net kırılma oranı (m³/h),

S $\check{C}$ SD: Schmidt çekici sertlik değeri.

Yukarıda verilen formüller kullanılarak her bir işletmede yapılan patlatmalar için 2 farklı formüle göre ayrı ayrı performans tahminleri hesaplanmıştır. Aşağıda örnek olarak TO-2 işletmesi için yapılan performans hesapları detaylı bir şekilde verilmiştir.

- Bilgin vd., (1996)'ya göre;

$$IBR = 4,24 * P * (RMCI)^{(-0,567)}$$

$$RMCI = \sigma_c * (RQD/100)^{(2/3)}$$

Burada;

P:270,89 HP

σ_c :14,49 MPa

RQD değeri, performans tahminlerinde en kötü durumunun düşünülmesi gerektiğinden 100 olarak kabul edilmiştir.

Verilen değerler formülde yerine yazılırsa;

$$RMCI = 14,49 \cdot (100/100)^{2/3} = 14,49 \text{ MPa}$$

RMCI değeri denklem 5.1 de yerine yazılırsa,

$$IBR = 4,24 \cdot 270,89 \cdot (14,49)^{(-0,567)} = 252,25 \text{ m}^3/\text{saat.}$$

- Bilgin vd., (2002)'ye göre;

$$IBR = (-1,05 \cdot S\check{C}SD) + 70,1$$

Burada;

$$S\check{C}SD: 72,56$$

Verilen değerler formülde yerine yazılırsa,

$$IBR = (-1,05 \cdot 72,56) + 70,1 = 35,68 \text{ m}^3/\text{saat.}$$

Önerilen modeller ve formüller kullanılarak hesaplanan işletmelerin teorik saatlik üretim miktarları Çizelge 5.4'de verilmiştir.

Çizelge 5.4. İşletmelerin teorik saatlik üretim miktarları.

Taş Ocağı Kodu	RQD (%)	UCS (MPa)	SÇSD	Bilgin vd. (1996) (m ³ /s)	Bilgin vd. (2002) (m ³ /s)
TO-1	100	276,84	72,56	47,36	-
TO-2	100	14,49	32,78	252,25	35,68
TO-3	100	155,9	55,82	65,59	11,49
TO-4	100	289,24	73,04	46,20	-
TO-5	100	245,71	73,16	50,67	-
TO-6	100	115,64	63,48	77,69	3,45
TO-7	100	67,9	52,88	105,10	14,58

UCS: Tek eksenli basınç değeri, SÇSD: Schmidt çekici sertlik değeri, RQD: Kaya kalite değeri

5.5 Delme-Patlatma Maliyet Analizleri

Saha çalışmaları yapılırken hidrolik kırıcı performansı ve kayaçların mekanik-fiziksel özellikleri ile delme-patlatma verimi arasındaki ilişkiyi ortaya koymak için yapılan her patlatma sonrası tüm parametreler göz önüne alınarak delme-patlatma maliyeti Çizelge 5.5'de verilmiştir. Delme-patlatma maliyeti şu şekilde

hesaplanmıştır; hidrolik kaya delici makinelerinin tüm delikleri ne kadar zamanda deldiği saha çalışmalarında kaydedilmiş ve kullanılan yakıt belirlenerek delme maliyeti hesaplanmıştır. Bu maliyete ANFO, dinamit, kapsül ve hidrolik kırıcı maliyetleri eklenerek toplam patlatma maliyeti bulunmuştur. Kullanılan hidrolik kaya delici makinelerinin (Şekil 5.53) saatlik yakıt tüketimleri ortalama olarak 27 litre ve kullanılan yakıtın litre fiyatı ise 4,97 TL'dir. Hidrolik kırıcı maliyeti ise sahada çalıştığı süre ve tüketilen yakıt miktarı kayıt altına alınarak hesaplanmıştır. Hidrolik kırıcıların saatlik yakıt tüketimleri ortalama olarak 29 litre'dir.

Delme-patlatma parametreleri kullanılarak hesaplanan toplam malzeme hacmi (ortalama delikler arası mesafe $\times$ ortalama dilim kalınlığı $\times$ basamak yüksekliği) çarpılarak üretilen malzeme miktarı Çizelge 5.6'da gösterilmektedir. Burada toplam malzeme hacmi teorik olarak bulunmuştur. Örnek olarak TO-1 kodlu işletmede yapılan patlatma parametreleri; delik sayısı 132, delik boyu 7 metre, dilim kalınlığı 3 metre ve delikler arası mesafe 3 metredir. Buna göre; bir delikten elde edilecek hacim $= 7 \times 7 \times 3 = 63 \text{ m}^3$ olacaktır. Toplam 132 delikten ise 8.316 m^3 malzeme üretilecektir.

Patar oluşturan 80 cm ve üzeri malzeme miktarı görüntü işleme tekniği ile elde edilen grafiklerden hesaplanmıştır. İlgili grafikte 80 cm ve üzeri malzeme miktarları % olarak belirlenmiş ve teorik olarak hesaplanan toplam malzeme miktarı ile bu yüzdenin çarpılması sonucunda patar miktarı bulunmuştur.



Şekil 5.53. Hidrolik kaya delme makinesi.

Çizelge 5.5. İşletmelerin delme-patlatma maliyeti.

Taş Ocağı Kodu	Patlatma No	Maliyetler (TL)					Toplam
		ANFO	Delme İşlemleri	Dinamit	Kapsül	Hidrolik Kırıcı	
TO1	1	12.903	7.380	959	4.092	4.204	29.538
TO2	1	6.037	2.563	363	875	514	10.352
TO3	1	16.422	4.697	509	2.450	4.804	28.882
	2	14.076	4.026	654	2.790	4.324	25.870
	3	5.865	1.744	218	930	2.282	11.039
TO4	1	16.422	8.094	639	1.540	4.324	30.929
	2	12.219	7.588	363	1.750	7.207	29.127
TO5	1	13.099	8.946	727	3.100	7.206	33.078
	2	13.138	9.720	1.540	3.286	6.246	33.930
TO6	1	4.614	528	429	1.829	334	7.734
	2	3.754	322	233	992	651	5.963
	3	1.408	85	65	279	43	1.880
TO7	1	11.789	2.697	487	2.077	1.857	18.907

Çizelge 5.6. Delme-patlatma sonucu üretilen malzeme miktarı.

Taş Ocağı Kodu	Patlatma No	80 cm ve Üzeri Malzeme Miktarı (m ³)	80 cm Altı Malzeme Miktarı (m ³)	Toplam Malzeme Miktarı (m ³)
TO-1	1	1.024	7.292	8.316
TO-2	1	591	3.609	4.200
TO-3	1	2.130	6.375	8.505
	2	1.875	5.415	7.290
	3	997	2.162	3.159
TO-4	1	1.739	6.573	8.312
	2	2.902	4.748	7.650
TO-5	1	3.457	6.444	9.900
	2	2.862	7.632	10.494
TO-6	1	200	5.747	5.947
	2	404	3.628	4.032
	3	26	1.360	1.386
TO-7	1	1.270	4.299	5.569

6. TARTIŞMA VE DEĞERLENDİRME

6.1 Delme-Patlatma ve Hidrolik Kırıcı Maliyetinin Karşılaştırılması

Arazide yapılan çalışmalarda bulunan delme patlatma ve hidrolik kırıcı maliyetleri toplam üretim miktarlarına bölünerek m³ başına düşen delme patlatma maliyetleri hesaplanmış ve Çizelge 6.1'deki karşılaştırmalar yapılmıştır. Hidrolik kırıcıların saatlik yakıt tüketimleri ortalama olarak 29 litre ve kullanılan yakıtın litre fiyatı ise 4,97 TL olarak alınmıştır. Çizelgede görüleceği üzere düşük dayanımlı kayaçların kazısında hidrolik kırıcı maliyeti delme-patlatma maliyetinden düşüktür. Ancak, bu durumun kaya kütlesinin özellikleri göz ardı edilerek elde edildiği unutulmamalıdır. Şöyle ki patlatma sonrası ortaya çıkan kaya bloklarında çatlaklar oluştuğundan dolayı hidrolik kırıcılar daha kolay kırma işlemi yapmaktadır. Oysaki hidrolik kırıcının patlatma sonrası oluşan kaya kütlesine göre yerinden kazı yapması ve blok koparması oldukça zor olacaktır. Ancak, Ulukışla alçıtaşı gibi oldukça düşük dayanımlı kayaçlarda kaya kütlesinde de hidrolik kırıcının performansının yüksek olacağı tahmin edilmektedir. Bununla birlikte çok fazla süreksizliğin olduğu jeolojik formasyonlarda da yine hidrolik kırıcılar ile kazı yapılabilecektir. Bu değerlendirmeler ışığında ileride yapılacak çalışmalarda kaya kütle özelliklerinin de eklenmesiyle daha sağlıklı sonuçların elde edilmesi beklenmektedir. Burada elde edilen sonuçlar ise özellikle verimsiz delme-patlatma işlemleriyle kıyaslandığında hidrolik kırıcı kullanımının daha az maliyet oluşturacağını göstermesi bakımından oldukça önemlidir.

Çizelge 6.1. Delme-patlatma ve hidrolik kırıcı maliyetlerinin karşılaştırılması.

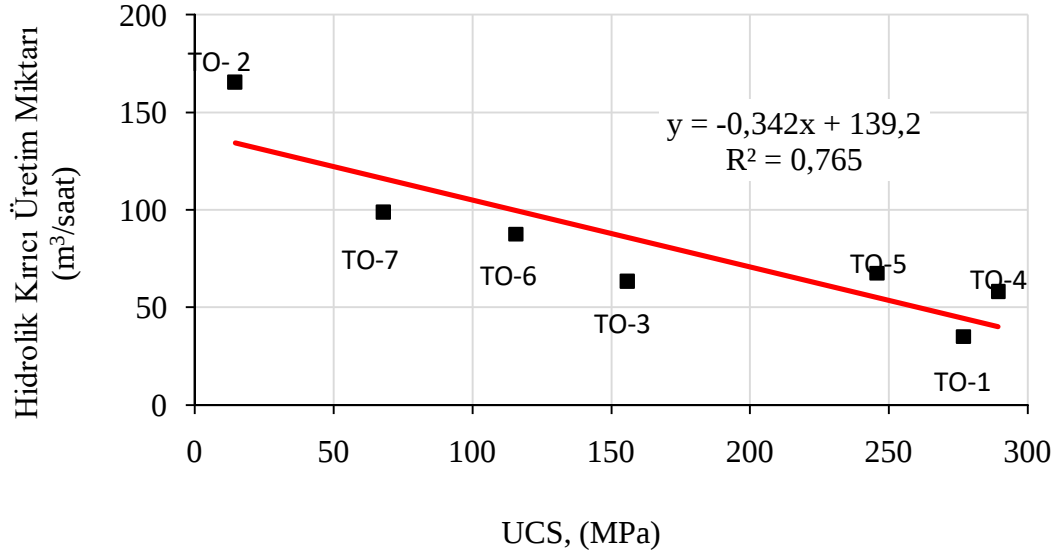
Taş Ocağı Kodu	Patlatma No	Delme-Patlatma Maliyeti (TL/m ³)	Hidrolik Kırıcı Maliyeti (TL/m ³)
TO-1	1	3,56	4,12
TO-2	1	2,47	0,87
TO-3	1	3,41	2,25
	2	3,54	2,3
	3	3,48	2,3
TO-4	1	3,72	2,5
	2	3,81	2,5
TO-5	1	3,35	2,08
	2	3,23	2,19
TO-6	1	1,29	1,66
	2	1,48	1,61
	3	1,35	1,69
TO-7	1	3,41	1,47

6.2 Fiziksel ve Mekanik Özellikler İle Üretimin Karşılaştırılması

Kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerinden yararlanılarak hidrolik kırıcının arazideki saatlik üretimi karşılaştırılmıştır. Burada üretim miktarı karşılaştırılırken grafiklerde, logaritmik regresyon eğrisinin doğrusal regresyon eğrisine göre doğruluk oranı (R^2) değeri biraz daha yüksek çıkmaktadır. Ancak daha pratik olduğundan dolayı analizlerde doğrusal regresyon türü seçilmiştir.

6.2.1 Tek eksenli basınç dayanımının karşılaştırılması

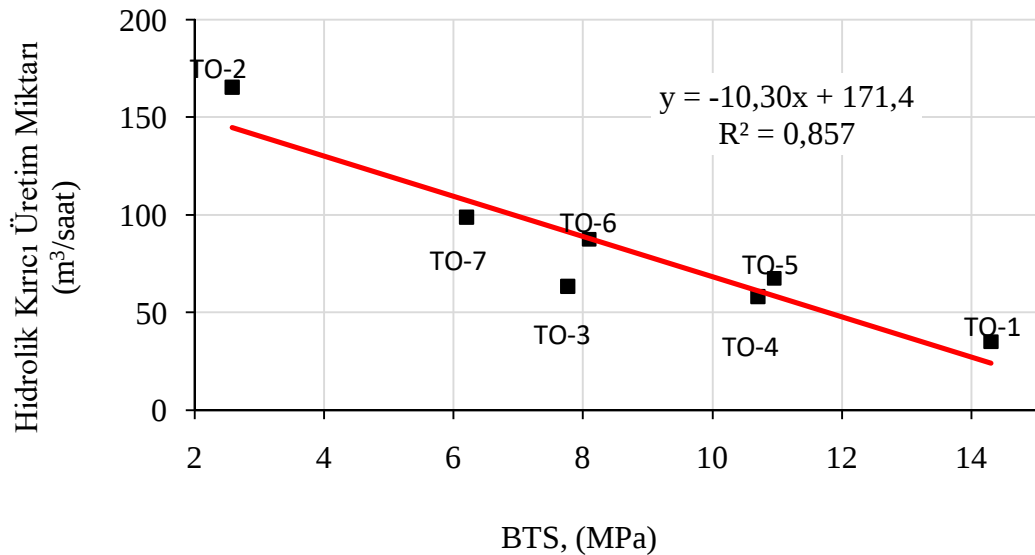
Yapılan deneyler sonucunda elde edilen kayaçların tek eksenli basınç dayanımları ile hidrolik kırıcıların saatlik üretimi karşılaştırılmıştır (Şekil 6.1). Buna göre, kayaçların tek eksenli basınç dayanımları arttıkça hidrolik kırıcıların saatlik üretimi düşmektedir. Bu durum önceki çalışmalardan elde edilen sonuçlar ile tutarlılık göstermektedir. Önceki çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada taş ocaklarında çalışan hidrolik kırıcıların kırma performansları analiz edilmiştir. Önceki çalışmalar daha çok tünel kazılarında ve patlatma ile değil kazı ile üretim yapılan kaya kütlelerindeki çalışmalara göre yapılmıştır ve dolayısıyla kaya kütle özellikleri de değerlendirilmiştir. Bu çalışmada ise sadece kaya kütlelerinde patlatma ile ortaya çıkan kaya blokları üzerindeki kırma performansı değerlendirilmiştir. Yine de, önceki ilişkilere benzer ilişkiler elde edilmiştir.



Şekil 6.1. Tek eksenli basınç dayanımı ile üretim miktarı arasındaki ilişki.

6.2.2 Brazilian çekme dayanımının karşılaştırılması

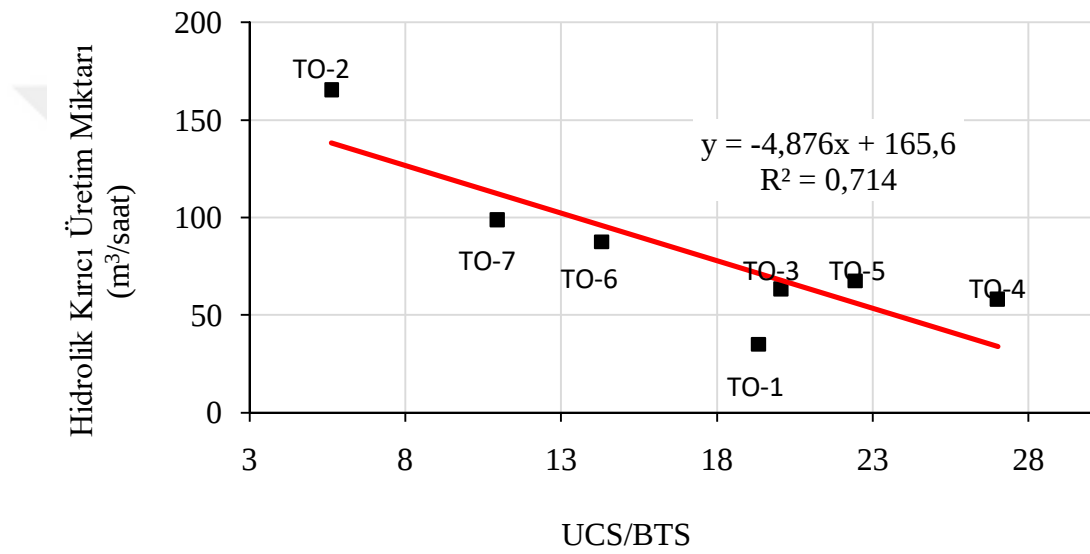
Yapılan deneyler sonucunda elde edilen kayaçların Brazilian çekme dayanımları ile hidrolik kırıcıların saatlik üretimi karşılaştırılmıştır (Şekil 6.2). Buna göre elde edilen verilere bakıldığında kayaçların Brazilian çekme dayanımları arttıkça hidrolik kırıcıların saatlik üretimi düşmektedir. Buradaki ilişkinin kuvvetini gösteren R^2 değeri tek eksenli basınç dayanımı ile olan ilişkisinden daha yüksek çıkmıştır.



Şekil 6.2. Brazilian çekme dayanımı ile üretim miktarı arasındaki ilişki.

6.2.3 UCS ve BTS dayanım oranlarının karşılaştırılması

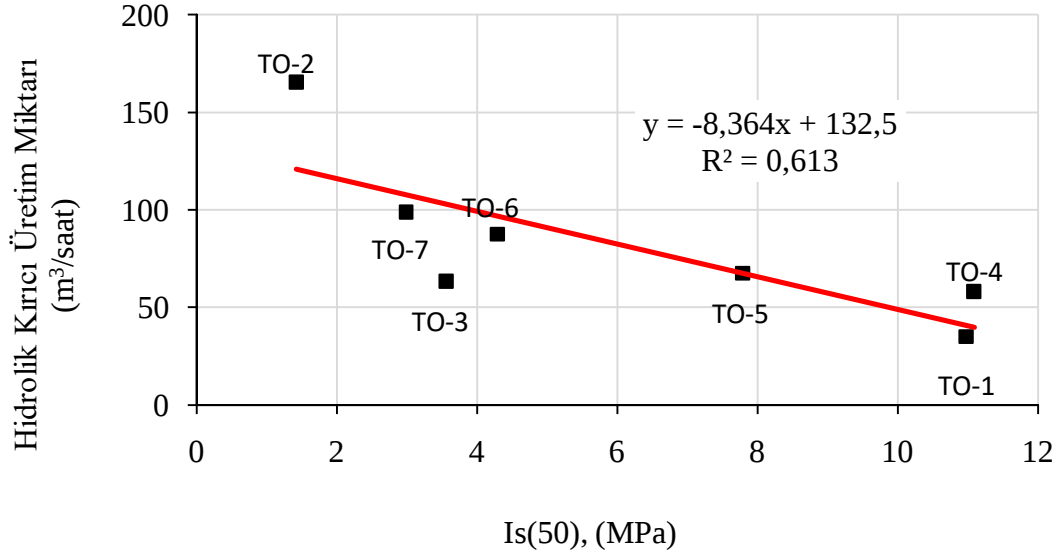
Kayaçların tek eksenli basınç dayanımının Brazilian çekme dayanımına oranı ile kayaçların kırılgenlik özelliklerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Hidrolik kırıcı çalışması esnasında bir kırma işlemi gerçekleştiği için kayaç kırılgenlik özelliklerinin hidrolik kırıcı kırma performansı üzerinde etkili olacağı tahmin edilmiş ve bu ilişki araştırılmıştır. Nitekim elde edilen grafiğe bakıldığında hidrolik kırıcının saatlik üretimi oranı ile kayaçların kırılgenlik değerlerini veren UCS/BTS oranı arasında anlamlı bir ilişkinin elde edildiği görülmektedir (Şekil 6.3).



Şekil 6.3. UCS ve BTS dayanım oranı ile üretim miktarı arasındaki ilişkisi.

6.2.4 Nokta yük dayanım indeksinin karşılaştırılması

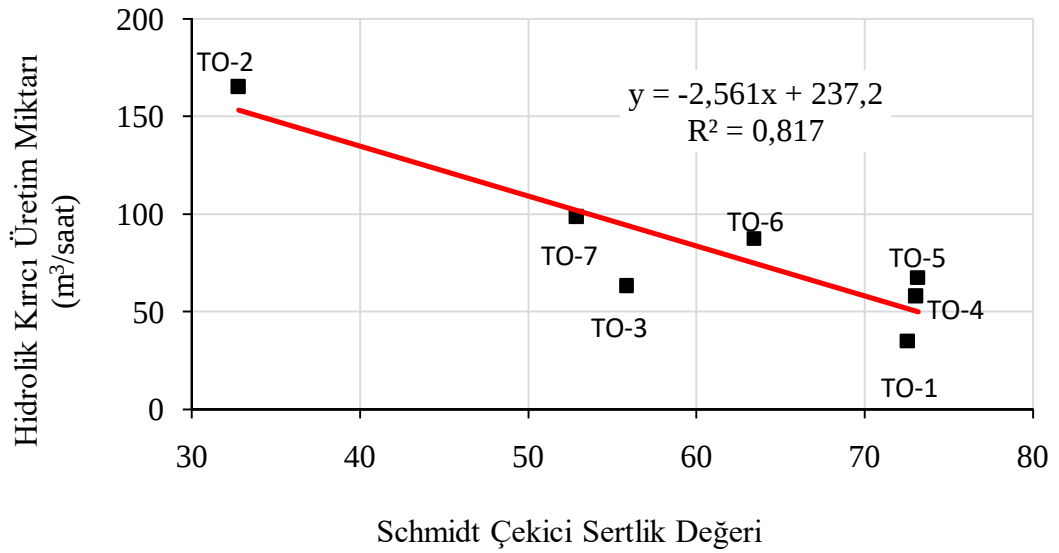
Yapılan deneyler sonucunda elde edilen kayaçların nokta yük dayanım indeksi ile hidrolik kırıcıların saatlik üretimi karşılaştırılmıştır (Şekil 6.4). Buna göre elde edilen verilere bakıldığında kayaçların nokta yük dayanım indeksleri arttıkça hidrolik kırıcıların saatlik üretimi düşmektedir.



Şekil 6.4. Nokta yük dayanım indeksi ile üretim miktarı arasındaki ilişki.

6.2.5 Schmidt sertliğinin karşılaştırılması

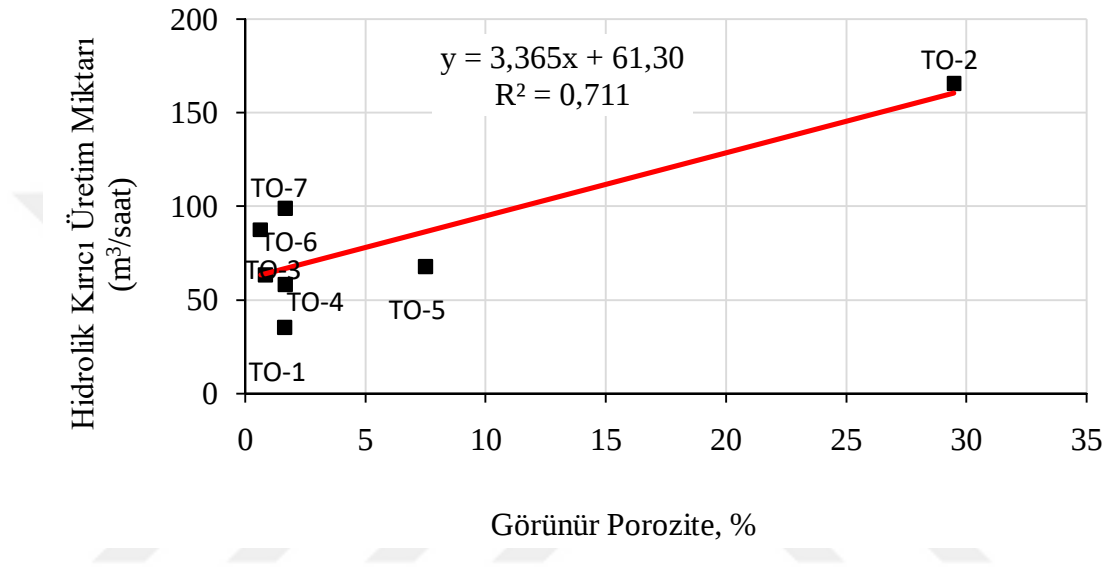
Yapılan deneyler sonucunda elde edilen kayaçların Schmidt sertlik değerleri ile hidrolik kırıcıların saatlik üretimi karşılaştırılmıştır (Şekil 6.5). Buna göre elde edilen verilere bakıldığında kayaçların Schmidt sertlik değerleri arttıkça hidrolik kırıcıların saatlik üretimi düşmektedir.



Şekil 6.5. Schmidt çekici sertliği ile üretim miktarı arasındaki ilişki.

6.2.6 Görünür porozitenin karşılaştırılması

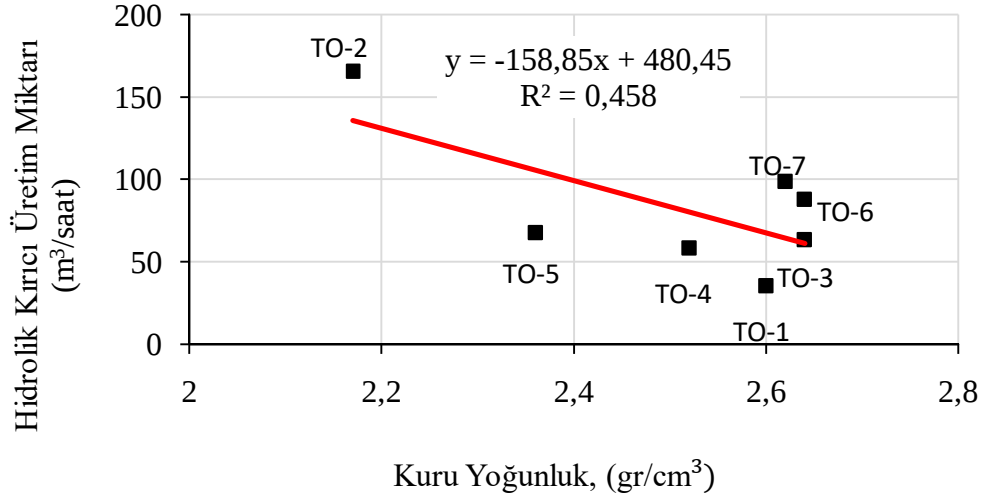
Yapılan deneyler sonucunda elde edilen, kayaçların görünür porozitesi ile hidrolik kırıcıların saatlik üretimi karşılaştırılmıştır (Şekil 6.6). Buna göre elde edilen verilere bakıldığında porozitesi yüksek kayaçlarda hidrolik kırıcıların saatlik üretimi artmaktadır. Bunun nedeni ise porozite yükseldikçe kayaçların dayanımları düşmekte, hidrolik kırıcıların kırma işlemleri kolaylaşmaktadır.



Şekil 6.6. Görünür porozite ile üretim miktarı arasındaki ilişki.

6.2.7 Kuru yoğunluğun karşılaştırılması

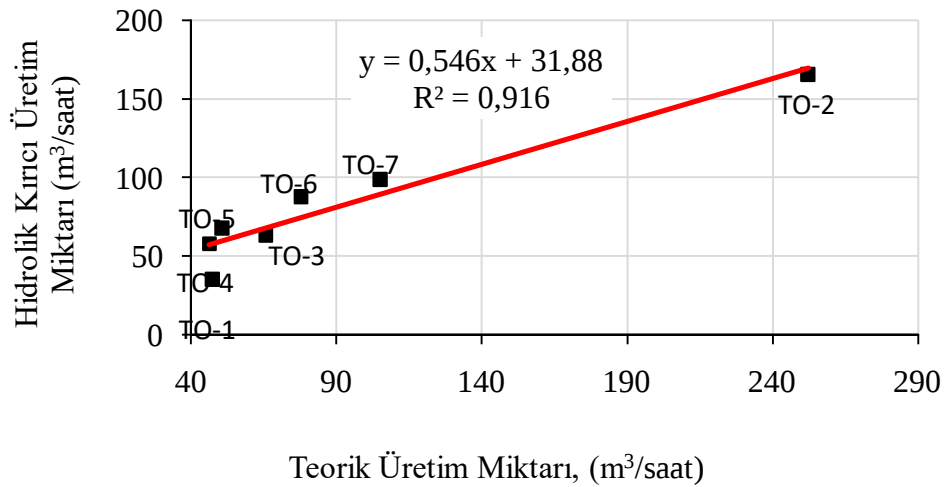
Yapılan deneyler sonucunda elde edilen, kayaçların kuru yoğunlukları ile hidrolik kırıcıların saatlik üretimi karşılaştırılmıştır (Şekil 6.7). Buna göre elde edilen verilere bakıldığında kuru yoğunluk yükseldikçe hidrolik kırıcıların saatlik üretimi düşmektedir. Kuru yoğunluğu fazla olan malzemeler daha yüksek dayanıma ve daha sert yapıya sahip olduğundan hidrolik kırıcılarla kırılmaları daha güç olacaktır.



Şekil 6.7. Kuru yoğunluk ile üretim miktarı arasındaki ilişki.

6.2.8 Teorik üretim ile karşılaştırılması

Daha önce hidrolik kırıcıların performans tahmini için geliştirilen modeller genellikle kırıcıların tünellerde çalıştığı durumlardan elde edilmiştir. Bu çalışmada ise taş ocağında çalışan hidrolik kırıcılar için çalışmalar yapılmıştır. Bu doğrultuda bu bölümde Bilgin vd. (1996) tarafından geliştirilen model ile arazi verileri arasındaki ilişki incelenmiştir. Bu kapsamda hidrolik kırıcıların teorik ve arazideki performansları, karşılaştırılmıştır (Şekil 6.8). İlgili grafiğe bakıldığında teorik modelden elde edilen değerlerin arazi verileriyle oldukça uyumlu sonuçlar verdiği görülmektedir.



Şekil 6.8. Teorik üretim miktarı ile arazideki üretim miktarı arasındaki ilişki.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Delme-patlatma yöntemi, özellikle açık işletme madenciliğinde yaygın olarak kullanılan üretim yöntemlerinden biridir. Aynı zamanda taş ocaklarında da yaygın olarak kullanılmakta olan bu yöntem, toplam işletme maliyetleri içerisinde çok büyük bir yer tutmaktadır. Bunun yanında, yapmış olduğumuz çalışmada göstermiştir ki verimsiz yapılan bir delme-patlatma işlemi bu maliyetlerin daha da artmasına neden olmaktadır. Verimsiz yapılan bir delme-patlatma işlemi, daha sonra ortaya çıkabilecek patarlama gibi takip eden diğer işlemlere harcanan zamanı ve dolayısıyla maliyeti artıracaktır.

Çalışmada, kalsit, kireçtaşı, alçıtaşı, bazalt ve andezit üretimi yapılan ocakları içeren yedi farklı taş ocağı için delme patlatma işlemleri analiz edilmiştir. Delme-patlatma analizleri yapılırken toplam maliyet miktarının belirlenmesi amaçlanmış ve her ocak için ayrı ayrı bu maliyetler hesaplanmıştır. Delik delme maliyeti ve patlatmada kullanılan ANFO ve dinamit gibi malzemelerin maliyetleri belirlenmiş ve ilgili tablolarda gösterilmiştir. Patlatma sonrasında oluşan yığının analiz işlemlerinde ise yaygın olarak kullanılan yöntemlerden birisi olan görüntü analizi yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, patlatma sonrası oluşan yığından fotoğraflar alınmış ve görüntü analizi programı (Image Pro-Plus) yardımıyla fotoğraflar analiz edilmiştir. Bu işlem yapılırken her bir patlatma sonrası oluşan yığından farklı açılardan en az 3 fotoğraf çekilmiş ve bu fotoğraflar ayrı ayrı analiz edilmiştir. Elde edilen değerlerin ortalaması alınarak her bir patlatma için ortalama değerler elde edilmiştir. Elde edilen bu değerler; en büyük, en küçük ve ortalama blok boyutu değerleri ile boyut dağılımı eğrilerini içermektedir. Görüntü işleme yönteminin sağlıklı sonuçlar verebilmesi için fotoğrafların açık bir havada dik açılarla dijital kameralarla çekilmiş olması gerekmektedir.

Görüntü analizi işleminden sonra her bir işletmede bulunan ve birincil kırma işleminde kullanılan çeneli kırıcıların çene açıklık değerinden fazla olan ve hidrolik kırıcı ile ön kırma işlemine tabi tutulması gereken 80 cm ve üzeri malzeme miktarı

yüzde olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu malzeme miktarı ve hidrolik kırıcı çalışma süresine bağlı olarak hidrolik kırıcının net kırma miktarı m^3 /saat biriminde bulunmuştur. Daha sonra patlatma sonrası elde edilen tüm malzeme miktarına göre hidrolik kırıcı ile ufalanan malzemenin birim maliyet değeri belirlenmiş ve delme-patlatma birim maliyet değerleri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarına baktığımız zaman dayanımı düşük olan kayaçların hidrolik kırıcı maliyeti delme-patlatma maliyetinden düşük çıkmaktadır. Bu ocaklarda yapılacak iyileştirme çalışmaları ile işletme maliyeti düşürülebilir. Yani delme-patlatma yöntemi yerine kazı makineleri kullanılarak üretim yapılabilir veya delme-patlatma parametrelerinden patlayıcı madde miktarı azaltılarak patlatma sonrası oluşacak patarın hidrolik kırıcı ile kırılmasını sağlayarak maliyetler azaltılabilir.

Bu çalışma kapsamında incelenen tüm taş ocaklarında kullanılan hidrolik kırıcılar aynı teknik özelliklere sahiptir. Bu doğrultuda, kayaçların fiziksel-mekanik özelliklerinin hidrolik kırıcı net kırma miktarı üzerine etkileri istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Yapılan istatistiksel analizlerde basit regresyon analizi yöntemi kullanılmıştır. Sonuç olarak kayaçların tek eksenli basınç dayanımı, indirekt (Brazilian) çekme dayanımı, nokta yükü dayanım indeksi, Schmidt sertlik, porozite ve kuru yoğunluk değerleri ile hidrolik kırıcı net kırma miktarı değerleri arasında anlamlı ilişkiler elde edilmiştir. Kayaçların tek eksenli basınç dayanımları, dolaylı çekme dayanımları, nokta yük dayanım indeksleri, yoğunluk değerleri ve schmidt sertlik değerleri yükseldikçe hidrolik kırıcıların saatlik üretim miktarları düşmektedir. Buna karşın görünür porozite değerleri yükseldikçe hidrolik kırıcıların saatlik üretimi de yükselmektedir. İşletmelerin delme-patlatma öncesi kayaçların bu özelliklerini laboratuvar ortamında çalışarak bilmesi buna göre de delme-patlatma parametreleri üzerinde çalışma yapması önerilmektedir. Böylece minimum işletme maliyeti elde edebilirler.

Bundan sonraki yapılacak çalışmalarda, delme-patlatma verimi ve hidrolik kırıcıların üretim miktarı üzerinde ocak sahasındaki kaya kütle özelliklerinin etkisinin araştırılması önerilmektedir. En etkin kaya kütle özelliklerinin belirlenmesi durumunda her ocak için en uygun ve verimli delme-patlatma tasarımının yapılması sağlanacaktır. Böylece, işletmeler üzerine ekstra bir maliyet gerektiren hidrolik

kırıcılar ile ikincil bir kırma işleminin tamamen önlenmesi veya en aza indirilmesi mümkün olacaktır.



KAYNAKLAR

- Akkoyun, Ö., 2004. Bir kireçtaşı ocağında uygulanan patlatma delik çapı değişiminin sonuçları, 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, 166-172.
- Akyıldız, Ö., 2015. Kumtaşı ocaklarında patlatma faaliyetlerinde parçalanma modellerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Aras, A., 2009. Bazı kayaçların mekanik özellikleri ile öğütülebilirliğinin ilişkilendirilmesi, Doktora Tezi, Selçuklu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- ASTM D2845, 2005. Standard test method for laboratory determination of pulse velocities and ultrasonic elastic constants of rock, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA.
- Ayhan, T., 1999. Açık ocak delme-patlatma işlemlerinde maliyet azaltılması, 2. Ulusal Kırmataş Sempozyumu'99, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 169-176.
- Bayraktaroğlu, B., 2003. Kömür dekapajında optimum delme-patlatma tasarımı-garp linyit işletmesinde bir saha çalışması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bilgin, N., Dincer, T., ve Copur, H., 2002. The performance prediction of impact hammers from Schmidt hammer rebound values in Istanbul metro tunnel drivages, Tunn. Undergr. Space Technol, 17, 237-247.
- Bilgin, N., Yazici, S., ve Eskikaya, S., 1996. A model to predict the performance of roadheaders and impact hammers in tunnel drivages. In: Eurock '96. Balkema, pp. 715-720.
- Cevizci, H., 2010. Açık ocak patlatmalarında sıkılama parametresinin patlatma verimliliğine etkisi, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Çomaklı, R., 2010. Niğde ve Kayseri yöresindeki cevherlerin makine ile kazılabilirliklerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- Elevli, B., Akçakoca, H., Uysal, Ö., ve Ediz, i. G., 2003. Kırdar taşocağında galeri atımından çevreye duyarlı basamak sistemine geçişin teknik ve ekonomik değerlendirilmesi, 3. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 179-184.
- Ercins, S., ve Şensöğüt, C., 2017. Nonel ve elektronik ateşleme sistemlerinin performans analizi değerlerinin karşılaştırılması, 9. Uluslararası Delme Patlatma Sempozyumu, Ankara, Bildiriler Kitabı, 121-129.

- Güneş, A., 2017. Mermer ocaklarında piroteknik kaya kırıcı malzemelerin kullanılabilirliğinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Imanbekov, D., 2012. Melen projesi kapsamında Cendere I, Cendere II ve Kağıthane tünelleri açımında hidrolik kırıcı ve delme-patlatma yöntemi performanslarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- İphar, M., 1996. Sıvıların kayaçların mekanik dayanımları ve aşındırıcılıkları üzerindeki etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- ISRM, 2007. R. Ulusay, J.A. Hudson (Eds.), The complete ISRM suggested methods for rock characterization, Testing and Monitoring: 1974–2006, ISRM Turkish National Group, Ankara, Turkey.
- Kalaycı, Ü., Özer, Ü., ve Karadoğan, A., 2012. Patlatmada harcanan faydalı enerji ve patlatma verimi arasındaki ilişkinin araştırılması, Madencilik Dergisi, 51, 2-3, 15-27.
- Karakuş, D., 2006. Görüntü analiz yöntemleri ile kayaçların yapısal özelliklerinin tanımlanması, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Karaman, E., 2008. Sert kayaçlarda delinebilirlik tayini, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Karaoğlu, A., ve Yılmaz, P., 2010. Patlamada dilim kalınlığının basamak boyunca gösterdiği değişiminin parça boyut dağılımına etkilerinin araştırılması, İstanbul Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 1, 19-31.
- Kılıç, A. M., 2011. Kargıcak-Ovacık (Mersin) kuvarsitik kumtaşı açık işletmesindeki delme-patlatma uygulamaları, Ç.Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi, 26, 1, 11-26.
- Kılıç, M. K., Kahriman, A., ve Bağdatlı, S., 2017. Image J programı ile parça boyutu analizi, 9. Uluslararası Delme Patlatma Sempozyumu, Ankara, Bildiriler Kitabı, 203-213.
- Koruç, G. Ş., 2010. Karstik boşluklu Karlıktepe taşocaklarında kontrollü patlatmalar ve maliyetleri, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
- Mohammadian Balkabad, A., 2015. Açık ocaklarda kullanılan delik delme makinelerinin performansını etkileyen parametrelerin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

- Özkahraman, H. T., 2002. Sayısal fotoğraf yöntemiyle göltaş çimento fabrikası taş ocağı patlatmalarının değerlendirilmesi ve iyileştirilmesi , Madencilik Dergisi, 41, 2, 3-10.
- Özözen, A. A., ve Ünver, B., 1998. Plastik sulu sıkılama kartuşlarının (PSSK) patlatma verimi ve parça boyut dağılımına etkisi, Madencilik Dergisi, 37, 1, 5-16.
- Pekin, A., 2010. Ercan taş ocağı delme-patlatma sisteminin incelenmesi, BAÜ FBE Dergisi, 12, 1, 31-45.
- Pekin, A., ve Bayırlı, M., 2015. Ercan taş ocağı delme patlatma verimliliğinin değerlendirmesi, BAÜ FBE Dergisi, 17, 1, 22-31.
- Topal, İ., Oğul, K., Elevli, B., ve Akçakoca, H., 2011. Bir kırmataş işletmesinde patlatma delik düzeni değişiminin kayaç parçalanmasına etkisi, Türkiye 22. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi, Ankara, 125-40.
- Toprak, T., 2012. Süreksizliklerin patlatma verimi üzerine etkisinin araştırılması , Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Tosun, A., 2013. Açık ocak patlatmalarında yığın boyut dağılımının optimizasyonu , Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Tosun, A., Konak, G., Öngen, T., Karakuş, D., ve Onur, A. H., 2012. Özgül şarjın patlatma verimliliğine etkisinin irdelenmesi, Madencilik Dergisi, 51, 2-3, 43-50.
- Tosun, A., ve Onur, A. H., 2013. Patlatma öncesi özgül şarj değerini tahmin eden matematiksel bir yöntemin geliştirilmesi, 7. Delme Patlatma Sempozyumu, Eskişehir, Bildiriler Kitabı, 61-67.
- URL-1< <http://www.enpamakina.com.tr/indir/atlas/6.pdf>>,Erişim tarihi: 25.08.2018.

EKLER

Ek A Kuru yoğunluk deneyi

Ek B Görünür Porozite ve boşluk oranı deneyi

Ek C Brazillian deneyi

Ek D Nokta yük deneyi

Ek E Schmidt sertlik deneyi

Ek F Tek eksenli basınç deneyi



Ek A. Kuru Yoğunluk Deneyi

Çizelge A.1. Numunelerin kuru yoğunluklarının belirlenmesi.

Taş Ocağı Kodu	Numune No	Boy (mm)	Çap (mm)	Ağırlık (gr)	Hacim (cm ³)	Kuru Yoğunluk (gr/cm ³)	Ortalama Yoğunluk (gr/cm ³)
TO-1	AS 1	106,8	38	315,6	121,06	2,61	2,6
	AS 2	107,3	38	314,7	121,63	2,59	
	AS 4	106,7	38	315,4	120,95	2,61	
TO-2	ALÇI 1	106	37,7	247,2	118,27	2,09	2,17
	ALÇI 3	91,9	37,7	228	102,53	2,22	
	ALÇI 5	81,3	37,7	199,9	90,71	2,2	
TO-3	B1 4	95,7	41,2	336,7	127,52	2,64	2,64
	B2 4	107,4	41	374,7	141,72	2,64	
	B3 2	106	41,3	375,3	141,93	2,64	
TO-4	CG 1	132,9	53,6	757,1	299,73	2,53	2,52
	CG 9	133	53,6	752,1	299,95	2,51	
	CG 5	130,9	53,6	745,3	295,22	2,52	
TO-5	İÖİ 1	107	41,7	339,8	146,06	2,33	2,36
	İÖİ 2	107,4	41,7	349,1	146,6	2,38	
	İÖİ 5	107,8	41,7	347,6	147,15	2,36	
TO-6	TSS 7	107,6	41,8	381,9	147,58	2,59	2,64
	TSS 11	107,4	41,8	391,9	147,31	2,66	
	TSS 2	108	41,8	394	148,13	2,66	
TO-7	K 1	107,4	41,3	380,4	143,81	2,65	2,62
	K 2	107,5	41,3	376,7	143,94	2,62	
	K 3	107,9	41,3	373,5	144,47	2,59	

Ek B. Görünür Porozite ve Boşluk Oranı Deneyi

Çizelge B.1. Görünür porozite ve boşluk oranı deney sonuçları.

Taş Ocağı Kodu	Numune No	Boy (mm)	Çap (mm)	Hacim (cm ³)	Kuru Ağırlık (gr)	Yaş Ağırlık (gr)	Görünür Porozite (%)	Boşluk Oranı	Ortalama Görünür Porozite (%)
TO-1	AS 1	106,8	38	121,06	314,2	316,1	1,57	0,02	1,65
	AS 2	107,3	38	121,63	313,4	315,4	1,64	0,02	
	AS 4	106,7	38	120,95	314,2	316,3	1,74	0,02	
TO-2	ALÇI 1	106	37,7	118,27	210,6	255,6	38,05	0,61	29,48
	ALÇI 3	91,9	37,7	102,53	206,6	229,9	22,72	0,29	
	ALÇI 5	81,3	37,7	90,71	178,8	203,9	27,67	0,38	
TO-3	B1 4	95,7	41,2	127,52	336,6	337,6	0,78	0,01	0,85
	B2 4	107,4	41	141,72	374,6	375,9	0,92	0,01	
	B3 2	106	41,3	141,93	375,1	376,3	0,85	0,01	
TO-4	CG 1	132,9	53,6	299,73	755,5	760,3	1,6	0,02	1,68
	CG 9	133	53,6	299,95	750,5	755,8	1,77	0,02	
	CG 5	130,9	53,6	295,22	743,9	748,8	1,66	0,02	
TO-5	İÖİ 1	107	41,7	146,06	339,6	351,3	8,01	0,09	7,5
	İÖİ 2	107,4	41,7	146,6	348,9	359,8	7,43	0,08	
	İÖİ 5	107,8	41,7	147,15	347,5	357,9	7,07	0,08	
TO-6	TSS 7	107,6	41,8	147,58	381,7	383,5	1,22	0,01	0,63
	TSS 11	107,4	41,8	147,31	391,9	392,4	0,34	0,004	
	TSS 2	108	41,8	148,13	394	394,5	0,34	0,004	
TO-7	K 1	107,4	41,3	143,81	379,25	381,7	1,68	0,02	1,68
	K 2	107,5	41,3	143,94	375,5	377,9	1,68	0,02	
	K 3	107,9	41,3	144,47	372,28	374,7	1,68	0,02	

Ek C. Brazilian Deneyi

Çizelge C.1. Brazilian deney sonuçları.

Taş Ocağı Kodu	Numune	Boy (cm)	Çap (cm)	Boy/Çap	Kırılma Yüğü (kN)	Çekme Dayanımı σ_t (MPa)	Ortalama Çekme Dayanımı σ_t (MPa)
TO-1	AS 6	2,68	3,8	0,71	23,80	14,59	14,31
	AS 7	2,71	3,8	0,71	23,90	14,49	
	AS 8	2,8	3,8	0,74	23,60	13,85	
TO-2	ALÇI 8	2,5	3,77	0,66	5,70	3,78	2,58
	ALÇI 9	2,73	3,77	0,72	3,76	2,28	
	ALÇI 10	2,87	3,77	0,76	2,89	1,67	
TO-3	B1 2	2,72	4,12	0,66	11,63	6,48	7,77
	B1 3	2,76	4,12	0,67	12,93	7,1	
	B1 4	2,69	4,12	0,65	7,87	4,43	
	B2 8	2,69	4,12	0,65	13,10	7,38	
	B2 9	2,41	4,12	0,58	11,34	7,13	
	B2 10	2,48	4,12	0,6	14,18	8,66	
	B3 5	2,76	4,12	0,67	19,01	10,44	
	B3 6	2,84	4,12	0,69	18,70	9,98	
	B3 7	2,94	4,12	0,71	16,14	8,32	
TO-4	CG 13	2,55	4,15	0,61	17,90	10,56	10,71
	CG 14	2,47	4,16	0,59	17,80	10,82	
	CG 15	2,47	4,15	0,6	17,65	10,75	
TO-5	İÖİ 7	2,54	4,17	0,61	22,02	12,98	10,95
	İÖİ 8	2,56	4,17	0,61	15,72	9,2	
	İÖİ 9	2,37	4,17	0,57	16,88	10,66	
TO-6	TSS 10	2,53	4,18	0,61	13,64	8,05	8,09
	TSS 11	2,47	4,18	0,59	14,91	9,02	
	TSS 12	2,53	4,18	0,61	12,18	7,19	
TO-7	K 4	2,7	3,8	0,71	10,70	6,51	6,2
	K 5	2,72	3,8	0,72	10,00	6,04	
	K 6	2,75	3,8	0,72	10,10	6,03	

Ek D. Nokta Yük Deneyi

Çizelge D.1. Nokta yükü indeks deney sonuçları.

Taş Ocağı Kodu	Numune	Boy (mm)	Çap (mm)	Kırılma Yüğü (kN)	Is (50) (MPa)	Ortalama Is (50) (MPa)
TO-1	AS 9	25,6	38,0	14,96	10,36	10,98
	AS 9	25,6	38,0	16,75	11,60	
TO-2	ALÇI 6	25,1	37,7	0,78	0,55	1,42
	ALÇI 7	24,6	37,7	3,27	2,30	
TO-3	B1 8	21,2	41,2	4,53	2,67	3,56
	B3 8	28,3	41,2	7,58	4,46	
TO-4	CG 17	27,2	41,6	19,18	11,08	11,09
	CG 18	25,8	41,5	19,10	11,09	
TO-5	İÖİ 6	25,9	41,7	10,50	6,04	7,79
	İÖİ 10	25,4	41,7	16,58	9,53	
TO-6	TSS 7	23,6	41,8	7,69	4,40	4,29
	TSS 8	25,6	41,8	7,31	4,18	
TO-7	K 7	26,30	41,3	5,00	2,93	2,98
	K 8	25,70	41,3	5,15	3,02	

Ek E. Schmidt Sertlik Deneyi

Çizelge E.1. Schmidt çekici sertlik deneyi sonuçları.

Taş Ocağı Kodu	Numune	Schmidt Sertlik Değeri										Ortalama
TO-1	AS	68	74	73	73	74	76	72	70	72	74	72,56
TO-2	ALÇI	33	30	30	32	42	31	34	31	32	33	32,78
TO-3	B	59	48	60	57	56	52	54	57	58	57	55,82
TO-4	CG	71	72	74	75	73	73	75	72	72	74	73,04
TO-5	İÖİ	68	77	77	72	73	76	71	74	70	74	73,16
TO-6	TSS	64	57	53	73	71	66	61	60	64	65	63,40
TO-7	K	54	52	53	51	55	51	50	52	54	57	52,88

Ek F. Tek Eksenli Basınç Deneyi

Çizelge F.1. Tek eksenli basınç dayanım deneyi sonuçları.

Taş Ocağı Kodu	Numune	Boy (cm)	Çap (cm)	Boy/Çap	Kırılma Yüğü (kN)	Basınç Dayanımı (MPa)	Basınç Dayanımı Ortalama (MPa)
TO-1	AS 1	10,68	3,80	2,81	317,89	280,44	276,84
	AS 2	10,73	3,80	2,82	313,31	276,40	
	AS 3	10,57	3,80	2,78	310,24	273,69	
TO-2	ALÇI 1	10,60	3,77	2,81	20,01	17,93	14,49
	ALÇI 3	9,19	3,77	2,44	14,01	12,55	
	ALÇI 6	7,50	3,77	1,99	14,5	13,00	
TO-3	B1 1	10,78	4,12	2,62	115,12	86,40	155,90
	B2 1	10,79	4,10	2,63	143,48	108,73	
	B3 1	10,65	4,13	2,58	364,97	272,57	
TO-4	CG 6	10,76	4,16	2,59	400,95	295,15	289,24
	CG 7	9,71	3,78	2,57	322,39	287,43	
	CG 8	10,60	4,16	2,55	387,37	285,15	
TO-5	İÖİ 1	10,70	4,17	2,57	286,87	210,16	245,71
	İÖİ 2	10,74	4,17	2,58	291,18	213,32	
	İÖİ 3	10,81	4,17	2,59	428,12	313,64	
TO-6	TSS 1	10,10	4,18	2,42	82,5	60,15	115,64
	TSS 2	10,80	4,18	2,58	290,96	212,14	
	TSS 3	10,77	4,18	2,58	102,36	74,63	
TO-7	K 1	10,74	4,13	2,60	92,84	69,34	67,90
	K 2	10,75	4,13	2,60	90,15	67,33	
	K 3	10,79	4,13	2,61	89,75	67,03	

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı :Tevhit YILMAZ

Adres :Armutlu Mah. 21. Sok. Turempark Sitesi A-2/34 Bor/Niğde

E-posta adresi :tevhid_06@hotmail.com

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans :Cumhuriyet Üniversitesi, 2010-2014

Yüksek Lisans :Aksaray Üniversitesi,2015-2019

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLERİ

1. Tekcrom Madencilik A.Ş./Yaz Stajı