



Orijinal Araştırma / Original Research

## NİĞDE YÖRESİ KIRMATAŞ OCAKLARINDA KAYAÇLARIN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN HİDROLİK KIRICI PERFORMANSINA ETKİSİ

*EFFECT OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF ROCKS ON THE IMPACT HAMMER PERFORMANCE IN NİĞDE PROVINCE QUARIES*

Mehmet Sarı<sup>a,\*</sup>, Tevhit Yılmaz<sup>a,\*\*</sup>, Ramazan Çomaklı<sup>b,\*\*\*</sup>

<sup>a</sup> Aksaray Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 68100 Aksaray, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Niğde, TÜRKİYE

**Geliş Tarihi / Received** : 20 Şubat / February 2020

**Kabul Tarihi / Accepted** : 20 Nisan / April 2020

### ÖZ

#### Anahtar Sözcükler:

Hidrolik kırıcı,  
 Kırmataş ocağı,  
 Fiziksel ve mekanik özellikler,  
 Boyut küçültme,  
 Delme-patlatma.

Bu çalışmada, Niğde ilinde faaliyet gösteren yedi farklı kırmataş ocağında delme-patlatma sonrası oluşan yığındaki iri blokların (patar) ufaltılmasında kullanılan hidrolik kırıcıların performansına kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla, yığın malzemesi parçacık boyutlarının belirlenmesi için görüntü işleme yöntemi kullanılarak boyut analizleri yapılmıştır. Daha sonra bu malzemenin içerisinde bulunan patarların hidrolik kırıcılar ile ikinci bir kırma işlemine tabi tutulması esnasında hidrolik kırıcıların net çalışma süreleri ve kırma hızları belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında ziyaret edilen kırmataş ocaklarında benzer özelliklere sahip hidrolik kırıcılar kullanılmaktadır. Bu doğrultuda, basit regresyon yöntemi kullanılarak kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri ile hidrolik kırıcı net üretim miktarları arasındaki doğrusal ilişkiler araştırılabilmektedir. Buna göre, iki değişken arasında farklı düzeylerde anlamlı doğrusal ve ters yönlü ilişkiler bulunmuştur. Ayrıca çalışmanın sonunda, bütün değişkenlerin dâhil edildiği çoklu regresyon analizi ile hidrolik kırıcının anlık üretim performansını önceden kestirecek bir model geliştirilmiştir.

### ABSTRACT

#### Keywords:

Impact hammer,  
 Quarrying,  
 Physical and mechanical properties,  
 Size reduction,  
 Drilling-blasting.

In this study, the effects of physical and mechanical properties of the rocks on the performance of impact hammers used to crush boulders in muck piles produced after drilling and blasting were investigated for seven different quarries operating in Niğde province. For this purpose, the muck piles were analysed using image processing method to determine the amount of the boulders. Total operating time and breaking rate of the hydraulic impact hammers were measured during a secondary breaking task for oversized boulders. Hydraulic hammers with the similar specifications were employed in all quarries visited in this study. In this regard, it was possible to investigate the relationships between hydraulic hammers' instantaneous production rate with the physical and mechanical properties of the rocks by simple regression method. Accordingly, significant linear relationships in various levels were found between the physical-mechanical properties of the rocks and hydraulic hammer performance. At the end of the study, a multiple linear regression equation was proposed to estimate instantaneous production rate of the impact hammers based on the independent parameters.

\* Sorumlu yazar / Corresponding author: mehmet.sari@aksaray.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0001-9441-9256>

\*\* tevhit\_06@hotmail.com • <https://orcid.org/0000-0002-2628-9047>

\*\*\* rcomakli@ohu.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0001-7392-6275>

## GİRİŞ

Kırmataş ocaklarında delme-patlatma işlemlerinin genel olarak iki temel amacı bulunmaktadır. Bunlar, kayaç kütlelerini parçalamak ve ötelemektir. Parçalama işleminin temel hedefi, kayacın kazı makinesinin kepçesine kolaylıkla girebilecek, kazı makinesinin çalışmalarını olumsuz yönde etkilemeyecek, iri parça (patar) oluşumundan dolayı ikincil bir kırma işlemine ihtiyaç duyulmayacak irilikte 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. Kırma-eleme tesislerinde üretilen malzemelerin satılabilir ürün olarak adlandırılabilmesi için istenilen boyutlarda olması gerekmektedir. Topal vd. (2011)'nin belirttiği gibi satılabilir ürünün temini için ocaklarda delme ve patlatma ile yapılan üretimlerde yeterince parçalanmamış iri malzemenin yeniden kırma-eleme işlemlerine tabi tutulması gerektiğinden, patlatma sonucunda aynı zamanda maliyeti en aza indirecek bir boyut küçültmenin sağlanması da gerekmektedir.

Hidrolik kırıcılar günümüzde birçok farklı sektörde çeşitli amaçlar doğrultusunda kullanılabilir çok geniş bir uygulama alanına sahiptir. Genellikle uygun bir ekskavatöre takılabildiği ve bu yüzden ilk yatırım maliyetleri düşük olduğu için hidrolik kırıcılar üreticiler tarafından yaygın olarak tercih edilmektedir (Şekil 1). Hidrolik kırıcıların en yoğun kullanıldığı sektörler madencilik ve inşaattır (Pelizza vd., 1995; Rodford, 1974). Mekanik kazı yöntemi ile tünel açma işlerinde, taş ocaklarında iri parçaların ufaltılmasında, asfalt söküm işlerinde ve yol yapım çalışmalarında, metruk veya kullanılamaz durumdaki binaların yıkımı gibi birçok farklı alanlarda kullanılabilir. Hidrolik kırıcı performansının araştırılması konusundaki ilk kapsamlı çalışmalar Evans (1974) tarafından yapılmıştır. Kayaçların darbe ile kırılmalarında tek eksenli dayanımın yanında çekme dayanımının da önemli bir rol oynadığını belirlemiştir. Bilgin vd. (2002) tarafından İstanbul metro tünellerinin yapımında kullanılan hidrolik kırıcıların anlık

kırma hızını tünel güzergahındaki kayaçların Schmidt sertlik değerleri yardımıyla tahmin edebilecek istatistiksel modeller geliştirilmiştir. Buna göre kayaçların Schmidt sertlik değerleri arttıkça anlık kırma hızı yavaşlamaktadır. Tuncac ve Hojjati (2016) kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin tünel açmada kullanılan hidrolik kırıcıların performansına etkiyen en temel faktörler olduğunu belirlemiştir. Kayaçların mekanik davranışının belirlenmesinde en çok kullanılan fiziksel ve mekanik özellikler ise tek eksenli basınç dayanımı, dolaylı çekme dayanımı, nokta yük indeksi, Schmidt sertlik değeri, porozite ve yoğunluk olarak söylenebilir (Öztürk ve Nasuf, 2007).



Şekil 1. Hidrolik kırıcı ile iri blok kırma işlemi

Hidrolik kırıcı performansları her ocak için üretilen malzemenin cinsine bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Kırmataş ocaklarında patlatma sonrası oluşacak yığının boyut dağılımının belirlenmesinde etkili olduğu düşünülen kontrol edilebilir ve edilemeyen birçok parametre mevcuttur. Kontrol edilebilir parametreler daha çok patlayıcı madde seçimi ve patlatma geometrisiyle alakalıyken, kontrol edilemeyen parametreler ise daha çok kayacın

yerinde özelliklerini belirleyen jeolojik unsurlardan kaynaklanmaktadır (Sarı vd., 2015). Kayacın yapısal özelliklerinden olan içerdiği süreksizlik takımlarının sayısı ve bunların basamak aynasına olan konumları patlatma sonuçlarını önemli derecede etkilemektedir (Ghasemi vd., 2012). Pekin ve Bayırlı (2015) süreksizlik sistemlerinin, kayaç kütlesi içerisindeki boşlukların, kayacın mekanik ve fiziksel özellikleri gibi kontrol altına alınamayan birçok değişkenin delme-patlatma verimini olumsuz yönde etkileyeceğini belirtmektedir. Topal vd. (2011) delme ve patlatmada düzenindeki yetersizlikler sonucu ortaya çıkan büyük parçaların, hidrolik kırıcı ile parçalanmasından dolayı işletmeler üzerinde ek maliyetlerin oluştuğunu belirtmektedir. Pekin (2010) istenilen bir patlatma tasarımı için ocağın süreksizlik sistemleri, jeolojisi, kayacın mekanik ve fiziksel özelliklerinin tahmin edilebilmesi ve bu özelliklere bağlı olarak patlayıcı maddenin seçimi, deliğin geometrisi ve patlatma sistemlerinin belirlenmesinin önem arz ettiğini vurgulamaktadır. Ocaklarda üretimi yapılan kayaçların içerisinde bulunduğu jeolojik yapısının ve patlatmaya olan etkilerinin değiştirilmesi kesinlikle mümkün değildir. Ancak, kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerine bağlı olarak delme ve patlatma parametreleri üzerinde yapılacak çeşitli değişiklikler ile en uygun basamak paternini belirlemek ve bunun sonucunda istenilen boyutlarda malzemenin elde edilmesini sağlayacak verimli bir patlatma işlemi gerçekleştirmek mümkün olabilecektir.

Bu çalışmada, Niğde ilinde faaliyet gösteren yedi farklı kırmataş ocağı için yapılan üretim patlatmalarından sonra oluşan yığınlardan uygun açılardan fotoğraflar çekilmiş ve bu görüntüler üzerinden dijital görüntü işleme tekniği kullanılarak parça boyut analizleri yapılmıştır. Ayrıca, ocaklardan temin edilen kayaç bloklarından elde edilen karot numuneler üzerinde laboratuvarında fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla kaya mekaniği deneyleri yapılmıştır. Buna göre, kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri ile hidrolik kırıcı performansı arasındaki muhtemel ilişkiler basit ve çoklu regresyon yöntemleri ile araştırılmıştır.

## 1. MALZEME VE YÖNTEM

### 1.1. Arazi Çalışmaları

Bu araştırmadaki arazi çalışmaları biri Mersin ili Tarsus ilçesinde altısı ise Niğde il sınırları içerisinde hâlihazırda faaliyet gösteren yedi farklı kırmataş ocağında yürütülmüştür. Bu işletmelerin konum bilgilerini gösterir uydu görüntüsü Şekil 2'de verilmiştir. Ocaklara ait bazı teknik bilgiler ise Çizelge 1'de sunulmuştur. Bütün ocaklarda delme-patlatma ile üretimi yapılan malzeme ekskavatör ile kamyonlara yüklenerek kırma-eleme tesisinde çeneli kırıcılarla kırılarak boyutları küçültülmektedir. Daha sonra istenen ebatta sınıflandırılan malzeme sanayinin ihtiyacını karşılamak üzere sevk edilmektedir.



Şekil 2. Taş ocaklarının konumunu gösterir uydu görüntüsü



Çizelge 1. Kırmataş işletmelerine ait teknik bilgiler

İşletme No	Mevki	Kayaç Türü	Çalışan Sayısı	Üretim Miktarı (m <sup>3</sup> /gün)	Kullanım Alanı
TO-1	Bor, Niğde	Andezit	38	1.600	Hazır beton, balast, asfalt agregası
TO-2	Ulukışla, Niğde	Alçıtaşı	13	875	Endüstriyel alçıtaşı
TO-3	Ulukışla, Niğde	Kireçtaşı	21	2.500	Çimento sanayi
TO-4	Bor, Niğde	Bazalt	16	1.600	Hazır beton, balast, asfalt agregası
TO-5	Bor, Niğde	Andezit	18	2.000	Asfalt agregası
TO-6	Tarsus, Mersin	Kireçtaşı	48	1.000	Çimento sanayi
TO-7	Sazlıca, Niğde	Kalsit	60	2.500	Mikronize kalsit

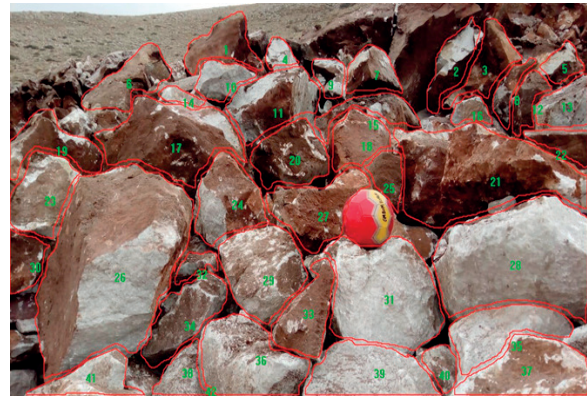
## 1.2. Görüntü İşleme Analizi

Kırmataş üretiminde delme ve patlatma sonrasında elde edilen malzemenin parça boyutu analiz çalışmaları; patar sayımları, ekskavatörün yükleme performansı, elek analizleri, dijital görüntü işleme metodu vb. farklı yöntemler kullanılarak yapılabilmektedir. Bunlar içerisinde dijital görüntü işleme metodu, özellikle yüksek çözünürlüklü kameraların gelişmesine bağlı olarak günümüzde sıklıkla kullanılmaktadır (Kılıç vd., 2017). Dijital görüntü işleme yöntemi ile parça boyut analizi, patlatma sonrası oluşan yığından veya bant konveyörden dijital olarak görüntü alınması, bu görüntünün uygun yazılımla (GoldSize, WipFrag, Split Desktop, Image J, Image Pro Plus vb.) analiz edilmesi ve sonucun parça boyut dağılımı grafikleri ile sunulması ilkesine dayanmaktadır (Kılıç vd., 2017). Dijital görüntü işleme tekniği ile parça boyut dağılımlarının belirlenmesi işlemi klasik bir yöntem olan elek analizine kıyasla birçok avantaja sahiptir. Atımlardan sonra oluşan yığın ve çıkan malzemenin büyüklüğü göz önüne alındığında bunlar şu şekilde sıralanabilir;

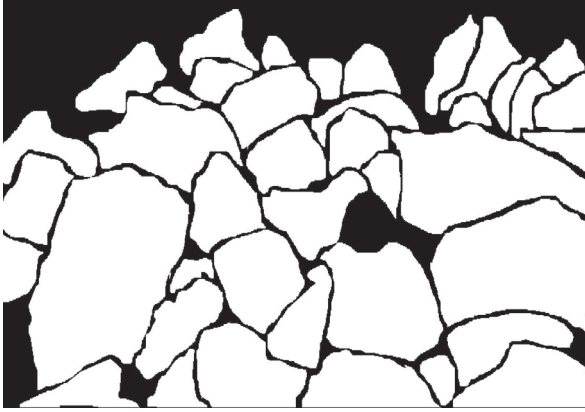
- Pratik olması ve zaman kaybının olmaması,
- Üretimde herhangi bir aksaklığa sebebiyet vermemesi,
- En kısa sürede ve en hızlı sonucu vermesi,
- Maliyet yönünden daha uygun ve daha ucuz olmasıdır (Kılıç, 2011; Akyıldız, 2015).

Çalışma kapsamında ocaklarda yapılan her bir atım sonrasında oluşan malzemenin daha iyi

temsil edilmesi için oluşan yığın farklı açılardan üç adet ölçekli fotoğrafı çekilmiş ve Image Pro Plus 6.0 programı kullanılarak ayrı ayrı dijital boyut analizi yapılmıştır. Image Pro Plus programı her bir görüntünün bilgisayara yüklenmesinden sonra içerisindeki algoritma yoluyla parçacık sınırlarının belirlendiği bir ağ oluşturmaktadır. Oluşabilecek muhtemel hatalar, kullanıcının oluşan bu ağa müdahale etmesi sonucu düzeltilebilmektedir. Şayet programın otomatik olarak oluşturduğu ağ ile gerçek fotoğraf arasında farklılıklar varsa kullanıcı tarafından elle düzeltilebilmektedir. Bu program, fotoğrafta yer alan ve ölçeği daha önceden belirlenen bir cismin boyutlarını referans olarak görüntüde yer alan her bir kayaç parçasının çevresi, alanı, çapı vb. gibi sayısal değerlerini otomatik olarak hesaplayabilmektedir. Delme-patlatma sonrası oluşan yığından alınan ölçekli bir fotoğrafın görüntü işleme programındaki analiz edilme süreçleri Şekil 3 ve 4'de gösterilmiştir.



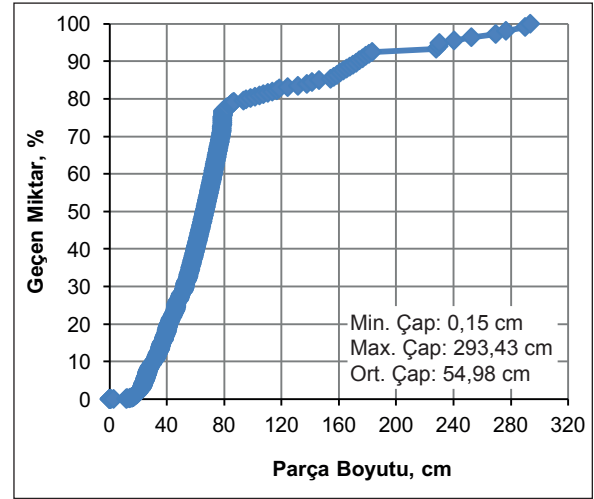
Şekil 3. TO-7 kodlu ocağa ait patlatma sonrası oluşan yığından alınmış ölçekli görüntü



Şekil 4. TO-7 kodlu ocağın ölçekli yığın fotoğrafının işlenmiş hali

Görüntü işleme yöntemi kullanılarak analiz edilen her bir fotoğrafın verileri tek bir dosya halinde birleştirilerek her bir atım için parça boyut dağılım grafikleri oluşturulmuştur. Örnek bir boyut dağılım grafiği Şekil 5’de verilmiştir. İlgili grafikten de anlaşılacağı gibi çeneli kırıcı ağızından daha geniş olan 80 cm ve üzerindeki iri parçalar patar olarak nitelendirilmiş ve bunların miktarı % olarak hesaplanmıştır. Daha sonra ocaklarda uygulanan patlatma paterninden faydalanılarak hesaplanan bir delikten elde edilecek teorik üretim hacmi (basamak yüksekliği x dilim kalınlığı x delikler arası mesafe) ile bir atımdaki delik sayısı çarpımının bu yüzdeye oranlanması neticesinde hidrolik kırıcının kırması gereken iri malzeme miktarı belirlenmiştir (Çizelge 2). Örneğin TO-7 kodlu ocak için 80 cm ve üzerindeki malzeme miktarı Şekil 5’ten de anlaşılacağı üzere yaklaşık %22,82 olarak ölçülmüştür. Bu ocakta uygulanan delme-patlatma düzenine göre bir atımdaki teorik üretim hacmi 5.569 m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. Daha sonra hidrolik kırıcı tarafından kırılması gereken patar miktarı bu ikisinin çarpılması neticesinde bulunan 1.270 m<sup>3</sup> değeridir. Yedi işletmeye ait toplam 13 patlatma gözlemlenmiş ve oluşan yığındaki patarların hidrolik kırıcı ile ne kadar sürede kırıldığı saat tutularak belirlenmiştir. Bu süreye kırıcının fiili olarak bizzat kırma işlemini gerçekleştirdiği süreler dâhil edilmiş, diğer çalışmadığı süreler (bekleme, manevra, yemek molası, tamir-bakım vb. gibi) ise dâhil edilmemiştir. 13 patlatmaya ait hidrolik kırıcı ile parçalanması gereken ve görüntü işleme yöntemi ile belirlenmiş iri boyuttaki malzeme miktarı, sahada ölçülen

yalnızca kırma işleminin fiili gerçekleştiği çalışma sürelerine bölünerek saatlik net üretim miktarları bulunmuş ve bu değerler Çizelge 2’de verilmiştir.



Şekil 5. TO-7 kodlu ocağa ait parça boyut dağılım grafiği

Çizelge 2. Hidrolik kırıcılar için her bir işletme bazında belirlenen net üretim miktarları

Ocak No.	Atım No.	Toplam		Fiili Çalışma Süresi (dk)	Net Üretim Miktarı (m <sup>3</sup> /saat)
		Malzeme Hacmi (m <sup>3</sup> )	Patar Miktarı (%)		
TO-1	1	8.316	12,32	1.750	35,10
TO-2	1	4.200	14,08	214	165,33
TO-3	1	8.505	25,07	2.000	63,90
	2	7.290	25,74	1.800	62,48
TO-4	3	3.159	31,06	950	62,97
	1	8.312	20,92	1.739	57,98
TO-5	2	7.650	37,92	3.000	58,03
	1	9.900	34,87	3.457	69,14
TO-6	2	10.494	27,23	2.600	66,04
	1	5.947	3,36	200	86,25
TO-7	2	4.032	9,10	404	89,33
	3	1.386	1,86	26	87,31
TO-7	1	5.569	22,82	1.270	98,63

Bu çalışma kapsamında değerlendirilen işletmelerde patar kırma işleminde kullanılan hidrolik kırıcılar Frukava FXJ 375 marka olup teknik özellikleri Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. Hidrolik kırıcı Frukava FXJ 375'in teknik özellikleri

Parametre	Değeri
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



Şekil 6. Kaya mekaniği deneyleri için standartlara uygun olarak hazırlanmış karot numuneler

### 1.3. Deneysel Çalışmalar

Kaya mekaniği deneylerinden doğru ve güvenilir sonuçların elde edilebilmesi standartlara uygun deney numuneleri hazırlanmasına ve deneylerin yapılmasına bağlıdır. Deneyler için gerekli olan karot numuneler, direk laboratuvara getirilen kaya bloklarından alınabileceği gibi araştırma kuyularından elde edilen ve uygun koşullarda muhafaza edilmiş sondaj karotlarından da temin edilebilir. Bu çalışma kapsamında yapılacak deneyler için ihtiyaç duyulan karotlar, arazi çalışmaları esnasında ocaklardan elde edilen çeşitli büyüklükteki kaya blok örneklerinden alınmıştır. İncelenen yedi farklı ocaktan on üç patlatma sonrası alınan kırk adet bloktan, karotiyerler kullanılarak standartlara uygun karot numuneler hazırlanmıştır (Şekil 6).

Numune hazırlama işlemlerinden sonra kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri ISRM (2007) standartlarına uygun olarak Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği laboratuvarında yapılmıştır. Bu kapsamda kayaçların tek eksenli basınç dayanımı (UCS), dolaylı çekme dayanımı (BTS), Schmidt sertlik değeri (SHV), nokta yük indeksi (Is(50)), görünür porozite (n) ve kuru yoğunluk (d) değerleri belirlenmiştir.

## 2. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan bu çalışmada, yedi farklı taş ocağından alınan kayaç numuneleri üzerinde yapılan bir dizi

Çizelge 4. Kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri

İşletme No	Kayaç Türü	d (gr/cm <sup>3</sup> )	n (%)	UCS (MPa)	BTS (MPa)	UCS/BTS	Is(50) (MPa)	SHV
TO-1	Andezit	2,60	1,65	276,8	14,31	19,3	10,98	72,6
TO-2	Alçıtaşı	2,17	29,48	14,5	2,58	5,6	1,42	32,8
TO-3	Kireçtaşı	2,64	0,85	155,9	7,77	20,1	3,56	55,8
TO-4	Bazalt	2,52	1,68	289,2	10,71	27,0	11,09	73,0
TO-5	Andezit	2,36	7,50	245,7	10,95	22,4	7,79	73,2
TO-6	Kireçtaşı	2,64	0,63	115,6	8,09	14,3	4,29	63,4
TO-7	Kalsit	2,62	1,68	67,9	6,20	11,0	2,98	52,9

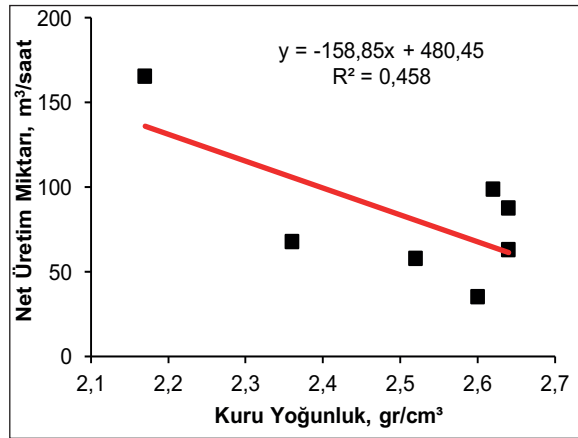
d: Kuru yoğunluk, n: Görünür porozite, UCS: Tek eksenli basınç dayanımı, BTS: Dolaylı çekme dayanımı, Is (50): Nokta yük dayanım indeksi, SHV: Schmidt sertlik değeri.

kaya mekaniği deneyleri sonucunda kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiş ve hidrolik kırıcının arazideki saatlik üretimiyle ilişkisi basit ve çoklu doğrusal regresyon analiz yöntemleri kullanılarak araştırılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda her bir ocak için kayaç numunelerinden elde edilen ortalama değerler Çizelge 4'de verilmiştir.

## 2.1. Fiziksel Özellikler

### 2.1.1. Kuru Yoğunluk

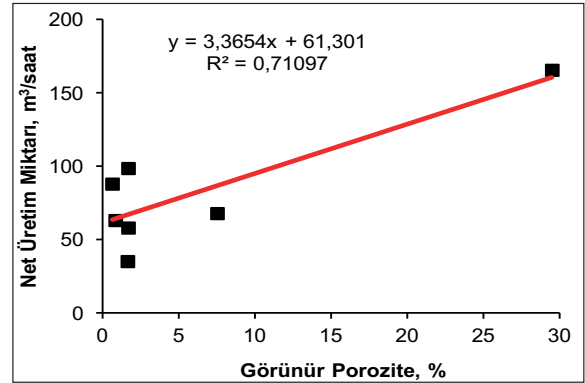
Toprak (2012), kayaçların yoğunluğu arttıkça kazı işlemlerinin zorlaştığını çalışmasında belirtmiştir. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen kayaçların kuru yoğunlukları ile hidrolik kırıcıların saatlik net üretim değerleri Şekil 7'de karşılaştırılmıştır. Elde edilen verilere bakıldığında kayaçların kuru yoğunlukları yükseldikçe hidrolik kırıcıların saatlik net üretimleri düşmektedir. Kuru yoğunlukları yüksek olan kayaçlar daha yüksek dayanımlı ve daha sert olmalarından dolayı hidrolik kırıcılar ile kırılmaları daha güç olmaktadır.



Şekil 7. Kuru yoğunluk ile net üretim miktarı ilişkisi grafiği

### 2.1.2. Görünür Porozite

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen kayaçların görünür porozitesi ile hidrolik kırıcıların saatlik üretim değerleri Şekil 8'de karşılaştırılmıştır. Buna göre, kayaçların görünür porozitesi yükseldikçe hidrolik kırıcıların saatlik üretimleri yükselmektedir. Görünür porozite arttıkça kayaçların dayanımları azalmakta, hidrolik kırıcıların kırma işlemi kolaylaşmaktadır.

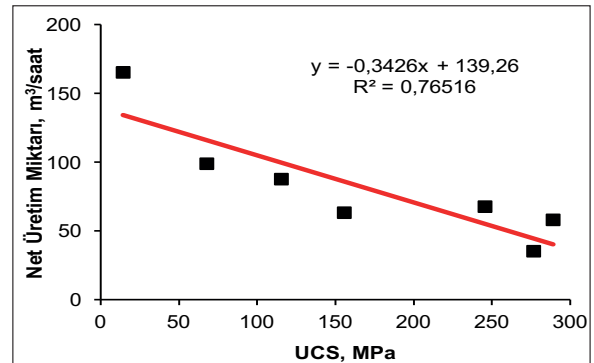


Şekil 8. Görünür porozite ile üretim miktarı ilişkisi grafiği

## 2.2. Mekanik Özellikler

### 2.2.1. Tek Eksenli Basınç Dayanımı

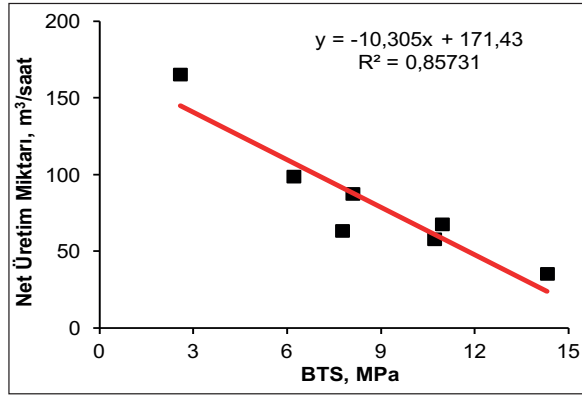
Yapılan deneyler sonucunda elde edilen kayaçların tek eksenli basınç dayanımları ile hidrolik kırıcıların saatlik üretim değerleri Şekil 9'da karşılaştırılmıştır. Yapılan basit regresyon analizine göre kayaçların tek eksenli basınç dayanımı arttıkça hidrolik kırıcıların saatlik üretimi düşmektedir. Bazalt gibi dayanımı yüksek ve sert kayaçlar daha zor kırılırken, alçıtaşı gibi nispeten yumuşak ve düşük dayanımlı kayaçlar daha kolay kırılabilmektedir.



Şekil 9. Tek eksenli basınç dayanımı ile net üretim miktarı ilişkisi grafiği

### 2.2.2. Dolaylı Çekme Dayanımı

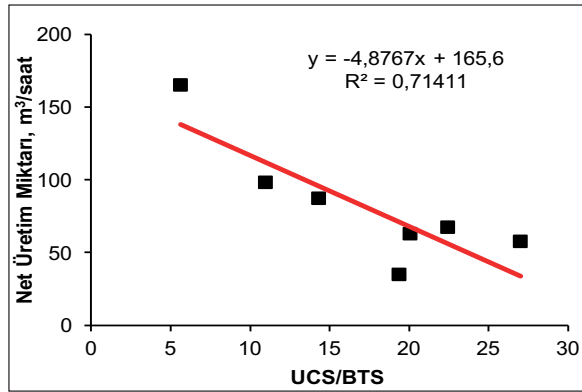
Yapılan deneyler sonucunda bulunan kayaçların dolaylı çekme dayanımları ile hidrolik kırıcıların saatlik üretimleri Şekil 10'da karşılaştırılmıştır. Buna göre, kayaçların dolaylı çekme dayanımları arttıkça hidrolik kırıcıların saatlik üretimleri düşmektedir. Çekme dayanımı daha düşük olan kayaçlar daha kolay kırılmakta, çekme dayanımı daha yüksek olan kayaçlar ise daha zor kırılmaktadır.



Şekil 10. Dolaylı çekme dayanımı ile net üretim miktarı ilişkisi grafiği

### 2.2.3. Tek Eksenli Basınç ve Dolaylı Çekme Dayanımı Oranı

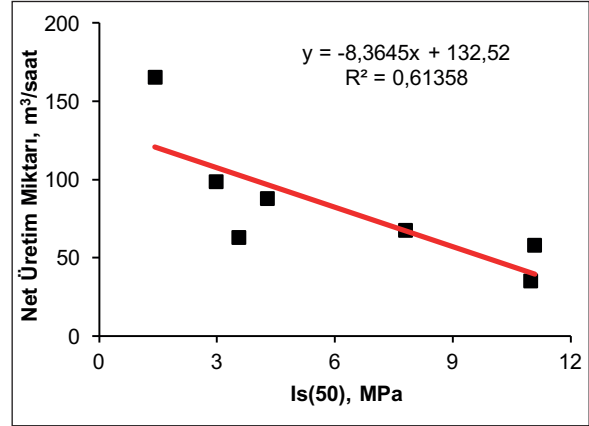
Kayaçların tek eksenli basınç dayanımının dolaylı çekme dayanımına oranı kayaçların kırılma özelliklerinin belirlenmesinde oldukça yaygın kullanılan bir ölçüttür (Altındağ, 2003; Kahraman ve Kahraman, 2016). Hidrolik kırıcılar ile boyut küçültme esnasında bir kırma işlemi gerçekleştiği için kayaçların kırılma özelliklerinin hidrolik kırıcının performansı üzerinde etkisi olacağı tahmin edilmiş ve bu ilişki araştırılmıştır. Nitekim Şekil 11’de verilen ilişki grafiğine bakıldığında hidrolik kırıcıların saatlik net üretimi miktarı ile kayaçların kırılma değerleri arasında anlamlı ve ters yönde bir ilişkinin varlığından söz edilebilir. Kırılma değeri yüksek olan (gevrek) kayaçlar daha zor kırılırken, kırılma değeri düşük olan (sünek) kayaçlar hidrolik kırıcılar tarafından daha kolay parçalanmaktadır.



Şekil 11. Tek eksenli basınç dayanım / dolaylı çekme dayanım oranı ile net üretim miktarı ilişkisi grafiği

### 2.2.4. Nokta Yük Dayanım İndeksi

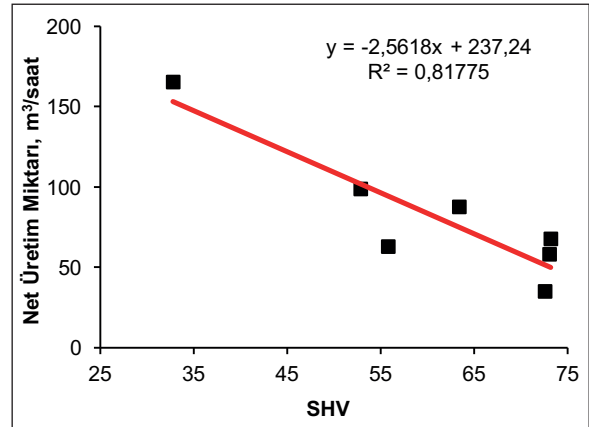
Yapılan deneyler sonucunda elde edilen kayaçların nokta yük dayanım indeksi ile hidrolik kırıcıların saatlik üretimleri Şekil 12’de karşılaştırılmıştır. Elde edilen verilere bakıldığında kayaçların nokta yük dayanım indeksleri yükseldikçe hidrolik kırıcıların saatlik üretimleri düşmektedir.



Şekil 12. Nokta yük dayanım indeksi ile net üretim miktarı ilişkisi grafiği

### 2.2.5. Schmidt Sertliği Değeri

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen kayaçların Schmidt sertlik değerleri ile hidrolik kırıcıların saatlik üretim miktarları Şekil 13’de karşılaştırılmıştır. Buna göre kayaçların Schmidt sertlik değerleri yükseldikçe hidrolik kırıcıların saatlik üretimleri azalmaktadır.



Şekil 13. Schmidt sertlik değerleri ile üretim miktarı ilişkisi grafiği



### 2.3. Çoklu Regresyon Analizi

Çalışmanın bu bölümünde hidrolik kırıcıların performansını önceden tahmin etmeye yarayacak ve bütün değişkenlerin dâhil edildiği çoklu regresyon denklemi geliştirilmiştir. Çoklu doğrusal regresyon, sürekli bir bağımlı değişken ile iki veya daha fazla sürekli veya kesikli bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi matematiksel bir eşitlik ile ifade etmekte kullanılan istatistiksel bir yöntemdir (Wonnacott ve Wonnacott, 1990). Bu bağlamda, SPSS v.17.0 programına yedi taş ocağına ait her bir kaya mekaniği parametreleri bağımsız değişken, hidrolik kırıcı net üretim miktarları ise bağımlı değişken olarak tanımlanmıştır. Buna göre elde edilen çoklu regresyon denklemi Eşitlik 1'de verilmiştir.

$$\text{NÜM} = 781,48d + 16,37n - 13,96\text{UCS} + 886,39\text{BTS} + 218,91\text{Is}(50) - 134,64\text{SHV} \quad (1)$$

Burada; NÜM: Net üretim miktarı ( $\text{m}^3/\text{saat}$ ), d: Kuru yoğunluk ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ), n: Görünür porozite (%), UCS: Tek eksenli basınç dayanımı (MPa), BTS: Dolaylı çekme dayanımı (MPa), Is(50): Nokta yükü dayanım indeksi (MPa), SHV: Schmidt sertlik değeridir.

Çizelge 5. Çoklu regresyon modeli için SPSS programı çıktısı

Değişken	Düzeltilmemiş katsayılar		Düzeltilmiş katsayılar		t	Sig.
	B	Std. hata	Beta			
d	781,48	127,96	1,48	6,11	0,10	
n	16,37	3,96	0,14	4,14	0,15	
UCS	13,96	1,39	-2,04	-10,04	0,06	
BTS	886,39	30,63	6,22	28,94	0,02	
Is(50)	218,91	32,13	1,16	6,81	0,09	
SHV	134,64	7,48	-6,29	-17,99	0,04	

Elde edilen eşitliğin belirlilik katsayısı ( $R^2$ ) 0,996 gibi oldukça yüksek bir değer çıkmıştır. Buna göre, önerilen çoklu regresyon eşitliği kullanılarak benzer şartlarda üretim yapılan diğer ocaklardaki hidrolik kırıcı net üretim miktarını kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerine bağlı olarak önceden belirleme imkânı oldukça yüksek olacaktır. Modele dâhil edilen değişkenlere ait SPSS program çıktısı Çizelge 5'de verilmiştir.

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında kırmataş ocaklarında sıklıkla kullanılan hidrolik kırıcıların net kırma miktarları görüntü işleme yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. İncelenen tüm kırmataş ocaklarındaki hidrolik kırıcıların benzer teknik özelliklere sahip olması, kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin hidrolik kırıcı net kırma miktarı üzerindeki etkilerinin daha iyi anlaşılmasına imkân sağlamıştır. Basit ve çoklu regresyon çözümlene yöntemlerinin kullanıldığı bu çalışmada, arazi ve laboratuvar çalışmalarıyla elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda hidrolik kırıcı performansını yansıtan saatlik net kırma miktarı değerleri ile kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri arasında anlamlı ilişkiler elde edilmiştir. Buna göre, kayaçların tek eksenli basınç dayanımı, dolaylı çekme dayanımı, nokta yük dayanım indeksi, Schmidt sertlik değeri ve kuru yoğunluk değerleri arttıkça ocaklardaki hidrolik kırıcıların performansını gösteren net kırma miktarı düşmektedir. Ancak, görünür porozite değeri arttıkça hidrolik kırıcıların performansı da artmaktadır. Benzer şartlarda çalışan kırmataş ocaklardaki net üretim miktarını kaya mekaniği parametrelerine bağlı olarak önceden kestirmede kullanılmak üzere geliştirilen çoklu regresyon denkleminin belirlilik katsayısı oldukça yüksek çıkmıştır. Söz konusu ocaklarda bu eşitlik hidrolik kırıcı performansını tahmin etmede güvenle kullanılabilir.

Bundan sonraki yapılacak çalışmalarda, ocak sahasında yüzeylenen kayaçların yapısal özelliklerinin delme-patlatma verimine ve dolayısıyla hidrolik kırıcıların performansına olan etkisinin araştırılması önerilmektedir. Şayet ileride yapılacak çalışmalar ile yığın parça dağılımını

etkileyen en etkin kaya kütle özelliklerinin belirlenmesi başarılabilirse her bir ocak için en uygun delme-patlatma düzeninin planlanması yapılabilecektir. Böylece, kırmataş işletmeleri için artı bir maliyet gerektiren hidrolik kırıcılar ile ikincil bir kırma işleminin tamamen giderilmesi veya en aza indirilmesi mümkün olabilecektir.

## KAYNAKLAR

Akyıldız, Ö., 2015. Kumtaşı Ocaklarında Patlatma Faaliyetlerinde Parçalanma Modellerinin İncelenmesi. Y. Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Altındağ, R., 2003. Correlation of Specific Energy with Rock Brittleness Concepts on Rock Cutting. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 103, 163-171.

Bilgin, N., Dincer, T., Copur, H., 2002. The Performance Prediction of Impact Hammers from Schmidt Hammer Rebound Values in İstanbul Metro Tunnel Drivages. Tunnelling and Underground Space Technology, 17(3), 237-247.

Evans, I., 1974. Energy Requirements for Impact Breakage of Rocks. In: Proceedings, Fluid Power Equipment in Mining, Quarrying Tunneling, IMM London, pp. 1-8.

Ghasemi, E., Sari, M., Ataei, M., 2012. Development of An Empirical Model for Predicting the Effects of Controllable Blasting Parameters on Flyrock Distance in Surface Mines. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 52, 163-170.

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.

Kahraman, E., Kahraman, S., 2016. The Performance Prediction of Roadheaders from Easy Testing Methods. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 75(4), 1585-1596.

Kılıç, A. M., 2011. Kargıcak-Ovacık (Mersin) Kuvarsitik Kumtaşı Açık İşletmesindeki Delme-Patlatma

Uygulamaları. Ç.Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi, 26(1), 11-26.

Kılıç, M. K., Kahriman, A., Bağdatlı, S., 2017. Image J Programı ile Parça Boyutu Analizi. 9. Uluslararası Delme-Patlatma Sempozyumu, Ankara, 203-213.

Öztürk, C.A., Nasuf, E., 2007. Kayaç Dokusal Özelliklerinin Sınıflandırılması ve Kaya Mühendisliği Uygulamaları. İTÜ Dergisi, 6(5-6), 69-80.

Pekin, A., 2010. Ercan Taş Ocağı Delme-Patlatma Sisteminin İncelenmesi. BAÜ FBE Dergisi, 12(1), 31-45.

Pekin, A., Bayırlı, M., 2015. Ercan Taş Ocağı Delme Patlatma Verimliliğinin Değerlendirmesi. BAÜ FBE Dergisi, 17(1), 22-31.

Pelizza, S., Benedetto, G., Patrucco, M., 1995. Workplace Environmental Conditions and Innovative Tunnel Driving Techniques: Measurement and Control. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts. 32, 135A.

Roddford, I.G., 1974. Experience with Impact Units. In: Proceedings, Fluid Power Equipment in Mining, Quarrying Tunneling, IMM London, pp. 57-66.

Sarı, M., Ghasemi, E., Ataei, M., 2015. Kaya Fırlamalarının Çoklu Regresyon ve Bulanık Mantık Yöntemleriyle Tahmin Edilebilirliği. 8. Delme-Patlatma Sempozyumu, İstanbul, s. 209-216.

Topal, İ., Oğul, K., Elevli, B., Akçakoca, H., 2011. Bir Kırmataş İşletmesinde Patlatma Delik Düzeni Değişiminin Kayaç Parçalanmasına Etkisi. Türkiye 22. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi, Ankara, s. 125-140.

Toprak, T., 2012. Süreksizliklerin Patlatma Verimi Üzerine Etkisinin Araştırılması. Y. Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Tumac, D., Hojjati, S., 2016. Predicting Performance of Impact Hammers from Rock Quality Designation and Compressive Strength Properties in Various Rock Masses. Tunnelling and Underground Space Technology, 59, 38-47.

Wonnacott, T. H., Wonnacott, R. J., 1990. Introductory Statistics. 5th Ed., John Wiley & Sons, New York.