



Orijinal Araştırma / Original Research

## DÜŞEY KAYAÇ KESME SETİ İLE KOLLU GALERİ AÇMA MAKİNESİ PERFORMANS TAHMİNİ: BİR ÖRNEK UYGULAMAI

ROADHEADER PERFORMANCE PREDICTION WITH USING VERTICAL ROCK  
CUTTING RIG: A CASE STUDY

Serdar Yaşar<sup>a,\*</sup>, Ali Osman Yılmaz<sup>a,\*\*</sup>

<sup>a</sup> Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon, TÜRKİYE

**Geliş Tarihi / Received** : 15 Mayıs / May 2018  
**Kabul Tarihi / Accepted** : 19 Ağustos / August 2018

### Anahtar Sözcükler:

Spesifik enerji,  
Kaya kesme deneyi,  
Performans kestirimi,  
Kollu galeri açma makinesi

### Keywords:

Specific energy,  
Rock cutting test,  
Performance prediction,  
Roadheader

### ÖZ

Kollu galeri açma makineleri madencilik ve tünelcilik sektöründe sıklıkla kullanılan kazı makinelerindedir. Diğer kazı makineleri gibi, kazı yapılacak formasyona uygun olarak seçilmeleri gerekmektedir. İlave olarak, formasyonda gerçekleştirecekleri kazı hızlarının proje safhasında belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaç için geliştirilen çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemlerden en temsili yöntem olarak kabul edilen kaya kesme deneyleridir. En kesin yöntemler olmalarına rağmen, az sayıda araştırma merkezinde bulunmaları sebebiyle kullanımı yaygınlaşmamaktadır. Bundan dolayı, halihazırda bulunan kaya kesme deneylerine alternatif olarak yeni düzeneklere ihtiyaç vardır.

Bu amaçla, hemen hemen tüm kaya mekaniği laboratuvarlarında bulunan hidrolik eğilme preslerine bir eklenti olarak geliştirilen taşınabilir ve seri üretime uygun bir deney düzeneği olarak getirilen düşey kayaç kesme seti (DKKS) tanıtılmıştır. Çalışma kapsamında, çeşitli magmatik kayaç numuneleri üzerinde konik keskinler ile etkileşimli ve etkileşimsiz kaya kesme deneyleri gerçekleştirilmiştir ve DKKS ile tam boyutlu kesme deneylerinin gerçekleştirilebileceği gösterilmiştir. Ardından, bir yeraltı soğuk hava deposunda çalışan bir kollu galeri açma makinesinin kazı hızları DKKS'de yapılan kaya kesme deneyleri ile tahmin edilmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak, bu sahada çalışan makinenin net kazı hızı DKKS ile gerçeğe yakın olarak tahmin edilmiştir.

### ABSTRACT

Roadheaders are frequently used in mining and tunnelling works. Similar with other excavation machines, roadheaders should be selected properly to the relevant rock formation. In addition to the selection, cutting rates of these machines should be estimated during project phase. Several methods were proposed so far for this respect. The best choice for performance prediction is the rock cutting tests. Despite to being the best choice, these cutting tests cannot be more widespread due to non-availability in many research centers. Therefore, alternative rock cutting testing arrangements should be proposed as an alternative to present testing rigs.

With this respect, vertical rock cutting rig (VRCR) which is mobile and ready for mass production was introduced as an attachment to hydraulic flexural bending machines which can be found in almost all rock mechanics laboratories. Within the scope of the study, several igneous rock samples were subjected to rock cutting test with conical picks in both relieved and unrelieved cutting mode. Finally, cutting rate of a roadheader working in an underground cold storage tunnel was predicted with cutting tests in VRCR. As a result, cutting rate of the roadheader was predicted correctly with using VRCR.

\* Sorumlu yazar: [seyasar@ktu.edu.tr](mailto:seyasar@ktu.edu.tr) • <https://orcid.org/0000-0003-4973-7970>

\*\* [aoyilmaz@ktu.edu.tr](mailto:aoyilmaz@ktu.edu.tr)

Bu bildiri 2017 yılında düzenlenen 6. Uluslararası Maden Makinaları ve Teknolojileri Kongresi Bildiriler Kitabı'nda yayınlanmıştır. / This paper was published in the 6th International Mining Machinery and Technologies Congress of Turkey held in 2017.

Bu makalenin tüm yayın hakları TMMOB Maden Mühendisleri Odası'na aittir © 2018 / Copyright © 2018 Published by UCTEA Chamber of Mining Engineers of Turkey. All rights reserved.

## GİRİŞ

Kollu galeri açma makineleri (KGAM), madencilik ve tünelcilik kazılarında sıklıkla başvuru mekanize kazı ekipmanlarından birisidir. Mekanize kazı sistemleri patlatmalı kazı yöntemine göre çeşitli avantajlar (yüksek ilerleme hızı, güvenli çalışma ortamı ve minimum yer sarsıntısı vb.) sunmaktadır. Bu avantajlara ek olarak, KGAM'lerin tam cephe- li tünel açma makinelerine (TAM) göre de çeşitli üstünlükleri bulunmaktadır. KGAM'lerin ilk yatırım maliyeti TAM'lere göre çok daha düşüktür. Ayrıca, KGAM'ler daha hızlı üretilebilmektedir. TAM'ler yalnızca dairesel kesitli açıklıkları kazabilirken, KGAM'ler her şekildeki açıklığı kazabilmektedir. Son olarak da KGAM'ler farklı projelerde kullanılmak üzere modifiye edilmeye daha uygundur (Kwietnewski vd., 2011).

Tüm üstünlüklerine karşın, KGAM'ler de diğer mekanize kazı sistemleri gibi kazılacak olan formasyona uygun olarak seçilmelidirler ve kazı performansları proje öncesi belirlenmelidir. Bir kazı makinesinin performansından bahsedilirken üç farklı bileşen dikkate alınmaktadır. Bunlar; net kazı hızı (NKH), keski tüketim hızı (KTH) ve makine kullanım oranıdır (MKO). Bu çalışmada performans bileşeni olarak yalnızca NKH ele alınmaktadır.

NKH'nın önceden kestirilmesinde kullanılan çeşitli yöntemler bulunmaktadır ancak sıklıkla başvuru yöntemler, kaya kesme deneyleri ve görgül (ampirik) tahmin yöntemleridir. Görgül yöntemlerde çeşitli araştırmacılar, kazılan formasyona ait kayacın bazı mekanik ya da fiziksel özelliklerini, birtakım makine parametrelerini ve kaya kütlesi özelliklerini kullanarak, sahadaki kesme hızlarını tahmin etmeye çalışmışlardır. Bu amaç için görgül bağıntılar ve abaklar önermişlerdir (Bilgin, 1983; Aleman, 1983; Sandbak, 1985; Farmer ve Garrity, 1987; Schneider, 1988; Gehring, 1989; Natau vd., 1991; Matsui ve Shimada, 1993; Bilgin vd., 1996; Çopur vd., 1997; Thuro ve Plinninger, 1999; Restner ve Plinninger, 2015). Ancak, görgül yöntemlerin başarısı elde edilen verinin kalitesine, veri sayısına ve dikkate alınan parametre sayısına bağlıdır. Bundan dolayı, kullanılırken bu hususlar dikkate alınmalıdır.

NKH tahmininde kullanılan en kesin yöntem olarak kaya kesme deneyleri gösterilmektedir (Bilgin

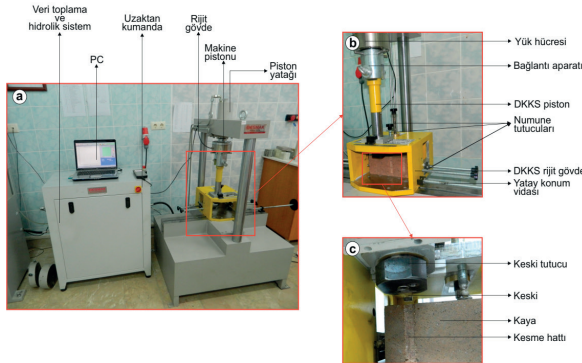
vd., 2014). Ancak bu deney düzenekleri çok sınırlı sayıda araştırma merkezinde bulunmaktadır ve çok tecrübeli çalışanlara ihtiyaç duyulmaktadır (Balcı ve Bilgin, 2007). Bundan dolayı, araştırmacılar alternatif kesme düzeneklerine yönelmektedirler (Roxborough ve Philips, 1974; Detournay vd., 1997; Bilgin vd., 2010; Entacher vd., 2014; Kang vd., 2016; Yasar ve Yılmaz, 2017a). Düşey kayaç kesme seti (DKKS), her kaya mekaniği laboratuvarında bulunan hidrolik test makinelerine bir eklenti olarak Yasar (2018) tarafından geliştirilmiş, taşınabilir ve seri üretime uygun bir kaya kesme deney düzeneğidir. DKKS'de basit kama tipi, konik ve radyal kesimler kullanılarak kaya kesme deneyleri yapılabileceği gösterilmiştir (Yasar, 2018, Yasar ve Yılmaz, 2017a; 2017b; 2017c).

Bu çalışmada, öncelikle DKKS genel olarak tanıtılmış ve çeşitli kayaç numuneleri üzerinde konik kesimler ile gerçekleştirilen etkileşimli ve etkileşimsiz kaya kesme deneylerinin sonuçları gösterilmiştir. Konik kesimler ile yapılan etkileşimsiz kesme deneyleri 1 mm ile 9 mm arasında değişen kesme derinliklerinde gerçekleştirilmiştir. Etkileşimli kesme deneyleri ise 9 mm kesme derinliği sabit tutularak ve kesimler arası mesafe değiştirilerek gerçekleştirilmiştir. Kesme kuvveti ve spesifik enerji gibi bağımlı değişkenler ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiler gösterilmiştir. DKKS ile yapılan kaya kesme deneylerinin saha uygulamalarına örnek teşkil etmesi amacı ile bir adet KGAM çalışma sahası ziyaret edilerek sahadan numuneler temin edilmiştir. Bu numuneler üzerinde kesme deneyleri gerçekleştirilerek çalışan KGAM'nin kazı hızı DKKS ile tahmin edilmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak, bu sahadaki çalışan makinenin net kazı hızı DKKS ile gerçeğe yakın olarak tahmin edilmiştir.

## 1. DÜŞEY KAYAÇ KESME SETİ (DKKS)

Düşey kayaç kesme seti (DKKS), Yaşar (2018) tarafından geliştirilmiştir. Deney düzeneğinin detayları genel olarak çeşitli kaynaklardan takip edilebilir (Yaşar, 2018; Yasar ve Yılmaz, 2017a; 2017b; 2017c). DKKS, taşınabilir, tamamen sökülebilir ve tekrar monte edilebilir olarak ve her kaya mekaniği laboratuvarında bulunan hidrolik test makinelerine bir eklenti olarak tasarlanmıştır. Tasarımı sayesinde hem basınç test makinelerinin-

de hem de eğilme test makinelerinde kullanılabilir. Deney düzeneğinin bileşenleri genel olarak Şekil 1'de görülmektedir.

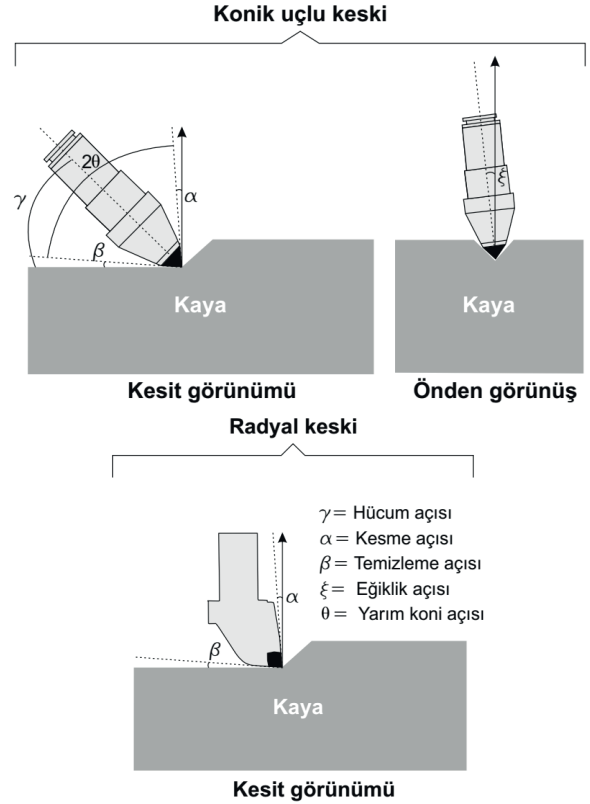


Şekil 1. (a) Hidrolik eğilme test makinesinin genel bileşenleri ve DKKS (b) DKKS'nin bileşenleri (c) DKKS ile kayaç kesme (Yaşar ve Yılmaz, 2017a).

DKKS, düşey yönde hareket eden bir pistonu sahiptir ve bu pistonun alt tarafına monte edilen keski tutucuya sabitlenen keski sayesinde test edilecek olan kaya numuneleri üzerinde kesme deneyleri gerçekleştirilmektedir. Keski kayaca batarak kazıya başladığında, keskiye hareket yönünde etkiyen kesme kuvveti hidrolik eğilme test makinesi üzerinde bulunan yük hücresi üzerinden bilgisayara gönderilmektedir. Ölçülen kesme kuvvetinin zamana bağlı değişim grafiği bilgisayardan elde edilebilmektedir. Elde edilen grafik sayesinde maksimum kesme kuvveti (FC'), ortalama kesme kuvveti (FC) ve FC'nin yardımı ile de spesifik enerji bulunabilmektedir.

DKKS'de değişen boyutlarda karot numuneleri, 10 cm x 20 cm x 23 cm boyutlarına kadar olan blok numuneler ve şekilsiz blok numuneler kesme deneylerine tabi tutulabilir. Şekilsiz numuneler üzerinde deneyler gerçekleştirilirken, sıkıştırma sorunları yaşanmaması için numune beton ya da alçı içine sabitlenerek sıkıştırma işlemine devam edilmektedir.

Kaya kesme deneylerinde çeşitli keski türleri kullanılabilir. Bu keski türleri; basit kama tipi, konik ve radyal keski türleridir (Yaşar, 2017, Yaşar ve Yılmaz, 2017a; 2017b; 2017c). KGAM'lerde sıklıkla kullanılan keski türleri olan konik ve radyal keskilere ait tasarım değişkenleri Şekil 2'de gösterilmiştir.



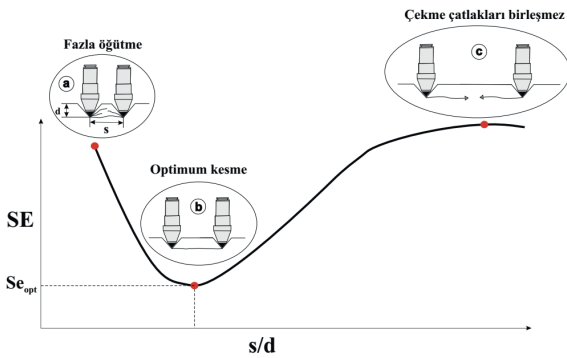
Şekil 2. Konik ve radyal keski türlerinde tasarım değişkenleri

## 2. DKKS İLE KONİK KESME DENEYLERİ

KGAM'lerde en sıklıkla kullanılan keski türleri olan konik keski türleri ile çeşitli kaya numuneleri üzerinde kesme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kaya kesmede bağımlı değişkenler olan kesme kuvveti ve spesifik enerji ile bağımsız değişkenler olan kesme derinliği (d), keski arası mesafe (s), s/d oranı gibi parametreler arasındaki ilişkiler incelenmiştir.

Kaya kesme deneyleri iki yöntemle gerçekleştirilmektedir; etkileşimsiz ve etkileşimli kesme yöntemi. Sahadaki kesme koşullarının laboratuvar ortamında temsil edilebilmesi için etkileşimli yöntemde kesme işlemi gerçekleştirilmiştir. Kaya kesmedeki kesme yöntemleri Şekil 3'te gösterilmiştir. Kaya kesmede üç durum bulunmaktadır (Şekil 3): (a) durumunda keski arası mesafe çok yakın olduğu için fazla öğütme gerçekleşmektedir ve gereksiz enerji sarfıyatı meydana gelmektedir ve verimsiz bir kazı gerçekleşmektedir. Diğer taraftan, (c) durumunda ise keski arası mesafe o

kadar fazladır ki birbirini izleyen kesme hatları arasında oluşan yanal çekme çatlakları birbirine ulaşmaz ve aradaki parça kopmaz. Sonuç olarak her keski kendi bulunduğu oyuğu derinleştirir ve verimsiz bir kesme işlemi meydana gelir. Keski arası mesafenin bu kadar açılması ile etkileşimsiz kesme moduna geçiş olur. Son olarak (b) durumu makine için optimum kesme durumudur. Keski arası birbirine göre o kadar iyi konumlandırılır ki spesifik enerji en düşük seviyede seyrederek, (b) durumunda oluşan spesifik enerjiye optimum spesifik enerji ( $SE_{opt}$ ) denir.



Şekil 3. s/d ile spesifik enerjinin değişimi

Etkileşimli kaya kesme deneylerinden elde edilen optimum spesifik enerji değeri, KGAM'lerin performanslarının tahmininde kullanılmaktadır. Rostami vd. (1994) tarafından önerilen yöntem şu şekildedir:

$$NKH = k \frac{P}{SE_{opt}} \quad (1)$$

Burada;

$SE_{opt}$  = Tam boyutlu kaya kesme deneyinden elde edilen spesifik enerji, kWsaat/m<sup>3</sup>,

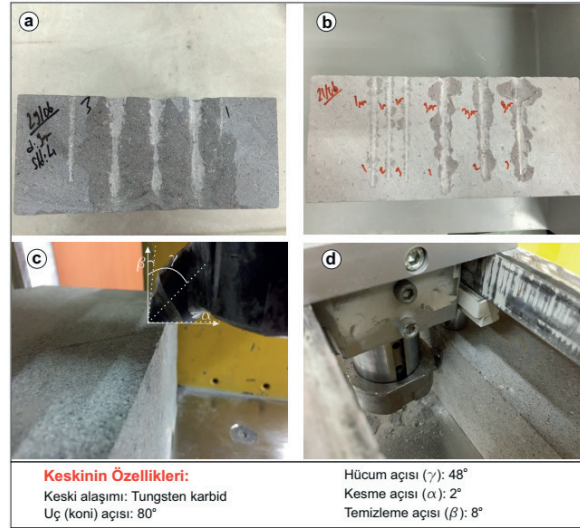
P = Makinenin kesici kafa gücü, kW,

NKH = Net kazı hızı, m<sup>3</sup>/saat'tir.

k = Enerji transfer oranıdır (0,45-0,90).

Kaya kesme deneylerinde altı farklı magmatik kayaç kullanılmıştır (kırmızı andezit, gri andezit, yeşil tuf, gri tuf, kahverengi vitrik tuf, sarı vitrik tuf). Bu kayaç numuneleri konik keski yardımı ile kesme deneyine tabi tutulmuştur. Deneyler 1 mm, 3 mm, 5 mm, 7 mm ve 9 mm kesme derinliklerinde gerçekleştirilmiştir, her deney en az üç kez tekrar

edilmiştir. Etkileşimli kaya kesme deneyleri ise 9 mm kesme derinliği sabit tutularak değişen keski arası mesafelerde (18 mm, 27 mm, 36 mm, 45 mm ve 72 mm) tamamlanmıştır. Şekil 4'te kesme deneylerinde kullanılan keskinin özellikleri, etkileşimli ve etkileşimsiz kesme deneyleri görülmektedir. Gerçekleştirilen deneylerin sonuçları çeşitli kaynaklardan takip edilebilir (Yaşar, 2018; Yaşar ve Yılmaz, 2017b).

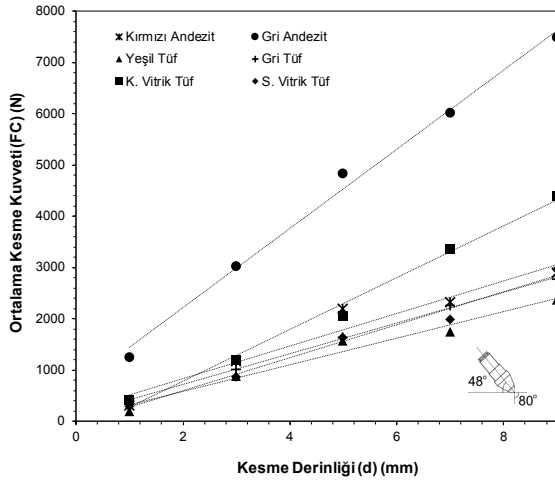


Şekil 4. (a) Konik keski ile etkileşimli kesme deneyleri (b) Konik keski ile etkileşimsiz kesme deneyleri (c) Konik keskinin özellikleri (d) Konik keski ile kaya kesme deneyi (Yaşar ve Yılmaz, 2017b).

Gerçekleştirilen etkileşimsiz kesme deneylerinin sonucunda bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında birtakım ilişkilere ulaşılmıştır. Kaya kesilebilirliğinin en önemli göstergelerinden biri olan ortalama kesme kuvveti (FC) ile kesme derinliği arasındaki ilişkinin grafiği Şekil 5'te verilmiştir. Tüm kaya numuneleri için FC d'nin artması ile lineer olarak artmaktadır.

Geçmiş çalışmalar incelendiğinde, konik keski kesme kuvvetinin kesme derinliği ile lineer olarak arttığı gözlemlenmiştir (Hurt ve Laidlaw, 1979; Hurt, 1980; Roxborough vd., 1981; Inyang, 2002; Bilgin vd., 2006). Tek istisna olarak, Demou vd. (1983) kesme kuvveti ile kesme derinliği arasında üslü bir ilişki olduğunu göstermiştir ve kesme derinliğinin üssünün 1,3 civarı olduğunu belirtmiştir. Buna ek olarak, teorik çalışmalarda maksimum kesme kuvvetinin kesme derinliğinin karesi (d<sup>2</sup>) ile lineer olarak arttığı belirtilmektedir (Evans, 1984;

Roxborough ve Liu, 1995; Göktaş, 1997; Göktaş ve Güneş, 2005). Şekil 5'te görülen sonuçlar geçmiş çalışmalar ile örtüşmektedir.



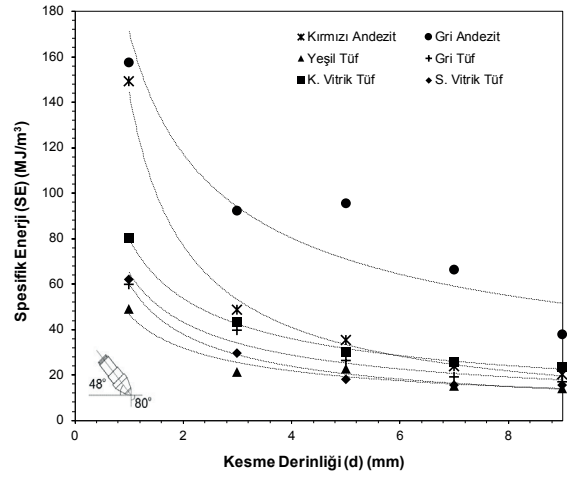
Şekil 5. Etkileşimsiz kesme deneylerinde FC ile d arasındaki ilişki (Yaşar ve Yılmaz, 2017b).

Spesifik enerji (SE) kesme verimliliğinin en önemli göstergesidir ve kesme derinliğinin artması ile birlikte spesifik enerji azalmaktadır. Kazı makinelerinin sahadaki uygulamalarında, kesme derinliğinin 10 mm civarında olması halinde verimli kesme koşullarının oluştuğu iddia edilmektedir (Hurt ve MacAndrew, 1985). Bu çalışmada konik kesmelerle yapılan etkileşimsiz kesme deneylerinden elde edilen bu sonuçlarda da buna benzer bulgular elde edilmiştir. Spesifik enerjinin 9 mm kesme derinliğine yaklaşırken sabitlenerek optimum değerine ulaştığı görülmüştür (Şekil 6). Bu sonuçlar geçmiş çalışmalar ile uyum içindedir (Çopur vd., 2001, 2003; Bilgin vd., 2006; Tümaç vd., 2007).

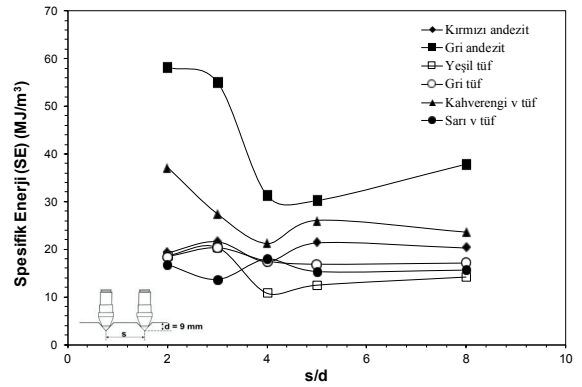
Etkileşimli kesme deneyleri sahadaki kesme koşullarının laboratuvar ortamında gerçekleştirilebilmesi için önemli bir yere sahiptir. Buradan elde edilen optimum spesifik enerji ( $SE_{opt}$ ) değerleri Rostami vd. (1994) tarafından önerilen performans tahmini modelinde kullanılmaktadır. Şekil 7'de kesmeler arası mesafenin kesme derinliğine oranı ( $s/d$ ) ile spesifik enerjinin değişimi gösterilmiştir. Optimum  $s/d$  oranının 3 ile 5 arasında değiştiği Şekil 7'den görülmekte olup bu değer de önceki çalışmalardaki bulgular ile örtüşmektedir (Evans, 1984; Bilgin vd., 2006).

Etkileşimli kaya kesme deneylerinden elde edilen  $SE_{opt}$  değeri sayesinde istenilen makine ile ilgili

performans tahmini Eşitlik 1 yardımı ile yapılabilmektedir.



Şekil 6. Etkileşimsiz kesme deneylerinde SE ile d arasındaki ilişki (Yaşar ve Yılmaz, 2017b).



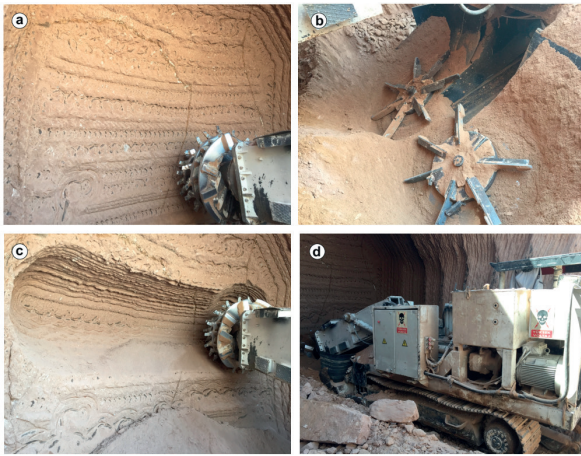
Şekil 7. Etkileşimli kesme deneylerinde SE ile  $s/d$  arasındaki ilişki (Yaşar ve Yılmaz, 2017b).

### 3. SAHA ÇALIŞMALARI

Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen kaya kesme deneylerinin saha uygulamalarında kullanılmasının gösterilebilmesi için bir adet KGAM çalışma sahası ziyaret edilmiştir. Ziyaret edilen sahadaki kazı aynasından kaya numunesi alınmıştır ve KGAM'nin NKH değerleri kaydedilmiştir.

Bu saha Nevşehir ili Ürgüp ilçesinde bulunmaktadır. İç Anadolu Bölgesi'nde, özellikle Nevşehir civarında, bu tip depolar çok sıklıkla inşa edilmektedir. Bu depoların inşasında ise genellikle kollu galeri açma makinelerine (KGAM) ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sahada yerel üretici tarafından imal edilen bir KGAM çalışmaktadır. Geçilen formasyon kristal tüftür ve kazı aynası toplamda iki adet süreksizlik içerdiği için masif olarak kabul edilmiştir.

Kullanılan KGAM aksiyel (eksenel) tip bir makinedir ve Şekil 8'de gösterilmiştir. Makinenin kesme gücü 110 kW, ağırlığı ise 42 ton'dur. KGAM 25 m<sup>2</sup>'lik bir açıklık kazmaktadır. Aynadan blok numuneler temin edilmiştir ve dikkatli bir şekilde korunarak nemini kaybetmesine izin vermeden laboratuvara getirilmiştir. Bu sahada da yalnızca net kazı hızı ölçülmüş diğer performans parametreleri ile ilgili herhangi bir veri toplanmamıştır. Bu depolarda genellikle tahkimat kullanılmamaktadır ve bundan dolayı makineler maksimum verimde kesme yapmaktadırlar. Sahada ölçülen net kazı hızı (NKH) 74,07 m<sup>3</sup>/saat'tir. Sahadaki KGAM'de keski olarak radyal keski kullanılmaktadır.



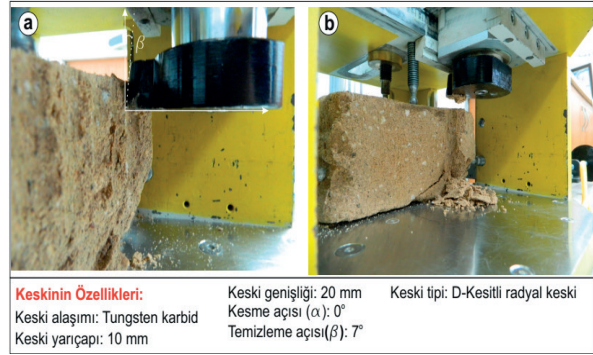
Şekil 8. (a) KGAM kesici kafa ve aynanın durumu (b) KGAM toplayıcı ünitesi (c) KGAM'nin kazı sırasındaki görüntüsü (d) KGAM'nin genel görünüşü (Yaşar, 2018).

Laboratuvara getirilen blok numuneler üzerinde DKKS'de kaya kesme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kaya kesme deneylerinde makine kesici kafası üzerinde bulunan keskiyle aynı geometriye sahip bir radyal keski kullanılmıştır. Şekil 9'da kesme deneylerinde kullanılan, kristal tüfe ait blok numune görülmektedir.



Şekil 9. Kaya kesme deneylerinde kullanılan kristal tüf numunesi

Sahadaki kesme işleminin laboratuvarında benzer şekilde gerçekleştirilebilmesi için yalnızca etkileşimli kaya kesme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kesme derinliği 10 mm olarak belirlenmiştir ve keski arası mesafe değiştirilerek optimum kesme durumu araştırılmıştır. Şekil 10'da deneylerde kullanılan radyal keski ve özellikleri görülmektedir.

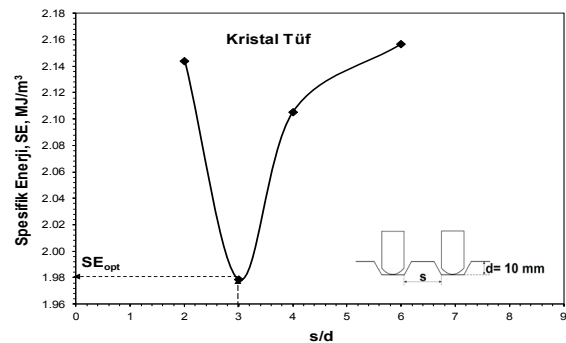


Şekil 10. (a) Kesme deneylerinde kullanılan radyal keski (b) Kristal tüf numunesinin kesilmesi

Kesme deneylerinin ardından spesifik enerjinin s/d oranı değişimi grafiği elde edilerek  $SE_{opt}$  değeri elde edilmiştir. Deneylerin sonucunda oluşan pasa miktarı (Q) ve spesifik enerji (SE) Çizelge 1'de ve elde edilen grafik Şekil 11'de gösterilmiştir.

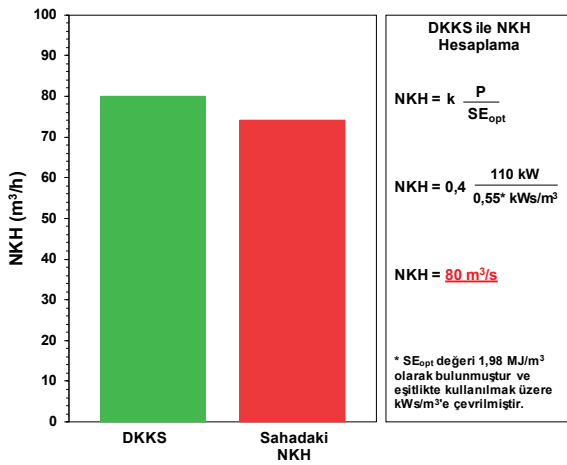
Çizelge 1. Etkileşimli kaya kesme deneylerinden elde edilen sonuçlar

Numune	d (mm)	s/d	Q (m <sup>3</sup> /km)	SE (MJ/m <sup>3</sup> )
Kristal tüf	10	2	0,259	2,14
		3	0,254	1,98
		4	0,217	2,11
		6	0,288	2,16



Şekil 11. Radyal keski ile gerçekleştirilen etkileşimli kesme deneylerinden elde edilen SE-s/d grafiği

$SE_{opt}$  değeri eşitlikte kullanılmak üzere  $kWsaat/m^3$ 'e çevrilmiştir. Makine kesme gücü  $kW$  olarak Eşitlik 1'de kullanılmıştır. Ayrıca enerji transfer oranı ( $k$ ) ise 0,4 olarak kabul edilmiştir. Her ne kadar  $k$  değerinin KGAM'ler için 0,45-0,55 arasında değiştiği belirtilse de Bilgin vd. (2005) aksiyel tip makineler için  $k$  değerinin 0,4 olarak kabul edilmesi gerektiğini belirtmiştir. Sahada çalışan makine aksiyel tip bir makine olduğu için  $k$  değeri 0,4 olarak kabul edilerek hesaplamalara devam edilmiştir. DKKS ile hesaplanan NKH değeri ile sahadaki NKH değerinin karşılaştırılması Şekil 12'de verilmiştir.



Şekil 12. Görgül olarak hesaplanan ve sahadaki ölçülen NKH değerleri

Şekil 12'den de görülebileceği gibi sahadaki gerçekleşen kazı hızları DKKS ile birlikte çok hassas olarak tahmin edilmiştir. Sahadan ölçülen değer  $74,07 \text{ m}^3/\text{sat}$  iken DKKS ile tahmin edilen değer  $80 \text{ m}^3/\text{saat}$ 'tir.

Kaya kesme deneyleri, kesilebilirlik ya da performans tahmininde kullanılan en önemli ve kesin yöntemlerdir. Ancak, çok az sayıda merkezde bulunmaktadır. Bundan dolayı, araştırmacılar çeşitli alternatif yöntemlere yönelmektedirler (tek eksenli basınç dayanımı deneyi gibi). Bu tip kaya mekaniği deneyleri statik kaya mekaniği prensiplerini takip etmektedir, ancak kaya kesme mekaniği dinamik kaya mekaniği kurallarına uymaktadır. Bundan dolayı, standart kaya mekaniği deneyleri, kaya kesme mekaniğini temsil edememektedir. DKKS sayesinde kaya kesme deneyleri daha kolay ve uygulanabilir olabilir. Bir kaya kesme de-

neyinde bulunması gereken şartlar Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği (ISRM) tarafından şu şekilde belirtilmiştir (Bamford, 1987):

- Sahada kazı yapan makinenin kestiği kayaç spektrumu deneyde kesilebilmelidir. Yani, KGAM 120 MPa'a kadar kayaçları kazdığı varsayılırsa bu amaç için imal edilen bir deneyde 120 MPa'a kadar dayanıma sahip olan kayaçlar deneye tabi tutulabilmelidir,
- Deney güvenilir olmalıdır,
- Deneyin yapılışı kolay, hızlı ve ucuz olmalıdır,
- Deney yöntemi farklı araştırmacılar tarafından tekrar üretilebilir olmalıdır.
- Deneyde küçük boyutlarda numuneler kullanılmalıdır.

DKKS, burada belirtilen tüm kriterleri sağlamaktadır.

## SONUÇLAR

Taşınabilir ve seri üretime uygun olarak tasarlanan düşey kayaç kesme seti (DKKS), her kaya mekaniği laboratuvarında bulunan hidrolik eğilme ve basınç test makinelerinde kullanıma uygun olarak üretilmiştir. Gerçekleştirilen önceki çalışmalarda basit kama, konik, radyal vb. kesimler kullanılarak, DKKS'de kaya kesme deneylerinin gerçekleştirilebildiği gösterilmiştir. Bu çalışmada da konik kesimler ile yapılan çeşitli deneylerin sonuçları genel hatları ile gösterilmiştir. Ayrıca, konik ve radyal kesimler ile DKKS'de performans tahmini amacı ile tam boyutlu kesme deneyinin yapılabildiği gösterilmiştir. Yapılan saha çalışmasında, KGAM'nin net kazı hızı DKKS'de gerçekleştirilen kaya kesme deneylerinin yardımı ile tahmin edilmeye çalışılmıştır ve gerçeğe çok yakın sonuçlar elde edilmiştir. Sonuç olarak, DKKS sayesinde, neredeyse rutin bir kaya mekaniği deneyi olarak gerçekleştirilen kaya kesme deneyleri ile KGAM'lerde performans tahmininde görgül yöntemlere olan bağımlılık azalacaktır. Hiçbir kaya mekaniği deneyi (tek eksenli basınç dayanımı vs.) kayaç kesilebilirliğini temsil etmeye yeterli değildir. Bundan dolayı, kayaç kesilebilirliğinin kestirilmesinde dolaylı yöntemler yerine kaya kesme deneylerinin kullanılması gerekmektedir.

tedir. Bu vesile ile DKKS gibi bir tasarım ile dolaylı yöntemler yerine doğrudan kesme deneyleri gerçekleştirilebilir.

## KAYNAKLAR

Aleman, V.P., 1983. Prediction Of Cutting Rates For Boom Type Roadheaders, Tunnels and Tunneling, 15, January, 23-25.

Balcı, C. ve Bilgin, N., 2007. Correlative Study of Linear Small and Full Scale Rock Cutting Tests to Select Mechanized Excavation Machines, International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 44, 468 - 476.

Bamford, W.E., 1987. Workshop On Rock Cuttability And Drillability, International Congress on Rock Mechanics, G. Herget ve S. Vongpaisal, Ed., Montreal, Volume 3, 1508–1510.

Bilgin, N., 1983. Prediction of Roadheader Performance From Penetration Rates of Percussive Drills: Some Applications to Turkish Coalfields. Eurotunnel '83 Conference, 22–24 June, Basle, Switzerland, 111–114.

Bilgin, N., Yazici, S., Eskikaya, S., 1996. A Model to Predict The Performance of Roadheaders And Impact Hammers in Tunnel Drivages, International Eurock '96 Symposium, Torino, 715-720.

Bilgin, N., Tümaç, D., Feridunoğlu, C., Karakaş, A.R., Akgül, M., 2005. The Performance of a Roadheader in High Strength Rock Formations in Kucuksu Tunnel. 31st ITA-AITES World Tunnel Congress, Istanbul, Turkey, 815–820.

Bilgin, N., Demircin, M.A., Çopur, H., Balcı, C., Tunçdemir, H., Akçin, N., 2006. Dominant Rock Properties Affecting the Performance of Conical Picks and the Comparison of Some Experimental and Theoretical Results, International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 43, 1, 139–156.

Bilgin, N., Balcı, C., Tümaç, D., Feridunoğlu, C., Çopur, H., 2010. Development of a Portable Rock Cutting rig for Rock Cuttability Determination. In: Zhao J, Labiouse V, Dudt JP, Mathier JF (Eds) European rock mechanics symposium EUROCK 2010, Lausanne, pp 405–408.

Bilgin, N., Copur, H., Balcı, C., 2014. Mechanical Excavation in Mining and Civil Industries, CRC Press, 366 s.

Çopur, H., Rostami, J., Ozdemir, L., Bilgin, N., 1997. Studies on Performance Prediction of Roadheaders Based on Field Data in Mining and Tunneling Projects, International 4th Mine Mechanization and Automation Symposium, Brisbane, 4A1–4A7.

Çopur, H., Tunçdemir, H., Bilgin, N. ve Dinçer, T., 2001. Specific Energy as a Criterion for Use of Rapid Excavation Systems in Turkish Mines, Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy Section A, 110, 149–157.

Demou, S.G., Olson, R.C., Wingquist, C.F. 1983. Determination of Bit Forces Encountered in Hard Rock Cutting for Application to Continuous Miner Design. Report of Investigations 8748. US Bureau of Mines.

Detournay, E., Drescher, A., Hultman, D.A., 1997. Portable Rock Strength Evaluation Device. United States Patent 5670711.

Entacher, M., Lorenz, S., Galler, R. 2014. Tunnel Boring Machine Performance Prediction with Scaled Rock Cutting Tests. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 70, 450–459.

Evans, I., 1984. A Theory of Cutting Forces for Point Attack Picks, International Journal of Mining Engineering, 2, 63-71.

Farmer, I.W. ve Garrity, P., 1987. Prediction of Roadheader Cutting Performance from Fracture Toughness Considerations, 6th International Congress on Rock Mechanics, Montreal, Canada, vol. 1, 621–624.

Gehring, K.H., 1989. A Cutting Comparison, Tunnels and Tunneling, 27–30.

Göktan, R.M., 1997. A Suggested Improvement on Evans'cutting Theory for Conical Bits, 4th International Symposium on Mine Mechanisation and Automation, H. Gürgenci ve M. Hood., Ed., Brisbane, Australia, 57–61.

Göktan, R.M., ve Güneş, N., 2005. A Semi-Emprirical Approach to Cutting Force Prediction for Point-Attack Picks, The Journal of the South Afri-



- can Institute of Mining and Metallurgy, 105, April, 257–263.
- Hurt, K.G., ve Laidlaw, D.G., 1979. Laboratory Comparison of Three Rock- Cutting Tools, *Tunnels and Tunnelling*, 6, 11-13.
- Hurt, K.G., 1980. Rock Cutting Experiments with Point Attack Tools, *Colliery Guardian Coal International*, April, 47–50.
- Hurt, K.G., ve MacAndrew, K.M., 1985. Cutting Efficiency and Life of Rock Cutting Picks. *Mining Science and Technology*, 2, 139–151.
- Inyang, H. I., 2002. Developments in Drag Bit Cutting of Rocks for Energy Infrastructure. *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*, 16 (June), 248–260.
- Kang, H., Cho, J.W., Park, J.Y., Jang, J.S., Kim, J.H., Kim, K.W., Rostami, J., Lee, J.W., 2016. A New Linear Cutting Machine for Assessing the Rock-Cutting Performance of a Pick Cutter, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 88, 129-136.
- Kwietniewski, D., Henn, R., Brierley, G., 2011. Versatility of Roadheaders in Tunnel Construction, *Tunneling & Underground Construction*, 5, 2, 17-21.
- Matsui, K., ve Shimada, H., 1993. Rock Impact Hardness Index for Predicting Cuttability of Roadheader. *Mine Mechanization and Automation*, G. Almgren, U. Kumar, N. Vagenas, Ed., Balkema, Rotterdam, 265-270.
- Natau, O., Mutschler, T.H., Lempp, C.H., 1991. Estimation of the Cutting Rate And Bit Wear Of Partial Full Face Tunnelling Machines, 7th International Rock Mechanics Congress. ISRM, Aachen, 1591–1595.
- Restner, U., ve Plinninger, R.J., 2015. Rock Mechanical Aspects of Roadheader Excavation, *EUROCK 2015 & 64th Geomechanics Colloquium*, W. Schubert ve A. Kluckner, Ed., 249-254.
- Rostami, J., Özdemir, L., Neil, D., 1994. Performance Prediction: The Key Issue in Mechanical Hard Rock Mining, *Mining Engineering*, 1263-1267.
- Roxborough, F.F., ve Philips H.R., 1974. Experimental Studies on the Excavation of Rocks Using Picks, *Advances in Rock Mechanics*, Third ISRM Congress, Denver, 1407-1412.
- Roxborough, F.F., King, P., Pedroncelli, E.J., 1981. Tests on the Cutting Performance of a Continuous Miner, *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*, January, 9–25.
- Roxborough, F.F., ve Liu, Z.C. 1995. Theoretical Considerations on Pick Shape in Rock and Coal Cutting. 6th Underground Operator's Conference, 189–193.
- Sandbak, L.A., 1985. Roadheader Drift Excavation and Geomechanical Rock Classification At San Manuel, Arizona. *Rapid Excavation and Tunneling Conference*, New York, vol. 2, 902–916.
- Schneider, H., 1988. Criteria for Selecting a Boom-Type Roadheader. *Mining Magazine*, September, 183-187.
- Thuro, K., ve Plinninger, R.J., 1999. Roadheader Excavation Performance-Geological and Geotechnical Influences, 9th ISRM Congress, 1241–1244.
- Tümaç, D., Bilgin, N., Feridunoğlu, C., Ergin, H. 2007. Estimation of Rock Cuttability from Shore Hardness and Compressive Strength Properties. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 40, 477–490.
- Yaşar, S., (2018). Kayaç Kesilebilirliğinin Tayini İçin Düşey Kayaç Kesme Setinin Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Yaşar, S. ve Yılmaz, A.O., (2017a). A Novel Mobile Testing Equipment for Rock Cuttability Assessment: Vertical Rock Cutting Rig (VRCR), *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 50, 857-869.
- Yaşar, S. ve Yılmaz, A.O., (2017b). Vertical Rock Cutting Rig (VRCR) Suggested for Performance Prediction of Roadheaders, *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, DOI: 10.1080/17480930.2017.1363482.
- Yaşar, S. ve Yılmaz, A.O., (2017c). Rock Cutting Tests with a Simple-Shaped Chisel Pick to Provide Some Useful Data, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, DOI: 10.1007/s00603-017-1303-2.

