



Orijinal Araştırma / Original Research

KÜÇÜK BOYUTLU KAYA KESME DENEYİNİN TAŞINABİLİR BİR KESME SETİNDE UYGULANMASI

APPLICATION OF SMALL-SCALE ROCK CUTTING TEST IN A MOBILE ROCK CUTTING EQUIPMENT

Serdar Yaşar^{a,*}

^a Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon, TÜRKİYE

Geliş Tarihi / Received : 27 Kasım / November 2017

Kabul Tarihi / Accepted : 19 Şubat / February 2018

Anahtar Sözcükler:

Karot kesme deneyi,
Özgül enerji,
Kesme kuvveti,
Performans tahmini,
Kollu galeri açma makineleri.

Keywords:

Core cutting test,
Specific energy,
Cutting force,
Performance prediction,
Roadheaders.

ÖZ

Küçük boyutlu kaya kesme deneyi (karot kesme deneyi), en sık kullanılan kaya kesme deney düzeneklerinden birisidir. Bu deney düzeneğinden elde edilen deneysel sonuçlar marifetiyle, kollu galeri açma makinesi ve döner kepçeli ekskavatör performans tahmini ve ripplenebilirlik sınıflaması yapılabilmektedir. Ancak, bu deney setleri sabit ekipmanlardır, üretilmeleri zahmetlidir ve sınırlı sayıda araştırma merkezinde bulunmaktadır. Bu çalışmada küçük boyutlu kaya kesme deneyinin, taşınabilir ve hidrolik eğilme test makinelerine bir eklenti olarak tasarlanan düşey kayaç kesme seti (DKKS) ile gerçekleştirilebilmesi hususu irdelenmiştir. DKKS genel hatları ile tanıtılmış ve geçmiş çalışmalardan bilgiler sunulmuştur. DKKS'de küçük boyutlu kaya kesme deneyinin kolaylıkla ve başarılı bir şekilde gerçekleştirilebileceği gösterilmiştir. Buna ilave olarak, bir adet kollu galeri açma makinesi çalışma sahası ziyaret edilmiş ve alınan numuneler üzerinde gerçekleştirilen kesme deneyleri ile makinenin kazı hızı kestirilmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak, bu makinenin kazı hızı gerçeğe yakın bir şekilde kestirilmiştir. Elde edilen veriler ve tecrübeler ışığında, DKKS ile kaya kesme deneylerinin rutin bir kaya mekaniği deneyi gibi gerçekleştirilebildiği gösterilmiştir.

ABSTRACT

Small-scale rock cutting test (core cutting test) is one of the most frequently used rock cutting testing arrangements. Thanks to the experimental outcomes obtained from these testing arrangements, roadheader and bucket-wheel excavator performance prediction and rippability classification might be performed. However, these rigs are stable arrangements, are hard to be reproduced and they can be found in a very limited number of research centers. In the present study, application of small-scale rock cutting test with vertical rock cutting rig (VRCR), which is designed as a mobile rig and as an attachment to hydraulic bending test machines, was exclusively demonstrated. VRCR was basically introduced and results from previous studies were shown. It has been shown that small-scale rock cutting test may be applied easily and successfully with VRCR. Furthermore, a roadheader work site was visited and samples were collected. Cutting rate of the roadheader was predicted with the results of cutting tests in VRCR. As a result, cutting rate of the roadheader was estimated successfully. In the light of the obtained experiences and experimental results, it was shown that a rock cutting test may be performed as a routine rock mechanics test in VRCR.

* Sorumlu yazar: seyasar@ktu.edu.tr * <https://orcid.org/0000-0003-4973-7970>

GİRİŞ

Mekanize kazı uygun koşullar altında, delme ve patlatma yöntemine göre birçok avantaj sunmaktadır. Ayrıca, günümüz teknolojisi ile delme ve patlatma yöntemine karşı tek ekonomik alternatif kazı yöntemidir. Sunduğu avantajlara rağmen, makinelerin ilk yatırım maliyetleri çok yüksek olduğundan dolayı kazı yapılacak olan formasyona uygun olarak seçilmelidirler ve kazı hızlarının önceden kestirilmesi gerekmektedir. Bu amaç için geliştirilen çeşitli yöntemler bulunmaktadır (Rostami ve Ozdemir, 1996). Ancak, kaya kesme deneyleri bu yöntemler arasında en kesin yöntem olarak kabul edilmektedir (Bilgin vd., 2014).

Kaya kesme deneyleri, tam boyutlu ve küçük boyutlu kesme deneyleri olarak iki gruba ayrılmaktadır. Tam boyutlu kesme deneylerinde büyük kaya blokları ve gerçek keskinler kullanılırken, küçük boyutlu kaya kesme deneylerinde genellikle indeks keskinler ve küçük blok numuneler ya da karot numuneleri kullanılmaktadır. Tam boyutlu kesme deney setleri çok sınırlı sayıda araştırma merkezinde bulunmaktadır ve gerçekleştirilmesi pahalı deneylerdir. Ayrıca, bu deneylerde çok büyük kaya bloklarına ihtiyaç duyulmaktadır ki bazı durumlarda bu tip numunelerin temini mümkün olmamaktadır (Balcı ve Bilgin, 2007). Tam boyutlu kesme deneylerine alternatif olarak, çeşitli araştırmacılar farklı kaya kesme deney düzenekleri geliştirmişlerdir (Roxborough ve Philips, 1974; Detournay vd., 1997; Stavropoulou, 2006; Bilgin vd., 2010; Entacher vd., 2014; Yaşar, 2018). Bu deney düzenekleri içerisinde en çok kullanılan ve tekrar üretilen kesme deney düzenegi karot kesme deneyidir (Roxborough ve Philips, 1974). Bu deney seti genellikle, torna makinelerinin modifiye edilmesi sureti ile geliştirilmektedirler, sabit ve tekrar üretilmesi zor deney düzenekleridir.

Bu çalışmada daha önce geliştirilmiş (Yaşar, 2018) olan düşey kayaç kesme seti (DKKS) ile karot kesme deneyinin gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. DKKS, taşınabilir ve seri üretime uygun olarak tasarlanan ve hemen hemen her kaya mekaniği laboratuvarında bulunan hidro-

lik eğilme test makinelerine bir eklenti olarak üretilen bir kaya kesme deney düzenegidir. Bu amaçla, daha önce başka bir deney düzenegi ile çeşitli kaya/cevher numuneleri üzerinde gerçekleştirilen karot kesme deneyinin sonuçları ile DKKS'de gerçekleştirilen deneylerin sonuçları karşılaştırılmıştır. Buna ilave olarak, bir adet kollu galeri açma makinesi çalışma sahası ziyaret edilmiştir ve sahadan alınan numune üzerinde kaya kesme deneyleri gerçekleştirilerek, DKKS ile makinenin net kazı hızı kestirilmeye çalışılmıştır. Son olarak da DKKS ile karot kesme deneyinin üstünlükleri ve zayıflıkları irdelenmiştir. Sonuç olarak, DKKS ile karot kesme deneyinin rutin bir kaya mekaniği deneyi gibi gerçekleştirilebileceği görülmüştür.

1. KÜÇÜK BOYUTLU KAYA KESME DENEYİ

Küçük boyutlu kaya kesme deneyi (karot kesme deneyi), Roxborough ve Philips (1974) tarafından Newcastle Upon Tyne Üniversitesi'nde geliştirilmiştir. Deneyde küçük kaya blokları ve değişen çaplarda karot numuneleri kaya kesme deneyine tabi tutulabilmektedir. Deney sırasında keskiye gelen üç boyuttaki kuvvetler (kesme kuvveti, normal kuvvet ve yanıl kuvvet), keskinin bağlı bulunduğu dinamometre ile ölçülmektedir. Deneyden elde edilen ortalama kesme kuvveti yardımı ile özgül enerji, aşağıda verilen eşitlik yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$SE = \frac{FC}{Q} \quad (1)$$

Burada SE özgül enerji (MJ/m³), FC ortalama kesme kuvveti (kN) ve Q pasa miktarıdır (m³/km). McFeat-Smith ve Fowell (1979) ise bu deney düzeneginden elde edilen özgül enerji değerini kullanılarak, kollu galeri açma makinelerini (KGAM) Çizelge 1 ve 2'de görüldüğü gibi sınıflandırmıştır. Ancak, dikkat edilmesi gereken bir husus, bu sınıflamanın gerçekleştirildiği tarihe ait olduğudur, ağır ve orta ağırlıkta diye tabir edilen makinelerin günümüzde orta ve hafif makineler olarak sınıflandırıldığıdır.

Çizelge 1. Orta ağırlıktaki KGAM'lerin SE'ye göre sınıflandırılması (McFeat-Smith ve Fowell, 1979).

SE (MJ/m ³)	Orta ağırlıktaki KGAM'lerin performansı
20	Makineler bu kayaçları ancak ince bantlar halinde olması halinde kesebilir (0,3m'den az). Önemli oranda titreşimden kaynaklı olarak kısa sürede parça değişimi gerekebilir. Sert kayaç kazısı için makinede modifikasyona ihtiyaç duyulabilir.
15	Düşük kesme performansı gözlenir. Kazının delme patlatma ile desteklenmesi gerekebilir. Düzenli olarak aşınmış keskinin değişimi makine performansını artırır ve parça aşınımını azaltır. Düşük kesme hızı ile birlikte konik keskinler daha avantajlı olur.
12	Orta-düşük kesme performansı izlenir. Kırılmış keski uçları az da olsa beklenebilir. Aşındırıcı kayaçlarda keskinler izlenmelidir.
8	Orta-iyi kesme performansı ve makine parçalarının çok az aşınması beklenir. Aşındırıcı kayaçlar kazılırken keskinlerin durumu takip edilerek aşınanlar değiştirilmelidir. Eğer ayna geometrisi uygunsa radyal keskinler bu tip kayalara daha uygundur.
5	Makineler bu formasyonlara çok uygundur. Çok iyi kesme hızları beklenmektedir. Bu aralığa düşen çamurtaşları kesilmek yerine ripelenerek yüksek ilerleme hızlarına ulaşılmaktadır. Aşınmış keskinlerin düzenli olarak izlenmesi faydalı olmaktadır.

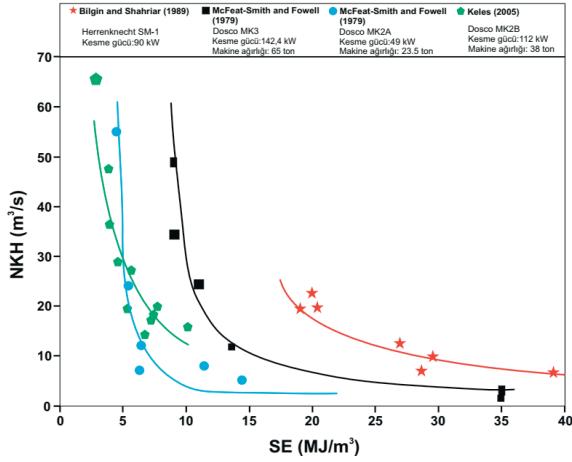
Makinenin net kazı hızının (NKH) daha kesin bir biçimde ifade edilebilmesi için, McFeat-Smith ve Fowell (1979) SE değerini kullanarak NKH'nin hesaplanabileceği bir grafik geliştirmiştir. Buna ilave olarak, çeşitli araştırmacılar da NKH ile SE arasında buna benzer ilişkiler elde etmişlerdir. Şekil 1'de çeşitli araştırmacılar tarafından elde edilen SE-NKH eğrileri görülmektedir.

Çizelge 2. Ağır KGAM'lerin SE'ye göre sınıflandırılması (McFeat-Smith ve Fowell, 1979).

SE (MJ/m ³)	Ağır KGAM'lerin performansı
32	Makineler bu tip kayaçları ancak ince bantlar haline olmaları şartı ile kazabilir ve keski sarfiyatının yüksek olması beklenmektedir. Makine mutlaka sert kayaç kazısına uygun olarak imal edilmiş olmalıdır.
25	Özellikle masif kazı aynalarında düşük kesme performansı beklenmektedir. Keski sarfiyatı kritiktir ve keskinlerin durumunun izlenmesi performansı iyileştirmektedir. Makinenin sert kayaç kazısına göre modifiye edilmesi arıza riskini azaltır. Konik keskinlerin kullanılması kaçınılmazdır.
17	Orta kesme performansı bu kategorinin altlarına doğru iyiye dönmektedir. Aşındırıcı kayaçlar kazılırken keskinlerin durumu düzenli olarak izlenmeli ve değiştirilmelidir. Tutarlı kesme hızları beklenmektedir.
8	Makineler bu kayaçlara çok uygundur ve çok yüksek kazı hızlarına ulaşılabilir. Bu kategorideki çamurtaşları kesilmek yerine ripelenmektedir ve iyi bir taşıma sistemi ile ilerleme hızları yükselmektedir. Keskinlerin düzenli olarak izlenmesi faydalı olmaya devam etmektedir.

Karot kesme deneyi indeks bir keski ile gerçekleştirildiği için elde edilen SE değerleri Şekil 1 ya da Çizelge 1 ve 2 dışında kullanılamamaktadır. SE değerlerinin kazı makinesi performans tahmininde sıklıkla kullanılan bir yöntem olan Rostami vd. (1994) tarafından geliştirilen model içinde kullanılamamaktadır. Bu modelde kullanılabilmesi için SE değerlerinin tam boyutlu kesme deneyinden elde edilen optimum özgül enerjiye çevrilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, Balcı ve Bilgin (2007) karot kesme deneyinden elde edilen SE değerinin optimum özgül enerji değerine çevrilebilmesi için bir eşitlik önermiştir. Bu eşitlik şu şekildedir:

$$SE_{opt} = 0,6SE + 0,68 \quad (1.2)$$



Şekil 1. Farklı araştırmacılar tarafından geliştirilen eğriler

Burada, SE_{opt} optimum özgül enerji (MJ/m^3) ve SE karot kesme deneyinden elde edilen özgül enerjidir (MJ/m^3). Bu eşitlik sayesinde indeks bir değer olan karot kesme SE, Rostami vd. (1994) tarafından önerilen performans tahmini modelinde doğrudan girdi parametresi olarak kullanılabilir. Bu performans tahmin modeli aşağıda verilmiştir.

$$NKH = k \frac{P}{SE_{opt}} \quad (2)$$

Burada, NKH net kazı hızı (m^3/s), k enerji transfer oranı (0,45 ile 0,90 arasında), P makinenin kesme gücü (kW) ve SE_{opt} optimum özgül enerjidir (kWs/m^3). Bu eşitlikteki k değeri makine tipine göre seçilmektedir.

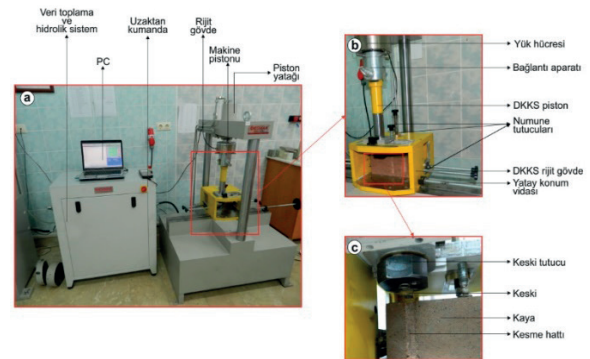
Karot kesme deneyi, 1987 yılında gerçekleşen 6. Uluslararası Kaya Mekaniği Kongresi'nde toplanan bir çalışmada, kaya kesilebilirliğinin tayini için kabul edilebilir standart bir deney olarak kabul edilmiştir (Bamford, 1987).

KGAM performans kestirimi haricinde, karot kesme deneyinden elde edilen sonuçlar farklı

amaçlar için de kullanılmıştır. Bu çalışmalar; döner kepçeli ekskavatörlerin performans tahmini (Bölükbaşı vd., 1991); kömür yan kayaçlarının sökülebilirlik açısından sınıflandırılmasıdır (Başarı ve Karpuz, 2004).

2. DÜŞEY KAYAÇ KESME SETİ (DKKS)

Düşey kayaç kesme seti (DKKS), Yaşar (2018) tarafından tasarlanarak geliştirilmiştir. Tamamen monte/demonte olabilecek şekilde tasarlanan DKKS, hemen hemen her kaya mekaniği laboratuvarında bulunan hidrolik eğilme test makinelerine bir eklenti olarak geliştirilmiştir. Taşınabilir ve tekrar üretilebilir şekilde geliştirilen DKKS'de çeşitli keski türleri yardımı ile kaya kesme deneylerinin başarılı bir biçimde yapılabileceği görülmüştür. Bu keski türleri; basit kama tipi keski (Yaşar ve Yılmaz, 2017a & 2017c), negatif açılı basit kama tipi keski (Yaşar ve Yılmaz, 2017a), konik uçlu keski (Yaşar ve Yılmaz, 2017b) ve radyal keski türleridir (Yaşar ve Yılmaz, 2017b). Mini-disk keski türleri ile kesme deneyleri ise hala deneme aşamasındadır. DKKS'nin bileşenleri Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. (a) Hidrolik eğilme test makinesinin genel bileşenleri ve DKKS (b) DKKS'nin bileşenleri (c) DKKS ile kayaç kesme (Yaşar ve Yılmaz, 2017a).

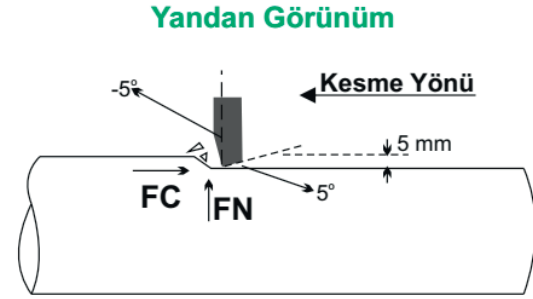
DKKS ile kaya kesme işlemi genel hatları anlatmak gerekirse, sistem tamamen bilgisayardan kontrol edilebilir. Bilgisayardan kontrol edilen eğilme gövdesinin pistonuna bağlı olan DKKS pistonu yukarı aşağı yönde hareket ettirebilmektedir. DKKS pistonunun altına monte edilen

keski tutucu ve keski sayesinde, istenilen blok ya da karot numunesi kesme deneyine tabi tutulmaktadır ve keski tarafından tecrübe edilen hareketin yönündeki kesme kuvveti (FC) eğilme gövdesinde hazır bulunan yük hücresi marifeti ile ölçülmektedir. FC'nin zamana bağlı değişimini gösteren grafik bilgisayar yardımı ile elde edilmektedir. Deneyden ortalama kesme kuvveti (FC) ve maksimum kesme kuvveti (FC') verileri elde edilebilmektedir ve sonuç olarak SE, FC yardımı ile Eşitlik 1 kullanılarak hesaplanmaktadır. Kaya kesme deneyleri hem etkileşimli hem de etkileşimsiz yöntemle gerçekleştirilebilmektedir. Deneylerde 23 cm x 20 cm x 10 cm' e kadar blok kaya numuneleri ve değişen boyutlarda karot numuneleri kullanılabilir.

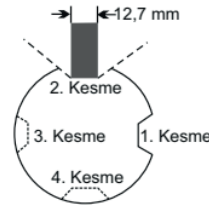
3. DKKS İLE KÜÇÜK BOYUTLU KAYA KESME DENEYİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Karot kesme deneyinin şematik gösterimi ve deney şartları Şekil 3'te verilmiştir. Deneyde negatif uç açılı bir basit kama tipi keski kullanılmaktadır. Ucun kesme açısı, ön yüzünün düşey eksenle yaptığı açı -5° 'dir. Temizleme açısı, alt yüzeyinin yatay eksenle yaptığı açı ise 5° 'dir. Keskinin genişliği 12,7 mm (1/2 inç) iken kesme deneyleri 5 mm kesme derinliğinden yapılmaktadır (Mc-Feat Smith ve Fowell, 1979). Kesme deneylerinin karotun 4 tarafından yapılması ve her numune için en az dört tekrar yapılması gerektiği öne sürülmektedir. Bazı durumlarda karot kırılması gerçekleştiği için bu her zaman mümkün olmamaktadır. Deneylerde 76 mm karot numunesi kullanılması önerilirken, 50 mm'den küçük karotların kullanılmasından kaçınılması gerektiği belirtilmektedir (Fowell, 1993). Daha önceki bir çalışmada (Yaşar, 2013; Yaşar vd., 2015), çeşitli kayaç/cevherler İstanbul Teknik Üniversitesi'nde bulunan karot kesme deney setinde kesme deneyine tabi tutulmuşlardır. Bu deneylerde kullanılan numuneler DKKS'de de karot kesme deneyine tabi tutularak iki deney düzeneğinden de elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. İstatistiksel olarak iki deney düzeneğinden elde edilen FC ve SE değerlerinin birbiri ile farkı olmadığı gösterilmiştir (Yaşar ve Yılmaz, 2017a).

Bu deneylerin sonucunda 120 MPa'a kadar olan kayaçların DKKS'de karot kesme deneyine tabi tutulabileceği görülmüştür. Şekil 4'te karot ve blok numuneler üzerinde uygulanan kesme deneyleri, deneylerde kullanılan indeks keski ve keskinin nılması gerektiği belirtilmektedir (Fowell, 1993). özellikleri görülmektedir.



Arkadan Görünüm

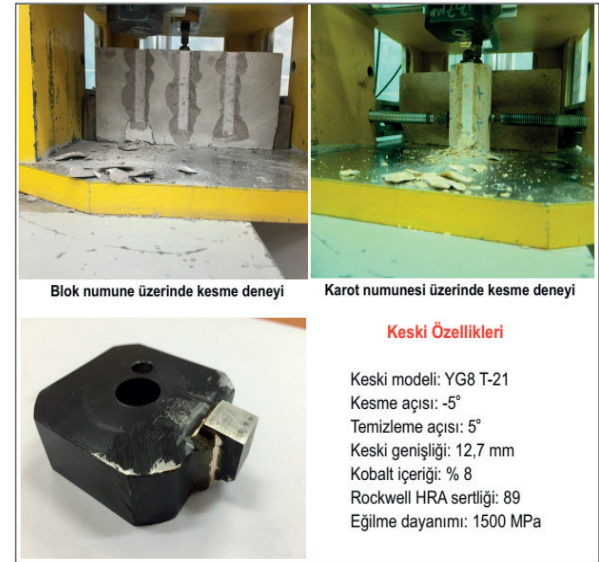


Test Koşulları:

Kesme açısı: -5°
Temizleme açısı: 5°
Kesme derinliği: 5 mm
Keski genişliği: 12,7 mm

FC: Kesme kuvveti
FN: Normal kuvvet

Şekil 3. Küçük boyutlu kaya kesme deneyinin şematik gösterimi (Fowell, 1993'ten değiştirilerek).

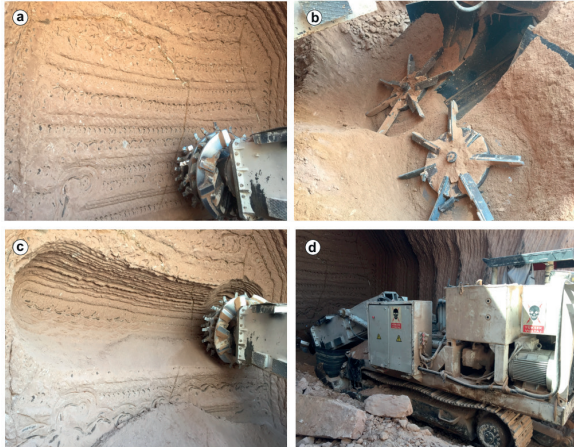


Şekil 4. DKKS'de küçük boyutlu kaya kesme deneyleri ve kullanılan keskinin özellikleri.

4. SAHA UYGULAMASI

Küçük boyutlu kaya kesme deneyinden elde edilen SE değerlerinin pratik kullanımının vurgulanabilmesi için bir adet saha çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda bir kollu galeri açma makinesi (KGAM) çalışma sahası ziyaret edilmiştir.

Bu saha Nevşehir ili Ürgüp ilçesinde bulunmaktadır. İç Anadolu Bölgesi'nde özellikle Nevşehir civarında, yeraltı soğuk hava depoları sıklıkla açılmaktadır. Bu yeraltı depolarının kazısında genellikle kollu galeri açma makineleri (KGAM) kullanılmaktadır. 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 Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. (a) KGAM kesici kafa ve aynanın durumu (b) KGAM toplayıcı ünitesi (c) KGAM'nin kazı sırasındaki görüntüsü (d) KGAM'nin genel görünüşü (Yaşar, 2018).

Bu sahada makinenin çalıştığı aynadan blok numuneler temin edilmiştir ve KGAM'nin kazı hızı yerinde kaydedilmiştir. KGAM yerli üretim bir makine olup kesme gücü 110 kW'tır ve aksiyel tip bir kesici kafaya sahiptir. Bu makinenin kesici kafası radyal keskinlerle donatılmış olup, kayacın dayanımının çok düşük olmasından ve diğer keskinlerle yapılan çalışmalar sonucu konik ya da radyal keski ile yapılan deney sonuçlarının çok farklı olmadığından görülmesinden dolayı bu çalışma kapsamında kullanılabileceği düşünülmüştür.

Sahadan elde edilen blok numunelerden karot örnekleri çıkarılarak, bu örnekler üzerinde kaya mekaniği deneyleri gerçekleştirilmiştir. Buna ilaveten, kazı aynasından alınan blok numuneler üzerinde, laboratuvarında küçük boyutlu kaya kesme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kaya kesme deneyleri Şekil 6'da görülen küçük blok numune üzerinde yapılmıştır. Bu blok üzerinde toplam üç adet kesme deneyi yapılmıştır ve sonuçların ortalaması alınmıştır. Çizelge 3'te kaya mekaniği ve kaya kesme deneylerinin sonuçları toplu olarak verilmiştir.



Şekil 6. Kristal tüf numunesinin kesme deneyine tabi tutulması

Çizelge 3. Kristal tüf numunesinin mekanik özellikleri ve kesme deneyinin sonucu

σ_c (MPa)	σ_t (MPa)	SE (MJ/ m ³)	SE _{opt} (MJ/m ³) (Eşitlik 2)
2,44 ± 0,3 (5*)	0,74 ± 0,18 (10*)	2,03 ± 0,31 (3*)	1,90

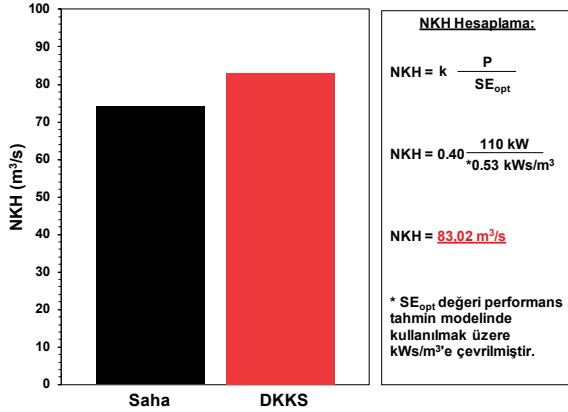
σ_c = Tek eksenli basınç dayanımı

σ_t = Dolaylı çekme dayanımı

* Deney sayısı

Sahada gerçekleşen net kazı hızı 74,07 m³/saat'tir. Makinenin kazı hızı ölçülürken, Şekil 5(c)'de görülen oyuğun kazılmasında geçen süre ve kazılan hacim göz önüne alınmıştır. Bu kazı hızı Rostami vd. (1994) tarafından önerilen performans tahmin modeli ile tahmin edilmeye çalışılmıştır. Çizelge 3'ten görülebileceği gibi karot kes-

me deneyinden elde edilen SE değeri, Eşitlik 2 yardımı ile optimum özgül enerji (SE_{opt}) değerine çevrilmiştir. Bu işlem sonucunda elde edilen SE_{opt} değeri, Eşitlik 3'te verilen performans tahmini modelinde yerine konularak net kazı hızı tahmin edilmiştir ve sonuçlar Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. DKKS ile yapılan performans tahmin sonuçları

Şekil 7'den da görülebileceği gibi sahadaki kazı hızı gerçeğe yakın bir biçimde tahmin edilmiştir. Sahada kaydedilen kazı hızı 74,07 m³/saat iken, DKKS ile tahmin edilen değer 83,02 m³/saat'tir. Enerji transfer oranı (k) kollu galeri açma makineleri (KGAM) için genellikle 0,45-0,55 arasında seçilmektedir. Bu değer, kabaca aksiyel tip makineler için 0,45, tambur tipi makineler için ise 0,55 olarak seçilmektedir. Ancak, bu çalışmada k değeri Bilgin vd. (2005)'in önerileri doğrultusunda 0,4 olarak kabul edilmiştir.

5. GENEL DEĞERLENDİRME

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 ya da alternatif kesme düzenekleri gibi). Bu tip kaya mekaniği deneyleri statik kaya mekaniği prensiplerini takip etmektedir ve birçok deneysel parametreden etkilenmektedir (Fowell, 1993; Fowell vd., 1994). Bu parametrelere; boy:çap oranı, yükleme hızı, nu-

mune yüzey kalitesi vs. gösterilebilir. Ayrıca, kaya kesmedeki çatlak oluşum mekanizmasını temsil etme imkânları bulunmamaktadır. Bundan dolayı, standart kaya mekaniği deneyleri, kaya kesmedeki gerçek durumu temsil edememektedir. DKKS sayesinde kaya kesme deneyleri daha kolay bir şekilde uygulanabilir. Bir kaya kesme deneyinde bulunması gereken özellikler Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği (ISRM) tarafından düzenlenen çalıştayda şu şekilde belirtilmiştir (Bamford, 1987):

- Sahada kazı yapan makinenin kestiği kayaç spektrumu deneyde kesilebilmelidir. Yani, KGAM 120 MPa'a kadar dayanımlı 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.

KGAM'ler genellikle 120 MPa'a kadar tek eksenli basınç dayanımına sahip kayaçları kazabilirler. Daha önceki çalışmalarda (Yaşar ve Yılmaz, 2017a) 120 MPa'a kadar numunelerin (fosilli kumtaşı) DKKS'de kaya kesme deneyine tabi tutulabileceği görülmüştür. Buna ek olarak, deneyden elde edilen kuvvet verilerinin doğruluğu, hem harici bir yük hücresi ile hem de diğer bir kesme düzeneğinden elde edilen veriler ile doğrulanmıştır. DKKS'de bir kaya kesme deneyi, sıradan ve rutin bir kaya mekaniği deneyi (tek eksenli basınç dayanımı vb.) gibi uygulanabilmektedir. Deney yönteminin diğer araştırmacılar tarafından tekrar üretilerek uygulanması imkânı bulunmaktadır. Deneyde küçük blok ya da karot numuneleri kesme deneyine tabi tutulabilmektedir ki bir projenin jeoteknik tasarım safhasında, yalnızca karot numuneleri elde hazır bulunmaktadır. Bu bilgiler ışığında, DKKS'nin çalışma grubu tarafından önerilen kriterlerin hepsini sağladığı sonucuna varılabilir.

Deney yöntemi ile ilgili birtakım dezavantajlar göze çarpabilir. İlk olarak, yalnızca tek eksende ki, yani hareketin yönündeki, kesme kuvvetinin ölçülüyor olması bir eksiklik olarak gösterilebilir. Ancak karot kesme deneyi ve performans tahmini uygulamasında bu durumun herhangi bir tehdit yaratmayacağı açıktır.

Diğer yandan, kesme hızı ve veri okuma hızı, deneyden elde edilecek verilerin kalitesini tehdit edebileceği öne sürülebilir. DKKS ile kaya kesme deneylerinde kesme hızı 0,5-1 cm/s civarındadır ve veri okuma hızı ise 50 Hz'dir. Bu durum diğer çalışmalarda detaylı bir şekilde ele alınarak tartışılmıştır (Yaşar, 2018; Yaşar ve Yılmaz, 2017b). Ancak burada kısaca değinmek gerekirse, kaya kesmede, kesme hızının kesme kuvveti üzerine herhangi bir etkisinin olmadığı açıkça bilinen bir gerçektir ve tartışmaya açık değildir (Potts ve Shuttleworth, 1959; O'Dogherty ve Burney, 1963; Roxborough, 1973; Roxborough, 1985; Nishimatsu, 1993). Bunun ana nedeni, kaya kesmedeki çatlak oluşum hızının (örneğin 500 m/s), kaya kesme hızından hem sahada hem de laboratuvarında yüzlerce kat fazla olmasıdır. Bundan dolayı, kesme hızının veri kalitesine etki edeceği iddia edilemez.

Son olarak da kaya kesmede veri okuma hızının veri kalitesi üzerine etkisi ile ilgili ne yazık ki yapılmış bir çalışma yoktur. Yalnızca Bilgin vd. (2014) veri okuma hızının 1000 Hz olması gerektiğini belirtmektedir. Ancak farklı araştırmacılar 50-1000 Hz arasında değişen hızlarda veri okuma sistemi olan düzeneklerde kaya kesme deneylerini gerçekleştirmektedirler (Kim, 2010; Richard vd., 2012; Entacher vd., 2014; Bilgin vd., 2006). Ayrıca, bu durum da Yaşar (2018)'de detaylı bir biçimde tartışılarak, iki farklı deney düzeneğinden elde edilen veriler karşılaştırılarak irdelenmiştir ve veri okuma hızının da herhangi bir tehdit oluşturmayaacağı sonucuna varılmıştır.

SONUÇLAR

Bu çalışmada, taşınabilir, seri üretime uygun ve hemen hemen her kaya mekaniği laboratuvarında bulunan hidrolik eğilme test makinelerine

bir eklenti olarak geliştirilen DKKS ile küçük boyutlu kaya kesme deneyinin gerçekleştirilmesi vurgulanmıştır. Gerçekleştirilen deneyler ve elde edilen bulgular ışığında, DKKS'de küçük boyutlu kaya kesme setinin başarılı bir biçimde yapılabileceği görülmüştür. Bu sayede hem kollu galeri açma makinelerinin performans tahmini hem de 2. Bölüm'de bahsedilen diğer konular (döner kepçeli ekskavatörlerin performans tahmini, kömür yan kayaçlarının sökülebilirlik açısından sınıflandırılması) ile ilgili çalışmalar, taşınabilir bir kaya kesme setinde kolaylıkla yapılabilecektir. Buna ilave olarak, küçük boyutlu kaya kesme deneyinden elde edilen verilerin sahada uygulanmasına örnek teşkil etmesi açısından, bir KGAM çalışma sahasından elde edilen numunelerle, makinenin net kazı hızı kestirilmeye çalışılmıştır. DKKS'de gerçekleştirilen kaya kesme deneyleri ile gerçekleştirilen performans tahmini sonucunda KGAM'nin kazı hızının gerçeğe çok yakın bir biçimde tahmin edilebildiği görülmüştür. Sonuç olarak da kaya kesme deneylerinin rutin bir kaya mekaniği deneyi gibi gerçekleştirilebileceği vurgulanmıştır.

KAYNAKLAR

Balcı, C. , 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.

Başarı, H., Karpuz, C., 2004. A Rippability Classification System for Marls in Lignite Mines. Engineering Geology, 74, 303-318.

Bilgin, N., Shahriar K., 1989. İstanbul Haliç Tünelinin Sürülmesinden Elde Edilen Sonuçlar. Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 11. Kongresi, Ankara, 306-319.

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., Balci, 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., Balci, C., Tumac, D., Feridunoglu, C., Copur, H., 2010. Development of a Portable Rock Cutting Rig for Rock Cuttability Determination. *EUROCK 2010, Lausanne*, pp. 405–408.

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

Bölükbaşı, N., Koncagül, O., Paşamehmetoğlu, A.G., 1991. Material Diggability Studies for the Assessment of Bucket Wheel Excavator Performance. *Mining Science and Technology*, 13, 271-277.

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.

Fowell, R.J., 1993. *The Mechanics of Rock Cutting*. *Comprehensive Rock Engineering*, J.A. Hudson, vol 4. Pergamon, Oxford, 155–176.

Fowell, R.J., Richardson, G., Gollick, M.J., 1994. *Rock Cutting with Roadheaders*. *Tunnelling*, 785-796.

Keleş, S., 2005. *Cutting Performance Assessment of a Medium Weight Roadheader at Cayırhan Coal Mine*. Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, p 58.

Kim, E., 2010. *Investigation of Conical Bit Rotation in Full Scale Cutting Tests*. PhD Thesis, The Pennsylvania State University, 143 s.

McFeat-Smith, I. Fowell, R. J., 1979. *The Selection and Application of Roadheaders for*

Rock Tunneling. *Rapid Excavation Tunneling Conference*, Georgia, 1, 261-279.

Nishimatsu, Y., 1993. *Theories of Rock Cutting, Comprehensive Rock Engineering*. J.A. Hudson, Ed., Oxford, Pergamon Press, 647-662.

O'Dogherty, M.J., ve Burney, A.C., 1963. *A Laboratory Study of the Effect of Cutting Speed on the Performance of Two Coal Cutter Picks*. *Colliery Eng. (London)* 40, 51-54,111-114.

Potts, E.L.J., ve Shuttleworth, P., 1959. *A Study of Ploughability of Coal With Special Reference to the Effects of Blade Shape, Direction of Planning to the Cleat, Planning Speed and Influence of Water Infusion*. *Transactions of the Institution of Mining Engineers*, 117, 519-553.

Richard, T., Dagrain, F., Poyol, E., Detournay, E., 2012. *Rock Strength Determination From Scratch Tests*, *Engineering Geology*, 147-148, 91-100.

Rostami, J., Özdemir, L., Neil, D., 1994. *Performance Prediction: The Key Issue in Mechanical Hard Rock Mining*, *Mining Engineering*, 1263-1267.

Rostami, J., Ozdemir, L., 1996. *Computer Modeling of Mechanical Excavators Cutterhead*. *Proceedings of the World Rock Boring Association Conference: Mechanical Excavation's Future Role in Mining*, 17–19 Eylül, Laurentian University, Sudbury, Ontario, Kanada.

Roxborough, F.F., Rispin, A., 1973. *The Mechanical Cutting Characteristics of the Lower Chalk*. *Tunnels and Tunnelling*, January, 45-67.

Roxborough, F.F., 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., 1985. *Research in Mechanical Rock Excavation: Progress and Prospects*. *RETC, Las Vegas*, 225–244.

Stavropoulou, M., 2006. *Modeling of Small-Diameter Rotary Drilling Tests on Marbles*. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*,43: 1034–1051.

Yaşar, S., 2013. *Doğu Karadeniz Bölgesinde Bulunan Çeşitli Kayaçların ve Cevherlerin Kazılabilirlik Özelliklerinin İncelenmesi*. Yüksek

Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.

Yaşar, S., 2018. Kayaç Kesilebilirliğinin Tayini için Düşey Kayaç Kesme Setinin Geliştirilmesi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.

Yaşar, S., Çapık, M., Yılmaz, A.O., 2015. Cuttability Assessment Using the Drilling Rate Index (DRI). *Bulletin of Engineering Geology and Environment*, 74, 4, 1349–1361.

Yaşar, S., Yılmaz, A.O., 2017a. A Novel Mobile Testing Equipment for Rock Cuttability

Assessment: Vertical Rock Cutting Rig (VRCR). *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 50, 4, 857-869.

Yaşar, S., 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., Yılmaz, A.O., 2017c. Rock Cutting Tests with a Simple-Shaped Chisel Pick to Provide Some Useful Data. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 50, 12, 3261-3269.