

SCHMIDT SERTLİĞİ İLE KESİLEBİLİRLİK PARAMETRELERİ ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN İNCELENMESİ

Investigation of Relationships between Cuttability Parameters and Schmidt Hardness

Serdar Yaşar*
Mehmet Çapık**
Ali Osman Yılmaz***

ÖZET

Bu çalışmada 5 farklı kayaç örneği (dolomitik kireçtaşı, fosilli kumtaşı, litik tuf, biyoklastik kireçtaşı, ve vitrik tuf) ve 2 farklı cevher örneği (bakır cevheri ve kurşun cevheri) üzerine kesilebilirlik parametreleri olarak belirlenen spesifik kesme kuvveti, spesifik normal kuvvet, spesifik enerji ve keski tüketim miktarının belirlenebilmesi için küçük boyutlu kesme deneyi, ve Cerchar aşındırıcılık deneyleri uygulanmıştır. Buna ilave olarak, numuneler üzerine Schmidt çekici deneyleri uygulanmıştır. Elde edilen Schmidt sertliği değerleri kesilebilirlik parametreleri ile ilişkilendirilmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak Schmidt sertliği ile tüm kesilebilirlik parametreleri arasında üstel ilişkiler elde edilmiştir. Bu sonuçlar ışığında Schmidt sertliğinin bu parametreler üzerinde etkisi olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Küçük boyutlu kesme deneyi, kesilebilirlik, Cerchar aşındırıcılık deneyi, Schmidt çekici

ABSTRACT

In this study, 5 different rock samples (dolomitic limestone fossilized sandstone, lithic tuff, bioclastic limestone and vitric tuff) and 2 different ore samples (copper ore and lead ore) were subjected to small scale rock cutting test and Cerchar abrasivity test for determination of cuttability parameters which are namely; specific cutting force, specific normal force, specific energy and pick wear rate. In addition to this, Schmidt hammer test was applied on rock and ore samples and Schmidt hardness values were tried to be correlated with cuttability parameters. As a result, exponential relationships were detected between Schmidt hardness and all cuttability parameters. According to these results, it can be stated that Schmidt hardness is an affective parameter on cuttability parameters.

Keywords: Small scale rock cutting test, cuttability, Cerchar abrasivity test, Schmidt hammer

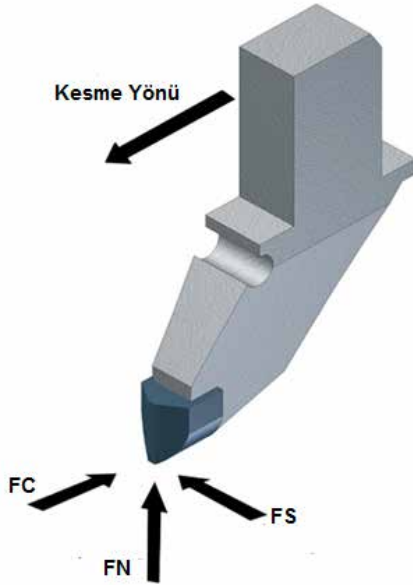
* Arş. Gör., Karadeniz Teknik Ün., Müh. Fak., Maden Müh. Böl., TRABZON, seyasar@ktu.edu.tr

** Arş. Gör., Karadeniz Teknik Ün., Müh. Fak., Maden Müh. Böl., TRABZON

*** Prof. Dr., Karadeniz Teknik Ün., Müh. Fak., Maden Müh. Böl., TRABZON

1.GİRİŞ

Mekanize kazı, delme patlatma yöntemine karşı tek alternatif olarak gözükmektedir. Ancak yanlış makine seçimi hem projenin uzamasına hem de ekonomik olarak projenin bekleneni vermemesine sebep olmaktadır. Bundan dolayı, kazı yapılacak formasyona uygun makinenin seçilmesi, kazı operasyonun başarısını belirlemektedir. Roxborough (1987) belirli bir jeolojik formasyon için kesilebilirliği, spesifik kesme kuvveti (SFC), spesifik normal kuvvet (SFN), spesifik enerji (SE) ve keski aşınma hızı parametreleriyle tanımlamıştır. Formasyonun mekanize kazıya uygunluğunun araştırılmasına genellikle kazı sırasında kullanılacak olan keskilere gelecek kuvvetlerin belirlenmesiyle başlanmaktadır. Kazı sırasında keskilere 3 boyutta kuvvetler etkimektedir. Bunlar; kesme kuvveti (FC), normal kuvvet, (FN) ve yanal kuvvettir (FS) (Şekil 1). Formasyonun mekanize kazıya uygunluğunun araştırılması için farklı yöntemler ileri sürülmüştür. Bunlar; kesme teorileri, kayaç kesme deneyleri, ampirik yöntemler ve nümerik yöntemlerdir.

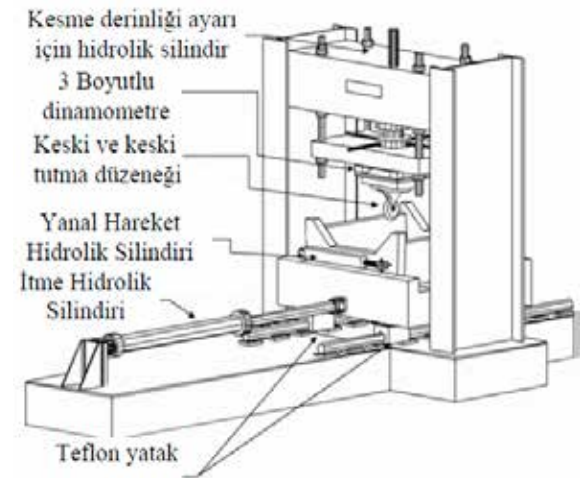


Şekil 1. Keskiye gelen 3 boyuttaki kuvvetler (Abu Bakar ve Gertsch, 2013'ten değiştirilerek).

Keski kuvvetlerinin teorik olarak bulunabilmesi için kesme teorileri önerilmiştir. Çalışmada kama uçlu keski kullanıldığı için yalnızca kama uçlu keskilere için önerilen kesme teorilerinden bahsedilecektir. Kesme teorilerinin ilkinin Merchant (1945) ortaya atmıştır. Önerdiği kesme teorisinde metal kesmenin teorik açıklamasına yer vermiştir ve kesme işleminin malzemenin kesme dayanımı (σ_c) ile ilgili olduğunu ileri sürmüştür.

İlk kayaç kesme teorisini Evans (1962) önermiştir ve bu teoride kömürün kazıcı uçlarla kesilmesinin genel prensipleri belirlenmiştir. Evans (1962)'ye göre FC kayacın çekme dayanımı (σ_t) ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Kömür dışındaki kayaçlar için ilk önerilen kesme teorisini ise Nishimatsu (1972) önermiştir. Nishimatsu (1972), Merchant (1945)'te önerilen metal kesme teorisini kayaçlara uygulamıştır ve bu teoriye göre FC, σ_s ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Keski kuvvetlerinin bulunması ile öncelikle FC'den yararlanılarak SE hesaplanabilmektedir. Bunun yanında keski kuvvetleri makinenin tasarım parametreleri olarak kullanılmaktadır. FC makinenin tork ihtiyacının hesaplanmasında, FN ise makinenin itme gücünün hesaplanmasında kullanılmaktadır (Bilgin vd, 2014).

Keski kuvvetlerinin deneysel olarak bulunabilmesi için kayaç kesme setleri üretilmiştir. Bunlar; tam boyutlu kesme seti ve küçük boyutlu kesme setidir. Tam boyutlu kazı deneyinde gerçek kesimler ve büyük kaya parçaları (70 cm x 50 cm x 50 cm) kullanılabilir. Kazı makinelerinde keski kuvvetlerinin bulunmasında en kesin yöntem tam boyutlu kazı deneyinde kesme yapmaktır. Bu kazı setinde farklı tipte keskilere kullanılabilir. Keskilere gelen kesme kuvveti, normal kuvvet ve yanal kuvvet dinamometre vasıtasıyla ölçülerek bilgisayara gönderilmektedir (Feridunoğlu ve Bilgin, 2010). Şekil 2'de tam boyutlu kesme seti görülmektedir.



Şekil 2. Tam boyutlu kesme setinin şematik görünümü (Feridunoğlu ve Bilgin, 2010).

Küçük boyutlu kazı seti ise bir kayacın kazılabilirlik tayininin doğrudan yapılabilmesi için geliştirilmiştir. Deney, Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği (ISRM) tarafından standart deney yöntemi

olarak önerilmiştir. Deneyde 7,6 cm veya daha küçük çaplı karot numuneleri veya 20 cm x 10 cm x 10 cm boyutlarında blok numune kesilebilmektedir.

Nümerik yöntemlerde ise çeşitli araştırmacılar kayaç kesme olayını bilgisayarda modelleyerek keskiye gelecek kuvveti tahmin etmeye çalışmışlardır (Kou vd, 1999; Rojek, 2007; Su ve Akcin, 2010; Rojek vd, 2011; Lei ve Kaitkay, 2003).

SE kazı verimliliğinin en iyi göstergesidir (Rostami vd, 1994). SE'nin formülü şu şekildedir:

$$\epsilon = \frac{E}{Q} \quad (1)$$

Burada; SE spesifik enerji (MJ/m³), FC ortalama kesme kuvveti (kN) ve Q 1 km kazıda ortaya çıkacak olan pasa hacmidir (m³/km). Bunun dışında SE'den yararlanılarak seçilen bir makine için anlık kazı hızı şu formül yardımı ile hesaplanabilmektedir (Rostami vd, 1994):

$$ICR = k \frac{P}{\epsilon} \quad (2)$$

Burada; ICR anlık kazı hızı (m³/saat), P makinenin kesici kafasının kurulu gücü (kW), SE ise tam boyutlu kesme deneyinden elde edilen optimum spesifik enerji (kWh/m³) ve k enerji transfer oranı (0,45-0,90 arasında değişmektedir).

Kesilebilirliği etkileyen diğer bir önemli parametreye ise keski aşınma hızıdır. Keski aşınma hızının tahminine yönelik birtakım deneyler ortaya atılmıştır. Bu deneylerden en önemlisi Cerchar aşındırıcılık deneyidir. Bu deneyde Cerchar aşınma indeksi (CAI) hesaplanmaktadır ve dolaylı olarak keski tüketim hızı hesaplanabilmektedir (Johnson ve Fowell, 1986).

Kayaç kesilebilirliği 4 parametre ile tanımlanmıştır. Tüm bu parametrelerin belirlenmesi zahmetli ve büyük ekonomik imkânlara ihtiyaç duymaktadır. Bu sebeplerden dolayı çeşitli araştırmacılar bu parametrelerin dolaylı olarak hesaplanabilmesi ya da bu parametreleri etkileyen kayaç özelliklerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar yapmışlardır. SFC, spesifik kesme kuvvetidir ve birim kesme derinliğine gelen kesme kuvvetidir. SFC nin birimi genellikle kN/mm'dir. SFN ise spesifik normal kuvvettir ve birimi genellikle kN/mm'dir. Çeşitli araştırmacılar keskilere gelen kuvvetlerin (SFC veya FC, SFN veya FN) kazılacak formasyonun mekanik özelliklerinden

nasıl etkilendiğini belirlemek amacıyla ve aynı zamanda bu kuvvetlerin ampirik olarak bulunabilmesi için birtakım çalışmalar yapmışlardır. Fowell vd (1992)'nin çalışması incelendiğinde, çeşitli kayaçlar üzerinde gerçekleştirdikleri kesme deneyleri ve kaya mekaniği deneyleri sonucunda FC'nin tek eksenli basınç dayanımı (σ_c) ve elastisite modülü (E) ile lineer olarak arttığını gözlemlenmiştir. Çopur vd (2001) 'nin yaptığı çalışmanın ham verileri değerlendirildiğinde FC ve FN'nin σ_c ve σ_t ile lineer olarak arttığı görülmektedir. Bir araştırmacı çeşitli kayaçlarını tam boyutlu kesme deneyine ve kaya mekaniği deneylerine tabi tutmuştur ve sonuç olarak FN'nin σ_c ve σ_t ile arttığını belirlemiştir (Yağız, 2006). Dursun ve Gökay (2014) farklı kayaç numunelerini küçük boyutlu kesme deneyine tabi tutmuşlardır ve farklı mekanik özellikleri kullanarak keski kuvvetlerini tahmin etmeye çalışmışlardır.

Diğer önemli bir parametre olan SE'nin ampirik yöntemlerle bulunması ve SE'yi etkileyen kayaç özelliklerinin belirlenmesi amacıyla birçok araştırmacı çalışma yapmıştır. McFeath-Smith ve Fowell (1979) küçük boyutlu kesme deneyinden elde edilen SE değerini belirli kayaç özelliklerinden faydalanarak çoklu regresyon yöntemi ile tahmin etmeye çalışmışlardır. Roxborough (1987) çeşitli kayaçlar üzerinde kesme deneyleri gerçekleştirmiş ve SE ile σ_c arasında lineer ilişki elde etmiştir. Çopur vd (2001) farklı cevher ve kayaç örneğini tam boyutlu kesme deneyinde kesme deneyine tabi tutmuştur ve sonuç olarak SE'nin σ_c ve σ_t ile arttığını ve aynı zamanda σ_c ve σ_t 'nin çarpımı ile de arttığını ileri sürmüşlerdir. Balcı vd (2004) çalışmalarında SE ile tüm mekanik özellikler arasında anlamlı ilişkiler elde etmişlerdir. Tiryaki ve Dikmen (2006) altı farklı kumtaşı örneğini küçük boyutlu kesme deneyine tabi tutmuştur ve elde edilen SE değerini kumtaşlarının mekanik, fiziksel ve mineralojik özellikleri ile ilişkilendirmişlerdir. Tümaç vd (2007) kayaç kesilebilirliğini Shore sertliği ve σ_c ile tahmin etmeye çalışmışlardır ve SE ile bu parametreler arasında anlamlı ilişkiler elde etmişlerdir. Bir grup araştırmacı farklı cevher örneklerini küçük boyutlu kesme deneyinde keserek bulunan SE değerleri ile cevherlerin mekanik özelliklerini ilişkilendirmişlerdir ve sonuç olarak SE ile σ_c ve σ_t arasında üstel bir ilişki elde etmişlerdir (Çomaklı vd, 2014).

Aşındırıcılık değerlendirilirken iki önemli parametreden bahsedilebilir. Bunlar; σ_c ve kuvars içeriğidir. Ancak Johnson ve Fowell (1986) 'ya

göre kayacın aşındırıcılığı değerlendirilirken σ_c iyi bir gösterge olmakla birlikte yeterli olmamaktadır. CAI ya da keski tüketimi üzerine yapılan çalışmalar genellikle mineralojik kapsamda gerçekleştirilmiştir ve çoğunlukla kayacın kuvars içeriği ile ilişkilendirilmiştir (Suana ve Peter, 1982; West,1986; Al-Ameen ve Waller, 1994; Pillinger vd, 2002; Pillinger vd, 2003).

Schmidt çekici öncelikle betonların yüzey sertliğini ve dolayısıyla da betonun basınç dayanımını tahmin etmek için geliştirilmiştir (Schmidt, 1951). 1960'lardan günümüze ise kaya mekaniği uygulamalarında σ_c tahmininde kullanılmaktadır. Aynı zamanda farklı çalışmalarda, kazı makinesinin performans tahmininde kullanılabilir (Poole ve Farmer, 1978; Bilgin vd, 1990). Çeşitli araştırmacılar, SFC, SFN ve SE gibi parametreleri Schmidt sertliği (R) ile ilişkilendirmeye çalışmışlardır. Ancak hiçbir çalışmada tüm parametreler (SFC, SFN, SE ve CAI) bir arada incelenmemiştir. Bu çalışmada R ile tüm kesilebilirlik parametreleri arasındaki ilişkiler incelenmeye çalışılmıştır. Bu amaç doğrultusunda, 7 farklı kaya örneğine küçük boyutlu kesme deneyi, Cerchar Aşındırıcılık deneyi ve Schmidt çekici deneyleri uygulanmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Numuneler

Çeşitli kayaç ve cevher örnekleri Doğu Karadeniz Bölgesinde bulunan işletme ve sahalarından temin edilmiştir. Bu numuneler; dolomitik kireçtaşı (DK), fosilli kumtaşı (FK), litik tuf (LT), biyoklastik kireçtaşı (BK), bakır cevheri (O1), kurşun cevheri (O2) ve vitrik tüftür (VT). Kayaç ve cevherlerin mineralojik-petrografik açıklamaları Çizelge 1'de verilmiştir. Kayaç ve cevher örnekleri sahadan alınarak laboratuvarında deneysel çalışmanın gerçekleştirilebilmesi için karot halinde alınıp, kesilip ve düzeltilmiştir.

2.2. Küçük Boyutlu Kesme Deneyi

Küçük boyutlu kesme deneyi İstanbul Teknik Üniversitesi Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Deney şartları şu şekilde belirlenmiştir:

Kesme açısı : -5o,

Temizleme açısı: 5o,

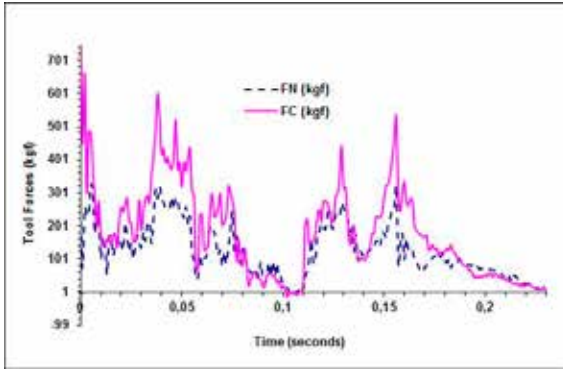
Keski genişliği : 12,7 mm,

Keski ucu : Tungsten karbid, % 10 kobalt.

Çizelge 1. Numunelerin Petrografik-Mineralojik Açıklamaları

Numune	Açıklama
DK	Başlangıçta mikritik kireçtaşı olan örnek, daha sonradan gelişen öz şekilli dolomit mineralleri içermektedir. Mikritik kesim içinde fosil parçaları tanınabilmektedir. Kayacın % 50'si kalsit, 45' dolomit, ve % 5'i fosillerden meydana gelmektedir. Dolomit minerallerinin tane boyutu 0,01 mm ile 0,2 mm arasında değişmektedir. Dolomit mineralleri köşeli ve öz şekillidir. Yeni oluşan dolomit mineralleri fosilleri yersel olarak ornatmaktadır. Bu durum dolomitin daha sonra geliştiğini göstermektedir.
FK	Klastik dokulu ve karbonat çimentolu örnek mikro fosil içeriği açısından olukça zengindir. Kayaç yaklaşık % 60 mikro fosil (önemli oranda nummulites fosilleri), % 25 kuvars, % 10 kayaç (volkanik kayaç) ve % 5 plajiyoklas tanelerinden meydana gelmektedir. Tane boyutları 0,1 ile 2,5 mm arasındadır. Kuvars ve kayaç taneleri çoğunlukla yuvarlak ve yarı-yuvarlak özellik sunmaktadırlar. Kayaç parçaları volkanik kayaç, kuvarsit ve mikritik kireçtaşları tarafından temsil edilirler. Plajiyoklas minerallerinin bir bölümü bozuşma sonucu killeşmişlerdir.
LT	Kaba taneli ve kırıntılı dokuya sahip olan kayaç cam, plajiyoklas, klinopiroksen mineralleri ve bol miktarda volkanik kayaç parçalarından oluşmaktadır. Kayacı meydana getiren kırıntılı tane bollukları sırasıyla % 80 kayaç kırıntısı, % 20 plajiyoklas ve klinopiroksenden oluşmaktadır. Bileşen boyutları 3 mm ile 0,5 mm arasında değişmektedir. Kayaç parçaları çoğunlukla köşelidir. Özellikle camsı alanlar bozuşmuştur.
BK	Kırıntılı dokulu kayacın yaklaşık % 20'si kırıntılardan, % 80'i ise fosillerden (foraminifer fosilleri) oluşmaktadır. Kayaç parçaları kireçtaşı ve volkanik kayaçlardan türemişlerdir. Kırıntılı tanelerin ortalama tane boyutu 3 mm ile 0,5 mm arasında değişmektedir. Karbonat çimentolu kayaçta tanelerin % 80'ni yarı yuvarlak % 20'si ise köşeli niteliktedir.
O1	Kayaç pirit ve kalkopiritten oluşmaktadır.
O2	Kayaç pirit ve galen minerallerinden oluşmaktadır.
VT	Örneğin % 20'si kristallerden % 80'ni ise camdan meydana gelmektedir. % 20'lik kesim köşeli taneli kuvars, plajiyoklas ve sanidin minerallerinden oluşmaktadır. Kuvars, plajiyoklas ve sanidin minerallerinin tane boyutları yaklaşık 0,01 mm ile 0,25 mm arasında değişmektedir.

Deney, 54 mm'lik karot örnekleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Karot örnekleri numune kutusuna yerleştirilmiş ve deney başlatılmıştır. Kesme işlemi her numune için 2 ile 3 kez tekrar edilmiştir. Elde edilen değerler bunların ortalamasıdır. Ardından kazı sırasında keskiye gelen üç boyutlu kuvvetler dinamometre vasıtasıyla elektrik yüküne dönüştürülmüştür. Arabirimler sayesinde elektrik yüküne çevrilen kuvvet kgf cinsinden bilgisayara saniyede 2000 veri hızıyla kaydedilmiştir. Şekil 3'te biyoklastik kireçtaşı numunesinin kazısı sırasında oluşan kuvvetlerin kaydedilmesiyle oluşan kuvvet-zaman grafiği görülmektedir. Bu çalışmada yalnızca kesme kuvveti ve normal kuvvete yer verilmiştir, yanıl kuvvet ihmal edilmiştir.



Şekil 3. Biyoklastik kireçtaşının kazısı sırasında oluşan kuvvet-zaman grafiği

2.3. Cerchar Aşındırıcılık Deneyi

Cerchar aşındırıcılık deneyinde 90° uç açılı, 2000 kg/cm² çekme dayanımına sahip HRC (Rockwell) sertliği 55 olan uçlar kullanılmaktadır. Deney aletine yerleştirilen ucun altına örnek yerleştirilir. 70 N yük altında örneğin üzerine oturtulan uç 1 cm çekilir. Kullanılan uç mikroskop altında incelenmek üzere kodlanarak kaldırılır. Her uç tek sefer kullanılmıştır. Deney karot kesme testeresi ile düzeltilmiş yüzeylere uygulanmıştır. Her örnek üzerinde 3 deney yapılmıştır. Deneyin ikinci aşamasında uçlar mikroskop altında 40x büyütme ile incelenmiştir. Uçtaki her 1/10 mm'lik körelme 1 Cerchar'a (CAI) eşit olmaktadır. Deney kırılmış pürüzlü yüzeylere uygulandığı gibi pürüzsüz yüzeylere de uygulanabilmektedir. Ancak pürüzsüz yüzeylere uygulandığında bağını (3) yardımı ile düzeltilmesi gerekmektedir (Pillinger vd, 2003).

$$CAI = 0,99 CAI_s + 0,48 \quad (3)$$

Burada CAI pürüzlü yüzeyde Cerchar aşındırıcılık indeksi ve CAI_s pürüzsüz yüzeyde Cerchar

aşındırıcılık indeksidir. Deneyler pürüzsüz yüzeyler üzerine uygulandığından dolayı bu bağını (3) yardımı ile düzeltilerek kullanılmıştır.

2.4. Schmidt Çekici Deneyi

Schmidt çekici deneyleri ISRM (1981) standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan 54 mm çapındaki karot örnekleri V tipi numune beşiğine yerleştirilerek Schmidt çekici ile üzerine 10 vuruş gerçekleştirilmiştir. Deneylerde L tipi Schmidt çekici kullanılmıştır. Art arda ve farklı noktalara yapılan 10 vuruş büyükten küçüğe sıralanarak en büyük beş değer ortalaması alınmıştır ve bu değer sertliği olarak belirlenmiştir. Şekil 4'te kullanılan Schmidt çekici, numune ve numune beşiği görülmektedir.



Şekil 4. Kullanılan Schmidt çekici, numune beşiği ve karot numunesi

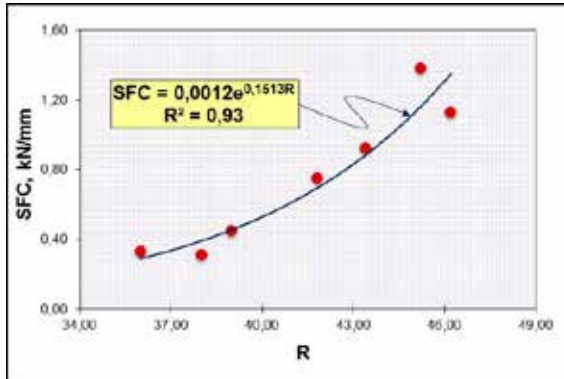
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Gerçekleştirilen tüm deneylerin sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar ışığında grafikler hazırlanmıştır ve R değeri ile kesilebilirlik parametreleri arasındaki ilişkiler irdelenmiştir.

Çizelge 2. Deneysel Çalışmaların Sonuçları

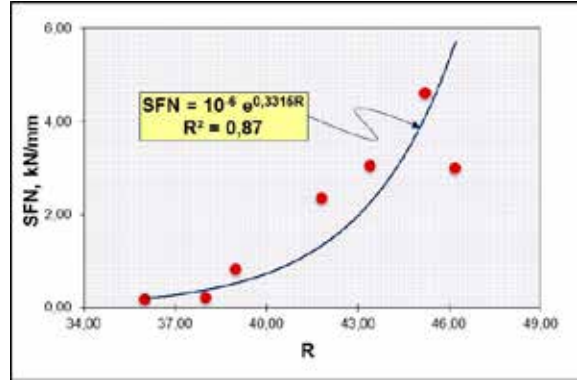
Numune	R	SFC (kN/mm)	SFN (kN/mm)	SE (MJ/m ³)	CAI
DK	41,80	0,75	2,34	37,28	1,50
FK	43,40	0,92	3,05	42,85	1,41
LT	39,00	0,45	0,81	28,56	1,17
BK	36,00	0,33	0,17	17,35	0,95
O1	46,20	1,13	2,99	43,70	1,65
O2	45,20	1,38	4,61	70,57	3,14
VT	38,00	0,31	0,20	18,03	1,02

Şekil 5 ve 6'dan görüldüğü gibi R değeri ile SFC ve SFN arasında üstel ve yüksek determinasyon katsayısına sahip bir ilişki elde edilmiştir. Önceki çalışmalar incelendiğinde, bu çalışmalar genellikle SFC ve SFN ile σ_c arasındaki ilişkiler üzerine yoğunlaşmıştır (Fowell vd, 1992; Çopur vd, 2001; Yağız, 2006; Dursun ve Gökay, 2014). R değeri σ_c 'nin dolaylı olarak bulunmasında kullanıldığı bilinmektedir. Bu sonuçlara göre R değeri de belirtilen kesme koşullarında SFC ve SFN tahmininde kullanılabilir.

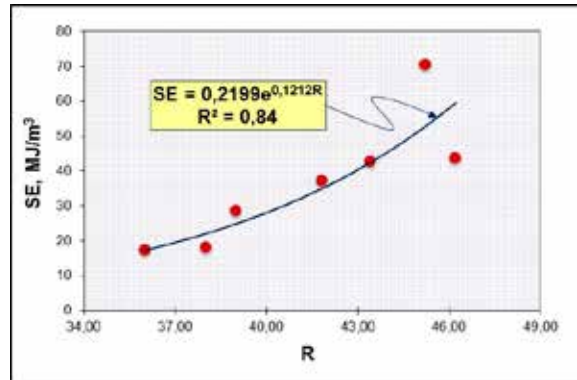


Şekil 5. R değeri ile SFC parametresi arasındaki ilişki

Geçmiş çalışmalar incelendiğinde SE'nin genellikle σ_c ile ilişkileri irdelendiği görülmektedir (Roxborough, 1987; Çopur vd, 2001; Balcı vd, 2004; Tiryaki ve Dikmen 2006; Tümaç vd, 2007; Çomaklı vd, 2014). Bunlara ek olarak Tümaç vd (2007) çalışmalarında Shore sertliğini kullanarak SE değerini tahmin etmişlerdir. Shore deneyi ile Schmidt çekici deneyleri benzer mekanizmalara sahiptirler ve deney yapılan numunenin yüzey sertliğini belirlemede kullanılmaktadırlar. Şekil 7 SE'nin R değeri ile arttığını belirtmektedir. Bu da SE'nin yüzey sertliği arttıkça arttığını işaret etmektedir.

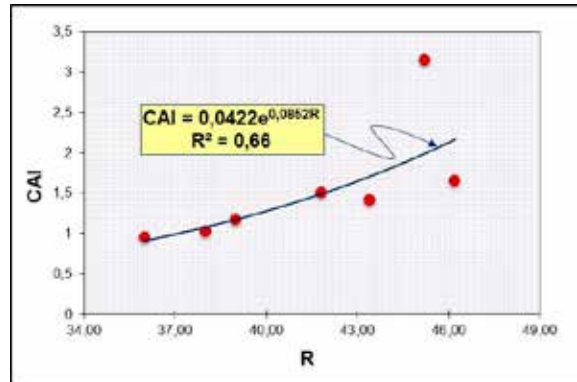


Şekil 6. R değeri ile SFN parametresi arasındaki ilişki



Şekil 7. R değeri ile SE parametresi arasındaki ilişki

Şekil 8'de CAI değerinin R ile arttığı görülmektedir. Ancak diğer şekiller incelendiğinde R değerinin CAI parametresini açıklamakta diğer parametrelerde olduğu kadar başarılı olmadığı görülmektedir. CAI ya da keski tüketimi araştırılırken araştırmacılar genellikle kuvars içeriğine başvurmuşlardır (Suana ve Peter, 1982; West, 1986; Al-Ameen ve Waller, 1994; Pillinger vd, 2002; Pillinger vd, 2003). Şekil 8'den elde edilen sonuca göre R değerinin belirli bir oranda CAI parametresini açıklamakta olduğu görülmektedir ama tek başına yeterli olmamaktadır.



Şekil 8. R değeri ile CAI parametresi arasındaki ilişki

4. SONUÇLAR

Çalışmanın sonuçları incelendiğinde şu sonuçlara ulaşılmıştır:

Keski kuvvetleri (SFC ve SFN) R parametresinden etkilenmektedir. R numunenin yüzey sertliğini temsil ettiğinden dolayı bu ilişkinin sebebinin numunenin yüzey sertliği olabileceği düşünülmektedir.

Aynı şekilde SE'nin R değerinin artması ile arttığı belirlenmiştir. Bunun sebebinin numunenin yüzey sertliği olabileceği tahmin edilmektedir.

CAI ile R arasındaki ilişki incelendiğinde, R değerinin CAI üzerinde belirli bir oranda etkili olduğu ancak tek başına açıklamaya yeterli olmadığı görülmüştür.

Çalışmadan elde edilen veriler, kesilebilirlik parametreleri ile Schmidt sertliği arasındaki ilişkileri belirleme amacıyla kullanılmıştır. R değeri ya da numunenin yüzey sertliğinin kesilebilirlik parametreleri üzerinde etkisi olduğu sonucuna varılmıştır. Ancak daha kesin genellemelerin yapılabilmesi amacıyla daha geniş çaplı deneysel çalışmaların gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, başta Prof. Dr. Nuh BİLGİN, Prof. Dr. Hanifi ÇOPUR ve Doç. Dr. Deniz TÜMAÇ olmak üzere tüm İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Mekanizasyonu ve Teknolojisi A.B.D. personeline teşekkürlerini sunarlar.

KAYNAKLAR

Abu Bakar, M.Z. ve Gertsch, L.S., 2013; "Evaluation of Saturation Effects on Drag Pick Cutting of a Brittle Sandstone from Full Scale Linear Cutting Tests", *Tunn. and Und. Spa. Tech.*, 34, 124-134.

Al-Ameen, S.I. ve Waller, M. D., 1994; "The Influence Of Rock Strength And Abrasive Mineral Content On The Cerchar Abrasivity Index", *Eng Geol*, 36, 293-301.

Balcı, C., Demircin, M.A., Çopur, H. ve Tunçdemir, H., 2004; "Estimation of Optimum Specific Energy Based on Rock Properties for Assessment of Roadheader Performance", *J. of South. Af. Inst. of Min. and Met.*, 104, 633-642.

Bilgin, N., Seyrek, T., Shahriar, K., 1990; "Roadheaders Glean Valuable Tips for Istanbul Metro Tunnels",

Tunnelling, Oct, 29-32.

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

Çomaklı, R., Kahraman, S., Balcı, C., 2014; "Performance Prediction of Roadheaders in Metallic Ore Excavation", *Tunn. and Und. Spa. Tech.*, 40, 38-45.

Çopur, H., Tunçdemir, H., Bilgin, N., Dinçer, T., 2001; "Specific Energy as a Criterion for Use of Rapid Excavation Systems in Turkish Mines", *Trans. of the Inst. of Min. and Met. Sec. A*, 110, 149-157.

Dursun, A.E. ve Gökay, M.K., 2014; "İstatistiksel Yaklaşım Kullanılarak Bazı Kayaç Özelliklerinden Kesme Kuvvetinin Belirlenmesi", *KAYAMEK'2014-XI. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu*, Afyonkarahisar, Türkiye, 335-342.

Evans, I., 1962; "A Theory of The Basic Mechanics of Coal Ploughing", *International Symposium on Mining Research*, Missouri, 761-798.

Feridunoğlu, C. ve Bilgin, N., 2010; "Kayaç Kazılabilirliğinin Tayini İçin Taşınabilir Kayaç Kesme Deneysel Aletin Geliştirilmesi", *İtüdergisi*, 9 (3), 66-74.

Fowell, R.J., Gillani, T. ve Altınoluk, S., 1992; "Wear Characterization of Rock", *EUROCK*, Chester, England, 13-18.

ISRM, 1981; "Rock Characterization, Testing and Monitoring: ISRM suggested Methods", Pergamon Press, 211 s.

Kou, S.Q., Lindqvist, P.A., Tang, C.A., Xu, X.H., 1999; "Numerical Simulation of The Cutting of Inhomogeneous Rocks", *Int. J. of Rock Mech. and Min. Sci.*, 36, 711-717.

Lei, S.T. ve Kaitkay, P., 2003; "Distinct Element Modeling of Rock Cutting Under Hydrostatic Pressure", *Key Engineering Materials*, 250, 110-117.

McFeat-Smith, I., Fowell, R.J., 1979; "The Selection and Application of Roadheaders for Rock Tunneling". *The Rapid Excavation And Tunneling Congress*, Atlanta, 261-279.

Merchant, M.E., 1945; "Basic Mechanics of the Metal Cutting Process", *Journal of Applied Mechanics*, 66, 168-175.

Nishimatsu, Y., 1972; "The Mechanics of Rock Cutting", *Int. J. of Rock Mech. and Min. Sci.*, 9, 261-270.

Plinninger, R.J., Spaun, G., Thuro, K., 2002; "Predicting Tool Wear in Drill and Blast", *Tunnels & Tunnelling International*, Apr, 1-5.

Plinninger, R., Kasling, H., Thuro, K., Spaun, G., 2003; "Testing Conditions and Geomechanical Properties Influencing The Cerchar Abrasiveness Index (CAI)

Value”, *Int. J. of Rock Mech. and Min. Sci.*, 40, 259–263.

Poole, R.W. ve Farmer, I.W. 1978; “Geotechnical Factors Affecting Tunneling Machine Performance in Coal Measures Rock”, *Tunnels & Tunnelling International*, Dec, 27–30.

Rojek, J., 2007; “Discrete Element Modelling of Rock Cutting”, *Computer Methods in Materials Science*, 7 (2), 224-230.

Rojek, J., Onate, E., Labra, C., Kargl, H., 2011; “Discrete Element Simulation of Rock Cutting”, *Int. J. of Rock Mech. and Min. Sci.*, 48, 996-1010.

Rostami, J., Ozdemir, L., Neil, D.M., 1994; “Performance Prediction: A Key Issue in Mechanical Hard Rock Mining”, *Min. Eng.*, 1263–1267.

Roxborough, F.F., 1987; “The Role of Some Basic Rock Properties in Assessing Cuttability”, *Seminar on Tunnels, Wholly Engineered Structures*, Sydney, Australia, 21 s.

Schmidt, E., 1951; A Non-Destructive Concrete Tester, *Concrete*, 59, 34–35.

Su, O. ve Akcin, N.A., 2011; “Numerical Simulation of Rock Cutting Using The Discrete Element Method”, *Int. J. of Rock Mech. and Min. Sci.*, 48, 434-442.

Suanai M. ve Peters, T., 1982; “The Cerchar Abrasivity Index and Its Relation to Rock Mineralogy and Petrography”, *Rock Mech.*, 15, 1-7.

Tiryaki, B. ve Dikmen, A.C., 2006; “Effect of Rock Properties on Spesific Cutting Energy in Linear Cutting of Sandstones by Picks”, *Rock Mech. and Rock Eng.*, 39, 89-120.

Tümaç, D., Bilgin, N., Feridunoğlu, C., Ergin, H., 2007; “Estimation of Rock Cuttability from Shore Hardness and Compressive Strength Properties”, *Rock Mech. and Rock Eng.*, 40, 477-490.

West, G., 1986; “A Relation Between Abrasiveness and Quartz Content for Some Coal Measures Sediments”, *Int. J. Min. Geo.I Eng.*, 4, 73–78.

Yağız, S., 2006; “Keski Kuvveti ve Kayaların Bazı Mühendislik Özellikleri Arasındaki İlişkinin Araştırılması”, *KAYAMEK’2006-VIII. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, İstanbul, Türkiye*, 99-106.