

Bir Tünel Güzergâhındaki Zayıf Kireçtaşlarının Aşınma ve Dayanım Özellikleri Arasındaki İlişkilerin Araştırılması

Investigation of the Relationships Between Abrasiveness and Strength Properties of Weak Limestones Along a Tunnel Route

Nihat DİPOVA

Akdeniz Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, ANTALYA

Geliş (received) : 3 Ocak (January) 2012

Düzeltilme (revised) : 16 Mart (March) 2012

Kabul (accepted) : 9 Nisan (April) 2012

ÖZ

Kayaçların aşındırıcılığının belirlenmesinde CERCHAR Aşınma İndeksi (CAI) verileri önemli bir yer tutmaktadır. Kayaçlarda aşınmayı etkileyen başlıca etmenler kayaçtaki kuvars gibi aşındırıcı minerallerin miktarı, kayacın yoğunluğu, çimentolanma derecesi ve dayanım özellikleridir. Bu çalışmada, Austin (Teksas - ABD) şehir içi geçiş tüneli kaya örnekleri test edilerek zayıf kireçtaşlarının CAI verileri ile dayanım özellikleri arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Kayacın aşınması ve aşındırıcılığı bir arada düşünülerek, aşınan çelik üzerindeki ve aynı anda kayada gerçekleşen oyulma (yarık) miktarları birlikte ölçülmüş ve ilişkilendirilmeye çalışılmıştır. Sert kayalarda kazıcı ömrünün tahmininde kullanılan CERCHAR yönteminin zayıf kayalar için dayanım özelliklerinin tahmininde kullanılabilirliğine dönük bir araştırma yürütülmüştür. Çalışma sonucunda kayaç örneklerine ait CAI değerlerinin 1.72'nin altında, çoğunluğunun ise 0.2 – 1.0 aralığında olduğu görülmüştür. İstatistiksel çalışmalar sonucunda CAI ile Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (UCS) ve Dolaylı Çekme Dayanımı (TS) değerleri arasında ilişki olduğu belirlenmiştir. CAI ile Yarık Derinliği (YD) arasında ve YD ile UCS ve TS değerleri arasında da ilişkilerin olduğu belirlenmiştir. Kayaçların aşındırıcılığının belirlenmesinde kullanılan CAI parametresinin ve bunu elde etmekte kullanılan CERCHAR Yöntemi'nin, yumuşak kayalar için geliştirilmesi önerilmektedir. CERCHAR deneyinde CAI değerlerine ek olarak yarık derinliğinin ölçülmesi ile kayanın diğer özelliklerinin tahmin edilmesinin mümkün olabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Aşındırıcılık, Aşınma, CERCHAR, Dayanım, Zayıf kireçtaşı.

ABSTRACT

CERCHAR Abrasiveness Index (CAI) plays an important role in determination of rock abrasivity. The main factors affecting the abrasiveness of rocks are amount of hard minerals such as quartz, rock density,

N.Dipova

E-Posta: ndipova@akdeniz.edu.tr

degree of cementation and strength characteristics. In this study, rock samples of Austin (Texas - USA) were tested, weak limestone samples were tested according to CERCHAR method and relationships between abrasiveness and the strength properties of the soft rocks were investigated. Considering abrasion of the rock and steel together, wear on the steel and indentation on the rock that occur at the same time were measured and tried to be correlated. Potential usage of CERCHAR method, which is currently used for estimation of life of excavation tools, was investigated for prediction of strength properties of weak rocks. As a result of the study, CAI values of the limestone samples were found less than 1.72, while the majority of the results was found in the range of 0.2 to 1. In this study a good relationship has been found among CAI and UCS and TS values, by the statistical analysis of the test results. Another good relationship was observed between CAI and indentation depth (ID). Similarly, ID has good correlation with the UCS and TS. . CAI parameter used in the determination of rock abrasivity and CERCHAR method used to obtain it have been suggested be improved for the soft rocks. It is concluded that, in addition to CAI values, by means of indentation depth measurements in CERCHAR tests, prediction of other rock properties will be possible.

Key Words: *Abrasiveness, Wear, CERCHAR, Strength, Weak limestone.*

GİRİŞ

Kayaçların aşındırıcılığının belirlenmesinde CERCHAR Aşınma Deneyi ve CERCHAR Aşınma İndeksi (CAI) değerlerinin ölçülmesi önemli bir yer tutmaktadır (Atkinson, 1993). Bu bağlamda, CERCHAR Aşınma Deneyi'nin amacı, kayaçların sertliklerinin ve buna bağlı olarak kayaçların kazılabilirliklerinin belirlenmesi olarak tanımlanabilir. Deney ilk olarak Fransa'da CERCHAR Araştırma Enstitüsü'nde (Research Institute CERCHAR of the Charbonnages de France) 1971 yılında geliştirilmiştir (Valantin, 1973). CERCHAR Aşınma Deneyi özellikle Batı Avrupa'daki kaya mekaniği laboratuvarlarında kayaçların aşındırıcılıklarının belirlenmesinde oldukça yaygın olarak kullanılan bir deney yöntemi haline gelmiştir (Plinninger vd., 2003). Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği (ISRM) toplantılarında, CERCHAR Aşınma İndeksi Deneyi'nin kayaçların kesilebilirliği, delinebilirliği ve kazılabilirliği konularında standart kaya mekaniği

deneyi olarak kullanılması önerilmesine rağmen (Fowell ve Abu Bakar, 2007) bu konuda henüz bir standart yayınlanmış değildir. Amerikan Test ve Malzeme Derneği (ASTM) 2010 yılında CERCHAR deneyini bir Standart hâline getirerek yayınlamıştır (ASTM D7625).

Kayaçalarda aşınmayı etkileyen başlıca etmenler kayaçtaki kuvars gibi aşındırıcı minerallerin miktarı ve kayacın çimentolanma derecesidir (Schimazek ve Knatz, 1976, Yaralı vd., 2008). CERCHAR aşınma indeksi ile delinen kaya mineral yapısı arasında güçlü bir ilişki vardır (Suana ve Peters, 1982). Bilgin (1989) ve West (1986) CERCHAR deneyi yardımıyla kayacın kuvars içeriğinin kestirilebileceğini belirlemiştir. Johnson ve Fowell (1986) CERCHAR Aşınma İndeksi ile kazı sırasında kesici tüketiminin tahmin edilebileceğini rapor etmiştir. Aşındırıcı mineraller ve çimentolanma özelliklerine ek olarak, dayanım özelliklerinin de CAI üzerinde etkisi olduğu belirtilmektedir (Al-Ameen ve Waller, 1994). Altındağ vd., (2009) kayacın

gevrekliği arttıkça CAI değerinin de arttığını ifade etmiştir.

Bu çalışmada, Austin (Teksas - ABD) şehir içi geçiş tüneli sondajlarından alınan sığ deniz çökeli düşük dayanımlı kireçtaşları test edilerek zayıf kayaların aşındırıcılığının CERCHAR yöntemi ile elde edilebilirliği ve aşındırıcılık ile kayacın diğer mekanik özellikleri arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Kayacın aşınması ve aşındırıcılığı bir arada düşünülerek, aşınan metal üzerindeki değişim ile aynı anda gerçekleşen kayadaki aşınma miktarı birlikte ölçülerek ilişkilendirilmeye çalışılmıştır. Sert kayalarda kazıcı ömrünün tahmininde oldukça başarılı sonuçlar veren CERCHAR yönteminin yumuşak kayalar için aşınma ve buna bağlı kazılabilirlik özelliklerinin tahmini için kullanılabilirliğine dönük bir araştırmanın ilk aşamalarını oluşturacak bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

CERCHAR AŞINMA İNDEKSİ

Bu deneyde kaya örnekleri, uçları 90° konik ve çekme dayanımı 2000 MPa olan çiviler (çelik uç) kullanılarak 70 N kuvvetle, 1 mm/s hızla 10 mm uzunluğunda çizilir. Çizme işlemi tamamlandıktan sonra, çelik uçta meydana gelen aşınma düzlüğünün çapı mikroskop altında incelenir. Çivi ucunda meydana gelen 1/10 mm'lik bir aşınma yüzeyi bir birim CERCHAR Aşınma İndeksi olarak kabul edilir ve birimsiz olarak kullanılır.

$$CAI = 10 * (d/c) \dots\dots\dots (1)$$

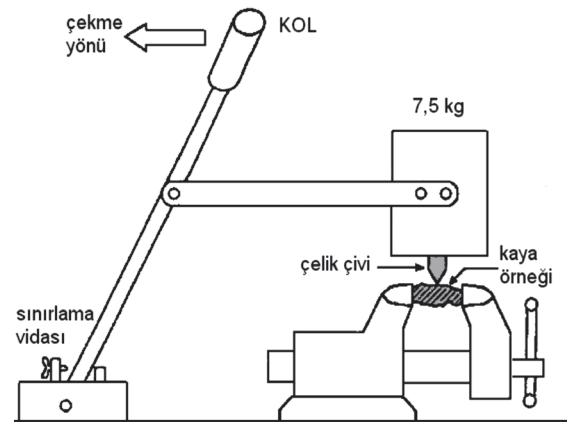
CAI: CERCHAR Aşınma İndeksi

d: Aşınma düzlüğünün çapı (mm)

c: Birim düzeltme faktörü (c =1 mm).

Kullanılan çeliğin sertliğinin CAI üzerinde etkisi olacağı açıktır. Uygulamada 40 - 55 arasında Rockwell HRC sertlik derecelerine sahip çelikler kullanılmaktadır. Michalakopoulos vd., (2005) farklı sertliklerdeki çelikler kullanılarak elde edilen CAI değerlerinin karşılaştırmasını yapmış ve birbirleri arasında dönüşüm amacıyla kullanılabilecek denklemler türetmiştir.

CERCHAR aşınma indeksi deney düzeneği en basit şekliyle Şekil 1'de gösterilmektedir. Prensipten aynı kalmakla birlikte daha kullanışlı ve hassas deney aletleri geliştirilmiştir.



Şekil 1. CERCHAR (1986)'ya göre aşınma deney düzeneği.

Figure 1. Abrasion test apparatus according to CERCHAR (1986).

CERCHAR aşınma indeksi değerleri kayadaki sert ve aşındırıcı minerallerden önemli oranda etkilenmektedir. Aşınma indeksi ile delinen/kazılan kayadaki toplam silisyum içeriği arasında güçlü bir ilişki bulunmaktadır. Suana ve Peters (1982)'ye göre bazı minerallerin ve tek mineralli kayaların CAI değerleri Çizelge

Dipova

1'deki gibi değişmektedir. CERCHAR Deneyi yardımıyla kayacın kuvars içeriğini kestirmek mümkündür ve kayaların CERCHAR Aşınma İndeksi ile delme hızı arasında ters bir ilişki vardır (Bilgin, 1989; West, 1986).

Kesici tüketiminin kayaların CERCHAR aşınma indeksi ile ilişkili olduğu görülmektedir (Johnson ve Fowell, 1986). Al-Ameen ve Waller (1994), aşındırıcı mineral içeriğine ek olarak çimentolaşmanın ve bununla ilişkili dayanım özelliklerinin, CERCHAR Aşındırıcılık İndeksi üzerinde etkisi olduğunu bildirmişlerdir. Çizelge 2'de CERCHAR Aşınma İndeksi'ne göre aşındırıcılık sınıflaması ve bu sınıflara uyan kayaç türleri verilmektedir.

Çizelge 1. Bazı mineral ve tek mineralli kayaçların CERCHAR Aşınma İndeksi değerleri (Suana ve Peters 1982).

Table 1. CERCHAR abrasive index values of some minerals and single mineral rocks (Suana and Peters 1982).

Kayaç veya Mineral	CERCHAR Aşınma İndeksi	Kuvarsa Göre Göreli CERCHAR Aşınma İndeksi
Kuvars, kuvarsit	5.6 – 6.0	% 100
Feldspat (K,Na, Ca), Anortosit	4.2 – 4.8	% 70 – 80
Olivin (Mg, Fe), Dunit	3.4 – 3.6	% 50 – 60
Piroksen, piroksenit	3.0 – 3.2	% 47 – 53
Amfibol	2.8 – 3.2	% 47 – 53
Serpantin	1.4 – 1.8	% 23 – 30
Kireçtaşı, Dolomit	1.0 – 2.0	% 17 – 34
Kiltaşı	0 - 2.5	% 0 – 41

Çizelge 2. CERCHAR Aşınma İndeksi değerlerine göre kayaçların sınıflandırılması (Atkinson vd., 1986).

Table 2. Classification of rocks according to CERCHAR abbrasive index values (Atkinson et al., 1986).

Sınıflama	CERCHAR İndeksi	Kayaç Tipi
Çok aşındırıcı	> 4.5	Hornblend, Gnays, Pegmatit, Granit
Oldukça aşındırıcı	4.25 – 4.5	Amfibolit, Granit
Aşındırıcı	4.0 – 4.25	Granit, Gnays, Şist, Piroksen, Kumtaşı
Orta aşındırıcı	3.5 – 4.0	Kumtaşı, Silttaşı
Biraz aşındırıcı	2.5 – 3.5	Dolomit
Az aşındırıcı	1.25 – 2.5	Portland Kumtaşı
Çok az aşındırıcı	< 1.2	Kireçtaşı

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Malzeme Özellikleri

Çalışma kapsamında incelenen kaya örnekleri, Austin (Teksas - ABD) şehir içinde GB-KD doğrultusunda uzanan bir şerit halinde yüzlek veren Buda Formasyonu'na aittir. Kretase yaşlı formasyon sığ deniz ortamı ürünü olup, çökeliminde gel-git ve fırtına sonucu yeniden çökelim (reworking) etkili olmuştur. İncelenen kireçtaşının karbonat bileşenleri 2 alt başlıkta incelenebilir: spar kumlu mikrit ve beyaz mikrit. Intraklastlar ise yine karbonat olmakla birlikte çökelim zamanı farklı olduğu için farklı gruplanmıştır. Buda Kireçtaşları 6 fasiyese ayrılarak tanımlanabilir Hixon (1959). Beş kireçtaşı fasiyesi aşağıda tanımlanmıştır. Kireçtaşları arasında ara katman olarak gözlenen

şeyl Hixon (1959) tarafından altıncı fasiyes olarak kabul edilmiştir.

Spar: Spar çimentolu kireçtaşları türbülânslı ve göreceli olarak daha sığ deniz ortamında gelişmiştir. Tüm formasyon içinde azınlıkta kalmaktadır.

Kumlu Mikrit: Bölgesel olarak kuzeyden taşınan yarı yuvarlak kuvars taneleri karbonat hamur içinde kumlu mikrit halini almıştır. Kuvars taneleri yarı yuvarlak olup, aralarında ekinoid parçaları içerirler.

Beyaz Mikrit: Buda kireçtaşı içinde egemen fasiyestir. Bu fasiyesin hâkim olduğu kaya malzemeleri göreceli olarak daha uniform ve dayanımlı özellik sunarlar.

Intraklast: Deniz seviyesinin düşmesi ve erozyon sonucu kireçtaşı aşınarak yine kendi kütlesi içinde çökeldiğinde tanecikler intraklast adını almaktadır. Intraklast seviyelerinde aşınma yapılarına da bolca rastlanmaktadır.

Siyah Mikrit: Siyah renk karbonat taneciklerinin organik malzeme ile kaplanması sonucu oluşmuştur.

Laboratuvar Deneyleri

Deneysel çalışmalar Austin (Teksas - ABD) şehir içi geçiş tüneli sondajlarından alınan kaya örnekleri üzerinde yapılmıştır. İnceleme kapsamında 47 adet karot örnek üzerinde fasiyes ayrımı yapılmadan, tek eksenli sıkışma deneyi, nokta yükleme, Brezilya dolaylı çekme deneyleri ASTM standartlarına göre gerçekleştirilmiştir. Kayanın aşındırıcılık etkilerinin belirlenmesi amacı ile aynı örnek üzerinde CERCHAR Aşındırma İndeksi Deneyi yapılmıştır. CERCHAR deney sonuçları ile diğer kaya mekaniği parametreleri arasında ilişkilendirmeler yapılmıştır. Deneylere ait ayrıntılar aşağıda açıklanmış, deney sonuçları ise çizelge 3'te özetlenmiştir.

Çizelge 3. Deney sonuçlarının en düşük, ortalama ve en büyük değerleri.

Table 3. Minimum, mean and maximum values of test results.

	Tek eksenli sıkışma dayanımı UCS (MPa)	Nokta yükü indeksi $I_{S(s0)}$ (MPa)	Brezilya dolaylı çekme dayanımı TS (MPa)	CERCHAR	
				CAI	YD (mm)
En düşük	12.14	0.40	1.75	0.05	0.19
Ortalama	48.88	3.09	4.84	0.49	0.58
En yüksek	116.20	6.52	10.22	1.72	1.18

Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı Deneyi: Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (UCS) Deneyleri GCT Servo Controll cihazı kullanılarak, ASTM D 2938 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Deney örnekleri boy/çap oranı 2 olacak şekilde hazırlanmış ve örneklerin alt ve üst yüzeylerinin paralelliğinin sağlanması

amacıyla yatay freze ile tesviye edilmiştir (Şekil 2). Numuneler farklı fasiyeslerde sığ deniz ortamı çökelleri olduğundan, deney sonucunda 12 – 110 MPa gibi geniş bir aralıkta UCS değerleri elde edilmiştir. Benzer bir şekilde diğer deney sonuçları da geniş dağılım içinde bulunmaktadır.



Şekil 2. Tek eksenli sıkışma deneyi örneği
Figure 2. Uniaxial compressive strength test sample

Dolaylı Çekme (Brezilya) Deneyi: ASTM D 3967 standardına uygun olarak, 50 mm çapında ve 30 mm kalınlığında disk numuneler üzerinde yapılan Brezilya deneylerinde 1 MPa - 7 MPa gibi geniş aralıkta değerler belirlenmiştir. Aynı örnek üzerinde CERCHAR deneyi yapılması için örneklerin yüzeyleri tesviye edilmiştir (Şekil 3).



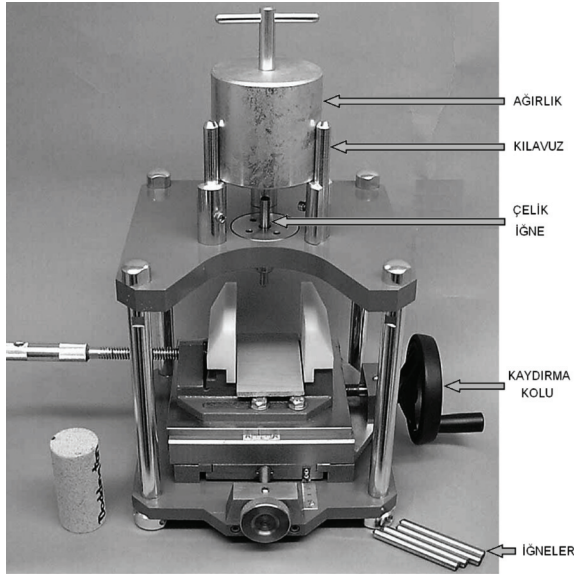
Şekil 3. Brezilya Dolaylı Çekme Deneyi sonunda yenilmiş örnek (örnek yüzeyinde aşınma deneyi izleri de görülmektedir).

Figure 3. Failed sample after the Brazilian indirect tensile test (abrasion traces can be seen on the sample face).

Nokta Yükleme Deneyi: Nokta Yükleme Deneyi ASTM D 5731 standardına göre eksenel ve çapsal olarak iki doğrultuda da yapılabilmektedir. Bu çalışma kapsamında yapılan deneyler yüzeyi tesviye edilmiş numunelerde ve eksenel doğrultuda gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları 50 mm karot eşdeğer boyutu için düzeltmeye tabi tutularak $I_{s(50)}$ değerleri elde edilmiştir.

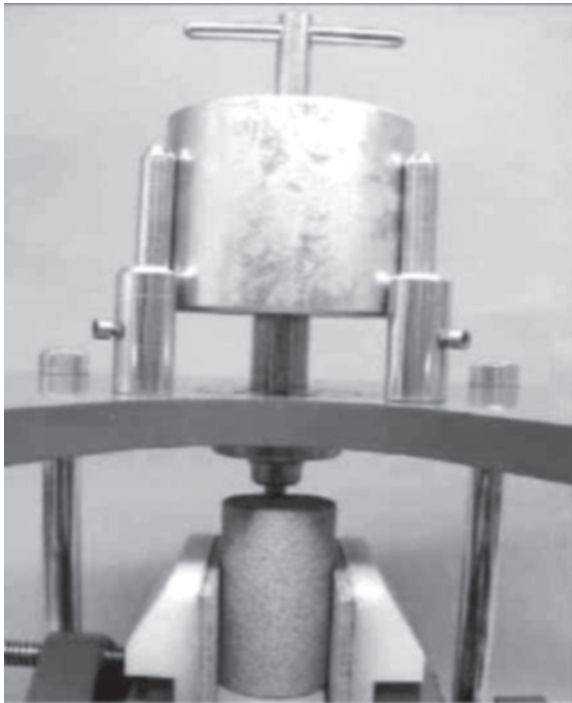
Aşındırıcılık (CERCHAR) Deneyi: CERCHAR aşındırıcılık indeks değerleri, 90° tepe açılı konik bir çelik uçun 70 N bastırma kuvveti ile kaya numunesi yüzeyi üzerinde 1 cm boyunca çekilmesi ve ucun tepesinde oluşan aşınma yüzeyi boyutlarının ölçülmesi ile bulunmuştur. Kullanılan çelik uçun sertliği Rockwell HRC 43'tür. Deneylerde kullanılan ve "West Düzeneği" (West, 1989) olarak bilinen aygıtın ayrıntısı Şekil 4'te gösterilmektedir. Aşınma ölçümleri tesviye edilmiş veya düzensiz kırılmış yüzeylerde yapılabilirken, bu çalışmada dayanım parametreleri ile korelasyonlar yapılacağından, deneylerin tamamı tesviye edilmiş düz yüzeyler üzerinde yapılmıştır (Şekil 5).

Aşınma ölçümleri için ProScope HR dijital mikroskop ve 50X büyütme lensi kullanılmıştır. Sayısal görüntüler elde edildikten sonra kalibre edilmiş bir dijital kumpas bilgisayar programı (Iconico Screen Caliper v.4) aracılığıyla ölçümler gerçekleştirilmiştir (Şekil 6). Yapılan deneylerde çelik uçta aşınma oluşurken aynı zamanda kayada da aşınmanın gerçekleştiği gözlenmiştir. Çizgi uzunluğu boyunca (1 cm) çelikteki aşınma çapı artmakta, buna paralel olarak ortaya çıkan yarığın da derinliği artmaktadır. Bu nedenle CERCHAR deney yönteminde öngörülen konik uç üzerindeki aşınma ölçümlerinden başka, konik ucun (çelik iğne) kaya üzerinde açtığı yarığın derinliği de ölçülmüştür.



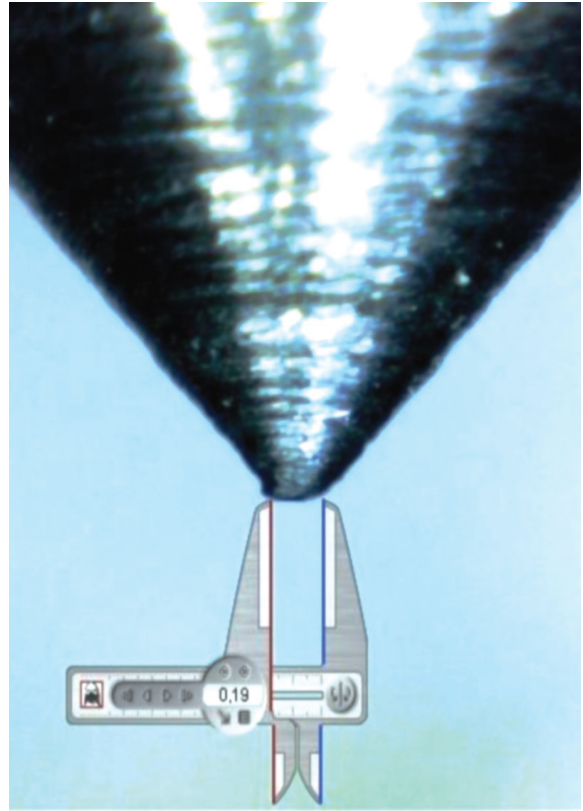
Şekil 4. Aşındırma deneylerinde kullanılan CERCHAR düzeneği (West Düzeneği).

Figure 4. CERCHAR device used in abbrassion tests (West apparatus).



Şekil 5. Silindir karot örnek üzerinde deneyin uygulanışı.

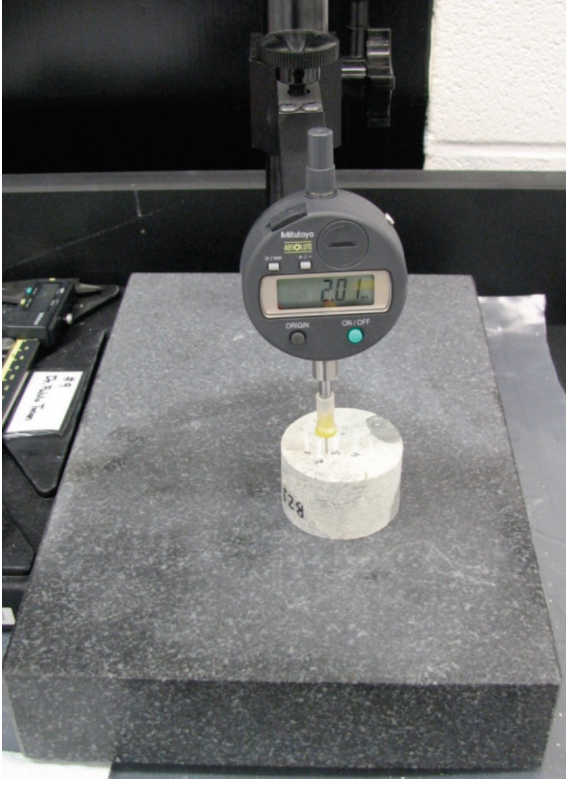
Figure 5. Application of test on a cylindrical core sample.



Şekil 6. Dijital mikroskop ve ekran kumpası bilgisayar programı yardımı ile çelik uç üzerindeki aşınmanın ölçümü

Figure 6. Measurement of wear on a steel pin by means of a digital microscope and screen caliper software.

Çelik uçtaki aşınma çizgi işleminin sonundaki değer olarak ölçüldüğünden, yarıktaki çizginin sonundaki en büyük derinlik ölçülmüştür. Ölçümler yarık ile kenarındaki düz alan arasındaki kot farkının, ucunda iğne bulunan özel bir elektronik komparatör kullanılarak ölçülmesi ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 7). Yarık derinliğinin hassas ölçülebilmesi için numune alt ve üst yüzelerinin tesviye edilmiş ve kusursuz paralel olması gerekir. Ölçme işlemi numune pürüzlülüğü ve paralellliğini kontrol için kullanılan bir sehpa üzerinde yapılabilir.



Şekil 7. İğne uçlu komparatör ile kaya üzerindeki aşınma derinliğinin ölçümü.

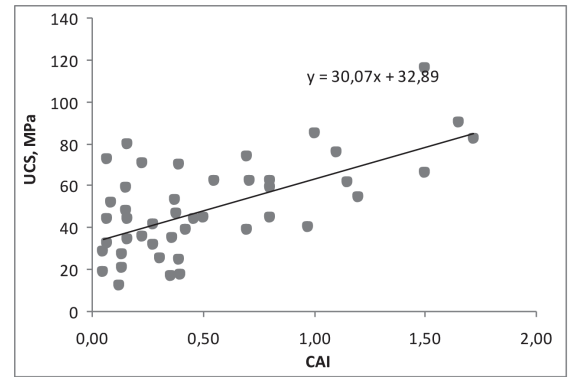
Figure 7. Measurement of depth of indentation using sharp ended gauge.

BULGULAR

Bu bölümde deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar grafikler halinde sunulmakta ve parametreler arasındaki ilişkiler verilmektedir. Çalışma sonucunda tüm kaya örnekleri için CAI değerleri 1.72'nin altında, çoğunluğun ise 0.2 - 1 aralığında olduğu belirlenmiştir. Çizelge 2'de verildiği gibi literatürde kireçtaşları için CAI değeri en fazla 1.2 civarında rapor edilmiştir. Bu çalışmada test edilen örneklerin bazıları mikritik yapıda ve buna bağlı olarak yoğun olduğundan, yoğunluğa bağlı olarak aşındırıcılık kazandığı düşünülmektedir.

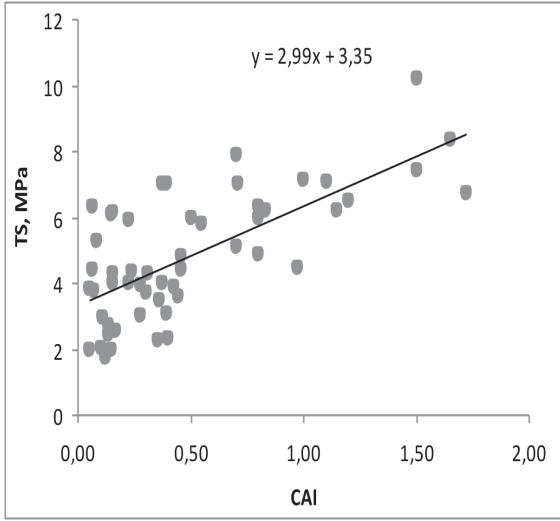
CERCHAR Aşındırıcılık İndeksi (CAI) ile Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (UCS) ve Brezilya Dolaylı Çekme Dayanımı (TS) değerleri arasında ilişki araştırılmıştır. Bu amaçla parametreler iki boyutlu regresyon analizine tabi tutulmuştur. Şekil 8'de ve 9'da görüldüğü gibi değişkenler arasında doğrusal bir ilişki belirlenmiştir. CAI ile düzeltilmiş Nokta Yükü Dayanım İndeksi ($Is_{(50)}$) arasında ise anlamlı bir ilişki gözlenmemiştir (Şekil 10).

CERCHAR Aşındırıcılık İndeksi (CAI) ile Yarı Derinliği (YD) arasında ters orantılı üstel bir ilişki belirlenmiştir (Şekil 11). İlişkinin regresyon katsayısı 0.85 gibi yüksek bir değer almıştır. Test edilen kayacın aşındırıcı mineraller bulunmadığı dikkate alınarak, aşınmayı ve aşındırıcılığı, yoğunluk ve çimentolanmanın kontrol ettiği düşünülmektedir. Yarı Derinliği ile Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı ve Brezilya Dolaylı Çekme Dayanımı değerleri arasında ters orantılı bir ilişki olduğu belirlenmiştir (Şekil 12 ve 13). Yarı Derinliği ile Nokta Yükü Dayanım İndeksi ($Is_{(50)}$) arasındaki ilişkinin ise çok zayıf bir ilişki olduğu gözlenmektedir (Şekil 14).



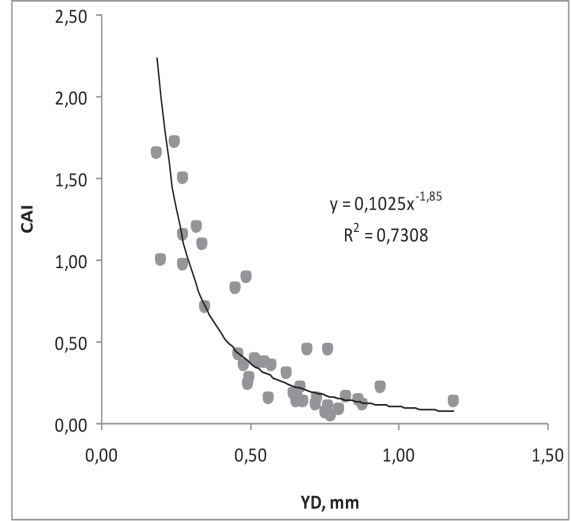
Şekil 8. CERCHAR Aşınma İndeksi (CAI) ve Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (UCS) ilişkisi ($R = 0.61$).

Figure 8. CERCHAR Abrasive Index (CAI) and uniaxial compressive strength (UCS) relationship ($R = 0.61$).



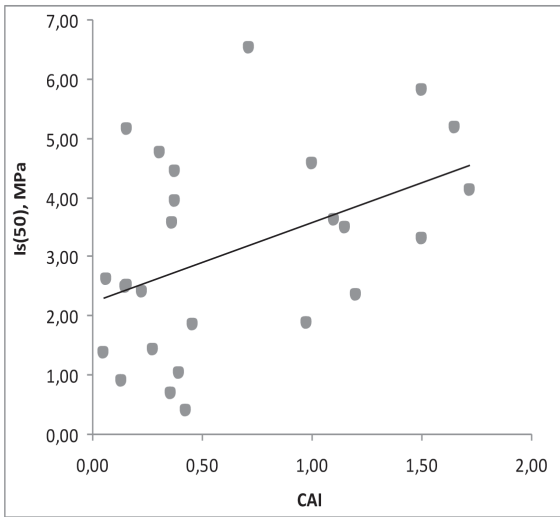
Şekil 9. CERCHAR Aşınma İndeksi (CAI) ve Dolaylı Çekme Dayanımı (TS) ilişkisi ($R = 0.70$).

Figure 9. CERCHAR Abrassive Index (CAI) and indirect tensile strength (TS) relationship ($R = 0.70$).



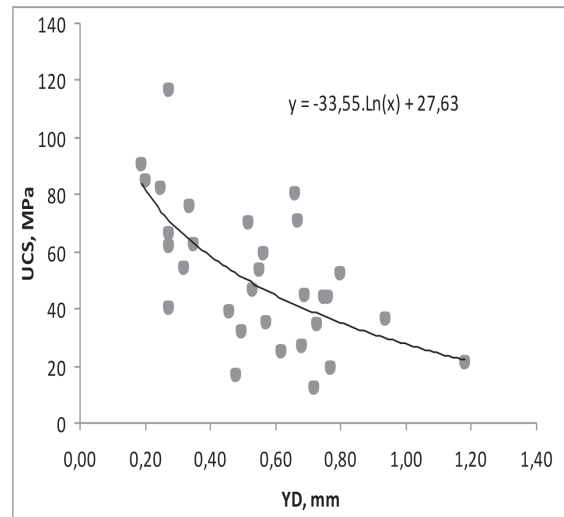
Şekil 11. CERCHAR Aşınma İndeksi (CAI) ve CERCHAR Yark Derinliği (YD) ilişkisi ($R = 0.85$).

Figure 11. CERCHAR Abrassive Index (CAI) and CERCHAR depth of indentation (YD) relationship ($R = 0.85$).



Şekil 10. CERCHAR Aşınma İndeksi (CAI) ve düzeltilmiş Nokta Yüğü Dayanım İndeksi ($I_{s(50)}$) ilişkisi ($R = 0.43$).

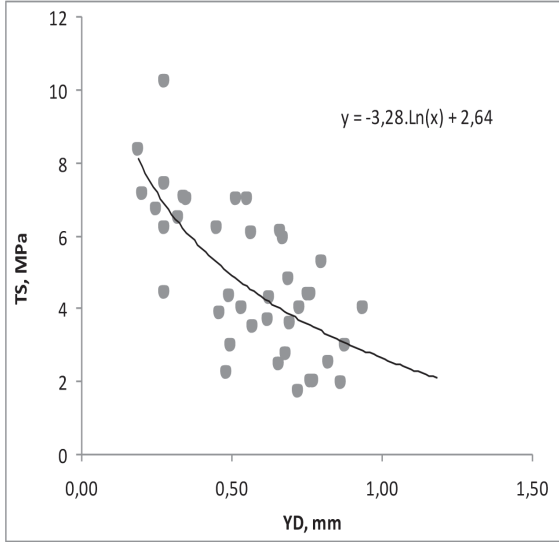
Figure 10. CERCHAR Abrassive Index (CAI) and corrected point load index ($I_{s(50)}$) relationship ($R = 0.43$).



Şekil 12. CERCHAR Yark Derinliği (YD) ve Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (UCS) ilişkisi ($R = 0.65$).

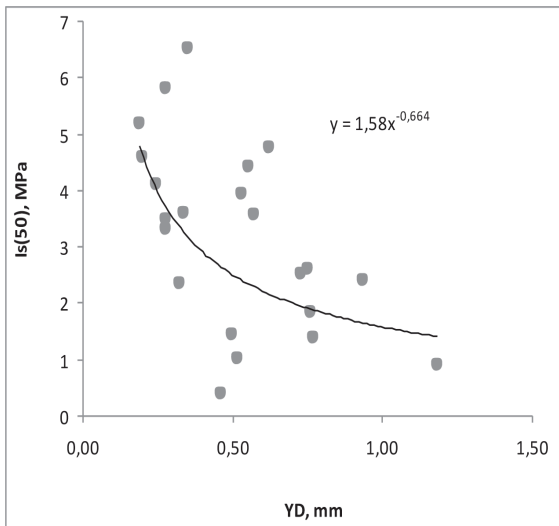
Figure 12. CERCHAR depth of indentation (YD) and uniaxial compressive strength (UCS) relationship ($R = 0.65$).

Dipova



Şekil 13. CERCHAR Yarınc Derinliği (YD) ve Brezilya Dolaylı Çekme Dayanımı (TS) ilişkisi (R = 0.70).

Figure 13. CERCHAR depth of indentation (YD) and Brazilian indirect tensile strength (TS) relationship (R = 0.70).



Şekil 14. CERCHAR Yarınc Derinliği (YD) ve Düzeltilmiş Nokta Yükcü Dayanım İndeksi ($I_{s(50)}$) ilişkisi (R = 0.49).

Figure 14. CERCHAR depth of indentation (YD) and corrected point load index ($I_{s(50)}$) relationship (R = 0.49).

Aşınma deneyi sonuçları ile UCS ve TS değerleri arasında ilişki çoklu regresyon analizi yolu ile test edilmiştir. Çoklu regresyon analizlerinde DataFitX v.2 bilgisayar programı kullanılmıştır. Analizler sonucunda tekli regresyonlarda elde edilen regresyon katsayılarına göre R değerlerinde artış gözlenmiştir. CAI ve YD değerlerinin UCS (MPa) ve TS (MPa) ile ilişkilendirilmesi Eşitlik 2 ve 3'te verilmektedir.

$$UCS = 30.39 + 23.25*CAI - 10.88*\ln(YD) \quad (2)$$

$$R = 0.69$$

$$TS \text{ (MPa)} = 2.96 + 2.26*CAI - 1.02*\ln(YD) \quad (3)$$

$$R = 0.74$$

SONUÇLAR

Test edilen kaya örnekleri için CAI değerleri 1.72'nin altında, çoğunluğu ise 0.2 – 1.0 aralığında çıkmıştır. Örneklerin bazıları mikritik yapıda ve yoğun olduğundan, yoğunluk ve çimentolanmaya bağlı olarak aşındırıcılık kazandığı düşünülmektedir.

Yapılan deneysel ve istatistiksel çalışmalar sonucunda CERCHAR Aşındırıcılık İndeksi (CAI) ile Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (UCS) ve Brezilya Dolaylı Çekme Dayanımı (TS) değerleri arasında ilişki olduğu belirlenmiştir. Nokta Yükcü Dayanım İndeksi ile CAI arasında ise anlamlı bir ilişki gözlenmemiştir.

CERCHAR deneyinde çelik uçtaki aşınmaya ek olarak kaya üzerinde oluşan yarığın derinliği de ölçülmüş ve diğer parametrelerle ilişkisi araştırılmıştır. CAI ile Yarınc Derinliği arasında 0.85 korelasyon katsayısı ile bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Yarınc Derinliği (YD) ile Brezilya Dolaylı Çekme Dayanımı (TS) değerleri arasında da ilişki olduğu gözlenmiştir.

Böylece CERCHAR deneyinde CAI indeksine ek olarak yarık derinliğinin ölçülmesi ile kayanın diğer özelliklerinin tahmin edilmesinin mümkün olabileceği sonucuna varılmıştır. Yarık Derinliği ile Nokta Yükü Dayanım İndeksi ($I_{s(50)}$) arasında bir ilişki gözlenmemiştir.

Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (UCS) ve Dolaylı Çekme Dayanımı'nın (TS) tahmininde CERCHAR Aşındırıcılık İndeksi (CAI) ve Yarık Derinliği'nin (YD) birlikte analiz edilmesi sonucu korelasyon katsayılarının yükseldiği görülmüştür.

Kayaçların aşındırıcılığının belirlenmesinde kullanılan CAI parametresi ve bunu elde etmekte kullanılan CERCHAR yöntemi, yumuşak kaya malzemeleri için geliştirilmelidir. Deneyin, farklı sertlikteki konik ucun sertliği ve/veya farklı uygulanan normal yük altında uygulanması önerilir. CERCHAR Aşınma Deneyi yapılırken çizme sırasında oluşan yarığın derinliğinin de ölçülmesi önerilmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada sunulan deneyler Austin (Teksas - ABD) şehir içi geçiş tüneli sondajlarından alınan kaya örnekleri üzerinde, Teksas Üniversitesi (Austin - ABD) İnşaat Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Yazar desteklerinden ötürü bölüm yetkililerine teşekkürü bir borç bilir.

KAYNAKLAR

Al-Ameen, S.L., Waller, M.D.,1994. The influence of rock strength and abrasive mineral content on the CERCHAR abrasive index. *Engineering Geology*, 36, 293-301.

Altındağ, R., Şengün, N., Saraç, S., Mutlutürk, M., Güney, A., 2009. Evaluating the relations between brittleness and cerchar abrasion index of rocks. Eurock 2009, ISRM Regional Symposium, Croatia, 195-200.

ASTM D 2938, Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Intact Rock Core Specimens. ASTM International, West Conshohocken, PA.

ASTM D 3967, Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Intact Rock Core Specimens. ASTM International, West Conshohocken, PA.

ASTM D 5731, Standard Test Method for Determination of the Point Load Strength Index of Rock. ASTM International, West Conshohocken, PA.

ASTM D7625, Standard Test Method for Laboratory Determination of Abrasiveness of Rock Using the CERCHAR Method. ASTM International, West Conshohocken, PA.

Atkinson, R.H., 1993. Hardness Tests for Rock Characterization. In: Hudson, J. (ed) *Comprehensive rock engineering. Principles, practice and projects*, vol 3. Pergamon- Oxford Press, 105–117.

Atkinson, T., Cassapi, V.B., Singh, R.N., 1986. Assessment of abrasive wear resistance potential in rock excavation machinery. *International Journal of Mining and Geological Engineering*, 3, 151-163.

Bilgin, N., 1989. İnşaat ve Maden Mühendisleri için Uygulamalı Kazı Mekaniği. Birsen Yayınevi, İstanbul, 192 s..

CERCHAR, 1986. The CERCHAR abrasiveness index. Centre d'Études et des Recherches des Charbonages de France. Verneuil.

DataFitX v.2 Curve Fitting (nonlinear regression) and Data Plotting Software, Oakdale, PA-USA (<http://www.oakdaleengr.com/>)

- Fowell, R.J., Abu Bakar, M.Z., 2007. A review of the Cerchar and LCPC rock abrasivity measurement methods. 11th Congress of the International Society for Rock Mechanics, Second half century for rock mechanics, Vol. 1, 155-160.
- Hixon, S.B., 1959. Facies and petrography of the cretaceous Buda limestone of Texas and Northern Mexico. University of Texas, USA, MA Thesis, 152 p, (yayımlanmamış).
- Iconico Screen Calipers, Iconico Inc., New York, NY-USA (<http://www.iconico.com/caliper/>).
- Johnson, S.T., Fowell, R.J., 1986. Compressive strength is not enough (Assessing Pick Wear for Drag Tool-Equipped Machines). In: Proceedings of the 27th US Symp Rock Mechanics, Tuscaloosa, Alabama, USA, 840-845.
- Michalakopoulos, T.N., Anagnostou, V.G., Bassanou, M.E., Panagiotou, G.N., 2005. The influence of steel styli hardness on the Cerchar abrasiveness index value. International Journal of Rock Mechanics Mining Sciences and Geomechanical Abstracts, 43, 321-327.
- Plinninger, R., Kasling, H., Thuro, K., Spaun, G., 2003. Technical note – Testing conditions and geomechanical properties influencing the CERCHAR abrasiveness index (CAI) value. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 40 (2), 259-263.
- Schimazek, J., Knatz, H., 1976. Die beurteilung der bearbeitbarkeit von gesteinen durch schneid - und rollenbohrwerkzeuge. Erzmetall, 29 (3), 113-119.
- Suana, M., Peters, T., 1982. The CERCHAR abrasivity index and its relation to rock mineralogy and petrography. Rock Mechanics and Rock Engineering, 15, 1-7.
- Valantin, A., 1973. Test CERCHAR pour la mesure de la dureté et de l'abrasivité des roches. Annexe de l'exposée présentée aux Journées d'Information « Techniques de creusement » Novembre 1973, Luxembourg.
- West, G., 1986. Relation between abrasiveness and quartz content for some coal measures sediments. International Journal of Mining and Geological Engineering, 4, 73-78.
- West, G., 1989. Technical Note – rock brasiveness testing for tunnelling, in International Journal of Rock Mechanics, Mining Sciences and Geomechanics Abstracts, 26 (2), 151-160.
- Yaralı, O., Yaşar, E., Bacak, G., Ranjith, P.G., 2008. A study of rock abrasivity and tool wear in coal measures Rocks. International Journal of Coal Geology, 74, 53-66.