



Kayaçların dokusal özellikleri ile aşındırıcılıkları arasındaki ilişkiye yüzey özelliği etkisinin farklı deney aletleri ile araştırılması

Investigating the effect of surface properties on the relationship between textural properties and the abrasivity of rocks using different test apparatus

Ramazan Çomaklı^{1,*} 

¹Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 51240, Niğde Türkiye

Öz

Düz ve pürüzlü kayaç yüzeylerinde kesici ve delici uç ile kaya etkileşimi aynı olmayacaktır. Dolayısıyla, bu yüzeylerde kayaçların mineralojisine bağlı olarak değişen dokusal özelliklerinin kesici uç aşınmasına etkileri de değişiklik gösterecektir. Bu çalışmada kayaçların dokusal özellikleri ile aşındırıcılıkları arasındaki ilişkiye numune yüzey özelliğinin etkisi araştırılmıştır. 11 farklı kayaç numunesi üzerinde iki farklı Cerchar deney aleti (klasik ve West) kullanılarak kayaçların Cerchar aşındırıcılık indeks değerleri (CAI) testere ile kesilmiş ve pürüzlü yüzeylerde belirlenmiştir. Kayaçların dokusal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla da ince kesit görüntüleri üzerinden doku katsayısı ve mineral toplam alanının kesit alanına oranı (AW) değerleri belirlenmiştir. Elde edilen bu değerler ile her iki deney aleti kullanılarak belirlenen CAI değerleri arasındaki ilişkiler pürüzlü ve kesilmiş (düz) yüzeyler için istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Kayaçların dokusal özelliklerinin aşındırıcılıkları üzerindeki etkisinin pürüzlü yüzeylerde daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Kaya aşındırıcılığı, Cerchar aşındırıcılık indeksi, Kayaç dokusu

1 Giriş

Kayaç özelliklerinin doğru şekilde tanımlanarak kazılabilirliklerinin belirlenmesi mekanize kazı projeleri için oldukça önemlidir [1]. Kayaçların aşındırıcılıkları da tünel ve maden kazı projelerinde kesici uç tüketimini etkilediği için kayaçların kazılabilirliklerinin belirlenmesinde önemli bir parametredir. Dolayısıyla kayaçların aşındırıcılıklarının belirlenmesi proje planlamasının doğru şekilde yapılması bakımından oldukça önemlidir. Kayaçların aşındırıcılıklarının belirlenmesi amacıyla birçok farklı deneysel yöntem bulunmaktadır [1-5]. Cerchar aşındırıcılık indeksi (CAI) deneyi kayaçların aşındırıcılıklarının belirlendiği basit ve yaygın kullanıma sahip önemli bir yöntemdir [6]. Kayaçların aşındırıcılık özellikleri birçok farklı parametreye bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Bu doğrultuda farklı araştırmacılar CAI deney yöntemini kullanarak, kayaçların aşındırıcılıkları ile diğer fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkileri araştırmışlardır [7-10]. Al-Ameen ve Waller [7], kayaçların

Abstract

The rock-cutting or drilling tool interaction will not be the same on saw-cut and rough rock surfaces. Therefore, the effects of the textural properties of the rocks, which vary depending on their mineralogical and petrographical characteristics, on the wear of the cutting toll will also vary. In this study, the effect of the surface properties of rocks on the relationship between their textural and abrasivity properties was investigated. Cerchar abrasivity index (CAI) values of rocks were determined on saw-cut and rough surfaces using two different Cerchar test apparatus (classic and West) on 11 different rock samples. Textural coefficient (TC) and ratio of total mineral area to cross-sectional area values (AW) were determined from thin-section images to define the textural properties of rocks. The relationships between CAI values, determined with both test devices, and TC and AW were statistically analyzed for rough and saw-cut surfaces. It was revealed that the effect of the textural properties of rocks on their abrasivity is higher on rough surfaces.

Keywords: Rock abrasivity, Cerchar abrasivity index, Rock texture

mukavemetinin CAI' yi büyük ölçüde etkilediğini bildirmiştir. Kahraman vd. [8], regresyon ve yapay sinir ağı analizi yöntemlerini kullanarak fay breşleri için CAI ile tek eksenli basınç dayanımı (UCS) arasındaki ilişkiyi araştırmışlar ve CAI' nin UCS' yi tahmin etmek için kullanılabileceğini bildirmişlerdir. Benzer şekilde, Deliormanlı [9], CAI ile UCS arasındaki ilişkiyi 15 farklı mermer numunesi için analiz etmiş ve UCS ile CAI arasında pozitif doğrusal bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur. Çapık ve Yılmaz [10], Türkiye' deki Cankurtaran ve Salmankas tünellerinden toplanan 43 farklı tortul ve magmatik kaya örneğinin UCS değeri ile birlikte indirekt çekme ve nokta yükü dayanım değerleri ile CAI arasındaki ilişkileri araştırmışlardır. Sonuç olarak kayaçların CAI değerleri ile UCS değerleri arasındaki ilişkiye benzer ilişkilerin CAI değerleri ile indirekt çekme ve nokta yük dayanımı değerleri arasında da var olduğunu ortaya koymuşlardır. Benzer şekilde kayaçların diğer mekanik özellikleri ile CAI değerleri arasındaki ilişkileri ortaya koyan farklı çalışmalar da bulunmaktadır [11-13].

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: rcomakli@ohu.edu.tr (R. Çomaklı)

Geliş / Received: 20.03.2025 Kabul / Accepted: 14.07.2025 Yayınlanma / Published: 15.10.2025

doi: 10.28948/ngumuh.1661879

Kayaçların mekanik özelliklerinden farklı olarak mineralojik ve petrografik özelliklerinin de aşındırıcılıkları üzerindeki etkileri yine CAI test yöntemi kullanılarak farklı araştırmacılar tarafından araştırılmıştır [14-16]. Zhang vd. [17], UCS ve kuvars içeriğinin CAI üzerinde en etkili parametreler olduğunu ortaya koymuşlardır. Torrijo vd. [18], andezitik kayaların kimyasal bileşiklerinin ve petrografik özelliklerinin CAI üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Sonuç olarak araştırmacılar, kabul edilebilir bir CAI tahmini yapmak için plajiyoklazın tane boyutunun ve kayaların kimyasal bileşiklerinin dikkate alınması gerektiğini ortaya koymuşlardır.

CAI testi yaygın olarak kullanılan ve standart bir uygulaması olan deneysel yöntem olmasına rağmen birçok araştırmacı deney ucunun sertliği, çizilme mesafesinin değişimi ve kaya örneklerinin yüzey özelliği gibi bazı deney parametrelerini değiştirerek, bu değişimlerin CAI değerleri üzerindeki etkilerini araştırmıştır [19, 20]. Aydın [20], test edilen kayaların yüzey koşullarının CAI üzerindeki etkisini analiz etmek için hem testereyle kesilmiş hem de pürüzlü numune üzerinde CAI testleri gerçekleştirmiştir. Deneyler sonucunda pürüzlü kaya yüzeylerinde ölçülen CAI değerlerinin testereyle kesilmiş kaya yüzeyinde ölçülenlerden daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Birçok araştırmacı, farklı kaya türleri için kayaların yüzey koşullarının CAI üzerindeki etkileri hakkında benzer sonuçlara ulaşmıştır [21, 22]. Aydın vd. [23] yaptıkları çalışmada numune yüzey özelliği etkisinin yanında deney aleti tipinin de CAI üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla 13 farklı kayaç numunesi üzerinde klasik ve West deney aletlerini kullanarak CAI değerleri elde etmişlerdir. Sonuç olarak deney aletinin farklı olmasının CAI değerleri üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını ortaya koymuşlardır.

Kayaçların mineralojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla farklı yaklaşımlar kullanılabilir. Bu yaklaşımlar genel olarak kayaç yapısındaki minerallerin yüzdelik dağılımlarının belirlenmesi ve minerallerin alanı, çevre uzunluğu gibi şekilsel özelliklerinin belirlenmesini kapsamaktadır. Doku katsayısı (TC) yaklaşımı da kayaç yapısındaki minerallerin şekilsel özelliklerinin belirlenip, bu değerlerin sayısallaştırılarak kullanıldığı bir yaklaşımdır. Howarth ve Rowlands [24] geliştirdikleri TC yaklaşımı ile kayaçların farklı mekanik özellikleri arasındaki ilişkileri araştırmışlardır. Sonuç olarak, TC değerleri ile UCS, Brazilian çekme dayanımı (BTS), Young modülü ve delme hızı arasında güçlü korelasyonlar bulmuşlardır. TC' nin kayaların mukavemetini ve delinebilirliğini tahmin etmek için kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Daha sonra farklı araştırmacılar, TC ile kayaçların farklı özellikleri arasındaki ilişkileri araştırmışlardır [25-28].

Bu çalışmada, TC değeri kullanılarak kayaçların aşındırıcılıkları ile dokusal özellikleri arasındaki ilişkinin farklı yüzey şartlarında değişimi araştırılmıştır. TC değeri ile birlikte toplam mineral alanının toplam yüzey alanına oranı değerinin (AW) de yine bu ilişkiye etkileri araştırılmıştır. Bu kapsamda 11 farklı kayaç numunesinin aşındırıcılıklarını belirlemek amacıyla klasik ve West deney aletleri kullanılarak CAI değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu

değerler ile kayaçların dokusal özellikleri arasındaki ilişkiler hem pürüzlü hem de kesilmiş yüzeyler için SPSS 15 programı kullanılarak istatistiksel olarak analiz edilmiştir.

2 Materyal ve metod

2.1 Kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi

Bu çalışmada kullanılmak üzere farklı özelliklere sahip 11 kayaç numunesi seçilmiştir. Genel olarak numuneler belirlenirken basınç dayanımları ve dokusal özellikleri farklılık gösterebilecek numuneler seçilmeye çalışılmıştır. Kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek için kaya bloklarından alınan ve standartlara uygun olarak boyutlandırılan karot numuneler kullanılmıştır. Her bir kayaç numunesi için mümkün oldukça fazla numune üzerinde testler yapılmaya çalışılmış olup, her bir kayaç türü için en az 5 farklı karot numune kullanılmıştır. ISRM standartlarına [30] uygun olarak yapılan deneyler ile kayaçların UCS, BTS ve yoğunlukları belirlenmiştir. Kayaçların UCS değerlerinin 149.11 MPa ile 50.10 MPa değerleri arasında olduğu, BTS değerlerinin ise 12.54 – 5.21 MPa değerleri arasında değiştiği belirlenmiştir. Kayaçların yoğunluk değerleri ise 2.59 – 2.75 gr/cm³ arasında değişmektedir. Deneyler sonucunda elde edilen kayaçların ortalama UCS, BTS ve yoğunluk değerleri Tablo 1' de verilmiştir.

2.2 Kayaçların Cerchar aşındırıcılık indeks değerlerinin belirlenmesi

Cerchar aşındırıcılık indeks (CAI) deneyleri ISRM tarafından önerilen standart deney yöntemine göre yapılmıştır [5]. CAI deneyleri Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölüm Laboratuvarındaki klasik CAI test aleti ve Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölüm Laboratuvarında bulunan West deney aleti kullanılarak yapılmıştır. CAI testleri hem pürüzlü hem de testere ile kesilmiş (düz) yüzeylerde yapılmış olup deneylerde BTS ve UCS testleri için hazırlanan numuneler kullanılmıştır (Şekil 1).

CAI deneyleri, 90° konik uçlu ve HRC 54–56 Rockwell sertliğindeki deney uçları kullanılarak kayaç numuneleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deney aletine uygun şekilde yerleştirilen deney uçları, 70 N statik yük altında kayaç numunesinin deney yüzeyi ile temas halindeyken 1 mm/s hızla kayaç yüzeyinde 10 mm mesafe hareket ettirilmiştir. Deney sonunda, her bir deney piminin ucunda oluşan aşınma düzlemi, yan görünüm ölçüm yöntemi kullanılarak stereo mikroskop altında 0.01 mm hassasiyetle ölçülmüştür (Şekil 1). Ölçülen değer 10 ile çarpılarak CAI değeri elde edilmiştir. Hem klasik deney aleti hem de West deney aleti için her bir kayaç türü için pürüzlü ve kesilmiş (düz) yüzeylerde ayrı ayrı beş farklı deney ucu ile deney yapılarak beş adet CAI değeri elde edilmiştir. Elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınarak her bir numune için hem klasik hem de West deney aleti için pürüzlü ve kesilmiş (düz) yüzeylerde ayrı ayrı iki farklı ortalama CAI değeri elde edilmiştir. Elde edilen ortalama CAI değerleri Tablo 1' de verilmiştir.



Şekil 1. CAI testlerinde kullanılan klasik (üst solda) ve West (üst ortada) deney aletleri; CAI testi sonrasında test ucunda meydana gelen aşınmanın mikroskop altında belirlenmesi (üst sağda), pürüzlü yüzeyde yapılan CAI testi (alt solda); kesilmiş (düz) yüzeyde yapılmış CAI testi (alt sağda)

Tablo 1. Kayaçların belirlenen fiziksel – mekanik değerleri ile farklı deney aletleriyle belirlenen CAI değerleri

Numune No	Numune Adı	Yoğunluk (gr/cm ³)	UCS (MPa)	BTS (MPa)	CAI Klasik		CAI West	
					Pürüzlü	Kesilmiş	Pürüzlü	Kesilmiş
1	Granit -1	2.71	149.11	12.10	4.50	3.81	4.58	3.30
2	Granit - 2	2.61	142.31	12.54	4.66	3.53	4.34	3.63
3	Andezit	2.63	125.42	11.96	4.88	3.44	4.75	3.64
4	Bazalt	2.60	141.35	12.15	3.90	2.78	4.27	3.46
5	Mermer - 1	2.76	68.41	5.62	2.64	1.72	2.34	1.77
6	Mermer - 2	2.61	55.63	5.84	2.52	1.60	2.16	1.64
7	Mermer - 3	2.59	58.22	5.21	2.57	1.69	2.50	1.66
8	Mermer - 4	2.71	50.10	6.13	3.08	2.75	3.11	2.43
9	Kireçtaşı - 1	2.75	82.15	7.25	2.56	1.83	2.66	1.93
10	Kireçtaşı - 2	2.58	56.17	5.63	1.31	0.84	1.18	0.88
11	Kireçtaşı - 3	2.63	78.65	6.62	1.90	1.01	1.67	1.10

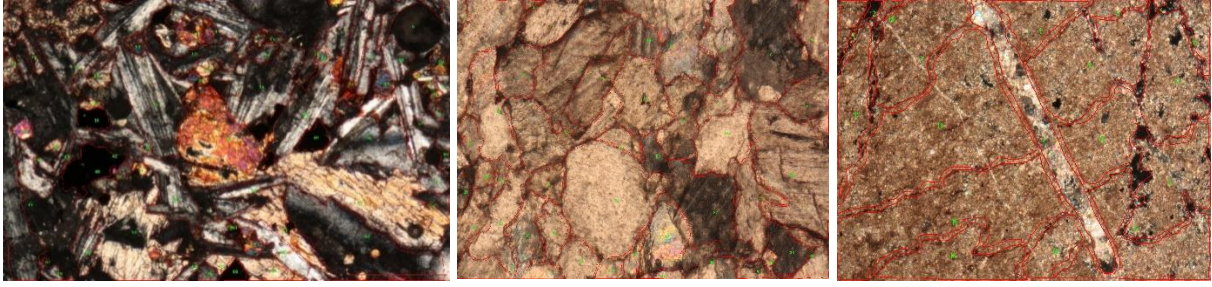
2.3 Kayaçların dokusal özelliklerinin belirlenmesi

Kayaçların dokusal özellikleri denilince, mineral içerikleri, minerallerin şekilsel özellikleri ve matriks yapıları akla gelmektedir. Tüm bu parametrelerin kayaların mühendislik özelliklerini etkilediği genel olarak bilinmektedir. Bu çalışmada kayaçların dokusal özelliklerini belirlemek amacıyla doku katsayısı yaklaşımı kullanılmıştır. TC değeri hesaplanırken kayaçların ince kesit görüntüleri üzerinde görüntü analizi programları yardımıyla minerallerin şekilsel özellikleri belirlenmektedir (Şekil 2).

Howarth ve Rowlands [24] tarafından geliştirilen doku katsayısı yaklaşımı, Eşitlik 1’ de verilen formül kullanılarak kayaç içerisindeki mineral ve matriks özelliklerinin

sayısallaştırılması temeline dayanmaktadır. Bu yaklaşımda temel olarak Şekil 2’ de örnek olarak verilen ince kesit görüntüleri üzerinde, görüntü analizi programı yardımıyla minerallerin alan, çevre uzunluğu ve maksimum ve minimum feret açıları gibi parametreler belirlenmektedir. Belirlenen bu parametreler daha sonra Eşitlik-1’ de yerine yazılarak kayaçların TC değeri hesaplanmaktadır.

$$TC = AW \left[\left(\frac{N_o}{N_o + N_1} x \frac{1}{FF_o} \right) + \left(\frac{N_1}{N_o + N_1} x AR_1 x AF_1 \right) \right] \quad (1)$$



Şekil 2. Mineral şekil özelliklerinin belirlendiği örnek ince kesit görüntüleri; andezit (solda), mermer (ortada), kireçtaşı (sağda)

Burada; TC, doku katsayısı; AW, mineral tanelerinin toplam alanının matriks alanına oranı; AR, mineral tanelerinin uzunluk değerleri; N_0 , $AR < 2$ olan mineraller tane sayısı, N_1 , $AR > 2$ olan mineral tane sayısı; FF_0 , $AR < 2$ olan minerallerin şekil faktörlerinin ortalaması; AR_1 , $AR > 2$ olan tanelerin AR değerinin aritmetik ortalaması; AF_1 , aç faktörüdür.

Kayaçların TC değeri hesaplanırken kayaç dokusundaki minerallerin tümünün seçilerek hesaplamaya dâhil edilmesine özen gösterilmiştir. Bu kapsamda her bir kayaç türü için Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünde hazırlanan ince kesitlerin dört farklı noktasından görüntü alınarak Image Pro-Plus görüntü analizi programında işlenmiştir. Her bir kayaç türü için dört farklı görüntüden elde edilen TC değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak nihai TC değeri elde edilmiştir. Elde edilen ortalama TC değerleri Tablo 2’de verilmiştir. Ayrıca, incelenen ince kesit görüntülerindeki mineral tane yoğunluğunun bir göstergesi olan ve görüntü analizi yöntemiyle belirlenen AW değeri de Tablo 2’de verilmiş olup bu değer de yine istatistiksel analizlerde kullanılmıştır. Kayaçların ortalama TC değerlerinin 3.05 ile 1.31 ve AW değerlerinin 0.79 ile 0.31 arasında değiştiği görülmektedir.

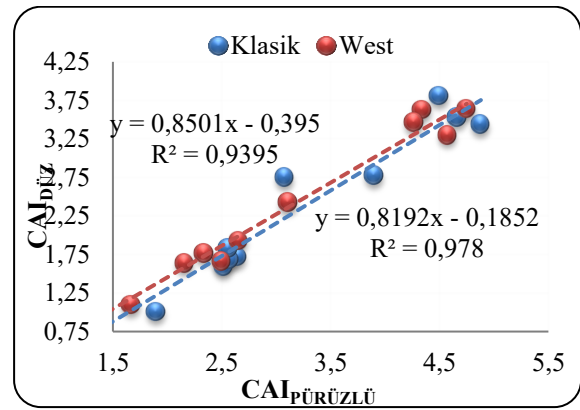
Tablo 2. Kayaçların hesaplanan TC ve AW değerleri

Numune No	AW	TC
1	0.64	3.01
2	0.79	3.05
3	0.78	2.76
4	0.78	2.56
5	0.68	2.82
6	0.73	2.73
7	0.75	2.66
8	0.51	2.22
9	0.69	2.74
10	0.31	1.31
11	0.35	1.84

3 Bulgular ve tartışma

CAI test yöntemi kesici uç aşınmasının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan bir deney yöntemidir. Standart bir test yöntemine sahip olsa da deney parametrelerinin değişiminin etkileri birçok farklı çalışmada araştırılmıştır [21, 29]. Kayaç yüzey özelliğinin CAI üzerindeki etkisi de yine önceki çalışmalarda incelenmiş ve genel olarak pürüzlü yüzeydeki kayaç aşındırıcılığının testere ile kesilmiş (düz)

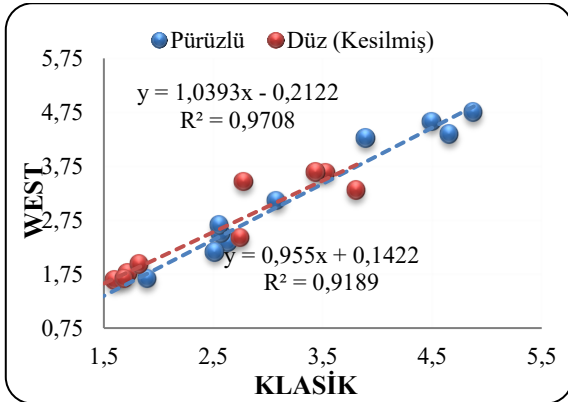
yüzeydeki aşındırıcılık değerlerinden fazla olduğu sonuçları elde edilmiştir [23, 29]. Bu çalışmada da pürüzlü ve kesilmiş (düz) yüzeyde elde edilen CAI değerleri arasındaki ilişki incelenmiştir. 11 farklı numune için klasik ve West deney aletleri kullanılarak pürüzlü ve kesilmiş (düz) yüzeylerde elde edilen CAI değerleri arasındaki ilişkiler istatistiksel olarak analiz edilmiştir (Şekil 3). Her iki deney aleti için elde edilen sonuçlara göre düz ve pürüzlü yüzeylerde elde edilen CAI değerleri arasında yüksek regresyon katsayısına sahip doğrusal ilişkiler elde edilmiştir. Düz ve pürüzlü yüzeylerde elde edilen CAI değerleri arasındaki ilişkiye ait regresyon katsayısı değeri klasik Cerchar deney aleti için 0.94 ve West deney aleti için 0.98 olarak elde edildiği görülmektedir. Önceki çalışmaların sonuçlarına benzer şekilde her iki deney aleti içinde, pürüzlü yüzeylerde elde edilen CAI değerlerinin düz yüzeylerde elde edilen değerlerden büyük olduğu görülmektedir [21]. Bu durum genel kayaç yüzeyi ile deney ucu arasındaki etkileşimin kayaç yüzeyi özeliğine bağlı olarak değişiklik gösterdiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 3. Pürüzlü ve kesilmiş (düz) yüzeylerde elde edilen CAI değerleri arasındaki ilişki

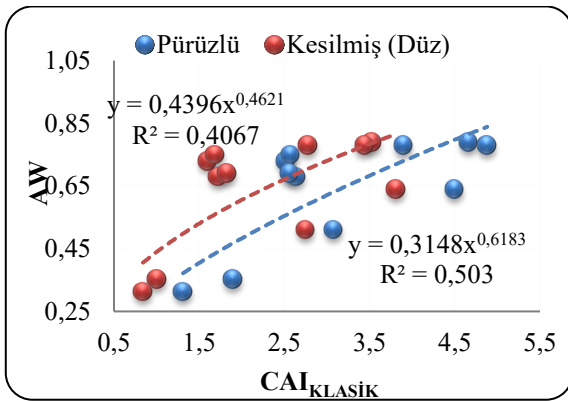
Daha önce yapılan farklı çalışmalarda klasik ve West deney aletlerinden elde edilen CAI değerlerinin değişimi araştırılmış ve bu iki deney setinden elde edilen veriler arasında önemli bir değişiklik olmadığı belirtilmiştir [23]. Bu çalışmada da yine her iki deney aletinden elde edilen CAI değerleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Önceki çalışmalara benzer şekilde CAI değerleri arasındaki ilişki hem pürüzlü hem de düz yüzeyler için araştırılmıştır. Şekil 4’te

görüldüğü gibi hem pürüzlü hem de düz yüzeyde klasik ve West deney aletlerinden elde edilen CAI değerleri arasında yüksek regresyon katsayısına sahip ilişkiler elde edilmiştir. Pürüzlü yüzeyler için elde edilen ilişkinin düz yüzeyler için elde edilen ilişkiye kıyasla daha yüksek regresyon katsayısına (0.97) sahip olduğu görülmektedir. Pürüzlü yüzeylerde elde edilen CAI değerlerinin kesilmiş (düz) yüzeylerde elde edilen CAI değerlerine kıyasla, klasik deney aleti için ortalama %29.58 ve West deney aleti için ortalama %25.20 daha fazla olduğu belirlenmiştir.



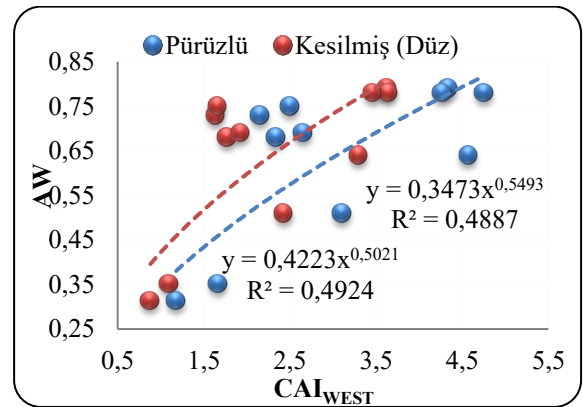
Şekil 4. Pürüzlü ve kesilmiş (düz) yüzeylerde klasik ve West deney aletleri ile elde edilen CAI değerleri arasındaki ilişki

Kayaçların dokusal özelliklerini belirleyen en önemli unsur kayaç yapısındaki minerallerin varlığıdır. Bu doğrultuda kayaçların CAI değerleri ile dokusal özellikleri arasındaki ilişkiler analiz edilirken özellikle AW değeri kullanılmıştır. Şekil 5’te klasik Cerchar deney aleti için AW ve CAI değerleri arasındaki ilişkileri gösterir eğriler verilmiştir. Burada hem pürüzlü hem de düz yüzeyler için CAI ile AW değerleri arasında üssel ilişkiler olduğu belirlenmiştir. Hem pürüzlü hem de düz yüzeyler için CAI ve AW arasındaki ilişkilere ait regresyon katsayısı değerlerinin birbirine yakın olduğu söylenebilir. Ancak, yine de pürüzlü yüzeyler için elde edilen ilişkilerin düz yüzeyler için elde edilen ilişkiye kıyasla istatistiksel olarak daha anlamlı olduğu görülmektedir.



Şekil 5. Klasik Cerchar deney aleti için CAI ile AW arasındaki ilişki

Şekil 6’da West deney aleti kullanılarak elde edilen CAI değerleri ile kayaçların AW değerleri arasındaki ilişkiyi gösterir eğriler görülmektedir. Pürüzlü ve düz yüzeyler için elde edilen eğrilere bakıldığında, Şekil 5’te klasik deney aleti için elde edilen ilişkilere benzer özellik gösterdiği görülmektedir. West deney aleti için de CAI ve AW değerleri arasında elde edilen ilişkilerin pürüzlü yüzeyler için istatistiksel olarak daha anlamlı olduğu belirlenmiştir. Ancak, West deney aleti için AW ve CAI arasında pürüzlü ve düz yüzeyler için elde edilen ilişkilerin regresyon katsayısı değerlerinin birbirine daha yakın olduğu görülmektedir.



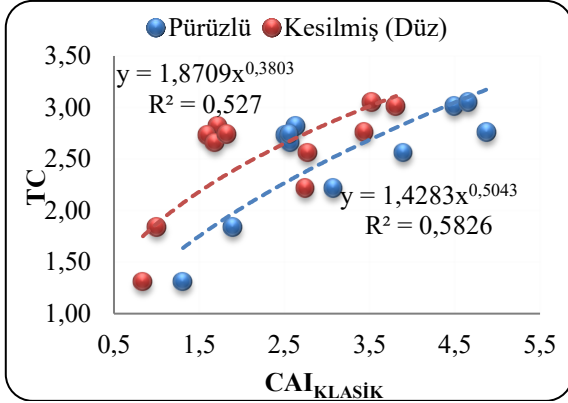
Şekil 6. West deney aleti için CAI ile AW arasındaki ilişki

Kayaçların dokusal özelliklerini belirlenmek için hesaplanan TC değeri ile düz ve pürüzlü yüzeylerde belirlenen CAI değerleri arasındaki ilişkiler her iki deney aleti için basit regresyon analizi yöntemi ile istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Klasik CAI deney aleti için CAI ile TC arasındaki istatistiksel ilişkiyi gösterir grafik Şekil 7’de verilmiştir. İlgili şekilde görüldüğü gibi CAI ile TC arasındaki ilişkinin pürüzlü yüzeyler için istatistiksel olarak daha anlamlı sonuç verdiği görülmektedir. Pürüzlü yüzeyler için regresyon katsayısı değeri 0.6497 iken kesilmiş (düz) yüzeyler için bu değer 0.575 olarak elde edilmiştir. Bu durum CAI ile AW arasındaki ilişkiye benzerlik göstermektedir. Ancak CAI ile AW arasındaki ilişkiye kıyasla CAI ile TC arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak daha anlamlı olduğu belirlenmiştir. Kayaçların dokusal özellikleri ile pürüzlü yüzeyler için elde edilen ilişkiler daha önce yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlara benzerlik göstermektedir [14].

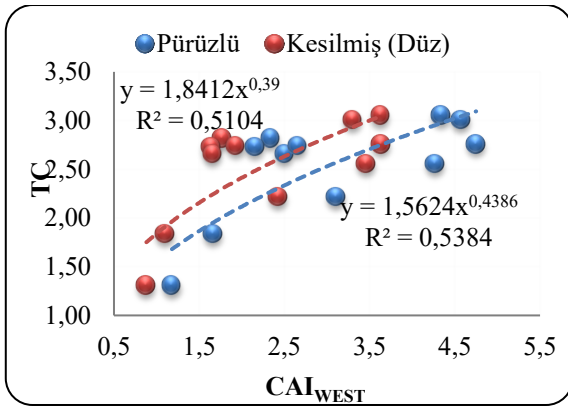
West deney aleti için CAI ile TC arasındaki ilişkiyi gösteren grafik ise Şekil 8’de verilmiştir. Şekil 8’de görüldüğü gibi klasik deney aleti için elde edilen ilişkilere benzer olarak CAI ile TC arasındaki ilişkinin pürüzlü yüzeyler için daha anlamlı sonuç verdiği görülmektedir. Ancak, West deney aleti için düz ve pürüzlü yüzeyler için CAI ve TC değerleri arasındaki ilişkileri gösteren eğrilerin regresyon katsayısı değerlerinin birbirine yakın olduğu da görülmektedir.

Genel olarak istatistiksel analizler sonucunda elde edilen eşitliklerin regresyon katsayısı değerlerinin çok yüksek olmadığı görülmektedir. Bu durumun çalışmada kullanılan kayaç türlerinin farklı kökenli olmalarından kaynaklandığı

söylenbilir. Kayaçların dokusal özelliklerinin kayaçların farklı mühendislik özellikleri üzerindeki etkisini araştıran önceki çalışmalarda kayaçların kökenlerine göre gruplanması sonucunda elde edilen eşitliklerin regresyon katsayısı değerlerinin arttığı görülmüştür [28]. Araştırılan bu konunun aynı kökenli kayaç türleri üzerinde yapılmasının daha anlamlı ilişkiler elde edilmesini sağlayabileceği değerlendirilmektedir.



Şekil 7. Klasik Cerchar deney aleti için CAI ile TC arasındaki ilişki



Şekil 8. West deney aleti için CAI ile TC arasındaki ilişki

4 Sonuçlar

Kayaçların aşındırıcılıkları ile dokusal özellikleri arasındaki ilişkiye kayaçların yüzey özelliğinin etkisi bu çalışmada araştırılmıştır. Kayaçların aşındırıcılıklarının belirlenmesi amacıyla klasik ve West deney aletleri kullanılarak pürüzlü ve düz (kesilmiş) kayaç yüzeylerinde CAI değerleri belirlenmiştir. Kayaçların dokusal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla da doku katsayısı yaklaşımı kullanılarak TC ve AW değerleri belirlenmiştir. Elde edilen bu değerler ile kayaçların CAI değerleri arasındaki ilişkiler her iki deney aleti için pürüzlü ve düz yüzeyler için istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir;

- Klasik ve West deney aletlerinde elde edilen CAI değerleri arasında yüksek regresyon katsayısına sahip doğrusal ilişkiler hem pürüzlü hem de düz yüzeyler için elde edilmiştir. Her iki yüzey özelliği için de klasik ve West deney aletlerinden elde edilen CAI değerleri arasında önemli bir farklılık olmadığı belirlenmiştir.

- Her iki deney seti için de pürüzlü ve düz yüzeylerde elde edilen CAI değerleri arasında anlamlı bir ilişki olduğu ve pürüzlü yüzeylerdeki CAI değerlerinin daha büyük olduğu belirlenmiştir. Düz yüzeylerde elde edilen CAI değerlerine kıyasla pürüzlü yüzeylerde elde edilen CAI değerlerinin klasik deney aleti için ortalama %29.58 ve West deney aleti için ortalama %25.20 daha fazla olduğu belirlenmiştir.
- CAI ile TC ve AW değerleri arasındaki istatistiksel ilişkilerin hem düz hem de pürüzlü yüzeyler için benzerlikler gösterdiği ve aralarında üssel ilişki olduğu belirlenmiştir. Elde edilen bu ilişkiler klasik ve West deney aletlerinin ikisi için de geçerlidir.
- CAI ile TC ve AW arasındaki ilişkilerin genel olarak klasik deney aleti için istatistiksel olarak daha anlamlı sonuçlar verdiği söylenebilir.
- Genel olarak pürüzlü yüzeyler için CAI ile AW ve TC arasında elde edilen ilişkilerin daha anlamlı sonuçlar verdiği görülmektedir. Pürüzlü yüzeyler için TC ile CAI değeri arasındaki istatistiksel ilişkilerin 0.6497 ve 0.6056 regresyon katsayısı değerleri elde edilmiştir. Bu durum da kayaçların dokusal özelliklerinin aşındırıcılıkları üzerindeki etkisinin pürüzlü yüzeylerde daha fazla olduğu sonucunu ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada kullanılan numuneler belirli bir kayaç grubundan seçilmemiştir. Benzer çalışmanın aynı kökenden daha fazla numune üzerinde yapılmasıyla daha kapsamlı ve istatistiksel olarak daha anlamlı sonuçlar elde edilebileceği düşünülmektedir. Sonraki yapılacak çalışmalarda bu konunun daha fazla numune üzerinde çalışma yapılarak daha detaylı çalışılması hedeflenmektedir.

Çıkar çatışması

Yazar çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Benzerlik oranı (iThenticate): %10

Kaynaklar

- [1] G. Kulekci, The relation of the method used in tunneling operations with the geological structure example of the Black Sea Coastal Road. Journal of Civil Engineering and Construction, 11(4),255-263d, 2022. <https://doi.org/10.32732/jcec.2022.11.4.255>.
- [2] LCPC Abrasivemeter Standard, Norm Fr 18-579, 1990.
- [3] B. Nilsen, F. Dahl, J. Holzhäuser, P. Raleigh, Abrasivity testing for rock and soils, Tunnels Tunn Int., 2006.
- [4] F. J. Macias, F. Dahl, A. Bruland, New rock abrasivity method for tool life assessments on hard rock tunnel boring; the Rolling indentation abrasion test (RIAT), Rock Mechanics and Rock Engineering, 49, 1679-1693, 2016. <https://doi.org/10.1007/s00603-015-0854-3>.
- [5] M. Alber, O. Yarali, F. Dahl, A. Bruland, H. Kasling, T. N. Michalakopoulos, M. Cardu, P. Hagan, H. Aydin, A. Ozarslan, ISRM suggested method for determining the abrasivity of rock by the cerchar abrasivity test, Rock Mechanics and Rock Engineering, 47, 261-266, 2014. https://doi.org/10.1007/978-3-319-07713-0_7.

- [6] CERCHAR—Centre d' Etudes et, in: S, Recherches de Charbonnages de France (Ed.), Verneuil, The CERCHAR abrasiveness index, 1986.
- [7] S. I. Al-Ameen, M. D. Waller, The influence of rock strength and abrasive mineral content on the Cerchar Abrasive Index. *Engineering Geology*, 36(3-4), 293-301, 1994. [https://doi.org/10.1016/0013-7952\(94\)90010-8](https://doi.org/10.1016/0013-7952(94)90010-8).
- [8] S. Kahraman, M. Alber, M. Fener, O. Günaydın, The usability of Cerchar abrasivity index for the prediction of UCS and E of misis fault breccia: Regression and artificial neural networks analysis. *Expert Systems with Applications*, 37(12), 8750-8756, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.06.039>.
- [9] A. H. Deliormanli, Cerchar abrasivity index (CAI) and its relation to strength and abrasion test methods for marble stones, *Construction and Building Materials*, 30, 16-21, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.11.023>
- [10] M. Capik, A. O. Yilmaz, Correlation between Cerchar abrasivity index, rock properties, and drill bit lifetime, *Arabian Journal of Geosciences*, 10(15), 2017. <https://doi.org/10.1007/s12517-016-2798-7>
- [11] S. Er, A. Tuğrul, Correlation of physico-mechanical properties of granitic rocks with Cerchar Abrasivity Index in Turkey. *Measurement*, 91, 114-123, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2016.05.034>
- [12] M. V. Ozdogan, A.H. Deliormanli, H. Yenice, The correlations between the Cerchar abrasivity index and the geomechanical properties of building stones, *Arabian Journal of Geosciences*, 11, 2018. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3958-8>.
- [13] T. Y. Ko, T. K. Kim, Y. Son, S. Jeon, Effect of geomechanical properties on Cerchar Abrasivity Index (CAI) and its application to TBM tunnelling. *Tunnelling and Underground Space Technology*, (57), 99-111 2015. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2016.02.006>
- [14] Ö. Ündül, S. Er, Investigating the effects of micro-texture and geo-mechanical properties on the abrasiveness of volcanic rocks. *Engineering Geology*, 229(7), 85-94, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2017.09.022>.
- [15] M. Moradizadeh, A. Cheshomi, M. Ghafouri, S. TrighAzali, Correlation of equivalent quartz content, Slake durability index and Is50with Cerchar abrasiveness index for different types of rock, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 86, 42-47 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2016.04.003>.
- [16] R. Comaklı, N. Bilim, S. Kahraman, A. E. Dursun, B. Kekec, Investigation of the relations between the cerchar abrasivity index and percentage of the abrasive minerals for volcanic rocks, in: *Proc, Twent, Proceedings of the Twentieth International Symposium on Mine Planning, Sel, MPES'11, Almaty*, 826-834, 2011.
- [17] S. R. Zhang, L. She, C. Wang, Y.J. Wang, R. L. Cao, Y. L. Li, K. L. Cao, Investigation on the relationship among the Cerchar abrasivity index, drilling parameters and physical and mechanical properties of the rock. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 112, 103907, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2021.103907>.
- [18] F. J. Torrijo, J. Garz'on-Roca, J. Company, G. Cobos, Estimation of Cerchar abrasivity index of andesitic rocks in Ecuador from chemical compounds and petrographical properties using regression analyses, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 78, 2331-2344, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10064-018-1306-6>.
- [19] R. Plinninger, H. K"asling, K. Thuro, G. Spaun, Testing conditions and geomechanical properties influencing the CERCHAR abrasiveness index (CAI) value, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 40(2), 259-263, 2003. [https://doi.org/10.1016/S1365-1609\(02\)00140-5](https://doi.org/10.1016/S1365-1609(02)00140-5)
- [20] H. Aydın, Investigating the effects of various testing parameters on Cerchar abrasivity index and its repeatability, *Wear*, 418-419, 61-94 2019. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2018.11.001>.
- [21] O. Yarah, H. Duru, Investigation into effect of scratch length and surface condition on Cerchar abrasivity index. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 60, 111-120 2016. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2016.08.005>.
- [22] G. Zhang, H. Konietzky, Z. Song, S. Huang, Study of some testing condition-based factors affecting the Cerchar abrasivity index (CAI). *Arabian Journal of Geosciences*, 13, 2020. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-06254-1>.
- [23] H. Aydın, O. Yarah, H. Duru, the effects of specimen surface conditions and type of test apparatus on Cerchar Abrasivity Index. *Karaelmas Fen ve Müh. Derg.* 6(2), 293-298, 2016.
- [24] D. F. Howarth, J. C. Rowlands, Development of an index to quantify rock texture for qualitative assessment of intact rock properties. *Geotechnical Testing Journal*, 9, 169-179, 1986. <https://doi.org/10.1520/GTJ10627J>.
- [25] C. A. Ozturk, E. Nasuf, S. Kahraman, Estimation of rock strength from quantitative assessment of rock texture. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 114, 471-480, 2014.
- [26] R. Comaklı, U. Atici, Investigation of the relationship between the mineral shape properties and destruction specific energy in granitic rocks (in Turkish). *Scientific Mining Journal*, 56, 173-180, 2017.
- [27] A. Esmailzadeh, S. Behnam, R. Mikaeil, Relationship between texture and uniaxial compressive strength of rocks, *Civil Engineering Journal*, 3, 480-486, 2017.
- [28] R. Comaklı, S. Cayirli, A correlative study on textural properties and crushability of rocks, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 78, 3541-3557, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10064-018-1357-8>.

- [29] J. Rostami, A. Ghasemi, E. Alavi Gharahbagh, C. Dogruoz, F. Dahl, Study of dominant factors affecting cerchar abrasivity index, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 47, 1905–1919 2014.
<https://doi.org/10.1007/s00603-013-0487-3>.
- [30] ISRM, 2007. Ulusay, R., Hudson, J.A., (Eds.), *The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 1974–2006*, Ankara, Turkey.

