

## Kayaçların Cerchar Sertlik İndeks Değerleri İle Dayanım Özellikleri Arasındaki İlişkilerin Belirlenmesi

O. Yaralı & N. A. Akçın,

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye

**ÖZET:** Bu çalışmada, Zonguldak Taşkömür Havzası kayaçlarının sertliklerini ve mekanik özelliklerini belirlemek için laboratuvarında bir dizi deneyler yapılmıştır. Kayaçların Cerchar sertlik İndekslerinin bulunabilmesi için modifiye edilmiş bir deney düzeneği kullanılmıştır. İki farklı uç açısına sahip matkap uçlarla kayaçların sertlikleri belirlenmiş ve Cerchar sertlik indeks değerlerine uç açısı etkisi araştırılmıştır. Cerchar sertlik indeks değerleriyle kayaç örneklerinin mekanik özellikleri arasındaki ilişkiler değerlendirilmiştir.

**ABSTRACT:** In this study, series of experiments were performed in laboratory to determine hardness and mechanical properties of some rock types found in Zonguldak Hard Coal Basin. A modified experimental apparatus was used to measure Cerchar hardness index of rocks. The hardness of rocks were determined by drill bits having two different tip angles and the effect of drill bit tip angle on Cerchar hardness index values was investigated. Finally, correlations between Cerchar hardness index and the mechanical properties of rocks were assessed.

### 1. GİRİŞ

Sertlik, sözlük anlamı olarak, "bir cisim kolay delinmiyorsa o cisim sert olarak" tanımlanmaktadır. Sertlik, malzemenin temel fiziksel bir özelliğinden ziyade malzemenin davranışını açıklayan bir kavram şeklinde ifade edilmektedir. Sertlik, elastisite modülünün, malzemenin yenilme gerilmesinin, çatlak tokluğunun, malzemenin plastik veya gevreklik durumunun ve yüzey enerjisinin bir fonksiyonudur (Atkinson 1993).

Kayaçların sertliği üç deney yöntemiyle bulunmaktadır. Bunlar; çizme sertlik (Mohs sertlik) deneyi, dinamik veya geri sekme (Schmidt çekici ve Shore sertlik) deneyi ve batırma (Vickers, Knoop, Brinnell sertlik) deneyidir (Atkinson 1993).

Batırma sertlik deneyi taboraluar deneyidir ve bu deney, sadece küçük hacimdeki kaya örnekleri üzerine belirli yükler uygulanarak batma derinliği ölçülerek bulunur (Atkinson 1993).

Standart bir batırma deneyi tek eksenli basınç dayanımını tahmini belirlemede önerilen bir sertlik ölçüm deneyidir. Bu deney yönteminde örnek hazırlamak daha kolaydır ve karmaşık olmayan

deney ekipmanları yeterli olmaktadır. Ayrıca, tek eksenli basınç dayanım deneyine göre çok daha kolay, daha hızlı ve çok ekonomik olarak yapılabilen deneylerdir (Szwedzicki 1998).

Günümüz şartlarında; galeri açma makinalarının performansının ve uç tüketiminin önceden kestirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla çeşitli araştırmacılar uzun yıllar boyunca çalışmalar yapmış ve yeni yöntemler geliştirmişlerdir. Bu yöntemlerden biri de Cerchar sertlik indeks (CSI) deneyidir. Cerchar sertlik deneyi batırma sertlik deneyi sınıfında yer almaktadır. Deneyin amacı, kayaçların sertlikleri ile galeri açma makinalarının kazı hızına bağlı olarak kayaçlarının kazı labi liri ikerinin tayin edilmesidir. Ayrıca, Cerchar sertlik indeks deneyi kömür çevre kayaçlarının jeoteknik özellikleri açısından sınıflandırılmasında da kullanılmaktadır (Bilgin 1989).

Uluslararası Kaya Mekanik Derneği (International Society of Rock Mechanics), 3 Eylül 1987 yılında Montreal'de yaptığı toplantıda kaya mekaniğinde kayaçların kesilebilirliği, delinebilirliği ve kazılabilirliği konularında Cerchar aşınma ve

Cerchar sertlik indeks deneylerinin standart kaya mekaniği deneyi olarak uygulanmasını önermiştir (Bilgin 1989).

Zonguldak Havzası kömür çevre kayaçları içinde açılan galerilerin sürülmesinde önemli kazı sorunları vardır. Havza'da yeraltında açılan galeriler, klasik delme-paüalma ve yarı mekanize sistem olan elektro-hidrolik delici-yükleyicilerle açılmaktadır. Havza'da galerilerin sürülmesinde galeri açma makinalarının kullanılabilirliği üzerine çalışmalar yürütülmektedir (Yaralı 2000).

Daha önce Havza'da kasılabilirlik ve delinebilirlik konularında bazı çalışmalar yapılmıştır. Ancak, galeri açma makinalarının kazı hızlarının ve keski tüketiminin önceden tahmin edilmesine ilişkin araştırmalar sınırlı kalmıştır.

Ceyman (1988), TTK Amasra Müessesesi'nden alınan kömür çevre kayaçları üzerinde Cerchar aşınma ve Cerchar sertlik indeks deneyleri yapmıştır. Cerchar sertlik indeks deneyinde; farklı baskı yükü (15-20-25 kg) ile farklı devirlerde (180-300-500-740-1100 dev/dak) kayaçların sertliklerine bakılmıştır. Bu çalışma Havza'da Cerchar sertlik indeks deney aleti kullanılarak yapılmış ilk çalışma olması açısından önem taşımaktadır ancak, Amasra Bölgesi ile sınırlı kalmıştır.

Türkiye'de Cerchar sertlik indeksi ile yapılmış araştırma sayısı da oldukça azdır. Bilgin vd. (1992) tarafından, TKİ Ege Linyitleri İşletmesi (ELİ) Darkale ve Eyzey yeraltı ocaklarında kömür damarlarının mekanik dayanımları ve kasılabilirlik özelliklerini etkileyen faktörler araştırılmıştır. Bu çalışmada modifiye edilmiş (değiştirilmiş) Cerchar sertlik indeks deney yöntemi kullanılmıştır. Bu deney yönteminde, tepe açısı 90° olan DİN 6039 normunda 8 mm'lik bir delici matkap uç. 500 dev/dak'da dönen sütünkü bir matkapla, 20 kg'lık baskı kuvveti altında kayaç örneklerini bastırılmış ve 1 cm'lik deliğin delinmesi için geçen süre Cerchar sertlik indeks değeri olarak alınmıştır. Eyzey +457 Ayak'tan 5'er m aralıklarla örnekler alınarak Cerchar sertlik indeks deneyi yapılmış ve 24 s ile 132 s. aralığında Cerchar sertlik değerleri okunmuştur. Darkale +285, 102 No'lu Bacadan örnekler alınmış ve Cerchar sertlik indeks deney sonuçlarının 30 s ile 49 s arasında değişliği belirlenmiştir. Darkale +285 Sabanlı Ayaktan 1 m'den 60 m'ye kadar 10'ar m aralıklarla örnekler alınmıştır. Yapılan Cerchar sertlik indeks deney sonuçlarının 32.5 s ile 62 s aralığında değişliği ölçülmüştür.

Çopur & Eskikaya (1992) tarafından TKİ Ege Linyitleri İşletmesi (ELİ) Eyzey bölgesi M2 manimin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Laboratuvar deneyleri göz önünde

bulundurulurak, M2 mamı üzerinde mekanize çalış ı lab ilmesi yönünde bir sınıflama yapılmıştır. Elde edilen bulgulardan yola çıkarak, M2 marnının kazı çalışmaları için uygun galeri açma makineleri seçilmiş ve bu makinelerin kazı performansları tahmin edilmiştir. Bu çalışmada Cerchar sertlik indeks deneyi yapılmış ve deney sonuçlarının 7.2 s ile 32.6 s aralığında değişliği bulunmuştur. Cerchar sertlik İndeks deneyi sonucunda, marn formasyonunun orta sertlik grubuna giren yapısı olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmada, Zonguldak Havzası kömür çevre kayaçlarının sertliklerinin belirlenmesi için modifiye edilmiş Cerchar sertlik indeks deney aleti kullanılmıştır. Zonguldak Havzası'nın değişik yerlerinden kayaç örnekleri alınmış ve ZEDEM Uygulamalı Kaya Mekaniği Laboratuvarı'nda kayaç örnekleri üzerinde dayanım deneyleri (tek eksenli basınç ve tek eksenli dolaylı çekme) ile indeks deneyleri (Cerchar sertlik , Shore sertlik, nokta yükü dayanım) yapılmıştır. Cerchar sertlik indeks deneyinde iki farklı tepe açısına (99° ve 125°) sahip matkap uçlar kullanılarak uç açısı etkisi de araştırılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar arasında ilişkiler kurulmaya çalışılmıştır

## 2 CERCHAR SERTLİK İNDEKS DENEYİ

Cerchar sertlik indeks deneyi ilk defa "Charbonnage de France"ın Cerchar Araştırma Enstitüsü'nde gerçekleştirilmiş ve Valantin tarafından 1974'te yayınlanmıştır.

Bu deney küçük bir delme deneyidir ve 8 mm çapında tungsten karbiden yapılmış her iki yüzeyi dikkatlice bilenmiş uç açısı 99° olan bir matkapla, mengeneye sıkıştırılmış kırık bir kaya örneğine aşağıya doğru düşey konumda delme işlemi şeklinde yapılır (Valantin 1974).

Matkaba dik konumda 20 kg'lık baskı kuvveti uygulanır. Matkap kendi eksenini etrafında yaklaşık 190 devir/dakika dönüş hızında döndürülür ve kayaç içinde delik delirtir. Cerchar sertlik indeksi değeri, 1 cm derinlikteki bir deliğin açılma süresinin saniye cinsinden belirlenmesidir (Valantin 1974).

AFTES (Fransa) araştırma laboratuvarında Cerchar sertlik indeksi uygulamasına göre, Cerchar sertlik değeri 40-50'den daha fazla olan çok sert kayaçlarda ilerleme az olduğu için, matkaba 400 N'luk baskı kuvveti uygulanmaktadır. Elde edilen veriler 2'ye bölünerek basitçe düzeltme yapılmaktadır. Çok yumuşak kayaçlarda ise ilerleme çok geniş aralıkta değişliği için, matkaba sadece 70 N'luk baskı kuvveti uygulanmakta ve elde edilen

veriler 3 ile çarpılmaktadır (Cerchar 1991 ; Sofretu & Schwenzfeier'den 2005).

Cerchar sertlik indeks deney sonuçları Çizelge 1'de gösterilen ve 10 İle 150 arasında değişen skalaya göre tanımlanır (Sofretu & Schwenzfeier 2005).

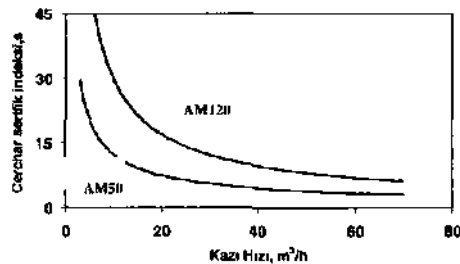
Çizelge 1. Cerchar sertlik indeks tanımlaması (Cerchar 1991; Sofretu & Schwenzfeier'den 2005).

Cerchar sertlik değeri	Tanımlama
0 -20	Yumuşak kayaç
21 - 40	Orta sertlikte kayaç
41-80	Sert kayaç
81-120	Çok sert kayaç
> 120	Oldukça sert kayaç

Bu deney, örnek yüzeyinde belirli bir noktaya uygulandığı için sadece örnek yüzeyini etkiler. Bu sebeple, bu deney birçok defa tekrarlanmalıdır. Sonuçlar verilirken, her bir kayaç tipi için ortalama ve standart sapması ifade edilmelidir (Sofretu & Schwenzfeier 2005).

Sofretu & Schwenzfeier (2005)'e göre, kayacın tek eksenli basınç dayanımıyla Cerchar sertlik indeks deneyi arasında korelasyon kurulmaya çalışılmaktadır. Ancak, elde edilen verilerin dağılımı çok geniştir. Bu sebeple, kayacın tek eksenli basınç dayanımının Cerchar sertlik indeks deneyine bağlı olarak bulunulmasından kaçınılması gerekmektedir. Çünkü, yapılan deney lokal olarak uygulandığı için dayanım her durumda gerçek değerinden çok fazla olabilecektir. Özellikle kayacın dokusunda süreksizliklerin olduğu durumda. Cerchar senlik değeri gerçek durumu yansıtmayabileceği yönünde görüş bildirmişlerdir.

Voest Alpine şirketinin 1987'de ürettikleri AM50 ve AM100 serisindeki kollu galeri açma makinelerinin (KGAM) kazı hızlarının, kayaçların Cerchar sertliğine bağlı olarak önceden kestirileceği savunmaktadırlar (Şek. 1).



Şekil 1. KGAM'da kazı hızının CSI ile değişimi (Voest Alpine 1987; Bilgin'den 1989).

Coder (1973) tam cepheli tünel açma makinelerinin davranışları üzerine yaptığı araştırmada bu sertlik değerinin kayaçların kazılabilirliklerinin tayininde çok önemli rol oynadığını göstermiştir (Bilgin'den 1989).

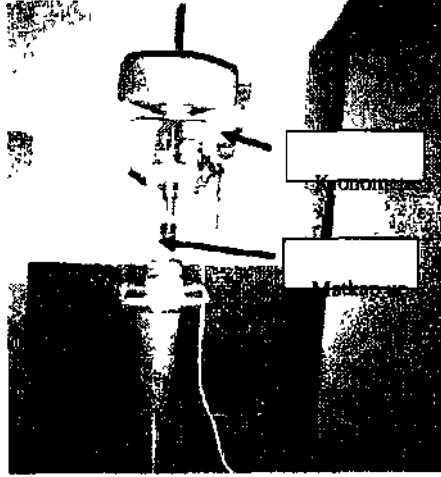
### 3.MODİFİYE EDİLMİŞ CERCHAR SERTLİK İNDEKS DENEY ALETİNİN TANITILMASI

Yaptırılan Cerchar sertlik İndeks deney aleti (Şek. 2-3)190 - 500 - 750 devir/dakika olmak üzere 3 farklı dönüş hızında delik delebilmektedir. İstenilen hızları sağlamak için sütunlu matkap tezgahının üzerine 2.5 kW'lık bir motor bağlanmıştır ve üç aşamalı ayarlanabilir kasnak yaptırılmıştır. Deney aletinin yanında Özel askı düzeneğine yük bağlamak koşuluyla deney örneği üzerine 20 kg'lık (200 N) normal yük verilebilmektedir. İstenildiği takdirde asılı yük miktarı azaltılıp veya çoğaltılarak deney örneği üzerine gelen normal yük değiştirilebilmektedir. Matkabın bağlı olduğu manşon üzerinde delme mesafesini sabitleyen bir düğme bulunmaktadır. Bu düğme ile delinecek mesafe (standartda 1 cm) isteğe göre ayarlanarak sabitlenmektedir.

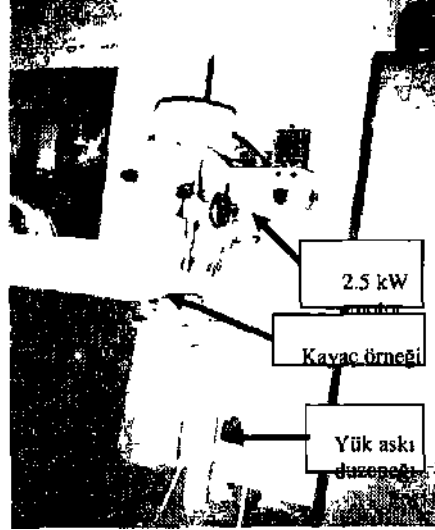
Deney aleti üzerinde yapılan çok amaçlı değişiklikler ile farklı delme mesafelerinde, farklı normal yük altında, farklı delme hızlarında Cerchar sertlik değerinin değişimini inceleme kolaylığı sağlanmıştır.

Delme işlemi için geçen süreyi belirlemek amacıyla deney setine bağlı bir dijital kronometre bulunmaktadır. Dijital kronometre, delik delme işlemi tamamlandıktan sonra delme işlemi otomatik kesen bir anahtara bağlıdır. Böylece,, belirlenen delme mesafesine göre delme süresi net olarak saptanabilmektedir.

Cerchar senlik indeks deneyinde kullanılan matkap uç DİN 8039 normunda olup, uç aşınmaya dayanıklı tungsten karpitten imal edilmiş ve uç açısı 99° 'dir. İstenilen standartlarda 99° lik uç bulunamamışın'. Bunun yerine aynı standartta (DİN 8039) uç açısı 125° olan uç kullanılmıştır. Uçların bir kısmı İstanbul'da özel bir ailyede uç açısı 99° olacak şekilde bilenmiştir.



Şekil 1. CSI deney aletinin önden görünüşü.



Şekil 2. CSI deney aletinin yan çaprazdan görünüşü

#### 4. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

Bu çalışmada, Türkiye Taşkömürleri Kurumu (TTK)'na bağlı değişik Müesseselerden (Üzülmez, Amasra, Karadon) ve Ozbeyler Madencilik Şirketi'nin Gelik İşleimesi'nden kömür çevre kayaçlarını karakterize edecek şekilde, kumtaşı ve silttaşı kayaç blok örnekleri alınmıştır. Ayrıca, ZKU Üniversite Hastanesinin bulunduğu iki farklı yerden ve Üniversite Ana Kampus yakınından kireçtaşı kayaç blok örnekleri ile Devrek'te Maden Tetkik ve Arama'nın (MTA) eski kampının bulunduğu yerden

dolomit örnekleri alınmıştır. Kayaç blok örneklerinin alındığı yerler Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Örnek alım verileri.

No	Yer	Örnek Adı
1	TTK Karadon Mües.	İnce taneli kumtaşı
2	TTK Karadon Mües.	Orta taneli kumtaşı
3	Ozbeyler Madencilik	İnce taneli kumtaşı
4	TTK Üzülmez Mües.	İnce taneli kumtaşı
5	TTK Üzülmez Mües.	İnce taneli kumtaşı
6	TTK Üzülmez Mües.	İri taneli kumtaşı
7	TTK Üzülmez Mües.	Silttaşı
8	TTK Amasra Mües.	Silttaşı
9	Ozbeyler Madencilik	Silttaşı
10	ZKU Hastanesi	Kireçtaşı
11	ZKU Hastanesi	Kireçtaşı
12	ZKU Ana Kampus yakını	Kireçtaşı
13	Devrek	Dolomit

Gerek örneklerin alınmasında gerekse laboratuarda deneylerin yapılmasında Uluslararası Kaya Mekanikliği Demeyi (International Society of Rock Mechanics) (İSRM 1980) standartlarına uyulmuştur.

Dayanım deneylerinde "NX" (= 54 mm) çapında karot örnekleri üzerinde çalışılmıştır. Dayanım ve indeks deneylerinde standartlara uygun olmayacak şekilde kırılan örnekler göz önüne alınmamıştır. Ayrıca, deneylerden elde edilen sonuçların değerlendirilmesinde, verilerin birbiriyle olan uyumlarına istatistiksel olarak da bakılmıştır. Bunun için Chauvenet ölçütü uygulanmıştır (Holman & Gajda 1984).

Cerchar sertlik indeks deneyi Valantin (1974) önerdiği şekilde yapılmıştır. Cerchar sertlik indeks deneyinde her bir kayaçtan en az 2 prizmatik örnek hazırlanmıştır. Cerchar sertlik indeks deneyi yapılmadan önce her prizmatik örneğin Shore sertlik değeri belirlenmiştir. Her iki deneyde kayacın sertliği ile ilgili bilgi vermektedir. Bu iki sertlik indeks deney yöntemi arasında ilişki kurularak Cerchar sertlik indeks deneyinin güvenilirliğini araştırma imkanı bulunmuştur.

Bu çalışmada, uç açısının etkisi de araştırılmıştır. Prizmatik örneklerin karşılıklı İki yüzeyine hem 125° hem de 99° lik matkaplarla birer delik delinmiştir. Böylece bir prizmatik kayaç örneği için her bir matkap uca ait 2 adet Cerchar sertlik indeks değeri elde edilmiştir. Her bir örnek yüzeyinin Cerchar sertlik indeks değeri belirlenirken yeni matkap kullanılmıştır. 23 adet prizmatik kayaç örneğinin Cerchar sertlik indeks değeri belirlenmiştir. Sadece, TTK Asma İşleimesi'nden alınan ince taneli kumtaşı örneği ne 125° ne de 99° lik

matkapla delinmemiştir. Bunun sebebi, örnek içinde aşındırıcı mineralin (kuvars oranı %80) fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Cerchar sertlik indeks deneyi için 46 adet 125° lik 46 adet 99° lik matkap uç harcanmıştır.

Shore sertlik indeks deneyi prizmatik kayaç örnekleri üzerinde en az 5 mm aralıkla 22 okuma yapılmıştır. Okumalardaki en düşük ve en yüksek değerler atılmış ve okumaların ortalaması alınmıştır (ISRM 1977).

Bu çalışmada her kaya örneği için çapsal ve eksenel nokta yükü dayanımı İndeks deneyleri ISRM (1985) standardına göre yapılmıştır. Her kaya için deney 7 ile 10 kez tekrarlanmıştır.

Bu çalışmada, silindirik şekle sahip kayaç malzemesi örneklerinin tek eksenli basınç dayanımının tayininde ISRM (1979) tarafından önerilen yöntemi izlenmiştir. ISRM tarafından önerilen standartta, yükseklik/çap (H/D) oranı 2.5-3.0 olması istenirken, kaya bloklarının kalınlıkları yeterli olmadığı için H/D oranı 2 olacak şekilde örnekler hazırlanmıştır. Her kaya tipi için deney 5 kez tekrarlanmıştır. Deney, hidrolik preste ve ortalama 0.5 MPa/s yükleme hızında yapılmıştır.

Disk şeklinde hazırlanmış kayaç örneklerinin çapsal yükleme altında çekme dayanımlarının dolaylı olarak tespiti için, ISRM (1978) tarafından önerilen deney yöntemi uygulanmıştır. Yapılan deneylerde H/D oranı 0.5 olacak şekilde örnekler hazırlanmış, örneklerin alt ve üst yüzeyleri kabaca düzeltilmiştir. Her bir kaya örneği için 10'ar adet deney yapılmıştır. Örneklerin yenilmesi 20-35 saniye arasında gerçekleşmiştir. Laboratuvarda yapılan deneysel çalışmaların sonuçları Çizelge 3'de gösterilmiştir

## 5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Elde edile sonuçların yorumlamaları aşağıda verilmiştir.

- Kayaçların tek eksenli basınç dayanım deney sonuçları ISRM (1980)'e göre tanımlandığında; kumtaşı ( $\sigma_c = 72-103$  MPa) ve kireçtaşı ( $\sigma_c = 87-120$  MPa) örneklerinin yüksek dayanım sınıfında, silttaşı ( $\sigma_c = 58-61$  MPa) ve dolomit ( $\sigma_c = 60$  MPa) örneklerinin ise orta dayanım sınıfında olduğu belirlenmiştir.
- İncelenen kayaçların tek eksenli basınç dayanım değerleri kireçtaşı haricinde 56 ile 100 MPa arasında değiştiği görülmektedir. Tamrock (1999)'a göre bu kayaçların kazısında orta tip

kollu galeri açma makinasının ( $\sigma_c = 80-100$  MPa) kullanılabilir olduğu söylenebilmektedir.

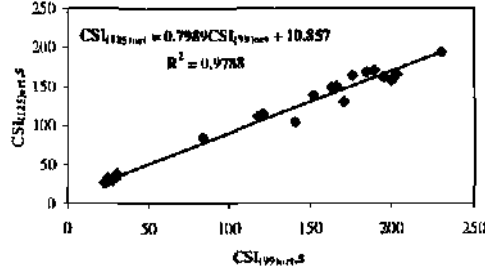
- Kayaçların tek eksenli dolaylı çekme (Brazilian) dayanım deney sonuçlarına bakıldığında; kumtaşı örneklerinin 6-9.5 MPa arasında, silttaşı örneklerinin 6-8.6 MPa aralığında, kireçtaşı örneklerinin yaklaşık 8.5 civarında ve dolomit örneğinin ise yaklaşık 6 MPa olduğu saptanmıştır.
- Kayaçların Cerchar sertlik indeks deneyinde iki farklı tepe açısına sahip matkap uç kullanılmıştır. 99° lik tepe açısına sahip matkap uçla yapılan Cerchar sertlik deneyinde; kumtaşı örneklerinin 84-189 s aralığında, silttaşı örneklerinin 22-31 s aralığında, kireçtaşı örneklerinin 152-183 s aralığında ve dolomit örneklerinin ise 195-203 s aralığında delik delinmiştir. 125° lik tepe açısına sahip matkap uçla yapılan Cerchar sertlik deneyinde; kumtaşı örneklerinin 82-170 s, silttaşı örneklerinin 26-38 s, kireçtaşı örneklerinin 138-169 s ve dolomit örneklerinin ise 158-165 s aralığında delik delinmiştir. İncelenen kayaçların Cerchar sertlik indeks deneyi sonucunda, kumtaşı örneklerinin (82-189 s) çok sert-olukça sert, silttaşı örneklerinin (22-38 s), kireçtaşı örneklerinin (13-183 s) ve dolomit örneklerinin (158-203 s) oldukça sert grubuna girdikleri belirlenmiştir.
- Kayaç örneklerinin nokta yükü dayanım indeks deneyleri hem çapsal hem de eksenel olarak yapılmış ve ISRM (1985)'e göre anizotropi indeks tanımlaması yapılmıştır. Buna göre; kumtaşı örneklerinin izotropik ve yarı anizotropik olduğu, silttaşı ve kireçtaşı örneklerinin anizotropik, dolomit örneklerinin ise yarı izotropik olduğu saptanmıştır.
- Shore sertlik İndeks deney sonuçları incelendiğinde, kumtaşı örneklerinin Shore sertlik değerinin 34-45, silttaşı örneklerinin Shore sertlik değerinin 23-29 arasında, kireçtaşı örneklerinin Shore sertlik değerinin 34-44 arasında, dolomit örneklerinin Shore sertlik değerinin 30-33 arasında değişliği bulunmuştur.

Laboratuvar çalışmaları sonucu elde edilen değerler arasında ilişki kurulmaya çalışılmıştır.

### 5.1 İki farklı tepe açılı matkap uçları arasındaki ilişki

Cerchar sertlik indeks deneyinde iki farklı tepe açısına (99° ve 125°) sahip matkap uçları kullanılarak uç açısı etkisi araştırılmıştır. Şekil 3'de

iki farklı tepe açısına sahip matkap uçlarla yapılan Cerchar sertlik deney sonuçlarının karşılaştırılması verilmiştir. Bu iki büyüklük arasında doğrusal bir ilişki elde edilmiştir ( $R^2 = 0.98$ ).

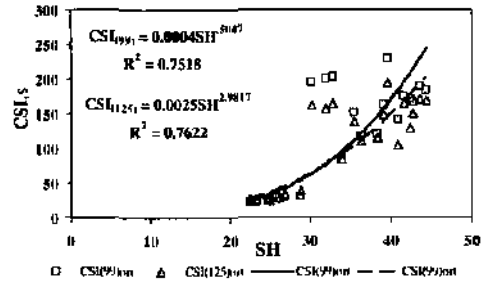


Şekil 3. CSI deneyinde kullanılan iki farklı tepe açısıyla yapılan deney sonuçları arasındaki ilişki.

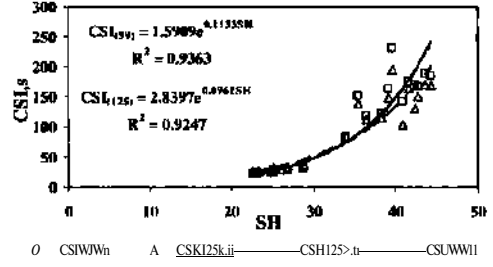
Cerchar sertlik indeksi deneyinde,  $99^\circ$  lik matkap uç yerine  $125^\circ$  lik matkap uç kullanıldığında sonuçlarda önemli farklılıkların olmayacağı belirlenmiştir.

### 5.2 Shore ile Cerchar sertlik indeksleri arasındaki ilişkisi

Kayaçların Shore sertlik indeksi (SH) değerleri ile hem  $99^\circ$  hem de  $125^\circ$  tepe açısına sahip matkap uçlar ile yapılan Cerchar sertlik indeksi (CSI) değerleri arasında dolomit örnekleri katıldığında Şekil 4'deki, dolomit örnekleri katılmadığında ise Şekil 5'deki gibi ilişkiler kurulmuştur. Buna göre, deney sayısı 13 kayaç örneğiyle sınırlı olmasına rağmen Cerchar sertlik indeksi değeri kayaçların sertliğinin belirlenmesinde kullanılabilecek bir deney yöntemi olarak görülmektedir.



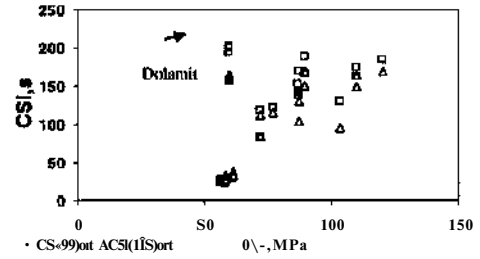
Şekil 4. SH ile CSI arasındaki ilişki (dolomit örnekleri dahil).



Şekil 5. SH ile CSI arasındaki ilişki (dolomit örnekleri hariç).

### 5.3 Tek eksenli basınç dayanımı ile Cerchar sertlik indeksi arasındaki ilişki

İki farklı tepe açısına sahip matkap uçlarla yapılan Cerchar sertlik ortalama indeksi değerleriyle tek eksenli basınç dayanımı ( $\sigma_c$ ) arasında Şekil 6'da görüldüğü gibi anlamlı bir ilişki elde edilememiştir. Büyüklükler arasındaki ilişkinin zayıf olmasının nedeni dolomit örneklerinden kaynaklanmaktadır.



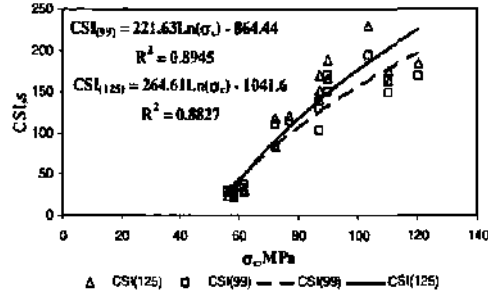
Şekil 6. CSI ile tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişki.

Çizelge 3. Deney sonuçları.

No	(MPa)		CSI,s			Is (Ort.), MPa				SH	
	(MPa)	(MPa)	-	Ort.	125'	Ort.	Is/,	Is <sub>sw</sub>	Is,		
1	103.40 ±12.01	6.74 ±1.10	224 236	230	182 207	194.5	7.30	7.56	5.74	5.44	39.60
2.1	89.79 ±9.16	9.24 ±1.22	168 164	166	123 177	150	6.30	6.52	4.53	4.30	42.70
22	89.79 ±9.16	9.24 ±1.22	186 192	189	146 194	170	6.30	6.52	4.53	4.30	43.60
3.1	72.14 ±6.16	6.21 ±0.63	83 85	84	79 89	84	3.73	3.82	3.77	3.64	33.95
3.2	72.14 ±6.16	6.21 ±0.63	112 187	118	110 155	111	3.73	3.82	3.77	3.64	36.40
4.1	87.36 ±20.76	8.71 ±1.40	128 154	141	85 123	104	4.14	4.27	5.75	5.86	40.90
4.2	87.36 ±20.76	8.71 ±1.40	154 187	170.5	105 155	130	4.14	4.27	5.75	5.86	42.35
5	77.05 ±3.02	6.28 ±0.91	118 124	121	111 119	115	5.42	5.34	5.17	4.92	38.36
6.1	85.54 ±7.19	7.93 ±0.72	-	-	-	-	6.01	6.21	3.77	3.79	43.00
6.2	85.54 ±7.19	7.93 ±0.72	-	-	-	-	6.01	6.21	3.77	3.79	43.00
7.1	61.51 ±22.76	8.63 ±1.76	33 28	30.5	40 35	37.5	1.67	1.73	5.14	5.08	28.80
7.2	61.51 ±22.76	8.63 ±1.76	30 28	29	36 31	33.5	1.67	1.73	5.14	5.08	26.80
8.1	58.31 ±3.12	7.03 ±1.36	23 22	22.5	29 23	26	1.95	2.02	4.04	3.65	22.55
8.2	58.31 ±3.12	7.03 ±1.36	24 26	25	26 30	28	1.95	2.02	4.04	3.65	24.70
8.3	58.31 ±3.12	7.03 ±1.36	23 25	24	34 31	32.5	1.95	2.02	4.04	3.65	25.10
9.1	56.37 ±3.20	6.05 ±1.05	24 31	27.5	25 33	29	1.95	2.06	5.15	4.74	26.15
9.2	56.37 ±3.20	6.05 ±1.05	23 24	23.5	27 26	26.5	1.95	2.06	5.15	4.74	23.25
10	120.41 ±3.59	8.71 ±1.40	157 212	184.5	145 202	168.5	4.82	4.99	7.56	6.88	44.30
11.1	110.20 ±4.19	8.48 ±0.96	148	175.5	132	164	3.67	3.82	6.23	6.54	41.65
11.2	110.20 ±4.19	8.48 ±0.96	133	163	123	148.5	3.67	3.82	6.23	6.54	39.15
12.1	87.24 ±6.19	8.38 ±1.01	124 180	152	115 (62)	138.5	4.60	4.76	5.81	5.69	35.45
12.2	87.24 ±6.19	8.38 ±1.01	-	●	-	-	4.60	4.76	5.81	5.69	33.80
13.1	59.82 ±5.28	5.87 ±0.61	180 220	200	151 165	158	2.3S	2.47	2.80	2.63	31.90
13.2	59.82 ±5.28	5.87 ±0.61	226 180	203	178 152	165	2.38	2.47	2.80	2.63	32.80
13.3	59.82 ±5.28	5.87 ±0.61	215 175	195	179 144	161.5	2.38	2.47	2.80	2.63	30.20

a.: Tek eksenli hasını- dayanımı,»: Dolaylı çekme dayanımı.CSI: Cerchar sertlik indeksi, Is:Nokia yükü dayanımı indeksi, SH: Shore senlik indeksi

Bu iki büyüklüğün karşılaştırılmasında, dolomit örneklerin dikkate alınmadığında Şekil 7'de görüldüğü gibi ilişkiler elde edilmiştir.

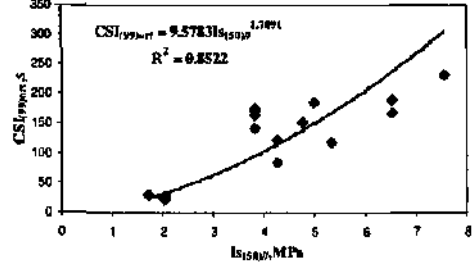


Şekil 7. Ortalama CSI değerleri ile tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişki (dolomit örnekleri hariç).

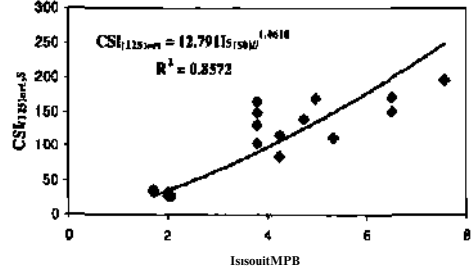
Literatürde, Cerchar sertlik indeks deneyinin lokal bir deney olmasından dolayı kayacın dayanımıyla ilişki kurulmasının doğru olmayacağı ifade edilmektedir. Ancak bu çalışmada, hazırlanan örneklerin önce Shore sertlikleri ölçülmüş böylece kayacın sertliklerini ifade eden iki büyüklük arasındaki ilişkiye bakılmıştır. Daha sonra örneklerin alt ve üst yüzeylerine 2 şer adet delik delinerek ortalama sertlik değeri belirlenmiştir. Böylece lokal uygulamanın getireceği olumsuzluklar elimine edilmeye çalışılmıştır.

#### 5.4 Nokta yükü dayanımı ile Cerchar sertlik indeksleri arasındaki ilişki

Çapsal ve eksenel nokta yükü dayanım indeks deneyleri ite tepe açısı 99° ve 125° olan matkap uçlar için Cerchar sertlik indeks değerleri arasında ilişkiler kurulmaya çalışılmıştır. Ancak eksenel nokta yükü dayanım değerleriyle Cerchar sertlik indeks değerleri arasında anlamlı ilişkiler bulunamamıştır. Düzeltilmiş çapsal nokta yükü dayanım indeks (fishily) değerleri ile Cerchar sertlik indeks değerleri arasında Şekil 8 ve 9'daki gibi üssel ilişkiler elde edilmiştir. Bu büyüklükler arasında kurulan ilişkilerde dolomit kayacı dikkate alınmamıştır.



Şekil 8. Düzeltilmiş çapsal nokta yükü dayanım indeksi ile CSİ (99°) ilişkisi.



Şekil 9. Düzeltilmiş çapsal nokta yükü dayanım İndeksi ile CSİ(125°) ilişkisi.

## 6 SONUÇLAR

Bu çalışma, Cerchar sertlik indeks deney aleti kullanılarak Zonguldak Havzası'ndaki kayaların sertliklerinin bulunması amacıyla yapılmış ikinci araştırmadır. Araştırmada, sınırlı sayıda kayaç üzerinde çalışılmıştır. Bu tarzdaki çalışmalara yoğunluk verilmesiyle Havza'da yapılacak mekanize kazılarda (yol, tünel, galeri, cevher kazısı vb.) kullanılacak makinaların performans tahminleri ile keski tüketimleri daha net olarak belirlenmiş olacaktır. Böylece, yapılacak mühendislik projelerinde maliyet riskleri de azalmış olacaktır.

## TEŞEKKÜR

Bu bildiri, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından desteklenen "Kömür Çevre Kayaçlarının Cerchar Sertlik İndeksi ve Dayanım Özelliklerinin Belirlenmesi" başlıklı Araştırma Projesi (Proje Kod No: 2001-45-03-05) kapsamında hazırlanmıştır. Yazarlar bu bildirinin hazırlanmasında her türlü imkanı sağlayan Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Rektörlüğü'ne teşekkürlerini sunarlar.



**KAYNAKLAR**

- Atkinson, R.H., 1993; Hardness tests for rock characterization, *Comprehensive Rock Engineering*, (edt. J.A. Hudson), Vol:3. Chapter 5. pp 105-117.
- Bilgin, N., 1989; *İnşaat ve Maden Mühendisleri İçin Uygulamalı Kazı Mekaniği*, Birsen Yayınevi, İstanbul, 192 s.
- Bilgin, N., Phillips, H.R: ve Yavuz, N. 1989; Kömür Damarlarının Kazılabilirlik yönünden Sınırlandırılması ve ELİ Darkalc Ocağında Saban lı Ayak Uygulaması Örneği, *Türkiye 8. Kömür Kongresi*, TMMOB Maden Müh. Odası Yayını, Zonguldak, s. 31-53.
- Ceiman, T., 1988; Investigation into the Application of Cer char Hardness and Abrasivity Tests in Different Rock Formations of Ankara Coalfield and Eyüp Tunnel, Yüksek Mühendislik Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü., Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul. 92 p.
- Çopur, H. ve Eskikaya, Ş., 1992; ELİ Eynes Bölgesi M2 Marmının Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Mekanize Kazı Bakımından İncelenmesi, *Türkiye 5. Kömür Kongresi*, TMMOB Maden Müh. Odası Yayını, Zonguldak, s. 15-31.
- Holman. J.P. and Gajda, W.Jr. 1984; *Experimental Methods for Engineers*, Fourth Edition. McGraw-Hill Book Company, London, pp.47-99.
- ISRM, 1977; Suggested method for determining hardness and abrasiveness of rock. *Int. J. Rock Mech. Min. Sei. & Geomech. Abstr.* , Vol. 15, pp. 89-97,
- ISRM, 1980; Basic geotechnical desaiption of rock masses, *Int. Rock Mech. Min. Sei. and Geomech. Abstr.*. Vol: 18, pp. 85-110.
- ISRM, 1978; Suggested method for determining tensile strength of rock materials. *Int. J. Rock Mech. Min. Sei. & Geomech. Abstr.* , Vol. 15, pp. 99-103.
- ISRM, 1979; Suggested method for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials. *Int. J. Rock Mech. Min. Sei. & Geomech. Abstr.* , Vol. 16, pp. 135-140.
- ISRM, 1985; Suggested Method for Determining Point Load Strength. *Int. J. Rock Mech. Min. Sei. & Geomech. Abstr.* , Vol. 22, No. 2, pp. 51-60.
- Sofretu, F.M. and Achwenzfeier, G., 2005; AFTES Working Group No 4 Mechanized Excavation, [www.al'tes.asso.l'r](http://www.al'tes.asso.l'r)
- Szwedzicki, T., 1998; Indentation Hardness Testing of Rock, Technical Note, *Int. J. Rock Mech. Min. Sei.*, Vol. 35, No. 6, pp. 825-829.
- Tamrock, 1999; *Rock Excavation Handbook for Civil Engineering*, 99-808-GB-6000. Sandvik Tamrock Corp.. 364 p.
- Valantin, A., 1974; Examen des different procédés classiques de la nocivité des roches vis-a-vis de l'abbataga mécanique. *Industrie Minerale. Mine*, November, pp. 133-140.
- Yaralı, O. 2000; TTK'da Galeri İlerlemelerinde Kullanılan Klasik ve Mekanize Sistemlerin Karşılaştın I ması, *Türkiye 12. Kömür Kongresi*, TMMOB Maden Müh. Odası Yayını, Kdz. Ereğli-Zonguldak.s. 137-147

