



Orijinal Araştırma / Original Research

DENİZLİ MOLAS HAVZASINDA BULUNAN SEDİMANTER KAYAÇLARIN CERCHAR VE SHORE SERTLİKLERİNİN TAYİNİ VE BULANIK MANTIK UYGULAMASI

DETERMINATION OF SHORE AND CERCHAR HARDNESS OF SEDIMENTARY ROCKS IN DENİZLİ MOLASSE BASIN AND FUZZY LOGIC APPLICATION

Cihan Doğruöz^{a,*},

^a Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya, TÜRKİYE

Geliş Tarihi / Received : 22 Kasım / November 2017

Kabul Tarihi / Accepted : 15 Ocak / January 2018

Anahtar Sözcükler:

Cerchar aşındırıcılık indeksi,
Shore sertliği,
Bulanık mantık

Keywords:

Cerchar abrasivity index,
Shore hardness,
Fuzzy logic.

ÖZ

Bu çalışmada, Denizli ilinin Molas havzasında yapılan iki adet sondaj kuyusundan elde edilen sedimanter kayaçlar üzerinde Shore sertliği, tek eksenli basma dayanımı ve Cerchar aşındırıcılık indeksi deneyleri yapılmıştır. Shore sertlik ve tek eksenli basma dayanımı deneyleri Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, kaya mekanik laboratuvarında, Cerchar aşındırıcılık indeksi deneyi ise Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Toplamda 12 adet farklı özellikte kumtaşı ve kilitaşı üzerinde yapılan deneyler neticesinde elde edilen sonuçlar ile değişkenler arasındaki korelasyon tayin edilmiş ve bulanık mantık ile incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre üç farklı değişken kullanılarak Cerchar aşındırıcılık indeksini belirlemede çoklu doğrusal regresyon yöntemi ile en uygun model oluşturulmuştur. İki uygulamanın da tahmin sonuçları karşılaştırılarak makalede yer verilmiştir.

ABSTRACT

In this study, Shore hardness, Uniaxial compressive strength and Cerchar abrasivity index tests were applied on sedimentary rocks from two different boreholes in Denizli, Molasse basin. Shore tests and Uniaxial compressive strength tests were applied in Middle East Technical University, Mining Engineering department, rock mechanics laboratory and Cerchar tests were done in Afyon Kocatepe University, Mining Engineering Department laboratories. Totally twelve different sandstone and claystone samples were utilized and the correlation of the variables and fuzzy inference system were also analysed between the parameters. Based on the results, with utilizing three different variables, a multiple linear regression model was created to predict Cerchar abrasivity index. Two different prediction results were compared and mentioned in the study.

* Sorumlu yazar: cihan.dogruoz@dpu.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0002-7487-4822>

GİRİŞ

Cerchar testi kayaçların kazılabilirlik ve kesilebilirliklerini belirlemek için dünya çapında kullanılan basit ama etkili bir yöntemdir. Test sonuçlarına göre değişkenlerin olumlu sonuçlar vermesi, bu testin uygun bir yöntem olduğunu göstermektedir. Diğer kayaç aşınma testlerine kıyasla, testlerin daha kullanışlı ve pratik olması, bu yöntemi daha yaygın hale getirmektedir. Son yıllarda Cerchar testinin kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır.

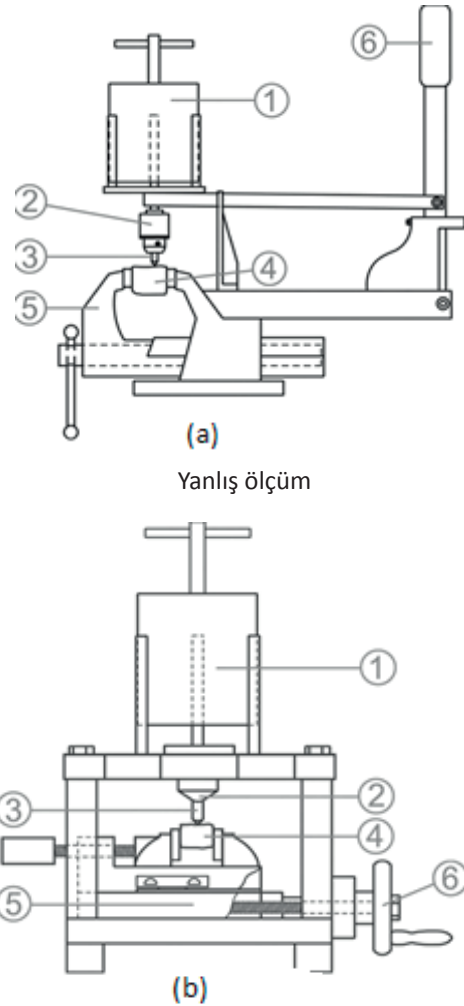
Thuro ve arkadaşları 2007 yılında Cerchar'ın (Cerchar, 1986) standart parametrelerini kullanarak bu yöntemin pratikliğini test etmişlerdir (Thuro vd., 2007). Aynı şekilde Kasling ve Thuro da, 2010 yılında çalışmalarına devam etmişlerdir. Norveç'te bulunan NTNU/SINTEF laboratuvarlarında AVS adında çelik kesici uçlar ile aşındırma testi geliştirilmiştir.

Dahl ve arkadaşları 2012 yılında bu laboratuvarlarda 1590 adet test yapmışlardır ve yöntemin uygunluğunu kanıtlamışlardır (Dahl vd., 2012). Cerchar'ın kelime anlamı "kömür ocakları araştırma merkezi" olan ve Fransa'da 1970'li yıllarda kurulan "Centre d'Etudes et Recherches des Charbonages" araştırma merkezinden gelmektedir. Bu merkezde madencilik sektörü için kömür analizleri yapılırken, tünelcilik sektörü için de bazı bilim adamları çalışmalarını yürütmüşlerdir (Alber 2008; Plinninger vd., 2004).

Cerchar tarafından geliştirilen standartlar ile beraber daha başka standartlar da mevcut olabilmektedir. Cerchar prensibi genel olarak, numuneyi sıkı bir şekilde tutan bir mengene ve 90°'lik açıyla sivrileştirilmiş, üzerine 70 Newton'luk yük uygulanarak numunenin üzerinde çizgi çekilerek yapılan kesme işlemine dayanmaktadır. Çizilen mesafe 10 mm olmaktadır. Cerchar tarafından geliştirilen düzenek Şekil 1a'da gösterilmektedir. West ise 1989 yılında aynı parametreleri kullanarak farklı bir düzenek geliştirmiştir (West, 1989). West'in geliştirdiği bu düzenek ise Şekil 1b'de gösterilmektedir.

Diğer bir kayaç sertlik belirleme deneyi olan Shore testi ise ISRM tarafından kullanılan, Shore skeleroskopu ile gerçekleştirilen ve kayaçların sertliğini tayin eden bir yöntemdir. Shore sertlik testi, kayaçların yüzeyinde serbest düşme

ile yapılan yapılan bir yöntemdir. Deneye tabi tutulan numunelerin çok küçük olması yada mineral içeriklerinin değişken olması deneyin sonuçlarını olumsuz etkileyebilmektedir. Atkinson ve arkadaşlarına göre Shore sertlik deneyi ile tek eksenli basma dayanımı arasında yüksek bir korelasyon olduğu gözlemlenmiştir (Atkinson, vd., 1986). Ancak numunelerde çok miktarda sert kristaller mevcutsa, korelasyon ilişkisi çok doğru sonuçlar vermemektedir. Shore sertlik testleri kesilebilirlik üzerine kesin sonuçlar verse de bazı kayaçlar için aynı sonuçları vermemektedir. Örneğin, kömür numuneleri yüksek Shore sertlik sonuçları vermesine rağmen, galeri açma makineleri tarafından kolayca kesilebilmektedir (Bölükbaşı, 1986).



Şekil 1. a: Cerchar deney düzeneği ve b: West deney düzeneği 1: ağırlık, 2: pin çenesi, 3: çelik pin, 4: numune, 5: mengene, 6: manivela

Literatürlere göre yapılan çalışmalarda Shore sertliğinin kayacın mukavemet özellikleri açısından sertlik dayanımlarında daha etkili olduğu gözlemlenirken, Cerchar sertlik indeksinin daha çok kesilebilirlik ve kazılabilirlik açısından önemli olduğu saptanmıştır.

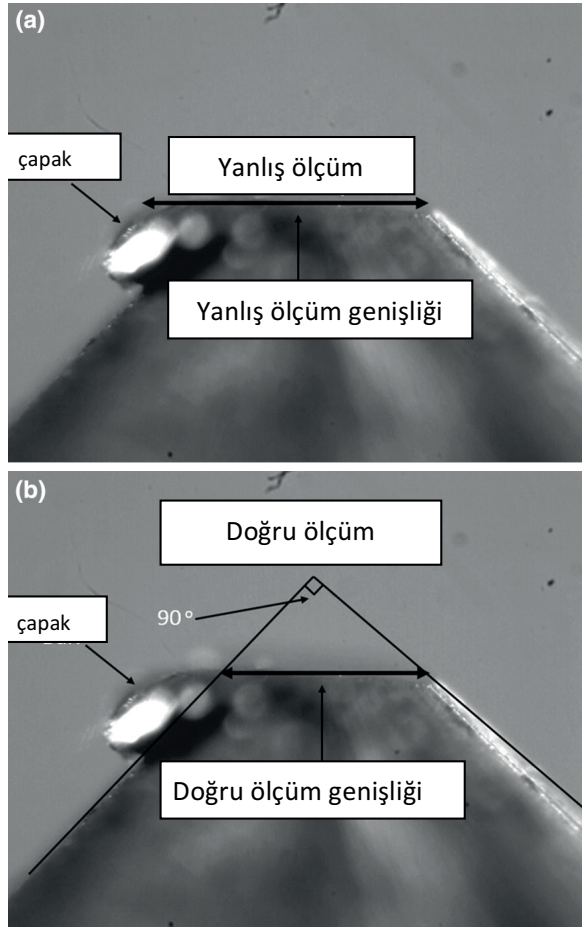
1. CERCHAR TESTİ

Cerchar testinde en önemli parametrelerden bir tanesi pin sertliğidir. Fransız standartlarına göre bu pinler çelik malzemeden olup Rockwell sertliği olan HRC 54/56'ye göre ısıya dayanıklı olarak imal edilmektedir (Michalakopoulos vd., 2006). Ancak, Dünyadaki çeşitli laboratuvarlarda kullanılan pinlerin çeliği aynı olmamaktadır (Plinninger vd., 2003). Dünya genelinde bazı laboratuvarlar HRC 40 tipi ve daha yumuşak tipte pinler kullanırken, bazı laboratuvarlar ise HRC 54/56 tipte pin kullanmaktadır (Suana ve Peters 1982; West 1989; Al-Ameen ve Waller 1994; Plinninger vd., 2003; Michalakopoulos vd., 2006; Alber 2008; Yarali vd., 2008). Stanford ve Hagan (2009) çelik tiplerin ve sertliğin Cerchar test sonuçlarındaki etkisini çalışmışlardır. Yapmış oldukları bu çalışma, aynı sertlikte ısıya dayanıklı yedi farklı metal ve dokuz farklı seviyede tek çeşit çelik içermektedir. Çalışmalarındaki çelik tipleri HRC 50 ve HRC 55 arasında değişen ve çeşitli derece ve alaşımlarda meydana gelen malzemelerdir. Çelik tipleri olarak gümüş çeliği, H13, M340, CALMAX, SVERKER, 3, Rigor ve S600 kullanmaktadır. Farklı çelik tipleri fakat aynı sertlikte pinler ile yaptıkları çalışmalar neticesinde aynı sertlikte çelik ve istenilen sertlik derecesi arasında çok önemli bir fark olmadığını görmüşlerdir. Stanford ve Hagan'ın çalıştığı yedi çelik tipinin gerçek sertliği HRC 50 ve 55 arasında değişen ve dayanım sıralaması da 1.606 ve 1.889 MPa arasında olan sonuçlar elde edilmiştir. Bu durum ise Cerchar testinde sadece çelik tipi esaslı pin seçiminin tek başına çok önemli etkilerinin olmadığını ortaya koymaktadır. Stanford ve Hagan, aynı çelik ve farklı sertlikler ile çalışmışlardır ve elde ettikleri sonuçlara göre Cerchar değeri doğrusal olarak düştükçe pin sertliğinin arttığı görülmektedir. Michalakopoulos ve arkadaşları da, 2006 yılında CAI40 ve CAI55

arasında doğrusal bir ilişki olduğunu ortaya koymuşlardır (Michalakopoulos vd., 2006).

Cerchar standartlarına göre çizgi mesafesi 10 mm olmalıdır. Bazı araştırmacılar, çizim boyunca çelik pinin tepe noktasındaki aşınma miktarının, numunenin sertlik ve dayanımının bir fonksiyonu olduğunu gözlemlemişlerdir (Hamzaban vd., 2013). Cerchar deneyinde tavsiye edilen test sayısı, ince taneli ve homojen kayaçlar için 2-3 adet çizim, normal ve iri taneli numuneler için ise 5 ve daha fazla çizim yapılmalıdır (Plinninger vd., 2003). West'e göre (1989) en az 5 adet çizim yapılması daha uygundur ve genelde birçok araştırmacı en az 5 adet deney yapmaktadır (Plinninger vd., 2003; Yarali vd., 2008). Deney esnasında numunenin maruz kaldığı yükün altında CAI değerlerinin arttığı görülmektedir (Alber, 2008). Numunenin çizim yüzeyi ile ilgili belli bir standart bulunmamaktadır. Bazı araştırmacılar düz yüzey üzerinde deneyi gerçekleştirirken, bazıları ise pürüzlü yüzeylerde deneyleri gerçekleştirmişlerdir (Suana ve Peters 1982; West 1989; Alber 2008; Yarali vd., 2008; Stanford ve Hagan 2009). Ayrıca Al-Ameen ve Waller'a (1994) göre yüzeyin bittiği yerin sonuçlara çok büyük bir etkisi olmadığı görülmektedir. Plinninger'da 2003 yılında düşük CAI değerleriyle aynı görüşleri teyit etmektedir (Plinninger, 2003). Ancak, çalışmalarında CAI değerlerinin, sert kayaçlarda düz yüzeylere kıyasla pürüzlü yüzeylerde 0.5 birim (yada 0.05 mm) daha yüksek olduğunu bulmuşlardır. Rostami ve arkadaşları da 2005 yılında yapmış oldukları çalışmalarda aynı sonuçları elde etmişlerdir (Rostami vd., 2005). Kasling ve Thuro'ya göre anizotropik kayaçlarda ve kusursuz okumalarda sonuçlar, aşınma ucu ve çelik pinlerle uyum içerisinde bulunmaktadır (Kasling ve Thuro, 2010).

Cerchar deneyleri esnasında dikkat edilmesi gereken en önemli parametre çizim işleminden sonra mikroskop ortamında aşınan çelik pinlerin çok dikkatli bir şekilde okunmasıdır. Şekil 2'de Rostami ve arkadaşlarının 2014 yılında yaptıkları çalışmaya göre doğru ve yanlış okuma yöntemleri gösterilmektedir. Çelik pinler çok hassas bir çizim ve aşındırma yaptıklarından, okuma işleminin çok dikkatli ve itinalı yapılması gerekmektedir.



Şekil 2. Cerchar çelik pinlerin (a) yanlış ve (b) doğru ölçüm şekilleri (Rostami vd., 2014)

2. SHORE TESTİ

Shore sertliği ISRM tarafından kullanılan ve tavsiye edilen, kayaların sertliklerinin belirlenmesinde, Shore skeleroskop adı verilen ölçüm cihazıyla yapılan bir deney şeklidir (ISRM, 2007). Şekil 3'te Orta Doğu Teknik Üniversitesinde kullanılan C-2 tipi Shore deney ölçüm cihazı bulunmaktadır.

Shore skeleroskop, tungsten karbit malzemesinden oluşan ve belli bir sivrilikteki uca sahip olan bir metalin, dikey bir tüpün içerisinde serbest düşürülmesi ile oluşan sıçrama yüksekliği ölçümünün yapıldığı deney türüdür. Uygulama, yaklaşık 30 cm yükseklikten elmas ya da tungsten karbit ucun karot üzerine düşürülmesiyle gerçekleştirilir. Daha sonar uç sıçrama yaparak tüpün üzerindeki ölçeklendirme sayesinde belli bir yüksekliğe sıçrama gerçekleştirir. Deneyin yapılacağı numune yüzeyi düz olmalıdır ve 10

cm² yüzey hacmi yeterli olmaktadır. Deney 20 kez tekrar edilir ve ortalaması alınarak sonuçlar elde edilir (ISRM, 2007). Bazı uygulamalarda kayacın yapısına göre en düşük 10 değer atılarak geriye kalan en yüksek 10 değerin ortalaması hesaplanmaktadır.



Şekil 3. C-2 tipi Shore skeleroskopu

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, Denizli ilinin Molas havzasında yapılan iki adet sondaj kuyusundan elde edilen 54.7 mm çapında ve NX standartlarındaki sedimanter kayalar üzerinde Shore sertlik deneyi, Tek eksenli basma dayanımı ve Cerchar aşındırıcılık indeksi deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 1'de yer almaktadır. Kuyu-1'den 5 adet ve Kuyu-2'den 7 adet olmak üzere toplam 12 adet numune üzerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Shore sertlik deneyleri ve tek eksenli basma dayanımı Orta Doğu Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği kaya mekanik laboratuvarında, Cerchar aşındırıcılık indeksi deneyleri ise Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği bölümü laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar arasındaki korelasyon incelenmiş olup, sonuçlar arasında çoklu doğrusal regresyon analizi yapılarak aşığıdaki bağıntı bulunmuştur.

$$CAI = -0.005 - 0.001 * UCS + 0.003 * SH \quad (1)$$

Çizelge 1. Kayaçların Shore sertliği, tek eksenli basma dayanımı ve Cerchar aşındırıcılık indeksi sonuçları

Kuyu No	Kayaç Kodu	Kayaç Adı	Sh. No	CAI No	UCS(MPa)
K-1	B1	Grimsi renk kumtaşı	30	0.09	12.39
	B2	Kumlu grimsi kilitaşı	25	0.09	24.63
	B3	Yeşilimsi kilitaşı	13	0.02	42.73
	B4	Açık gri kilitaşı1	14	0.02	16.76
	B5	Koyu grifosilli kilitaşı	23	0.03	21.78
K-2	B6	Yeşilimsi kumtaşı	17	0.03	20.53
	B7	Beyazımsı kilitaşı	17	0.05	20.81
	B8	Yeşilimsi kumtaşı	22	0.04	18.80
	B9	Grimsi ince kumtaşı	20	0.07	21.76
	B10	Grimsi kilitaşı	23	0.04	18.77
	B11	Açık gri kumtaşı	15	0.02	33.85
	B12	Açık gri kilitaşı2	24	0.03	45.27

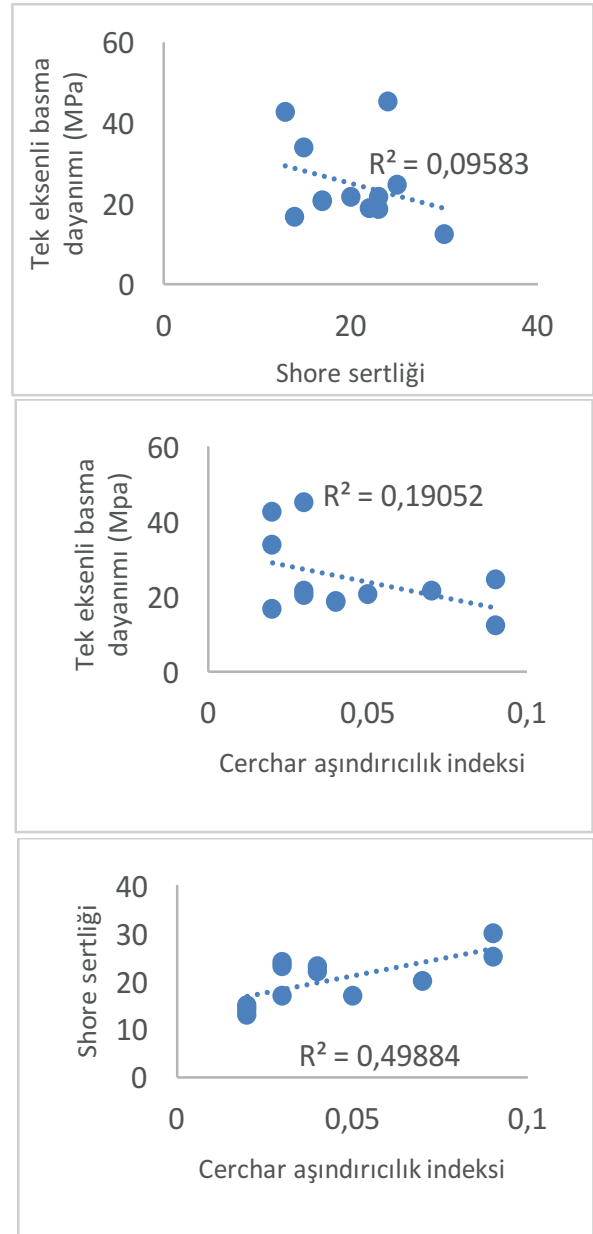
Burada CAI; Cerchar aşındırıcılık indeksini, UCS; Tek eksenli basma dayanımını (MPa) ve SH; Shore sertliğini ifade etmektedir.

Parametreler arasındaki R^2 belirlilik katsayısı değerleri Şekil 4'te gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre en yakın doğrusallık ilişkisini Cerchar ve Shore parametrelerinin verdiği görülmektedir. Çizelge 1'de 12 farklı kumtaşı ve kilitaşı numuneleri görülmektedir. Bu çalışmada, numunelerin petrografik açıdan hangi renkte oldukları saptanarak Çizelge 1'de verilmiştir. Mineralojik anlamda kayaçların farklı renkte olması, o kayaçların birbirinden değişik özelliklerde olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla kumtaşı ve kilitaşı numuneleri toplamda 12 adet farklı numune şeklinde analizi yapılmıştır.

Shore sertliği ve Cerchar aşındırıcılık indeksi arasında diğer parametrelere göre daha doğrusal bir ilişki olduğu Şekil 4'te görülmektedir.

4. BULANIK MANTIK

Bulanık mantık yöntemi son yıllarda madencilik sektöründe de kullanılmaya başlanmıştır. Bazı araştırmacılar, yakın zamanda bulanık mantık yöntemi ile kaya mekanik ve mühendislik jeolojisi konularında araştırmalar yapmışlardır (Alvarez Grima ve Babuska, 1999; Finol vd.,

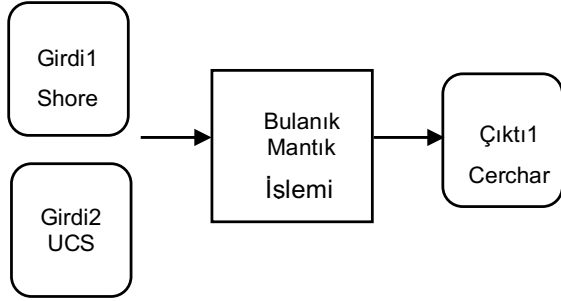


Şekil 4. Cerchar, Shore ve Tek eksenli basma dayanımı değerleri arasındaki korelasyon

2001; Gokceoglu, 2002). En yaygın bulanık mantık uygulaması Mamdani, Tagaki-Sugeno-Kang algoritmaları olmaktadır. Bu çalışmada Mamdani algoritması tercih edilmiştir. Sebebi ise mühendislik jeolojisi konularında daha kesin sonuçlar vermesidir.

Yapılan bu çalışmada, Shore sertliği, tek eksenli basma dayanımı ve Cerchar aşındırıcılık indeksi deneyleri bulanık mantık içerisinde Girdi ve Çıktı parametreleri olarak değerlendirilmiştir. Öncelikle

girdi ve çıktı değerlerinin analizi için algoritma oluşturulmuştur. Bulanık sistemlerde kullanılan üyelik fonksiyonlarının en önemli avantajı, bulanık kümeler arasındaki tedrici geçişlerin sağlanması ve bir elemanın herhangi bir bulanık kümeyle ait olma derecesini gösteren üyelik derecelerinin atanmasıdır.



Şekil 5. Girdi ve çıktı parametrelerinin algoritması

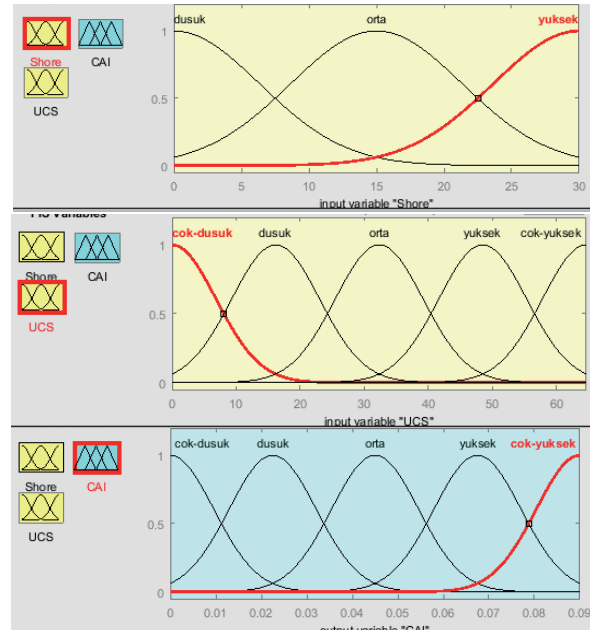
Şekil 5'te Shore sertliği, tek eksenli basma dayanımı ve Cerchar parametreleri için oluşturulan algoritma yer almaktadır. Oluşturulan algoritmaya göre, programda Girdi1 (input1), Girdi2 (input2) ve Çıktı1 (output1) şeklinde 3 adet değişken mevcuttur. Bu değişkenler, ASTM standartlarına göre sertlik dayanımlarından elde edilen Shore indeksi 20'nin altında düşük, 20-60 arasında orta ve 60'dan büyük ise yüksek olacak şekilde sınıflandırılarak bulanık mantık içerisinde analiz edilmiştir. Tek eksenli basma dayanımı için 6'nın altında çok düşük, 6-20 arasında düşük, 20-60 arasında orta, 60-200 arasında yüksek ve 200'ün üstünde çok yüksek olacak şekilde değerlendirilmiştir. Cerchar parametresi için ise HRC 55 normlarına göre 0.30-0.50 çok düşük, 0.50-1.00 düşük, 1.00-2.00 orta, 2.00-4.00 yüksek ve 4.00-6.00 çok yüksek aşınma değer aralıkları şeklinde bulanık mantık içerisinde sisteme girilmiştir. Bulanık mantık içerisinde girilen değer aralıkları ile oluşturulan model aşağıdaki şekilde gösterilmektedir;

Shore (Girdi 1)
 Düşük (D) = [0 0 20]
 Orta (O) = [20 20 60]
 Yüksek (Y) = [60 60 100]

Tek Eksenli Basma (Girdi2)
 Çok Düşük (CD) = [0 0 6]
 Düşük (D) = [6 6 20]
 Orta (O) = [20 20 60]
 Yüksek (Y) = [60 60 200]
 Çok Yüksek (CY) = [200 200 300]

Cerchar (Çıktı1)
 Çok Düşük (CD) = [0 0 0.5]
 Düşük (D) = [0.5 0.5 1]
 Orta (O) = [1 1 2]
 Yüksek (Y) = [2 2 4]
 Çok Yüksek (CY) = [4 4 6]

Shore sertliği, tek eksenli basma dayanımı ve Cerchar indeksleri için belirlenen değer aralıkları bulanık mantık içerisinde işlenmiştir. Değerler girildikten sonra Girdi1, Girdi2 ve Çıktı1 parametreleri grafiksel olarak değer aralıklarıyla beraber Şekil 6'da gösterilmektedir.

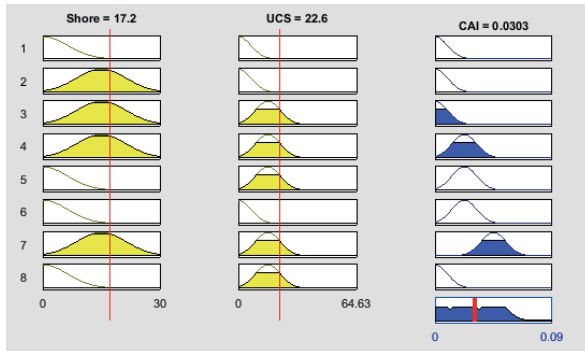


Şekil 6. Shore, Tek eksenli basma dayanımı (Girdi1 ve Girdi2) ve Cerchar (Çıktı1) parametrelerinin bulanık mantık kümeleri

Şekil 6'da görüldüğü üzere Shore için düşük, orta ve yüksek değer aralıkları tanımlanmıştır. Tek eksenli basma dayanımı için ise çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek şeklinde aralıklar tanımlanmıştır. Cerchar için ise çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek şeklinde

değer aralıkları tanımlanmıştır. Bulanık mantık uygulamalarında oluşturulan veri setlerinde birden fazla parametre ile analiz yapmak daha etkin sonuçları beraberinde getirmektedir. Eğer birden fazla Girdi ve Çıktı parametreleri kullanılacak ise, değer aralıklarını oluşturmak için çok hassas ve düzgün bir şekilde veritabanını oluşturmak gerekmektedir.

Bulanık mantık içerisinde Girdi1 (Shore) için üyelik fonksiyonları 3 adet, Girdi2 (Tek eksenli) üyelik fonksiyonları için 5 adet ve Çıktı1 (Cerchar) için ise üyelik fonksiyonları 5 adet olarak girilmiştir. Dolayısıyla [3 5 5] şeklinde kombinasyon meydana getirilmektedir. Ancak bu çalışmada kullanılan sedimanter kökenli kilitaşı ve kumtaşı numuneleri genel itibariyle düşük sertliklere sahip olduğundan toplam 8 adet eğer-o zaman kuralına dayalı olarak bulanık kural uygulanmıştır. Bu kombinasyonlar ortam şartlarını belirlemektedir. Bu çalışmada kullanılan bulanık kurallar şu şekildedir; Shore (Girdi1), Tek eksenli (Girdi2) ve Cerchar (Çıktı1) sırasını takip etmek suretiyle; düşük-çokdüşük-çokdüşük, orta-çokdüşük-çokdüşük, orta-düşük-çok düşük, orta-düşük-düşük, düşük-düşük-düşük, düşük-çokdüşük-düşük, orta-orta-orta, orta-düşük-orta ve düşük-düşük-çokdüşük şeklinde toplam 8 adet bulanık kural kullanılmıştır. Ayrıca bu çalışmada, bulanık mantık içinde en büyük dereceli elemanlardan küçük olanı durulaştırma yöntemi tercih edilmiştir.

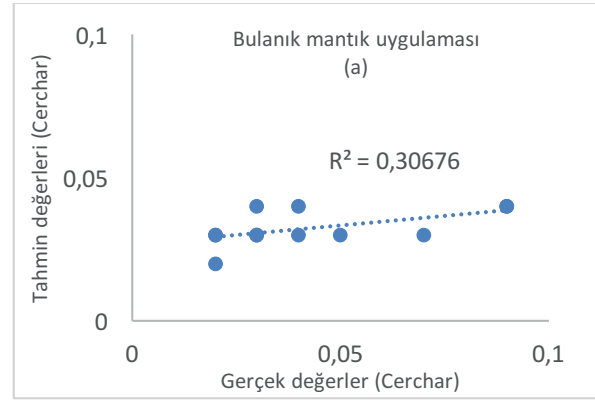


Şekil 7. Bulanık mantık Shore (Girdi1), Tek eksenli (Girdi2) ve Cerchar (Çıktı1) koşulları ve tahmin yöntemi

Şekil 7'de görüldüğü üzere üyelik fonksiyonları arasında gerekli kombinasyonlar yapılarak uygun kurallar seçilmiş ve Shore ve Tek eksenli

parametrelerini girerek Cerchar parametresini tahmin eden model oluşturulmuştur. Girdi ve Çıktı değişkenleri çoğaldıkça veri tabanı daha çok üyelik fonksiyonu ile daha kompleks bir yapıda olmaktadır. Dolayısıyla kombinasyonlar artarak, daha doğru ve kesin tahminler elde edilmektedir.

Elde edilen bulanık mantık tahmin sonuçları ile çoklu doğrusal regresyon tahmin sonuçları, gerçek Cerchar verileri ile karşılaştırılarak Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. a: Bulanık mantık ve b: çoklu doğrusal regresyon uygulamaları için gerçek ve tahmini değerler karşılaştırması

Çoklu doğrusal regresyon modelinden elde edilen tahmin sonuçlarının belirlilik katsayısı $R^2=0,5652$ iken, bulanık mantık uygulamasının tahmin sonuçları belirlilik katsayısı $R^2=0,3068$ olmaktadır.

SONUÇLAR

Sedimanter kayaçların sertlik dayanımları kesilebilirlik ve kazılabilirlik açısından önem arz etmektedir. Kayaçların kaya mekaniksel dayanımları açısından sertliklerinin tayin edilmesi, kazılabilirlik için büyük bir rol oynamaktadır. Bilindiği üzere kayaçlar genel olarak yumuşak, orta sertlikte ve sert kayaç şeklinde ifade edilmektedir. Belli değer aralıklarına göre bu sınıflamaların standartları bilim insanları tarafından indekslenmiştir. Bazı araştırma merkezleri de bu indeksleri geliştirerek daha pratik ve uygulama açısından daha kullanışlı standartlar oluşturmuşlardır. Bu çalışmada

ise sedimanter kayaçlar üzerinde bazı sertlik deneyleri uygulanmıştır. İncelenen parametreler arasında çok anlamlı bir ilişkinin olmadığı anlaşılmıştır. Ancak bulanık mantık ve çoklu doğrusal regresyon uygulamalarından elde edilen gerçek ve tahmin değerleri karşılaştırıldığında, çoklu doğrusal regresyon modelinin diğerlerine göre daha yakın tahmin sonuçları verdiği görülmüştür.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada, Bölüm laboratuvar imkanlarını esirgemeyen Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Prof. Dr. Sedat Büyüksağış, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü Bölüm Başkanı Prof. Dr. Celal Karpuz ve Doç. Dr. M. Serkan Akkiraz hocalarımıza katkılarından dolayı teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

Al-Ameen, S., Waller, M., 1994. The Influence of Rock Strength and Abrasive Mineral Content on the Cerchar Abrasive Index. Eng. Geol., 36, 293–301.

Alber, M., 2008. Stress Dependency of the Cerchar Abrasivity Index (CAI) and Its Effects on Wear of Selected Rock Cutting Tools. Tunn. Undergr. Space Technol., 23, 351–359.

Alvarez Grima, M., Babuska, R., 1999. Fuzzy Model for the Prediction of Unconfined Compressive Strength of Rock Samples. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 36, 339–349.

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, Technical Note, 3, 151-163.

Bölükbaşı, N., 1986. Yeraltı Kömür ve Ayak Kazı Mekanizasyonu. TKİ Genel Müdürlüğü Seminerleri No.4, Mining Eng.Dept. METU, Ankara.

Cerchar, 1986. Centre d'Etudes et Recherches de Charbonnages de France. The CERCHAR abrasiveness index, Verneuil 12S.

Dahl, F., Bruland, A., Jakobsen, P.D., Nilsen, B., Grov, E., 2012. Classifications of Properties Influencing the Drillability of Rocks, Based on the NTNU/SINTEF Test Method. Tunn Undergr Space Technol, 28, 150–158.

Finol, J., Guo, Y. K., Jing, X. D., 2001. A Rule Based Fuzzy Model for the Prediction of Petrophysical Rock Parameters. Journal of Petroleum Science and Engineering, 29, 97–113.

Gokceoglu, C., 2002. A Fuzzy Triangular Chart to Predict the Uniaxial Compressive Strength of Ankara Agglomerates from Their Petrographic Composition. Engineering Geology, 66, 39-51.

Hamzaban, M.T., Memariana, H., Rostami, J., 2013. Continuous Monitoring of Pin Tip Wear and Penetration Into Rock Surface Using a New Cerchar Abrasivity Testing Device. Rock Mech Rock Eng.

ISRM, 2007. The ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring, International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering.

Kasling, H., Thuro, K., 2010. Determining Abrasivity of Rock and Soil in the Laboratory. In: 11th IAEG Congress, Auckland, New Zealand, 235.

Michalakopoulos, T., Anagnostou, V., Bassanou, M., Panagiotou, G., 2006. The Influence of Steel Styli Hardness on the Cerchar Abrasiveness Index Value. Int J Rock Mech Min Sci, 43, 321-327.

Plinninger, R., Kasling, H., Thuro, K., Spaun, G., 2003. Testing Conditions and Geomechanical Properties Influencing the Cerchar Abrasiveness Index (CAI) Value. Int J Rock Mech Min Sci, 40, 259-263.

Plinninger, R., Kasling, H., Thuro, K., 2004. Wear Prediction in Hardrock Excavation Using The Cerchar Abrasiveness Index (CAI). In: Proceedings of the Eurock 2004 and 53rd Geomechanics Colloquium, 599-604.

Rostami, J., Ozdemir, L., Bruland, A., Dahl, F., 2005. Review of Issues Related to Cerchar Abrasivity Testing and Their Implications on Geotechnical Investigations and Cutter Cost Estimates. In: Proceedings of the RETC, 738-751.

- Rostami, J., Ghasemi, A., Gharahbagh, E., Dogruoz, C., Dahl, F., 2014. Study of Dominant Factors Affecting Cerchar Abrasivity Index. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 47, 1905-1919.
- Stanford, J., Hagan, P., 2009. An Assessment of the Impact of Stylus Metallurgy on Cerchar Abrasiveness Index. In: *Proceedings of the Coal Operators' Conference*, 348-355.
- Suana, M., Peters, T., 1982. The Cerchar Abrasivity Index and Its relation to Rock Mineralogy and Petrography. *Rock Mech.*, 15, 1-7.
- Thuro, K., Singer, J., Kasling, H., Bauer, M., 2007. Determining Abrasivity with the LCPC Test. In: Eberhardt E, Stead D, Morrison T (eds) *Proceedings of the 1st Canada–U.S. rock mechanics symposium*, 27.
- West, G., 1989. Rock Abrasiveness Testing for Tunnelling. *Int J Rock Mech Min Sci Geomech Abstr*, 2, 151-160.
- Yarali, O., Yasar, E., Bacak, G., Ranjith, P., 2008. A Study of Rock Abrasivity and Tool Wear in Coal Measures Rocks. *Int J of Coal Geol.*, 74, 53-66.

