

BAZI MAGMATİK KAYAÇLARIN KAYAÇ DAYANIM KATSAYISI VE SCHMIDT SERTLİĞİ ARASINDAKİ İLİŞKİLER

The Relationships Between Coefficient of Rock Strength and Schmidt Rebound Hardness of Some Igneous Rocks

Geliş (received) 13 Şubat (February) 2008; Kabul (accepted) 08 Nisan (April) 2008

Olgay YARALI (*)
Anıl KANDEMİR (**)
Aykut EREN (***)

ÖZET

Bu çalışmada, Zonguldak Bölgesi'nden alınan 10 farklı magmatik kökenli kayaç üzerinde yapılan kayaç dayanım katsayısı (KDK) deney sonuçları ile arazide gerçekleştirilen Schmidt sertliği ölçüm sonuçları verilmiştir. Kayaçların dayanım katsayısının belirlenmesinde klasik ve otomatik olmak üzere iki farklı deney aleti kullanılmıştır. Her bir kayaç için iki deney aletinden alınan deney sonuçları karşılaştırılmış ve sonuçlar arasında farklılıklar olduğu görülmüştür. Klasik ve otomatik deney verilerindeki değişimler incelendiğinde veriler arasında doğrusal bir ilişki saptanmıştır. Arazide yapılan Schmidt sertliği ölçümleri ile KDK sonuçları arasındaki ilişki 2. derecen bir polinom olarak belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler : Kayaç Dayanım Katsayısı, Schmidt Sertliği, Delinebilirlik

ABSTRACT

This study presents the results of the laboratory measurements of the rock strength coefficient and the field measurements of the Schmidt rebound hardness conducted with 10 different igneous rocks from Zonguldak basin. Two different devices, classic and automatic, were used in the rock strength coefficient determinations. Test results from the two devices were compared and the differences were found to be linearly related. The field-determined Schmidt hardness and the rock strength coefficient were correlated with a second-order polynomial function.

Keywords : Coefficient of Rock Strength, Schmidt Rebound Hardness, Drillability

(*) Yrd. Doç.Dr., Karaelmas Üni., Mühendislik Fakültesi Maden Müh. Böl., Zonguldak, oyarali67@gmail.com
(**) Maden Müh., Karaelmas Üni., Mühendislik Fakültesi Maden Müh. Böl., Zonguldak,
(***) Lisans Öğrencisi, Karaelmas Üni., Mühendislik Fakültesi Maden Müh. Böl., Zonguldak,

1. GİRİŞ

Madencilik alanında yeraltı ve açık işletmelerde yapılan hazırlık ve üretim faaliyetleri ile inşaat alanındaki baraj, tünel, yol yapımı ve kanalizasyon gibi çalışmalarda patlatma deliklerinin çabuk ve ekonomik olarak delinmesi, bu çalışmaların hızlılığı ve maliyeti açısından önemlidir.

Hızlı ve ekonomik delme; delinecek kayacın minerolojik yapısına, jeomekanik özelliklerine, kullanılan deliciye ve kayaca uygun burğu seçimine bağlıdır (Yaralı, 2007).

Bir kayacın delinebilirliği, delici ucun delme hızı, burğu ömrü, delme işinde harcanan özgül enerji (kazılan her birim kaya için harcanması için gerekli enerji, SE) gibi bir çok şekilde tanımlanabilmektedir. Delme hızını arttırmak için farklı delme yöntemleri ve makinaları farklı kayaç tipleri için kullanılmaktadır. Öncelikle delici makinanın seçimi için, kayacın orijininin (magmatik, metamorfik, tortul), sertliğinin, aşındırıcılığının, fiziksel özelliklerinin ve mekanik mukavemetlerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Yüksek sertlikte ve aşındırıcı özellikteki kayaçlar için ağır darbeli deliciler, orta dayanımlı kayaçlar için orta ağırlıktaki darbeli veya ağır döner deliciler, aşındırıcı ve gevrek kayaçlar için hafif darbeli deliciler veya döner delici makinalar kullanılmaktadır (Tamrock, 1999).

Kayaçların dayanım özellikleri, dünyanın her yerinde standart olarak elde edilebilir olduklarından uzun zamandır delinebilirlik ölçütü olarak kullanılmıştır. Son yıllarda yapılan araştırmalarda dayanım özelliklerinin tek başına kullanılmasının yanıltıcı olacağını göstermiştir (Pool ve Farmer, 1978; Bilgin ve Shahriar, 1986).

Delinebilirliği ölçmek veya delme hızını tahmin etmek için çeşitli deney yöntemleri ve delinebilirlik göstergeleri geliştirilmiştir. En yaygın olanları; delme oranı indeksi (DRI), uç aşınma indeksi (BWI) ve kayaç dayanım katsayısıdır (KDK).

Bu çalışmada, Zonguldak Bölgesi'nin değişik yerlerinden alınan magmatik kökenli 10 farklı kayaç üzerinde, arazide Schmidt sertliği ölçümleri, laboratuvarında ise kayaç dayanım katsayısı deneyleri yapılmıştır. Kayaç dayanım katsayısı deneylerinde aynı prensipte çalışan iki

farklı deney aleti kullanılmıştır. Bunlarda birincisi, Tandanand ve Unger'in (1975) geliştirdiği klasik deney aleti, diğeri ise bu çalışma için geliştirilmiş, otomatik olarak çalışan deney aletidir.

Bu araştırmmanın iki amacı vardır. Birincisi, aynı prensiple çalışan iki kayaç dayanım katsayısı deney aletinden alınan sonuçları karşılaştırmak, ikincisi ise arazide belirlenen Schmidt sertliği değerleriyle laboratuvarında belirlenen kayaç dayanım katsayıları arasındaki ilişkileri araştırmaktır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, kayaçların delinebilirliklerinin belirlenmesinde kullanılabilecektir.

2. ÖNCEKİ BAZI ÇALIŞMALAR

Literatüre bakıldığında kayaç dayanım katsayısı deney aletiyle yapılmış çalışma sayısının çok az olduğu görülmektedir.

Rus araştırmacı Protodyakanov (1962) tarafından geliştirilen darbe dayanım deneyini, Paone vd, (1969), Tandanand ve Unger (1975), Rabia ve Brook (1980) gibi bazı araştırmacılar deney aletini değişik boyutlarda düzenleyerek kayaçların delinebilirliklerinin belirlenmesinde kullanmışlardır (Kahraman, 2001). Bu araştırmacıardan Tandanand ve Unger (1975) kayaç dayanım katsayısı ve basınç dayanımı arasında basit ilişkiler elde etmişlerdir. Rabia ve Brook (1980) ise kayaç dayanım sertlik sayısını belirlemek için deney düzeneğinde değişiklikler yapmışlardır. Aynı araştırmacılar hem DTH hem de martoperfaratörlerle yapılan delme işlemi için delme oranı tahminde kullanılan bir ampirik bağıntı geliştirmişlerdir.

Bu konuda yapılan başlıca araştırma, Tandanand ve Unger'in (1975) Amerikan Madencilik Bürosu Araştırma Merkezinde yaptığı çalışmasıdır. Bu çalışmada, magmatik kökenli 24 kayaç üzerinde KDK ve tek eksenli basınç dayanımı ve özgül enerji deneyleri yapılmıştır.

Magmatik kökenli 24 kayaç için yapılan deneyler (Çizelge 1) sonucunda KDK ile tek eksenli basınç dayanımı arasında zayıf bir ilişkinin varlığı gözlenmiştir. Bu zayıf ilişki aynı KDK değerlerine sahip kayaçların, tek eksenli basınç

Çizelge 1. Magmatik Kökenli Kayaçların Jeomekanik Özellikleri (Tandanand ve Unger, 1975).

No	Kayaç	KDK	σ_c (MPa)	E_t (MPa)
1	Demir silikat	2,39	425	79,2
2	Hornblend	1,64	211	104,2
3	Granit pegmatit	0,77	91	42,1
4	Kuarsit	0,78	226	7409
5	Arduvaz	2,28	224	54,2
6	Mankato taşı	0,45	127	52,8
7	Kuarsit	0,75	159	41,4
8	Kuarsit	1,01	312	67,1
9	Granit	0,84	157	68,5
10	Granit	1,21	206	69,9
11	Granit	0,82	173	66,4
12	Bazalt	2,86	291	93,5
13	Kalker	0,57	101	44,2
14	Demir takonit	1,47	366	112,0
15	Takonit	2,62	373	94,9
16	Takonit	2,84	370	92,8
17	Diabaz	2,44	380	83,5
18	Gabro	1,21	211	92,0
19	Volkanik kaya	0,64	70	60,6
20	Anorsit	0,73	133	87,0
21	Bazalt	2,11	189	65,6
22	Mermer	0,68	129	82,8
23	Gabro	1,02	179	105,6
24	Demir filizi	1,28	229	71,3

dayanımı değerlerinin farklılığından kaynaklandığı belirlenmiştir. KDK, tek eksenli basınç durumunda deformasyona uğrayan kayaçta birim hacimde depolanan elastik birim deformasyon enerjisi (W_e) ile iyi bir korelasyon vermiştir (Eşitlik 1).

$$W_e = s_c^2 / E_t \quad (1)$$

Burada;

W_e : Elastik birim deformasyon enerjisi, J/m³

σ_c : Tek eksenli basınç dayanımı, N/m²

E_t : Elastisite modülü (tanjant), N/m²

Aynı araştırmada, kayaçlar kırılma karakteristiklerine göre gevrek, orta gevrek ve kırılğan olarak sınıflandırılmışlardır. KDK ile σ_c arasındaki ilişkiler kayaç grupları için Eşitlik 2,

3 ve 4'de ifade edilmiştir. Özgül enerji (SE) ile kayaçların KDK'sı arasındaki ilişki ise Eşitlik 5'de verilmiştir (Tandanand ve Unger, 1975).

Gevrek kayaç,
KDK = 9,11x10⁻³. σ_c , (MPa) (2)

Orta gevrek kayaç,
KDK = 5,60x10⁻³. σ_c , (MPa) (3)

Kırılğan kayaç,
KDK = 3,22x10⁻³. σ_c , (MPa) (4)

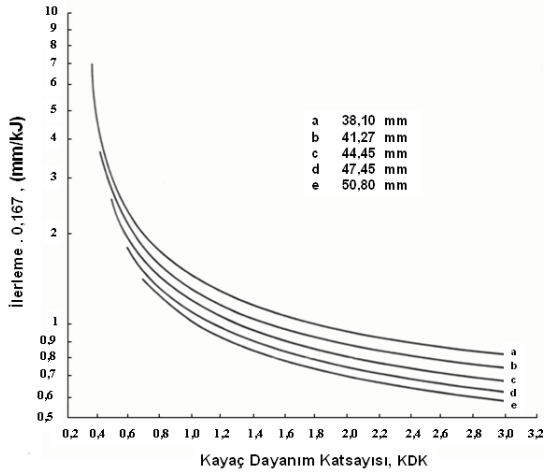
SE=(3860 + 2744 Ln KDK) . 82367 (J/m³) (5)

Granit, gabro, hornblend, arduvaz, bazalt ve takonit gevrek; mankato taşı, kuvarsit, demir takonit kırılğan diğer kayaçlar ise orta gevrek kayaç olarak sınıflandırılmıştır.

Pratik amaçlar için kuvars yüzdesi bir ölçek olarak kullanılmaktadır. Buna göre; % 40

oranında SiO₂ içeren kayalar gevrek, % 72 ve daha yukarı oranlarda SiO₂ içeren kayalar kırılğan olarak tanımlanmaktadır.

Özgül enerjinin delik kesitine de bağlı olduğu, delik kesiti büyüdükçe özgül enerjinin azaldığı belirlenmiştir. Eşitlik 5 yalnız haç tipi uçlar için uygulanabilmektedir. İki ayrı delici için laboratuvar koşullarında değişik çalışma basınçlarında elde edilen maksimum güç tüketimleri tespit edilmiş; gerçek delme hızları ile tahmin edilen delme hızları ilişkilendirilerek, KDK'nın darbeli deliciler için delinebilirlik tahmininde bir indeks (Şekil 1) olabileceği ortaya konmuştur (Tandanand ve Unger, 1975)



Şekil 1. Farklı delik çapları için delinebilirlik eğrileri (Tandanand ve Unger, 1975)

Ülkemizde kayaç dayanım katsayısı deney aletiyle yapılmış deney sayısı ise oldukça azdır. Baş (1993), Zonguldak havzası kömür çevre kayaları üzerinde yaptığı çalışmada KDK değerlerinin 0,23 ile 1,12 arasında değiştiğini bulmuştur. Ayrıca bu çalışmada, kayalar kendi aralarında gruplandıklarında, delme hızlarıyla KDK arasında anlamlı bir ilişkinin olduğu saptanmıştır. Kumtaşları ayrı bir grup olarak değerlendirildiğinde tek eksenli basınç dayanımı ile kayaç dayanım katsayısı arasında doğrusal bir ilişki elde edilmiştir (R = 0.94).

Zonguldak kömür çevre kayaları üzerinde yapılan bir başka çalışmada (Avcı, 2001), KDK değerlerinin 0,42 ile 0,78 arasında değiştiği bulunmuştur.

Akçın vd. (2003), yaptıkları araştırmada KDK

değerlerinin kumtaşları için 0,40 ile 0,77 arasında, silt taşları için 0,85 ile 1,25 arasında ve kireçtaşı-dolomitler için ise 0,28 ile 0,83 arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Aynı çalışmada kayaların tek eksenli basınç dayanımı, nokta yükü dayanım indeksi, Shore sertlik indeksi, Cerchar aşınma Cerchar sertlik indeksleri de belirlenmiş; ancak, dayanım ve indeks deney sonuçlarıyla kayaç dayanım katsayısı arasında anlamlı bir ilişki elde edilememiştir.

3. KAYAÇ DAYANIM KATSAYISI DENEYİ

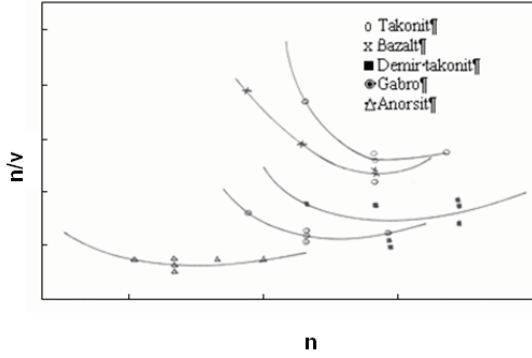
Kayaçların parçalanmaya karşı dirençlerini ölçen bu standart deney, Protodyakanov'un darbe dayanım deneyinin Amerika Madencilik Bürosu (U.S. Bureau of Mines) adına Tandanand ve Uger (1975) tarafından geliştirilmiş halidir. Bu deney yöntemi, basınçlı hava ile çalışan darbeli delicilerin ilerleme oranlarının belirlenmesinde kullanılmaktadır (Anon, 2008).

Kayaç dayanım katsayısı deneyinde, her biri ortalama 7,5 cm³ olan gelişigüzel şekilli 10 adet kayaç örneği kullanılmaktadır. Örnekler -25,4 mm / + 19,56 mm (3/4 in) elek aralığından seçilmektedir. Alınan örneklerin 7,5 cm³ civarında olması önemlidir. Her bir örneğin hacmi, ağırlığından ve yoğunluğundan bulunabilir. 10 adet örneğin toplam hacmi yaklaşık 75 cm³ civarında olmalıdır. Örnekler iki parçadan oluşan beş gruba bölünür ve her gruba aynı düşüş sayısı tatbik edilir. Her biri iki parçadan oluşan gruplar test silindirin dibine konular. 2,4 kg ağırlığındaki kütle 0,6 m yükseklikten örneklerin üzerine düşürülür.

Her beş grup için düşme sayısı, kayacın dayanımına bağlı olarak 3-40 arasında değişmektedir. Her grupta kırılan malzeme 0,5 mm'lik (35 meş) elekte toplanır ve 40 saniye süreyle elle elenir. 0,5 mm elek altına geçen malzeme gram olarak tartılır ve yoğunluğuna bölünerek malzemenin katı hacmi bulunur.

Örneklerin her grubu için uygulanan düşmelerin sayısı, beş gruptan elde edilen 0,5 mm altındaki ince malzeme hacmine bölünür. Doğru bir düşüş sayısı için, bir çok kayaçta ince malzemenin toplam hacminin yaklaşık 12 cm³ civarında olduğu tespit edilmiştir. Her kayaç için, düşüş sayısı (n) ile kayacın hacmi (v) arasındaki n/v oranını gösteren eğriler çizilir (Şekil 2). Her bir

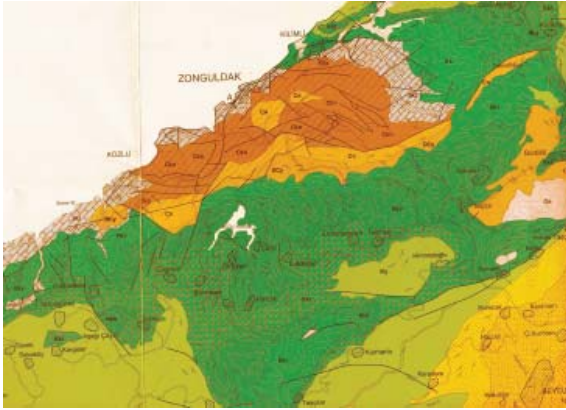
eğrideki en küçük n/v oranı eğriden okunur ve boyutsuz olarak kayaç dayanım katsayısı değeri (KDK) olarak belirlenir (Tandanand ve Unger, 1975).



Şekil 2. Düşüş sayısı (n) ile n/v arasındaki ilişkiyi gösteren eğrilerden KDK'nın tespiti (Tandanand ve Unger, 1975).

4. ARAZİ ÇALIŞMALARI

Zonguldak Bölgesi (Şekil 3) çevresinden 10 farklı yerden magmatik kökenli kayaç örnekleri alınmıştır. Örnek alım yerleri koordinatlarıyla beraber Çizelge 2'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Örnek alım yerleri (Yergök vd, 1987).

Örnek alım yerlerinin 9 tanesinde (Granodiyorit hariç) Schmidt sertlik ölçümleri yapılmıştır. Her bir örnek alınan yerde en az 3, en fazla 5 noktada 20 kez tekrarlamalı okuma gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde N tipi Schmidt sertlik aleti kullanılmıştır. Okumalar kayaç yüzeyine dik konumda ve süreksizlikler içermeyen sağlam yüzeyde yapılmıştır.

Çizelge 2. Örnek Alım Yerleri.

No	Kayaç	Koordinat	Alındığı Yer
1	Andezit	K41° 19' 798'' D31° 36' 92''	Zong.-Kdz. Ereğli 26. km
2	Andezit	K41° 17' 37'' D30° 30' 95''	Zong.-Kdz. Ereğli 37. km
3	Andezit	K41° 14' 714'' D31° 26' 36''	Yassı Yörük mevkii Kdz. Ereğli-Alaplı
4	Andezit	K41° 14' 514'' D31° 36' 339''	Kdz. Ereğli- Devrek 11.km Yazıcılar Köyü mevkii
5	Andezit	K41° 22' 829'' D31° 57' 352''	Zong.-Devrek 18. km , Beycuma yol kavşağı karşısı
6	Andezit	K41° 16' 481'' D31° 09' 764'	Zong. – Yenice 50. km
7	Diyabaz (açık gri)	Yok	Dorukan Tüneli
8	Granodiyorit	Yok	Dorukan Tüneli
9	Siyenit	Yok	Yenice
10	Granit	K41° 14' 783'' D32° 10' 073'	Yenice- Kayabaşı mevkii yol yapımı.

5. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

Laboratuvarda, Zonguldak Bölgesi'nde 10 farklı yerden alınan magmatik kayaçlar üzerinde hem otomatik hem de klasik kayaç dayanım katsayısı deney aletiyle Tandanand ve Unger'in (1975) önerdiği yöntemle deneyler yapılmıştır.

Deneylerde 7,5 cm³ hacminde düzensiz şekilli örnekler kullanılmıştır (Şekil 4). İlk olarak kaya bloklarından karotlar alınmış ve bu karotlar düzgün bir şekilde kesilerek hacimleri hesaplanmıştır. Hacmi bulunan karotların kütleleri 0,5 gr hassasiyetli terazide ölçüldükten sonra yoğunlukları hesaplanmıştır. Bulunan yoğunluk değeri ile 7,5 cm³'lük hacim çarpılarak hazırlanacak örneklerin ağırlıkları bulunmuştur.

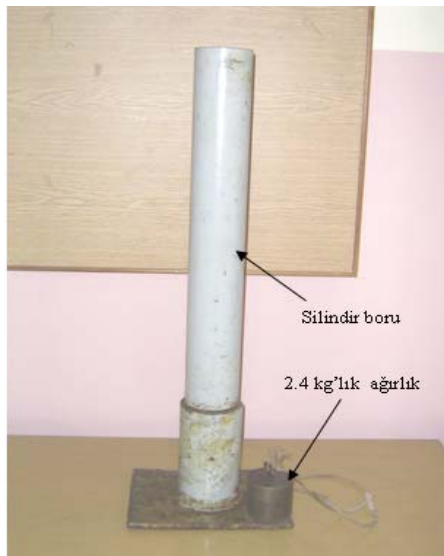


Şekil 4. Kayaç dayanım katsayısı deneyinde kullanılan örneklerin görünüşü.

Her bir kaya türü için örnekler $-25,4 \text{ mm} + 19,56 \text{ mm}$ elek aralığından 10 adet seçilmiştir. $+19,56 \text{ mm}$ boyutundaki örnekleri istenilen hacimlere getirebilmek için taş zımparası makinesi kullanılmıştır. Örnekler hazırlanırken darbeye maruz kalmadığı için kayaç içinde önceden oluşan mikro çatlakların gelişimi önlenmiştir. Bu çalışmada 10 farklı kayaç incelendiğinden 500 adet örnek hazırlanmıştır. Kayaç örneklerinde her beş grup için düşüş sayısı (n), 10-30 arasında 5'erli artışlar şeklinde uygulanmıştır. İlk denemelerde 3-5-7 kez düşmeler yapılmasına karşılık malzemenin kırılmadığı görülmüştür. Denemeler sonucunda malzeme kırılması 10. düşmeden sonra başladığı tespit edilmiştir. Kayaçların birbirleriyle kıyaslanabilmesi için de düşme sayıları aynı seçilmiştir.

Düşmelerin uygulanmasından sonra örnekler 0,5 mm açıklığındaki elek ile 40 sn süreyle elde elenmiştir. Elek altı bir tepside toplanmış ve toplanan malzeme 0,001 gr hassasiyetli terazide tartılmıştır. Yoğunluklarına bölünerek katı hacimleri hesaplanmıştır. Daha sonra düşüş sayısı (n), 0,5 mm elek altı hacmine (v) bölünerek n/v oranı hesaplanmıştır.

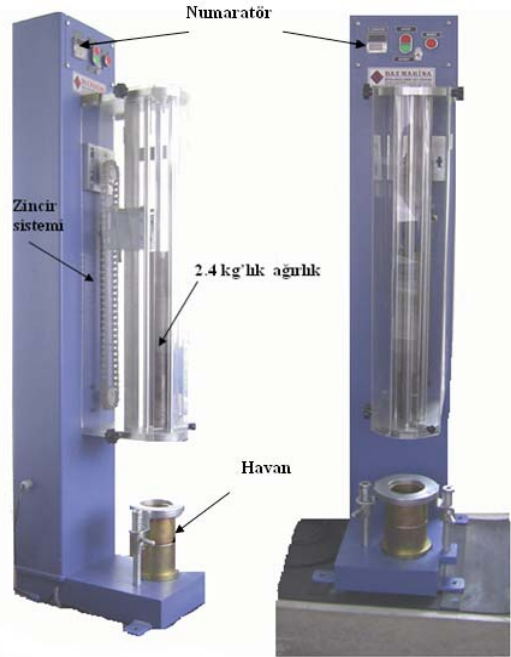
Bu çalışmada iki farklı KDK deney aleti kullanılmıştır. Birinci alet Tandanand ve Unger'in önerdiği deney aletine benzeyen klasik deney aletidir. Alet silindir ve ağırlık olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Şekil 5'de klasik KDK görülmektedir. Silindirin dış çapı 8,25 cm, iç çapı ise 7,62 cm'dir.



Şekil 5. Klasik kayaç dayanım katsayısı deney aleti.

Bu deney aletinde 2,4 kg'lık ağırlık, 0,6 m yükseklikten silindir tabanına serbest olarak bırakılmaktadır. Özellikle sert kayaçlarda düşme sayısı 40'a kadar çıkmaktadır. Bu da her düşme sayısı arasındaki zaman dilimini etkilemektedir. Düşme sonucunda malzeme her seferinde biraz daha kırılarak toz haline gelmektedir. Toz halindeki malzeme bu deney aletinin dip kısmının çeperlerine darbenin etkisiyle yapışmaktadır. Havan içine konulan 2 örnekten oluşan malzeme yaklaşık 190 gram civarındadır. Düşme sonucu kırılan ve elek altına geçen malzeme %6 ile %30 arasında değişmektedir. Havanın çeperine yapışan malzeme miktarı genelde 2 ile 4 gram arasında olduğundan elek altına geçen malzeme miktarı azalmış olmaktadır. Bu durum malzemenin katı hacmini etkilemektedir. Deney sonunda silindir boru tek parça olduğu için bütün silindiri ters çevirerek içindeki malzeme boşaltılmaktadır. Silindirin dip kısmında, özellikle kenar kısımlarına yapışmış malzeme bazen temizlenememektedir. Bu da elek altı değerini dolayısıyla da KDK değerini etkilemektedir.

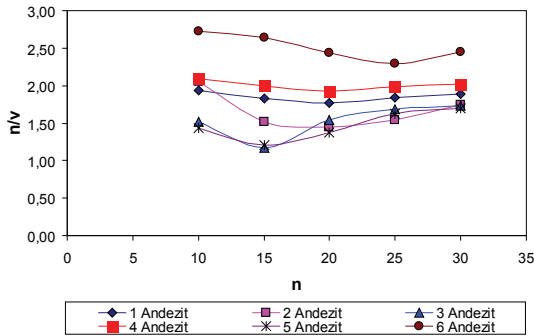
Yukarıda sayılan olumsuzlukları gidermek amacıyla düşme sayısının otomatik ayarlandığı, düşmeler arası zamanın aynı olduğu ve kırılmış toz haline gelmiş malzemenin kolayca kabın cidarlarından temizlendiği bir KDK deney aleti tasarlanmıştır (Şekil 6).



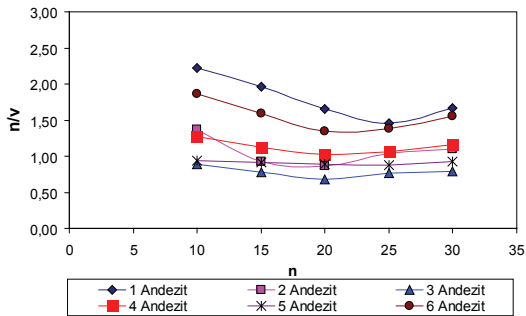
Şekil 6. Otomatik kayaç dayanım katsayısı deney aleti.

Bu deney aletinin 220 Volt, 50 Hz ve 1,5 kW'lık motoru vardır. Bu motor sayesinde zincir sistemi çalıştırılmaktadır. 2,4 kg'lık ağırlık zincir sistemine bağlı bir tırnak vasıtasıyla 0,6 m yüksekliğe çıkartılmakta ve otomatik olarak düşmektedir. Ağırlık, havan içinde malzemenin üstünde bulunan yüzeyi sertleştirilmiş (Rockwell 50) bir tokmak üzerine düşmektedir. Düşme sayısı bir numaratorle ayarlanabilmektedir. İstenilen düşme sayısına gelindiğinde alet otomatik olarak kendiliğinden durmaktadır. Düşme sayısı ne olursa olsun iki düşme arası süre aynıdır. Havan, bir düzenekle aletin alt kadesine kolaylıkla sabitlenmektedir. Sabitler gevşetilerek havan çıkarılabilmektedir. Ayrıca havan iki parçadan oluştuğu için taşınması daha rahat hale gelmiştir. Havan dibine yapışan toz malzeme rahatlıkla temizlenebilmektedir. Böylece hiç malzeme kaybı yaşanmamaktadır.

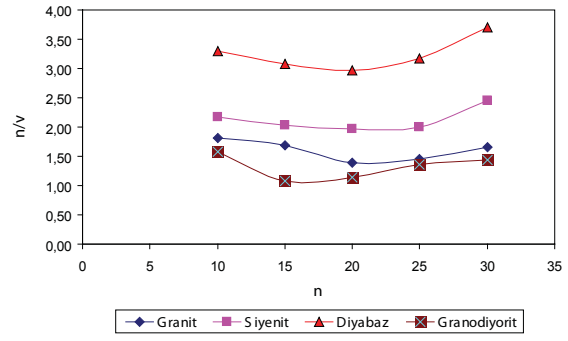
Çizelge 3'de her kayaca uygulanan düşüş sayısı (n), n/v oranları ve hem otomatik hem de klasik KDK değerleri ile Schmidt sertliği değerleri verilmiştir. Her kayaç türü için düşme sayısı (n) ile n/v oranı arasındaki ilişki Şekil 7-10'da eğriler olarak çizilmiştir.



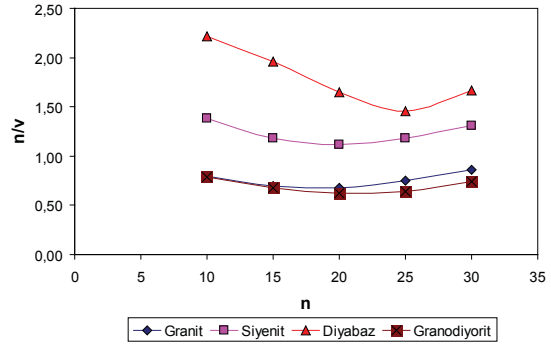
Şekil 7. Andezit örneklerinin KDK'larının tespiti (otomatik aletle).



Şekil 8. Andezit örneklerinin KDK'larının tespiti (klasik aletle).



Şekil 9. Diyabaz, siyenit, granit ve granodiyorit örneklerinin KDK'larının tespiti (otomatik aletle).



Şekil 10. Diyabaz, siyenit, granit ve granodiyorit örneklerinin KDK'larının tespiti (klasik aletle).

6. VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

6.1 Otomatik ve Klasik Kayaç Dayanım Katsayısı Verilerinin Değerlendirilmesi

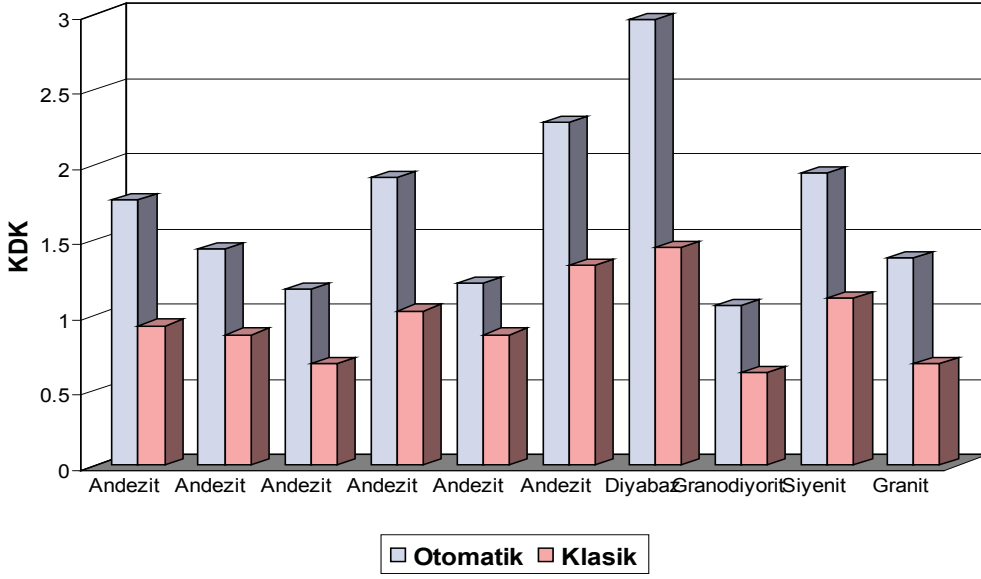
Bu bölümde hem otomatik hem de klasik kayaç dayanım deneyinden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Şekil 11'de 10 kayacın otomatik ve klasik KDK deney sonuçlarının sütun şeklinde gösterimi verilmiştir.

Şekil 11 incelendiğinde otomatik ve klasik deney aletlerinden alınan kayaç dayanım katsayısı deney sonuçları arasında bir ilişkinin olmadığı tespit edilmiştir. 1 nolu andezit, 4 nolu andezit, 6 nolu andezit ve diyabaz sonuçlarına bakıldığında otomatik deney aletinden alınan sonuçlar ile klasik deney aleti sonuçları arasında yaklaşık iki kat fark görülmektedir.

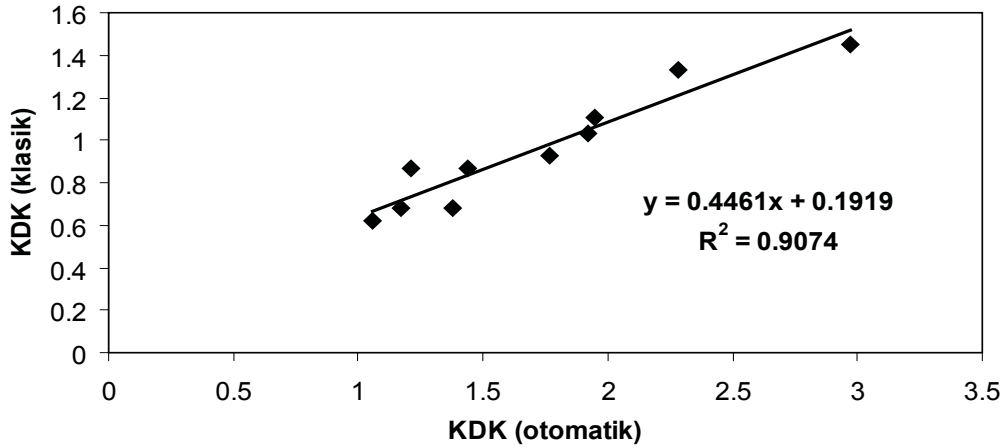
İki deney aletinden alınan değerlerin aynı

Çizelge 3. Kayaç Dayanım Katsayısı (KDK) ve Schmidt Sertliği Sonuçları.

No	Kayaç	n	n/v	KDK (Otomatik)	n/v	KDK (Klasik)	Ortalama Schmidt Sertlik Değeri
1	Andezit	10	1,93	1,77	2,04	0,93	59,83
		15	1,82		1,60		
		20	1,77		1,02		
		25	1,84		0,93		
		30	1,89		1,50		
2	Andezit	10	2,05	1,44	1,37	0,87	64,28
		15	1,52		0,93		
		20	1,44		0,87		
		25	1,54		1,03		
		30	1,74		1,10		
3	Andezit	10	1,52	1,17	0,89	0,68	61,16
		15	1,17		0,78		
		20	1,54		0,68		
		25	1,69		0,76		
		30	1,73		0,79		
4	Andezit	10	2,09	1,92	1,28	1,03	61,03
		15	1,99		1,12		
		20	1,93		1,03		
		25	1,99		1,06		
		30	2,02		1,16		
5	Andezit	10	1,44	1,21	0,94	0,87	61,28
		15	1,21		0,92		
		20	1,38		0,89		
		25	1,63		0,88		
		30	1,70		0,93		
6	Andezit	10	2,72	2,28	1,87	1,33	56,67
		15	2,64		1,59		
		20	2,44		1,34		
		25	2,29		1,39		
		30	2,45		1,56		
7	Diyabaz (açık gri)	10	3,29	2,97	2,22	1,45	71,26
		15	3,07		1,96		
		20	2,97		1,65		
		25	3,17		1,45		
		30	3,70		1,67		
8	Granodiyorit	10	1,58	1,06	0,78	0,62	---
		15	1,08		0,68		
		20	1,14		0,62		
		25	1,36		0,64		
		30	1,43		0,74		
9	Siyenit	10	2,18	1,95	1,38	1,11	68,20
		15	2,03		1,18		
		20	1,96		1,11		
		25	2,00		1,18		
		30	2,45		1,31		
10	Granit	10	1,82	1,38	0,80	0,68	62,91
		15	1,69		0,70		
		20	1,38		0,68		
		25	1,46		0,75		
		30	1,65		0,86		



Şekil 11. Otomatik ve klasik kayaç dayanım katsayısı (KDK) deney sonuçlarının değişimi.



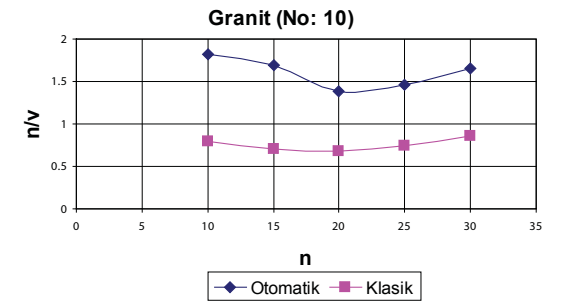
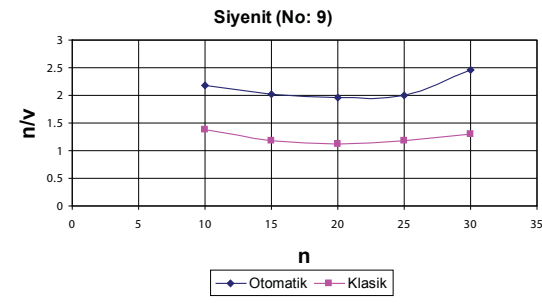
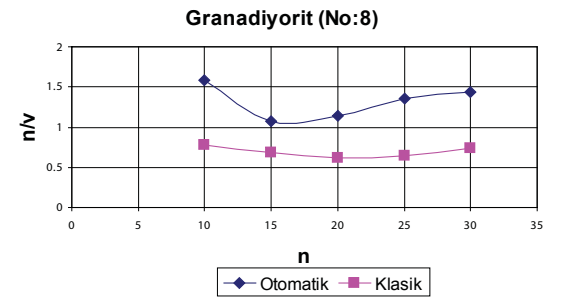
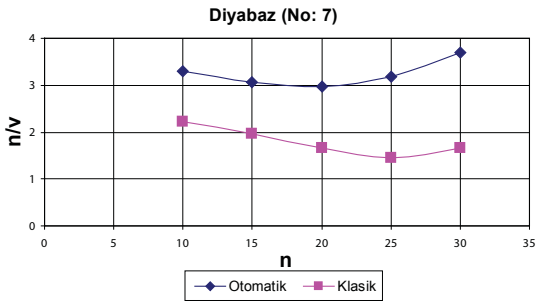
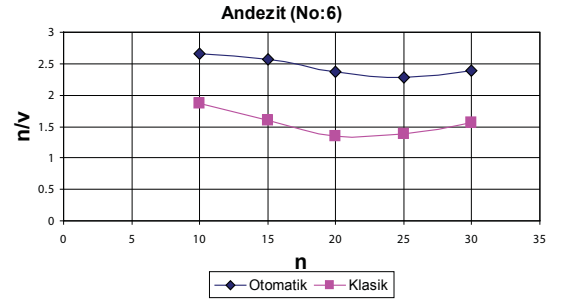
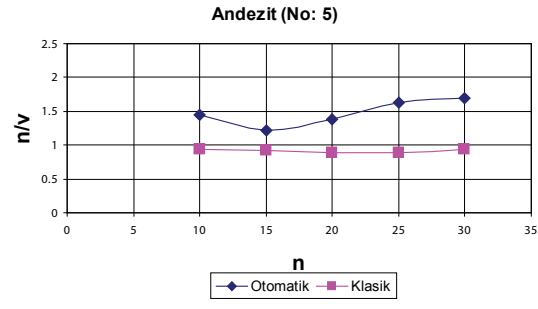
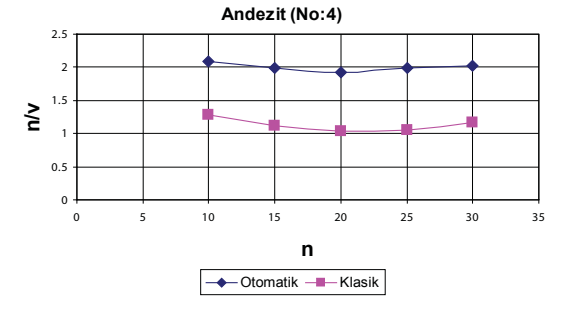
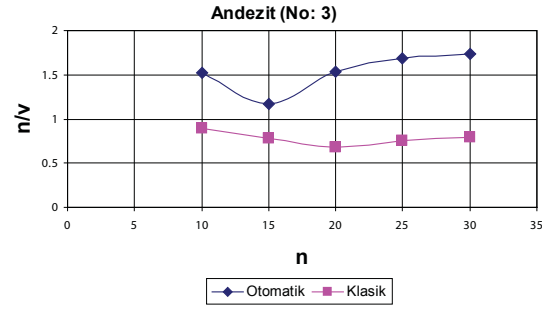
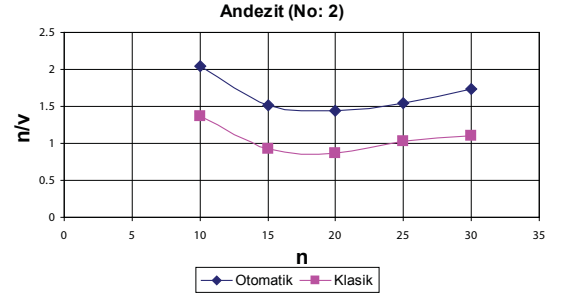
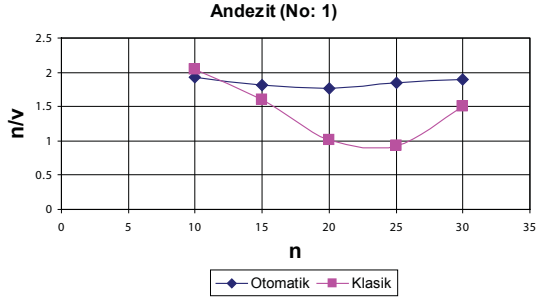
Şekil 12. Otomatik ve klasik kayaç dayanım katsayısı (KDK) sonuçları arasındaki ilişki.

kayaçlar için çok farklı sonuçlar vermesine karşın deney verilerindeki değişimler incelendiğinde Şekil 12'deki gibi doğrusal bir ilişki bulunmuştur. Üstelik ilişki katsayısı ($R^2 = 0,9074$) oldukça yüksek çıkmıştır. Bu da deney verileri arasında anlamlı bir ilişkinin olduğunu göstermektedir.

İncelenen her bir kayaç için düşme sayısı (n) ile düşme sayısı/hacmi (n/v) gösteren grafikler Şekil 13'de gösterilmiştir. Şekil 13 incelendiğinde 2, 4, 6 nolu andezit örneklerinin hem otomatik hem de klasik deney aletlerinden alınan verilerdeki

değişimlerin paralellik gösterdiği ve eğrilerin minimum noktalarının ise 20. düşme sayısında olduğu görülmektedir. Benzer durum 9 siyenit ve 10 granit örnekleri için de geçerli olduğu saptanmıştır.

Bu durum deney aletlerinin çalışma prensiplerinde bir sıkıntının olmadığı fakat daha önce belirtildiği gibi klasik deney aletinin kullanımından kaynaklanan zorluklardan dolayı sonuçlarda farklılıklar olabileceği anlamına gelmektedir.



Şekil 13. Kayaç örneklerinin otomatik ve klasik deney aletlerinden elde edilen değerlerdeki değişimleri.

6.2 Schmidt Sertlik ve Kayaç Dayanım Katsayısı Verilerinin Değerlendirilmesi

Bu araştırmada 10 magmatik kökenli kayaçtan 9'unun yerindeki sertlikleri Schmidt sertlik aleti ile ölçülmüştür. Literatürde kayaç dayanım katsayısı deneyi ile Schmidt sertlik deneyi arasında herhangi bir ilişkiyi gösteren bir çalışma yoktur. Her iki deney yöntemi de kayacın sertliğini vermektedir. Kayaç dayanım katsayısı deneyi kayacın kırılmaya karşı direncini yani sertliğini verirken, Schmidt sertlik deneyi de kayacın doğal ortamdaki sertliği hakkında bilgi vermektedir.

Literatürde kayaç dayanım katsayısı deneyi ile Schmidt sertlik deneyi arasında herhangi bir ilişkiyi gösteren bir çalışma yoktur.

Magmatik kökenli 9 kayacın Schmidt sertlik değeri ile hem otomatik hem de klasik kayaç dayanım katsayısı deney aletlerinden elde edilen veriler karşılaştırılmıştır (Şekil 14). Bu karşılaştırmada EXCEL programı kullanılmıştır. Bu iki parametre arasında en iyi ilişki 2. dereceden bir polinom olarak saptanmıştır. Otomatik KDK ile Schmidt sertliği arasında Eşitlik 6'daki gibi bir bağıntı ($R^2= 0,8621$), klasik KDK ile Schmidt sertliği arasında ise Eşitlik 7'deki bir bağıntı ($R^2= 0,8537$) bulunmuştur.

$$y = 0,0233x^2 - 2,9361x + 9,966 \quad (6)$$

$$y = 0,0113x^2 - 2,4369x + 6,378 \quad (7)$$

KDK'nın tespiti için çizilen eğrilerin minimum olduğu noktaların ordinat eksenini kestiği değer kayacın dayanım katsayısı değeri olarak belirlenmektedir. Bu durum, Schmidt sertliği ile kayaç dayanım katsayısı verilerinin 2. dereceden bir polinom ile ilişkilendirilmesini sağlamaktadır.

7. SONUÇLAR

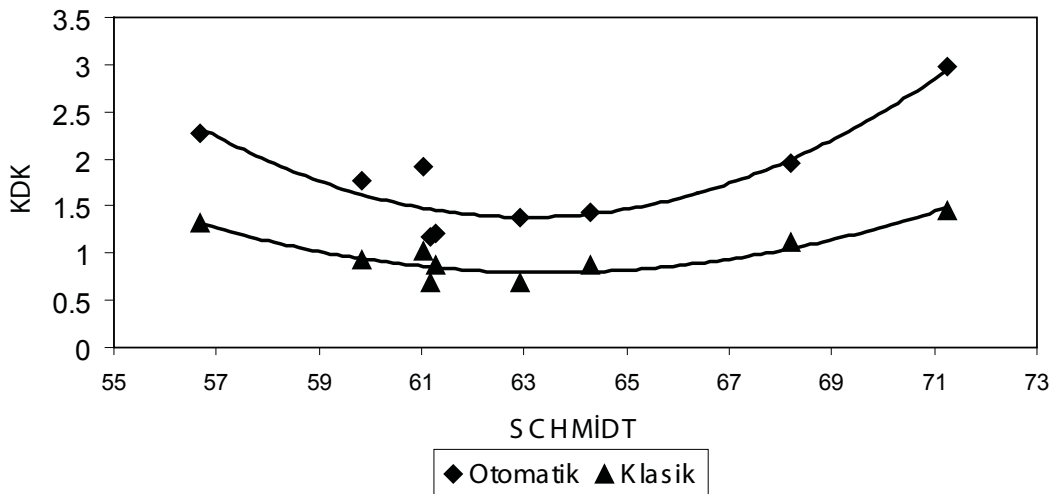
Bu çalışmada, Zonguldak Bölgesi'nden alınan 10 adet farklı magmatik kökenli kayaçlar üzerinde KDK deneyi ve arazide Schmidt sertlik ölçümleri yapılmıştır. Kayaçların KDK'larını belirlemede iki farklı deney aleti kullanılmıştır.

İki deney aletinin performansları 10 kayaç için değerlendirilmiştir. Otomatik olarak çalışan deney aletinin klasik deney aletine göre çalışmasının daha basit, tekrarlanabilirliğinin de daha yüksek olduğu görülmüştür.

İki deney aletinden alınan değerlerin aynı kayaçlar için çok farklı sonuçlar vermesine karşın deney verileri arasında doğrusal bir ilişki elde edilmiştir ($R^2= 0,9074$). Bu durum deney verileri arasında anlamlı bir ilişkinin olduğunu göstermiştir.

Hem otomatik hem de klasik deney aletlerinden alınan verilerdeki değişimler incelendiğinde, veriler arasında paralellik görülmüş ve eğirlerin minimum noktalarının ise 20. düşmede olduğu saptanmıştır.

Bu durum deney aletlerinin çalışma prensiplerinde bir sıkıntının olmadığını, klasik deney aletin



Şekil 15. Schmidt sertliği ile kayaç dayanım katsayısı (KDK) arasındaki ilişki.

kullanımından kaynaklanan zorluklardan dolayı sonuçlarda farklılıklar olabileceğini göstermiştir.

Schmidt sertlik değerleri ile KDK değerleri arasında her iki deney aleti için 2. dereceden parabolik bir ilişki bulunmuştur.

Tandanand ve Unger tarafından 24 magmatik kayaç için geliştirdiği farklı delik boyları için delinebilirlik eğrilerinden birim enerji tüketimi başına ilerleme miktarı tahmin edilebilmektedir (Şekil 2). Ancak KDK deneyi için örnek hazırlamak oldukça zaman almakta ve zahmetli olmaktadır. Bu çalışma sonucunda, KDK yerine araziden alınan Schmidt sertlik sonuçlarının delinebilirlik analizlerinde kullanılabilirliği görülmektedir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, çalışma sırasında işbirliği ve yardımlarından ötürü Türkiye Taşkömürleri Kurumu'na (TTK), TÜBİTAK'a ve Prof.Dr. Nuri Ali AKÇIN'a (ZKÜ Maden Müh. Böl.) teşekkür eder.

KAYNAKLAR

Akçın, N.A., Yaralı, O. ve Su, O., 2003; "Kömür Çevre Kayaçlarının Cerchar Sertlik ve Dayanım Özelliklerinin Belirlenmesi", Final Raporu, ZKÜ Araştırma Fonu Projesi, Proje No: 2001-45-03-05, Zonguldak, 61.

Anon, 2008; "Laboratory Tests For Strength, Hardness and Abrasiveness: Explanatory Notes", http://www.civenv.unimelb.edu.au/consulting/docs/prediction_tests.doc

Avcı, F., 2001; "TTTK Asma-Dilaver İşletmesi Kömür Çevre Kayaçlarının Aşındırıcılık Özelliklerinin Belirlenmesi", Yüksek Mühendislik Tezi, ZKÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, 100.

Baş, N., 1993; "Elektro Hidrolik Delicilerin Delme Performansının İncelenmesi", Yüksek Mühendislik Tezi, HÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, 141.

Bilgin, N. ve Shahriar, K. 1986; "Kayaçların Ve Kömür Damarlarının Bazı Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesinde Kullanılan Dolaylı Yöntemlerin

Değerlendirilmesi", 1. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu, TUKMD; Ankara, 86-97.

Kahraman, S., 2001; "Evaluation of Simple Methods For Assessing The Uniaxial Compressive Strength of Rock", Int. Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, **38**,981-994.

Paone .J., Madson. D. ve Bruce, W.E., 1969; "Drillability Studies-Laboratory Percussive Drilling" , USBM RI 7300, 52.

Pool, R.W. ve Farmer, I.W.,1978; "Geotechnical Factors Affecting Tunneling Machine Performance in Coal Measure Rock", Tunnels and Tunneling, 27-30.

Protodyakonov, M.M., 1962; "Mechanical Properties and Drillability of Rocks", Proc. 5th Symo. On Rock Mech., University of Minnesota, The MacMillan Co., New York, 103-118.

Rabia , H. ve Brook, W., 1980; "An Empirical Equation For Drill Performance Prediction", Proceedings of the 21st US Symposium on Rock Mechanics, Univ. Missouri_Rolla, 103-111.

Tamrock, (ed. M. Heiniö),1999; "Rock Excavation Handbook", Sandvik Tamrock Corp., 305

Tahdanand, S. ve Unger, H. F., 1975; "Drillability Determination, A Drillability Index For Percussive Drills", U. S. B. M., R. I. 8073, 20.

Yaralı. O., 2007; "Tünel Açma Makinalarının Performans Analizinde Kullanılan Delme Oranı İndeksinin (DRI) Tahmini", 2. Ulaşımında Yeraltı Kazıları Sempozyumu Bildiriler Kitabı, İstanbul, 169-181.

Yergök A F, Akman Ü, İplikçi E, Karabalık N, Keskin N, Mengi H, Umut M, Armağan F, Erdoğan K, Kaymakçı H. ve Çetinkaya A ,1987; "Batı Karadeniz Bölgesinin Jeolojisi", MTA Gen Müd., MTA Rap. No: 8273, Ankara, 250.