



# Armutçuk Kömür Çevre Kayaçlarının Dayanım, Delinebilirlik ve Aşındırıcılık Özellikleri ile Öğütülebilirlikleri Arasındaki İlişkilerin Belirlenmesi

*Determination of the Relationships Between Strength, Drillability and Abrasiveness Properties and Grindability of Armutçuk Coal Environmental Rocks*

Çağrı Aldı\*

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Çaycuma Meslek Yüksekokulu, Zonguldak, Türkiye

## Öz

Yeraltı madencilik faaliyetleri kapsamında sürülen galerilerin daha ekonomik açılması için kullanılacak olan mekanize kazı makinelerinin (kollu galeri açma makinası, elektro hidrolik delici, vb.) seçimi ile performans tahmin analizlerinde kullanılabilecek ve makine enerji tüketimi konusunda fikir verecek yeni yöntemler geçmişten günümüze araştırılmaktadır. Bu çalışmanın amacı kayaçların öğütülebilirliği ile dayanım, delinebilirlik ve aşındırıcılık değerleri arasındaki ilişkileri laboratuvar ortamında incelemektir. Bu doğrultuda sedimanter kökenli 7 kayacın öğütülebilirliklerini belirlemek için Hardgrove öğütülebilirlik indeksi (HGI) deneyi ve Bond iş indeksi (Bwi) deneyi yapılmıştır. Kayaçların delinebilirlik değerleri delme oranı indeksi (DRI) deneyi ile aşındırıcılıkları ise Cerchar aşınma indeksi (CAI) deneyi ile belirlenmiştir. Kayaçların dayanımlarını belirlemek için tek eksenli basınç dayanımı (UCS) ve Brazilian çekme dayanımı (BTS) deneyleri yapılmıştır. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar neticesinde kayaçların öğütülebilirlikleri ile kayaçların dayanım, delinebilirlik ve aşındırıcılık değerleri arasında anlamlı ilişkiler elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Bond iş indeksi, hardgrove öğütülebilirlik indeksi, delinebilirlik, aşındırıcılık, dayanım

## Abstract

The selection of mechanized excavation machines (roadheader, electro-hydraulic drill, etc.) that will be used for more economical opening of the driven galleries within the scope of underground mining activities, and new methods that can be used in performance estimation analyzes and give an idea about machine energy consumption are being researched from past to present. The aim of this study is to examine the relationships between the grindability of rocks and their strength, drillability and abrasiveness values in a laboratory setting. In this respect, Hardgrove grindability index (HGI) test and Bond work index (Bwi) test were conducted to determine the grindability of 7 sedimentary rocks. The drillability values of the rocks were determined by the Drilling Rate Index (DRI) test and the abrasiveness was determined by the Cerchar Abrasiveness Index (CAI) test. Uniaxial compressive strength (UCS) and Brazilian tensile strength (BTS) tests were performed to determine the strength of the rocks. As a result of the results obtained from the experimental studies, significant relationships were obtained between the grindability of the rocks and the strength, drillability and abrasiveness values of the rocks.

**Keywords:** Bond work index, hardgrove grindability index, drillability, abrasiveness, strength

## 1. Giriş

Madencilikte öğütme aşaması enerji tüketimi açısından önemli yer tutmaktadır. Öğütme işleminde yüksek verim elde etmek enerji sarfiyatının azalışı ile ifade edilir. Bir

öğütme işleminde amaç; uygun öğütme boyutunda, öğütme miktarının maksimum olması, buna karşılık ufalanan malzemenin tonu başına harcanan enerjinin minimum olmasıdır.

Geçmişten günümüze birçok araştırmacı öğütülebilirlik konusu üzerinde çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmaların büyük çoğunluğu kömürün öğütülebilirliği üzerine yoğunlaşmıştır. Diğer kayaçların öğütülebilirliğinin araştırıldığı çalışma sayısı ise sınırlıdır. Zonguldak Havzası'ndaki sedimanter kökenli taş kömürü çevre kayaçlarının içinde bulunduğu çalışma ise bulunmamaktadır. Bu çalışmanın diğer çalışma-

\*Sorumlu yazarın e-posta adresi: [cagrialdi67@gmail.com](mailto:cagrialdi67@gmail.com)

Çağrı Aldı [orcid.org/0000-0003-4029-0527](https://orcid.org/0000-0003-4029-0527)



lardan farkı; öğütülebilirliğin sadece kömür için değil, diğer kayaçlar için de yapılabilir olduğunu göstermek ve Zonguldak Havzası Armutçuk kömür çevre kayaçlarının öğütülebilirliği (HGI,  $B_{wi}$ ) ile, diğer parametreler (UCS, BTS, DRI, CAI) arasındaki ilişkileri ilk kez incelemektir.

Öğütülebilirliğin araştırıldığı çalışmalarda çoğunlukla Bond iş indeksi ( $B_{wi}$ ) deney yöntemi ön plana çıkmaktadır. Malzemelerin öğütülebilirlik ve  $B_{wi}$ 'nin belirlenmesi için yapılan bu deneyin, uzun süren ve yorucu olması nedeniyle birçok araştırmacı tarafından sürecin daha kolaylaştırılması için yöntemler önerilmiştir. Deney yönteminin uygulanışı ve basitliğinden dolayı Hardgrove öğütülebilirlik indeksi (HGI) deneyi daha çok tercih edilmektedir (Berry ve Bruce 1966, Horst ve Bassarear 1976, Karra 1981, Magdalinović 1989).

Kayaçların öğütülebilirliği (HGI,  $B_{wi}$ ) ile diğer parametreler (UCS, BTS, DRI, CAI) arasındaki ilişkilerin incelendiği birçok çalışma yapılmıştır. Tamrock (1999) kayaçların aşındırıcılığının belirlenmesinde yapılan deneyler arasında HGI deney yönteminin olduğunu da belirlemiştir.

Tiryaki vd. (2001) ve Tiryaki (2005) yaptıkları çalışmalarda, Çayırhan kömürlerinin sertlik özellikleri ile HGI özellikleri arasında güçlü ilişkiler elde etmişlerdir.

Özkahraman (2005), kayaçların delinebilirlik değerinin bulunmasında en çok kullanılan yöntem olan delme oranı indeksi (DRI) deneyinin parametresi olan kayaç kırılgenlik ( $S_{20}$ ) özelliği ile  $B_{wi}$  arasında anlamlı ilişkiler bulunmuştur.

Özer ve Çabuk (2006) yapmış oldukları çalışmada öğütülebilirliğin daha pratik olarak tahmin edilmesini araştırmışlar ve yapmış oldukları deneyler neticesinde, Shore sertliği, tek eksenli basınç dayanımı ve nokta yük indeksiyle  $B_{wi}$ 'nin daha az maliyetle, kolay ve hızlı bir biçimde tahmin edilebileceği sonucuna ulaşmışlardır. Ancak yapılan deneylerin sınırlı olduğu ve elde edilen sonuçların tüm kayaçlar için geçerli olduğunu söyleyebilmek için daha çok kayaç örneğinde aynı araştırmaların yürütülmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Özer ve Çabuk (2007), dört farklı kalker ve iki farklı kromit numunesi kullandıkları çalışmalarında, Bond iş indeksi ( $B_{wi}$ ) ile kaya parametreleri arasındaki ilişkileri araştırmışlardır. Kayaçların Bond iş indeksi ( $B_{wi}$ ) değerlerini ve mekanik dayanım değerlerini belirlemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre, tek eksenli basınç dayanımı değerlerinin Bond iş indeksi ile en yüksek ilişkileri verdiği bulunmuştur.

Swain ve Rao (2009) kayaçlar üzerinde yapmış oldukları çalışmada, HGI ile hesaplanmış oldukları  $B_{wi}$  değerleri ile

deneysel çalışmalardan elde ettikleri  $B_{wi}$  değerleri arasında oldukça güçlü bir ilişki elde etmişlerdir. Araştırmacılar, kayaçların öğütülebilirliklerinin, pratik bir deney yöntemi olan HGI ile kolaylıkla tespit edilebileceğini ortaya koymuşlardır.

Abdelhaffez (2012), Bond iş indeksi ile kayaçların aşındırıcılık ve tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişkileri incelemiş ve Bond iş indeksi ( $B_{wi}$ ) ile tek eksenli basınç dayanımı (UCS) arasında anlamlı ilişki bulmuştur.

Aras vd., (2020) yaptıkları çalışmada Schmidt sertliği, dolaylı çekme dayanımı, tek eksenli basınç dayanımı, nokta yükü dayanım indeksi deneyleri yapmışlar ve bu deneylerden elde ettikleri sonuçları yapay sinir ağları yönteminde kullanarak  $B_{wi}$  değerlerini tahmin etmeye çalışmışlardır.

Abdelhaffez (2020) farklı mineralojik özelliklere sahip altın cevherlerinin öğütülmesinde, basınç dayanımı ve petrografik özellikler ile  $B_{wi}$  arasındaki ilişkiyi araştırmıştır.

Sakız (2021) yapmış olduğu çalışmada delinebilirlik değerinin, kayacın HGI özelliği ile kolay bir şekilde bulunabileceğini belirlemiştir ve sınıflama sistemi önermiştir. Ancak, yapılan sınıflamanın güvenilirliğini belirlemek için kayaç sayısının artırılmasını ve kayaçların kökenlerine göre ayrıca değerlendirilmesi gerektiğini belirtmiştir. Ek olarak, öğütülebilirlik sınıflaması ile ilgili olarak aralıkların hassasiyetinin incelenmesi gerektiğini vurgulamıştır.

Bu bilgiler ışığında kayaçların öğütülebilirlikleri (HGI,  $B_{wi}$ ) ile diğer parametreler (UCS, BTS, DRI, CAI) arasındaki ilişkileri belirlemek için laboratuvarında deneysel çalışmalar yapılmıştır.

## 2. Gereç ve Yöntem

Çalışma kapsamında Zonguldak Havzası'ndaki Armutçuk bölgesinden alınan sedimanter kökenli 7 farklı kayaç türü üzerinde deneyler yapılmıştır. Kayaçların dayanım değerleri tek eksenli basınç dayanımı (UCS) ve Brazilian çekme dayanımı (BTS) deneyleri ile belirlenmiştir. Deneysel çalışmalardan tek eksenli basınç dayanımı (UCS) deneyinde ISRM (1981), Brazilian çekme dayanımı (BTS) deneyinde ise ISRM (1978) tarafından önerilen yöntem izlenmiştir.

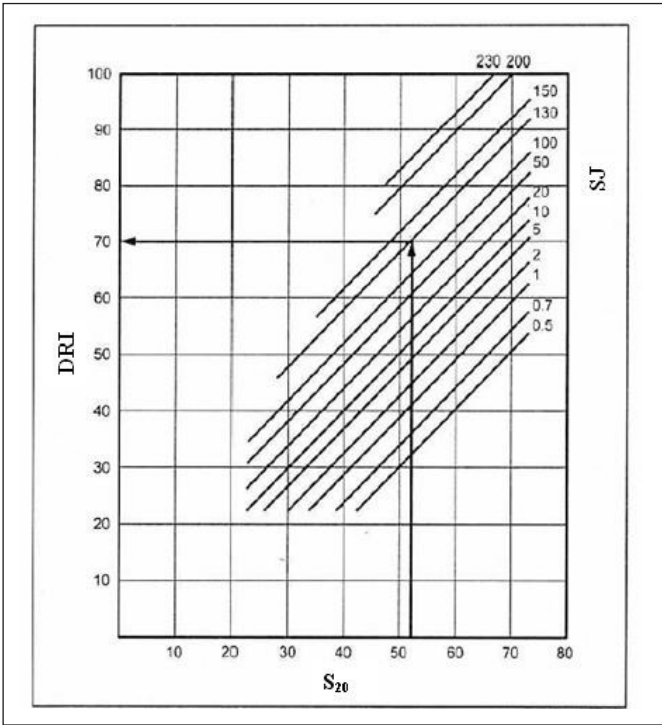
Deneylerde kullanılan hidrolik pres Şekil 1'de gösterilmiştir.

Kayaçların delinebilirlikleri  $S_{20}$  kırılgenlik ve SJ minyatür delme deneyleri yapılarak belirlenmiş ve Şekil 2'deki abak kullanılarak delme oranı indeksleri (DRI) bulunmuştur.

Delinebilirlik deneylerinde kullanılan deney aletleri Şekil 3 ve Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Tek eksenli basınç dayanımı (UCS) ve Brazilian çekme dayanımı (BTS) deneylerinin gerçekleştirildiği hidrolik press.



Şekil 2. DRI'nin belirlenmesinde kullanılan diyagram (Dahl 2003).

Kayaçların aşındırıcılık değerlerini belirlemek için ise Cerc-har aşınma indeksi (CAI) deneyleri yapılmıştır. Deneylerde Alber vd. (2013)'ün önermiş olduğu yöntem göz önünde bulundurulmuştur. Deneylerde kullanılan deney aleti Şekil 5'de, bilgisayar destekli mikroskopla yapılan görüntüleme sistemi Şekil 6'da ve Şekil 7'de ise görüntüleme sisteminden elde edilen ölçümler gösterilmiştir.

Kayaçların öğütülebilirliklerini belirlemek için HGI deneyi ve  $B_{wi}$  deneyi yapılmıştır ve her 2 deney yöntemi için bulunan sonuçlar, kayaçların dayanım, delinebilirlik ve aşındı-



Şekil 3. Kırılganlık deney aleti.



Şekil 4. Sievers J minyatür deney aleti.

rıcılık değerleri ile karşılaştırılmıştır. Hardgrove deneyinde kullanılan deney aleti Şekil 8'de gösterilmiştir. Öncelikle kayaç örnekleri için  $-1180 \mu\text{m} +600\mu\text{m}$  tane boyutunda 50 gramlık örnekler hazırlanmıştır. Sonrasında, hazırlanan örnekler için HGI değirmeninde 60 devirde öğütülmüştür.

Son olarak, öğütülmüş malzeme 200 mesh elekten elenerek, HGI sonuçları aşağıda verilen Eşitlik (1)'e göre bulunmuştur.

$$HGI = 13 + 6.93m_H \quad (1)$$

Burada;

HGI: Hardgrove öğütülebilirlik indeksi,

$m_H$ : 200 mesh boyutunda elekten geçen kayaç miktarıdır.



Şekil 5. West tam otomatik CAI deney aleti.

Bond (1961), malzemelerin iş indekslerini belirlemek için kendisine ait test yöntemini geliştirmiştir.  $B_{wi}$ , kuramsal olarak sonsuz boyuttaki cevher kütlelerinin %80'inin geçtiği sınırsız teorik elek boyutunu 100 mikrona getirmek için yapılan öğütme işlemindeki ton başına harcanan enerji olarak tanımlanabilir. Deney aleti Şekil 9'da gösterilmiştir. Eşitlik (2)'de belirtilen eşitlikte deneye bağlı  $B_{wi}$  öğütülen malzeme için bulunur.

$$B_{wi} = 44.5 / \left( (p1)^{0.23} * (G)^{0.82} * \left( \frac{10}{\sqrt{P}} \right) - \left( \frac{10}{\sqrt{F}} \right) \right) \quad (2)$$

Burada;

$B_{wi}$ : Bond iş indeksi (kWh/t),

P1: deneyin yapıldığı elek açıklığı ( $\mu$ m),

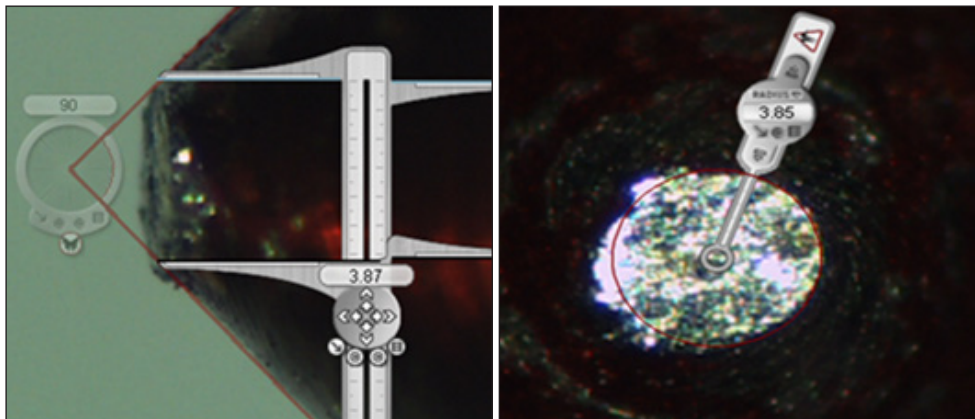
G: Bond'un standart bilyalı değirmen öğütülebilirlik değeri (gr/dv),

P: nihai ürünün %80'inin geçtiği elek açıklığı ( $\mu$ m),

F: beslenen malzemenin %80'inin geçtiği elek açıklığıdır ( $\mu$ m).



Şekil 6. Bilgisayar destekli mikroskop yardımıyla yapılan görüntüleme sistemi.



Şekil 7. Aşınmış uçların mikroskop altında yatay ve düşey konumda ölçülmesi.

Çizelge 1. Deney sonuçları.

| Örnek Türü | HGI    | B <sub>wi</sub> (kWh/t) | UCS (MPa) | BTS (MPa) | DRI   | CAI  |
|------------|--------|-------------------------|-----------|-----------|-------|------|
| Kumtaşı 1  | 83.70  | 17.74                   | 57.90     | 4.86      | 57.00 | 2.62 |
| Kumtaşı 2  | 75.40  | 19.12                   | 76.90     | 5.50      | 60.00 | 2.48 |
| Kumtaşı 3  | 80.20  | 17.74                   | 65.40     | 4.92      | 62.00 | 2.50 |
| Kumtaşı 4  | 84.40  | 17.61                   | 50.90     | 4.62      | 60.00 | 2.84 |
| Kumtaşı 5  | 77.40  | 18.33                   | 73.70     | 4.99      | 59.00 | 3.04 |
| Kumtaşı 6  | 97.50  | 15.02                   | 45.80     | 4.37      | 65.00 | 2.44 |
| Kireçtaşı  | 120.40 | 12.62                   | 42.60     | 4.24      | 68.00 | 1.86 |



Şekil 8. Hardgrove öğütülebilirlik indeksi (HGI) deney aleti.

### 3. Bulgular ve Tartışma

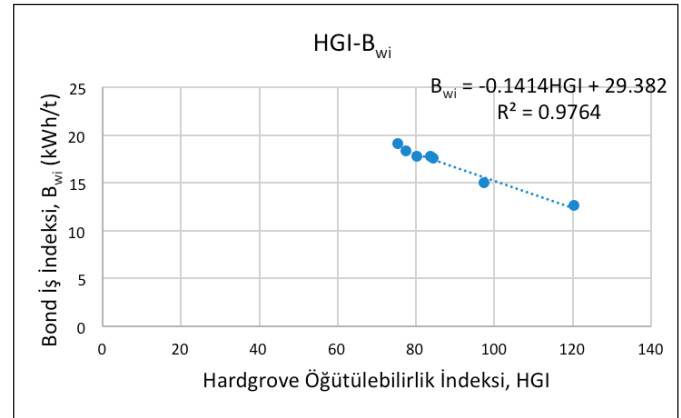
Bu deneysel çalışmada, Hardgrove öğütülebilirlik indeksi (HGI), Bond iş indeksi ( $B_{wi}$ ), delme oranı indeksi (DRI), Cerchar aşınma indeksi (CAI), tek eksenli basınç dayanımı (UCS) ve Brazilian çekme dayanımı (BTS) deneyleri yardımıyla bir veri tabanı hazırlanmıştır ve yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge 1'de sunulmuştur. Deneylerde kullanılan kayaçlar Zonguldak Havzası Armutçuk bölgesinden alınmıştır.

Deney sonuçlarına göre HGI ile  $B_{wi}$  deneyi arasındaki ilişkilere bakılmıştır (Şekil 10).

Grafik incelendiğinde, 2 deney sonucu arasında anlamlı ilişki bulunmuştur ( $R^2=0.98$ ). Öğütülebilirlik ne kadar kolay olursa, harcanan enerji o kadar azalmaktadır. Geçmişte yapılan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir (Berry ve Bruce 1966, Horst ve Bassarear 1976, Karra 1981,



Şekil 9. Bond bilyalı değirmen deney aleti.



Şekil 10. HGI ile  $B_{wi}$  arasındaki ilişki.

Magdalinović 1989, Swain ve Rao 2009, Sakız 2021). Uygulanış açısından Hardgrove öğütülebilirlik indeksi (HGI) deneyinin uygulanış yönünden daha basit ve az zaman alıyor olması göz önüne alınarak, bu deney yönteminden elde edilecek sonuçlara bağlı olarak Bond iş indeksi ( $B_{wi}$ ) deneyi sonucu bulunan enerji değeri rahatlıkla tahmin edilebilecektir.

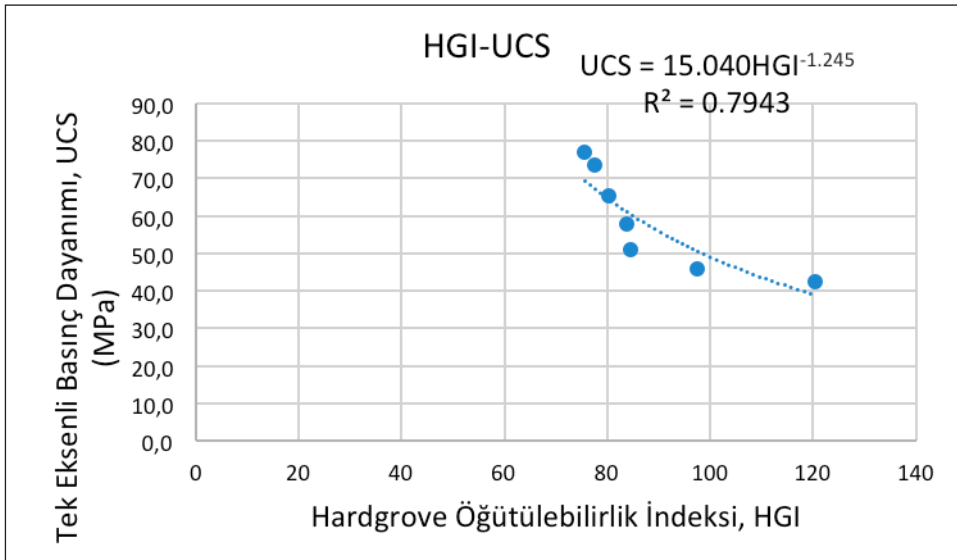
Çizelge 1'de gösterilen sonuçlar çerçevesinde kayaçların öğütülebilirlik değerleri (HGI,  $B_{wi}$ ) ile diğer parametreler (UCS, BTS, DRI, CAI) arasındaki ilişkiler grafiklerle gösterilmiştir. Öğütülebilirlik deneyleri ile dayanım deneyleri arasındaki ilişkiler Şekil 11-14'de gösterilmiştir.

Grafikler incelendiğinde kayaçların öğütülebilirlik değerleri ile dayanım değerleri arasında anlamlı ilişkiler elde edilmiştir. Kayaçların dayanımı arttıkça öğütülebilirliğin zorlaştığı ve azaldığı, buna karşılık kayaçların dayanımı arttıkça harcanan enerjinin de arttığı anlaşılmaktadır. Geçmişte yapılan çalışmalarda benzer sonuçlar ortaya konmuştur (Özer ve Çabuk 2006, Özer ve Çabuk 2007, Abdelhaffez 2012, Aras vd., 2020). Bundan sonra yapılacak çalışmalarda mekanize kazı işlemlerinde delme işlemi yapılırken öğütme anında harcanan enerji hesaplanırken, kayaçların dayanım değerleri

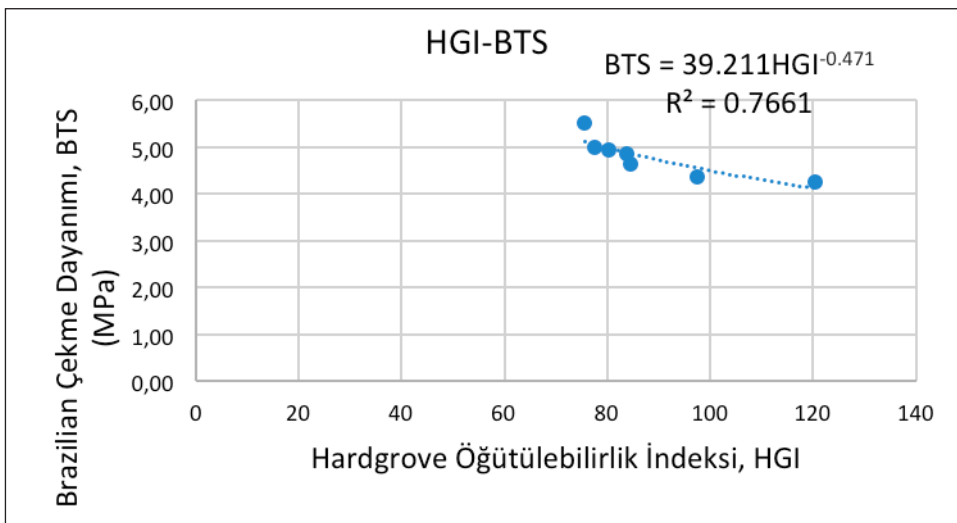
(UCS, BTS) ile öğütülebilirlik değerleri (HGI,  $B_{wi}$ ) arasında daha doğru analizler yapılabilecektir.

Öğütülebilirlik parametreleri (HGI,  $B_{wi}$ ) ile delme oranı indeksi (DRI) karşılaştırılmıştır ve ilişkiler Şekil 15 ve Şekil 16'da gösterilmiştir.

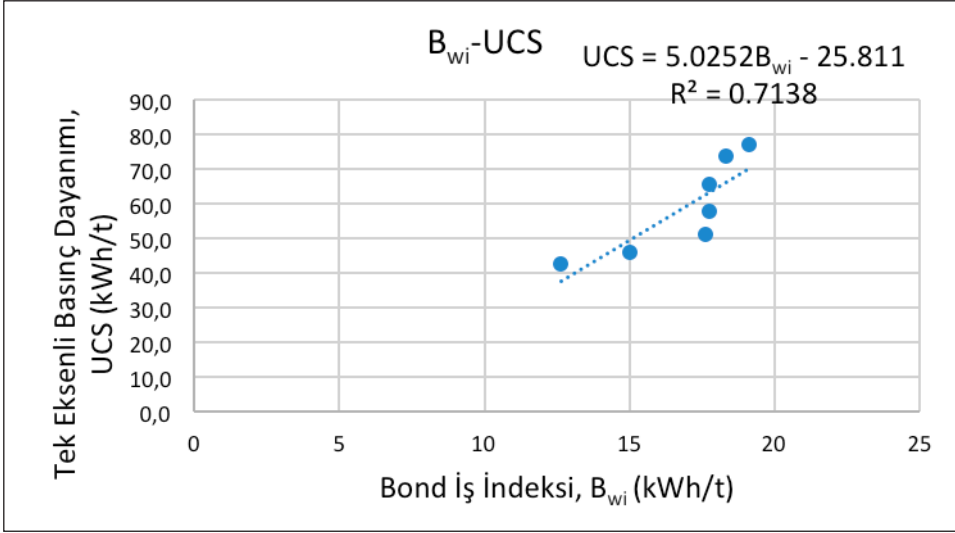
Grafiklerden de anlaşılacağı üzere kayaçların delinebilirliği zorlaştıkça, harcanan enerji artmaktadır. Delinebilirlik kolaylaştıkça, öğütülebilirlik de o derecede kolay olmaktadır. Özkahraman (2005), yapmış olduğu çalışmada benzer sonuç elde etmiştir. Özellikle mekanize kazı çalışmalarında harcanan enerjinin bulunmasında, delici ucun kayaç içerisine girdikten sonra öğütme anında harcadığı enerji dikkate alınarak, spesifik enerjinin değerlendirilmesinde öğütülebilirlik anında harcanan enerji de ayrıca araştırılmalıdır.



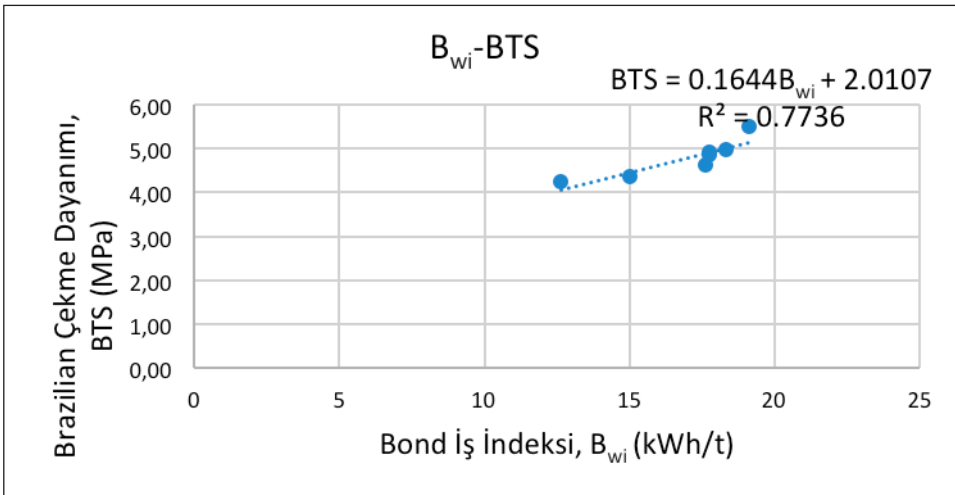
Şekil 11. HGI ile UCS arasındaki ilişki.



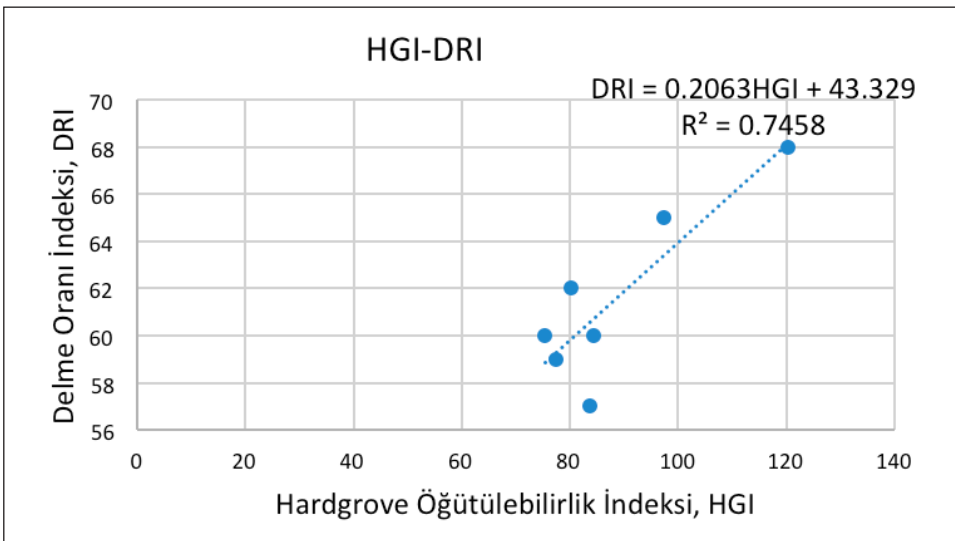
Şekil 12. HGI ile BTS arasındaki ilişki.



Şekil 13. B<sub>wi</sub> ile UCS arasındaki ilişki.



Şekil 14. B<sub>wi</sub> ile BTS arasındaki ilişki.



Şekil 15. HGI ile DRI arasındaki ilişki.

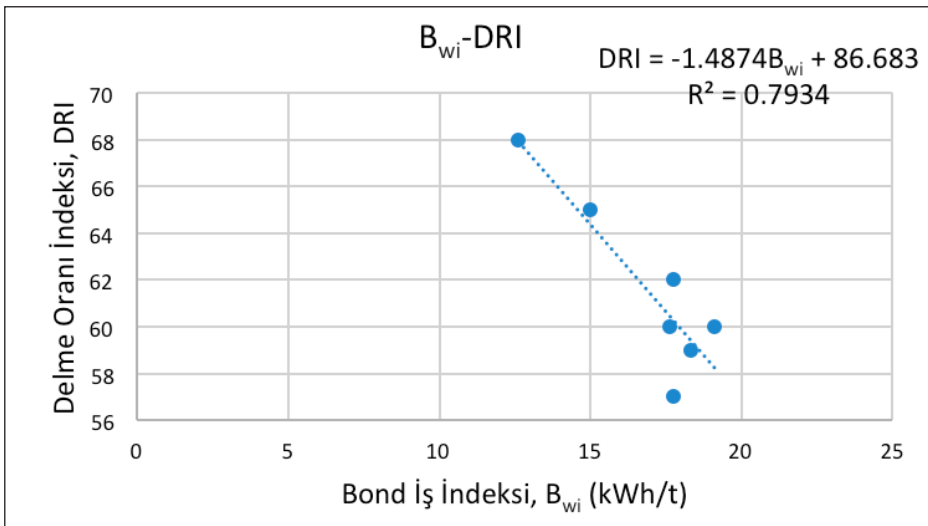
Öğütülebilirlik deneyleri (HGI,  $B_{wi}$ ) ile Cerchar aşınma indeksi (CAI) deney yöntemi karşılaştırılmıştır ve aralarındaki ilişki Şekil 17 ve Şekil 18'de gösterilmiştir.

Grafiklere bakıldığında kayaçların aşındırıcılığı arttıkça, harcanan enerjinin de arttığı görülmektedir. Aşındırıcılık ne kadar az ise, öğütülebilirlik o kadar kolay olmaktadır. Diğer değişkenlerle (DRI, UCS, BTS) öğütülebilirlik deneyleri (HGI,  $B_{wi}$ ) arasındaki ilişkilere göre, Cerchar aşınma indeksi (CAI) ile öğütülebilirlik değerleri (HGI,  $B_{wi}$ ) arasındaki ilişkilere daha düşük ilişkiler ortaya çıkmıştır. Bu durum kayaçların aşındırıcı mineral ortalama tane boyutu, çimentolanma derecesi gibi petrografik özelliklerine bakılarak daha sonraki çalışmalarda göz önünde bulundurulmalıdır. Kayaçların aşındırıcılığı ile ilgili yapılacak olan değerlendirmelerde petrografik analiz sonuçları da mutlaka incelenmelidir.

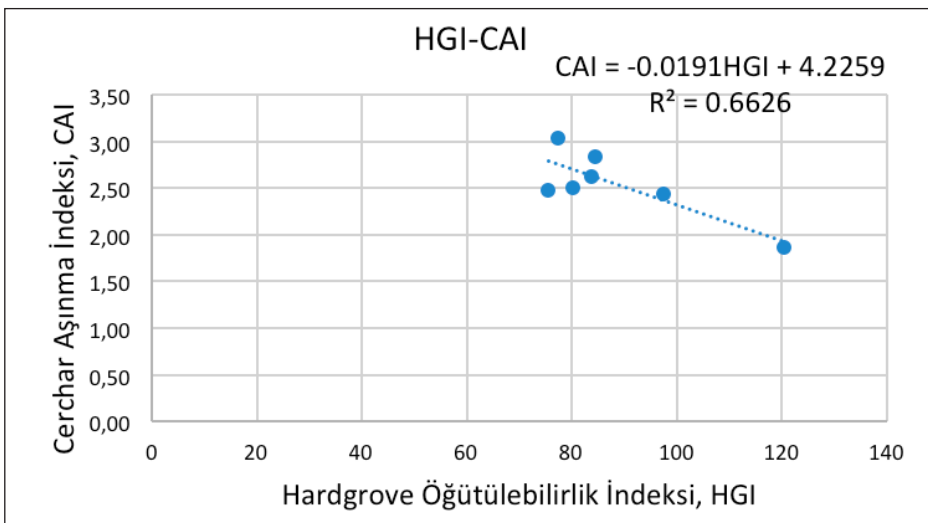
Değişkenler arasındaki ilişkiler basit regresyon (tek değişkenli) analizi ile irdelenmiş olup sonuçlar Çizelge 2'de verilmiştir.

**Çizelge 2.** Çalışma kapsamında basit regresyon analizi ile elde edilen ilişkiler.

| Elde Edilen İlişki             | R <sup>2</sup> |
|--------------------------------|----------------|
| $B_{wi} = -0,1414HGI - 29,382$ | 0,98           |
| $DRI = -1,4874B_{wi} - 86,683$ | 0,79           |
| $DRI = 0,2063HGI + 43,329$     | 0,75           |
| $CAI = -0,0191HGI + 4,2259$    | 0,66           |
| $CAI = 0,1277B_{wi} + 0,3833$  | 0,61           |
| $UCS = 5,0252B_{wi} - 25,811$  | 0,71           |
| $BTS = 0,1644B_{wi} + 2,0107$  | 0,77           |
| $UCS = 15,040HGI^{-1,245}$     | 0,79           |
| $BTS = 39,211HGI^{-0,471}$     | 0,77           |

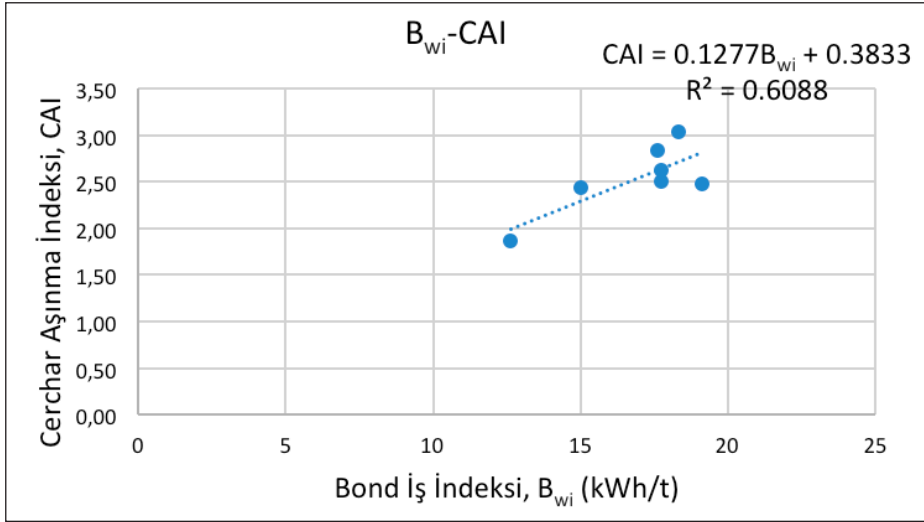


Şekil 16.  $B_{wi}$  ile DRI arasındaki ilişki.



Şekil 17. HGI ile CAI arasındaki ilişki.





Şekil 18.  $B_{wi}$  ile CAI arasındaki ilişki.

#### 4. Sonuçlar

Elde edilen sonuçlar neticesinde öğütülebilirlik deney yöntemlerinin (HGI,  $B_{wi}$ ) sadece kömür için değil, diğer kayaçlar için de kullanılabilir olduğu görülmektedir. Öğütülebilirlik deney yöntemleri (HGI,  $B_{wi}$ ) ile kayaçların dayanım, delinebilirlik ve aşındırıcılık (UCS, BTS, DRI, CAI) özellikleri arasında anlamlı ilişkiler bulunmuştur. Öğütülebilirlik deney yöntemleri (HGI,  $B_{wi}$ ) arasında çok yüksek bir ilişki elde edilmiştir ( $R^2=0,98$ ) Bu yüzden bu yöntemlerden bir tanesi kullanılarak diğer deney yönteminden elde edilecek sonuçlar tahmin edilebilir. Ancak daha güvenilir sonuçlar elde etmek için örnek sayısı artırılmalı, diğer kayaç türleri için de deneyler yapılmalı ve tüm parametrelerin (dayanım, delinebilirlik, aşındırıcılık) öğütülebilirliğe birlikte olan etkisi de değerlendirilmelidir. Magmatik ve metamorfik kayaçların da yer aldığı öğütülebilirlikle ilgili çalışmalar yapılmalıdır. Ayrıca kayaçların sertlik ve petrografik özelliklerinin de öğütülebilirliğe olan etkileri diğer çalışmalarda detaylı şekilde incelenmelidir.

#### Kaynaklar

- Abdelhaffez, GS. 2012. Correlation Between Bond Work Index and Mechanical Properties of Some Saudi Ores, 40(1):271–280.
- Abdelhaffez, GS. 2020. Studying the Effect of Ore Texture on the Bond Work Index at the Mahd Ad Dahab Gold Mine: A Case Study, Rud. Geol. Naft. Zb., 35(1):111–121.
- Alber, M., Yaralı, O., Dahl, F., Bruland, A., Käsling, H., Michalakopoulos, TN., Cardu, M., Hagan, P., Aydın, H., Ozarslan, A. 2013. ISRM suggested method for determining the abrasivity of rock by the Cerchar abrasivity test, Rock Mech. Rock Eng., 47:261–266.

Aras, A., Özşen, H., Dursun, AE. 2020. Using Artificial Neural Networks for the Prediction of Bond Work Index from Rock Mechanics Properties, Miner. Process. Extr. Metall. Rev., 41 (3):145–152.

Berry, TF., Bruce, RW. 1966. A simple method of determining the grindability of ores. *Canadian Mining Journal* 87:63–65.

Bond, FC. 1961. Crushing and Grinding Calculations I-II, Br. Chem. Eng., 1–14.

Dahl, F. 2003. DRI, BWI, CLI standards, NTNU, 20.

Horst, WE., Bassarear, JH. 1976. Use of simplified ore grindability technique to evaluate plant performance. *AIME TRANS* 260.4: 348–351.

ISRM. 1978. Suggested Method for Determining Tensile Strength of Rock Materials, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. and Geomech, Abstr., 15:99–103.

ISRM. 1981. ISRM Suggested Methods: Rock Characterization, Testing and Monitoring, ed. E. T. Brown, Pergamon Press, London, 211 p.

Karra, VK. 1981. Simulation of the Bond grindability test.

Magdalinović, N. 1989. A procedure for rapid determination of the Bond work index. *International Journal of Mineral Processing* 27.1-2: 125–132.

Özer, Ü., Çabuk, E. 2006. Bond İş İndeksi ve Kaya Parametreleri Arasındaki İlişki, 1, 43–49.

Özer, Ü., Çabuk, E. 2007. Relationship between bond work index and rock parameters. Istanbul University the Journal of Engineering Faculty's Earth Sciences Review 20(1): 43–49.

Özkahraman, HT. 2005. A Meaningful Expression Between Bond Work Index, Grindability Index and Friability Value, 18:1057–1059.

**Sakız, U. 2021.** Kayaçların Mekanik ve Delinebilirlik Özellikleri ile Öğütülebilirliği Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi. *El-Cezeri*, 8(2):728-740.

**Swain, R., Rao, RB. 2009.** Alternative Approaches for Determination of Bond Work Index on Soft and Friable Partially Laterised Khondalite Rocks of Bauxite Mine Waste Materials, *J. Miner. Mater. Charact. Eng.*, 8(9):729-743.

**Tamrock. 1999.** Handbook of Underground Drilling.

**Tiryaki, B., Atasoy, K., Yaşıtı, NE., Eyüboğlu, AS., Aydın, MZ. 2001.** Studies in The Relationships Between Hardgrove Grindability and Some Rock Index Tests on Cayırhan Coals, *Proc. 20th Int. Min. Congr. Exhib. Turkey*, 2001, 451-458.

**Tiryaki, B. 2005.** Practical Assessment of the Grindability of Coal Using Its Hardness Characteristics, *Rock Mech. Rock Eng.*, 38(2):145-151.