

## Doğaltaşların CaO, MgO ve SiO<sub>2</sub> İçerikleri ile Knoop Sertlik Değerleri Arasındaki İlişkilerin Belirlenmesi

Murat SERT<sup>1</sup>, Mustafa GÜRSOY\*<sup>1</sup>, Zeyni ARSOY<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 03200, Afyonkarahisar

(İlk Gönderim / Received: 11. 12. 2017, Kabul / Accepted: 29. 12. 2017, Online Yayın / Published Online: 31. 12.2017)

### Anahtar Kelimeler

Doğaltaşlar,  
Kimyasal Analiz (XRF),  
Knoop Sertlik Değeri

**Özet:** Doğaltaşların sertlik derecesini belirleyen birçok parametre bulunmaktadır. Bunlardan en önemlilerinden biri doğaltaşların elementel bileşimleridir. Doğaltaşların içerdiği ana elementlerden olan kalsiyum (Ca), Silisyum (Si) ve Magnezyum (Mg) oranlarının sertlik üzerinde ne gibi etkilerinin olacağı da bu çalışmanın ana konusunu oluşturmaktadır. Bu çalışmada, Türkiye’de farklı alanlarda kullanılan, farklı oranlarda CaO içeriğine sahip beş farklı Ca (Kalsiyum) içerikli Kireçtaşı, beş farklı MgO içerikli Dolomitik Kireçtaşı ve beş farklı SiO<sub>2</sub> (Silisyum) içerikli Volkanik Doğaltaş olmak üzere toplam 15 çeşit doğaltaş numunesi kullanılmıştır. Doğaltaşların TS EN 14205’e göre yüzey sertlikleri ve TS EN 15309’a göre elementel bileşimleri belirlenmiştir. Çalışma sonucunda Mg, Ca, ve Si içeren doğaltaşların, sadece Ca, ve Si içeriklerine göre kendi aralarında yapılan karşılaştırmalarda anlamlı bir ilişki bulunamamıştır. Bunun yanında Ca, ve Si içeriklerine göre birbirleri ile yapılan karşılaştırmalarda Mg içeren dolomitik kireç taşlarının Ca içeren normal kireçtaşlarına göre yüzey sertliklerinin %15,60 daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

## Determination of Relations Between CaO, MgO and SiO<sub>2</sub> Contents and Knoop Hardness Values of Natural Stones

### Keywords:

Natural Stones,  
Chemical Analysis (XRF),  
Knoop Hardness

**Abstract:** There are many parameters that determine the hardness degree of natural stones. One of the most important of these is the elemental composition of natural stones. Calcium(Ca), silicon (Si) and magnesium (Mg), which are the main elements contained in the natural stone as to what would be the effects on the rate of hardness are the main issue of this study. With different proportions of CaO content five different Ca (Calcium) containing limestone, five different MgO dolomitic limestone and five SiO<sub>2</sub> (silicon) containing volcanic Stones, total 15 kinds of natural stone samples from different regions of Turkey were used in this study. The surface hardness were determined according to TS EN 14205 and the elemental composition were determined according to TS EN 15309 of natural stones. As a result, no significant correlation was found between natural Mg, Ca, and Si containing natural stones, compared themselves only with Ca and Si contents. In comparison with Ca and Si contents, Mg-containing dolomitic limestones have a surface hardness of 15,60% higher than Ca-containing normal limestones.

\*İlgili yazar: mgursoy@aku.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Doğaltaşların kullanım alanlarını belirleyebilmek için diğer mekanik özelliklerin yanı sıra sertlik ve elementel bileşimlerinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu zamana kadar yapılan bilimsel yayınlarda doğaltaşların elementel bileşimlerinin Knoop sertlik tayini üzerine etkisi konusunda çok az çalışma bulunmaktadır. Doğaltaşların ocak üretimlerinden başlayarak fabrikalarda nihai ürün elde edilme sürecine kadarki işlemlerde kullanılan makine ekipman seçiminde de sertlik ve elementel bileşimlerin belirlenmesinin rolü büyüktür. Basit birkaç örnek vermek gerekirse doğaltaşların kesme işlemlerinde kullanılan ST ve Katrakların kesici uçlarındaki elmas dizilimleri ve matris yapıları, kesilecek taşların içerdiği Si (Silis), Ca (Kalsit) ve Mg (Magnezyum) yüzdelerine göre değişiklik göstermektedir. Ca içerikli bir doğaltaşı kesen kesici uçlarla Si içerikli bir doğaltaşın kesilmesi, taşların sertlik parametrelerini değiştirmesinden ötürü hiç de ekonomik olmamaktadır.

Doğaltaşların sertliğini belirlemek için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemleri uygulanan yük şekline göre iki temel guruba ayırmak mümkündür.

1. Statik yük kullanılarak; Brinell, Vickers ve Knoop
2. Dinamik yük kullanılarak; Shore ve Schmidt.

Bu yöntemler doğaltaşların sertliklerini belirlemek için kullanılan en yaygın sertlik ölçüm yöntemleridir (Çelik v.d., 2011).

Sertlik izafî bir ölçü birimi olduğundan uluslararası birimler sisteminde (SI) yer almamaktadır. Bu nedenle çok farklı sertlik ölçüm yöntemleri ortaya çıkmıştır. Doğaltaşlarda kullanılan en yaygın sertlik göstergesi Mohs Sertlik Skalasıdır (Çizelge 1). Yer yüzünde oluşmuş tüm doğal mineraller en yumuşağından en sertine kadar bu skalaya göre sınıflandırılabilir. Tablosu.

**Çizelge 1.** Minerallerin Mohs Sertlik Skalasına Göre Değerleri ve Knoop Sertliği Dönüşümü Tablosu.

| Mineral  | Mohs | Knoop (HK) |
|----------|------|------------|
| Talk     | 1    | 1          |
| Jips     | 2    | 32         |
| Kalsit   | 3    | 135        |
| Florit   | 4    | 163        |
| Apatit   | 5    | 430        |
| Feldspat | 6    | 560        |
| Kuars    | 7    | 820        |
| Topaz    | 8    | 1340       |
| Korund   | 9    | 1800       |
| Elmas    | 10   | 7000       |

Daha önce yapılan bilimsel çalışmalar incelendiğinde, doğaltaşların sertliklerine etki eden etmenler ile ilgili önemli çalışmalar bulunmaktadır.

Yaşar v.d., 2014 çalışmalarında Schmidt Sertliğinin kesilebilirlik parametrelerinden spesifik kesme kuvveti, spesifik normal kuvvet,

spesifik enerji ve keski aşınma hızlarıyla üstel ilişkiler elde etmişlerdir.

Karaman v.d., 2011 çalışmalarında Schmidt çekici sertlik değerleri baz alınarak tek eksenli basınç dayanımı tahmini olarak elde etmiş ve gerçek tek eksenli basınç değerleriyle karşılaştırmıştır. Buna göre; Tahmini tek eksenli basınç dayanımlarının gerçek tek eksenli basınç değerlerine en fazla yaklaştığı durum, tüm örnekler için yalnızca ASTM (2001), Sumner ve Nel (2002) yöntemleri olduğu belirlenmiştir.

Çelik v.d., 2011 çalışmalarında karbonat kökenli doğaltaşlarda kristal boyutu ile knoop sertlik değeri arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Mermerlerin Knoop sertlik ve kristal boyutu değerleri karşılaştırılmış ve aralarında ters orantı olduğu belirlenmiştir. Tane boyutu büyüdükçe Knoop sertlik değerinin azaldığı görülmüştür.

Carter v.d., 1993 çalışmalarında kalsitin knoop sertliği ve kırılma anizotropisi konusunda çalışmışlardır. Bu çalışmada yük arttıkça, kırılma anizotropileri arasındaki değişimler incelemiştir.

Athanasiou v.d., 2016 çalışmalarında beton ve doğal taşların elastik özelliklerinin değerlendirilmesi için Knoop sertliğinin kullanılmasını araştırmışlardır. Çalışma sonucunda gözenekli taşların yüzey işlemleri sırasında cila maddesinin taşların gözeneklerine dolması sonucunda sert bir kabuk etkisi

göstererek Knoop Sertliğini artırabileceği sonucuna varmışlardır.

Beste ve Jacobson 2003 çalışmalarında taşların sertlik ölçümlerinde, özellikle de çok mineralli kayalar için ölçeklendirmenin önemini açıklamaktadır. Çalışma sonucunda sertlik spektrumu, büyük ölçekli sertlik veya ortalama mikro sertlik değerleri tarafından sağlanmayan kaya türleri arasında büyük farklılıklar olduğu ifade edilmiştir.

Bu çalışmada; Türkiye’de farklı alanlarda yaygın olarak kullanılan 15 farklı doğaltaşın kimyasal içeriği ile Knoop sertlik değeri arasındaki ilişki araştırılmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Materyal

Bu çalışmada, Türkiye’de yaygın olarak kullanılan ve kimyasal içeriği farklı olan 15 farklı doğaltaş kullanılmıştır. Kullanılan numuneler kökenlerine göre sınıflandırılarak ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Sınıflandırma yapılırken doğaltaşların kimyasal içerikleri göz önüne alınmıştır. %90’dan büyük CaCO<sub>3</sub> içeriğine sahip doğaltaşlar kireçtaşı, CaCO<sub>3</sub>’ün yanında %13-17 arasında MgO içeriğine sahip doğaltaşlar ise dolomitik kireçtaşı (MgCaCO<sub>3</sub>), SiO<sub>2</sub> içeriği %45-68 arasında olan doğaltaşlar ise volkanik doğaltaşlar olarak ifade edilmiştir.

Deneylerde kullanılan doğaltaşların kimyasal içerikleri Çizelge 3, 4 ve 5'te verilmiştir.

Çalışmada kullanılan doğaltaşların çıkarıldığı iller Çizelge 2'de verilmektedir.

**Çizelge 2.** Deneylerde Kullanılan Doğaltaşların Çıkarıldığı Bölgeler.

| Numune Kodu | Çıkarıldığı Yer         |
|-------------|-------------------------|
| L-1         | Antalya/Elmalı          |
| L-2         | Burdur/Yeşilova         |
| L-3         | Burdur/Yeşilova         |
| L-4         | Balıkesir/Savaştepe     |
| L-5         | İtalya/Carrara          |
| D-1         | İtalya/Carrara          |
| D-2         | Çin/Fujian              |
| D-3         | Manisa/Soma             |
| D-4         | Isparta/Aksu            |
| D-5         | Burdur/Karamanlı        |
| V-1         | Hindistan/Chamarajnagar |
| V-2         | Kayseri/Kocasinan       |
| V-3         | Kayseri/Melikgazi       |
| V-4         | Aksaray/Sarıyahşi       |
| V-5         | Çin/Jiangsu             |

**Çizelge 3.** Deneylerde Kullanılan Kireçtaşı Numunelerinin Kimyasal (XRF) Analizi Sonuçları.

| Bileşim (%)                    | L-1    | L-2    | L-3    | L-4    | L-5    |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| SiO <sub>2</sub>               | 0,060  | 0,055  | 0,070  | 0,222  | 2,919  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,014  | 0,032  | -      | 0,046  | 0,319  |
| CaO                            | 58,000 | 57,474 | 56,436 | 55,076 | 53,310 |
| MgO                            | 0,296  | 0,336  | 0,294  | 0,426  | 0,890  |
| Na <sub>2</sub> O              | 0,034  | -      | -      | -      | -      |
| K <sub>2</sub> O               | -      | -      | -      | 0,014  | 0,190  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,017  | 0,033  | 0,062  | 0,089  | 1,122  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,005  | 0,005  | 0,031  | 0,023  | 0,011  |
| SrO                            | 0,039  | 0,014  | 0,013  | 0,025  | 0,043  |
| A.Z.                           | 41,500 | 42,043 | 43,096 | 44,055 | 40,904 |
| Diğer                          | 0,034  | 0,009  | 0,000  | 0,024  | 0,293  |

**Çizelge 4.** Deneylerde Kullanılan Dolomitik Doğaltaş Numunelerinin Kimyasal (XRF) Analiz Sonuçları.

| Bileşim (%)                    | D-1    | D-2    | D-3    | D-4    | D-5    |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| SiO <sub>2</sub>               | 0,199  | 0,241  | 0,187  | 1,039  | 0,094  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,065  | 0,051  | 0,065  | 0,165  | 0,044  |
| CaO                            | 39,155 | 38,354 | 38,571 | 39,591 | 42,600 |
| MgO                            | 16,900 | 16,154 | 14,661 | 14,305 | 13,100 |
| K <sub>2</sub> O               | 0,018  | 0,013  | 0,011  | 0,092  | 0,003  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,134  | 0,133  | 0,115  | 0,540  | 0,116  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,016  | 0,096  | 0,014  | 0,072  | 0,067  |
| SrO                            | 0,088  | 0,022  | 0,024  | 0,022  | 0,014  |
| A.Z.                           | 43,426 | 44,881 | 46,328 | 44,128 | 43,900 |
| Diğer                          | 0,000  | 0,055  | 0,025  | 0,049  | 0,062  |

**Çizelge 5.** Deneylerde Kullanılan Volkanik Doğaltaş Numunelerinin Kimyasal (XRF) Analiz Sonuçları.

| Bileşim (%)                    | V-1    | V-2    | V-3    | V-4    | V-5    |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| SiO <sub>2</sub>               | 45,616 | 47,146 | 50,024 | 66,959 | 68,000 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 16,075 | 7,935  | 8,031  | 2,485  | 1,660  |
| CaO                            | 9,234  | 11,671 | 8,140  | 3,617  | 1,870  |
| MgO                            | 3,191  | 3,842  | 2,247  | 1,027  | 0,720  |
| Na <sub>2</sub> O              | 3,471  | 5,206  | 6,228  | 3,897  | 3,640  |
| K <sub>2</sub> O               | 1,248  | 0,561  | 2,071  | 4,904  | 7,640  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 16,251 | 21,981 | 19,923 | 15,218 | 15,400 |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,636  | 0,368  | 1,186  | 0,116  | 0,135  |
| TiO <sub>2</sub>               | 3,300  | 0,933  | 1,859  | 0,258  | 0,308  |
| SrO                            | 0,019  | 0,058  | 0,068  | 0,027  | 0,038  |
| MnO                            | 0,223  | 0,173  | 0,156  | 0,114  | 0,077  |
| A.Z.                           | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 1,364  | 0,469  |
| Diğer                          | 0,737  | 0,126  | 0,067  | 0,015  | 0,043  |

## 2.2. Yöntem

### 2.2.1 Kimyasal Analiz (XRF)

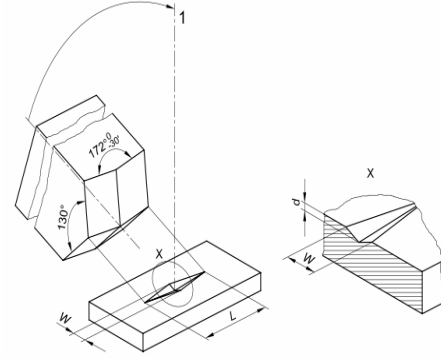
Laboratuvar deneylerinde kullanılan her bir çeşit numunenin karakterizasyonu için kimyasal (XRF) analizleri TS EN 15309'a göre

yapılmıştır. Numunelerin elementel bileşimlerinin tayini Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği bölümü Akredite Doğaltaş Analiz Laboratuvarında bulunan Rigaku/ZSX Primus II marka XRF cihazı ile yapılmıştır.

### 2.2.2. Knoop Sertlik Tayini

Knoop sertliği 1939 yılında National Bureau Standards (ASTM) tarafından geliştirilmiştir Çelik v.d., 2011. Bu standardın Türk standartındaki karşılığı ise TS EN 14205 tir. Knoop yöntemi, tepe açısı 130° ve 170° olan piramit şekilli elmas bir uç yardımıyla doğaltaş üzerine baskı uygulanır ve bir boyutu diğerinin yaklaşık 7 katı olan bir iz oluşur (Şekil 1). Knoop sertlik değeri oluşturulan bu izlerin uzunluğunun ölçülmesi ile belirlenir (Şekil 2). Yumuşak doğaltaşlarda uzun bir iz (L) oluşurken sert doğaltaşlarda oluşan iz ise daha kısadır. Yani yumuşak doğaltaşlarda oluşturduğu tahribat daha fazla olmaktadır. Oluşan izin Knoop sertliğini (HK) (MPa) uca uygulanan kuvvetin, oluşan oyuğun uzunluğunun (Şekil 2) karesine bölümü ile hesaplanır (Eşitlik 1). Her numuneden 32 iz ölçüm alınmış olup ortalama HK değeri ise bu iz ölçümlerin ortalaması ile hesaplanmıştır. Doğaltaşların homojenite değeri ölçülen değerlerin küçükten büyüğe sıralanmasından sonra, sıralamadaki sertlik değerlerinin %25 inci

değerinin %75 inci değerine (HK25/HK75) oranlanmasıyla belirlenmektedir. Bu oranın 1'e yaklaşması taşın homojen, 0'a yaklaşması ise taşın heterojen bir yapıya sahip olduğunu ifade etmektedir.



**Şekil 1.** Knoop mikro sertlik yönteminde kullanılan eşkenar piramit şekilli elmas uç ve numuneye batan ucun iz geometrisi (TS EN 14205).

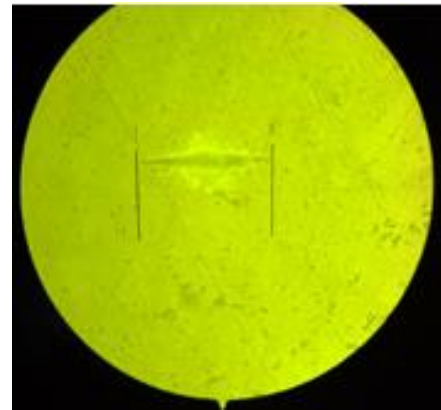
$$HK = 14,23 \frac{P}{L^2} \quad (1)$$

Eşitlikte;

**HK:** Knoop sertlik değeri (MPa),

**P:** Uca uygulanan kuvvet (N)

**L:** Yüzeyde oluşan oyuğun uzunluğu (mm)



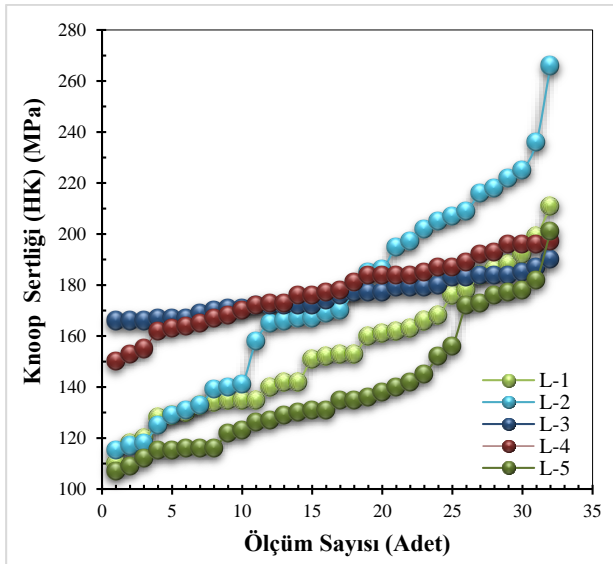
**Şekil 2.** Darbe sonrasında yüzeyde oluşan iz görüntüsü.

### 3. BULGULAR

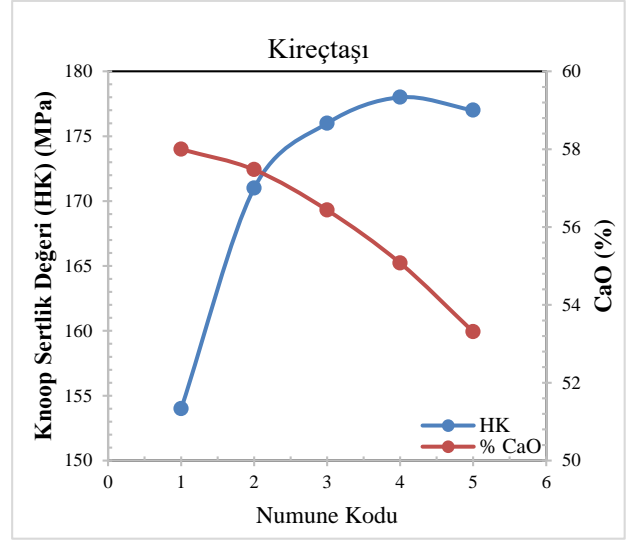
Çalışmada kullanılan doğaltaşlar kimyasal analizleri sonrasında oluşum kökenine göre 3 gruba ayrılmış olup her grup ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Değerlendirmede her köken için belirleyici olan bileşik kullanılmıştır. Kireçtaşları için belirleyici bileşik CaO, dolomitik doğaltaşlar için MgO ve volkanik kayalar için ise SiO<sub>2</sub> içeriği göz önüne alınmıştır.

#### 3.1. Kireçtaşlarının Knoop Sertlik Değerleri

Deneylerde kullanılan kireçtaşları içerdikleri %CaO içeriğine doğaltaşın sertlik değerine etkisi araştırılmıştır. Şekil 3 ve Şekil 4'te kireçtaşlarının sertlik değerleri ve %CaO içeriğinin sertlik ilişkisi verilmiştir.



Şekil 3. Kireçtaşlarının knoop sertlik değerleri.



Şekil 4. %CaO içeriğinin knoop sertliğine etkisi.

Yapılan çalışmada kireçtaşlarında CaO içeriği %58,000 ile %53,310 değerleri arasında değiştiği ve %CaO içeriği arttıkça genel anlamda sertlik değerinin azaldığı saptanmıştır. Ancak L-5 numunesinde %CaO içeriği L-4 numunesinden az olmasına rağmen sertlik değerinin daha düşük olduğu saptanmıştır. Bu durum direkt bir genelleme yapılmasını engelliyor gibi görünse de doğal taşların homojenite değerine (HK25/HK75) (Çizelge 6) bakıldığında L-5 numunesinin homojenite değerinin L-4 numunesine göre daha düşüktür. Bu durumda bu genellemenin yapılması yanlış olmayacaktır. CaO içeriğinin Knoop sertlik değeri arasında yapılan korelasyon çalışmasında korelasyon 0,718 olarak bulunmuştur. Bu korelasyon değeri genelleme yapılabileceğini göstermektedir. Şekil 3 incelendiğinde ölçümlerde en fazla sapma ve düzensizliklerin L-2 numunesinde meydana geldiği

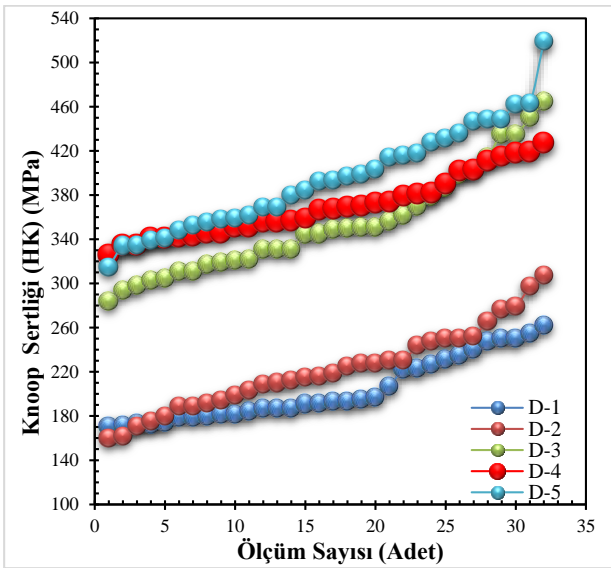
görülmektedir. L-2 numunesinin homojenite değerine bakıldığında 0,678 olduğu ve 1'e en uzak numune olduğu görülmektedir. Yani kullanılan numunelerde heterojen yapıya en yakın numune olduğu anlaşılmaktadır.

**Çizelge 6.** Kireçtaşı numunelerinin CaO içeriği ve Knoop Sertlik değerleri.

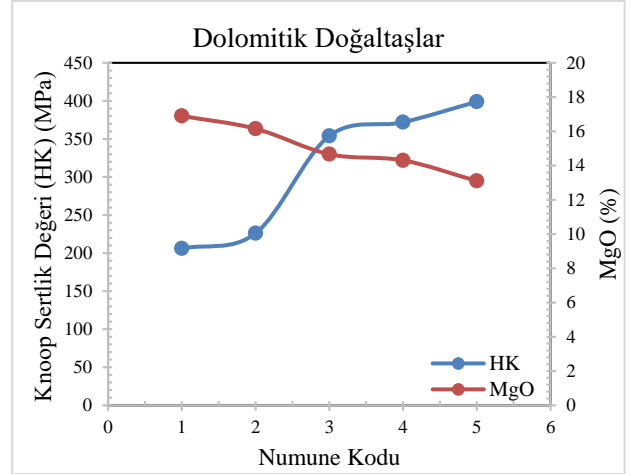
|           | L-1    | L-2    | L-3    | L-4    | L-5    |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| % CaO     | 58,000 | 57,474 | 56,436 | 55,076 | 53,310 |
| HK (MPa)  | 154    | 171    | 176    | 178    | 177    |
| HK25/HK75 | 0,798  | 0,678  | 0,944  | 0,893  | 0,763  |

### 3.2. Dolomitik Doğaltaşların Knoop Sertlik Değerleri

Deneylerde kullanılan dolomitik kireçtaşlarının içerdikleri %MgO içeriğine doğaltaşın sertlik değerine etkisi araştırılmıştır. Şekil 5 ve Şekil 6'da kireçtaşlarının sertlik değerleri ve %MgO içeriğinin sertlik ilişkisi verilmiştir.



**Şekil 5.** Dolomitik doğaltaşların knoop sertlik değerleri.



**Şekil 6.** %MgO içeriğinin knoop sertliğine etkisi.

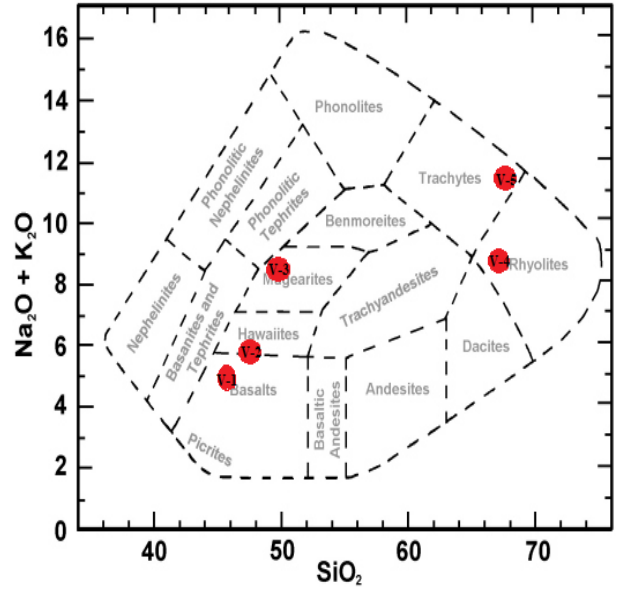
Şekil 6 incelendiğinde doğaltaş içerisindeki dolomit içeriği arttıkça sertlik değerinin azaldığı saptanmıştır. MgO içeriği ile Knoop sertliği arasında yapılan korelasyon değeri 0,971 olarak hesaplanmıştır. Korelasyon değerinden de anlaşıldığı üzere dolomitik yapıya sahip doğaltaşlarda MgO içeriği azaldıkça sertlik değeri artış gösterecektir. Dolomitik doğaltaşlarda en yüksek knoop sertlik değerinin 399 MPa olduğu ve bu değer %13,100 MgO içeriğine sahip doğaltaşta olduğu belirlenmiştir. Dolomitik doğaltaşların homojenite değerleri incelendiğinde yüzeylerini kireçtaşlarına göre daha homojen olduğu belirlenmiştir (Çizelge 7). Dolomitik doğaltaşların sertlik değerlerinin kireçtaşlarına göre daha sert bir yapıya sahip olduğu ve en sert kireç taşından en az %15,60 daha sert olduğu saptanmıştır.

**Çizelge 7.** Dolomitik Doğaltaş Numunelerinin MgO İçeriği ve Knoop Sertlik Değerleri.

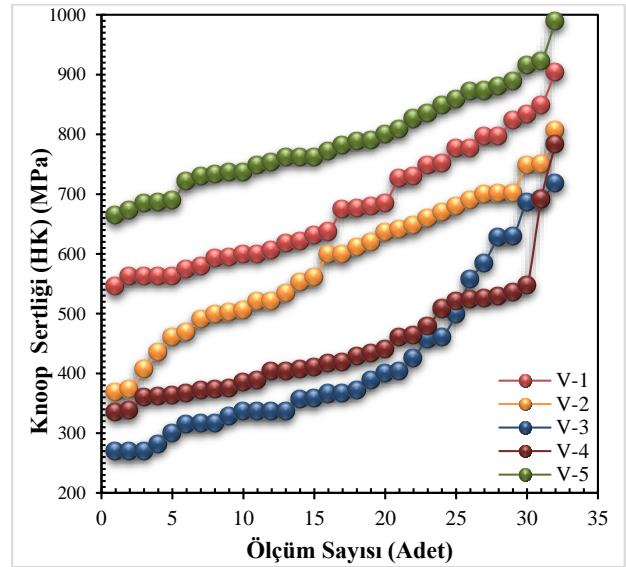
|           | D-1    | D-2    | D-3    | D-4    | D-5    |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| % MgO     | 16,900 | 16,154 | 14,661 | 14,305 | 13,100 |
| HK (MPa)  | 206    | 226    | 328    | 372    | 399    |
| HK25/HK75 | 0,7930 | 0,7742 | 0,8364 | 0,9058 | 0,8294 |

### 3.3. Volkanik Doğaltaşların Knoop Sertlik Değerleri

Deneylerde kullanılan volkanik doğaltaşların içerdikleri %SiO<sub>2</sub> içeriğine göre doğaltaşların sertlik değerine etkisi araştırılmıştır. Şekil 8 ve Şekil 9'da kireçtaşlarının sertlik değerleri ve %SiO<sub>2</sub> içeriğinin sertlik ilişkisi verilmiştir. Volkanik kökenli doğaltaşların kayaç sınıfının belirlenmesinde magmatik kayaçlarda yaygın olarak kullanılan ve Toplam alkali-SiO<sub>2</sub> diyagramı olarak bilinen kimyasal sınıflandırma yöntemi kullanılmıştır (Şekil 7). Yapılan sınıflandırma sonucunda volkanik doğaltaşların; Bazalt (V-1), Hawaiiit (V-2), Magarit (V-3), Riyolit (V-4) ve Trakit (V-5) oldukları saptanmıştır.

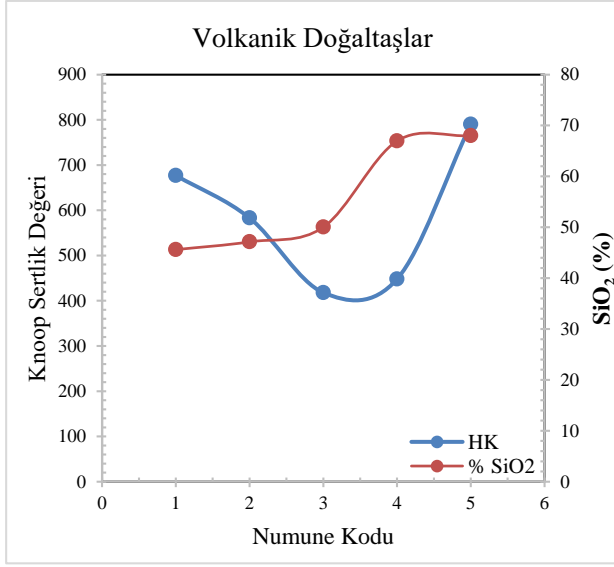


**Şekil 7.** Volkanik kayaların kimyasal sınıflandırılmasında kullanılan TAS diyagramı (Le Bas, Le Maitre, Streckeisen, and Zanettin, 1986).



**Şekil 8.** Volkanik doğaltaşların knoop sertlik değerleri.





**Şekil 9.** %SiO<sub>2</sub> içeriğinin knoop sertliğine etkisi.

Şekil 9 incelendiğinde SiO<sub>2</sub> içeriğine bağlı olarak knoop sertlik değerinin arttığı ancak bu artışın lineer olmadığı saptanmıştır. Bu dağılımın lineer olmamasının sebebi volkanik taşlarda bulunan kuvars (SiO<sub>2</sub>) mineralinin homojen dağılmamasıdır. SiO<sub>2</sub> ile HK değeri arasında yapılan korelasyon hesaplamasında korelasyon değeri 0,148 olarak bulunmuştur. Bu değerden de anlaşılacağı gibi volkanik doğaltaşlarda bir genelleme yapılması doğru olmayacaktır. Ancak beklendiği gibi volkanik doğaltaşların knoop sertlik değerleri kireçtaşı ve dolomitik doğaltaşlardan daha yüksek çıkmıştır. En yüksek HK değeri %68,000 SiO<sub>2</sub> içeriğine sahip doğaltaşta 790 MPa olarak bulunmuştur. Doğaltaşın homojenite derecesi ise 0,8634 olarak belirlenmiştir (Çizelge 8). Bu değer doğaltaşın homojen bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir.

**Çizelge 8.** Volkanik Doğaltaş Numunelerinin SiO<sub>2</sub> İçeriği ve Knoop Sertlik Değerleri.

|                    | V-1    | V-2    | V-3    | V-4    | V-5    |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| % SiO <sub>2</sub> | 45,616 | 47,146 | 50,024 | 66,959 | 68,000 |
| HK (MPa)           | 677    | 583    | 418    | 448    | 790    |
| HK25/HK75          | 0,7886 | 0,7459 | 0,6876 | 0,7362 | 0,8634 |

#### 4. SONUÇLAR

Farklı bölgelerden ve farklı içeriği sahip doğaltaşlarda yapılan knoop sertlik deneylerinde kimyasal yapının sertliği doğrudan etkilediği saptanmıştır. Yapılan sınıflandırma doğaltaşların ana elementlerine göre yapılmıştır. Yapılan çalışma sonrasında elde edilen sonuçlar;

➤ %CaO içeriğine göre yapılan sınıflandırmada doğaltaşların CaO dağılımının %53,310 ile 58,000 arasında değişiklik gösterdiği saptanmıştır. Kireçtaşlarında CaO içeriği azaldıkça sertlik değerinin arttığı saptanmış ve CaO içeriği ile Knoop sertlik değeri arasında yapılan korelasyon çalışması 0,718 olarak bulunmuştur. Bulunan korelasyon değeri kireçtaşlarında bir genelleme yapılabileceğini göstermektedir.

➤ Dolomitik doğaltaşlarda yapılan sınıflandırmada MgO içeriği esas alınmıştır. Doğaltaşlarda MgO içeriği %13,100 ile %16,900 arasında olduğu ve HK değerinin MgO içeriği azaldıkça arttığı saptanmıştır. Bu artışın izahı için yapılan korelasyon çalışmasında korelasyon değeri 0,971 olarak bulunmuştur.

➤ Volkanik doğaltaşlarda yapılan sınıflandırmada SiO<sub>2</sub> içeriği esas alınmıştır. Doğaltaşlarda SiO<sub>2</sub> içeriği %45,616 ile %68,000 arasında olduğu ve HK değerinin SiO<sub>2</sub> içeriği artıca artığı saptanmıştır. Bu artışın izahı için yapılan korelasyon çalışmasında korelasyon değeri 0,148 olarak bulunmuştur. Bu değer SiO<sub>2</sub> içeriği ile knoop sertlik değeri arasında herhangi bir genellenimin yapılmasının mümkün olmadığını göstermektedir.

Yapılan çalışma sonrasında elde edilen veriler değerlendirildiğinde doğal malzemelerde net bir genelleme yapılmanın mümkün olmadığı kanaatine varılmıştır. Net bir genelleme yapılabilmesi için doğaltaşlardan elde edilen örnek sayısının artırılması (en az 20 şer numune) ve sertlik değerinin yanında gerçek yoğunluk, kristal boyutu, çatlak-süreksizlikler, porozite ve aşınma değerlerinde bilinmesi gerekmektedir.

## 5. KAYNAKLAR

Athanasiou, V., Zervaki, A.D, Papamichos, E., Giannakopoulous, A. (2016). The Use of Knoop Indentation for the Assessment of the Elastic Properties of Mortars and Natural Stones, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Science*, 83, 241-247.

Beste U., ve Jacobson S., (2003). Micro scale hardness distribution of rock types related to rock drill wear. *Wear*, 254, 1147–1154

Carter G. M., Henshall J. L., Wakeman R. J., (1993). “Knoop hardness and fracture anisotropy of calsite” *Journal of Materials Science Letters*, 12, 407-410.

Çelik M. Y., Yeşilkaya, L., Ersoy, M., Turgut, T. (2011). “Karbonat Kökenli Doğaltaşlarda Tane Boyu ile Knoop Sertlik Değeri Arasındaki İlişkinin İncelenmesi”, *Madencilik*, Cilt 50, Sayı 2, Sayfa 35-46.

Karaman K., Erçikdi, B., Cihangir, F., Kesimal, A. (2011). “Kayaçların Tek Eksenli Basınç Dayanımı Tahmininde Schmidt Çekici Yöntemlerinin İncelenmesi. Türkiye 22. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi 11-13 Mayıs 2011, ANKARA.

Le Bas, M. J., Le Maitre, R. W., Streckeisen, A. & Zanettin, B., (1986). A Chemical Classification of Volcanic Rocks Based on the Total Alkali–Silica Diagram. *Journal of Petrology* 27, 745–750.

TS EN 14205, Türk standartları Enstitüsü, Doğal taş deney metotları - Knoop sertliğinin tayini, (2004).

TS EN 15309, Türk Standartları Enstitüsü, Atıkların ve toprağın nitelendirilmesi - X ışını floresans yöntemi kullanılarak elementel bileşimin tayini.

Yaşar S., Çapık, M., Yılmaz, A.O. (2014). Schmidt Sertliği İle Kesilebilirlik Parametreleri Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi”, *Madencilik*, Cilt 53, Sayı 1-2, Sayfa 31-38.