

KARBONAT KÖKENLİ DOĞALTAŞLARDA TANE BOYU İLE KNOOP SERTLİK DEĞERİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ

Investigation of the Relationship between Grain Size and Knoop Hardness on Carbonate Natural Stones

Geliş (received) 04 Nisan (April) 2011; Kabul (accepted) 11 Mayıs (May) 2011

Mustafa Yavuz ÇELİK (*)
Liyaddin YEŞİLKAYA (**)
Metin ERSOY (***)
Tahsin TURGUT (****)

ÖZET

Doğaltaşlarda sertlik kavramının miktarını belirleyen en önemli özellikler mineral bileşimi, tane boyu ve dokudur. Knoop sertliği tayini için karbonat bileşimli metamorfik ve sedimanter kökenli 10 farklı mermer türü kullanılmıştır. Bu mermerlerin mikroskop incelemeleri ile mineral bileşimi, tane boyutu ve dokusal özellikleri belirlenmiştir. Mikro sertlik cihazı ile her bir örnekten 40 iz ölçülerek Knoop sertlik değerleri bulunmuştur. İncelenen mermerler içerisinde en düşük Knoop sertlik değerine sahip mermerin 135 HK ile Muğla Beyaz, en yüksek Knoop sertlik değerine sahip mermerin ise 180 HK ile Rosalia Dark olduğu belirlenmiştir. Mermerlerin Knoop sertlik ve tane boyutu değerleri karşılaştırılmış ve aralarında ters orantı olduğu belirlenmiştir. Tane boyutu büyüdükçe Knoop sertlik değerinin azaldığı görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: Mermer, Doğaltaş, Knoop Sertliği, Tane Boyutu,

ABSTRACT

The most important properties identifying the amount of hardness concept in natural stones are mineral composition, grain size and texture. In order to specify the Knoop hardness, ten different types of marbles were used consisting of carbonate composed metamorphic and sedimentary based. With the examination of these marble specimens under the microscope, their mineral composition, grain size and texture properties were specified. Their Knoop hardness values were found by measuring 40 indents under micro hardness tester. Among the marble specimens examined it was specified that Muğla White had the lowest Knoop Hardness with 135HK and Rosalia Dark had the highest with 180 HK. Knoop hardness and grain dimension values of the marbles were compared and found that there is an inverse proportional relationship between them, as the grain dimension increases, Knoop hardness value decreases.

Keywords: Marble, Natural Stone, Knoop Hardness, Grain Size

(*) Yrd. Doç. Dr. Afyon Kocatepe Üni., Afyon Meslek Yüksek Okulu, Doğalyapı Taş. Tek. Prog., Ali Çetinkaya Kampüsü, 03100, AFYONKARAHİSAR, mycelik@aku.edu.tr

(**) Öğr. Grv. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Müh. Fak., Maden Müh. Böl., Ahmet Necdet Sezer Kampüsü, 03100, AFYONKARAHİSAR.

(***) Yrd. Doç. Dr. Afyon Kocatepe Üni., Afyon Meslek Yüksek Okulu, Doğalyapı Taş. Tek. Prog., Ali Çetinkaya Kampüsü, 03100, AFYONKARAHİSAR.

(****) Maden Müh.

1.GİRİŞ

Mermer ve mermer ürünlerinin tanıtımı için fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Kaliteli, çeşitli renk ve desende mermerlerin değerlendirilmesi için ilk aşamada bunlara ait bazı önemli özelliklerin bilinmesi gerekmektedir. Hangi mermerin nerede ve nasıl kullanılacağına, test sonuçlarının değerlendirmesi ile karar vermek daha bilinçli bir yaklaşım olacaktır. Mermerlerin kesilmesinde, parlatılmasında ve kullanılacakları yerlerin belirlenmesinde fiziksel özelliklerden olan sertlik önemli bir parametredir.

Mermerlerde tane boyutu çok önemli bir özelliktir. Çünkü mermerler ilk olarak tane boyutu ile değerlendirilirler. Mermerlerin tane boyutu dayanım, kullanım yeri, parlaklık ve cila alma özelliklerine direkt olarak etki etmektedir. Bu nedenle mermerlerde tane boyutu küçüldükçe fiziksel ve mekanik özelliklerin iyileşmesine paralel olarak ekonomik değeri de artmaktadır (Kun 2000). Bunun yanı sıra tane boyut dağılımının iri ve tane sınırlarının düz olması mermerlerin dayanımlarının düşük olmasına neden olmaktadır. Tane boyut dağılımının genelde ince ve tane sınırının da girift olması mermerlerin dayanımını arttırmaktadır (Onargan vd, 1997). Kalsit kristalleri iri ise mermer dışı ve kaba görümlüdür. Bu tip mermerlerin dış tesirlere karşı dirençleri küçük kristalli olanlara göre daha düşüktür. Tane çapları küçüldükçe ve kenetlenme oranı arttıkça direnç fazlalaşır ve dış etkilerle bozuşma azalır (Çelik 2001).

Sertlik, statik veya dinamik yükleme şartları altında çizilmeye, kesilmeye ve sürtünmeye

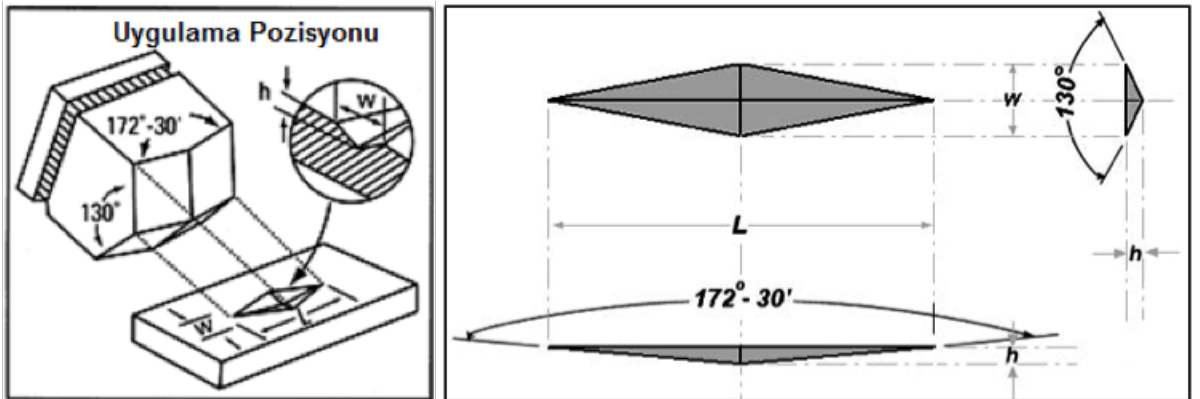
karşı direnç olarak ifade edilebilir. Sertlik, konvansiyonel bir büyüklük olması nedeniyle uluslararası birimler sistemi SI'da yer almamaktadır. Bu nedenle sertlik değeri, belirli mühendislik işlerinde, fiziko-mekanik özellikler gibi doğrudan kullanılamaz; ancak bazı mekanik özelliklerin tahmininde veya başka malzemelerle mukayesede kullanılmaktadır.

Malzemelerin sertliğini belirlemede değişik yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar uygulandığı malzemelere ve yöntemin prensiplerine göre farklılıklar göstermektedir. Knoop, Brinell, Vickers ve Rockwell yöntemlerinde, uygulanan statik bir yük altında malzemenin yüzeyinde bir iz bırakma, bu tekniklerin esasını oluşturmaktadır. Bu yöntemlerle sertlik, belirli bir yük altında deforme olmayan bir küre veya koninin malzeme içine batma derinliğinin ölçülmesiyle belirlenir.

Mikrosertlik ölçümleri için kullanılan yöntemlerden birisi de Knoop sertliğidir. Knoop, 1939 yılında National Bureau Standards (USA) tarafından geliştirilmiştir. Eşkenar piramit şekilli bir elmas uç kullanılır. Elmas ucun uzun ve kısa köşegenleri arasındaki oranı 1/7'dir. Piramit şeklindeki ucun boyuna açısı 172°, enine açısı ise 130°'dir (Şekil 1). Malzemenin Knoop sertliğini (HK) bulmak için uygulanan kuvvet ve oluşan iz mikroskop yardımıyla ölçülür ve eşitlik 1 formülü ile hesaplanır.

$$HK = P/L^2 \cdot k \quad (1)$$

P: Uygulanan kuvvet (N)
L: İz uzunluğu (mm)
k: Düzeltme faktörü (İdeal: 0.070279)



Şekil 1. Knoop mikro sertlik yönteminde kullanılan eşkenar piramit şekilli bir elmas uç ve oluşan mikro izin geometrisi (Anon a ve b).

Literatürde değişik kayaç ve malzemelerin mikro sertlik ölçümlerine ait çalışmalar bulunmaktadır. MacMillan ve Rickerb (1979), kömürlerde mikro sertlik değerlerini incelemişlerdir. Gökta ve Emir (1996), mermerlerde sürtünme ile aşınma dayanımının kestirimini Rockwell sertlik deneyi kullanarak belirlemişlerdir. Onargan vd. (1997), mermerlerde yüzey sertliğinin dayanıma olan etkisini Shore sertlik endeksine göre belirlemişlerdir. Ersoy ve Köse (2001), mermerlerin mekanik özellikleriyle parlatma kolaylığı arasındaki ilişkiyi incelerken Knoop sertlik ölçümleri yapmışlardır. Ayrıca Büyüksağış ve Gökta (2002), Knoop sertlik indeksinin mermerlerin fiziko mekanik özelliklerinin kestiriminde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Delgado vd. (2005), granitin kesilebilme zorluğunun, büyük ölçüde bileşiminde yer alan minerallere bağlı olduğunu belirterek kuvars, feldspat ve biyotitlerde ölçülen mikro sertlik değerleriyle bunu doğrulamıştır. Chicot vd. (2007), mikro sertlik ölçüm yöntemleri olan Knoop ve Vickers yöntemleri ile değişik seramiklerin sertliklerini ölçerek kıyaslamışlardır. Ghabezloo vd. (2009), kireçtaşlarında gözenek ve geçirgenlik incelemelerinde mikro sertlik ölçümleri de yapmışlardır.

Karbonatlı kayaçlarda yer alan kalsitin sertliği Mohs sertlik skalasında 3, dolomitin sertliği ise 3,5 - 4 arasındadır. Bu çalışmada, genellikle metallerin ve seramiklerin sertliğini belirlemede kullanılan Knoop sertlik indeksi ile mermer olarak kullanılan sedimanter ve metamorfik kökenli bazı kayaçların sertlikleri belirlenmiştir. Bulunan Knoop sertlik indeksi ile tane boyutu ilişkisi incelenmiş ve Mohs sertlik indeksi ile karşılaştırılması yapılmıştır.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Malzeme

Deneylerde metamorfik ve sedimanter kökenli 10 farklı mermer türü kullanılmıştır. Bu mermerler; Afyon bölgesinde faaliyet gösteren işletmelerden temin edilmiştir. Knoop sertliği tayini için bir yüzeyi cilalanmış 20x30x10 mm boyutlarında numuneler TS EN 14205 standardına uygun şekilde hazırlanmıştır. Kullanılan mermer örneklerinin ticari isimleri ve bölgeleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Deneyde Kullanılan Mermerlerin İsimleri, Kökeni ve Bölgelerine Göre Dağılımı

Örnek No	Ticari İsmi	Bölgesi	Kökeni
1	Afyon Şeker	Afyon	Metamorfik
2	Afyon Beyaz	Afyon	Metamorfik
3	Muğla Şeker	Muğla	Metamorfik
4	Muğla Beyaz	Muğla	Metamorfik
5	Crema Nouva	Bilecik	Sedimanter
6	Bilecik Bej	Bilecik	Sedimanter
7	Rosalia Pink	Bilecik	Sedimanter
8	Rosalia Light	Bilecik	Sedimanter
9	Rosalia Dark	Bilecik	Sedimanter
10	Burdur Bej	Burdur	Sedimanter

2.2. Yöntem

Deneyler Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Doğaltaş Analiz Laboratuvarlarında yapılmıştır. Deneylerde kullanılan mermerlerden yapılan ince kesitlerden mineralojik ve petrografik incelemeleri Nikon LV100 POL marka polarizan mikroskopta, tane boyut analizleri Clemex Image Analysis programında gerçekleştirilmiştir. Mermerlerin

sertlik testleri Shimadzu HVM mikro sertlik cihazında yapılmıştır.

Knoop sertliğinin belirlenmesinde, her bir mermer örneğinden 1-2 mm aralıklı olmak üzere toplam 40 iz ölçümü yapılmıştır. Ölçülen her bir sertlik izi için Eşitlik 1'de verilen formül kullanılarak Knoop sertliği bulunmuş ve deneyde kullanılan mermer örneklerinin ortalama Knoop sertlikleri hesaplanmıştır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLARIN İRDELENMESİ

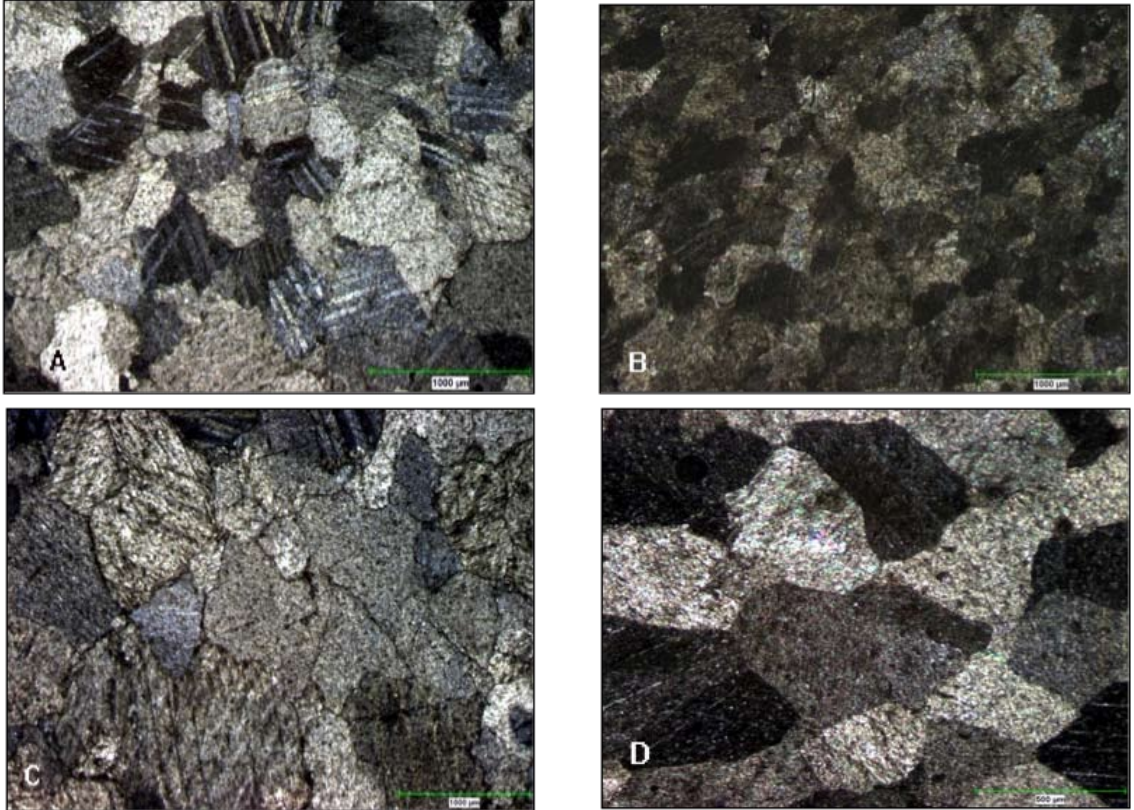
3.1 Mineralojik ve Petrografik İncelemeler

Mermer olarak kullanılan kayalarda sertlik kavramının miktarını belirleyen en önemli özellikler mineral bileşimi, tane boyutu ve dokudur. Bu nedenle deneylerde kullanılan mermerlerin mineralojik ve petrografik özellikleri belirlenmiştir. Deneylerde kullanılan tüm mermer örneklerinin esas bileşimini kalsit mineralleri oluşturmaktadır.

3.1.1. Metamorfik Kökenli Mermerler

Deneylerde kullanılan metamorfik kökenli mermerlerin eş boyutlu, birbirine kenetlenmiş kalsit tanelerinden oluştuğu ve granoblastik dokulu olduğu belirlenmiştir. Afyon Şeker,

165,7 μm ile 1,04 mm arasında değişen ve polisentetik ikizlenmeler gösteren kalsit kristallerinden oluşmaktadır. Az miktarda kuvars ve serisit mineralleri görülmüştür. Ortalama tane boyutu 471 μm 'dur. Afyon Beyaz minimum tane boyutu 99,2 μm , maksimum tane boyutu 721,4 μm ve ortalama tane boyutu 399,5 μm olan polisentetik ikizlenme gösteren kalsit kristallerinden oluşmaktadır. Az miktarda kuvars ve serisit mineralleri görülmüştür. Muğla Beyaz mermerinde, maksimum tane boyutu 4,7 mm, minimum tane boyutu 168,1 μm ve ortalama tane boyutu 1,038 mm olan ve polisentetik ikizlenmeler gösteren kalsit kristalleri gözlenmiştir. Muğla Şeker mermerinin, maksimum tane boyutu 1,289 mm, minimum tane boyutu 218,5 μm ve ortalama tane boyutu 716,5 μm 'dur. Polisentetik ikizlenme gösteren kalsit kristallerinden oluşmaktadır (Şekil 2).



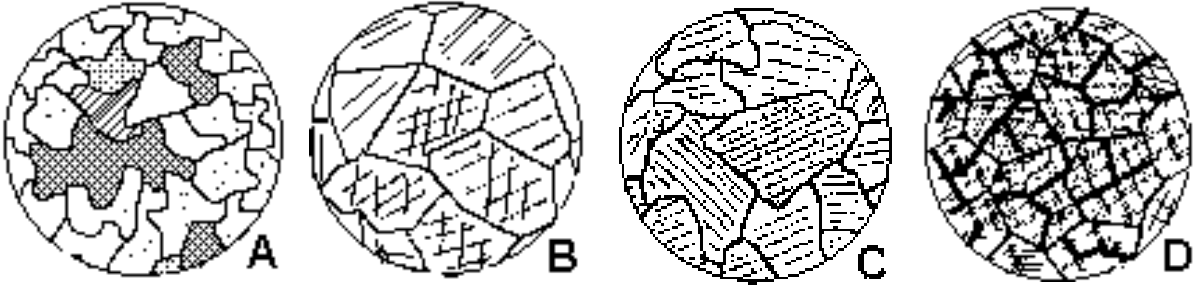
Şekil 2. Metamorfik kökenli Afyon Şeker (A), Afyon Beyaz (B), Muğla Beyaz (C) ve Muğla Şeker (D) mermerlerin ince kesit görüntüleri.

Dokusal özellikler, kayaların esas bileşeni olan kalsit tanelerinin boyutları, şekilleri ve dağılımları gibi özelliklerin yanı sıra kayaların geçirmiş olduğu diyajenez ve metamorfizma gibi jeolojik olaylara ait bilgileri de kapsamaktadır. Mermerleri oluşturan minerallerin tane sınırları düzgün ve iç

içe girift değilse mermer daha yumuşaktır. Tane sınırları dantel gibi girintili çıkıntılı ve diğer tanenin içine girer şekilde uzanan parçalar içeriyorsa bu tip mermerler daha serttir. Tane boyut dağılımının iri ve tane sınırlarının düz olması mermerlerin dayanımlarının düşük olmasına neden

olmaktadır. Tane boyut dağılımının genelde ince ve tane sınırının da girift olması, mermerlerin dayanımını arttırmaktadır (Şekil 3). Deneylerde kullanılan metamorfik kökenli mermerlerden

sadece Muğla Şeker mermerinin tane sınırları düzgün olup diğerlerinin tane sınırları dantel gibi girintili çıkıntılıdır.



Şekil 3. Mermerlerde tane boyutu ve tane sınırı ilişkileri: (A) ince taneli ve tane sınırları dantel gibi girintili çıkıntılı, (B) iri taneli ve tane sınırları düzgün, (C) iri taneli ve tane sınırları dantel gibi girintili çıkıntılı, (D) ince taneli ve tane sınırları düzgün (Sarılışık, vd., 2003).

3.1.2. Sedimanter Kökenli Mermerler

Deneylerde kullanılan sedimanter kökenli kireçtaşlarının polarizan mikroskopta belirlenen özellikleri şöyledir: Crema Nouva (Bilecik) bol miktarda bitki ve mikro canlı fosilleri içermektedir. Gastropod fosilleri oldukça yaygındır. Mikritik malzemelerin tane boyutları 2,4 – 12,8 μm arasında olup, ortalama tane boyutu 5,87 μm 'dur (Şekil 4A).

Bilecik Bej içerisinde oldukça yoğun kırık ve çatlaklar gözlenmekte olup, minimum çatlak boyutu 13,6 μm , maksimum çatlak boyutu 598 μm 'dur. Çatlaklar içerisinde minimum 2,7 μm , maksimum 260,7 μm büyüklüğünde kalsit kristalleri bulunmaktadır. Çatlak açıklığı büyüdükçe kalsit tanelerinin boyutları da irileşmektedir. Kayaç içerisinde bol miktarda bitki ve diğer canlı fosilleri gözlenmektedir (gastropod). Kayacın genel dokusunu oluşturan mikritik kalsit tanelerinin 2,7 – 10,8 μm arasında olduğu ve ortalama tane boyutunun 5,6 μm olduğu görülmüştür. Ayrıca kayacın çatlaklarına yerleşmiş hematit minerali gözlenmiştir (Şekil 4B).

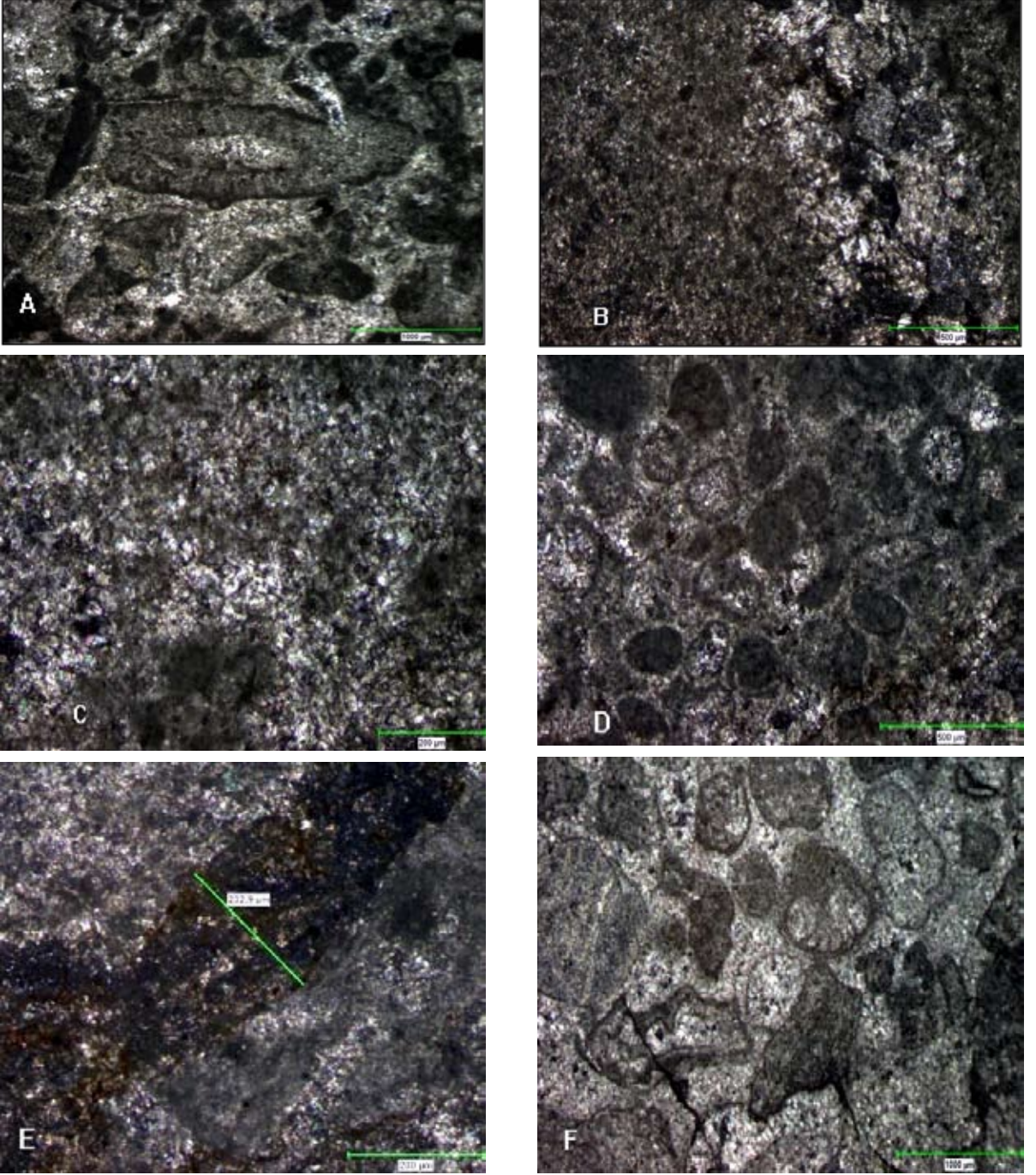
Rosalia Pink mikritik matris içerisinde büyük oranda gastropod fosilleri ve bitki fosilleri vardır. Kayaç içerisinde maksimum çatlak genişliği 412 μm , minimum çatlak genişliği ise 18,5 μm 'dur. Çatlaklarda 3,9 – 58,5 μm arasında değişen kalsit kristalleri gözlenmektedir. Tane boyutları 1,4 – 15,3 μm arasında değişen mikritik kalsit

kristallerinin ortalama tane boyutu 5,79 μm 'dur (Şekil 4C).

Rosalia Light bol miktarda gastropod fosilleri içermektedir. Kayaç içerisinde, az miktarda bitki fosilleri gözlenmektedir. Yer yer kayaç kırıntıları da görülebilmektedir. Kayaç içerisindeki kırık ve çatlak düzlemleriyle gözeneklere ikinci kalsit kristalleri yerleşmiş olup, maksimum tane boyutu 1,18 mm ve minimum tane boyutu 114,7 μm 'dur. Kayacın geneline hakim olan çoğunluğu mikritik kalsit tanelerinin tane boyutu 1,9 – 16,9 μm arasında değişmekte olup, ortalama tane boyutu 5,84 μm 'dur (Şekil 4D).

Rosalia Dark içerisinde çatlakların büyük kısmında ikincil kalsit kristalleri görülmüştür. Kalsit taneleri 134 – 332 μm arasında olup, ortalama tane boyutu 238,5 μm 'dur. Kayacın geneline hakim olan mikritik kalsit tanelerinin boyutları 2 – 14,9 μm arasında olup, ortalama tane boyutu 4,5 μm 'dur. Kayaç içerisinde alg fosilleri ve ortalama 10 μm boyutlarında çok az oranda kuvars taneleri gözlenmiştir. Çatlakların bazılarında hematit mineralleri görülmüştür (Şekil 4E).

Burdur Bej içerisinde oldukça yoğun fosil kırıntıları gözlenmektedir. Fosiller büyük oranda gastropod fosilleridir. Kayaçta boyutları 8,22 μm ile 801,7 μm arasında değişen çatlaklar gözlenmiştir. Kayacı oluşturan mikritik kalsit kristallerinin boyutları 2 – 28 μm arasında olup ortalama boyut 5,39 μm 'dur (Şekil 4F).



Şekil 4. Sedimanter kökenli Crema Nouva (A), Bilecik Bej (B), Rosalia Pink (C), Rosalia Light (D), Rosalia Dark (E) ve Burdur Bej (F) mermerlerin ince kesit görünüşleri.

3.2. Mikro Sertlik Ölçümleri

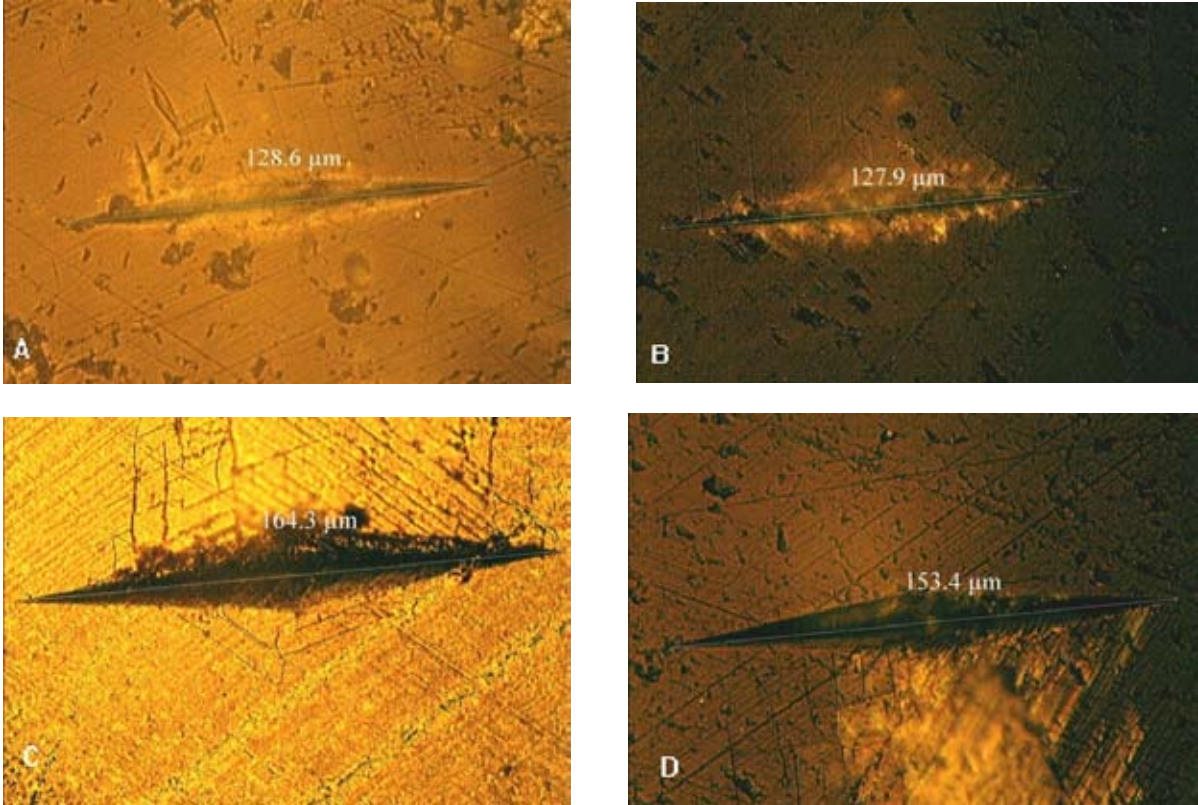
TS EN 14205 standardına uygun şekilde hazırlanan bir yüzeyi cilalanmış 20x30x10 mm boyutlarındaki numunelerden Knoop sertliği ölçümleri yapılmıştır.

3.2.1. Metamorfik Kökenli Mermerler

Deneylerde kullanılan metamorfik kökenli mermerlerin Knoop mikro sertlik izlerinin mikroskopta örnek görünüşleri Şekil 5'de verilmiştir. Knoop sertliğinin belirlenmesinde, her bir mermer örneğinden 1-2 mm aralıklı olmak üzere toplam 40 iz ölçümü yapılmıştır.

Metamorfik mermerlerin ortalama tane boyutları ve hesaplanan ortalama Knoop sertlikleri Çizelge 2'de verilmiştir. Metamorfik kökenli mermerler içerisinde ortalama tane boyutu en yüksek olan Muğla Beyaz mermerinin Knoop sertliğinin en düşük olduğu görülmektedir. Ortalama tane boyutu en düşük olan Afyon Beyaz mermeri de en yüksek Knoop sertliğine sahiptir. Metamorfik kökenli mermerlerin tane boyutuna bağlı Knoop

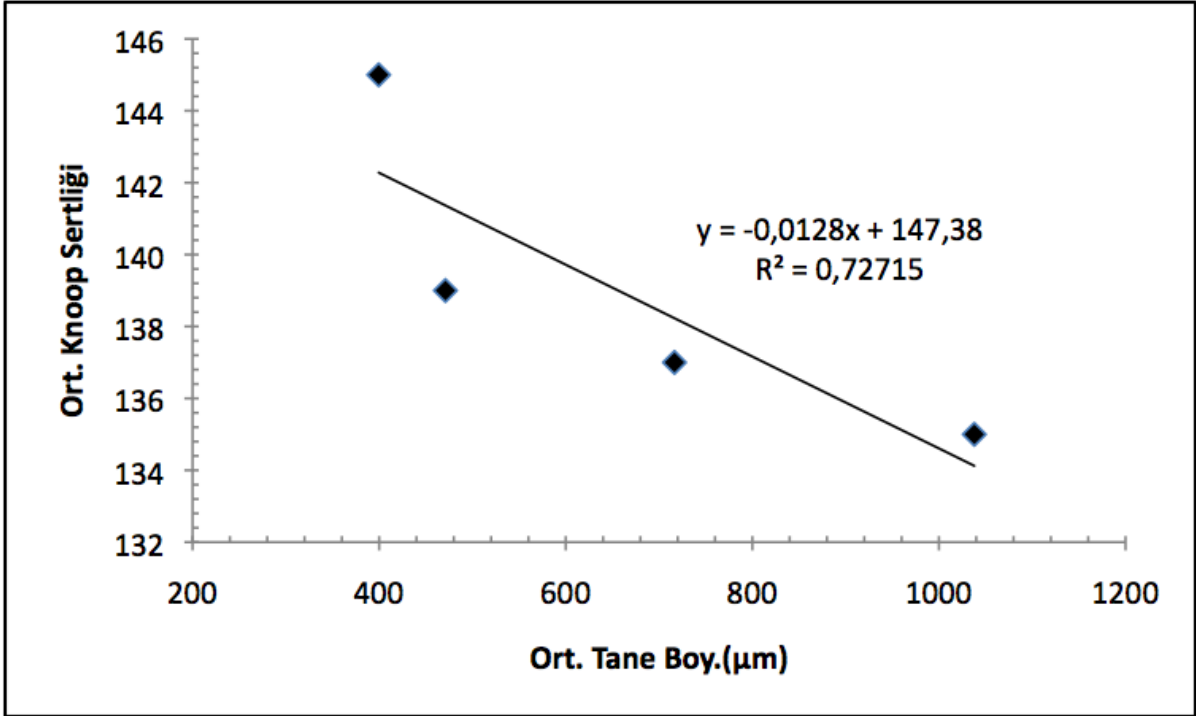
sertlik değerleri arasındaki ilişki Şekil 6'da verilmiştir. Knoop sertlik indeksi ile tane boyutu arasında ters orantı olup, tane boyutu arttıkça Knoop sertlik değeri azalmaktadır. Knoop sertlik indeksi ile tane boyutu arasındaki ilişki " $y = -0,012x + 147,3$ " şeklindedir. Metamorfik mermerlerin korelasyon katsayısı $R^2 = 0,727$ olup Knoop sertlik indeksi ile tane boyutu arasında ilişki olduğu söylenebilir.



Şekil 5. Metamorfik kökenli mermerlerin Knoop mikro sertlik izlerinin mikroskopta görünümü, Afyon Şeker (A), Afyon Beyaz (B), Muğla Beyaz (C), Muğla Şeker (D) (Turgut, 2010).

Çizelge 2. Metamorfik Kökenli Mermerlerin Ortalama Tane Boyutuna Bağlı Ortalama Knoop Sertlik Değerleri

Mermer	Ortalama Tane Boyu (μm)	Ortalama Knoop (HK)
Afyon Şeker	471	139
Afyon Beyaz	399,5	145
Muğla Beyaz	1037,9	135
Muğla Şeker	716,5	137



Şekil 6. Metamorfik kökenli mermerlerin ortalama tane boyutuna bağlı ortalama Knoop sertlik değerleri arasındaki ilişki.

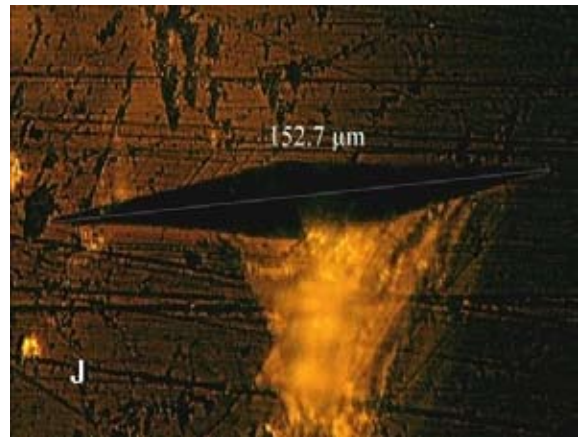
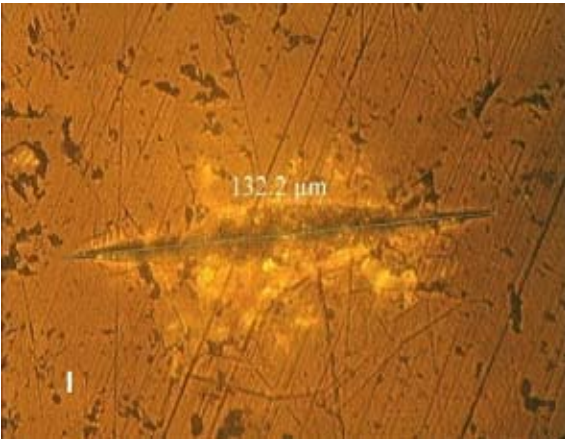
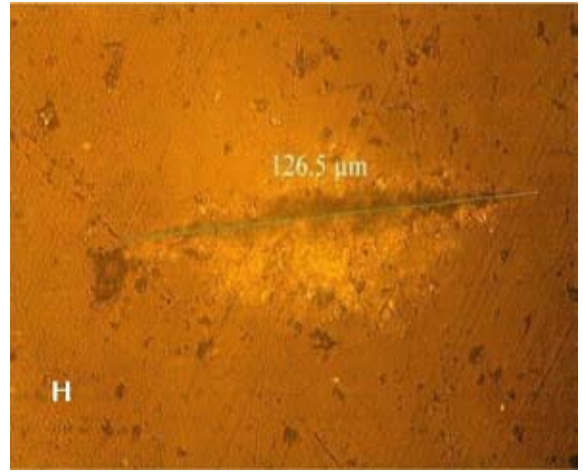
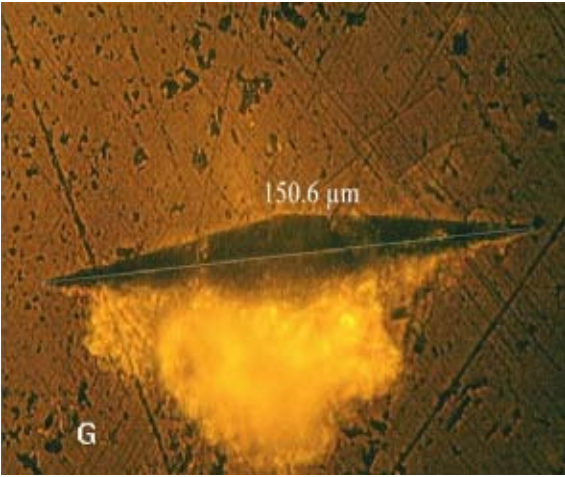
3.2.2. Sedimanter Kökenli Mermerler

Deneylerde kullanılan sedimanter kökenli mermerlerin Knoop mikro sertlik izlerinin mikroskopta örnek görünüşleri Şekil 7'de verilmiştir. Knoop sertliğinin belirlenmesinde, her bir mermer örneğinden 1-2 mm aralıklı olmak üzere toplam 40 iz ölçümü yapılmıştır. Sedimanter mermerlerin ortalama tane boyutları ve hesaplanan ortalama Knoop sertlikleri Çizelge 3'de verilmiştir. Sedimanter kökenli mermerler içerisinde ortalama tane boyutu en yüksek olan Crema Nouva mermerinin Knoop sertliğinin

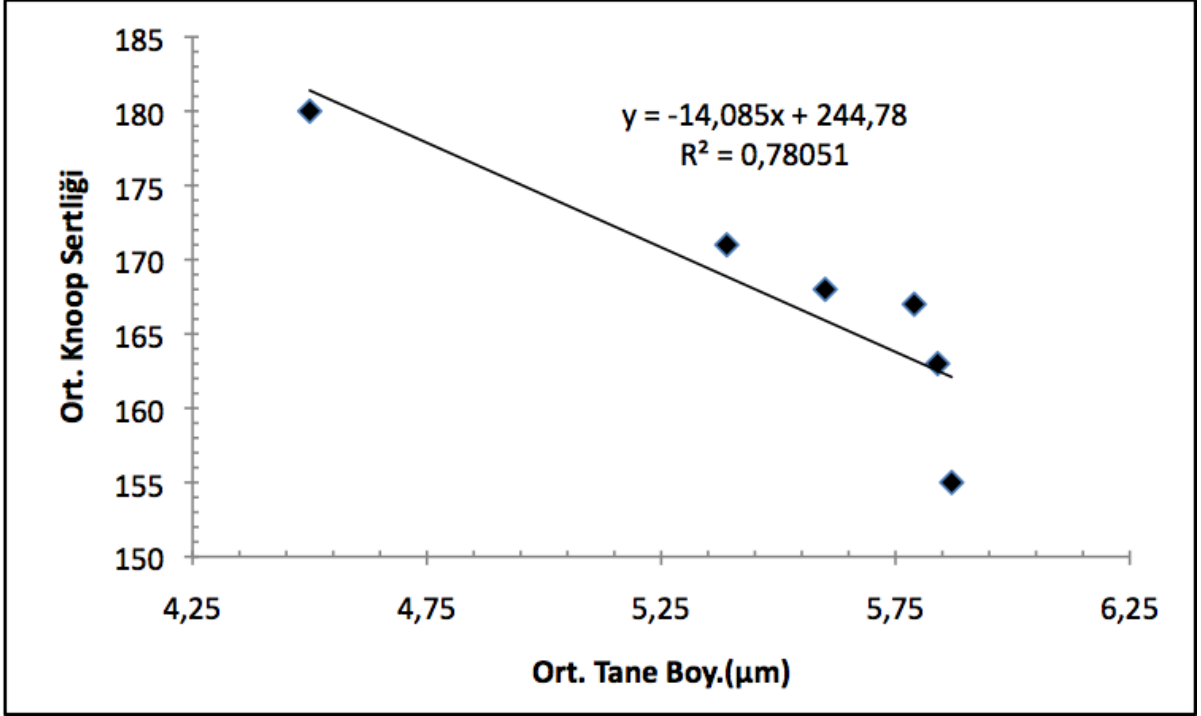
en düşük olduğu görülmektedir. Ortalama tane boyutu en düşük (4,50 μm) olan Rosalia Dark mermeri de en yüksek (180) Knoop sertliğine sahiptir. Sedimanter kökenli mermerlerin tane boyutuna bağlı Knoop sertlik değerleri arasındaki ilişki Şekil 8'de verilmiştir. Knoop sertlik indeksi ile tane boyutu arasında ters orantı olup, tane boyutu arttıkça Knoop sertlik değeri azalmaktadır. Knoop sertlik indeksi ile tane boyutu arasındaki ilişki "y = -14,08x + 244,7" şeklindedir. Sedimanter mermerlerin korelasyon katsayısı R² = 0,780 olup Knoop sertlik indeksi ile tane boyutu arasında yüksek ilişki vardır.

Çizelge 3. Sedimanter kökenli mermerlerin ortalama tane boyutuna bağlı ortalama Knoop sertlik değerleri

Mermer	Ortalama Tane Boyu (μm)	Ortalama Knoop (HK)
Crema Nouva	5,87	155
Bilecik Bej	5,60	168
Rosalia Pink	5,79	167
Rosalia Light	5,84	163
Rosalia Dark	4,50	180
Burdur Bej	5,39	171



Şekil 7. Sedimanter kökenli mermerlerin Knoop mikro sertlik izlerinin mikroskopta görünümü. Bilecik Bej (E), Burdur Bej (F), Rosalia Dark (G), Rosalia Light (H), Rosalia Pink (I), Crema Nouva (J) (Turgut, 2010).



Şekil 8. Sedimanter kökenli mermerlerin ortalama tane boyutuna bağlı ortalama Knoop sertlik değerleri arasındaki ilişki.

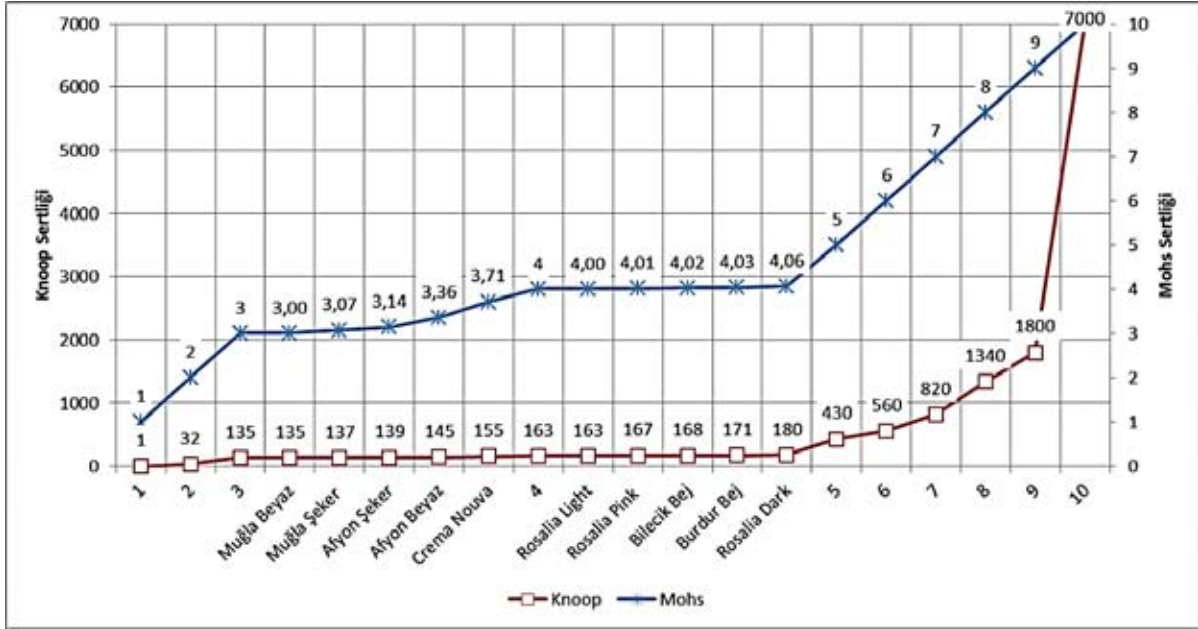
Metamorfik kökenli mermerlerin sertliği (Muğla Beyaz, Muğla Şeker, Afyon Şeker, Afyon Beyaz), sedimanter kökenli mermerlerden (Crema Nouva, Rosalia Light, Rosalia Pink, Bilecik Bej, Burdur Bej, Rosalia Dark) daha düşük çıkmıştır. İncelenen mermerler arasında sertliği en düşük mermer 135 HK ile Muğla Beyaz olup, sertliği en yüksek olan ise 180 HK ile Rosalia Dark'tır. Yapılan sertlik ölçümlerinde, ana bileşeni kalsit olan metamorfik kökenli mermerlerin, ana bileşeni mikritik kalsit olan sedimanter kökenli mermerlerden Knoop sertlik değerleri daha düşüktür. Genel olarak tane boyutu büyüdükçe sertlik değerinin düştüğü görülmektedir.

Deneylerde kullanılan mermerlerde kalsit ve mikritik kalsit ana bileşendir. Bazı örneklerde ise sertliği etkilemeyecek oranda kuvars minerali de bulunmaktadır. Knoop sertlik değeri 135 HK olan kalsit mineralinin sertliği Mohs skalasına göre 3'dür. Yapılan sertlik ölçümlerinde ana

bileşeni kalsit mermerlerin Mohs sertlik değerlerinin 3-4 arasında değiştiği belirlenmiştir. İncelenen mermerlerin ve minerallerin Mohs sınıflandırmasına karşılık gelen Knoop sertlik değerleri Şekil 9'da verilmiştir.

İncelenen mermerlerin Knoop sertlik değerleri dikkate alınarak Mohs skalasına göre bir sınıflandırma yapılmış ve elde edilen verilerden hareketle Çizelge 4 oluşturulmuştur. Muğla Beyaz, Muğla Şeker ve Afyon Şeker'in Mohs skalasına göre sertliğinin 3, Afyon Beyaz ve Crema Nouva'nın sertliğinin 3,5, Rosalia Dark, Rosalia Pink, Rosalia Light, Burdur Bej ve Bilecik Bej'in sertliğinin ise 4 aralığında yer aldığı belirlenmiştir.

Örneklerin Knoop sertliklerinin Mohs sertliği değerleri cinsinden teorik karşılıkları, lineer enterpolasyon yöntemi uygulanarak hesaplanmıştır (Çizelge 4).



Şekil 9. İncelenen mermerlerin Mohs ve Knoop sertlik indekslerine göre karşılaştırılması (Anon(c)'den türetilmiştir).

Çizelge 4. İncelenen Mermerlerin Mohs Skalasına Göre Sınıflandırılması

Mineral	Mohs	Knoop	Mermer	Mohs	Knoop	Knoop-Mohs Dönüşümü
Talk	1	1	Muğla Beyaz	3,00	135	$=3+(135-135)/(135-135)$
Jips	2	32	Muğla Şeker	3,07	137	$=3+(137-135)/(163-135)$
Kalsit	3	135	Afyon Şeker	3,14	139	$=3+(139-135)/(163-135)$
Florit	4	163	Afyon Beyaz	3,36	145	$=3+(145-135)/(163-135)$
Apatit	5	430	Crema Nouva	3,71	155	$=3+(155-135)/(163-135)$
Ortoz	6	560	Rosalia Light	4,00	163	$=4+(163-163)/(163-163)$
Kuvarz	7	820	Rosalia Pink	4,01	167	$=4+(167-163)/(430-163)$
Topaz	8	1340	Bilecik Bej	4,02	168	$=4+(168-163)/(430-163)$
Korund	9	1800	Burdur Bej	4,03	171	$=4+(171-163)/(430-163)$
Elmas	10	7000	Rosalia Dark	4,06	180	$=4+(180-163)/(430-163)$

4. SONUÇLAR

İncelenen mermer numunelerinin mineralojik – petrografik analiz sonuçlarına göre, kalsit minerali ana bileşendir. Sedimanter kökenli mermerler, bol miktarda fosil içermekte ve çatlaklı bir yapıya sahiptirler. İncelenen mermerler içerisinde en düşük ortalama tane boyutuna sahip mermerin 4,5 µm ile Rosalia Dark, en yüksek ortalama tane boyutuna sahip mermerin ise 1,038 mm ile Muğla Beyaz olduğu belirlenmiştir. İncelenen mermerler içerisinde en düşük Knoop sertlik değerine sahip mermerin 135 HK ile Muğla Beyaz, en yüksek Knoop sertlik değerine sahip mermerin ise 180 HK ile Rosalia Dark olduğu belirlenmiştir. Tane boyut dağılımının genelde

ince ve tane sınırının da girift olması mermerlerin sertliğini arttırmaktadır. Kalsit kristalleri, küçük taneli olan mermerlerin sertlik değerlerinin diğer mermerlerden daha yüksek olduğu görülmüştür. Knoop sertlik indeksi ile tane boyutu arasında ters orantı olup, tane boyutu arttıkça Knoop sertlik değeri azalmıştır.

İncelenen mermerler Knoop sertlik değerleri göz önüne alınarak Mohs skalasına göre sınıflandırıldığında; Muğla Beyaz, Muğla Şeker, ve Afyon Şekerin 3, Afyon Beyaz ve Crema Nouva sertliğinin 3,5, Rosalia Light, Rosalia Pink, Rosalia Dark, Burdur Bej ve Bilecik Bej'in sertliğinin 4 civarında olduğu tespit edilmiştir.

Mohs sertlik skalası lineer olmadığından mermerlerin sertlik sınıflandırmasında, Mohs sertliklerinin yanında Knoop sertliklerinin de belirlenmesi, sertliğin önemli olduğu kullanım alanlarının belirlenmesinde önem taşımaktadır. Sonuç olarak Knoop sertliğinin, Mohs sertliğine göre daha hassas sonuçlar verdiği söylenebilir.

KAYNAKLAR

Büyüksağış İ. S. ve Göktan R. M., 2002; "Knoop Sertlik İndeksinin Mermerlerin Fiziko Mekanik Özelliklerinin Kestiriminde Kullanılabilirliği". IV. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, 211-215, Konya.

Chicot D, Mercier D, Roudet F, Silva K, Staia M. H ve Lesage J., 2007; "Comparison of Instrumented Knoop and Vickers Hardness Measurements on Various Soft Materials and Hard Ceramics", Journal of the European Ceramic Society, **27(4)**, 1905-1911.

Çelik, M.Y., 2001; "Dış Mekanlarda Kullanılan Mermerlerde Doğal Bozuşmalar", Mermer, Doğal Taş Sektörünün Dergisi, Yıl 6, Sayı:29, 66-70, İzmir.

Ersoy, M. ve Köse H., 2001; "Mermerlerin Mekanik Özellikleri ile Parlatma Kolaylığı Arasındaki İlişki", MERSEM 2001, 337-349, Afyon.

Ghabezloo S, Sulem J, Guedon S, ve Martineau F., 2009; "Effective Stress Law for the Permeability of a Limestone". Int. J. Rock Mech. Min. Sci., **46(2)**, 297-306.

Göktan, R.M. ve Emir, E., 1996; "Rockwell Sertlik Deneyinin Mermerlerde Sürtünme ile Aşınma Dayanımı Kestirimi Amacıyla Kullanılabilirliği", Türkiye'de Mermer, Sayı 46, 17-20.

Kun, N., 2000;. "Mermer Jeolojisi ve Teknolojisi". Tezer Matbaası. 149 s. İzmir.

MacMillan, N.H. ve Rickerby, D.G., 1979; "On the Measurement of Hardness in Coal", Journal of Materials Science, **14(1)**, 242-246.

Delgado, N.S., Rey-Rodriguez, A., Suarez del Rio, L.M., Sarria, L. Calleja, I.D. ve Ruiz de Argandona, V.D., 2005; "The Influence of Rock Microhardness on the Sawability of Pink Porrino

Granite (Spain)", International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, **42**, 161-162.

Onargan, T., Deliormanlı, A.H., Saydam, S ve Hacimustafaoğlu, S.R., 1997; "Mermerlerde Yüzey Sertliğinin Dayanıma Olan Etkisinin Araştırılması". II. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 29-34. Afyon.

Sarıışık, A., Çelik, M.Y., ve Gürcan, S., 2003; "Karbonat Kökenli Mermerlerin Mineralojik-Petrografik Özelliklerinin Fiziko-Mekanik Parametrelere Olan Etkileri", Süleyman Demirel Üniversitesi 20 Yıl Mühendislik Sempozyumu, Bildiri Özetleri Kitabı, 203, Isparta.

Turgut, T., 2010; "Mermerlerde Knoop Sertliğinin İncelenmesi", Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Bitirme Tezi, 60s. (Yayımlanmamış).

Anon(a), http://www.instron.us/wa/applications/test_types/hardness/knoop.aspx

Anon(b), <http://www.gordonengland.co.uk/hardness/microhardness.htm>

Anon(c), http://www.themeter.net/durezza_e.htm