

Termal Değişikliklerin Mermerlerde Renk ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin Belirlenmesi

Determination of Effects of Thermal Changes on Color and Surface Roughness at Marbles

DİDEM EREN SARICI^{1*}, ENGİN ÖZDEMİR¹

¹Inönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 44280 Malatya

Geliş (received) : 22 Haziran (June) 2016

Kabul (accepted) : 25 Ocak (January) 2017

ÖZ

Bu çalışmada ani ve yavaş gelişen ısı değişimlerinin mermer yüzey pürüzlülüğüne ve renk özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla farklı birimlere ait parlak ve pürüzsüz yüzeyli mermer örnekleri iki grup halinde termal şok ve termal yaşlandırma çevrimlerine tabii tutulmuştur. Termal şok çevrimlerinde numuneler 105 °C deki etüvde 18 saat bekletildikten sonra 6 saat saf su içinde bekletilmiş, termal yaşlandırma döngülerinde ise farklı olarak 6 saat oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Termal döngülerin başlangıcında ve 4, 8, 12, 16, ve 20. döngülerin sonunda yüzeylerden pürüzlülük ölçümleri alınmış ve döngülerin sonunda renk değişimleri belirlenerek pürüzlülük ve renk ölçümleri yapılmış ve aralarındaki ilişkiler belirlenmeye çalışılmıştır. Ani ısı değişimleri ile termal şok döngüleri sonucunda gelişen pürüzlülük ve renk değişimleri arasında ilişkiler olmadığı ve ayrıca termal şok ve termal yaşlandırma çevrimlerinde pürüzlülük değişimlerinin renk değişimlerinin tahmininde önemli bir belirteç olmadığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Mermer, renk analizi, termal değişiklikler, yüzey pürüzlülüğü.

ABSTRACT

In this study, effects of sudden and slow grown thermal changes on the roughness and color of marbles were investigated. For this purpose thermal ageing and thermal shock cycles were realized on two groups of marble from different rock units. In thermal shock cycles, samples were placed in an oven at 105 °C for 18 hours then kept in distilled water for 6 hours. As distinct from thermal shock cycles, samples were cooled for 6 hours at room temperature in thermal ageing cycles. At the beginning and end of the cycles 4,8,12,16 and 20, roughness and color measurements were performed and the relationships between roughness and color changes were also investigated. It is seen that there is no relationship between the roughness and color changes of the thermal shock and thermal ageing cycles and also the roughness is not an indicator for predicting color changes for thermal cycle.

Keywords: Color analysis, marble, surface roughness, thermal changes.

*D.Eren Sarıcı

e-posta: didem.sarici@inonu.edu.tr

GİRİŞ

Dayanımları ve estetik görünüşleri nedeniyle birçok alanda kullanılan doğal taşlar kullanım alanlarına göre uzun süre yağmur, rüzgar, nem, donma-çözülme ve gece gündüz sıcaklık farklılıkları gibi atmosfer olaylarına maruz kalmaktadır ve bu faktörler doğal taşların hem fiziko-mekanik özelliklerinde hem de dış görünüşlerinde olumsuz değişimler meydana getirmektedir. Doğal taşın yapısında meydana gelen bu tür bozulmalar onarım yapılmasını zorunlu kılmakta ve bu işlemler de yapı maliyetini arttırmaktadır (Akbaş vd., 2012; Erdoğan ve Yaşar, 2001).

Doğal taşların bozunma sürecinde termal etkiler, nem, donma-çözülme çevrimleri, tuz kristallenmesi gibi dış etkenlerin yanı sıra kayacın kimyasal, mineralojik-petrografik bileşimi, yapısal ve dokusal özellikleri, gibi içsel parametreler de rol oynamaktadır (Cantisani vd. 2009).

Kayaçların termal davranışlarının tanımlanması ve tahmini zor bir konudur çünkü kayaçlar heterojen yapılıdır. Isı artışı kayaçlarda dekompozisyon, oksidasyon gibi pek çok değişikliğe neden olmaktadır (Plevova vd. 2010). Ayrıca ısının kayacın fiziksel özelliklerine etkisi değişik mühendislik uygulamalarıyla da ilgili bir konudur. Nükleer atık depoları ve jeotermal enerji kaynaklarının çıkarılması gibi uygulamalarda kayaların termal etkilere karşı davranışlarını belirlemek çalışma karakteristikleri bakımından da önem arz etmektedir (Yavuz vd. 2010).

Termal etkiler özellikle nem, kimyasal ve biyolojik kirlilikler, radyasyon, hava kirliliği, gibi diğer bazı faktörler ile birleştiği zaman bozulma sürecini hızlandırmaktadır. Bu bozulma kayaç kohezyonunun zayıflaması ve buna bağlı olarak gözeneklilikde ve mikrokırınlarda artış, ve genişleme, şeklinde gelişmektedir (Royer-Carfagni, 1999; Vazquez vd. 2012; Careddu ve Marras, 2013; Özgüven ve Özçelik, 2014).

Mermerlerin termal bozulma süreçlerinin incelenmesi ve bu süreçlerin mermer yüzey kalitesine etkilerinin belirlenmesi, bu tür doğal taşların kullanım alanları belirlenirken göz önünde bulundurulması açısından önem taşımaktadır.

Bu çalışmada parlatılmış yüzeylere sahip mermer örnekleri üzerinde termal şok ve termal yaşlandırma döngüleri gerçekleştirilerek gelişen değişiklikler belirlenmiş ve pürüzlülük değişimleri ile renk değişimleri arasındaki ilişkiler araştırılmıştır.

MALZEME ve YÖNTEM

Malzeme

Çalışmada Doğu Anadolu Bölgesinde üretilen ve yaygın olarak kullanılan 6 farklı mermer örneği kullanılmıştır. Örneklerin kodları, ticari isimleri ve fiziki görünüşleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Deneylerde kullanılan örneklerin fiziko-mekanik özellikleri TSE standartlarında belirtilen yöntemlere göre belirlenmiştir (TS 699, 1987; TS EN 1936, 2010; TS 6809, 1989). Örneklerin bazı fiziko-mekanik özellikleri Çizelge 2’de, XRF analizi sonuçları Çizelge 3’te, XRD analizi sonuçları Çizelge 4’te verilmiştir.

Termal Döngülerin Uygulanması


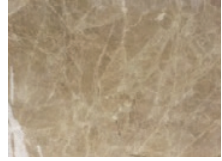

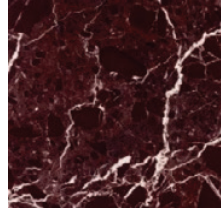
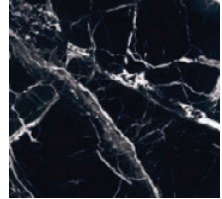

Satış koşullarına uygun şekilde kesilerek hazırlanan yüzey pürüzlülüğü oldukça düşük ve parlak yüzeyli mermer örnekleri TS 14066 standardında belirtilen ebatlarda (200 mm x 200 mm x 20 mm) ± 2 mm kesilerek hazırlanmış, numunelerde renklerin mümkün olduğunca mermer yüzeyinin her bölgesinde aynı veya benzer tonlamalarda olmasına özen gösterilmiştir. Deneylere başlamadan önce numuneler üzerine pürüzlülük ölçümlerinin yapılacağı noktalara silinmez şekilde çizgiler çizilmiş ve pürüzlülük ölçümleri bu noktalardan alınmıştır (TS EN 14066, 2004).

Termal değişikliklerin mermer yüzey kalitesine etkilerinin belirlenmesi için hazırlanan mermer örnekleri iki grup halinde deneye tabii tutulmuş ve birinci gruba termal şok uygulaması ikinci gruba ise termal yaşlandırma uygulaması yapılmıştır. Termal şok ve termal yaşlandırma deneylerinde; numune hazırlama için taş kesme testeresi, Utest marka laboratuvar etüvü, hassas terazi, Talysurf TR100 pürüzlülük ölçer aleti, Hunter CIELAB renk tayin cihazı kullanılmıştır.

Termal şok çevrimleri

Termal şok çevrimleri TS 14066’da tanımlanan yöntemle göre gerçekleştirilmiştir (TS EN 14066, 2004). Termal şok çevrimlerine başlamadan önce numuneler kurutma işlemine tabii tutulmuştur. $105 \pm 5^\circ\text{C}$ ’lik etüvde sabit kütleye gelinceye kadar kurutulan numuneler tartılmış, tartım sonucu (m_0) olarak kaydedilmiştir. Daha sonra numuneler $105 \pm 5^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki hava dolaşımli etüvde 18 ± 1 saat bekletildikten sonra $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki demineralize su içerisine (6 ± 0.5) saat süreyle daldırılmıştır. Bu işlem bir çevrim

Çizelge 1. Mermer örneklerinin ticari isimleri, kodları ve fiziksel görünüşleri
 Table 1. Commercial name, code and appearance of marble samples.

Örnek Kodu	Ticari İsmi	Görünümü
MB	Malatya Bej	
E	Adıyaman Emprador	
KT	Kırmızı Traverten	
EV	Elazığ Vişne	
HY	Hazar Yeşili	
Si	Siyah İnci	

olarak tarif edilmiştir. Her 5 çevrim sonunda numunelerin yüzeyinde belirlenen aynı noktalardan pürüzlülük ölçümleri alınmıştır.

Numuneler yirminci çevrim sonunda (105 ± 5)°C sıcaklıkta sabit kütleye ulaşıncaya kadar kurutulmuş, desikatörde soğutularak tartılmıştır (m_p).

Termal Yaşlandırma Çevrimleri

Termal yaşlandırma çevrimleri Lam dos Santos et al. 2011'de belirtilen yöntemle uygulanmıştır (Santos et al., 2011). Termal şok çevrimleri ile aynı koşulların sağlanması için sıcaklık 105 °C olarak uygulanmıştır. Termal yaşlandırma çevrimine tabii tutulan numuneler, 105 ± 5 °C sıcaklıktaki hava dolaşımı

Çizelge 2. Mermer örneklerinin bazı fiziko-mekanik özellikleri
Table 2. Some of physico-mechanical properties of marble samples

	Malatya Bej	Adıyaman Emprador	Kırmızı Traverten	Hazar Yeşili	Siyah İnci	Elazığ Vişne
Doğal Birim Hacim Ağırlığı kN/m ³	26.39 ± 0.01	25.70± 0.04	23.54±0.04	25.70±0.03	25.90±0.04	26.58±0.03
Doygun birim hacim ağırlığı kN/m ³	26.39 ± 0.01	25.99 ± 0.04	23.93±0.04	25.80±0.03	25.90±0.04	26.58±0.03
Kuru birim hacim ağırlığı kN/m ³	26.39 ± 0.01	25.70± 0.04	23.34±0.04	25.61±0.03	25.80±0.04	26.49±0.03
Ağırlıkça su emme (%)	0.15 ± 0.04	1.36 ± 0.29	2.36±0.04	0.69±0.08	0.22±0.03	0.34±0.14
Hacimce su emme (%)	0.41 ± 0.11	3.56 ± 0.74	3.55±0.04	2.52±0.23	0.57±0.09	0.90±0.03
Mohs sertliği	4	3-4	3	4	4	4
Tek eksenli basma dayanımı MPa	87.39	77.50	31.09	82.2	138.4	94.5
Nokta yükleme dayanımı MPa	5.84	5.73	2.52	5.71	7.75	5.96

Çizelge 3. Mermer örneklerinin XRF analizi sonuçları
Table 3. Results of XRF analysis of marble samples

Sample	Malatya Bej	Adıyaman Emprador	Kırmızı Traverten	Hazar Yeşili	Siyah İnci	Elazığ Vişne
SiO ₂	0.47	0.08	0.001	25.60	1.33	23.18
Fe ₂ O ₃	0.089	0.73	1.050	8.62	0.34	7.335
CaO	54.77	33.21	54.56	18.70	52.40	20.71
MgO	1.48	19.2	0.023	25.40	1	26.25
Na ₂ O	0.014	2.72	1.304	0.05	0.04	<0.014
K ₂ O	0.0012	0.001	<0.0012	-	0.07	<0.0012
Al ₂ O ₃	0.24	2.168	0.0814	0.26	0.53	1.328
P ₂ O ₅	0.014	0.00846	0.01	0.07	0.35	0.3611
ZnO	0.0024	0.33610	0.0036	0.01	0.01	0.00476
SrO	0.019	0.02266	0.0074	0.06	0.18	0.012
Co ₂ O ₃	-	-	0.0048	0.01	0.04	0.022
LOI	41.91	40.95	42.90	20.30	43.30	20.30

etüvde 18 ± 1 saat bekletildikten sonra 25 °C sıcaklıktaki oda ısısında 6 saat soğumaya bırakılmıştır. Bu işlem bir çevrim olarak tarif edilmiştir. Deney boyunca numunelere 20 çevrim uygulanmıştır. Her 4 çevrim sonunda numunelerin yüzeyinde belirlenen aynı

noktalardan pürüzlülük ölçümleri alınmıştır.

Numuneler yirminci çevrim sonunda (105 ± 5)°C sıcaklıkta sabit kütleye ulaşınca kadar kurutulmuş ve tartılmıştır.

Çizelge 4. Mermer örneklerinin XRD analizi sonuçları
Table 4. Results of XRD analysis of marble samples

Örnek	Malatya Bej	Adıyaman Emprador	Kırmızı Traverten	Hazar Yeşili	Siyah İnci	Elazığ Vişne
	Kalsit	Dolomit	Kalsit, Hematit	Dolomit, Kalsit, İllit	Kalsit	Kalsit, Dolomit, Bentonit Kil, Silika

Ağırlık Kayıplarının Belirlenmesi

Termal döngüler sonucunda gerçekleşen ağırlık kayıplarını belirlemek amacıyla deney öncesi ve sonrasında numuneler 105 °C de 24 saat süre ile kurutulmuş, kuru ağırlıkları kaydedilmiştir (TS EN 14066, 2004).

Yapılan termal şok ve termal yaşlandırma deneyleri sonucunda meydana gelen ağırlık kayıpları Eşitlik (1) kullanılarak bulunmuştur.

$$\Delta m = \frac{m_f - m_o}{m_o} \times 100 \quad (1)$$

Burada;

m_o : deney öncesi kuru ağırlık

m_f : Deney sonrası kuru ağırlık

Pürüzlülük Ölçümlerinin Alınması

Çalışmada herbir numune üzerinde belirlenen 9 ayrı noktadan pürüzlülük ölçümleri kaydedilerek ortalama değerleri alınmıştır. Örnek üzerinde ölçüm alınan bölgeler Şekil 1’de verilmiştir.

Bu çalışmada pürüzlülük ölçüm parametresi olarak R_a (ortalama pürüzlülük) dikkate alınmıştır. R_a , en çok kullanılan uluslararası pürüzlülük parametresidir. Yüksek pürüzlülüğü ölçen cihazlardan direkt olarak okunabildiği gibi, bir yüzeyin R_a değeri, grafiksel olarak da bulunabilir. Ortalama pürüzlülük, pürüzlülük profilinin aritmetik olarak ana hat çizgisinden sapmasıdır (Görgülü ve Ceylanoğlu, 2001).

*Ana hat; ölçüm yapılan yüzeyin pürüzlülük profilinin alt ve üst kısımlarını eşit şekilde bölen hatta denilmektedir.

Ölçüm yapılan yüzey profiline ait bir örnek Şekil 2’de verilmiştir.

Pürüzlülük değerleri (R_a) mermer yüzeylerinde işaretilenen noktalardan her 4 termal çevrim sonunda

Talysurf TR100 pürüzlülük ölçer aleti ile Mod 2’de 5 x 0.8 mm örnekleme aralığında ölçülmüştür.

Renk Değişimlerinin Belirlenmesi

Renk, mermerlerde satış koşullarını etkileyen özelliklerin en önemlisidir. Mermerler renk ve desen özelliklerine göre ticari olarak isimlendirilerek satışa sunulurlar. Bu isimlendirmede kahverengi, kırmızı, beyaz, bej, kiraz, lila gibi renk isimleri kullanılır. Mermerlerin bünyesinde bulunan safsızlıklar mermerin değişik renklerde oluşmasına sebep olurlar. Renk özellikleri L, a, b ve E ile ifade edilmektedir. L parametresi; parlaklık (L:0 siyah, L: 100 beyaz), a parametresi kırmızılık-yeşillik (a>0 kırmızı, a<0 yeşil), b parametresi sarılık-mavilik (b>0 sarı, b<0 mavi) durumunu ifade etmektedir. Uygulanan termal çevrimler sonucunda mermerlerde renk değişimleri meydana gelmiştir. Meydana gelen bu değişimler Hunter CIELAB renk tayin cihazı kullanılarak belirlenmiştir (Eren Sarıcı; 2016).

Toplam renk değişimi ΔE Eşitlik (2) ile belirlenmiştir (Özgüven ve Özçelik, 2013).

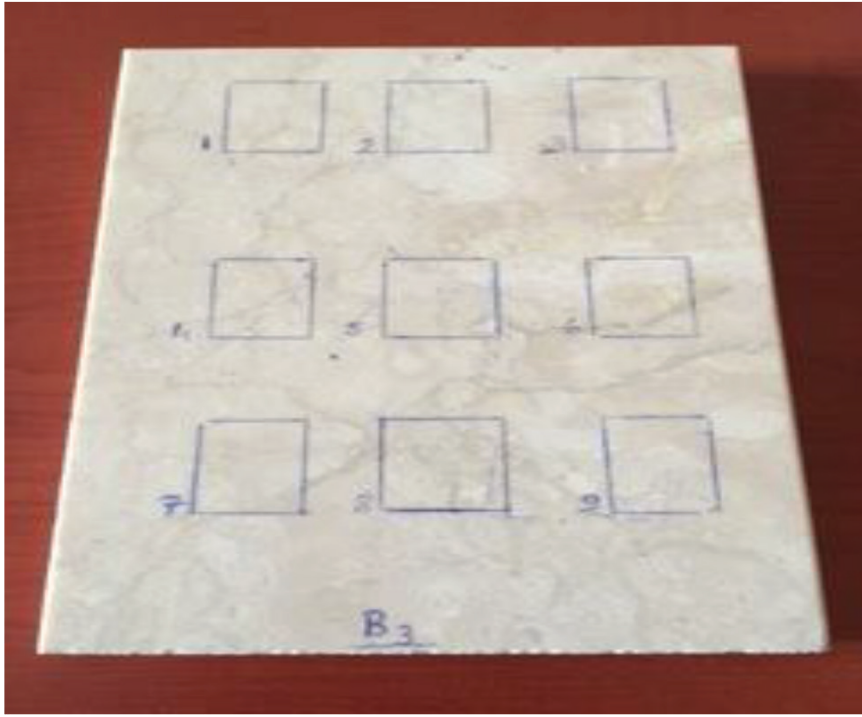
$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (2)$$

ARAŞTIRMA BULGULARI

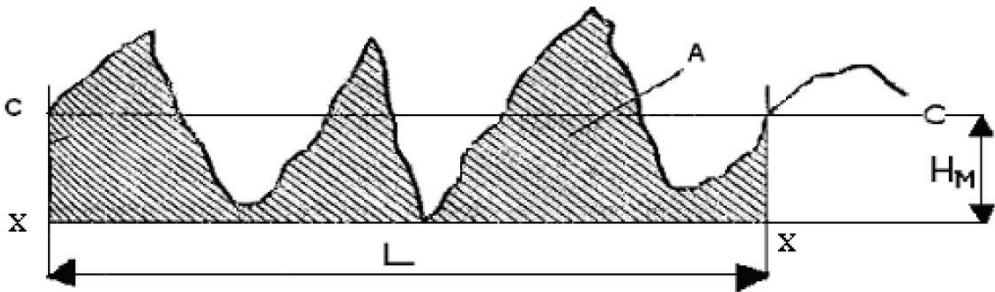
Ağırlık Kayıplarının Değerlendirilmesi

Yapılan termal şok ve termal yaşlandırma döngüleri sonucunda mermer örneklerinde gözlenen ağırlık kayıpları Çizelge 5’ de verilmiştir.

Çizelge 5 incelendiğinde termal şok ve termal yaşlandırma döngülerinin her ikisinin deneyleri sonucunda örneklerde değişik oranlarda ağırlık kaybının gerçekleştiği görülmektedir. Ani ısınma ve soğumanın etkili olduğu termal şok çevrimlerinde daha fazla ağırlık kaybının olduğu görülmektedir. Mermerleri oluşturan minerallerin ısınma-soğuması sonucu genişmesi



Şekil1. Örnek üzerinde pürüzlülük ölçümlerinin yapıldığı bölgeler
Fig.1. Roughness measurement areas on the specimen



Şekil 2. Ölçüm yapılan yüzeyin profili
Fig.2. Profile of measuring surface

ve tekrar büzüşmesi ile özellikle mikro kırık ve çatlakların olduğu bölgelerde genişlemeler ve koparak ayrılmalar olmuştur. Bu tür parçalanmalar yavaş gelişen ısı değişimlerinin rol oynadığı termal yaşlandırma döngülerinde de gözlenmiştir.

Pürüzlülük Değişimlerinin Değerlendirilmesi

Termal şok ve termal yaşlandırma deneylerinde her 4 çevrim sonunda alınan pürüzlülük ölçümlerinin (Ra)

ortalama değerleri Çizelge 6 ve Çizelge 7’de, elde edilen pürüzlülük değerlerinin (Ra) döngü sayısına göre değişimi ise grafiksel olarak Şekil 3 ve Şekil 4’ de verilmiştir.

Pürüzlülük değerlerindeki % değişimler Eşitlik (3) ile belirlenmiştir. Elde edilen değerler Çizelge 8’de verilmiştir.

$$\Delta P = \frac{(sp - ip)}{ip} \times 100 \quad (3)$$

Çizelge 5. Termal şok ve termal yaşlandırma çevrimleri sonucunda gözlenen ağırlık kayıpları
 Table 5. *Weight loss of marble samples after thermal shock and thermal ageing cycles*

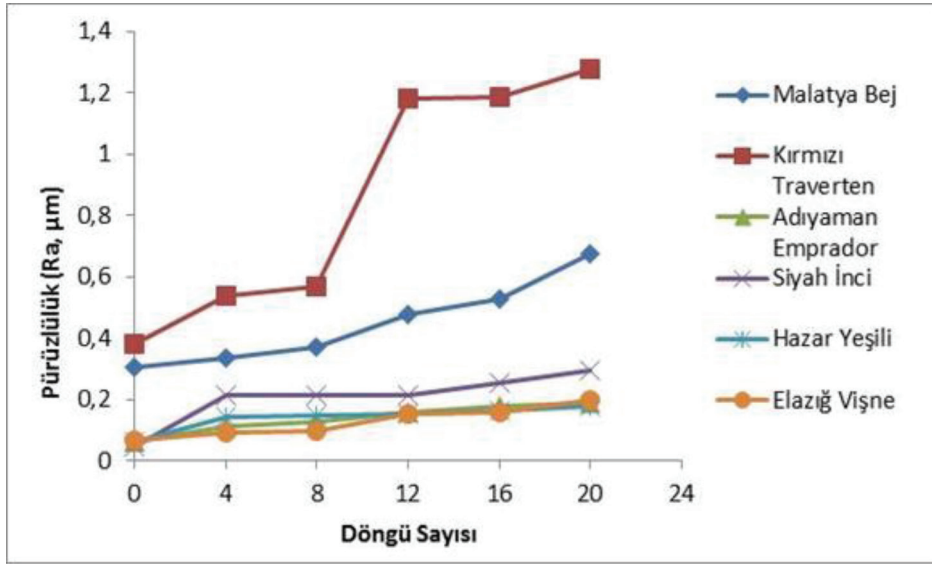
Örnek	Termal Şok Sonucunda Gelişen Ağırlık Kaybı (%)	Termal Yaşlandırma Sonucunda Gelişen Ağırlık Kaybı (%)
Malatya Bej	-0.026	-0.012
Kırmızı Traverten	-0.019	-0.009
Adıyaman Emprador	-0.018	-0.017
Siyah İnci	-0.075	-0.052
Hazar Yeşili	-0.144	-0.334
Elazığ Vişne	-0.216	-0.147

Çizelge 6. Termal şok deneyinde her 4 çevrim sonunda alınan ortalama pürüzlülük değerleri
 Table 6. *Average roughness values at the end of every 4 thermal shock cycles*

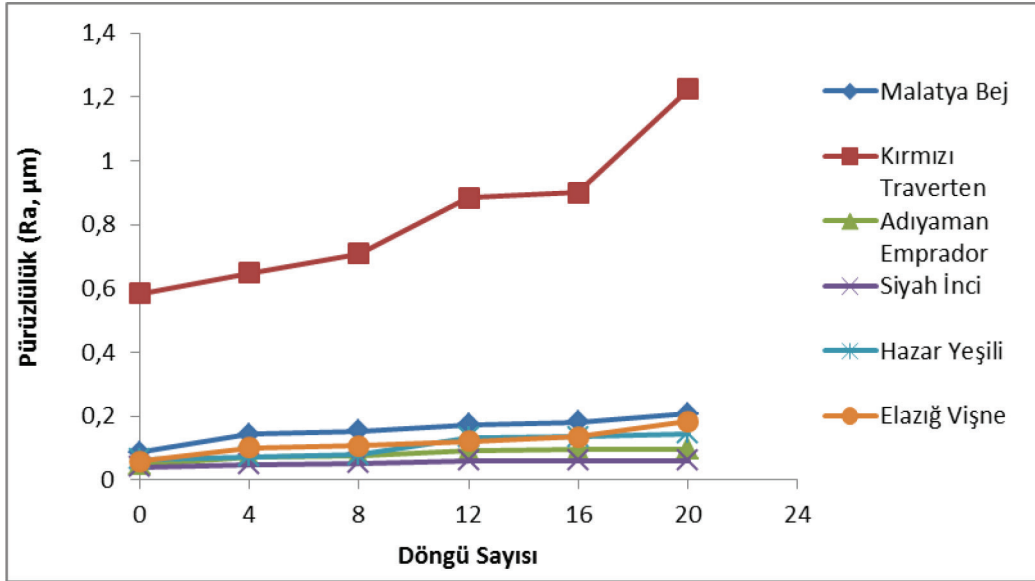
Örnek	Başlangıç	4. döngü	8. döngü	12. döngü	16. döngü	20. döngü
Malatya Bej	0.304	0.334	0.373	0.478	0.528	0.677
Kırmızı Traverten	0.383	0.534	0.567	1.182	1.187	1.278
Adıyaman Emprador	0.062	0.114	0.129	0.157	0.180	0.190
Siyah İnci	0.049	0.212	0.212	0.215	0.255	0.296
Hazar Yeşili	0.062	0.141	0.147	0.152	0.162	0.178
Elazığ Vişne	0.068	0.092	0.095	0.150	0.16	0.198

Çizelge 7. Termal yaşlandırma deneyinde her 4 çevrim sonunda alınan ortalama pürüzlülük değerleri
 Table 7. *Average roughness values at the end of every 4 thermal ageing cycles*

Örnek	Başlangıç	4. döngü	8. döngü	12. döngü	16. döngü	20. döngü
Malatya Bej	0.086	0.143	0.153	0.173	0.181	0.208
Kırmızı Traverten	0.583	0.648	0.709	0.884	0.901	1.224
Adıyaman Emprador	0.049	0.073	0.076	0.091	0.095	0.096
Siyah İnci	0.041	0.049	0.052	0.060	0.060	0.060
Hazar Yeşili	0.065	0.072	0.079	0.133	0.135	0.145
Elazığ Vişne	0.059	0.101	0.107	0.120	0.134	0.183



Şekil 3. Termal Şok deneylerinde döngü sayısına göre pürüzlülük değişimleri
Figure 3. Roughness changes with respect to cycle number in the thermal shock test



Şekil 4. Termal yaşlandırma deneylerinde döngü sayısına göre pürüzlülük değişimleri
Figure 4. Roughness changes with respect to cycle number in the thermal ageing test

ΔP : Pürüzlülükte gerçekleşen % değişim

Sp: Son döngüde ölçülen Pürüzlülük değeri (Ra)

İp: Deney öncesi ölçülen pürüzlülük değeri (Ra)

Şekil 3, Şekil 4, Çizelge 6 ve Çizelge 7 incelendiğinde çalışmada kullanılan tüm mermer örneklerinde termal döngü sayısındaki artışa bağlı olarak pürüzlülük

değerlerinin arttığı gözlenmiştir. Pürüzlülük değerlerinde en fazla artış Kırmızı Traverten örneğinde görülmüştür. Bu örnek için özellikle ilk 12 termal şok döngüsünde pürüzlülük büyük oranda artmış, daha sonra sabitlenmiştir. Kırmızı traverten mermeri çok sayıda açık gözenek içermektedir. Bu gözenekler ısı değişimleri ile genişlemiştir. Pürüzlülüğün en çok

Çizelge 8. Termal şok ve termal yaşlandırma döngüleri sonucunda gerçekleşen pürüzlülük değişimleri (%)
Table 8. After thermal shock and thermal ageing cycles changes of roughness

Örnek	Termal yaşlandırma ΔP	Termal şok ΔP
Malatya Bej	141.86	122.69
Adıyaman Emprador	95.96	233.68
Kırmızı Traverten	109.84	206.45
Elazığ Vişne	210.16	504.08
Hazar Yeşili	123.07	191.17
Siyah İnci	46.37	187.09

artış gösterdiği diğer örnek ise krem renkli Malatya bej mermeridir. Bu mermer de bünyesinde Kırmızı traverten örneğinde olduğu gibi önemli oranda kalsit minerali içermektedir. Kalsit minerali termal genişlemeye-büzülmeye daha fazla uğrayarak bozularak Koyu renkli mermerlerde ise pürüzlülük değişimi daha az oranda görülmektedir. Bu durum mermerlerin mineralojik bileşimi ile ilişkilendirilebilir.

Şekil 4 incelendiğinde termal yaşlandırma deneyinin döngü sayıları arttıkça Kırmızı traverten dışındaki tüm mermerlerde pürüzlülük değerinin çok kısa bir aralıkta arttığı görülmektedir.

Pürüzlülük değerlerinde meydana gelen değişim termal şok ve termal yaşlandırma deneyleri için değerlendirildiğinde termal şok olayının mermer yüzey pürüzlülüğünü daha fazla artırdığı görülmektedir. Pürüzlülüğün artmasında mermerin mineralojik yapısı, bünyesinde mikrokırık ve çatlakları ne oranda içerdiği gözeneklilik durumu, gözeneklerin açık veya kapalı oluşu gibi faktörler etkili olmaktadır.

Termal Şok ve Termal Yaşlandırma Deneyleri Sonucunda Mermer Yüzeylerinde Gözlemlenen Renk Değişimleri

Tüm mermer örneklerinde termal şok ve termal yaşlandırma döngüleri sonucunda değişik oranlarda renk değişimleri gerçekleşmiştir. Termal şok ve termal yaşlandırma döngüleri sonucunda mermer yüzeylerinde meydana gelen toplam renk değişimleri (ΔE) Çizelge 9'da pürüzlülük ve renk değişimlerinin arasındaki ilişki grafiksel olarak Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir.

Çizelge 9 incelendiğinde bütün örneklerin renklerinin değişik oranlarda farklılaştığı görülmektedir. Özellikle kırmızı traverten örneğinin renginin her iki döngü sonunda büyük ölçüde değiştiği belirlenmiştir.

Pürüzlülük ve renk değişimleri arasındaki ilişkiyi gösteren Şekil 5 ve Şekil 6 incelendiğinde, termal döngüler sonucunda pürüzlülük artışı karşısında en fazla renk değişiminin gözenekliliğin en fazla olduğu Kırmızı traverten örneğinde daha sonra su emme yeteneği diğer örneklerle oranla daha fazla olan Adıyaman Emprador mermerinde geliştiği görülmektedir. Termal yaşlandırma döngüleri sonucunda daha fazla renk değişimi görülmüştür. Termal döngülerde ısının etkisi ile genişleme ve büzümeye uğrayan kayacıkta bu döngüler yüzey kalitesinin bozulmasına neden olmaktadır. Termal şok ve termal yaşlandırma döngülerinde gerçekleşen pürüzlülük ve renk değişimlerinin % cinsinden oransal ilişkisi ise Şekil 7' ve Şekil 8'de verilmiştir.

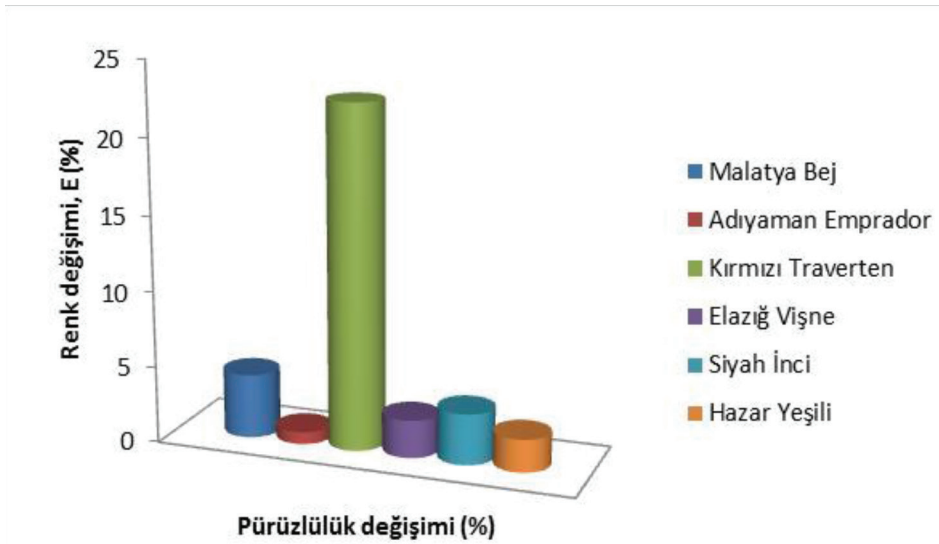
Şekil 7 incelendiği zaman ani ısı değişimlerinin ve nemin etken faktör olduğu termal şok çevrimlerinde ve yavaş gelişen ısı etkilerinin rol oynadığı termal yaşlandırma çevrimlerinde toplam pürüzlülük değişimlerinin toplam renk değişimi üzerinde etkili olmadığı görülmektedir. Örneğin yüksek pürüzlülük değişimi gösteren Siyah İnci mermerinde renk değişimi fazla olmamıştır. Bu durum sözkonusu mermerin dayanım değerlerinin yüksek olmasından kaynaklanabilir.

SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada bazı mermer örneklerinde ani ve yavaş gelişen ısı değişimleri karşısında gelişen pürüzlülük

Çizelge 9. Termal şok ve termal yaşlandırma döngüleri sonucunda gerçekleşen toplam renk değişimleri
Table 9. After thermal shock and thermal ageing cycles changes of total colour

Örnek	Termal yaşlandırma ΔE	Termal Şok ΔE
Malatya Bej	4.25	2.97
Adıyaman Emprador	0.80	3.606
Kırmızı Traverten	22.57	19.06
Elazığ Vişne	2.50	1.79
Hazar Yeşili	2.17	2.16
Siyah İnci	3.37	2.54

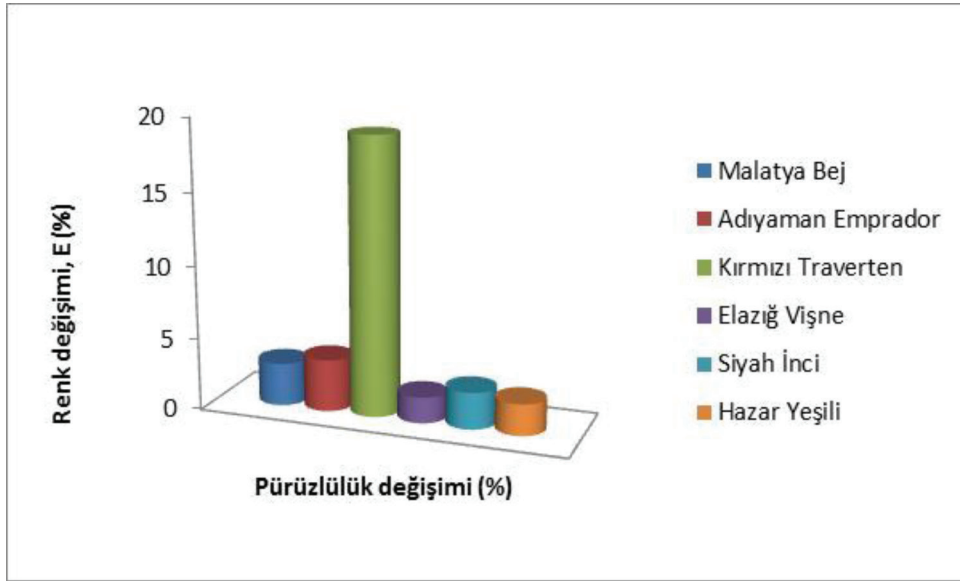


Şekil 5. Termal yaşlandırma döngüleri sonucunda gerçekleşen pürüzlülük ve renk değişimleri
Figure 5. Roughness and color changes at the end of thermal ageing cycles

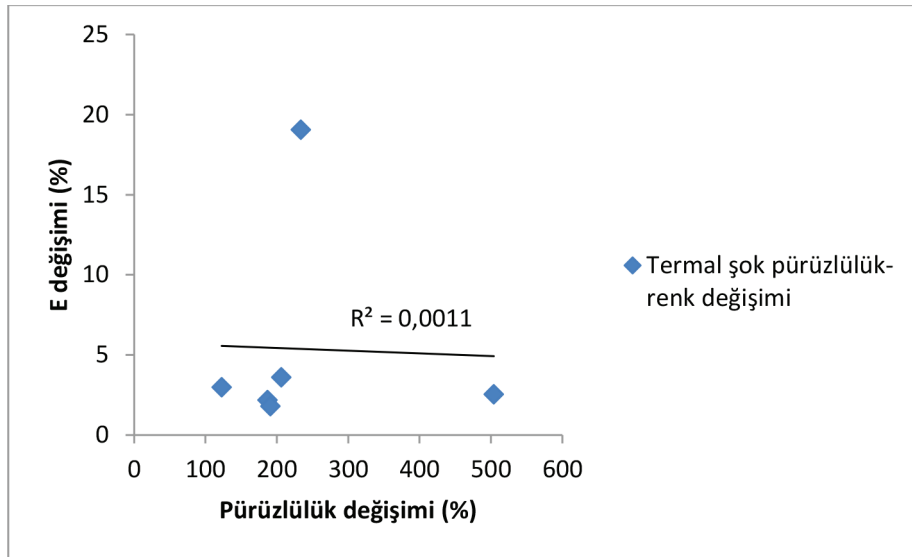
ve renk değişimlerinin ilişkisi araştırılmıştır. Bu amaçla termal şok ve termal yaşlandırma döngüleri uygulanan mermer örneklerinde belirli periyotlarla pürüzlülük ölçümleri alınmış, döngüler sonunda renk tayinleri yapılmış, ağırlık kayıpları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir;

Döngü sayısı arttıkça mermerlerin yüzey pürüzlülüğünün arttığı tespit edilmiştir. Özellikle ani ısı değişimlerinin yaşandığı termal şok çevrimlerinde yüzey pürüzlülüğündeki artış miktarı daha fazladır çünkü

ısı değişimi nedeniyle meydana gelen kayaç tanelerinin genişlemesi ve suyun etkisiyle gelişen büzülme termal şok döngülerinde daha büyük ölçüde gerçekleşmiştir. Isı değişimleri neticesinde gelişen genleşme ve büzülme sonucunda meydana gelen koparak ayrılmalar, mikrokirik ve çatlaklarda genişlemelere neden olmuştur. Bunun neticesinde mermer örneklerinin hepsinde belirgin oranlarda ağırlık kayıpları meydana gelmiştir. Bu etkiyi gözenekliliğin en fazla olduğu kırmızı traverten örneğinde görmek mümkündür.



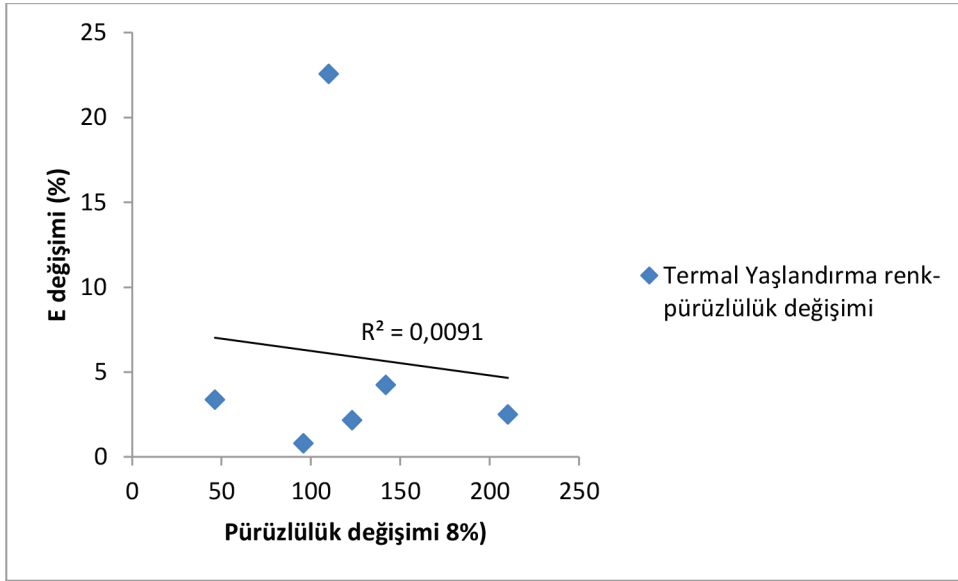
Şekil 6. Termal şok döngüleri sonucunda gerçekleşen pürüzlülük ve renk değişimlerinin
Figure 6. Roughness and color changes at the end of thermal shock cycles



Şekil 7. Termal şok döngülerinde elde edilen pürüzlülük ve renk değişimleri arasındaki ilişki
Figure 7. The relationship between roughness and color change obtained thermal shock cycles.

Toplam renk değişimi ΔE ile pürüzlülük değişimi arasındaki ilişkiye bakılacak olursa ani ve yavaş gelişen ısı değişimlerinin yaşanması sırasında gelişen pürüzlülük değişimleri renk değişimleri arasında belirli bir ilişki tespit edilememiştir.

Mermerlerde özellikle dış cephe kaplamacılığında kullanılacak olanların seçimi yapılırken traverten gibi fazla gözenekli olan türlerin ani ve yavaş gelişen ısı değişimlerinden daha fazla etkilendiği, daha çok yüzey bozulmasına uğradığı ve renk değişimlerinin daha sık geliştiği gözönünde bulundurulmalıdır.



Şekil 8. Termal yaşlandırma döngülerinden elde edilen pürüzlülük ve renk değişimlerinin ilişkisi
Figure 8. The relationship between roughness and color change obtain thermal ageing cycles.

Çalışmanın daha sonraki aşamalarında farklı jeolojik kökenli kayalar kullanılarak jeolojik köken ve kayaç parametrelerinin olaya etkileri araştırılacaktır.

KATKI BELİRTME

Yazarlar bu çalışmayı 2012/181 nolu proje ile maddi açıdan destekleyen İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne, yaptıkları değerlendirmelerle çalışmaya katkılar sağlayan hakemlere teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Akbay, D., Efe, T., Şengün, N., Demirdağ, S., Altındağ, R., and Erinç Koççaz, C., 2012. Donma-Çözülme ve Termal Şok Koşullarının Bazı Mermerler Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. Uluslararası 8. Mermer ve Doğaltaş Kongresi, Afyon.
- Cantisani, E., Pecchioni, E., Fratini, F., Garzonio, C.A., Malesani, P., and Molli, G., 2009. Thermal stress in the Apuan marbles: Relationship between microstructure and petrophysical characteristics. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 46, 128-137.
- Careddu N. and Marras. G., 2013. The effects of solar UV radiation on the gloss values of polished

stone surfaces. Construction and Building Materials, 49, 828-834.

- Erdoğan, Y. and Yaşar, E., 2001. Adana-İçel-Osmaniye Mermerlerinin Mühendislik Özellikleri Açısından Değerlendirilmesi, Türkiye 3. Mermer Sempozyumu, Afyon-Karahisar.
- Eren Sarıcı D., 2016. Thermal deterioration of marbles: Gloss, color changes. Construction and Building Materials, 102, 416-421.
- Görgülü K. ve Ceylanoğlu, A., 2001. Bazı mermer birimlerinde değişik aşındırıcılarla yerinde gerçekleştirilen yüzey aşındırma deney sonuçları ve değerlendirilmesi. Madencilik, Haziran-Eylül-Aralık, 11-26.
- Lam dos Santos JP., Rosa LG. and Amaral PM., 2011. Temperature effects on mechanical behavior of engineered Stones. Construction and Building Materials, 25, 171-174.
- Özguven A. and Özçelik Y., 2013. Investigation of some property changes of natural building stones exposed to fire and heat, Construction and Building Materials 38, 813-821.
- Özguven A., Özçelik. Y., 2014. Effects of high temperature on physico-mechanical properties of Turkish natural building stones. Engineering Geology, 83, 127-136.

- Plevová, E., Kožušníková, A., Vaculíková, L., and Simha Martynková, G., 2010. Thermal behavior of selected Czech marble samples. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 101, 657-664.
- Royer-Carfagni GF. 1999. On the thermal degradation of marble. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 36, 119-126.
- TS EN 14066. 2004. Doğal Taşlar-Deney Metodları-Termal Şok Etkisiyle Yıpranmaya Direncin Tayini. TSE. Ankara.
- TS 699.,1987. Tabii yapı taşları-muayene ve deney metodları. TSE. Ankara.
- TS 6809., 1989. Mohs sertlik cetveline göre sertlik tayini. TSE. Ankara.
- TS EN 1936., 2010. Doğal taşlar-Deney metodları-Gerçek yoğunluk, görünür yoğunluk toplam ve açık gözeneklilik tayini. TSE. Ankara.
- Vazquez P. Luque A. Alanso J.F. and Grassi C.M., 2012. Surface Changes on Crystalline Stones due to salt crystallisation. *Environmet Earth Science. Special Issue*. DOI:10.1007/s12665-012-2003-6.
- Yavuz, H., Demirdağ, S., and Caran S., 2010. Thermal effect on the physical properties of carbonate rocks. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 47, 94-103.