



# Doğal taşların donma çözülme ve termal şok yaşlanmasına bağlı olarak yüzey renk ve güneş ışığı yansıtma indeks (SRI) değerlerinin belirlenmesi ve ısı adası oluşumlarına etkisi

## Determination of surface color and solar reflectance index (SRI) values of natural stones based on freeze-thaw and thermal shock aging, and their impact on heat island occurrence

Mustaf SERT<sup>1\*</sup>, Raşit ALTINDAG<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Maden Mühendisliği Bölümü, Afyon Kocatepe Üniversitesi Afyonkarahisar, Türkiye.

kanunimurat@gmail.com

<sup>2</sup>Maden Mühendisliği Bölümü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye.

rasitalindag@sdu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 08.06.2023

Düzeltilme Tarihi/Revision: 26.10.2023

doi: 10.5505/pajes.2023.26895

Kabul Tarihi/Accepted: 04.12.2023

Araştırma Makalesi/Research Article

### Öz

Bu çalışmada yapı sektöründe sıklıkla kullanılan 20 çeşit magmatik kökenli doğal taş, doğada en yaygın gerçekleşen yaşlandırma etkilerinden donma çözülme ve termal şok etkilerine maruz bırakılmıştır. Yaşlandırma testleri öncesinde ve sonrasında her bir numunenin Güneş ışığı yansıtma değerleri ve güneş ışığı yayılım değerleri ölçülerek Güneş Işığı Yansıtma İndeksi (SRI) değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca numunelerin her birinin yüzey renk değerleri CIA renk indeksine göre ölçülmüş ve renk değişim ( $\Delta E$ ) değerleri hesaplanmıştır. Çalışmanın temel amacı doğal taşların donma çözülme ve termal şok yaşlanmalarına bağlı olarak SRI ve  $\Delta E$  değişimlerini belirlemek ve elde edilen bulguların ısı adası oluşumlarına etkilerini incelemektir. Çalışma sonucunda numunelerin her iki yaşlandırma deneyi sonrasında SRI değerlerinin yaşlandırma deneyleri öncesine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.  $\Delta E$  değerlerine bakıldığında ise termal şok deneylerinin donma çözülme deneylerine göre daha fazla renk değişimine neden olduğu belirlenmiştir. Hem SRI değerlerindeki hem de  $\Delta E$  değerlerindeki genel artışın kentsel ısı adası etkisinin azalmasına katkıda bulunacağı belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Doğal taşlar, donma çözülme, termal şok, ısı adası, güneş ışığı yansıtma indeksi (SRI), renk tayini

### Abstract

In this study, 20 different types of magmatic-origin natural stones commonly used in the construction sector were subjected to the most prevalent aging effects in nature, namely freeze-thaw and thermal shock. Prior to and after the aging tests, the Solar Reflectance Index (SRI) values of each sample were calculated by measuring their solar light reflectance values and solar light scattering values. Additionally, the surface color measurements of each sample were taken according to the CIA color index, and the color change ( $\Delta E$ ) values were calculated. The primary objective of this study is to determine the changes in SRI and  $\Delta E$  values of natural stones due to freeze-thaw and thermal shock aging and to examine the impact of the findings on the formation of urban heat islands. As a result of the study, it was determined that the SRI values of the samples were higher after both aging experiments compared to before the aging experiments. When examining  $\Delta E$  values, it was found that thermal shock experiments caused more significant color changes compared to freeze-thaw experiments. It has been determined that the overall increase in both SRI and  $\Delta E$  values will contribute to the reduction of the urban heat island effect.

**Keywords:** Natural stones, freeze-thaw, thermal shock, heat island, solar reflectance index (SRI), color determination.

## 1 Giriş

Doğal taşlar, insanların kullandığı en eski yapı malzemelerinden biri olarak bilinmekte ve antik çağlardan beri sıklıkla kullanılmaktadır. İnsanların ilk aletlerini kayalardan yaptıkları antik çağlarda, doğal taşların önemi oldukça yüksektir. Yerleşik hayata geçilmesi ve yeni medeniyetlerin kurulmasıyla birlikte, doğal taşların önemi daha da artmış ve doğal taşlardan inşa edilen yapılar medeniyetlerin sembolü haline gelmiştir. Bu sayede binlerce yıldır ayakta duran kayalardan inşa edilmiş antik yapılar, geçmiş medeniyetlerin izini sürmemizi kolaylaştırmakla kalmamış yaşayış biçimlerini de anlamamızı sağlamıştır.

Doğal taşlar, günümüzde şehirlerdeki yapılarda kaplama, döşeme, heykel, anıt gibi alanlarda çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Neredeyse sınırsız sayıda renk ve desen çeşitliliğine sahiptir. Bu çeşitliliğin yanı sıra, doğal taşların mineral içerikleri, çevresel koşullara dayanıklılıkları ve fiziksel özelliklerindeki değişim ve çeşitlilikle oldukça fazladır. Doğal taşların çeşitliliği birçok farklı kullanım alanlarını sunmaktadır. Bunlardan en önemlilerinden biri de dış mekân

kaplaması olarak kullanımlarıdır. Doğal taşların dış mekân kaplaması olarak kullanımı hangi çeşit ve fiziksel özellikte doğal taşın seçildiğine bağlı olarak Kentsel Isı Adası oluşumlarını etkilemektedir.

Kentsel ısı adası etkisi, yerleşim yerlerinin yakın çevrelerinde yer alan kırsal bölgelere (yüzeylerde ve hava ortamında) göre daha yüksek sıcaklık değerlerine sahip olmaları durumudur [1]. Gün boyunca sabit bir değere sahip olmayıp, zamana bağlı olarak değişkenlik göstermektedir [2]. Kent içindeki dağılımı da eşit düzeyde olmamaktadır. Kentsel ısı adasının şiddeti gün batımından itibaren başlayarak yüksek değerlere ulaşmaktadır. Gece saatlerindeki etkisi gündüz saatlerine göre daha yüksek olmaktadır [3].

Güneş Işığı Yansıtma İndeksi (SRI) değerleri malzeme yüzeylerinin güneş ışınlarını ne derecede yansıttığının bir ölçütüdür. SRI değerleri yüksek olan yüzeyler güneşi daha fazla yansıtarak ortamı daha serin hale getirir. SRI değeri düşük olan yüzeyler ise güneş ışınlarını bünyesinde hapsedir ve ısınmaya başlar. Sonrasında bu ısı termal yayılım yoluyla ortama aktarılır ve böylelikle ısı adalarının oluşumu başlar.

\*Yazışılan yazar/Corresponding author

Doğal taşlar, yapı sektöründe sıkça kullanılan cephe kaplama malzemelerinden biridir ancak diğer malzemelere göre üretim maliyetleri ve binalara getirebildiği yükten dolayı daha az tercih edilmektedir.

Doğal taşların cephe kaplamalarındaki tercih edilme oranı, taşın çıkartıldığı bölgeye, rengine, desenine, kalitesine ve fiyatına bağlı olarak değişebilmektedir. Ayrıca, doğal taşların dayanıklılığı, sürdürülebilirliği ve estetiği, dış cephe kullanımlarında tercih edilmesinde önemli bir faktördür.

Dış mekanlarda kullanılan doğal taşların çevresel faktörlerin etkisi altındaki kullanım ömürlerini, kalitesini ve dayanıklılıklarını belirlemek amacıyla yaşlandırma testleri yapılmaktadır. Bu testlerin en önemlileri donma çözülme ve termal şok testleridir. Çalışma konusu olan bu testler dışında SO<sub>2</sub> yıpranması ve Tuz kristalleşmesine direnç testleri de doğal taşların yaşlandırma özelliklerini belirlemek için kullanılan testlerdir.

Dış mekân ve kaplama malzemesi olarak kullanılan doğal taşlar, SRI değerinin uygun seviyede olması durumunda kentsel ısı adası oluşum etkisini azaltıcı etki göstermektedir [4]. Yüksek SRI değerine sahip yüzeyler çatı kaplamaları, büyük dekoratif elemanlar ve yapı yüzeyi üzerindeki diğer taş malzemelerin, enerji emilimini azaltma yönünde bir etkiye sahip olabilmesi mümkündür. Yüksek SRI değerine sahip malzemeler özellikle serin iklimin kısa sürdüğü bölgelerde oldukça avantajlı olabilmektedir. Ağırhalk olarak serin iklimin hâkim olduğu bölgelerde bu tür malzemelerin güneşten gelen enerjiyi yutma özelliği gösterememesi nedeniyle daha fazla ısıtma enerjisine ihtiyaç duyulmaktadır [5]. Buna karşın yaz aylarında ise oldukça önemli enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Dış ortam sıcaklığının yükselmesi durumunda yansıtıcı yüzeyli malzemeler oldukça büyük avantaj sağlamaktadır. Yazın ortalama sıcaklık seviyesiyle birlikte, sıcaklığı oldukça yüksek olduğu zaman dilimlerinde, çatıların sahip olduğu yüksek SRI değerleri ortalama %10 ile %30 arasında bir enerji tasarrufu sağlayabilmektedir [6, 7, 8].

Bezya yakın renge (açık renkler) sahip yüzeylerin güneş ışığını yansıtma özelliğinin siyah (koyu renkler) yüzeylerden daha fazla olması nedeniyle, ısı adaları (ve SRI) oluşumunun malzeme yüzeyinin rengiyle yakından ilişkili olduğu bilinmektedir. Fakat, renk faktörünün ısı adalarının oluşumunun tahmin edilmesinde önemli bir etken olmasına rağmen tek başına belirleyici değildir. SRI malzemenin rengi, bileşimi, yüzey dokusu ve oryantasyonu (döşeme yönü) gibi üç ana faktörden etkilenmektedir. Malzemenin yaşlanması (bozulması), hava ve renk değişikliği sonucu zaman içinde malzemenin SRI değerini düşürebilmektedir. Bir malzemenin SRI değerinin hesaplanmasında güneşi yansıtma ve ısısal yayılım değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Malzemenin güneşi yansıtma özelliği, güneş tarafından yayılan enerjinin yansıtılması anlamına gelmektedir. Bu parametre, 0 ile 1 arasındaki bir ölçekte artan değere paralel olarak artan yansıtma seviyesini tanımlamaktadır. Güneş yansıtılmasında renk her zaman doğru bir belirleyici olmasa da malzeme rengi daha koyu hale geldikçe, yansıtma özelliği de belirli oranda azalma eğilimi göstermektedir. Isı yayılımı ise malzemenin ısıyı serbest bırakabileme yeteneği olarak tanımlanabilmektedir. Güneş yansıtılmaya benzer şekilde, ısı yayılımı da 0 ile 1 arasındaki bir ölçekte artan değere bağlı olarak yutulan enerjinin serbest bırakılmasındaki artışı temsil etmektedir. Bununla birlikte düşük ısı yayılımı özelliği gösteren malzemeler, güneş ışığı yansıtma özelliğinin yüksek seviyede olması durumunda güneş etkisi altında kısmen daha serin yüzeylere sahip olabilmektedir [8].

Termal konfor kavramı insanların yaşadığı ortamın iklimsel koşullarının ne çok soğuk ne de çok sıcak olması halidir [9]. Bu durum cinsiyet, yaş, sağlık durumu gibi birçok faktöre bağlı olmakla birlikte genel anlamda çevresel ve kişisel parametreler olarak sınıflandırılabilir. Kişisel parametreler; kıyafetin ısı direnci ve aktivite seviyesidir. İç mekanlardaki ortam parametreleri ise hava sıcaklığı, hava hızı, iç yüzey sıcaklığı ve bağıl nemdir [10].

Kentsel ısı adası kavramı yerel insan kaynaklı iklim değişikliğinin en iyi bilinen temel nedenlerinden biridir ve kısaca kent içindeki sıcaklığın eş zamanda, çevresindeki kırsal alandan daha yüksek olması olarak tanımlanmaktadır. Bu sıcaklık farkının birçok nedeni olmakla birlikte en önemli nedenlerinden biri kentsel alandaki arazi örtüsündeki değişikliklerdir [11, 12].

Kentsel ısı adalarının insan sağlığı üzerinde önemli etkileri olduğu bilinmektedir. Aşırı sıcak hava nedeniyle ölüm oranları artabilmekte ve

bu durumun önüne geçebilmek için ısı adalarının azaltılması konularında tedbirler alınmaktadır. Bu nedenle binalar henüz inşaat halindeyken hangi özelliklerdeki kaplama malzemelerinin kullanılacağı konularının dikkate alınarak inşa edilmesi gerekmektedir.

Kentsel ısı adası oluşumunun sonucunda; ortamlardaki hava kalitesinin düşmesi, binaların soğutulması için enerji tüketimlerinin artması, soğutma sistemlerinin yoğun kullanımına bağlı elektrik dağıtım şebekelerinde arızalar meydana getirmektedir. Ayrıca rüzgâr, nem ve yağış rejimlerinde değişimler meydana gelmektedir. Öte yandan risk grubu taşıyan hastalarda ve yaşlı insanlarda, sıcak hava dalgalarının yaşandığı günlerde ciddi sağlık sorunlarına ve ölümlere yol açmaktadır [13, 14, 15].

İnsan kaynaklı ısı adaları ve sera gazlarının emisyonları iklim sistemimizi değiştirerek sıcak hava dalgaları kuraklıklara ve orman yangınlarının artmasına neden olmaktadır [16, 17]. Küresel ısınmanın çoğunlukla insan kaynaklı olarak meydana gelmesinin anlaşılmasından bu yana (1950 yılı itibarıyla), olumsuz etkilerinin önlenmesine yönelik dünya çapında irili ufaklı konferanslar ve bilinçlendirme toplantıları düzenlenmiştir [18].

Şehirler insanların bir arada olarak yoğun yaşadığı yerlerdir. Küresel nüfusun artan bir oranda kentsel alanlarda yaşaması şehirleri iklim değişikliği ile mücadelede en önemli endişe kaynağı haline getirmiştir. İnsan kaynaklı iklim değişikliği olaylarının sıklığı küresel ölçekte artış göstermektedir. Şehirlerdeki yapılaşmalarda kullanılan kaplama malzemelerinin güneş ışınlarını yansıtamaması ve bünyesinde hapsetmesi aşırı yüksek sıcaklıklardaki ısı adalarının oluşmasına neden olmaktadır. Şehirlerdeki nüfus artışlarının, sürdürülebilir olmayan yapılaşmanın ve sanayileşmenin getirdiği karbon emisyonları açısından dolayı oluşan ısı adalarındaki artış, ekosistemlerin ve toplulukların başa çıkamayacağı geri dönüşmez çevresel felaketlere neden olmaktadır.

Cephe kaplamalarında kullanılan doğal taşlar kış aylarında donma çözülme, yaz aylarında ise termal şok etkilerine maruz kalmakta ve bu etkiler sonucu bozulmaya uğramaktadır. Doğal taşlar bozulmaya uğradıkça yüzey renk özelliklerinde ve SRI değerlerinde değişiklikler meydana gelmektedir.

Küresel sıcaklık ortalamalarının her yıl artması, dünya genelinde ani iklim değişikliklerine yol açmaktadır. Bu durum, insanlar ve diğer canlılar üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır. Küresel ısınmanın kontrol altına alınması için uluslararası düzeyde birçok anlaşma yapılmış ve kısa, orta ve uzun vadeli hedefler belirlenmiştir. Bu hedefler arasında, gereksiz tüketimi önlemek ve güneş enerjisinden mümkün olduğunca fazla faydalanmak önemli bir yer tutmaktadır.

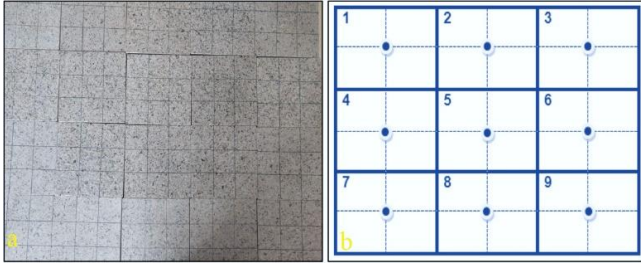
Güneş ışığı yansıtma indeksi (SRI), bir malzemenin güneş ışınlarını ne ölçüde yansıtılabildiğini ifade eden bir ölçüttür ve binalar ile diğer şehir yapılarının enerji verimliliğini belirlemede önemli bir faktör olarak değerlendirilmektedir. Düşük SRI değerine sahip malzemeler, güneş ışınlarını yeterince yansıtamazlar. Şehir yaşam alanlarında genellikle sentetik yapıları yapay malzemelerin kullanılması, bu malzemeler tarafından ısıyı büyük ölçüde emmesine neden olur. Emilen bu ısı, ortama geri yayılarak ısı adalarının oluşmasına yol açar. Isı adaları, yayılan havanın sıcaklığına bağlı olarak hava kalitesini ve ekosistemi olumsuz yönde etkileyen bir etki gösterir. Yüksek SRI değerine sahip yapı ve kaplama malzemeleri, güneş ışınlarını daha iyi yansıtarak içlerinde tuttukları ısı miktarını azaltırlar. Şehir yaşam alanlarında yüksek SRI değerine sahip malzemelerin kullanılması, iklimlendirme için kullanılan enerjiyi azaltmada ve şehirsel ısı adalarının oluşumunu engellemede önemli bir rol oynamaktadır.

Bu çalışmada 20 çeşit magmatik kökenli doğal taşın donma çözülme ve termal şok testleri öncesinde ve sonrasında meydana gelen SRI ve renk değişimleri incelenmiştir. Meydana gelen bu değişim miktarları ve ısı adası oluşumuna etkileri irdelenmiştir.

## 2 Malzeme ve yöntem

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen Donma Çözülme ve Termal Şok yaşlandırma testleri, doğal taşların gerçek iklim koşullarındaki davranışlarını incelemek için yapılan laboratuvar testleridir. Yaşlandırma ölçümleri yapılan numunelerin renk (L, a, b) ve SRI ( $\beta$  ve  $\epsilon$ ) ölçümleri Şekil 1' de belirtildiği şekilde yapılmıştır. Ölçümlerin olabildiğinde homojen olarak alınabilmesi için numunelerin yüzeyleri eşit bir şekilde karelere bölünerek karelej oluşturulmuş ve orta noktalarından ölçümler alınmıştır. Her bir yaşlandırma deneyinin

gerçekleştirilmesinde 6'şar adet 150\*150\*20 mm boyutlarında ve fabrikadan çıktığı şekliyle honlanmış ve/veya cilalanmış yüzey işlemleri numuneler kullanılmıştır.



Şekil 1. a) Numune yüzeylerinde oluşturulan karelaj ve b) karelaj üzerinde belirlenen ölçüm noktaları

Figure 1. a) Grid formed on the sample surfaces, and b) measurement points determined on the grid.

Her bir doğal taş numunesi üzerinde Şekil 1'de gösterilen karelajın tam orta noktalarından 9'ar adet renk (L, a, b) ve SRI hesaplamaları için  $\beta$

ve  $\epsilon$  ölçümleri yapılmıştır. Her bir kayaç örneğinden toplam 12 adet numune (donma-çözülme ve termal şok için 6'şar adet) hazırlanmış ve her bir numune üzerinde hem yaşlandırma testleri öncesinde 9'ar adet hem de yaşlandırma testleri sonrasında 9'ar adet olmak üzere toplamda her bir parametre için 108 adet ölçüm yapılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan 20 farklı doğal taşın; renk (L, a, b) ölçümleri ve SRI hesaplamalarında kullanılan  $\beta$  ve  $\epsilon$  ölçüm parametrelerinin her biri için 4320 adet olmak üzere toplamda 12960 ölçüm yapılmıştır

## 2.1 Malzeme

Bu çalışmada Türkiye'deki yapıların dış cephe ve dış zemin kaplamalarında yaygın olarak kullanılan 8 çeşit yerli, 12 çeşit ithal olmak üzere toplam 20 çeşit magmatik kökenli doğal taş kullanılmıştır. Kullanılan doğal taşların her biri için TS EN 12407 (2019) standardı [19] esas alınarak ince kesitler hazırlanmış ve polarizasyon mikroskop tanımlamaları yapılarak petrografik isimleri belirlenmiştir (Tablo 1). Sıralamalar yapılırken numunelerin XRF yöntemiyle elementel bileşimlerinin tayini ile XRD yöntemiyle mineralojik bileşim tayini sonuçlarından da faydalanılmış olup derinlik, yarı derinlik ve yüzey kayaç şeklinde gruplandırılarak sıralama yapılmıştır.

Tablo 1. Numunelerin mikroskobik tanımlamaları [4]  
Table 1. Microscopic descriptions of the samples

Numune Kodu	Kayaç Adı	Ana Mineraller	Bölge	Köken
N1	Alkali Feldspat Granit	Alkali feldspat, plajyoklaz kuvars, biyotit	Hindistan	Magmatik – Derinlik
N2	Alkali Feldspat Granit	Alkali feldspat, plajiyoklaz, biyotit, kuvars, amfibol	Vietnam	Magmatik – Derinlik
N3	Kalko Alkalen Granit	Alkali feldspat, plajyoklaz kuvars, biyotit	Türkiye/Aksaray	Magmatik – Derinlik
N4	Kalk - Alkalen Granit	Alkali feldspat, plajyoklaz kuvars, granat, piroksen, amfibol	Pakistan	Magmatik – Derinlik
N5	Kalk - Alkalen Granit	Kuvars, ortoklaz, amfibol, Piroksen (eğirin-ojit)	Hindistan	Magmatik – Derinlik
N6	Kuvarslı Monzonit	Alkali feldspat, plajyoklaz, kuvars, amfibol, biyotit, piroksen	Türkiye/Giresun	Magmatik – Derinlik
N7	Granodiyorit	Plajyoklaz, alkali feldspat, kuvars, biyotit, amfibol	Türkiye/Eskişehir	Magmatik – Derinlik
N8	Granodiyorit	Plajyoklaz, kuvars, alkali feldspat, biyotit, amfibol	Türkiye/Kırklareli	Magmatik – Derinlik
N9	Labradorit	Plajyoklaz, piroksen, olivin	Ukrayna	Magmatik – Derinlik
N10	Gabro	Plajyoklaz, piroksen, biyotit, kuvars	Hindistan	Magmatik – Derinlik
N11	Gabro	Plajyoklaz, piroksen, biyotit	Hindistan	Magmatik – Derinlik
N12	Serpantinleşmiş Peridotit	İlksel mineralojik bileşimini kaybetmiş	Hindistan	Magmatik – Derinlik
N13	Dolerit (Diyabaz)	Plajyoklaz, piroksen	Türkiye/Gemlik	Magmatik – Yarı Derinlik
N14	Bazalt	Plajyoklaz, piroksen, olivin	Türkiye/Kayseri	Magmatik – Yüzey
N15	Traki Andezit	Plajyoklaz, opasitleşmiş amfibol, opasitleşmiş biyotit, piroksen, olivin	Türkiye/Kayseri	Magmatik – Yüzey
N16	Andezit	Amfibol, piroksen, plajiyoklaz	Türkiye/Isparta	Magmatik – Yüzey
N17	Meta Granit	Plajyoklaz, kuvars, mika (muskovit, biyotit)	İspanya	Magmatik – Metamorfik
N18	Gnays	Kuvars, mikrolin, plajiyoklaz, biyotit, granat	Hindistan	Magmatik – Metamorfik
N19	Granatlı Gnays	Kuvars, ortoklaz, mikroklin, plajiyoklaz, granat	Hindistan	Magmatik – Metamorfik
N20	Granatlı Hornblendit	Amfibol, granat	Pakistan	Magmatik – Metamorfik

## 2.2 Yöntem

### 2.2.1 Renk tayini

Numunelerin renk ölçümleri ASTM D2244 (2017) standardı [20] esas alınarak yapılmış olup, PCE-XXM 20 marka renk ölçüm cihazı yardımıyla KYM (kırmızı, yeşil, mavi) değerleri ölçülmüştür. Cihaz ölçüm yapmadan önce üzerinde bulunan kalibrasyon plakası ile kalibre edilmiştir. Ölçümler öncesi kalibrasyon işlemi, her 1 saatte veya ortam sıcaklığı  $\pm 5^\circ\text{C}$  değiştiğinde tekrarlanmıştır.

$$X = 0.4124 \left( \frac{R+0.055}{1.055} \right)^{2.4} + 0.3576 \left( \frac{G+0.055}{1.055} \right)^{2.4} + 0.1805 \left( \frac{B+0.055}{1.055} \right)^{2.4} \quad (1)$$

$$Y = 0.2126 \left( \frac{R+0.055}{1.055} \right)^{2.4} + 0.7152 \left( \frac{G+0.055}{1.055} \right)^{2.4} + 0.0722 \left( \frac{B+0.055}{1.055} \right)^{2.4} \quad (2)$$

$$Z = 0.0193 \left( \frac{R+0.055}{1.055} \right)^{2.4} + 0.1192 \left( \frac{G+0.055}{1.055} \right)^{2.4} + 0.9505 \left( \frac{B+0.055}{1.055} \right)^{2.4} \quad (3)$$

X, Y ve Z değerleri, ASTM D2244 standardına göre floresan değerleridir ( $X_n$ : 103.28,  $Y_n$ : 100 ve  $Z_n$ : 69.026). L, a ve b değerlerini elde etmek için (Eşitlik 4 - 6) kullanılmıştır.

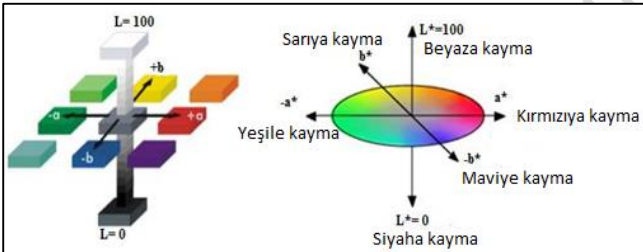
$$L = 116 \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - 16 \quad (4)$$

$$a = 500 \left[ \left( \frac{X}{X_n} \right)^{\frac{1}{3}} - \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \quad (5)$$

$$b = 200 \left[ \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - \left( \frac{Z}{Z_n} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \quad (6)$$

Yukarıdaki eşitlikler yardımıyla elde edilen L, a ve b değerleri kullanılarak (Eşitlik 7) yardımıyla renk değişim seviyeleri hesaplanmıştır.

$$E_{\text{Lab}} = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (7)$$



Şekil 2. Doğal taş numunelerinin renk analizinde kullanılan ve CIE Lab renk uzayı

Figure 2. CIE Lab color space used in the color analysis of natural stone samples

$\Delta E$  (toplam renk farkı) delta L\*, delta a\* ve delta b\* renk değerlerindeki değişime dayanır ve bu değişim değerlerinin tamamı, dikdörtgen bir koordinat sistemi üzerinde (Şekil 2) rengin sayısal olarak tanımlanmasını sağlar. Semboller aşağıdaki gibi ifade edilir:

$\Delta L^*$ , numune ve standart renkler arasındaki açıklık (beyazdan siyaha) farkını temsil etmektedir.

$\Delta a^*$ , numune ve standart renkler arasındaki kırmızılık veya yeşillik farkını temsil etmektedir.

$\Delta b^*$ , numune ve standart renkler arasındaki mavilik-sarılık farklarını belirtmektedir.

$\Delta E$ , 0'dan 100'e kadar bir ölçekte hesaplanmaktadır. Burada 0, renk farkının daha az olmasıdır ve 100, tam bozulma anlamına gelmektedir. Hesaplamalar sonucu belirlenen  $\Delta E$  değerleri Tablo 2'de belirtildiği gibi ifade edilmektedir.

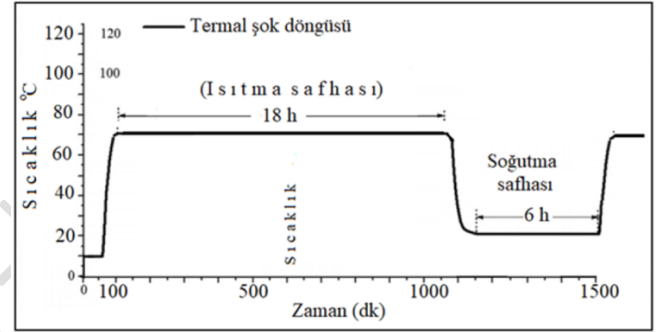
Tablo 2.  $\Delta E$  değer aralıklarının standart ifade biçimleri [21'den modifiye edilmiştir]

Table 2. Standard expressions of  $\Delta E$  value ranges

$\Delta E$ (Renk Farkı)	Standart Algı	Sınıf
$\leq 1$	İnsan gözüyle algılanamaz	A1
1 - 2	Yakın gözlem yoluyla algılanabilir	A2
2 - 10	Bir bakışta algılanabilir	A3
10 - 49	Renkler zıttan daha benzer	A4
49 - 100	Renkler tam tersi	A5

### 2.2.2 Termal Şok Etkisi ile Yıpranmaya Direncin Tayini

Doğal taşlar üzerinde meydana gelen ani sıcaklık değişimleri termal şok etkisi olarak adlandırılmaktadır. Termal şok doğal taşların diferansiyel ısı genleşmesi ve büzülmesinin bir sonucudur [22]. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen termal şok deneyleri TS EN 14066 (2015) standardı [23] esas alınarak belirlenmiştir. Termal şok çevrimleri öncesinde numune yüzeylerinin renk ölçümleri ile güneş ışığı yansıtma ve ısı yayılım ölçümleri yapılmıştır. Sonrasında  $70^\circ\text{C}$  sıcaklıkta 18 saat; takiben  $20^\circ\text{C}$  sıcaklıktaki saf su içerisinde 6 saat süreyle bekletilen örnekler 20 çevrim tamamlandıktan sonra sabit tartıma kadar kurutulmuş ve tekrar güneş ışığı yansıtma ve ısı yayılım ölçümleri yapılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Termal şok etkisi ile yıpranmaya direncin tayini akış şeması [23]

Figure 3. Flowchart for determining resistance to wear by thermal shock effect

### 2.2.3 Donma Dayanım Tayini

Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen donma çözülme çevrimleri tam otomasyona sahip cihazlar ile gerçekleştirilmiştir. Örneklerin donma dayanım tayinleri TS EN 12371 (2011) standardı [24] esas alınarak belirlenmiştir. Donma - çözülme çevrimleri öncesinde numuneler yıkanmış ve  $70^\circ\text{C}$  de sabit tartıma gelene kadar kurularak oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Donma - çözülme çevrimlerine başlamadan önce numunelerin yüzey renk ölçümleri ile güneş ışığı yansıtma ve ısı yayılım ölçümleri yapılmıştır. Sonrasında Tablo 3'de belirtilen adımlar izlenerek 60 çevrim tamamlanmıştır.

Tablo 3. Donma - çözülme deney adımları [24]

Table 3. Steps of freeze-thaw test

Deney adımı	Numune sıcaklığı	Süre
Döngünün başlangıcı ( $T_0$ )	$\geq +5^\circ\text{C} \leq +20^\circ\text{C}$	$T_0$
Kademe 1	$\leq 0^\circ\text{C} \geq -8^\circ\text{C}$	$T_0 + 2.0$ saat
Kademe 2	$\leq -8^\circ\text{C} \geq -12^\circ\text{C}$	$T_0 + 6.0$ saat
Kademe 3 ( $T_0 + 6.5$ saate kadar)	Tam daldırma	$T_0 + 6.5$ saat
Kademe 4	$\geq +5^\circ\text{C} \leq +20^\circ\text{C}$	$T_0 + 9.0$ saate kadar
Kademe 5	$\geq +5^\circ\text{C} \leq +20^\circ\text{C}$	$T_0 + 12.0$ saat

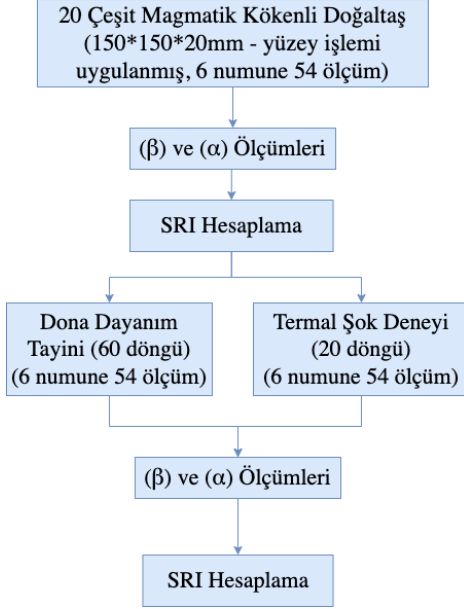
### 2.2.4 Güneş Işığı Yansıtma İndeksinin Belirlenmesi

#### 2.2.4.1 Güneş Işığı Yansıtma değerleri ( $\beta$ ) ve Termal Yayılım ( $\epsilon$ ) değerlerinin ölçülmesi

Numunelerin Güneş Işığı Yansıtma İndeks (Solar Reflectance Index, SRI) değerlerinin belirlenmesi için Güneş Işığı Yansıtma değerleri ( $\beta$ )



(solar reflectance) ve Termal Yayımlı (ε) (thermal emissivity) değerleri farklı atmosfer koşullarında (termal şok ve donma çözülme) belirlenmiştir. Termal şok ve donma-çözülme deneyleri öncesi ve sonrasında yüzey işlemi görmüş numunelerin Güneş Işığı Yansıtma (β) ve Termal Yayımlı (ε) ölçümleri yapılmıştır. Numunelerin Güneş Işığı Yansıtma İndeks (SRI) değerlerinin belirlenmesi için izlenen yol Şekil 4'teki akış şemasında verilmiştir.



Şekil 4. Numunelerin SRI değerlerinin belirlenmesi için izlenen akış şeması

Figure 4. Flowchart for determining SRI values of samples.

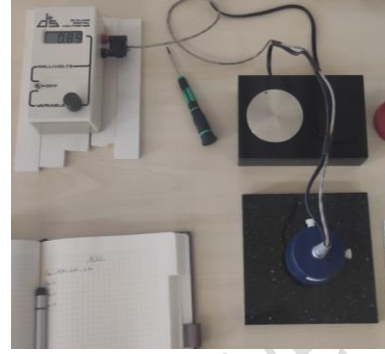
Deney numuneleri eşit yüzey alanına sahip karelere bölünerek bu bölgelerden orijinal numuneler üzerinde β ölçümleri alınmıştır. Daha sonra farklı atmosfer koşulları altında (donma-çözülme ve termal şok) yaşlandırılan numuneler üzerinden tekrar β ölçümleri alınmıştır. Her bir karede yapılan ölçümlerin (bir numune üzerinde 9 adet ölçüm) aritmetik ortalaması alınarak numunenin yaşlandırma öncesi ve yaşlandırma sonrası ortalama β değerleri belirlenmiştir. Böylece numune yüzey özelliklerine bağlı olarak 20 farklı magmatik kökenli doğal taşın β değerleri ölçülmüştür. β değerleri 0 ile 1 arasında değişmekte ve bu değer 1'den çıkarılmasıyla (α=1- β) Güneş Işığı Soğurma (α) (solar absorption) değeri elde edilmektedir. Elde edilen α değeri SRI değerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Numunelerin güneş ışığı yansıtma (solar reflectance) (β) değerlerini ölçmek için Solar Spectrum Reflectometer cihazı (Şekil 5) kullanılmış ve ölçümler ASTM C1549-16 (2022) standardına [25] göre yapılmıştır.



Şekil 5 Numunelerin β değerlerinin Solar Spectrum Reflectometer cihazı ile ölçülmesi

Figure 5. Measurement of β values of samples using Solar Spectrum Reflectometer device.

SRI değerinin hesaplanmasında dikkate alınan bir diğer parametre ise ısı yayılımı (ε) (thermal emissivity) değerleridir. Bu değer Şekil 6'da verilen ısı yayılımı cihazı (termal emissometer) ile ölçülmüştür.



Şekil 6. Isıl Yayımlı Cihazı (termal emissometer) ile deney numunesinin ε değerlerinin ölçülmesi.

Figure 6. Measurement of ε values of the test sample using Thermal Emissometer device.

Yüzeylerin ısı yayılımı niceliğine geçilirken, ölçüm prosedürü ASTM C1371-04 (2015) [26] ve ASTM E408 (2019) [27] standartları tarafından düzenlenir. Isı yayılımı cihazı, 355K sıcaklığa kadar bir elektrik güç sağlayıcısı tarafından ısıtılan, küçük çaplı (50 mm) dairesel bir kafadan oluşur. Ölçüm sırasında, numune yüzeyi ve ölçüm kafası yüzeyi, tüm kafayı kaplayan ve kullanımını kolaylaştıran plastik silindirin dairesel tacı ile sınırlanan bir hava tabakası ile ayrı kalır. Numune ısı iletkenliği, 0.00091 m<sup>2</sup> K/W'dan daha düşük bir ısı dirence karşılık gelen 1100W/m<sup>2</sup>K'dan yüksek olmalıdır. Termal emisyonu nicelleştirme prosedürü, okumayı düşük ve yüksek emisyon standardının emisyonuna eşit olacak şekilde ayarlamak için cihaz kalibrasyonunu ve ardından numune emisyonunun ölçülmesini içerir.

#### 2.2.4.2 Güneş Işığı Yansıtma İndeks (SRI) değerinin hesaplanması

Numunelerin SRI değerlerinin hesaplanması ASTM E1980-11 (2019) standardında [28] öngörülen prosedür izlenerek 8 ve 9 numaralı denklemler yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

ASTM E1980 - 11 (2019) standardında tanımlanan güneş yansıtması ve çevre şartlarına göre SRI denklemi;

$$SRI = 123.97 - 141.35x + 9.655x^2 \quad (8)$$

denkleminde dönüşmekte olup buradaki x değeri,

$$x = \frac{(a-0.029\varepsilon)(8.797+h)}{9.5205\varepsilon+h} \quad (9)$$

denklemleri ile hesaplanmaktadır.

ε: Termal yayılım

β: Güneş ışığı yansıtma

α: Güneş ışığı emilim = 1- Güneş ışığı yansıtma değerleri

h: Isı taşınım katsayısı, W/m<sup>2</sup>.K

Hesaplanan SRI değerinin 100'ün üzerinde bir değer belirlenme ihtimali bulunabilmektedir. Malzemelerin alabileceği SRI sınır değerleri ASTM E1980-11 (2019) 'da detaylı olarak tanımlanmıştır. Bunun yanında literatürdeki daha önce gerçekleştirilen çalışmalar incelendiğinde hesaplanan SRI değerlerinin bazı malzemelerde 100'ün üzerinde (104, 107, 114 gibi) olduğu görülmektedir.

ASTM E1980-11 (2019) standardında önerilen düşük (0 - 2 m/s), orta (2 - 6 m/s) ve yüksek (6 - 10 m/s) rüzgâr koşulları göz önünde bulundurularak taşınım katsayısı (h) değeri 5, 12 ve 30 W/m<sup>2</sup>K olarak ayrı ayrı dikkate alınmıştır. Her bir h durumu için tüm yaşlandırma koşulları öncesi ve sonrasında β ve ε ölçümleri yapılan numunelerin SRI değerleri hesaplanmıştır. Bu çalışmadaki SRI hesaplamaları yaz mevsiminde en çok yaşanan rüzgârsız durgun hava (h=5 W/m<sup>2</sup>K) koşullarına göre yapılmıştır.

Yaşlandırma deneylerinin doğal taş numuneleri üzerindeki SRI değişimlerini incelemek için 20 çeşit magmatik kökenli doğal taş numunesinin yaşlandırma deneyleri öncesi (orijinal) ve sonrası SRI değerlerindeki değişimler ve birbirlerine göre göreceli olarak karşılaştırmaları için 10 nolu denklem kullanılmıştır [29].

$$\Delta SRI = SRI_s - SRI_o \quad (10)$$

Eşitlikte  $\Delta SRI$ , başlangıç ve deneyler sonrası SRI farkıdır.  $SRI_o$ , yaşlandırma deneyleri öncesi,  $SRI_s$  ise yaşlandırma deneyleri sonrası SRI değerleridir.

Alchapar vd. (2013) [29], SRI farkları  $\pm 5'$ den küçük olduğunda malzemelerin ısı davranışlarının sabit olduğunu belirlemek için bir değerlendirme yapmışlar ve başlangıçtaki SRI değeri, yaşlanan malzemenin SRI değerinden daha düşük olmasının istenen bir durum olduğunu ifade etmişlerdir. Tersî durumda ise kentsel sıcaklıkları düşürme kabiliyeti zayıf malzemeler olarak sınıflandırmışlardır. Böylelikle,  $\Delta SRI < -5$  ise "bozulmuş",  $\Delta SRI \leq \pm 5$  ise "kararlı" ve  $\Delta SRI > +5$  ise "iyileşmiş" şeklinde tanımlamışlardır.

### 3 Bulgular ve Tartışmalar

Çalışma kapsamında farklı yaşlandırma koşullarına (donma çözülme ve termal şok) tabi tutulmuş ve yüzey işlemleri uygulanmış 20 farklı magmatik kökenli doğal taşın SRI değerlerinin birbirlerine göre karşılaştırılması sütun grafikleri üzerinde verilmiştir. Güneş ışınlarının en yoğun olduğu zaman aralıklarında rüzgâr durumunu temsil eden  $h=5$  W/m<sup>2</sup>K değeridir. Rüzgâr hızının artması durumunda **çoğunlukla** SRI değerlerinin de **bir miktar arttığı** görülmektedir. Çizelge ve grafiklerde dona dayanım deneyleri öncesinde yapılan ölçümler (**DÖ**), sonrası yapılan ölçümler (**DS**) olarak belirtilmiş olup, termal şok öncesi yapılan ölçümler (**TÖ**), termal şok sonrası yapılan ölçümler (**TS**) olarak belirtilmiştir.

#### 3.1 Yaşlandırma Deneylerinin Renk Özellikleri Üzerine Etkileri ve SRI ile İlişkileri

Yaşlandırma deneyleri öncesi ve sonrası gerçekleştirilen renk ölçümleri Tablo 4 ve Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 4. Numunelerin dona dayanım öncesi ve sonrası renk tayini sonuçları (L: beyaz ve siyaha kayma, a: yeşile ve kırmızıya kayma, b: maviye ve sarıya kayma)

Table 4. Results of color determination for samples before and after freeze-thaw resistance testing (L: shift to white and black, a: shift to green and red, b: shift to blue and yellow)

No	(L)		(a)		(b)	
	DÖ	DS	DÖ	DS	DÖ	DS
N1	48.57	48.75	-9.17	-10.55	23.05	23.12
N2	52.36	53.27	-11.49	-13.81	-1.32	-1.55
N3	53.78	52.33	-8.72	-10.34	-5.94	-6.29
N4	50.06	50.27	-9.42	-9.69	10.34	11.02
N5	52.00	51.73	-5.78	-6.57	5.13	7.77
N6	50.34	50.22	-11.67	-11.71	7.28	6.83
N7	57.55	59.04	-23.65	-27.74	-9.71	-9.25
N8	50.54	50.49	-10.54	-10.35	5.84	6.04
N9	38.10	37.70	6.91	8.81	6.60	6.06
N10	44.17	45.77	-15.48	-19.72	15.78	18.55
N11	39.09	40.55	-2.20	-6.53	11.81	12.76
N12	50.70	50.72	-15.46	-15.13	6.28	6.56
N13	42.00	39.79	-7.48	0.30	13.40	11.33
N14	35.62	36.10	16.46	15.27	6.20	6.69
N15	49.24	48.27	-11.46	-7.35	23.95	22.13
N16	51.24	51.21	-5.26	-5.62	-3.91	-2.46
N17	60.05	59.72	-29.70	-30.18	-3.75	-2.97
N18	51.40	53.31	5.01	1.03	11.29	8.17
N19	57.51	58.74	-12.75	-17.97	26.39	26.63
N20	38.40	41.48	4.54	-7.10	7.65	12.66

Tablo 5. Numunelerin termal şok öncesi ve sonrası renk tayini sonuçları (L: beyaz ve siyaha kayma, a: yeşile ve kırmızıya kayma, b: maviye ve sarıya kayma)

Table 5. Results of color determination for samples before and after thermal shock testing (L: shift to white and black, a: shift to green and red, b: shift to blue and yellow)

No	(L)		(a)		(b)	
	TÖ	TS	TÖ	TS	TÖ	TS
N1	48.55	48.15	-9.27	-6.56	23.21	22.88
N2	50.35	54.69	-11.96	-15.19	-2.02	-5.18
N3	53.79	52.51	-8.81	-6.41	-5.90	-3.02
N4	49.96	50.31	-10.61	-8.73	13.01	10.66
N5	52.85	55.15	-8.21	-13.40	5.22	5.34
N6	50.21	50.29	-10.64	-10.40	7.14	5.34
N7	57.60	57.92	-23.58	-24.22	-9.53	-9.31
N8	50.82	49.96	-12.44	-12.78	7.52	9.78
N9	38.13	37.78	6.05	9.87	6.59	6.12
N10	43.88	43.93	-15.48	-19.92	15.90	18.67
N11	39.34	41.26	1.20	-5.46	8.72	12.32
N12	50.67	50.71	-14.87	-13.38	6.16	6.02
N13	40.28	39.31	-5.18	-2.96	12.52	10.89
N14	35.96	35.03	12.78	14.53	7.03	6.79
N15	48.42	48.10	-7.66	-7.76	21.92	22.93
N16	53.17	52.79	-10.53	-10.19	-4.05	-2.29
N17	59.84	60.24	-30.11	-30.57	-4.80	-3.42
N18	52.27	53.59	1.69	1.04	9.31	7.93
N19	53.42	56.13	-0.23	-5.91	26.74	27.52
N20	37.56	40.97	7.17	-3.37	6.55	11.50

Çalışma kapsamında kullanılan farklı jeolojik oluşumlara sahip 20 çeşit magmatik kökenli doğal taşın renk değişim ( $\Delta E$ ) değerleri Tablo 6'da belirtilmiştir.

Tablo 6. Numunelerin dona dayanım ve termal şok sonrası renk değişimleri ( $\Delta E$ ) sonuçları

Table 6. Results of color changes ( $\Delta E$ ) for samples after freeze-thaw resistance and thermal shock testing.

No	Dona Dayanım ( $\Delta E$ )	Termal Şok ( $\Delta E$ )
N1	1.39	2.76
N2	2.50	6.27
N3	2.20	3.96
N4	0.76	3.03
N5	2.77	5.68
N6	0.47	1.82
N7	4.38	0.75
N8	0.28	2.44
N9	2.02	3.86
N10	5.31	5.23
N11	4.67	7.81
N12	0.43	1.50
N13	8.35	2.92
N14	1.37	2.00
N15	4.60	1.06
N16	1.49	1.83
N17	0.97	1.51
N18	5.41	2.02
N19	5.37	6.34
N20	13.04	12.13

Donma çözülme ve termal şok, deneylerine tabi tutulan örnekler deneyler başlamadan önce (orijinal) ve çevrimler sonrasında beyaz ve siyaha kayma (L), yeşile ve kırmızıya kayma (a), maviye ve sarıya kayma (b) ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümler sonucunda yaşlandırma

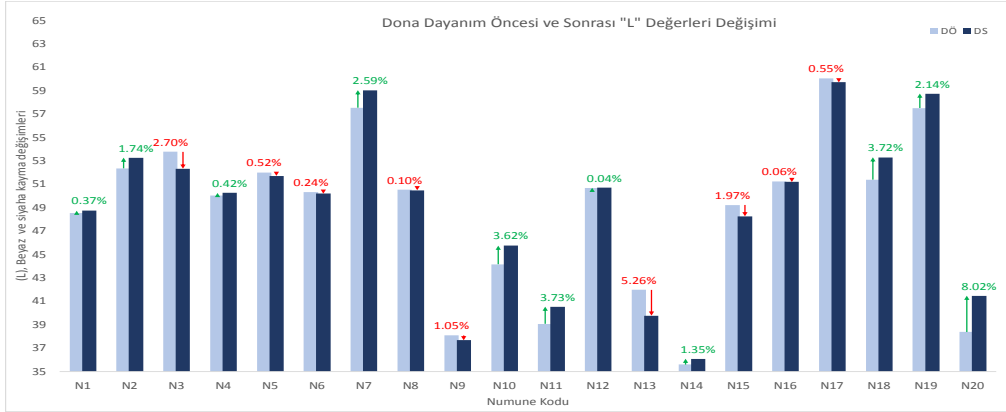
testleri öncesi ve sonrası değişimler ve bu değişimlerin SRI değerleri ile olan ilişkileri belirlenmiştir.

Dona dayanım öncesi ve sonrasında ölçülen beyaza kayma (L) değerlerinin değişimleri Şekil 7'de, yeşile ve kırmızıya kayma (a) Şekil 8'de ve maviye ve sarıya kayma (b) değerlerindeki değişimler Şekil 9'da verilmiştir. Değerlerinde artış olan örnekler yukarı oklu ve yeşil renkli olarak grafik üzerinde belirtilmiştir. Değerlerinde azalış olan örnekler ise aşağı oklu ve kırmızı renkli olarak grafik üzerinde belirtilmiştir. Örneklerin "L" değerlerinde artış olması renginin beyaza daha çok yaklaştığı yer yer solma veya açıklaşma görüldüğü anlamına gelmektedir. Azalış olan örneklerde ise rengin siyaha kaydığı anlamına gelmektedir.

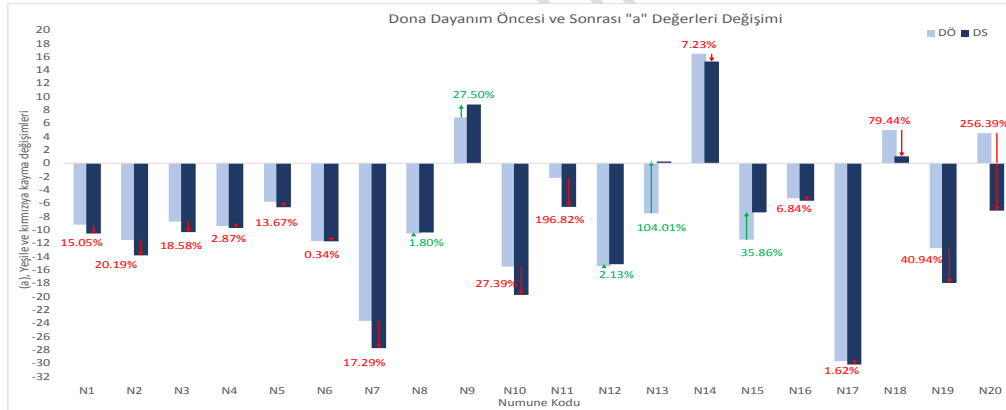
"a" değerinde artış olan örneklerin renginin kırmızıya kaydığı, azalış olan numunelerin ise renginin yeşile kayma eğiliminde olduğu görülmektedir.

"b" değerinde artış olan örneklerin renginin maviye kayma eğiliminde olduğu, azalış olan numunelerin renginin ise sarıya kayma eğiliminde olduğu görülmektedir.

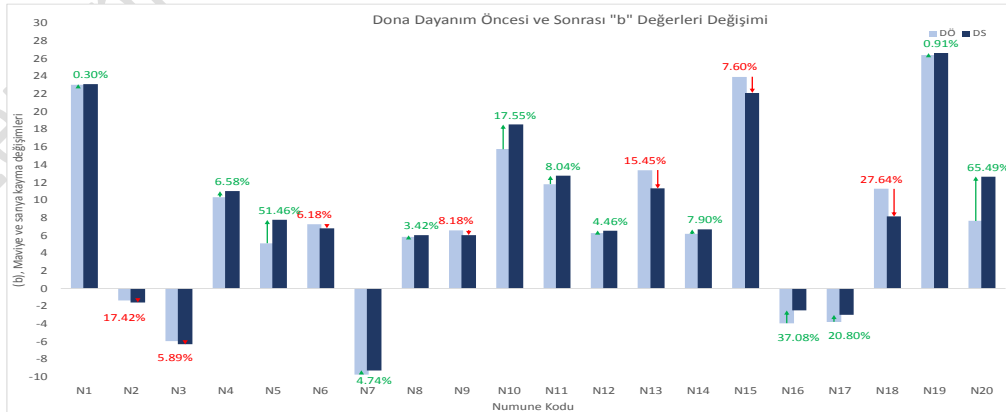
Termal şok öncesi ve sonrasında ölçülen beyaza kayma (L) değerlerinin değişimleri Şekil 10'da, yeşile ve kırmızıya kayma (a) Şekil 11'de ve maviye ve sarıya kayma (b) değerlerindeki değişimler Şekil 12'de verilmiştir.



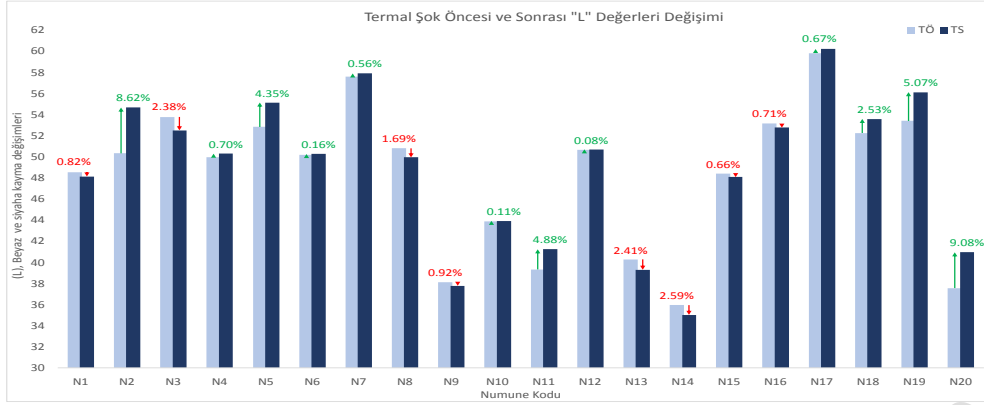
Şekil 7. Dona dayanım öncesi ve sonrası "L" değerleri değişimi  
Figure 7. Change in "L" values before and after freeze-thaw resistance



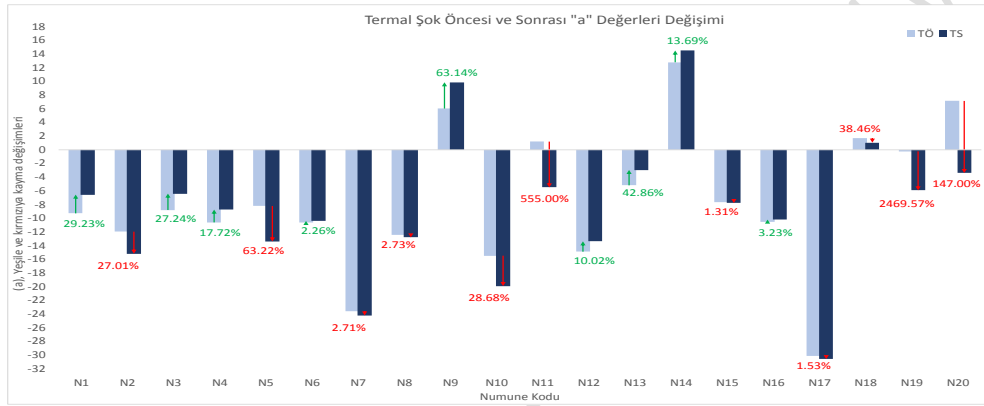
Şekil 8. Dona dayanım öncesi ve sonrası "a" değerleri değişimi  
Figure 8. Change in "a" values before and after freeze-thaw resistance



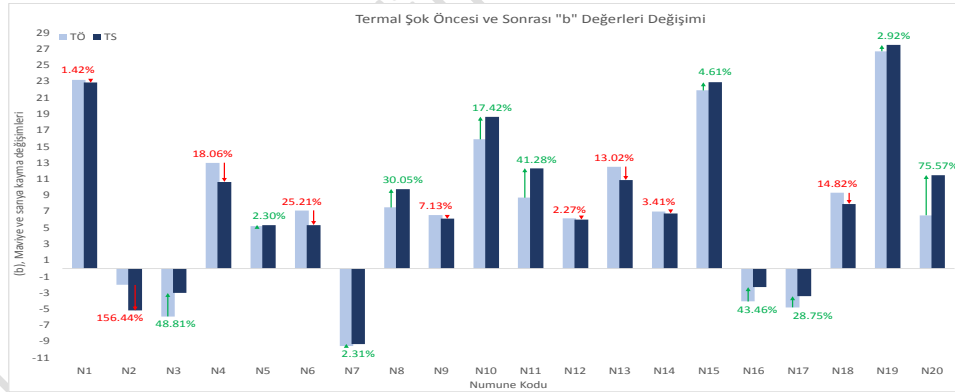
Şekil 9. Dona dayanım öncesi ve sonrası "b" değerleri değişimi  
Figure 9. Change in "b" values before and after freeze-thaw resistance



Şekil 10. Termal şok öncesi ve sonrası "L" değerleri değişimi  
Figure 10. Change in "L" values before and after thermal shock



Şekil 11. Termal şok öncesi ve sonrası "a" değerleri değişimi  
Figure 11. Change in "a" values before and after thermal shock



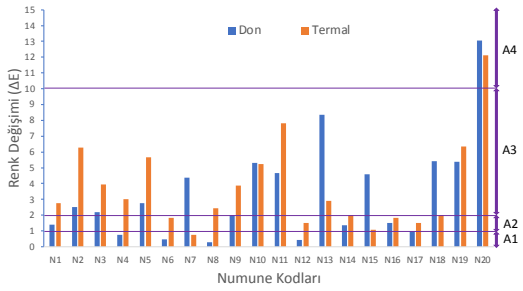
Şekil 12. Termal şok öncesi ve sonrası "b" değerleri değişimi  
Figure 12. Change in "b" values before and after thermal shock



Renk değişimlerinden L (beyaz ve siyaha kayma) değerleri dondayanım (+0.91) ve termal şok (+0.59) testlerinde yükselme (beyaza kayma) eğilimi görülmüştür (Şekil 7 ve Şekil 10). Renk değişimlerinden a (yeşile ve kırmızıya kayma) değerleri dondayanım (-1.38), ve termal şok (-1.05) testlerinde az miktarda azalış (yeşile kayma) eğilimi görülmüştür (Şekil 8 ve Şekil 11).

Renk değişimlerinden b (maviye ve sarıya kayma) değerleri dondayanım (+0.37) ve termal şok (+0.51) testlerinde yükseliş (sarıya kayma) eğilimi görülmüştür (Şekil 9 ve Şekil 12).

Yukarıda tespit edilen renk değişimleri, donma çözülme ve termal şok yaşandırmalarının örneklerin yüzeylerinde bozulmalara neden olduğu için gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 13. Dondayanım ve termal şok sonrası renk değişimi ( $\Delta E$ ) değerleri

Figure 13. Color change ( $\Delta E$ ) values after freeze-thaw resistance and thermal shock.

$\Delta E$  değerleri doğal taşların renk uzayının tamamına (L, a, b) karşılık gelen değişimi sayısallaştırmak amacıyla hesaplanmıştır. Yaşlandırma testleri sonucu ölçülen renk değişimleri ( $\Delta E$ ) Şekil 13 üzerinden incelendiğinde numunelerin genellikle A3 bölgesinde kaldığı görülmektedir. Bu alanda kalan numunelerin yaşlandırma testleri sonrasında yüzey renk değişimleri "bir bakışta algılanabilir" seviyede olduğu belirlenmiştir. A1 bölgesinde kalan doğal taşların yüzey renk değişimleri "insan gözüyle algılanamaz" seviyede, A2 bölgesinde "yakın gözlem yoluyla algılanabilir" seviyede, A3 bölgesinde "bir bakışta algılanabilir" seviyede ve A4 bölgesindekilerin ise "renkler zıttan daha benzer" seviyede olduğu tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında renk ölçümleri yapılan 20 çeşit magmatik kökenli doğal taş numunesinin ölçüm sonuçlarının ortalamaları hesaplandığında  $\Delta E$  değerleri dondayanım sonrası için 3.39, termal şok sonrası için 3.75 olarak belirlenmiştir.

### 3.2 Yaşlandırma koşullarına bağlı SRI değişimlerinin irdelenmesi

Yaşlandırma koşullarına bağlı SRI değişimlerinin incelenmesi için iklimsel ve çevresel şartları temsil etmesi açısından dört temel yaşlandırma testi gerçekleştirilmiştir. Soğuk ve sıcak iklim bölgeleri için donma çözülme ve termal şok deneylerinin sonuçları ayrı ayrı değerlendirilerek mukayeseleri yapılmıştır. Tüm numuneler üzerinde yaşlandırma koşulları öncesi ve sonrası için her üç rüzgâr durumuna göre yapılan hesaplamalar sonucu belirlenen SRI değerleri Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Numunelerin dondayanım ve termal şok deneyleri öncesi ve sonrası  $h=5 \text{ W/m}^2\text{K}$  için hesaplanan Güneş Işığ Yansıtma İndeksi (SRI) değerleri (Sert, 2023)

Table 7. Calculated Solar Reflectance Index (SRI) values for samples before and after freeze-thaw resistance and thermal shock tests for  $h=5 \text{ W/m}^2\text{K}$

h=5	DÖ (%)	DS (%)	TÖ (%)	TS (%)
N1	9.986	18.319	10.075	19.038
N2	20.960	29.174	20.362	31.168
N3	33.627	36.297	32.375	36.223
N4	20.755	27.006	20.372	28.909
N5	22.928	27.570	23.688	32.838
N6	12.966	22.499	14.678	22.555

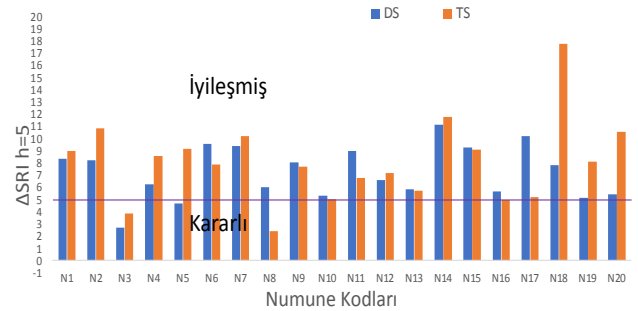
N7	27.099	36.494	27.828	38.045
N8	18.789	24.804	19.007	21.427
N9	0.775	8.804	1.100	8.804
N10	1.082	6.376	1.170	6.166
N11	-2.315	6.666	-0.077	6.673
N12	15.723	22.326	17.521	24.671
N13	3.594	9.397	3.364	9.099
N14	2.715	13.822	2.342	14.077
N15	18.154	27.432	18.859	27.923
N16	30.568	36.203	32.603	37.591
N17	31.048	41.240	36.248	41.447
N18	33.352	41.170	27.818	45.582
N19	39.887	45.041	37.253	45.323
N20	4.246	9.659	5.486	16.010

Yaşlandırma testleri öncesi ve sonrasında oluşan SRI değişimleri Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. Numunelerin dondayanım ve termal şok deneyleri sonrası SRI değişimleri ( $\Delta SRI$ )

Table 8. SRI changes ( $\Delta SRI$ ) of samples after freeze-thaw resistance and thermal shock tests.

h=5	DÖ (%)	DS (%)
N1	9.986	18.319
N2	20.960	29.174
N3	33.627	36.297
N4	20.755	27.006
N5	22.928	27.570
N6	12.966	22.499
N7	27.099	36.494
N8	18.789	24.804
N9	0.775	8.804
N10	1.082	6.376
N11	-2.315	6.666
N12	15.723	22.326
N13	3.594	9.397
N14	2.715	13.822
N15	18.154	27.432
N16	30.568	36.203
N17	31.048	41.240
N18	33.352	41.170
N19	39.887	45.041
N20	4.246	9.659



Şekil 17.  $h=5 \text{ W/m}^2\text{K}$  için dondayanım ve termal şok sonrası oluşan  $\Delta SRI$  değişimi

Figure 17.  $\Delta SRI$  change after freeze-thaw resistance and thermal shock for  $h=5 \text{ W/m}^2\text{K}$

Şekil 17 incelendiğinde numunelerin yaşlandırma testleri sonrasında  $h=5 \text{ W/m}^2\text{K}$  için  $\Delta SRI$  değişim durumları aşağıdaki şekilde yorumlanabilmektedir;

**Dondayanım testleri sonrasında** N3 ve N5 numuneleri kararlı aralıkta ( $\Delta SRI \leq \pm 5$ ) bulunmakta olup diğer numunelerde iyileşme ( $\Delta SRI > 5$ ) olduğu görülmektedir.

**Termal şok sonrası** N3, N8, N10 ve N16 numuneleri kararlı aralıkta ( $\Delta SRI \leq \pm 5$ ) bulunmakta olup diğer numunelerde iyileşme ( $\Delta SRI > 5$ ) olduğu görülmektedir.

Şekil 17'ye göre  $h=5 \text{ W/m}^2\text{K}$  için SRI değişiminin en fazla gerçekleştiği yaşlandırma koşulu **termal şok** olarak belirlenmiştir.

#### 4 Sonuç ve değerlendirme

Çalışma kapsamında, farklı yapısal ve dokusal özelliklere sahip 20 çeşit magmatik kökenli doğal taşta ait numunelerin yaşlandırma testleri öncesi ve sonrası renk ölçümleri ile SRI değerlerinin hesaplamaları yapılmış ve birbirleri ile kıyaslanmıştır.

Magmatik kökenli doğal taşlar, sedimanter ve metamorfik kökenli karbonatlı doğal taşlara kıyasla daha heterojen bir yapıya sahiptir. Bu heterojenlik, magmatik kökenli doğal taşların içerdiği mineral çeşitliliğinin daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Yüksek heterojenlik düzeyi, elde edilen sonuçların yorumlanmasını oldukça zorlaştırmıştır.

Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

- Yaşlandırma deneylerinden (dona dayanım ve termal şok) önce ve sonra, numunelerin  $h=5 \text{ W/m}^2\text{K}$  için hesaplanan SRI değerleri incelendiğinde, yaşlandırma sonrası hesaplanan değerlerin öncesine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Yaşlandırma sonrası doğal taşların yüzeylerinde oluşan SRI artışı nedeniyle kentsel yaşam alanlarında ısı adası oluşumu daha az olacak ve bu da yaşam alanlarındaki hissedilen hava sıcaklığındaki artışa daha az katkı sağlayacaktır.

$$\begin{aligned} SRI_{\text{Dona dayanım öncesi}} &< SRI_{\text{Dona dayanım sonrası}} \\ SRI_{\text{Termal şok öncesi}} &< SRI_{\text{Termal şok sonrası}} \end{aligned}$$

Yaşlandırma testleri sonrası SRI değerlerinin yükselmesinin başlıca nedeni yüzeyde meydana gelen bozulmaların numunelerin yüzey rengini soldurması ve oluşan mikro çatlak ve gözenekler sayesinde numunelerin yüzey alanlarında görece artış meydana gelmesidir. Bu durum malzemenin yüzeyinden yansıyan güneş ışığı miktarını artırmaktadır.

- Yaşlandırma testleri sonucunda renk değişimlerinden "L" (beyaz ve siyaha kayma) değerlerinin ortalaması alındığında yükseliş (**beyaza kayma**) eğiliminde oldukları belirlenmiştir. Yaşlandırma testleri arasındaki değişim ilişkisi aşağıdaki gibi derecelendirilmiş olup "L" değerlerinin değişimlerine **en çok dona dayanım** deneylerinin neden olduğu belirlenmiştir. Korelasyon ilişkilerine bakıldığında  $h=5 \text{ W/m}^2\text{K}$  için  $\Delta SRI$  ile renk değişimleri (L, beyaz ve siyaha kayma değişimleri) arasında dona dayanım sonrası bir ilişki olmadığı, termal şok sonrası ise orta seviyede bir ilişki ( $r=0.56$ ) olduğu görülmüştür.

$$\Delta L_{\text{Termal şok}} < \Delta L_{\text{Dona dayanım}}$$

- Yaşlandırma testleri sonucunda renk değişimlerinden "a" (yeşile ve kırmızıya kayma) değerlerinin ortalaması alındığında azalış (**yeşile kayma**) eğiliminde oldukları belirlenmiştir. Yaşlandırma testleri arasındaki değişim ilişkisi aşağıdaki gibi derecelendirilmiş olup "a" değerlerinin değişimlerine **en çok dona dayanım** deneyinin neden olduğu belirlenmiştir. Korelasyon ilişkilerine bakıldığında  $h=5 \text{ W/m}^2\text{K}$  için  $\Delta SRI$  ile renk değişimleri (a, yeşile ve kırmızıya kayma değişimleri) arasında dona dayanım sonrası ve termal şok sonrası bir ilişki olmadığı görülmüştür.

$$\Delta a_{\text{Termal şok}} < \Delta a_{\text{Dona dayanım}}$$

- Yaşlandırma testleri sonucunda renk değişimlerinden "b" (yeşile ve kırmızıya kayma) değerlerinin artış (**sarıya kayma**) eğiliminde oldukları belirlenmiştir. Yaşlandırma testleri arasındaki değişim ilişkisi aşağıdaki gibi derecelendirilmiş olup "b" değerlerinin değişimlerine **en çok termal şok** deneyinin neden olduğu belirlenmiştir. Korelasyon ilişkilerine bakıldığında  $h=5 \text{ W/m}^2\text{K}$  için  $\Delta SRI$  ile renk değişimleri (b, maviye ve sarıya kayma

değişimleri) arasında dona dayanım sonrası ( $r=0.28$ ) ve termal şok sonrası ( $r=0.40$ ) çok düşük seviyede bir ilişki olduğu görülmüştür.

$$\Delta b_{\text{Dona dayanım}} < \Delta b_{\text{Termal şok}}$$

- Çalışma kapsamında incelenen tüm örneklerin yaşlandırma testleri sonucunda renk uzayındaki değişimlerinin ( $\Delta E$ ) genel ortalamalarına bakıldığında aşağıdaki gibi derecelendirilmiştir. " $\Delta E$ " değerlerinin değişimlerine **en çok termal şok** deneylerinin neden olduğu belirlenmiştir.

$$\Delta E_{\text{Dona dayanım}} < \Delta E_{\text{Termal şok}}$$

$\Delta E$  değerlerinin yaşlandırma koşulları sonrasında meydana gelen renk değişimleri numune bazında incelendiğinde büyük bir kısmının A3 sınıfında yani değişimlerin "bir bakışta algılanabilir" seviyede olduğu belirlenmiştir. Bu değişimlerin genel olarak numunelerin içerdiği mineral çeşitliliği ve mineral oranlarındaki farklılıklardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

- Dona dayanım sonrası N3 ve N5 numunelerinin SRI değerleri kararlı aralıkta yer almaktadır. Soğuk iklime sahip bölgelerdeki yapılarda kullanılan malzemelerin güneş ışınlarını daha az yansıtması istenmektedir. Bu nedenle soğuk iklime sahip bölgelerde koyu renkli ve kararlı aralıkta olan doğal taşların kullanımı teşvik edilmelidir.
- Termal şok sonrası N3, N8, N10 ve N16 numunelerinin SRI değerleri kararlı aralıkta yer almaktadır. Sıcak iklime sahip bölgelerdeki yapılarda kullanılan doğal taşların güneş ışınlarını daha fazla yansıtması istenmektedir. Bu nedenle sıcak iklime sahip bölgelerde açık renge sahip ve kararsız bölgede olan doğal taşların kullanımı teşvik edilmelidir.
- Altındağ vd. (2017) [30], çalışmalarında karbonat kökenli 30 çeşit doğal taşın dona dayanım ve termal şok testleri sonrasında ortaya çıkan  $\Delta SRI$  değerlerinin grafik üzerinde incelenmesi sonucunda 6 çeşit numunenin "iyileşmiş" alanda, diğer tüm numunelerin ise  $\Delta SRI \leq \pm 5$  ve  $\Delta SRI > 5$  (kararlı+iyileşmiş alanda) olduğunu belirlemişlerdir. Aynı yaşlandırma testleri için çalışma kapsamında 20 çeşit magmatik kökenli doğal taş üzerinde yaptığımız çalışmada sonucunda N3 ve N5 numunelerin kararlı aralıkta diğer tüm numunelerin ise iyileşmiş ve iyileşmiş+kararlı bölge içerisinde buldukları belirlenmiştir. Bu veriler ışığında karbonat kökenli doğal taşlar ile magmatik kökenli doğal taşların SRI değerlerinin değişimleri açısından genellikle birbirlerinin tersi bir davranış sergilediği görülmüştür.

#### 5 Conclusion

Within the scope of this study, color measurements and SRI calculations were performed on samples of 20 different types of magmatic natural stones with varying structural and textural properties, both before and after aging tests. The calculated SRI values were compared with each other. In SRI calculations, the air transport coefficient's effect was taken as  $h=5 \text{ W/m}^2\text{K}$ , assuming minimal or stagnant wind currents. Magmatic natural stones have a more heterogeneous structure compared to sedimentary and metamorphic carbonate natural stones. This heterogeneity arises from the higher diversity of minerals present in magmatic natural stones. The high level of heterogeneity has made the interpretation of the obtained results quite challenging. The results obtained within the scope of the study are summarized as follows:

- When examining the SRI values calculated for the samples before and after aging tests for  $h=5 \text{ W/m}^2\text{K}$ , it was determined that the calculated values after aging were higher than the values before aging. Due to the increase in SRI on the surfaces of natural stones after aging, the formation of heat islands in urban living areas will be reduced, resulting in less contribution to the perceived increase in air temperature in these living areas.

$$SRI_{\text{Before Freeze-thaw}} < SRI_{\text{After Freeze-thaw}}$$

$$SRI_{\text{Before Thermal shock}} < SRI_{\text{After Thermal shock}}$$

The main reason for the increase in SRI values after aging tests is that the deterioration occurring on the surface causes the surface color of the samples to fade and the surface area of the samples increases relative to the resulting micro cracks and pores. This increases the amount of sunlight reflected from the surface of the material.

- When the average of "L" (shift from white to black) values from the color changes after aging tests was taken, it was determined that they showed an upward trend (shift towards white). The change relationship between the aging tests was ranked as follows, and it was determined that the freeze-thaw experiments caused the most significant changes in the "L" values. When examining correlation relationships, it was observed that there was no significant relationship between  $\Delta SRI$  and color changes ( $\Delta L$ , changes towards white and black) after freeze-thaw durability at  $h = 5 \text{ W/m}^2\text{K}$ , whereas a moderate-level relationship (0.56) was observed after thermal shock.

$$\Delta L_{\text{Thermal shock}} < \Delta L_{\text{Freeze-thaw}}$$

- When the average of "a" (shift from green to red) values from the color changes after aging tests was taken, it was determined that they showed a decrease trend (shift towards green). The change relationship between the aging tests was ranked as follows, and it was determined that the freeze-thaw experiment caused the most significant changes in the "a" values. When examining correlation relationships, it was observed that there was no relationship between  $\Delta SRI$  and color changes ( $\Delta a$ , changes towards green and red) after freeze-thaw durability and after thermal shock at  $h = 5 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

$$\Delta a_{\text{Thermal shock}} < \Delta a_{\text{Freeze-thaw}}$$

- It was determined that the "b" (shift from green to red) values from the color changes after aging tests showed an increase trend (shift towards yellow). The change relationship between the aging tests was evaluated as follows, and it was determined that the thermal shock experiment caused the most significant changes in the "b" values. When examining correlation relationships at  $h = 5 \text{ W/m}^2\text{K}$ , it was observed that there was a very low-level relationship (0.28) between  $\Delta SRI$  and color changes ( $\Delta b$ , changes towards blue and yellow) after freeze-thaw durability and a very low-level relationship (0.40) after thermal shock.

$$\Delta b_{\text{Freeze-thaw}} < \Delta b_{\text{Thermal shock}}$$

- When the changes in the color space ( $\Delta E$ ) of all samples examined within the scope of the study after aging tests are evaluated in terms of their overall averages, the following ranking is determined, indicating that the changes in  $\Delta E$  values are primarily caused by thermal shock experiments.

$$\Delta E_{\text{Freeze-thaw}} < \Delta E_{\text{Thermal shock}}$$

When the color changes occurring after aging conditions were examined on a sample basis, it was determined that a large portion of them fell into Class A3, meaning the changes were at a 'perceptible at a glance' level. These changes are generally believed to originate from differences in the mineral variety and mineral ratios contained within the samples.

- After cold resistance, the SRI values of samples N3 and N5 are within the stable range. It is desirable for materials used in structures in cold-climate regions to reflect less solar radiation. Therefore, the use of dark-colored and stable range natural stones is encouraged in cold-climate regions.
- After thermal shock, the SRI values of samples N3, N8, N10, and N16 are within the stable range. It is desirable for natural stones used in structures in hot-climate regions to reflect more solar

radiation. Therefore, the use of light-colored and unstable range natural stones is encouraged in hot-climate regions.

- In their study, Altındağ et al. (2017) [30] examined the  $\Delta SRI$  values obtained after freeze-thaw and thermal shock tests on 30 different types of carbonate-origin natural stones, and they determined that 6 samples were in the "improved" range, while all other samples were within  $\Delta SRI \leq \pm 5$  and  $\Delta SRI > 5$  (stable+improved range) on the graph. In the study conducted on 20 different types of magmatic-origin natural stones for the same aging tests, it was determined that samples N3 and N5 were in the stable range, while all other samples were in the improved and improved+stable range. In light of these data, it can be observed that carbonate-origin natural stones and magmatic-origin natural stones generally exhibit opposite behavior in terms of changes in their SRI values.

## 6 Yazar katkı beyanı

Bu çalışmada Yazar 1 fikrin oluşturulması, deneysel çalışmalar, literatür araştırmaları ve sonuçların değerlendirilmesi başlıklarında; Yazar 2 fikrin geliştirilmesi, deneysel çalışmaların yorumlanması ve yönlendirilmesi, sonuçların analiz edilmesi ve yazım denetimleri alanlarında katkı sunmuştur.

## 7 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur. Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır. Bu çalışma doktora tezinin bir bölümünden üretilmiştir.

## 8 Kaynaklar

- [1] Theophilou, M.K., Serghides, D., "Estimating the Characteristics of the Urban Heat Island Effect in Nicosia, Cyprus, Using Multiyear Urban and Rural Climatic Data and Analysis", *Energy and Buildings*, 108, 137-144, 2015.
- [2] Tsoka, S., "Relations Entre Morphologie Urbaine, Microclimate et Confort des Piétons: Application au Cas des Ecoquartiers, Master Thesis, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment [CSTB]", Nantes, 2011.
- [3] Mathew, A., S. Khandelwal, S., Kaul, N., Spatial and Temporal Variations of Urban Heat Island Effect and the Effect of Percentage Impervious Surface Area and Elevation on Land Surface Temperature: Study of Chandigarh City, India. *Sustainable Cities and Society*, 26, 264-277, 2016.
- [4] Sert M. Farklı yüzey özelliklerine sahip magmatik kökenli doğal taşların yaşlandırma koşullarına bağlı olarak güneş ışığı yansıtma indeksi (SRI) değerlerinin değişiminin incelenmesi, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2023.
- [5] Levinson R, Akbari H, Konopacki SJ, Bretz S. "Inclusion of cool roofs in nonresidential prescriptive requirements" *Energy Policy*, 33(2), 151-170, 2005.
- [6] Young R. "Cool roofs: light-colored coverings reflect energy savings and environmental benefits", *Building Design and Construction*, 39(2), 62-64, 1998.
- [7] Akbari H, Konopacki SJ, Eley CN, Wilcox BA, Van Geem MG and Parker DS. "Calculations for reflective roofs in support of standard 90.1" *ASHRAE Transactions Symposium*, San Francisco, United States, 1998.
- [8] Akbari H, Levinson R, Stern S. "Procedure for measuring the solar reflectance of flat or curved roofing assemblies", *Solar Energy*, 82, 648-655, 2008.
- [9] Fanger PO. "Conditions for thermal comfort", Thermal comfort and moderate heat stress, proceedings of the CIB Commission W45 (human requirements) Symposium, England, 1972.

- [10] Yaşar Y, Pehlevan A, Altıntaş E, "İlköğretim Dersliklerinde Termal Konfor Araştırması" VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, Türkiye, 2007.
- [11] Streutker DR. "Satellite-Measured Growth of the Urban Heat Island of Houston Texas" *Remote Sensing of Environment*, 85, 282-289, 2003.
- [12] Duman Yüksel Ü, Yılmaz O. "Ankara Kentinde Kentsel Isı Adası Etkisinin Yaz Aylarında Uzaktan Algılama ve Meteorolojik Gözlemlere Dayalı Olarak Saptanması ve Değerlendirilmesi". *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23 (4), 2013.
- [13] Mirzaei P, Haghghat F. "Approaches to study Urban Heat Island - Abilities and limitations" *Building and Environment*, 45, 2192-2201, 2010.
- [14] Chung MH, Park JC. "Development of PCM Cool Roof System to Control Urban Heat Island Considering Temperate Climatic Conditions". *Energy and Buildings*, 116, 341-348, 2016.
- [15] Canan F. "Kent Geometrisine Bağlı Olarak Kentsel Isı Adası Etkisinin Belirlenmesi: Konya Örneği". *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(3), s. 69-80, 2017.
- [16] Haines A, Ebi K. "The imperative for climate action to protect health", *The New England Journal of Medicine*, 380:263-73, 2019.
- [17] Tong S, Ebi K. "Preventing and mitigating health risks of climate change" *Environmental Research*, 174, 9-13, 2019.
- [18] Akin G. "Küresel ısınma, nedenleri ve sonuçları" *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 46 (2), 29-43, 2006.
- [19] "Doğal taşlar - Deney yöntemleri - Petrografik inceleme", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, TS EN 12407, 2019.
- [20] "Standard Practice For Calculation of Colour Tolerances and Colour Differences From Instrumentally Measured Colour Coordinates". American Society for Testing and Materials, USA, ASTM D 2244-16, 2017.
- [21] İnternet Kaynak 1, NESA Polimer San. ve Tic. Ltd. Şti. "Renk ölçümü nedir?". <https://nesapolimer.com.tr/renk-olcumu-nedir/> (Erişim Tarihi: 05.09.2022).
- [22] Hale, P. A. ve Shakoor, A. "A laboratory investigation of the effects of cyclic heating and cooling, wetting and drying, and freezing and thawing on the compressive strength of selected sandstones" *Environ Eng Geosci*, 9(2), 117-130, 2003.
- [23] "Doğal taşlar - Deney yöntemleri - Isıl şok etkisiyle yıpranmaya direncin tayini", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, TS EN 14066, 2015.
- [24] "Doğal taşlar - Deney yöntemleri - Dona dayanım tayini", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, TS EN 12371, 2011.
- [25] "Standard Test Method for Determination of Solar Reflectance Near Ambient Temperature Using a Portable Solar Reflectometer" American Society for Testing and Materials, USA, ASTM C1549-16, 2022.
- [26] "Standard Test Method for Determination of Emittance of Materials Near Room Temperature Using Portable Emitters". American Society for Testing and Materials, USA, ASTM C1371, 2015.
- [27] "Standard Test Methods for Total Normal Emittance of Surfaces Using Inspection-Meter Techniques". American Society for Testing and Materials, USA, ASTM E408, 2019.
- [28] "Standard Practice for Calculating Solar Reflectance Index of Horizontal and Low-Sloped Opaque Surfaces". American Society for Testing and Materials, USA, ASTM E1980-11, 2019.
- [29] Alchapar NL, Correa EN, Canton MA. "Solar reflectance index of pedestrian pavements and their response to aging", *Journal of Clean Energy Technologies*, 1 (4), 281-285, 2013.
- [30] Altındağ R, Uğur İ, Şengün N, Akbay D, Demirdağ S, Coşgun A. "Doğal taşların fiziksel bozundurma koşulları altında farklı yüzey ve kayaç özelliklerine bağlı olarak güneş ışığını yansıtma indeks değerlerinin belirlenmesi ve çevreci kullanımına yönelik bir model oluşturulması", *TÜBİTAK - 114M569*, 132 syf., 2017.