

Doğal taş artıkları kullanılarak üretilen yapay mermerlerin farklı çevresel koşullara karşı duraylılıklarının araştırılması

Investigation of the durability of artificial marble produced using Natural Stone residues against different environmental conditions

Gizem ASLANTEPE* , Didem EREN SARICI 

Inönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 44080, Malatya

• Geliş tarihi / Received: 01.10.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 30.01.2023

Öz

Yapı sektöründe yaygın biçimde kullanılan doğal taş ve mermerlerin ocakta üretimi ve fabrikalarda nihai ürün haline getirilmeleri sırasında azımsanmayacak oranda artık malzeme meydana gelmektedir. Bu artık malzemelerin değerlendirme olanaklarının araştırılması, çevre kirliliğinin azaltılması, ülke ekonomisine katkı sağlanması ve mermer yataklarının rezervlerinin korunması açısından önem arz etmektedir. Yapay mermer üretiminde söz konusu bu doğal taş ve mermer artıklarının kullanılabilme olanaklarının araştırılması bu çalışmanın konusunu oluşturmaktadır. Bu kapsamda, Eskişehir bölgesinden temin edilen granit artıkları ile Malatya bölgesinden temin edilen mermer artıkları polyester reçine ile belirlenen oranlarda karıştırılmış, kalıplanarak yapay mermer numuneleri üretilmiştir. Elde edilen numunelerin fiziko-mekanik özellikleri TSE ve ISRM standartlarında tanımlanan yöntemlere göre belirlenmiştir. Bunlara ek olarak elde edilen numunelerin değişik çevresel koşullara karşı duraylılıklarını belirlemek amacıyla tuz kristallenmesi, termal şok ve donma çözünme döngüleri uygulanmıştır. Döngüler sonunda mermerlerde gelişen ağırlık kayıpları, yüzey renk özelliklerindeki değişimler belirlenmiştir. Elde edilen numunelerin fizikomekanik özelliklerinin mermer ve doğal taşlar için uygun sınırlarda olduğu görülmüştür. Uygulanan çevresel koşullardan termal şok uygulamalarının yapay mermer örnekleri üzerinde en çok tahribat yaratan uygulama olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Doğal taş artığı, Granit, Mermer artığı, Yapay Mermer

Abstract

A large amount of waste materials occurs during the production and processing of natural stones and marbles, which are widely used in the construction industry. It is important to investigate the possibilities of using these waste materials, to reduce environmental pollution, to contribute to the country's economy, to protect the reserves of marble deposits. Investigation of the possibilities of using these natural stones and marble residues in the production of artificial marble is the subject of this manuscript. Artificial marble samples were produced by mixing granite residues from Eskişehir region and marble residues from Malatya region with polyester resin and moulding. The physical-mechanical properties of samples were determined according to TSE and ISRM methods. Additionally salt crystallization, thermal shock, freeze-thaw cycles were applied to determine the stability of the samples in different environmental conditions. At the end of the cycles, weight loss, surface colour changes were determined. It was determined that the physicommechanical properties of the samples were appropriate in accordance with natural stone standards and thermal shock cycles were the most destructive environmental conditions on artificial marble samples.

Keywords: Natural stones waste, Granite, Marble waste, Artificial marble

* Didem EREN SARICI; didem.sarici@inonu.edu.tr

1. Giriş

1.1. Introduction

Alp-Himalaya kuşağında yer alan Türkiye’de 4 milyar m³ işletilebilir mermer, 2,8 milyar m³ işletilebilir traverten, 1 milyar m³ granit rezervinin bulunduğu ve bu oranlar ile Dünya doğal taş rezervinin yaklaşık %40’ına sahip olduğu bilinmektedir. Mermer ve granit gibi doğal taşların üretiminde hem blokların ana kaya kütesinden ayrılması hem de fabrikalarda kesme-parlatma işlemleri esnasında önemli miktarda artık oluşmaktadır. Bu artıkların üretim miktarının %58’i kadar olduğu bilinmektedir ve bu malzemelerin %20-25’lik bölümü 5-20 mm arasında değişen parça artıklardan oluşmaktadır. Bu malzemeler kirletici olmamalarının yanı sıra doğada biriktiklerinde toprak geçirimsizliği, su kaynaklarının kirlenmesi konularında ciddi problemler yaratmaktadır (Medina et al., 2017; Aliabdo et al., 2014).

Üretim esnasında açığa çıkan bu artıkların yeniden kullanım olanaklarının araştırılması ve bulunması çevre kirliliğinin azaltılması, artıkların ekonomiye yeniden kazandırılması ve doğal kaynakların gelecek nesillere aktarımının ve sürdürülebilir üretimin sağlanması açısından önemlidir. Mermer ve granit artıklarının çimento, beton dolgu malzemesi, asfalt agregası, seramik hammaddesi ve yapay mermer malzemesi olarak kullanılabilirliğinin araştırıldığı çalışmalar literatürde mevcuttur.

Menezes et al. (2005) ve Gomes et al. (2021), granit kesim artıklarının seramik bünyelerde kullanılabilirliğini araştırmış ve fiziksel, mineralojik yapı itibariyle olumlu sonuçlar elde etmişlerdir. Uysal (2018) mermer artık tozlarını kendiliğinden yerleşen betonda kullanmış olumlu sonuçlar elde etmiştir. Sharma et al. (2017) granit artıklarının beton içinde parça agrega olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmalarının neticesinde ürünlerin su emme, su geçirimsizliği ve aşınma dayanımı değerlerinde iyileşme meydana gelirken çekme ve basma dayanımı değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Bu artıkların yapay mermer üretiminde kullanılabilirliğinin araştırıldığı çalışmalar da mevcuttur.

Yüçetürk (2010), kalsit ve kuvars kullanarak ürettikleri yapay mermerlerin fiziksel ve mekanik özelliklerini ele almışlardır. Elde ettikleri değerleri standart değerler ile kıyasladıklarında yapay mermer örneklerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin mermer olarak kullanılabilir nitelikte olduğu sonucuna varmışlardır. Samad & Rashid (2020) yaptıkları çalışmada dolomit ve granit artığı kullanarak yapay mermer üretmişler, ürünlerin fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmalarında ağırlıkça %10 granit atığını dolomit yerine kullanmanın basınç ve çekme dayanımı değerlerini artırdığını, su emme oranını düşürdüğünü belirlemişlerdir. Barani (2016) çalışmasında granit ve mermer artıklarını kullanarak yapay mermer üretmişlerdir ve ürünlerin doğal taşlara kıyasla yoğunluk, su emme, eğilme, basınç dayanımı değerlerinin daha iyi olduğunu belirlemişlerdir. Efran (2021) çalışmasında kalsit kökenli mermer artıklarını ve epoksi reçineyi kullanarak yapay mermer üretmiş ve ürünlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin standartlara uygun olduğunu belirleyerek mermer artıklarının yapay mermer üretimi için alternatif kaynak olarak değerlendirilebileceğini ifade etmiştir.

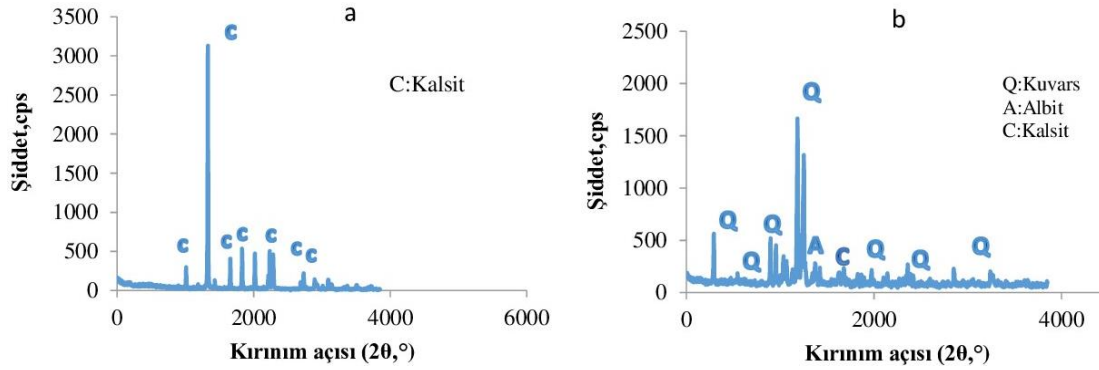
Yapay mermer, zemin, duvar kaplamacılığında sıklıkla kullanılan yeni nesil yapı malzemelerindedir. Düşük porozitesi, su emme özelliği, yüksek dayanımı, aşınma ve diğer korosif etkilere dayanıklılığı sayesinde tercih edilmektedirler. Üretiminde bağlayıcı olarak epoksi veya polye ester reçineler ve çimento kullanılmaktadır. Yapay mermer üretim maliyetini azaltmak için alternatif agrega kaynaklarının araştırılması gündemdedir. Artık malzemeler ile üretilen yapay mermerlerin üretim için tükettikleri enerji, özel işgücü ve nakliye masrafları doğal taş üretim süreçleriyle kıyaslandığında birçok avantaj sunmaktadır. Doğal taş artıkları, maliyetlerinin ucuz olması, erişilebilirliklerinin kolay oluşu nedeniyle bu konuda alternatif kaynak olarak kullanılabilirler (Shishegaran et al., 2021; Gomes et al., 2021).

Bu çalışmada mermer ve granit üretim tesislerinden elde edilen toz artıkların belirli oranlarda polye ester reçine ile karıştırılarak suni mermer üretilmesi ve ürünlerin çevresel koşullara dayanıklılığının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla üretilen yapay mermer örneklerinin fiziko-mekanik özellikleri ISRM ve TSE tarafından önerilen yöntemlere göre belirlenmiş, donma-çözünme, termal şok ve tuz kristallenmesi döngülerine tabii tutulan örneklerde gelişen renk ve ağırlık değişimleri incelenmiştir.

2. Materyal

2. Material

Çalışmada kullanılan hammaddeler Malatya ili Akçadağ ilçesinde faaliyet göstermekte olan Netmer A.Ş ve Eskişehir ilinde faaliyet göstermekte olan Granitaş A.Ş.'nin üretim artıklarıdır. Net-Mer AŞ., Malatya batısında bulunan Malatya Baseni'ne ait Orta-Geç Eosen yaşlı Gedik formasyonu içinde bulunan mermerlerin, Granitaş A.Ş ise Eskişehir ili Sivrihisar ilçesi Kadıncık Mahallesi civarında bulunan ve Hisar Gri ticari ismi ile piyasaya satışı yapılan Sivrihisar granitoidine ait granitlerin üretimini gerçekleştirmektedir. Kullanılan artık malzemelerin mineralojik yapısı Rigaku Rad-B-D Max II seri X-Ray difraktogram (XRD) ile İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Laboratuvarında belirlenmiştir. Analiz sonucunda elde edilen kırınım desenleri Şekil 1 a-b de verilmiştir.



Şekil 1. Mermer ve granit artığının XRD difraktogramı. (a) mermer artığı, (b) granit artığı. C: kalsit, Q: kuvars, A: albit

Figure 1. XRD diffractogram of marble and granite rejects. (a) marble rejects, (b) granite rejects. C: calcite, Q: quartz, A: albite

Analiz sonuçları irdelendiğinde mermer tozunun kalsit mineralinden, granit tozunun ise kuvars, kalsit, albit minerallerinden oluştuğu anlaşılmaktadır.

Mermer ve granit tozlarının kimyasal bileşimleri (X-Işını Floresans) XRF analizi ile ortaya konulmuştur. XRF analizleri Afyon Kocatepe Üniversitesi Doğal Taş Analiz Laboratuvarında Rigaku ZSX Primus II marka cihaz ile yaptırılmıştır. XRF analizi sonuçları Tablo '1 de verilmiştir.

Tablo 1. Mermer ve granit artıklarının XRF analizi sonuçları
Table 1. XRF analysis results of marble and granite rejects

Oksit (%)	Mermer artığı	Granit artığı
SiO ₂	2.07	64.68
TiO ₂	-	0.304
Al ₂ O ₃	0.632	15.32
Fe ₂ O ₅	0.054	2.96
MnO	-	-
MgO	0.587	1.029
CaO	52.68	4.807
Na ₂ O	0.025	5.61
K ₂ O	0.058	3.34
P ₂ O ₅	-	0.14
Kızdırma kaybı	43.154	1.21

Tablo 1 incelendiğinde mermer artığındaki en önemli oksitin CaO, granit artığında ise SiO₂ olduğu görülmektedir.

Çalışmada bağlayıcı olarak BRE 450 döküm tipi polyester reçine, kürleştirici olarak akkobalt (%6 kobalt), ve hızlandırıcı olarak metil, etil, keton peroksit kullanılmıştır. BRE 450, kimyasal dayanımsız reçine olarak bilinen, genel kullanım amaçlı, hızlı kürleşme sağlayan ortoflatik bazlı doymamış polyester reçinesidir. Akcobalt %6 kobalt, doymamış polyester reçinelerin oda sıcaklığında kürlenmesi için kullanılmaktadır. Yaygın olarak %1-10 organik peroksitlerle kullanımı tercih edilmektedir. MEKP; metil, etil, keton ve peroksitin, karışımından oluşur ve polyester reçinelerin kürleştirilmesi için kobalt ile birlikte oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıklarda kullanılan bir kürleştiricidir. Yapay mermer üretiminde kullanılan kimyasalların özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Yapay mermer üretiminde kullanılan kimyasalların özellikleri
Table 2. Chemical properties of chemicals which utilised in artificial marble

Özellik	Polyester reçine	MEKP	Kobalt
Yoğunluk (gr/cm ³)	1.2-1,27	1.17	0.92
Vizkozite (MPa.s)	700-900	25	300
Görünüm	renksiz	renksiz	Mavi-menekşe rengi

3.Yöntem

3. Method

Doğal taş üretim tesislerinden temin edilen doğal taş artıkları nemini uzaklaştırmak için etüvde kurutulduktan sonra topaklanmasının giderilmesi için öğütücüde 5 dakika süre ile öğütülmüş ve 70 nolu elekden (-212 µm göz açıklığına sahip) geçirilerek boyutlandırılmış ve polyester reçine, MEKP ve kobalt ile karıştırılıp kalıplanarak deney numuneleri hazırlanmıştır. Yapay mermer örneklerinin elde edilmesinde mermer ve granit tozu değişen oranlarda bünyeye katılmıştır. 1 kg döküm tipi polyester reçine ile karıştırılan tozların içine konulacak olan kobalt ve MEKP miktarlarının belirlenmesinde ortam sıcaklığı [Yüçetürk \(2010\)](#)’da ifade edildiği şekilde dikkate alınmış ve yapılan ön denemeler neticesinde Tablo 3’de belirtilen miktarlar ve oranlar ile numuneler hazırlanmıştır. Mikserin karıştırma yapılacak haznesine sıra ile polyester reçine mermer ve granit tozu, MEKP ve kobalt eklenmiş, 10 dk karıştırma süresi sonucunda karışım 5x5x5 cm³ lük kübik kalıplara paylaştırılarak titreşim sehpasında yaklaşık 5 dakika (numune üzerinde yeni hava kabarcığı oluşumu duruncaya kadar) titreşime tabii tutulmuştur. Bu şekilde malzemenin kalıba iyice yerleştirilmesi sağlanmıştır. Örnekler bir süre sonra sertleşmiş ve kalıptan çıkartılarak priz alması için 28 gün laboratuvarında bekletilmiştir. Şekil 2’de deney numunelerinin hazırlanma aşamalarına ait görüntü verilmiştir.



1)Doğal taş artıklarının genel görünümleri A: granit artığı, B: elenmiş granit artığı, C:mermer artığı, D: kurutulmuş mermer artığı

2)Numune hazırlamada kullanılan aletler A:mikser, B: terazi, C: öğütücü, D:titreşim sehvası



3)Kalıplanan numuneler

4)Nihai ürünler

Şekil 2. Yapay mermer numunelerinin hazırlanma aşamaları.1: doğal taş artıklarının genel görünüşleri, 2: numune hazırlamada kullanılan aletler A: mikser, B: terazi, C: öğütücü, D: titreşim sehpası, 3: kalıplanan numuneler, 4: nihai ürünler

Figure 2. Preparation stages of artificial marble samples. 1: general views of natural stones rejects, 2: devices used in sample preparation A: mixer, B:scales, C: grinder, D: vibrator, 3: molded samples, 4: final product

Tablo 3. Yapay mermer üretiminde kullanılan artık ve kimyasalların miktarları

Table 3. Wastes and chemical quantities used in artificial marble production

Örnek kodu	Mermer artığı oranı (%)	Mermer artığı (g)	Granit artığı (g)	Polyester Reçine (g)	MEKP (g)	Kobalt (g)
GM	25	262.5	787.5	380	3.17	0.57
MG	75	787.5	262.5	380	3.17	0.57
M	100	1050	0	380	3.17	0.57
G	0	0	1050	380	3.17	0.57

3.1. Fiziksel ve mekanik özellikler

3.1. Physical and mechanical properties

Üretilen yapay mermer numunelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla 28 günlük kür süresi sonunda numunelere TS EN 1939 yöntemine göre birim hacim ağırlığı, su emme, porozite deneyleri yapılmıştır. Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği [ISRM \(1978\)](#)'e göre tek eksenli basınç dayanımı, [ISRM \(1978\)](#)'e göre ultrasonik dalga hızı tayini deneyleri uygulanmıştır.

Hazırlanan örneklerin çevresel koşullara karşı dayanıklılığını belirlemek amacıyla TS 699 yöntemine göre donma-çözünme, TS EN 12370 yöntemine göre tuz kristallenmesi etkilerine dayanım testi, TS EN 14066 yöntemine göre termal şok etkilerine dayanım testleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler İnönü Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Maden İşletme Laboratuvarında yapılmıştır.

3.2. Donma-çözünme döngüleri

3.2. Freeze-thaw cycles

Donma-çözünme döngüleri öncesinde numuneler etüv kurusu hale getirilerek ağırlıkları, yüzey renk parametreleri (L, a, b) belirlenmiştir. Yapay mermer örneklerinin donma-çözünme etkilerine karşı duraylılıklarının belirlenmesi için TS 699 standardında tanımlanan yöntemle donma çözünme döngüleri uygulanmıştır. Numuneler suda 24 saat süre ile bekletilerek doymuş hale getirildikten sonra -18 °C'deki dondurucuda 16 saat süre ile bekletilmiş ve donmaları sağlanmıştır. Donan numuneler + 20 °C'deki su içine alınarak çözünmesi sağlanmıştır. Bu süreç bir donma-çözünme döngüsü olarak tanımlanmıştır ve toplam 30 döngü uygulanan numunelerin ağırlık kayıpları ve yüzey renk değişimleri belirlenmiştir [TS 699 \(2009\)](#).

3.3.Tuz kristallenmesi döngüleri

3.3. Salt crystallisation cycles

Yapay mermer örneklerinin tuz kristallenmesi etkilerine karşı duraylılıklarının belirlenmesi için TS EN 12370 standardına göre tuz kristallenmesi döngüleri uygulanmıştır TS EN 12370 (2001). Numuneler öncelikle 24 saat boyunca 105 °C'lik etüvde kurutulmuş tartılmıştır. Ardından %14'lük Na₂SO₄.10H₂O çözeltisinde 2 saat boyunca bekletilmiş ve bu süre sonunda 16 saat boyunca 105 °C'lik etüvde kurutulmuştur. Bu bir döngü olarak adlandırılmıştır. Toplamda 30 döngü uygulanmış ve döngüler sonunda numunelerin kuru ağırlıkları belirlenerek ağırlık kayıpları ve yüzey renk değişimleri hesaplanmıştır.

3.4.Termal şok döngüleri

3.4. Thermal shock cycles

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 ± 5°C'lik etüvde sabit kütleye gelinceye kadar kurutulan numuneler tartılmış, tartım sonucu (m₀) olarak kaydedilmiştir. Daha sonra numuneler 105 ± 5°C sıcaklıktaki hava dolaşımli etüvde 18 ± 1 saat bekletilmiş sonra (20 ± 5) °C sıcaklıktaki demineralize su içerisine (6 ± 0.5) saat süreyle daldırılmıştır. Bu işlem bir döngü olarak tanımlanmıştır. Numunelere 30 döngü uygulanmıştır. Döngüler sonunda (105 ± 5)°C sıcaklıkta sabit kütleye ulaşıncaya kadar kurutulmuş, desikatörde soğutulmuş tartılmıştır (mf), yüzey renk değişimleri hesaplanmıştır.

3.5. Ağırlık kayıplarının belirlenmesi

3.5. Determination of weight loss

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). Örneklerde gerçekleşen ağırlık kayıpları Eşitlik 1 kullanılarak belirlenmiştir.

$$\Delta m = \frac{mf - m_0}{m_0} \times 100 \quad (1)$$

Bu eşitlikte;

m₀: Deney öncesi kuru ağırlık, (g)

mf: Deney sonrası kuru ağırlık, (g)

3.6. Renk değişimlerinin belirlenmesi

3.6. Determination of color changes

Mermerler ve yapay mermerler için satış koşullarını etkileyen en önemli kalite belirteçlerinden bir tanesi renk özellikleridir. Renk özellikleri L, a, b ve ΔE değerleri ile ifade edilmektedir. L, a ve b olarak adlandırılan parametreler, CIELAB renk sisteminde; L parlaklık (L:0 siyah, L:100 beyaz), a kırmızı-yeşillik (kırmızı a>0, yeşil a<0), b ise sarılık-mavilik (sarı 0<b, mavi b<0) belirteci olarak tanımlanmaktadır Özgüven & Özçelik (2013). ΔE ise toplam renk değişimini ifade eden bir kavramdır. Bu çalışma kapsamında renk ölçümleri MRC marka CLRM310 model renk ölçüm cihazı kullanılarak yapılmıştır. Deney numunelerinin yüzeylerinden 3 ölçüm alınarak ortalamaları hesaplanıp kaydedilmiştir.

L, a, b parametrelerinde gerçekleşen değişimler Eşitlik 2-4, toplam renk değişimi Eşitlik 5'ten yararlanılarak hesaplanmıştır Özgüven & Özçelik (2013).

$$\Delta L = \frac{(SL - iL)}{iL} \times 100 \quad (2)$$

$$\Delta a = \frac{(Sa - ia)}{ia} \times 100 \quad (3)$$

$$\Delta b = \frac{(Sb - ib)}{ib} \times 100 \quad (4)$$

Burada;
 ΔL : L (siyahlık-beyazlık) değerindeki % değişimi
 S_L : Son döngüde ölçülen L değeri
 \dot{L} : Deney öncesi ölçülen L değeri
 Δa : a (yeşillik-kırmızılık) değerindeki % değişimi
 S_a : Son döngüde ölçülen a değeri
 \dot{a} : Deney öncesi ölçülen a değeri
 Δb : b (mavilik-sarılık) değerindeki % değişimi
 S_b : Son döngüde ölçülen b değeri
 \dot{b} : Deney öncesi ölçülen b değeri

$$\Delta E^{ab} = \sqrt{[(\Delta L *)^2 + (\Delta a *)^2 + (\Delta b *)^2]} \quad (5)$$

Burada;
 ΔE^{ab} : Toplam renk değişimi (%)
 ΔL : L (siyahlık-beyazlık) değerindeki % değişimi
 Δa : a (yeşillik-kırmızılık) değerindeki % değişimi
 Δb : b (mavilik-sarılık) değerindeki % değişimi

4. Bulgular ve tartışma

4. Results and discussion

4.1. Fiziksel ve mekanik özellikler

4.1. Physical and mechanical properties

Yapay mermerlerin yapı sektöründe kullanım olanağı bulabilmesi sahip olduğu fiziksel ve mekanik özelliklere bağlıdır. Elde edilen yapay mermer örnekleri üzerinde TSE ve ISRM tarafından önerilen yöntemlere göre gerçekleştirilen testlerin sonuçları Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. Yapay mermerlerin fiziksel ve mekanik özellikleri
Table 4. Physical and mechanical properties of artificial marbles

Artık mermer karışım oranı	Doğal BHA (kN/m ³)	Porozite değerleri (%)	Ağırlıkça su emme (%)	Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)
Sınır değerler		<%1: Çok kompakt Tarhan (1989)	<%0.1 Chioidi & Rodriquez (2009)	70-130 MPa Chioidi & Rodriquez (2009)
%100 Mermer	18.96±0.04	0.08±0.01	0.04±0.005	60.14±21.58
%75 Mermer	18.77±0.03	0.06±0.02	0.03±0.01	64.16±8.32
%25 Granit				
%75 Granit	18.58±0.26	0.07±0.02	0.03±0.01	64.82±10.83
%25 Mermer				
%100 Granit	18.59±0.02	0.06±0.01	0.03±0.005	72.73±0.93

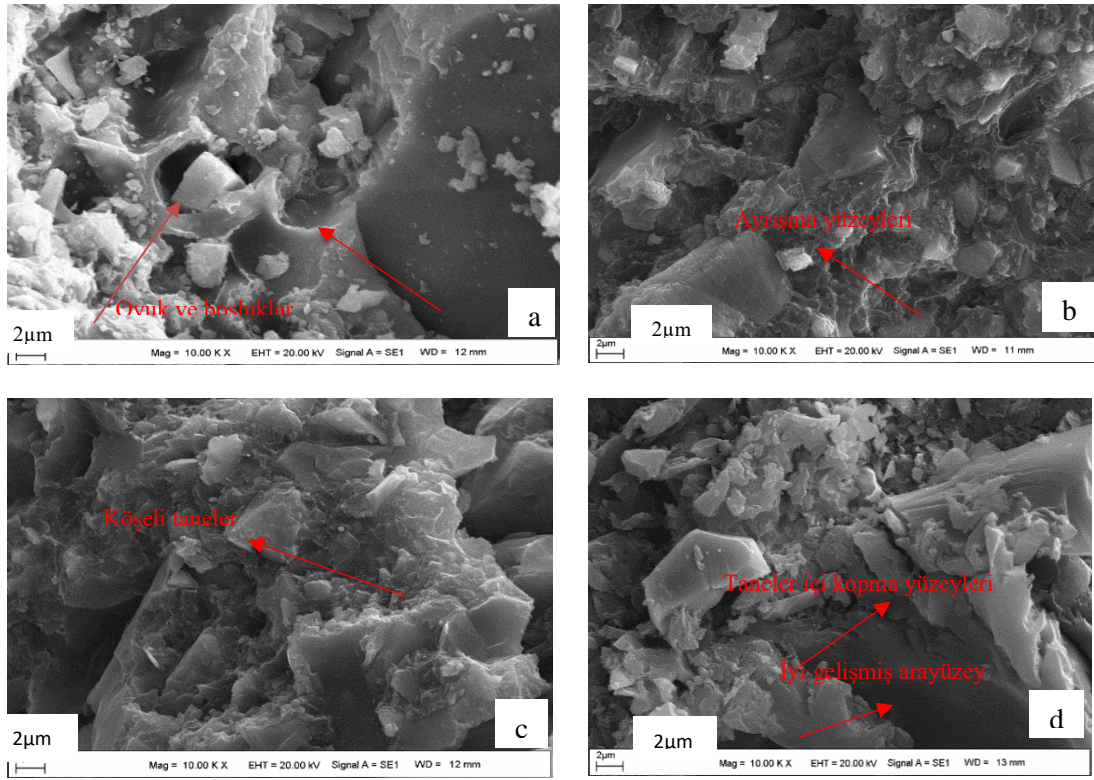
Fiziksel özelliklerden poroziteye göre değerlendirme yapıldığında granit tozu katkılı örneklerde porozite değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Tarhan (1989) tarafından kayalar için yapılan sınıflandırmaya göre örnekler çok kompakt grubunda yer almaktadırlar. Yapay mermerlerin fiziko-mekanik özellikleri için belirlenmiş ve kabul edilmiş standartlar bulunmadığından değerlendirmeleri yapılırken doğal taşlar ve kayalar için kullanılan standartların göz önünde bulundurulması yaygındır. Chioidi & Rodriquez (2009) porozite değeri %0,5’in, su emme değeri de %0,1’in altında olan ürünler için yüksek kaliteli tanımlamasını yapmışlardır. Bu tanımlamaya göre değerlendirme yapıldığında elde edilen ürünlerin yüksek kaliteli olarak nitelendirilebileceği sonucu çıkarılmaktadır. Gözenekliliğin düşük olması durumu örnek grubunda su emme değerinin de düşük çıkmasına neden olmuştur. Böylelikle malzemenin geçirimsizliği azalmakta ve nemli ve ıslak ortamlarda kullanımında bir sıkıntı meydana gelmeyeceği sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu değer granit tozu içeren örneklerde düşük çıkmasının nedeninin polyester bağlayıcı ile granit tozunun daha iyi bir arayüzey oluşturmasından kaynaklandığı düşünülmüştür.

Tablo 4’ de verilen tek eksenli basınç dayanımı değerleri incelendiğinde örneklerin granit artığı oranları arttıkça tek eksenli basınç dayanımı değerlerinin de arttığı görülmektedir. En yüksek basınç dayanımı değeri %100 granit artığı ile hazırlanan örnekte, en düşük değer %100 mermer artığı kullanılarak üretilen örnek de elde edilmiştir. Örneklerin tümünün basınç dayanımı değerleri Deer & Miller (1966) sınıflamasına göre değerlendirildiğinde “orta dirençli” sınıfında yer aldıkları görülmektedir. Granit tozu içerisinde bulunan silis miktarının fazla oluşunun basınç dayanımı değerlerinde artışa neden olduğu düşünülmüştür. Chioidi & Rodriguez (2009) yapay mermer örnekleri için 70-130 MPa değerinde bir basınç dayanımının uygun olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmada elde edilen değerler Chioidi & Rodriguez (2009) tarafından yapılan çalışmada elde ettikleri değerler ile uyum göstermektedir.

4.2. SEM analizi sonuçları

4.2. SEM analysis results

Yapay mermer örneklerinin iç yapısını ayrıntılı görüntüleyebilmek için SEM analizleri LEO Evo-40xVp marka taramalı elektron mikroskobu ile İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezinde gerçekleştirilmiştir. Yapay mermer örneklerinin SEM analizi sonucunda elde edilen görüntüleri Şekil 3. a-d de verilmiştir.



Şekil 3. Yapay mermer örneklerinin SEM görüntüleri (a) :%100 mermer artığı ile üretilen yapay mermer, (b): %75 mermer artığı, %25 granit artığı ile üretilen yapay mermer, (c): %75 granit artığı, %25 mermer artığı ile üretilen yapay mermer, (d): %100 granit artığı ile üretilen mermer

Figure 3. SEM images of artificial marble samples (a) artificial marble produced with %100 marble reject, (b): artificial marble produced with %75 marble %25 granite reject, (c): artificial marble produced with %25 marble, %75 granite reject, (d): artificial marble produced with %100 granite reject.

Şekil 3 a incelendiğinde %100 mermer artığı kullanılarak üretilen yapay mermer örneklerinin bünyesinde büyük boyutlu gözeneklerin var olduğu, bazı gözeneklerin küçük tane boyutlu parçacıklar ile doldurulduğu görülmektedir. Numune porozitesinin fazla çıkmasının sebebinin büyük boyutlu bu gözeneklerin varlığından kaynaklandığı düşünülmüştür.

Şekil 3-b de verilen SEM görüntüleri incelendiğinde %75 mermer, %25 granit artığı kullanılarak üretilen yapay mermer örneklerinin %100 mermer içeren örneklere göre daha kompakt bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Taneler arasında ayrışmalar bu örnekte de mevcuttur ancak bu yapıların daha az var olduğu göze çarpmaktadır.

Şekil 3-c de verilen %75 granit, %25 mermer artığı kullanılarak üretilen yapay mermer örneklerinin SEM görüntüleri incelendiğinde tanelerin daha köşeli yapıya sahip olduğu göze çarpmaktadır. Bu köşeli tanelerin arasında bazı boşlukların var olduğu anlaşılmaktadır.

Şekil 3-d incelendiğinde %100 granit artığı kullanılarak üretilen yapay mermer örneklerinde granit artığı taneleri ile polyster reçinenin arasında iyi gelişmiş arayüzeylerin varlığı göze çarpmaktadır. SEM görüntülerinde %100 granit artığı numunelerin köşeli yapıda olması basınç dayanımının artmasına neden olmuştur. Köşeli tane yapısına sahip örneklerde taneler arasında kenetlenme olduğundan numunenin daha güçlü bir yapı ve dayanım kazanmasını sağlamaktadır.

Miller et al. (1998) ve Debhnat et al. (2004) tarafından ifade edildiği üzere kompozit malzemelerde taneçik ve resin arasında gelişen iyi arayüzeylerin varlığı mekanik özellikleri olumlu yönde etkilemektedir. Granit tozu ile üretilen örneklerin fizikomekanik özelliklerinin daha iyi olmasını bu durum açıklamaktadır. Bu arayüzeylerin varlığı tüm bünyede mevcut değildir bunlara ek olarak taneler arasında boşlukların var olduğu ayrıca tanelerin içinde kopmaların geliştiği göze çarpmaktadır.

4.3. Yaşlandırma döngüleri sonuçları

4.3. Ageing cycles results

4.3.1 Ağırlık kayıpları

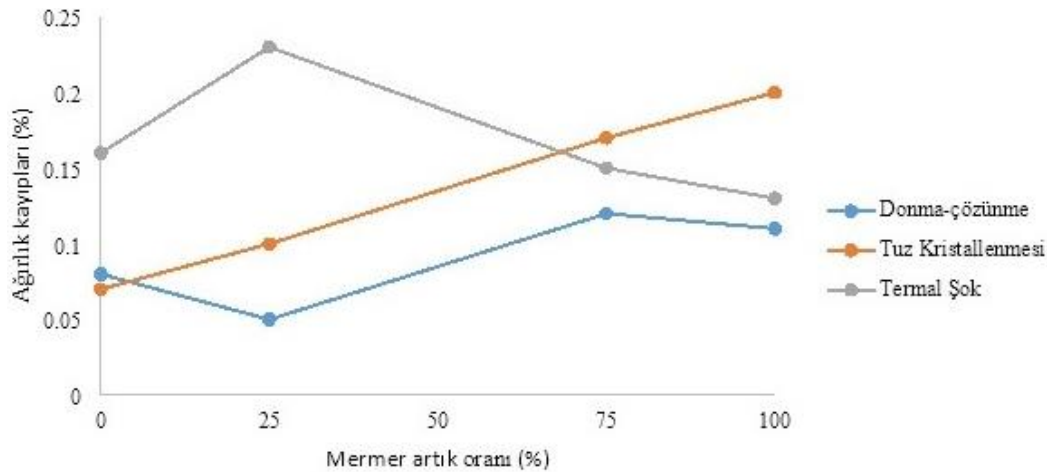
4.3.1. Weight loss

Yapay mermer örnekleri üzerinde yapılan 30 donma-çözünme, termal şok etkilerine dayanım, tuz kristallenmesi döngüleri sonucunda numunelerde meydana gelen ağırlık kayıpları Eşitlik 1'e göre hesaplanmış sonuçlar Tablo 5'de, sonuçların grafiksel gösterimi Şekil 4'de verilmiştir.

Tablo 5. Yaşlandırma döngüleri sonunda ağırlık kaybı değerleri

Table 5. Weight loss values after ageing cycles

Artık mermer ve granit karışım oranı	Donma-çözünme döngüleri sonucunda ağırlık kayıpları (%)	Tuz kristallenmesi döngüleri sonucunda ağırlık kayıpları (%)	Termal şok döngüleri sonucunda ağırlık kayıpları (%)
% 100Mermer	-0.11±0.03	-0.20±0.01	-0.24±0.05
% 75 Mermer %25 Granit	-0.12±0.06	-0.17±0.02	-0.23±0.06
% 75 Granit %25 Mermer	-0.05±0.02	-0.10±0.01	-0.15±0.03
% 100 Granit	-0.08±0.01	-0.07±0.01	-0.16±0.02



Şekil 4. Mermer artık oranına göre ağırlık kayıpları

Figure 4. Weight loss according to marble reject proportions

Tablo 5 ve Şekil 4 incelendiğinde 30 donma-çözünme, tuz kristallenmesi ve termal şok etkilerine dayanım döngüsü neticesinde tüm örneklerde değişen oranlarda ağırlık kayıplarının gerçekleştiği görülmektedir. Suni mermer örneklerinin bünyesine eklenen mermer tozunun oranındaki artışla birlikte gerçekleşen ağırlık kaybı oranı da artmaktadır. Yaşlandırma döngüleri içerisinde suni mermer örneklerine en fazla etki eden termal şok döngüleri, en az etki eden donma-çözünme döngüleri olmuştur. Granit tozu ilavesi ile üretilen örneklerde gelişen ağırlık kaybı oranlarının daha düşük çıkma nedeni bu örneklerde porozitenin ve su emme özelliğinin daha düşük olmasıdır. Şahin vd. (2019)' da beton numuneler için çevresel koşullardaki değişimlerin yarattığı problemler ile mücadelede en etkili yöntemin geçirimsizliğin artırılması olduğu bildirilmiştir. Bu durumun suni mermer örnekleri içinde geçerli olduğu anlaşılmaktadır. Geçirimsizlik malzemenin kolay ıslanmamasını, kimyasal etkilere karşı daha dayanımlı olmasını sağlamaktadır. Özellikle büyük yıkıcı etkisi bulunan ve doğada en fazla tahribat gücüne sahip olan NaSO₄ etkilerine karşı erken zamanda meydana gelen duraysızlıkları önlemek için geçirimsizliği azaltmak önemlidir Şahin vd. (2022). Granit tozu ile hazırlanan örneklerde bağlayıcı polyester ile granit tozu daha iyi birleşerek daha sağlam bir yapının oluşmasına olanak vermiştir. Termal şok etkisinde bırakılan örneklerde döngüler ilerledikçe numunelerde parçalanmalar gözlemlenmiş bazı örnekler kırılarak kullanılamaz hale gelmiştir. Bu durumun bağlayıcı amaçlı kullanılan polyester reçinenin ısı etkilere dayanımının olmamasından kaynaklandığı düşünülmüştür. Mermer tozu içeren örneklerde daha fazla ağırlık kaybının gelişmesinin nedeni mermer tozunun anizotropik termal genişlemesinin granit tozuna nazaran daha fazla olmasından kaynaklanmasıdır Yavuz et al. (2010). Kompozit malzemelerde ani ısı değişimlerinin malzemede içsel kırıklar gelişmesine neden olarak dayanım azalmasına yol açtığı bilinmektedir. Bu durumun uzun süreli tekrar etmesi bu tür etkilere maruz kalan malzemelerde önemli duraylılık problemlerinin meydana gelmesine neden olmaktadır Başçetin et al. (2021).

4.3.2. Renk değişimleri

4.3.2. Color changes

Renk yapı malzemelerinin satış koşullarını ve kullanım alanlarını belirleyen önemli bir ticari özelliktir. Renkte meydana gelen değişimler sonucu yapı malzemelerinin değiştirilmesi zorunluluğu gündeme gelebilir bu durum ekonomik kayıplar olarak karşımıza çıkar. Bu nedenle renk değişimlerinin belirlenmesi önem arz etmektedir. Yapılan 30 donma-çözünme, tuz kristallenmesi, termal şok çevrimleri neticesinde numunelerde meydana gelen toplam renk değişimlerini belirlemek için renk parametreleri olan L (siyahlık-beyazlık), a (yeşillik-kırmızılık) ve b (sarılık-mavilik) parametrelerinde meydana gelen değişim değerleri Tablo 6-8'de, toplam renk değişimleri Tablo 9'da, toplam renk değişimlerinin mermer artı oranına göre değişimlerinin grafiksel gösterimi Şekil 5'de verilmiştir.

Tablo 6. L (Siyahlık-beyazlık) değişimleri

Table 6. L (Whiteness-blackness) changes

Artık mermer ve granit karışım oranı	Donma-çözünme döngüleri sonucunda renk değişimleri (%)	Gelişen renk değişimi	Tuz kristallenmesi döngüleri sonucunda renk değişimleri (%)	Gelişen renk değişimi	Termal şok döngüleri sonucunda renk değişimleri (%)	Gelişen renk değişimi
% 100 Mermer	5.28	Beyazlaşma	1.61	Beyazlaşma	-3.72	Siyahlaşma
% 75 Mermer- % 25 Granit	7.03	Beyazlaşma	9.26	Beyazlaşma	-2.07	Siyahlaşma
% 75 Granit- % 25 Mermer	16.36	Beyazlaşma	14.94	Beyazlaşma	7.38	Beyazlaşma
% 100 Granit	3.54	Beyazlaşma	25.62	Beyazlaşma	5.76	Beyazlaşma

Tablo 6 incelendiğinde termal şok döngüleri harç tüm döngülerde örneklerin L değerlerinin arttığı yani renkte beyazlaşmanın ve açılmanın geliştiği görülmektedir. Sadece ısı işlemin uygulandığı termal şok döngülerinde mermer artığını büyük oranda bulunduran örneklerde koyulaşma görülmüştür. Renkte açılmanın en çok gözlemlendiği seri, tuz kristallenmesi döngülerine maruz bırakılan %100 granit artığı tozu kullanılarak üretilen seri olmuştur.

Tablo 7. a (yeşillik- kırmızılık) değeri değişimleri
Table 7. a (Greenes-redness) values changes

Artık mermer ve granit karışım oranı	Donma-çözünme döngüleri sonucunda renk değişimleri (%)	Gelişen renk değişimi	Tuz kristallenmesi döngüleri sonucunda renk değişimleri (%)	Gelişen renk değişimi	Termal şok döngüleri sonucunda renk değişimleri (%)	Gelişen renk değişimi
%100Mermer	-18.37	Yeşillenme	6.22	Kırmızılaşma	11.54	Kırmızılaşma
%75 Mermer-%25 Granit	-20.97	Yeşillenme	57.39	Kırmızılaşma	17.99	Kırmızılaşma
%75 Granit- %25 Mermer	-149.6	Yeşillenme	51.13	Kırmızılaşma	-146.9	Yeşillenme
%100 Granit	-437.9	Yeşillenme	-288.3	Kırmızılaşma	-114.2	Yeşillenme

Tablo 7’de verilen örneklerin yüzey renklerindeki yeşillik-kırmızılık değerini ifade eden a değerindeki değişimler incelendiğinde donma-çözünme döngülerinde tüm serilerde değerin negatif yönde değiştiği yani yeşillenmenin arttığı görülmektedir. Örnek bünyesindeki granit artığı oranı arttıkça bu değer artış göstermiştir. %100 granit artığı ile üretilen örneklerin tümünde renkte yeşillenmenin olduğu elde edilen değerlerden anlaşılmaktadır. Tuz kristallenmesi döngüleri sonucunda bünyesinde mermer tozu bulduran tüm serilerde renkte kırmızılaşma gelişmiştir. Termal şok döngülerinde ise bünyesinde büyük oranda mermer artığı tozu bulduran serilerde kırmızılaşma diğer serilerde yeşillenme geliştiği elde edilen sonuçlardan anlaşılmıştır.

Tablo 8. b (Mavilik-sarılık) değeri değişimleri
Table 8. b (Blueness-redness) values changes

Artık mermer ve granit karışım oranı	Donma-çözünme döngüleri sonucunda renk değişimleri (%)	Gelişen renk değişimi	Tuz kristallenmesi döngüleri sonucunda renk değişimleri (%)	Gelişen renk değişimi	Termal şok döngüleri sonucunda renk değişimleri (%)	Gelişen renk değişimi
%100Mermer	-18.29	Mavileşme	8.73	Sarılaşma	31.73	Sarılaşma
%75 Mermer-%25 Granit	-2.26	Mavileşme	8.26	Sarılaşma	32.91	Sarılaşma
%75 Granit- %25 Mermer	-12.14	Mavileşme	115.5	Sarılaşma	41.65	Sarılaşma
%100 Granit	31.11	Mavileşme	406.9	Sarılaşma	377.6	Sarılaşma

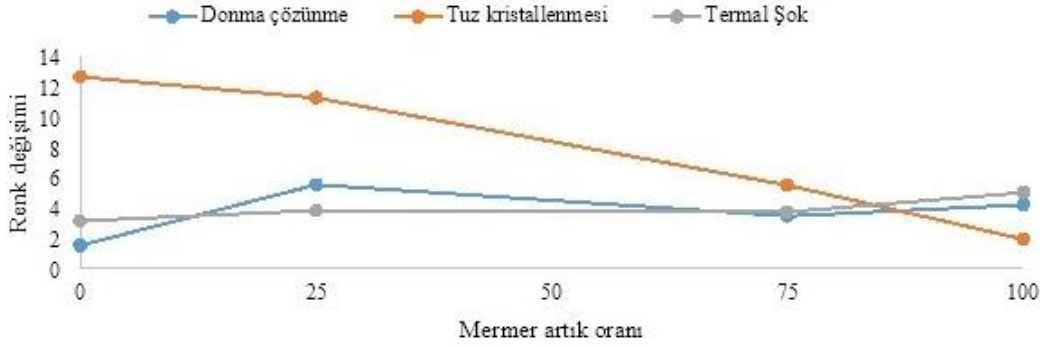
Örneklerin b (b>0 sarılık, b<0 mavilik) değerlerini veren Tablo 8 incelendiğinde donma-çözünme döngüleri hariç diğer tüm döngülerde değerin arttığı yani numunelerin sarılaştığı görülmektedir. Donma çözünme döngülerinde numunenin mermer oranı azaldıkça b değeri azalmış yani mavileşme gelişmiştir.

Tablo 9. Toplam renk değişimleri ΔE
Table 9. Total color changes ΔE

Artık mermer ve granit karışım oranı	Donma-çözünme döngüleri sonucunda renk değişimleri (%)	Tuz kristallenmesi döngüleri sonucunda renk değişimleri (%)	Termal şok döngüleri sonucunda renk değişimleri (%)
%0Mermer	4.15±1.22	1.88±0.73	4.96±0.68
%75 Mermer- %25 Granit	3.41±1.61	5.45±2.75	3.68±0.59
%25 Granit- %75 Mermer	5.48±1.75	11.23±1.16	3.78±1.59
%100 Granit	1.46±0.49	12.61±4.34	3.09±1.41

Toplam renk değişimi ΔE , renk değişiminin büyüklüğünü ifade eden ancak renk değişiminin ne yönde geliştiğini belirtmeyen bir ifadedir Pires et al. (2014). Yapay mermer örneklerinin tümünde çevresel koşullara dayanıklılık için yapılan döngüler neticesinde değişen oranlarda renk değişiklikleri meydana

gelmiştir. Donma çözünme ve termal şok döngülerinde gelişen toplam renk değişimlerine bakacak olursak yapay mermer örneği bünyesindeki granit artığı miktarı arttıkça toplam renk değişiminin azaldığını, tuz kristallenmesi döngülerinde ise granit artığı oranının artışı ile birlikte değişimin de arttığını görebiliriz.



Şekil 5. Mermer artık oranına göre toplam renk değişimleri

Figure 5. Color changes according to marble reject proportions

Renk, yapay ve doğal taşlar için satış koşullarını belirleyen ve etkileyen, kalite belirteci olan önemli bir özelliktir ve kullanım alanına ve yerine bağlı olarak zamanla değişime uğramaktadır. Bu değişimlerin büyük oranda gerçekleşmesi mermerde bozulmaların oluşmasına ve ürünün zaman içinde kullanılamaz hale gelmesine neden olabilmektedir. Bu nedenle hazırlanan yapay mermer örnekleri içerisinde toplam renk değişimi açısından en duraylı örnek türünün %100 mermer artığı içeren grup olduğu anlaşılmaktadır.

5. Tartışma ve sonuçlar

5. Discussion and conclusions

Mermer ve granit artık tozlarının polyester reçine ve sertleştirici kimyasallar ile belirli oranlarda karıştırılması ile elde edilen yapay mermer örneklerinin özelliklerinin belirlenmesi ve çevresel etkenlere (donma-çözünme, termal şok ve tuz kristallenmesi) karşı duraylılığının ne ölçüde olduğunun ortaya konulması için yapılan bu çalışmada artık granit ve mermer tozları ile dört farklı seride örnekler hazırlanmış serilerde mermer ve granit artık oranları değiştirilmiştir. Elde edilen örnekler mermer ve doğal taş standartlarına göre testlere tabii tutulmuş sonuçlar yine mermer ve doğal taş standartlarına göre değerlendirilmiştir. Çalışmada şu bulgulara rastlanmıştır.

Örneklerin tümünün porozite ve su emme değerlerinin düşük olduğu görülmüştür. Örnekler porozite değerlerine göre çok kompakt grupta yer almaktadırlar. Granit artığı tozu ile üretilen örneklerde porozite değerleri mermer artığı tozu ile üretilenlere nazaran daha düşük çıkmıştır. Bu değerlerin düşüklüğünü destekleyen SEM analizlerinden de bu bilginin doğruluğu anlaşılmaktadır. Yapay mermer örneklerinin Tek eksenli basma dayanımı değeri de granit artık tozu içeren örneklerde daha yüksek şekilde elde edilmiştir. Yapay mermer örneklerinde granit artığı tozunun artışının reçine toz malzeme arasında daha iyi gelişmiş arayüzey oluşumu sağlaması ile birlikte örneğe daha pozitif özellikler kazandırdığı yapılan testler neticesinde anlaşılmıştır. Yapay mermer örneklerinin farklı çevresel koşullara karşı duraylılığının belirlenmesi amacıyla yapılan 30 donma-çözünme, tuz kristallenmesi ve termal şok çevrimi neticesinde tüm örneklerde ağırlık kayıplarının olduğu gözlemlenmiştir. Yapay mermer örnekleri üzerinde en fazla ağırlık kaybı oluşturan termal şok döngüleri olmuştur. Mermer artığı içeren örneklerde mermer artığının bünyesindeki kalsit mineralinin anizotropik termal genişleme katsayısının daha yüksek olması nedeniyle daha fazla koparak ayrılmalar gözlemlenmiştir.

Yapay mermer örneklerinde döngüler sonucunda renk değişimleri gelişmiştir. Örneklerde tüm döngülerde renk açılmalarının geliştiği görülmüştür. Özellikle granit artığı içeren seride renk, diğerlerine göre daha koyu olduğundan bu açılma gözle bile fark edilebilecek seviyede gerçekleşmiştir. En fazla renk değişiminin geliştiği seri bünyesinde en fazla granit artığı barındıran seri olmuştur. En çok renk değişikliğini gerçekleştiren döngü ise tuz kristallenmesi döngüleri olmuştur.

Elde edilen tüm bu veriler ışığında söz konusu bu artıkların yapay mermer üretiminde kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır. Kullanım alanı ve yeri seçiminde ürünlerin ani ısıl değişimlerine maruz kalacak ortamlarda daha dikkatli kullanımının uygun olduğu görülmektedir.

Teşekkür

Acknowledgement

Yazarlar bu çalışmayı FYL-2021-2448 nolu proje ile destekleyen İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne ve makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında katkıda bulunan editörlere ve hakemlere teşekkür ederler.

Yazar katkısı

Author contribution

Didem Eren Sarıcı: Makale yazımı, sonuçların yorumlanması
Gizem Aslantepe: deneylerin yapılması, analizlerin yapılması

Etik beyanı

Declaration of ethical code

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

Çıkar çatışması beyanı

Conflicts of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

References

- Aliabdo, A.A., Elmoaty, M.A., & Auda, M. (2014). Re-use of waste marble dust in the production of cement and concrete. *Construction and Building Materials*, 50, 28-41. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.09.005>
- Barani, K., & Esmaili, H. (2016). Production of artificial stones labs using waste granite and marble stones sludge samples. *Journal of Mining and Environment*, 7(1), 135-141.
- Başçetin, A., Adıguzel, D., Eker, H., Odabaş, E., & Tuylu, S. (2021). Effects of puzzolanic materials in surface paste disposal by pilot-scale tests: observation of physical changes. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 18, 949-964. <https://doi.org/10.1007/s13762-020-02892-w>
- Chioidi, C.F., & Rodriquez, H.P. (2009). Guide application of stones in coverings. *Sao Paulo Abirocha*, 118, 37-41.
- Debnath, S., Ranade, R., Wunder, S.L., Mccool, J., Boberick, K., & Baran, G. (2004). Interface effects on mechanical properties of particle-reinforced composites. *Dental Materials*, 20(7), 677-686. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2003.12.001>
- Deere, D.V., & Miller, R.P. (1966). *Engineering classification and index properties of intact rock*. University of Illinois. 90-101. <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/AD0646610.pdf>
- Dehghan, S., Sattari, G., Chehreh, Chelgani, S., & Allabadi, M.A. (2009). Prediction of uniaxial compressive strength and modulus of elasticity for travertine samples using regression and artificial neural networks. *Mining Science and Technology*, 20, 41-46. [https://doi.org/10.1016/S1674-5264\(09\)60158-7](https://doi.org/10.1016/S1674-5264(09)60158-7)
- Efran, N.A. (2021). Recycling of marble calcite waste into useful artificial marble. *Journal of Advanced Engineering Trends*, 40, 7-12. <https://doi.org/10.21608/jaet.2021.82182>
- Felekoğlu, B., & Türkel, S. (2004). Yükleme hızının beton basınç dayanıma ve elastisite modülüne etkisi. *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6(1), 65-75.

- Gomes, M.L.P.M., Carvalho, E.A.S., Demartin, T.J.C., Carvalho, E.A., Colorado, H.A., & Vieira, C.M.F. (2021). Mechanical and physical investigation of an artificial stone produced with granite residue and epoxy resin. *Journal of Composite Materials*, 55(9), 1247-1253. <https://doi.org/10.1177/0021998320968137>
- ISRM. (1978). Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science and Geomechanical Abstract*, 16, 135-140. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(79\)91451-7](https://doi.org/10.1016/0148-9062(79)91451-7)
- ISRM. (1978). Suggested methods for determining sound velocity. *International Journal of Rock Mechanic and Mining Science and Geomechanic Abstract*, 15, 53- 58.
- Köse, H. (2009). *Kaya mekaniği*, (4. Baskı). Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları.
- Medina, G., Saez del Bosque, I.F., Frias, M., Sanchez de Rojas, M.I., & Medina, C. (2017). Granite quarry waste as a future eco-efficient supplementary cementitious material (SCM): scientific and technical considerations. *Journal of Cleaner Production*, 148, 467e476. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.048>
- Menezes, R.R., Ferreria, H.S., Neves, G.A., & Ferreria, H.C. (2005). Use of granite sawing waste in the production of ceramic bricks and tiles. *Journal of European Ceramic Society*, 25(7), 1149-1158. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2004.04.020>
- Miller, J.D., Ishida, H., & Maurer, F.H.J. (1998). Dynamic-mechanical properties of interfacially modified glass sphere polyethylene. *Rheologica Acta*, 27, 397-404. <https://doi.org/10.1007/BF01332160>
- Özgüven, A., & Özçelik, Y. (2013). Investigation of some property changes of natural building stones exposed o fire and heat. *Construction and Building Materials*, 38, 813-821. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.09.072>
- Pires, V., Rosa, L.G., & Dionisio, A. (2014). Implications of exposure to high temperatures for stone cladding requirements of three Portuguese granites regarding the use of dowel-hole anchoring systems. *Construction and Building Materials*, 64, 440-450. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.03.035>
- Sabatokasis, N., Koukis, G., Tsiambaos, G., & Papanakli, G. S. (2008). Index properties and strength variation controlled by microstructure for sedimentary rocks. *Engineering Geology*, 97, 80-90. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2007.12.004>
- Sharma-Kumar, N., Kumar, P., Kumar, S., Skariah Thomas, B., & Chandra Gupta, R. (2017). Properties of concrete polished granite waste as partial substitution of coarse aggregate. *Construction and Building Materials*, 151, 158-163. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.06.081>
- Sharma, P.K. & Singh, T.N. (2008). A correlation between p-wave velocity, impact strength index, slake durability index and uniaxial compressive strength. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 67, 17–22. <https://doi.org/10.1007/s10064-007-0109-y>
- Shishegaran, A., Mohsen, S., Sajjad M., & Korayem A.H. (2021). The mechanical strength of the artificial stones, containing the travertine wastes and sand. *Journal of Materials Research and Technology*, 11, 1688-1709, <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.02.013>
- Samad, H., A. & Rashid, R.A. (2020). Influence of dolomite and granite waste content on the properties of artificial marble, mineral research centre, department of mineral and geoscience. *Materials Science and Engineering*, 713(1) 1-9. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/713/1/012017>
- Şahin Demir, D., Çullu, M., & Eker, H. (2019). Betonların aşındırma ve karbonatlaşma performanslarına kireçsi uçucu küllerin Farklı incelik ve ikame oranlarının etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 17, 1150-1163. <https://doi.org/10.31590/ejosat.654733>
- Şahin Demir, D., Eker, H., & Çullu, M. (2022). Uçucu kül inceliğinin betonun sülfat direnci üzerine etkisi. *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17, 287-303. <https://doi.org/10.54365/adyumbd.1053376>
- Tahran, F. (1989). *Mühendislik Jeolojisi Prensipleri*. (145). KTÜ yayınları.
- TS 699. (2009). *Tabii yapı taşları- muayene ve deney metodları*. TSE, Ankara.

- TS EN 1939. (2010). *Doğal taşlar- deney metotları- gerçek yoğunluk, görünür yoğunluk, toplam ve açık gözeneklilik tayini*, TSE, Ankara.
- TS EN 14066. (2004). *Doğal taşlar-deney metotları termal şok etkisiyle yıpranmaya direncin tayini*, TSE, Ankara.
- TS EN 12370. (2001). *Doğal Taşlar Deney Metotları - Tuz Kristallenmesine Direncin Tayini*. TSE, Ankara.
- Uysal, M. (2018). The use of waste maroon marble powder and iron oxide pigment in the production of coloured self-compacting concrete. *Advance Civil Engineering*, 1-10. <https://doi.org/10.1155/2018/8093576>
- Yavuz, H., Demirdağ, S., & Caran, S. (2010). Thermal effect on physical properties of carbonate rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 47, 94-103. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2009.09.014>
- Yüçetürk, G. (2010). *Göller bölgesindeki kayaçların mineralojik petrografik özelliklerinin yapay mermer kalitesine etkileri* [Doktora tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü]