

**T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOĞAL TAŞ ARTIKLARININ YAPAY MERMER ÜRETİMİNDE KULLANIM
OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
GİZEM ASLANTEPE**

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Doç. Dr. Didem Eren SARICI

TEMMUZ- 2022

**T.C
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOĞAL TAŞ ARTIKLARININ YAPAY MERMER ÜRETİMİNDE KULLANIM
OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Gizem ASLANTEPE
(36193616002)**

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç.Dr. Didem EREN SARICI

TEMMUZ-2022

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının her aşamasında yardım, öneri, bilgi, tecrübe ve desteklerini esirgemedenden beni her konuda yönlendiren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Didem EREN SARICI'ya,

Çalıőmayı FYL-2021-2448 nolu proje ile maddi olarak destekleyen İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimi'ne,

Çalıőmalarımnda, tüm hayatım boyunca olduğu gibi bu çalışma süresince de benden her türlü desteklerini esirgemeyen anneme ve babama, özellikle hayatımın her anında ve çalıőmalarımın her anında benden desteğini esirgemeyen eőim Kerem ASLANTEPE'ye teşekkür ederim.



ONUR SÖZÜ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Doğal Taş Atıklarının Yapay Mermer Üretiminde Kullanım Olanaklarının Araştırılması” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığına ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Gizem ASLANTEPE



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
ONUR SÖZÜ	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	2
1.2 Tezin Kapsamı.....	3
2. KURAMSAL TEMELLER	4
2.1 Mermerin Tanımı	4
2.2 Granitin Tanımı	4
2.3 Mermerlerin Sınıflandırılması	4
2.3.1 Mineral tane boyutlarına göre mermerler	4
2.3.2 Yapı ve dokularına göre mermerler	5
2.3.3 Mineral bileşim ve oranlarına göre sınıflandırma	5
2.3.4 Jeolojik olarak mermerlerin sınıflandırması	5
2.3.5 Kullanım şekillerine göre mermerlerin sınıflandırması	7
2.3.6 Ticari pazara ve renge göre sınıflandırma	7
2.4 Mermer Kullanım Alanları	7
2.5 Mermer İşleme Yöntemleri	8
2.6 Mermer Atıkları.....	9
2.6.1 Ocaklarda oluşan mermer atıkları	9
2.6.2 Fabrikalarda oluşan mermer atıkları	9
2.7 Mermer Atıklarının Doğal Çevreye Etkisi	9
2.8 Yapay Mermer.....	10
2.8.1 Yapay mermerlerin kullanım alanları	10
2.8.2 Yapay mermer ile doğal mermer arasındaki farklar	10
2.8.3 Yapay mermerin fiziksel özellikleri.....	11
2.8.4 Yapay mermerin mekanik özellikleri.....	11
2.9 Yapay Mermer Üretimi.....	13
2.10 Kompozit Malzeme.....	13
2.10.1 Kompozit malzeme avantaj ve dezavantajları	14
2.11 Kompozit Malzeme Üretiminde Kullanılan Reçineler	15
2.11.1 Polyester reçine	15
2.11.2 Epoksi reçine	16
2.11.3 Polyester ve epoksi reçine arasındaki farklar	16
2.12 Litaratür Özetleri.....	17
3. MALZEME VE YÖNTEM	24
3.1 Malzeme	24
3.1.1 Atık mermer malzeme	24
3.1.2 Atık granit malzeme.....	26
3.1.3 Kullanılan kimyasallar ve araç-gereçler	27

3.1.4 Polyester reçine	28
3.1.5 Kobalt.....	29
3.1.6 Metil etil keton peroksit (MEKP)	29
3.1.7 Deney hazırlık aşamaları	30
3.1.8 Fiziksel-mekanik deneyler.....	31
3.1.9 Kimyasal ve mineralojik özellikleri belirlemek için yapılan analizler	39
3.1.10 Tuz kristallenmesi döngüleri	40
3.1.11 Termal şok etkilerine dayanım deneyi.....	41
3.1.12 Donma-çözünme dayanımı deneyi	42
3.1.13 Parlaklık ölçümleri	43
3.1.14 Renk parametreleri tayini	44
3.1.15 Ağırlık kayıplarının belirlenmesi	45
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	46
4.1 Birim Hacim Ağırlığı Deney Sonuçları.....	46
4.2 Porozite Deney Sonuçları	47
4.3 Su Emme Deney Sonuçları.....	48
4.4. Ultrasonik Dalga Hızı Deneyi	49
4.5 Sertlik	49
4.5.1 Schmidt çekici sertlik değeri sonuçları.....	49
4.5.2 Tek eksenli basma dayanımı deneyi	50
4.6 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi Sonuçları	51
4.7 Tuz Kristallenmesi Etkilerine Dayanım Deneyi Sonuçları	52
4.7.1 Kuru ağırlık tayini sonuçları.....	52
4.7.2 Parlaklık değerleri tayini.....	54
4.7.3 Renk ölçümleri sonuçları	55
4.7.4 Toplam renk değişimleri	60
4.7.5 Tuz kristallenmesi döngüleri sonucunda Schmidt sertliği deney sonuçları .	61
4.7.6 Tuz kristallenmesi döngüleri sonucunda tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçları	61
4.8 Termal Şok Etkilerine Dayanım Deney Sonuçları.....	62
4.8.1 Kuru ağırlık tayini sonuçları.....	63
4.8.2 Parlaklık değerleri tayini.....	65
4.8.3 Renk ölçümleri sonuçları	66
4.8.4 Toplam renk değişim değerleri	71
4.9 Donma-Çözünme Etkilerine Dayanım Deneyi Sonuçları	72
4.9.1 Kuru ağırlık tayini sonuçları.....	72
4.9.2 Parlaklık değerleri tayini.....	73
4.9.3 Renk ölçümleri sonuçları	75
4.9.4 Toplam renk değişimleri	78
4.9.5 Donma Çözünme döngüleri sonucunda Schmidt sertliği deneyi sonuçları..	79
4.9.6 Donma Çözünme döngüleri sonrası tek eksenli basma dayanımı deneyi sonuçları	80
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	81
5.1 Sonuç.....	81
5.2 Öneriler	85
KAYNAKÇA.....	86
ÖZGEÇMİŞ	92

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3. 1: Yapay mermer üretiminde kullanılan mermer atığının kimyasal bileşimi. ...	25
Çizelge 3. 2: Mermer atığı özgül ağırlık değeri	25
Çizelge 3. 3: Yapay mermer üretiminde kullanılan granit atığının kimyasal bileşimi.....	26
Çizelge 3. 4: Granit atığı özgül ağırlık değeri.....	27
Çizelge 3. 5: Yapay mermer üretiminde kullanılan atık oranı ve kimyasallar	31
Çizelge 3. 6: Mermerlerin porozite değerine göre sınıflandırılması (Tok, 2018).	33
Çizelge 3. 7: Deer ve Miller'in tek eksenli basınç direncine göre örnek sınıflaması (Deer ve Miller, 1966).	38
Çizelge 3. 8: P dalga hızı sınıflaması (Anon, 1979).....	39
Çizelge 4. 1: Yapay mermer örneklerinin birim hacim değerleri.	46
Çizelge 4. 2: Mermer, granit atıkları kullanılarak üretilen yapay mermer numunelerinin görünür porozite değerleri	47
Çizelge 4. 3: Yapay mermer numunelerinin ağırlıkça ve hacimce su emme değerleri	48
Çizelge 4. 4: Yapay mermer numunelerinin ultrasonik dalga hızı değerleri	49
Çizelge 4. 5: Yapay mermer numunelerinin Schmidt çekici sertlik değerleri	49
Çizelge 4. 6: Yapay mermer numunelerinin deney numunelerinin tek eksenli basma dayanımı sonuçları	50
Çizelge 4. 7: Tuz kristallenmesi döngüleri sonrasında yapay mermer numunelerinin kuru ağırlık değerlerindeki değişimler.	53
Çizelge 4. 8: Yapay mermer örneklerinin tuz kristallenmesi deneyi parlaklık değerleri ve değişimleri değişim değerleri.	54
Çizelge 4. 9: Tuz kristallenmesi deney öncesi ve sonrası L (siyahlık-beyazlık) değerleri ve değişimleri	56
Çizelge 4. 10: Tuz kristallenmesi deney öncesi ve sonrası a (yeşillik – kırmızılık) değerleri ve değişimleri	57
Çizelge 4. 11: Tuz kristallenmesi deney öncesi ve sonrası b (mavilik – sarılık) değerleri ve değişimleri	59
Çizelge 4. 12: Tuz kristallenmesi deney sonucunda numunelerin toplam renk değişimleri (ΔE).....	60
Çizelge 4. 13: Granit ve mermer atıklarının tuz kristallenmesi deney numunelerinin Schmidt çekici sertlik değerleri.....	61
Çizelge 4. 14: Tuz kristallenmesi deney numunelerinin basma dayanımı deney sonuçları	62
Çizelge 4. 15: Termal şok deneyine tabi tutulan numunelerin kuru ağırlık değişimleri	63
Çizelge 4. 16: Termal şok deneyi sonrası parlaklık ve değişim değerleri.....	65
Çizelge 4. 17: Termal şok deney öncesi ve sonrası L(siyahlık-beyazlık) değişimleri	67
Çizelge 4. 18:Termal şok deney öncesi ve sonrası a (yeşillik – kırmızılık) değişimleri.....	68
Çizelge 4. 19: Termal şok deney öncesi ve sonrası b (mavilik – sarılık) değişimleri.....	70
Çizelge 4. 20: Termal şok deney numuneleri toplam renk değişimi (ΔE).....	71
Çizelge 4. 21: Donma-Çözünme deney öncesi ve sonrası kuru ağırlık değeri ve değişimleri	72
Çizelge 4. 22: Donma-Çözünme deney öncesi ve sonrası parlaklık ve değişim değerleri .	74
Çizelge 4. 23: Donma-Çözünme deney öncesi ve sonrası L (siyahlık-beyazlık) değişimleri	75
Çizelge 4. 24: Donma-Çözünme deney öncesi ve sonrası a (yeşillik – kırmızılık) değişimleri	76

Çizelge 4. 25: Donma-Çözünme deney öncesi ve sonrası b (mavilik – sarılık) değişimleri	77
Çizelge 4. 26: Donma-Çözünme deney numuneleri toplam renk değişimi (ΔE)	79
Çizelge 4. 27: Granit ve mermer atıklarının donma- çözünme deney numunelerinin schmidt çekici sertlik değerleri	79
Çizelge 4. 28: Donma- çözünme deney numunelerinin tek eksenli basma dayanımı sonuçları.....	80



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2. 1: Sedimanter kayaç türleri.....	6
Şekil 2. 2: Kompozit malzemenin gösterdiği özellik şekli	14
Şekil 2. 3: Kompozit malzeme üretim aşamaları (Gay ve diğ., 2003).....	15
Şekil 3. 1: Yapay mermer üretiminde kullanılan mermer-granit atıkları	24
Şekil 3. 2: Mermer atığına ait X-ışınları difraktogramı (C: Kalsit).....	25
Şekil 3. 3: Granit atığına ait X-ışınları difraktogramı (Q: kuvars, A:anortit, K: kıyanit, C: kalsiyum aleminyum silikat)	26
Şekil 3. 4: Yapay mermer üretiminde kullanılan NaTek marka mikser (A), hassas terazi (B), bilyeli değirmen (C), eleme cihazı(D)	27
Şekil 3. 5: Suni mermer yapım aşaması a: titreşim sehпасı b: kalıplara aktarılan numuneler	30
Şekil 3. 6: Yoğunluk ölçümünde piknometre ile yapılan tartımların şematik görüntüsü....	35
Şekil 3. 7: Özgül ağırlık tayininde kullanılan piknometreler	36
Şekil 3. 8: Deere ve Miller Grafiği	36
Şekil 3. 9: Schmidt çekici sertlik ölçümü.....	37
Şekil 3. 10: Numuneler üzerinde basma dayanımı uygulanan a: makine ve b: kırılan numuneler	38
Şekil 3. 11: Tuz kristallenmesi için kullanılan a: sodyum sülfat çözeltisi ve b: çözelti içindeki numuneler.	41
Şekil 3. 12: Termal şok deneyi uygulanan numuneler a: döngüde kırılan numuneler ve b: etüvde kurutulan numuneler.....	42
Şekil 3. 13: Donma-Çözünme deneyi uygulanan numuneler a: Mikrotest marka dondurucu b: dondurucu içindeki deney numuneleri	43
Şekil 4. 1:%100 mermer atığı ile üretilen yapay mermer örneğinin SEM görüntüsü	51
Şekil 4. 2: %75 mermer atığı, %25 granit atığı ile üretilen yapay mermer örneğinin SEM görüntüsü	51
Şekil 4. 3: %75 granit atığı, %25 mermer atığı ile üretilen yapay mermer örneğinin SEM görüntüsü	51
Şekil 4. 4: %100 granit atığı ile üretilen mermer örneğinin SEM görüntüsü	52
Şekil 4. 5: Tuz kristallenmesi deneyi sonucunda yapay mermer numunelerinin kuru ağırlık değişimleri	53
Şekil 4. 6: Tuz kristallenmesi deneyi sonucunda numunelerin parlaklık değerleri değişimleri.....	55
Şekil 4. 7: Tuz kristallenmesi deney öncesi ve sonrası L(siyahlık-beyazlık) değerleri değişimleri	56
Şekil 4. 8: Tuz kristallenmesi deney öncesi ve sonrası a (yeşillik – kırmızılık) değerlerinin değişimi	58
Şekil 4. 9: Tuz kristallenmesi deney öncesi ve sonrası b (mavilik – sarılık) değişim grafiği	59
Şekil 4. 10: Termal şok deney döngüsünde kırılan numuneler	63
Şekil 4. 11: Termal şok deneyine tabi tutulan numunelerin kuru ağırlık değişim grafiği ...	64
Şekil 4. 12: Termal şok deneyi sonrası parlaklık değişimlerinin grafiksel gösterimi	66
Şekil 4. 13: Termal şok deney sonrası L (siyahlık-beyazlık) değişim değerlerinin grafiksel gösterimi	67
Şekil 4. 14: Termal şok deneyi sonrası a (yeşillik – kırmızılık) değerleri değişim grafiği. 69	
Şekil 4. 15: Termal şok deney öncesi ve sonrası b (mavilik – sarılık) değeri	70

Şekil 4. 16: Donma-Çözünme deneyi öncesi ve sonrası kuru ağırlık değişim grafiği	73
Şekil 4. 17: Donma-Çözünme deney örneklerinde parlaklık değişimlerinin grafiksel gösterimi	74
Şekil 4. 18: Donma-Çözünme deney öncesi ve sonrası L (siyahlık-beyazlık) değişimleri	76
Şekil 4. 19: Donma-çözünme deney öncesi ve sonrası a (yeşillik – kırmızılık) değişim grafiği.....	77
Şekil 4. 20: Donma-Çözünme deney öncesi ve sonrası b (mavilik – sarılık) değişim grafiği	78



SEMBOLLER VE KISALTMALAR

SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
XRD	: X-Işınları Difaksiyonu
XRF	: X-Ray Floresans
MEKP	: Metil Etil Keton Peroksit
ASTM	: Amerikan Test ve Malzeme Derneği
ISRM	: Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği
CIELAB	: Renk Tanımlama Sistemi
°C	: Santigrat Derece
kN	: Kilonewton
V	: Hız
mPa	: Megapaskal
µm	: Mikron
cm³	: Santimetreküp
gr	: Gram
CaCO₃	: Kalsiyum karbonat
SiO₂	: Silisyum dioksit
MgCO₃	: Magnezyum Karbonat

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DOĞAL TAŞ ATIKLARININ YAPAY MERMER ÜRETİMİNDE KULLANIM OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI

Gizem ASLANTEPE

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

92+XI sayfa

2022

Danışman: Doç.Dr. Didem EREN SARICI

Yapı sektöründe yaygın biçimde kullanılan doğal taş ve mermerlerin ocakta üretimi ve fabrikalarda nihai işlenmeleri 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 tez çalışmasının konusunu oluşturmaktadır. Bu kapsamda, Eskişehir bölgesinden temin edilen granit artıkları ile Malatya bölgesinden temin edilen mermer artıkları polyester reçine ile karıştırılmış, kalıplanarak yapay mermer numuneleri üretilmiştir. Elde edilen numunelerin fiziko-mekanik özellikleri TSE ve ISRM standartlarına 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 özelliklerinde ve parlaklıklarında gelişen değişimler belirlenerek değerlendirilmiştir. Elde edilen numunelerin fizikomekanik özelliklerinin mermer ve doğal taşlar için uygun sınırlarda olduğu görülmüştür. Uygulanan çevresel koşullardan termal şok uygulamaları yapay mermer örnekleri üzerinde en çok tahribat yaratan uygulama olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Mermer, granite, doğal taş artığı, mermer artığı, yapay mermer.

ABSTRACT

Master of Science Thesis
INVESTIGATION OF USAGE OPPORTUNITIES OF NATURAL STONE WASTE IN
PRODUCTION OF ARTIFICIAL MARBLE

Gizem ASLANTEPE

Inonu University
Graduate School of Nature and Applied Sciences
Department of Mining Engineering

92+XI page

2022

Supervisor: Doç.Dr. Didem EREN SARICI

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 thesis. Artificial marble samples were produced by mixing granite residues from Eskişehir region and marble residues from Malatya region with polyester resin and molding. The physico-mechanical properties of samples were determined according to TSE and ISRM standards. 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 color and gloss changes in the marbles were determined and evaluated. 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: Marble, granite, natural stone residue, marble residue, artificial marble.

1. GİRİŞ

İnsanlar ihtiyaçları doğrultusunda doğal taşları gündelik hayatın her alanında kullanmışlardır. Bu nedenle doğal taşların kullanımını insanlık tarihinin en eski zamanlarına dayanmaktadır. Doğal taşların üretimi ve işlemeciliğinde ilk çağlardan günümüze kadar değişik yöntem ve aletler kullanılmıştır. İlerleyen teknolojiyle birlikte yeni yöntemlerin ve makinelerin geliştirilmesi daha güzel görünümlü ayrıca daha dayanıklı doğal taş ürünlerinin üretilmesine olanak sağlamıştır. Bu gelişme doğal taşların kullanım alanlarının artmasına sebep olmuştur. Doğal taşlar günümüzde evlerde, iş yerlerinde, dış cephe kaplamacılığında ve birçok alanda kullanılmaktadır. Doğal taşların en önemli kısmını mermerler oluşturmaktadır. Dünya mermer rezervinin yaklaşık %40'ının (yaklaşık 5.3 milyar m³), granit rezervinin ise 1 milyar m³ lük bölümünün Türkiye'de bulunduğu bilinmektedir (Erol ve diğ, 2022; Tok, 2018).

Doğal taş madenciliği doğal taş bloklarının ana kaya bloğundan ayrılıp kazanılması ile yapılmaktadır. Bu işlem kayacın özelliğine göre kompresör, elmas testere vb. işletme aletleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Doğal taş blokları ocaktan alındıktan sonra işletme tesislerinde pazarın istediği boyuta getirilmek için kesim, parlatma gibi işlemlere tabi tutulur, bu işlemler sırasında ise irili ufaklı atıklar ortaya çıkmaktadır. Günümüzdeki ileri teknolojiye sahip cihazlarla doğal taş işletmeciliği yapılmakta olup bu durum seri üretimin gerçekleşmesini sağlamak ve oluşan atıkların daha fazla miktarlara gelmesine sebep olmaktadır. Bu da beraberinde çevre kirliliğinin artışı getirmektedir (Tok, 2018).

Türkiye'de yıllık doğal taş üretimi yaklaşık 11,5 milyon ton olup işleme tesislerinde toplam plaka üretimi 6.5 milyon m² civarındadır ve üretimin büyük çoğunluğu özel sektör tarafından yapılmaktadır (www.ticaret.gov.tr). Mermer rezervinin %2'si çıkarılan ülkemizde blok üretim anında yarı yarıya atık oluşmasıyla beraber plaka kesim sırasında ise %15-50 oranında toz atık oluşmaktadır (Öztürk, 2018). Doğal taş işletimi tecrübesiz elaman ve bilinçsiz üretim nedeniyle de devasa oranda atıkların oluşmasına neden olmaktadır. Mermer, granit blokları ve plakaların üretimi esnasında toz, çamur ayrıca parça atık olmak üzere üç farklı şekilde atık oluşmaktadır. Atıkların değerlendirilip çevreye verdiği bu zararın en aza indirilmesi gerekmektedir. Batı Avrupa ve Amerika Birleşik Devletleri'nde yaklaşık %80 oranında değerlendirilen atıkların ülkemizde ise yalnızca %20 lik kısmı değerlendirilmektedir (Öztürk, 2018).

Mermer ve granit atıklarının değerlendirilmesi amacıyla birçok çalışmalar yapılmış olup, kompozit malzemeler üretilip alternatif yapı malzemeleri ile ülke ekonomisine katkı sağlanması ve çevre kirliliğinin önüne geçilmesi amaçlanmıştır.

Yapay mermer, kayaç atıklarının değerlendirilmesi amacıyla polyester reçine ve sertleştiriciyle birleştirilerek mekanik dayanımı yüksek, farklı sıcaklıklara ve kimyasal şartlara dayanıklı alternatif bir yapı malzemesidir. Yapay mermerlerin kullanım alanı gün geçtikçe gelişmekte farklı alanlarda uygulama alanı bulmaktadır. Yapay mermerler, doğal mermerlere göre daha elastik olduğundan dış etkilere karşı dayanıklılık sağlar. Yapay mermerler çeşitli renk, desen ve boyutlarda üretilip işlenebilirler bu da doğal taşlara göre büyük bir avantaj olmaktadır. Aynı zamanda yapay mermerler yüzeyleri gözeneksiz ve geçirimsiz olmasından ötürü bakterilere karşı daha dayanıklıdırlar.

Yapay mermerler, polyester ve mineral dolgulardan oluşan mekanik dayanımları yüksek, farklı kimyasallara, sıcaklık koşullarına, asit ve bazlara dayanıklı, işlenebilen, kalıplanabilen değişik renk ve desen özelliği olan homojen yapıli yeni nesil yapı malzemeleridir (Yüçetürk, 2010).

Değişik mineral türleri (kalsit, dolomit, kuvars) değişik reçine (polyester) grupları ile belirli oranlarda karıştırılarak ve farklı döküm yöntemleri kullanılarak hazırlanırlar. Yapay mermerler elastik, mekanik özellik bakımından doğal mermer ve granitlere göre daha üstündürler ayrıca farklı asidik-bazik özellikteki kimyasalların korozyon etkilerine karşı da daha dayanıklıdırlar. Üretimleri esnasında bünyelerine inorganik kökenli olmayan farklı renkli pigmentleri eklenerek değişik renk ve desende ürünler elde etmek mümkündür. Tüm bu özelliklere ek olarak yapılacak olan tasarıma uygun olacak şekilde ve ebatlarda kalıplama yapılarak kolay bir biçimde üretim gerçekleştirilir. Yapay mermerler; evlerde banyo ve mutfaklarda, laboratuvarlarda, okul, otel, lokanta gibi yerlerde iç ve dış mekânlarda kaplama malzemesi olarak kullanım alanı bulabilmektedir.

1.1 Tezin Amacı

Atıkların yeniden geri dönüşüm ile kazanılması, çevre ve doğanın dengesinin korunabilmesi ve doğaya verilen zararın minimuma indirilebilmesi açısından son derece önemlidir. Geri kazanımla, doğal kaynaklarımız korunur, enerji tasarrufu sağlanıp, ekonomiye katkı sağlanır, atık miktarı azalır ve geleceğe yatırım yapılır. Türkiye'de atıkların geri kazanımı konusunda uzun yıllardır süregelen çalışmalar vardır. Cam, kâğıt, karton, plastik ve metal

gibi atıklar özellikle çöp dökme sahalarından ve sokak toplayıcıları kanalı ile sokaklardan toplanmakta ve hammadde kaynağı olarak çeşitli sektörlerde kullanılmaktadır.

Bu çalışmada madensel atık olan granit, mermer ocaklarında ve işletim tesislerinde oluşan atıklar için alternatif kullanım alanı oluşturmak amaçlanmıştır. Mermer ve granit atıkları ile üretilen yapay mermerlerin fiziko mekanik özellikleri, tuz kristallenmesi, donma çözünme ve termal şok süreçlerine dayanımlarının incelenmesi ile günümüz şartlarında kullanım alanı bulup ekonomiye katkı sağlanması ve çevre kirliliğinin önüne geçilmesi amaçlanmıştır.

1.2 Tezin Kapsamı

Tez çalışması, çalışmada kullanılacak olan madensel atıkların temini, atıkların yapay mermer üretimi için hazırlanması aşaması ve üretilen örneklerin özelliklerinin belirlenmesi aşamalarından oluşmaktadır.

Bu bağlamda;

İlk olarak kullanılacak olan madensel atıklar temin edilmiştir. Kullanılan madensel atıklar Eskişehir ili Sivrihisar ilçesinde faaliyet göstermekte olan Granitaş A.Ş.'ye ait mermer fabrikasında üretim esnasında oluşan pülp (çamur) halde biriktirilen ince boyutlu toz atıklar ve Malatya ili Akçadağ ilçesinde faaliyet göstermekte olan Net-Mer mermer işletmesinde üretim sırasında çıkan toz atıklardır. Temin edilen bu atıklar öncelikli olarak laboratuvar da öğütme ve eleme işlemlerine tabi tutulmuştur. Hammaddelerin XRD, XRF analizleri ile minerolojik, kimyasal özellikleri ve özgül ağırlıkları belirlenmiştir. 150 µm boyutunda hazırlanan hammaddelere polyester reçine ve sertleştirici ilave edilerek suni mermer numuneleri hazırlanmıştır. Sonrasında karışımlar 5*5*5 cm³ ebatındaki kübik kalıplara dökülmüştür.

Suni mermer numuneleri üzerinde birim hacim ağırlık, porozite, ağırlıkça ve hacimce su emme, ultrasonik dalga hızı, Schmidt çekici sertliği, tek eksenli basma dayanımı gibi fizikomekanik testler gerçekleştirilmiştir.

Hazırlanan yapay mermer örneklerinin donma-çözünme, termal şok ve tuz kristallenmesi deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler 30 döngü olacak şekilde uygulanmıştır. Deney öncesinde ve sonrasında numunelerin renk, parlaklık ve ağırlık değişimleri hesaplanmış olup numunelerin SEM analizleri yapılmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1 Mermerin Tanımı

Jeolojik tanımıyla “Mermer” başkalaşım süreci geçirerek kireçtaşı, dolomit gibi kayaçların belirli sıcaklık ve basınç altında tekrar kristalleşip yeni bir yapı kazanmaları sonucu oluşan metamorfik kayadır. Mermerin kimyasal bileşiminde büyük miktarda kalsiyum karbonat (CaCO_3), magnezyum karbonat (MgCO_3) bulunmaktadır. Bu minerallerin yanı sıra silisyum dioksit, silikat ve farklı metal oksitlerde mermerin kimyasal bileşiminde bulunmaktadır (Bilgin, 2010).

Endüstriyel olarak ise mermer; uygun boyutlarda blok verebilen, kesilip parlatılabilen, ve yüzeyi işlenebilen her cins kayadır (Şentürk ve diğ., 1996).

2.2 Granitin Tanımı

Granit mineral yapısına göre doğada gri, beyaz ve pembe renklerde oluşum göstermektedir. Bunun yanı sıra içerisindeki feldispatların yanında diğer minerallerin miktar ve cinsine göre turuncu tonlarda da doğada bulunur. Granit, yapı olarak %20-60 kuvars, alkali feldispat ve diğer minerallerden (mika, grena, zirkon vb.) oluşmaktadır (Halder vd., 2014).

Bilimsel tanım olarak granit, minerolojik bileşiminde %10-40 kuvars, %30-60 alkali feldispat, %35'e kadar asit plajyoklas, %10-35 arası koyu renkli mineral bulunduran, açık renkli, asidik bileşimli derinlik kayalarına denilir (Çoğulu, 1976).

Granitler sağlam ve dayanıklı olmaları, değişik renk ve desen alternatifleri sunmaları nedeniyle doğal taş olarak yapı sektöründe iç ve dış cephe kaplaması, parke, yol düzenlemelerinde, yer döşemesinde ve dekoratif amaçlı birçok alanda kullanılmaktadır.

2.3 Mermerlerin Sınıflandırılması

Mermerler; mineral tane, oran ve boyutlarına, yapı ve dokularına, jeolojik olarak, ekonomik şartlara, ticari pazara ve renge, sertliklerine, kullanım şekline, kökenlerine göre sınıflandırılırlar (Karahana, 2018).

2.3.1 Mineral tane boyutlarına göre mermerler

Mermerler tane boyutlarına göre; ince taneli mermer (1 mm), orta taneli mermer (1-5 mm), iri taneli mermer (5 mm ile 1-2 cm) olmak üzere üç boyutta incelenir (Karahana, 2018).

2.3.2 Yapı ve dokularına göre mermerler

Mermerler yapılarına göre dört kısımda incelenmektedir.

- Masif mermer; kompakt bir görünüme sahip ayrıca ince ve iri taneli mermerlerdir.
- Laminal mermer; renkli şeritleri olan bir yapısı vardır. İnce taneli şeritlerinde farklı mineraller içeren mermerlerdir.
- Şisti mermer; yapraklı bir yapıya sahiptir ayrıca kimyasal yapısında önemli miktarda mika bulunan mermerlerdir.
- Breşik mermer; kırıklı bir yapıya sahip mermerlerdir. Ana dolgularında farklı renk ve mineraller görülebilir (Karahana, 2018).

2.3.3 Mineral bileşim ve oranlarına göre sınıflandırma

Mermerler bileşim ve oranlarına göre dört kısımda incelenmiştir.

- %95 oranında kalsiyum karbonat (CaCO_3) içerenler mermer olarak adlandırılırlar. Yekpare yapıya ve taneli dokuya sahip olurlar. Farklı oranlarda ve özelliklerde mineraller (kuvars, mika vb.) içerebilirler.
- %80-90 kalsiyum karbonat (CaCO_3) içerenler mermer-skarn olarak adlandırılırlar. Yekpare yapıya ve taneli dokuya sahip olurlar. Farklı oranlarda ve özelliklerde mineraller (diopsit, olivin, gröna vb.) içerebilirler.
- %80 kalsiyum karbonat (CaCO_3) içerenler spolen olarak adlandırılırlar. Şist yapıya ve yönlü dokuya sahip olurlar. Farklı oranlarda ve özelliklerde mineraller (flogopit, tremotil, plajiolklas) içerebilirler.
- %60-70 kalsiyum karbonat (CaCO_3) içerenler kalkışist olarak adlandırılırlar. Şisti yapıya ve yönlü dokuya sahip olurlar. Farklı oranlarda ve özelliklerde mineraller (klorit, epidot, lepidolit) içerebilirler (Karahana, 2018).

2.3.4 Jeolojik olarak mermerlerin sınıflandırması

Mermer köken itibari ile metamorfik, sedimanter ve magmatik olmak üzere üç şekilde sınıflandırılır (Şentürk ve diğ., 1996).

2.3.4.1 Metamorfik kayaçlar

Başkalaşım taşları olarak da adlandırılan metamorfik kayaçlar, magmatik ve tortul kayaçların yüksek sıcaklık, basınç, gerilme ve kimyasal aktivitesi olan sıvı ve gazların etkisi altında kalmıştır. Bu kayaçların değişimleri sonucu mekanik, mineral ve kristal yapılarını değiştirerek yeni bir kayaç halini alır (Öcal ve Dal, 2018).

2.3.4.2 Sedimanter kayaçlar

Yeryüzündeki kayaçların ayrışması aşınması sonucu oluşan kırıntı, koloid, eriyik özelliğindeki maddelerin farklı taşıyıcılar ile örn. su, rüzgâr, yerçekimi kuvveti veya buzullarla taşınması ve bu ortamlarda birikerek buradaki fiziko-kimyasal olaylar sonucu yeniden oluşan fosil yapıları kayaçlardır (Öcal ve Dal, 2018). Şekil 2.1'de sedimanter kayaç türlerine ait sınıflama verilmiştir.

KLASTİK/DETRİTİK Katı parçacıkların konsolidasyonu	<u>Kırıntılı</u> Çakıltası/breş (>2mm) Kumtaşı(1/16-2mm) Silttaşı (1/256-1/16mm) Şeyl Kiltası (<1/256mm)
KİMYASAL Çözünmüş maddelerin çökmesiyle oluşur: İnorganik (evaporasyon=buharlaştırma)	<u>Kimyasal</u> Kayatuzu ve jips çökelleri Kireçtaşları
ORGANİK Organik canlı kavrı (biyokimyasal) veya canlı yığılması sonucu oluşur.	<u>Organik</u> Fosilli kireçtaşları Çört Kömür

Şekil 2. 1: Sedimanter kayaç türleri

2.3.4.3 Magmatik kayaçlar

Yerkabuğunun derinliklerinde magmanın yükselerek yeryüzüne ulaşip veya yer kabuğunun içerisinde soğuyarak katılaşması sonucu oluşan kayaçlardır.

Magmatik kayaçlar oluşumlarına, mineral içeriklerine ve yapılarına göre sınıflandırılabilirler.

Magmatik kayaçlar oluşum derinlikleri bakımından üç sınıfa ayrılır;

- Derinlik kayaçları: Magmanın yerkabuğunun derinliklerinde soğuması ile oluşurlar.
- Damar kayaçları: Yeryüzüne yakın yerde magmanın soğuması ile oluşurlar.
- Yüzey kayaçları: Magmanın yeryüzüne çıkıp soğuması ile oluşurlar.

2.3.5 Kullanım şekillerine göre mermerlerin sınıflandırması

Kullanım şekillerine göre doğal taşlar parlatılarak ve parlatılmadan kullanılan doğal taşlar olarak iki sınıfta incelenirler.

2.3.5.1 Parlatılmadan kullanılan kayaçlar

Doğal taşların bazı türleri ocaktan çıkarıldıkları şekillerde işletme tesislerinde istenilen boyut ve ebatlara getirilerek pazara sunulurlar. Cilalama ve parlatma işlemine tabi tutulmayan bu doğal taşlara granit, andezit vb. gibi doğal taşlar örnek verilebilir.

2.3.5.2 Parlatılarak kullanılan kayaçlar

Doğal taşların bazı türleri ocaktan çıkarıldıktan sonra, ebatlama ve boyutlandırılma işlemlerinin ardından cilalama, parlatma gibi işlemlere tabi tutulurlar. Bu taşlara mermerler, travertenler vb. gibi doğal taşlar örnek verilebilir.

2.3.6 Ticari pazara ve renge göre sınıflandırma

Mermerlerin üretildiği yıla göre talep ve arzı bağlı olarak istenilen özellikleri değişmektedir. Genellikle masif, gözeneksiz, beyaz mermerler arz-talepte ön sırada yer alırken, günümüzde değişik renkleri olan doğal taş ve mermer türleri de talep görmeye başlamıştır. Örneğin; Elazığ Vişne gibi.

Mermerler genellikle çıkarıldıkları bölgeye göre isimlendirilirler. Örneğin; Afyon mermeri, Burdur beji gibi (Karahana, 2018).

2.4 Mermer Kullanım Alanları

Mermerler sertlik, porozite, su emme, renk, parlaklık vb. özelliklerine göre farklı yerlerde kullanılırlar. İç ve dış mekânlarda döşeme ve kaplama malzemesi olarak kullanılan mermer

yüzeyleri honlama, cilalama, eskitme, kumlama, doldurma vb. özellikleri işlemler sonrası kullanılacağı alana göre şekillendirilir.

Mermerler eski dönemlerden beri dayanıklılığı ve işlemeciliği yönünden birçok alanda kullanılmıştır. Günümüzde de hala kullanılmaya devam etmektedir. İnşaat sektörü, heykeltıraşçılık, süs eşyası yapımı, dekorasyon, binaların iç dış kaplamaları, mezarlar, mutfak, banyo vs. her alanda yer bulmaktadır (Erkek ve Özdemir, 2011).

2.5 Mermer İşleme Yöntemleri

Mermer işletmeleri genellikle açık işletme madenciliği ile üretim yapmaktadırlar. Mermeri diğer madencilik unsurlarından ayıran parametre ise büyük bloklar halinde çıkarılması gerekliliğidir. Mermer üretim yöntemleri;

Diskli kesiciler yönteminde; blok kesme bir ray üzerinde hareket eden makine üzerinde kesici disk yardımıyla yapılmaktadır. Fakat bu yöntemde yeteri büyüklükte bloklar elde edilemediği için tercih edilmemektedir.

Helezon telle kesme yönteminde ise yüksek yatırım maliyeti gerektiğinden planlama ve üretimin karmaşıklığı nedeniyle günümüzde uygulanmamaktadır.

Delme çatlatma yönteminde ise yan yüzeydeki kayacın kırılma dayanıklılığına göre derin delikler açılarak çiviler yerleştirilerek sıkılama yapılmakta daha sonra bu çivilere darbe uygulanarak yan kayaçtan blok kütlelerinin ayrılması sağlanmaktadır (Karaca, 2001).

Elmas tel ile kesme günümüzde en çok kullanılan mermer işletme yöntemidir. Üç delik açılmasıyla deliklerden elmas boncuklu çelik telin geçirilmesi ve gerdirilmesiyle ana kayaçtan kesilerek yapılan üretim yöntemidir.

Kollu kesicilerle kesme yöntemi ise zincirli ya da kayışlı kollu kesici makinalar kullanılmakta olup ağaç kesme makinalarının kayaç kesimi için tasarlanmış bir versiyonudur. İlk yatırım maliyeti oldukça yüksek bir yöntemdir (Eleren ve Ersoy, 2007).

Karma üretim yönteminde ise çalışılan ocağın işletme özelliklerine, çalışacak işçinin tecrübesine ve işletmenin ekonomik verimliliğine göre birden fazla üretim yöntemi kullanılabilir.

2.6 Mermer Atıkları

Mermer ve doğal taşların, ocaklardan çıkarma ve tesislerde işlenmeleri sırasında hatırı sayılır oranlarda atık oluşmaktadır. Aynı zamanda, doğal oluşumundan ve yer aldığı ana kayanında yapısına bağlı olarak da atıklar oluşabilmektedir. Oluşan mermer atıkları bilinçsiz bir şekilde doğaya bırakıldıklarında birçok çevre sorununu beraberinde getirebilmektedir (Filiz ve diğ., 2010).

2.6.1 Ocaklarda oluşan mermer atıkları

Blok mermer ve plakaların üretim aşamalarında ocaktan çıkarılan mermerin kesimi esnasında oluşan büyük boyutlu atıklara moloz adı verilmektedir. Ardından sayalama işlemine tabi tutulan mermer bloklarından iri parçalar halinde kapak taşları, yassı küçük boyutlarda paledyan ve toz atıklar meydana gelmektedir (Şimşek, 2019).

2.6.2 Fabrikalarda oluşan mermer atıkları

Mermer blokları fabrikalarda plaka, levha, fayans vb. nihai ürün haline dönüştürülürken değişik boyutlarda mermer atığı meydana gelmektedir. Bu atıklar ocaklarda meydana gelen atıklara nazaran daha ince boyutlu olmaktadır. Mermerin parlatılması, işlemleri sırasında da toz atık oluşumu görülmektedir (Şimşek, 2019).

2.7 Mermer Atıklarının Doğal Çevreye Etkisi

Günümüzde gelişen sanayileşme ile birlikte oluşan en büyük sorunların başında atıkların depolanması veya bu atıkların kullanılması gelmektedir. Özellikle mermer üretimi ve işlenmesi sırasında %70 oranında (%40 mermer çamuru, %30 parça atığı) atık oluşumu gerçekleşmektedir. Bu durum çevreye oldukça fazla zarar veren bir sorun olmaktadır. Ayrıca bu oluşum ekonomiye ciddi kayıplar yaşatmaktadır (Alyamaç ve İnce, 2008).

Mermer atıklarının çevreye olan olumsuzlukları şu şekilde sıralanabilir;

- Toprağın su emme oranını önemli ölçülerde azalttığı için verime ve bitki örtüsüne ciddi ölçülerde zarar vermektedir.
- Uçuşan mermer tozları hava kirliliğine ve insan sağlığına büyük oranda zarar vermektedir.
- Mermer atıklarından oluşan çamur, su kaynaklarına önemli ölçüde zarar vermektedir.
- Gelişi güzel atılan atıklar görsel kirliliğe yol açarak o bölgede turizmi olumsuz etkilemektedir (Bilgin, 2010).

2.8 Yapay Mermer

Yapay mermer; mermer tozu ve polyester reçinelerin homojen şekilde karıştırılması, kalıplanması ile oluşturulan, mekanik dayanımı fazla olan bir yapı malzemesidir. Çeşitli kimyasal etkilere karşı dayanıklıdır. (Yüçetürk, 2010).

Yapılan suni mermerlerin yüzeyleri pürüzsüz ve geçirimsiz olduğundan mikro organizmalar yaşamaya elverişli ortam bulamadığından sağlıklı ve temizdir. Yüksek sıcaklık aralığında (-35°C- +330°C) kullanılabilir (Yüçetürk, 2010).

2.8.1 Yapay mermerlerin kullanım alanları

Yapay mermerler renk, çeşit, kalıp ve farklı boyutlarda üretilebilmeleri nedeniyle günümüzde kullanımı oldukça artmakta olan malzemelerdir. Yapay mermerler doğal taşlarla kıyaslandığında kimyasallara karşı daha dirençli ve daha dayanıklıdır.

Mutfak tezgâhları, iç ve dış döşemeler, duvar süslemeleri ve daha birçok alanda yapay mermer kullanımı artmıştır.

2.8.2 Yapay mermer ile doğal mermer arasındaki farklar

- Mermer doğada bulunduğu rengi ile işlenirken, yapay mermer arz ve talebe göre her renkte üretilebilir.
- Mermer, kullanımına göre birçok parçalar halinde montaj edilirken, yapay mermer kalıptan çıkarılarak tek parça montaj edilir.
- Mermer üretimi süresi uzun iken, yapay mermer üretimi daha kısa sürelidir.
- Mermer üretimi iklim şartlarına göre duraksama gösterirken, yapay mermer işletmesi sürekli ve istenilen zamanda yapılmaktadır.
- Mermer doğadan çıkarıldığı haliyle işlem görmeden, yapay mermer ise mermer tozu ve kimyasallar vasıtası ile üretilir.
- Mermer doğadan çıkarıldıklarında kesme, ebatlama vb işlemlere tabi tutulurken birçok mermer atığı ortaya çıkarır, yapay mermerde atık oluşumu yoktur.
- Mermer blokları büyük ve ağırken, yapay mermer daha hafiftir.
- Mermerler kırılğan bir yapıda olurken, yapay mermerler elastik bir yapıdadır (Yüçetürk, 2010).

2.8.3 Yapay mermerin fiziksel özellikleri

Yapay mermerlerin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi laboratuvar ortamında deneyler yapılarak ortaya konulmaktadır. Yapay mermerlerin özellikleri belirli bir standardı olmadığından doğal taş standartları baz alınarak belirlenmektedir. Yapay mermerlerin doğal mermerlerle kıyaslanıp fiziksel özellikleri, mekanik özellikleri ve kimyasallara karşı dayanımına bakılıp kullanım alanları belirlenir.

2.8.3.1 Özgül ağırlık

Özgül ağırlık, bir maddenin birim hacim ağırlığının +4 °C deki suyun birim hacim ağırlığına oranıdır. Birimi yoktur (www.wikipedia.org)

2.8.3.2 Ağırlıkça ve hacimce su emme

Kayacın su emme oranı içindeki boşluk, çatlak ve gözeneklere göre değişmekte olup bu özellikler ne kadar fazla olursa kayacın dayanımının azalmasına neden olur. Su emme malzemenin ağırlıkça ve hacimce emmiş olduğu suyun yüzde cinsinden ifadesi olarak tanımlanmaktadır.

2.8.3.3 Porozite

Gözeneklilik olarak da adlandırılan porozite, kayaç içeresindeki boşluk hacminin kayacın tüm hacmine oranıdır. Birimi %'dir (www.wikipedia.org). Yapay mermerin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin yüksek olması için porozite oranının çok düşük seviyede olması gerekmektedir.

2.8.3.4 Birim hacim ağırlığı

Kayacın birim hacminin toplam ağırlığı olarak tanımlanır. Yapay mermerin mekanik, kimyasal ve fiziksel özelliklerini etkilemektedir. Bu nedenle kayacın gözenekliliğinin ve su emme özelliğinin düşük olmaları istenmektedir (Özdemir, 2014).

2.8.4 Yapay mermerin mekanik özellikleri

2.8.4.1 Schmidt çekici sertliği

Schmidt çekici 1960'lı yıllardan beri sertlik tayininde kullanılan bir alettir. Elde edilen sertlik değeri, tek eksenli basma dayanımı değerinin dolaylı olarak belirlenmesinde kullanılır. Sertliği belirlenecek olan kayaç, beton numunelerinin ölçüm yapılacak yüzeyinin pürüzsüz olmasına dikkat edilir (Ulusay ve diğ, 2001).

2.8.4.2 Tek eksenli basınç dayanımı

Kayaçların mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan en yaygın yöntem olan tek eksenli basınç dayanımı; belirli boyuttaki kayacın, belirli doğrultuda yüklenen kuvvete karşı gösterdiği dirençtir. Tek eksenli basınç dayanımı, Uluslararası Kaya Mekaniği Birliği (ISRM) ve Amerikan Test ve Malzeme Derneği (ASTM) tarafından önerilen yöntemlere göre belirlenebilmektedir. Kayaç içindeki süreksizliklerin durumu, kayacın su emme, porozitesi tek eksenli basınç dayanımını etkilemektedir.

2.8.4.3 Ultrasonik dalga hızı

Ultrasonik dalga yayılımı üç farklı dalga boyuna sahip olmakla beraber en çok kullanılan dalga boyları ise P- dalgası ve S- dalgasıdır. Kaya kütlelerinin boyutu, şekli, yoğunluğu, porozitesi, su emme derecesi, çatlaklar, dalgaların kayaç içinde iletim hızını etkilemektedir. Ultrasonik dalga hızı tayini yöntemi madencilik, petrol, doğalgaz çalışmalarında sıklıkla tercih edilen bir yöntemdir (Karakul ve Ulusay, 2012).

2.8.5 Mermer ve granit atıklarının kimyasal- mineralojik özellikleri

2.8.5.1 X- ışını kırınım yöntemi (XRD)

X-ışını kırınım yöntemi kullanılan malzemenin kristalografik özelliklerinin ve içerdiği minerallerin belirlenmesinde kullanılan bir analiz yöntemidir. X-ışını gama ışınlarından düşük, ultraviyole ışıdan kuvvetlidir. X-ışını kırınım yöntemi, numuneye zarar görmeden numuneye X ışını gönderip malzemenin kristal yapısına göre kırınım ve dağılım verilerinin elde edilmesini sağlar (Öz ve Özer, 2019).

2.8.5.2 X-ışınları Floresans Spektrometresi (XRF)

XRF analiz yöntemi, ikincil X-ışınlarının cihazdaki özel bir ışıdan kırılıma uğraması sonucu dalga boyunun ve şiddetinin ölçülmesiyle niteleyici ve niceleyici analizin yapılmasına dayanan yöntemdir.

Bu yöntem değerli taş, gıda, kimya, metalurji, jeoloji gibi daha birçok alanda kullanılmaktadır (Öz ve Özer, 2019).

2.8.5.3 Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

SEM 1937 yılında Manfred ve Ardenne tarafından bulunmuştur. SEM, bir numunenin yüzeyinin elektron demeti ile taranıp görüntü elde edilmesini sağlayan ve numunenin topografisi, kompozisyonu hakkında bilgi veren analiz yöntemidir. Yüksek ve düşük vakum,

ıslak koşullar, yüksek ve düşük sıcaklıklarda numuneler SEM de incelenebilirler. (Alkan, 2015).

2.9 Yapay Mermer Üretimi

Yapay mermer üretiminde birbirinden farklı hammaddeler kullanılmaktadır. Kullanılacak hammaddeler malzemenin istenilen boyut aralığına gelmesi için kırma ve öğütme işlemlerine sonrasında da eleme işlemine tabii tutulurlar. Toz atıklar belirlenen ölçüler doğrultusundan polyester reçine ile mikser yardımıyla karıştırılırlar. Karışıma sertleştirici eklenerek bir süre daha karışması sağlanır. Oluşturulan karışım kalıplara aktarılarak titreşim sehpasında titreştirilerek bünyesindeki hava boşluklarının dışarıya çıkması ve malzemenin daha kompakt bir yapı kazanması sağlanmış olur. Oda sıcaklığında bu numuneler kurutma işlemine tabii tutulurlar daha sonra kalıplardan çıkarılarak kullanıma hazır hale gelirler. Bağlayıcı madde ve polyesterin içeriği (Barani ve Esmaili, 2016), kürlenme yöntemi ve süresi yapay mermerlerin özelliğini belirleyen en önemli parametrelerdir (Feng ve diğ., 2016).

2.10 Kompozit Malzeme

Kompozit malzeme, birden farklı hammaddenin karıştırılıp tek malzeme elde edilmesi ve oluşan bu malzemenin birbiri içinde çözünmeden inert davranış gösterip farklı özelliklere sahip olmasıyla oluşan malzemelere denilmektedir (gay, 2009). Kompozit malzemelerin en önemli özelliklerinden biri malzemenin mikroskobik olarak incelendiğinde homojen, makroskobik olarak incelendiğinde heterojen özellik göstermesidir (Kaya, 2016).

Kompozit malzemeler;

- Matris (sürekli faz),
- Takviye edici malzeme,
- Katı malzemelerden oluşurlar.

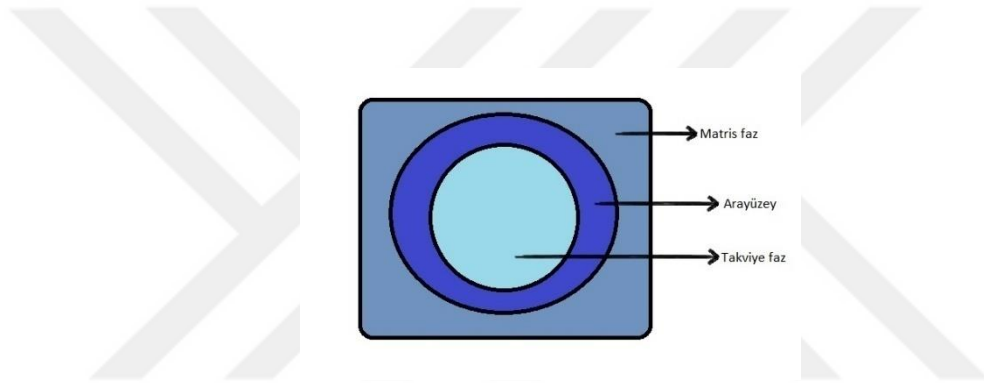
Kompozit malzemeler genellikle içerisinde bulunan matris ve takviye malzemesine göre yapılmaktadır.

Matris malzeme cinsi göz önünde bulundurulduğunda kompozit malzemeler üretim ve kullanım amacına göre 3 sınıfta incelenmektedirler. Bunlar seramik, metal ve polimer malzemelerdir. Polimer matrisli kompozitler ise, termoset (vinil, poliester, epoksi,

fenolikreçineler) ve termoplastik (poliamid, polipropilen) matrisli kompozitler olmak üzere ikiye ayrılır.

Takviye malzemesine göre kompozit malzemeler, üretim ve kullanım amacına göre 4 sınıfta incelenmektedirler. Bunlar Elyaf takviyeli, parçaçık takviyeli, karma ve tabakalı kompozit malzemelerdir.

Kompozit matris malzemesinin üç temel görevi bulunmaktadır. Şekil 2.2’de görüldüğü üzere bunlardan ilki takviye maddesini bir arada tutmak, ikincisi uygulanan kuvveti ara yüzey yoluyla takviye edici faza gönderip dağıtmak, üçüncüsü ise takviye edici malzemenin dış etkenlere karşı korunmasını sağlayıp kompozitin şeklinin belirlenmesine yardımcı olmaktadır (Kaya, 2016).



Şekil 2. 2: Kompozit malzemenin gösterdiği özellik şekli

2.10.1 Kompozit malzeme avantaj ve dezavantajları

Avantajlar;

- Hafiftir,
- Çevresel koşullara dayanıklıdırlar,
- Yüksek derece sıcaklıkta çalışma özelliğine sahiptirler,
- İşlenebilirliği ve kaplanabilirlikleri oldukça kolaydır,
- Dayanıklılığı yüksektir.
- Saydam ve yanmaz madde özelliği gösterirler
- Fiyatları düşüktür

Dezavantajları;

- Kompozit malzemede tanecikler arasında ki hava boşlukları malzemenin ömrünü olumsuz etkiler.
- Hammaddeleri pahalıdır,
- Isı kaybı yaşandıktan veya katılaşmadan sonra hacimsel küçülmeye uğrarlar.
- Malzemenin kalitesini üretim aşamalarındaki şartlar ve hammaddelerin özellikleri belirler (Evren, 2018).

2.11 Kompozit Malzeme Üretiminde Kullanılan Reçineler

Mermer toz atıkları ile kompozit malzeme üretiminde termoset polimer matris grubundan epoksi ve doymamış polyester reçine, vinil esterler kullanılmaktadırlar. Sıvı halde bulunan termosetler lif takviyeli kompozit malzeme yapımında en çok kullanılan polyester grubudur.



Şekil 2. 3: Kompozit malzeme üretim aşamaları (Gay ve diğ., 2003)

2.11.1 Polyester reçine

Endüstriyel ve ticari alanda kullanımının yanı sıra mühendislik uygulamalarında da kullanılan polyester reçineler termoset kompozit malzeme grubunda yer almaktadır. Polyester reçineler takviyeli ve takviyesiz olarak iki grupta incelenmektedirler.

Takviyeli polyester reçinelere korozyona dayanıklı tank ve borular, banyo gereçleri ve yapı panelleri örnek verilebilir. Takviyesiz polyester reçinelere örnek olarak ise bowling topları ve kaplamalar verilebilir. Polyesterler maliyetinin düşük olması ve kolay kürlenebilme

özellikleri nedeniyle günlük yaşantımızda hemen her yerde karşımıza çıkmaktadır (Gümülcine, 2014).

Polyester reçinelerin en çok tercih edilen türü doymamış polyester reçinelerdir. Bu polyester reçineler film, jel ve sıvı halde bulunurlar. Hava şartlarına uygun ve sentetik özelliklere sahiptirler.

Polyester reçineler oda sıcaklığında 149-163°C'ye kadar kürlenebilmelerinin yanı sıra organik peroksit takviyesiyle 82°C ve üzerinde kürlenme işlemi yapılabilmektedir. Daha düşük sıcaklıklarda ise katalizör ve başlatıcı gerektirmektedir. Oda sıcaklığında kürlenme sağlanabilmesi için en çok kullanılan %90 organik peroksitlerden MEKP (metil etil keton peroksit) dir (Gümülcine, 2014).

Polyester reçinelerin çeşitleri;

1. Ortoftalik polyester
2. İzofthalik polyester
3. Tereftalik polyester

2.11.2 Epoksi reçine

Epoksiler yüksek mukavemet, düşük büzülme, çeşitli yüzeylere etkili yapışma, kimyasallara karşı direnç olmak üzere daha birçok olumlu özelliğe sahiptir ayrıca kimyasal kullanmadan çok kolay kürlenebilmeleri en avantajlı özellikleridir. Bu nedenle günlük hayatımızda geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Epoksi reçineler depreme dayanıklı bina yapımında kullanılmasının yanı sıra uçak kanat ve gövdesinde kullanılan en önemli malzemelerdendir.

2.11.3 Polyester ve epoksi reçine arasındaki farklar

- Epoksi reçinenin maliyeti polyester reçineye oranla daha yüksektir.
- Epoksi reçinede yüzeye yapışma ve ıslatma oranı oldukça yüksek olmasının yanı sıra polyester reçinede yapışma özelliği bulunmamaktadır.
- Epoksi reçinenin polyester reçineye göre yüksek sıcaklık mukavemeti yüksektir.
- Epoksi reçine polyester reçineye göre daha az zehirlidir.
- Epoksinin polyester reçineye göre kimyasallara karşı direnci daha yüksektir.

2.12 Litaratür Özetleri

Yüçetürk (2010), yaptığı çalışmada kalsit ve kuvars minerallerinin kullanımı ile yapay mermer üretimi yaparak, kullanılan minerale göre yapı malzemesinin hem fiziki hem de mekanik dayanıklılığının nasıl değiştiği ele almıştır. Ayrıca taş ve mermer ocaklarının doğal çevreye etkileri ve buradan çıkan mermer atıklarının yapay mermer üretiminde ki öneminden bahsetmiştir.

Kaya ve diğ. (2009), yapmış oldukları çalışmada ham madde minareli olarak barit ve selestit kullanarak comba ve combasr adı altında üretilen yapı malzemelerinin radyoaktif ışınmaları ve radyasyon geçirimsizlikleri belirlemeye çalışmışlardır. Bu çalışmalar ışığında kurşun levha gibi toksik zehirleyici yerine zehirli olmayan doğal kompozit yapı malzemelerinin radyasyon ışınlarına karşı kalkan olabileceği sonucuna varmışlardır.

Erfan (2021), Mısır El-Minia'da yaptığı çalışmada, mermer ocaklarından çıkan yüklü miktardaki atığın geri dönüşümünü hedeflemiştir. Üç farklı tane boyutuna indirgenen kalsit numunelerini orta viskoziteli epoksi reçine ve metil etil keton peroksit (MEKP) kullanılarak basınç dayanımı yüksek, yapay mermer elde etmiştir.

Gökçer (2013), yapmış olduğu çalışmada atık mermer tozu ve cam lif katkılı harç numunelerinin yüksek sıcaklık altındaki davranışlarını incelemiştir. Elazığ Palu bölgesinde yıkanmış 4mm'lik dere agregası ve çimento olarak CEM 1 tipi 42,5 N portland çimentosu kullanmıştır. Beton numune lif katkısı olarak, kırılmış 6 mm'lik cam lif kullanmıştır. Elazığ Vişne ve Hazar Bej mermer atık tozu kullanıp cam lif ve mermer tozunun porozite, kapilarite, eğilme dayanımı, çekme dayanımına etkilerini incelemiştir. Ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımında azalma gözlemlenmiş olup yüksek sıcaklığa maruz kalan harç numunelerinde daha az dayanım kaybı meydana geldiğini gözlemlenmiştir.

Gülan ve diğ. (2016), yaptıkları çalışmada atık mermer tozu ve cam lif katkılı betonun mekanik ve fiziksel özelliklerinin karbonatlaşma üzerinde etkisini incelemişlerdir. Elazığ Palu bölgesinde yıkanmış 8 mm'lik dere agregası ve çimento olarak Cem 1 42,5 N portland çimentosu ve beton numune lif katkısı olarak, 12 mm'lik cam lif kullanmışlardır. Karbonatlaşma deneyinde gaz sızdırmaz tankın içindeki nem miktarı %60±50 seviyesinde tutabilmek amacıyla sodyum dikromat tuzu eklemişlerdir. Yaptıkları deneyler sonucunda ise karbonatlaşma süresi arttıkça beton numunelerinin porozite ve kapilarite değerlerinde azalma, ultrases geçiş hızında artma, basınç dayanımı ve çekme dayanımında azalma olduğunu gözlemlenmişlerdir.

Özata (2009), yaptığı çalışmada bağlayıcı olarak polietilentreftalat (PET) atıklarını ve dolgu malzemesi olarak mermer tozları kullanarak inşaat malzemesi ve yapı malzemesi elde edilmesini amaçlamıştır. Polietilentreftalat şişe atıklarına ısı işlem uygulayarak oligomere çevirmiş adipik asit ve maleik anhidrit ilave edilerek doymamış polyestere dönüştürmüştür. Farklı oranlarda karışımlar yapıp numuneler elde edilip polyester ilavesinin dayanım değerleri üzerindeki etkilerini incelemiş ve sonuç olarak alınan polyester reçine ile hazırlanan kompozitlerin basma mukavemet değerlerinin, polietilentreftalat atıkları kullanılarak hazırlanan kompozitlerin mukavemet değerlerinden daha yüksek olduğunu gözlemlemiştir.

Çelik ve Emrulloğlu, (1999), yaptıkları çalışmada bağlayıcı olarak Neoxil CE 92 N8 kullanarak mermer atıklarından elde edilen blokların fiziksel-mekanik özelliklerini incelenmiş ve doğal mermerlere yakın değerler elde etmişlerdir. Üretilen suni mermerlerde polyester oranı arttıkça basınç mukavemetlerinde artış görülmüş olup %18 polyester oranında 877 kg/cm² basınç mukavemeti elde etmişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda ise normal atmosfer şartlarına dayanıklı bloklar elde etmiş olup inşaat ve dış mekânlarda kullanılabileceği sonucuna varmışlardır.

Evren (2018), yaptığı çalışmada Muğla çevresindeki mermer atıklarının değerlendirilmesi ve çevre kirliliğinin önüne geçmeyi amaçlamıştır. XRD analiz sonuçlarından mermer numunesinin orta taneli ve %100 karbonat grubu minerallerden meydana geldiği belirlenmiştir. Epoksi reçine ile mermer tozundan elde edilen kompozite uyumlaştırıcı olarak (PMDI) eklenerek daha homojen karışım elde etmiştir. Uyumlaştırıcı katkısı kompozitin mekanik mukavemetini arttırmıştır. Aynı zamanda kompozit içerisinde boşlukların azalması ve mermer tozu ile epoksi reçinenin daha iyi yapışmasını sağlamıştır. Mekanik dayanımları değerlendirdiğinde epoksi reçine ve mermer tozundan üretilen kompozitten jel lif katkısının, cam elyaf ile üretilen kompozitlere göre daha esnek davranış gösterdiği belirlenmiştir. Üretilen bu kompozit numunelerin inşaat ve yapı malzemesi olarak kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Yılmaz (2020), yaptığı çalışmada mermer atıklarının ekonomik analizini yaparak atık malzemelerin ve doğal malzemenin birim maliyetlerini belirlemiştir. Mermer atıkları fabrika sahasından uzaklaştırılıp bertaraf edilmesi istendiğinden belli bir maliyet oluşturmamıştır. Mermer atıkları karayolu inşaatında kullanılmakta olup agreagalara kıyasla belirli taşıma mesafelerinde ekonomik bir ürün olarak nitelendirilmektedir. Ayrıca atıkların fabrika

sahalarında azaltılması, tarım alanlarından uzaklaştırılması ve çevresel duyarlılık yönleriyle de iyi bir alternatif oluşturacağını düşünülmektedir.

Tok (2018), yaptığı çalışmada mermer tozu, perlit ve pomza taşını farklı oranlarda polyesterler ile birlikte kullanarak kompozit malzeme üretip, jeomekanik özelliklerini incelemiştir. Kalıpların sıkıştırılmasında tokmak kullanılmıştır. Bu yöntemin faydalı presleme sağlayamadığını, üretilen kompozit malzemeler arasında boşluk oluşmasına neden olduğu gözlemlenmiştir.

Yeşilkaya ve diğ (2010), yaptıkları çalışmada mermer kesme ve işleme tesislerinde oluşan traverten atığının yanında volkanik tüfü değişik oranlarda beyaz çimento ile karıştırarak traverten atığının suni mermer üretiminde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Sonuç olarak beyaz çimento içerisine homojen şekilde belli oranlarda karıştırılan volkanik tuf miktarındaki artışla birlikte basınç mukavemetinin azaldığını ve beyaz çimento içerisine homojen şekilde belli oranlarda karıştırılan traverten toz miktarındaki artışla birlikte basınç mukavemetinin arttığını gözlemlenmişlerdir.

Yılmaz (2016), çalışmasında çeşitli oranlarda kuvarsit, çimento, kireç, alçıtaşı, cam fiber, alüminyum ve su kullanılarak inorganik esaslı kompozit ısı yalıtım malzemeleri üretmiştir. Üretilen yalıtım plakaları üzerinde yoğunluk ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Eklenen katkı malzemesi ile standart ürüne göre basınç dayanımında %12,9 a varan artış tespit edilmiştir.

Barbuta ve Harjda (2008), yaptıkları çalışmada polyester reçine kullanarak agregalı polimer kompozit malzeme üretimi yaparak mekanik özelliklerini incelemiş, dolgu maddesi olarak uçucu kül, selüloz elyaflar kullanmışlardır. Basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve liflerin polimer beton mukavemetine etkisini incelemişlerdir. Sonuç olarak ise uçucu kül ve selüloz oranı arttıkça dayanım özelliğinin arttığını gözlemlenmişlerdir.

Öztekin (2007), yaptığı çalışmada mermer atıklarıyla birlikte epoksi ve polyester kullanılarak üretilen kompozit özelliklerini incelemiştir. Dış cephe kaplamalarında kullanılan mermer ve diğer doğal taşların maruz kaldıkları atmosferik etkilere karşı malzeme tepkilerini incelemiştir. Üretilen malzeme sonuçları kıyaslandığında yapılarda dış cephe malzemesi olarak kullanılabilir malzeme olduğu sonucuna varılmıştır.

Abdelwahab (2021), yapmış olduğu çalışmada El-minia kentinde üretilen mermer atıklarını kullanarak suni mermer üretilmesini ve çevre kirliliğinin en az seviyeye indirilmesini amaçlamıştır. Yapılan çalışma sonucunda suni mermerler üzerinde mekanik ve fiziksel

testler yapmıştır. Test sonuçlarının standart değerleri karşıladığını gözlemlenmiştir. Üretilen numunelerin inşaat ve yapı malzemesi olarak kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır.

Ngayakamo ve diğ. (2020), çalışmalarında granit atığı, yumurta kabuğu tozu ile elde edilen suni mermer plakalarının fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemiştir. 900-1000-1100 C°'lik üç farklı sıcaklıkta farklı kil, granit tozu, yumurta kabuğu ile dört farklı numune elde etmişlerdir. Sonuç olarak granit atığı ve yumurta kabuğu tozunun yapı malzemesi olarak kullanılabilmesi sonucuna varmışlardır.

Samad ve Rshid (2020), yaptıkları çalışmada dolomit ve granit atığı kullanımının suni mermer yapımında fiziksel ve mekanik özellikler üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışmada granit atığını ağırlıkça %10, dolomiti ağırlıkça %40 kullanmışlardır. Deneyler sonucunda su emme, eğilme mukavemeti, özelliklerine bakıp granit ve dolomit atığının suni mermer üretiminde dolgu malzemesi olarak kullanım potansiyelinin yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Khristova ve Aniskevich. (1994), yapmış oldukları çalışmada epoksi reçine ve mermer tozlarından oluşan kompozit malzemenin deformasyon özellikleri üzerine bir araştırma yapmışlardır. Epoksi reçine ile mermer tozlarının etkileşim yerlerinde malzemenin deformasyona uğradığını tespit etmişlerdir.

Bilgin (2010), yaptığı çalışmada atık mermer tozlarının yanında bağlayıcı olarak reçine kullanarak karo ve tuğla üretmiştir. Yaptığı deneyler sonucunda ürünlerin düşük porozite, iyi dayanım değerleri, düşük ısı iletkenliklerine sahip oldukları belirlenmiştir. Mermer tozu atıklarının %50 oranından fazla eklendiğinde özelliklerin olumsuz etkilendiğini yoğunlukta düşme, porozitede artış olduğunu gözlemlemiş ve mukavemetin negatif yönde etkilendiğini belirlemiştir.

Barani (2016), çalışmasında granit ve mermer fabrikalarından elde edilen atıkları kullanarak vakum ve titreşimli sıkıştırma ile yapay taş üretmeyi amaçlamıştır. Yaptığı deneyler sonunda yapay taş içeriğinin artmasıyla su emme ve yoğunluğun arttığını, eğilme, basınç ve çekme dayanımının azaldığını görmüştür. Doğal taşlara kıyasla daha iyi yoğunluk, su emme, eğilme, basınç ve çekme dayanımlarına sahip olduğu sonucuna varmakla beraber üretilen yapay taşların duvarlarda ve kaldırım kaplamacılığında kullanılabilmesini belirtmiştir.

Eren ve diğ. (2018), yaptıkları çalışmada farklı oranlarda başlatıcı kullanarak kompozit malzeme üretiminde kullanılan polyesterin fiziksel, kimyasal, termal ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Çalışmada sonuç olarak başlatıcı oranının mekanik özellikleri

etkilediği sonucuna varmışlardır. Başlatıcı ve mekanik özellikler arasındaki bağlantı incelendiğinde izoftalik reçineden oluşan kompozit malzemelerin mekanik dayanımlarının, ortoftalik reçineden oluşan kompozit malzemelere oranla daha yüksek olduğu sonucuna varmışlardır. Bu sonuçlar doğrultusunda kompozit malzeme üretiminde ortoftalik reçine kullanılmasının daha uygun olacağı sonucuna varılmıştır.

Çelikten ve Canbaz, (2020), yaptıkları çalışmada polyester reçine, agrega, hızlandırıcı ve sertleştirici kullanarak 4x4x16 cm ebatlarında prizmatik betonlar üreterek malzemenin mekanik özelliklerini belirlemişlerdir. Polimer betonda bağlayıcı oranının artmasıyla birim ağırlık, su emme, aşınma direnci azalırken eğilme ve basınç dayanımında artmalar gözlemlenmişlerdir.

Polat ve Oltulu (2021), çalışmasında hematit mineralini ve dolgu tipi polyester reçine kullanarak kompozit malzeme üretmeyi amaçlamışlardır. Polimer matrise ağırlıkça farklı oranlarda %0-10-20-30-40 hematit minerali ekleyerek polimer kompozit malzeme hazırlamışlardır. Oda koşullarında kür edilen numuneler üzerinde birim hacim ağırlık, ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı ve eğilme dayanımı deneyleri yapmışlardır. Elde ettiği sonuçlara göre hematit oranının artmasıyla birim hacim ağırlık ve ultrases geçiş hızı değerlerinde artma gözlemlenmiştir. Basınç dayanımı değerlerinde ise %10 hematit oranında artma diğer ilave oranlarında azalma meydana geldiğini görmüşlerdir.

Suta ve diğ. (2019), yapmış oldukları çalışmada üç farklı boyutta kuvars kullanarak kompozit numuneler üretmişlerdir. Numuneleri titreşimli ve tek eksenli presleme kullanılarak iki farklı şekilde üretilen numunelerin daha iyi yoğunluk ve Vickers sertliği sunduğunu belirlemişlerdir.

Hamoush ve diğ. (2011), yapmış oldukları çalışmada iki katmandan oluşan yeni yapay taş üretimini hedeflemişlerdir. İlk yüz katmanının doğal görünüm için güçlü, dayanıklı, renkli ve pürüzsüz olması amaçlanırken arka katmanın iyi yalıtım, yüksek darbe direnci ve ısı iletkenliğine sahip olmasını amaçlamışlardır. Çalışmada agregalar; kum, kil, perlit, geri dönüştürülmüş kauçuk, polyester reçine ve %1 oranında MEKP kullanmışlardır. Yapılan numunelerde fiziksel ve mekanik özelliklerin araştırmasını yapmışlardır. Binaların ön cephelelerinde kullanılmasından enerji tasarrufu sağlanabileceği aynı zamanda arka katmanın ısı iletkenliğinin düşük olması nedeniyle ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılabilmesi sonucuna varmışlardır.

Silva ve diğ. (2018), yaptıkları çalışmada atık doğal taş ve epoksi reçine ile suni mermer üretimi gerçekleştirip mekanik ve fiziksel özelliklerini incelemişlerdir. Yapılan ürünlerde istenilen fiziksel ve mekanik özellik değerlerine ulaşmışlardır. Yapılan bu ürünün inşaat sektöründe kullanılabileceği sonucuna varmışlardır.

Dermantini ve diğ. (2018), yaptıkları çalışmada elmas kaplamalı katraklarla üretilen dolomitik mermer kütlelerinden çıkan ince toz atıkları ve epoksi reçine ile suni mermer üretmişlerdir. Üretilen bu suni mermerin teknik, ekonomik ve çevresel açıdan uygun bir alternatif olacağını belirtmişlerdir. Çalışmalarının bir diğer amacı ise vakum vibro sıkıştırma ile üretilen suni mermerin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek olmuştur. %85 atık toz %15 epoksi kullanarak suni mermeri elde edip yoğunluk, su emme, gözeneklilik, eğilme ve basınç dayanımı, taramalı elektron mikroskobu kullanılarak örneklerin özelliklerini belirlemişlerdir.

Aydın ve Egemen (2011), yapmış oldukları çalışmalarında mermerlerin kesimi esnasında açığa çıkan mermer tozu atıklarının çevre üzerindeki olumsuz etkisinin azaltılmasını amaçlamıştır. Çalışmalarında kullanılan malzemeler çimento, mermer tozu, uçucu kül ve kimyasal katkı malzemesidir. Elde edilen numuneler üzerinde mekanik ve kimyasal deneyler yaparak bu malzemelerin inşaat sektöründe kullanımını test etmiş ve olumlu sonuçlar almışlardır.

Çitoğlu ve Bayraktar (2018), çalışmalarında atık mermer tozunun tüm sektörlerde kullanım alanına sahip olduğunu, değerlendirildiği takdirde hem çevre kirliliğinin azalmasında rol oynayacağını hem de ekonomik açıdan fayda sağlayacağını söylemektedirler. Atık mermer tozlarının inşaat sektöründe yapı malzemesi olarak kullanılmasının beton üzerinde herhangi bir olumsuz etkisinin olmadığı gibi beton fiyatlarının düşmesi gibi olumlu bir sonucunun da olduğunu dile getirmişlerdir.

Li ve diğ. (2021), yaptıkları çalışmada yağ asidi metil ester polioksietileneteri katkı maddesi olarak kullanıp suni mermer üretmeyi amaçlamışlardır. Elde ettikleri numunelerin akışkanlık, reolojik özellikler, mekanik özelliklerini değerlendirmişlerdir.

Moon ve diğ. (2015), yaptıkları çalışmada geri dönüşümlü çapraz bağlayıcı kullanarak alternatif kompozit üretmeyi hedeflemişlerdir. Akrilik reçine ve alüminyumdan oluşan karışımla suni mermer üretmişler ve suni mermerin termal, mekanik, renk özelliklerini doğal mermerle karşılaştırmışlardır.

Hwang ve diğ. (2007), yapmış oldukları çalışmada geri dönüştürülmüş suni mermer atığını ince agrega olarak kullanılarak polimer modifiyeli numuneler hazırlamışlardır. Polimer olarak poliakrilik ester ve stiren-bütadien kauçuk kullanmışlar, yapılan karışım numunelerinin su emme, basınç ve eğilme mukavemetlerini incelemişlerdir.

Ribero ve diğ. (2017), yaptıkları çalışmada dolomitik mermer plakalarının üretimi sonrası oluşan atıkların geri kazanımının sağlanması için doymamış polyester reçine ve vakumlu vibro sıkıştırma kullanarak suni mermer numuneleri hazırlamışlardır. Hazırladıkları numunelerin mekanik ve fiziksel özelliklerini inceleyerek doğanın kirlenmesini en aza indirmek ve ekonomik açıdan katkı sağlamak için iyi bir alternatif kazanım olduğu sonucuna varmışlardır.

Hong ve diğ. (2021), yaptıkları çalışmada atık mermer tozu, metil metakrilat, alüminyum trihidroksit, süper kritik akışkanlaştırıcı kullanarak suni mermer üretip geri dönüşüm sağlamayı amaçlamışlar.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1 Malzeme

Yapay mermer üretiminde kullanılan hammaddeler; mermer ve granit atık tozu, polyester reçine, kobalt ve MEKP'tir. Yapay mermer üretilirken kullanılanlar madensel atıklar granit ve mermer atıklarıdır. Mermer atıkları Malatya-Akçadağ ilçesi Net -Mer San. Tic. Ltd. Şti. tarafından elmas testere ile kesilen mermer bloklarının toz atıklarından, granit atıkları ise Eskişehir-Sivrihisar ilçesi Granitaş Granit Sanayi ve Pazarlama A.Ş. tarafından elmas testere ile kesilen granitin kesiminde çıkan çamur atıklardan tedarik edilmiştir. Şekil 3.1.'de yapay mermer üretiminde kullanılan mermer ve granit atıklarının görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3. 1: Yapay mermer üretiminde kullanılan mermer-granit atıkları

3.1.1 Atık mermer malzeme

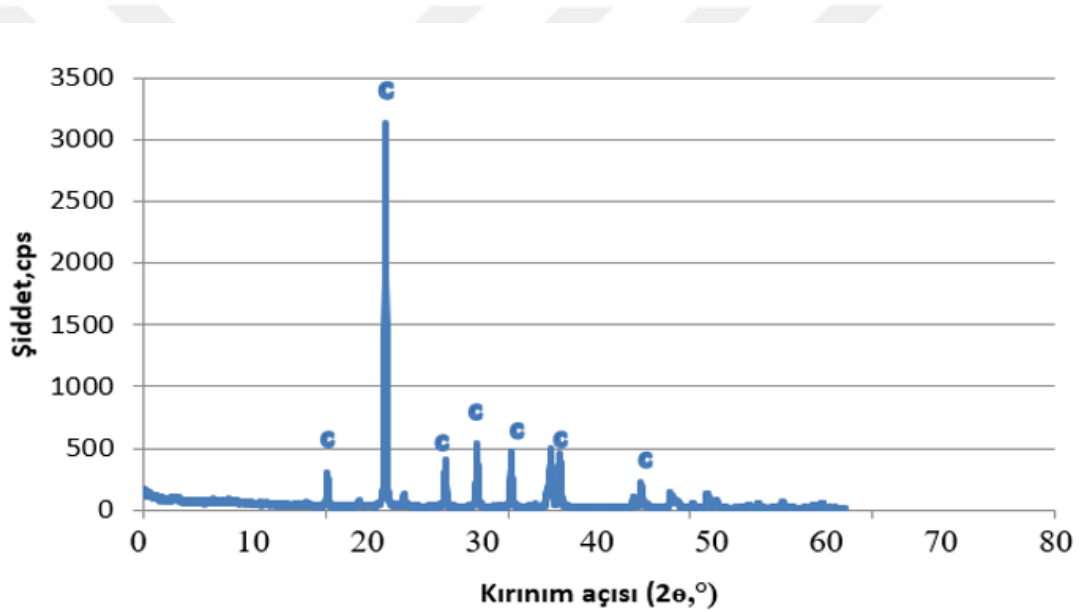
kesiMalatya-Akçadağ ilçesi Net-Mer San. Tic. Ltd. Şti. tarafından işletilen mermer ocağında elmas testere ile kesilen mermer bloklarının kesimi esnasında oluşan toz atıklar neminin giderilmesi için etüvde bekletildikten sonra oluşan topaklanmaların açılması için öğütme işlemine tabii tutulmuştur. Atık malzemenin özelliklerinin belirlenmesi için XRD ve XRF analizleri yaptırılmıştır. Toz numunelerden yaklaşık 10'ar gramlık numune alınarak İnönü Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuarında XRD analizi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Doğal Taş Analiz Laboratuarında XRF analizi yaptırılmıştır. Mermer atığının kimyasal bileşimi Çizelge 3.1 de verilmiştir.

Çizelge 3. 1: Yapay mermer üretiminde kullanılan mermer atığının kimyasal bileşimi.

Oksit	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	F	CaO	Na ₂ O	SO ₃	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	K. K
%	2,070	0,632	0,587	0,104	52,682	0,025	0,060	0,058	0,0504	43,145

Çizelge 3.1 incelendiğinde mermer atığının ana bileşeninin %52,68 oranı ile CaO olduğu görülmektedir.

Şekil 3.2 de kullanılan mermer atığın X-ışını kırınımı deseni (XRD) verilmiştir. Atık mermer tozunun bünyesinde kalsit mineralinin yer aldığı XRD analizi sonucunda görülmüştür.



Şekil 3. 2: Mermer atığına ait X-ışınları difraktogramı (C: Kalsit)

Çizelge 3.2’de mermer atığı tozunun özgül ağırlık değeri verilmiştir.

Çizelge 3. 2: Mermer atığı özgül ağırlık değeri

	Özgül ağırlık
Mermer atığı	2,59

3.1.2 Atık granit malzeme

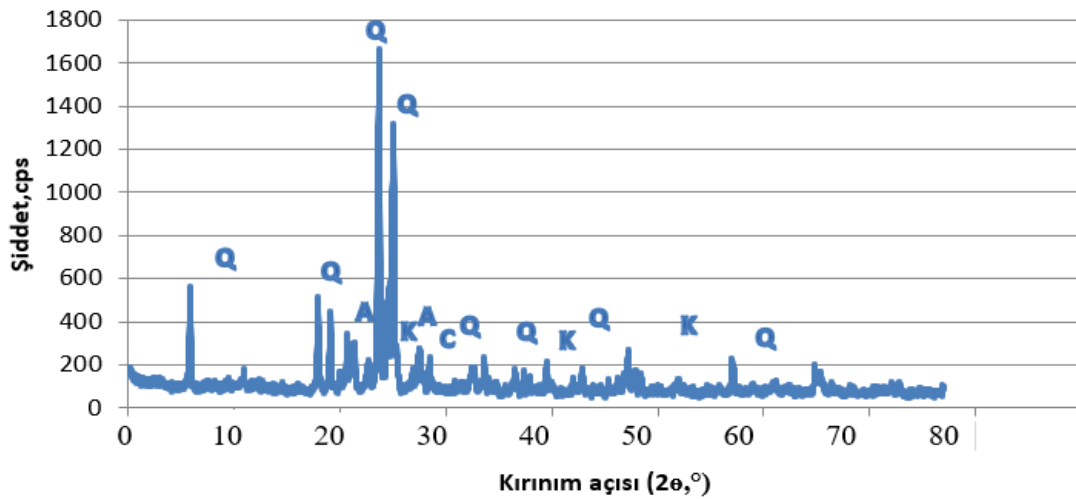
Bu çalışmada kullanılan granit atığı Eskişehir-Sivrihisar ilçesi Granitaş Granit Sanayi ve Pazarlama A.Ş. tarafından elmas testere ile kesilen granitin kesiminde çıkan çamurun keki şeklindeki atıklardan alınmıştır. Granit atığı kimyasal bileşimi Çizelge 3.3 de verilmiştir.

Çizelge 3. 3: Yapay mermer üretiminde kullanılan granit atığının kimyasal bileşimi.

Oksit	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	P ₂ O ₅	CaO	Na ₂ O	TiO ₂	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	K. K
%	64,687	15,327	1,029	0,142	4,807	5,609	0,304	3,343	2,955	1,21

Çizelge 3.3 incelendiğinde granit atığının ana bileşeninin %64,68 oranı ile SiO₂ olduğu görülmektedir.

Şekil 3.3 de kullanılan mermer atığın X-ışını kırınımı (XRD) sonucunu göstermektedir.



Şekil 3. 3: Granit atığına ait X-ışınları difraktogramı (Q: kuvars, A:anortit, K: kıyanit, C: kalsiyum alüminyum silikat)

Atık mermer tozunun bünyesinde en çok kuvars mineralinin yer aldığı görülmüştür. Aynı zamanda atık tozu içinde anortit, kalsiyum alüminyum silikat ve kıyanit minerallerinin bulunduğu XRD analizi sonucunda görülmüştür.

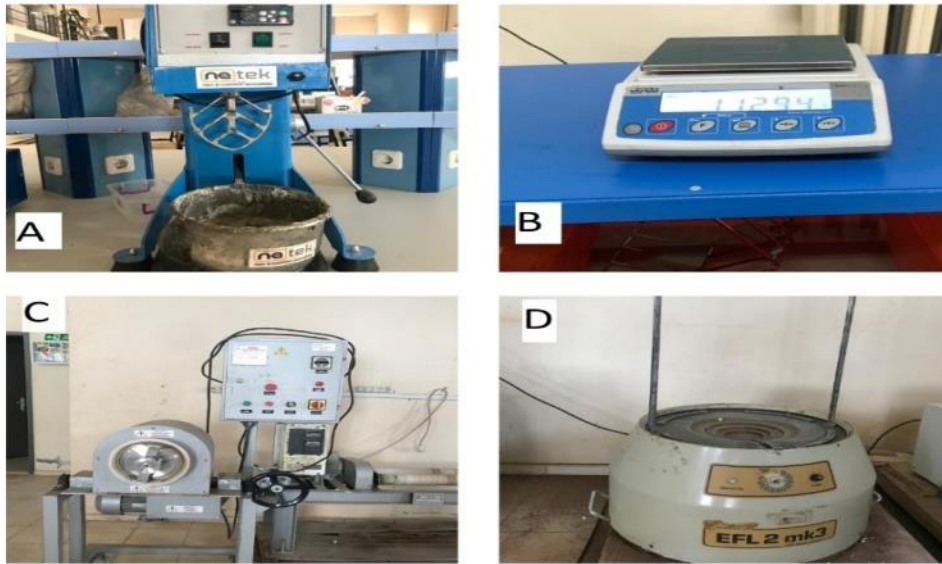
Çizelge 3.4’de mermer atığı tozunun özgül ağırlık değeri verilmiştir.

Çizelge 3. 4: Granit atığı özgül ağırlık değeri

	Özgül ağırlık
Granit atığı	2,55

3.1.3 Kullanılan kimyasallar ve araç-gereçler

Örneklerin kimyasal ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi sırasındaki aşamalarda kullanılan malzemeler; Microtest marka etüv, Ünal marka bilyeli değirmen, Radwag hassas terazi, EFL2 marka eleme cihazı, 5 cm kenar uzunluğuna sahip kübik şekilli silikon kalıplar, NaTek marka mikser, Mikcrotest marka donma-çözünme test kabini, ELE marka tek eksenli basınç dayanımı test presi, Leo Evo-40xVP model elektron mikroskobu, Proceq marka ultrasonik hız ölçüm cihazı, Arşimet sehpası, 50ml lik piknometre, Boytek marka BRE452 genel amaçlı polyester, Kobalt, Metil Etil Keton Peroksit (MEKP), Sodyum Sülfat ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$), QTEC Solo Glossmeter (parlaklık ölçer), MRC marka CLRM310 model renk ölçüm cihazıdır. Şekil 3.4’de yapay mermer üretiminde kullanılan cihazların görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3. 4: Yapay mermer üretiminde kullanılan NaTek marka mikser (A), hassas terazi (B), bilyeli değirmen (C), eleme cihazı(D)

3.1.4 Polyester reçine

Suni mermer numunelerinin elde edilebilmesi için bağlayıcı madde olarak kullanılan BRE 452 doymamış polyester reçinenin özellikleri aşağıda verilmiştir.

Reçine Yapısı; Ortoftalik bazlı doymamış polyester reçinesi

Orta reaktivite – Orta viskozite

Versiyonlar; Tikotropik, Kobaltlı, Mavi İndikatörlü, Düşük Stiren Emisyonlu.

Kalıplama Tekniği; El yatırması, Püskürtme.

Son imalatta endüstriyel parçalarda kullanılmaktadır.

Polyester reçinenin özellikleri ise; Çabuk elyaf ıslatımı, hızlı kürleşme, yüksek mekanik özellikler

Sıvı haldeki özellikleri;

Viskozitesi (25°C, Brookfield sp4 50/5 rpm)	400 – 600 cp
Tiktotropi (sadece tiktotropik versiyon için)	min. 2,5
Solid İçeriği	62 – 67 %
Asit Değeri	max 30 mgKOH/gr

Jel zamanı (25°C, 100 gr reçineye 1 ml Co (%1 çözelti),

1 ml Curox M60) 10- 20 dakika

Takviyesiz polyester reçinenin mekanik özellikleri ise (Numuneler 5saat 100°C’de post-kür işlemine tabi tutulmuştur);

Çekme Dayanımı	72	MPa	ISO 527
Kopma Uzaması	2.3	%	ISO 527
Çekme Modülü	3600	MPa	ISO 527
Eğilme Dayanımı	130	MPa	ISO 178
Eğilme Modülü	3600	MPa	ISO 178
HDT	65	°C	ISO 75A
Sertlik	40	Barcol 934-1	

Polyester reçine BRE 452 direkt gün ışığına maruz bırakılmadan havalandırılmalı ortamlarda ve orijinal kapalı kaplarında tutulduğunda en az 3 ay raf ömrü vardır. Depolama sıcaklığının

25°C'yi geçmemesi gerekir. Ambalaj olarak; dökme tanker,18kg teneke, 230 kg varil,1000 kg IBClerde saklanmaktadır (www.boytek.com.tr).

3.1.5 Kobalt

Suni mermer üretimi için kullanılan akkobalt %6'lık olan reçine türü olandır. +5 °C ile +30 °C sıcaklık aralığında güneş ışığına maruz kalmayıp kendi ambalajında kıvılcım kaynaklarından uzakta muhafaza edilmelidir. Ambalajın açılmadan raf ömrü 1 yıldır. %1-%6 lık konsantrasyonlar en yaygın kullanım oranlarıdır (Yüçetürk, 2010).

Kobalt özellikleri;

Yoğunluk	0,92	gr/cm ³
Viskozite	300	MPa
Renk	menekşe-mavi renkli sıvı	
Çözücü	stren, tolüen, TXIB	
Kobalt içeriği	%6 (isteğe göre %1-%10)	
Ph	nötr	

3.1.6 Metil etil keton peroksit (MEKP)

Oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıklarda kullanılan MEKP polyester reçinenin kürleşmesi için hızlandırıcı olan kobalt ile kullanılmaktadır. Genel amaçlı reçineler, düğme tipi, vernik, vinilester ve jelkot uygulamalarında kullanılmaktadır. +5 °C ile +30 °C sıcaklık aralığında güneş ışığına maruz kalmayıp kendi ambalajında kıvılcım kaynaklarından ve kobalt hızlandırıcılardan uzak yerlerde muhafaza edilmelidir. Ambalaj açılmadan raf ömrü 6 aydır (Yüçetürk, 2010).

MEKP özellikleri;

Yoğunluk	1.17	gr/cm ³
Viskozite	25	MPa
Çözücü	DMT	
Aktif oksijen içeriği	%9,8-%10	
Peroksit içeriği	%34-%36	
Renk	renksiz sıvı	

3.1.7 Deney hazırlık aşamaları

Deney için öncelikle tedarik edilen madensel atıklar 24 saat 105°C’de etüvde kurutma işlemine tabi tutularak nemi giderilmiştir. Kurutulan numuneler bilyalı değirmende öğütülüp 150 µm eleklerden geçirilerek deney şartlarına uygun hale getirilmiştir. Hazırlanan toz numuneler ile dört farklı seri için; %75 granit-%25 mermer, %75 mermer-%25 granit, %100 mermer, %100 granit oranlarında karışımlar hazırlanmıştır. Seriler için terazide ölçülen 1050 g numune ve 380.62 g polyester reçine hazırlanmıştır.

Mikserin karıştırma haznesine öncelikle polyester reçine eklenmiştir. Daha sonra toz numune yavaş yavaş reçine üzerine eklenerek 5 dakika boyunca karıştırma işlemine tabi tutulmuştur. Ardından karışıma Kobalt ilave edilerek 3 dakika daha karışıma tabi tutulup, son aşamada MEKP ilave edilerek 2 dakika daha karıştırılmıştır. Toplam 10 dakika karıştırma süresinden sonra karışım 5 cm kenar uzunluğuna sahip kübik şekilli silikon kalıplara dökülmüştür. Kalıplar titreşim sehпасına alınarak 5 dakika boyunca içerisindeki hava boşluklarının giderilmesi sağlanmıştır. Bu işlem sırasında hava kabarcıklarının yüzeyde toplandığı gözlemlenmiştir. Kalıplar titreşim sehпасından alınarak 10-15 dakika boyunca katılaşması beklenmiştir. Sonrasında kalıpların elastik özelliğinden faydalanılarak numuneler kalıplardan çıkarılmıştır. Elde edilen deney numuneleri 28 gün boyunca oda sıcaklığında bekletilerek kürlenmeleri sağlanmıştır.



Şekil 3. 5: Suni mermer yapım aşaması a: titreşim sehпасı b: kalıplara aktarılan numuneler

Yapay mermer üretiminde kullanılan mermer ve granit atık tozu oranları ile kullanılan polyester reçine, MEKP ve kobalt oranları Çizelge 3.5’de verilmiştir.

Çizelge 3. 5: Yapay mermer üretiminde kullanılan atık oranı ve kimyasallar

Kod	Mermer Oran	Mermer	Granit	Polyester Reçine	MEKP	Kobalt
GM	%25	262,5 g	787,5 g	380 g	3,17 g	0,57 g
MG	%75	787,5 g	262,5 g	380 g	3,17 g	0,57 g
M	%100	1050 g	0	380 g	3,17 g	0,57 g
G	%0	0	1050 g	380 g	3,17 g	0,57 g

3.1.8 Fiziksel-mekanik deneyler

3.1.8.1 Birim hacim ağırlığı deneyi

Deney TS 699 standardına uygun biçimde yapılmıştır (TS 699, 2009). Deneyde 5x5x5 cm³ boyutundaki deney numuneleri kullanılmıştır. Deney numuneleri hassas terazide tartılarak doğal ağırlıkları ölçülüp kaydedilmiştir. Daha sonra deney numuneleri, oda sıcaklığında (20±5°C) su bulunan kap içerisinde tamamen suya batırılarak 48 saat bekletilmiştir. Numuneler suya doygun hale geldikten sonra Arşimet terazisinde 0.01 gr hassasiyeti ile tartılarak doygun ağırlıkları kaydedilmiştir. Devamında nemli bir bez yardımı ile üzerindeki su damlaları alınıp hassas terazi ile ölçülüp havada doygun ağırlığıda kaydedilmiştir

Yapılan işlemlerin ardından deney numuneleri 105° C sıcaklığındaki etüvde değişmez kabul edilen ağırlığa (%0,1 değişim) gelinceye kadar kurutulmuştur. Etüvden alınan numuneleri nem almasını önlemek için desikatörde oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Hassas terazi ile tartılarak kuru ağırlıkları ölçülerek kaydedilmiştir. Örneklerin doğal birim hacim ağırlıkları Eşitlik 3.1’e, doygun birim hacim ağırlıkları Eşitlik 3.2, kuru birim hacim ağırlıkları Eşitlik 3.3’e göre hesaplanmıştır. Elde edilen değerler yerçekim ivmesi olan 9,81 m/s² değeri ile çarpılarak verilmiştir.

- Doğal Birim Hacim Ağırlığı;

$$d_{doğ} = \frac{G_{doğ}}{G_d - G_{ds}} \quad (3.1)$$

Doymun Birim Hacim Ağırlığı;

$$d_d = \frac{G_d}{G_d - G_{ds}} \quad (3.2)$$

Kuru Birim Hacim Ağırlığı;

$$d_k = \frac{G_k}{G_d - G_{ds}} \quad (3.3)$$

Burada;

d_{dog} : Doğal birim hacim ağırlık (kN/m³)

d_k : Kuru birim hacim ağırlık (kN/m³)

d_d : Doymun birim hacim ağırlık (kN/m³)

G_k : Kuru haldeki ağırlık (g)

G_{dog} : Doğal haldeki ağırlık (g)

G_d : Doymun haldeki havadaki ağırlık (g)

G_{ds} : Doymun haldeki su içindeki ağırlık (g)

3.1.8.2 Porozite tayini

Deney TS 699 standartlarına uygun biçimde yapılmıştır (TS 699, 2009). Deney numuneleri 105° C sıcaklığındaki etüvde değişmez kabul edilen ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Ardından etüvden alınan numuneler nem alınmasını önlemek için desikatörde oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Hassas terazi ile tartılarak kuru ağırlıkları ölçülüp kaydedilmiştir.

Numuneler su dolu kap içerisinde 24 saat suya doymun hale geldikten sonra Arşimet terazisinde 0.01 g hassasiyette suda tartılarak doymun ağırlıkları kaydedilmiştir. Daha sonra numunelerin üzerindeki su damlaları bez yardımı ile alınıp hassas terazi ile ölçülüp havada doymun ağırlığı olarak kaydedilmiştir. Yapılan bu deneyler sonunda örneklerin porozite değerleri Eşitlik 3.4 kullanılarak hesaplanmıştır. Görünür Porozite Eşitliği;

$$N = \frac{G_d - G_k}{G_d - G_{ds}} \quad (\%) \quad (3.4)$$

Burada;

N: Porozite

G_d: Doygun haldeki ağırlık

G_k: Kuru ağırlık

G_{ds}: Doygun deney su içindeki ağırlık.

Çizelge 3.6'da mermerlerin porozite değerlerine göre sınıflandırılması verilmiştir.

Çizelge 3. 6: Mermerlerin porozite değerine göre sınıflandırılması (Tok, 2018).

Numune sınıfı	Porozite (%)
Çok kompakt	<1
Az boşluklu	1-2.5
Orta boşluklu	2.5-5
Oldukça boşluklu	5-10
Çok boşluklu	10-15
Çok fazla boşluklu	>20

3.1.8.3 Su emme deneyi

Deney TS 699 standardına uygun biçimde yapılmıştır (TS 699, 2009). Deney numuneleri hassas terazide tartılmış, doğal ağırlıkları ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Deney numuneleri, oda sıcaklığında ($20\pm 5^{\circ}\text{C}$) su bulunan kap içerisinde yarısı suya batırılarak 1 saat bekletilmiştir. Ardından numuneler tamamen suya batırılarak 48 saat bekletmeye tabi tutulmuştur. Doygun hale gelmeleri sağlanmıştır. Numuneler suya doygun hale geldikten sonra Arşimet terazisinde su içerisinde 0.01 g hassasiyeti ile tartılarak doygun halde sudaki ağırlıkları kaydedilmiştir. Daha sonra numunelerin yüzeylerindeki su damlaları nemli bir bez yardımı ile alınarak havada doygun ağırlığı ölçülüp kaydedilmiştir.

Yapılan işlemlerin ardından deney numuneleri 105°C sıcaklığındaki etüv de değişmez kabul edilen ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuş, etüvden alınan numunelerin nem almasını önlemek için desikatörde oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Hassas terazi ile tartılarak kuru ağırlıkları ölçülüp kaydedilmiştir. Yapılan bu deneyler sonucunda Eşitlik 3.5 ve 3.6 kullanılarak su emme değerleri hesaplanmıştır.

- Ağırlıkça su emme eşitliği;

$$S_k = \frac{G_d - G_k}{G_k} \times 100 \quad (\%) \quad (3.5)$$

- Hacimce su emme eşitliği;

$$S_h = \frac{G_d - G_k}{G_d - G_{ds}} \times 100 \quad (\%) \quad (3.6)$$

Burada;

S_k: Ağırlıkça su emme oranı

S_h: Hacimce su emme oranı

G_d: Doygun numunenin havadaki ağırlığı (g)

G_k: Değişmez kütleye kadar kurutulmuş ağırlığı (g)

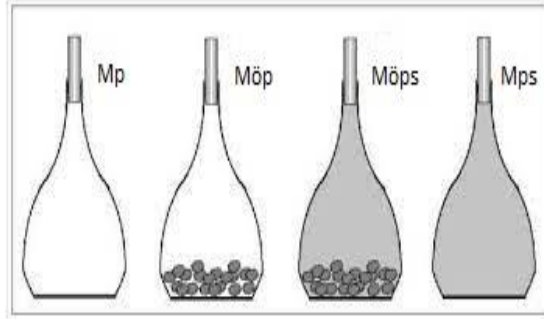
G_{ds}: Doygun haldeki numunenin su içindeki ağırlığı (g)

3.1.8.4 Özgül ağırlık tayini

Deney TS EN 699 standardına uygun biçimde yapılmıştır (TS 699, 2009). Deneyde mermer ve granit atıklarından 150 µm lik elekten geçirilen toz numunelerden 100 g malzeme alınmıştır. Numuneler 105°C lik etüvde değişmez ağırlığa gelinceye kadar 24 saat kurutulmuştur. Numuneler etüvden alınıp nem almaması için desikatörde oda sıcaklığına gelinceye kadar bekletilmiştir. Oda sıcaklığındaki numuneler konileme, dörtleme ve karelaj yöntemleri ile azaltılıp hassas terazide ölçülüp ~ 2,5 g numune deney için hazır hale getirilmiştir.

Deneyde, 50 ml lik piknometre ve kapağının hassas terazide ağırlığı tartılarak kaydedilmiştir. Daha sonra piknometre içine saf su konulmuştur. Kapağı kapatılarak taşan su silinmiştir. Piknometre kurutulmuş ve hassas terazide ağırlığı tartılarak kaydedilmiştir. Su boşaltılarak piknometre ve kapağı etüvde kurutulmuştur. Kurutulan piknometre içine huni yardımı ile numune eklenerek kapağı kapatılıp hassas terazide ağırlığı tartılmış ve kaydedilmiştir. Ardından piknometrenin yarısına kadar saf su ekleyerek numunenin içinde kalan hava kabacıklarının çıkması için piknometre çalkalama işlemine tabii tutulmuştur. Bu işlemin ardından piknometre tamamen saf su ile doldurulup kapağı kapatılmıştır. Sonra üzeri silinip kurutulmuş ve hassas terazide ağırlığı kaydedilmiştir. Şekil 3.6'da özgül ağırlık deney

aşamalarının şematik görüntüsü verilmiş olup Şekil 3.7’de deneyde kullanılan 50 ml lik boş piknometrelere ait görüntü verilmiştir. Özgül ağırlık değerleri Eşitlik 3.7 kullanılarak sonuçlar kaydedilmiştir.



Şekil 3. 6: Yoğunluk ölçümünde piknometre ile yapılan tartımların şematik görüntüsü

- Özgül ağırlık eşitliği;

$$d_o = \frac{Möp - M_p}{(Möp + M_{ps}) - (M_p + M_{öps})} \quad (3.7)$$

Burada;

d_o : Özgül Ağırlık (gr/cm³)

M_p : Piknometre boş ağırlık (gr)

$Möp$: Piknometre + Numune Ağırlığı (gr)

$Möps$: Piknometre + Numune + Saf su ağırlığı (gr)

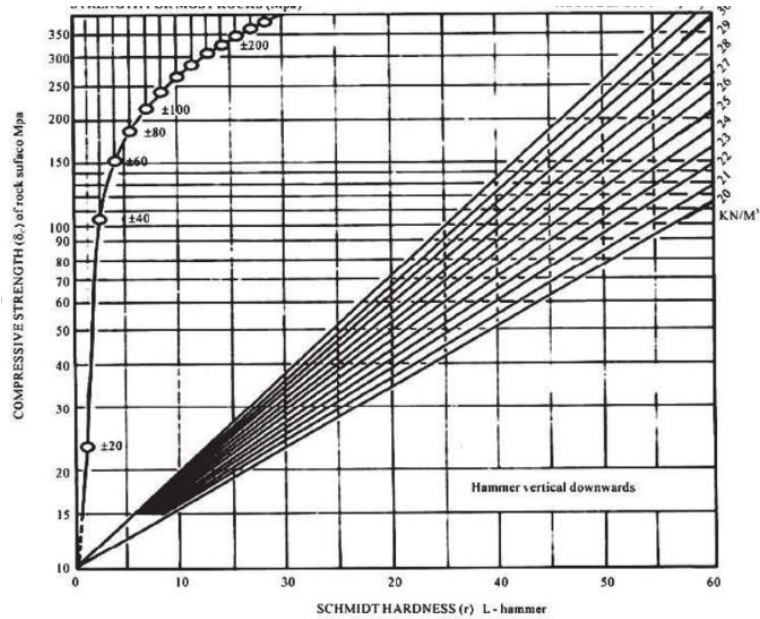
M_{ps} : Piknometre + saf su ağırlığı (gr)



Şekil 3. 7: Özgül ağırlık tayininde kullanılan piknometreler

3.1.8.5 Schmidt çekici sertlik tayini

Deney ISRM 1978 standartlarına uygun olarak yapılmıştır (ISRM, 1978). Numunelerin her yüzeyinden Schmidt çekici ile toplamda 10 değer alınmıştır. Alınan değerler büyüklüğe göre sıralanıp ortalaması alınmış olup sıralanan değerlerden en düşük değerlerden %50 si silinip kalan değerlerin ortalaması alınarak geri sıçrama değeri hesaplanmıştır. Numunenin birim hacim ağırlığı ve geri sıçrama değeri Şekil 3.8’de verilen grafik kullanılarak yaklaşık tek eksenli basınç dayanımı MPa olarak hesaplanmıştır (Deere ve Miller, 1966). Şekil 3.9’da yapay mermer numuneleri üzerinde Schmidt çekici ile sertlik ölçümüne ait görüntü verilmiştir.



Şekil 3. 8: Deere ve Miller Grafiği



Şekil 3. 9: Schmidt çekici sertlik ölçümü

3.1.8.6 Tek eksenli basma dayanımı deneyi

Deney TS EN 699 standartlarına uygun olarak yapılmıştır (TS 699, 2009). Oda koşullarında bekleyen 5 cm³ boyutlarındaki numunelerin basınç uygulanacak olan yüzey boyutları x ve y eksenleri doğrultusunda kumpas ile ölçülerek yükleme yapılacak kesitin alanı hesaplanmıştır. Sonra numuneler yük uygulama plakasının ortasına gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Numuneler 0.5 kN/s yükleme hız oranı ile tek eksenli basınç dayanımı testine tabii tutulmuştur. Yapılan deneyler sonucunda Eşitlik 3.8 ile değerler hesaplanmıştır. Yapay mermer numunesi üzerine etki eden en büyük yük numune kırılmadan önce kaydedilmiştir. Tek eksenli basınç dayanımı deneyine ait görüntü Şekil 3.10 a-b'de verilmiştir. Kayaçların tek eksenli basınç dayanımına göre sınıflandırılması Çizelge 3.7'de verilmiştir.

Basma dayanımı eşitliği;

$$f_b = \frac{P_k}{A}(\text{mPa}) \quad (3.8)$$

Burada;

fb: Örneğin basınç dayanımı, (mPa)

Pk: Kırılma anındaki maksimum yük, (kN)

A: Örneğin yük uygulanan yüzeyinin alanı, (cm²)



a



b

Şekil 3. 10: Numuneler üzerinde basma dayanımı uygulanan a: makine ve b: kırılan numuneler.

Çizelge 3. 7: Deer ve Miller'in tek eksenli basınç direncine göre örnek sınıflaması (Deer ve Miller, 1966).

Numune Sınıfı	Tek Eksenli Basınç Direnci (MPa)
Çok düşük dirençli	<25
Düşük dirençli	25-50
Orta dirençli	50-100
Yüksek dirençli	100-200
Çok yüksek dirençli	>200

3.1.8.7 Ultrasonik P-dalga hızı deneyi

Deney ISRM 1978 standardına uygun şekilde yapılmıştır (ISRM, 1978). Proceq marka ultrasonik hız ölçüm cihazı kullanılarak enine ve boyuna dalga boyları gönderen proplar yardımı ile belirli frekansta ses gönderilerek, verici ve alıcı prop arasındaki ses ulaşım hızı saniye cinsinden ölçülmektedir. Ölçülen zaman aralığı kullanılarak Eşitlik 3.9 da verilen dalga hızı formülü uygulanır. P dalga hızı sınıflandırılması Çizelge 3.8'de verilmiştir.

- Dalga hızı eşitliği;

$$V_p = \frac{L}{T_p} \quad (3.9)$$

Burada;

V_p : P Dalgasının Geçiş hızı (m/s)

L: Numunenin Boyu (cm)

T_p : P dalgasının Geçiş Zamanı (μ sn)

Çizelge 3. 8: P dalga hızı sınıflaması (Anon, 1979)

Numune sınıfı	Dalga hızı (m/s)	Tanımlama
1	<2500	Çok düşük hız
2	2500-3500	Düşük hız
3	3500-4000	Orta hız
4	4000-5000	Yüksek hız
5	>5000	Çok yüksek hız

3.1.9 Kimyasal ve mineralojik özellikleri belirlemek için yapılan analizler

Doğal taşların kimyasal, mineralojik ve petrografik özelliklerini sorgulayabilmek için XRD, XRF, SEM analizleri yapılmıştır.

3.1.9.1 X-ışını kırınım deneyi (XRD)

Doğal taşların mineralojik yapılarını belirlemek amacı ile uygulanan bu analiz İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezinde (İBTAM) yaptırılmıştır. Çalışmada kullanılan madensel atıklardan mermer ve granit atığı bilyalı değirmende öğütülüp 150 μ m'lik elekten elenip yaklaşık 10 g atık toz alınarak İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezi Fizik Bölümü Laboratuvarında, Rigaku RadB-DMAX II bilgisayar kontrollü X-ışını difraktometresi ile $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda=1.5405 \text{ \AA}$) radyasyonu kullanılarak belirlenmiştir.

3.1.9.2 X- ışınları floresans spektrometresi (XRF)

Çalışmada kullanılan mermer ve granit tozlarının bilyalı değirmende öğütülüp 150 µm'lik elekten elenip yaklaşık 10 g atık toz alınarak XRF analizleri Afyon Kocatepe Üniversitesi Doğaltaş Analiz Laboratuvarında RIGAKU/ZSX PRIMUS 2 marka cihaz kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3.1.9.3 Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

Taramalı elektron mikroskobu elektronların malzeme yüzeyinden yansıtılması prensibine dayanarak çalışmaktadır. X ışınları ve yansıyan elektronlar kullanılarak numunelerin mikro yapısal özellikleri incelenmektedir. Yapay mermer numunelerinin SEM analizleri İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezi İBTAM'da Leo Evo-40xVP model elektron mikroskobu ile yapılmıştır.

3.1.10 Tuz kristallenmesi döngüleri

Deney TS EN 12370 standardına uygun olarak yapılmıştır (TS EN 12370, 2001). Deneyde %14 Sodyum Sülfat Dekahidrat ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$) çözeltisi, %86 saf su kullanılmıştır. 5 cm kenar uzunluğuna sahip olan kübik şekilli, oranları farklı deney numunelerinden toplamda 16 numune kullanılmıştır.

Deney numuneleri 105 °C sıcaklığındaki etüvde değişmez kütleye gelinceye kadar kurutulup, ardından oda sıcaklığında soğutulmuş hassas terazide tartılıp ölçümler kaydedilmiştir. Tartımdan sonra hazırlanmış olan oda sıcaklığındaki çözeltiye deney numuneleri tamamen batacak şekilde 2 saat daldırılmıştır. Daldırılan numuneler çözeltiden alınarak 105 °C sıcaklığında ki etüvde en az 16 saat bekletilerek kurumaları sağlanmıştır. Kurumaları sağlanan numuneler etüvden alınarak oda sıcaklığına soğutulmuştur. Bir döngü olarak tanımlanmıştır. Bu işlemler 30 döngüye ulaşınca kadar devam ettirilmiştir. Döngüler sonunda numuneler etüvden alınarak oda sıcaklığında soğutulmuştur. Soğutma işlemi sonunda numuneler oda sıcaklığındaki su dolu bir kaba aktararak 24 saat süre ile suda bekletilip bütünlüklerinin korunup korunmadığı gözlenmiştir. Bütünlüklerini koruduğu gözlenen numuneler değişmez kütleye gelinceye kadar kurutulmuş hassas terazide tartılarak ölçümler kaydedilmiştir. Şekil 3.11 a-b'de tuz kristallenmesinde kullanılan yapay mermer numuneleri ve sodyum sülfat çözeltileri verilmiştir.



a



b

Şekil 3. 11: Tuz kristallenmesi için kullanılan a: sodyum sülfat çözeltisi ve b: çözelti içindeki numuneler.

3.1.11 Termal şok etkilerine dayanım deneyi

Deney TS EN 14066 standardına uygun yapılmıştır (TS EN 14066, 2004). Bu deneyle numuneler üzerindeki ani sıcaklık farklılığıyla oluşabilecek değişimler gözlemlenmiştir. Deney, 5 cm kenar uzunluğuna sahip kübik şekilli, her bir deney grubundan dört adet örnek üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Deney numuneleri 105 °C sıcaklığındaki etüv de değişmez kütleye gelinceye kadar kurutulup, ardından oda sıcaklığında soğutularak hassas terazide tartılıp ölçümler kaydedilmiştir. Kurutulan numuneler 105 °C sıcaklığında ki etüvde (18±1) saat bekletilip ardından (20±5) °C suyun içine bırakılmıştır. Bu işlem bir döngü olarak tanımlanmıştır. Termal şok deneyleri 30 döngüye ulaşınca kadar devam etmiştir. Bu işlemler sırasında birçok numunede numune merkezinden gelişen ve numuneyi konveks-konkav yüzeyli iki parçaya bölen kırılmalar gelişmiştir (Şekil 3.12-a). Döngü sonrasında numuneler kurutulup hassas terazide tartılarak kaydedilmiştir. Termal şok deneyi uygulanan numuneler Şekil 3.12 a-b’de verilmiştir.



A



b

Şekil 3. 12: Termal şok deneyi uygulanan numuneler a: döngüde kırılan numuneler ve b: etüvde kurutulan numuneler.

3.1.12 Donma-çözünme dayanımı deneyi

Deney TS 699 standartlarına uygun yapılmıştır (TS 699, 2009). Bu deneyde 5 cm kenar uzunluğuna sahip kübik şekilli örnekler kullanılmıştır.

Deney numuneleri 105 °C sıcaklığındaki etüvde değişmez kütleye gelinceye kadar kurutulup, ardından oda sıcaklığında soğutularak hassas terazide tartılıp ölçümler kaydedilmiştir. Kurutulan deney numuneleri -18 ± 2 °C sıcaklığındaki Mikrotest marka dondurucuda 2 saat dondurulup, ardından 4 ± 2 °C sıcaklığındaki su bulunan kaba tamamen batacak şekilde 1 saat batırılarak bekletilmiştir. Bu işlem bir donma-çözünme döngüsü olarak tanımlanmıştır. Bu işlemler 30 döngüye ulaşana kadar devam ettirilmiştir. Döngüler sonunda numuneler 105 °C sıcaklığındaki etüvde değişmez kütleye gelinceye kadar kurutulup, ardından oda sıcaklığında soğutularak hassas terazide tartılıp ölçümler kaydedilmiştir. Donma çözünme deneyleri uygulanan numuneler ve donma-çözünme döngülerinin uygulamama aşamalarının görüntüleri Şekil 3.13 a-b' de verilmiştir.



a



b

Şekil 3. 13: Donma-Çözünme deneyi uygulanan numuneler a: Mikrotest marka dondurucu b: dondurucu içindeki deney numuneleri

3.1.13 Parlaklık ölçümleri

Parlaklık, cihazın yüzeye belli bir açıyla ışık göndermesi ve bu ışığın yüzeyden yansımalarının nümerik olarak belirlenmesi sonucu bulunur (Özgüven, 2013).

Deney QTEC Solo Glossmeter yardımıyla 60 °C açıyla gerçekleştirilmiştir. Deney numunelerinin 3 yüzeyinden ölçüm alınıp ortalamaları alınarak kaydedilmiş olup Eşitlik 3.10'dan % değişim hesaplanmıştır.

- Parlaklık ortalamalarının % değişimi eşitliği;

$$\Delta P = \frac{(Sp - Ip)}{Ip} \times 100 \quad (3.10)$$

Burada;

ΔP : Parlaklıkta gerçekleşen % değişim

Sp : Son döngüde ölçülen parlaklık değeri

Ip : Deney öncesi ölçülen parlaklık değeri (R_a)

3.1.14 Renk parametreleri tayini

Deney MRC marka CLRM310 model renk ölçüm cihazı kullanılarak yapılmıştır. Deney numunelerinin yüzeylerinden 3 ölçüm alınarak ortalamaları hesaplanıp kaydedilmiştir.

L, a ve b olarak adlandırılan CIELAB renk sisteminde; L siyahlık-beyazlığı (L:0 siyah, L:100 beyaz), a kırmızı-yeşilliği (kırmızı $0 < a$, yeşil $a < 0$), b ise sarılık-maviliği (sarı $0 < b$, mavi $b < 0$) tanımlamaktadır (Özgüven, 2013). Toplam renk değişimi Eşitlik 3.11, % değişimleri ise 3.12- 3.14'den yararlanılarak hesaplanmıştır.

Toplam renk değişimi eşitliği (Toruk, 2010);

$$\Delta E^{ab} = \sqrt{[(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]} \quad (3.11)$$

$$\Delta L = \frac{(SL - \dot{L})}{\dot{L}} \times 100 \quad (3.12)$$

$$\Delta a = \frac{(Sa - \dot{a})}{\dot{a}} \times 100 \quad (3.13)$$

$$\Delta b = \frac{(Sb - \dot{b})}{\dot{b}} \times 100 \quad (3.14)$$

Burada;

ΔL : L(siyahlık-beyazlık) değerindeki % değişimi

SL: 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

Sb: Son döngüde ölçülen b değeri

\dot{b} : Deney öncesi ölçülen b değeri

3.1.15 Ağırlık kayıplarının belirlenmesi

Yapılacak olan deneylerin ilk ve son aşamasında yapılan ölçümlere ilişkin ağırlık kayıpları Eşitlik 3.15'e göre belirlenmiştir.

$$\Delta m = \frac{m_f - m_o}{m_o} \times 100 \quad (3.15)$$

Burada;

m_o : Döngü öncesi kuru ağırlık (gr)

m_f : Döngü sonrası kuru ağırlık (gr)



4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1 Birim Hacim Ağırlığı Deney Sonuçları

TS 699 standardına göre yapılan birim hacim ağırlığı deneylerinin sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4. 1: Yapay mermer örneklerinin birim hacim değerleri.

Atık mermer karışım oranı	Numune Kodu	Doğal BHA (kN/m ³)	Doygun BHA (kN/m ³)	Kuru BHA (kN/m ³)
% 100 Mermer	M1	18,93	18,94	18,93
	M2	18,95	18,95	18,95
	M3	19,01	19,01	19,00
	Ort±Std. Spm.	18,96±0,04	18,96±0,03	18,96±0,03
% 75 Mermer % 25 Granit	MG1	18,79	18,79	18,78
	MG2	18,74	18,75	18,74
	MG3	18,80	18,80	18,79
	Ort±Std. Spm.	18,77±0,03	18,78±0,02	18,77±0,02
% 75 Granit % 25 Mermer	GM1	18,58	18,58	18,57
	GM2	18,32	18,33	18,32
	GM3	18,84	18,85	18,84
	Ort±Std. Spm.	18,58±0,26	18,58±0,26	18,57±0,26
% 100 Granit	G1	18,59	18,59	18,58
	G2	18,58	18,59	18,58
	G3	18,62	18,63	18,62
	Ort±Std. Spm.	18,59±0,02	18,60±0,02	18,59±0,02

Çizelge 4.1 incelendiğinde yapay mermer örneklerinin birim hacim ağırlığı değerlerinin doğal, doygun ve kuru koşullar da birbirine yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Mermer atığı oranı yüksek olan numunelerde doğal, doygun ve kuru birim hacim değerleri granit atığı kullanılan numunelere oranla daha yüksektir. Bunun nedeninin mermerin yoğunluğunun daha yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmüştür. TS 2513 (1977) standardı mermerler için minimum birim hacim ağırlığı değerinin 24.91 kN/m³ olması gerektiğini ifade etmektedir. Hazırlanan suni mermer örneklerinin birim hacim ağırlığı değerleri bu değer altında kalmıştır. Bu standarda göre mermerler ile kıyaslandığında hafif yapı malzemeleri olarak değerlendirilebilirler.

4.2 Porozite Deney Donuları

TS 699 standardına göre yapılan deney sonuçları izelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4. 2: Mermer, granit atıkları kullanılarak üretilen yapay mermer numunelerinin görünür porozite değerleri

Atık mermer karışım oranı	Numune Kodu	Porozite değerleri (%)
%100Mermer	M1	0,091
	M2	0,093
	M3	0,075
	Ort±Std. Spm.	0,08±0,01
%75 Mermer %25 Granit	MG1	0,074
	MG2	0,041
	MG3	0,079
	Ort±Std. Spm.	0,06±0,02
%75 Granit %25 Mermer	GM1	0,081
	GM2	0,10
	GM3	0,048
	Ort±Std. Spm.	0,07±0,02
%100 Granit	G1	0,049
	G2	0,067
	G3	0,084
	Ort±Std. Spm.	0,06±0,01

Çizelge 4.2’de mermer ve granit atık tozlarından yapılan yapay mermer numunelerinin porozite değerleri izelge 3.6’da verilen değerlere göre değerlendirildiğinde çok kompakt olarak sınıflandırıldıkları görülmektedir. TS 1910 (1977) standardı, doğal taşların porozite oranının maksimum %2 değerinde olması gerektiğini belirtmektedir. Yapay mermer numunelerinin porozite değerlerinin bu standartta yer alan değere uygun olduğu görülmektedir.

4.3 Su Emme Deney Sonuçları

TS 699 standartlarına göre yapılan deney sonuçları Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4. 3: Yapay mermer numunelerinin ağırlıkça ve hacimce su emme değerleri

Atık mermer karışım oranı	Numune Kodu	Ağırlıkça Su Emme (%)	Hacimce Su Emme (%)
%100 Mermer	M1	0,05	0,09
	M2	0,05	0,09
	M3	0,04	0,07
	Ort±Std. Spm.	0,04±0,005	0,08±0,01
%75 Mermer %25 Granit	MG1	0,04	0,07
	MG2	0,02	0,04
	MG3	0,04	0,07
	Ort±Std. Spm.	0,03±0,01	0,06±0,01
%75 Granit %25 Mermer	GM1	0,04	0,08
	GM2	0,05	0,10
	GM3	0,02	0,05
	Ort±Std. Spm.	0,03±0,01	0,07±0,02
%100 Granit	G1	0,03	0,05
	G2	0,04	0,07
	G3	0,04	0,08
	Ort±Std. Spm.	0,03±0,005	0,06±0,01

Çizelge 4.3'te verilen yapay mermer atık tozlarından yapılan yapay mermer numunelerinin hacimce ve ağırlıkça su emme değerleri incelendiğinde numunelerin su emme değerlerinin çok düşük olduğu görülmektedir. TS 2513 standardı, doğal taşların su emme oranının en fazla %1,8 olması gerektiğini ifade etmektedir. Yapay mermer numunelerinin su emme değerleri standartta yer alan bu değere uygundur. Numunelerin mermer atık oranı arttıkça su emme değerin az da olsa artış gösterdiği görülmektedir. Bu durumun mermer atığı kullanılarak üretilen yapay mermer örneklerinin porozite değerlerinin diğer örneklere göre daha yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmüştür.

4.4. Ultrasonik Dalga Hızı Deneyi

ISRM 1978 standardında tanımlanan yöntemine göre yapılan ultrasonik dalga hızı deney sonuçları Çizelge 4.4 de verilmiştir.

Çizelge 4. 4: Yapay mermer numunelerinin ultrasonik dalga hızı değerleri

Atık mermer karışım oranı	Numune Kodu	Ultrasonik Dalga Hızı (V) (m\s)
%100 Mermer	M1	3390
	M2	3430
	M3	3470
	Ort±Std. Spm.	3430±40
%75 Mermer %25 Granit	MG1	3350
	MG2	3350
	MG3	3390
	Ort±Std. Spm.	3360±20
%75 Granit %25 Mermer	GM1	3410
	GM2	3350
	GM3	3350
	Ort±Std. Spm.	3370±30
%100 Granit	G1	3350
	G2	3410
	G3	3380
	Ort±Std. Spm.	3380±30

Çizelge 4.4 de mermer ve granit atık tozlarından yapılan yapay mermer numunelerinin ultrasonik dalga hızı değerleri Çizelge 3.8'e göre değerlendirildiğinde düşük hızlı oldukları görülmektedir.

4.5 Sertlik

4.5.1 Schmidt çekici sertlik değeri sonuçları

ISRM 1978 standartlarına uygun olarak yapılan Schmidt çekici sertlik deney sonuçları Çizelge 4.5'de verilmiştir.

Çizelge 4. 5: Yapay mermer numunelerinin Schmidt çekici sertlik değerleri

Atık mermer karışım oranı	Schmidt Çekici Sertlik değerleri
%100 mermer	41,44
%75 mermer, %25 granit	36,83
%25mermer, %75 granit	35,38
%100 granit	40,57

Çizelge 4.5’de görüldüğü üzere mermer, granit atıklı yapay mermer örneklerinin Schmidt çekici sertliklerinin birbirine yakın değerlerde olduğu görülmektedir. Schmidt çekici sertlik değeri %100 mermer ve granit atığı içeren numunelerde daha yüksek çıkmıştır.

4.5.2 Tek eksenli basma dayanımı deneyi

TS 699 standartlarına uygun olarak yapılan tek eksenli basma dayanımı sonuçları Çizelge 4.6’da verilmiştir

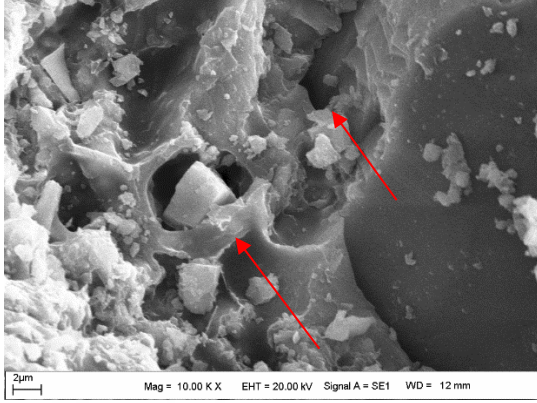
Çizelge 4. 6: Yapay mermer numunelerinin deney numunelerinin tek eksenli basma dayanımı sonuçları

Atık mermer karışım oranı	Numune Kodu	Kırılma yükü (kN)	Yüzey alanı (mm ²)	Tek eksenli basma dayanımı (MPa)
% 100 Mermer	M1	201,9	2452,89	82,31
	M2	144,1	2445,39	58,92
	M3	95,7	2441,74	39,19
			Ort±Std. Spm.	60,14±21,58
%75 Mermer %25 Granit	MG1	134,8	2460,40	54,78
	MG2	166,1	2477,79	67,03
	MG3	175,4	2481,53	70,68
			Ort±Std. Spm	64,16±8,32
%75 Granit %25 Mermer	GM1	146,4	2516,86	58,16
	GM2	194,8	2519,18	77,32
	GM3	148,4	2516,03	58,98
			Ort±Std. Spm.	64,82±10,83
% 100 Granit	G1	181,7	2469,42	73,58
	G2	175,3	2443,96	71,72
	G3	178,9	2454,43	72,88
			Ort±Std. Spm.	72,73±0,93

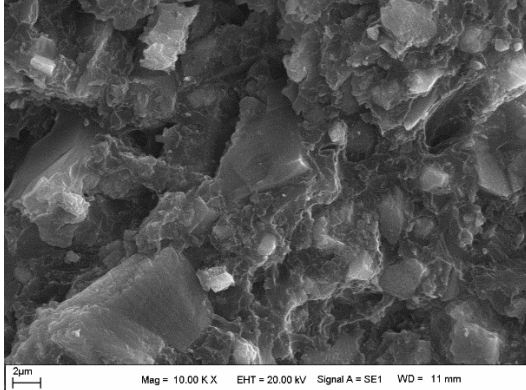
Çizelge 4.6’da görüldüğü üzere numunelerin tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçları Çizelge 3.7’ye göre değerlendirildiğinde numunelerin “orta dirençli” sınıfında yer aldığı görülmektedir. TS 10449 (1992) standardı, doğal taşların tek eksenli basma dayanımının en az 50 MPa olması gerektiğini belirtmektedir. Üretilen yapay mermer örneklerinin ortalama basınç dayanımı değerleri bu standart değere uygundur.

4.6 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi Sonuçları

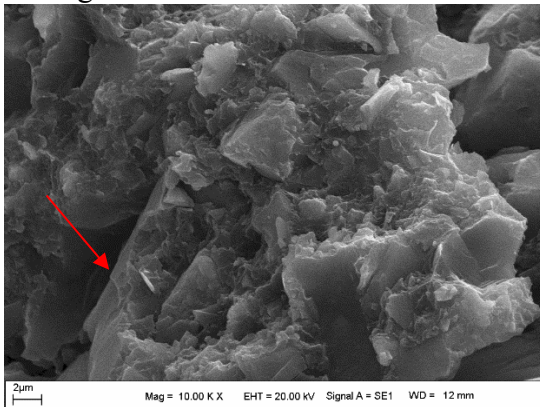
Yapay mermer örneklerinin SEM analizinden elde edilen görüntüleri Şekil 4.1-4.4'de verilmiştir.



Şekil 4. 1: %100 mermer atığı ile üretilen yapay mermer örneğinin SEM görüntüsü



Şekil 4. 2: %75 mermer atığı, %25 granit atığı ile üretilen yapay mermer örneğinin SEM görüntüsü

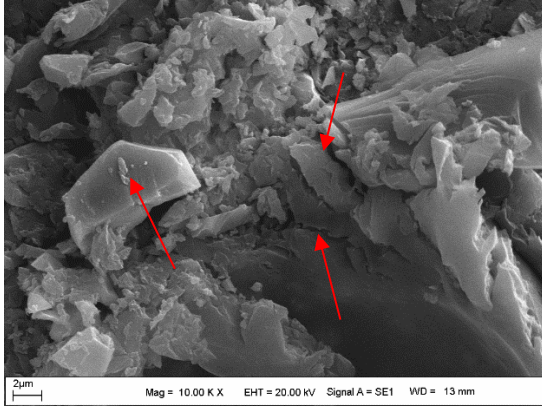


Şekil 4. 3: %75 granit atığı, %25 mermer atığı ile üretilen yapay mermer örneğinin SEM görüntüsü

Şekil 4.1 incelendiğinde %100 mermer atığı 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.

Şekli 4.2 incelendiğinde %75 mermer, %25 granit atığı kullanılarak üretilen yapay mermer örneklerinin daha kompakt bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Taneler arasında ayrışmalar bu örnekte de mevcuttur ancak diğer örneklerle kıyaslandığında bu yapıların daha az var olduğu göze çarpmaktadır.

%75 granit, %25 mermer atığı kullanılarak üretilen yapay mermer örneklerinin SEM görüntüleri incelendiğinde tanelerin daha köşeli yapılı olduğu göze çarpmaktadır. Bu köşeli tanelerin arasında bazı boşlukların var olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4. 4: %100 granit atığı ile üretilen mermer örneğinin SEM görüntüsü

Şekil 4.4 incelendiğinde %100 granit atığı kullanılarak üretilen yapay mermer örneklerinde taneler arasında boşlukların var olduğu görülmektedir. Bunlara ek olarak tanelerin şeklinin daha köşeli olduğu ayrıca tanelerin içinde kopmaların geliştiği göze çarpmaktadır.

4.7 Tuz Kristallenmesi Etkilerine Dayanım Deneyi Sonuçları

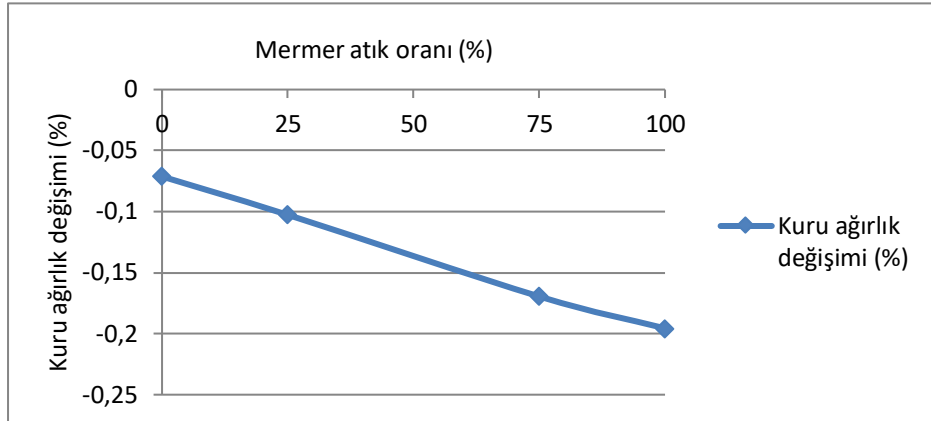
TS EN 12370 standardına uygun olarak yapılan tuz kristallenmesi deney döngülerine başlamadan önce ve uygulanan 30 döngü sonunda numunelerde meydana gelen kuru ağırlık, parlaklık ve renk ölçüm değerlerinde ki değişiklikler incelenmiştir.

4.7.1 Kuru ağırlık tayini sonuçları

Yapılan deneyler sonucunda oluşan ağırlık değişimleri, Eşitlik 3.15'te verilen formüle göre hesaplanmış ve % değişim değerleri Çizelge 4.7'de, değişim değerlerinin grafiksel gösterimi Şekil 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4. 7: Tuz kristallenmesi döngüleri sonrasında yapay mermer numunelerinin kuru ağırlık değerlerindeki değişimler.

Atık mermer karışım oranı	Numune Kodu	Döngü öncesi kuru ağırlık (g)	Döngü sonrası kuru ağırlık(g)	% değişim
% 100 Mermer	M1	226,06	225,61	-0,19
	M2	224,76	224,31	-0,20
	M3	205,54	205,13	-0,19
	M4	244,71	244,26	-0,18
			Ortalama±std.spm	-0,20±0,01
% 75 Mermer	MG1	218,82	218,39	-0,19
	MG2	240,46	240,06	-0,16
	MG3	248,6	248,22	-0,15
% 25 Granit	MG4	239,98	239,59	-0,16
			Ortalama±std.spm	-0,17±0,02
% 75 Granit	GM1	236,62	236,35	-0,11
	GM2	239,44	239,17	-0,11
% 25 Mermer	GM3	236,03	235,8	-0,09
	GM4	243	242,79	-0,08
		Ortalama±std.spm	-0,10±0,01	
% 100 Granit	G1	226,41	226,22	-0,08
	G2	229,54	229,38	-0,06
	G3	237,42	237,26	-0,06
	G4	218,58	218,44	-0,06
			Ortalama±std.spm	-0,07±0,01



Şekil 4. 5: Tuz kristallenmesi deneyi sonucunda yapay mermer numunelerinin kuru ağırlık değişimleri

Çizelge 4.7 ve Şekil 4.5 incelendiğinde örneklerin hepsinde değişen oranlarda ağırlık kayıplarının geliştiği görülmektedir. Ortalama ağırlık kaybı değerleri incelendiği zaman en çok %100 mermer atığı içeren örneklerde ağırlık kaybının geliştiği göze çarpmaktadır. % 100 mermer atığı kullanılarak üretilen serinin porozite değerleri diğer serilerdeki örneklere

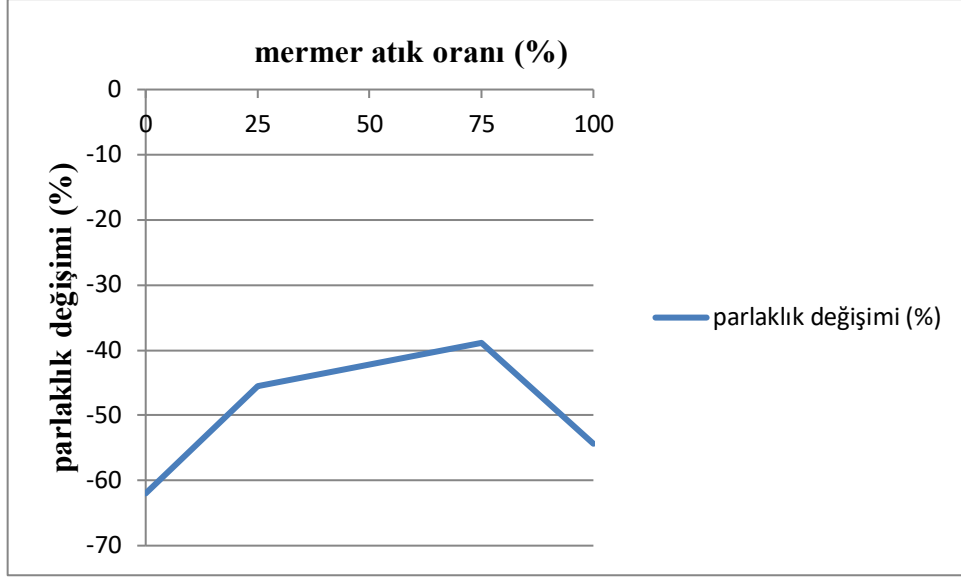
nazaran daha fazla olduğu için bu serinin tuz çözeltisini daha çok absorbe ettiği ve daha fazla deformasyona uğradığı düşünülmüştür. Ağırlık kaybı değerlerinin mermer atık oranı azalmasına bağlı olarak düştüğü Çizelge 4.7 ve Şekil 4.5 den anlaşılmaktadır. Bu noktadan hareketle yapay mermer üretiminde mermer atığı kullanımının tuz kristallenmesinden daha az dayanıklı olduğu sonucunu çıkarmak mümkündür.

4.7.2 Parlaklık değerleri tayini

TS EN 12370 standardında yapılan tuz kristallenmesi döngülerine başlamadan önce ve döngüler sonucunda deneye tabii tutulan örneklerin her birinin üç farklı yüzeyinden parlaklık ölçümleri alınmış ve ortalamaları hesaplanarak Çizelge 4.8’de verilmiştir. Parlaklık değerlerinde meydana gelen değişimler % cinsinden Eşitlik 3.10’a göre hesaplanarak Çizelge 4.8’de, değişimlerin grafiksel gösterimi Şekil 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4. 8: Yapay mermer örneklerinin tuz kristallenmesi deneyi parlaklık değerleri ve değişimleri.

Atık mermer karışım oranı	Numune Kodu	Döngü Öncesi Parlaklık (GU)	Döngü Sonrası Parlaklık (GU)	% Değişim
%100 Mermer	M1	4,93	1,25	-74,61
	M2	4,43	1,15	-74,01
	M3	1,13	1	-11,11
	M4	2,68	1,13	-57,94
			Ortalama±std.spm	-54,42±29,89
%75 Mermer	MG1	0,83	0,9	9,09
	MG2	2,85	1,43	-50
	MG3	2,05	1,28	-37,80
%25 Granit	MG4	4,53	1,05	-76,79
			Ortalama±std.spm	-38,88±35,89
%75 Granit	GM1	0,88	0,75	-14,28
	GM2	2,07	1	-51,80
	GM3	1,17	0,65	-44,68
%25 Mermer	GM4	2,17	0,63	-71,26
			Ortalama±std.spm	-45,51±23,65
%100 Granit	G1	3,25	0,75	-76,92
	G2	2,35	0,88	-62,76
	G3	2,93	1	-65,81
	G4	1,65	0,95	-42,42
			Ortalama±std.spm	-61,98±14,39



Şekil 4. 6: Tuz kristallenmesi deneyi sonucunda numunelerin parlaklık değerleri değişimleri

Tuz kristallenmesi döngüleri sonunda parlaklık ve % değişim değerlerini ı veren Çizelge 4.8 ve Şekil 4.6.incelendiğinde örneklerin tamamında genel olarak parlaklık oranında azalmanın gerçekleştiği, sadece %75 mermer %25 granit içeren MG1 numunesinde %0,075 oranında artmanın geliştiği görülmektedir. %100 granit numunesi ile yapılan örnekler en fazla parlaklık değişimi görülen numuneler olmuştur. En az değişim ise %75 mermer %25 granit içeren numunelerde olmuştur. Örneklerin parlaklık değişimlerinin ortalamalarına bakılacak olduğunda ise tüm serilerde parlaklık azalması gelişmiştir. Numune yüzeylerinde kuruyan tuz çözeltilerinin etkisi ile örneklerin parlaklık değerlerinin düştüğü söylenebilir. Granit atığı kullanılarak üretilen yapay mermer örnekleri parlaklık değişimi açısından en avantajlı grup olarak değerlendirilmiştir.

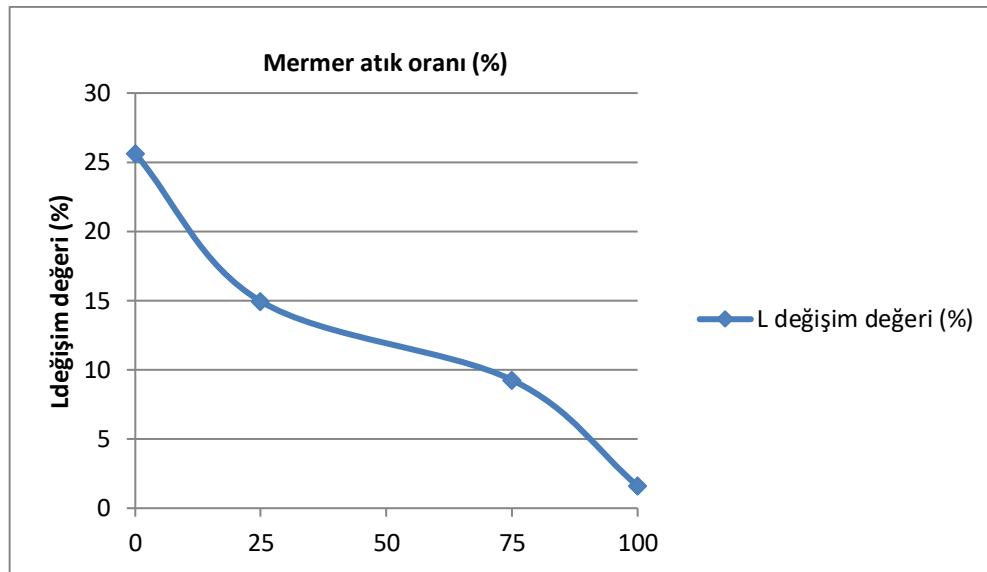
4.7.3 Renk ölçümleri sonuçları

TS EN 12370 standardına göre yapılan deneyde tuz kristallenmesi döngülerine başlamadan önce ve 30 döngü sonunda deney numunelerinin yüzeylerindeki farklı noktalardan alınan renk ölçümlerinin ortalamaları ve bu değerlerde gerçekleşen değişimler Eşitlik 3.12-3.14'e göre hesaplanarak Çizelge 4.9 -4.11'de, değişim değerlerinin grafiksel gösterimi Şekil 4.7-4.9'da verilmiştir.

L (siyahlık- beyazlık) değışimleri

Çizelge 4. 9: Tuz kristallenmesi deney öncesi ve sonrası L (siyahlık-beyazlık) değeri ve değışimleri

Atık mermer karışım oranı	Numune Kodu	“L” döngü öncesi	“L” döngü sonrası	% değışim
%100 Mermer	M1	59,66	60,16	0,83
	M2	59,04	59,85	1,36
	M3	58,75	60,27	2,57
	M4	59,60	60,59	1,66
	Ortalama±std.spm			1,61±0,73
%75 Mermer	MG1	48,25	51,04	5,78
	MG2	47,41	55,84	17,77
	MG3	46,61	50,44	8,22
%25 Granit	MG4	47,64	50,15	5,26
	Ortalama±std.spm			9,26±5,82
%75 Granit	GM1	34,59	39,73	14,85
	GM2	33,68	39,66	17,74
%25 Mermer	GM3	33,94	37,96	11,84
	GM4	32,43	37,40	15,32
%100 Granit	Ortalama±std.spm			14,94±2,29
	G1	30,03	37,07	23,46
	G2	30,42	38,79	27,50
	G3	30,95	37,66	21,65
	G4	30	38,96	29,87
Ortalama±std.spm			25,62±3,74	



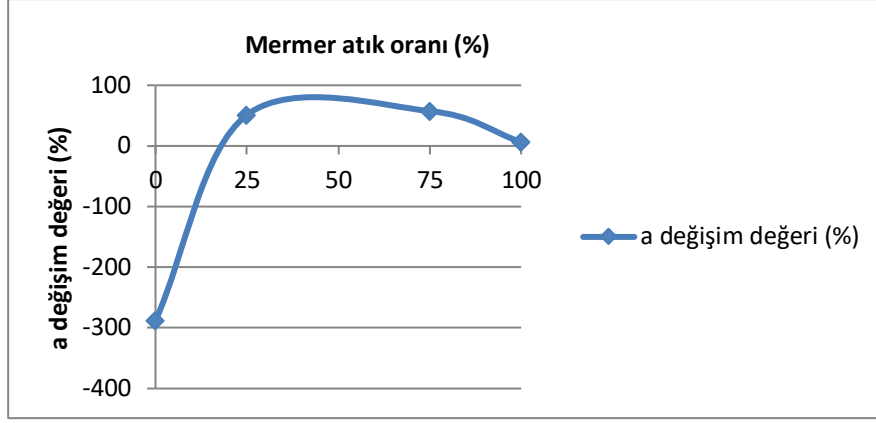
Şekil 4. 7: Tuz kristallenmesi deney öncesi ve sonrası L(siyahlık-beyazlık) değeri ve değışimleri

Çizelge 4.9 ve Şekil 4.7 incelendiğinde yapılan 30 tuz kristallenmesi döngüsü sonucunda örneklerin L değerlerinde artış gerçekleştiği görülmektedir. L değerlerinin artması örneklerin beyazlık değerlerinin arttığı anlamı taşımaktadır. Tuz kristallenmesi deney numuneleri incelendiğinde %100 mermer içeren numunelerin rengi açık olduğundan en az değişim bu numunelerde görülmüştür. %100 granit içeren numunelerde ise renk koyu olduğundan sodyum sülfat tuzları numune yüzeyine etki ederek yüzeyin renginin açılmasına neden olmuştur.

a (yeşillik - kırmızılık) değişimleri

Çizelge 4. 10: Tuz kristallenmesi deney öncesi ve sonrası a (yeşillik – kırmızılık) değerleri ve değişimleri

Atık mermer karışım oranı	Numune Kodu	“a” Döngü Öncesi	“a” Döngü Sonrası	% Değişim
%100 Mermer	M1	5,83	6,12	4,91
	M2	5,72	6,22	8,73
	M3	5,68	6,15	8,21
	M4	5,86	6,04	3,01
			Ortalama±std.spm	6,22±2,73
%75 Mermer	MG1	1	1,53	53,66
	MG2	0,96	0,81	-16,20
%25 Granit	MG3	0,83	1,68	101,19
	MG4	0,84	1,61	90,94
			Ortalama±std.spm	57,39±53,15
%75 Granit	GM1	-0,69	-0,38	44,49
	GM2	-0,76	-0,32	57,45
%25 Mermer	GM3	-0,87	-0,35	59,16
	GM4	-0,70	-0,4	43,39
			Ortalama±std.spm	51,13±8,33
%100 Granit	G1	-0,38	-0,43	-13,91
	G2	-0,10	-0,62	-500
	G3	-0,25	-0,55	-122,66
	G4	-0,12	-0,74	-516,66
			Ortalama±std.spm	-288,3±257,9



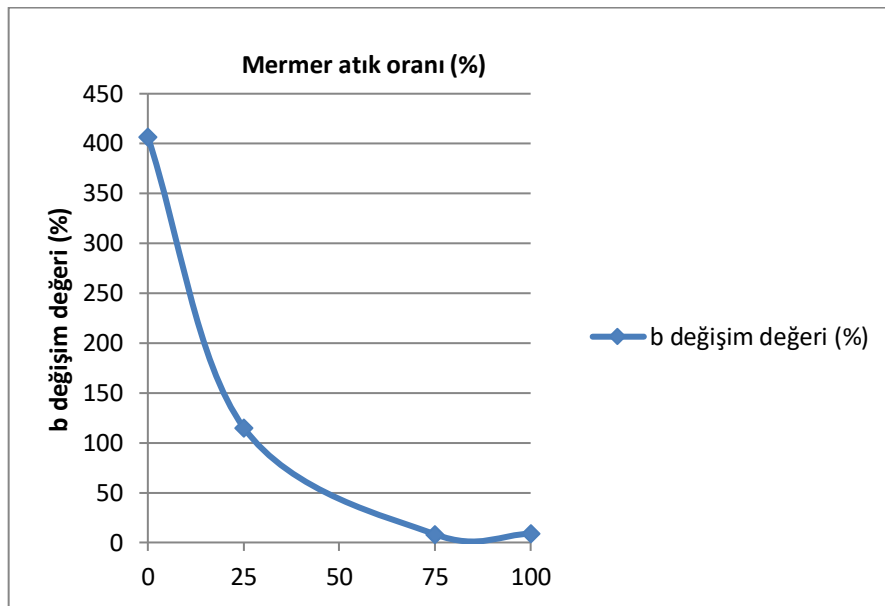
Şekil 4. 8: Tuz kristallenmesi deney öncesi ve sonrası a (yeşillik – kırmızılık) değerlerinin değışimi

Çizelge 4.10 ve Şekil 4.8 incelendiğinde 30 döngü sonrasında a (yeşillik – kırmızılık; $a < 0$ »yeşil, $a > 0$ »kırmızı) değerinde genellikle artma olduğu yani örneklerin kırmızılık değerlerinin arttığı görülmektedir. Fakat %100 granit içeren numunelerde a değerinde azalma gelişmiştir. Bu durum yeşillik değerinin arttığını ifade etmektedir. %100 granit atığı kullanılarak üretilen yapay mermer örneklerinin a değerindeki değışim oranı diğer seriler ile kıyaslandığında oldukça fazladır. Granit atığının bu bakımdan fazla duraylı olmadığı anlaşılmaktadır.

b (mavilik - sarılık) değişimleri

Çizelge 4. 11: Tuz kristallenmesi deney öncesi ve sonrası b (mavilik – sarılık) değerleri ve değişimleri

Atık mermer karışım oranı	Numune kodu	“b” döngü öncesi	“b” döngü sonrası	% değişim
%100 Mermer	M1	13,74	14,96	8,87
	M2	13,86	15,29	10,32
	M3	13,95	15,53	11,32
	M4	13,87	14,48	4,39
	Ortalama±std.spm			8,73±3,05
%75 Mermer	MG1	7,59	8,88	16,99
	MG2	7,77	6,47	-16,64
	MG3	7,86	9,24	17,55
%25 Granit	MG3	7,95	9,16	15,12
	Ortalama±std.spm			8,26±16,63
%75 Granit	GM1	2,35	5,04	114,44
	GM2	2,79	4,82	72,75
%25 Mermer	GM3	2,19	5,08	131,76
	GM4	2,15	5,24	143,12
Ortalama±std.spm			115,5±30,85	
%100 Granit	G1	0,84	2,42	188,49
	G2	0,50	3,87	668,87
	G3	0,97	2,77	185,27
	G4	0,55	3,75	585,31
	Ortalama±std.spm			406,9±256,4



Şekil 4. 9: Tuz kristallenmesi deney öncesi ve sonrası b (mavilik – sarılık) değişim grafiği

Örneklerin b değerlerini ve döngüler sonundaki değişimlerini veren Çizelge 4.11 ve Şekil 4.9 incelendiğinde numunelerin hepsinde b (mavilik – sarılık; $b > 0$ » sarı, $b < 0$ » mavi) değerlerinde artmaların olduğu görülmektedir. Bu durum örnek renklerdeki mavileşmenin artışı ifade etmektedir. Mermer atık oranı azaldıkça örnek b değerlerindeki artış daha büyük oranlarda gelişmiştir.

4.7.4 Toplam renk değişimleri

Yapılan renk ölçümleri sonucunda örneklerin toplam renk değişimleri Eşitlik 3.11 ile hesaplanmış sonuçlar Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4. 12: Tuz kristallenmesi deney sonucunda numunelerinin toplam renk değişimleri (ΔE)

Atık mermer karışım oranı	Numune kodu	Deney sonrası renk değişimi (%)
% 100 Mermer	M1	2,72
	M2	2,14
	M3	1,00
	M4	1,66
		1,88±0,73
% 75 Mermer	MG1	2,71
	MG2	5,82
% 25 Granit	MG3	9,10
	MG4	4,16
		5,45±2,75
% 75 Granit	GM1	10,11
	GM2	11,41
% 25 Mermer	GM3	10,63
	GM4	12,77
		11,23±1,16
% 100 Granit	G1	9,94
	G2	13,99
	G3	8,42
	G4	18,09
		12,61±4,34

Toplam renk değişim sonuçlarını veren Çizelge 4.12 incelendiğinde tuz kristallenmesi deney döngüleri sonucunda numunelerin hepsinde değişik oranlarda renk değişimlerinin meydana geldiği görülmektedir. Bu değişim en fazla %100 granit atığı içeren seride gelişmiştir. Granit atıklı örnekler renk değişimleri açısından daha az kararlı bir tutum sergilemiştir.

4.7.5 Tuz kristallenmesi döngüleri sonucunda Schmidt sertliği deney sonuçları

Yapılan 30 tuz kristallenmesi döngüsü neticesinde örneklerin Schmidth sertlikleri tekrar ölçülmüş ve ortalama değerler hesaplanmıştır. Tuz kristallenmesi döngüsü uygulanmayan örneklerle kıyaslama yapıldığında değerlerde meydana gelen değişimler % cinsinden hesaplanarak Çizelge 4.13’de verilmiştir.

Çizelge 4. 13: tuz kristallenmesi deney sonucunda numunelerin Schmidt çekici sertlik değerleri ve değişimleri

Atık mermer karışım oranı	Schmidt Çekici Sertlik değerleri	Herhangi bir döngü uygulanmayan örneklerin Schmidt Çekici Sertlik Değeri	Döngüler sonunda meydana gelen değişim (%)
%100 mermer	43,2	41,44	4,24
%75 mermer, %25 granit	45,8	36,83	24,35
%25 mermer, %75 granit	44,2	35,38	24,92
%100 granit	41,8	40,57	3,03

Çizelge 4.13 incelendiğinde tuz kristallenmesi deneyine tabi tutulan deney numunelerinin Schmidt sertliklerinin herhangi bir döngü uygulanmayan numunelere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Schmidt sertlik % değişim değeri incelendiğinde en az değişim %100 granit içeren numunelerde olmuştur.

4.7.6 Tuz kristallenmesi döngüleri sonucunda tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçları

Yapılan 30 tuz kristallenmesi döngüsü neticesinde örneklerin tek eksenli basma dayanımları tekrar ölçülmüş ve ortalama değerler hesaplanmıştır. Tuz kristallenmesi döngüsü uygulanmayan örneklerle kıyaslama yapıldığında değerlerde meydana gelen değişimler % cinsinden hesaplanarak Çizelge 4.14 de verilmiştir.

Çizelge 4. 14: Tuz kristallenmesi deney numunelerinin basma dayanımı deney sonuçları

Atık mermer karışım oranı	Tuz kristallenmesi döngüleri sonunda ölçülen Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)	Herhangi bir döngü uygulanmayan örneklerin Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)	Döngüler sonunda meydana gelen değişim (%)
%100 mermer	74,40	60,14	25,37
%75 mermer, %25 granit	51,19	64,16	-20,21
%25 mermer, %75 granit	62,62	58,98	-3,39
%100 granit	72,64	72,73	-0,12

Tuz kristallenmesi döngüleri sonrasında yapılan tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçları Deer ve Miller (1966) sınıflandırılmasına göre değerlendirildiğinde örneklerin orta dirençli basınç dayanımı sınıfına girdiği görülmektedir. Örneklerin tuz kristallenmesi döngüleri sonucunda tek eksenli basınç dayanımı değerleri döngülere tabii tutulmayan örneklerin basınç dayanımı değerleriyle kıyaslandığındaki %100 mermer atığı içeren örnekler hariç değerlerde azalmaların geliştiği görülmektedir. %100 mermer atığı içeren örneklerin basınç dayanımı değerlerinde ise artma meydana gelmiştir. Tuz kristallenmesi etkisine bırakılan örneklerde yüzeyde ve gözeneklerde biriken tuz kristallerinin baskısı ile oluşan zayıflık zonlarının tek eksenli basma dayanımı değerlerini düşürdüğü düşünülmüştür.

4.8 Termal Şok Etkilerine Dayanım Deney Sonuçları

TS EN 14066 standardına uygun olarak yapılan termal şok deney döngülerine başlamadan önce ve 30 döngü sonunda numunelerde meydana gelen parlaklık, kuru ağırlık, renk, sertlik ve tek eksenli basınç dayanımı değerleri ki değişiklikler incelenmiştir.

Döngüler ilerledikçe termal şok deneyinde kullanılan numunelerin bir çoğunda kırılmalar gözlemlenmiş olup bunun nedeninin kullanılan reçinenin ısı dayanımının düşük olmasından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Kırılan numunelere ait görüntü Şekil 4.10'da verilmiştir.



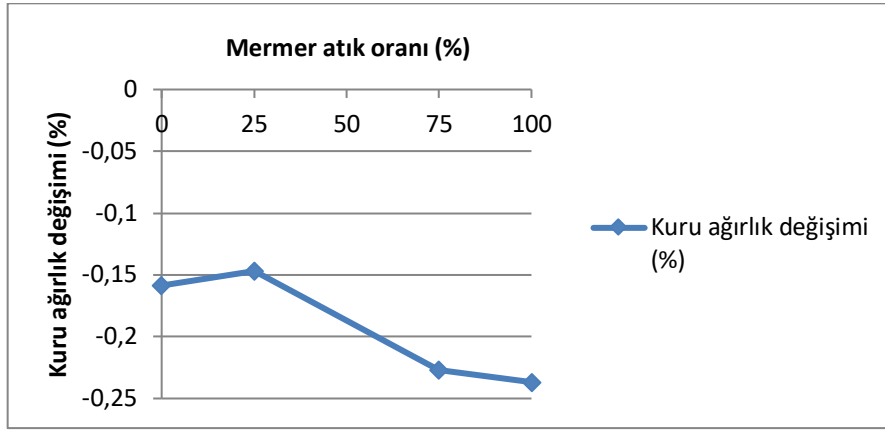
Şekil 4. 10: Termal şok deney döngüsünde kırılan numuneler

4.8.1 Kuru ağırlık tayini sonuçları

Yapılan deneyler sonucunda oluşan ağırlık değişimleri, Eşitlik 3.15'te verilen formüle göre hesaplanmış ve % değişim değerleri Çizelge 4.15'de değişim değerlerinin grafiksel gösterimi Şekil 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4. 15: Termal şok deneyine tabi tutulan numunelerin kuru ağırlık değişimleri

Atık mermer karışım oranı	Numune kodu	Döngü öncesi kuru ağırlık (g)	Döngü sonrası kuru ağırlık(g)	% değişim
% 100 Mermer	M8 1	220,83	220,2	-0,28
	M9 2	238,21	237,72	-0,20
	M10 3	205,83	205,42	-0,19
	M11 4	232,18	231,48	-0,30
	M12 5	234,18	233,73	-0,19
			Ortalama±std.spm	-0,24±0,05
% 75 Mermer	MG1	234,01	233,61	-0,17
	MG2	230,8	230,04	-0,32
	MG3	239,46	239,04	-0,17
% 25 Granit	MG7	215,91	215,36	-0,25
	MG13	232,9	232,42	-0,20
			Ortalama±std.spm	-0,23±0,06
% 75 Granit	GM2	237,05	236,78	-0,11
	GM5	233,44	233,14	-0,12
% 25 Mermer	GM6	236,61	236,21	-0,16
	GM8	209,67	209,4	-0,12
	GM9	236,77	236,31	-0,19
			Ortalama±std.spm	-0,15±0,03
% 100 Granit	G7	230,41	230,03	-0,16
	G8	223,41	223,02	-0,17
	G9	223,29	223,00	-0,12
	G10	225,04	224,63	-0,18
	G11	219,32	219,01	-0,14
			Ortalama±std.spm	-0,16±0,02



Şekil 4. 11: Termal şok deneyine tabi tutulan numunelerin kuru ağırlık değişim grafiği

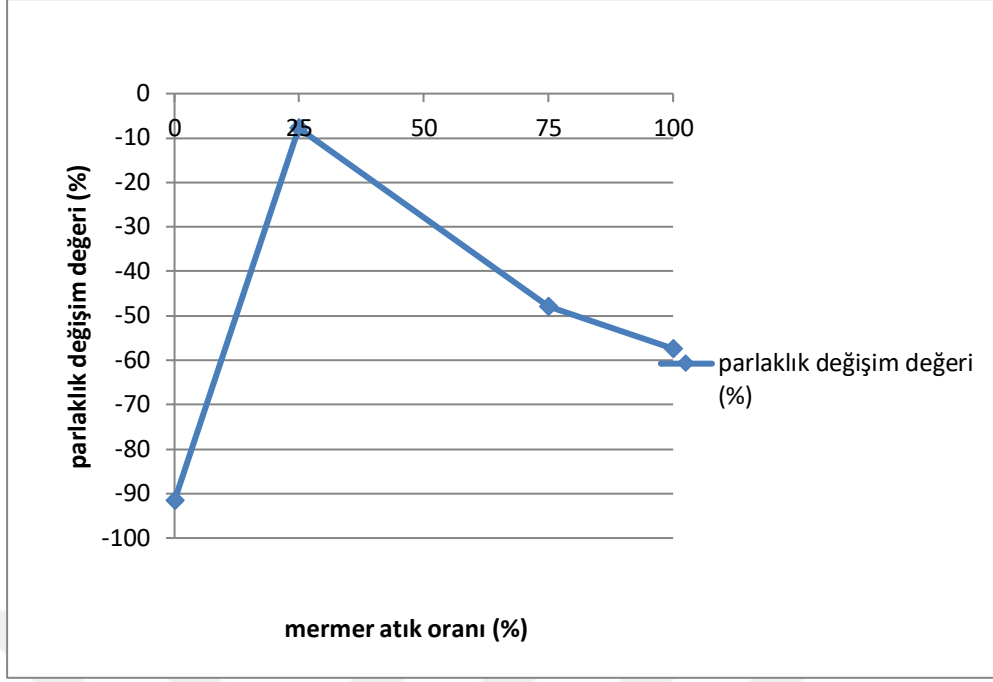
Çizelge 4.15 ve Şekil 4.11 incelendiğinde örneklerin tümünde farklı oranlarda ağırlık kayıpları olduğu gözlemlenmiş olup en fazla ağırlık kaybı %100 mermer atığı içeren numunelerde gelişmiştir. Teral şok uygulamalarında mermer atığı içeren numuneler döngüler ilerledikçe kırılma eğiliminde olmuşlardır. Bu eğilim mermer atığı oranı azaldıkça azalmıştır. Granit atığının ani ısı değişimlere karşı daha kararlı bir tutum sergilediği ve daha az deformasyona uğradığı elde edilen bu sonuçlardan çıkarılabilir. Bu durumun granit atığının mineralojik bileşiminden kaynaklandığı düşünülmüştür.

4.8.2 Parlaklık değerleri tayini

TS EN 14066 standardında tanımlanan yöntemle yapılan deneyde termal şok döngülerine başlamadan önce ve 30 döngü sonrasında örneklerin üç farklı yüzeyinden ölçüm alınarak ortalama değerleri bulunmuştur. Değerler ve meydana gelen değişim değerleri Çizelge 4.16 da grafiksel gösterimi Şekil 4.12 de verilmiştir

Çizelge 4. 16: Termal şok deneyi sonrası parlaklık ve değişim değerleri

Atık mermer karışım oranı	Numune kodu	Döngü öncesi parlaklık (GU)	Döngü sonrası Parlaklık (GU)	% Değişim
%100Mermer	M1	3,25	1,15	-64,62
	M2	2,03	1,13	-44,45
	M3	1,98	1,1	-44,30
	M4	3,28	1,28	-61,07
	M5	4,2	1,15	-72,62
			Ortalama±std.spm	-57,41 ±12,61
%75 Mermer	MG1	4,78	1,33	-72,25
	MG2	2,9	1,23	-57,76
%25 Granit	MG3	5,2	0,98	-81,25
	MG4	0,7	0,95	35,71
	MG5	2,6	0,93	-64,42
			Ortalama±std.spm	-47,99±47,61
%75 Granit	GM1	2,18	0,48	-78,16
	GM2	1,18	0,78	-34,04
%25 Mermer	GM3	1,45	0,85	-41,38
	GM4	0,43	0,88	105,88
	GM5	0,85	0,93	8,82
			Ortalama±std.spm	-7,77±70,65
%100 Granit	G1	2,48	0,15	-93,93
	G2	2,08	0,08	-96,39
	G3	2,48	0,1	-95,96
	G4	1,65	0,28	-83,33
	G5	1,68	0,2	-88,06
			Ortalama±std.spm	-91,54±5,66



Şekil 4. 12: Termal şok deneyi sonrası parlaklık değişimlerinin grafiksel gösterimi

Çizelge 4.16 ve Şekil 4.12 incelendiğinde ortalama değerler baz alındığında tüm serilerin parlaklık değerlerinin değişen oranlarda azaldığı gözlemlenmektedir. Bu azalma en fazla %100 granit atıklı örnekte gelişmiştir. Örneklerin granit atığı oranı azaldıkça parlaklıktaki düşüş azalmıştır.

4.8.3 Renk ölçümleri sonuçları

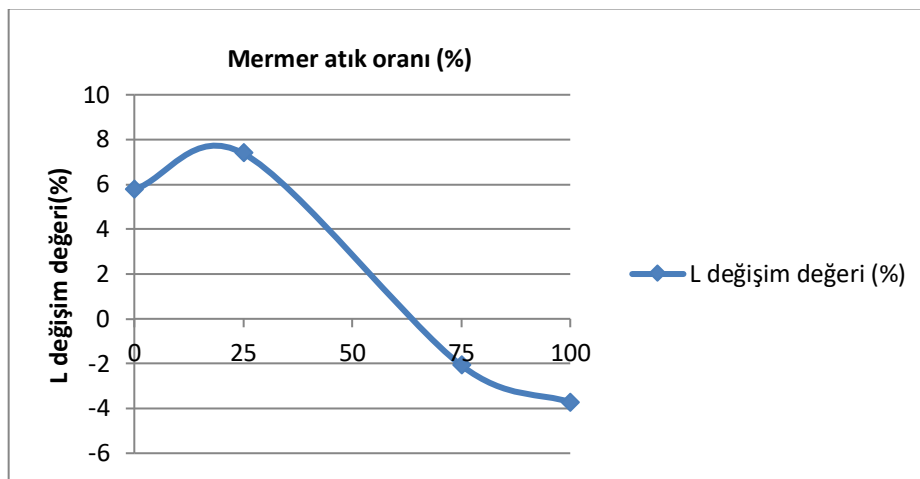
TS EN 14066 standartına göre yapılan termal şok döngülerinin başlangıcında ve 30 döngü sonrasında örneklerin üç farklı yüzeyinden renk parametrelerinin ölçümleri (L, a, b) alınarak ortalama değerleri bulunmuştur. Meydana gelen değişiklikler 3.12-3.13 ve 3.14 eşitliğine göre belirlenmiştir.

Deney öncesi ve deney sonrası oluşan renk değişimleri Çizelge 4.17-4.19'da grafiksel gösterimi Şekil 4.13-4.15'te verilmiştir.

L (siyahlık-beyazlık) değişimleri

Çizelge 4. 17: Termal şok deney öncesi ve sonrası L(siyahlık-beyazlık) değişimleri

Atık mermer karışım oranı	Numune kodu	“L” Döngü öncesi	“L” Döngü sonrası	% değişim
%100Mermer	M1	57,9	56,99	-1,56
	M2	59,26	56,28	-5,03
	M3	59,73	56,32	-5,72
	M4	55,26	54,31	-1,71
	M5	59,71	56,97	-4,59
Ortalama±std.spm				-3,72±1,94
%75 Mermer	MG1	48,01	46,22	-3,74
	MG2	48,59	46,04	-5,19
	MG3	47,7	46,39	-2,75
%25 Granit	MG4	47,92	44,56	-7,02
	MG5	44,29	47,97	8,31
	Ortalama±std.spm			
%75 Granit	GM1	34,09	38,4	12,62
	GM2	34,11	37,78	10,75
	GM3	33,44	32,79	-1,94
%25 Mermer	GM4	32,89	36,77	11,78
	GM5	33,54	34,79	3,70
	Ortalama±std.spm			
%100 Granit	G1	30,09	31,81	5,69
	G2	29,15	30,45	4,47
	G3	29,73	30,12	1,30
	G4	29,65	30,50	2,87
	G5	29,4	33,67	14,51
Ortalama±std.spm				5,76±5,16



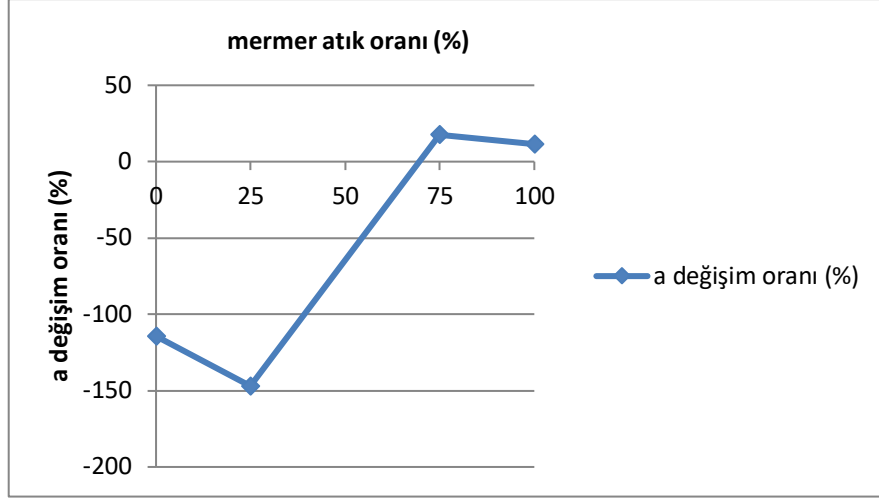
Şekil 4. 13: Termal şok deney sonrası L (siyahlık-beyazlık) değişim değerlerinin grafiksel gösterimi

30 döngü sonrasında L (siyahlık – beyazlık; L= 0 » siyah, L= 100 » beyaz) merer atığı oranı fazla olan örneklerin renklerinde koyulaşma granit atığı fazla olan örmeklerin renklerinde açılma gerçekleşmiştir. Granit atığı ile üretilen örneklerin renklerinin daha koyu olduğu yapılan ilk ölçümlerden anlaşılmaktadır. Grant atıklı örneklerde koyu rengin açılması daha belirgin şekilde geliştiğinden ısı etkiler karşısında renk bozulmalarının daha fazla gelişeceği sonucu çıkarılabilir.

a (yeşillik - kırmızılık) değişimleri

Çizelge 4. 18: Termal şok deney öncesi ve sonrası a (yeşillik – kırmızılık) değerleri ve değişimleri

Atık mermer karışım oranı	Numune kodu	“a” döngü öncesi	“a” döngü sonrası	% Değişim
%100Mermer	M1	5,75	6,27	8,99
	M2	5,76	6,49	12,60
	M3	5,79	6,52	12,54
	M4	5,67	6,63	17,06
	M5	5,87	6,25	6,53
			Ortalama±std.spm	11,54±4,01
%75 Mermer	MG1	0,95	1,03	9,15
	MG2	1,02	1,10	8,52
	MG3	0,95	1,05	10,52
%25 Granit	MG4	0,92	1,087	18,12
	MG5	0,87	1,25	43,68
			Ortalama±std.spm	17,99±14,86
%75 Granit	GM1	-0,70	-1,07	-52,61
	GM2	-0,77	-1,15	-49,14
	GM3	-0,74	-0,79	-6,28
%25 Mermer	GM4	-0,14	-0,97	-614,63
	GM5	-0,79	-0,88	-12,29
			Ortalama±std.spm	-146,9±262,3
%100 Granit	G1	-0,26	-0,63	-141,77
	G2	-0,24	-0,45	-86,30
	G3	-0,24	-0,36	-47,95
	G4	-0,25	-0,53	-111,84
	G5	-0,3	-0,85	-183,33
			Ortalama±std.spm	-114,2±51,75



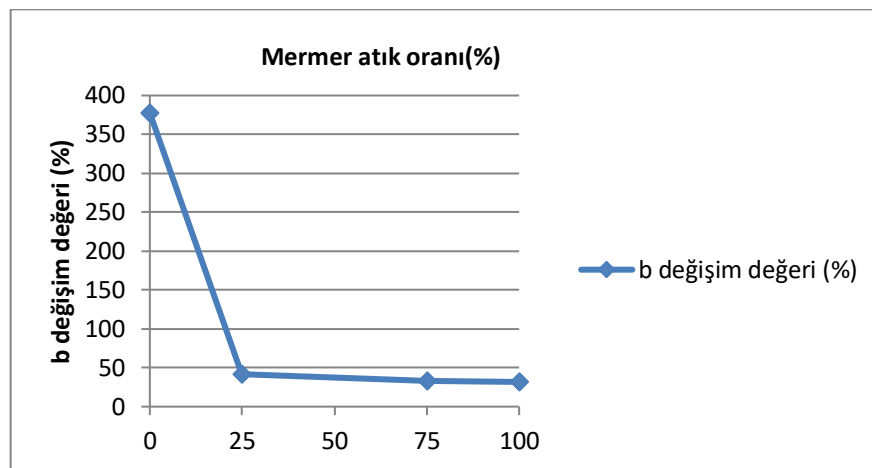
Şekil 4. 14: Termal şok deneyi sonrası a (yeşillik – kırmızılık) değeri değışim grafiği

30 dōngü sonrasında numune yüzeyinde yapılan renk ölçümleri sonucunda granit oranı fazla olan numunelerde a değeri azaldığı mermer atıklı örneklerde ise a değeri arttığı görülmüştür. Bu durum mermer atıklı örneklerin kırmızılık değeri, granit atıklı örneklerin ise yeşillik değeri arttığı anlamına gelmektedir.

b (mavilik - sarılık) değişimleri

Çizelge 4. 19: Termal şok deney öncesi ve sonrası b (mavilik – sarılık) değişimleri

Atık mermer karışım oranı	Numune kodu	“b” Döngü öncesi	“b” Döngü sonrası	% Değişim
%100Mermer	M1	13,93	17,76	27,49
	M2	13,84	18,01	30,05
	M3	13,67	18,34	34,19
	M4	12,57	17,43	38,7
	M5	13,79	17,68	28,20
Ortalama±std.spm				31,73±4,68
%75 Mermer	MG1	7,94	10,79	35,98
	MG2	7,72	10,14	31,25
	MG3	7,75	10,45	34,84
%25 Granit	MG4	7,64	9,94	30,06
	MG5	7,64	10,12	32,40
Ortalama±std.spm				32,91±2,46
%75 Granit	GM1	2,16	5,45	152,47
	GM2	2,75	5,29	92,01
%25 Mermer	GM3	2,77	4,55	64,38
	GM4	2,1	4,85	130,79
	GM5	2,58	4,48	73,55
Ortalama±std.spm				41,65±111,5
%100 Granit	G1	0,8	3,12	290
	G2	0,59	3,15	434,46
	G3	0,8	2,85	256,67
	G4	0,68	2,56	277,83
	G5	0,55	3,99	629,27
Ortalama±std.spm				377,6±157,2



Şekil 4. 15: Termal şok deney öncesi ve sonrası b (mavilik – sarılık) değeri

Çizelge 4.19 ve Şekil 4.15 incelendiğinde 30 döngü sonunda b (mavilik – sarılık; $b > 0$ »sarı, $b < 0$ »mavi) değerinin tüm numunelerde arttığı görülmüştür. Granit içeriği fazla olan numunelerde bu artış büyük oranda gelişmiştir.

4.8.4 Toplam renk değişim değerleri

Yapılan renk ölçüm deneyi sonucunda 3.11’de bulunan eşitlikten toplam renk değişimleri hesaplanmış olup Çizelge 4.20’de sonuçlar verilmiştir.

Çizelge 4. 20: Termal şok deney numuneleri toplam renk değişimi (ΔE)

Atık mermer karışım oranı	Numune kodu	Döngü sonrası renk değişimi (%)
%100Mermer	M1	3,97
	M2	5,16
	M3	5,83
	M4	5,04
	M5	4,77
		4,96±0,68
%75 Mermer	MG1	3,37
	MG2	3,49
%25 Granit	MG3	3,01
	MG4	4,07
	MG5	4,45
		3,68±0,59
%75 Granit	GM1	5,43
	GM2	4,47
%25 Mermer	GM3	1,89
	GM4	4,82
	GM5	2,27
		3,78±1,59
%100 Granit	G1	2,90
	G2	2,88
	G3	2,09
	G4	2,08
	G5	5,50
		3,09±1,41

Çizelge 4.20 incelendiğinde en fazla renk değişiminin mermer atıklı örneklerde olduğu görülmektedir.

Numunelerin çoğunluğu kırıldığından termal şok deney numunelerine Schmidt çekici ve tek eksenli basma dayanımı deneyleri uygulanamamıştır.

4.9 Donma-Çözünme Etkilerine Dayanım Deneyi Sonuçları

TS 699 standardına uygun olarak yapılan donma-çözünme deney döngülerine başlamadan önce ve 30 döngü sonunda numunelerde meydana gelen parlaklık, kuru ağırlık, renk, sertlik ve tek eksenli basınç dayanımı değerlerinde ki değişiklikler incelenmiştir.

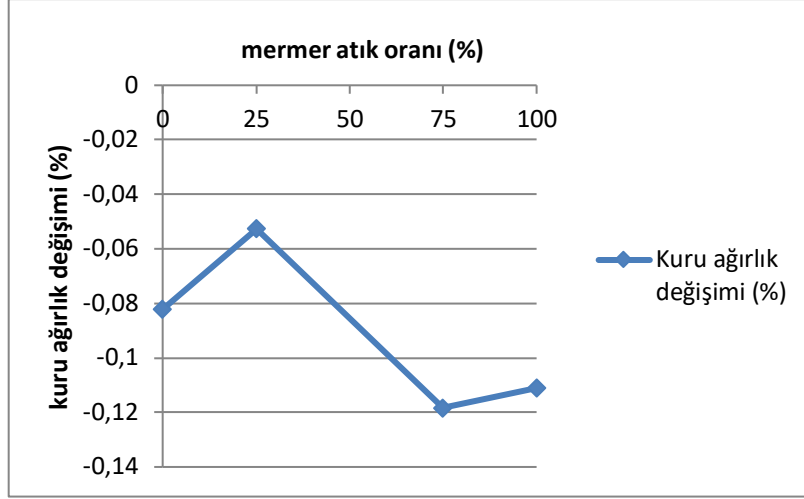
4.9.1 Kuru ağırlık tayini sonuçları

Yapılan deneyler sonucunda oluşan ağırlık değişimleri, Eşitlik 3.15'e göre belirlenmiş ve Çizelge 4.21'de verilmiştir.

Deney öncesi ve sonrasında oluşan ağırlık değişim değerlerinin grafiksel gösterimi Şekil 4.16'da verilmiştir.

Çizelge 4. 21: Donma-Çözünme deney öncesi ve sonrası kuru ağırlık değerleri ve değişimleri

Atık mermer karışım oranı	Numune kodu	Döngü öncesi kuru ağırlık (g)	Döngü sonrası kuru ağırlık(g)	%Değişim
%100 Mermer	M1	229,5	229,25	-0,11
	M2	227,23	227,05	-0,08
	M3	221,15	220,83	-0,14
			Ortalama±std.spm	-0,11±0,03
%75 Mermer	MG1	234,2	233,75	-0,19
	MG2	238,6	238,43	-0,07
%25 Granit	MG3	229,54	229,33	-0,09
			Ortalama±std.spm	-0,12±0,06
%75 Granit	GM1	238,82	238,66	-0,07
	GM2	226,18	226,12	-0,03
%25 Mermer	GM3	232,05	231,9	-0,06
			Ortalama±std.spm	-0,05±0,02
%100 Granit	G1	222,84	222,64	-0,09
	G2	228,37	228,22	-0,07
	G3	219,99	219,79	-0,09
			Ortalama±std.spm	-0,08±0,01



Şekil 4. 16: Donma-Çözünme deneyi öncesi ve sonrası kuru ağırlık değişim grafiği

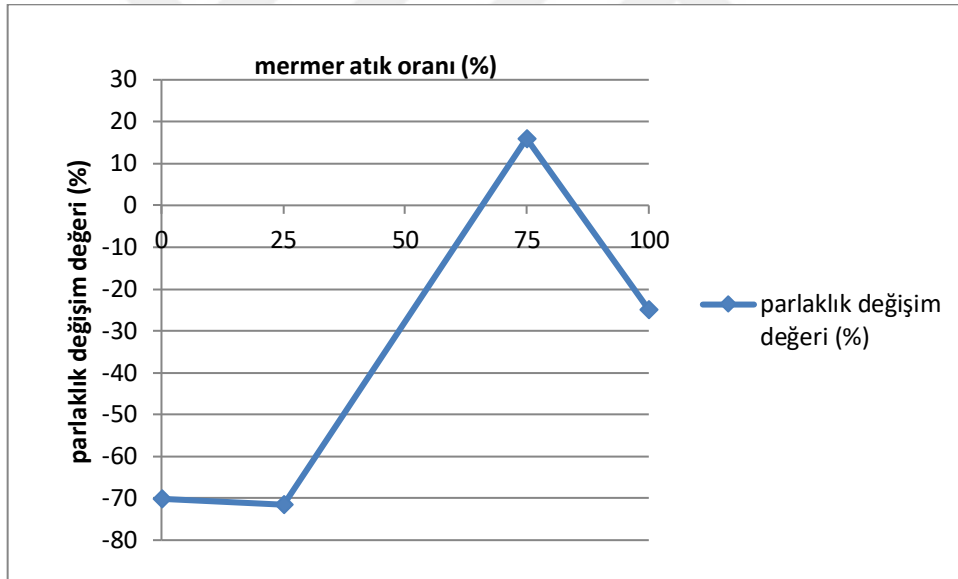
Donma-çözünme döngülerine tabii tutulan örneklerin hepsinde deney sonrasında değişik oranlarda ağırlık kayıpları olduğu gözlemlenmiş olup en fazla ağırlık kaybı %75 mermer %25 granit içeren numunelerde (%0,85) oranı ile, en az ağırlık kaybının ise %25 mermer, %75 granit atığı içeren örneklerde gelişmiştir. Mermer atığı kullanılarak üretilen yapay mermer örneklerinin porozite değerlerinin daha yüksek olması bünyesine daha fazla miktarda su almasına neden olmuş ve döngüler esnasında donup çözünen suyun numunede deformasyonlara sebebiyet vererek kopmalara yol açmış ve bu grupta daha fazla ağırlık kaybı gelişmiştir.

4.9.2 Parlaklık değerleri tayini

TS EN 699 standardına göre yapılan deneyde donma-çözünme deneyi döngülerine başlamadan önce ve 30 döngü sonunda örnek yüzeylerinden üç farklı noktadan parlaklık ölçümleri alınmış ve meydana gelen değişimler Çizelge 4.22’de, parlaklık değişimlerinin grafiksel gösterimi ise Şekil 4.17’de verilmiştir.

Çizelge 4. 22: Donma-Çözünme deney öncesi ve sonrası parlaklık ve değişim değerleri

Atık mermer karışım oranı	Numune kodu	Döngü öncesi	Döngü sonrası	%Değişim
%100 Mermer	M1	1,88	0,68	-64
	M2	0,96	0,68	-30,77
	M3	1	1,2	20
	Ortalama±std.spm			-24,92±42,30
%75 Mermer %25 Granit	MG1	1,1	0,78	-29,55
	MG2	0,55	0,88	59,11
	MG3	0,95	1,13	18,42
	Ortalama±std.spm			15,98±44,36
%75 Granit %25 Mermer	GM1	2,63	0,58	-78,12
	GM2	2,6	0,75	-71,15
	GM3	1,88	0,65	-65,33
	Ortalama±std.spm			-71,53±6,38
%100 Granit	G1	2,13	0,78	-63,53
	G2	2,7	1,25	-53,71
	G3	1,13	0,08	-93,33
	Ortalama±std.spm			-70,18±20,63



Şekil 4. 17: Donma-Çözünme deney örneklerinde parlaklık değişimlerinin grafiksel gösterimi

Çizelge 4.22 ve Şekil 4.17 incelendiğinde ortalama değerler baz alındığında %75 mermer atık tozu içeren numunelerin parlaklık değerlerinde artış diğer örneklerin parlaklık değerlerinde ise azalma olduğu görülmektedir. Atık granit tozu ile üretilen yapay mermer örneklerinde donma- çözünme döngülerinin daha fazla yıpratıcı etkiye sahip olduğu

gözlemlenmiştir. Granit atığı içindeki minerallerin farklı özelliklerde olmasının bu durumun sebebi olabileceği düşünülmüştür.

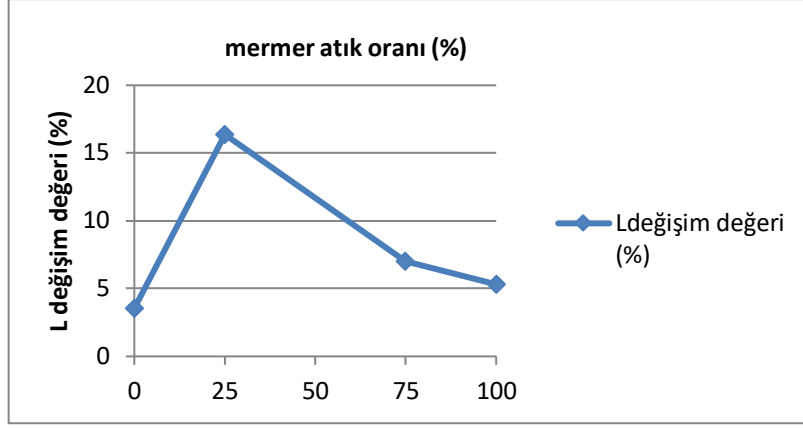
4.9.3 Renk ölçümleri sonuçları

TS EN 699 standardına göre yapılan deneyde 30 donma çözünme döngüsü sonunda örneklerin üç farklı yüzeyinden renk ölçümleri alınarak renk parametrelerinin (L, a, b) ortalamaları ve % değişimleri hesaplanmıştır. Deney öncesi ve deney sonrası oluşan renk değişimleri Çizelge 4.23-4.25'te verilmiştir. L-a-b renk değişim değerlerinin grafiksel gösterimi Şekil 4.18-4.20'de verilmiştir.

L (siyahlık-beyazlık) değişimleri

Çizelge 4. 23: Donma-Çözünme deney öncesi ve sonrası L (siyahlık-beyazlık) değişimleri

Atık mermer karışım oranı	Numune kodu	“L” Döngü öncesi	“L” Döngü sonrası	% değişim
%100 Mermer	M1	58,07	62,30	7,29
	M2	58,51	60,33	3,11
	M3	59,16	62,37	5,44
			Ortalama±std.spm	5,28±2,09
%75 Mermer	MG1	47,66	50,94	6,89
	MG2	47,33	52,33	10,56
	MG3	48,62	50,39	3,64
%25 Granit			Ortalama±std.spm	7,03±3,46
%75 Granit	GM1	32,62	36,66	12,39
	GM2	33,04	40,37	22,18
	GM3	33,05	37,85	14,52
%25 Mermer			Ortalama±std.spm	16,36±5,14
%100 Granit	G1	29,93	31,55	5,44
	G2	30,99	30,85	-0,44
	G3	29,88	31,57	5,64
			Ortalama±std.spm	3,54±3,45



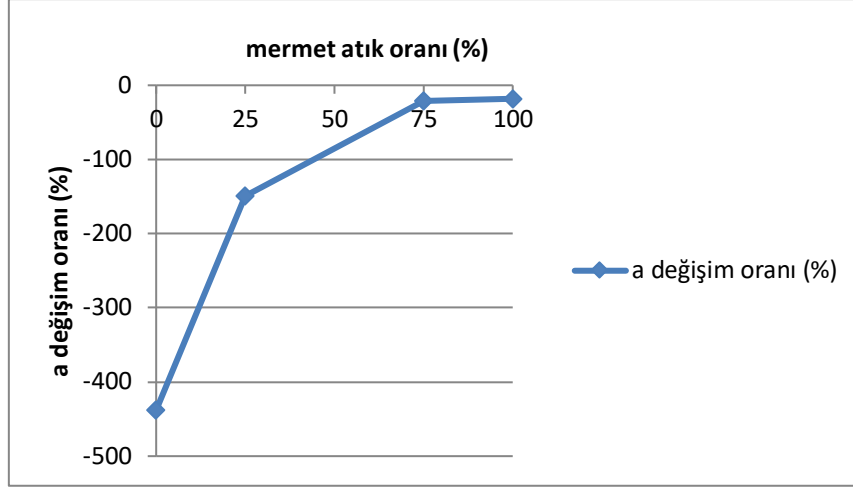
Şekil 4. 18: Donma-Çözünme deney öncesi ve sonrası L (siyahlık-beyazlık) değişimleri

Deney öncesi ve 30 döngü sonrasında numunelerin L (siyahlık – beyazlık; L= 0» siyah, L= 100» beyaz) değerlerinde genel olarak artma gözlemlenmiştir. Şekil 4.18 incelendiğinde %25 mermer atığı içeren numunelerde en fazla renk değişimi görülmüştür. Donma çözünme döngüleri numunelerin renklerinin açılmasına neden olmuştur. Bu açılma % 75 granit atığı içeren seride daha fazla gözlemlenmiştir. Bu durum granit atığının donma çözünme döngülerine daha az duraylı olduğu anlamına gelmektedir.

a (yeşillik - kırmızılık) değişimleri

Çizelge 4. 24: Donma-Çözünme deney öncesi ve sonrası a (yeşillik – kırmızılık) değişimleri

Atık mermer karışım oranı	Numune kodu	“a” döngü öncesi	“a” döngü sonrası	%değişim
% 100 Mermer	M1	5,65	4,38	-22,48
	M2	5,72	4,69	-17,84
	M3	5,78	4,93	-14,81
	Ortalama±std.spm			-18,37±3,86
% 75 Mermer	MG1	0,90	0,51	-43,54
	MG2	0,94	0,98	3,90
%25 Granit	MG3	1,06	0,81	-23,27
	Ortalama±std.spm			-20,97±23,80
% 75 Granit	GM1	-0,74	-1,38	-86,87
	GM2	-0,63	-1,82	-186,84
%25 Mermer	GM3	-0,54	-1,49	-175,31
	Ortalama±std.spm			-149,6±54,69
% 100 Granit	G1	-0,18	-0,48	-169,81
	G2	-0,13	-1,01	-674,36
	G3	-0,14	-0,82	-469,77
	Ortalama±std.spm			-437,9±253,7



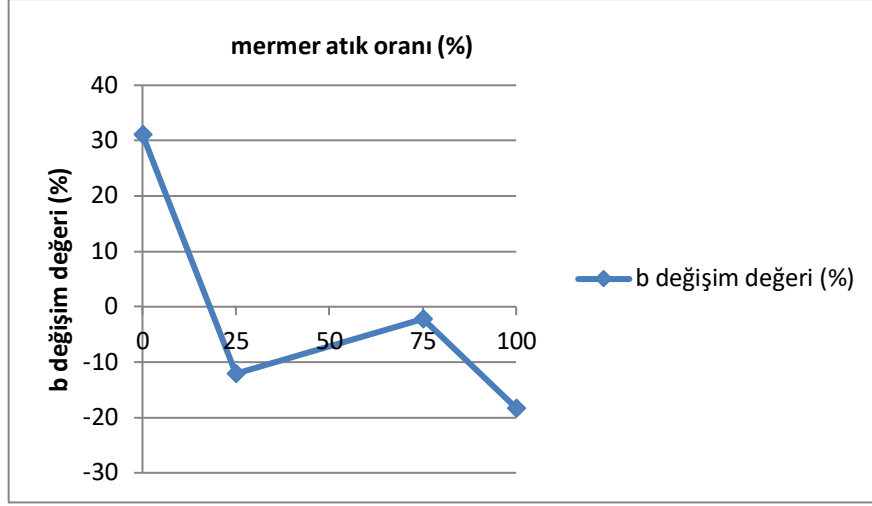
Şekil 4. 19: Donma-çözünme deney öncesi ve sonrası a (yeşillik – kırmızılık) değişim grafiği

Çizelge 4.24 ve Şekil 4.19 incelendiğinde donma-çözünme döngüleri neticesinde örneklerin tümünün a değerlerinde değişen oranlarda azalmanın meydana geldiği görülmektedir. Bu durum örneklerin yeşillik değerlerinin arttığı anlamına gelmektedir. A değerinde en fazla azalma %100 granit atığı içeren seride gerçekleşmiştir. Granit atığı renk değişimleri açısından daha az duraylılık göstermiştir.

b (mavilik - sarılık) değişimleri

Çizelge 4. 25: Donma-Çözünme deney öncesi ve sonrası b (mavilik – sarılık) değişimleri

Atık mermer karışım oranı	Numune kodu	“b” döngü öncesi	b döngü sonrası	%değişim
% 100 Mermer	M1	13,56	10,41	-23,23
	M2	14,01	11,87	-15,25
	M3	13,91	11,62	-16,39
Ortalama±std.spm				-18,29±4,31
% 75 Mermer %25 Granit	MG1	7,92	7,17	-9,38
	MG2	7,55	7,96	5,56
	MG3	7,61	7,37	-2,98
Ortalama±std.spm				-2,26±7,50
% 75 Granit %25 Mermer	GM1	2,44	2,33	-4,51
	GM2	2,04	1,53	-25,04
	GM3	2,18	2,03	-6,87
Ortalama±std.spm				-12,14±11,23
% 100 Granit	G1	0,31	0,45	45,16
	G2	0,29	0,45	57,47
	G3	0,57	0,52	-9,31
Ortalama±std.spm				31,11±35,54



Şekil 4. 20: Donma-Çözünme deney öncesi ve sonrası b (mavilik – sarılık) değışim grafiği

Çizelge 4.25 ve Şekil 4.20 incelendiğinde 30 donma-çözünme döngüsü sonunda örneklerde b değeri azalmanın olduğu yani örneklerin mavilik değeri yükseldiği görülmektedir. Aynı zamanda Şekil 4.20’de görüldüğu üzere %100 granit içeren numunelerin ortalama değeri bakıldığında diğer atık numunelerine nazaran en çok artma bu numunelerde gözlemlenmiştir. %100 granit atığı içeren numunelerde sarılaşma hakimdir.

4.9.4 Toplam renk değışimleri

Donma-çözünme döngüleri sonucunda yapılan renk ölçümleri sonucunda Eşitlik 3.11 kullanılarak numunelerde gelişen toplam renk değışimleri hesaplanmıştır. Sonuçlar Çizelge 4.26’da verilmiştir.

Çizelge 4. 26: Donma-Çözünme deney numunelerinde gelişen toplam renk değişimi (ΔE)

Atık mermer karışım oranı	Numune kodu	Döngü öncesi	Döngü sonrası
%100 Mermer	M1	0	5,43
	M2	0	2,99
	M3	0	4,04
	Ortalama \pm std.spm		4,15 \pm 1,22
%75 Mermer %25 Granit	MG1	0	3,39
	MG2	0	1,81
	MG3	0	5,02
	Ortalama \pm std.spm		3,41 \pm 1,61
%75 Granit %25 Mermer	GM1	0	7,44
	GM2	0	4,09
	GM3	0	4,89
	Ortalama \pm std.spm		5,48 \pm 1,75
%100 Granit	G1	0	1,82
	G2	0	1,66
	G3	0	0,91
	Ortalama \pm std.spm		1,46 \pm 0,49

Çizelge 4.26 incelendiğinde mermer atık oranı fazla olan numunelerde renk değişiminin fazla geliştiği gözlemlenmiştir. En fazla renk değişimi %25 mermer atığı içeren numunelerde olduğu gözlemlenmiştir.

4.9.5 Donma Çözünme döngüleri sonucunda Schmidt sertliği deney sonuçları

Çizelge 4. 27: Granit ve mermer atıklarının donma- çözünme deney numunelerinin schmidt çekici sertlik değerleri

Örnekler	Schmidt Çekici Sertlik değerleri	Herhangi bir döngü uygulanmayan örneklerin Schmidt Çekici Sertlik Değeri	Döngüler sonunda meydana gelen değişim (%)
%100 mermer	45,6	41,44	10,03
%75 mermer, %25 granit	39,8	36,83	8,06
%25 mermer, %75 granit	40,8	35,38	15,32
%100 granit	37	40,57	-8,79

Çizelge 4.27 incelendiğinde donma- çözünme döngüleri sonrasında granit ve mermer atıklı numunelerin Schmidt sertlik değerinin birbirine yakın değerler olduğu görülmektedir. Farklı

oranlarda mermer ve granit atığı kullanımı sertliği çok etkilememiştir. Herhangi bir döngü uygulanmayan numunelerin sertlik değerleri donma-çözünme döngüsüne tabii tutulan numuneler kıyaslandığında deneye tabii tutulan örnek numunelerinde genel olarak sertlik değerinde artış gözlemlenmiştir.

4.9.6 Donma Çözünme döngüleri sonrası tek eksenli basma dayanımı deneyi sonuçları

Çizelge 4. 28: Donma- çözünme deney numunelerinin tek eksenli basma dayanımı sonuçları

	Numune ismi	Kırılma yükü (KN)	Yüzey alanı (mm ²)	Tek eksenli basma dayanımı (MPa)	Herhangi bir döngü uygulanmayan örneklerin Tek Eksenli Basma Dayanımı (MPa)	Döngüler sonunda meydana gelen değişim (%)
% 100 Mermer	M1	133,6	2552,72	52,34	82,31	
	M2	163,6	2473,71	66,14	58,92	
	M3	114,8	2371,22	48,41	39,19	
			Ortalama±std.spm	55,62±9,30	60,14±21,58	-7,52±56,91
% 75 Mermer %25 Granit	MG1	174,1	2520,40	69,08	54,78	
	MG2	174,6	2550,93	68,45	67,03	
	MG3	174,8	2447,26	71,43	70,68	
			Ortalama±std.spm	69,64±1,57	64,16±8,32	15,79±-81,13
% 75 Granit %25 Mermer	GM1	127,4	2597,03	49,06	58,16	
	GM2	105	2514,17	41,76	77,32	
	GM3	142,9	2520,18	56,70	58,98	
			Ortalama±std.spm	49,17±7,47	64,82±10,83	-18,24±-31,02
% 100 Granit	G1	119,6	2430,06	49,22	73,58	
	G2	141,7	2461,25	57,57	71,72	
	G3	137,9	2394,89	57,58	72,88	
			Ortalama±std.spm	54,78±4,82	72,73±0,93	-8,91±418,28

Çizelge 4.20’de verilen değerler incelendiğinde donma-çözünme döngülerine tabii tutulan numunelerin tek eksenli basınç dayanımı değerleri Deer ve Miller (1966)’a göre değerlendirildiğinde örneklerin orta dirençli sınıfında yer aldıkları görülmektedir. Mermer atığı oranı fazla olan numunelerde dayanım oranının fazla olduğu görülmektedir. Herhangi bir döngü uygulanmayan numunelerin tek eksenli basma dayanımı donma-çözünme deneyine tabii tutulan numunelerden daha fazladır.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

5.1 Sonuç

Yapay mermer yapım aşamasında polyester reçine, MEKP ve Accobalt kimyasalları kullanılarak numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler üzerinde fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri belirlenmesi için deneyler yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda;

1- Yapay mermer numunelerinin doğal, kuru ve doymuş ağırlıkları incelendiğinde %100 mermer atıklı numunelerin birim hacim ağırlığı değerlerinin 18,96 kN/m³ ile en yüksek olduğu görülmüştür. Mermer atık oranı yüksek olan numunelerde doğal, doymuş ve kuru birim hacim ağırlıkları daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır. Bunun nedeninin mermer yoğunluğundan kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.

2- Yapay mermer numunelerinde su emme değerlerinin oldukça düşük olduğu gözlemlenmiştir. En yüksek su emme değeri %100 mermer atığı içeren numunelerde gözlemlenmiştir. Ağırlıkça su emme değeri %0,04, hacimce su emme değeri %0,08 olan %100 mermer atıklı numunelerin, mermer atığının kimyasal özelliğinden dolayı su emme oranı yüksek olmuştur. TS 2513 standardının doğal taşların su emme oranı %1.8'i geçmemesi gerektiğini belirtmektedir. Yapmış olduğum numuneler bu standarda uymakta olup doğal taş standardını sağlamıştır.

3- Yapay mermer numunelerinin porozite değerlerinin oldukça düşük oranlarda olduğu gözlemlenmiştir. Bunun nedeninin ise numunelerin hazırlanma esnasında titreşim sehpasında gözenekleri en az seviyeye indirmek ve polyester reçinenin gözenekler arasına girerek porozite oranını en düşük seviyeye indirmesidir. En fazla görünür porozite oranına sahip numuneler %100 mermer atığı içeren numunelerdir. TS 1910 (1977) doğal taş standardı porozite oranının %2'nin altında kalması gerektiğini belirtmiş olup yapay mermer numuneleri bu standardı sağlamıştır. Tok, 2018 yılında yapmış olduğu sınıflandırma ile numuneler 1'den küçük porozite oranı gösterdiğinden çok kompakt sınıfta yer almaktadır.

4- Ultrasonik dalga hızı değerleri mermer atıklı numuneler için 3430 m/s, granit atıklı numuneler için 3380 m/s olarak belirlenmiştir. Anon (1979) P dalga hızı sınıflamasına göre numunelerin "düşük hız" sınıfında yer aldığı belirlenmiştir. Porozite oranının çok düşük çıkmasına karşın ultrasonik dalga hızının düşük hız göstermesinin nedeni polyester reçine yapılan deney numunelerinde yüzeylerin gözeneksiz olması ve iç kesimlerde kapalı

gözeneklerin bulunmasıdır. İç kısımda kapalı gözenek bulunması ultrasonik dalga hızının düşük çıkmasına sebep olmuştur.

5- Mermer atığının özgül ağırlık değeri yapılan deney sonucunda 2,59 granit atığın özgül ağırlık değeri 2,55 olarak belirlenmiştir.

6- Schimdt çekici sertlik tayininde en düşük serlik değeri herhangi bir deney döngüsüne tabi tutulmayan %25 mermer atığı içeren numunelerde görülmüştür. En yüksek değer ise tuz kristallenmesi deney döngülerine tabi tutulan %75 mermer atığı içeren numunelerde görülmüştür. Termal şok deney numuneleri döngü esnasında kırıldığından Schimdt çekici sertlik deneyi bu numunelere uygulanamamıştır.

7- Yapılan tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçlarına bakılacak olursa MG1 numunesi hariç diğer numunelerin bu standartları sağladığı görülmüştür. Donma çözünme deneyleri yapılan numunelerin ortalaması en düşük basınç dayanımını göstermiştir. Aynı zamanda TS10449 (1992) doğal taş standardı yapılan tek eksenli basınç dayanımlarının 59 MPa üstünde olması gerektiğini belirtmektedir. Yapmış olduğum numuneler incelendiğinde M3 numunesi dışında diğer numuneler bu standardı sağladığı görülmüştür. Termal şok deneyine tabii tutulan numuneler deney esnasında kırıldığı için basınç dayanımlarına bakılamamıştır.

8- Elementel içeriğinin belirlenmesi için yapılan XRF analizi sonucunda mermer atığının ana bileşen olarak %52,68 oranla CaO, mineralojik bileşeni incelendiğinde ise kalsit minerali, granit atığının ana bileşen olarak %64,68 oranla SiO₂, mineralojik bileşen olarak ise en yüksek kuvars minerali olmasına karşın anortit, kıyanit ve kalsiyum alüminyum silikat mineralleri içerdiği görülmüştür.

9-SEM analiz görüntüleri incelendiğinde yapay mermer numunelerinde çok gözenekli, boşluklu ve köşeli yapıların fazla olduğu sonucuna varılmıştır. En fazla kompakt yapıya sahip olan numuneler %75 mermer içeriğine sahip olan numuneler olmuştur. Granit atığı fazla olan numunelerde ise köşeli yapılar daha çok gözlemlenmiştir.

10- Donma – çözünme deneyleri sonucunda;

-Kuru ağırlık kaybı bütün yapay mermer numunelerinde meydana gelmiştir. Ağırlık kaybının en fazla görüldüğü numuneler %75 mermer atıklı numuneler olmuştur.

-Parlaklık değişimi granit ve mermer atıklı tüm numunelerde gözlemlenmiştir. %75 mermer atığı içeren numunelerde artma gözlemlenirken diğer numunelerde parlaklık değerinde azalma gözlemlenmiştir.

-Renk değişim değerleri;

L (siyahlık-beyazlık; $L=0$ siyah, $L=100$ beyaz) değişim değerleri incelendiğinde mermer ve granit atıklı numunelerde genel olarak artma gözlemlenmiştir. En çok artma gözlemlenen numuneler ise %25 mermer atığı içeren numuneler olmuştur.

a (yeşillik-kırmızılık; $a<0$ yeşil, $a>0$ kırmızı) değişim değerleri incelendiğinde mermer ve granit atıklı numunelerde genel olarak azalma gözlemlenmiştir. En çok azalma gözlemlenen numuneler ise %100 granit içeren numuneler olmuştur.

b (mavilik-sarılık; $b<0$ mavi, $b>0$ sarı) değişim değerleri incelendiğinde mermer ve granit atıklı numunelerde genel olarak azalma gözlemlenirken %100 granit içeren numuneler de artma görülmüştür. %100 granit içeren numunelerde sarılaşma değeri daha etkindir.

E parametresi toplam renk değişimleri incelendiğinde genel anlamda değişim mermer atıklı numunelerde gözlemlenmiştir. En fazla değişim ise %25 mermer atığı içeren numunelerde olmuştur.

11- Tuz kristallenmesi deneyleri sonucunda;

-Kuru ağırlık kaybının bütün yapay mermer numunelerinde olduğu gözlemlenmiştir. En fazla ağırlık kaybı meydana gelen %100 mermer atığı içeren numuneler olmuştur.

- Parlaklık değişimi incelendiğinde mermer ve granit atığı içeren tüm numunelerde azalma gözlemlenmiştir. En fazla azalma %100 granit atığı içeren numunelerde meydana gelmiştir.

-Renk değişim değerleri;

L (siyahlık-beyazlık; $L=0$ siyah, $L=100$ beyaz) değişim değeri incelendiğinde numunelerde artma gözlemlenmiştir. En fazla artma %100 granit atığı içeren numunelerde gözlemlenirken renginin koyu olmasından dolayı siyahlaşmaya daha yakındır.

a (yeşillik-kırmızılık; $a<0$ yeşil, $a>0$ kırmızı) değişim değeri incelendiğinde numunelerde genel olarak genel olarak artma gözlemlenirken %100 granit atığı içeren numunelerde azalma gözlemlenmiştir. En fazla değişim azalma gösteren %100 granit atığı içeren numunelerde olmuştur. %100 granit atığı içeren numunelerde yeşilleşme daha baskınken diğer numunelerde kırmızık değeri hakimdir.

b (mavilik-sarılık; $b<0$ mavi, $b>0$ sarı) değişim değeri incelendiğinde numunelerde genel olarak artış gözlemlenmiştir. En fazla artma %100 granit içeren numunelerde olurken tüm numunelerde sarılık değeri hakimdir.

E parametresi toplam renk değişimi incelendiğinde en fazla renk değişimi %100 granit atığı içeren numunelerde olduğu gözlemlenmiştir.

12- Termal şok deneyleri sonucunda;

- Kuru ağırlık kaybının bütün yapay mermer numunelerinde olduğu gözlemlenmiştir. En fazla ağırlık kaybı meydana gelen %100 mermer atığı içeren numuneler olmuştur.

- Parlaklık değişimi incelendiğinde mermer ve granit atığı içeren tüm numunelerde azalma gözlemlenmiştir. En fazla azalma %100 granit atığı içeren numunelerde meydana gelmiştir.

- Renk değişim değerleri;

L (siyahlık-beyazlık; L=0 siyah, L=100 beyaz) değişim değeri incelendiğinde mermer atığı yüksek olan numunelerde azalma, granit atığı yüksek olan numunelerde ise artma gözlemlenmiştir. En fazla artma %75 granit atığı içeren numunelerde %7,38'lik oranla olurken, en fazla azalma ise %100 mermer atıklı numunelerde gözlemlenmiştir.

a (yeşillik-kırmızılık; a<0 yeşil, a>0 kırmızı) değişim değeri incelendiğinde mermer atıklı numunelerde artma, granit atıklı numunelerde azalma gözlemlenmiştir. En fazla azalma %75 granit atığı içeren numunelerde, en fazla artma ise %75 mermer atıklı numunelerde gerçekleşmiştir.

b (mavilik-sarılık; b<0 mavi, b>0 sarı) değişim değeri incelendiğinde genel olarak artma gözlemlenmiştir. en fazla artma gözlemlenen numuneler %100 granit atığı içeren numuneler olmuştur.

E değişim parametresi incelendiğinde en fazla renk değişimi %100 mermer atığı içeren numunelerde olduğu gözlemlenmiştir.

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda granit ve mermer atıklı numuneler incelendiğinde mermer atık oranı yüksek olan numunelerin birim hacim ağırlık oranları yüksek çıkmıştır. Porozite, ağırlıkça ve hacimce su emme değerleri incelendiğinde ise %100 mermer atığı içeren numuneler en fazla su emme ve porozite oranına sahiptir.

Termal şok tuz kristallenmesi ve donma- çözünme deneyleri 30 döngü uygulanması sonunda en fazla ağırlık kaybı mermer atığı içeren numunelerde gözlemlenmiştir.

Termal şok deney döngüleri sırasında numuneler Polyester reçinenin genel amaçlı polyester reçine olması ısı yalıtımı özelliğinin olmamasından dolayı deney esnasında 105°C'lik

etüvden çıkarılıp oda sıcaklığındaki su içine bıkırıldığında numunelerde kırılmalar gözlemlenmiştir. En fazla dayanımı gösteren numune %100 granit içeren numunelerde gözlemlenmiştir.

5.2 Öneriler

Maden işletme tesislerinde ve ocağında ortaya çıkan madensel atıklar, depolama alanı kısıtlılığında dolayı çok büyük çevre kirliliğine neden olmaktadır. Mermer ocaklarında bilinçsiz kesim ve işletme yöntemleri atık miktarının artmasına neden olmaktadır. Bu atıkların değerlendirilip oluşan çevre kirliliğinin önüne geçilmesi gerekmektedir. Bu atıkların yapay mermer olarak kullanımı hammadde kaybını azaltıp geri dönüşüm sağlanmış olacaktır.

Yapılan deneyler sonucunda çevre kirliliğinin önüne geçilip ülke ekonomisine katkı sağlamak amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda yapılan numuneler üzerinde kimyasal, fiziksel ve mekanik deneyler yapılmıştır. Yapılan termal ısı deney sonuçları incelendiğinde döngüler sırasında numunelerde kırılmalar gözlemlenmiştir. Yapay mermer üretiminde kullanılan polyester reçinenin önemli olduğu sonucuna varılmıştır. Yapılan bu çalışma farklı madensel atıklar ve kimyasallar kullanılarak ileride yapılacak olan çalışmalara fikir olacaktır.

KAYNAKÇA

- Abdelwahab, N.,** (2021). Recycling of marble calcite waste into useful artificial marble, Department of Chemical Engineering, faculty of engineering, Minia University, minia journal of advanced engineering trends 40(1):6-13 DOI:10.21608/jaet.2021.82182.
- Alyamaç, K.E., İnce, R.,** (2008). “Karo mozaik döşeme kaplama plak üretiminde atık mermer çamurunun kullanılabilirliği”, 7. Ulusal Beton Kongresi, 437-446, İstanbul.
- Alkan, A.,** (2015), Taramalı elektron mikroskopisi 22. Ulusal Elektron Mikroskopi Kongresi Emk 2015 Çalıştay Kocaeli Üniversitesi, Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği, Kocaeli.
- Anon, 1979.** Classification of rocks and soils for engineering geological mapping. Part 1- rock and soil materials. Bull. Int. Ass. Eng. Geo. 19, 364-371
- Aydın, E., Egemen, M.,** (2011). Mermer toz atığının inşaat sektöründe kullanımı, At: <https://www.researchgate.net/publication/313677176>.
- Barbuta, M., Harja, M.,** (2008). Properties of fiber reinforced polymer concrete. Buletinul Institutului politehnic din Iasi, 1 publicat de universitate a tehnic ‘A, gherorghiaschi’ din Iasi, I. Tomul LIV (LVIII), Fasc. 3.
- Barani, K., Esmaili, H.,** (2016). Production of artificial Stones using waste granite and marble Stones ludge samples, department of mining engineering, Lorestan University, Khorram-Abad, Iran.
- Bilgin, N.,** (2010). Mermer tozu atıklarının yapı malzemesi üretiminde kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Anabilim Dalı, İstanbul.
- Çelik, M.Y., Emrulloğlu, Ö.F.,** (1999). Mermer atıklarından polyester bağlayıcılı suni mermer blok ve levha üretiminin araştırılması, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi (1), Afyonkarahisar.
- Çelikten, S., Canbaz, M.,** (2020). Demiryolu altyapısı için geçirimli beton borularının tasarımı. Araştırma Makalesi doi:10.47072/demiryolu.794128. ISSN: 2149-1607.
- Çitoğlu, G.S., Bayraktar, O.Y.,** (2018). Atık mermer tozu ve inşaat sektöründeki kullanımı ile ilgili çalışmalar, SET SCI Conference Indexing System, Volume 3, 1323-1330, Samsun

- Çoğulu, E., (1979),** Gümüşhane-Rize Granitik Plütonlarının mukayeseli petrolojik ve jeokronometrik etüdü, İ.T.Ü. Maden Fakültesi, İstanbul.
- Dermantini, T., Rodriguez, R.J., Silva, F., (2018).** Physical and mechanical evaluation of artificial marble produced with dolomitic marble residue processed by diamond-plated bladed gang-saws, *Journal of Materials Research and Technology* Volume 7, Issue 3, Pages 308-313, Brazil
- Deere D.V., Miller R.L., (1966).** Engineering Classification and Index Properties of Intact Rock, Department of Civil Engineering, University of Illinois, Urbana. 90-101.
- Eleren, A., Ersoy, M., (2007).** Mermer blok kesim yöntemlerinin bulanık topsıs yöntemiyle değerlendirilmesi, *Madencilik*, Cilt 46, Sayı 3, Sayfa 9-22, Afyonkarahisar.
- Eren, Ş., Poyraz, B., Gökçe, N., Şamandar, A., Aykanat, B., Subaşı, S., (2018).** Kompozit malzeme üretiminde kullanılan poliesterlerin mekanik, termal ve kimyasal özelliklerine başlatıcı etkisinin incelenmesi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*
- Erfan, N.A., (2021),** Recycling Of Marble Calcite Waste Into Useful Artificial Marble. Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Minia University, Minia 61111, Egypt
- Erkek, D., Özdemir, S., (2011).** Mermer ve traverten sektörüne küresel ve bölgesel yaklaşım, https://geka.gov.tr/uploads/pages_v/o_19v5e0ki7134g6no139s7pj10658.pdf
- Erol, G., Pekdemir, D., (2022).** Investigation of thermal transformation of composite material obtained from granite and recrystallized limestone natural stone wastes. General Directorate of Mineral Research and Exploration, Industrial Raw Materials Studies, Ankara, Türkiye
- Evren, Ö., (2018).** Atık mermer parçalarından cam elyaf katkılı yapay mermer bloklarının üretimi ve karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı, Muğla.
- Feng, Z., Li, Y., Zhang, X., Ding, Q., (2016)** “Developing a quantitative construction waste estimation model for building construction projects”, *Resources, Conservation and Recycling*, 106: 9-20.
- Filiz, M., Özel, C., Soykan, O., Ekiz, Y., (2010).** Atık mermer tozunun parke taşlarında kullanılması, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, Cilt: 6, No: 2, Isparta

- Gay, D., Hoa, S. V. and Tsai, S.W.,** (2003) “Composite materials design and applications, 4th ed.”, CRC Press, New York, 15-20,151, 168,187-209.
- Gökçer, B.,** (2013). Mermer tozu ve cam elyaf katkılı çimento harçlarının aşınma, yüksek sıcaklık ve donma-çözülme davranışlarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Gümülcine, T.,** (2014). İzofталik polyester reçine matrisli sürekli e-camı ve bazalt fiber destekli kompozit malzemelerin karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Gülan, L., Yıldız, S., Keleştemur, O.,** (2016). Atık mermer tozu ve cam lif katkılı betonun mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine karbonatlaşmanın etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Haldar, S. K., Tisljar, J.** (2014). Mineraloji ve petrolojiye giriş. Elsevier. S. 116. ISBN 978
- Hamoush, S., Abu-Lebdeh, T., Picornell, M., Amer, S.,** (2011). Development of sustainable engineered Stone cladding fotoughness, durability and energy consevation, department of civil architec turaland enviromental engineerin, North Carolina A&T state University, greensboro, NC 27411, United State.
- Hong, G., Song, K., Lee, Y.,** (2021). Recycling of waste artificial marble powder using supercritical methanol, Chemical and Biological Engineering, Seoul National University, Republic of Korea.
- Hwang, E.H., Ko, Y.S., Jeon, J.K.,** (2007). Effect of polymer cement modifiers on mechanical and physical properties of polymer-modified mortar using recycled artificial marble waste fine aggregate, Department of Chemical Engineering, Kongju National University, 275 Budae-dong chungnam-do 330-717, Republic of Korea.
- <https://ticaret.gov.tr/data/5b87000813b8761450e18d7b/Do%C4%9Fal%20Ta%C5%9Flar%20Sekt%C3%B6r%20Raporu%202021.pdf> (Erişim:10.05.2022)
- <https://www.boytek.com.tr/subpage/polyester-recineleri/genel-amacli> (Erişim:13.04.2022)
- ISRM,** Suggested methods for determination of schmidt rebound hardness, İnternational Journal Of Rock Mechanic And Mining Science And Geomechanic Abstracts, 15:3 (1978) 101-102.
- ISRM,** Suggested methods for determining sound velocity, İnternational Journal Of Rock Mechanic And Mining Science And Geomechanic Abstracts, 15 (1978) 53-58

- Karaca, Z.**, (2001), Mermer İşletmeciliği, Dokuz Eylül Üniversitesi Torbalı Meslek Yüksekokulu
- Karahan, D.S.**, (2018). Dünyada ve Türkiye’de doğal taşlar, Maden Teknik ve Arama Genel Müdürlüğü.
- Karakul H., Ulusay R.**, (2012). Kayaların dayanım özelliklerinin farklı doygunluk koşullarında p-dalga hızından kestirimi ve p-dalga hızının fiziksel özelliklere olan duyarlılığı, Yer Bilimleri, 33 (3) (2012) 239-268
- Kaya, A.İ.**, (2016). Kompozit malzemeler ve özellikleri, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Burdur
- Kaya, E., Onargan, T., Altun, İ.A., Güneri, S.**, (2016). Radyosyana karşı geçirimsiz doğal malzemelerden yapılmış kompoze taş plaka üretimi. Proje No: 107M269. İzmir.
- Khristova, Y., Aniskevich, K.**, (1994). Prediction of creep of the epoxy resin filled with marble inclusions. *Mechanic composite material*, 30:590-599.
- Li, H., Ji, D., Chen, C., Wang, X., Tu, J., Zhang, K.**, (2021). Effect of fatty acid ester polyoxyethylene ether on the rheological properties of cement filled with artificial marble waste powders, State key laboratory of Marine resource utilization in South china sea, Hainan University, Haikou, 570228, China.
- Moon, S., Shin, J., Cha, S., Shin, Y., Lee, K.**, (2015). Introduction of reversible crosslinker into artificial marbles toward chemical recyclability, Department of Fine Chemical Engineering and Chemistry, Collage of Engineering, Republic of Korea.
- Ngayakamo, B.H., Bello, A., Onwvalo, A.P.**, (2020). Development of eco-friendly fired clay bricks incorporated with granite and eggshell wastes see discussions, stats and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/347761366>.
- Öcal, A., Dal, M.**, (2018). Doğal taşlardaki bozunmalar, Mimarlık Vakfı İktisadi İşletmesi, Kırklareli
- Öz, C., Özer, Ö.**, (2019). Seramik arkeometrisinde spektroskopik yöntemlerin uygulanması ve yorumlanması: XRF, XRD, Seramik Araştırmaları Dergisi, Sayı 1, 136-153.
- Özata, G.**, (2009). Mermer ve polietilentreftalat (pet) atıklarının yapı malzemesi olarak geri dönüşümü, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Seramik Mühendisliği Anabilim Dalı, Afyon.

- Özdemir, E.**, (2014). Farklı doygunluk dereceleri ve yükleme oranlarında kayaçlardaki bazı mekanik özellik değişimlerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Malatya
- Özgüven, A., Özçelik, Y.**, (2013). Investigation of some property changes of natural building stones exposed o fire and heat, Construction and Building Materials 38 pp.813-821.
- Öztekin, L.**, (2007). Mermerlerde uygulanan kimyasallar, epoksi ve polyester uygulanmış mermerlerde çekme ve eğilme dayanım-sıcaklık ilişkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Öztürk, M.**, (2018). "Mermer Kesiminden Kaynaklanan Çevre Kirliliği ve Önlemleri" Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre ve Şehir Kütüphanesi, Ankara. http://www.cevresehirkutuphanesi.com/assets/files/slider_pdf/5mgT7FNMcjwz.pdf (Erişim Tarihi:11/05/2019)
- Polat, H., Oltulu, M.**, (2021). Hematit mineralli polimer kompozitlerin mekanik özellikleri, Araştırma Makalesi, Cilt 10, Sayı 1, Sayfa 63-67
- Ribeiro, C., Rodriguez, R., Carvalho, E.**, (2017). Microstructure and mechanical properties of artificial marble, Noth Fluminense University, Department mechanical engineering, Brazil.
- Samad, H., A. Rshid, R.A.**, (2020). Influence of dolomite and granite waste content on the properties of artificial marble, mineral research centre, depatment of mineral and geo science Malaysia, 31400 ipoh, Perak, Malaysia.
- Silva, F.S., Ribeiro, C.E., Rodriguez, R.J.**, (2018) Physical and mechanical charactization of artifical stone with marble calcite and epoxy resin DOI: <Http://Dx.Doi.Org/10.1590/1980-5373-MR-2016-0377>
- Suta, S., Wattanasiriwech, S., Wattanasiriwech, D., Duangphet, S., Thanomsilp, C.**, (2019). Preparation of engineered stones, IOP conference series materials science and engineering 600(1):012009
- Sönmez, M.**, (2009). Polimer matrisli kompozitlerin endüstri ürünleri tasarımında önemi ve geleceği: Türkiye'den dört örnek firma üzerine bir inceleme. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Ürünleri Tasarımı Bölümü. İstanbul.
- Şentürk, A., Gündüz, L., Tosun, Y.İ., Sarışık, A.**, (1996). Mermer teknolojisi. SDÜ Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü. Isparta

- Şimşek, S.**, (2019). Mermer atıklarının yapı malzemesi üretiminde kullanım olanakları üzerine bir araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, Bursa.
- Tok, H.**, (2018). Farklı oranlarda polyester reçine \ mermer tozu karışımıyla elde edilen kompozit malzemenin jeomekanik özelliklerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin.
- Toruk, F.,E.Gönülol and P.Ülger**, (2010). Color changes of bale silage under different storage conditions. Journal of Agricultural Machinery Science. 5(2):211-216 - İzmir, Turkey.
- TS 699** (1987). Tabii yapı taşları- Muayene ve deney metotları, TSE, Ankara.
- TS 2513** (1977). Doğal yapı taşları, TSE, Ankara.
- TS 1910** (1977). Kaplama olarak kullanılan doğal taşlar, TSE, Ankara.
- TS 10449** (1992). Mermer Yapı ve Kaplama Taşı olarak Kullanılan, TSE, Ankara.
- TS EN 12370** (2001). Doğal taşlar deney metotları- Tuz kristallenmesine direncin tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 14066** (2004). Doğal taşlar – Deney metotları – Termal şok etkisiyle yıpranmaya direncin tayini, TSE, Ankara.
- Ulusay, R., Gökçeoğlu, C. Ve Binal, A.** (2001). Kaya mekaniği laboratuvar deneyleri, 1. Baskı, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Ankara, 161 S.
- Wikipedia.** (2021). Erişim: 07.04.2022, <https://tr.wikipedia.org/wiki/porozite>
- Wikipedia.** (2021). Erişim: 07.04.2022, <https://tr.wikipedia.org/wiki/özağrılık>
- Yeşilkaya, L., Ersoy, M., Sarıçam, F.**, (2010). Suni mermer üretiminde traverten atığı ve volkanik tüf katkısının etkisi, 7. Uluslararası Mermer ve Doğal Taş Kongresi, Afyonkarahisar.
- Yılmaz, A.**, (2020). Sürdürülebilirlik açısından mermer atıklarının karayolu inşaatında değerlendirilmesi: ekonomik analiz örneği, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Burdur
- Yılmaz G.**, (2016). İnorganik esaslı kompozit ısı izolasyon paneli üretimi, Yüksek Lisans Tezi, A.K.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Yüctürk, G.**, (2010). Göller bölgesindeki kayaçların mineralojik petrografik özelliklerinin yapay mermer kalitesine etkileri doktora tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Anabilim Dalı, Isparta.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Gizem ASLANTEPE

ÖĞRENİM DURUMU:

- Lisans : 2018, İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği
- Yüksek Lisans: 2021, Dumlupınar Üniversitesi, İş Sağlığı ve Güvenliği tezsiz yüksek lisans

MESLEKİ DENEYİM:

- 2018-2021 yılında Afşin-Elbistan Çelikler Holding EÜAŞ'de, Saha mühendisi
- 2021- 2022 yılında DSİ'ye bağlı Cihan İnşaat A.Ş. de, Daimi nezaretçilik