

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

**BAZI ENDÜSTRİYEL ARTIKLARDAN YAPAY MERMER ÜRETİMİ VE
KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Birsen KIRIKTAŞ

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Didem EREN SARICI

HAZİRAN 2022

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

**BAZI ENDÜSTRİYEL ARTIKLARDAN YAPAY MERMER ÜRETİMİ VE
KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Birsen KIRIKTAŞ
(36183616020)**

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Didem EREN SARICI

HAZİRAN 2022

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Bu tez çalıőmasının her aşamasında yardım, öneri, bilgi, tecrübe ve desteklerini esirgemedен beni her konuda yönlendiren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Didem EREN SARICI'ya, tez çalıőmam sırasındaki yardımlarından ötürü Gizem ASLANTEPE'ye,

Çalıőmayı FYL-2021-2464 nolu proje ile maddi açıdan destekleyen İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon (BAP) Birimi'ne,

Tüm hayatım boyunca olduğu gibi bu çalıőmam süresince benden her türlü desteklerini esirgemeyen biricik annem Nebahat KİRİKTAŐ'a, canım babam Mehmet KİRİKTAŐ'a, kıymetli kardeőim Ali KİRİKTAŐ'a, beni desteklemekten hiç vazgeçmeyen sevgili eőim Özcan KIRIKTAŞ'a, oğlum Barıő'a ve kızım Güneş'e, öneri, eleőtirileri ve yardımlarıyla her konuda yanımda olan hocalarıma ve arkadaşlarıma

Sonsuz Teőekkürler.

ONUR SÖZÜ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Bazı Endüstriyel Artıklardan Yapay Mermer Üretimi ve Karakterizasyonu” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Birsen KIRIKTAŞ



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ	i
ONUR SÖZÜ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı.....	2
1.2. Kapsam	2
2. KURAMSAL TEMELLER	4
2.1. Mermer.....	4
2.2. Yapay Mermer	4
2.3. Mermer ve Yapay Mermer Arasındaki Farklılıklar	4
2.4. Yapay Mermerin Üretimi ve Yöntemi	5
2.5. Yapay Mermerin Özellikleri	6
2.5.1. Yapay mermerin fiziksel özellikleri	8
2.5.1.1. Özgül ağırlık	8
2.5.1.2. Birim hacim ağırlığı.....	8
2.5.1.3. Su emme	8
2.5.1.4. Porozite.....	8
2.5.2. Yapay mermerlerin mekanik özellikleri	9
2.5.2.1. Schmidt çekici sertliği	9
2.5.2.2. Tek eksenli basınç dayanımı.....	9
2.5.2.3. Ultrasonik dalga hızı.....	9
2.5.3. Cam ve seramik atıkların kimyasal - mineralojik özellikleri	10
2.5.3.1. X- ışını kırınım yöntemi (XRD).....	10
2.5.3.2. X- Işını floresans spektroskopisi (XRF).....	10
2.5.3.3. Taramalı elektron mikroskobu (SEM).....	10
2.6. Yapay Mermer Üretiminde Kullanılan Reçineler.....	11
2.6.1. Polyester reçine.....	11
2.6.1.1. Ortoftalik polyester	11
2.6.1.2. İzofthalik polyester	11
2.6.1.3. Tereftalik polyester	12
2.6.2. Epoksi reçine	12
2.6.3. Polyester ve epoksi reçine arasındaki farklar	12
2.7. Endüstriyel Artıklar	12
2.7.1. Seramik atıklar.....	14
2.7.2. Cam atıklar	15
2.8. Yapay Mermerlerin Yüzey Özellikleri	15
2.8.1. Renk özelliklerinin belirlenmesi.....	15
2.8.2. Parlaklık özelliklerinin belirlenmesi.....	16
2.9. Yapay Mermerlerde Bozunma	16
2.9.1. Donma-çözünme.....	16
2.9.2. Termal şok	17
2.9.3. Tuz kristallenmesi.....	17

2.10. Literatür Taraması.....	17
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	23
3.1. Malzeme.....	23
3.2. Yapay Mermer Üretiminde Kullanılan Cihazlar ve Kimyasallar	24
3.2.1. Yapay mermer üretiminde kullanılan polyester reçine ve kimyasalların özellikleri	27
3.2.1.1. Polyester reçine.....	27
3.2.1.2. Kobalt	27
3.2.1.3. Metil etil keton peroksit (MEKP).....	28
3.3. Yapay Mermer Üretimi.....	28
3.4. Yapay Mermer Örneklerinin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi	30
3.4.1. Özgül ağırlık tayini.....	30
3.4.2. Birim hacim ağırlığı deneyi	32
3.4.3. Su emme deneyi.....	33
3.4.4. Porozite deneyi	33
3.4.5. Tek eksenli basma dayanımı deneyi.....	34
3.4.6. Schmidt çekici sertlik indeksi tayini.....	35
3.4.7. Ultrasonik dalga hızı deneyi	36
3.5. Cam ve Seramik Atığın Kimyasal – Mineralojik Özelliklerinin Belirlenmesi.....	37
3.5.1. X- ışını kırınım yöntemi (XRD).....	37
3.5.2. X- Işını floresans spektroskopisi (XRF).....	37
3.5.3. Taramalı elektron mikroskobu analizi (SEM).....	37
3.6. Donma – Çözünme Döngülerinin Uygulanması.....	37
3.7. Termal Şok Döngülerinin Uygulanması	38
3.8. Tuz Kristallenmesi Döngülerinin Uygulanması	39
3.9. Ağırlık Kayıplarının Belirlenmesi	40
3.10. Parlaklık Ölçümleri.....	40
3.11. Renk Ölçümleri.....	41
3.12. Renk Değişimlerinin Belirlenmesi.....	41
3.13. Parlaklık Değişimlerinin Belirlenmesi.....	42
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	43
4.1. Kullanılan Hammaddelerin Özellikleri.....	43
4.1.1. Özgül ağırlık deneyi sonuçları.....	43
4.1.2 Cam ve seramik atıkların XRD analizleri sonuçları.....	43
4.1.3. Cam ve seramik atıkların XRF analizleri sonuçları.....	44
4.2. Yapay Mermerlerin Fiziksel-Mekanik Özellikleri.....	45
4.2.1. Birim hacim ağırlığı deneyleri sonuçları	45
4.2.2. Su emme deneyi sonuçları.....	46
4.2.3. Porozite deney sonuçları.....	48
4.2.4. Sertlik.....	49
4.2.4.1. Schmidt çekici sertlik değeri sonuçları.....	49
4.2.5. Ultrasonik dalga hızı deney sonuçları	49
4.2.6. Tek eksenli basma deneyi sonuçları	51
4.3. Donma – Çözünme Döngüleri Sonrası Yapılan Analiz Sonuçları	52
4.3.1. Kuru ağırlık değişim değerleri.....	52
4.3.2. Parlaklık değişim değerleri.....	54
4.3.3 Renk ölçüm değerleri.....	56
4.3.3.1. L (siyahlık - beyazlık) değişimleri.....	56
4.3.3.2. a (yeşillik - kırmızılık) değişimleri.....	58
4.3.3.3. b (mavilik – sarılık) değişimleri	61

4.3.3.4. Toplam renk değişimleri.....	63
4.3.4. Donma-çözünme döngüleri sonrası Schmidt çekici sertlik değeri sonuçları	64
4.3.5. Donma-çözünme döngüleri sonrası tek eksenli basma dayanımı deneyi sonuçları.....	65
4.4. Termal Şok Döngüleri Sonrası Yapılan Analiz Sonuçları	66
4.4.1. Kuru ağırlık değişim değerleri.....	67
4.4.2. Parlaklık değişim değerleri.....	69
4.4.3. Renk ölçüm değerleri.....	72
4.4.3.1. L (siyahlık - beyazlık) değişimleri.....	72
4.4.3.2. a (yeşillik - kırmızılık) değişimleri.....	74
4.4.3.3. b (mavilik - sarılık) değişimleri.....	76
4.4.3.4. Toplam renk değişimleri.....	78
4.4.4. Termal şok döngüleri sonrası Schmidt çekici sertlik değeri sonuçları	79
4.4.5. Termal şok döngüleri sonrası tek eksenli basma dayanımı deneyi sonuçları....	80
4.5. Tuz Kristallenmesi Döngüleri Sonrası Yapılan Analiz Sonuçları	81
4.5.1. Kuru ağırlık değişim değerleri.....	81
4.5.2. Parlaklık değişim değerleri.....	84
4.5.3. Renk ölçüm değerleri.....	86
4.5.3.1. L (siyahlık - beyazlık) değişimleri.....	86
4.5.3.2. a (yeşillik - kırmızılık) değişimleri.....	88
4.5.3.3. b (mavilik - sarılık) değişimleri.....	90
4.5.3.4. Toplam renk değişimleri.....	92
4.5.4. Tuz kristallenmesi döngüleri sonrası Schmidt çekici sertlik değeri sonuçları ..	93
4.5.5. Tuz kristallenmesi döngüleri sonrası tek eksenli basma dayanımı deneyi sonuçları.....	94
4.6. Yapay Mermer Örneklerinin SEM Analizi Sonuçları	95
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	100
5.1. Sonuç	100
5.2. Öneriler	101
6. KAYNAKLAR.....	102
ÖZGEÇMİŞ	106

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1:	Kayaçların porozite değerlerine göre sınıflandırılması.....	9
Çizelge 2.2:	Kayaçların tek eksenli basınç direncine göre sınıflandırılması	9
Çizelge 2.3:	P dalga hızı sınıflaması.	10
Çizelge 3.1:	Polyester reçinenin sıvı haldeki özellikleri	27
Çizelge 3.2:	Sertleşmiş polyester reçinenin mekanik özellikleri	27
Çizelge 3.3:	Kobaltın özellikleri	28
Çizelge 3.4:	Metil etil keton peroksitin özellikleri.....	28
Çizelge 3.5:	Yapay mermer üretiminde kullanılan malzeme ve kimyasal miktarları	30
Çizelge 4.1:	Cam- Seramik atıklarının özgül ağırlık değerleri	43
Çizelge 4.2:	Cam ve seramik atıklarının XRF analizi sonuçları	44
Çizelge 4.3:	Cam atıklı örneklerin doğal-doygun-kuru birim hacim ağırlığı değerleri	45
Çizelge 4.4:	Seramik atıklı örneklerin doğal-doygun-kuru birim hacim ağırlığı değerleri	46
Çizelge 4.5:	Cam atıklı örneklerin ağırlıkça ve hacimce su emme değerleri.....	47
Çizelge 4.6:	Seramik atıklı örneklerin ağırlıkça ve hacimce su emme değerleri	47
Çizelge 4.7:	Cam atıklı örneklerin görünür porozite değerleri	48
Çizelge 4.8:	Seramik atıklı örneklerin görünür porozite değerleri.....	48
Çizelge 4.9:	Cam ve Seramik atıklı örneklerin Schmidt Çekici Sertlik değerleri.....	49
Çizelge 4.10:	Cam atıklı örneklerin ultrasonik dalga hızı değerleri	50
Çizelge 4.11:	Seramik atıklı örneklerin ultrasonik dalga hızı değerleri.....	50
Çizelge 4.12:	Cam atık katkılı örneklerin tek eksenli basma dayanımı deneyi sonuçları.....	51
Çizelge 4.13:	Seramik atık katkılı örneklerin tek eksenli basma dayanımı deneyi sonuçları.....	51
Çizelge 4.14:	Cam atık katkılı örneklerin kuru ağırlıkları ve değişim değerleri.....	53
Çizelge 4.15:	Seramik atık katkılı örneklerin kuru ağırlıkları ve değişim değerleri.....	53
Çizelge 4.16:	Cam atık katkılı örneklerin parlaklık değişim değerleri	55
Çizelge 4.17:	Seramik atık katkılı örneklerin parlaklık değişim değerleri	55
Çizelge 4.18:	Cam atık katkılı örneklerin L (Siyahlık-Beyazlık) değişim değerleri	57
Çizelge 4.19:	Seramik atık katkılı örneklerin L (Siyahlık-Beyazlık) değişim değerleri	57
Çizelge 4.20:	Cam atık katkılı örneklerin a (Kırmızılık-Yeşillik) değişim değerleri	59
Çizelge 4.21:	Seramik atık katkılı örneklerin a (Kırmızılık-Yeşillik) değişim değerleri	59
Çizelge 4.22:	Cam atık katkılı örneklerin b (Mavilik- Sarılık) değişim değerleri	61
Çizelge 4.23:	Seramik atık katkılı örneklerin b (Mavilik-Sarılık) değişim değerleri	62
Çizelge 4.24:	Cam ve Seramik atık katkılı örneklerin renk değişim değerleri (ΔE).....	63
Çizelge 4.25:	Donma - çözünme deneyi sonrası cam ve seramik atıklı örneklerin Schmidt Çekici Sertlik değerleri ve % değişimi	64
Çizelge 4.26:	Donma - çözünme deneyi sonrası cam atık katkılı örneklerin tek eksenli basma dayanımı deneyi sonuçları ve % değişimi	65

Çizelge 4.27: Donma - çözünme deneyi sonrası seramik atık katkılı örneklerin tek eksenli basma dayanımı deneyi sonuçları ve % değişimi	66
Çizelge 4.28: Cam atık katkılı örneklerin kuru ağırlıkları ve değişim değerleri.....	67
Çizelge 4.29: Seramik atık katkılı örneklerin kuru ağırlıkları ve değişim değerleri.....	68
Çizelge 4.30: Cam atık katkılı örneklerin parlaklık değişim değerleri	70
Çizelge 4.31: Seramik atık katkılı örneklerin parlaklık değişim değerleri	71
Çizelge 4.32: Cam atık katkılı örneklerin L (Siyahlık-Beyazlık) değişim değerleri	72
Çizelge 4.33: Seramik atık katkılı örneklerin L (Siyahlık-Beyazlık) değişim değerleri	73
Çizelge 4.34: Cam atık katkılı örneklerin a (Yeşillik-Kırmızılık) değişim değerleri	74
Çizelge 4.35: Seramik atık katkılı örneklerin a (Yeşillik-Kırmızılık) değişim değerleri	75
Çizelge 4.36: Cam atık katkılı örneklerin b (Mavilik- Sarılık) değişim değerleri	76
Çizelge 4.37: Seramik atık katkılı örneklerin b (Mavilik-Sarılık) değişim değerleri	77
Çizelge 4.38: Cam ve Seramik atık katkılı örneklerin toplam renk değişim değerleri (ΔE).....	78
Çizelge 4.39: Termal şok deneyi sonrası cam ve seramik atıklı örneklerin Schmidt Çekici Sertlik değerleri ve % değişimi	79
Çizelge 4.40: Termal şok deneyi sonrası cam atık katkılı örneklerin tek eksenli basma dayanımı deneyi sonuçları	80
Çizelge 4.41: Termal şok deneyi sonrası seramik atık katkılı örneklerin tek eksenli basma dayanımı deneyi sonuçları	81
Çizelge 4.42: Cam atık katkılı örneklerin kuru ağırlıkları ve değişim değerleri.....	82
Çizelge 4.43: Seramik atık katkılı örneklerin kuru ağırlıkları ve değişim değerleri.....	83
Çizelge 4.44: Cam atık katkılı örneklerin parlaklık değişim değerleri	84
Çizelge 4.45: Seramik atık katkılı örneklerin parlaklık değişim değerleri	85
Çizelge 4.46: Cam atık katkılı örneklerin L (Siyahlık-Beyazlık) değişim değerleri	86
Çizelge 4.47: Seramik atık katkılı örneklerin L (Siyahlık-Beyazlık) değişim değerleri	87
Çizelge 4.48: Cam atık katkılı örneklerin a (Yeşillik-Kırmızılık) değişim değerleri	88
Çizelge 4.49: Seramik atık katkılı örneklerin a (Yeşillik-Kırmızılık) değişim değerleri	89
Çizelge 4.50: Cam atık katkılı örneklerin b (Mavilik-Sarılık) değişim değerleri	90
Çizelge 4.51: Seramik atık katkılı örneklerin b (Mavilik-Sarılık) değişim değerleri	91
Çizelge 4.52: Cam ve Seramik atık katkılı örneklerin toplam renk değişim değerleri (ΔE).....	92
Çizelge 4.53: Tuz kristallenmesi deneyi sonrası cam ve seramik atıklı örneklerin Schmidt Çekici Sertlik değerleri ve % değişimi	93
Çizelge 4.54: Tuz kristallenmesi deneyi sonrası cam atık katkılı örneklerin tek eksenli basma dayanımı deneyi sonuçları	94
Çizelge 4.55: Tuz kristallenmesi deneyi sonrası seramik atık katkılı örneklerin tek eksenli basma dayanımı deneyi sonuçları	95

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1:	Yapay mermer üretim şeması.	6
Şekil 2.2:	Atık yönetimi	13
Şekil 2.3:	CIELAB koordinat sisteminin şematik görüntüsü.....	16
Şekil 3.1:	Yapay mermer üretiminde kullanılan seramik parça atık (a), seramik atık tozu (b) ve cam parça atık(c), cam atık tozu(d).....	23
Şekil 3.2:	Yapay mermer üretiminde kullanılan merdaneli kırıcı (a), bilyeli değirmen (b), elek (c), titreşim sehпасına (d) ait görüntüler.	24
Şekil 3.3:	Yapay mermer üretiminde kullanılan silikon kalıp (a), hassas terazi (b), Arşimet sehпасı (c), mikser (d), etüve (e) ait görüntüler.....	25
Şekil 3.4:	Yapay mermerlerin yüzey parlaklığını ölçen (a), renk değerlerini ölçen cihazlara (b) ait görüntüler.....	26
Şekil 3.5:	Yapay mermer üretiminde kullanılan polyster reçine (a), Metil Etil Keton Peroksit ve Kobalt (b).....	26
Şekil 3.6:	Yapay mermerlerin hazırlanma ve titreşime tabi tutulma aşaması.....	29
Şekil 3.7:	Cam atıktan üretilen yapay mermer örnekleri(a), seramik atıktan üretilen yapay mermer örneklerine (b) ait görüntü.....	29
Şekil 3.8:	Özgül ağırlık tayininde kullanılan piknometreler	31
Şekil 3.9:	Tek eksenli basınç dayanımı ölçümü.....	35
Şekil 3.10:	Schmidt çekici sertlik indeksi tayini.....	36
Şekil 3.11:	Donma – çözünme döngülerine tabi tutulan yapay mermerlere ait görüntü	38
Şekil 3.12:	Tuz kristallenmesi deneyine tabii tutulan yapay mermer örneklerine ait görüntü.....	40
Şekil 4.1:	Cam atığına ait X- ışınları difraktogramı.....	43
Şekil 4.2:	Seramik atığına ait X- ışınları difraktogramı (An: Anortit, A: Albit, Q: Kuvars).	44
Şekil 4.3:	Kuru ağırlık değişimleri (%) (donma – çözünme).....	54
Şekil 4.4:	Parlaklık değişimleri (%) (donma – çözünme).....	56
Şekil 4.5:	L parametresi (siyahlık-beyazlık) değişimleri (%) (donma – çözünme).....	58
Şekil 4.6:	a parametresi (yeşillik-kırmızılık) değişimleri (%) (donma – çözünme).....	60
Şekil 4.7:	b parametresi (mavilik-sarılık) değişimleri (%) (donma - çözünme).....	62
Şekil 4.8:	Donma-çözünme döngüleri sonrası cam atık katkılı (a) ve seramik atık katkılı örneklerle (b) ait renk değişimlerine gösteren görüntü.....	64
Şekil 4.9:	Kuru ağırlık değişimleri (%) (termal şok).....	68
Şekil 4.10:	Parlaklık değişimleri (%) (termal şok).....	71
Şekil 4.11:	L parametresi (siyahlık-beyazlık) değişimleri (%) (termal şok).....	73
Şekil 4.12:	a parametresi (yeşillik-kırmızılık) değişimleri (%).	75
Şekil 4.13:	b parametresi (mavilik-sarılık) değişimleri (%) (termal şok).....	77
Şekil 4.14:	Termal şok döngüleri sonrası cam atık katkılı örneklerle (a) ve seramik atık katkılı örneklerle (b) ait renk değişimi görüntüsü.	79
Şekil 4.15:	Kuru ağırlık değişimleri (%) (tuz kristallenmesi).....	83
Şekil 4.16:	Parlaklık değişimleri (%) (tuz kristallenmesi).....	85
Şekil 4.17:	L parametresi (siyahlık-beyazlık) değişimleri (%) (tuz kristallenmesi).....	87
Şekil 4.18:	a parametresi (yeşillik-kırmızılık) değişimleri (tuz kristallenmesi).....	89
Şekil 4.19:	b parametresi (mavilik-sarılık) değişimleri (%) (tuz kristallenmesi).....	91
Şekil 4.20:	Cam atık katkılı örneklerle (a) ve seramik atık katkılı örneklerle (b) ait renk değişim görüntüsü.....	93

Şekil 4.21: Cam atıklı yapay mermer örneklerinin SEM analizi sonucunda elde edilen görüntüler.....	97
Şekil 4.22: Seramik atıklı yapay mermer örneklerinin SEM analizi sonucunda elde edilen görüntüler.....	99



SEMBOLLER VE KISALTMALAR

°C	: Derece Celcius
Å	: Angstrom
CIELAB	: Renk Tanımlama Sistemi
ISRM	: Uluslararası Kaya Mekanigi Derneği
kN	: Kilonewton
kWh	: Kilowatt saat
MEKP	: Metil Etil Keton Peroksit
MPa	: Megapaskal
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
V	: Hız
XRD	: X-Işımları Difraksiyonu
XRF	: X- Ray Floresans Spektroskopisi

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BAZI ENDÜSTRİYEL ARTIKLARDAN YAPAY MERMER ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU

BİRSEN KIRIKTAŞ

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

106+XII sayfa

2022

Danışman: Doç. Dr. Didem EREN SARICI

Bu çalışmada, bazı endüstriyel (cam, seramik) atıklar kırma, öğütme ve 150 µm, 300 µm, 600 µm boyutlarına sınıflandırma işlemlerine tabii tutulduktan sonra yapay mermer üretimi için polyester reçine ile belirli oranlarda karıştırılmış, kalıplanarak yapay mermer numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan yapay mermer örnekleri 28 günlük kür süresi sonunda fizikomekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla basınç dayanımı, birim hacim ağırlığı, ultrasonik dalga hızı tayini, su emme, Schmidt çekici sertliği tayini deneylerine tabii tutulmuştur. Elde edilen numunelerin çevresel koşullara dayanıklılığını belirlemek amacı ile donma-çözünme, tuz kristallenmesi, termal şok döngüleri uygulanmış örneklerin fizikomekanik özellikleri ile renk ve parlaklık değerlerindeki değişimler belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen örneklerin fiziksel ve mekanik özellikleri doğal mermer numuneleri ile kıyaslandığında kullanıma uygun olduğu görülmüştür. Yapılan yaşlandırma döngülerinin hepsinde numunelerin tümünde ağırlık kayıpları geliştiği, yüzey renklerinde ve parlaklıklarında bozulmaların meydana geldiği görülmüştür. Termal şok çevrimlerinin yapay mermerlerin özelliklerini en çok etkileyen çevresel koşul olduğu anlaşılmıştır. Cam atık kullanılarak üretilen yapay mermerlerin seramik atık kullanılarak üretilen yapay mermerlere kıyasla daha duraylı oldukları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yapay mermer, cam atıklar, seramik atıklar, mermer

ABSTRACT

Master Thesis

ARTIFICIAL MARBLE PRODUCTION AND CHARACTERIZATION FROM SOME INDUSTRIAL WASTES

BİRSEN KIRIKTAŞ

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

106+XII sayfa

2022

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Didem EREN SARICI

In this study, some industrial wastes (glass and ceramic) were subjected to crushing, grinding and classification to 150 μm , 300 μm , 600 μm dimensions, then mixed with polyester resin, molded and artificial marble samples were prepared. At the end of the 28-days curing period, the prepared artificial marble samples were subjected to water absorption, unit weight, ultrasonic velocity, Schmidt hardness, uniaxial compressive strength tests to determine their physicochemical properties. In order to determine the resistance to environmental conditions samples subjected to freeze-thaw, thermal shock and salt crystallisation cycles and changes in physicochemical properties, color and gloss were determined. When the physicochemical properties of artificial marble samples are compared with those of natural marbles, it has been found that they are suitable for use. In all ageing cycles it was observed that weight loss developed in the samples and deterioration in color and glossiness were observed. It has been understood that thermal shock cycles are the most important effect on artificial marble samples. It was determined that the artificial marble samples produced using glass waste samples were more stable than the produced using ceramic waste.

Keywords: Artificial marble, glass waste, ceramic waste, marble

1. GİRİŞ

Mermer, en genel tanımıyla kireçtaşının başkalaşımı sonucu oluşan metamorfik kayadır. Mermerler içerisinde bulunan mineral ve elementlerden dolayı değişik renklerde bulunmaktadır.

Ticari bakımdan ise mermer; blok halinde üretilen levha ve plaka haline getirilebilen kullanım alanına göre çeşitli işlemlerden geçerek alımı satımı yapılan kayalar olarak tanımlanabilir.

Gelişmekte olan teknoloji ile birlikte doğal taşların yapı ve dekorasyon amaçlı tercih edilmesi kaçınılmaz olmuştur. Ancak değişimin ve sektörlerin ihtiyaçları doğrultusunda isteklerin karşılık bulması neticesinde doğal taşlar tükenmekle birlikte üretim süreçleri sonucunda büyük miktarlarda atıkların oluşması da ciddi sorunlara davetiye çıkarmaktadır (Demir ve Güngör, 2013).

Yeryüzünde tahmin edilen olası mermer rezervlerinin yaklaşık 5,3 milyar m³'ünün ülkemizde bulunduğu düşünülmektedir (Turhan, 2003).

İnsanlık, varoluşundan bu yana mermeri değişik alanlarda kullanmıştır. Dünyada ve ülkemizde bulunan tarihi yapılar mermer işletmeciliğinin tarihsel gelişimini gözler önüne sermektedir.

Seramik endüstrisinde açığa çıkan atıkların (Kalinçimen ve diğ.,2015), miktarı azımsanmayacak oranda olan cam atıkların, mermer üretim aşamasında açığa çıkan atıkların değerlendirilmesi, (İskender ve diğ.,2020) bir çok endüstriyel atık ile gerek üretim süreçlerindeki kayıpların azaltılması gerekse oluşan atıkların çevre üzerindeki olumsuz etkisinin azaltılması amacıyla geri dönüşüm için uygun yöntemler belirlenmesi için çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar kapsamında bu atıklar kullanılarak yapay mermer üretimi son dönemlerde ilgi çeken konular arasında yer almaktadır. Bağlayıcı maddeler ve farklı özelliklerdeki dolgu malzemeleriyle elde edilen kompozit malzemeler son zamanlarda en çok tercih edilen yapı malzemesi olmuştur. Mekanik açıdan dayanıklı, farklı kimyasal etkilere ve sıcaklık derecelerine dayanabilen, polyester ve dolgu malzemelerinden oluşan, işlenmesi kolay, sektörel ihtiyaçlara ve isteklere karşılık verebilen bu yapı malzemeleri yapay mermerlerdir (Yüçetürk, 2010).

Yapay mermerler istenilen boyut, şekil, renk, desen gibi çeşitlilikle sınırsız ürün yelpazesi oluşturması nedeniyle tüm inşaat ve yapı sektörlerinde kullanılmaktadır.

1.1. Çalışmanın Amacı

Atıkların 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 sağlanır, ekonomiye katkı sağlanır, atık miktarı azalır ve geleceğe yatırım yapılır. Türkiye’de atıkların geri kazanımı konusunda uzun yıllardır süregelen çalışmalar vardır. Cam, kağıt, karton, plastik ve metal gibi atıklar özellikle çöp dökme sahalarından ve sokak toplayıcıları kanalı ile sokaklardan toplanmakta ve hammadde kaynağı olarak çeşitli sektörlerde kullanılmaktadır. Türkiye’de atık malzemelerin değerlendirilmesinde zorluklar yaşanmaktadır. Amerika’da ve Avrupa’da geri kazanımlar %80 civarında iken bu oran Türkiye’de %20 civarındadır. Atık malzemelerin yeniden kullanımı ekonomik ve çevresel olarak büyük kazanç sağlayacaktır. Estetik görünüm kadar ekolojik zenginliğin korunması ve geliştirilmesi için çaba gösterilmeli ve çevreye zararlı etkiler en az düzeye indirgenmelidir.

Bu çalışmada cam ve seramik gibi endüstriyel atıklar kullanılarak üretilen suni mermerlerin fizikomekanik özellikleri, tuz kristallenmesi, ısıl şok ve donma çözünme süreçlerine dayanımlarının belirlenmesi ayrıca ekonomiye katkı sağlaması açısından düşük maliyetli inşaat ve dekarasyon amaçlı yapı malzemeleri üretimleriyle birlikte çevre kirliliğini azaltılma olanaklarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

1.2. Kapsam

Çalışma; kullanılacak hammaddelerin temini, deney numunelerinin üretimi için kullanıma uygun hale getirilmesi ve laboratuvar çalışmaları olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. Bu bağlamda;

İlk olarak kullanılacak hammadde ve malzeme temin edilmiştir. Hammaddeler laboratuvarında kırma, öğütme ve eleme işlemlerine tabi tutulmuştur. Hazırlanan hammaddelerin özgül ağırlıkları belirlenmiştir. XRD, XRF analizleri ile mineralojik, kimyasal özellikleri ortaya konulmuştur. 150 µm, 300 µm, 600 µm botyutlarında hazırlanan toz numuneler ve her bir boyuttan eşit miktarda kullanılarak hazırlanan karışım (150 µm, 300 µm, 600 µm) numuneleri hazırlandıktan sonra polyester reçine, sertleştirici ilave edilerek suni mermer karışımları hazırlanmış ve karışımlar 5x5x5 cm³ ebatlarındaki kalıplara dökülüp yapay mermer numuneleri elde edilmiştir.

İkinci aşamada hazırlanan yapay mermer örnekleri üzerinde birim hacim ağırlık, ağırlıkça ve hacimce su emme, porozite, ultrasonik dalga hızı, tek eksenli basma dayanımı ve Schmidt çekici sertliği gibi fiziksel özellikleri belirlenmiştir.

XRD, XRF ve SEM analizleri ile mineralojik, kimyasal analizler yapılmıştır. Hazırlanan örnekler üzerinde donma – çözünme, termal şok ve tuz kristallenmesi deneyleri yapılmış ve her deney 30 döngü olacak şekilde uygulanmıştır. Döngüler öncesi ve sonrası örneklerin renk, parlaklık ve ağırlık değerlerindeki değişimler hesaplanmıştır.



2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Mermer

İçeriğinin kalsiyum karbonattan oluştuğu, kireçtaşının başkalaşımı sonucu oluşan metamorfik kayalara mermer denir. Mermerler, doğal taşlar denildiğinde ilk akla gelen kayaç gruplarıdır. Doğada değişik renklerde bulunurlar (Demir ve Güngör, 2013).

Mermerler oluşumlarına göre sedimanter, magmatik ve metamorfik mermerler diye üç gruba ayrılırlar. Sedimanter mermerlere konglomera, traverten, kumtaşı, kireçtaşı gibi kayaçlar, Magmatik mermerlere granit, gabro, bazalt, andezit gibi kayaçlar, Metamorfik mermerlere ise kuvarsit, şist, kayrak taşı, gnays gibi kayaçlar örnek verilebilir. (Yüçetürk, 2010).

2.2. Yapay Mermer

Mekanik özellikleri yüksek, sıcaklık koşullarına dayanıklılık gösteren, asit-baz gibi kimyasal maddelerin korosif etkilerine karşı dayanabilme özelliği olan fiziksel olarak iyileştirilmiş, sağlığı olumsuz yönde etkilemeyen, istenilen şekil ve boyutta işlenebilme imkanı olan dolgu malzemeleri ve reçinelerle desteklenerek oluşturulan yapı malzemelerine yapay mermer denir (Evren, 2018).

Yapay mermerin hammaddesi polyester reçinelerdir. Yapay mermerin tercih üzerine farklı renklerde olmasını sağlayan kullanılan renk pigmentleridir. Yapay mermerler üretilirken kullanılan malzemeler atık mermer tozları, camlar, granit parçaları ve tozlarıdır. Bu malzemeler istenilen boyutlara getirilir, farklı dolgu malzemeleri ve yöntemler kullanılarak kalıplara dökülür. Daha sonra parlatılır ve tercihe göre kesilip, şekillendirilerek ticari amaçlı kullanılırlar. Yapay mermerler mutfak, banyo, iç, dış mekânlar, binalar ve inşaat sektörünün değişik alanlarında kullanılabilirler (Yüçetürk, 2010).

2.3. Mermer ve Yapay Mermer Arasındaki Farklılıklar

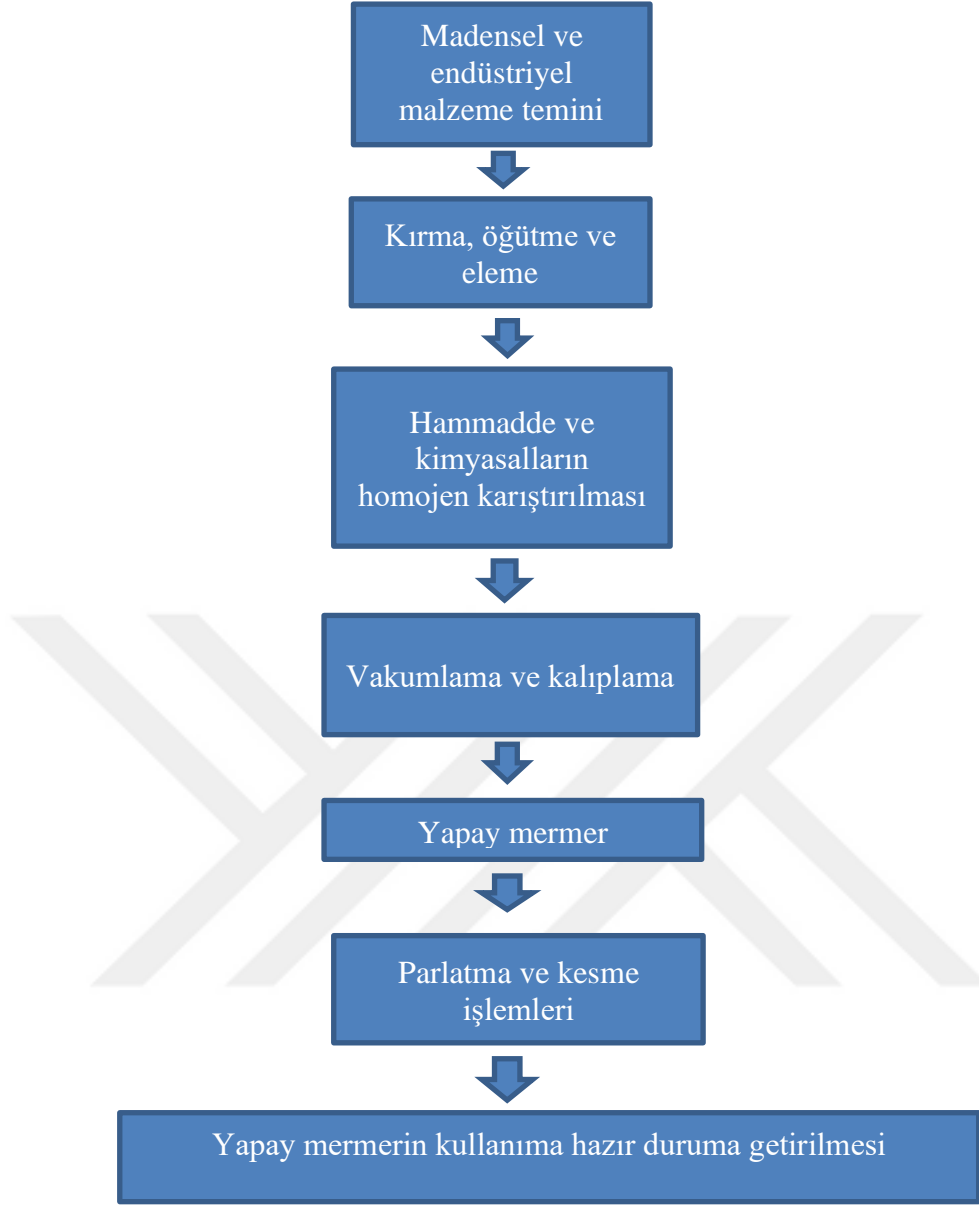
- Mermerler yapay mermerlere göre daha ağırdır.
- Mermerler doğadan blok halinde çıkarıldığı esnada kayıp çok olduğundan atık fazladır, yapay mermerlerde ise atık yoktur.
- Mermerler istenilen boyut ve şekle göre çıkarılmaz, yapay mermerler ise isteğe göre şekillendirilip üretilirler.

- Yapay mermerin üretimi doğal mermere göre hızlıdır.
- Yapay mermer tekparça üretilebilir fakat mermerin parçaları çoktur (Yüçetürk, 2010).

2.4. Yapay Mermerin Üretimi ve Yöntemi

Yapay mermerler üretilirken doğal taşlar, cam veya bazı endüstriyel atıklar kullanılmaktadır. Öğütme işlemine tabi tutulan bu atık veya malzemeler reçineler ile karıştırılarak kalıplara dökülür ve yapay mermer elde edilir. Yapay mermerlerin karakteristik özelliklerini belirleyen parametreler bağlayıcı maddelerin ve polyesterlerin içeriği (Barani ve Esmaili, 2016), kütleme yöntemi ve süresidir (Feng ve diğ., 2016 ve Yin, 2014). Yapay mermerler içinde bulunan malzemelerden dolayı oldukça elastik yapıya sahiptir bu yönüyle doğal mermerlerden ayrılır. Daha önce de bahsettiğimiz gibi yapay mermerler istenilen renklerde üretilebilir ayrıca tercih üzerine istenilen şekil ve boyutlara göre kesilip satışa hazır duruma getirilir. Aynı zamanda yapay mermerler kalıplara döküldükten sonra oluşabilecek boşluk ve gözeneklerin ortadan kalkması için titreşime tabi tutulurlar, yapay mermerler düşük su emme ve gözeneklilik derecelerine sahip olduklarından son zamanlarda önemli bir yapı malzemesi olarak kullanılmaktadırlar (Yüçetürk, 2010 ve Lee ve diğ., 2008).

Yapay mermer üretim şeması Şekil 2.1 de verilmiştir.



Şekil 2.1: Yapay mermer üretim şeması.

2.5. Yapay Mermerin Özellikleri

Farklı malzemelerin bileşimiyle oluşturulan kompozit malzemeler birbiri içerisinde çözünmezler. Bu malzemeleri hemen hemen tüm sektörler tercih ederler. Hafif olmaları, yüksek sıcaklıklara dayanıklı olmaları, görünümünün cazip olması, işlenebilirliklerinin kolaylığı ve maliyet açısından uygun olduklarından tercih edilirler.

Kompozit malzemeler;

- Matris
- Takviye edici malzeme

➤ Katkı malzemelerinden

oluşurlar.

Kompozitlerin sürekli matris olarak kullanılan;

Termoset grubunda; vinil, polyester, epoksi, fenolik reçineler.

Termoplastik grubunda; poliamid, polipropilen bulunur.

Termoset ısınmaya tabi tutulduğunda sertleşme özelliği gösteren ve bu özelliğini koruyan plastiklere denir.

Termoplastik ise, ısınmaya tabi tutulduğunda yumuşama özelliği gösteren ve belli sıcaklıkta şekillendirilebilen soğuyunca katılaştıran plastiklere denir.

Termosetlerin ısıya olan dayanıklılıkları termoplastiklere göre daha fazladır.

Kompozit malzemelerin matris bileşenlerinin amacı;

- Takviye maddesinin dağılmasını engellemek,
- Kuvveti takviye edici faza iletmek,
- Takviye edici maddeyi korumaktır (Evren, 2018).

Avantajlar;

- Demir, ahşap ve beton gibi yüzeylerde uygulanabilir.
- Dayanıklılığı yüksektir.
- Hafiftir.
- İşlenebilirliği kolaydır.
- Yüksek sıcaklık aralıklarına dayanıklıdır.
- Kimyasallara dayanıklıdır.

Dezavantajlar;

- Hammadde maliyeti yüksektir,
- Katılaştıklarında boyut olarak küçülürler,
- Malzemenin kaliteli olmasını üretim aşamasındaki şartlar belirler,
- Malzeme üretilirken oluşan hava kabarcıkları olumsuz etkiye neden olur (Evren, 2018).

2.5.1. Yapay mermerin fiziksel özellikleri

Yapay mermerlerin mekanik açıdan, sıcaklığa ve kimyasal maddelere dayanıklı olmaları değişik kullanım alanlarında tercih edilmelerini sağlar. Yapay mermerlerin fiziksel özelliklerini belirlemek için laboratuvarında deneyler yapılmaktadır. Yapay mermerlerin fiziksel özelliklerini belirlemek için özel standartlar bulunmamaktadır bu nedenle bu deneyler doğal taşların fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan standartlara göre yapılmıştır. Dolayısıyla standart değerlere uygun veya yakın sonuçlar, üretilen suni mermerlerin fiziksel ve mekanik etkilere, kimyasallara karşı dayanıklılığının, kullanım alanlarına göre uzun ömürlü olup olmayacağını tespitinde rol oynamaktadır. Böylece yapay mermerlerin doğal mermerlerle kıyaslanması daha kolay olacaktır.

2.5.1.1. Özgül ağırlık

Bir cismin veya malzemenin birim hacim ağırlığının +4 °C' deki suyun birim hacim ağırlığına oranına özgül ağırlık denir. Özgül ağırlığın belirlenmesi malzemenin bağıl yoğunluğu ile ilgilidir (Köse ve Kahraman, 2009).

2.5.1.2. Birim hacim ağırlığı

Birim hacimdeki cismin toplam ağırlığı olarak tanımlanır. Birimi kN/m³'dür (Köse ve Kahraman, 2009).

2.5.1.3. Su emme

Su emme malzemenin ağırlıkça ve hacimce boşluklarının alacağı su miktarı veya malzemenin emmiş olduğu suyun yüzde olarak ifadesidir (Köse ve Kahraman, 2009).

2.5.1.4. Porozite

Bir kayaç kütleindeki boşluk hacminin toplam hacme oranına denir. Porozite, gözeneklilik diye de adlandırılır. Birimi %'dir. Yapay mermerler üretilirken boşlukların oluşmaması için titreşime tabi tutulmalarındaki neden bu gözeneklerin mümkün olduğunca az olmasını sağlamak içindir. Bundan dolayı yapay mermerlerin fiziksel açıdan ve kimyasallara karşı dayanıklı olmaları için boşluklarının az olması gerekir. Yapay mermer örnekleri içerisinde boşluk ve gözeneklerin olması dayanımını azaltacaktır. Yapay mermer örneklerinin gözeneklilik sınıflandırılması Moss – Quervan'den hareketle Tarhan'a, (1989) göre yapılmıştır. Kayaçların porozite değerlerine göre sınıflandırılması Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1: Kayaçların porozite değerlerine göre sınıflandırılması

Örnek 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

2.5.2. Yapay mermerlerin mekanik özellikleri

2.5.2.1. Schmidt çekici sertliği

Schmidt çekici sertliği tayini, kaya ve betonların sertliklerinin belirlenmesinde sıkça kullanılan bir yöntemdir. Kayaç veya betonların Schmidt sertliklerine bakılırken numunelerin nem içeriğine, yüzeylerinin pürüzsüz olmalarına dikkat edilir. Çünkü bu özellikler sertlik değerini etkiler. Ayrıca Schmidt çekici sertlik değerleri tek eksenli basma dayanımlarının da dolaylı olarak belirlenmesinde kullanılır (Jaeger ve diğ., 2004).

2.5.2.2. Tek eksenli basınç dayanımı

Kayaçların mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan basınç dayanımı yapay mermerlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde ve sınıflandırılmasında da kullanılan bir yöntemdir. Yapay mermer örneklerinin basınç dayanımının birim hacim ağırlığına, boşluk oranına, süreksizliğe, su içeriğine, numunenin boy ve çap oranına, yükleme hızına, örneğin alt ve üst yüzeyinin özelliğine bağlı olarak değişkenlik gösterdiği ve etkilendiği belirlenmiştir (Köse ve Kahraman, 2009).

Yapay mermer örneklerinin tek eksenli basınç direncine göre sınıflandırılması Çizelge 2.2’de belirtilmiştir

Çizelge 2.2: Kayaçların tek eksenli basınç direncine göre sınıflandırılması (Deere ve Miller, 1966).

Örnek 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

2.5.2.3. Ultrasonik dalga hızı

Ultrasonik dalga hızı düşük maliyetli, hızlı ve kolay yapılabilir olması arazi ve laboratuvar şartlarında uygulanabilirliği açısından sıklıkla tercih edilen bir yöntemdir. Bu yöntem

madencilik çalışmalarının yanı sıra petrol ve doğal gaz arama çalışmalarında da sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Ultrasonik dalga yayılımı üç farklı dalga formuna sahiptir. En yaygın kullanılan dalga boyları P ve S-dalgasıdır. Bu deneyle yapay mermer örnekleri içerisindeki boşluk, çatlak ve homojenliklerin belirlenmesi amaçlanmıştır (Kesimal ve Yılmaz, 2016).

Yapay mermer örneklerinin ultrasonik dalga hızı sınıflandırılması Çizelge 2.3'de verilmiştir

Çizelge 2.3: P dalga hızı sınıflaması (Anonim, 1979).

Örnek 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

2.5.3. Cam ve seramik atıkların kimyasal - mineralojik özellikleri

2.5.3.1. X- ışını kırınım yöntemi (XRD)

Malzemenin yapısını ve karakterini belirleyen yöntemdir. Yöntem Bragg yansıma esasına yani X-ışınlarının her bir malzemenin kristal yapısına göre kendine has dizilime bağlı olarak kırılmasıdır.

X-ışını kırınım yöntemi örneğe zarar vermez, numuneye ışın gönderilerek yansıyan ve dağılan veriler toplanır. Toz numune örneklerine uygulanan X-ışını farklı açı ve şiddetlerde yansımaktadır. Bu yansıma sonucu analizi yapılan malzemenin mineralojik ve elementel bileşimi tespit edilmektedir (Öz ve Özer, 2019).

2.5.3.2. X- Işını floresans spektroskopisi (XRF)

Bu yöntem gıda, tarım, boya endüstrisi, değerli taş, metalurji ve malzeme bilimi, jeoloji gibi bir çok çalışma alanında kullanılır. Analizi yapılan malzemeye etkileşimi sağlanan ikincil X- ışınlarının dalga boyu ve şiddetinin ölçülüp niteleyici ve niceleyici elementel analizi yapılan ve malzemeye zarar vermeyen analitik bir yöntemdir. Yöntem, X- ışınlarının enerjisini hesaplayarak elementleri belirlerken gelen ışın sayısını da hesaplayarak element miktarını da belirler. (Öz ve Özer, 2019).

2.5.3.3. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

Taramalı elektron mikroskobunun (SEM) çalışması küçük bir alana odaklanan yüksek enerjili elektronlarla o yüzeyin taranması esasına dayanır. Yüksek enerjili elektronlar örnek

ile etkileşime geçerek foton sinyalleri oluşturur. SEM'in çalışma prensibi şöyledir; elektron elde etmek için filament lamba kullanılır ve üretilen elektronlar elektromıknatısla numune üzerine gönderilir ve görüntü yakalanarak ekrana yansıtılır. Farklı açılarda saçılan elektronlar algılayıcı tarafından toplanır ve bu sinyaller mikroskop yazılımı aracılığıyla işlenip 3 boyutlu görüntüler elde edilir. Taramalı elektron mikroskobu bir çok alanda tercih edilen yöntemdir. Yüksek ayırım gücüne sahip olması, odak derinliği ve görüntü ile analizi birleştirebilme özelliği bakımından kullanım alanı çok geniştir.

2.6. Yapay Mermer Üretiminde Kullanılan Reçineler

2.6.1. Polyester reçine

Polyester bir polimer türüdür. Cam elyaf dolgulu plastik malzeme üretiminde ve mühendislik uygulamalarında kullanılan polyester reçineler güçlendirici özelliğe sahiptir, deformasyonlara karşı dayanıklıdır. Doymamış polyester reçine ve vinil ester reçine olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar. En çok kullanılan türü doymamış polyester reçinelerdir. Alkol ve organik asitin tepkimesiyle oluşurlar. Film, jel ve sıvı halde bulunurlar. Sıvı olanları renksiz, yüksek viskoziteye sahiptir ve MEKP (metil etil keton peroksit) adlı sertleştiriciyle birlikte kullanılırlar. Kürleşmesinin sağlanması için hızlandırıcı olan %6'lık Kobalt kullanılmaktadır. Sentetik özelliğe sahiptirler. Hafif ve hava şartlarına dayanıklı olmaları bakımından en çok tercih edilen reçinelerdir (Yüçetürk, 2010 ve Tok,2018).

Polyester reçinelerin çeşitleri;

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

2.6.1.1. Ortoftalik polyester

Üretiminde çok özel durumlar gerektirmeyen uygulamalarda ve çok çeşitli alanlarda kullanılırlar.

2.6.1.2. İzofthalik polyester

Kimyasal etkenlere, sıcaklık ve basınca karşı yüksek dayanıma sahip olan malzemelerin üretiminde kullanılırlar. Bu özellikleriyle ortoftalik polyesterlerden üstündürler.

2.6.1.3. Tereftalik polyester

Pet şişe diye kullandığımız su şişelerinin üretiminde kullanılan yüksek dayanıklılığa sahip renksiz, nem tutma özelliği düşük olan polyester reçine türüdür.

2.6.2. Epoksi reçine

Kimyasallara karşı dayanıklı yapışkan özelliği yüksek epoksi reçineler polimer matris grubunda yer alırlar. Endüstriyel uygulamalarda kullanılırlar. Bisfenol A ve epiklorohidrinin tepkimesi sonucu elde edilirler. Mekanik açıdan yüksek dayanıklılığa sahiptirler. Alkali, asit ve suya dayanıklıdırlar. Üretim maliyetleri polyester reçineye göre yüksektir (Evren, 2018).

2.6.3. Polyester ve epoksi reçine arasındaki farklar

- Polyester reçine epoksi reçineye göre daha zehirlidir.
- Polyester reçineye nazaran epoksi reçine daha yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklıdır.
- Polyester reçine yapışkan değildir fakat epoksi reçine yapışkandır.
- Polyester reçine epoksi reçineye göre daha düşük maliyetlidir

2.7. Endüstriyel Artıklar

Daha önce farklı endüstri sektöründe işlenmiş veya tüketilmiş malzemelerin zamanla kullanılmayan işlenemeyen kısımlarına endüstriyel artıklar denir. Sanayinin gelişmesiyle birlikte çevreye çok miktarda atık bırakılmakta bu durum da çevresel endişenin artmasına ve yaygın olarak tartışılmasına zemin hazırlamaktadır. Bu atıklar uygun bir şekilde bertaraf edilmediği takdirde gerek doğa gerekse insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere neden olurlar. Bu nedenle hızla gelişen teknoloji ve sanayinin global anlamda kolaylık sağlamasının yanında bilinçsizce yapılan üretimler doğaya ve insana zarar verir. Ortaya çıkan bu sorun araştırmacıların bu sorunu çözme veya en az seviyeye indirmeye yönelik çalışmalar yapmalarını sağlamıştır. Bu çözümlerden biri endüstriyel atıkların inşaat sektöründe kullanılmasının sağlanarak çevre kirliliğini azaltmak ve ekonomiye katkı sağlamaktır (Saberian ve diğ., 2021). Atıkları değerlendirmenin en doğru yolu fiziksel ve kimyasal bir takım işlemlerden geçirilerek yeni bir ürün elde etmek yani geri dönüşüme katılmalarını sağlamaktır (Niyasom ve Tangboriboon, 2021).

Endüstriyel atıklardan katı atıkların yeniden kullanım alanları değerlendirilecek olunursa hem ekonomik açıdan hem de çevre kirliliği üzerinde olumlu etkileri söz konusudur. Endüstriyel katı atıkların sıklıkla kullanıldığı alanlar beton teknolojisi, karayolları vb. gibi alanlardır (Pehlivan ve diğ., 2014). Atık yönetimi Şekil 2.2 de verilmiştir.

Atık oluşumunu engelleme



Atık oluşumunu azaltma



Tekrar kullanım



Geri dönüşüm



Geri kazanım



Bertaraf

Şekil 2.2: Atık yönetimi.

Atıkların belli bir yönetim sistemi üzerinden değerlendirilmesi gerekir. Bu yönteminde belirli özellikleri olmalıdır. Bu özellikler;

- Bulunduğu yere göre bütüncül olmalı.
- Geri kazanım açısından bakıldığında ekonomik değere sahip olmalı.
- Çevresel, mekânsal bakıldığında zamana bağlı olarak değişkenliklere karşı esnek olmalı.
- Bulunduğu bölgeye, mekâna, yerleşim yerine göre planlama yapılmalıdır.

İmalat sanayi işyerleri, maden işletmeleri, termik santraller, organize sanayi bölgeleri, sağlık kuruluşlarının oluşturduğu artıklar ile evsel atıkların toplam miktarı 104,8 milyon ton olarak hesaplanmıştır (tuik.gov.tr).

İstanbul baz alınarak yapılan bir katı atık karakterizasyonunda;

Ortalama atık 14000 ton olup bunun 9000 tonu Avrupa, 5000 tonu Asya yakasında oluşmaktadır. Oluşan atık çeşit ve yüzdeleri şöyledir (Kemirtlek, 2005).

Organik atık: % 53

Plastik atık: % 17

Kağıt atık: % 13

Cam atık: % 6

Tekstil atıkları: % 4

Seramik-tuğla atıkları: % 3

Kül atıkları: % 3

Metal atıklar: % 1

İstanbul için sözkonusu olan bu durum değerlendirilip Türkiye'ye yansıtıldığında atıkların oluşum miktarlarını belirlemek ve bu atıkların çevre kirliliği üzerindeki etkisini daha az seviyeye indirmek oldukça önem arz etmektedir. Bu da geri dönüşüm ile sağlanacaktır.

2.7.1. Seramik atıklar

Bu çalışmada kullanılan fayans atıkları seramik malzemeden oluşan isteğe göre çeşitli boyutlarda ve şekillerde üretilen zeminlerin, duvarların kaplamasında kullanılan sırlı ya da sırsız malzemeler olarak tanımlanır. Basınç dayanımları yüksek çekme dayanımları düşüktür.

Seramiklerde şekillendirme, sırlama, pişirme vb. gibi aşamalardan geçerken ve montajlama çalışmaları esnasında çok fazla miktarda atık meydana gelmektedir. Bu atıklar; çevresel sorunların yanında depolama zorluğu yaratmakta ve ekonomik açıdan kayıplar oluşturmaktadır.

2014 yılı baz alınarak yapılan bir araştırmada ülkemizde seramik karo üretimi yılda 400 milyon metrekare olarak bildirilmiştir. Bu üretimler sonrasında minimum %5 oranında atık oluşmaktadır. Dolayısıyla bu hesaplamalar dikkate alınırsa dünyada yaklaşık 550 milyon m² seramik atık oluşmaktadır (Poyraz ve Yılmaz, 2018).

Seramik karo sektöründe sürdürülebilirlik ve geri dönüşüm araştırmalarında Türk Seramik Kaplama Sektörünün atıkları geri dönüşüm amaçlı kullanımları firmalar tarafından gizlenmektedir. Yapılan bu araştırmalarda atıkların geri dönüşümle değerlendirilmiş örnekleri yok denecek kadar azdır ve bu durum firmaların çalışma prensipleri gereğince yapılmaktadır (Yılmaz ve Poyraz, 2015).

Yapılan araştırmalar neticesinde seramik atıkların % 20 oranına kadar değerlendirilebileceği sonucu ortaya çıkmıştır (Poyraz, 2018).

2.7.2. Cam atıklar

Cam; kireçtaşı, soda ve kum gibi doğal malzemelerin 1500 C ye kadar ısıtılarak eritilmesi sonucu oluşur. Ana maddesi kumdur.

Cam atık çeşitlerinden bazıları ambalaj, sofa, düz/adi cam ve araç camlarıdır.

Cam atıklar doğru şekilde yok edilmediklerinde çevreye rastgele atıldıklarında ormanlarda yangınlara sebep olurlar. Doğada 4000 yılda yok olan cam atıkların oluştuğu yerler; evler, restoranlar, işletmeler ve marketlerdir. Bu atıklar uygun şekilde geri dönüştürülürse 1 ton cam atıktan;

44 milyon kWh enerji

32 milyon kg sera gazı

126 bin varil petrol

1.5 milyon m³ depolama alanı

1.3 milyon ton hammadde

Elde etme imkanı olur (www.enerjiportali.com).

Cam atıklar diğer tür atıklardan ayrı olarak biriktirilmelidir. Camlar yeniden kullanılabilir ve birçok kez geri dönüştürülebilirler. Cam atıkların geri dönüştüm için kullanıldığı bir çok alan mevcuttur, örneğin imento üretiminde, cam agrega veya filler malzeme gibi katkı malzemesi olarak kullanılırlar.

Türkiye de ki atık camın tekrar değerlendirilme oranı yaklaşık % 40'dır. Yılda 6500 ton atık cam geri dnştme tabi tutularak ülke ekonomisine fayda sağlanmaktadır (www.maabir.com).

2.8. Yapay Mermerlerin Yüzey zellikleri

2.8.1. Renk zelliklerinin belirlenmesi

Herhangi bir rengin uyarımı değiştiği anda renkte bir müddet sonra farklılıklar gözlemlenir. Malzeme veya örneklerin renkleri CIELAB sistemindeki renk özellikleri ile belirlenir bu

bir etken olduğu gözlemlenir (Binal ve diğ., 1997). Suyun donması ile hacim artar ve boşluklar içerisinde suyun donmasından ileri gelen buzların oluşturduğu basınç ile malzeme veya örnekler kırılma, çatlama gibi fiziksel bozunmalara maruz kalırlar. Örneklerin donma-çözünmeye karşı dayanıklılıkları içerisindeki boşluklara, mineralojik özelliklere, su emme kapasitesine ve ortama bağlıdır (Amorosso ve Fassina, 1983).

2.9.2. Termal şok

Malzemelerin ani sıcaklık değişimlerine karşı gösterdiği mukavemettir. Termal şok malzemeler üzerinde sündürme davranışı gösterir dolayısıyla malzeme çatlak veya kırılır.

Seramik ve cam malzemeler genellikle düşük ısı iletkenlik özelliği göstermekle birlikte yüksek sıcaklıklara karşı duyarlıdır. Isıl kapasite, dayanım, kırılma noktası, termal iletkenlik ve genleşme katsayısı termal şok direncini etkiler (Bolcavage ve diğ.,2004).

2.9.3. Tuz kristallenmesi

Tuz kristallenmesi malzemelere veya kayalara en çok zarar veren fiziksel bir bozunmadır. Tuz kristallenmesi tuzlu çözeltilerin örneklerin kırık, çatlak ve süreksizliklerine işleme sonucu buharlaşarak tuz kristalleri bırakması ile oluşur. Örnekler belli bir oranda su içerdiğinden ve bünyesinde suda çözülebilen tuz bulundurduğundan nemli ortamda erir kuru ortamda kristallenir yani hacimde artma olur. Sıcaklığın artmasıyla buharlaşma etkisi sonucu tuzlar erir çatlak ve kırıklarda birikerek kabuklar oluşturur. Bu durum döngü gibi düşünülürse tuzun kristallenmesi ve erimesi malzemede veya kayalarda bozunmalara neden olur (Yavuz ve Topal, 2007).

Çözünebilen tuzlar malzemenin parçalanmasına sebep olur. Malzeme veya kayaca nüfuz eden tuz malzemede bulunan boşluklarda birikip kristallenince hacimsel genişleme yaratarak malzeme içinde ek basınçlar doğurur ve malzemede bulunan kılcal çatlaklarda ve boşluklarda genişleme, meydana gelir, bu durumun neticesinde parçalanma dış yüzeylerde pullanma dökülme gibi bozunmalar oluşur.

2.10. Literatür Taraması

Endüstriyel atıkların değerlendirildiği çalışmaların bazıları şunlardır;

Çelik ve Emrulloğlu (1999), mermer atıklarından polyester bağlayıcılı suni mermer blok ve levha üretimini araştırmışlardır. Üretilen numunelerin fiziksel mekanik özellikleri incelenmiştir. Yapay mermerlerde kullanılan polyester reçine oranı arttıkça üretilen suni mermerlerin basınç dayanımları da artmıştır. %18 polyester oranında yapay mermerin basınç dayanımı doğal mermer ile kıyaslandığında standart üzerinde olduğu görülmüştür. Sonuç olarak bu yöntem ile istenen şekil, renk ve boyutta yapay mermer üretiminin mümkün olduğu görülmüştür.

Lee ve diğ. (2008), çalışmalarında %40 atık cam, %60 granit agrega ve %8 oranında doymamış polimer reçine ile karışım sağlayarak titreşimli sıkıştırma yöntemiyle yapay taş plaka üretimi yapmışlardır. 14,7 MPa basıncında 33,3 Hz titreşim frekansında 50 mm Hg'de vakum altında 148,8 MPa basıncı aşan dayanımına, %0,02 su emilimine sahip taş plakalar elde etmişlerdir. Basıncın plakaların dayanımında belirleyici faktör olduğu, vakum ve titreşim frekansında yoğunluğu ve basıncı etkileyen faktörler olduğunu belirlemişlerdir. Sonuç olarak üretilen taş plakaların dayanımının ve su emme değerlerinin doğal yapı levhalarından üstün olduğu neticesine varmışlardır.

Kayacı ve diğ. (2009), yaptıkları çalışmada mermer kesim ve frit (cam haline gelmeden önceki hammadde cam hamuru veya porselen hamuru) atıklarının porselen karo bünyelerinde beraber kullanımını araştırmışlardır. Mermer kesim atığını %3 - %6', frit atığını %3-%5 gibi değişen miktarlarda kullanıp elde edilen ürünlerin faz ve mikro yapısal özelliklerini incelemişlerdir. Elde edilen porselen karoların su emme mukavemet ve pişme küçülmesi gibi özellikleri test edilerek en iyi özelliğe sahip olan porselen karoyu belirlemişlerdir. Bu çalışmada sinterleme davranışlarını daha iyi duruma getirmenin ham madde maliyetini düşürdüğü için kullanım açısından avantajlı olduğu bildirilmektedir.

Yüçetürk (2010), çalışmasında Göller bölgesindeki kayaçların mineralojik ve petrografik özelliklerinin yapay mermer kalitesine etkileri ve Isparta yöresindeki mermer atıklarının kullanılarak suni mermer üretilme olanaklarını araştırmıştır. 2 adet traverten atığı, 1 adet andezit atığı ve 9 farklı mermer ocağından alınan mermer atıkları kullanılarak suni mermerler elde edilmiş ve bu suni mermerlerin mekanik ve fiziksel özellikleri belirlenerek standartlara uygunluğu irdelenmiştir.

Yeşilkaya ve diğ.(2010), yaptıkları çalışmada mermer ocaklarında oluşan volkanik tüf ve traverten atığının farklı oranlarda beyaz çimento ile karıştırılarak yapay mermer üretiminde kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Üretilen örnekler kür işlemine tabi tutulduktan sonra 28

gün bekletilerek ultrases, basınç dayanımı deneylerine tabi tutulmuştur. Her seriden ayırdıkları numuneleri de donma-çözünme döngülerine tabi tutmuşlar, sonra basınç dayanım deneyi uygulamışlardır. Çalışmadaki amaç çimento miktarını minimuma indirerek atıkların kullanılmasını sağlamak ve hem daha ekonomik hem de çevreye daha az zarar verebilecek yeni yapı ürünleri üretmektir. Deneyler neticesinde beyaz çimento ile karışımı sağlanan volkanik tüf atığının miktarı artıkça basınç dayanımının azaldığı, ultrases hız değerinin arttığı, traverten toz atığı artıkça basınç dayanımının arttığı, ultrases hız değerinin azaldığı sonucuna varılmıştır.

Hamoush ve diğ. (2011), çalışmalarında kauçuk bitkisini kullanarak mühendislik taşları üretme tekniklerini araştırmışlardır. Üretilen malzemenin fiziksel ve mekaniksel özelliklerini incelemişler ve bu özellikleri geliştirme yöntemlerini araştırmışlardır. Yapılan deneyler neticesinde üretilen taşların darbe deneylerine dayanıklı olduğu ve ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılabileceği sonucuna varmışlardır. Aynı zamanda kauçuğun kullanılmış olmasının çevre kirliliğini azaltma yönünden geri dönüşüme katkı ve enerji tasarrufu sağlayacağı da gözlemlenmiştir. Ayrıca kauçuğun eklenmesi malzemenin birim ağırlığını azaltmakta esnekliği ve termal direncini artırmaktadır.

Aydın ve Egemen (2011), mermer tozu atığının inşaat sektöründe kullanımının belirlenmesini amaçladıkları çalışmalarında çimento, mermer tozu, uçucu kül ve kimyasal katkı kullanarak elde edilen numuneler üzerinde mekanik ve kimyasal deneyler yapmışlar, bu malzemelerin inşaat sektöründe kullanılabilirliğini test etmişler ve olumlu sonuçlar almışlardır.

Dayı ve diğ. (2013), yaptıkları çalışmada zeolit, uçucu kül ve atık cam malzemelerin portland kompoze çimento üretiminde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmada zeolit, uçucu kül ve atık cam, %5 ve %10 oranlarında portland çimentoyu, klinker katkılı çimentolar elde etmek için kullanmış ve deneyler sonucunda uçucu kül ve atık camlı karışımların portland kompoze çimento üretiminde kullanılabilir olduğu kanısına varmışlardır.

Gökçer ve diğ. (2013), yaptıkları çalışmada atık mermer tozu ve cam lif katkılı harç numunelerinin yüksek sıcaklık altındaki davranışlarını incelemişlerdir. Bu çalışmada farklı miktarda cam lif bulunan ve farklı oranlarda atık mermer tozu ilaveli harç numuneleri hazırlanmıştır. Numunelerin mekanik ve fiziksel özellikleri ve yüksek sıcaklığa karşı dayanımı incelenmiştir. Harç numuneleri içerisindeki mermer tozu miktarı arttıkça ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı, çekme dayanımı ve gözeneklik değerlerinin artmasının mermer

tozunun boşlukları doldurmasından kaynaklandığı düşünülmüştür. Neticede cam lif ve mermer tozu ilaveli numunelerde yüksek sıcaklığın etkisinin gözenekliliği arttırdığını ultrases geçiş hızı, çekme ve basınç dayanımı değerlerini azalttığı sonucuna varılmıştır.

Pekdemir ve Bayram (2015), çalışmalarında kil ve öğütülmüş yeşil soda şişeleri kullanmışlar, kimyasal analizler ve tane boyu dağılım analizleri yapmışlardır. Kile %0, %5, %10, %15, %20 oranında cam tozu karıştırılarak % 7 oranında nemlendirilen numuneler 24 saat kapalı plastik torbalarda bekletilmiş, sonra 70x20 mm boyutlarında çelik kalıplarda 70 MPa basınç ile preslenmiş ve 24 saat oda sıcaklığında bekletildikten sonra 100 °C etüvde 4 saat kurutulmuş ve son olarak 5 °C/dakika hızla 900, 1000, 1100 °C sıcaklıkta 2 saat fırında pişirilmiştir. Numuneler üzerinde 3-nokta eğilme deneyi, elastisite modülü, renk ölçümleri, su emme, görünür yoğunluk, görünür ve toplam gözeneklilik deneyleri yapılmış ve tuğlanın eğilme dayanımı, elastisite modülü değerleri cam miktarı artışı ile birlikte belirtilen sıcaklık değerlerinde arttığı görülmüştür. Görünür yoğunluk değerlerinde 1000 ve 1100 °C’de ki pişirmelerde artış gözlenirken 900 °C da artış gözlenmemiştir. Buna neden olarak camın tam olarak erime göstermediği viskozitesinin yüksek olması sebebiyle gözenekleri doldurmamış olması gösterilmiştir. Açık ve toplam gözeneklilik değerlerinde ise 3 sıcaklıkta da beklenen değerler gözlenmiş fakat 900 °C de kısmi sapmalar meydana gelmiştir. Renk de ise beklenen değişim gözlenmiştir. Dolayısıyla cam tozu ile tuğla üretimi olumlu sonuç verdiği için gerek geri dönüşüm açısından gerekse çevre kirliliğinin azalması bakımından tercih edilebilir sonucuna varılmıştır.

Özünal ve İmat (2016), yaptıkları çalışmada atık camdan cam beton üreterek mimari ve dekoratif amaçlı olarak yaralanmayı amaçlamışlardır. Yapılan deneylerde 3 farklı renkte cam kullanılmıştır bunlar beyaz, kahverengi ve yeşil renkli cam atıklardır. Üretilen cam beton örnekleri üzerinde basınç ve genleşme deneyleri uygulanmış ve camların renklerine göre farklı genleşmeler gözlemlenmiştir. Genleşme değerlerindeki artış sırasıyla en çok beyaz camlı agrega numunelerinde sonra kahverengi cam agrega numunelerinde, en az yeşil renkli cam agrega numunelerinde görülmüştür. Basınç, eğilme ve genleşmeye karşı göstermiş oldukları dayanıklılık ise artan cam miktarı ile doğru orantılıdır. Bu durumun bağlayıcı miktarı azalmasından kaynaklı olduğu düşünülmüştür. Beyaz cam atıkları basınç deneylerine karşı dayanıksız, yeşil cam atıkları ise basınç deneylerine karşı en dayanıklı atık olarak görülmüştür. Çalışma sonucunda %25 oranında cam atık kullanılarak üretilen beton blokların sağlam olduğu ve camın beton içerisindeki agrega oranı doğru belirlendiğinde mimari ve dekoratif açıdan kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Turgut (2016), yaptığı çalışmasında uçucu kül, kireç, atık cam karışımları kullanılarak yapı blokları üretmiştir. Çalışmada uçucu küle değişik oranlarda kireç ve cam tozu eklenerek 4 farklı karışım elde edilmiş, burada uçucu kül oranı sabit tutularak bloklar üretilmiştir. Bloklar 24, 48, 72 ve 96 saatlik sürelerde 70 °C sıcaklıkta kür edilmiş, yoğunluk, su emme, basınç ve yarmada çekme dayanımları belirlenmiş en uygun kür süresinin 72 saat olduğu gözlemlenmiş bununla birlikte cam tozu ve kireç miktarlarının sonuç üzerinde etkili olduğu kanısına varılmıştır. Dolayısıyla bu atık malzemeler değerlendirilerek yapı blokları üretilebilir sonucuna varılmıştır.

Mohajerani ve diğ. (2017), çalışmalarında atık camların geri dönüşüm adına inşaat sektöründe kullanılmasının olumlu sonuçlar vereceğini vurgulamışlardır. Ancak cam tozlarının sektörlerde kullanılmadan önce dayanıklılıklarının test edilmesini ve bu konuda daha fazla araştırma yapılması gerektiğini vurgulamışlardır. Aynı zamanda cam türlerinin de dayanıklılık üzerindeki etkilerinin araştırılması gerektiğini söylemişlerdir.

Heriyanto ve diğ. (2018), atık cam değerlendirilmesi üzerine yaptıkları çalışmada birçok atık cam çeşidini hammadde olarak kullanarak polimerik cam kompozit üretimi yapmış, bu kompozit malzemenin mekanik özellikleri, sağlayacağı yarar, albenisi ve piyasada tutunabilirliğini araştırmışlardır. Küçük parçalara öğütülen cam atıklar toz haline getirildikten sonra reçine ile karıştırılıp preslenmiştir. Aynı zamanda çeşitli oranlarda reçine ile cam tozu karıştırılıp test edilen kompozit malzemenin dayanıklılığının en yüksek olduğu değerler belirlenmiştir. Çalışma neticesinde bu atık camların değerlendirilmesinin geri dönüşüme katkı sağlayacağı ve çevre kirliliğinin azaltılması bakımından oldukça faydalı olacağı sonucuna varılmıştır.

Ardı ve Büyüktaşkın (2019), katı atıkların değerlendirilerek yapı malzemeleri üretiminde kullanılma olanaklarını araştırdıkları çalışmalarında atık camın tanecik boyutunun küçültülmesi koşuluyla betonda agrega olarak kullanılmasının eğilme, basınç ve çekme dayanımlarını arttırdığını belirlemişlerdir. Doğal betonun molozlardan yapılan betondan daha dayanıklı olduğu, plastik oranı arttıkça basınç dayanımının azaldığı ve aynı zamanda tıpkı atık cam gibi plastikte de küçük parçaların kullanımının basınç dayanımını arttıracığı görülmüştür.

Yazıcı (2019), yaptığı çalışmada cam partikül takviyeli Alüminyum matrisli kompozitlerin mikrodalga sinterleme yöntemi ile üretimini araştırmıştır. Çalışmada atık cam tozları içeren alüminyum kompozit numuneler üretilmiş ve değişik oranlarda cam tozu içeren karışımlar

hazırlanmıştır. Bu cam tozları yeşil renkli cam atıklarının öğütülmesi sonucu elde edilmiştir. Öğütme işlemi alümina bilyeler içeren porselen değirmenler vasıtasıyla yapılmış ve en son olarak da 53µm'luk elekten geçirilmiştir. Kompozit numune hazırlanırken alüminyum tozlarına %5-20 arasında değişen farklı oranlarda cam tozları eklenerek karışımlar hazırlanmıştır. Bu karışımlar bilyeli değirmende öğütme işlemi ile 2 saat karıştırılmıştır. Öğütme 5 dakikalık aralıklarla yapılmıştır. Son olarak toz karışımlar 80 bar basınçla presleme işlemine tabi tutularak şekillendirilmiştir. Sinterleme işlemleri ise ev tipi mikrodalga fırınlarda gerçekleştirilmiştir. Numuneler maksimum 550 °C de 18 dakikalık süre ile sinterlemeye tabi tutulmuştur. Daha yüksek sıcaklıklarda numuneler üzerinde hacimsel genleşme ve kısmi ergime gibi sorunlar gözlemlenmiştir.

Yüz ve diğ. (2019), yaptıkları çalışmada kuvars taşları ve polyester reçine kullanarak "Aglomera veya Mühendislik taşı" diye adlandırdıkları kompozit malzemeyi üretmişlerdir. Mühendislik taşları yaklaşık % 90 ile % 94 oranında doğal taşlardan oluşmaktadır. Kompozit malzeme hazırlanırken boyut seçimi yapılmıştır. Yapılan deneyler neticesinde mühendislik taşı için makul yoğunluğun 2,65g/cm³ olduğu göz önünde bulundurularak hazırlanan örneklerden yoğunluğu 2,50 g/cm³ olan kompozit malzemenin istenilen özelliği taşıdığı sonucuna varılmıştır.

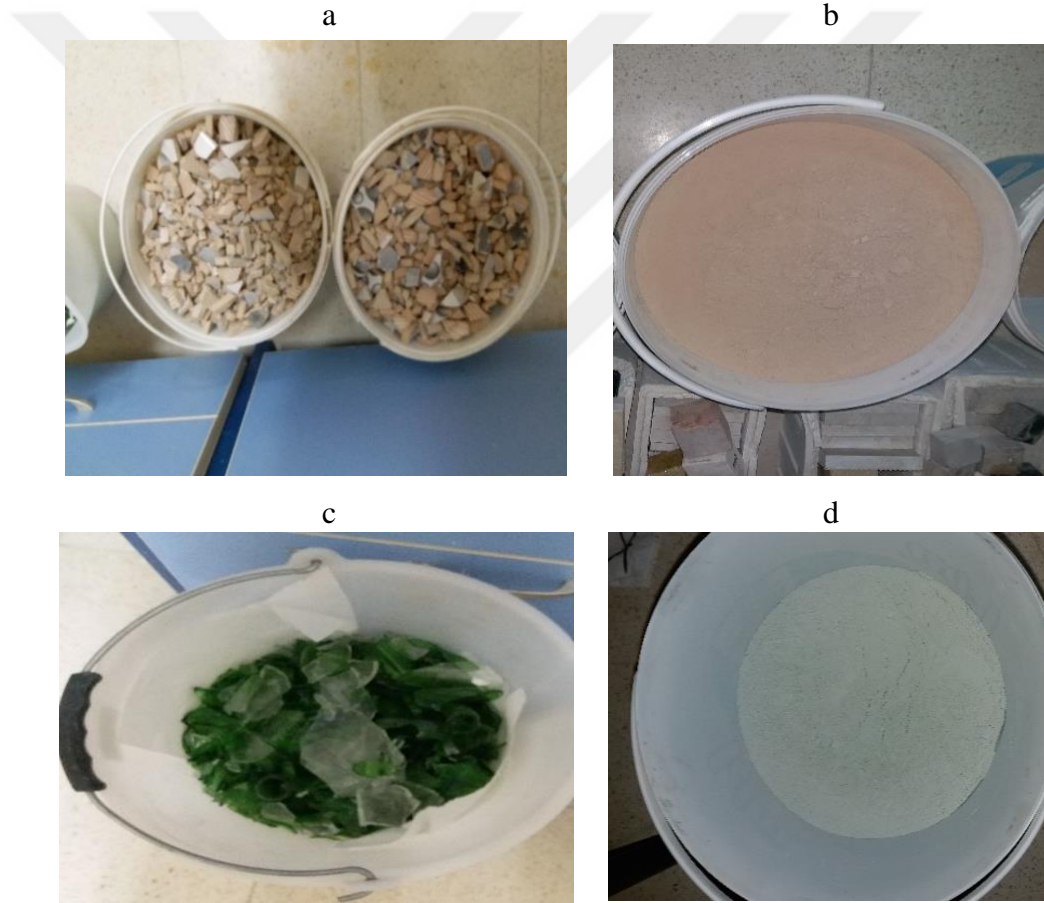
Özgüden ve Çağatay (2020), yaptıkları çalışmada atık cam katkılı betonların basınç, çekme dayanımlarını etkileyen faktörleri incelemişler, farklı oranlarda atık cam katkılı beton numuneler üretilip 28 günlük kırım sonuçlarına bakmışlardır. Kum, çakıl, kum ve çakıl ağırlığının %5, %10, %25 ve %50 'si oranlarında cam atıklar kullanılarak beton numuneler hazırlanmış, basınç dayanımları tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlarda beton içerisine kum ağırlığının %10'u oranında cam atık karıştırıldığında basınç dayanımının yüksek olduğu atık cam katkısı çakıl ile olduğunda ise basınç dayanımının düştüğü gözlemlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda cam atıklarının yüzdeleri arttıkça beton mekanik özellikleri olumsuz yönde etkilenmiştir. Atık cam katkısının %10 oranında daha uygulanabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Peixoto ve diğ. (2021), yaptıkları çalışmada endüstriyel laminasyon işlemlerinin yapıldığı aşamada açığa çıkan cam atığın inşaat alanlarında kullanılması için epoksi reçine ile karışımı sağlanarak yapay taş üretmeyi amaçlamışlardır. Üretilen yapay taşın fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırmışlar ve neticede standartlara uygun olmaları ile doğal taşlara nazaran ekonomik ve hafif olmaları bakımından inşaat sektöründe kullanılabilir oldukları sonucuna varmışlardır.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. Malzeme

Bu çalışmada seramik ve cam atıklar kullanılarak yapay mermer üretilmiştir. Seramik atıklar dekorasyon amaçlı kullanılan fayans (karo) atıkları olup kullanılamaz olarak nitelendirilen inşaat atıkları arasından temin edilmiştir. Cam atıklar ise yeşil soda şişelerinden oluşmaktadır. Yeşil soda şişelerinin geri dönüşümü yapılmadığından atık olarak direkt çevreye bırakılmaktadır. Geri dönüşüm olanaklarının değerlendirilmesi amacıyla bu cam türü seçilmiştir. Seramik ve cam atıkların parça ve öğütülmüş durumları Şekil 3.1 a-d'de verilmiştir.



Şekil 3.1: Yapay mermer üretiminde kullanılan seramik parça atık (a), seramik atık tozu (b) ve cam parça atık(c), cam atık tozu(d).

Atık malzemeler tedarik edildikten sonra önce bir çekiç yardımıyla boyutları küçültülmüştür. Sonrasında malzemeler İnönü Üniversitesi Maden Mühendisliği bölümünde bulunan merdaneli kırıcıdan geçirilerek daha küçük boyutlu malzeme haline getirilmiştir. Kırma işleminin ardından ufalanan malzemeler ÜNAL marka bilyeli değirmende

öğütülmüştür. Öğütülen malzemeler 150 µm, 300 µm, 600 µm' lik eleklerden elenerek yapay mermerin üretimi için hazır hale getirilmiştir. Yapay mermer üretiminde kullanılan merdaneli kırıcı, bilyeli değirmen, elek ve titreşim sehpasının görüntüleri Şekil 3.2 a-d'de verilmiştir.



Şekil 3.2: Yapay mermer üretiminde kullanılan merdaneli kırıcı (a), bilyeli değirmen (b), elek (c), titreşim sehpasına (d) ait görüntüler.

Hammaddelerin kimyasal ve mineralojik bileşimlerinin incelenmesi için XRF ve XRD analizleri yapılmıştır. 150 µm boyutlu Seramik ve cam atıklarından yaklaşık 100' er g malzeme konileme dörtleme ve ardından karelay yapılarak alınmış ve analizler yapılmıştır.

3.2. Yapay Mermer Üretiminde Kullanılan Cihazlar ve Kimyasallar

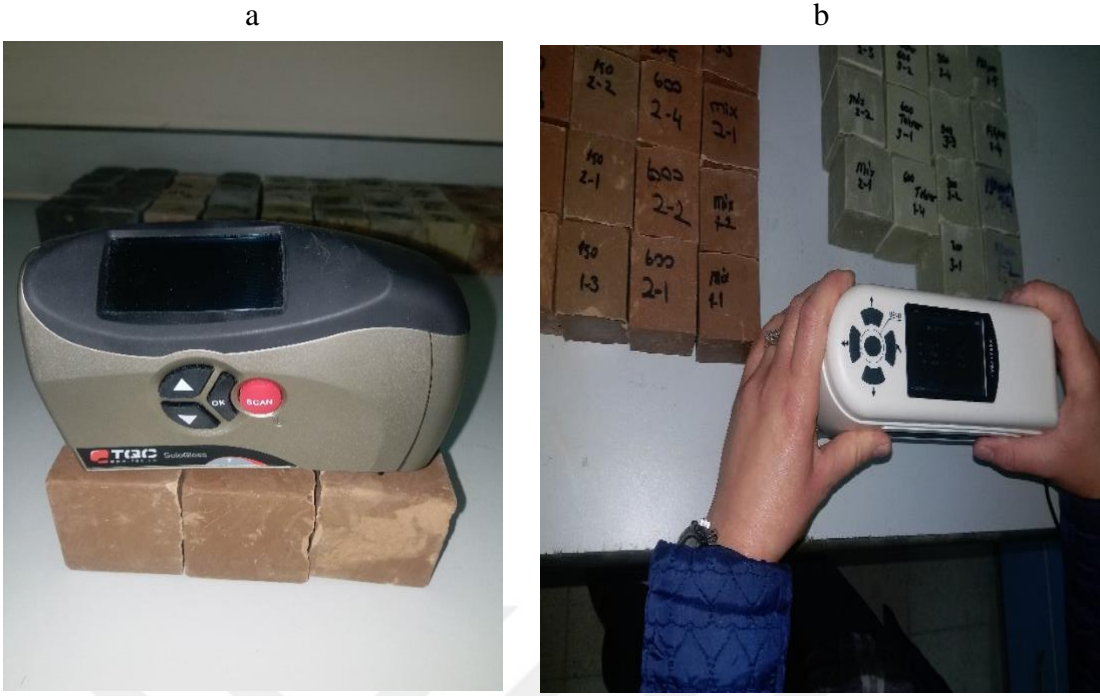
Yapay mermer numunelerinin fizikomekanik özelliklerini belirlemek için MIKROTEST marka etüv, RADWAG marka hassas terazi, NATEK marka laboratuvar tipi mikser, silikon

malzemeden üretilmiş kalıplar, arşimet sehпасı kullanılmıştır. Yapay mermer üretiminde kullanılan silikon kalıplar, hassas terazi, Arşimet sehпасı, mikser ve etüve ait görüntüler Şekil 3.3 a-e’de verilmiştir.



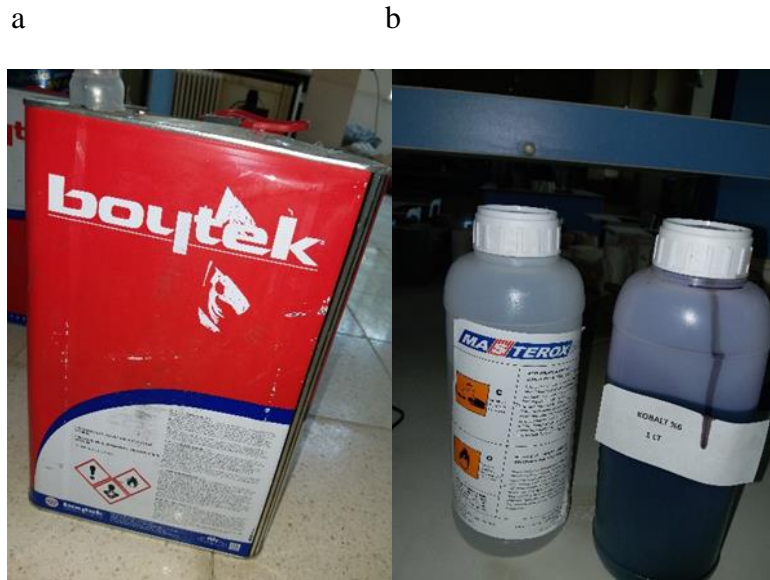
Şekil 3.3: Yapay mermer üretiminde kullanılan silikon kalıp (a), hassas terazi (b), Arşimet sehпасı (c), mikser (d), etüve (e) ait görüntüler.

Üretilen yapay mermer örneklerinin renk ölçümleri için MRC marka CLRM 310 model renk ölçer, yüzey parlaklığı ölçümü için ise QTEC solo glossmeter cihazı kullanılmıştır. Suni mermerlerin renk ve yüzey parlaklığı ölçümlerinin yapıldığı cihazlara ait görüntüler Şekil 3.4’ de verilmiştir.



Şekil 3.4: Yapay mermerlerin yüzey parlaklığını ölçen (a), renk değerlerini ölçen cihazlara (b) ait görüntüler.

Yapay mermer üretiminde BOYTEK marka polyester reçine, kobalt (%6) ve MASTEROX marka sertleştirici olan Metil Etil Keton Peroksit, tuz kristallenmesi deneyi için ise MERCK marka sodyum sülfatdehidrat ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$) kullanılmıştır. Suni mermer üretiminde kullanılan kimyasallar Şekil 3.5 de verilmiştir.



Şekil 3.5: Yapay mermer üretiminde kullanılan polyester reçine (a), Metil Etil Keton Peroksit ve Kobalt (b).

3.2.1. Yapay mermer üretiminde kullanılan polyester reçine ve kimyasalların özellikleri

3.2.1.1. Polyester reçine

Bu çalışmada kimyasal dayanımı yüksek olan BRE 329 polyester reçine kullanılmıştır. Üretilen yapay mermerlerin ısı duyarlılığının test edilmesi için ısıya dayanıklı olan alev iletmeyen halojen içerikli reçine tipi tercih edilmiştir. Bu reçine türü hızlandırıcı doymamış polyester reçine olup reaktivitesi yüksek orta viskozitelidir. Ayrıca yüksek alev dayanımlı, el yatırması ve püskürtme gibi kalıplama tekniğine sahip endüstriyel parçaların üretiminde kullanılmaktadırlar. Polyester reçinenin güneş ışığından etkilenmeyen oda sıcaklığında kendi kaplarında saklanma koşuluyla raf ömrü 3 aydır. Ayrıca reçine dolgu içerdiği için uzun süre beklediği zaman çökme olacağından kullanılmadan önce karıştırılmalıdır. Polyester reçinenin sıvı haldeki özellikleri Çizelge 3.1’de, sertleşmiş polyester reçinenin mekanik özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir (Yüçetürk,2010).

Çizelge 3.1: Polyester reçinenin sıvı haldeki özellikleri

Renk	Asit değeri	Viskozitesi	Jel zamanı	Solid içeriği	Pik ekzotermi
Berrak	Max 30 mg KOH/g	500-700 Pa.s	10-20 dakida	%65-%70	100 °C-120 °C

Çizelge 3.2: Sertleşmiş polyester reçinenin mekanik özellikleri

Test	Metod	Değer
Çekme dayanımı	ISO 527	45 N/mm ²
Çekme modülü	ISO 527	3800 N/mm ²
Kopma uzaması	ISO 527	% 1,3
Eğilme dayanımı	ISO 178	70 N/mm ²
Eğilme modülü	ISO 178	3900 N/mm ²
Sertlik	934-1	45 Barcol
HDT	ISO 75A	95 °C

3.2.1.2. Kobalt

Bu çalışmada kullanılan kobalt %6’lık konsantrasyona sahip akkobaltdır. Reçine türüne ve üretim tekniğine göre farklı konsantrasyonlarda seçilebilirler. Güneş ışığına direkt maruz kalmadan +5 °C ile +30 °C arası sıcaklıklarda kendi ambalajlarında kıvılcım kaynaklarından uzakta saklanmalıdırlar. Ayrıca ambalajları açılmamak koşuluyla raf ömrü 1 yıldır. En yaygın kullanım oranları %1 - %6’lık kullanımdır (Yüçetürk,2010). Kobaltın özellikleri Çizelge 3.3’de verilmiştir (Tok,2018).

Çizelge 3.3: Kobaltın özellikleri

Özellikleri	Değerler
Yoğunluk	0,92 g/cm ³
Viskozite	300 Pa.s
Renk	Menekşe-mavi renkli sıvı
Çözücü	Stren, tolüen, TXIB
pH	Nötr
Kobalt içeriği	%6 (isteğe göre %1 - %10)

3.2.1.3. Metil etil keton peroksit (MEKP)

Polyester reçinelerin kürleşmesi için hızlandırıcı olan kobalt oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıklarda kullanılmalıdır. Vinilester, düğme tipi, genel amaçlı reçineler, vernik ve jelkot uygulamalarında kullanılırlar. Güneş ışığına direkt maruz kalmadan +5 °C ile +30 °C arası sıcaklıklarda kendi ambalajlarında kıvılcım kaynaklarından ve kobalt hızlandırıcısından uzakta saklanmalıdır. Ayrıca ambalajları açılmamak koşuluyla raf ömrü 6 aydır (Yüçetürk,2010). Metil etil keton peroksitin (MEKP) özellikleri Çizelge 3.4’de verilmiştir (Tok,2018).

Çizelge 3.4: Metil etil keton peroksitin özellikleri

Özellikleri	Değerler
Yoğunluk	1,17 g/cm ³
Viskozite	25 Pa.s
Renk	renksiz sıvı
Çözücü	DMT
Aktif oksijen içeriği	%9,8 - %10
Peroksit içeriği	%34 - %36

3.3. Yapay Mermer Üretimi

Yapay mermer örneklerini üretmek için bazı endüstriyel atıklar (cam ve seramik) hammadde olarak kullanılmış toplamda 8 seri suni mermer numuneleri üretilmiştir. Boyut olarak 150 µm, 300 µm, 600 µm ve (150 µm, 300 µm, 600 µm) karışımından oluşan hammaddeler hazırlanmıştır. Toplamda 120 adet numune deneylere hazır hale getirilmiştir.

Her tane boyutu için aynı oranlarda cam ve seramik tozu, polyester reçine ve kimyasallar kullanılmıştır. Her tane boyutu için mikser karıştırma haznesine önce 800 g toz konulmuş üzerine 400 g polyester reçine eklenerek 10 dakika mikserde karıştırılması sağlanmıştır. 10 dakika sonunda 0,57 g kobalt karışıma eklenmiş 3 dakika daha karıştırılmıştır. Bu süre sonunda 3,17 g MEKP (Metil Etil Keton Peroksit) karışıma eklenerek 2 dakika daha karıştırılmış ve karıştırma işlemi bittikten sonra homojen karışım 5x5x5cm³ ebatlarındaki

silikon kalıplara dökülmüştür. Kalıplara dökülen karışım içerisinde hava kabarcıkları ve boşlukların giderilmesi için 5 dakika titreşim sehpasında titreşime tabi tutulmuştur (Şekil 3.6). Hazırlanan numunelerin sertleşmesi ve kuruması için yaklaşık 10 dakika beklenmiştir. Bu süre sonunda örnekler kalıplardan çıkarılmıştır. Bekleme esnasında numuneler ilk 5 dakika yüksek bir sıcaklığa ulaşıp sonrasında soğumaya başlamıştır.

Her tane boyutu için 15 adet numune hazırlanmıştır. Seramik atık için toplam 60 adet, cam atık için de toplam 60 adet numune deneylere hazır hale getirilmiştir. Ayrıca 3 boyutun karışımından oluşan malzeme için ise bütün tane boyutlarından eşit oranda toz malzeme (267 g) ve aynı oranda kimyasallar kullanılmıştır.



Şekil 3.6: Yapay mermerlerin hazırlanma ve titreşime tabi tutulma aşaması

Cam ve seramik atıklardan üretilen yapay mermer örneklerine ait görüntü Şekil 3.7'de verilmiştir.

a



b



Şekil 3.7: Cam atıktan üretilen yapay mermer örnekleri (a), seramik atıktan üretilen yapay mermer örneklerine (b) ait görüntü.

Yapay mermer üretiminde kullanılan malzeme ve kimyasal miktarları Çizelge 3.5.' de verilmiştir.

Çizelge 3.5: Yapay mermer üretiminde kullanılan malzeme ve kimyasal miktarları

Malzeme	Boyut			Karışım
	150 µm	300 µm	600 µm	
Cam veya Seramik	800 g	800 g	800 g	801gr(267g+267g+267g)
Polyester reçine	400 g	400 g	400 g	400 g
Kobalt	0,57 g	0,57 g	0,57 g	0,57 g
MEKP (Metil Etil Keton Peroksit)	3,17 g	3,17 g	3,17 g	3,17 g

3.4. Yapay Mermer Örneklerinin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

İlk olarak yapay mermer üretiminde kullanılacak olan cam ve seramik atıkların özgül ağırlıkları TS 699 standardına göre belirlenmiştir. Sonrasında hazırlanan örnekler üzerinde TS 699 standardı esas alınarak birim hacim ağırlığı, ağırlıkça ve hacimce su emme, porozite, ağırlık kaybı, donma-çözünme ve tek eksenli basma dayanımı deneyleri, ISRM 1978' de esas alınan yöntemlere göre Schmidt çekici sertlik tayini ve ultrasonik dalga hızı deneyi, TS EN 14066 standardındaki esaslar göz önüne alınarak termal şok deneyi ile TS EN 12370 standardı esas alınarak tuz kristallenmesi deneyleri uygulanmıştır.

Ayrıca örneklerin mikro yapısal özelliklerinin belirlenmesi için SEM analizi yaptırılmıştır.

3.4.1. Özgül ağırlık tayini

Yapay mermer üretiminde kullanılan endüstriyel atıkların özgül ağırlıkları TS 699 standardı esas alınarak belirlenmiştir. Deney için öncelikle 2 kg kadar parça numune alınmış ve numuneler merdaneli kırıcıdan geçirildikten sonra bilyeli değirmende öğütülmüş 150 µm'lik elekten elenmiştir. Konileme-dörtleme ve karelej yapılarak 100'er g malzeme alınıp malzeme içerisindeki nemi uzaklaştırmak için 105 °C 'lık etüvde değişmez kütleye gelinceye kadar kurutulmuştur. Hacmi 50 ml olan piknometre kapağı ile birlikte öncelikle 0,01 g hassasiyetli terazide tartılmıştır (Gp). Piknometre saf su ile doldurulup kapağı kapatıldıktan sonra etrafı kurulanıp hassas terazide tartılmıştır (Gps). Daha sonra piknometre etüvde kurutulmuştur.

Etüvde kurutulup soğutulan örnekten yaklaşık 2-2,5 g alınıp piknometreye konularak ağırlığı belirlenmiştir (Gpn). İçinde deney örneği bulunan piknometre, hacminin çeyreği kadar su ile doldurulup hava kabarcıkları kalmaması için iyice çalkalanmıştır. Daha sonra piknometre

tamamen su ile doldurulup kapağı kapatılıp etrafı kurulandıktan sonra tartılarak sonuç not edilmiştir (G_{pn}). Özgöl ağırlık değerı Eşitlik 3.1 kullanılarak belirlenmiştir.

$$d_0 = \frac{G_{pn} - G_p}{(G_{pn} - G_p) - (G_{pns} - G_{ps})} \quad (3.1)$$

Burada;

d_0 : Numunenin özgöl ağırlığı, (g/cm^3)

G_{pn} : Píknometre + numune ağırlığı, (g)

G_p : Píknometre ağırlığı, (g)

G_{pns} : Píknometre + numune + su ağırlığı, (g)

G_{ps} : Su ile dolu píknometre ağırlığı, (g)

Seramik ve cam atıkların özgöl ağırlıklarını belirlemek için kullanılan píknometreler Şekil 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.8: Özgöl ağırlık tayininde kullanılan píknometreler

3.4.2. Birim hacim ağırlığı deneyi

Deney TS 699 standardı esas alınarak yapılmıştır. Deneyde 5x5x5 cm³ ebatlarına sahip kübik şekilli numuneler kullanılmıştır. Hazırlanan numunelerin öncelikle doğal kütleleri belirlenmiştir. Oda sıcaklığında bir kap içerisine konulan numuneler yarısına kadar suya bırakılıp 1 saat bekletildikten sonra numunelerin üzerini geçecek kadar su eklenerek 24 saat suda bekletilmiştir.

Numuneler suya doymun hale geldikten sonra Arşimet terazisinde su içinde 0,1 g hassasiyetinde tartılıp doymun ağırlıkları belirlenmiştir. Örnekler üzerindeki su bir bez yardımıyla kurulandıktan sonra beklemeden tartılmış havadaki doymun kütleleri belirlenmiştir.

Sonrasında deney örnekleri 105±5 °C' daki etüvde değişmez kütleye gelinceye kadar kurutulmuştur. Etüvden çıkarılan deney numuneleri oda sıcaklığına ulaşınca kadar soğutulmuş ve tartılarak kuru kütleleri belirlenmiştir.

Numunelerin doğal birim hacim ağırlıkları Eşitlik 3.2 kullanılarak belirlenmiştir. Bulunan sonuçlar yer çekim ivmesi olan 9,81 ile çarpılarak sonuçlar bulunmuştur.

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

Numunelerin doymun birim hacim ağırlıkları Eşitlik 3.3 kullanılarak belirlenmiştir.

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

Numunelerin kuru birim hacim ağırlıkları Eşitlik 3.4 kullanılarak belirlenmiştir

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

Burada;

$d_{doğ}$: Doğal birim hacim ağırlığı, (kN/m³)

d_d : Doymun birim hacim ağırlığı, (kN/m³)

d_k : Kuru birim hacim ağırlığı, (kN/m³)

$G_{doğ}$: Örneğin doğal ağırlığı, (g)

G_k : Kuru örneğin ağırlığı, (g)

G_d : Doygun örneğin havadaki ağırlığı, (g)

G_{ds} : Doygun durumdaki örneğin su içindeki ağırlığı, (g)

3.4.3. Su emme deneyi

TS 699 standardındaki hususlar dikkate alınarak $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$ boyutundaki örnekler kullanılan deneyde numunelerin doğal ağırlıkları belirlenmiştir. Sonrasında numuneler oda sıcaklığında kaplara konularak önce çeyreği suda olacak şekilde 1 saat sonra yarısı suda olacak şekilde 1 saat ve 4'te 3'ü suda olacak şekilde 1 saat bekletildikten sonra numunelerin üzeri tamamen su ile doldurularak 24 saat bekletilmiştir. Suyu doymuş duruma gelen örnekler sudan çıkarılıp kurulandıktan hemen sonra hassas terazide tartılarak doymuş ağırlıkları belirlenmiştir. Doymuş ağırlıkları belirlenen numunelerin Arşimet terazisinde su içindeki ağırlıkları bulunarak $105 \pm 5^\circ\text{C}$ de etüvde değişmez kütle gelene kadar kurutulmuştur. Sonrasında etüvden çıkan örnekler oda sıcaklığına ulaşınca hassas terazide tartılıp kuru ağırlıkları belirlenmiştir.

Ağırlıkça su emme oranı Eşitlik 3.5 kullanılarak belirlenmiştir.

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

Hacimce su emme oranı Eşitlik 3.6 kullanılarak belirlenmiştir.

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

Burada;

S_k : Numunenin ağırlıkça su emme oranı

S_h : Numunenin hacimce su emme oranı

G_k : Kuru örneğin ağırlığı, (g)

G_d : Doygun örneğin ağırlığı, (g)

G_{ds} : Doygun durumdaki örneğin su içindeki ağırlığı, (g)

3.4.4. Porozite deneyi

Deney TS 699 standardına göre yapılmıştır. $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$ boyutundaki örnekler $105 \pm 5^\circ\text{C}$ de etüvde değişmez kütle gelene kadar kurutulmuştur ve etüvden çıkan örnekler oda

sıcaklığına ulaşınca hassas terazide tartılıp kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Örnekler su dolu bir kap içerisinde 24 saat bekletilmiş ve suya doymun duruma gelen örnekler sudan çıkarılıp kurulandıktan hemen sonra hassas terazide tartılarak doymun ağırlıkları belirlenmiştir. TS 699 standardında belirtilen formülle hesaplanan numunelerin görünür porozite değeri için Eşitlik 3.7 kullanılmıştır.

$$N = \frac{G_d - G_k}{G_d - G_{ds}} (\%) \quad (3.7)$$

Burada;

N: Porozite

G_k: Kuru örneğin ağırlığı, (g)

G_d: Doymun örneğin ağırlığı, (g)

G_{ds}: Doymun durumdaki örneğin su içindeki ağırlığı, (g)

3.4.5. Tek eksenli basma dayanımı deneyi

Deney TS 699 standardındaki hususlara göre yapılmıştır. Numuneler 5x5x5 cm³ ebatlarında olup her seriden 3 adet örnek tek eksenli basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuştur. Örneklerin yüzeyleri 1 mm hassasiyete sahip kumpas ile ölçülerek yükleme yapılacak kesit alanı hesaplanmıştır. Örnekler presin ortasındaki yükseltme plakasının ortasına gelecek şekilde yerleştirilip deney örneği kırılıncaya kadar sabit yükleme hızı uygulanmıştır. Deneyde uygulanan yükleme oranı 0,5 kN/s'dir. Örnek üzerine etki eden en büyük yük örnek kırılmadan önce kaydedilmiştir. Tek eksenli basınç dayanımı deneyine ait görüntü Şekil 3.9'da verilmiştir.

Örneklerin basınç dayanım değerleri için Eşitlik 3.8 kullanılmıştır.

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

Burada;

f_b: Örneğin basınç dayanımı, (MPa)

P_k: Kırılma anındaki maksimum yük, (kN)

A: Örneğin yük uygulanan yüzeyinin alanı, (cm²)



Şekil 3.9: Tek eksenli basınç dayanımı ölçümü.

3.4.6. Schmidt çekici sertlik indeksi tayini

Deney ISRM 1978’de tanımlanan yöntemle göre yapılmıştır. Deneyde $5 \times 5 \times 5 \text{cm}^3$ ebatında her birimden 3 adet örnek kullanılmıştır. Deneyin yapıldığı örneğin yüzeyinin düzgün olmasına dikkat edilmiştir. Numunenin yüzeyine dik olacak şekilde çekiç ucu yerleştirilmiştir. Şekil 3.10’da Schmidt çekici ile sertlik ölçümüne ait bir görüntü verilmektedir. Çekiç içinde bulunan yaydan ses geldiğinde sabitleme tuşuna basılıp geri sıçrama değeri bulunmuştur. Numuneler üzerinde 10 farklı noktadan ölçümler alınıp en küçük 5 ölçüm değeri iptal edilip geri kalan en büyük 5 ölçüm değerinin ortalaması alınarak deney tamamlanmıştır.



Şekil 3.10: Schmidt çekici sertlik indeksi tayini.

3.4.7. Ultrasonik dalga hızı deneyi

ISRM 1978 tarafından önerilen yönteme göre yapay mermer örnekleri üzerinde ultrasonik dalga hızı deneyi uygulanmıştır. Deney her bir gruptan 3 adet örnek üzerinde uygulanmıştır. Deneyde PROCEQ marka ultrasonik ses hızı tayin cihazı kullanılmıştır. Enine ve boyuna dalga hızlarının belirlenmesi için alıcı ve verici başlıkları ile örnek arasına jel sürülerek numune yüzeyindeki temasın artırılması sağlanmıştır. Bu şekilde yapılan ölçümle gönderilen sinyalin örnek içindeki yayılma süresinden hız belirlenmiştir. Gönderilen P dalgasının örnekten geçiş süresi ölçülerek başlangıç zamanı 0 (sıfır) olarak alınmıştır.

Örnekten geçen dalganın bir yüzeyinden diğer yüzeyine geçiş zamanı ölçüldükten sonra dalga hızı Eşitlik 3.9 'a göre belirlenmiştir.

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

Burada;

V_p : P dalgasının yayılma hızı, (m/s)

L : Sinyalin katettiği mesafe, (mm)

T_p : P dalgasının etkin ilerleme hızı, (μ s)

3.5. Cam ve Seramik Atığın Kimyasal – Mineralojik Özelliklerinin Belirlenmesi

Cam ve seramik atıkların mineralojik özelliklerinin tespiti için XRD, kimyasal bileşimlerinin tespiti için XRF, yapısal özelliklerinin tayini için yapay mermer numuneleri üzerinde SEM analizleri yaptırılmıştır.

3.5.1. X- ışını kırınım yöntemi (XRD)

Cam ve seramik atıkların mineralojik karakterizasyonlarını belirlemek için malzemeler merdaneli kırıcıdan geçirilip, bilyeli değirmende öğütülmüş 150 µm'lik elekten elenerek konileme dörtleme ve karelaj yapılarak azaltılmış ve yaklaşık 10 g malzeme analiz için hazırlanmıştır. XRD analizleri İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezi Fizik Bölümü Laboratuvarında, Rigaku RadB-DMAX II bilgisayar kontrollü X-ışını difraktometresi ile CuK α ($\lambda=1.5405 \text{ \AA}$) radyasyonu kullanılarak belirlenmiştir.

3.5.2. X- Işını floresans spektroskopisi (XRF)

Atık malzemelerin kimyasal yapılarını belirlemek için merdaneli kırıcıdan geçirilip, bilyeli değirmende öğütülen malzemeler, 150 µm'lik elekten elenip konileme dörtleme, karelaj yapılarak azaltılmış ve yaklaşık 100 g malzeme analiz için hazır duruma getirilmiştir. Cam ve seramik atıkların elementel analizi Afyon Kocatepe Üniversitesi Doğaltaş Analiz Laboratuvarında RIGAKU/ZSX PRIMUS 2 marka cihaz kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3.5.3. Taramalı elektron mikroskobu analizi (SEM)

Elektron mikroskobu görüntüleri numunelerin dış yüzeyinden alınan örneklerin incelenmesiyle elde edilmiştir. Hazırlanan yapay mermer numunelerinden alınan örneklere İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezinde Leo Evo-40xVP model elektron mikroskobu ile SEM analizleri yaptırılmıştır. Örnekler üzerinden yapılan analizle mikro yapısal özellikler incelenmiştir.

3.6. Donma – Çözünme Döngülerinin Uygulanması

Donma – çözünme döngüleri TS 699 standardında tanımlanan yöntem esas alınarak yapılmıştır. Cam ve seramik atıkları kullanılarak üretilen yapay mermer numunelerinden 3'er adet örnek deneye hazır hale getirilmiştir. Örneklerin donma kabineye konulmadan önce

3.8. Tuz Kristallenmesi Döngülerinin Uygulanması

Deney TS EN 12370 standardı esas alınarak uygulanmıştır. Tuz kristallenmesi deneyi için $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$ boyutlarında her birimden üçer adet örnek hazırlanmıştır. Deney için sodyum sülfatdekahidrat ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) tuzu kullanılmıştır. Döngüler %14 'lük $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ çözeltisi hazırlanarak gerçekleştirilmiştir. Deneye başlamadan önce örnekler değişmez kütleye ulaşana kadar $105 \pm 5^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki etüvde kurutulduktan sonra hassas terazide tartılarak ağırlıkları belirlenmiştir. Daha sonra örnekler $20 \pm 0,5^\circ\text{C}$ sıcaklıkta 2 saat % 14 'lük $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ çözeltisi içerisinde bırakılmıştır. Bekleme süresi bittikten sonra örnekler tuz çözeltisinden çıkarılarak etüvde kurutulmuştur. Etüvün sıcaklığı kurutmanın ilk anlarında yüksek bağıl nemlilik sağlayacak şekilde ve örneklerin sıcaklığını 15 saatten fazla 10 saatten az olmayan bir süre içinde $105 \pm 5^\circ\text{C}$ sıcaklığa yükseltecek şekilde ayarlanmıştır.

Başlangıçta yüksek bağıl nem, soğuk etüve su dolu bir kap koyularak numuneleri yerleştirmeden önce 30 ± 5 dakikalık süreyle etüv çalıştırılarak elde edilmiştir. Örnekler 16 saat etüvde bekletilmiş ve oda sıcaklığına soğutularak yeniden soğuk ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) çözeltisi içerisine bırakılmıştır. Bu bir döngü olarak tanımlanmış ve örnekler toplam 30 döngü uygulanmıştır. Döngüler sonunda numuneler etüvden alınarak $23 \pm 5^\circ\text{C}$ sıcaklığa sahip suda 24 saat bekletilmiştir. Numuneler bütünlüklerini yeterince muhafaza ediyorlarsa sabit kütleye ulaşincaya kadar etüvde kurutulup tartılmıştır. Tuz kristallenmesi deneyine tabii tutulan yapay mermer örneklerine ait görüntü Şekil 3.12'de verilmiştir.



Şekil 3.12: Tuz kristallenmesi deneyine tabii tutulan yapay mermer örneklerine ait görüntü.

Yapılan donma – çözünme, termal şok ve tuz kristallenmesi deneylerinden önce ve 30 döngü sonrasında örneklerin tümünün kuru ağırlıkları belirlenmiş, renk ve yüzey parlaklık ölçümleri alınmıştır.

3.9. Ağırlık Kayıplarının Belirlenmesi

Cam ve seramik atıklardan oluşan yapay mermer örnekleri üzerinde uygulanan donma – çözünme, termal şok ve tuz kristallenmesi deneyleri sonucunda meydana gelen ağırlık kayıpları Eşitlik 3.10 'a göre belirlenmiştir.

$$\Delta_m = \frac{m_f - m_o}{m_o} \times 100 \quad (3.10)$$

Burada;

m_o : Deney öncesi kuru ağırlık, (g)

m_f : Deney sonrası kuru ağırlık, (g)

3.10. Parlaklık Ölçümleri

Deney öncesi ve sonrası yüzey parlaklığı ölçümleri QTEC solo glossmeter cihazı kullanılarak yapılmıştır. Cihaz, ölçümün yapılacağı yüzey üzerine belli bir açı ile ışık

göndermektedir. Donma – çözünme, termal şok ve tuz kristallenmesi deneyleri öncesi ve sonrası örneklerin yüzeyinde 3 noktadan ölçüm alınıp bu değerlerin ortalamaları hesaplanmıştır.

3.11. Renk Ölçümleri

Deney öncesi ve sonrası renk ölçümleri MRC marka CLRM 310 model renk ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Numunelerin yüzeyinden 3 noktadan ölçüm alınarak bu değerlerin ortalamaları hesaplanmıştır.

L, a, b olarak adlandırılan renk parametreleri;

L parametresi; Parlaklık (L: Siyah, L: Beyaz)

a parametresi; Kırmızılık – Yeşillik (a > 0 kırmızı, a < 0 yeşil)

b parametresi; Sarılık – Mavilik (b > 0 sarı, b < 0 mavi)

Deney öncesi ve sonrası toplam renk değişimi Eşitlik 3.11 ' e göre hesaplanmıştır.

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

3.12. Renk Değişimlerinin Belirlenmesi

Deneyler öncesi ve sonrası elde edilen renk değerlerindeki % değişimler Eşitlik (3.12 – 3.14) ile belirlenmiştir.

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

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

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

Burada;

ΔL : L (siyahlık - beyazlık) değerindeki % değişim

SL: Deney sonrası ölçülen L değeri

$\dot{I}L$: Deney öncesi ölçülen L değeri

Δa : a (kırmızılık - yeşillik) değerindeki % değişim

Sa: Deney sonrası ölçülen a değeri

$\dot{I}a$: Deney öncesi ölçülen a değeri

Δb : b (mavilik - sarılık) değerindeki % değişim

Sb: Deney sonrası ölçülen b değeri

$\dot{I}b$: Deney öncesi ölçülen b değeri

3.13. Parlaklık Değişimlerinin Belirlenmesi

Deneyler öncesi ve sonrası elde edilen parlaklık değerlerinin % değişimleri Eşitlik 3.15 ile belirlenmiştir.

$$\Delta P = \frac{SP - \dot{I}P}{\dot{I}P} \times 100 \quad (3.15)$$

Burada;

ΔP : Parlaklıkta gerçekleşen % değişim

SP: Deney sonrası parlaklık değeri

$\dot{I}P$: Deney öncesi parlaklık değeri



4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Kullanılan Hammaddelerin Özellikleri

4.1.1. Özgül ağırlık deneyi sonuçları

TS 699 standardına göre yapılan özgül ağırlık deneyi sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

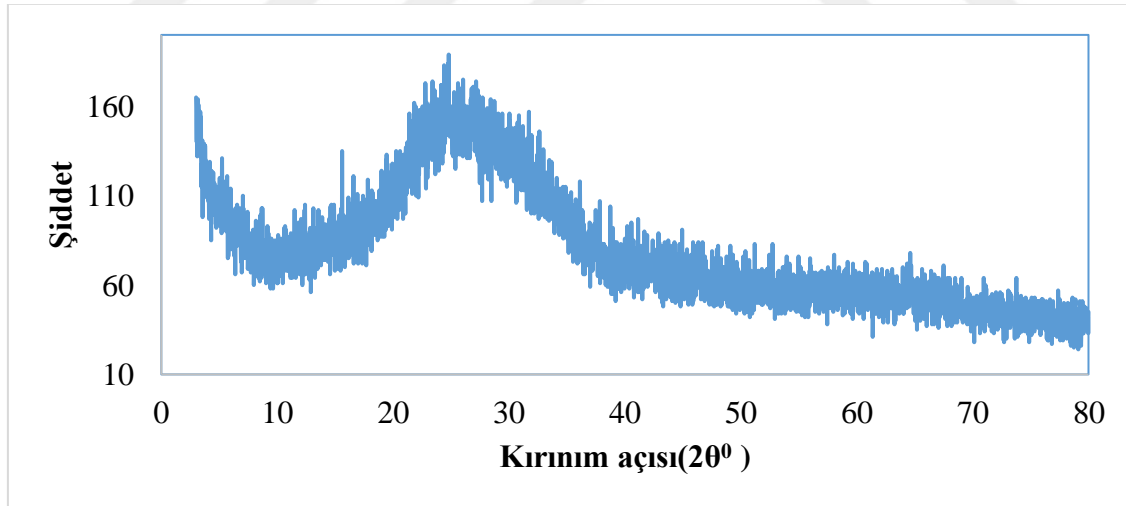
Çizelge 4.1: Cam- Seramik atıklarının özgül ağırlık değerleri.

Örnekler	Özgül Ağırlık
Cam	2,43
Seramik	2,54

Çizelge 4.1 incelendiğinde seramik atığın özgül ağırlığının cam atığın özgül ağırlığından daha yüksek değere sahip olduğu görülmektedir.

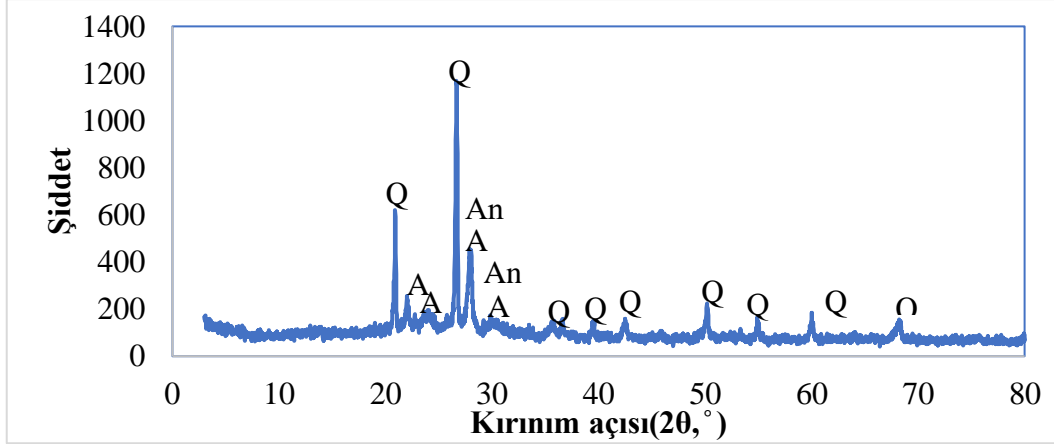
4.1.2 Cam ve seramik atıkların XRD analizleri sonuçları

Cam ve seramik atıklarının XRD analizi sonuçlarından elde edilen X-ışını kırınım desenleri Şekil 4.1- 4-2’de verilmiştir.



Şekil 4.1: Cam atığına ait X- ışını difraktogramı.

Analiz sonucuna göre cam atığın kararlı bir kristal yapıya sahip olmadığı (amorf) görülmektedir.



Şekil 4.2: Seramik atığına ait X- ışını difraktogramı (An: Anortit, A: Albit, Q: Kuvars).

Şekil 4.2 incelendiğinde seramik tozunun bünyesinde anortit, albit, ve kuvars minerallerinin yer aldığı görülmektedir.

4.1.3. Cam ve seramik atıklarının XRF analizleri sonuçları

Cam ve seramik atıklarının XRF analiz sonuçları Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2: Cam ve seramik atıklarının XRF analizi sonuçları.

Kimyasal Bileşimi	Seramik (%)	Cam (%)
Na ₂ O	2,01	13,13
MgO	1,99	2,85
Al ₂ O ₃	16,09	1,89
SiO ₂	59,20	66,78
P ₂ O ₅	0,09	-
SO ₃	0,17	0,18
Cl	0,01	-
K ₂ O	2,67	0,09
CaO	8,99	13,57
TiO ₂	0,53	-
V ₂ O ₅	0,01	-
Cr ₂ O ₃	0,02	0,43
MnO	0,06	-
Fe ₂ O ₃	2,91	0,54
NiO	0,009	-
ZnO	0,15	-
Rb ₂ O	0,02	-
SrO	0,02	0,01
ZrO ₂	0,09	0,01
Nb ₂ O ₅	0,003	-
BaO	0,11	-
PbO	0,01	-
Kızdırma Kaybı	4,81	0,49
Toplam	100	99,99

Çizelge 4.2 incelendiğinde cam ve seramik atıklarının ana bileşen olarak SiO₂ içerdiği görülmektedir. Seramik atığında Al₂O₃ ve CaO, cam atığında da Na₂O ve CaO diğer önemli bileşenlerdir.

4.2. Yapay Mermerlerin Fiziksel-Mekanik Özellikleri

4.2.1. Birim hacim ağırlığı deneyleri sonuçları

TS 699 standardı esas alınarak yapılan birim hacim ağırlığı deneylerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.3 – 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.3: Cam atıklı örneklerin doğal-doygun-kuru birim hacim ağırlığı değerleri.

Boyut	Örnek No	Doğal Birim Hacim Ağırlık (kN\m ³)	Doygun Birim Hacim Ağırlık (kN\m ³)	Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN\m ³)
150 µm	1	18,84	18,85	18,83
	2	18,72	18,73	18,71
	3	18,92	18,93	18,91
	Ort±Std.spm.	18,82±0,09	18,84±0,10	18,82±0,09
300 µm	1	18,76	18,76	18,75
	2	18,77	18,78	18,76
	3	18,77	18,78	18,76
	Ort±Std.spm.	18,77±0,007	18,77±0,008	18,76±0,006
600 µm	1	18,99	18,99	18,95
	2	19,13	19,13	19,12
	3	19,31	19,32	19,31
	Ort±Std.spm.	19,14±0,16	19,15±0,16	19,13±0,17
Karışım	1	18,94	18,94	18,93
	2	18,90	18,90	18,89
	3	18,90	18,91	18,90
	Ort±Std.spm.	18,91±0,02	18,92±0,02	18,91±0,19

Çizelge 4.4: Seramik atıklı örneklerin doğal-doygun-kuru birim hacim ağırlığı değerleri.

Boyut	Örnek No	Doğal Birim Hacim Ağırlık (kN\m ³)	Doygun Birim Hacim Ağırlık (kN\m ³)	Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN\m ³)
150 µm	1	17,73	17,74	17,72
	2	17,86	17,87	17,86
	3	17,91	17,92	17,90
	Ort±Std.spm.	17,83±0,09	17,84±0,09	17,83±0,09
300 µm	1	17,90	17,91	17,90
	2	17,85	17,85	17,84
	3	17,86	17,86	17,85
	Ort±Std.spm.	17,87±0,02	17,87±0,02	17,86±0,03
600 µm	1	17,52	17,52	17,51
	2	17,50	17,54	17,50
	3	17,58	17,58	17,57
	Ort±Std.spm.	17,53±0,03	17,55±0,02	17,53±0,04
Karışım	1	18,11	18,11	18,10
	2	18,07	18,07	18,06
	3	17,98	17,99	17,98
	Ort±Std.spm.	18,05±0,06	18,06±0,06	18,05±0,06

Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4 incelendiğinde cam ve seramik atıklı örneklerin birim hacim ağırlığı değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Cam atıklı örneklerde en yüksek birim hacim ağırlığı 600 µm boyutlu örneklerde, seramik atıklı örneklerde ise karışım tane boyutlu örneklerde elde edilmiştir. Yapay mermer örneklerinin gözenekliliği düşük olduğu için doğal, doygun ve kuru durumda elde edilen değerler birbirine oldukça yakın çıkmıştır.

4.2.2. Su emme deneyi sonuçları

TS 699 standardı esas alınarak uygulanan su emme deneyi sonucunda belirlenen ağırlıkça ve hacimce su emme değerleri Çizelge 4.5 – 4.6’ da verilmiştir.

Çizelge 4.5: Cam atıklı örneklerin ağırlıkça ve hacimce su emme değerleri.

Boyut	Örnek No	Ağırlıkça Su Emme %	Hacimce Su Emme %
150 µm	1	0,12	0,24
	2	0,11	0,21
	3	0,12	0,23
	Ort±Std.spm.	0,12±0,008	0,23±0,01
300 µm	1	0,05	0,10
	2	0,06	0,12
	3	0,07	0,13
	Ort±Std.spm.	0,06±0,009	0,12±0,01
600 µm	1	0,22	0,44
	2	0,06	0,11
	3	0,05	0,10
	Ort±Std.spm.	0,11±0,09	0,22±0,19
Karışım	1	0,08	0,15
	2	0,05	0,11
	3	0,07	0,14
	Ort±Std.spm.	0,07±0,01	0,13±0,02

Çizelge 4.6: Seramik atıklı örneklerin ağırlıkça ve hacimce su emme değerleri.

Boyut	Örnek No	Ağırlıkça Su Emme %	Hacimce Su Emme %
150 µm	1	0,11	0,20
	2	0,05	0,09
	3	0,06	0,11
	Ort±Std.spm.	0,07±0,032	0,13±0,057
300 µm	1	0,05	0,09
	2	0,06	0,11
	3	0,05	0,09
	Ort±Std.spm.	0,05±0,007	0,10±0,012
600 µm	1	0,18	0,33
	2	0,14	0,26
	3	0,04	0,07
	Ort±Std.spm.	0,12±0,075	0,22±0,134
Karışım	1	0,05	0,09
	2	0,05	0,10
	3	0,04	0,07
	Ort±Std.spm.	0,04±0,006	0,09±0,011

Çizelge 4.5 ve 4.6 incelendiğinde cam ve seramik atıklı örneklerin ağırlıkça ve hacimce su emme değerlerinin oldukça düşük olduğu, ağırlıkça su emme oranlarının örneklerin porozite oranları ile doğru orantılı şekilde değiştiği görülmektedir.

4.2.3. Porozite deney sonuçları

TS 699 standardındaki hususlara göre belirlenen görünür porozite değerleri Çizelge 4.7 – 4.8 ‘de verilmiştir.

Çizelge 4.7: Cam atıklı örneklerin görünür porozite değerleri.

Boyut	Örnek No	Görünür Porozite Değerleri %
150 µm	1	0,24
	2	0,21
	3	0,23
	Ort±Std.spm.	0,23±0,01
300 µm	1	0,10
	2	0,12
	3	0,13
	Ort±Std.spm.	0,12±0,01
600 µm	1	0,44
	2	0,11
	3	0,10
	Ort±Std.spm.	0,22±0,19
Karışım	1	0,15
	2	0,11
	3	0,14
	Ort±Std.spm.	0,13±0,02

Çizelge 4.8: Seramik atıklı örneklerin görünür porozite değerleri.

Boyut	Örnek No	Görünür Porozite Değerleri %
150 µm	1	0,20
	2	0,09
	3	0,11
	Ort±Std.spm.	0,13±0,05
300 µm	1	0,09
	2	0,11
	3	0,09
	Ort±Std.spm.	0,10±0,01
600 µm	1	0,26
	2	0,33
	3	0,07
	Ort±Std.spm.	0,22±0,13
Karışım	1	0,09
	2	0,10
	3	0,07
	Ort±Std.spm.	0,09±0,01

Çizelge 4.7- 4.8 incelendiğinde Moss-Quervan'dan hareketle Tarhan'ın (1989) sınıflandırılması olan Çizelge 2.1'e göre cam ve seramik atık katkılı yapay mermer örneklerinin "Çok kompakt" sınıfında yer aldığı görülmektedir. SEM görüntüleri incelendiğinde 600 µm tane boyutlu örneklerde iri gözeneklerin var olduğu görülmektedir. Karışım numunelerinde ise ince tane boyutlu malzemenin iri tane boyutlu malzemenin boşluklarını doldurduğu, bu nedenle malzemenin daha kompakt bir yapı kazandığı düşünülmektedir. İnce tane boyutlu malzemenin polyester reçine ile karışımında malzemenin viskozitesinin azalması numunenin kalıplara yerleştirilmesini güçleştirmiş, bu durum malzeme bünyesinde titreşim ile giderilemeyen boşlukların kalmasına neden olmuştur.

4.2.4. Sertlik

4.2.4.1. Schmidt çekici sertlik değeri sonuçları

Schmidt çekici sertlik değeri sonuçları Çizelge 4. 9' da verilmiştir.

Çizelge 4.9: Cam ve Seramik atıklı örneklerin Schmidt Çekici Sertlik değerleri.

Örnekler	Schmidt Çekici Sertlik Değeri
Cam (150 µm)	37,8
Cam (300 µm)	38,6
Cam (600 µm)	31,2
Cam (Karışım)	41,2
Seramik (150 µm)	39,6
Seramik (300 µm)	41,6
Seramik (600 µm)	40,8
Seramik (Karışım)	40

Çizelge 4.9 incelendiğinde cam ve seramik atıklı örneklerin sertlik değerlerinin genel olarak birbirine yakın değerlerde olduğu görülmektedir. Tane boyutu değişimi sertliği çok fazla etkilememiştir. Cam atıklı örneklerde karışım serisinde ince boyutlu malzemenin iri boyutlu malzeme arasını doldurarak daha kompakt bir yapı oluşturması malzemenin sertlik değerinin diğer tane boyutlarına kıyasla daha yüksek çıkmasına neden olmuştur.

4.2.5. Ultrasonik dalga hızı deney sonuçları

ISRM 1978 'deki standartlara göre Çizelge 4.10 – 4.11'de cam ve seramik atık katkılı örneklerin ultrasonik dalga hızı değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.10: Cam atıklı örneklerin ultrasonik dalga hızı değerleri.

Boyut	Örnek No	Ultrasonik Dalga Hızı (V) km\s
150 µm	1	3,39
	2	3,39
	3	3,35
	Ortalama ± Std. Sapma	3,38±0,02
300 µm	1	3,32
	2	3,43
	3	3,43
	Ortalama ± Std. Sapma	3,39±0,06
600 µm	1	3,39
	2	3,28
	3	3,35
	Ortalama ± Std. Sapma	3,34±0,05
Karışım	1	3,35
	2	3,47
	3	3,43
	Ortalama ± Std. Sapma	3,42±0,05

Çizelge 4.11: Seramik atıklı örneklerin ultrasonik dalga hızı değerleri.

Boyut	Örnek No	Ultrasonik Dalga Hızı (V) km\s
150 µm	1	3,32
	2	3,32
	3	3,35
	Ortalama ± Std. Sapma	3,33±0,02
300 µm	1	3,24
	2	3,24
	3	3,32
	Ortalama ± Std. Sapma	3,27±0,04
600 µm	1	3,24
	2	3,24
	3	3,24
	Ortalama ± Std. Sapma	3,24±0
Karışım	1	3,28
	2	3,35
	3	3,35
	Ortalama ± Std. Sapma	3,33±0,04

Çizelge 4.10 ve 4.11 incelendiğinde örneklerin ultrasonik dalga hızı değerlerinin birbirine yakın değerlerde olduğu ve Çizelge 2.3 e göre değerlendirildiğinde cam ve seramik atık katkılı yapay mermer örneklerinin “ düşük hızlı ” olduğu görülmektedir. Yapay mermer örneklerinin içerisindeki boşluklardan dolayı hızları düşük çıkmıştır.

4.2.6. Tek eksenli basma deneyi sonuçları

TS 699 standardı esas alınarak yapılan tek eksenli basma dayanımı değerleri Çizelge 4.12 – 4.13’ de verilmiştir.

Çizelge 4.12: Cam atık katkılı örneklerin tek eksenli basma dayanımı deneyi sonuçları.

Boyut	Örnek No	Kırılma Yüğü (kN)	Yüzey Alanı (mm ²)	Tek Eksenli Basma Dayanımı (MPa)
150 µm	1	158,6	2461,52	64,43
	2	52,80	2485,45	21,24
	3	108,8	2456,65	44,28
			Ortalama±std.spm	43,31±21,61
300 µm	1	179,4	2532,09	70,85
	2	144,3	2515,94	57,35
	3	155,6	2501,46	62,20
			Ortalama±std.spm	63,46±6,83
600 µm	1	115,2	2516,48	45,77
	2	69,28	2545,63	27,21
	3	171,6	2535,49	67,67
			Ortalama±std.spm	46,88±20,25
Karışım	1	131,5	2495	52,70
	2	181,5	2517,99	72,08
	3	85,4	2494,42	34,23
			Ortalama±std.spm	53±18,92

Çizelge 4.13: Seramik atık katkılı örneklerin tek eksenli basma dayanımı deneyi sonuçları.

Boyut	Örnek No	Kırılma Yüğü (kN)	Yüzey Alanı (mm ²)	Tek Eksenli Basma Dayanımı (MPa)
150 µm	1	136,8	2446,72	55,91
	2	155	2450,71	63,24
	3	76,4	2436,52	31,35
			Ortalama±std.spm	50,16±16,70
300 µm	1	38,3	2471,07	15,49
	2	79,4	2469,09	32,15
	3	119	2459,14	48,39
			Ortalama±std.spm	32,01±16,45
600 µm	1	39,4	2563,38	15,37
	2	38,5	2546,16	15,12
	3	43,8	2810,22	15,58
			Ortalama±std.spm	15,35±0,23
Karışım	1	157,9	2478,87	63,69
	2	179,7	2505,49	71,72
	3	132,1	2471,46	53,45
			Ortalama±std.spm	62,95±9,15

Çizelge 4.12-4.13 de yer alan tek eksenli basma dayanımı deneyi sonuçları Deere ve Miller (1966) tarafından yapılan tek eksenli basınç direncine göre sınıflandırılmanın olduğu Çizelge 2.2 ye göre değerlendirildiğinde cam atık katkılı yapay mermer örneklerinden 150 µm ve 600 µm boyutlu örneklerinin “düşük dirençli”, 300 µm boyutlu ve karışım örneklerinin “orta dirençli” sınıfta yer aldığı görülmektedir. Seramik atık katkılı yapay mermer örneklerinden 150 µm boyutlu ve karışım örneklerinin “orta dirençli”, 300 µm boyutlu örneklerinin “düşük dirençli”, 600 µm boyutlu örneklerinin “çok düşük dirençli” olduğu görülmektedir. Tane boyutu arttıkça dayanım genel anlamda düşmüştür çünkü polyester reçine büyük tanelerin arasını dolduramamıştır. Polyester reçine miktarı arttırılırsa dayanımında artacağı düşünülmektedir. Ayrıca yapay mermer örneklerinin üretiminde uygulanan titreşim işlemi boşlukların giderimini tam olarak sağlayamamış olabilir. Titreşim işlemine ek olarak yapılacak presleme işlemi ile daha kompakt yapıların elde edilmesi mümkün olabilecek, neticede numunelerin dayanımı artacaktır.

4.3. Donma – Çözünme Döngüleri Sonrası Yapılan Analiz Sonuçları

TS 699 standardı esas alınarak yapılan 30 adet donma – çözünme döngüsü sonucunda örneklerde meydana gelen kuru ağırlık, parlaklık ve renk değişimleri atık türü ve boyutlara göre değerlendirilmiştir.

4.3.1. Kuru ağırlık değişim değerleri

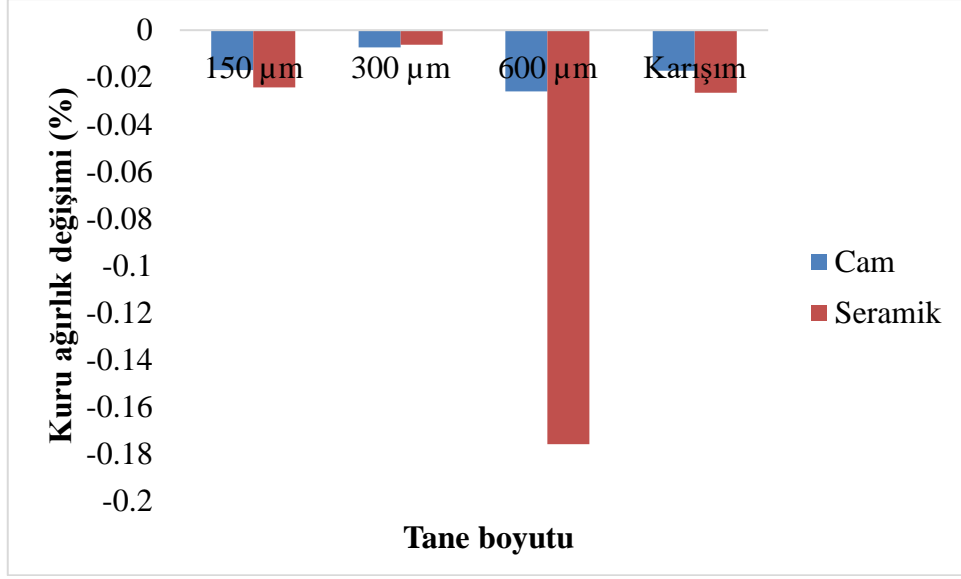
Donma – çözünme döngüleri sonucunda oluşan ağırlık değişimleri Eşitlik 3.10’a göre belirlenmiş olup değerler Çizelge 4.14 – 4.15’de, ağırlık değişim değerlerinin grafiksel gösterimi ise Şekil 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.14: Cam atık katkılı örneklerin kuru ağırlıkları ve değişim değerleri.

Boyut	Örnek No	Donma-Çözünme Deney Öncesi Kuru Ağırlıklar (g)	Donma-Çözünme Deney Sonrası Kuru Ağırlıklar (g)	Değişim (%)
150 µm	1	214,80	214,79	-0,004
	2	221,20	221,14	-0,027
	3	213,17	213,13	-0,018
			Ortalama±std.spm	-0,016±0,011
300 µm	1	224,20	224,20	0
	2	228,44	228,40	-0,017
	3	224,20	224,19	-0,004
			Ortalama±std.spm	-0,007±0,009
600 µm	1	241,75	241,68	-0,028
	2	240,93	240,87	-0,024
	3	247,26	247,20	-0,024
			Ortalama±std.spm	-0,026±0,002
Karışım	1	234,25	234,20	-0,021
	2	242,14	242,10	-0,016
	3	223,21	223,18	-0,013
			Ortalama±std.spm	-0,017±0,003

Çizelge 4.15: Seramik atık katkılı örneklerin kuru ağırlıkları ve değişim değerleri.

Boyut	Örnek No	Donma-Çözünme Deney Öncesi Kuru Ağırlıklar (g)	Donma-Çözünme Deney Sonrası Kuru Ağırlıklar (g)	Değişim (%)
150 µm	1	200,47	200,41	-0,029
	2	213,88	213,84	-0,018
	3	205,79	205,74	-0,024
			Ortalama±std.spm	-0,024±0,005
300 µm	1	210,35	210,34	-0,004
	2	221,96	221,96	0
	3	215,17	215,14	-0,013
			Ortalama±std.spm	-0,006±0,007
600 µm	1	213,16	212,96	-0,093
	2	221,42	220,61	-0,365
	3	220,42	220,27	-0,068
			Ortalama±std.spm	-0,175±0,164
Karışım	1	214,46	214,42	-0,018
	2	210,49	210,42	-0,033
	3	213,57	213,51	-0,028
			Ortalama±std.spm	-0,026±0,007



Şekil 4.3: Kuru ağırlık değişimleri (%) (donma – çözünme).

Donma – çözünme deneyi sonrası belirlenen kuru ağırlık % değişimlerini veren Çizelge 4.14 – 4.15 ve Şekil 4.3 incelendiğinde; tüm örneklerde değişik oranlarda ağırlık kaybı olduğu görülmektedir. Donma-çözünme döngüleri esnasında örneklerin gözeneklerinde biriken su, donup hacim genişlemesi yaratır ve buna bağlı olarak numune içinde ek basınçlar meydana gelir. Bu basınçların neticesinde mikro kırıklarda ve gözeneklerde genişlemeler oluşur ve örneğin deformasyonu sonucu ufak malzeme kopmaları gerçekleşir. Bu durum örnekte ağırlık kayıplarına neden olur (Güler ve diğ.,2021).

Cam ve seramik atık katkılı örneklerin her ikisinde de 600 µm boyutlu örneklerde en fazla ağırlık kaybının görülmesinin nedeni büyük tane boyutlarına sahip örnekler içerisindeki boşlukların fazla olması, bu boşluklarda biriken suyun daha fazla olması ile donan suyun hacminin daha çok genişleyerek örneğe uyguladığı basınç sonucu örnekte daha çok bozulmanın meydana gelmesi ve daha fazla ağırlık kaybının gerçekleşmesidir.

4.3.2. Parlaklık değişim değerleri

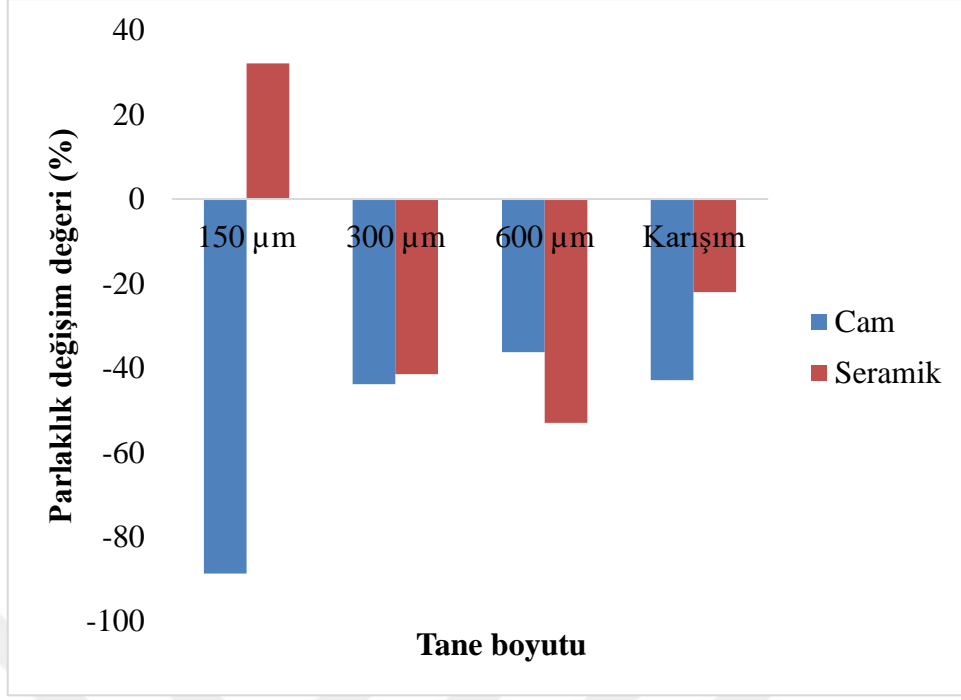
TS 699 standardında tanımlanan yönteme göre yapılan donma – çözünme deney döngülerine başlamadan önce ve döngüler sonrası örneklerin yüzeylerinde 3 farklı noktadan parlaklık ölçümleri alınmış ve ortalamaları hesaplanmıştır. Döngüler sonrası parlaklık değerlerinde oluşan % değişimleri Eşitlik 3.15'e göre belirlenmiş olup değişim değerleri Çizelge 4.16 – 4.17'de, döngüler öncesi ve sonrası parlaklık değişim değerlerinin grafiksel gösterimi ise Şekil 4.4'de verilmiştir

Çizelge 4.16: Cam atık katkılı örneklerin parlaklık değişim değerleri.

Boyut	Örnek No	Donma-Çözünme Deney Öncesi Parlaklık	Donma-Çözünme Deney Sonrası Parlaklık	Değişim (%)
150 µm	1	2,65	0,35	-86,79
	2	3,52	0,32	-90,78
	3	3,30	0,37	-88,63
			Ortalama±std.spm	-88,73±1,99
300 µm	1	3,57	2,50	-30,06
	2	2,75	1,40	-49,09
	3	3,47	1,65	-52,51
			Ortalama±std.spm	-43,89±12,09
600 µm	1	2,25	1,55	-31,11
	2	2,35	1,87	-20,21
	3	4,22	1,80	-57,39
			Ortalama±std.spm	-36,24±19,11
Karışım	1	4	2,82	-29,37
	2	4,17	2,47	-40,71
	3	4,57	1,90	-58,46
			Ortalama±std.spm	-42,85±14,66

Çizelge 4.17: Seramik atık katkılı örneklerin parlaklık değişim değerleri.

Boyut	Örnek No	Donma-Çözünme Deney Öncesi Parlaklık	Donma-Çözünme Deney Sonrası Parlaklık	Değişim (%)
150 µm	1	0,30	0,32	8,33
	2	1,12	1,50	33,33
	3	1,27	1,97	54,90
			Ortalama±std.spm	32,18±23,30
300 µm	1	1,85	1,35	-27,02
	2	1,30	0,57	-55,76
	3	1,20	0,70	-41,66
			Ortalama±std.spm	-41,48±14,37
600 µm	1	1,90	1,80	-5,26
	2	3,27	0,82	-74,80
	3	5,10	1,07	-78,92
			Ortalama±std.spm	-52,99±41,39
Karışım	1	1,40	1,85	32,14
	2	1,22	0,40	-67,34
	3	1,12	0,77	-31,11
			Ortalama±std.spm	-22,10±50,35



Şekil 4.4: Parlaklık değişimleri (%) (donma – çözünme).

Donma – çözünme döngüleri sonrası parlaklık değerleri ile değişim yüzdelerini veren Çizelge 4.16 – 4.17 ve Şekil 4.4 incelendiğinde cam atık katkılı örneklerde tüm boyutlarda parlaklıklarda azalmalar olduğu görülmektedir. En çok azalmanın görüldüğü örnekler 150 μm boyutlu numunelerdir. Bunun nedeninin, donma – çözünme deneylerinde döngüler ilerledikçe örneklerin yüzeylerindeki bozulmaların artması ve bundan dolayı örneklerin parlaklıklarının azalmasıdır. Ancak seramik atık katkılı örneklerde 150 μm boyutlu numunelerin deney sonrası parlaklıklarında artmalar görülmüştür. Bu durumun koyu renge sahip olan seramik atık katkılı örneklerin döngüler sonrası renklerinin açılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.3.3 Renk ölçüm değerleri

TS 699 standardına göre yapılan donma – çözünme döngülerine başlamadan önce ve 30 döngü sonunda örnek yüzeyindeki 3 farklı noktadan renk ölçümleri alınmıştır. Deney sonunda renk parametrelerinin (L, a, b) değerlerinde meydana gelen değişimler Eşitlik (3.12, 3.13, 3.14)'e göre belirlenmiştir.

4.3.3.1. L (siyahlık - beyazlık) değişimleri

Donma – çözünme döngülerine başlamadan önce ve döngülerden sonra numunelerin yüzeylerinden alınan renk ölçümlerine ait L (siyahlık – beyazlık ; L= 0 » siyah, L= 100 » beyaz) değerlerinin ortalamaları ve değişim yüzdeleri Eşitlik 3.12'ye göre hesaplanarak

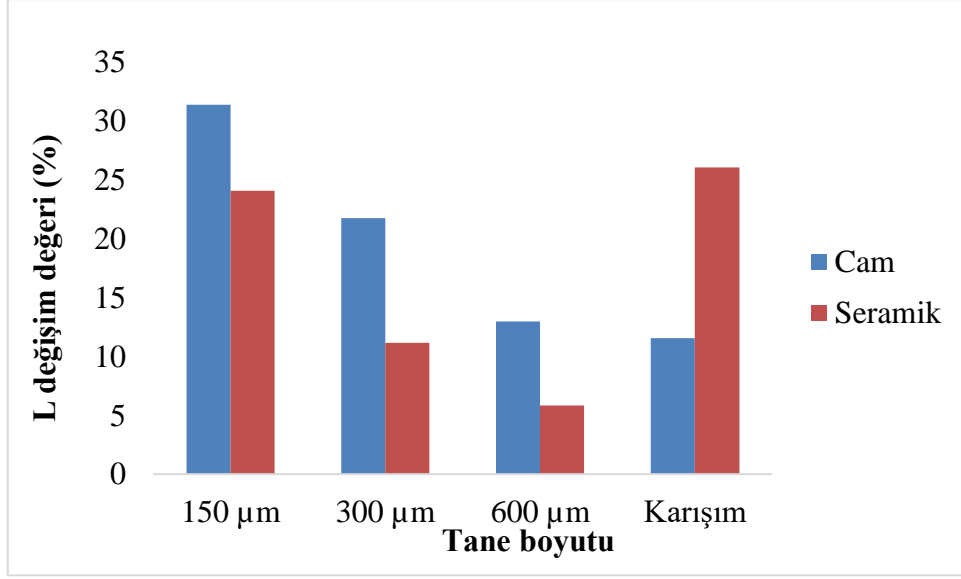
Çizelge 4.18 – 4.19’ da verilmiştir. L parametresine ait değişim değerlerinin grafiksel gösterimi Şekil 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.18: Cam atık katkılı örneklerin L (Siyahlık-Beyazlık) değişim değerleri.

Boyut	Örnek No	Donma-Çözünme Deney Öncesi L Değeri	Donma-Çözünme Deney Sonrası L Değeri	Değişim (%)
150 µm	1	55,99	73,14	30,63
	2	56,36	74	31,29
	3	56,10	74,15	32,17
			Ortalama±std.spm	31,36±0,77
300 µm	1	53,11	65,69	23,68
	2	53,55	64,63	20,69
	3	54	65,27	20,87
			Ortalama±std.spm	21,74±1,68
600 µm	1	67,49	76,85	13,86
	2	68,32	77,20	12,99
	3	67,31	75,35	11,94
			Ortalama±std.spm	12,93±0,96
Karışım	1	63,23	71,72	13,42
	2	62,61	68,15	8,84
	3	63,21	71,04	12,38
			Ortalama±std.spm	11,55±2,40

Çizelge 4.19: Seramik atık katkılı örneklerin L (Siyahlık-Beyazlık) değişim değerleri.

Boyut	Örnek No	Donma-Çözünme Deney Öncesi L Değeri	Donma-Çözünme Deney Sonrası L Değeri	Değişim (%)
150 µm	1	40,71	50,09	23,04
	2	42,69	52,84	23,77
	3	42,15	52,85	25,38
			Ortalama±std.spm	24,06±1,19
300 µm	1	42,96	47,16	9,77
	2	43	48,19	12,06
	3	42,86	47,85	11,64
			Ortalama±std.spm	11,16±1,21
600 µm	1	44,30	47,59	7,42
	2	45,09	48,30	7,11
	3	44,73	46,06	2,97
			Ortalama±std.spm	5,83±2,48
Karışım	1	42,87	49,04	14,39
	2	42,47	48,70	14,66
	3	42,37	63,11	48,94
			Ortalama±std.spm	26±19,87



Şekil 4.5: L parametresi (siyahlık-beyazlık) değişimleri (%) (donma – çözünme).

Çizelge 4. 18 – 4.19 ve Şekil 4.5 incelendiğinde cam atık katkılı örneklerin açık renkli yani yüksek L değerine sahip olduğu görülmektedir ve döngüler sonunda L değerinde artışlar yani renkte açılmalar gözlemlenmiştir. Tane boyutuna göre renk değişimleri incelendiğinde değişim en fazla 150 µm boyutlu örneklerde görülmektedir. Seramik atık katkılı örnekler cam atık katkılı örneklere kıyasla daha koyu renklidir. Fakat döngüler sonrası L değerlerinde artış görülmüştür yani renklerinde açılmalar meydana gelmiştir. Bu artış en fazla karışım tane boyuna sahip örneklerde ve 150 µm boyutlu örneklerde görülmektedir.

4.3.3.2. a (yeşillik - kırmızılık) değişimleri

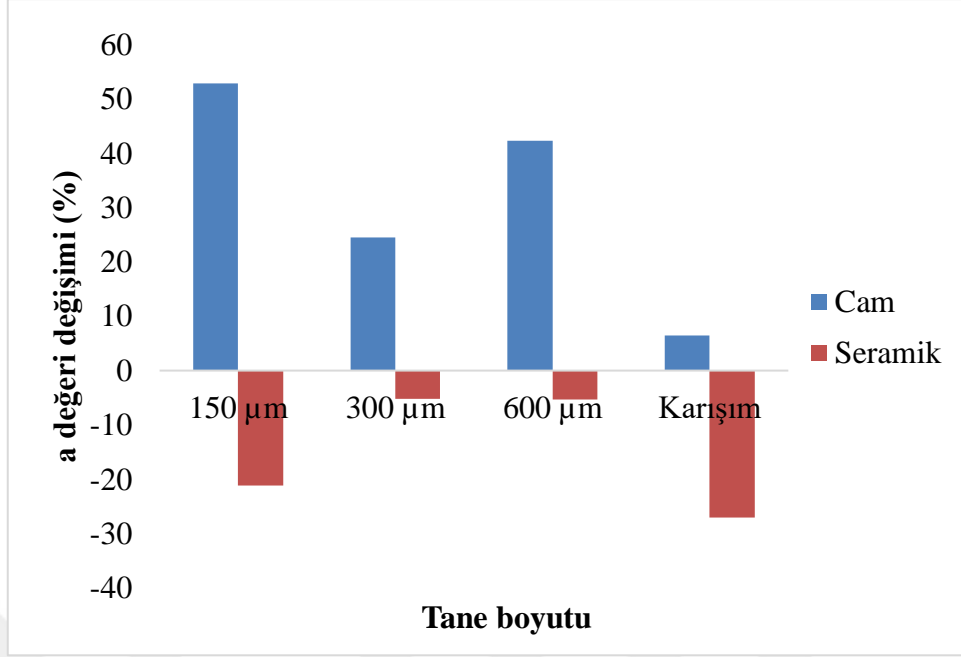
Donma – çözünme döngülerine başlamadan ve 30 döngü sonrasında örneklerin yüzeylerinden alınan renk ölçümlerine ait a değerlerindeki (yeşillik – kırmızılık; $a < 0$ » yeşil , $a > 0$ » kırmızı) yüzde değişimler Eşitlik 3.13'e göre hesaplanmıştır. Değişim değerleri Çizelge 4.20 – 4.21'de grafiksel gösterimi ise Şekil 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.20: Cam atık katkılı örneklerin a (Kırmızılık-Yeşillik) değişim değerleri.

Boyut	Örnek No	Donma-Çözünme Deney Öncesi a Değeri	Donma-Çözünme Deney Sonrası a Değeri	Değişim (%)
150 µm	1	-3,1	-1,23	60,32
	2	-2,97	-1,57	47,13
	3	-2,93	-1,43	51,19
			Ortalama±std.spm	52,88±6,75
300 µm	1	-5,55	-4,24	23,60
	2	-5,59	-3,96	29,15
	3	-5,67	-4,49	20,81
			Ortalama±std.spm	24,52±4,24
600 µm	1	-5,24	-3	42,74
	2	-5,39	-2,97	44,89
	3	-5,41	-3,29	39,18
			Ortalama±std.spm	42,27±2,88
Karışım	1	-2,96	-2,93	1,01
	2	-3,08	-2,72	11,68
	3	-3,21	-2,99	6,85
			Ortalama±std.spm	6,51±5,34

Çizelge 4.21: Seramik atık katkılı örneklerin a (Kırmızılık-Yeşillik) değişim değerleri.

Boyut	Örnek No	Donma-Çözünme Deney Öncesi a Değeri	Donma-Çözünme Deney Sonrası a Değeri	Değişim (%)
150 µm	1	8,19	6,66	-18,68
	2	8,96	6,81	-23,99
	3	7,98	6,32	-20,80
			Ortalama±std.spm	-21,15±2,67
300 µm	2	12,31	12,06	-2,03
	2	12,23	11,21	-8,34
	3	12,13	11,50	-5,19
			Ortalama±std.spm	-5,18±3,15
600 µm	1	12,68	11,42	-9,93
	2	12,49	11,7	-6,32
	3	12,46	12,51	0,40
			Ortalama±std.spm	-5,28±5,25
Karışım	1	10,28	9,54	-7,19
	2	11,35	9,92	-12,59
	3	10,67	4,11	-61,48
			Ortalama±std.spm	-27,09±29,90



Şekil 4.6: a parametresi (yeşillik-kırmızılık) değişimleri (%) (donma – çözünme).

Donma – çözünme deneyleri sonrası Çizelge 4.20 – 4.21 ve Şekil 4.6 incelendiğinde açık renkli cam atık katkılı örneklerin döngü sonrası a değerlerinin artma eğiliminde olduğu yani yeşillenme değerinin azaldığı ve değişimin en fazla 150 µm boyutlu örneklerde olduğu görülmektedir. Daha koyu renkte olan seramik atık katkılı örnekler incelendiğinde ise a değerlerinin yüksek, yani kırmızılaşmanın olduğu fakat döngü sonunda a değerlerinin azaldığı yani yeşillenme değerinin arttığı görülmüştür. Döngüler sonrası renklerde açılmalar olduğundan a değerleride azalmıştır.

4.3.3.3. b (mavilik – sarılık) değişimleri

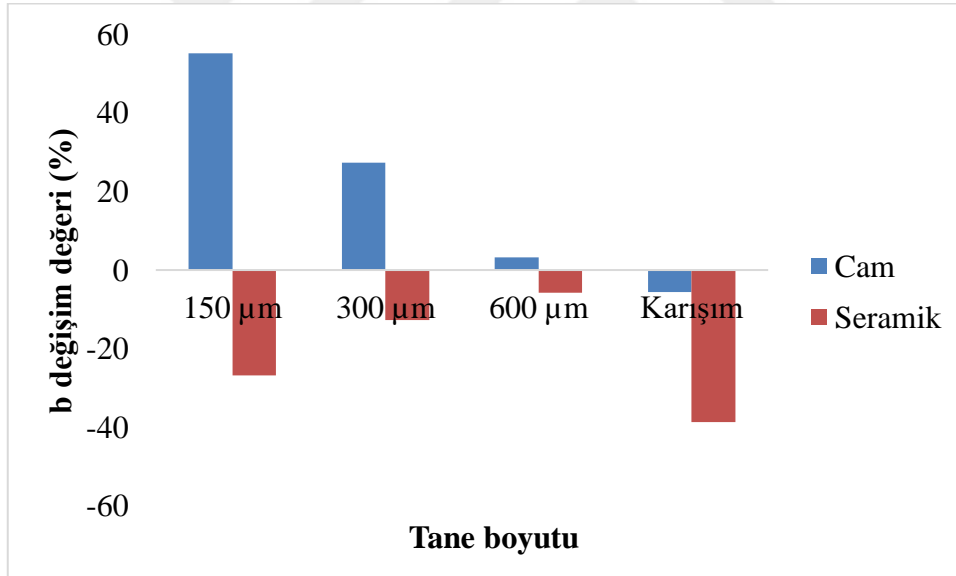
Donma – çözünme döngülerine başlamadan önce ve 30 döngü sonrasında numunelerin yüzeylerinden alınan renk ölçümlerine ait b (mavilik – sarılık; $b > 0$ » sarı, $b < 0$ » mavi) değerlerindeki değişim yüzdeleri Eşitlik 3.14'e göre hesaplanmış, değişim değerleri Çizelge 4.22 – 4.23'de, değerlerin grafiksel gösterimi ise Şekil 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.22: Cam atık katkılı örneklerin b (Mavilik- Sarılık) değişim değerleri.

Boyut	Örnek No	Donma-Çözünme Deney Öncesi b Değeri	Donma-Çözünme Deney Sonrası b Değeri	Değişim (%)
150 μm	1	2,05	3,95	92,68
	2	1,81	2,54	40,33
	3	1,91	2,53	32,46
			Ortalama \pm std.spm	55,15 \pm 32,73
300 μm	1	2,61	3,94	50,95
	2	2,85	3,47	21,75
	3	3,01	3,29	9,30
			Ortalama \pm std.spm	27,33 \pm 21,38
600 μm	1	4,53	4,57	0,88
	2	4,55	4,51	-0,87
	3	4,54	4,99	9,91
			Ortalama \pm std.spm	3,30 \pm 5,78
Karışım	1	1,79	1,37	-23,46
	2	1,99	2,85	43,21
	3	2,04	1,29	-36,76
			Ortalama \pm std.spm	-5,67 \pm 42,85

Çizelge 4.23: Seramik atık katkılı örneklerin b (Mavilik-Sarılık) değişim değerleri.

Boyut	Örnek No	Donma-Çözünme Deney Öncesi b Değeri	Donma-Çözünme Deney Sonrası b Değeri	Değişim (%)
150 µm	1	12,47	9,16	-26,54
	2	12,69	8,79	-30,73
	3	11,50	8,84	-23,13
			Ortalama±std.spm	-26,80±3,80
300 µm	1	14,15	13,10	-7,42
	2	14,28	11,88	-16,80
	3	14,24	12,23	-14,11
			Ortalama±std.spm	-12,78±4,83
600 µm	1	15,38	13,86	-9,88
	2	15,18	13,76	-9,35
	3	15,16	15,43	1,78
			Ortalama±std.spm	-5,81±6,58
Karışım	1	13,54	10,77	-20,45
	2	14,72	11,28	-23,36
	3	13,52	3,74	-72,33
			Ortalama±std.spm	-38,72±29,14



Şekil 4.7: b parametresi (mavilik-sarılık) değişimleri (%) (donma - çözünme).

Çizelge 4.22 – 4.23 ve Şekil 4.7 incelendiğinde donma – çözünme döngüleri sonrasında 150, 300 ve 600 µm boyutlu cam atık katkılı örneklerin b değerlerinin arttığı yani örneklerde sarılaşmanın olduğu karışım örneklerinin b değerlerinde ise azalmanın gerçekleştiği görülmektedir.

Seramik atık katkılı örnekler incelendiğinde b değerlerinin döngüler sonunda azaldığı yani mavilik değerinin arttığı görülmektedir. En fazla değişimin karışım örneklerinde olduğu görülmüştür.

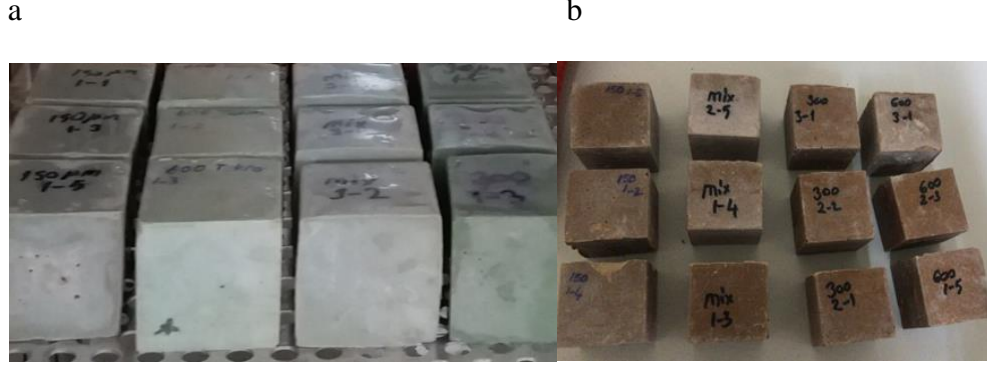
4.3.3.4. Toplam renk değişimleri

Donma – çözünme deneyi sonrası Eşitlik 3.11 de yer alan formüle göre toplam renk değişim değerleri hesaplanmıştır. Toplam renk değişim değerleri Çizelge 4.24’de verilmiştir.

Çizelge 4.24: Cam ve Seramik atık katkılı örneklerin renk değişim değerleri (ΔE).

Boyut	Örnek No	Donma-Çözünme Deney sonrası ΔE Cam (%)	Donma-Çözünme Deney sonrası ΔE Seramik (%)
150 μm	1	17,35	24,72
	2	17,71	11,08
	3	18,12	11,14
	Ortalama \pm std.spm	17,72 \pm 0,38	15,65 \pm 7,85
300 μm	1	12,71	4,33
	2	11,21	5,80
	3	11,33	5,41
	Ortalama \pm std.spm	11,75 \pm 0,83	5,18 \pm 0,76
600 μm	1	9,62	3,83
	2	9,20	3,59
	3	8,32	1,35
	Ortalama \pm std.spm	9,05 \pm 0,66	2,93 \pm 1,36
Karışım	1	8,50	6,80
	2	5,61	7,25
	3	7,86	23,85
	Ortalama \pm std.spm	7,32 \pm 1,51	12,63 \pm 9,71

Çizelge 4.24 incelendiğinde donma – çözünme döngüleri sonrasında cam ve seramik atık katkılı örneklerde değişik oranlarda renk değişimlerinin olduğu görülmektedir. Genel anlamda en fazla değişim cam atık katkılı örneklerde gözlemlenmiştir. Bu durumda donma çözünme döngülerinin renk değerleri bakımından en çok etkilediği örnekler cam atık katkılı örneklerdir. Cam ve seramik atıklı örneklerin tümünde küçük tane boyutlu (150 μm) numuneler en fazla renk değişimine uğramıştır. Tane boyutu arttıkça renkte meydana gelen toplam değişim miktarı azalmıştır. Donma-çözünme döngüleri sonrası örneklerdeki renk değişiminin görüntüsü Şekil 4.8’de verilmiştir



Şekil 4.8: Donma-çözünme döngüleri sonrası cam atık katkılı (a) ve seramik atık katkılı örneklerle (b) ait renk değişimlerine gösteren görüntü.

4.3.4. Donma-çözünme döngüleri sonrası Schmidt çekici sertlik değeri sonuçları

Donma-çözünme döngüleri sonrası sertlik değerleri ve herhangi bir döngü uygulanmayan örneklerin sertlik değerleri ile % değişimi Çizelge 4.25’de verilmiştir

Çizelge 4.25: Donma - çözünme deneyi sonrası cam ve seramik atıklı örneklerin Schmidt Çekici Sertlik değerleri ve % değişimi.

Örnekler	Schmidt Çekici Sertlik Değeri	Herhangi bir döngü uygulanmayan örneklerin Schmidt Çekici Sertlik Değeri	Değişim (%)
Cam (150 µm)	38	37,8	0,52
Cam (300 µm)	35	38,6	-9,32
Cam (600 µm)	34,4	31,2	10,25
Cam (Karışım)	38,4	41,2	-6,79
Seramik (150 µm)	47,4	39,6	19,69
Seramik (300 µm)	41,6	41,6	0
Seramik (600 µm)	39,2	40,8	-3,92
Seramik (Karışım)	37,8	40	-5,5

Çizelge 4.25 incelendiğinde sertlik değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Döngüler sonrası büyük tane boyutlu örneklerde donan suyun uyguladığı basınçtan dolayı gerçekleşen çatlama veya kopmaların numunelerin sertliklerini de etkilediği düşünülmektedir. Tane boyutu küçük olan örneklerde ise polyester reçinenin küçük tane boyutlarına daha iyi tutunma özelliğinden kaynaklı boşluk oluşmadığından döngüler sonrası sertlik değerlerinde artışlar görülmektedir.

4.3.5. Donma-çözünme döngüleri sonrası tek eksenli basma dayanımı deneyi sonuçları

Donma-çözünme döngüleri sonrası tek eksenli basma dayanımı ve herhangi bir döngü uygulanmayan örneklerin tek eksenli basma dayanımı ile % değişimi sonuçları Çizelge 4.26-4.27’de verilmiştir.

Çizelge 4.26: Donma - çözünme deneyi sonrası cam atık katkılı örneklerin tek eksenli basma dayanımı deneyi sonuçları ve % değişimi.

Boyut	Örnek No	Kırılma Yüğü (kN)	Yüzey Alanı (mm ²)	Tek Eksenli Basma Dayanımı (MPa)	Herhangi bir döngü uygulanmayan örneklerin Tek Eksenli Basma Dayanımı(MPa)	Değişim (%)
150 µm	1	207,2	2335,56	88,71	64,43	
	2	219,6	2386,23	92,02	21,24	
	3	213,4	2325,83	91,75	44,28	
			Ortalama±std.spm	90,82±1,83	43,31±21,61	109,68±-91,49
300 µm	1	137,1	2453,21	55,88	70,85	
	2	170,9	2502,99	68,27	57,35	
	3	165,3	2475,05	66,78	62,20	
			Ortalama±std.spm	63,64±6,76	63,46±6,83	0,27±-1,08
600 µm	1	140	2482,02	56,40	45,77	
	2	144,5	2458	58,78	27,21	
	3	148,7	2553,38	58,23	67,67	
			Ortalama±std.spm	57,80±1,24	46,88±20,25	23,29±-93,84
Karışım	1	168,6	2500,62	67,42	52,70	
	2	145,9	2552,24	57,16	72,08	
	3	154,4	2322,27	66,48	34,23	
			Ortalama±std.spm	63,68±5,67	53±18,92	20,15±-70,03

Çizelge 4.27: Donma - çözünme deneyi sonrası seramik atık katkılı örneklerin tek eksenli basma dayanımı deneyi sonuçları ve % değişimi.

Boyut	Örnek No	Kırılma Yüğü (kN)	Yüzey Alanı (mm ²)	Tek Eksenli Basma Dayanımı (MPa)	Herhangi bir döngü uygulanmayan örneklerin Tek Eksenli Basma Dayanımı(MPa)	Değişim (%)
150 µm	1	193,8	2297,26	84,36	55,91	
	2	218,5	2419,65	90,30	63,24	
	3	234,7	2423,03	96,86	31,35	
			Ortalama±std.spm	90,50±6,25	50,16±16,70	80,42±-62,57
300 µm	1	202,6	2369,16	85,51	15,49	
	2	207,6	2467,09	84,14	32,15	
			Ortalama±std.spm	84,82±0,96	48,39	
600 µm	1	137,7	2475,91	55,61	32,01±16,45	164,97±-94,16
	2	173,9	2413,75	72,04	15,37	
			Ortalama±std.spm	63,82±11,61	15,12	
Karışım	1	232,7	2401,34	96,90	15,58	
	2	224,3	2349,55	95,46	15,35±0,23	315,76±4947,82
	3	224,2	2379,84	94,20	63,69	
			Ortalama±std.spm	95,52±1,35	71,72	
				53,45		
					62,95±9,15	51,73±-85,24

Donma- çözünme döngülerine tabi tutulan yapay mermer örneklerinin ve % değişimin olduğu Çizelge 4.26-4.27 da yer alan veriler Deere ve Miller (1966)'a göre yapılan tek eksenli basınç direncine göre sınıflandırılmanın olduğu Çizelge 2.2 ye göre değerlendirildiğinde donma-çözünme döngülerine tabi tutulan cam ve seramik atık katkılı yapay mermer örneklerinin “orta dirençli” olduğu görülmektedir. Cam ve seramik atık katkılı örneklerin herhangi bir döngüye tabi tutulmayan cam ve seramik atık katkılı örnekler göre dayanımının fazla olduğu görülmektedir. Donma çözünme döngüleri sonunda basınç dayanımındaki artışın nedeninin zamana bağlı olarak gerçekleşen küreleşme ile örneklerin daha sağlam bir yapı kazanmalarından kaynaklandığı düşünülmüştür.

4.4. Termal Şok Döngüleri Sonrası Yapılan Analiz Sonuçları

TS EN 14066 standardı esas alınarak yapılan termal şok deneyleri sonucunda örneklerde meydana gelen kuru ağırlık, parlaklık ve renk ölçümlerindeki değişim değerleri atık ve boyutlara göre değerlendirilmiştir.

4.4.1. Kuru ağırlık değişim değerleri

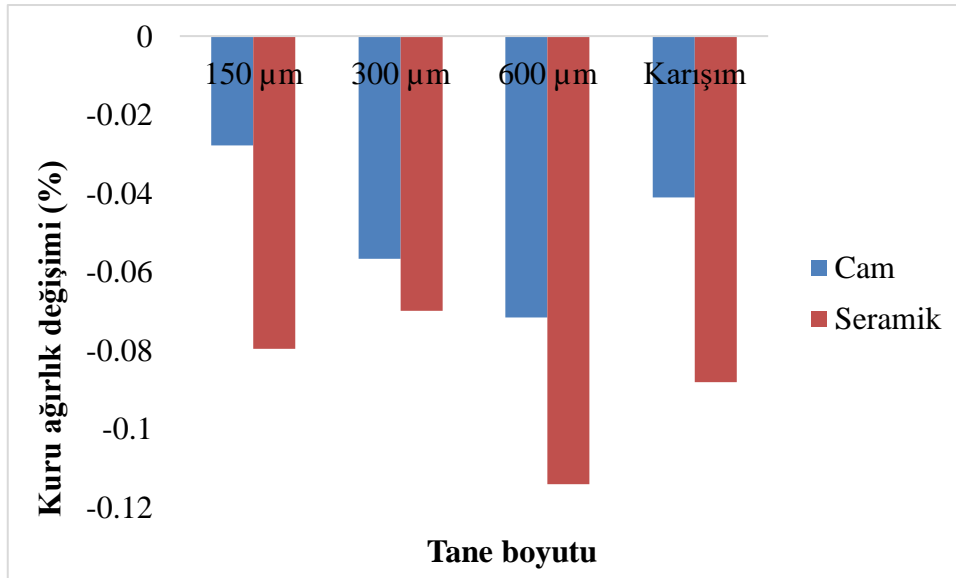
Termal Őok deneylerinde dōngūler sonunda oluŐan aęırlık deęiŐimleri EŐitlik 3.10'a gōre belirlenmiŐ olup, deęerler izelge 4.28 – 4.29'da, aęırlık deęiŐim deęerlerinin grafiksel gōsterimi Őekil 4.9'da verilmiŐtir.

Çizelge 4.28: Cam atık katkılı Örneklerin kuru ağırlıkları ve değişim değerleri.

Boyut	Örnek No	Termal Şok Deneyi Öncesi Kuru Ağırlıklar (g)	Termal Şok Deneyi Sonrası Kuru Ağırlıklar (g)	Değişim (%)
150 μm	1	221,75	221,70	-0,02
	2	220,01	219,96	-0,02
	3	228,33	228,27	-0,02
	4	228,86	228,81	-0,02
	5	217,09	216,99	-0,04
			Ortalama±std.spm	-0,027±0,010
300 μm	1	234,02	233,90	-0,05
	2	227,51	227,40	-0,04
	3	223,19	223,06	-0,05
	4	245,99	245,81	-0,07
	5	228,20	228,08	-0,05
			Ortalama±std.spm	-0,056±0,009
600 μm	1	238	237,84	-0,06
	2	233,74	233,58	-0,06
	3	231,14	230,96	-0,07
	4	246,05	245,87	-0,07
			Ortalama±std.spm	-0,071±0,004
Karışım	1	226,98	226,87	-0,04
	2	241,04	240,96	-0,03
	3	235,87	235,77	-0,04
	4	236,84	236,76	-0,03
	5	231,41	231,30	-0,04
			Ortalama±std.spm	-0,041±0,007

Çizelge 4.29: Seramik atık katkı örneklerinin kuru ağırlıkları ve değişim değerleri.

Boyut	Örnek No	Termal Şok Deneyi öncesi Kuru Ağırlıklar (g)	Termal Şok Deneyi Sonrası Kuru Ağırlıklar (g)	Değişim (%)
150 µm	1	203,79	203,62	-0,08
	2	210,53	210,38	-0,07
	3	212,74	212,55	-0,08
	4	216,33	216,16	-0,07
	5	210,36	210,20	-0,07
			Ortalama±std.spm	-0,079±0,006
300 µm	1	208,15	207,96	-0,09
	2	214,18	214,03	-0,07
	3	214,23	214,09	-0,06
	4	218,77	218,60	-0,07
	5	217,59	217,40	-0,08
			Ortalama±std.spm	-0,070±0,011
600 µm	1	212,78	212,50	-0,13
	2	216,81	216,61	-0,09
	3	221,75	221,52	-0,10
	4	208,38	208,03	-0,16
	5	213,32	213,16	-0,07
			Ortalama±std.spm	-0,114±0,036
Karışım	1	215,30	215,13	-0,07
	2	213,93	213,76	-0,07
	3	214,49	214,34	-0,06
	4	221,10	220,90	-0,09
	5	221,79	221,52	-0,12
			Ortalama±std.spm	-0,088±0,020



Şekil 4.9: Kuru ağırlık değişimleri (%) (termal şok).

Termal şok deneyi sonrası belirlenen kuru ağırlık değerleri ile % değişimlerini veren Çizelge 4.28 – 4.29 ve Şekil 4.9 incelendiğinde; tüm örneklerde ağırlık kaybı olduğu görülmektedir. Ağırlık kaybının en fazla gözlemlendiği örnekler ise seramik atık katkılı örneklerin 600 µm boyutlu numuneleri olup - % 0,114' e varan ağırlık değişimi görülmüştür. Seramikler sünek bir yapıya sahip olmadıklarından dolayı gevrek özellikli bu malzemelerde ani gelişen ısı değişimleri malzeme bünyesinde deformasyonlar oluşturarak örneklerde çatlamlar ve kopmaların gerçekleşmesine ve ağırlık kayıplarının görülmesine neden olur. (Bolcavage ve diğ.,2004). Seramik atıklı örneklerde daha fazla oranda ağırlık kaybı gelişmesinin gevrek yapılarından kaynaklandığı düşünülmüştür.

4.4.2. Parlaklık değişim değerleri

TS EN 14066 standardı esas alınarak yapılan termal şok döngülerine başlamadan önce ve döngüler sonrasında örneklerin yüzeylerinde 3 farklı noktadan parlaklık ölçümleri alınmış ve ortalamaları hesaplanmıştır.

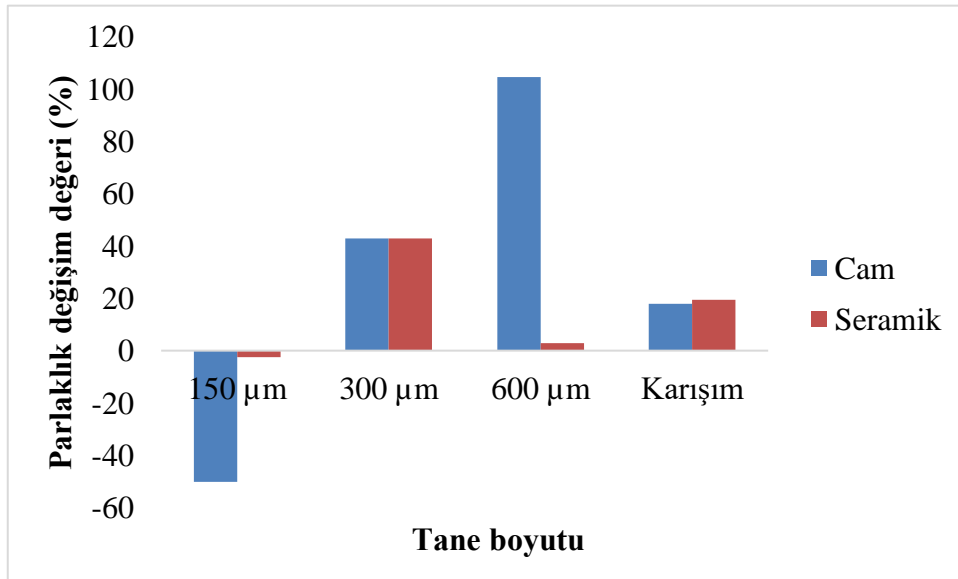
Deney sonrası parlaklık değerlerinde oluşan % değişimleri Eşitlik 3.15'e göre belirlenmiş olup değişim değerleri Çizelge 4.30 – 4.31'de, değişim değerlerinin grafiksel gösterimi Şekil 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.30: Cam atık katkılı örneklerin parlaklık değişim değerleri.

Boyut	Örnek No	Termal Şok Deneyi Öncesi Parlaklık	Termal Şok Deneyi Sonrası Parlaklık	Değişim (%)
150 µm	1	4,50	0,87	-80,55
	2	3,97	0,57	-85,53
	3	3,82	1,27	-66,66
	4	3,10	2	-35,48
	5	1,75	2,05	17,14
			Ortalama±std.spm	-50,21±42,40
300 µm	1	2,02	2,17	7,40
	2	2,10	2,55	21,42
	3	1,25	2,95	136
	4	2,25	2,52	12,22
	5	1,90	2,60	36,84
			Ortalama±std.spm	42,78±53,30
600 µm	1	1,20	3,20	166,66
	2	2,87	4,87	69,56
	3	3,47	5,67	63,30
	4	2,60	5,67	118,26
			Ortalama±std.spm	104,45±48,20
Karışım	1	2,65	4	50,94
	2	1,77	2,60	46,47
	3	2,35	2,52	7,44
	4	2,92	2,70	-7,69
	5	4,60	4,27	-7,06
			Ortalama±std.spm	18,02±28,70

Çizelge 4.31: Seramik atık katkıli örneklerin parlaklık değişim değerleri.

Boyut	Örnek No	Termal Şok Deneyi Öncesi Parlaklık	Termal Şok Deneyi Sonrası Parlaklık	Değişim (%)
150 µm	1	0,62	1	60
	2	1	1,12	12,50
	3	0,85	0,80	-5,88
	4	1,30	1,02	-21,15
	5	2,95	1,25	-57,62
			Ortalama±std.spm	
300 µm	1	0,52	0,65	23,80
	2	0,37	1,25	237,83
	3	1,12	0,95	-15,55
	4	1,47	1,15	-22,03
	5	0,97	0,92	-5,12
			Ortalama±std.spm	
600 µm	1	1	0,82	-17,50
	2	1,22	1,97	61,22
	3	2,05	1,30	-36,58
	4	0,92	1,35	45,94
	5	3,50	2,12	-39,28
			Ortalama±std.spm	
Karışım	1	1,87	1,07	-42,66
	2	0,25	0,85	240
	3	2,15	1,35	-37,20
	4	1,35	1,22	-9,25
	5	2,90	1,32	-54,31
			Ortalama±std.spm	



Şekil 4.10: Parlaklık değişimleri (%) (termal şok).

Çizelge 4.30 – 4.31 ve Şekil 4.10 incelendiğinde cam ve seramik atıklı 150 µm boyutlu örnekler dışında tüm örneklerin parlaklık değerlerinin arttığı görülmektedir. Bu artış en çok

600 µm boyutlu cam atıklı numunelerde görülmüştür. Seramik atık katkılı örneklerde ise, parlaklığın en çok arttığı örnekler 300 µm boyutlu numunelerdir.

4.4.3. Renk ölçüm değerleri

TS EN 14066 standardına göre termal şok döngülerine başlamadan önce ve 30 döngü sonunda örnek yüzeylerinde 3 farklı noktadan renk ölçümleri alınmıştır. Deney sonunda renk parametrelerinin (L, a, b) değerlerinde meydana gelen değişimler Eşitlik (3.12, 3.13, 3.14)'e göre belirlenmiştir.

4.4.3.1. L (siyahlık - beyazlık) değişimleri

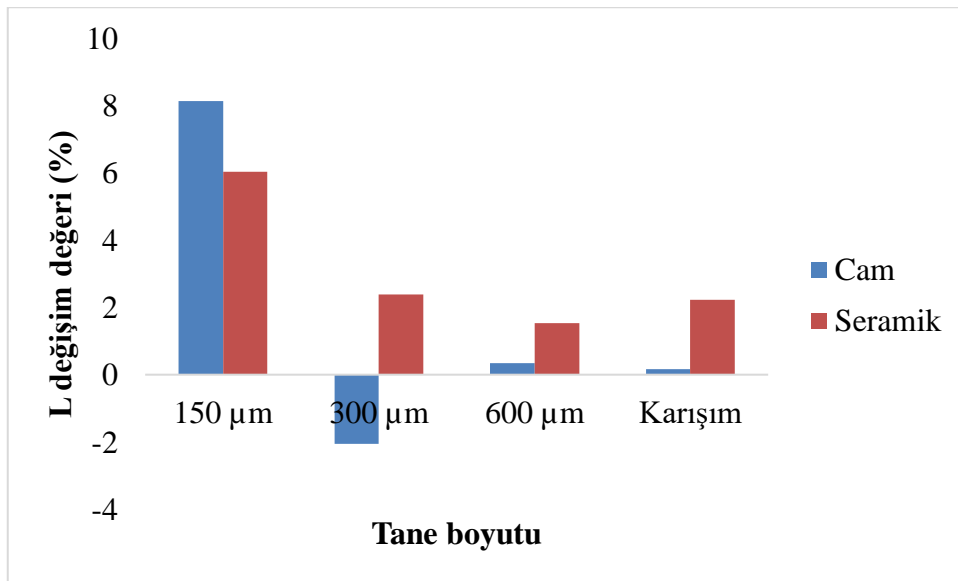
Termal şok döngülerine başlamadan önce ve döngülerden sonra numunelerin yüzeylerinden alınan renk ölçümlerine ait L (siyahlık – beyazlık ; L= 0 » siyah, L= 100 » beyaz) değerlerinin ortalamaları ve değişim yüzdeleri Eşitlik 3.12'ye göre hesaplanarak Çizelge 4.32 – 4.33'de verilmiştir. L parametresine ait değişim değerlerinin grafiksel gösterimi Şekil 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.32: Cam atık katkılı örneklerin L (Siyahlık-Beyazlık) değişim değerleri.

Boyut	Örnek No	Termal Şok Deneyi Öncesi L Değeri	Termal Şok Deneyi Sonrası L Değeri	Değişim (%)
150 µm	1	56,07	60,32	7,57
	2	56,43	60,79	7,72
	3	56,42	62,42	10,63
	4	57,04	60,71	6,43
	5	57,25	62,02	8,33
			Ortalama±std.spm	8,14±1,55
300 µm	1	63,79	62,75	-1,63
	2	65,34	62,61	-4,17
	3	64,84	64,21	-0,97
	4	64,50	64,12	-0,58
	5	64,68	62,78	-2,93
			Ortalama±std.spm	-2,06±1,48
600 µm	1	66,69	66,24	-0,67
	2	68,09	67,53	-0,82
	3	68,54	68,83	0,42
	4	67,26	68,90	2,43
			Ortalama±std.spm	0,34±1,50
Karışım	1	60,86	61,87	1,65
	2	61,11	60,27	-1,37
	3	61,79	60,63	-1,87
	4	61,26	60,53	-1,19
	5	62,88	65,14	3,59
			Ortalama±std.spm	0,16±2,36

Çizelge 4.33: Seramik atık katkılı örneklerin L (Siyahlık-Beyazlık) değişim değerleri.

Boyut	Örnek No	Termal Şok Deneyi Öncesi L Değeri	Termal Şok Deneyi Sonrası L Değeri	Değişim (%)
150 µm	1	41,10	44,21	7,56
	2	42,25	45,10	6,74
	3	41,36	46,34	12,04
	3	43,89	46,06	4,94
	5	44,95	44,44	-1,13
			Ortalama±std.spm	6,03±4,78
300 µm	1	42,79	45,78	6,98
	2	42,83	43,85	2,38
	3	42,95	44,11	2,70
	4	43,90	43,30	-1,36
	5	43,41	43,92	1,17
			Ortalama±std.spm	2,37±3,03
600 µm	1	44,73	44,97	0,53
	2	44,51	45,50	-0,02
	3	44,29	45,40	2,50
	4	45,37	46,13	1,67
	5	44,51	45,84	2,98
			Ortalama±std.spm	1,53±1,27
Karışım	1	42,62	44,20	3,70
	2	42,58	44,02	3,38
	3	43,21	44,37	2,68
	4	43,90	44,73	1,89
	5	43,67	43,45	-0,50
			Ortalama±std.spm	2,23±1,68



Şekil 4.11: L parametresi (siyahlık-beyazlık) değişimleri (%) (termal şok).

Çizelge 4.32 – 4.33 ve Şekil 4.11 incelendiğinde cam atık katkılı örneklerin açık renkli yani yüksek L değerine sahip olduğu görülmektedir ve döngüler sonunda 300 µm boyutlu örnek

hariç L değerlerinin arttığı görülmektedir. Seramik atık katkılı örnekler cam atık katkılı örneklerle kıyasla daha koyu renklidir. Fakat döngüler sonrası tüm örneklerin L değerlerinde artış yani renklerinde açılmalar meydana gelmiştir. L parametresindeki yüzde değişimin en fazla geliştiği numunelerin 150 µm boyutlu örnekler olduğu görülmektedir.

4.4.3.2. a (yeşillik - kırmızılık) değişimleri

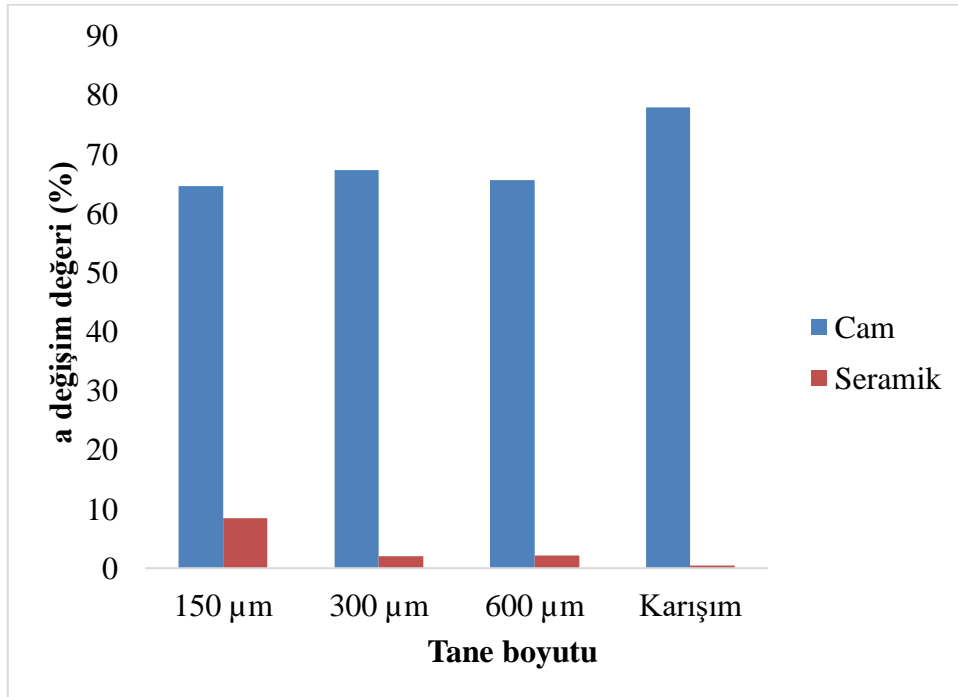
Termal şok döngülerine başlamadan önce ve döngüler sonrasında örneklerin yüzeylerinden alınan renk ölçümlerine ait a değerlerindeki (yeşillik – kırmızılık; $a < 0$ » yeşil, $a > 0$ » kırmızı) değişim yüzdeleri Eşitlik 3.13'e göre hesaplanmıştır. Değişim değerleri Çizelge 4.34 – 4.35'de grafiksel gösterimi ise Şekil 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.34: Cam atık katkılı örneklerin a (Yeşillik-Kırmızılık) değişim değerleri.

Boyut	Örnek No	Termal Şok Deneyi Öncesi a Değeri	Termal Şok Deneyi Sonrası a Değeri	Değişim (%)
150 µm	1	-2,93	-0,97	66,89
	2	-2,98	-0,98	67,11
	3	-2,36	-0,77	67,37
	4	-2,69	-1,02	62,08
	5	-2,43	-0,98	59,67
				Ortalama±std.spm
300 µm	1	-5,09	-1,51	70,33
	2	-4,73	-1,72	63,63
	3	-5,01	-1,73	65,46
	4	-4,95	-1,65	66,66
	5	-5,22	-1,55	70,30
				Ortalama±std.spm
600 µm	1	-5,54	-1,96	64,62
	2	-5,07	-1,43	71,79
	3	-4,73	-1,65	65,11
	4	-5,09	-2	60,70
				Ortalama±std.spm
Karışım	1	-3,35	-0,49	85,37
	2	-4,11	-1,01	75,42
	3	-3,96	-0,94	76,26
	4	-3,88	-1,12	71,13
	5	-3,07	-0,58	81,10
				Ortalama±std.spm

Çizelge 4.35: Seramik atık katkılı örneklerin a (Yeşillik-Kırmızılık) değişim değerleri.

Boyut	Örnek No	Termal Şok Deneyi Öncesi a Değeri	Termal Şok Deneyi Sonrası a Değeri	Değişim (%)
150 µm	1	8,30	9,42	13,49
	2	8,38	9,19	9,66
	3	9,25	9,69	4,75
	4	9,44	10,03	6,25
	5	8,99	9,73	8,23
			Ortalama±std.spm	8,47±3,37
300 µm	1	12,38	12,60	1,77
	2	12,36	12,72	2,91
	3	12,40	12,91	4,11
	4	12,73	12,74	0,07
	5	12,55	12,72	1,35
			Ortalama±std.spm	2,04±1,53
600 µm	1	12,43	12,60	1,36
	2	12,73	12,49	-1,88
	3	11,83	12,68	7,18
	4	12,32	12,69	3
	5	12,70	12,85	1,18
			Ortalama±std.spm	2,17±3,31
Karışım	1	11,31	11,41	0,88
	2	10,82	10,30	-4,80
	3	11,15	11,30	1,34
	4	11,49	11,77	2,43
	5	11,37	11,65	2,46
			Ortalama±std.spm	0,46±3,02



Şekil 4.12: a parametresi (yeşillik-kırmızılık) değişimleri (%).

Çizelge 4.34 – 4.35 ve Şekil 4.12 incelendiğinde açık renkli cam atık katkılı örneklerin a değerleri düşük yani yeşillenme değerlerinin yüksek olduğu fakat döngüler sonrası a değerinde artma yani kırmızılık değerinin yükseldiği görülmektedir. Daha koyu renkte olan seramik atık katkılı örnekler de ise a değerlerinin yüksek olduğu döngü sonrasında a değerlerinin arttığı yani kırmızılaşmanın meydana geldiği görülmüştür.

4.4.3.3. b (mavilik - sarılık) değişimleri

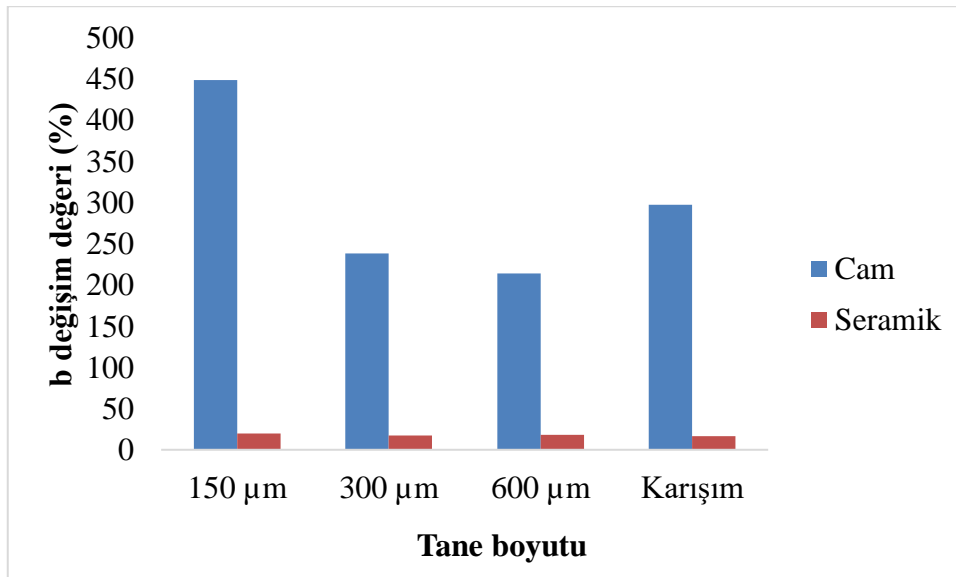
Termal şok döngülerine başlamadan önce ve 30 döngü sonrasında numunelerin yüzeylerinden alınan renk ölçümlerine ait b (mavilik – sarılık; $b > 0$ » sarı, $b < 0$ » mavi) değerlerindeki değişim yüzdeleri Eşitlik 3.14'e göre hesaplanmış, değişim değerleri Çizelge 4.36 – 4.37'de grafiksel gösterimi ise Şekil 4.13'de verilmiştir.

Çizelge 4.36: Cam atık katkılı örneklerin b (Mavilik- Sarılık) değişim değerleri.

Boyut	Örnek No	Termal Şok Deneyi Öncesi b Değeri	Termal Şok Deneyi Sonrası b Değeri	Değişim (%)
150 µm	1	1,90	8,65	355,26
	2	1,81	8,69	380,11
	3	1,18	8,21	595,76
	4	1,35	7,91	485,92
	5	1,99	10,41	423,11
			Ortalama±std.spm	448,03±96,30
300 µm	1	3,62	12,73	251,65
	2	3,47	12,40	257,34
	3	3,63	12,28	238,29
	4	3,83	11,96	212,27
	5	3,84	12,75	232,03
			Ortalama±std.spm	238,32±17,73
600 µm	1	4,75	14,19	198,73
	2	4,09	12,74	211,49
	3	3,67	12,55	241,96
	4	4,15	12,56	202,65
			Ortalama±std.spm	213,71±19,57
Karışım	1	2,61	10,04	284,67
	2	3,05	11,92	290,81
	3	3	11,90	296,66
	4	3,05	11,22	267,86
	5	2,07	9,17	342,99
			Ortalama±std.spm	296,60±28,07

Çizelge 4.37: Seramik atık katkıli örneklerin b (Mavilik-Sarılık) değişim değerleri.

Boyut	Örnek No	Termal Şok Deneyi Öncesi b Değeri	Termal Şok Deneyi Sonrası b Değeri	Değişim (%)
150 µm	1	11,81	15,62	32,26
	2	11,59	14,89	28,47
	3	13,30	16,60	24,81
	4	13,16	15,97	21,35
	5	12,20	15,18	24,42
			Ortalama±std.spm	19,67±14,08
300 µm	1	15,89	18,22	14,66
	2	14,40	17,14	19,02
	3	14,53	17,89	23,12
	4	15,03	17,51	16,50
	5	15,68	17,51	11,67
			Ortalama±std.spm	16,99±4,35
600 µm	1	15,14	18,16	19,94
	2	14,77	17,05	15,43
	3	14,31	17,78	24,24
	4	14,71	17,35	17,94
	5	15,47	17,53	13,31
			Ortalama±std.spm	18,17±4,21
Karışım	1	14,34	16,65	16,10
	2	13,89	16,57	19,29
	3	13,98	16,08	15,02
	4	14,38	16,83	17,03
	5	14,16	16,04	13,27
			Ortalama±std.spm	16,14±2,24



Şekil 4.13: b parametresi (mavilik-sarılık) değişimleri (%) (termal şok).

Çizelge 4.36 – 4.37 ve Şekil 4.13 incelendiğinde termal şok döngüleri sonrası cam ve seramik atık katkıli örneklerin b değerlerinin yüksek olduğu yani sarılaşmanın arttığı

görülmüştür. Bu durumun sıcaklık etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir. b değerinin en çok arttığı örneklerin cam atık katkılı örnekler olduğu gözlemlenmiştir. Grafik incelendiğinde seramik atık katkılı örneklerin b değerlerindeki değişimin dar bir alanda gerçekleştiği, cam atık katkılı örneklerden 150 µm boyutlu numunelerin b parametresinin en yüksek değere sahip olduğu görülmektedir.

4.4.3.4. Toplam renk değişimleri

Termal şok deneyi sonrası Eşitlik 3.11 göre belirlenen formüllere göre toplam renk değişim değerleri hesaplanmıştır. Toplam renk değişim değerleri Çizelge 4.38’de verilmiştir.

Çizelge 4.38: Cam ve Seramik atık katkılı örneklerin toplam renk değişim değerleri (ΔE).

Boyut	Örnek No	Termal Şok Deneyi Sonrası ΔE	
		Cam (%)	Seramik (%)
150 µm	1	8,21	5,04
	2	8,38	3,3
	3	9,37	5,99
	4	7,70	3,59
	5	9,78	3,11
	Ortalama±std.spm	8,69±0,86	4,15±1,31
300 µm	1	9,84	3,79
	2	9,81	2,94
	3	9,27	3,59
	4	8,78	2,55
	5	9,82	1,90
	Ortalama±std.spm	9,50±0,47	2,95±0,77
600 µm	1	10,10	3,03
	2	9,40	2,29
	3	9,40	3,74
	4	9,10	2,77
	5		2,45
	Ortalama±std.spm	9,50±0,42	2,85±0,56
Karışım	1	8,02	2,80
	2	9,43	3,08
	3	9,46	2,40
	4	8,65	2,60
	5	7,85	1,91
	Ortalama±std.spm	8,68±0,75	2,56±0,44

Çizelge 4.38 incelendiğinde termal şok deneyi döngüleri sonrasında cam ve seramik atık katkılı örneklerde değişik oranlarda renk değişimlerinin olduğu görülmektedir. Genel anlamda en fazla değişim cam atık katkılı örneklerde gözlemlenmiştir. Termal şok döngüleri sonrası örneklerdeki renk değişimini gösteren görüntü Şekil 4.14’de verilmiştir.

a



b



Şekil 4.14: Termal şok döngüleri sonrası cam atık katkılı örneklere (a) ve seramik atık katkılı örneklere (b) ait renk değişimi görüntüsü.

4.4.4. Termal şok döngüleri sonrası Schmidt çekici sertlik değeri sonuçları

Termal şok döngüleri sonrası sertlik değerleri ve herhangi bir döngü uygulanmayan örneklerin sertlik değerleri ile % değişimi Çizelge 4.39’da verilmiştir

Çizelge 4.39: Termal şok deneyi sonrası cam ve seramik atıklı örneklerin Schmidt Çekici Sertlik değerleri ve % değişimi.

Örnekler	Schmidt Çekici Sertlik Değeri	Herhangi bir döngü uygulanmayan örneklerin Schmidt Çekici Sertlik Değeri	Değişim (%)
Cam (150 µm)	45,2	37,8	19,57
Cam (300 µm)	36,8	38,6	-4,66
Cam (600 µm)	36	31,2	15,38
Cam (Karışım)	39,4	41,2	-4,36
Seramik (150 µm)	34,6	39,6	-12,62
Seramik (300 µm)	39,6	41,6	-4,80
Seramik (600 µm)	34,6	40,8	-15,19
Seramik (Karışım)	37,6	40	-6

Çizelge 4.39 incelendiğinde termal şok döngüleri sonrası cam ve seramik atıklı örneklerin sertlik değerlerinin genel olarak birbirine yakın değerlerde olduğu görülmektedir. Tane boyutu değişimi sertliği çok fazla etkilememiştir. Fakat seramik atık katkılı örneklerin döngüler sonrası sertlik değerlerinde düşüşler gözlemlenmiştir çünkü seramikler ısıya dayanıklı olmadıklarından ufak kopmalar gerçekleşmiş ve oluşan boşluklardan dolayı sertlik değeri etkilenmiştir.

4.4.5. Termal şok döngüleri sonrası tek eksenli basma dayanımı deneyi sonuçları

Termal şok döngüleri sonrası tek eksenli basma dayanımı deneyi sonuçları Çizelge 4.40-4.41’de verilmiştir.

Çizelge 4.40: Termal şok deneyi sonrası cam atık katkılı örneklerin tek eksenli basma dayanımı deneyi sonuçları.

Boyut	Örnek No	Kırılma Yüğü (kN)	Yüzey Alanı (mm ²)	Tek Eksenli Basma Dayanımı (MPa)	Herhangi bir döngü uygulanmayan örneklerin Tek Eksenli Basma Dayanımı(MPa)	Değişim (%)
150 µm	1	201,1	2329,89	86,31	64,43	
	2	219,9	2587,24	84,99	21,24	
	3	180,1	2408,21	74,78	44,28	
			Ortalama±std.spm	82,02±6,31	43,31±21,61	89,37±-70,80
300 µm	1	142,7	2460,60	57,99	70,85	
	2	157,4	2566,18	61,33	57,35	
	3	174,9	2259,24	77,41	62,20	
			Ortalama±std.spm	65,57±10,38	63,46±6,83	3,32±51,97
600 µm	1	146,9	2537,06	57,90	45,77	
	2	130,1	2456,04	52,97	27,21	
	3	127,1	2444,69	51,99	67,67	
			Ortalama±std.spm	54,28±3,16	46,88±20,25	15,78±-84,39
Karışım	1	168,6	2487,01	67,79	52,70	
	2	180,9	2506,93	72,15	72,08	
	3	167	2423,64	68,90	34,23	
			Ortalama±std.spm	69,61±2,65	53±18,92	31,33±-85,99

Çizelge 4.41: Termal şok deneyi sonrası seramik atık katkılı örneklerin tek eksenli basma dayanımı deneyi sonuçları.

Boyut	Örnek No	Kırılma Yüğü (kN)	Yüzey Alanı (mm ²)	Tek Eksenli Basma Dayanımı (MPa)	Herhangi bir döngü uygulanmayan örneklerin Tek Eksenli Basma Dayanımı(MPa)	Değişim (%)
150 µm	1	235,2	2337,68	100,61	55,91	
	2	225,3	2394,16	94,10	63,24	
	3	187,7	2491,47	75,33	31,35	
			Ortalama±std.spm	90,01±13,12	50,16±16,70	79,44±-21,43
300 µm	1	257,3	2389,80	107,66	15,49	
	2	247,1	2489,77	99,24	32,15	
	3	192,6	2480,53	77,64	48,39	
			Ortalama±std.spm	94,84±15,48	32,01±16,45	196,28±-5,89
600 µm	1	133,8	2493,93	53,65	15,37	
	2	163,2	2563,72	63,65	15,12	
	3	197,3	2457,63	80,28	15,58	
			Ortalama±std.spm	65,86±13,45	15,35±0,23	329,05±5747,82
Karışım	1	254,6	2421,22	105,15	63,69	
	2	213,5	2412,76	88,48	71,72	
	3	179,8	2574,54	69,83	53,45	
			Ortalama±std.spm	87,82±17,66	62,95±9,15	39,50±93

Termal şok döngülerine tabi tutulan yapay mermer örneklerinin olduğu Çizelge 4.40-4.41 incelenmiştir. Deere ve Miller'e (1966) göre yapılan tek eksenli basınç direncine göre sınıflandırılmanın olduğu Çizelge 2.2 incelendiğinde cam ve seramik atık katkılı yapay mermer örneklerinin "orta dirençli" olduğu görülmektedir. Termal şok döngüleri sonrası örneklerin herhangi bir döngüye tabi tutulmayan örneklere nazaran daha yüksek dayanıma sahip olduğu görülmektedir. Kürleşme süresine bağlı olarak termal şok döngüleri örneklerinin dayanım değerlerinin arttığı düşünülmüştür.

4.5. Tuz Kristallenmesi Döngüleri Sonrası Yapılan Analiz Sonuçları

TS EN 12370 standardı esas alınarak yapılan tuz kristallenmesi döngüleri sonucunda örneklerde meydana gelen kuru ağırlık, parlaklık ve renk ölçümlerindeki değişim değerleri atık ve boyutlara göre değerlendirilmiştir.

4.5.1. Kuru ağırlık değişim değerleri

Tuz kristallenmesi döngüleri sonunda oluşan ağırlık değişimleri Eşitlik 3.10'a göre belirlenmiş olup değerler Çizelge 4.42 – 4.43'de verilmiştir.

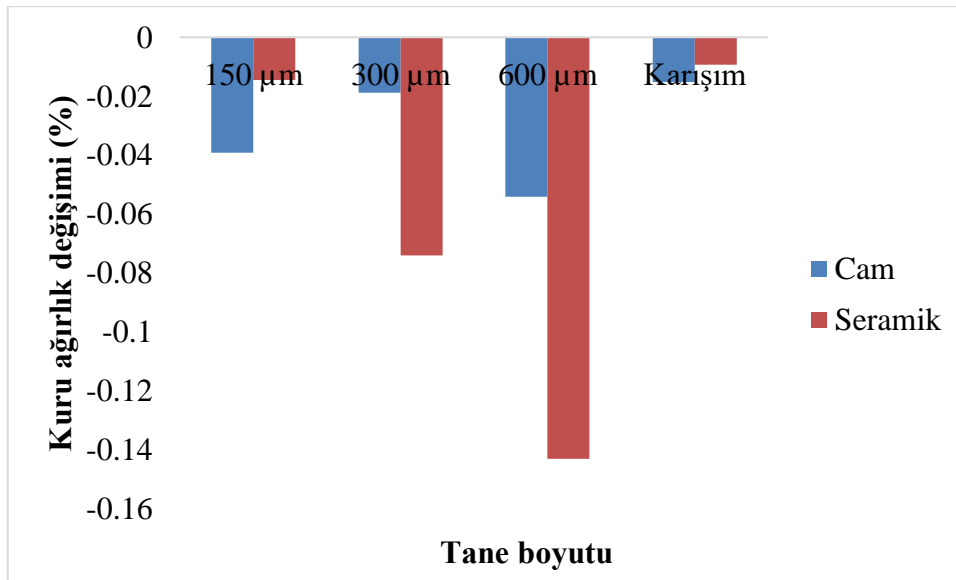
Döngülerden önce ve sonra gelişen ağırlık değişimlerinin grafiksel gösterimi Şekil 4. 15’de verilmiştir.

Çizelge 4.42: Cam atık katkılı örneklerin kuru ağırlıkları ve değişim değerleri.

Boyut	Örnek No	TuzKristallenmesiDeneyi Öncesi Kuru Ağırlık (g)	TuzKristallenmesiDeneyi Sonrası Kuru Ağırlık (g)	Değişim (%)
150 µm	1	225,22	225,19	-0,013
	2	229,77	229,75	-0,008
	3	230,49	230,23	-0,112
	4	224,58	224,53	-0,022
			Ortalama±std.spm	-0,039±0,049
300 µm	1	231,87	231,83	-0,017
	2	210,34	210,33	-0,004
	3	241,18	241,11	-0,029
	4	206,35	206,30	-0,024
			Ortalama±std.spm	-0,018±0,010
600 µm	1	175,06	174,89	-0,097
	2	239,87	239,82	-0,020
	3	251,30	251,24	-0,023
	4	239,53	239,35	-0,075
			Ortalama±std.spm	-0,054±0,037
Karışım	1	226,58	226,56	-0,008
	2	232,30	232,23	-0,030
	3	223,90	223,89	-0,004
	4	235,54	235,50	-0,016
			Ortalama±std.spm	-0,015±0,011

Çizelge 4.43: Seramik atık katkı örneklerinin kuru ağırlıkları ve değişim değerleri.

Boyut	Örnek No	Tuz Kristallenmesi Deneyi Öncesi Kuru Ağırlık (g)	Tuz Kristallenmesi Deneyi Sonrası Kuru Ağırlık (g)	Değişim (%)
150 µm	1	201,84	201,80	-0,019
	2	201,97	201,96	-0,004
	3	210,11	210,09	-0,009
	4	210,34	210,29	-0,023
			Ortalama±std.spm	-0,014±0,008
300 µm	1	208,76	208,61	-0,071
	2	207,25	207,04	-0,101
	3	205,64	205,55	-0,043
	4	213,01	212,84	-0,079
			Ortalama±std.spm	-0,074±0,023
600 µm	1	194,76	194,23	-0,272
	2	194,77	194,25	-0,266
	3	209,02	208,95	-0,033
	4	204,24	204,24	0
			Ortalama±std.spm	-0,143±0,146
Karışım	1	212,10	212,09	-0,004
	2	213,51	213,50	-0,004
	3	218,24	218,18	-0,027
	4	214,91	214,91	0
			Ortalama±std.spm	-0,009±0,012



Şekil 4.15: Kuru ağırlık değişimleri (%) (tuz kristallenmesi).

Çizelge 4.42 – 4.43 ve Şekil 4.15 incelendiğinde; örneklerin tümünde ağırlık kaybı olduğu görülmektedir. Bu durumun sebebi örneklerde nüfus eden tuz çözeltilerinin

kristallenmesi neticesinde oluşan ek basınçların kılcal çatlakları genişletmesi ve yüzeyde pullanmalar meydana getirerek ağırlık azalmasını tetiklemesidir (Akbaş ve diğ.,2017). Ağırlık kaybının en fazla gözlemlendiği örnekler ise seramik atık katkılı örneklerin 600 µm boyutlu numuneleri olup, bu örneklerde % 0,143' e varan ağırlık kaybı görülmüştür. Bu örnekler daha fazla boşluk içerdiğinden tuz kristallenmesinden daha fazla etkilenmiştir.

4.5.2. Parlaklık değişim değerleri

TS EN 12370 standardı esas alınarak yapılan tuz kristallenmesi döngülerine başlamadan önce ve döngü sonrasında örneklerin yüzeylerinde 3 farklı noktadan parlaklık ölçümleri alınmış ve ortalamaları hesaplanmıştır.

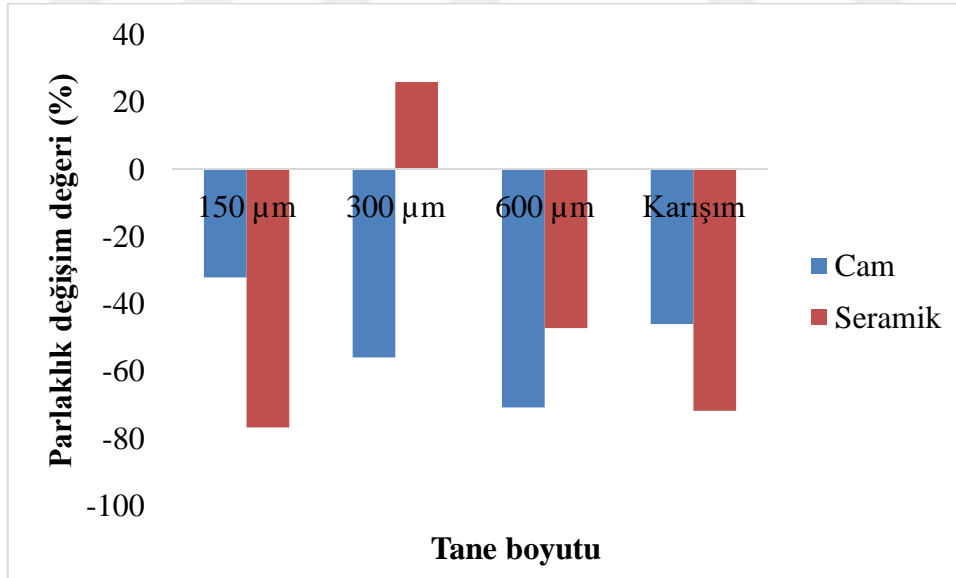
Döngüler sonrası parlaklık değerlerinde oluşan % değişimleri Eşitlik 3.15' e göre belirlenmiş olup değişim değerleri Çizelge 4.44 – 4.45' de verilmiştir. Döngü öncesi ve sonrası parlaklık değişim değerlerinin grafiksel gösterimi Şekil 4.16' da verilmiştir.

Çizelge 4.44: Cam atık katkılı örneklerin parlaklık değişim değerleri.

Boyut	Örnek No	Tuz Kristallenmesi Deneyi Öncesi Parlaklık	Tuz Kristallenmesi Deneyi Sonrası Parlaklık	Değişim (%)
150 µm	1	0,70	0,35	-50
	2	0,60	0,70	16,66
	3	1,20	0,87	-27,08
	4	2,82	0,9	-68,14
			Ortalama±std.spm	-32,13±36,61
300 µm	1	2,07	1,55	-25,30
	2	3,35	1,22	-63,43
	3	4,47	1,85	-58,65
	4	1,40	0,33	-76,42
			Ortalama±std.spm	-55,95±21,77
600 µm	1	1,05	0,40	-61,90
	2	3,17	0,95	-70,07
	3	4,67	1,43	-69,41
	4	3,22	0,58	-82,01
			Ortalama±std.spm	-70,85±8,31
Karışım	1	1,22	1,02	-16,32
	2	2,27	1,25	-45,05
	3	2,30	0,7	-69,56
	4	2,45	1,14	-53,46
			Ortalama±std.spm	-46,10±22,30

Çizelge 4.45: Seramik atık katkılı örneklerin parlaklık değişim değerleri.

Boyut	Örnek No	Tuz Kristallenmesi Deneyi Öncesi Parlaklık	Tuz Kristallenmesi Deneyi Sonrası Parlaklık	Değişim (%)
150 µm	1	0,40	0,20	-50
	2	1,97	0,18	-90,88
	3	2,07	0,34	-83,61
	4	3,85	0,66	-82,85
			Ortalama±std.spm	-76,83±18,25
300 µm	1	0,45	0,32	-27,77
	2	0,25	0,47	90
	3	0,32	0,35	7,69
	4	0,37	0,50	33,33
			Ortalama±std.spm	25,81±49,58
600 µm	1	1,72	0,60	-65,21
	2	1,55	0,55	-64,51
	3	0,75	0,65	-13,33
	4	0,87	0,47	-45,71
			Ortalama±std.spm	-47,19±24,31
Karışım	1	0,75	0,17	-76,66
	2	1,02	0,55	-46,34
	3	1,55	0,35	-77,41
	4	2,45	0,32	-86,73
			Ortalama±std.spm	-71,79±17,57



Şekil 4.16: Parlaklık değişimleri (%) (tuz kristallenmesi).

Çizelge 4.44– 4.45 ve Şekil 4.16 incelendiğinde cam ve seramik atık katkılı örneklerin büyük çoğunluğunda parlaklık azalması olduğu görülmektedir. Cam atık katkılı örneklerde parlaklık kaybı en çok 600 µm boyutlu numunelerde, seramik atıklı örneklerde ise 300 µm

boyutlu numuneler hariç diğer örneklerin tümünde gelişmiştir. Parlaklık azalmasının en fazla geliştiği seri 150 µm boyutlu numunelerdir.

4.5.3. Renk ölçüm değerleri

TS EN 12370 standardına göre tuz kristallenmesi döngülerine başlamadan önce ve 30 döngü sonrasında numune yüzeylerinin 3 farklı noktasından renk ölçümleri alınmıştır. Deney sonunda renk parametrelerinde (L, a, b) meydana gelen değişimler Eşitlik (3.12, 3.13, 3.14)'e göre belirlenmiştir.

4.5.3.1. L (siyahlık - beyazlık) değişimleri

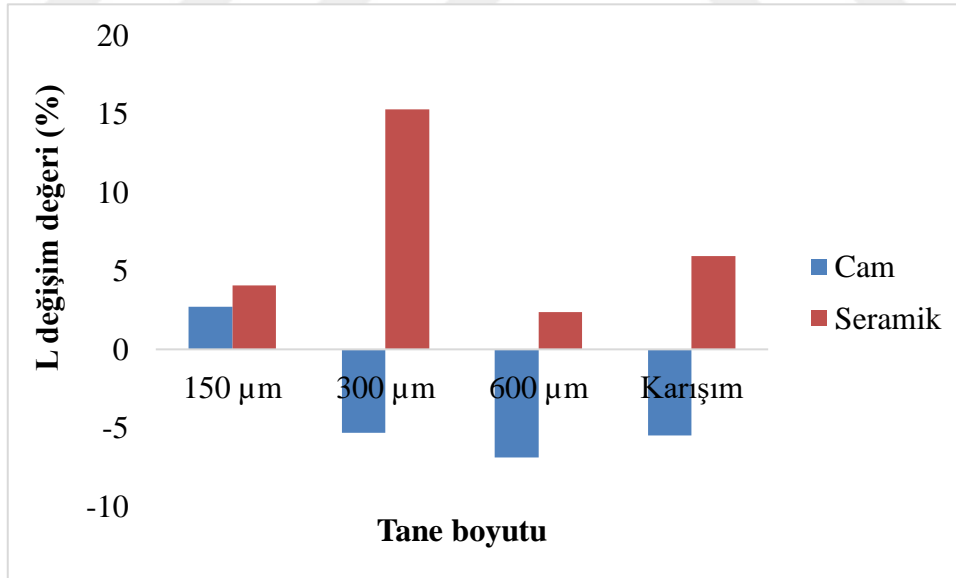
Tuz kristallenmesi döngülerine başlamadan önce ve döngülerden sonra numunelerin yüzeylerinden alınan renk ölçümlerine ait L (siyahlık – beyazlık; L= 0 » siyah, L= 100 » beyaz) değerlerinin ortalamaları ve değişim yüzdeleri Eşitlik 3.12'ye göre hesaplanarak Çizelge 4.46– 4.47'de verilmiştir. L parametresine ait değişim değerlerinin grafiksel gösterimi Şekil 4.17'de verilmiştir.

Çizelge 4.46: Cam atık katkılı örneklerin L (Siyahlık-Beyazlık) değişim değerleri.

Boyut	Örnek No	Tuz Kristallenmesi Deneyi Öncesi L Değeri	Tuz Kristallenmesi Deneyi Sonrası L Değeri	Değişim (%)
150 µm	1	57,01	57,63	1,08
	2	56,98	59,05	3,63
	3	56,81	58,34	4,45
	4	56,64	57,57	1,64
			Ortalama±std.spm	2,70±1,59
300 µm	1	50,42	50,11	-0,61
	2	55,88	50,53	-9,57
	3	62,19	58,96	-5,19
	4	63,60	59,81	-5,95
			Ortalama±std.spm	-5,33±3,68
600 µm	1	66,96	62,60	-6,51
	2	68,55	63,96	-6,69
	3	68,42	63,20	-7,62
	4	69	64,39	-6,68
			Ortalama±std.spm	-6,87±0,50
Karışım	1	59,43	58,25	-1,98
	2	61,64	58,35	-5,33
	3	61,21	56,02	-7,98
	4	62,44	58,30	-6,63
			Ortalama±std.spm	-5,48±2,57

Çizelge 4.47: Seramik atık katkılı örneklerin L (Siyahlık-Beyazlık) değişim değerleri.

Boyut	Örnek No	Tuz Kristallenmesi Deneyi Öncesi L Değeri	Tuz Kristallenmesi Deneyi Sonrası L Değeri	Değişim (%)
150 µm	1	40,18	48	19,46
	2	44,29	45,07	2,75
	3	44,29	45,51	2,75
	4	47,70	43,58	-8,63
			Ortalama±std.spm	4,08±11,57
300 µm	1	42,85	46,55	8,63
	2	42,37	50	18
	3	43,16	50,01	15,87
	4	42,78	50,74	18,60
			Ortalama±std.spm	15,28±4,58
600 µm	1	43,63	42,81	-1,87
	2	44,25	45,19	2,12
	3	43,94	46,31	5,39
	4	43,04	44,72	3,90
			Ortalama±std.spm	2,38±3,14
Karışım	1	42,46	46,09	8,54
	2	43,10	51,58	19,67
	3	43,82	41,94	-4,29
	4	43,59	43,54	-0,11
			Ortalama±std.spm	5,95±10,59



Şekil 4.17: L parametresi (siyahlık-beyazlık) değişimleri (%) (tuz kristallenmesi).

Çizelge 4.46 – 4.47 ve Şekil 4.17 incelendiğinde cam atıklı örneklerin L değerlerinde çok az düşüşler olduğu görülmektedir. Seramik atıklı örnekler cam atıklı örneklere kıyasla daha koyu renklidir. Fakat döngüler sonrası L değerlerinde genel olarak artış görülmüştür yani renklerinde açılmalar meydana gelmiştir. Bu durum örneklerin yüzeyindeki tuz kalıntılarının beyaz ile sarımsak renkleri halinde birikmesinden kaynaklanmıştır.

4.5.3.2. a (yeşillik - kırmızılık) değişimleri

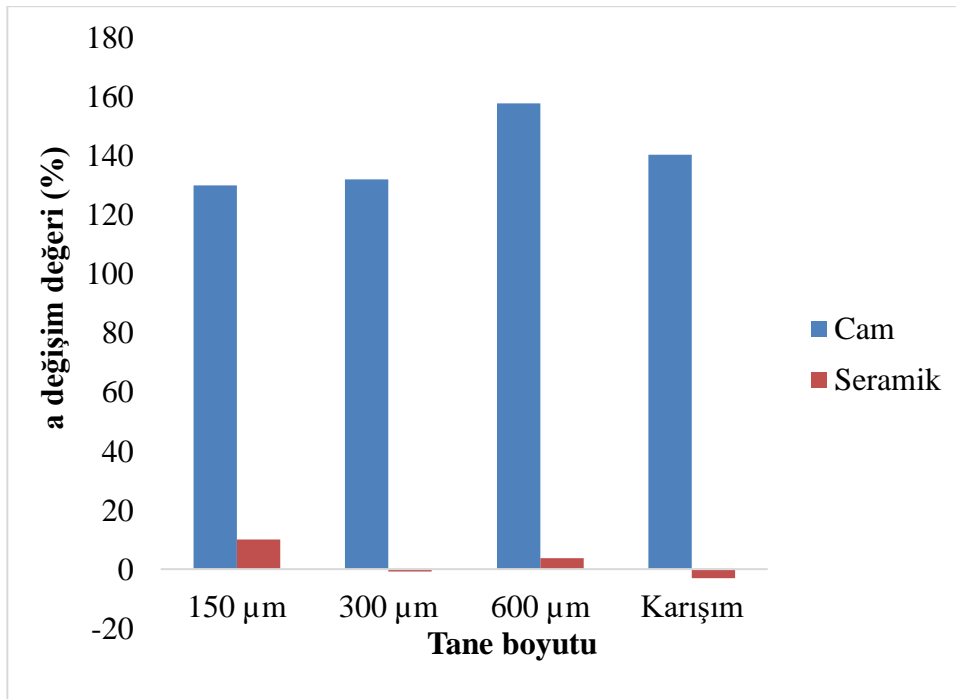
Tuz kristallenmesi döngülerine başlamadan ve 30 döngü sonrasında örneklerin yüzeylerinden alınan renk ölçümlerine ait a değerlerindeki (yeşillik – kırmızılık; $a < 0$ » yeşil , $a > 0$ » kırmızı) değişim yüzdeleri Eşitlik 3.13'e göre hesaplanmıştır. Değişim değerleri Çizelge 4.48 – 4.49'da grafiksel gösterimi ise Şekil 4.18'de verilmiştir.

Çizelge 4.48: Cam atık katkılı örneklerin a (Yeşillik-Kırmızılık) değişim değerleri.

Boyut	Örnek No	Tuz Kristallenmesi Deneyi Öncesi a Değeri	Tuz Kristallenmesi Deneyi Sonrası a Değeri	Değişim (%)
150 μm	1	-3,11	0,39	112,54
	2	-2,91	0,41	114,08
	3	-2,84	1,65	158,09
	4	-2,93	1,02	134,81
			Ortalama \pm std.spm	129,88 \pm 21,37
300 μm	1	-5,29	1,97	137,24
	2	-6,09	2,61	142,85
	3	-5,27	1,59	130,17
	4	-4,58	1,04	122,70
			Ortalama \pm std.spm	131,91 \pm 8,73
600 μm	1	-5,27	3,22	161,10
	2	-4,80	2,58	153,75
	3	-4,57	2,85	162,36
	4	-5,17	2,74	152,99
			Ortalama \pm std.spm	157,55 \pm 4,86
Karışım	1	-4	1,38	134,50
	2	-3,86	1,41	136,52
	3	-3,81	1,90	149,86
	4	-3,40	1,35	139,70
			Ortalama \pm std.spm	140,15 \pm 6,82

Çizelge 4.49: Seramik atık katkılı örneklerin a (Yeşillik-Kırmızılık) değişim değerleri.

Boyut	Örnek No	Tuz Kristallenmesi Deneyi Öncesi a Değeri	Tuz Kristallenmesi Deneyi Sonrası a Değeri	Değişim (%)
150 µm	1	8,85	9,62	8,70
	2	8,95	10,06	12,40
	3	9,50	10,47	10,21
	4	9,68	10,56	9,09
			Ortalama±std.spm	10,10±1,66
300 µm	1	12,66	12,47	-1,50
	2	12,53	12,88	2,79
	3	12,47	12,71	1,92
	4	12,75	11,97	-6,11
			Ortalama±std.spm	-0,72±4,04
600 µm	1	12,79	12,75	-0,31
	2	12,70	13,31	4,80
	3	12,72	12,96	1,88
	4	12,44	13,52	8,68
			Ortalama±std.spm	3,76±3,89
Karışım	1	11,13	10,84	-2,60
	2	11,38	9,57	-15,90
	3	11,49	11,97	4,17
	4	11,29	11,51	1,94
			Ortalama±std.spm	-3,09±8,99



Şekil 4.18: a parametresi (yeşillik-kırmızılık) değişimleri (tuz kristallenmesi).

Çizelge 4.48 – 4.49 ve Şekil 4.18 incelendiğinde tuz kristallenmesi döngüleri sonunda cam atık katkılı örneklerin a değerlerinin yükseldiği yani kırmızılaşmanın arttığı görülmektedir. Daha koyu renkte olan seramik atık katkılı örnekler incelendiğinde ise a değerlerinin yüksek olduğu döngü sonrasında bazı örneklerin a değerlerinde düşüşlerin gerçekleştiği fakat genel anlamda a değerlerinin arttığı yani kırmızılaşmanın olduğu görülmüştür. Tuzun örnekleri koyulaştırmasından dolayı kırmızılaşma değeri artmıştır. Grafik incelendiğinde cam atık katkılı örneklerin değişimlerinin dar bir alanda geliştiği görülmektedir.

4.5.3.3. b (mavilik - sarılık) değişimleri

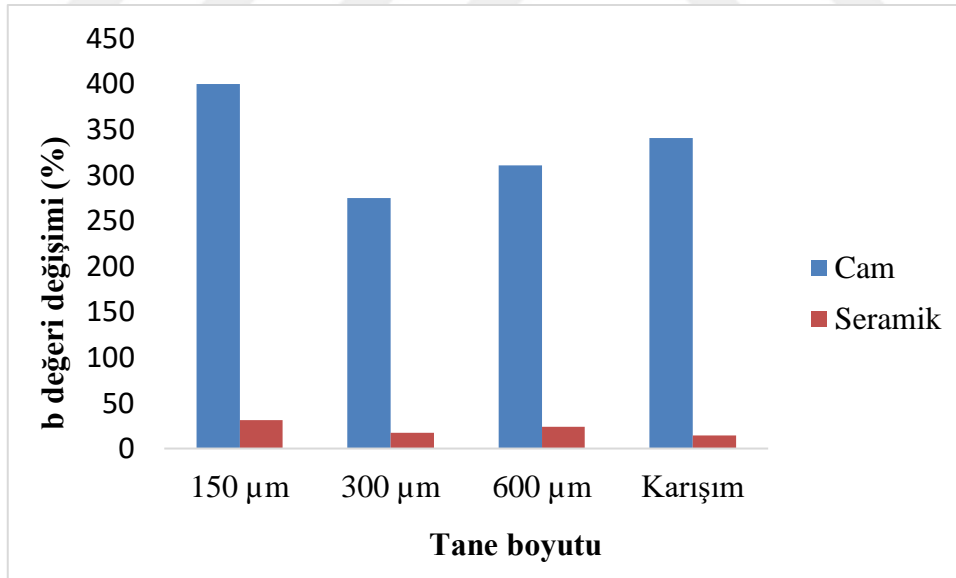
Tuz kristallenmesi deneylerine başlamadan önce ve sonra numunelerin yüzeylerinden alınan renk ölçümlerine ait b (mavilik – sarılık ; $b > 0$ » sarı, $b < 0$ » mavi) değerlerindeki değişim yüzdeleri Eşitlik 3.14'e göre hesaplanmış, değişim değerleri Çizelge 4.50 – 4.51'de grafiksel gösterimi ise Şekil 4.19'da verilmiştir.

Çizelge 4.50: Cam atık katkılı örneklerin b (Mavilik-Sarılık) değişim değerleri.

Boyut	Örnek No	Tuz Kristallenmesi Deneyi Öncesi b Değeri	Tuz Kristallenmesi Deneyi Sonrası b Değeri	Değişim (%)
150 µm	1	2,15	9,78	354,883
	2	1,92	9,10	373,958
	3	2,06	12,54	508,73
	4	2,16	9,93	359,72
			Ortalama±std.spm	399,32±73,38
300 µm	1	2,43	11,37	367,90
	2	4,40	13,29	202,04
	3	3,54	14,50	309,60
	4	3,92	12,52	219,38
			Ortalama±std.spm	274,73±77,98
600 µm	1	4,50	17,99	299,77
	2	3,63	15,69	332,23
	3	3,64	15,90	334,06
	4	4,47	16,78	275,39
			Ortalama±std.spm	310,36±28,13
Karışım	1	2,97	12,02	304,71
	2	2,94	12,03	309,18
	3	2,97	13,08	340,40
	4	2,43	12,32	406,99
			Ortalama±std.spm	340,32±47,19

Çizelge 4.51: Seramik atık katkılı örneklerin b (Mavilik-Sarılık) değişim değerleri.

Boyut	Örnek No	TuzKristallenmesiDeneyi Öncesi b Değeri	TuzKristallenmesiDeneyi Sonrası b Değeri	Değişim (%)
150 µm	1	11,84	15,42	30,23
	2	12,15	16,19	33,25
	3	12,85	16,55	28,79
	4	13,20	17,49	32,50
			Ortalama±std.spm	31,19±2,05
300 µm	1	16,82	18,56	10,34
	2	15,43	19,48	26,24
	3	15,38	18,64	21,19
	4	16,05	17,98	12,02
			Ortalama±std.spm	17,45±7,55
600 µm	1	15,27	18,38	20,36
	2	15,41	19,60	27,19
	3	15,76	19,10	21,19
	4	15,72	20,08	27,73
			Ortalama±std.spm	24,12±3,87
Karışım	1	14,31	15,69	9,64
	2	14,73	15,95	8,28
	3	14,38	17,40	21
	4	14,18	16,79	18,40
			Ortalama±std.spm	14,33±6,31



Şekil 4.19: b parametresi (mavilik-sarılık) değişimleri (%) (tuz kristallenmesi).

Çizelge 4.50 – 4.51 ve şekil 4.19 incelendiğinde tuz kristallenmesi deneyi döngüleri sonrası cam atık katkılı ve seramik atık katkılı örneklerin b değerlerinin sarılaşmanın arttığı görülmüştür. Tuz kristallenmesi deneyi sonrası tüm örneklerde gözle görülür bir şekilde sarımtırak renklenmeler belirginleşmiştir ve bu durum b değerlerinin arttığını göstermektedir. b değerinin en çok arttığı örnekler cam atık katkılı örneklerdir. Çünkü sarı

rengin en belirgin görüldüğü numuneler cam atık katkılı numunelerdir. Grafik incelendiğinde seramik atık katkılı örneklerin b değerlerinin dar bir alanda değişim gösterdiği gözlemlenmektedir.

4.5.3.4. Toplam renk değişimleri

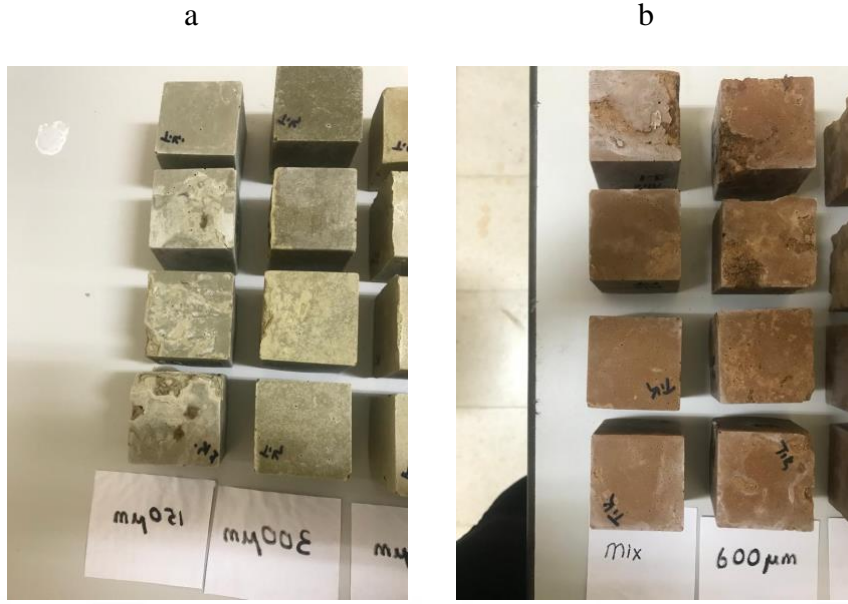
Tuz kristallenmesi deneyi sonrası Eşitlik 3.11'e göre toplam renk değişim değerleri hesaplanmıştır. Toplam renk değişim değerleri Çizelge 4.52'de verilmiştir.

Çizelge 4.52: Cam ve Seramik atık katkılı örneklerin toplam renk değişim değerleri (ΔE).

Boyut	Örnek No	Tuz Kristallenmesi Deneyi Sonrası ΔE Cam (%)	Tuz Kristallenmesi Deneyi Sonrası ΔE Seramik (%)
150 μm	1	8,41	8,63
	2	8,17	4,36
	3	11,67	4,01
	4	8,76	6,01
	Ortalama \pm std.spm	9,25 \pm 1,63	5,75 \pm 2,10
300 μm	1	11,52	4,09
	2	13,54	8,64
	3	13,32	7,58
	4	10,95	8,22
	Ortalama \pm std.spm	12,33 \pm 1,29	7,13 \pm 2,07
600 μm	1	16,52	3,21
	2	14,86	4,33
	3	15,17	4,10
	4	15,34	4,79
	Ortalama \pm std.spm	15,47 \pm 0,72	4,11 \pm 0,66
Karışım	1	10,59	3,89
	2	11,01	8,75
	3	12,59	3,58
	4	11,72	2,61
	Ortalama \pm std.spm	11,48 \pm 0,87	4,71 \pm 2,74

Çizelge 4.52 incelendiğinde tuz kristallenmesi döngüleri sonrasında cam ve seramik atık katkılı örneklerde değişik oranlarda renk değişimlerinin olduğu görülmektedir. Genel anlamda en fazla değişim cam atık katkılı örneklerde ve 600 μm boyutlu seride görülmektedir. Tüm deneylerde olduğu gibi tuz kristallenmesi deneyi sonucunda da renk değişimlerinden en çok etkilenen örnekler cam atık katkılı örneklerdir.

Tuz kristallenmesi döngüleri sonrası örneklerdeki renk değişimini gösteren görüntü Şekil 4.20'de verilmiştir.



Şekil 4.20: Cam atık katkılı örneklere (a) ve seramik atık katkılı örneklere (b) ait renk değişim görüntüsü.

4.5.4. Tuz kristallenmesi döngüleri sonrası Schmidt çekici sertlik değeri sonuçları

Tuz kristallenmesi döngüleri sonrası sertlik değerleri ve herhangi bir döngü uygulanmayan örneklerin sertlik değerleri ile % değişimi Çizelge 4.53’de verilmiştir

Çizelge 4.53: Tuz kristallenmesi deneyi sonrası cam ve seramik atıklı örneklerin Schmidt Çekici Sertlik değerleri ve % değişimi.

Örnekler	Schmidt Çekici Sertlik Değeri	Herhangi bir döngü uygulanmayan örneklerin Schmidt Çekici Sertlik Değeri	Değişim (%)
Cam (150 µm)	32,2	37,8	-14,81
Cam (300 µm)	38,6	38,6	0
Cam (600 µm)	30,8	31,2	-1,28
Cam (Karışım)	40,4	41,2	-1,94
Seramik (150 µm)	38,2	39,6	-3,53
Seramik (300 µm)	45	41,6	8,17
Seramik (600 µm)	40,2	40,8	-1,47
Seramik (Karışım)	40,2	40	0,5

Çizelge 4.53 incelendiğinde tuz kristallenmesi döngüleri sonrası cam ve seramik atıklı örneklerin sertlik değerlerinin genel olarak birbirine yakın değerlerde olduğu görülmektedir. Tane boyutu değişimi sertliği çok fazla etkilememiştir. Ancak herhangi bir döngü

uygulanmayan örneklerin sertlik değerlerine nazaran düşüşler gözlemlenmektedir. Bunun nedeni döngüler sonrası örneklerde meydana gelen kopmalar ve ufak parçalanmalardan kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

4.5.5. Tuz kristallenmesi döngüleri sonrası tek eksenli basma dayanımı deneyi sonuçları

Çizelge 4.54: Tuz kristallenmesi deneyi sonrası cam atık katkılı örneklerin tek eksenli basma dayanımı deneyi sonuçları.

Boyut	Örnek No	Kırılma Yüğü (kN)	Yüzey Alanı (mm ²)	Tek Eksenli Basma Dayanımı (MPa)	Herhangi bir döngü uygulanmayan örneklerin Tek Eksenli Basma Dayanımı(MPa)	Değişim (%)
150 µm	1	175,9	2417,54	72,75	64,43	
	2	170,7	2409,12	70,85	21,24	
	3	180,4	2427,19	74,32	44,28	
			Ortalama±std.spm	72,64±1,73	43,31±21,61	67,72±91,99
300 µm	1	171,6	2459,10	69,78	70,85	
	2	140,3	2314,72	60,61	57,35	
	3	164,8	2541,93	64,83	62,20	
			Ortalama±std.spm	65,07±4,58	63,46±6,83	2,53±-32,94
600 µm	1	141,4	2476,52	57,09	45,77	
	2	143,7	2557,81	56,18	27,21	
	3	121	2468,91	49	67,67	
			Ortalama±std.spm	54,09±4,43	46,88±20,25	15,37±78,12
Karışım	1	147,7	2493,50	59,23	52,70	
	2	167,6	2352,18	71,25	72,08	
	3	141,1	2480,03	56,89	34,23	
			Ortalama±std.spm	62,45±7,70	53±18,92	17,83±59,30

Çizelge 4.55: Tuz kristallenmesi deneyi sonrası seramik atık katkılı örneklerin tek eksenli basma dayanımı deneyi sonuçları.

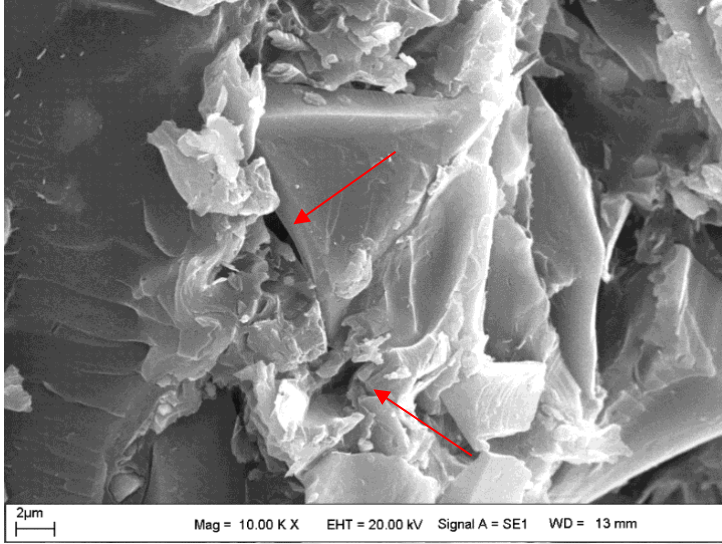
Boyut	Örnek No	Kırılma Yüğü (kN)	Yüzey Alanı (mm ²)	Tek Eksenli Basma Dayanımı (MPa)	Herhangi bir döngü uygulanmayan örneklerin Tek Eksenli Basma Dayanımı(MPa)	Değişim (%)
150 µm	1	205,6	2368,42	86,80	55,91	
	2	188,5	2349,39	80,23	63,24	
	3	215,6	2336,12	92,28	31,35	
			Ortalama±std.spm	86,43±6,03	50,16±16,70	72,30±-63,89
300 µm	1	177,5	2372,47	74,81	15,49	
	2	227,3	2334,94	97,34	32,15	
	3	225,9	2419,64	93,36	48,39	
			Ortalama±std.spm	88,50±12,02	32,01±16,45	176,47±-26,93
600 µm	1	117,5	2233,57	52,60	15,37	
	2	161,7	2490,93	64,91	15,12	
	3	147,1	2384,19	61,69	15,58	
			Ortalama±std.spm	59,73±6,38	15,35±0,23	289,12±2673,91
Karışım	1	213,5	2371,97	90	63,69	
	2	199,2	2457,16	81,06	71,72	
	3	135,8	2443,78	55,56	53,45	
			Ortalama±std.spm	75,54±17,87	62,95±9,15	20±95,30

Tuz kristallenmesi döngülerine tabi tutulan yapay mermer örneklerinin olduğu Çizelge 4.54 - 4.55 incelenmiştir. Deere ve Miller'e (1966) göre yapılan tek eksenli basınç direncine göre sınıflandırılmanın olduğu Çizelge 2.2 incelendiğinde cam ve seramik atık katkılı yapay mermer örneklerinin "orta dirençli" olduğu görülmektedir. Tuz kristallenmesi döngüleri sonrası örneklerin herhangi bir döngüye tabi tutulmayan örneklere kıyasla daha yüksek dayanıma sahip olduğu görülmektedir. Bu durumun sebebinin tuz kristallenmesi döngülerine tabii tutulan örneklerin kürleşme süresine bağlı olarak dayanımlarının artmasından kaynaklandığı düşünülmüştür.

4.6. Yapay Mermer Örneklerinin SEM Analizi Sonuçları

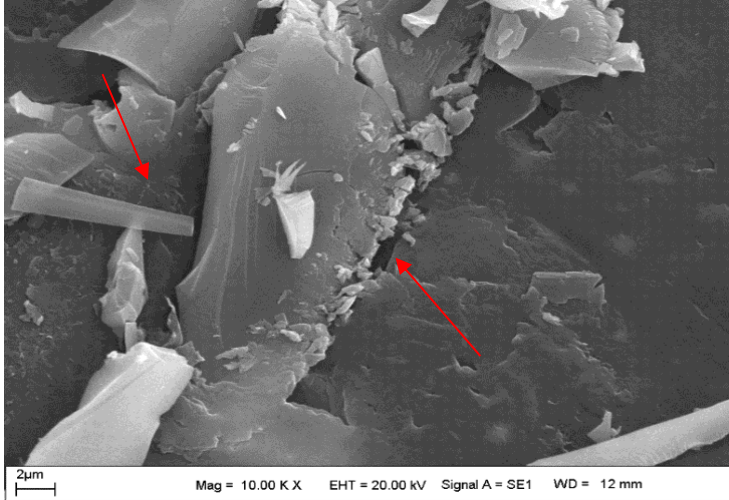
Cam atıklı yapay mermer örneklerinin SEM analizinde elde edilen görüntüleri Şekil 4.21 a-d de verilmiştir.

a (150 μm)



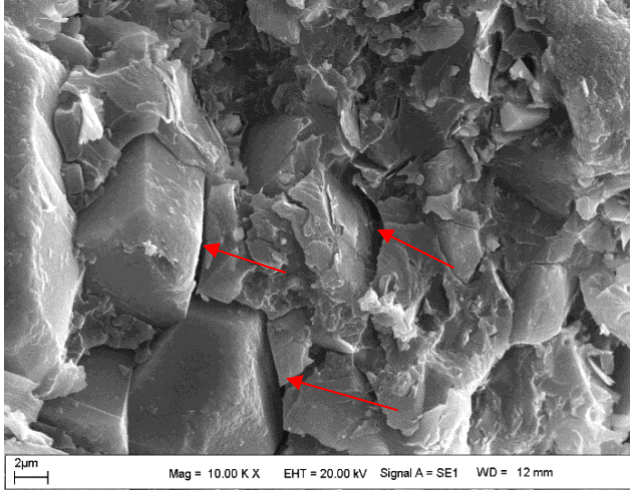
150 μm boyutlu cam atıklı yapay mermer örneklerinin SEM görüntülerinde taneler arasında boşlukların var olduğu görülmektedir.

b (300 μm)



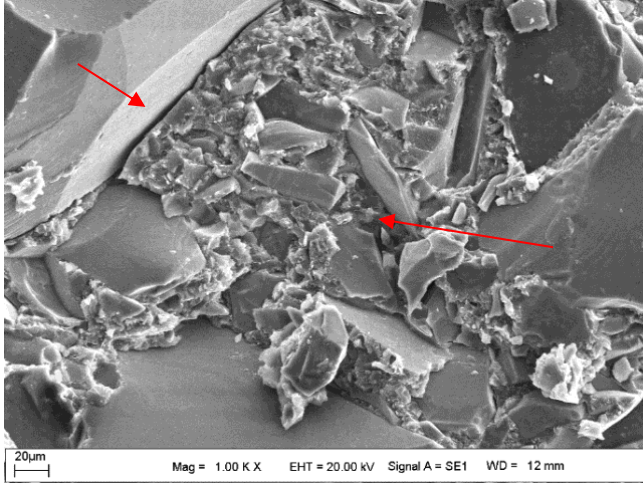
300 μm boyutlu cam atıklı yapay mermer örneklerinin SEM görüntülerinde çok fazla gözeneklerin olmadığı, daha kompakt bir yapının var olduğu görülmektedir.

c (600 μm)



600 μm boyutlu cam atık ile hazırlanan yapay mermer örneklerinin SEM analizi sonuçlarında elde edilen görüntüler incelendiğinde örneğin bünyesinde taneler arasında ayrılmaların var olduğu çok sıkı bir yapının gelişmediği görülmektedir.

d (karışım)

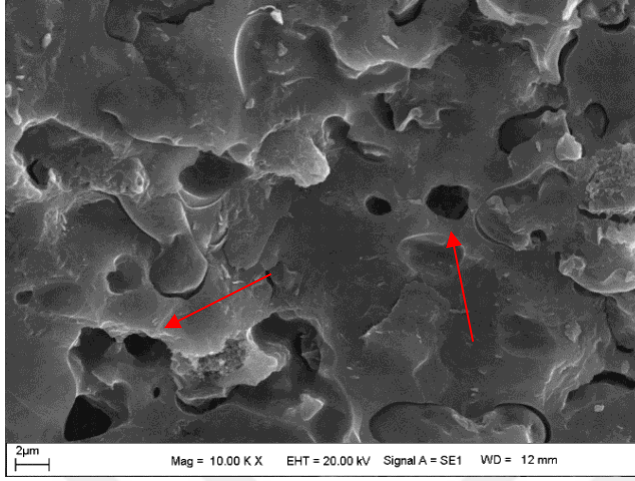


Karışım tane boyutlu malzeme ile hazırlanan yapay mermerlerin SEM analizi sonucu elde edilen görüntülerde iri tanelerin arasını ince boyutlu malzemenin gelip doldurduğu görülmektedir. Bu durum poroziteyi azaltmakta ve daha sıkı bir yapının gelişmesine neden olmaktadır. Taneler arasında kırılmaların varlığı görülmektedir.

Şekil 4.21: Cam atıklı yapay mermer örneklerinin SEM analizsonucunda elde edilen görüntüler.

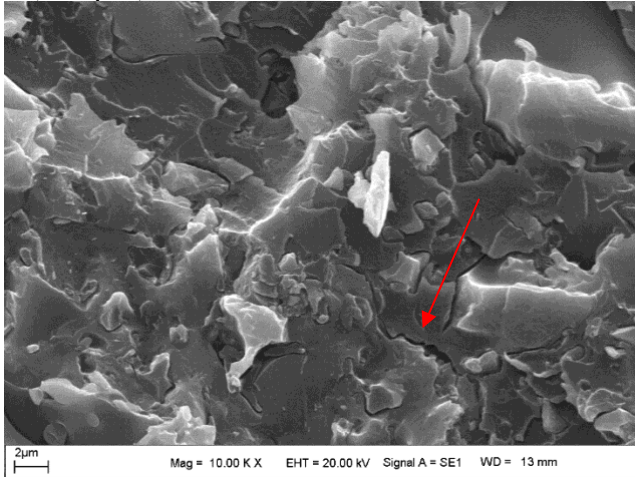
Seramik atıklı yapay mermer örneklerinin SEM analizi sonucunda elde edilen görüntüleri Şekil 4.22 a-d de verilmiştir.

a (150 μm)



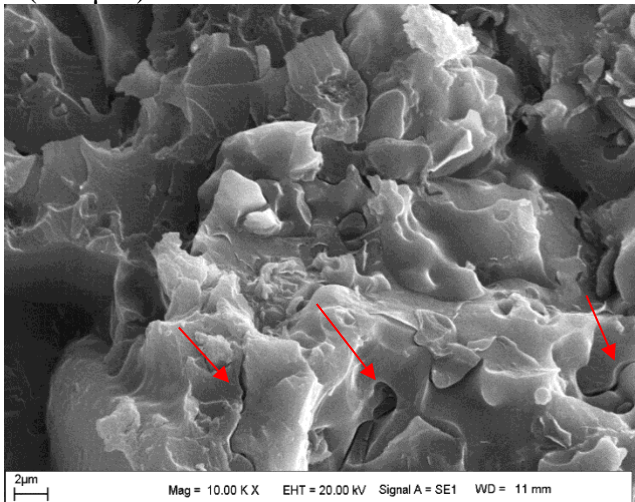
150 μm boyutlu seramik atık içeren örneklerin SEM görüntülerinde örneğin bünyesinde büyük gözeneklerin var olduğu gözlenmektedir.

b (300 μm)



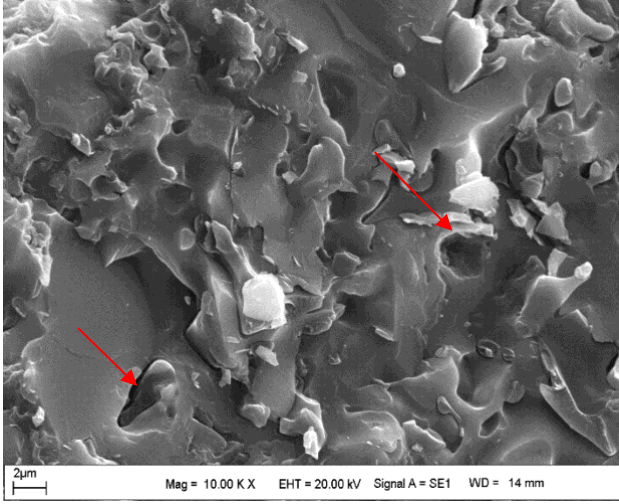
300 μm tane boyutlu seramik atıklı malzeme kullanılarak üretilen yapay mermer örneklerinin SEM görüntülerinde örneklerde taneler arasında gelişen ayrılmaların var olduğu görülmektedir.

c (600 μm)



600 μm tane boyutlu örnekler ile hazırlanan örneklerin SEM analizi sonuçları incelendiğinde taneler içinde gelişen ayrılmaların varlığı göze çarpmaktadır. Örnek bünyesinde boşluklar bulunmaktadır.

d (Karışım)



Karışım tane boyu ile hazırlanan örneklerin SEM analizi görüntüleri incelendiğinde ince boyutlu malzemenin iri boyutlu malzeme içinde dağıldığı görülmektedir. Ancak bu örnek bünyesinde de boşlukların varlığı göze çarpmaktadır.

Şekil 4.22: Seramik atıklı yapay mermer örneklerinin SEM analizi sonucunda elde edilen görüntüler.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuç

Bu çalışmada 3 farklı tane boyutu ve bu 3 tane boyutunun karışımından oluşan endüstriyel atıklar (cam ve seramik) ile kompozit malzeme üretiminde en çok kullanılan bağlayıcı madde olan polyester reçine kullanılarak, suni mermer örnekleri üretilmiştir. Üretilen bu örneklerin fizikomekanik özellikleri belirlenmiş, donma-çözünme, termal şok, tuz kristallenmesi döngülerine tabii tutularak çevresel koşullara karşı duraylılık dereceleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Çalışma sonunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Karışım örneği 3 farklı boyutun karışımından oluştuğu için küçük taneler büyük tanelerin boşluklarını doldurduğundan gözenekliliği daha az olmuştur. Karışım örneğinin porozite değerinin düşük olmasının bu durumdan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Donma – çözünme deneyine tabi tutulan örneklerin tek eksenli basma dayanım değerlerinin herhangi bir deneyin döngüsüne tabi tutulmayan ve termal şok ile tuz kristallenmesi deneyine tabi tutulan örneklerin değerlerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir ve bunun polyester reçinenin donma-çözünme dayanıklılığının yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca tane boyutlarına göre basınç dayanımlarının farklılık göstermesinin nedeni tane boyutu arttıkça tanelerin birbirine tutunma özelliğinin azalmasıdır.

Elde edilen sonuçlara göre cam ve seramik atık katkılı örnekler incelendiğinde cam atık katkılı örneklerin doğal birim hacim ağırlıklarının yüksek olduğu görülmektedir. Birim hacim ağırlığındaki değişimler basınç dayanımını da etkilemiştir. Porozite, ağırlıkça ve hacimce su emme değerleri cam atık katkılı örneklerde daha yüksektir. Donma – çözünme, termal şok ve tuz kristallenmesi döngüleri sonrasında en fazla ağırlık kaybı 600 µm boyutlu seramik atık katkılı örneklerde görülmüştür.

Uygulanan deneylerin döngü sayısı arttıkça cam atık katkılı örneklerdeki bozunmalar seramik atık katkılı örneklere göre daha azdır.

Silis oranı arttıkça basınç mukavemeti de artar dolayısıyla genel anlamda donma – çözünme, termal şok, tuz kristallenmesi ve kimyasallara karşı dayanıklılığı değerlendirildiğinde cam

atık katkılı suni mermerlerin seramik atık katkılı suni mermerlere nazaran kullanıma daha elverişli olacağı düşünülmektedir.

Tane boyutu olarak değerlendirildiğinde ise tane boyutu küçük olan malzemenin bağlayıcı madde olan polyester reçine ile karışımı sonucu tanelerin birbirine yapışması ve taneler arası boşlukların daha az olması bakımından mukavemeti, donma – çözünme ve kimyasallara karşı dayanıklılığı daha fazla olacaktır. Çünkü tane boyutu arttıkça boşluklar artacak dolayısıyla malzemenin dayanıklılığı azalacaktır. Ayrıca kür süresi arttıkça suni mermer örneklerinin dayanım değerlerinin arttığı sonucuna da varılmıştır. Örnekler değişik çevresel koşullarda yaşlandırma döngülerine tabii tutulmuş olalar bile kür süresinin artışı nedeniyle dayanımları artmıştır.

5.2. Öneriler

Global anlamda bir sorun olarak görülen atıkların çevre kirliliği ve depolama alanı kısıtlılığı bakımından neden olduğu problemler düşünüldüğünde aslında bu gibi endüstriyel atıkların değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu endüstriyel atıkların değerlendirilmesinde suni mermer üretimi uygulanabilir bir yöntemdir. Bu atıkların değerlendirilmesi ile hem hammadde kaynağı sağlanmış olacak hem de çevre kirliliği azalacaktır. Atıkların geri dönüşüme tabi tutulmasıyla birlikte hammadde temininde iktisadi bir tutum gerçekleşecek, doğanın dengesinin bozulması engellenecektir.

Atıkların çevreye, insanlığa, sağlığa ve ekonomiye vurduğu darbeleri insanlara anlatarak bireysel farkındalık oluşturulmalıdır. Bu bilinçle atılan her adım doğayı korumakla birlikte ekonomide de kalkınmayı kaçınılmaz kılacaktır.

Deneyler neticesinde çevre kirliliğinin ve ekonomik kaybın daha az seviyelere düşürülmesi için cam ve seramik atıkların, kimyasalların dayanıklılığının tespiti yapılmıştır. Bu çalışma atıkların, kimyasalların miktarlarının ayarlanması atık boyutlarının değerlendirilmesi ile uygulanabilirliğinin araştırılması için sonraki çalışmalara fikir verecektir.

6. KAYNAKLAR

- Akbay, D., Şengün, N., Altındağ, R., & Demirdağ, S. (2017). Doğal taşların tuz kristallenmesine karşı direncinin fiziksel ve mekaniksel özellikleri ile ilişkisinin incelenmesi. *Türkiye 9. Uluslararası Mermer ve Doğaltaş Kongresi ve Sergisi (MERSEM2017)*, (s: 411-420), Antalya – TURKEY, 13-15 Aralık 2017.
- Amorosso, G.G., & Fassina, V. (1983). *Stone Decay and Conservation*, Materials Science Monographs, Elsevier, 101-107 pp., Amsterdam.
- Anonim (1979). Classification of rocks and soils for engineering geological mapping. Part 1-rock and soil materials, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 19, 364-371
- Ardı, S.M., & Büyüktaşkın, H.A.A. (2019). *Katı atıkların değerlendirilerek yapı malzemeleri üretiminde kullanılma olanakları üzerine bir inceleme*, İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü <https://www.researchgate.net/publication/338992378>.
- Aydın, E., & Egemen, M. (2011). *Mermer Toz Atığının İnşaat Sektöründe Kullanımı*, III. Ulusal Katı Atık Yönetimi Kongresi 1, 464-472.
- Barani, K., & Esmaili, H. (2016). Production of artificial stone slabs using waste granite and marble stone sludge samples, *Journal of Mining and Environmental*, 110, 135-141.
- Binal, A., Kasapoğlu, K.E., & Gökçeoğlu, C. (1997). *Eskişehir-Yazılıkaya Çevresinde Yüzeyleyen Volkanosedimanter Kayaçların Donma- Çözünme Etkisi Altında Bazı Fiziksel ve Mekanik Parametrelerinin Değişimi*. Ankara: Hacettepe Üniversitesi Yayınları, 41-54.
- Bolcavage A., Feuerstein A., Foster J., & Moore P. (2004). Thermal shock testing of thermal barrier coating/bondcoat systems, *Journal of Materials Engineering and Perform- Ance*, 13(4), 389-397
- Çelik, M.Y., & Emrullahoğlu, Ö.F. (1999). Mermer atıklarından polyester bağlayıcılı suni mermer blok ve levha üretiminin araştırılması, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 1(1), 35-50.
- Dayı, M., Aruntaş, H.Y., Çavuş, M., & Şimşek, O. (2013). Zeolit uçucu kül ve atık cam malzemelerinin portlant kompoze çimento üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(3), 491-499.
- 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.
- Demir, B.G., & Güngör, N. (2013). Mermer madenciliği ve çevre, *İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi*, 20, 7-14.
- Enerji Portalı. (2021). Erişim: 26.04.2021, <https://www.enerjiportali.com/cam-atik-nedir/>
- 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, T., Ding, H., & Gao, D.** (2016). Numerical simulation and experiment of hardening behaviors in unsaturated polyester resin artificial marble blocks under microwave radiation, *Plasma Science*, 44, 2485-2492.
- Gökçer, B., Yıldız, S., & Keleştemur, O.** (2013). Atık mermer tozu ve cam lif katkılı harç numunelerinin yüksek sıcaklık altındaki davranışları, *Süleyman Demirel Üniversitesi International Technologic Science*, 5(2), 42-55
- Güler, S., Türkmenoğlu, Z.F., & Varol, O.O.** (2021). Thermal Shock and freeze-thaw resistance of different types of carbonate rocks, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 137(2021)104545.
- Hamoush, S., Lebdeh, T.A., Picornell, M., & Amer, S.** (2011). Development of Sustainable engineered stone cladding for toughness, durability and energy, *Building Materials*, 25(2011) 4006-4016.
- Heriyanto., Pahlevani, F., & Sahajwalla, V.** (2018). From waste glass to building materials-An innovative sustainable solution for waste glass, *Journal of Cleaner Production*, 191(2018) 192-206.
- ISRM** (1978). Suggested methods for determination of schmidt rebound hardness, *International Journal of Rock Mechanic and Mining Science and Geomechanic Abstracts*, 15(3), 101-102.
- İskender, E., Sayın A., Aksoy, A., İskender, C.** (2020). Evaluation of the effect of glass granule size on water damage performance of asphalt mixtures. *Etnik Dergi*, 31(6), 10399-10411.
- Jaeger, J.C., Cook, N.G.W., & Zimmerman, R.W.** (2004) *Fundamentals of Rock Mechanics*. 4th Edition, London: Chapman and Hall.
- Kalınçimen, G., Öztürk A.U., Kaplan, G., & Yıldız, S.A.** (2015). *Seramik atıklarının çimento ikame malzemesi olarak kullanılması ve asit dayanıklılığının incelenmesi*, *Kastamonu University Journal of Engineering and Sciences*, 1(1), 9-16.
- Kayacı, K., Köstebekçi, N., Küçüker, A.S., Uzun, M., & Kara, A.** (2009). Mermer kesim ve firit atıklarının porselen karo bünyelerinde beraber kullanımı, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimler Dergisi*, Özel Sayı, 1-8.
- Kemirtlek, A.** (2005). *Entegre katı atık yönetimi*, İSTAÇ A.Ş., İstanbul.
- Kesimal, A., & Yılmaz, T.** (2016). *Ultrasonik p- dalga hızı deneyi*. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü Kayamekaniği Laboratuvarı, Trabzon.
- Köse, H., & Kahraman, B.** (2009). *Kaya Mekaniği* (4. Baskı), İzmir.
- Lee, M.Y., Ko, C.H., Chang, F.C., Lo, S.L., Lin, J.D., Shan, M.Y., & Lee, J.C.** (2008). Artificial stone slab production using waste glass, stone fragments and vacuum vibratory compaction, *Cement and Concrete Composites*, 30(1), 583-587.
- Maabir.** (2021). Erişim: 26.04.2021, <https://maabir.com/cam-atik-nedir/>
- Mohajerani, A., Vajna, J., Cheung, T.H.H., Kurmus, H., Arulrajah, A., & Horpibulsuk, S.** (2017). Practical recycling applications of crushed waste glass in construction materials: A review, *Construction and Building Materials*, 156(1) 443-467.

- Niyasom, S., & Tangboriboon, N.** (2021). Development of biomaterial fillers using eggshells, water hyacinth fibers, and banana fibers for green concrete construction, *Construction and Building Materials*, 283, 122627.
- Öz, C., & Özer, Ö.** (2019). Seramik arkeometrisinde spektroskopik yöntemlerin uygulanması ve yorumlanması: XRF, XRD, *Seramik Araştırmaları Dergisi*, 1, 136-153.
- Özgüden, Ö., & Çağatay, İ.H.** (2020). Atık cam katkılı betonların incelenmesi, *Çukurova Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1, 39-4
- Özgül, A., & Özçelik, Y.** (2013). *Investigation of some property changes of natural building stones exposed o fire and heat*, *Construction and Building Materials*, 38, 813-821.
- Özünel, S., & İmat, F.** (2016). Atık camlardan cam beton üreterek mimari ve dekoratif amaçlı olarak yararlanma, *International Peridiodical for the Languages Literature and History of Turkish of Turkic*, 11(2), 1049-1064.
- Pehlivan, E., Yazıcı, M., & Güner, G.** (2014). *Endüstriyel katı atıklar ve geri kazanım*. Faculty of Engineering Cumhuriyet Universty, Turkey, Sivas.
- Peixoto, J., Carvalho, E.A.S., Gomes, M.L.P.M., Guimarães, R.S., Monteiro, S.N., Azevedo, A.R.G., & Vieira, C.M.F.** (2021). Incorporation of Industrial glass waste into polymeric resin to develop artificial stones for civil construction, *Arabian Journal for Science and Engineering*, 47, 4313-4322.
- Pekdemir, A.D., & Bayram, O.** (2015). *Investigation of the Possitibilities of the Glass Powder Used in Birick Production*, MTA Genel Müdürlüğü, Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi, Ankara www.researchgate.net/publication/277309167.
- Poyraz, M., & Yılmaz, Z.** (2018). Seramik karo sektöründe sürdürülebilirlik ve geri dönüşüm, *Sanat ve Tasarım Dergisi*, 8(1), 256-270.
- Poyraz, M.** (2018). Pişmiş seramik atıklarının artistik yüzeylerde geri dönüşümü ve çağdaş seramik sanatçısı David Binns, *İnönü Üniversitesi Kültür ve Sanat Dergisi*, 30(4), 17-27.
- Saberian, M., Li, J., Donnoli, A., Bonderenko, E., Oliva, P., Solungaç, B., Lockrey, S., & Siddique, R.** (2021). Recycling of spent coffee grounds in construction materials: A review, *Journal of Cleaner Production*, 289, 125837. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125837>
- Tahran, F.** (1989). *Mühendislik Jeolojisi Prensipleri*. Trabzon: KTÜ Yayınları.
- 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.
- TS 699** (1987). *Tabii Yapı Taşları - Muayene ve Deney Metotları*. Ankara: TSE.
- 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*. Ankara: TSE.

- TUİK.** (2020). Erişim: 05.01.2022, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Atik-Istatistikleri-2020-37198>
- Turgut, P.** (2018). Uçucu kül, kireç ve cam tozu kullanarak blok üretimi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(3),413-418.
- Turhan, Ç.** (2003). Türkiye mermer potansiyeli üretimi ve ihracatı, *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi, İlköğretim Bölümü, Sosyal Bilgiler Eğitimi Anabilim Dalı Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 23(3):243-256.
- Yavuz, A.B., & Topal, T.** (2007). *Thermal and saltcrystallization effects on marble deterioration: examples from Western Anatolia*. Engineering Geology, 90:1-2 30-40.
- Yazıcı, Z.Ö.** (2019). Cam partikül takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin mikrodalga sinterleme yöntemi ile üretimi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Mühendislik Bölümü, AKÜ FEM ÜBİD*, 19(1), 439-448.
- Yeşilkaya, L., Ersoy, M., Sarıçam, F.** (2010). *Suni mermer üretiminde traverten atığı ve volkanik tüf katkısının etkileri*. AKÜ Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.
- Yılmaz, İ.** (2002). *Renk sistemleri, renk uzayları ve dönüşümler*. Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Öğretiminde 30. Yıl Sempozyumu, Konya.
- Yılmaz, Z. & Poyraz, M.** (2015). *Türk seramik kaplama sektöründe bir pişmiş atık geri dönüşüm uygulaması*. İFAS Konya Bildiriler Kitapçığı, 648.
- Yin, Z.** (2014). *Study on microwave curing of unsaturated polyester resin and UPR/SiO₂ composites* (M.E. thesis), Wuhan Universty of Technology, China.
- Yüçetürk, G.** (2010). *Göller bölgesindeki kayaların mineralojik petrografik özelliklerinin yapay mermer kalitesine etkileri*. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Yüz, S., Wattanasiriwech, S., Wattanasiriwech, D., Duangphet, S., Thanomsilp, C.** (2019). *Preparation of engineered stones*, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, Tayland.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Birsen KIRIKTAŞ

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2013, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü

