



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

**ÖĞÜTÜLMÜŞ CAM ELYAF TAKVİYELİ BETON (GRC)
ATIKLARININ TEKRAR KULLANILABİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI**

KADER TOPALOĞLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. ÖZLEM SALLI BİDECİ**

DÜZCE, 2021

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÖĞÜTÜLMÜŞ CAM ELYAF TAKVİYELİ BETON (GRC)
ATIKLARININ TEKRAR KULLANILABİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI

Kader TOPALOĞLU tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Özlem SALLI BİDECİ
Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Özlem SALLI BİDECİ
Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. Yılmaz KOÇAK
Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. İlker TEKİN
Karabük Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 28/01/2021

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

28 Ocak 2021

Kader Topaloğlu

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim boyunca bana göstermiş olduğu ailesel yakınlığından dolayı, bu tezin hazırlanması süresince çalışmalarına yön vererek yardım ve bilgi konusunda bana her türlü desteği sağlayan çok kıymetli ve değerli danışman hocam Doç. Dr. Özlem Sallı Bideci' ye en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Yapmış olduğum laboratuvar çalışmalarında tüm olanakları sağlayan Fibrobeton Yapı Elemanları San. İnş. Tic. A.Ş. Yönetim Kurulu Üyesi Muhammed Maraşlı' ya ve Yönetim Kurulu Başkanı Dünder Yetişener'e desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım ve yazımı boyunca bana desteklerini esirgemeyen Öğr. Gör. Mustafa Perçin'e ve Muhammet Sefer Selek'e teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca manevi destekleri ile beni motive eden, bu sürece katkıda bulunan çok sevgili eşim Serhat Topaloğlu' na teşekkür ederim.

Beni hiçbir fedakârlıktan kaçınmayarak yetiştiren, maddi ve manevi olarak desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili babam Mustafa Zeki Mercanoğlu' na, annem Birgül Mercanoğlu'na ve aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

28 Ocak 2021

Kader Topaloğlu

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
KISALTMALAR.....	ix
SİMGELER	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ	1
2. CAM ELYAF TAKVİYELİ BETON (GRC)	3
2.1. GRC’NİN TARİHÇESİ VE TANIMI	3
2.1.1. Tarihçesi.....	3
2.1.2. Tanımı	3
2.2. GRC’Yİ OLUŞTURAN MALZEMELER.....	4
2.2.1. Çimento	4
2.2.2. Cam Elyaf	5
2.2.3. Silis Agregası.....	6
2.2.4. Kimyasal Katkılar	6
2.2.4.1. Polimer Katkı Malzemeleri	6
2.2.4.2. Akışkanlaştırıcılar	7
2.3. ATIK YÖNETİMİ	8
2.3.1. Atık Tanımı.....	8
2.3.2. Atık Çeşitleri.....	9
2.3.2.1. Evsel Katı Atıklar	9
2.3.2.2. Endüstriyel Atıklar	9
2.3.2.3. Tehlikeli Atıklar	9
2.3.2.4. Tıbbi Atıklar	10
2.3.2.5. Tarımsal Atıklar	10
2.3.2.6. Moloz Atıklar	10
2.3.2.7. Özel Atıklar	10
2.3.2.8. İnşaat Atıkları	10
2.4. BETONDA KULLANILAN GERİ DÖNÜŞÜM MALZEMELERİ	10
2.4.1. Atık Plastikler.....	12
2.4.2. Atık Lastikler.....	12
2.4.3. Tarımsal Atıklar	13
2.4.4. Boya Atıkları.....	14
2.4.5. Tehlikeli Atıklar	15
2.4.6. Poliüretan Köpük.....	15
2.4.7. Beton Atıkları	15
2.4.8. Cam Atıkları	16
2.4.9. GRC Atığı	16

3. MATERYAL ve METOD.....	18
3.1. MATERYAL	18
3.1.1. GRC (Cam Elyaf Takviyeli Beton) Atığı	18
3.1.2. Silis Agregası.....	19
3.1.3. Çimento	20
3.1.4. Akışkanlaştırıcı.....	21
3.1.5. Cam Elyaf	22
3.1.6. Metakaolin	22
3.1.7. Polimer	23
3.1.8. Su	24
3.2. METOD	24
3.2.1. Karışım Oranlarının Belirlenmesi.....	24
3.2.2. Taze Harç Deneyleri	26
3.2.2.1. Standart Kıvam Tayini	26
3.2.2.2. Priz Süresi Tayini.....	27
3.2.2.3. Genleşme Deneyi	27
3.2.2.4. Slamp Deneyi	28
3.2.3. Sertleşmiş Harç Deneyleri	30
3.2.3.1. Eğilme Dayanımı Deneyi	30
3.2.3.2. Basınç Dayanımı Deneyi.....	31
3.2.3.3. Su Emme ve Kuru Yoğunluk Deneyi.....	32
3.2.4. Durabilite Deneyleri.....	33
3.2.4.1. Isıtma-Yağmur Etkisi Deneyi	33
3.2.4.2. Donma-Çözülme Deneyi	35
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	37
4.1. TAZE HARÇ DENEY SONUÇLARI	37
4.1.1. Kıvam Tayini Deney Sonuçları.....	37
4.1.2. Priz Süresi Deney Sonuçları.....	38
4.1.3. Hacim Genleşmesi Deney Sonuçları.....	38
4.1.4. Slamp Deney Sonuçları.....	40
4.2. SERTLEŞMİŞ HARÇ DENEY SONUÇLARI.....	40
4.2.1. Eğilme Dayanımı Deney Sonuçları.....	40
4.2.2. Basınç Dayanımı Deney Sonuçları.....	42
4.2.3. Su Emme ve Kuru Yoğunluk Deney Sonuçları	43
4.3. DURABİLİTE DENEY SONUÇLARI	45
4.3.1. Isıtma-Yağmur Etkisi Deney Sonuçları	45
4.3.2. Donma-Çözülme Deney Sonuçları.....	47
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	49
6. KAYNAKLAR.....	51
ÖZGEÇMİŞ	58

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Deney akış şeması.	2
Şekil 3.1. Atık GRC ürünleri.	18
Şekil 3.2. GRC üretimi.	18
Şekil 3.3. Atık GRC ürünlerinden elde edilen numune.	19
Şekil 3.4. AR kırılmış 12mm cam elyaf.	22
Şekil 3.5. Metakaolin	23
Şekil 3.6. Çalışmada kullanılan kodlara ait bilgiler.	24
Şekil 3.7. Kuru karışımların hazırlanması.	25
Şekil 3.8. Cam elyafın harca ilave edilmesi.	25
Şekil 3.9. Sondanın çimento pastasına bırakılması.	26
Şekil 3.10. Le Chatelier cihazına yerleştirilen numune.	27
Şekil 3.11. Le Chatelier cihazında değer okuması.	28
Şekil 3.12. Karışımların hazırlanması.	29
Şekil 3.13. Çimento slamp gereçleri.	29
Şekil 3.14. Slamp değerinin okunması.	30
Şekil 3.15. Numunelerin premiks yöntem ile üretimi.	30
Şekil 3.16. Eğilme testinin gerçekleştirilmesi.	31
Şekil 3.17. Numunelerin kalıplara dökümü.	32
Şekil 3.18. Deneye tabi tutulan numune.	32
Şekil 3.19. Isıtma-yağmur etkisi deney kabini.	34
Şekil 3.20. Isıtma-yağmur etkisi için hazırlanan deney numuneleri.	34
Şekil 4.1. S/Ç oranlarının grafiksel gösterimi.	37
Şekil 4.2. GRC atık miktarlarına bağlı Le Chatelier genleşme değerleri grafiği.	39
Şekil 4.3. Eğilme dayanımı ortalama MOR değerleri.	41
Şekil 4.4. Ortalama basınç dayanımı değerleri.	43
Şekil 4.5. Ortalama su emme değerleri.	44
Şekil 4.6. Ortalama kuru yoğunluk değerleri.	45
Şekil 4.7. Eğilme dayanımı ortalama MOR değerleri.	46
Şekil 4.8. Donma-çözülme deneyi sonrası eğilme dayanımı değerleri.	47

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 2.1. Cam elyafların özellikleri.	6
Çizelge 2.2. Türkiye'nin katı atık kompozisyonu.....	9
Çizelge 3.1. Öğütülmüş GRC atık malzemesinin kimyasal sonuçları.	19
Çizelge 3.2. 30-35 Afs silis agregası tane dağılımı.	20
Çizelge 3.3. 30-35 Afs silis agregasının kimyasal sonuçları.	20
Çizelge 3.4. CEM I 52,5 R Beyaz Portland çimentosu.....	21
Çizelge 3.5. Kullanılan akışkanlaştırıcının fiziksel özellikleri.	21
Çizelge 3.6. Cam elyafın teknik özellikleri.	22
Çizelge 3.7. Metakaolinin fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	23
Çizelge 3.8. Polimer katkı malzemesinin fiziksel ve kimyasal özellikleri.	23
Çizelge 3.9. Malzeme karışım dizaynı.....	25
Çizelge 3.10. Isıtma-yağmur etkisi deneyinde çevirim süreleri.	35
Çizelge 3.11. Donma-çözülme deneyinde çevirim süreleri.....	36
Çizelge 4.1. Deney numuneleri için optimum su miktarları.	37
Çizelge 4.2. Priz süreleri deney sonuçları.....	38
Çizelge 4.3. Hacim genleşmesi deney sonuçları.....	39
Çizelge 4.4. Harç numunelerinin slump değerleri.	40
Çizelge 4.5. Eğilme dayanımı deney sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler.	41
Çizelge 4.6. Basınç dayanımı sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler.....	42
Çizelge 4.7. Su emme ve kuru yoğunluk deney sonuçları.....	44
Çizelge 4.8. Eğilme dayanımı sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler.	46
Çizelge 4.9. Donma-çözülme deneyine ait açıklayıcı istatistikler.....	48

KISALTMALAR

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AR	Alkaliye dayanıklı
A.Ş.	Anonim şirketi
CEM	CEM-I 52,5 R Portland Çimentosu
F _c	Kırılmadaki en büyük yük
GRC	Cam elyaf takviyeli beton
KYB	Kendiliğinden Yerleşen Beton
LOP	Malzemenin orantısal limiti
MPa	Megapascal
MOR	Kırılma anındaki gerilim ve deformasyon
M.Ö.	Milattan Önce
Rec	Recyled geri dönüşüm
R _c	Basınç dayanımı
S/Ç	Su/Çimento
TS EN	Türk Standartları (European Norm) Avrupa Normları
UAYP	Ulusal Atık Yönetimi Planı

SİMGELER

σ
 γ

Eğilme dayanımı
Su emme miktarı



ÖZET

ÖĞÜTÜLMÜŞ CAM ELYAF TAKVİYELİ BETON (GRC) ATIKLARININ TEKRAR KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Kader TOPALOĞLU

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Özlem SALLI BİDECİ

Ocak 2021, 57 sayfa

Cam elyaf takviyeli beton (GRC) günümüzde fiziksel, mekanik ve estetik özellikleri açısından çok tercih edilen kompozit bir yapı malzemesidir. Bununla birlikte ekonomik değeri yüksek olan bu malzemelerin geri dönüşümü ve tekrar kullanımı tabi kaynaklardan maksimum derecede faydalanabilmek amacıyla çok önemlidir. Bu çalışmada, öğütülmüş GRC atıklarının çimento ikame malzemesi olarak kullanılabilirliği deneysel olarak araştırılmıştır. Ağırlıkça %0 (Referans), %5, %10 ve %15 oranında öğütülmüş GRC atıkları ile hacimce %3 oranında cam elyaf eklenerek cam elyaf takviyeli beton (GRC) numuneleri üretilmiştir. Üretilen numuneler üzerinde, taze harç deneylerinden; standart kıvam tayini, priz süresi tayini, genleşme deneyi ve slump deneyi, sertleşmiş harç deneylerinden; eğilme dayanımı, basınç dayanımı, su emme ve kuru yoğunluk deneyi, durabilite deneylerinden; ısıtma-yağmur etkisi ve donma-çözülme deneyi yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda; her grup için öğütülmüş GRC atığının çimento ikamesi olarak kullanılabilirliği belirlenmiştir. Böylece; üretim esnasında, uygulamadan kaynaklanan, kabul görmeyen, paketlenme ve nakliye esnasında hasar görmüş, kalite kontrol aşamasında uygunsuz olarak belirlenen atık GRC malzemeler tekrar değerlendirilebilecektir.

Anahtar sözcükler: : Basınç dayanımı, Cam elyaf takviyeli beton (GRC) atığı, Çimento, Donma-çözülme.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE FIBER REUSABILITY OF GLASS FIBER REINFORCET CONCRETE (GRC) WASTES

Kader TOPALOĞLU

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Civil Engineering

Master's Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Özlem SALLI BİDECI

January 2021, 57 pages

Glass fiber reinforced concrete (GRC) is a highly preferred composite building material in terms of physical, mechanical and aesthetic properties. However, the recycling and reuse of these materials with high economic value is very important in order to benefit from the natural resources at the maximum level. In this study, the usability of ground GRC wastes as cement replacement material was experimentally investigated. Glass fiber reinforced concrete (GRC) samples were produced by adding 0% (Reference), 5%, 10% and 15% grinded GRC wastes by weight and 3% glass fiber by volume. Fresh mortar tests on the produced samples; standard consistency determination, setting time determination, expansion test and slump test, from hardened mortar tests; bending strength, compressive strength, water absorption and dry density test, durability tests; heating-rain effect and freeze-thaw test were carried out. As a result of the study; it was determined that each group of the ground GRC waste can be used as a cement replacement. So; waste GRC materials that are not accepted during production, that have been damaged during packaging and transportation, and that are determined as inappropriate during the quality control phase, can be re-evaluated.

Keywords: Cement, Compressive strength, Freeze-thaw, Glass fiber reinforced concrete (GRC) waste.

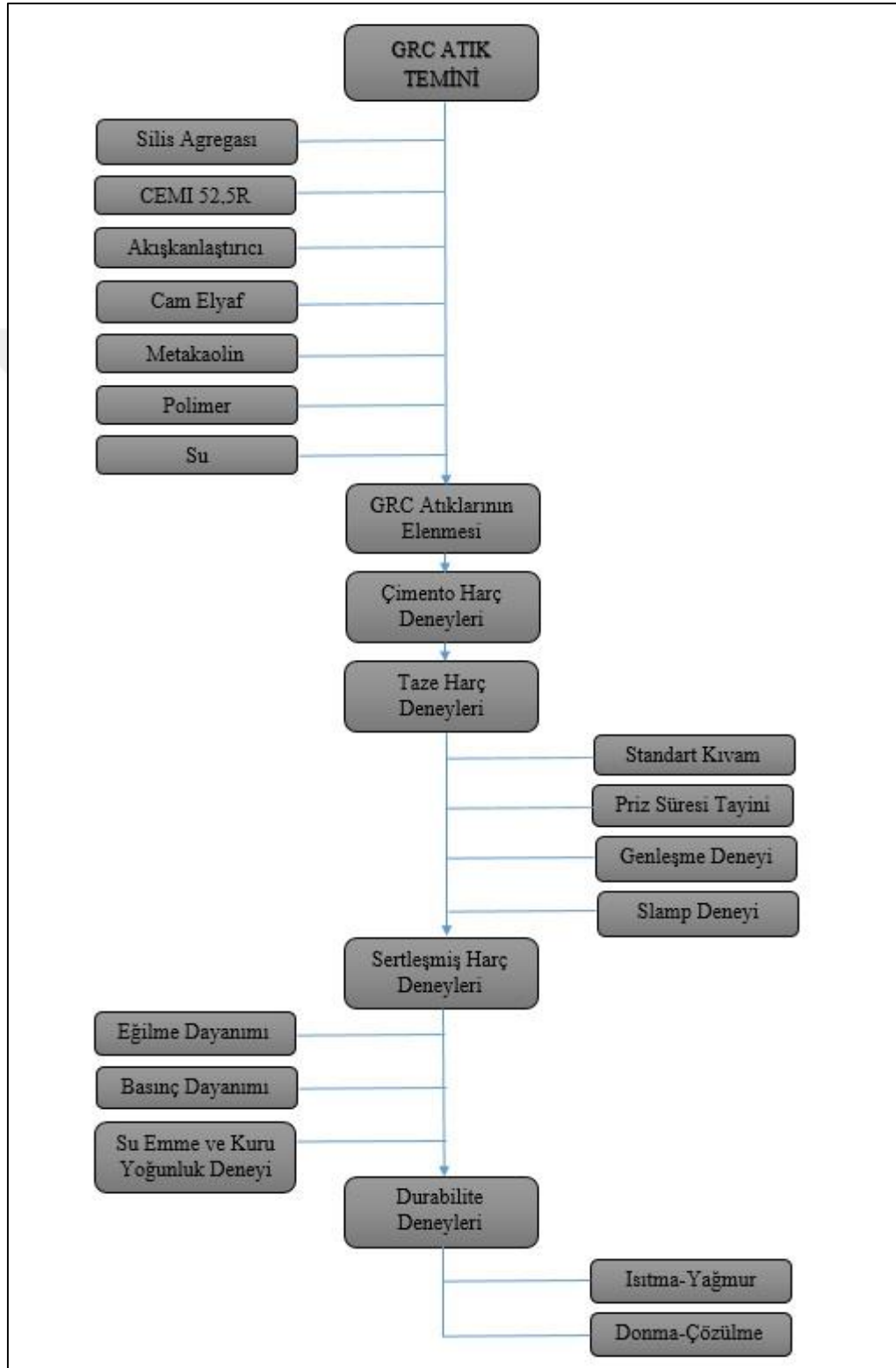
1. GİRİŞ

Modern toplumların en büyük sorunlarından biri katı atıkların kontrolü ve yönetimidir. İnşaat ve yıkıntı atıkları, katı atıklar içerisinde büyük bir pay oluşturduğu gibi bu atıkların geri kazanımı, çevresel ve ekonomik açıdan büyük bir öneme sahiptir. Ülkemizde geri kazanılmış ürünlerin, ilgili standartların sağlanması şartı ile gerekli işlemlerden sonra orijinal malzemelerle veya ayrı olarak; beton üretiminde, yol, otopark, kaldırım, yürüyüş yolları, drenaj çalışmaları, kanalizasyon borusu ve kablo döşemelerinde dolgu malzemesi olmak üzere, alt ve üst yapı inşaatlarında, spor ve oyun tesisleri inşaatları ile diğer dolgu ve rekreasyon çalışmalarında kullanılabilmektedir [1]. Endüstriyel atıklar ise, son yıllarda işlenme problemleri ve artan çevresel kaygılar sebebiyle etkin bir şekilde geri dönüştürülmektedir [2]. Yapı materyallerinin çoğu da, endüstriyel atıkların doğal veya yapay katkı malzemeleri olarak kullanımını sağlamaktadır [3].

1940'lı yıllarda ise camın yapı malzemesi olarak kullanılabileceğinin farkına varılmasıyla, malzemelerin kimyasal dayanımını arttırmak için yeni nesil cam elyafı, deneysel çalışmalara dâhil edilmişlerdir. Böylece, beklentileri karşılamak üzere cam elyaf takviyeli beton üretimi başlamıştır. Üretilen betonlar üzerinde gerçekleştirilen bilimsel araştırma ve testler sonucunda cam elyaf katkılı betonların fiziksel ve mekanik özelliklerinin kullanılan malzemelerin kalitesine ve üretim yönteminin hassasiyetine bağlı olarak değiştiğini belirlemiştir [4]. Elde edilen bu malzeme böylece inşaat sektöründe popüler hale gelmiştir. Bununla birlikte cam elyaf takviyeli betonların üretimi, istiflenmesi ve nakliyesi sırasında kullanılamayacak hale gelmesi durumunda, hammaddelerin en çok tüketildiği yapı sektöründe GRC malzemelerinin geri kazanılması, doğal kaynakların daha az kullanılmasını sağlayarak ülke ekonomisine katkıda bulunacaktır.

Bu çalışmada, öğütülmüş GRC atıklarının çimento ikame malzemesi olarak kullanılabilirliği deneysel olarak araştırılmıştır. Ağırlıkça %0 (Referans), %5, %10 ve %15 oranında öğütülmüş GRC atıkları ile üretilen çimento harç numuneleri üzerinde, taze harç deneylerinden; standart kıvam tayini deneyi, priz süresi tayini, genleşme deneyi ve slamp deneyi sertleşmiş harç deneylerinden; eğilme dayanımı, basınç dayanımı, su emme

ve kuru yoğunluk deneyi, durabilite deneylerinden ise; ısıtma-yağmur ve donma-çözülme deneyi yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda; her grup için GRC atığının çimento ikamesi olarak kullanılabileceği belirlenmiştir. Çalışmanın deney akış şeması Şekil 1.1’de verilmiştir.



Şekil 1.1. Deney akış şeması.

2. CAM ELYAF TAKVİYELİ BETON (GRC)

2.1. GRC’NİN TARİHÇESİ VE TANIMI

2.1.1. Tarihçesi

Betonun eğilme mukavemeti, dayanıklılık gibi özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla lif katkıların kullanımı; samanla güçlendirilmiş tuğlaların üretimi ile en az 3500 yıl öncesine dayanan uzun bir geçmişe sahiptir [5]. Mısır’da M.Ö. 1600 yıllarında, XVIII. Hanedan Devrin’den kalma amforaların varlığına bakıldığında çeşitli renklerde ve kalınlıkta cam elyaf türlerinin kullanıldığı anlaşılmaktadır [6]. 1900 yıllarına gelindiğinde ise ilk olarak asbest malzemesi elyaf olarak kullanılmıştır. Fakat bu malzemenin sağlığa zararlı olduğu kabul görülünce alternatif ürün arayışına geçilmiştir. Rusya’da 1940’lı yıllarda cam elyaf katkılı beton geliştirilmiştir [7]. Amerika Birleşik Devletleri’nde Romualdi, Danimarka’da West ile Krenchel ve İngiltere’de Building Research Establishment ’da (Yapı Araştırma Kurumu) Nurse ve Majumdar’ın öncülüğünde, elyaf donatılı kompozitler ve betonlar konusunda farklı ülkelerde araştırmalar yapılmaya başlanmıştır. 1966 yılından itibaren ise İngiltere Yapı Araştırma Kurumu’nda cam elyafli donatı, cam elyafın özellikleri ve bu elyafa uygun malzemelerin araştırılması konusunda çalışmalar devam etmiştir [6]. 1960’lı yılların sonlarına doğru yapılan çalışmalarda alkaliye dayanıklı ürün ihtiyacı meydana gelmiştir ve uzun denemelerden sonra %17 oranında zirkon (ZrO_2) optimizasyonu ile kullanılmıştır. 1970 yıllarında ise bu denemeler sonucunda alkaliye dayanıklı cam elyaf (AR-cam elyaf) üretilmiş ve betonarme sanayinde kullanılmaya başlanmıştır. O yıllardan günümüze kadar gelen süreçte cam elyaf ve cam elyaf katkılı beton özellikleri konusunda çalışmalar, iyileştirmeler devam etmektedir. Mimari alanlarda ve mühendislikte yaygın olarak kullanılan, görselde ve mekanik açıdan en çok tercih edilen yapı malzemesi haline gelmiştir [8].

2.1.2. Tanımı

Cam elyaf takviyeli beton; Portland çimentosuna ilave edilmiş, cam elyafın karışımından oluşan kompozit bir yapı malzemesidir [9]. “Cam Elyaf Takviyeli Beton” genelde GRC (Glass Reinforced Concrete) olarak bilinmektedir. Modern inşaat estetiğine katkı sağlayan, çok yönlü inşaat materyali mimarlar ve mühendisler tarafından tercih

edilmektedir [10]. GRC'yi oluşturan ana malzemeler; cam elyaf, çimento, agrega ve sudur. Gerek görülürse kimyasal ve mineral katkılarda kullanılabilir [10]. Cam elyafın betonda kullanılmasının amacı; erken yaş çatlaklarının gelişimini önleyerek betonun tokluğunu ve çekme dayanımını arttırmaktır [11]. Bunun yanı sıra cam elyafı yüksek mukavemete sahiptir, yüzeyinde nem tutabilme özelliğinden dolayı boyutsal değişimler minimalist ölçüdedir. Yüksek elastisite modülüne ve eğilme özelliklerine sahip olmakla birlikte darbe dayanımı ve ortam şartlarındaki dirençleri fazladır [12]. Cam elyaf katkılı betonların alkali direncinin fazla olması ve üretimi itibarıyla hafif oluşlarından dolayı alt ve üst yapı elemanlarında, tünel, dış cephe kaplama ve çatı kaplama gibi geniş kullanım alanlarında tercih edilmektedir [13].

2.2. GRC'Yİ OLUŞTURAN MALZEMELER

2.2.1. Çimento

Kalker, kil, demir cevheri ve marnın belirli oranlarda karıştırılarak ortalama 1450 °C'de pişirilerek elde edilen klinkerin, alçıtaşı ile öğütülmesi sonucu meydana gelen toz malzemeye "çimento" denir [14].

Çimento ihtiyacı Jhon Smeaton'un İngiltere'de yapmak istediği deniz feneri için, su kirecinin özelliklerini geliştirmek amacıyla kalker, kil ve alçı taşına puzolan katarak ortaya çıkan su kireçlerinin, deniz suyuna olan direncini incelemesi ile başlamıştır. 1800'lü senelerde Louis Vicat ise yapılan çalışmaları derleyerek yeni bir çalışmaya başlamıştır. Bunun sonucunda kalker taşı ve killi taşı belirli oranlarda birleştirerek ve pişirerek yapay olarak su kirecini elde etmeyi başarmıştır. Elde edilen hidrolik kirecin içerisinde killi taş miktarının fazla olması, yüksek hidrolik özelliklere sahip olması ve kireç gibi sönmemesinden dolayı bu malzemeye çimento denilmiştir. Bu süreçten sonra Amerika, İngiltere ve Fransa'da çimento üretimine başlanmıştır [15].

1824 yılında Joseph Aspdin adında İngiliz duvar ustası tarafından portland çimentosu bulunmuştur ve patentini almıştır [16]. Var olan killi kalker yerine 1/3 oranında (kil/kalker) kil ve kalkeri yüksek sıcaklıklarda pişirerek, yüksek dayanım ve dayanıklılığa sahip gri renkli çimento elde etmiştir. 19. yüzyıl döneminde farklı ve daha gelişmiş çimentolar üretilmeye başlanmıştır ve hepsi portland türü olarak kabul edilmiştir. Portland çimento günümüzde en çok tercih edilen hidrolik çimento olarak kullanılmaktadır [15].

Genel olarak portland çimentosu gri renge sahiptir ve toz halindedir. Çimento üretiminde kalker, kil ve gerekli görülürse belirli oranlarda alüminyum ve demir oksitlerde karıştırılır ve öğütülür. 1450 °C’de farin olarak bilinen hammadde döner fırınlarda pişirilir. Farin taneleri, fırın çıkışına doğru eriyerek ve çeşitli reaksiyonlar sonucunda granüle olmuş bir şekilde klinker olarak bilinen toprakları oluştururlar. Çimento üretimi sırasında soğutucudan çıkan klinker bu süreç için ara ürün sayılırlar. Klinker ve belli oranda kalsiyum sülfatın öğütülmesi sonucu ortaya çıkan ürün çimentodur [17]. Çimentonun tane çapı ortalama 15-20 mikron arasındadır. 2 cm çapa sahip klinkerin çimento ile reaksiyona girebilmesi için ortalama 1000 defa küçültülmesi gerekmektedir [15]. Ayrıca klinkerlerin öğütülmesi aşamasında ağırlıkça %3-5 aralığında kalsiyum sülfat ilave edilir [17].

2.2.2. Cam Elyaf

Alüminyum, magnezyum, silis kumu, asitborik ve kireçtaşının harmanlanması ile cam elyaf elde edilir. Mısır ve Roma döneminden kalma ve günümüze kadar ulaşan, gemi gövdelerinde kullanılan halat biçiminde camdan meydana gelen süslerden cam elyafın kullanıldığı anlaşılmaktadır. 18. yüzyıldan itibaren gelişim sürecine giren cam elyaflar 20. yüzyıl başlarında ABD’de Harford ve Stafford, Almanya’da Hager Kardeşler tarafından seri üretime başlanmıştır ve cam elyaf üretimi hızla yayılmıştır [18].

Cam elyafların aşınma direnci, sertlik dereceleri fazla ve reaktif özellikleri de fazla olmayan malzemelerdir. Bunlara ek olarak esnek, ekonomik ve hafiftirler. Bütün cam elyaf tiplerinde elastisite modülleri benzerlik göstermekle birlikte, çevresel etkilere karşı dirençleri ve dayanım değerleri farklılık göstermektedir [19]. Cam elyaflar, ortalama 1200-1500 °C’de elektrikli fırınlarda camların ergitilmesi sonucunda, platin alaşımlı potanın tabanındaki deliklerden hızla çekilmesi ve soğutma işlemine tabi tutulması ile üretilirler. Son olarak elyafların üzerine kaplama yapılır, demetler halinde bobinlere sarılarak depolanırlar [20]. Özelliklerine göre cam elyaflar dört gruba ayrılırlar. Bunlar; yüksek miktarda alkali içeren A camı, kimyasal çözeltilere direnci fazla olanlar C camı, düşük alkali miktarına sahip ve mukavemeti fazla olanlar E camı ve dayanımı yüksek, yorulma direnci yüksek sıcaklıklarda iyi olanlara da S camı denilmektedir. Cam elyafların özellikleri Çizelge 2.1’de verilmiştir [21].

Çizelge 2.1. Cam elyafların özellikleri.

Özellik	Cam Tipi			
	A	C	E	S
Özgöl ağırlık (g/cm ³)	2,5	2,49	2,54	2,48
Elastisite modülü (GPa)	-	69,0	72,4	85,5
Çekme mukavemeti (MPa)	3033	3033	3448	4585
Isıl genleşme katsayısı	8,36	7,2	5,0	5,6
Yumuşama sıcaklığı (°C)	727	749	841	970
Bileşim (%)				
SiO ₂	72	64,4	52,4	64,4
Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃	0,6	4,1	14,4	25
CaO	10	13,4	17,2	-
MgO	2,5	3,3	4,6	10,3
Na ₂ O, K ₂ O	14,2	9,6	0,8	0,3
B ₂ O ₃	-	4,7	10,6	-
BaO	-	0,9	-	-

2.2.3. Silis Agregası

Silis kumu olarak bilinen fakat asıl adı kuvars kumunun ana elementi “Si” dur ve bu element yeryüzünde en fazla bulunan elementler arasındadır. Atom numarası 14, yoğunluğu 2,33 g/cm³ olan silisyum doğada, silikat asidi veya tuzları olarak bulunmaktadır. Silis kumu, kuvars bakımından zengin magmatik ve metaforik kayaların ayrışmasından oluşmuştur. Ortalama 2 mm çapında olan kuvars taneciklerinin yapısında demir oksit bulunuyorsa renkleri pembe, kırmızı veya kahverengi olabilmektedir ancak asıl rengi açık beyaz veya renksiz olarak bilinmektedir. Yapısında az miktarda bulunan ve istenmeyen safsızlıkta bulunan kil, silt, feldispat, demir, titanyum ve karbonatlı bileşikler nedeni ile de çoğu zaman kullanım alanlarına göre fiziksel ve kimyasal açıdan istenen özelliklere gelebilmeleri için cevher hazırlama işlemlerinden geçirilmektedir. Silis kumunun endüstriyel olarak pazarını belirleyen en önemli faktör ise içeriğinde bulunan demir ve titanyum oksittir [22].

2.2.4. Kimyasal Katkılar

2.2.4.1. Polimer Katkı Malzemeleri

Monomer olarak adlandırılan küçük organik molekülün peş peşe dizilimiyle oluşan uzun zincirlere ‘polimer’ denir. Polimerler organik olarak düşünülse de inorganik polimerlerde yaygındır. Polimer zincirleri doğrusal veya dallanmış yapıda olabilirler. Çapraz bağlı polimerler, oluşan yan dalların başka ana zincirlere bağlanması ile meydana gelir. Çapraz bağlı polimerler günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır [23].

Genellikle düşük yoğunlukta olan polimerlerin farklı renk ve çeşitleri vardır, işlenebilmeleri rahat ve kullanımları kolaydır. Genel olarak; iç bağların kovalent oluşunun etkin olması sebebiyle ısı ve elektrik yalıtkanıdır. Makaslamaya duyarlı olup kayma dirençleri düşüktür, yüksek basınç ve çekme dayanımları elde edilebilmektedir. Kimyasal etkilere dayanıklılıkları fazla olup asitlere ve bazlara iyi dayanırlar ancak organik solventlere dayanıklılıkları iyi değildir. Suya karşı dayanıklılığı iyidir, bazıları özellikle su buharına karşı duyarlıdır ve bozulabilirler. Yüksek sıcaklıklar ise yapısında bozulmalara sebep olabilir. Bazı türleri 300-400 °C'ye kadar dayanabilirken (polifluoretilen, teflon, melamin vb.), çoğunlukta 80 °C'yi geçmesi halinde zarar görebilirler [24].

GRC üretiminde; dayanımı arttırmak, kürlenme süresini azaltmak, istenilen kaliteyi elde edebilmek için uygun polimer seçilmelidir [25]. Ayrıca yeterli düzeyde performans için akrilik polimerin hacimce minimum %5 oranında kullanılması gerekmektedir [26]. GRC ürünlerinde geniş yüzey alanı ve kalınlıklarının fazla olmaması, içerisinde ki suyun fazla kurummasına yol açabilir bu da mukavemetin düşmesine neden olabilir. Üretim aşamasında kullanılan akrilik polimer, GRC'nin mühendislik özellikleri üzerinde ki olumlu etkilerini arttırmaktadır [27], [28].

2.2.4.2. Akışkanlaştırıcılar

Beton üretiminde, stabil işlenebilirlikte su kesme olarak kullanılan kimyasal katkılara “akışkanlaştırıcı” denir. Akışkanlaştırıcılar su kesme özelliklerine göre üç gruba ayrılmaktadır. %10-%15 arası su kesme özelliğine sahip akışkan “normal”, %15-%30 arası su kesme özelliğine sahip akışkan “süper” ve %30'un üzerinde su kesme özelliğine sahip olan akışkan ise “hiper” olarak adlandırılmaktadır [29].

Günümüzde dayanımı yüksek betonların üretilmesi beklenmektedir ve bu da ikinci nesil akışkan yani süper akışkanlaştırıcılarla sağlanmaktadır. Bu akışkanlaştırıcılar melamin ve naftalin formaldehit sülfanat esaslıdır. 1970'li yıllarda naftalin formaldehit sülfanat esaslı akışkanlar Japonya'da, melamin formaldehit sülfanat esaslı akışkanlar Batı Almanya'da kullanılmıştır [30]. Yüksek performanslı bu akışkanlaştırıcılar ortalama 60 dakikalık zaman aralığında hızlı çökme kayıplarına neden olmuştur. İlk zamanlarda şantiyelerde bu durum farklı kimyasal katkılarla geciktirilmeye çalışılmıştır. Fakat 1986 yılında Japonya'da yapılan araştırmalarda işlenebilirliğini uzun süre koruyan polikarboksilat esaslı kimyasal katkı (hiperakışkanlaştırıcı) elde edilmiştir. Yüksek

segregasyon ve işlenebilirliği fazla olan bu hiperakışkanlaştırıcılar beton sektöründen gelen özel istekler ile birlikte üzerindeki çalışmalara devam edilerek yüksek performanslı modifiye edilmiş hiperakışkanlaştırıcılar üretilmiştir. Üretilen bu akışkanlaştırıcı diğerlerine göre daha fazla akışkanlık özelliğine sahip olup, işlenebilirliği 90 dakikaya kadar devam edebilmektedir. Bununla beraber az miktarda kullanılan çimento ve su/çimento oranı ($<0,4$) olmasına rağmen akışkan kıvam elde etmek mümkün olabilmektedir [30].

2.3. ATIK YÖNETİMİ

2.3.1. Atık Tanımı

Atık; üretim ve kullanım faaliyetleri sonucu ortaya çıkan, insan ve çevre sağlığına zarar verebilecek şekilde doğrudan veya dolaylı biçimde alıcı ortama bırakılması sakıncalı her türlü madde olarak adlandırılmaktadır [31]. Teknolojik gelişmeler ve sanayileşme ile doğru orantılı olarak ilerleyen kentleşme ve nüfus artışı, hem ülkemizde hem de dünyada insan faaliyetlerinin çevre üzerindeki etkisini hızla artırmaktadır. Bu zaman zarfında üretim ve pazarlama aşamalarında ki artış, doğal kaynakların çok daha fazla kullanılmasının, tüketim eğiliminin de artmasıyla, atıkların hem fazla olması hem de zararlı içerikleri nedeniyle çevre ve insan sağlığını tehdit eder aşamalara gelmiştir [32]. Atıklar; imal, kullanım, fiziksel ve kimyasal yapılarına göre sınıflandırılabilir. Bu durumda atıkları kendi içlerinde katı, sıvı, gaz ve ambalaj atıklar vs. şeklinde sınıflandırmak mümkündür. Katı atıklar; insan ve çevre sağlığını tehdit etmesi açısından sürekli ve düzenli bir şekilde bulunduğu ortamdan kaldırılması gereken katı maddeleri ifade eder [33].

Katı atıklar ortaya çıktığı andan, bertaraf edilmesi aşamasına kadar geçen sürede çevre ve insan ile doğrudan ya da dolaylı olarak etkileşim içindedir. Atıklar, bünyesinde bulundukları hastalık yapıcı maddelerle doğrudan veya sinek, fare gibi haşerelerle taşınmasıyla dolaylı olarak insan sağlığını ve çevreyi olumsuz etkileyebilmektedir [34-35]. Katı atıkların çevreye etkileri kimyasal, fiziksel ve biyolojik olabilmektedir. Örneğin, haşerelerle veya doğrudan bulaşabilen hastalıklar veba, kolera, difteri, dizanteri vs. biyolojik olumsuzluklara neden olurken, çöpleri depolama alanlarında yeraltına karışan sızıntılar kimyasal ve biyolojik olumsuzluklara neden olmaktadır. Ayrıca çevreye geliş güzel bırakılan atıklar da insanlara fiziksel zararlar verebilmektedir. Kalkınmamış veya

kalkınmakta olan ülkelerde yeterli hijyen ve temizliğin sağlanamaması, atık yönetimi uygulamaları ile çevre ve insan sağlığı arasındaki olumsuz ilişkiler görülebilmektedir [36].

2.3.2. Atık Çeşitleri

Katı atıklar oluşumlarına göre yedi bölüme ayrılmaktadır. Bu oluşumlar; evsel katı atıklar, endüstriyel atıklar, tehlikeli atıklar, tıbbi atıklar, tarımsal atıklar, inşaat atığı, moloz atıkları ve özel atıklar olarak belirtilmektedir [33]. Türkiye'nin katı atık kompozisyonu Çizelge 2.2'de verilmiştir [37].

Çizelge 2.2. Türkiye'nin katı atık kompozisyonu.

Atık Cinsi	%
Organik atık	65,45
Kül, Cüruf	22,48
Geri kazanılabilir atık	12,05
Toplam	99,98
Geri Kazanılabilir Malzeme	%
Kağıt, Karton	45,48
Metal	8,62
Cam	18,46
Plastik	13,19
Pet, PVC	6,15
Lastik, Kauçuk	3,30
Tekstil	4,80

2.3.2.1. Evsel Katı Atıklar

Belediye hizmeti ile düzenli olarak toplanıp, çöp istifleme alanlarında yok edilebilen, geri kazanım sağlanabilen veya yakılarak yok edilebilen evsel ve endüstri kökenli atıklardır [38].

2.3.2.2. Endüstriyel Atıklar

Endüstriyel işlemlerden kaynaklanan atıklardır. Endüstriyel işlemler sırasında veya endüstriyel işlemlerin sonucunda ortaya çıkan atıklardır [38].

2.3.2.3. Tehlikeli Atıklar

Atık Yönetimi Genel Esasları Yönetmeliğine göre; tehlikeli atıklar özelliklerine göre alt sınıflara ayrılmışlardır. Patlayıcı, oksitleyici, yüksek oranda tutuşabilenler, tahriş edici, zararlı, toksik, kanserojen, koroziv, enfeksiyon yapıcı, üreme yetisini azaltıcı, mutajenik, hava yolu ile, su ile veya bir asit ile temas etmesi sonucu zehirli veya çok zehirli gazları

serbest bırakan madde veya preparatlar, belirtilen karakterlerden birine sahip olan atıkların yok edilmesi esnasında ortaya çıkan madde ve preparatlar, ekotoksik atıklardır [39].

2.3.2.4. Tıbbi Atıklar

Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliğine göre; “Ünitelerden kaynaklanan, enfeksiyon, patolojik ve kesici-delici atıkları” ifade eder [40].

2.3.2.5. Tarımsal Atıklar

Bitkisel veya hayvansal ürünlerin işlenmesi sonucunda ortaya çıkan atıklardır. Ortaya çıkan bu atıklar; bölgelere göre, iklim şartlarına göre, toplumların sosyoekonomik durumlarına göre, gelenek ve mesleklere göre farklılık gösterebilmektedir [41].

2.3.2.6. Moloz Atıklar

İnşaatın yapım aşamasında kalan veya herhangi bir inşaatın yıkılması sonucu ortaya çıkan atıklardır [38].

2.3.2.7. Özel Atıklar

Bertaraf edilmesi özel dikkat gerektiren atıklardır. Radyoaktif atıklar, tehlikeli ve zararlı endüstriyel atıklar, evsel atıklar içinde bulunan kimyasal içerikli atıklar, piller, lastikler, atık su çamurları, inşaat ve yıkıntı atıkları ile hastane atıkları bu gruptadır [41].

2.3.2.8. İnşaat Atıkları

İnşaat atıkları mesken, apartman, yol gibi alt ve üst yapıların inşası aşamasında ortaya çıkan atıklardır. Mesken, apartman, yol gibi alt ve üst yapıların onarımı, restorasyonu, yıkımı veya doğal afetler sonrasında ortaya çıkan atıkların tümüne “yıkıntı atıkları” denir [42].

2.4. BETONDA KULLANILAN GERİ DÖNÜŞÜM MALZEMELERİ

Önceden kullanılmış inşaat malzemelerinin fiziksel ve kimyasal işlemlerden geçirilerek tekrar kullanılabilir hale getirilmesine “geri dönüşüm” denir [43]. Geri dönüşüm sayesinde öncelikle hammadde ihtiyacı azalır. İnsan nüfusunun artışı ile doğal dengeyi bozan tüketim ihtiyacı böylece en aza indirgenmiş olur. Geri dönüşüm sayesinde tekrar kullanılan atıklar, büyük oranda enerji tasarrufu sağlar. Atık malzemelerin geri

dönüşümde kullanılması, çevre kirliliğinin en aza indirgenmesi açısından en önemli katkıdır [44].

Birçok alanda olduğu gibi inşaat alanında da fazlasıyla katı atıkların ortaya çıktığı gözlemlenmektedir. Hammadde ihtiyacından dolayı ortaya çıkan atıkların diğer alanlarda çıkan atıklar ile oranı göz önünde bulundurulduğunda, inşaat sektörü ilk sırada yer almaktadır [45]. İnşaat ve yıkıntı atıklarının büyük bir bölümü geri dönüştürülebilir durumdadır [46]. Son dönemlerde ülkemiz, 6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkındaki Kanun'un yürürlüğe girmesi ile beraber kentsel dönüşüm sürecine giriş yapmıştır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından gerçekleştirilmekte olan kentsel dönüşüm projeleri ile önümüzdeki 20 yılda ortalama 7 milyon risk altındaki bağımsız binaların yıkılarak daha emniyetli binalara dönüştürülmesi hedeflenmektedir. Kanun çerçevesi dâhilinde uygulanacak olan kentsel dönüşüm projeleri ile birlikte, ülkemizde ortaya çıkan 4 milyon ton inşaat ve yıkıntı atık miktarının ikiye katlanması düşünülmektedir [47]. Bu süreçte katlanarak artmaya devam eden inşaat ve yıkıntı atıklarının istiflenmesi sorununun çözülmesiyle bu atıklardan kaynaklanan çevre kirliliğinin giderilmesi ve ülke ekonomisine katkı sağlanması, ülkemizde temel politika haline getirilmelidir [48]. İnşaat ve yıkıntı atıkları segmentleri; inşaatın yapısına, inşaatla kullanılan malzemelerin içeriğine bağlı olarak değişmektedir. Standart yapıda ki bir betonarme; beton, sıva, tuğla, tahta, cam, kiremit, plastik, elektrik malzemeleri ve çelik gibi malzemeleri içermektedir [46].

Dünya geneline baktığımızda ise, Avrupa ülkelerinde doğal afetlerden ve insan faktöründen kaynaklanan inşaat ve yıkıntı atıkları yılda 180 milyon ton, Amerika Birleşik Devletlerinde ise bu rakam 136 milyon tondur. 136 milyon ton inşaat ve yıkıntı atığının %43'ü binalardan, %57'si ise diğer kaynaklardan meydana gelmektedir. 2004 yılı istatistiklerine göre Hong Kong'da ortalama 20 milyon ton inşaat ve yıkıntı atığı meydana geldiği belirtilmiştir, Avustralya'nın Sydney kentinde ise katı atıkların %60'nı inşaat ve yıkıntı atıkları oluşturmaktadır. İngiltere'de inşaat ve yıkıntı atığının %9,2'si geri dönüşümde kullanılmaktadır, %51,2'si ise istiflenmektedir ve yılda ortalama 53,5 milyon ton inşaat ve yıkıntı atığı oluşmaktadır [46]. Ülkemizde ise 2014 Ulusal Atık Yönetimi Planı (UAYP) verilerine bakıldığında inşaat ve yıkıntı atıklarının yönetimi ile ilgili sınırlı veri girişinin olduğu bilinmektedir. 2014 yılında ortalama 100 milyon tondan fazla inşaat yıkıntı atıkları ve hafriyat bertaraf edilmiş ya da geri kazanılmıştır. 2023 yılında ise hafriyat ve inşaat yıkıntı atıklarının ortalama 300 milyon ton olması beklenmektedir [49].

2.4.1. Atık Plastikler

Plastik atıkları, geri dönüşüm işlemi ile lifli hale getirilebilmektedir. Lifli hale gelen atık plastikler belli oranlarda çimento ikamesi, mineral katkıları ile ayrı ayrı karıştırılarak ya da direk çimento ikamesi şeklinde, hafif beton veya plastik özelliğe sahip harç olarak kullanılabilir [50].

Plastik ürün kullanılarak yapılan çalışmaların ilkinde polietilen bardaklardan çimentosuz beton üreten araştırmacılar, ürettikleri betonun eğilme, basınç, tokluk, su emme ve aşınma dirençlerini incelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda basınç dayanımlarının yüksek, aşınma dirençleri ve su emmelerinin düşük olduğunu belirtmişlerdir [50]. Bir başka çalışmada; atık plastikleri beton içinde agrega ve agrega ikamesi olarak kullanan araştırmacılar; elde edilen betonu birim ağırlığı ve mukavemet özelliklerinden dolayı hafif beton sınıfında incelemişlerdir. Ayrıca elde ettikleri hafif betonlarla; depreme dayanıklı yapılar üretilerek, deprem sırasında oluşabilecek sismik riskin en aza indirgenebileceğini gözlemlemişlerdir [51]. Bir diğer çalışmada ise, plastik katkılı hafif betonların pek çok alanda (bariyerler, ulaşım yapıları, köprü ve demiryolu bağlantıları gibi) kullanıldığını belirtmişlerdir [52]. Atık plastiklerin %0, %10, %15 ve %20 oranında agrega ikamesi olarak kullanan araştırmacılar ise betonda mikro çatlakların durduğunu [53], pet malzemelerin beton içinde elyaf takviyesi olarak kullandıkları bir çalışmada ise elde edilen numuneler üzerinde SEM (scanning electron microscope) analizleri gerçekleştirerek betonun yüzey sertliklerinde azalmalar meydana geldiğini tespit etmişlerdir [54].

2.4.2. Atık Lastikler

Günümüzde atık lastik yönetimi ciddi ve büyüyen bir sorundur [55]. Atık lastiklerin doğaya verdiği zarar, çözülebilir ve zehirli maddeleri bünyesinde barındırarak artmasına neden olmaktadır. Bu atıkların; çimento fırınlarında yakılması, beton üretiminde agrega olarak veya bağlayıcı olarak kullanılması şeklinde geri dönüşümleri çevreye zarar vermeden sağlanabilmektedir [56]. Bu atıkların geri dönüşümünün karayolu inşaat sektöründe yapılması ciddi bir pazar alanı oluşturmaktadır. Ancak geri dönüşüm esnasındaki aşamalar maliyeti 10 kat arttırmaktadır [57]. Atık lastiklerin betonda kullanılması, betona tokluk özelliği katmaktadır ve betonun aniden kurumasını önleyerek oluşabilecek rötre çatlaklarını engellemektedir [58].

Betonun mekanik özelliklerini arttırmak için yapılan çalışmada araştırmacılar, agregaya yerine %10 dönüşümü sağlanmış atık lastikleri kullanarak beton üretmişlerdir. Bu betonun silis dumanı ve bağlayıcı olarak alkali reaksiyondan geçirilmiş lastik katarak elde ettikleri numunelerle karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda elde ettikleri numunelerle kontrol numunelerini karşılaştırdıklarında; basınç dayanımında %14, elastisite modülünde %49 düşüş gözlemlenmiştir. Bununla beraber agregaya ile değiştirilmiş lastik katkılı betonun yoğunluğunun %13, bağlayıcı modifikasyonlu betonun ise yoğunluğunun %9 azaldığını belirtmişlerdir [58]. Atık lastiklerin ince ve iri agregaya olarak kullanıldığı bir başka çalışmada ince agregaların iri agregalara göre daha iyi sonuç verdiğini tespit etmişlerdir [59]. Kendiliğinden yerleşen betona %22,2 ve %33,3 oranlarında geri dönüştürülmüş lastikleri ilave ederek taze betonun özelliklerini inceledikleri çalışmada araştırmacılar elde edilen sonuçlara göre temel özelliklerin sağlandığını belirtmişlerdir [60]. Yine başka bir çalışmada atık lastikleri %15 oranında agregaya ile değiştiren araştırmacılar bu değişimi ise iki farklı şekilde gerçekleştirmişlerdir. Bunlardan birincisi lif, ikincisi ise rastgele şekilli parçalardır. Yapılan çalışma sonucunda lifli numunelerin diğer numunelere göre basınç dayanımının %11, çekmede yarma dayanımının ise %13 daha iyi olduğunu gözlemlenmiştir [61].

2.4.3. Tarımsal Atıklar

Tarımsal atıklar, diğer atık çeşitlerine göre çevreye en az zarar veren atık çeşitleridir ve ekosistemde daha hızlı bir şekilde yok olan atıklardır. Tarımsal atıkların en uygun şekilde değerlendirilmesi oluşabilecek çevresel sorunları en aza indirger, hammadde kaynaklarının daha bilinçli kullanılmasına imkân sağlar ve ekonomiye katkı da bulunur [62]. Tarımsal atıkların daha kolay istiflenmesi ve taşınması için en eski yöntem olan balyalama, geri dönüşüm için en etkin yöntemdir. Bir ülkenin tarımsal atıklarını kullanarak biyokütle enerji sağlayabilmesi için var olan potansiyelin başarılı bir şekilde kullanılabilmesi ve bu kaynakların erişilebilir olması gerekmektedir. Atıkların yerinde ve kontrollü bir şekilde istiflenmesi, üretilen enerjinin ekonomik değerini arttıracaktır [63].

Tarımsal atıkların betonda değerlendirilmesi ile ilgili yapılan incelemede tarımsal atıkların kullanılmasının geri dönüşüm için etkili bir yöntem olup, çimento içerisine; pirinç kabuğu külü, hurma yağı külü, ahşap atık külü, mısır koçanı külü, bambu yaprak külü gibi tarımsal atıkların kullanılmasıyla başarılı sonuçların elde edilebileceği

belirtilmiştir [64]. Agregada malzemesi olarak pirinç kabuğu, bağlayıcı olarak da çimento kullanarak hafif beton üretimi gerçekleştiren araştırmacılar, yapılan çalışma sonucunda pirinç kabuğu kullanılan numunelerin su emme oranını arttırdığı, ısı iletkenliğini ise düşürdüğünü gözlemlemişlerdir. Yine numunelerin 28 günlük basınç dayanımlarının 37,5 MPa'a ulaştığını ve pirinç kabuğu ile üretilen malzemelerin tarımsal yapılarda yalıtım betonu olarak kullanılabileceği sonucuna ulaşmışlardır. Şeker kamışı posası külü ile ilgili yapılan bir başka araştırmada ise, külün beton içerisinde mineral katkı olarak kullanıldığını ve istenilen sonuçların elde edilemediğini belirtmişlerdir. Bunun nedeninin külün çok nemli olması ve ne kadar yüksek ısılar da yakılırsa yakılsın silika kristallerini içerisinde bulundurmasından kaynakladığını, bu da yapılan çalışmaların kum olarak kullanılması üzerinde yoğunlaşılmasına neden olduğunu belirtmişlerdir [66]. Şeker kamışı posası külü ile çalışan araştırmacılar ise, malzemeye elek analizi uygulamış ve incelik modülünün 0,6 - 1,2 arasında olduğu için ince kum olarak değerlendirmişlerdir. Ayrıca ürettikleri numunenin birim ağırlığının 2730 kg/m³ ve 28 günlük basınç dayanımlarının 52 - 56 MPa arasında değiştiğini tespit etmişlerdir [67].

2.4.4. Boya Atıkları

Boya atıkları tehlikeli atıklar sınıfında incelenmektedir. Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği ile boyanın üretiminden, yok edilmesine kadar geçen süre takip edilmektedir. Doğaya rastgele bırakılamayan boya atıklarının geri dönüşümü ise büyük önem taşımaktadır [68].

Boya atıkları ile yapılan çalışmalarda; atık boyaları kimyasal katkı malzemesi olarak kullanan araştırmacılar işlenebilirliği arttırmak amacıyla karışım suyuna eklenen atık boyanın optimum %12 olabileceğini belirtmişlerdir. Çalışmanın sonucunda atık boyanın geleneksel kimyasal katkılara oranla işlenebilirlik ve mukavemet üzerinde daha iyi sonuçların elde edildiğini gözlemlemişlerdir [69]. Atık boyaların beton karışımlarında %0, %25, %75 ve %100 oranında kullanıldığı bir başka çalışmada ise, betonun klorür geçirimsizliği, işlenebilirliği ve eğilmede çekme dayanımlarını incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda %25 oranında kullanılan atık boyalı numunelerin basınç dayanımları, eğilme dayanımları ve klorür geçirimsizliğinin referans numuneye göre daha iyi sonuç verdiği belirtilmiştir [70].

2.4.5. Tehlikeli Atıklar

Tehlikeli nitelikte olan atıklar içerisindeki zararlı kimyasallar ve diğer maddeler sebebiyle insan ve çevre sağlığına kalıcı hasarlar verebilmektedir. Bu gibi atıkların özel yöntemlerle toplanıp, taşınması, geri kazanılması veya yok edilmesi gerekmektedir [71]. Tehlikeli atıkların büyük çoğunluğu endüstriyel kaynaklı olmakla birlikte, endüstriyel olmayan evsel tehlikeli atıklardan da bahsetmek mümkündür [72].

Evsel katı atık külleri ile ürettikleri beton numunelerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerini inceleyen araştırmacılar, numunelerin 28 günlük basınç dayanımlarının 25 MPa olduğunu gözlemlemişlerdir [73]. Bir diğer çalışmada araştırmacılar, hazırlanan deney numunelerinde %10'a kadar kullanılan katı atık küllerinin betonda basınç dayanımının ve büzülmesinin üzerinde etkisinin olmadığını belirtmişlerdir [74].

2.4.6. Poliüretan Köpük

Poliüretan köpük atıklarının agrega ikamesi olarak kullanıldığı araştırmada, üretilen numuneler üzerinde taze ve sertleşmiş harç deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda poliüretan köpük atık miktarı arttıkça işlenebilirliğin ve mekanik özelliklerin azaldığı belirlenmiştir [75]. Bir başka poliüretan köpük atığının agrega olarak kullanıldığı çalışmada, üretilen numunelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri incelemiştir. Çalışma sonucunda elde edilen hafif betonun yoğunluğu, normal betonun yoğunluğuna göre %29-%36 daha az olduğunu belirtmişlerdir [76]. Poliüretan köpük atığının bu kez sıva malzemesi olarak kullanan araştırmacılar sıvanın ısı işlem görmesiyle alçı numunesi üretimi gerçekleştirmişlerdir. Üretilen numunelerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda poliüretan köpük atığı içeren alçı numunelerinin, geleneksel malzemelerle hafifletilmiş alçı numuneleri ile karşılaştırılabilir özellikte olduklarını belirtmişlerdir [77].

2.4.7. Beton Atıkları

Beton atıkları; doğal afetlerden kaynaklanan atıklar, kentsel dönüşüme girmiş yapıların yıkımından çıkan atıklar, yangın sonrasında çıkan atıklar veya yetersiz beton üretimi, kalite kontrol sonrasında uygunsuz olarak üretim sahasında kalan malzemelerden elde edilmektedir [78], [79].

Kırma agrega gruplarından %0, %10, %20, %30, %40 ve %50 oranlarında azaltılarak yerine geri dönüşüm agregası ikame edilen çalışmada araştırmacılar, çalışma sonucunda

geri dönüşüm agregasının beton üretiminde kullanılabileceğini belirtmişlerdir [80]. Bir başka çalışmada ise araştırmacılar, yapmış oldukları çalışmada beton atıklarının, kırma işlemlerinden geçtikten sonra iri ve ince agrega olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir [81].

2.4.8. Cam Atıkları

Camın geri dönüşümü, atık camın eritilerek yeniden kullanılabilir hale getirilmesi işlemidir. Toplanan atık camların renkli ve kirli olması tekrar kullanılabilir olmasında engel oluşturmaktadır. Atık camın, betonda geri dönüşüm malzemesi olarak kullanılabilirliği ekonomik bir yöntemdir [82]. Atık malzemelerin, yapı malzemesi olarak inşaat sektöründe alt yapı ve üst yapıda kullanılabilir olması faydalı bir uygulama yöntemidir [83].

Cam atıklarının agrega ikamesi olarak kullanılabilirliğinin incelendiği çalışmada araştırmacılar; atık cam malzemesinin agrega olarak kullanılmasının taze betonda çökme hızında, hava muhtevasında ve taze birim aralığında azalmaya neden olabileceğini belirtmişlerdir [84]. Bir başka çalışmada araştırmacılar; cam atıklarını, portland çimentosuna %5, %10, %15, %20, %25 ve %30 oranlarında ikame ederek deney numuneleri hazırlamışlardır. Hazırlanan numuneler üzerinde taze ve sertleşmiş harç deneylerini uygulamışlardır. Çalışmanın sonucunda cam atıklarının maksimum %30'u geçmemesi durumunda çimentonun genel özelliklerini olumsuz etkilemesine rağmen mukavemetin önemsenmediği (saha betonları gibi) durumlarda kullanılabileceğini belirtmişlerdir [85]. Atık camın agrega ikamesi olarak kullanıldığı çalışmada, kullanılan cam atıklarındaki silikanın betonda genleşmeye ve çatlaklara yol açabileceğinden dolayı farklı agrega ikameleri denenmiştir. Uzun bir zaman devam ettirilen çalışma sonucunda atık camların agrega olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir [86].

2.4.9. GRC Atığı

Beton sektöründe geri dönüşüm için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Japonya'da atık betonların kırılmasıyla geri dönüştürülmüş agregaların kullanılması için Japonya Endüstriyel Standardı oluşturulmuştur. Bu çalışmalar sonucunda GRC'nin geri dönüşüm ihtiyacı artmıştır [87].

GRC'nin geri dönüşümü ile ilgili yapılan çalışmada, geri dönüştürülmüş GRC ürününü, agrega ve çimento ikamesi olarak kullanmışlardır ve hazırlanan numunelerde betonun

fiziksel özelliklerini incelemişlerdir. Ayrıca GRC üzerinde yaşlandırma testleri yaptıktan sonra iri ve ince agrega haline getirmişlerdir. Çalışmanın sonucunda atık GRC'nin, tekrar GRC üretiminde ve geleneksel beton karışımında agrega ve çimento ikamesi olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir. [87]



3. MATERİYAL VE METOD

3.1. MATERİYAL

3.1.1. GRC (Cam Elyaf Takviyeli Beton) Atığı

Bu çalışmada, üretim esnasında uygulamadan kaynaklanan kabul görmeyen, paketleme ve nakliye esnasında hasar görmüş olan GRC atık malzemeleri kullanılmıştır. GRC atık malzemeleri sprej yöntemiyle 32 mm cam elyaf kullanılarak üretilen en az 730 günlük malzemelerden oluşmaktadır (Şekil 3.1). Üretim yöntemi Şekil 3.2’de verilmiştir. Atık malzemeler mekanik yollarla toz haline getirilmiştir. (Şekil 3.3). Öğütülmüş GRC atıklarına ait kimyasal analizi Çizelge 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Atık GRC ürünleri.



Şekil 3.2. GRC üretimi.



Şekil 3.3. Atık GRC ürünlerinden elde edilen numune.

Çizelge 3.1. Öğütülmüş GRC atık malzemesinin kimyasal sonuçları.

Kimyasal Bileşikler (%)	Öğütülmüş GRC Atığı
SiO ₂	55,71
Al ₂ O ₃	4,64
Fe ₂ O ₃	0,38
CaO	19,59
MgO	0,43
K ₂ O	0,5
Na ₂ O	0,37
SO ₃	0,31
P ₂ O ₅	0,05
TiO ₂	0,68
Cr ₂ O ₃	0,0045
Mn ₂ O ₃	0,0001
LOI	16,93
Toplam	99,59
SIM	11,1
ALM	12,21

3.1.2. Silis Agregası

Karışımlarda Çeliktaş Anonim Şirketi (A.Ş.) tarafından üretilen 30-35 Afs aralığında tane boyutuna sahip silis agregası kullanılmıştır. Fibrobeton A.Ş.'den temin edilen silis agregasına ait tane dağılımı ve kimyasal analizi Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3'de verilmiştir [88].

Çizelge 3.2. 30-35 Afs silis agregası tane dağılımı.

Elek Boyutu (mikron)	Kabul Aralığı (%)	Analiz Sonucu (%)
+100	0-7	4,0
710-1000	2-12	10,3
500-710	20-40	29,7
355-500	15-45	33,4
250-355	2-25	16,3
180-250	1-10	4,9
125-180	0-2	1,2
90-125	0-1	0,2
0-90	0	0,0
AFS	30-35	32.4 AFS
KİL	Max: 0,25	0,20

Çizelge 3.3. 30-35 Afs silis agregasının kimyasal sonuçları.

Bileşen	Miktarı (%)
SiO ₂	98,60
Fe ₂ O ₃	0,13
MgO	0,03
CaO	0,01
K ₂ O	0,09
Na ₂ O	0,02
Al ₂ O ₃ ve Diğerleri	1,12

3.1.3. Çimento

Çalışmada TS EN 197-1 standardına uygun olarak üretilen CEM I 52,5 R beyaz portland çimentosu kullanılmıştır. Çimsa Çimento Sananayi A.Ş. tarafından üretilen çimento, Fibrobeton A.Ş.’den temin edilmiştir. Çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 3.4’de verilmiştir [89].

Çizelge 3.4. CEM I 52,5 R Beyaz portland çimentosu.

Bileşen (%)	CEMI 52,5 R	TS EN 197-1 (max)	Fiziksel ve Mekanik Özellikleri		TS EN 197-1
Çözünmeyen Kalıntı	0,18	5,0	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	3,06	-
SiO ₂	21,6	-	Özgül Yüzey (Blaine) (g/cm ³)	4600	-
Al ₂ O ₃	4,05	-	Beyazlık (CIE sistemine göre, Y değeri (%))	85,5	85,0 min
Fe ₂ O ₃	0,26	-	Priz Başlangıcı (dk)	100	45,0 min
CaO	65,7	-	Priz Sonu (dk)	130	-
MgO	1,30	-	Su (%)	30	-
SO ₃	3,30	4,0	Hacim Sabitliği (Le Chateller) (mm)	1,0	10,0 max
Kızdırma Kaybı	3,20	5,0	0.045 mm Elekte Kalıntı (%)	1,0	-
Na ₂ O	0,30	-	0.090 mm Elekte Kalıntı(%)	0,1	-
K ₂ O	0,35	-	2 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	37,0	30,0 min
Klorür (Cl ⁻)	0,01	0,1	7 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	50,0	-
Serbest CaO	1,60	-	28 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	60	52,5 min

3.1.4. Akışkanlaştırıcı

Polikarboksilat esaslı hiperakışkanlaştırıcı katkısı Fibrobeton A.Ş.'den temin edilmiştir. Kullanılan hiperakışkanlaştırıcının fiziksel özellikleri Çizelge 3.5'de verilmiştir [90].

Çizelge 3.5. Kullanılan akışkanlaştırıcının fiziksel özellikleri.

Fiziksel Özellikler	
Görünüm	Açık kahverengi
Koku	Karakteristik
Toplam katı içerik (%)	Yaklaşık %55 w/w
pH	2,5
Spesifik yoğunluk	1,11 g/cm ³ (25 °C)
Viskosite	500 cps (25 °C)

3.1.5. Cam Elyaf

Kullanılan cam elyafı Nippon markalı olup Fibrobeton A.Ş.'den temin edilmiştir ve hazırlanan deney harcına alkali dirençli (AR) %3 oranında kırılmış 12 mm cam elyafı ilave edilmiştir (Şekil 3.4). Cam elyafın fiziksel özellikleri Çizelge 3.6'de verilmiştir [91].

Çizelge 3.6. Cam elyafın teknik özellikleri.

Fiziksel Özellikleri	
Görünüm	Beyaz cam elyaf, katı
Koku	Kokusuz
Erime noktası	Yaklaşık 820 °C
Sudaki çözünürlük	Çözünmez
Spesifik yoğunluk	2,8 kg/lt
Stabilite	Normal koşullarda kararlı
Tex sayısı	2543 (2500±250)
Nem içeriği	%0,04 (max 0,5)
Gerilme direnci	0,494 N/tex (min 0,245)
Kızdırma kaybı	%1,22 (1,2±0,3)
ZrO ₂ oranı	%17,2 (min 16,0)



Şekil 3.4. AR kırılmış 12 mm cam elyaf.

3.1.6. Metakaolin

GRC üretimine uygun kullanılan metakaolin, Fibrobeton A.Ş.'den temin edilmiştir (Şekil 3.5). Metakaolinin kimyasal özellikleri Çizelge 3.7'da verilmiştir [92].



Şekil 3.5. Metakaolin

Çizelge 3.7. Metakaolinin kimyasal özellikleri.

Bileşen	Miktarı (%)
SiO ₂	59,78
Al ₂ O ₃	10,23
Fe ₂ O ₃	0,44
CaO	9,91
MgO	1,59
K ₂ O	0,90
Na ₂ O	0,05
SO ₃	1,25
P ₂ O ₅	0,04
TiO ₂	0,15
Cr ₂ O ₃	0,0186
Mn ₂ O ₃	0,0077
Kızdırma Kaybı	16,24

3.1.7. Polimer

GRC üretiminde kullanılan akrilik polimer katkı malzemesi Betton Yapı Kimyasalları tarafından üretilmektedir. Polimer Fibrobeton A.Ş.'den temin edilmiştir, fiziksel ve kimyasal özellikler Çizelge 3.8'de verilmiştir [93].

Çizelge 3.8. Akrilik polimer katkı malzemesinin fiziksel ve kimyasal özellikleri.

Polimer katkısının fiziksel ve kimyasal özellikleri	
Hali ve Rengi	Sıvı ve beyaz
Kokusu	Kokusuz
pH	4 – 7,5
Kaynama Noktası	100 °C
Erime Noktası	Mevcut değildir
Parlama Noktası	> 60 °C
Patlama Özelliği	Patlayıcı değildir
Isıl Ayrışma Özelliği	> 320 °C
Yoğunluk	1,0 – 1,1 g/cm ³
Çözünürlük	Suda çözünür

3.1.8. Su

Araştırmada Düzce şehir içme suyu şebekesinden temin edilen su kullanılmıştır.

3.2. METOD

Bu başlık altında numune karışım hesabı, döküm yöntemi, taze ve sertleşmiş numunelere uygulanan deney yöntemleri açıklanmıştır. Çalışmada üretilen her bir numune serisi için karışım malzemesinin oranına göre kodlamalar yapılmıştır. Kullanılan kodlamalara ait bilgiler Şekil 3.6’da verilmiştir.

 % Rec GRC	Seri Adı	Cam Elyaf Çimentosu İçeriği (%)
		0
		5
		10
		15

Şekil 3.6. Çalışmada kullanılan kodlara ait bilgiler.

3.2.1. Karışım Oranlarının Belirlenmesi

Çalışmada; kontrol numunelerinin üretiminde çimento, silis agregası, metakaolin, polimer, akışkanlaştırıcı, su ve 12 mm uzunluğunda kırılmış cam elyaf kullanılmıştır. Çimentonun ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında öğütülmüş GRC ikame edilmesiyle de diğer deney numuneleri üretimi gerçekleştirilmiştir. Numunelerin malzeme karışım dizaynı Çizelge 3.9’da verilmiştir.

Çizelge 3.9. Malzeme karışım dizaynı

Malzeme	%0RecGRC	%5RecGRC	%10RecGRC	%15RecGRC
Çimento CEMI 52,5 R (kg)	45	42,75	40,50	38,25
GRC (öğütülmüş) (kg)	-	2,25	4,50	6,75
Metakaolin (kg)	5	5	5	5
Silis Kumu (kg)	50	50	50	50
Su (kg)	16	16	16	16
Polimer (kg)	1,65	1,65	1,65	1,65
Akışkan (kg)	0,130	0,160	0,160	0,163
12 mm Cam Elyaf (%)	2,75	2,75	2,75	2,75

Numune üretiminde ilk olarak kuru malzemeler (çimento, agrega ve metakaloin) karıştırılmıştır (Şekil 3.7). Kuru malzemelerden homojen bir karışım elde edildikten sonra sıvılar (su ve akışkanlaştırıcı) ilave edilerek mikser yardımı ile karıştırılmaya devam edilmiştir.



Şekil 3.7. Kuru karışımların hazırlanması.

Hazırlanan numunelerin dökümü premiks şeklinde olacağı için karıştırma işlemi bittikten sonra 12 mm kırılmış cam elyaflar harcın içerisine elle ilave edilmiştir (Şekil 3.8).



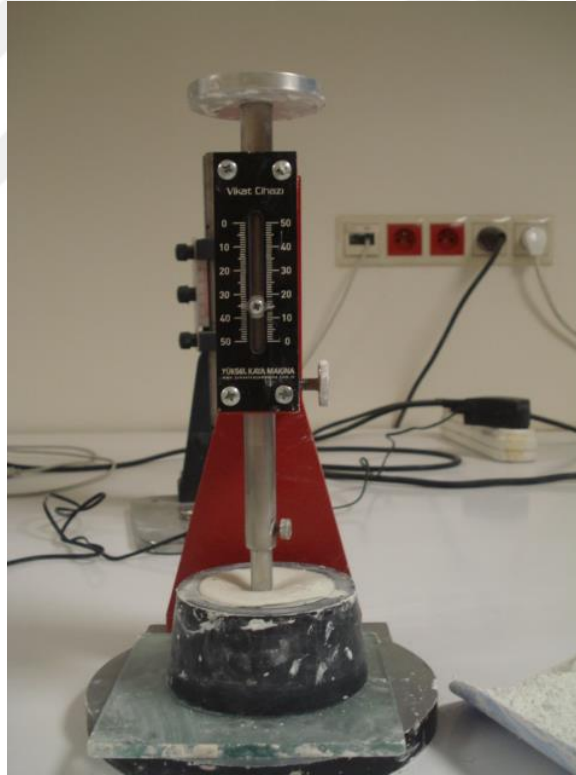
Şekil 3.8. Cam elyafların harca ilave edilmesi.

Üretilen numuneler 24 saat gerçek imalatı temsil edecek şekilde kalıpta bekletildikten sonra kalıptan çıkarılan numuneler havada ve suda olmak üzere deney günlerine kadar uygun kür şartlarında bekletilmiştir.

3.2.2. Taze Harç Deneyleri

3.2.2.1. Standart Kıvam Tayini

Standart kıvam tayininin amacı, sertleşmiş harç deneyleri için kullanılacak optimum su miktarının tayin edilmesidir. Çalışmada numuneler bağıl nemin en az %50 ve ortam sıcaklığının 20 ± 2 °C olduğu laboratuvar ortamında üretilmiştir. Deney TS EN 196-3 standardına uygun yapılmıştır [94]. Çimento pastası, çimentonun (CEMI 52,5 R) $500 \text{ g} \pm 1 \text{ g}$ doğrulukla tartılarak standartta verilen ortalama su (125 g) miktarının karışımıyla hazırlanmıştır. Hazırlanan çimento pastası kesik koni şeklinde, derin derinliği $40 \pm 2 \text{ mm}$, iç çapı $75 \pm 10 \text{ mm}$ olan vicat kalıbına doldurulmuştur. Vicat cihazının ucundaki sonda, pastanın üzerine yavaşça bırakılmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Sondanın çimento pastasına bırakılması.

Sondanın çimento pastasına batması durana kadar beklendikten sonra okunan değer $6 \pm 2 \text{ mm}$ oluncaya kadar bu işlem referans numunesi için tekrarlanmıştır. İstenilen optimum

su miktarı belirlendikten sonra GRC atıklarının çimento ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 miktarında yer değiştirmesiyle hazırlanan çimento pastaları için de gerçekleştirilmiştir.

3.2.2.2. Priz Süresi Tayini

Priz süresi tayini testi TS EN 196-3 standardına uygun bir şekilde yapılmıştır [94]. Priz başlangıç tayini için kıvam deneyinde kullanılan çimento pastası standarda uygun şekilde, cam plaka üzerinde kesik koni şeklindeki kaba doldurulmuştur. Yapılacak deney için vicat aletine TS EN 196-3 standardına göre uzunluğu en 45 mm ve çapı $1.13 \pm 0,05$ mm olan iğne yerleştirilmiştir.

Vicat iğnesi çimento pastası yüzeyine temas edinceye kadar indirilmiştir ve iğnenin düşmemesi için 1-2 saniye kadar beklenmiştir. Daha sonra hareketli kısım birden çimento pastasının üzerine bırakılmıştır. İğne ile taban plakası arasında ki mesafe 6 ± 3 mm'ye ulaştığında okunan süre priz başlangıcı olarak kaydedilmiştir.

Priz bitiş tayinde, deney numunesinin yüzeyine aynı kalınlıkta cam plaka yerleştirilerek priz başlangıç tayininde olduğu gibi iğne yüzeye temas edinceye kadar indirilmiştir ve iğnenin hızla düşmemesi için 1 - 2 saniye beklenmiştir. İğnenin, numune yüzeyine 0,5 mm girdiği andan itibaren batırma işlemleri sıklaştırılmıştır ve kesin sonuç elde edildiğinde priz bitiş süresi olarak kaydedilmiştir.

3.2.2.3. Genleşme Deneyi

Genleşme deneyi TS EN 196-3 standardına uygun şekilde gerçekleştirilmiştir [94]. Kıvam deneyinde elde edilen optimum değerler ile her bir numune için tekrar çimento pastaları hazırlanmıştır. Hazırlanan çimento pastaları standartta belirtilen Le Chatelier cihazına yerleştirilmiştir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Le Chatelier cihazına yerleştirilen numune.

Numunelerin kalıba yerleştirilmesi sırasında yarıktan çimento pastasının çıkması engellenmiştir. Hazırlanan test numuneleri standartta belirtilen $24 \pm 0,5$ saat süre ile bağıl nemin %90 olduğu ortamda ve 20 ± 1 °C’de su banyosunda bekletilmiştir. Süre sonunda göstergeler arasındaki mesafe 0,5 mm’ye yuvarlatılarak kayıt altına alınmıştır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Le Chatelier cihazında değer okuması.

Okunan değerlerden sonra suyun 30 ± 5 dakika süreyle kaynama noktasına gelmesinin ardından test numuneleri kaynamakta olan suyun içine yerleştirilerek içinde 3 saat ± 5 dakika bekletilmiştir. Bu işlem sonunda iğneler arasındaki mesafe 0,5 mm’ye yuvarlatılarak okunmuştur ve sonuçlar kaydedilmiştir. Yapılan okumaların sonuçları, son okuma (-) ilk okuma şeklinde hesaplanarak milimetre cinsinden kaydedilmiştir. Doğru sonuçlar elde edebilmek amacı ile her karışım için üç deney numunesi hazırlanmıştır ve ortalamaları alınarak kaydedilmiştir.

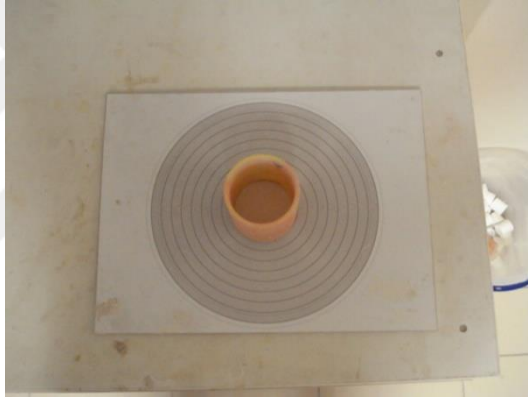
3.2.2.4. Slamp Deneyi

Slamp deneyi TS EN 1170-1 standardına göre yapılmıştır [95]. Numuneler için gerekli olan su miktarları taze harç deneylerinde (kıvam deneyi) belirlenmiştir. Bu miktarlar referans alınarak slamp deneyi için elyafli ve elyafsız harç karışımları hazırlanmıştır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Karışımların hazırlanması.

Yüksekliği $55 \pm 0,5$ mm ve iç çapı $57 \pm 0,5$ mm olan altı ve üstü açık huni ve kolay temizlenebilen, boyutları 300×300 mm, yüzeyi pürüzsüz ve $\pm 0,5$ tolerans ile dokuz eş daireden oluşan tabla kullanılmıştır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Çimento slump gereçleri.

İçi harç ile doldurulan huni yüzeyi mala yardımı ile düzeltilerek yavaşça çekilmiştir. 30 sn beklendikten sonra tabla üzerindeki değer bir cetvel yardımı ile okunmuştur (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Slamp değerinin okunması.

3.2.3. Sertleşmiş Harç Deneyleri

3.2.3.1. Eğilme Dayanımı Deneyi

Eğilme deneyi TS EN 1170-5 e göre yapılmıştır [96]. Numunelerin dökümleri $600 \times 600 \times 12$ mm boyutlarındaki plakalara premiks yöntemi ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.15). Numuneler 6 güne kadar gerçek imalat şartlarında bekletilmeye devam edilmiştir. 7 günlük olabilmesi için 20 ± 2 °C’de su dolu tankta ise 24 saat bekletilmiştir. 7. günde plakalar tanktan çıkarılmıştır ve 12L – 12T şeklinde, uzunluğu 275 mm ve genişliği 50 ± 2 mm boyutlarında plaka şeklinde kesilmiştir. Elde edilen numuneler 2L (numunenin kalıp yüzeyine değen kısmı) ve 2T (numunenin döküm yüzeyi) şeklinde 7 günlük eğilme testine tabi tutulmuştur (Şekil 3.16). Bu işlemlere deney numunelerinin 28 günlük olmasına kadar devam edilmiştir.



Şekil 3.15. Numunelerin premiks yöntem ile üretimi.

Testin amacı eğilmeye maruz kalmış GRC bileşimli bir malzemenin orantısal limiti (LOP) ve kırılma anındaki gerilim ve deformasyon (MOR) performansını belirlemektir.



Şekil 3.16. Eğilme testinin gerçekleştirilmesi.

Eğilme testi kırım sonuçları her bir karışım için 7, 28 ve 90 günlük şeklinde takip edilmiştir. Kırım sonuçlarında TS EN 15191 standardında verilen premiks uygunluk değerleri referans alınmıştır [97].

Eğilme testi sonucundaki numunelerin gerilme değerleri 3.1 ve 3.2'ye göre hesaplanmıştır.

$$\sigma_{LOP} = \frac{F_{LOP} \times L}{b \times d^2} \quad (3.1)$$

$$\sigma_{MOR} = \frac{F_{MOR} \times L}{b \times d^2} \quad (3.2)$$

Burada;

σ : Eğilme dayanımı (MPa)

F: Kırılma anında ulaşılan en büyük yük (N)

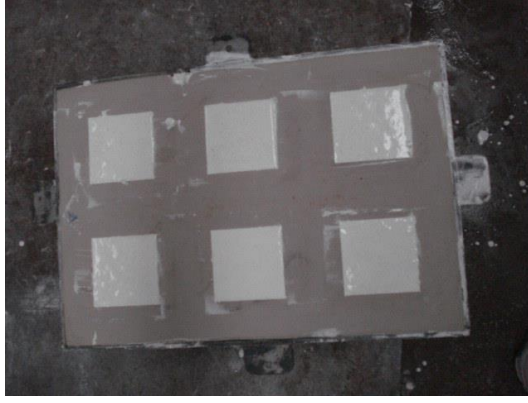
L: Mesnetler arası uzaklık (mm)

b: Numune genişliği (mm)

d: Numune yüksekliği (mm)

3.2.3.2. Basınç Dayanımı Deneyi

Basınç dayanımı deneyi TS EN 196-1 standardına uygun bir şekilde yapılmıştır [98]. Her ikame oranına göre karışımlar hazırlanmıştır ve karışımlar 50 × 50 × 50 mm küp kalıplara dökülmüştür (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. Numunelerin kalıplara dökümü.

Her deney serisi 1, 7, 28 ve 90 günlük kür süreleri sonunda kırılmak üzere toplamda her karışım için 15 adet küp numune üretimi gerçekleştirilmiştir. Deney numuneleri kalıpta 24 saat gerçek imalat şartlarında bekletildikten sonra kalıptan çıkartılmıştır. 24 saat sonunda numunelere basınç dayanımı testi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.18). Çıkan sonuçlar 3.3'ye göre hesaplanmıştır.



Şekil 3.18. Deneye tabi tutulan numune.

$$R_c = \frac{F_c}{A_c} \quad (3.3)$$

Burada;

R_c : Basınç dayanımı (N/mm²)

F_c : Kırılmadaki en büyük yük (N)

A_c : Numunenin kesit alanı (mm²)

3.2.3.3. Su Emme ve Kuru Yoğunluk Deneyi

Su emme ve kuru yoğunluk deneyi TS EN 1170-6 standardına uygun bir şekilde yapılmıştır [99]. Numunelerin boyutları standartta belirtildiği şekilde 275 ± 2 mm uzunluğunda 50 ± 2 mm genişliğinde 2L ve 2T olarak belirlenmiştir. Her deney numunesi

boyutları ölçölüp hacimleri hesaplanmıştır. Daha sonra numuneler 7 günlük olana kadar (20 ± 3 °C) su içinde bekletilmiştir. Deney numuneleri 7. günde sudan çıkartılıp nemli bez ile kurulandıktan sonra 0,1 gr hassasiyette ki terazi ile tartılıp ağırlıkları ölçülmüştür. Numuneler ortalama 7 gün 110 °C sıcaklığa ulaşana kadar etüvde kurutulmuştur. Etüvden çıkarılan numuneler oda sıcaklığına ulaştığında 0,1 gr hassasiyette ki terazi ile tartılıp ağırlıkları ölçülmüştür. Sonuçlar 3.4 ve 3.5'e göre hesaplanmıştır.

$$\gamma = \frac{m_w - m_d}{m_d} \times 100 \quad (3.4)$$

Burada;

γ : Su emme miktarı (%)

m_w : Islak kütle (gr)

m_d : Kuru kütle (gr)

Kuru yoğunluk sonuçlarının hesaplanması;

$$P_d = \frac{m_d}{V} \times 10^3 \quad (3.5)$$

Burada;

P_d : Kuru yoğunluk (gr/m³)

m_d : Kuru kütle (gr)

V : Hacim (cm³)

3.2.4. Durabilite Deneyleri

3.2.4.1. Isıtma-Yağmur Etkisi Deneyi

TS EN 12467 standardına uygun olarak gerçekleştirilen bu deney, imalat şartlarına uygun her karışım için birer adet 600 × 600 × 12 mm premiks numune dökümü gerçekleştirilmiştir [100]. Numune levhaları 28 günlük kürünü tamamladıktan sonra Fibrobeton Yapı Elemanlarının kendi üretimi olan ısıtma-yağmur etkisi kabine silikon yardımı ile asılmıştır (Şekil 3.19; 3.20).



Şekil 3.19. Isıtma-yağmur etkisi deney kabini.



Şekil 3.20. Isıtma-yağmur etkisi için hazırlanan deney numuneleri.

Deneyin amacı, gerçek hava şartlarına maruz kalmış ürünlerin performansını tayin etmektir. Bu yüzden numuneler kabin içerisinde belli bir sıcaklık ve yağmur etkisine maruz bırakılır. TS EN 12467’de belirtilen değerler ise şöyledir; 1 L/ m²/ min su ile levhaların tüm yüzeyleri ıslatılır bu işlem bittikten sonra levhaların köşelerine ve orta noktasına yerleştirilmiş olan ısı propları sayesinde levhalar 60 ± 5 °C ısıya maruz bırakılır. Bu işlemin toplam süresi Çizelge 3.10’da verilmiştir.

Çizelge 3.10. Isıtma-yağmur etkisi deneyinde çevirim süreleri.

Çevrimler	Süre
Su püskürtme	2 saat 50 dakika $\pm$ 5 dakika
Ara	10 dakika $\pm$ 1 dakika
Radyasyon ile ısıtma	2 saat 50 dakika $\pm$ 5 dakika
Ara	10 dakika $\pm$ 1 dakika
Toplam çevrim süresi	6 saat $\pm$ 12 dakika

Deney numuneleri gerçek imalat ürünlerini yansıttığı için A tipi levha olarak değerlendirilmiştir. A tipi levhalar; şiddetli don, yüksek rutubet ve ısıya maruz kalabilecek yerlerde kullanılmak üzere üretilen levhalardır. Standartta A tipi levhaların ısıtma-yağmur etkisi deneyinin 50 çevrim yapılması gerektiği belirtilmiştir ve numuneler Çizelge 3.10.'da belirtilen aşamalara 50 kez maruz bırakılmışlardır. Deney sonunda yüzeyler gözle muayene edilmiştir yüzeyde çatlakla karşılaşmadığı için numuneler standartta belirtildiği gibi eğilme dayanımı testine tabi tutulmuştur.

3.2.4.2. Donma-Çözülme Deneyi

Donma-çözülme deneyi için, her bir karışım oranından ikişer tane $600 \times 600 \times 12$ mm plaka dökümleri gerçekleştirilmiştir. Numuneler 28 günlük kür sürelerini doldurduktan sonra TS EN 12467 standardına uygun bir şekilde plaka kesimleri gerçekleştirilmiştir [100]. Numuneler şahit numune ve deneye tabi tutulacak numuneler olarak iki gruba ayrılmıştır. Şahit numuneler standartta belirtildiği şekilde 24 saat 20 ± 4 °C'de bekletilmiştir ve bu süre sonunda numuneler nemli bir bez ile kurulandıktan sonra eğilme dayanımı testine tabi tutulmuştur. Çıkan sonuçlar kayıt altına alınmıştır. Diğer numuneler standartta belirtildiği şekilde ortam sıcaklığındaki (>5 °C) suda 48 saat bekletildikten sonra deney gerçekleştirilmiştir. Isıtma-yağmur etkisi deneyinde belirtildiği gibi bu deneyde de numuneler A tipi levhalar olarak değerlendirilmektedir. A tipi levhaların donma-çözülme deneyinde 100 çevrim yapılması gerektiği belirtilmiştir. Çevirim süreleri Çizelge 3.11'de verilmiştir.

Çizelge 3.11. Donma-çözülme deneyinde çevirim süreleri

Çevirim sayısı	Çevirim Süresi
1.Çevirim	2 saat -20 ± 4 °C dondurucu da bekletilir
	2 saat 20 ± 4 °C su banyosunda bekletilir

Çizelgede belirtilen işlem 100 defa tekrarlanarak deney sonuçlandırılmıştır. Donma-çözülme deneyi bitmiş olan numuneler TS EN 12467 standardında belirtildiği şekilde eğilme dayanımı testine tabi tutulmuştur ve sonuçlar 3.6 ve 3.7'ye göre hesaplanmıştır.

Referans kırımının ve 100. Çevirim kırım sonuçlarının TS EN 12467 standardında belirtildiği şekilde hesaplanması;

$$MR_i = \frac{MOR_{fi}}{MOR_{fci}} \quad (3.6)$$

Burada;

i: her numune çifti için 1'den 10'a kadar olan değerler

MOR_{fi} : Deneye tabi tutulan grup i'nci numunenin kopma modülüdür

MOR_{fci} : Referans grup i'nci numunenin kopma modülüdür

R: MR_i oranlarının ortalaması

s: Standart sapma

$$R_L = R - 0,58 \times s \quad (3.7)$$

R_L : %95 güven seviyesinde oranların ortalamalarının alt sınır değeridir (ISO 2602)

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

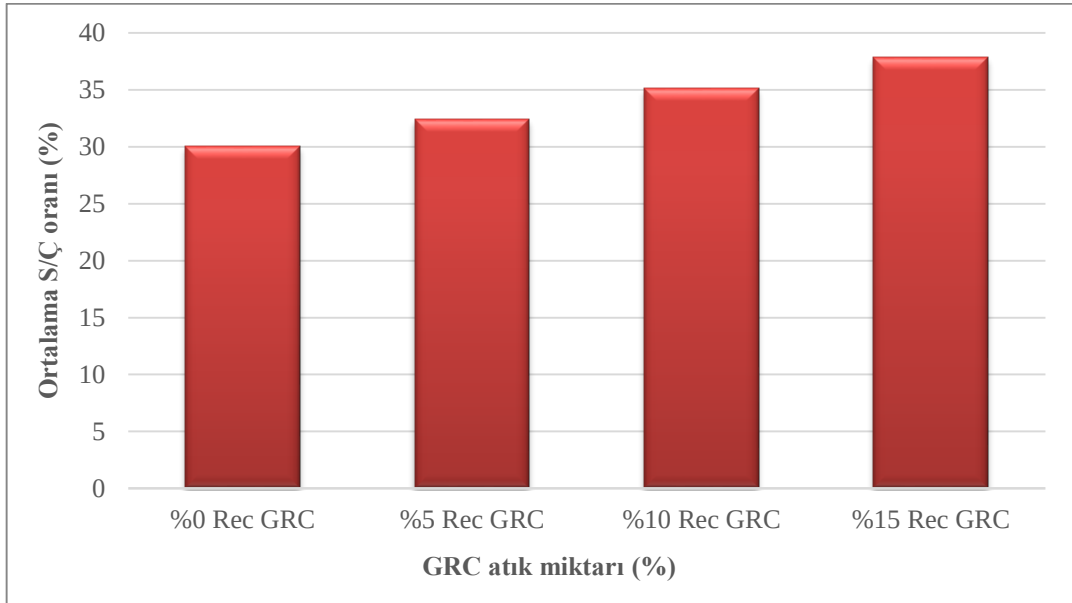
4.1. TAZE HARÇ DENEY SONUÇLARI

4.1.1. Kıvam Tayini Deney Sonuçları

Referans ve farklı oranlarda GRC atıklarından oluşan pasta karışımlarının su muhtevaları vicat aleti ile tayin edilmiştir. Sonuçlar Çizelge 4.1’de verilmiştir. GRC atıklarının miktarına bağlı olarak S/Ç oranlarının grafiksel gösterimi Şekil 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Deney numuneleri için optimum su miktarları.

Numuneler	Çimento (g)	GRC atığı (g)	Optimum Su Miktarı (g)	S/Ç Oranı (%)
%0RecGRC	500	0	150	30
%5RecGRC	475	25	154	32,42
%10RecGRC	450	50	158	35,11
%15RecGRC	425	75	161	37,88



Şekil 4.1. S/Ç oranlarının grafiksel gösterimi.

Sonuçlar değerlendirildiğinde su ihtiyacının referansa göre sırasıyla; %5 Rec GRC için %2, %10 Rec GRC için %5 ve %15 Rec GRC için %7’dir. Pasta deneylerinde GRC atık

miktarı arttıkça su ihtiyacının da %3-7 arasında arttığı gözlemlenmiştir. Bu durumda s/ç oranlarının referansa göre sırasıyla; %5 Rec GRC için %8, %10 Rec GRC için %17 ve %15 Rec GRC için %26 olarak tespit edilmiştir.

4.1.2. Priz Süresi Deney Sonuçları

Priz başlangıç süresi, su ve çimentonun birleştiği an ile çimento pastasının değişiklik göstererek katılaşmaya başladığı zaman arasında geçen süredir. Priz bitiş süresi ise su ve çimentonun birleştiği an ile çimento hamurunun katılaştığı zaman arasında geçen süredir. Yapılan çalışmada referans ve GRC atığı ikameli deney numunelerinin priz başlangıç ve bitiş süreleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Priz süreleri deney sonuçları.

Numuneler	Priz Başlangıç (dk)	Priz Bitiş (dk)
%0RecGRC	80	145
%5RecGRC	105	150
%10RecGRC	110	145
%15RecGRC	115	160

Priz başlama ve sona erme sürelerinin CEM I 52,5 R çimentosu için tanımlanan limite (Priz başlama süresi ≥ 45 dak.) uygun olduğu görülmektedir. %15 GRC numunesi en yüksek priz başlangıç ve sonu sürelerine sahiptir. Deneyde referans numunesine göre priz başlama süreleri sırayla; %5 Rec GRC için %31,25, %10 Rec GRC için %37,50 ve %15 Rec GRC için %43,67’dir. Priz sürelerinin katkı oranının artmasına paralel olarak %31-44 oranında uzadığı görülmüştür. Bu duruma katkı miktarının artışına bağlı olarak bünyedeki ana bağlayıcı matriks olan çimento miktarındaki azalmanın sebep olacağı söylenebilir [84].

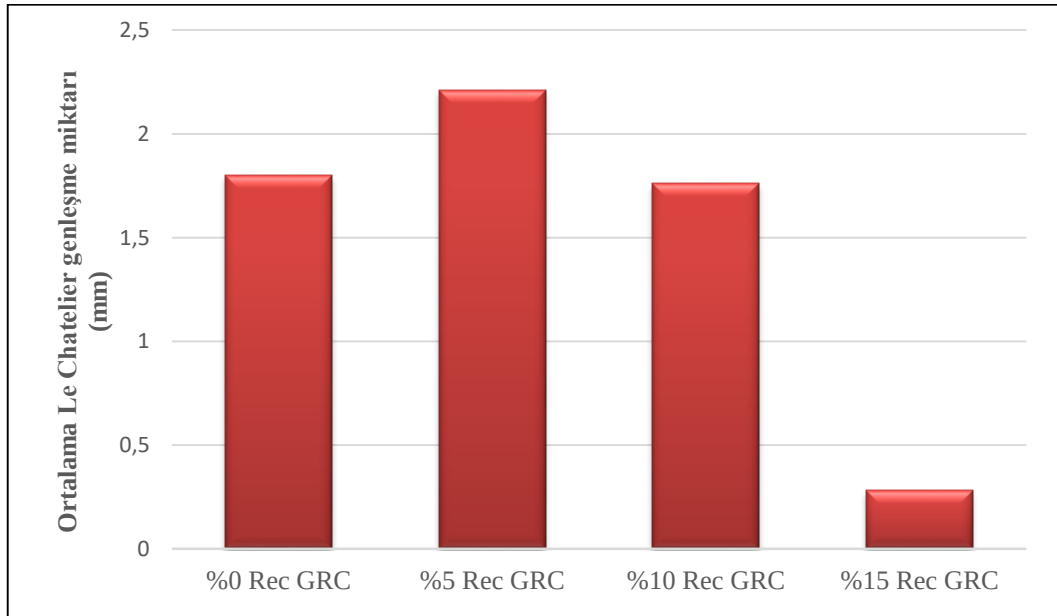
4.1.3. Hacim Genleşmesi Deney Sonuçları

Referans numunesinde ve farklı oranlarda ki GRC atık ikameli numunelerin genleşme deney sonuçları Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Hacim genleşmesi deney sonuçları.

	%0RecGRC	%5RecGRC	%10RecGRC	%15RecGRC
Şatölye ilk okuma değeri (24 saat 22 °C suda bekletilmiş)	12,24	9,93	9,66	12,45
Şatölye ikinci okuma değeri (24 saat 22 °C suda bekletilmiş)	13,27	11,03	10,95	13,06
Genleşme farkı (%)	8	10	12	5
Cihaz okuma değeri (mm)	6	5	6	5
Ortam sıcaklığı (°C)	24,2	24,2	24,2	24,3
Harç sıcaklığı (°C)	24,8	24,6	24,7	24,5
Genleşme miktarı (mm)	1,08	2,21	1,76	0,28
Su miktarı değişimi (%)		3	5	7

Çimentolarda hacim genleşmesini etkileyen faktör içeriklerindeki CaO, MgO ve SO₃' tür [101]. Sonuçlar değerlendirildiğinde genleşme miktarı sırasıyla; %0 Rec GRC için %8, %5 Rec GRC için %10, %10 Rec GRC için %12 ve %15 Rec GRC için %5'dir. Çizelge 4.3'de verilen hacim genleşme değerlerinin %5-%12 arasında değiştiği ve standart limit (maksimum 10 mm) içerisinde olduğu görülmüştür. Genleşme değerlerinin grafiksel gösterimi Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2. GRC atık miktarlarına bağlı Le Chatelier genleşme değerleri grafiği.

4.1.4. Slamp Deney Sonuçları

Slamp deneyinde referans çimento harcının yayılma çapı standarda uygun bir şekilde belirlenmiştir. İkameli karışımların harçları hazırlanırken referans numunesinde ki S/Ç oranı sabit tutularak karışımdaki akışkan miktarı değiştirilmiş ve ikameli numunelerin yayılma çapları belirlenmiştir. Akışkan miktarı referans numunesinin yayılma çapına en yakın yayılma elde edilecek şekilde belirlenmiştir. Yayılma çapları referans, ikameli ve elyafsız, referans, ikameli ve elyafli olarak iki aşamada değerlendirilmiştir. Yayılma çapları Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Harç numunelerinin slamp değerleri.

Numuneler	Elyafsız Yayılma Çapı (cm)	Elyafli Yayılma Çapı (cm)
%0RecGRC	12,5	11,5
%5RecGRC	20,1	12
%10RecGRC	20,5	12,4
%15RecGRC	21	13

Sonuçlar değerlendirildiğinde numunelerin elyafsız yayılma çapları referansa göre sırasıyla; %5 Rec GRC için %61, %10 Rec GRC için %64 ve %15 Rec GRC için %68 artmıştır. Numunelerin elyafli yayılma çapları referansa göre sırasıyla; %5 Rec GRC için %4, %10 Rec GRC için %8 ve %15 Rec GRC için %13 artmıştır. Karışım dizaynına bakıldığında (Çizelge 3.9) harç karışımlarına geri dönüşüm malzemesi ikame edildiğinde yayılma çaplarında, akışkan ve elyaf miktarına göre değişim gözlemlenmiştir.

4.2. SERTLEŞMİŞ HARÇ DENEY SONUÇLARI

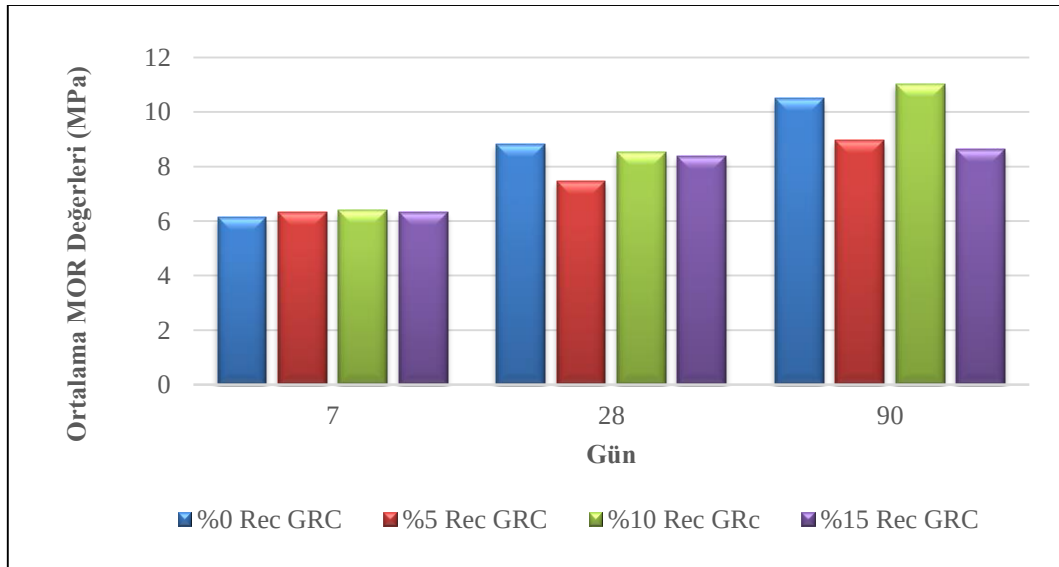
4.2.1. Eğilme Dayanımı Deney Sonuçları

Referans ve ikameli olarak hazırlanan deney numuneleri 7, 28 ve 90 gün olmak üzere standartta belirtildiği şekilde eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Sonuçlara ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Eğilme dayanımı deney sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler.

Atık GRC Miktarı (%)	Gün	N	Ortalama Eğilme Dayanımı (MPa)	Std. Sapma	Std. Hata	95% Güven Aralığı		Min	Max
						Alt Sınır	Üst Sınır		
%0RecGRC	7	4	6,13	1,14	0,60	5,50	7,73	5,39	7,77
	28	4	8,83	1,43	0,72	7,42	10,23	7,08	10,20
	90	4	10,50	1,68	0,84	8,86	12,15	8,66	12,67
%5RecGRC	7	4	6,33	2,18	1,09	4,20	8,75	4,35	9,44
	28	4	7,50	1,28	0,64	6,63	10,08	5,64	8,58
	90	4	8,95	0,72	0,36	8,25	11,21	8,34	9,74
%10RecGRC	7	4	6,38	0,82	0,47	5,46	7,23	7,57	9,01
	28	4	8,53	1,01	1,06	6,45	10,47	7,17	11,68
	90	4	11,03	2,11	1,06	8,96	10,71	8,02	12,65
%15RecGRC	7	4	6,31	1,18	0,59	5,15	7,47	5,35	8,04
	28	4	8,39	1,01	0,51	7,40	9,38	7,30	9,58
	90	4	8,63	1,20	0,60	7,46	9,81	7,43	10,00

28 günlük kabul değerleri TS EN 15191 standardında verilmiştir. LOP değeri 7 ± 2 ve MOR değeri 9 ± 3 şeklindedir. Buna göre 28 günlük kırım sonuçları hem referans numunesi için hem de GRC ikameli deney numuneleri için sonuçlar kabul değerlerinin içerisinde olduğu görülmüştür. Bu sebeple 90 günlük deney sonuçlarının okunmasına devam edilmiştir. Ortalama eğilme dayanımı MOR değerleri bar grafiği Şekil 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.3. Eğilme dayanımı ortalama MOR değerleri.

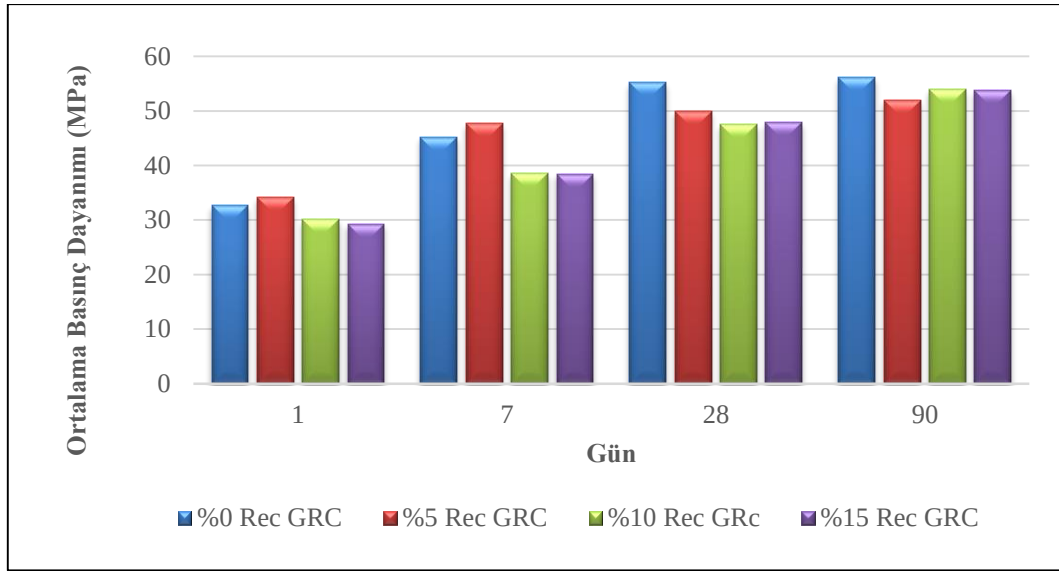
7 günlük referans numunesine göre, GRC ikameli numunelerin MOR değerlerinde sırasıyla %5 Rec GRC için %3,40, %10 Rec GRC için %4,20 ve %15 Rec GRC % 3 oranında artma, 28 günlük referans numunesine göre, sırasıyla %5 Rec GRC için %15,25, %10 Rec GRC için %3,31 ve %15 Rec GRC %4,88 oranında azalma ve 90 günlük referans numunesine göre, sırasıyla %5 Rec GRC için %14,77 oranında azalma, %10 Rec GRC için %5,06 oranında artma ve %15 Rec GRC %17,76 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir. Ancak her grup kendi içinde artmaya devam etmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde eğilme dayanımı MOR değerlerinin standartta verilen sınır değerleri aralığında kaldığı belirlenmiştir.

4.2.2. Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

Hazırlanan deney numuneleri 1, 7, 28 ve 90. günlerde basınç dayanımı testlerine tabi tutulmuştur. Basınç dayanımı testlerinden elde edilen sonuçlara ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.6’da verilmiştir. Ortalama basınç dayanımı değerleri ise bar grafiği ile Şekil 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.6. Basınç dayanımı sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler.

Atık GRC Miktarı (%)	Gün	N	Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)	Std. Sapma	Std. Hata	95% Güven Aralığı		Min	Max
						Alt Sınır	Üst Sınır		
%0RecGRC	1	3	32,74	4,55	2,63	27,59	37,89	27,72	36,59
	7	3	45,24	2,39	1,38	42,54	47,94	43,33	47,92
	28	3	55,22	1,54	0,89	53,48	56,96	53,75	56,82
	90	3	56,12	0,45	0,26	55,61	56,63	55,79	56,93
%5RecGRC	1	3	34,19	1,76	1,01	32,21	36,18	33,00	36,21
	7	3	47,71	1,65	0,96	45,84	49,58	46,40	49,57
	28	3	50,04	6,27	3,62	42,95	57,14	44,06	56,57
	90	3	52,02	1,33	0,77	50,51	53,53	50,60	53,25
%10RecGRC	1	3	30,12	1,22	0,70	28,74	31,50	28,72	30,92
	7	3	38,57	2,27	1,31	36,00	41,14	36,06	40,47
	28	3	47,50	3,63	2,09	43,40	51,61	43,33	49,28
	90	3	53,83	2,69	1,55	50,79	56,88	52,00	56,92
%15RecGRC	1	3	29,27	1,47	0,85	27,61	30,93	28,39	30,96
	7	3	38,43	1,33	0,77	36,92	39,94	36,97	39,57
	28	3	47,90	0,88	0,51	46,90	48,90	47,20	48,89
	90	3	53,69	4,97	2,87	48,06	59,32	48,04	57,41



Şekil 4.4. Ortalama basınç dayanımı değerleri.

Basınç dayanım deney sonuçları %0 Rec GRC numunelerine göre incelendiğinde; 1 ve 7 günlük %5 Rec GRC numunelerinde %6 oranında artış olurken, %10 Rec GRC ve %15 Rec GRC 1 günlük numunelerde %7 ve %9, 7 günlük numunelerde %15 azalma meydana geldiği görülmüştür. Bunun yanı sıra katkı oranı artışına bağlı olarak 28 günlük numunelerde sırasıyla %9, %14 ve %14 ve 90 günlük numunelerde %7,31, %4 ve %4,33 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir. Basınç dayanım deney sonuçları genel olarak incelendiğinde, her numune grubunun basınç dayanımı kür süresine paralel olarak artmıştır. Ayrıca literatürde elyaf takviyeli premix GRC ürünlerin basınç dayanımlarının 40-60 MPa arasında değiştiği belirtilmiştir [10]. Çalışmada 28 günlük kırım sonuçları incelendiğinde her serinin istenilen değerler aralığında kaldığı görülmüştür. Genellikle çimento sanayinde katkı tipine bağlı olmaksızın katkı miktarındaki artışa bağlı olarak ilk dayanımlarda düşüş gözlenmekte, katkıların pozolanik aktivitelerini 21. gün ve daha ileriki yaşlarda kazanmaları sebebiyle 90. günlük basınç dayanımları önem kazanmaktadır [84]. 90 günlük numunelerin basınç dayanım sonuçları incelendiğinde ise standart sınır değerlere ulaştığı tespit edilmiştir.

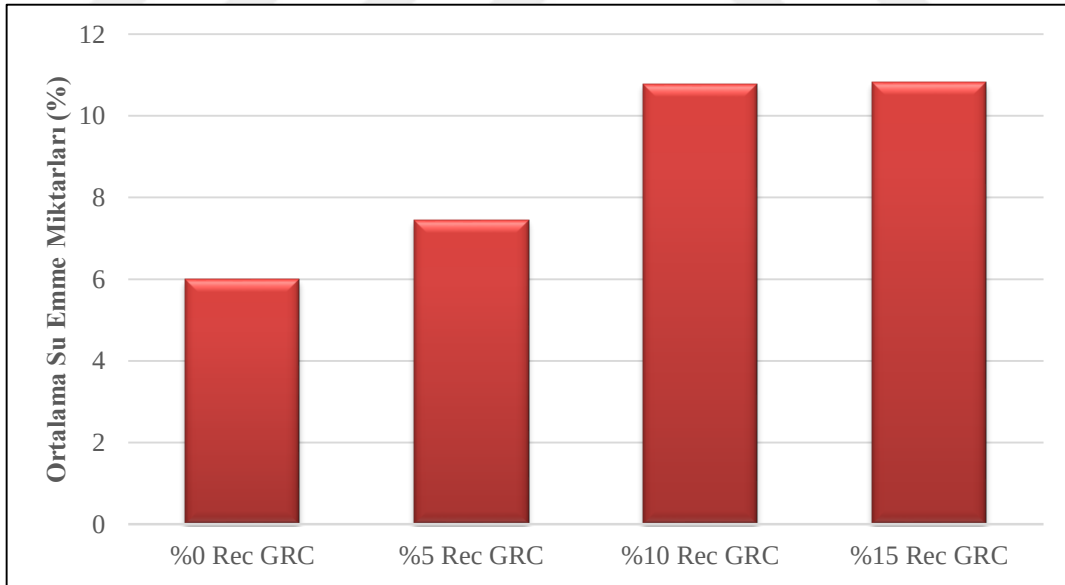
4.2.3. Su Emme ve Kuru Yoğunluk Deney Sonuçları

Her karışım oranına göre su emme ve kuru yoğunluk deneyi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.7’de verilmiştir.

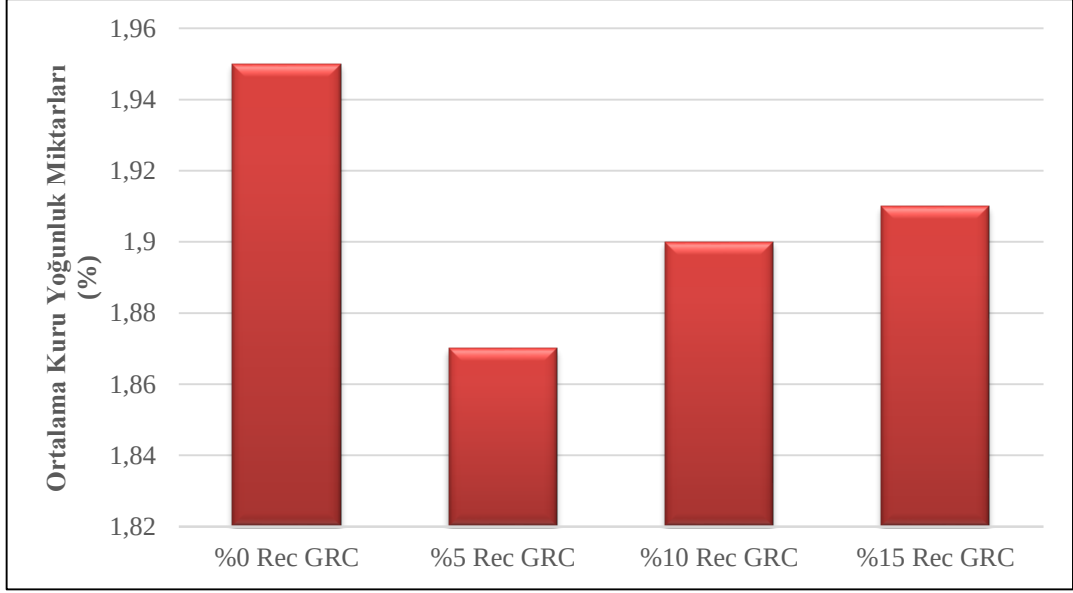
Çizelge 4.7. Su emme ve kuru yoğunluk deney sonuçları.

Numune Kodu	Su Emme (%)	Kuru Yoğunluk (g/cm ³)
%0RecGRC	5,99	1,95
%5RecGRC	7,45	1,87
%10RecGRC	10,78	1,90
%15RecGRC	10,81	1,91

Sonuçlar incelendiğinde GRC atık miktarı arttıkça su emme değerlerinin arttığı en düşük su emme oranının katkısız numunede olduğu, en yüksek su emme oranının %15 GRC atık ikamesi olan numunede olduğu görülmüştür. Su emme miktarları referans numune ile karşılaştırıldığında sırasıyla; %5 Rec GRC için %24, %10 Rec GRC ve %15 Rec GRC için %80'dir. Kuru yoğunluk deneyinde ise GRC geri dönüşüm ikameli numunelerin kendi arasında oranlar arttıkça kuru yoğunluğun arttığı fakat referans numunesine göre değerlerin düştüğü görülmüştür. En yüksek kuru yoğunluk değeri referans numunesinde, en düşük kuru yoğunluk değeri ise %5 GRC atık ikameli olan numunede görülmüştür. Kuru yoğunluk değerleri referans numune ile karşılaştırıldığında sırasıyla; %5 Rec GRC için %4, %10 Rec GRC için %3 ve %15 Rec GRC için %2 azalma görülmüştür. Su emme ve kuru yoğunluk deneyine ait bar grafiği sırasıyla Şekil 4.5'de ve Şekil 4.6'de verilmiştir.



Şekil 4.5. Ortalama su emme değerleri.

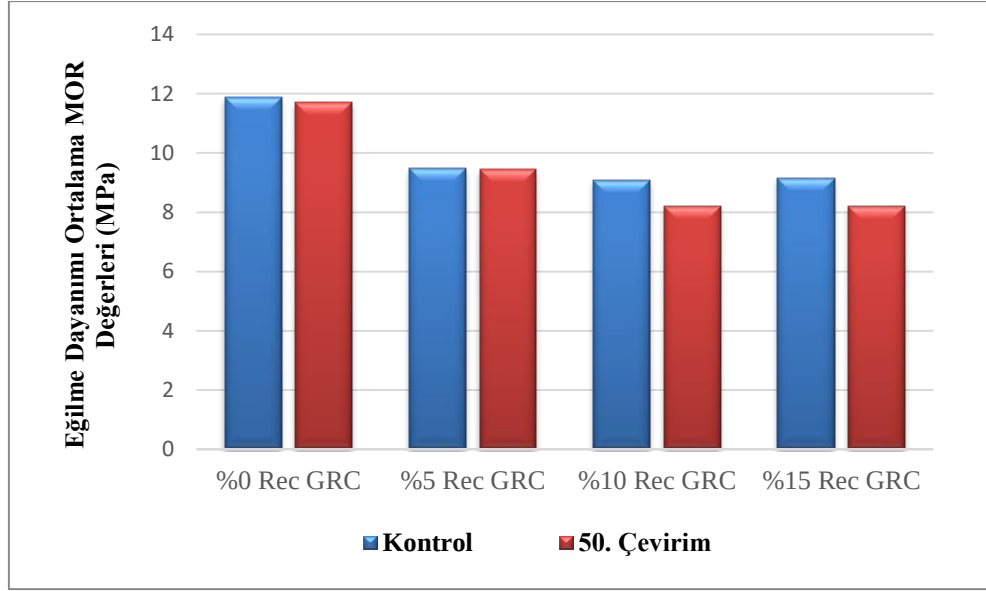


Şekil 4.6. Ortalama kuru yoğunluk değerleri.

4.3. DURABİLİTE DENEY SONUÇLARI

4.3.1. Isıtma-Yağmur Etkisi Deney Sonuçları

Isıtma-yağmur etkisi deneyinde standartta belirtildiği şekilde numune plakaları deney kabini içerisinde hava şartlarına maruz bırakılmıştır, toplamda 50 çevirim gerçekleştirilmiştir. Çevirim sonunda plakaların yüzeyleri incelenmiştir ve çatlak, tabakalaşarak ayrılma veya herhangi bir hasar görülmemiştir. Bunun sonucunda numuneler eğilme testine tabi tutulmuşlardır. 50. çevirim eğilme test sonuçları ile kontrol numunelerin eğilme test sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuçların ortalaması bar grafiğinde gösterilmiştir (Şekil 4.7). Isıtma-yağmur etkisi deneyinde eğilme testine tabi tutulan numunelere ait istatistik veriler Çizelge 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.7. Eğilme dayanımı ortalama MOR değerleri.

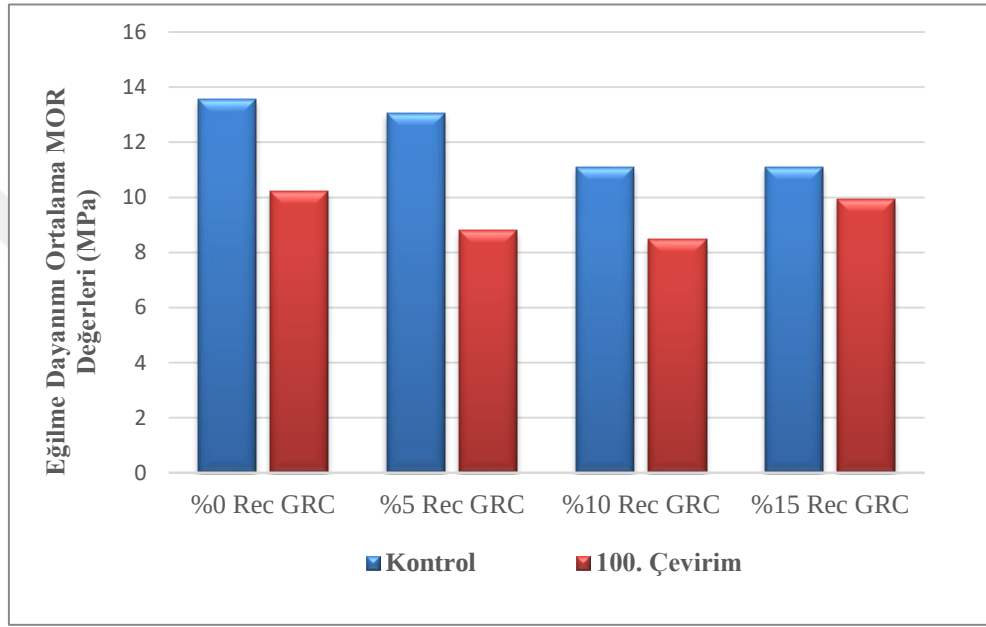
Çizelge 4.8. Eğilme dayanımı sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler.

Atık GRC Miktarı (%)	Gün	N	Ortalama Eğilme Dayanımı (MPa)	Std. Sapma	Std. Hata	95% Güven Aralığı		Min	Max
						Alt Sınır	Üst Sınır		
%0RecGRC	Kontrol	8	11,88	0,21	0,11	11,67	12,09	11,68	12,15
%5RecGRC		8	9,47	0,19	0,09	9,29	9,66	9,24	9,69
%10RecGRC		8	9,08	0,83	0,42	8,27	9,90	8,06	9,85
%15RecGRC		8	9,16	0,58	0,29	8,59	9,73	8,46	9,15
%0RecGRC	50. Çevirim	8	11,72	2,03	0,72	10,32	13,13	10,35	13,77
%5RecGRC		8	9,44	2,03	0,72	8,03	10,84	7,30	12,40
%10RecGRC		8	8,22	1,26	0,45	7,35	9,09	7,19	10,00
%15RecGRC		8	8,21	0,45	0,16	7,90	8,52	7,32	8,75

Isıtma-yağmur etkisi deneyinde kontrol numunelerin eğilme testi sonucu referans numune ile karşılaştırıldığında sırasıyla; MOR değerleri incelendiğinde; %5 Rec GRC için %20, %10 Rec GRC için %24 ve %15 Rec GRC için %23 azalma görülmüştür. 50. çevirim eğilme testi sonucunda ise referans numune ile karşılaştırıldığında MOR değerleri incelendiğinde; %5 Rec GRC için %20, %10 Rec GRC için %29 ve %15 Rec GRC için %30 azalma görülmüştür. Her iki grup kendi arasında değerlendirildiğinde %5 GRC atık ikameli numunelerde MOR değerindeki azalma sabit kalırken, %10 ve %15 GRC atığı bulunan numunelerin ısıtma-yağmur etkisi sonucunda MOR değerindeki azalma artmıştır.

4.3.2. Donma-Çözölme Deney Sonuçları

Donma-çözölme deneyinde üretilen plakalardan alınan numuneler, standartta belirtildiği şekilde 100 çevirim olacak şekilde deneye tabi tutulmuştur. 100 çevrimlik döngü sonucunda numunelere tek noktadan yükleme yapılarak eğilme testi gerçekleştirilmiştir. Kontrol numunelerine ait eğilme test sonuçları ile 100 çevirim donma-çözölmeye maruz kalmış numunelerin ortalama MOR değerlerine ait bar grafiği Şekil 4.9’da verilmiştir. Donma-çözölme deneyine ait istatistiksel veriler Çizelge 4.8’da verilmiştir.



Şekil 4.8. Donma-çözölme deneyi sonrası eğilme dayanımı değerleri.

Çizelge 4.9.Donma-çözülme deneyine ait açıklayıcı istatistikler.

Atık GRC Miktarı (%)	Gün	N	Ortalama Eğilme Dayanımı (MPa)	Std. Sapma	Std. Hata	95% Güven Aralığı		Min	Max
						Alt Sınır	Üst Sınır		
%0RecGRC	Kontrol	10	13,55	1,66	0,53	12,52	14,58	12,01	17,43
%5RecGRC		10	13,05	2,49	0,79	11,50	14,59	10,47	18,67
%10RecGRC		10	11,11	1,75	0,55	10,02	12,19	9,64	13,56
%15RecGRC		10	11,11	1,89	0,60	9,95	12,28	8,84	13,32
%0RecGRC	100. Çevirim	10	10,22	1,63	0,51	9,21	11,22	8,52	14,34
%5RecGRC		10	8,80	1,04	0,33	8,16	9,44	8,21	11,15
%10RecGRC		10	8,47	1,43	0,45	7,58	9,35	6,71	10,49
%15RecGRC		10	9,94	1,33	0,42	9,11	10,76	7,73	11,28

Donma-çözülme deneyi sonrası kontrol numunelerin MOR değerleri referans numunesi ile karşılaştırıldığında sırasıyla %5 Rec GRC için %4, %10 Rec GRC ve %15 Rec GRC için %18 azalma görülmüştür. 100. çevirim donma-çözülme deneyinden sonra MOR değerleri referans numunesi ile karşılaştırıldığında; %5 Rec GRC için %14, %10 Rec GRC için %17 ve %15 Rec GRC için %3 azalma görülmüştür. Kontrol numuneleri ve çevirim sonrası deney numuneleri kendi aralarında karşılaştırılmıştır. Buna göre; %0 Rec GRC numunesinde %25, %5 Rec GRC numunesinde %31, %10 Rec GRC numunesinde %26 ve %15 Rec GRC numunesinde %15 azalma olduğu tespit edilmiştir. Kontrol numuneleri ile 100. çevirim arasında minimum eğilme dayanımına sahip numune %10 Rec GRC ve maksimum eğilme dayanımına sahip numune %5 Rec GRC olduğu görülmüştür.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Fibrobeton A.Ş.'de üretimi gerçekleştirilen GRC panneller üzerinde çimento ikameli geri dönüşüm çalışması gerçekleştirilmiştir. Geri dönüşüm malzemesi olarak üretimden, depolama, sevkiyat veya ürünlerin inşaat sahasında hasar görmesinden kaynaklı kabul görmeyen en az 730 günlük GRC paneller üzerinden parçalar alınmıştır ve bunların geri dönüşümü sağlanmıştır. Elde edilen toz halinde ki malzeme tekrar GRC üretiminde kullanılarak taze harç deneyleri ve sertleşmiş harç deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Deneylerden elde edilen veriler doğrultusunda şu sonuçlara ulaşılmıştır.

Taze harç deneyleri sonucunda;

- Kıvam tayini deneyinde; atık GRC miktarı arttıkça su ihtiyacının da arttığı görülmüştür. Minimum su ihtiyacının %0 Rec GRC numunesine, maksimum su ihtiyacının ise %15 Rec GRC numunesine ait olduğu,
- Priz süreleri deneyinde; atık GRC miktarının arttıkça priz başlama ve bitiş sürelerinin uzadığı, buna bağlı olarak da en fazla bitiş süresine sahip numunenin %15 Rec GRC olduğu,
- Hacim genleşme deneyinde; en fazla genleşme miktarının %5 Rec GRC numunesinde, en düşük genleşmenin ise %15 Rec GRC numunesinde olduğu ve genleşme miktarlarının limit sınırlar içinde kaldığı,
- Slamp deneyinde; su miktarı sabit tutularak atık GRC ikamesine göre akışkan miktarları değiştirilmiştir, buna bağlı olarak elyafli ve elyafsız yayılmaların ikame miktarı arttıkça yayılmaların arttığı ve en fazla yayılmanın %15 Rec GRC numunesine ait olduğu görülmüştür.

Sertleşmiş harç deneyleri sonucunda;

- Eğilme dayanımı deneyinde; %0 Rec GRC numunesinin 90 günlük süreçte eğilme dayanımının arttığı, 28 günlük eğilme dayanımı ortalama MOR değerlerine bakıldığında %0 Rec GRC numunesine göre tüm grupların eğilme dayanımlarında

azalma olduğu ancak atık GRC numunelerinin minimum eğilme dayanımına sahip olduğu,

- Basınç dayanımı deneyinde; 28 günlük kırım sonuçları incelendiğinde %0 Rec GRC ve atık GRC numunelerinin literatürde belirtilen 40-80 MPa limit sınırları içinde olduğu,
- Su emme ve kuru yoğunluk deneyinde; atık GRC miktarı arttıkça su emme miktarlarının da arttığı buna bağlı olarak en fazla su ihtiyacına sahip %15 Rec GRC numunesi olduğu ve en fazla kuru yoğunluk ise %0 Rec GRC numunesine ait olduğu görülmüştür.

Durabilite deney sonuçları;

- Isıtma-yağmur etkisi deneyinde; levha numuneler üzerinde herhangi görünür çatlak, tabakalaşarak ayrılma vb. hasar kaydedilmemiştir, levhalar üzerinden alınan numunelere ve kontrol numunelerine eğilme dayanımı testi gerçekleştirilmiştir. Çevirim sonrası eğilme dayanımları ile kontrol numuneleri eğilme dayanımları karşılaştırıldığında, kontrol numunelerine göre bütün serilerde ortalama MOR değerlerinin azaldığı ve en düşük ortalama MOR değerine %15 Rec GRC numunesinin sahip olduğu,
- Donma-çözülme deneyinde; kontrol numunelerine ve çevirim sonrası numunelere eğilme dayanımı testi gerçekleştirilmiştir. Kontrol numunelerine göre donma-çözülme sonrası ortalama MOR değerleri bütün serilerde azaldığı ve en düşük ortalama MOR değerine %10 Rec GRC numunesinin olduğu görülmüştür.

Çalışmanın sonucunda; atık GRC ikameli grupların 28 günlük eğilme dayanımı kırım sonuçlarının TS EN 15191 standardında verilen sınır değerleri arasında olduğu ve 28 günlük basınç dayanımı deneyi kırım sonuçlarının da literatürde verilen sınır değerleri arasında kaldığı görülmüştür. Çıkan sonuçlar doğrultusunda GRC atığının çimento ikamesi olarak kullanılabileceği belirlenmiştir.

6. KAYNAKLAR

- [1] N. Kılıç, “Kentsel dönüşümde geri dönüşüm atağı,” *İzmir Ticaret Odası, AR&GE Bülten Aralık –Sektörel*, ss. 12-17, 2012.
- [2] S. Nishibori, Y. Takeuchi, M. Sugiyama, ve M. Kobayashi, “Properties of GRC using recycled material,” *The 14th International Congress GRCA*, Hong Kong, 2005, ss. 31-39, 14-16.
- [3] M. Özdemir ve U. Uğurlu, “Boraks üretiminde ortaya çıkan atık malzemenin çimentoda değerlendirilmesi,” 2.Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu’nda sunuldu, Eskişehir, 2007, ss. 319-329.
- [4] M. İskender ve B. Karasu, “Glass fibre reinforced concrete (GFRC),” *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, c. 5, sayı 1, ss. 136-162, 2018.
- [5] J. Newman ve B. S. Choo, “Fibre Reinforced Concrete,” *Advanced Concrete Technology*, Elsevier Science Publishing, 2003, ss. 146-147.
- [6] G. Kurt, “Lif içeriği ve su/çimento oranının Fibrobetonun mekanik davranışına etkisi,” Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2006.
- [7] E. K. Vahidi ve M. M. Malekabadi, “GRC and sustainable building design,” İstanbul Sempozyum Bildirisinde Sunuldu, İstanbul, 2011.
- [8] GFRConline. (2020, 5 Eylül). *Tarih* [Online]. Erişim: <http://gfrconline.com/what-is-grc/history>.
- [9] *Önyapımlı beton mamuller-cam elyaf takviyeli çimentoların (ctç) fabrika imalat kontrolü için genel kurallar*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 1169, (2001).
- [10] Omniskompozit. (2020, 15 Eylül). *GRC el kitabı* [Online]. Erişim: <https://www.omniskompozit.com/class/INNOVAEditor/assets/GRC%20EL%20K%C4%B0tab%C4%B1.pdf>
- [11] Ö. Ekincioglu, “Karma lif içeren çimento esaslı kompozitlerin mekanik davranışı bir optimum tasarım,” Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2003.
- [12] D. Rosato, *Reinforced plastics handbook*, Elsevier Science Publishing, 2004.
- [13] E. Bilim, “Karma lif kullanılan yüksek performanslı nano beton üretimi,” Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2019.
- [14] Y. T. Erdoğan, *Beton*, Ankara, Türkiye: Orta Doğu Teknik Üniversitesi Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim Anonim Şirketi, 2010, sayı 2, ss. 188-189.
- [15] A. Yeğinobalı, *Çimento Yeni Bir Çağın Malzemesi*, Ankara, Türkiye: Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, 2003, sayı 2, ss. 11-14.
- [16] P. E., Halstead, “The early history of portland cement,” *Transactions of the Newcomen Society*, c. 34, ss. 37-54, 2014.

- [17] L. Şen, “PÇ 42,5 ve PKÇ 32,5 Çimentolarla üretilen harçların durabilite özellikleri,” Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mustafa Kemal Üniversitesi, Antakya, Türkiye, 2005.
- [18] İseldeş Prekast. (2020, 30 Eylül). *Cam Elyafı* [Online]. Erişim: <https://iseldas.com/blog/16/cam-elyafi.html>
- [19] M. Sarı, “Farklı tipteki liflerin betonun mekanik davranışlarına etkisi,” Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2013.
- [20] Y. Şahin, *Kompozit malzemelere giriş*, Ankara, Türkiye: Gazi Kitabevi, 2000.
- [21] M. Bağcı, “Cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin erezyon aşınma davranışının incelenmesi,” Doktora tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2010.
- [22] H. Hacıfazlıoğlu, “Silis kumunun zenginleştirilmesinde kullanılan yöntemler ve flotasyon ile manyetik ayırma yöntemlerinin demir giderimi bakımından karşılaştırılması,” *Madencilik*, c. 50, sayı 3, ss.35-48, 2011.
- [23] B. Baradan, H. Yazıcı, ve S. Aydın, *Beton*, İzmir, Türkiye: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, 2012.
- [24] A. Pişkin, “Polimer beton üretiminde cam tozu kullanılabilirliğinin araştırılması,” Yüksek lisans tezi, Yapı Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2010.
- [25] The International Glassfibre Reinforced Concrete Association (GRCA). (2020, 30 Eylül). *Specification for the Manufacture, Curing & Testing of Glassfibre Reinforced Concrete (GRC) Products* [Online]. Erişim: <https://www.grca.online/technical/grca-publications>.
- [26] P. N. Balaguru ve S. P. Shah, “Glass fiber-reinforced concrete,” *Fiber-Reinforced Cement Composites*, United States of America: McGraw-Hill, 1992, ss. 311-362.
- [27] J. Girard. (2008). “Introduction to GFRC (glass fiber reinforced concrete),” *The Concrete Countertop Institute* [Online]. Erişim: <https://dokumen.tips/documents/90018397-glass-fiber-reinforced-concrete.html>.
- [28] J. M. West, R. C. Devekey, ve A. J. Majumdar, “Acrylic polymer modified GRC,” *Composites*, England: 1985, c. 16, sayı 1, ss. 33-40.
- [29] V. S. Ramachandran ve M. Malhotra, “Superplasticizers,” *Concrete Admixtures Handbook*, Noyes Puublications, 1984, böl. 7, ss. 462-463.
- [30] A. D. Yılmaz, “Yeni kuşak hiperakışkanlaştırıcı beton katkıları,” *YKS Yapkim Yapı Kimya Sanayi Anonim Şirketi, Türkiye Mühendislik Haberleri*, sayı 426, 2003.
- [31] F. Ercan, “Atık yönetimi mevzuatı,” *Çevre ve Şehircilik İstanbul İl Müdürlüğü*, 2008.
- [32] S. Kaçtıoğlu ve Ü. Şengül, “Erzurum kenti ambalaj atıklarının geri dönüşümü için tersine lojistik ağı tasarımı ve bir karma tam sayılı programlama modeli,” *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, c. 24, sayı 1, 2010.
- [33] A. A. Gündüzalp ve S. Güven, “Atık, çeşitleri, atık yönetimi, geri dönüşüm ve tüketici: Çankaya belediyesi ve semt tüketicileri örneği,” *Hacettepe Üniversitesi Sosyolojik Araştırmalar*, 2016.

- [34] Ç. Güler ve Z. Çobanoğlu, “Gecekondu ve çevre sağlığı,” 1. Baskı, Ankara, Türkiye: böl. 7, ss. 43-46, 1997,
- [35] M. Tokgöz ve N. Sarmaşık, “Çöp sorunu ve sağlık, çevre,” 82 Sempozyumu’nda sunuldu, İzmir, 1982.
- [36] H. Palabıyık, “Belediyelerde kentsel katı atık yönetimi: İzmir Büyükşehir Belediyesi örneği,” Doktora tezi, Kamu Yönetimi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2001.
- [37] C. Neyim. (2020, 15 Ekim). *Türkiye’de Evsel Nitelikli Katı Atıklar* [Online]. Erişim: https://www.tubitak.gov.tr/tubitak_content_files/vizyon2023/csk/EK-4.pdf
- [38] Ş. Sayar, “Sakarya ili entegre atık yönetimi ve ambalaj atıklarının geri dönüşümü,” Yüksek lisans tezi, Çevre Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2012.
- [39] Atık Yönetimi Genel Esasları Yönetmeliği, *T.C. Resmi Gazete*, sayı 26927, 05.07.2008.
- [40] Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, *T.C. Resmi Gazete*, sayı 25833, 22.07.2005.
- [41] H. Palabıyık ve D. Altunbaş, *Kentsel katı atıklar ve yönetimi*, Çevre Sorunlarına Çağdaş Yaklaşımlar: Ekolojik, Ekonomik, Politik ve Yönetimsel Perspektifler, İstanbul, Türkiye: Beta Yayıncılık, 2004, ss. 103-124.
- [42] H. Çetin, “Türkiye’de geri dönüşümü yapılan evsel katı atıkların çevresel, toplumsal ve ekonomik faydalarının incelenmesi: Eskişehir Örneği,” Yüksek lisans tezi, Çevre Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2019.
- [43] E. Süme, “Geri dönüşüm argegasının beton yol kaplamasında kullanılabilirliği,” Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 2016.
- [44] Pagçev. (2020, 5 Kasım). *Atık Yönetimi Pramidi* [Online]. Erişim: <http://www.pagcev.org/geri-donusum>.
- [45] E. H. Alakara, “Tokat ili mermer işletmelerinde ortaya çıkan atık mermerlerin ve kentsel dönüşüm beton atıklarının bitümlü sıcak karışımlarda kullanımının incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat, Türkiye, 2020.
- [46] M. Öztürk, “İnşaat yıkıntı atıkları yönetimi,” *Çevre ve Orman Bakanlığı*, Ankara, Türkiye, ss. 3-5, 2005.
- [47] S. Kotan. (2020, 30 Ekim). *Yıkım işlemleri ve hafriyat toprağı ile inşaat ve yıkıntı atıklarının kontrolü yönetmeliğı taslağı* [Online]. Erişim: <https://www.khl-group.com/events/demolition-conference-turkey/assets/suna-kotan.pdf>
- [48] Z. Aktaş. (2015). “Bina Yıkım Atıklarının Altyapı Projelerinde Değerlendirilmesi,” Uzmanlık tezi, İller Bankası Anonim Şirketi [Online]. Erişim: <https://www.ilbank.gov.tr/userfiles/files/uzmanliktezleri/14446.pdf>.
- [49] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2020, 5 Kasım). *Ulusal Atık Yönetimi ve Eylem Planı 2023* [Online]. Erişim: https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/haberler/ulusal_at-k_yonet-m--eylem_plan-20180328154824.pdf

- [50] H. Birinci, M. H. Alma, R. Gemci, ve M. Y. Durgun, “Atık polietilen (PE) bardaklardan üretilen çimentosuz harçların fiziksel ve mekaniksel özellikleri,” *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, c. 7, sayı 1, ss. 71-79, 2011.
- [51] S. Akçaözoğlu, C. D. Atış, ve K. Akçaözoğlu, “An investigation on the use of shredded waste pet bottles as aggregate in lightweight concrete,” *Waste Management*, c. 30, Sayı 2, ss. 285-290, 2010.
- [52] R. Siddique, J. Khatib, ve I. Kaur, “Use of recycled plastic in concrete: a review,” *Waste Management*, c. 28, ss. 1835-1852, 2008.
- [53] Z. Z. Ismail ve E. A. Al-Hashmi, “Use of waste plastic in concrete mixture as aggregate replacement,” *Waste Management*, c. 28, sayı. 11, ss. 2041-2047, 2008.
- [54] D. A. Silva, A. M. Betioli, P. J. P. Gleize, H. R. Roman, L. A. Gomez, ve J. L. D. Ribeiro, “Degradation of recycled pet fibers in portland cement-based materials,” *Cement and Concrete Research*, c. 35, sayı 9, ss. 1741-1746, 2005.
- [55] A. Hejna, J. Korol, M. P. Romatowska, L. Zedler, B. Chmielnicki, ve K. Formela, “Waste tire rubber as low-cost and environmentally – friendly modifier in thermoset polymers – a review,” *Waste Management*, c. 108, ss. 106-118, 2020.
- [56] A. Yilmaz ve N. Degirmenci, “Possibility of using waste tire rubber and fly ash with Portland cement as construction materials,” *Waste Management*, c. 29, ss. 1541-1546, 2009.
- [57] G. Li, B. Huang, C. Abadie, G. Garrick, J. Eggers, ve M. A. Stubblefield, “Development of waste tire modified concrete,” *Cement and Concrete Research*, c. 34, ss. 2283-2289, 2004.
- [58] F. Pelisser, A. M. Bernardin, N. Zavarise, ve T. A. Longo, “Concrete made with recycled tire rubber: effect of alkaline activation and silica fume addition,” *Journal of Cleaner Production*, c. 19, ss. 757-763, 2011.
- [59] M. A. Aiello ve F. Leuzzi, “Waste tyre rubberized concrete: properties at fresh and hardened state,” *Waste Management*, c. 30, ss. 1696-1704, 2010.
- [60] M. C. Bignozzi ve F. Sandrolini, “Tyre rubber waste recycling in self-compacting concrete,” *Cement and Concrete Research*, c. 36, ss. 735-739, 2006.
- [61] G. Li, C. Abadie, G. Garrick, J. Eggers, M. A. Stubblefield, ve S. S. Pang, “Waste tire fiber modified concrete,” *Composites*, c. 35, ss. 305-312, 2004.
- [62] E. Akırmak, “Tarımsal atık şeker pancarı küspesi ile sürekli çalışan dolgu kolonda tekli ve ikili boyarmadde ve metal gideriminin incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Kimya Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2010.
- [63] A. Aslantaş, “Dünya’da ve Türkiye’de biyokütle enerjisinin kullanımı ve potansiyeli,” Yüksek lisans tezi, İşletme, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya Ticaret Odası Karatay Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2018.
- [64] E. Aprianti, P. Shafigh, S. Bahri, ve J. N. Farahani, “Supplementary cementitious materials origin from agricultural wastes – a review”, *Construction and Building Materials*, c. 74, ss. 176-187, 2015.
- [65] C. B. Şişman, E. Gezer, ve I. Kocaman, “Effects of organic waste (rice husk) on the concrete properties for farm buildings,” *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, sayı 1, ss. 40-48, 2011.

- [66] A. Sales ve S. A. Lima, "Use of Brazilian sugarcane bagasse ash in concrete as sand replacement," *Waste Management*, c. 30, ss. 1114-1122, 2010.
- [67] N. Chusilp, C. Jaturapitakkul, ve K. Kiattikomol, "Utilization of bagasse ash as a pozzolanic material in concrete," *Construction and Building Materials*, c. 23, ss. 3352-3358, 2009.
- [68] T. Gönen, O. Onat, S. Cemalgil, B. Yılmaz, ve Y. T. Altuncu, "Beton teknolojisi için yeni atık malzemeler üzerine bir inceleme", *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, c. 8, sayı 1, ss. 36-43, 2012.
- [69] N. Almesfer, C. Haigh, ve J. Ingham, "Waste paint as an admixture in concrete," *Cement & Concrete Composites*, c. 34, ss. 627-633, 2012.
- [70] M. Nehdi ve J. Sumner, "Recycling waste latex paint in concrete," *Cement and Concrete Research*, c. 33, ss. 857-863, 2003.
- [71] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2020, 15 Aralık). Atıklar [Online]. Erişim: <https://webdosya.csb.gov.tr/db/bolu/icerikler/atiklar-20180222082452.pdf>.
- [72] T. T. Ertaş, "Zararlı atıkların ozon ile oksidasyonu," Doktora tezi, Çevre Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 1997.
- [73] R. Siddique, "Use of municipal solid waste ash in concrete," *Resources, Conservation and Recycling*, c. 55, sayı 2, ss. 83-91, 2010.
- [74] R. Siddique, "Utilization of municipal solid waste (MSW) ash in cement and mortar," *Resources, Conservation and Recycling*, 2010, c. 54, ss. 1037-1047.
- [75] J. Gadea, A. Rodriguez, P. L. Campos, J. Garabito ve V. "Calderon, Lightweight mortar made with recycled polyurethane foam," *Cement and Concrete Composites*, c. 32, ss. 672-677, 2010.
- [76] A. B. Fraj, M. Kismi ve P. Mounwana, "Valorization of coarse rigid polyurethane foam waste in lightweight aggregate concrete," *Construction and Building Materials*, c. 24, ss. 1069-1077, 2010.
- [77] S. Gutierrez-Gonzalez, J. Gadea, A. Rodriguez, C. Junco, ve V. Calderon, "Lightweight plaster materials with enhanced thermal properties made with polyurethane foam wastes," *Construction and Building Materials*, c. 28, ss. 653-658, 2012.
- [78] M. Öztürk. (2003). "İnşaat/yıkıntı atıklarının yönetimi," *Çevre ve Orman Bakanlığı*, Ankara, Türkiye [Online]. Erişim: <https://silo.tips/download/evre-ve-orman-bakanlii-7>.
- [79] E. Arıoğlu, Ö. S. Köylüoğlu, ve E. Akıllıoğlu, "Dünyadaki geri kazanılmış agrega üretim politikalarının gözden geçirilmesi ve ülkemiz açısından irdelenmesi," I. Ulusal Kırmataş Sempozyumu'nda Sunuldu, İstanbul, 1996.
- [80] C. Demirel ve O. Şimşek, "C30 sınıfı atık betonun geri dönüşüm agregası olarak beton üretiminde kullanılabilirliği," *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 2, s. 2, ss. 45-54, 2014.
- [81] C. S. Poon, X. C. Qiao, ve D. Chan, "The cause and influence of self-cementing properties of waste recycled concrete aggregates on the properties of unbound subbase," *Waste Management*, c. 26, ss. 1166-1172, 2006.

- [82] S. Demirel ve H. Ö. Öz, “Atık malzemelerin kendiliğinden yerleşen beton performansına etkisi: bir derleme,” *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 20, s. 3, ss. 40-48, 2017.
- [83] K. S. Rebeiz, “Time-temperature properties of polymer concrete using recycled pet,” *Cement and Concrete Composites*, c. 17, ss. 603-608, 2007.
- [84] C. S. Poon ve D. Chan, “Effects of contaminants on the properties of concrete paving blocks prepared with recycled concrete aggregates,” *Construction and Building Materials*, c. 21, ss. 164-175, 2007.
- [85] T. Kavas, M. Y. Çelik, ve A. Evcin, “Cam atıklarının çimento üretiminde katkı maddesi olarak kullanılabilirliğinin araştırılması,” 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu’nda sunuldu, İzmir, ss.114-119, 2004.
- [86] C. Pollery, S. M. Cramer, ve R. V. De La Cruz, “Potential for using waste glass in portland cement concrete,” *Journal of Materials in Civil Engineering*, c. 10, ss. 210–219, 1998.
- [87] Y. Takeuchi, S. Nishibori, M. Sugiyama ve M. Kobayashi, “Basic Research GRC Recycling,” *Nippon Electric Glass Limited*, ss. 521-1295, 2008.
- [88] Çeliktaş Sınai Kumu Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi. (2020, 20 Kasım). *Silis Agregası Elek Analizi* [Online]. Erişim: <http://www.celiktassilis.com/urunler.html>.
- [89] Çimsa Çimento Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi. (2020, 20 Kasım). *Beyaz Portland Çimentosu; Kimyasal, Fiziksel ve Mekanik Özellikler* [Online]. Erişim: <https://www.cimsa.com.tr/ca/docs/4FE58AA58E3A4B7B85FA9E4EE011A8/115D0474E5924D1E81E793251D5ABEF7.pdf>.
- [90] NOPCO. (2019, 25 April). *Buildent WR-780* [Online]. Erişim: https://nopcokorea.gobizkorea.com/user/goods/frontGoodsDetail.do?goods_no=GS20180317181919.
- [91] Nippon Electric Glass. (2019, 25 April). *AR Cam Lif* [Online]. Erişim: https://www.neg.co.jp/en/product/fiber/a-chopped_strand.
- [92] M. Maraşlı, “Cam lifi takviyeli betonlarda olgunluk indeksi yönetimi ile eğilme ve basınç dayanımlarının tahmin modelinin geliştirilmesi,” Yüksek lisans tezi, Kompozit Malzeme Teknolojileri, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2019.
- [93] S. Çetin, “Güvenlik Bilgi Formu,” Betton Yapı Kimyasalları Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi, Türkiye, Rap 03, 2015.
- [94] *Çimento deney yöntemleri-priz süreleri ve genleşme tayini*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 196-3, (2010).
- [95] *Ön yapımlı beton mamuller-cam elyaf takviyeli çimento (ctç) deney metodu-slampe deneyi metodu*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 1170-1, (1999).
- [96] *Ön yapımlı beton mamuller-cam elyaf takviyeli çimento (ctç) deney metodu-tam eğilme deneyi metodu*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 1170-5, (1999).
- [97] *Ön dökümlü beton mamuller-cam elyaf takviyeli beton mamullerin sınıflandırılması*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 15191, (2010).
- [98] *Çimento deney metotları-dayanım tayini*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 196-1, (2009).

- [99] *Ön yapımlı beton mamuller-cam elyaf takviyeli çimento (ctç) deney metodu-suya daldırma yoluyla su emme ve kuru yoğunluk tayini*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 1170-6, (1999).
- [100] *Düz levhalar-elyaf takviyeli çimento kullanılarak imal edilmiş-mamul özellikleri ve deney yöntemleri*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 12467, (2018).
- [101] B. Yılmaz, “Na-CMC polielektrolit ilavesinin puzolanlı çimento özelliklerine etkisi,” *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, sayı 11, ss. 143-154, 2006.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Kader TOPALOĞLU

Yabancı Dil : İngilizce

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	İnşaat Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2021
Lisans	Yapı Öğretmenliği	Düzce Üniversitesi	2013
Lise	Genel	Tire Şehit Albay İbrahim Karaoğlanoğlu Lisesi	2007

YAYINLAR

Ö. Sallı Bideci, K. Mercanoğlu, A. Bideci, “ Öğütülmüş cam elyaf takviyeli beton (GRC) beton atıklarının çimento ikame malzemesi olarak kullanılabilirliği” *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 6, s. 2, ss. 198-206, 2018.