



T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü



PET, POLİPROPİLEN, POLİETİLEN ATIKLARIN VE CAM TOZUNUN ÇİMENTO HARÇLARININ ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Yüksek Lisans Tezi

Göksu PILSIM

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İzmir
2023

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

**PET, POLİPROPİLEN, POLİETİLEN ATIKLARIN
VE CAM TOZUNUN ÇİMENTO HARÇLARININ
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Göksu PILSIM

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Şemsi YAZICI

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yapı Malzemesi Yüksek Lisans Programı

İzmir
2023

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “PET, Polipropilen, Polietilen Atıkların ve Cam Tozunun Çimento Harçlarının Özelliklerine Etkisi” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

09/02/2023

Göksu PILSIM

ÖZET**PET, POLİPROPİLEN, POLİETİLEN ATIKLARIN VE
CAM TOZUNUN ÇİMENTO HARÇLARININ
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

PILSIM, Göksu

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Şemsi YAZICI

Şubat 2023, 93 sayfa

Bu çalışmada atık plastiklerden elde edilen liflerin ve agreganın ayrıca atık camlardan elde edilen cam tozunun harçlarda kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu uygulamayla artan çevre kirliliğinin önlenmesi ve artan enerji tüketiminin azaltılması yönünde katkıda bulunulması amaçlanmıştır. Bu çalışma kapsamında polietilen tereftalat (PET), yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) ve polipropilen (PP) türü plastik atıklardan elde edilen lifler, harçlarda agrega yerine harç hacminin %0,5, %1, %1,5'i oranında; HDPE ve PP türü plastik atıklardan geri dönüştürülerek üretilen granüler malzeme, agrega yerine hacimce %10, %20, %30 oranında; atık camlardan üretilen cam tozu ise çimento ile yer değiştirilerek ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında kullanılmıştır. Tüm bu harç karışımları için yayılma, birim hacim ağırlık, eğilme ve basınç dayanımı, sülfat direnci deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda plastik lif ve agrega içeren karışımlar için ideal karışım oranı sırasıyla %1 ve %10 olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu orandaki karışımlar ve cam tozu ikameli karışımlarla, su emme ve porozite oranı tayini, aşınma ile hacim kaybı ve kılcal su emme deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre, lifli numunelerde lif türü ve oranına göre harcın performansına olumlu katkı sağlayabileceği görülmüştür. Plastik agregalı harçların kontrol karışımına göre yayılma değerleri ve birim hacim ağırlıkları haricinde harcın performansını olumsuz etkilediği tespit edilmiştir. Harçlarda cam tozu kullanılması ise karışım oranına bağlı olarak harcın performansını olumlu yönde geliştirebileceği görülmüştür.

Anahtar sözcükler: Geri dönüşüm, atık plastik, lif, agrega, cam tozu, çimento harcı.



ABSTRACT**THE EFFECT OF PET, POLYPROPYLENE,
POLYETHYLENE WASTES AND GLASS POWDER ON
THE PROPERTIES OF CEMENT MORTARS**

PILSIM, Göksu

MSc in Civil Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Şemsi YAZICI

February 2023, 93 pages

In this study, the usability of fibers and aggregates obtained from waste plastics and glass powder obtained from waste glass in mortars was investigated. With this application, it is aimed to prevent increasing environmental pollution and to contribute to reducing increasing energy consumption. Within the scope of this study, fibers obtained from polyethylene terephthalate (PET), high-density polyethylene (HDPE) and polypropylene (PP) type plastic wastes were used in mortars at the rate of 0.5%, 1%, 1.5% of the mortar volume instead of aggregate; granular material produced by recycling HDPE and PP type plastic waste, 10 %, 20 %, 30 % in volume instead of aggregate; glass powder produced from waste glass was replaced with cement and used at a rate of 5%, 10% and 15% by weight. For all these mortar mixtures, spread, unit volume weight, bending and pressure resistance, sulfate resistance experiments were performed. As a result of the experiments, the ideal mixture rate for mixtures containing plastic fiber and aggregate was determined as 1 % and 10 %, respectively. With mixtures in this determined ratio and glass powder substituted mixtures, water absorption and porosity ratio determination, abrasion and volume loss and capillary water absorption experiments were carried out. According to the test results, it has been seen that it can contribute positively to the performance of the mortar according to the fiber type and ratio in fibrous samples. It has been found that plastic aggregated fibers adversely affect the performance of the mortar except for the spread values and unit volume weights according to the control mixture. It has been observed that the use of glass powder in mortars can improve the performance of the mortar positively depending on the mixing ratio.

Keywords: Recycling, waste plastic, fiber, aggregate, glass powder, cement mortar.

ÖNSÖZ

Artarak devam eden çevre kirliliğine dikkat çekerek çevre kirliliğinin önlemesine ve enerji tasarrufuna katkıda bulunulması hedefiyle başladığım bu çalışmada, plastik ve cam atıklarının nasıl geri dönüştürülerek değerlendirilebileceğinden yola çıkarak, Ege Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Laboratuvarı'nda gerçekleştirdiğim çalışma kapsamında atık plastiklerin harçlarda lif ve agrega yerine kullanılmasının ve atık camlardan elde edilen cam tozunun harçlarda çimento yerine kullanılmasının çimento esaslı harçların özelliklerine olan etkileri araştırılmıştır. Ayrıca değerli hocam Prof. Dr. Şemsi YAZICI danışmanlığında hazırladığım tez çalışmamın ve bu tez kapsamında yaptığım çalışmaları sunduğum sempozyum ve akademik etkinliklerin kişisel akademik gelişimime önemli katkılar sağladığını düşünmekteyim.

İZMİR

Göksu PILSIM

09/02/2023



İÇİNDEKİLERSayfa

İÇ KAPAK.....	i
KABUL ONAY SAYFASI.....	iii
ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
ÖNSÖZ	xi
İÇİNDEKİLER.....	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xix
TABLolar DİZİNİ.....	xxv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xxix
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç	2
1.2. Kapsam.....	2
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1. Plastikler	4
2.1.1. Plastikler ile ilgili yapılan çalışmalar	5
2.2. Cam Tozu	10

İÇİNDEKİLER (devam)Sayfa

2.2.1. Cam tozu ile ilgili yapılan çalışmalar.....	11
3. DENEYSEL ÇALIŞMA	16
3.1. Kullanılan Malzemeler	16
3.1.1. Çimento.....	16
3.1.2. Agrega	16
3.1.3. Karışım ve kür suyu	21
3.1.4. Lif	21
3.1.5. Cam tozu.....	23
3.2. Harç Karışım Oranları	24
3.3. Numunelerin Üretimi ve Kürü	25
3.4. Numuneler Üzerinde Yürütülen Çalışmalar	26
3.4.1. Yayılma tablası deneyi	26
3.4.2. Eğilme dayanımı analizi	26
3.4.3. Basınç dayanımı analizi.....	26
3.4.4. Birim hacim ağırlık, su emme oranı ve porozite tayini	26
3.4.5. Kılcal su emme deneyi	27
3.4.6. Yüzeysel aşınma (böhme) deneyi	28

İÇİNDEKİLER (devam)Sayfa

3.4.7. Sodyum sülfat direnci	29
4. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ	30
4.1. Yayılma Tablası Deney Sonuçları	30
4.1.1. Plastik lifli karışımların yayılma tablası deney sonuçları	30
4.1.2. Plastik agregalı karışımların yayılma tablası deney sonuçları.....	31
4.1.3. Cam tozu içeren karışımların yayılma tablası deney sonuçları	33
4.2. Eğilme Dayanımı Deney Sonuçları	34
4.2.1. Plastik lifli numunelerin eğilme dayanımları	34
4.2.2. Plastik agregalı numunelerin eğilme dayanımı deney sonuçları	38
4.2.3. Cam tozu içeren numunelerin eğilme dayanımı deney sonuçları	41
4.3. Basınç Dayanımı Deney Sonuçları	43
4.3.1. Plastik lifli numunelerin basınç dayanımı deney sonuçları.....	43
4.3.2. Plastik agregalı numunelerin basınç dayanımı deney sonuçları	47
4.3.3. Cam tozu içeren numunelerin basınç dayanımı deney sonuçları.....	50
4.4. Birim Hacim Ağırlık, Su Emme Oranı ve Porozite Tayini	52
4.4.1. Plastik lifli karışımların birim hacim ağırlıkları, su emme oranı ve porozite tayini	52

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

4.4.2. Plastik agregalı karışımların birim hacim ağırlıkları, su emme oranı ve porozite tayini	56
4.4.3. Cam tozu içeren karışımların birim hacim ağırlıkları, su emme oranı ve porozite tayini	60
4.5. Kılcal Su Emme Deney Sonuçları.....	64
4.5.1. Plastik lifli numunelerin kılcal su emme deney sonuçları	64
4.5.2. Plastik agregalı numunelerin kılcal su emme deney sonuçları	67
4.5.3. Cam tozu içeren numunelerin kılcal su emme deney sonuçları.....	70
4.6. Yüzeysel Aşınma (Böhme) Deney Sonuçları	73
4.6.1. Plastik lifli numunelerin yüzeysel aşınma deney sonuçları	73
4.6.2. Plastik agregalı numunelerin yüzeysel aşınma deney sonuçları	74
4.6.3. Cam tozu içeren numunelerin yüzeysel aşınma deney sonuçları.....	75
4.7. Sodyum Sülfat Etkisi Deney Sonuçları	76
4.7.1. Plastik lifli numunelerin sodyum sülfat etkisi deney sonuçları	76
4.7.2. Plastik agregalı numunelerin sodyum sülfat etkisi deney sonuçları	77
4.7.3. Cam tozu içeren numunelerin sodyum sülfat etkisi deney sonuçları	78
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	80
5.1. Plastik Lifli Karışımlarla İlgili Sonuçlar ve Öneriler.....	80

İÇİNDEKİLER (devam)Sayfa

5.2. Plastik Agregalı Karışımlarla İlgili Sonuçlar ve Öneriler 81

5.3. Cam Tozu İçeren Karışımlarla İlgili Sonuçlar ve Öneriler 82

KAYNAKLAR DİZİNİ 83

TEŞEKKÜR 91

ÖZGEÇMİŞ 93



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1 İnce agreganın gradasyon eğrisi	18
Şekil 3.2 HDPE granül.....	18
Şekil 3.3 HDPE granülün gradasyon eğrisi	19
Şekil 3.4 PP granül	20
Şekil 3.5 PP granülün gradasyonu.....	21
Şekil 3.6 PET damacana	22
Şekil 3.7 PET lif.....	22
Şekil 3.8 HDPE şişe.....	22
Şekil 3.9 HDPE lif.....	22
Şekil 3.10 PP kutu	23
Şekil 3.11 PP lif.....	23
Şekil 3.12 Cam tozu.....	23
Şekil 3.13 Kılcal su emme deneyi	28
Şekil 3.14 Yüzeysel aşındırma (böhme) cihazı	29
Şekil 3.15 Aşındırıcı toz	29
Şekil 3.16 Sodyum sülfat çözeltisindeki numuneler	29

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.17 Dijital komparatör ile boy değişimi ölçümü	29
Şekil 4.1 Plastik lifli harçların yayılma değerleri	30
Şekil 4.2 Plastik lifli harçların kontrol karışımına göre yayılma değerlerindeki değişim oranları	30
Şekil 4.3 Plastik agregalı harçların yayılma değerleri	31
Şekil 4.4 Plastik agregalı harçların kontrol karışımına göre yayılma değerlerindeki değişim oranları.....	32
Şekil 4.5 Cam tozu içeren harçların yayılma değerleri	33
Şekil 4.6 Cam tozu içeren harçların kontrol karışımına göre yayılma değerlerindeki değişim oranları	33
Şekil 4.7 Plastik lifli numunelerin eğilme dayanımları.....	35
Şekil 4.8 PET lifli numunelerin eğilme dayanımları	36
Şekil 4.9 HDPE lifli numunelerin eğilme dayanımları	37
Şekil 4.10 PP lifli numunelerin eğilme dayanımları.....	38
Şekil 4.11 Plastik agregalı numunelerin eğilme dayanımları.....	39
Şekil 4.12 HDPE agregalı numunelerin eğilme dayanımları	40
Şekil 4.13 PP agregalı numunelerin eğilme dayanımları	41
Şekil 4.14 Cam tozu içeren numunelerin eğilme dayanımları	42

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.15 Plastik lifli numunelerin basınç dayanımları	44
Şekil 4.16 PET lifli numunelerin basınç dayanımları.....	45
Şekil 4.17 HDPE lifli numunelerin basınç dayanımları	46
Şekil 4.18 PP lifli numunelerin basınç dayanımları	47
Şekil 4.19 Plastik agregalı numunelerin basınç dayanımları	48
Şekil 4.20 HDPE agregalı numunelerin basınç dayanımları.....	49
Şekil 4.21 PP agregalı numunelerin basınç dayanımları	50
Şekil 4.22 Cam tozu içeren numunelerin basınç dayanımları.....	51
Şekil 4.23 Plastik lifli karışımların taze birim hacim ağırlıkları	53
Şekil 4.24 Plastik lifli numunelerin zamana göre kyd birim hacim ağırlıkları	54
Şekil 4.25 Plastik lifli numunelerin su emme oranları	55
Şekil 4.26 Plastik lifli numunelerin poroziteleri	55
Şekil 4.27 Plastik agregalı karışımların taze birim hacim ağırlıkları	57
Şekil 4.28 Plastik agregalı numunelerin zamana göre kyd birim hacim ağırlıkları	58
Şekil 4.29 Plastik agregalı numunelerin su emme oranları.....	59
Şekil 4.30 Plastik agregalı numunelerin poroziteleri.....	59

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.31 Cam tozu içeren karışımların taze birim hacim ağırlıkları	61
Şekil 4.32 Cam tozu içeren numunelerin zamana göre kyd birim hacim ağırlıkları	61
Şekil 4.33 Cam tozu içeren numunelerin su emme oranları.....	62
Şekil 4.34 Cam tozu içeren numunelerin poroziteleri.....	63
Şekil 4.35 Kontrol numunesinin zamana bağlı su işleme derinliği	64
Şekil 4.36 PET-L1 numunesinin zamana bağlı su işleme derinliği.....	65
Şekil 4.37 HDPE-L1 numunesinin zamana bağlı su işleme derinliği.....	65
Şekil 4.38 PP-L1 numunesinin zamana bağlı su işleme derinliği	66
Şekil 4.39 Plastik lifli numunelerin zamana bağlı su işleme derinlikleri.....	66
Şekil 4.40 Kontrol numunesinin zamana bağlı su işleme derinliği	68
Şekil 4.41 HDPE-A10 numunesinin zamana bağlı su işleme derinliği	68
Şekil 4.42 PP-A10 numunesinin zamana bağlı su işleme derinliği	69
Şekil 4.43 Plastik agregalı numunelerin zamana bağlı su işleme derinlikleri	69
Şekil 4.44 Kontrol numunesinin zamana bağlı su işleme derinliği	70
Şekil 4.45 CT5 numunesinin zamana bağlı su işleme derinliği	71
Şekil 4.46 CT10 numunesinin zamana bağlı su işleme derinliği.....	71

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.47 CT15 numunesinin zamana bağlı su işleme derinliği	72
Şekil 4.48 Cam tozu içeren numunelerin zamana bağlı su işleme derinlikleri	72
Şekil 4.49 Plastik lifli numunelerin yüzeysel aşınma sonucu hacim kaybı	73
Şekil 4.50 Plastik agregalı numunelerin yüzeysel aşınma sonucu hacim kaybı ...	74
Şekil 4.51 Cam tozu içeren numunelerin yüzeysel aşınma sonucu hacim kaybı ..	75
Şekil 4.52 Plastik lifli numunelerin sodyum sülfat etkisiyle zamana bağlı genleşmeleri	76
Şekil 4.53 Plastik agregalı numunelerin sodyum sülfat etkisiyle zamana bağlı genleşmeleri	77
Şekil 4.54 Cam tozu içeren numunelerin sodyum sülfat etkisiyle zamana bağlı genleşmeleri	78



TABLOLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1 Yaygın olarak kullanılan plastiklerin adlandırılması ve kullanım alanları	4
Tablo 2.2 Yaygın olarak kullanılan plastiklerin özellikleri (Ponmalar and Revathi, 2022)	5
Tablo 3.1 Çimentonun kimyasal analizi	16
Tablo 3.2 Çimentonun fiziksel özellikleri.....	16
Tablo 3.3 Kireçtaşı agregasının fiziksel özellikleri.....	17
Tablo 3.4 İnce agreganın elek analizi	17
Tablo 3.5 HDPE granülün özellikleri	19
Tablo 3.6 HDPE granülün elek analizi	19
Tablo 3.7 PP granülün özellikleri.....	20
Tablo 3.8 PP granülün elek analizi.....	20
Tablo 3.9. Cam tozunun kimyasal analizi.....	24
Tablo 3.10 Cam tozunun fiziksel özellikleri	24
Tablo 3.11 1 m ³ harç karışımı için malzeme miktarı.....	25
Tablo 4.1 Plastik lifli numunelerin eğilme dayanımları	34
Tablo 4.2 Plastik lifli numunelerin eğilme dayanımlarının kontrol numunesine göre değişimi	35

TABLOLAR DİZİNİ (devam)

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo 4.3 Plastik agregalı numunelerin eğilme dayanımları.....	39
Tablo 4.4 Plastik agregalı numunelerin eğilme dayanımlarının kontrol numunesine göre değişimi	39
Tablo 4.5 Cam tozu içeren numunelerin eğilme dayanımları	42
Tablo 4.6 Cam tozu içeren numunelerin eğilme dayanımlarının kontrol numunesine göre değişimi	42
Tablo 4.7 Plastik lifli numunelerin basınç dayanımları	43
Tablo 4.8 Plastik lifli numunelerin basınç dayanımlarının kontrol numunesine göre değişimi	44
Tablo 4.9 Plastik agregalı numunelerin basınç dayanımları	48
Tablo 4.10 Plastik agregalı numunelerin basınç dayanımlarının kontrol numunesine göre değişimi	48
Tablo 4.11 Cam tozu içeren numunelerin basınç dayanımları	51
Tablo 4.12 Cam tozu içeren numunelerin basınç dayanımlarının kontrol numunesine göre değişimi	51
Tablo 4.13 Plastik lifli karışımların taze birim hacim ağırlıkları	52
Tablo 4.14 Plastik lifli numunelerin zamana göre kyd birim hacim ağırlıkları	53
Tablo 4.15 Plastik lifli numunelerin su emme ve porozite oranları.....	54
Tablo 4.16 Plastik agregalı karışımların taze birim hacim ağırlıkları	56

TABLOLAR DİZİNİ (devam)

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo 4.17 Plastik agregalı numunelerin zamana göre kyd birim hacim ağırlıkları	57
Tablo 4.18 Plastik agregalı numunelerin su emme ve porozite oranları	58
Tablo 4.19 Cam tozu içeren karışımların taze birim hacim ağırlıkları.....	60
Tablo 4.20 Cam tozu içeren numunelerin zamana göre kyd birim hacim ağırlıkları	61
Tablo 4.21 Cam tozu içeren numunelerin su emme ve porozite oranları	62
Tablo 4.22 Plastik lifli numunelerin kapilarite katsayıları.....	64
Tablo 4.23 Plastik agregalı numunelerin kapilarite katsayıları.....	67
Tablo 4.24 Cam tozu içeren numunelerin kapilarite katsayıları	70
Tablo 4.25 Plastik lifli numunelerin yüzeysel aşınma sonucu hacim kaybı	73
Tablo 4.26 Plastik agregalı numunelerin yüzeysel aşınma sonucu hacim kaybı ..	74
Tablo 4.27 Cam tozu içeren numunelerin yüzeysel aşınma sonucu hacim kaybı .	75



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
a	Numunenin suya temas eden yüzey alanı (mm ²)
d	Suyun yoğunluğu (g/mm ³)
I	Kılcal su emme (mm)
m_t	t anında numune kütlesindeki değişiklik (g)
<u>Kısaltmalar</u>	
A	Agrega
Bha	Birim hacim ağırlık
CT	Cam tozu
HDPE	Yüksek yoğunluklu polietilen
Kyd	Kuru yüzey doygun
L	Lif
PET	Polietilen tereftalat
PP	Polipropilen



1. GİRİŞ

Dünyadaki en büyük sorunlardan biri olan çevre kirliliği artarak devam etmektedir. Bunun birçok sebebi olmakla birlikte en büyük sebeplerinden biri de plastik atıklardır. OECD'nin (2022) yayınladığı rapora göre 2019 yılında Dünya'da plastik üretiminin 460 milyon tona çıktığı, plastik atık miktarının 353 milyon tona ulaştığı ve bu atıkların sadece %9'unun geri dönüştürülebildiği belirtilmiştir. Bu atıkların doğada çözümleri yüzlerce yıl sürmesinin yanı sıra bu çözünme sırasında metan ve etilen gibi zararlı sera gazlarının oluşumu sonucu küresel ısınmayı hızlandırmasıyla birlikte bütün canlılar için büyük bir tehdit oluşturmaktadır.

Dünyada endüstriyel ve evsel atıkların imhası çok büyük bir sorundur. Bunun için en iyi çözüm bu atıkların yeniden kullanılmasıdır. Özellikle atık plastiklerin beton ve harçlarda kullanılabilirliği ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalarda atık plastikler, harç ve beton üretiminde agrega ile ikame edilerek agrega ve lif olarak değerlendirilmişlerdir. Bu noktada hem büyük bir çevre sorununa kısmen de olsa çözüm bulma hem de beton ve harçların özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

Çevre kirliliğine sebep olan bir diğer sorun ise imalatı artarak devam eden çimentonun üretimi sırasında oluşan karbondioksit, sülfür dioksit ve azot dioksit gibi zararlı gazlardır. 2021 yılında Türkiye'de Türk Çimento üyelerinin toplam çimento üretimi bir önceki yıla göre %9,2 artarak yaklaşık 79 milyon tona yükselmiştir (Türk Çimento, 2022). Yılda yılda yükselen bu artış yüksek üretim maliyetinin yanında bir ton çimento üretiminin atmosfere bir ton karbondioksit salınmasına sebep olduğu gerçeğiyle birlikte atık malzemelerin yapı malzemeleri ile yer değiştirilerek kullanılması ekonomik etkilerinin yanı sıra çevre kirliliğiyle mücadele etmenin bir yolu olduğu değerlendirilmektedir (Neville, 2011). Bu yüzden beton ve harçlarda çimento kullanımını azaltacak birçok yöntem denenmektedir. Bunlardan biri de cam tozunun çimentonun bir kısmı yerine kullanılmasıdır. Böylece cam tozunun kullanılmasıyla birlikte büyük bir miktarda atık problemine bir katkı sağlamanın yanı sıra çimento tüketiminin azalmasıyla hem daha az enerji tüketilerek daha ekonomik hem de çevresel yarar sağlayarak daha çevre dostu bir beton ve harç elde edilebilecektir.

1.1. Amaç

Bu çalışmada, agrega yerine değişik oranlarda polietilen tereftalat (PET), yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) ve polipropilen (PP) atıklarından elde edilen liflerin kullanımının ve ayrı bir çalışma olarak HDPE ve PP atıklarından dönüştürülmüş granül ürünlerin agrega yerine kullanımının ve yine ayrı bir çalışma olarak çimento bir kısmı yerine atık camlardan üretilen cam tozu kullanımının çimento esaslı harçların mekanik, durabilite ve fiziksel özelliklerine etkisi incelenmiştir. Bu tür atıkların agrega ve çimento yerine kullanımı ile çevre kirliliğinin önlenmesi ve enerji tasarrufuna katkıda bulunulması hedeflenmiştir.

1.2. Kapsam

Bu çalışma 3 aşamalı olarak yürütülmüştür.

Çalışmanın birinci aşamasında; PET, HDPE ve PP olmak üzere 3 farklı tipteki atık plastik kesilerek lif haline getirilmiştir. Bu lifler harç hacminin %0,5, %1 ve %1,5 oranlarında agrega yerine kullanılarak çimento esaslı harçlar üretilmiştir. Üretilen bu plastik lifli harçların yayılma, eğilme ve basınç dayanımı, birim hacim ağırlık, su emme ve porozite oranı tayini, kılcal su emme deneyi, yatay aşındırma ile hacim kaybı ve sülfat direnci deneyleri yapılarak harçların mekanik, durabilite ve fiziksel özellikleri incelenmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında; HDPE ve PP atıklarından geri dönüştürülerek üretilen granüler ürünler hacimce %10, %20 ve %30 oranlarda agrega yerine kullanılmıştır. Üretilen bu plastik granüllü harçların yayılma, eğilme ve basınç dayanımı, birim hacim ağırlık, su emme ve porozite oranı tayini, kılcal su emme deneyi, yatay aşındırma ile hacim kaybı ve sülfat direnci deneyleri yapılarak harçların mekanik, durabilite ve fiziksel özellikleri incelenmiştir.

Çalışmanın üçüncü aşamasında ise; atık camlardan elde edilmiş olan cam tozu çimento yerine ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında kullanılarak harçlar üretilmiştir. Üretilen bu harçların yayılma, eğilme ve basınç dayanımı, birim hacim ağırlık, su emme ve porozite oranı tayini, kılcal su emme deneyi, yatay aşındırma ile hacim kaybı ve sülfat direnci deneyleri yapılarak harçların mekanik, durabilite ve fiziksel özellikleri incelenmiştir.

Çalışmada üretilen çimento esaslı harçların karışım kompozisyonu ağırlıkça 3 kısım agrega 1 kısım çimento, 1/2 kısım su olarak hazırlanmıştır. Harç karışımlarında bağlayıcı olarak CEM I 42,5 R tipi çimento ve agrega olarak 0-4 mm büyüklüğünde kireçtaşı kökenli ince agrega kullanılmıştır.



2. GENEL BİLGİLER

Literatür çalışması iki bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde plastikler hakkında genel bir bilgi verildikten sonra atık plastiklerin beton ve harç üretiminde kullanımıyla ilgili çalışmalara yer verilmiştir. İkinci bölümde ise cam tozu ile ilgili genel bir bilgi verildikten sonra cam tozunun beton ve harçlarda kullanımına ilişkin yapılan araştırmalar ele alınmıştır.

2.1. Plastikler

Plastikler, ham maddesi olan petrol esaslı ürünler ve doğal gazı kullanarak kimyasal dönüşümleri sonucu ortaya çıkan ürünlerdir. Plastikler oldukça hafif malzemelerdir. Hatta birçok plastik sudan hafiftir. Bunun yanında paslanma yapmayıp korozyona uğramazlar. Esnek ve yumuşak yapıda, kolay hasar almamaları ve istenildiği gibi şekil verilebilmeleri, yüksek ısı ve elektrik izolasyonu sağlamaları yönünden hayatımızın vazgeçilmezleri olmuştur. Ayrıca, çeliğin 1400 °C işleme sıcaklığı ile plastiklerin yaklaşık 250 °C olan işleme sıcaklıkları karşılaştırıldığında plastiklerin çok daha düşük enerji ile daha kolay işlenebildikleri görülmektedir (Akçaözoğlu, 2008; Akcan vd., 2018).

Tablo 2.1’de yaygın olarak kullanılan plastiklerin adlandırılması ve kullanım alanları, Tablo 2.2’de yaygın olarak kullanılan plastiklerin özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.1 Yaygın olarak kullanılan plastiklerin adlandırılması ve kullanım alanları

Geri Dönüşüm Numarası	Kısaltması	Plastik Türü	Kullanım Alanları
1	PET	Polietilen tereftalat	Su, meşrubat ve yağ şişeleri
2	HDPE	Yüksek yoğunluklu polietilen	Çamaşır suyu, deterjan ve şampuan şişeleri, varil ve bidonlar
3	PVC	Polivinil klorür	Kapı, pencere, boru ve elektrik kablosu
4	LDPE	Düşük yoğunluklu polietilen	Ambalaj ve çöp torbaları
5	PP	Polipropilen	Biberon, içecek, yoğurt ve dondurma kapları
6	PS	Polistiren	Plastik bardak ve tabak

Tablo 2.2 Yaygın olarak kullanılan plastiklerin özellikleri (Ponmalar and Revathi, 2022)

Plastik Türü	Yoğunluk (kg/m ³)	Su Emme (%)	Yumuşama ve Erime Noktası (°C)	Bozunma Sıcaklığı (°C)	Isıl İletkenlik Katsayısı (25 °C W/mK)
PET	1300-1400	0,001	160-260	300-570	0,15
HDPE	930-970	0,01-0,001	130-180	390-490	0,44
PVC	1380	0	100-260	200	0,19
LDPE	915-945	0	115	370-450	0,33
PP	900-990	0	140-160	271-329	0,11
PS	1050	0	110-140	300-350	0,033

2.1.1. Plastikler ile ilgili yapılan çalışmalar

Espinal vd. (2022), standart Portland çimentosu ile yapılan harçlarda polivinil klorür (PVC), düşük yoğunluklu polietilen (LDPE), polipropilen (PP), polistiren (PS) ve akrilonitril bütadien stiren (ABS) gibi plastiklerin lif olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Ayrıca mikrobiyal olarak indüklenen kalsiyum karbonat çökmesinin (MICP) lifler ile kullanımının arayüz bölgesindeki yaratacağı gelişmelere bakılmıştır. Tek lif çekme deneyi yapılarak MICP ve liflerin birlikte kullanımının liflerin tutunma özelliklerini arttırmadığı görülmüştür. Tüm plastik lif grupları içerisinde ABS en yüksek tutunma özellik gösteren lif olmuştur.

Ahmad vd. (2022), plastik atıkların çimento ve harçlarda agrega ve lif olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Hazırlanan numuneler üzerinde çökme, basınç eğilme ve çekme dayanımı, kuruma büzülmesi, su emme ve porozite oranı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan deney sonuçlarına göre plastik atıkların lif olarak kullanılması mekanik performansı arttırdığı fakat agrega olarak kullanılması betonun performansını düşürdüğü görülmüştür.

Mansour vd. (2022), çimento harçlarında etilen vinil asetat (EVA), polipropilen (PP) ve poliamid (PA) türü plastik granüller kullanımı sonucu agrega-matris etkileşimini incelemişlerdir. Bu harçlar üzerinde yoğunluk, eğilme ve basınç dayanımı ile süneklik ölçümü yapılmıştır. Ayrıca geri saçılan elektron (BSE) modunda taramalı elektron mikroskopu (SEM) ve enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDS) kullanılarak harçların mikroyapısı incelenmiştir. Yapılan deney sonuçlarına göre genellikle, boşluk oranının arttığı, yoğunluğun, eğilme ve basınç dayanımının azaldığı görülmüştür. Harçlarda EVA içeriğinin artmasıyla deformasyon ve enerji emiliminin %100'e kadar arttığı görülmüştür.

Beller (2019), atık PET agregalı harçların yüksek sıcaklığa maruz kalması sonucu oluşan özellik değişimlerini incelemiştir. Hacimce %0 ile %30 arasında 6 adet farklı karışım hazırlanarak 100 ile 400 °C arasında 6 farklı sıcaklıkta 1, 2 ve 3 saat bekletilmiştir. PET miktarının artmasıyla harç kıvamlarının ve birim hacim ağırlık değerlerinin azaldığı ve tüm karışımlarda PET miktarının ve sıcaklığın artmasıyla birlikte ultrases geçiş hızı, basınç ve eğilme dayanımlarının azaldığı görülmüştür.

Karakulak (2019), karışımlarda kablo atıklarını ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranında kuvars kumu ile yer değiştirerek, uçucu külü %10, %20 ve %30 oranında çimento ile yer değiştirerek harç karışımları hazırlamıştır. Numuneler üzerinde basınç ve eğilme çekme dayanımı, 200 ve 400 °C’de yüksek sıcaklık deneyi ve donma çözülme deneyi yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre karışımlarda atık kablo kullanımıyla basınç ve eğilme çekme dayanımlarında azalma meydana gelmiştir. Karışımlarda atık kablo ve uçucu kül oranının artmasıyla bu azalma devam etmiştir. Sıcaklık ve atık kablo oranının artışıyla birlikte basınç dayanımlarında azalma meydana gelmiş. Atık kablo ve uçucu kül oranının artışıyla donma çözülme sonrası basınç dayanımı değerlerinin düştüğü görülmüştür.

Gül’ün (2018) yaptığı çalışmada PET/plastik ve kumun çeşitli orarlarda karıştırılmasıyla hafif betonlar üretilmiş. Karışımlarda PET/plastik oranı arttıkça basınç dayanımının ve ısı iletkenlik değerinin düştüğü, su emme oranının ise arttığı gözlemlenmiştir.

Gregorova vd. (2017), kablo, polistiren ve etilen vinil asetat (EVA) atıklarının agrega yerine kullanarak hafif beton üretimi üzerine çalışmışlardır. Tüm karışımlar su/çimento oranı 0,5 ve çimento dozu 175 kg/m³ olarak üretilmiş olup karışımlarda sadece atık plastik agrega oranı değiştirilmiştir. Plastik atıklar %100, %75/%25, %50/%50 oranlarında olmak üzere 9 farklı kombinasyonda üretilmiştir. Üretilen hafif betonların yoğunluk, stres ve termal iletkenlik deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre uygun kombinasyonda üretilen plastik atıklı hafif betonların iyi bir termo-teknik ve mekanik özelliklere sahip olabileceği sonucuna varılmıştır.

Mohammed (2017), PET atığı içeren betonların mekanik özellikleri belirlenip analiz edilerek elastik modül, yarmada çekme ve eğilme dayanımlarını hesaplamak için denklemler geliştirmiştir. Yapılan analizlerin sonuçlarına göre PET atığı içeren betonların basınç dayanımları ile diğer mukavemet özellikleri arasında iyi bir korelasyon olduğu görülmüştür. Bu korelasyonun diğer plastik türleri içinde geçerli

olduğu ve önerilen modellerin PET atıkları ile diğer plastik atıkların betonda kullanılarak yapılan bu analizlerde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Sadrmomtazi vd. (2016), atık PET parçalarının ve puzolanik malzemelerinin kendiliğinden yerleşen betonda kullanımının etkisini incelemiştir. Karışımındaki ince agregaya yerine ağırlıkça %5, %10, %15 oranlarında atık PET parçaları kullanılmıştır. Ayrıca çimento ile %10 ve %30 oranlarında yer değiştirilerek silis dumanı ve uçucu kül kullanılmıştır. Yapılan deney sonuçlarına göre kendiliğinden yerleşen betonda agregaya yerine PET parçalarının kullanılmasıyla eğilme, basınç ve çekme dayanımlarında azalma gerçekleşmiştir fakat çimento yerine kullanılan puzolanik malzemeler bu azalmayı telafi etmişlerdir. Sonuç olarak kendiliğinden yerleşen betonda agregaya yerine atık PET parçalarının kullanılabilir olduğu betonda kırılma dayanımı azalttığı sonucuna varılmıştır.

Nikbin vd. (2016), atık PET katkılı normal ve hafif betonun sülfürik asit erozyonuna karşı direncini test etmiştir. Hem doğal hem de hafif betondaki agregaya ile atık PET parçaları %5, %10, %15 oranlarında yer değiştirilerek beton numuneleri üretilmiştir. Hazırlanan numuneler %5 oranında hazırlanan sülfürik asit çözeltisinde bekletildikten sonra 15, 30 ve 60 gün aralıkla kütle ölçümü kırılma yükü ve ultrasonik dalga hızı deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre hafif betonun normal betona göre daha az aşındığı görülmüştür. Hafif betonda yaşanan kütle kaybındaki, kırma yükündeki ve ultrasonik dalga hızındaki azalma oranlarının normal betona göre daha az olduğu görülmüştür.

Saikia ve Brito (2014), atık PET parçalarının betonda kullanılabilirliğini incelemiştir. Agreganın yerine hacimce %5, %10, %15 oranlarında 3 farklı şekil ve boyuttaki PET agregaya ile yer değiştirilerek üretilen beton numuneler üzerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarına göre PET agregaya kullanımı ve oranının artışıyla betonun çökme değerinin, eğilme ve basınç dayanımının, elastisite modülünün düştüğü fakat aşınma direncinin arttığı görülmüştür.

Liu ve Chen (2014), farklı boyutlarda EPS parçaları kullanarak EPS betonu üretmişlerdir. Üretilen bu betonların eğilme, basınç, çekme dayanımı ve ultrasonik hız testi yapılmıştır. Yapılan deneylerin sonucuna göre betondaki EPS parça boyutu ve büyüklüğüyle ilişkili olarak betondaki EPS hacminin artışıyla eğilme ve basınç dayanımının düştüğü, elastik modülün yükseldiği ve ultrasonik hızın düştüğü gözlemlenmiştir.

Rahmani vd. (2013), atık PET parçaları ile betondaki agreganın %5, %10 ve %15 oranlarında yer değiştirilmesiyle üretilen betonların özelliklerini incelemiştir. Deney sonuçlarına göre atık PET parçaları içeren betonun işlenebilirliğinin, yoğunluğunun, elastisite modülünün ve yarmada çekme dayanımının kontrol karışımına göre daha düşük olduğu görülmüştür. PET parçaları içeren numunelerin eğilme ve basınç dayanımlarında öncelikle artma sonrasında azalma yönünde bir eğilim göstermiştir. Ultrasonik darbe testinde betonda agregaya yerine PET parçaları kullanımının beton için gözenekli bir yapı oluşturduğu görülmüştür.

Memiş ve Örüng (2012), atık plastik PET şişelerin öğütülüp 4 mm çapındaki elekten elendikten sonra agregaya ile ağırlıkça %2,5, %5, %7,5 ve %10 oranlarında yer değiştirilerek çimento, çimento-kireç ve kireç bağlayıcıları ile birlikte sıva malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırmak için karışımlar hazırlamışlardır. Yapılan deneyler sonucu atık PET ile üretilen numunelerin kontrol karışımına göre eğilme ve basınç dayanımları, birim hacim ağırlıkları, donma-çözülme dayanıklılığı ve su emme oranının arttığı, ısı iletkenlik katsayısının ve çatlak oluşumunun azaldığı gözlenmiştir. Böylece sonuçlar değerlendirildiğinde atık PET ikameli sıvaların kullanımının faydalı olabileceği sonucuna varılmıştır.

Özel vd. (2011), 3 farklı oranda atık PET şişelerden elde edilen 3x8 mm boyutlarındaki liflerin karışımlarda kullanımının polipropilen fiberlere (PPF) alternatif olup olamayacağını incelemişlerdir. Üretilen numuneler üzerinde çökme deneyi, ultrases geçiş hızı tayini, eğilme ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre karışımlarda 3x8 mm boyutlarında üretilen atık PET lif kullanımının betonun mekanik ve fiziksel performansını zayıflattığı fakat PPF'ye alternatif olabileceği değerlendirilmiştir.

Binici vd. (2011), kalker, pomza, bazalt ve kuvars kumları ile bu kumların %30'u oranında bağlayıcı yerine kullanılan atık polietilen (PE) bardaklar 180-200 °C sıcaklıkta eritilip kumlar ile homojen karıştırılarak çimentosuz harç numuneleri üretmişlerdir. Aynı zamanda çimento ve aynı kumlar ile üretilen bir kontrol numunesi hazırlamışlardır. Elde edilen harçlar 10x10x10 cm küp ve 4x4x16 cm prizma şeklindeki kalıplara dökülerek üretilen numuneler üzerinde eğilme, basınç, tokluk, su emme, aşınma ve ısı iletkenlik deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen deney sonuçlarına göre, kuvars kalker ve bazalt kumu içeren numunelerin basınç dayanımlarında kontrol numunesine göre yaklaşık %60 artış olduğu görülmüştür. PE kullanılarak üretilen numunelerin kontrol karışımına göre tokluk ve süneklik

değerlerinde artış, su emme, aşınma ve ısı iletkenlik katsayılarında ise azalış meydana geldiği görülmüştür.

Aiello vd. (2010), atık lastik kauçuk parçalarının doğal agrega ile ikame edilerek beton karışımlarında kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışma sonuçlarına göre kauçuk ikameli numunelerde işlenebilirliğin arttığı, birim hacim ağırlığın azaldığı, eğilme ve basınç dayanımlarında azalma meydana geldiği görülmüştür.

Akçaözoğlu (2008) tarafından yapılan, PET şişe kırıklarının hafif beton agregası olarak kullanılabilirliği ile ilgili çalışmada PET/bağlayıcı oranının 0,50'den 0,60'a çıkarılmasıyla basınç dayanımlarında bir düşüş görülmemekle birlikte eğilme dayanımları ve rötrede azalış meydana gelmiştir. Çalışma sonucuna göre PET şişe kırıklarının hafif beton tasarımında agrega olarak kullanılabilir olduğu gözlemlenmiştir.

Yılmaz ve Değirmenci (2008), karışımlarda kütlece %20 ve %30 oranında atık otomobil lastiği kullanarak karışımlar hazırlamışlardır. Bu atık lastik karışımlarda 0-0,25, 0,25-0,50, 0,50-1,0 mm olmak üzere 3 farklı boyutta kullanılarak farklı karışımlar hazırlanmıştır. Ayrıca bu karışımlarda uçucu kül de kullanılmıştır. Karışımlar %20 atık lastik, %70 uçucu kül, %10 çimento ve %30 atık lastik, %60 uçucu kül, %10 çimento olarak hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımlar üzerinde 28 günlük eğilme ve basınç dayanımı, birim hacim ağırlık ve su emme deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre %20 atık lastik içeren karışımların deney sonuçlarının %30'a göre daha iyi gelmesiyle birlikte %20 atık lastik içeren karışımlarla 14, 28 ve 56 günlük eğilme ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Numunelerdeki atık kauçuk parça boyutlarının artmasıyla birlikte eğilme ve basınç dayanımlarında artış su emme değerlerinde azalış ve birim hacim ağırlıklarında artış görülmüştür.

Şahin vd. (2007), doğal hafif agrega ile PVC atıklarının %10, %20 ve %30 ikame edilerek hazırlanan karışımlar sonucu elde edilen hafif betonlar ile basınç dayanımı, birim hacim ağırlık ve su emme deneyleri yapmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, karışımlardaki PVC oranının artmasıyla basınç dayanımı ve birim hacim ağırlıklarında artış, su emme oranında ise azalış gerçekleşmiştir. Çalışma sonucunda araştırmacılar, karışımlardaki PVC oranının artmasıyla su emme değerlerindeki azalmadan yola çıkarak hazırlanan malzemenin dayanımı ve ısı

yalıtım özelliklerinin daha iyi oranda olacağından özellikle tarımsal yapılarda dayanımın fazla önemli olmadığı alanlarda kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Elzafraney vd. (2005), enerji açısından verimli beton binaların geliştirilmesi için agrega olarak HDPE (yüksek yoğunluklu polietilen), PVC (polivinil klorür) ve PP (polipropilen)'den oluşan geri dönüştürülmüş plastik kullanımını amaçlamışlardır. Yapılan çalışmalarda birinde normal beton diğerinde yüksek oranda geri dönüştürülmüş plastik agrega kullanılmış ve çıkan sonuçlara göre plastik agrega kullanılan betonun normal betona göre enerji verimliliğinin daha fazla olduğu görülmüş.

Gavela vd. (2004), PET ve PP'nin betonda agrega olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. PET ve PP normal agrega yerine %20 ve %30 oranlarında kullanılmıştır. Yapılan deneylerde aynı oranlarda kullanılan plastiklerin bulunduğu numunelerde 7 ve 28 günlük basınç ve eğilme deneyleri yapılmış ve benzer sonuçların çıktığı fakat karışımdaki plastik oranı arttıkça basınç ve eğilme dayanımlarının azaldığı görülmüştür. Buradan da kullanılan plastik türünün mukavemeti etkilemediği sonucuna varılmıştır.

Koide vd. (2002), %85 PET, %15 PE ve PP'den oluşan bir plastiğin beton içerisinde hafif beton agregası olarak kullanımını araştırmışlardır. Araştırma sonucuna göre bu plastiğin hafif beton agregası olarak kullanılabileceği görülmüştür. Karışım içerisindeki plastik oranının artmasıyla dayanımın düştüğü görülmekle birlikte hem mukavemet hem de betonun yoğunluğu için plastik iri agreganın hacimce karışım oranının 0,35 ile 0,40 arasında olması tavsiye edilmiştir. Ayrıca betonun 60 °C'ye kadar yeterli yüksek sıcaklık ve donma çözülme direncine sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

2.2. Cam Tozu

Camların ana bileşeni ve saydamlık özelliğini veren aynı zamanda kumun da en önemli parçası silistir. Camlar eriyik haldeki malzemenin katılaşmasıyla ortaya çıkmaktadır. Katılaşma sırasında uygulanan soğutma işlemi camın kristalleşmesine imkân vermeyecek kadar çabuk gerçekleşmektedir. Sıcaklık düştükçe camın viskozitesi yükselir ve sıvı halden katı hale geçer (Yüksel, 2009; Çorbacioğlu, 2019).

Günümüzde sürdürülebilirlik kavramının önemi giderek artmaktadır. Yapı sektöründe çevreci malzemelerle çalışmak özellikle yapının en büyük kalemlerinden biri olan çimentonun çevreci hale getirilmesi büyük önem arz etmektedir. Son zamanlarda yapılan araştırmalara baktığımızda çimento yerine cam tozu kullanımıyla ilgili yapılan çalışmalar dikkat çekmektedir. Çimento yerine cam tozu kullanımının en önemli nedenleri enerji tüketimini ve CO₂ gazı salınımını azaltmaktır. Bu sebeple atık camların uygun boyutlarda öğütülmesi sonucu çimento ile yer değiştirilerek harçlarda ve betonda kullanılması hedeflenmektedir (Kamali and Ghahremaninezhad, 2016; Çorbacioğlu, 2019).

2.2.1. Cam tozu ile ilgili yapılan çalışmalar

Zao vd. (2022), atık camlardan üretilen farklı boyutlardaki cam tozunun çimento harçlarında kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Deney sonuçlarına göre cam tozu içeren numunelerin yaşı arttıkça basınç ve eğilme dayanımlarında artış olduğu görülmüştür. Cam tozu boyutu küçüldükçe eğilme ve basınç dayanımında artış yaşanmıştır. Bu artış camın pozolanik etkisiyle birlikte arayüz bölgesindeki boşlukları doldurması olarak açıklanabilir.

Zeybek vd. (2022), atık camın toz haline getirilip betonda kullanılmasının etkisini incelemişlerdir. Numuneler cam tozunun çimento ile %10, %20, %30, %40 ve %50 oranlarında yer değiştirilmesiyle üretilmişlerdir. Ayrıca numuneler kırık cam parçalarının çimento, ince ve iri agrega ile %10, %20 ve %30 oranlarında yer değiştirilmesiyle üretilmiştir. Üretilen numuneler üzerinde eğilme, basınç ve yarmada çekme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Elde edilen deney sonuçlarına göre %20 cam tozu içeren karışım optimum karışım olarak kabul edilmiştir. SEM ile yapılan gözlem sonucu atık camın çimentolu beton ile iyi bir uyum sağladığı görülmüştür.

Li vd. (2022), harçlarda çimento yerine atık camlardan elde edilmiş cam tozu kullanımının etkisini araştırmışlardır. Karışımda 4 farklı boyutta öğütülmüş cam tozu kullanılmıştır. Cam tozu 20-44 µm boyutuna kadarki incelikte en yüksek basınç dayanımına ulaşmış olup kontrol karışımından da daha iyi bir performans sergilemiştir.

Bayraktar (2021), harç üretiminde çimento yerine %10, %20, %30 ve %40 oranlarında silis dumanı ve cam tozunun tek tek ve birlikte kullanımlarının harçlar üzerindeki etkisini araştırmıştır. Üretilen numuneler üzerinde eğilme ve basınç

dayanımı deneyleri yapıp yüksek sıcaklık ve alkali-silika reaksiyonu (ASR) etkisi incelenmiştir. Yapılan deney sonuçlarına göre cam tozunun ve silis dumanının harçlarda hem tek başlarına hem de birlikte kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Bouty ve Homsı (2021), beton karışımlarında çimento yerine %10, %15, %20 ve %25 oranlarında atık camlardan elde edilen cam tozunun kullanılması üzerine çalışma yapmışlardır. Deneylerde 25 MPa ve 32 MPa olmak üzere 2 farklı beton karışımı üretilmiştir. Üretilen numuneler üzerinde çökme, akış testi, hava içeriği testi, eğilme ve basınç dayanımı ile su emme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarına göre çimentonun cam tozu ile yer değiştirilmesi taze beton özellikleri üzerinde kayda değer bir etki ortaya çıkmamıştır. Eğilme dayanımlarında 25 MPa beton karışımında %10 oranında cam tozu kullanımıyla %17 oranında bir artış yaşanmıştır. Diğer karışımlarda cam tozu oranına bağlı olarak azalma meydana gelmiştir. Basınç dayanımlarında cam tozu oranının artışıyla azalma olduğu görülmüştür. Su emme deneyinde 25 MPa beton karışımında su emme oranlarının kontrol karışımına göre arttığı, 32 MPa beton karışımlarında %10 cam tozu içeren numune hariç azaldığı görülmüştür.

Higuchi vd. (2021), düzcam üretimi sırasında yapılan polisaj işlemi sonucu ortaya çıkan cam tozu kalıntısını öğütürerek harçlarda kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Harçlarda cam tozunu çimento yerine %10, %15, %20 ve %25 oranlarında kullanarak numuneler hazırlanmıştır. Yapılan deneylerin sonuçlarına göre %20 oranında cam tozu kullanılan numunede basınç dayanımında azalma olmadığı, 14 gün boyunca yapılan alkali-silika reaksiyonunda pozitif azalma olduğu görülmüştür. Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde harçlarda %15 oranında cam tozu kullanımının en yüksek verime sahip karışım oranı olduğu, maksimum %20 cam tozu içeriğinin kabul edilebilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Bıçakçioğlu (2020), cam tozu ve yüksek fırın cürufunun ultra yüksek performanslı betonda çimento yerine kullanımının beton basınç dayanımına olan etkisini incelemiştir. Cam tozu ve yüksek fırın cürufu çimento yerine %4 ve %8 oranlarında ayrı ayrı ve beraber kullanılarak karışımlar hazırlanmıştır. Yapılan çalışmada cam tozu miktarı arttıkça 7 ve 14 günlük numunelerde basınç dayanımının düştüğü, 28 gün ve sonrası için ise basınç dayanımının kontrol numunesine göre değişimi oldukça az olduğu görülmüştür.

Horszczaruk ve Brzozowski (2019), çimento harçlarında çimento yerine %3, %5, %10 ve %20 oranlarında atık camlardan elde edilen cam tozu kullanımını

araştırmışlardır. Üretilen numuneler üzerinde yayılma, eğilme ve basınç dayanımı ve su emme deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre harçlarda %5 oranında çimento yerine cam tozu kullanımının 28 ve 56 günlük kürlemenin ardından mekanik özelliklerinde önemli bir değişiklik olmazken harcın işlenebilirliğinde iyileşme ve daha az su emme oranı olduğu görülmüştür. Cam tozunun %10 ve %20 oranlarında kullanılması harcın mekanik özelliklerini olumsuz etkilemiştir.

Yücel vd. (2019), harçlarda çimento yerine %5, %10, %15, %20, %25 ve %30 oranlarında atık camlardan elde edilen cam tozu kullanımının etkilerini araştırmışlardır. Üretilen numuneler üzerinde yayılma, kılcal su emme, hızlı klor geçirimsizliği ve gaz geçirimsizliği deneyleri yapılmıştır. Yapılan deney sonuçlarına göre harçlarda cam tozu kullanımının kontrol numunesine göre işlenebilirliği arttırdığı görülmüştür. Bununla birlikte en iyi durabilite performansını veren karışım oranı %5 olup %10 cam tozu içeren karışımın da durabilite performansının kontrol karışımına göre daha iyi geldiği görülmüştür.

Letelier vd. (2019), harçlarda çimento yerine farklı oranlarda ve boyutlarda cam tozu kullanımını araştırmışlardır. Harç karışımlarında çimento yerine %10, %20, %30 oranında ve 38 µm, 45 µm, 75 µm boyutlarında öğütülen cam tozu kullanımı ayrı ayrı incelenmiştir. Hazırlanan numuneler üzerinde eğilme ve basınç dayanımı, ultrasonik darbe hızı, su emme, gözeneklilik ve kılcal su emme deneyleri yapılmıştır. Yapılan deney sonuçlarına göre 38 µm boyutundaki cam tozunun boşlukları doldurucu etkisi ve puzolanik aktivitesi nedeniyle çimento ile %30 oranında yer değiştirilebilmesine imkân sağlamıştır. Bununla birlikte yapılan deneyler üzerinde cam tozu boyutunun önemli etkileri olduğu görülmüştür.

Patel vd. (2019), 63 ve 75 µm boyutlarındaki cam tozunun çimento ile ağırlıkça %5, %10, %15 ve %20 oranında yer değiştirilmesiyle üretilen numunelerin özelliklerini incelemişlerdir. Sonuç olarak 63 µm boyutunda %20 cam tozu oranına sahip numunelerin daha verimli olduğu sonucuna varılmıştır.

Saltaş'ın (2019) yaptığı çalışmada, atık cam tozunun farklı oranlarda çimento yerine kullanılıp taze betona ve sertleşmiş betonun mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Araştırma sonucunda çimento yerine atık cam tozu kullanım oranının artışıyla birlikte çökme değerinin de arttığı görülmüştür. Cam tozu kullanımına bağlı olarak sertleşmiş betonda erken yaşlarda kontrol numunesine göre dayanım kaybı söz konusu olsa da ileri yaşlarda bu kayıp kısmen kapanmıştır.

Kalakada vd. (2019), iri cam tozunun ($\leq 150 \mu\text{m}$) çimento yerine kullanılmasını araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmalarda, cam tozu miktarına bağlı olarak kontrol numunesine göre basınç dayanımlarında artış meydana gelmiştir. %30 cam tozu katkılı karışımda klorür iyonlarının nüfusuna karşı direnci %32 oranında artmıştır. Cam tozu katkılı karışımların çoğu kontrol karışımına göre daha fazla büzülme göstermiştir. Karışımda cam tozu oranı arttıkça çökme değerleri ve hidratasyon ısısı azalmış olup %30 cam tozu katkılı karışımda hidratasyon ısısında %24'lük bir azalma meydana gelmiştir.

Ez-zaki vd. (2018), kum ile ağırlıkça %20, %40 ve %60 oranlarında cam tozu veya midye kabuğu tozu ile yer değiştirerek harç karışımları hazırlanmışlardır. Hazırlanan bu numuneler üzerinde basınç dayanımı, klor iyonu geçirgenliği, ısı iletkenliği ve hacimsel ısı kapasitesi deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre cam tozu ve midye kabukları kullanılan numunelerin ısı iletkenlikleri kontrol karışımına göre azalmıştır. Cam tozunun %40 oranında kullanılması basınç dayanımını arttırmıştır. Ayrıca cam tozu oranının artışıyla harçlarda klor iyonu geçirgenliği azalmıştır.

Uzun vd. (2018), çimento yerine ağırlıkça %10, 15 ve 20 oranlarında cam tozu kullanarak beton basınç dayanımının değişimini incelemişlerdir. Araştırma sonuçlarına göre cam tozu miktarının artmasıyla betonun çökme değerlerinde azalma meydana gelmiştir. 28 günlük basınç dayanımı testinde %20 cam tozu katkılı betonun basınç dayanımında kontrol numunesine göre %21'lik bir artış meydana gelmiştir.

Orhan ve Esen (2017), atık camların öğütülmesi sonucu oluşan cam tozunun betonda çimento yerine %5, %10, %15 ve %20 oranlarında kullanılabilirliğini değerlendirmişlerdir. Hazırlanan numuneler üzerinde puzolanik aktivite testi, birim hacim ağırlık, özgül ağırlık, yarmada çekme dayanımı, su emme ve porozite deneyleri yapılmıştır. Yapılan puzolanik aktivite testi sonucu gerekli şartları sağladığı görülmüştür. Cam tozu kullanımının numunelerdeki su emme ve porozite oranlarını genel olarak arttırdığı bu yüzden %5 cam tozu oranının bu deneyler için daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Yarmada çekme dayanımı sonuçları karşılaştırıldığında karışımdaki optimum cam tozu oranı %10 olarak belirlenmiştir.

Lu vd. (2017), atık camların toz haline getirilerek beyaz standart Portland çimentosu ile %20 oranında yer değiştirilmesiyle üretilen mimari harçların özelliklerini incelemişlerdir. Atık camlar laboratuvar tipi bilyeli değirmende 0,5, 1,

2, 4 saat öğütülerek sırasıyla ortalama 204 μm , 88,5 μm , 47,9 μm , 28,3 μm boyutlarında cam tozu elde edilmiştir. Deney sonuçlarına göre cam tozu boyutunun azalmasıyla yayılmanın artarak kontrol numunesinin değerine ulaştığı görülmüştür. Genel olarak cam tozu inceliğinin artmasıyla birlikte eğilme ve basınç dayanımlarında artış olduğu görülmüştür.

Du ve Tan (2017), betonda çimento ile ağırlıkça %15, %30, %45 ve %60 oranında atık camlardan elde edilen cam tozu kullanımının etkilerini incelemişlerdir. Hazırlanan numuneler üzerinde XRD ve TGA analizleri yapılarak cam tozunun kalsiyum hidroksit ile tepkimeye girerek kalsiyum silikat hidratlar oluşturduğu görülmüştür. Böylece arayüz bölgesi daha homojen ve kompakt bir hal almıştır. Çimento ile %15 ve %30 cam tozunun yer değişimi sonucu üretilen numunelerde en az gözenekli yapı ve en iyi dayanım artışı görülmüştür. Ayrıca cam tozu oranı artışıyla su ve klorür geçirgenliğine karşı direncin arttığı görülmüştür.

Islam vd. (2017), atık camların öğütülmesi sonucu elde edilen cam tozunun beton karışımlarında çimento yerine ağırlıkça %10, %15, %20 ve %25 oranlarında kullanılmasının sonuçlarını incelemişlerdir. Yapılan deney sonuçlarına göre karışımlardaki cam oranının artışıyla yayılmalarda bir miktar artış yaşanmıştır. %20'ye kadar cam tozu içeren numunelerin kontrol numunesine göre 90, 180 ve 365 günlük basınç dayanımı sonuçlarının daha iyi geldiği ve en iyi oranın %20 olduğu görülmüştür.

Aliabdo vd. (2016), harçlarda atık camlardan elde edilen cam tozunun çimento ile %5, %10, %15, %20 ve %25 oranlarında yer değiştirilmesi sonucu elde edilen harçların özelliklerini incelemişlerdir. Yapılan deney sonuçlarına göre cam tozunun puzolanik aktivite sınır değerlerini karşıladığı, priz süresinde önemli bir değişiklik olmadığı, %10 cam tozu kullanımının basınç dayanımını %9 oranında arttırdığı ve %15 cam tozu kullanımının genel olarak harcın özelliklerini arttırdığı görülmüştür.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1. Kullanılan Malzemeler

3.1.1. Çimento

Üretilen harç karışımlarında Kentçim Çimento Sanayi A.Ş.'den temin edilen CEM I 42,5 R tipi çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun kimyasal analizi Tablo 3.1'de ve fiziksel özellikleri ise Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.1 Çimentonun kimyasal analizi

Deney Adı	Birim	Ölçüm Sonuçları
Kızdırma Kaybı	%	4,39
SiO ₂	%	18,63
Al ₂ O ₃	%	4,73
Fe ₂ O ₃	%	2,8
CaO	%	62,4
MgO	%	1,92
SO ₃	%	3,26
Na ₂ O	%	0,29
K ₂ O	%	0,81
Na ₂ O Eşd. Cins. Toplam Alkali	%	0,82
Cl-	%	0,0118

Tablo 3.2 Çimentonun fiziksel özellikleri

Deney Adı	Ölçüm Sonuçları
Özgül Ağırlık	3,08
Blaine (cm ² /g)	3370
Su İhtiyacı (%)	28
Priz Başı (dk)	172
Priz Sonu (dk)	281

3.1.2. Agregası

3.1.2.1. Kireçtaşı kökenli agregası

Çalışmada, 0-4 mm büyüklüğünde kireçtaşı kökenli ince agregası kullanılmıştır. Agreganın özgül ağırlığı, birim hacim ağırlığı ve su emme kapasitesi

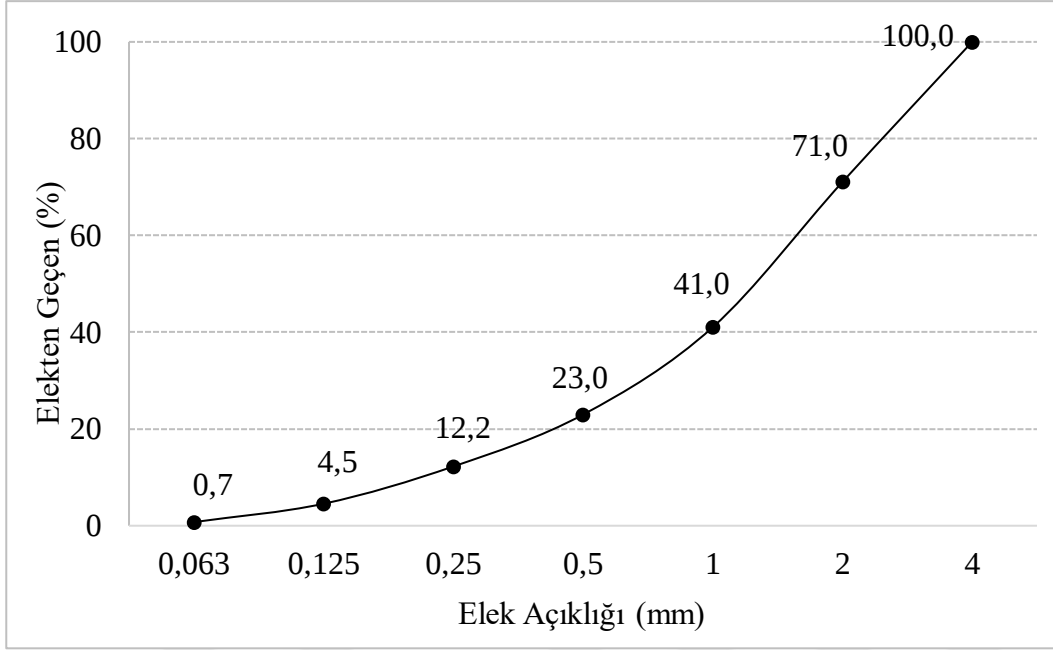
Tablo 3.3'te verilmiştir. Agreganın elek analizi TS 933-1 standardı baz alınarak yapılmış olup sonuçları Tablo 3.4'te ve gradasyonu Şekil 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.3 Kireçtaşı agregasının fiziksel özellikleri

Özellikler	Agrega (0-4 mm)
Sıkışık birim hacim ağırlık, (kg/m ³)	1693
Gevşek birim hacim ağırlık, (kg/m ³)	1945
Kuru hacim özgül ağırlığı	2,66
Kuru yüzey doygun özgül ağırlığı	2,67
Görünen özgül ağırlığı	2,71
Kuru yüzey doygun su emme kapasitesi, (%)	0,69

Tablo 3.4 İnce agreganın elek analizi

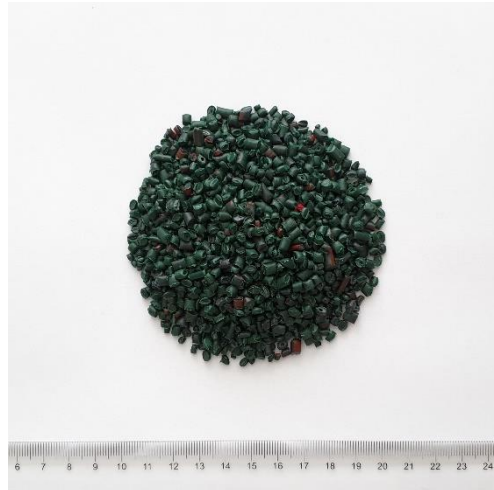
Elek Aralığı (mm)	0-4 mm Kırma Kireçtaşı			
	Elekte Kalan (gr)	Kümülatif Kalan (gr)	Elek Kalan (%)	Elekten Geçen (%)
4	0,00	0,00	0,00	100,00
2	301,13	301,13	28,97	71,03
1	312,07	613,20	58,99	41,01
0,5	187,66	800,86	77,04	22,96
0,25	111,43	912,29	87,76	12,24
0,125	80,03	992,31	95,46	4,54
0,063	39,49	1031,80	99,26	0,74
Elek Altı	7,70	1039,50	100,00	0,00
İncelik Modülü			3,48	



Şekil 3.1 İnce agreganın gradasyon eğrisi

3.1.2.2. HDPE agregası

Plastik agregası olarak kullanılan geri dönüştürülmüş HDPE'den üretilen granüller Şekil 3.2'de görülmektedir. Harç karışımlarında ince agregası ile hacimce %10, %20 ve %30 oranlarında yer değiştirilerek kullanılmıştır. HDPE agregasının özgül ağırlığı ve birim hacim ağırlığı Tablo 3.5'te, elek analizinin sonuçları Tablo 3.6'da ve gradasyonu Şekil 3.3'te verilmiştir.



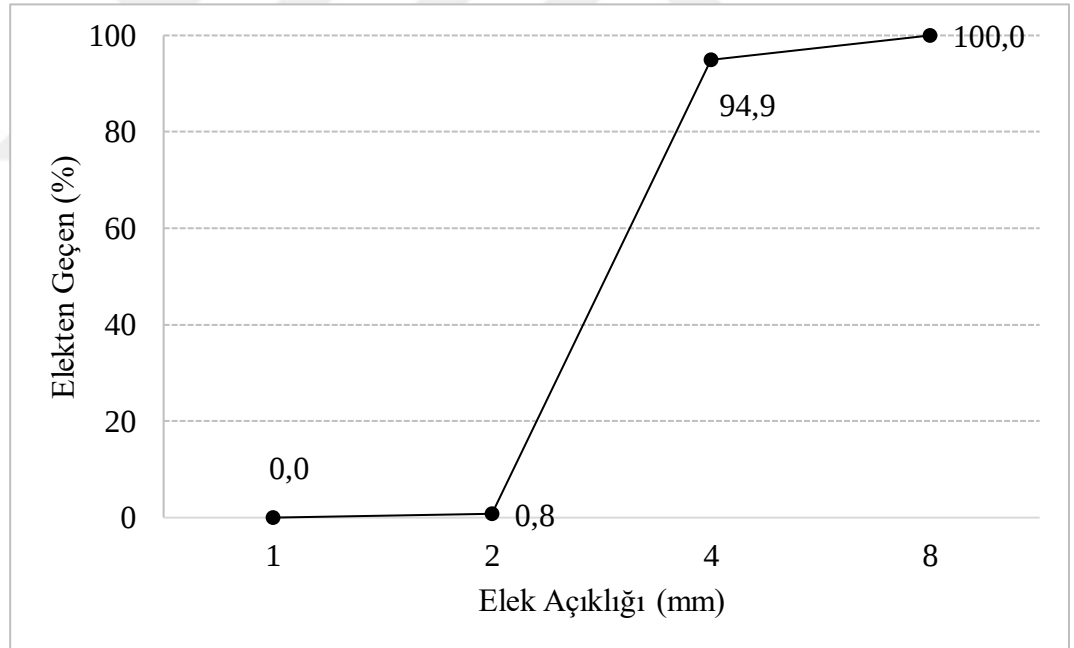
Şekil 3.2 HDPE granül

Tablo 3.5 HDPE granülün özellikleri

Özellikler	HDPE Granül
Sıkışık birim hacim ağırlık, (kg/m ³)	521
Gevşek birim hacim ağırlık, (kg/m ³)	482
Kuru hacim özgül ağırlığı	0,94

Tablo 3.6 HDPE granülün elek analizi

Elek Aralığı (mm)	HDPE-Granül			
	Elekte Kalan (gr)	Kümülatif Kalan (gr)	Elekte Kalan (%)	Elekten Geçen (%)
8	0,00	0,00	0,00	100,00
4	50,60	50,60	5,06	94,94
2	942,00	992,60	99,17	0,83
1	8,30	1000,90	100,00	0,00
İncelik Modülü			2,04	



Şekil 3.3 HDPE granülün gradasyon eğrisi

3.1.2.3. PP agrega

Çalışmada kullanılan bir diğer plastik agrega ise geri dönüştürülmüş PP'den üretilen granüller olup Şekil 3.4'te görülmektedir. HDPE agregasında olduğu gibi bu agregada da harç karışımındaki ince agrega ile hacimce %10, %20 ve %30

oranlarında yer değiştirilerek ilgili karışımlarda kullanılmıştır. PP agreganın özgül ağırlığı ve birim hacim ağırlığı Tablo 3.7’de, elek analizinin sonuçları Tablo 3.8’de ve gradasyonu Şekil 3.5’te verilmiştir.



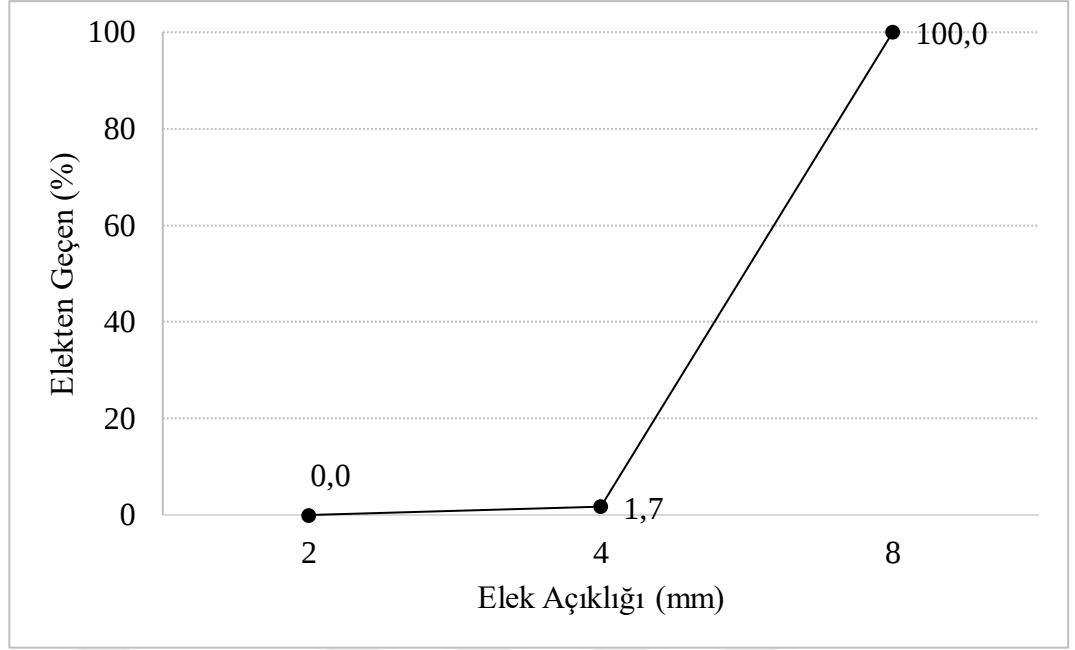
Şekil 3.4 PP granül

Tablo 3.7 PP granülün özellikleri

Özellikler	PP Granül
Sıkışık birim hacim ağırlık, (kg/m ³)	557
Gevşek birim hacim ağırlık, (kg/m ³)	533
Kuru hacim özgül ağırlığı	0,9

Tablo 3.8 PP granülün elek analizi

Elek Aralığı (mm)	PP-Granül			
	Elekte Kalan (gr)	Kümülatif Kalan (gr)	Elekte Kalan (%)	Elekten Geçen (%)
8	0,00	0,00	0,00	100,00
4	986,50	986,50	98,26	1,74
2	17,50	1004,00	100,00	0,00
İncelik Modülü			1,98	



Şekil 3.5 PP granülün gradasyonu

3.1.3. Karışım ve kür suyu

Çalışma kapsamındaki karışımlarda ve numunelerin kür suyu olarak şebeke suyu kullanılmıştır.

3.1.4. Lif

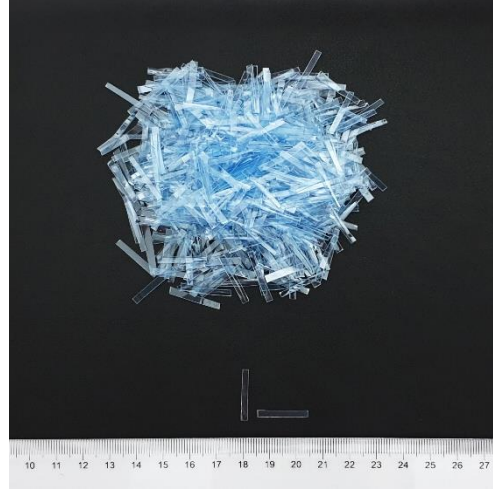
Bu çalışma kapsamında lif olarak polietilen tereftalat (PET), yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) ve polipropilen (PP) olmak üzere 3 farklı türde atık plastik kullanılmıştır. Bu atık plastikler kesilerek lif haline getirilmiştir. Çalışmada kullanılan tüm liflerin uzunluğu $2 \pm 0,1$ cm ve genişliği $0,25 \pm 0,05$ cm boyutlarındadır.

3.1.4.1. PET lif

PET lifler atık durumundaki 19 litrelik PET damacanelerin kesilip lif haline getirilmesiyle elde edilmiştir. Kesilen PET damacana Şekil 3.6'da, elde edilen PET lifler ise Şekil 3.7'de görülmektedir. PET liflerin kalınlığı minimum 0,29 mm ve maksimum 0,36 mm olarak ölçülmüştür. PET liflerin yoğunlukları ise $1,32 \text{ g/cm}^3$ olarak bulunmuştur.



Şekil 3.6 PET damacana



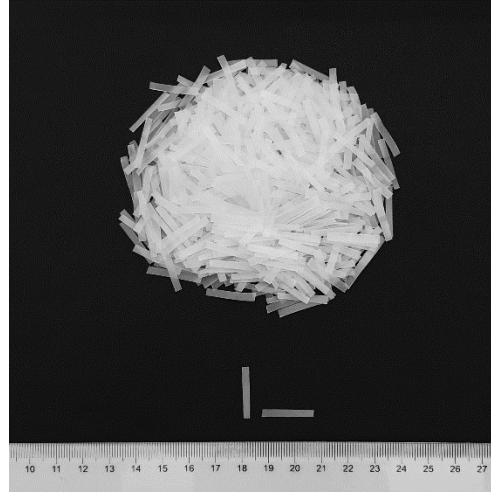
Şekil 3.7 PET lif

3.1.4.2. HDPE lif

HDPE lifler atık haldeki ayran şişelerinin kesilmesiyle elde edilmiştir. Kesilen HDPE şişe Şekil 3.8’de, elde edilen HDPE lifler Şekil 3.9’da görülmektedir. Kumpas ile ölçülen HDPE liflerin kalınlıkları minimum 0,25 mm, maksimum 0,82 mm olarak belirlenmiştir. HDPE liflerin yoğunlukları ise 0,95 g/cm³ olarak bulunmuştur.



Şekil 3.8 HDPE şişe



Şekil 3.9 HDPE lif

3.1.4.3. PP lif

PP lifler Şekil 3.10’da gösterilen atık dondurma kutularının kesilmesiyle elde edilmiştir. Bu PP kutudan elde edilen PP lifler Şekil 3.11’de görülmektedir. Liflerin kalınlıkları kumpas ile ölçülerek kalınlıkları minimum 0,45 mm ve maksimum 0,75 mm olarak tespit edilmiştir. PP liflerin yoğunlukları ise $0,91 \text{ g/cm}^3$ olarak bulunmuştur.



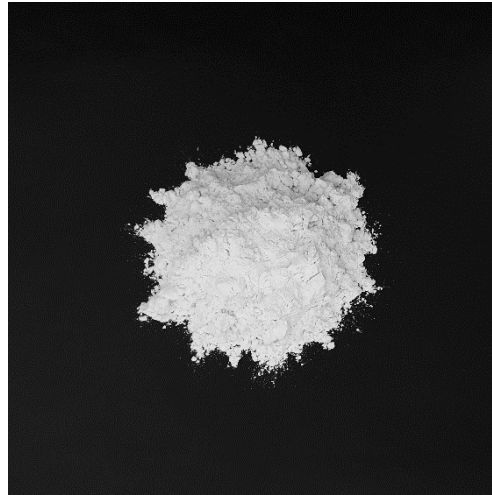
Şekil 3.10 PP kutu



Şekil 3.11 PP lif

3.1.5. Cam tozu

Atık camlardan elde edilen cam tozu Düzce Akcihan firmasından temin edilmiştir. Kullanılan cam tozu Şekil 3.12’de, cam tozunun kimyasal analizi Tablo 3.9’da ve fiziksel özellikleri ise Tablo 3.10’da verilmiştir.



Şekil 3.12 Cam tozu

Tablo 3.9. Cam tozunun kimyasal analizi

Deney Adı	Birim	Ölçüm Sonuçları
Kızdırma Kaybı	%	0,70
SiO ₂	%	71,13
Al ₂ O ₃	%	1,57
Fe ₂ O ₃	%	0,12
CaO	%	8,55
MgO	%	4,25
SO ₃	%	0,08
Na ₂ O	%	12,5
K ₂ O	%	0,14
TiO ₂	%	0,06

Tablo 3.10 Cam tozunun fiziksel özellikleri

Deney Adı	Ölçüm Sonuçları
Özgül Ağırlık	2,47
Blaine (cm ² /g)	1830
7 günlük puzolanik aktivite indeksi (%)	81,8
28 günlük puzolanik aktivite indeksi (%)	85,2

3.2. Harç Karışım Oranları

Bu çalışmada toplam 19 farklı içeriğe sahip harç karışımı tasarlanmış ve üretilmiştir. Çalışmada üretilen karışımların kompozisyonu ağırlıkça su/bağlayıcı oranı 1/2 ve agrega/bağlayıcı oranı 3 olarak hazırlanmıştır. Tez kapsamında 3 farklı karışım grubu üzerinde çalışılmıştır.

Çalışmanın birinci grubunda PET, HDPE ve PP olmak üzere 3 farklı tipteki atık plastik kesilip lif haline getirilmiştir. Her bir plastik lif türü harç hacminin %0,5, %1 ve %1,5'i olmak üzere 3 farklı oranda agrega ile ikame edilerek karışımlar hazırlanmıştır.

Çalışmanın ikinci grubunda HDPE ve PP türü geri kazanılmış plastik granüller ince agrega hacminin %10, %20 ve %30'u oranlarında ince agrega ile yer değiştirilerek karışımlar hazırlanmıştır.

Çalışmanın üçüncü grubunda ise atık camlardan elde edilmiş olan cam tozu, çimento ile çimento ağırlığının %5, %10 ve %15'i oranlarında yer değiştirilerek karışımlar hazırlanmıştır.

Harçların karışım kodlarında kontrol karışımı “Kontrol”; cam tozu “CT” ardından karışım oranı; diğer karışımlarda sırasıyla plastik lif/ plastik agrega türleri, hangi amaçla kullanıldıklarını belirten kısaltma (Lif: L, Agregası: A) ve son olarak karışım oranları verilmiştir. Bu karışımların içerikleri Tablo 3.11’de verilmiştir.

Tablo 3.11 1 m³ harç karışımı için malzeme miktarı

Karışım Kodu	Çimento kg	Su kg	Agregası kg	Plastik Lif kg	Plastik Agregası kg	Cam Tozu kg	Teorik BHA kg/m ³
Kontrol	514	257	1542	-	-	-	2313
PET-L0,5	514	257	1528	6,6	-	-	2306
PET-L1	514	257	1515	13,2	-	-	2299
PET-L1,5	514	257	1502	19,8	-	-	2293
HDPE-L0,5	514	257	1528	4,8	-	-	2304
HDPE-L1	514	257	1515	9,5	-	-	2296
HDPE-L1,5	514	257	1502	14,3	-	-	2287
PP-L0,5	514	257	1528	4,6	-	-	2304
PP-L1	514	257	1515	9,1	-	-	2295
PP-L1,5	514	257	1502	13,7	-	-	2287
HDPE-A10	514	257	1388	-	54,1	-	2213
HDPE-A20	514	257	1234	-	108,3	-	2113
HDPE-A30	514	257	1079	-	162,4	-	2012
PP-A10	514	257	1388	-	51,8	-	2211
PP-A20	514	257	1234	-	103,6	-	2109
PP-A30	514	257	1079	-	155,5	-	2006
CT5	486	256	1536	-	-	26	2304
CT10	460	255,5	1533	-	-	51	2300
CT15	433	255	1530	-	-	77	2295

3.3. Numunelerin Üretimi ve Kürü

Çalışmadaki her bir karışım TS EN 196-1 standardına uygun olacak biçimde hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımlar 40x40x160 mm boyutlarındaki prizmatik kalıplara yerleştirilip kür odasında 24 saat bırakılarak karışımların sertleşmesi

beklenmiştir. 24 saat sonra sertleşen numuneler kalıplarından çıkarılarak 20 ± 1 °C sıcaklıktaki kirece doygun su içerisinde deney gününe kadar kürlenmişlerdir.

3.4. Numuneler Üzerinde Yürütülen Çalışmalar

Çalışmadaki 19 karışımın her biri için yayılma tablası, birim hacim ağırlık ve sodyum sülfat direnci deneyleri yapılmıştır. Tüm karışımlar için 7, 28, 56 ve 90 günlük eğilme ve basınç deneyleri yapıp bu deneylerden elde edilen sonuçlara göre plastik lif ve agrega için ideal karışım oranları belirlenmiştir. Belirlenen bu orandaki karışımlar ile cam tozu ikameli karışımlarla üretilen 28 günlük numuneler üzerinde, su emme ve porozite oranı tayini, yatay aşındırma ile hacim kaybı ve kılcal su emme deneyleri yapılmıştır.

3.4.1. Yayılma tablası deneyi

Tüm karışımların kıvamlarının belirlenmesi için yayılma tablası deneyi yapılmıştır. Tüm karışımların yayılma değerleri TS EN 1015-3 standardına uygun olacak biçimde bulunmuştur.

3.4.2. Eğilme dayanımı analizi

40x40x160 mm olarak üretilen numuneler 7, 28, 56 ve 90 günlük yaşlara gelinceye kadar kür edildikten sonra TS EN 196-1 standardına göre eğilme dayanımı analizleri yapılmıştır.

3.4.3. Basınç dayanımı analizi

Numuneler üzerinde 7, 28, 56 ve 90 günlükken yapılan eğilme deneyi akabinde deney sonunda elde edilen her iki yarım prizmaya, TS EN 196-1'e göre basınç dayanımı deneyi uygulanmıştır.

3.4.4. Birim hacim ağırlık, su emme oranı ve porozite tayini

Birim hacim ağırlık, su emme ve porozite deneyleri ASTM C642 standardına uygun olacak biçimde tespit edilmiştir. Tüm karışımlar için birim hacim ağırlık deneyi yapılmış olup, eğilme ve basınç dayanımı analizleri sonucunda elde edilen veriler neticesinde belirlenen ideal karışım oranları olan %1 plastik lif ve %10

plastik agregaya ile tüm cam tozu ikameli 28 günlük numuneler için su emme ve porozite deneyleri yapılmıştır.

3.4.5. Kılcal su emme deneyi

%1 plastik lif ve %10 plastik agregaya oranı içeren ve tüm cam tozu ikameli 28 günlük numuneler için ASTM C1585 standardına uygun olacak biçimde kılcal su emme deneyi uygulanmıştır. 40x40x160 mm olarak üretilen numuneler 28 günlük kirece doymuş su küründen sonra, 50 ± 5 °C sıcaklıktaki etüvde sabit ağırlığa gelinceye kadar 3 gün bekletilip kuruması sağlanmıştır. Kuruyan numuneler soğuduktan sonra su ile temas edecek yan yüzeyleri yaklaşık 5 cm yüksekliğe kadar su geçirimsiz vernik ile kaplandıktan sonra yan ve üst yüzeylerinin hava ile temasını kesmek adına buzdolabı poşeti ve bant ile kaplanıp izole edilmiştir. Tüm su yüzeyi eşit olacak şekilde ayarlanan tepsiye yerleştirilen numunelerin birincil kılcal su emme deneyi için 1, 5, 10, 20, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360 dakikalık sürelerde, ikincil kılcal su emme deneyinde ise 1, 2, 3, 4, 6, 7, ve 8 günlük sürelerde ağırlıkları ölçülmüştür. Bu ölçümlerin zamana bağlı grafikleri çizilip birincil ve ikincil kılcal su emme katsayıları bulunmuştur. Kılcal su emme deneyindeki deney düzeneği Şekil 3.13'te görülmektedir. Numunelerin kılcal su emme değerleri aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır:

$$I = \frac{m_t}{a * d}$$

I: kılcal su emme (mm)

m_t : t anında numune kütlesindeki değişiklik (g)

a: numunenin suya temas eden yüzey alanı (mm²)

d: suyun yoğunluğu (g/mm³)



Şekil 3.13 Kılcal su emme deneyi

3.4.6. Yüzeysel aşınma (böhme) deneyi

Aşınma deneyi TS 2824 EN 1338 standardına uygun olacak biçimde 71 mm ayrıtlarındaki küp numuneler üzerinde uygulanmıştır. Numuneler 28 günlük su kürünün ardından etüvde değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Oda sıcaklığına gelen numuneler 0,01 mm hassasiyetindeki kumpas ile boyutları ölçüldükten sonra yatay aşındırma cihazına yerleştirilip 20 g aşındırıcı toz ile 22 devir boyunca aşınması sağlanmıştır. Her 22 devir sonrası cihaz yüzeyi temizlenip 20 g aşındırıcı toz döküldükten sonra numuneler yatay doğrultuda 90° döndürülmüştür. Her bir yüzey için aşındırma işlemi 4, 4 yüzey için toplamda 16 defa uygulanmıştır. Aşındırma işlemi biten numune 0,001 mm hassasiyetindeki kumpas ile aşındırma sonrası boyutları ölçülmüş ve aşınma miktarı saptanmıştır. Bu işlemler Şekil 3.14'te görülen yatay aşındırma cihazında gerçekleştirilmiştir. Aşındırıcı toz ise Şekil 3.15'te görülmektedir.



Şekil 3.14 Yüzeysel aşındırma (böhme) cihazı



Şekil 3.15 Aşındırıcı toz

3.4.7. Sodyum sülfat direnci

Numuneler üzerindeki sodyum sülfat (Na_2SO_4) etkisini belirlemek için ASTM C1012 standardına uygun olacak biçimde deney gerçekleştirilmiştir. 25x25x285 mm boyutlarında üretilen numuneler 28 günlük olana kadar su içerisinde kür edilmiştir. Ardından numunelerin ilk boy ölçümleri yapılarak, boy değişimlerinin daha net gözlemlenebilmesi adına %10 oranında hazırlanan sodyum sülfat çözeltisine alınmıştır. 1 mikrometre (μm) hassasiyetindeki dijital komparatör ile numunelerin boyları 1 yıl boyunca periyodik olarak ölçülerek sülfat etkisi altında gerçekleşen boy değişimleri incelenmiştir. Sodyum sülfat çözeltisi içerisindeki numuneler Şekil 3.16'da, numunelerin dijital komparatör ile boy değişimi ölçümü Şekil 3.17'de görülmektedir.



Şekil 3.16 Sodyum sülfat çözeltisindeki numuneler



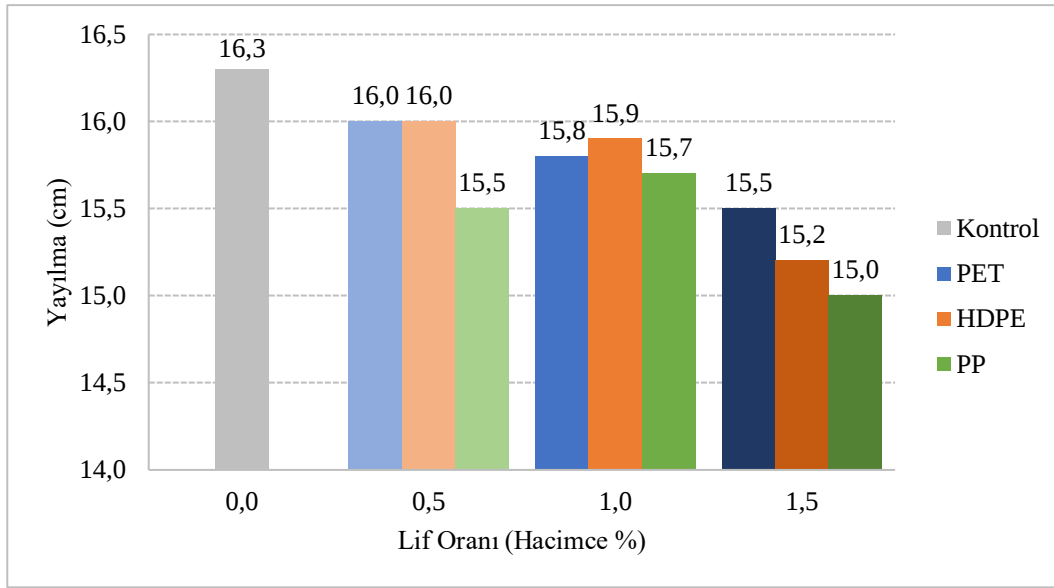
Şekil 3.17 Dijital komparatör ile boy değişimi ölçümü

4. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

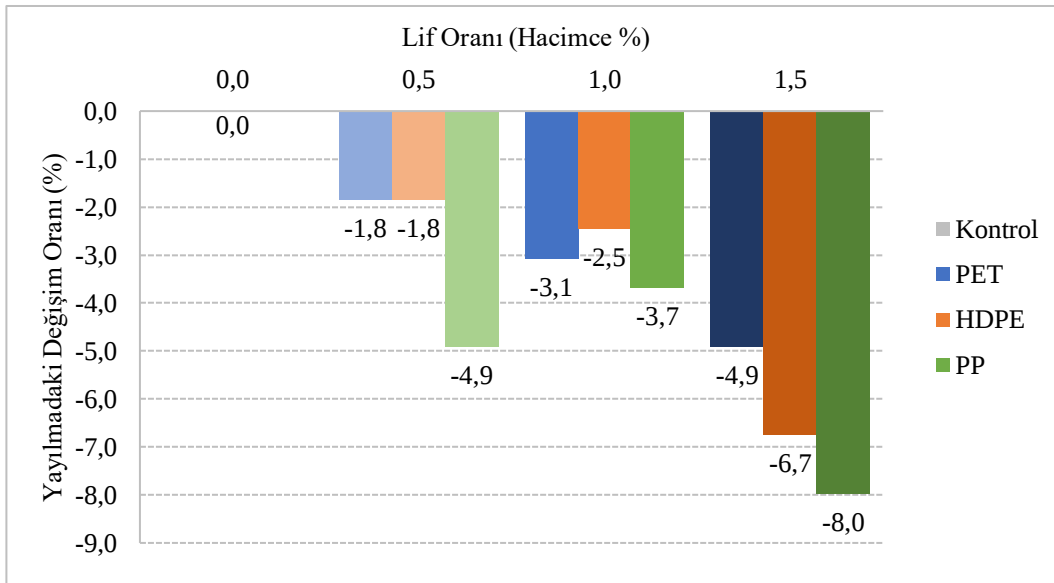
4.1. Yayılma Tablası Deney Sonuçları

4.1.1. Plastik lifli karışımların yayılma tablası deney sonuçları

Çalışmada kullanılan tüm plastik liflerin kontrol karışımına göre yayılma değerleri Şekil 4.1’de verilmiştir. Şekil 4.2’de ise plastik lifli harçların kontrol karışımına göre yayılma değerlerindeki değişim oranları verilmiştir.



Şekil 4.1 Plastik lifli harçların yayılma değerleri

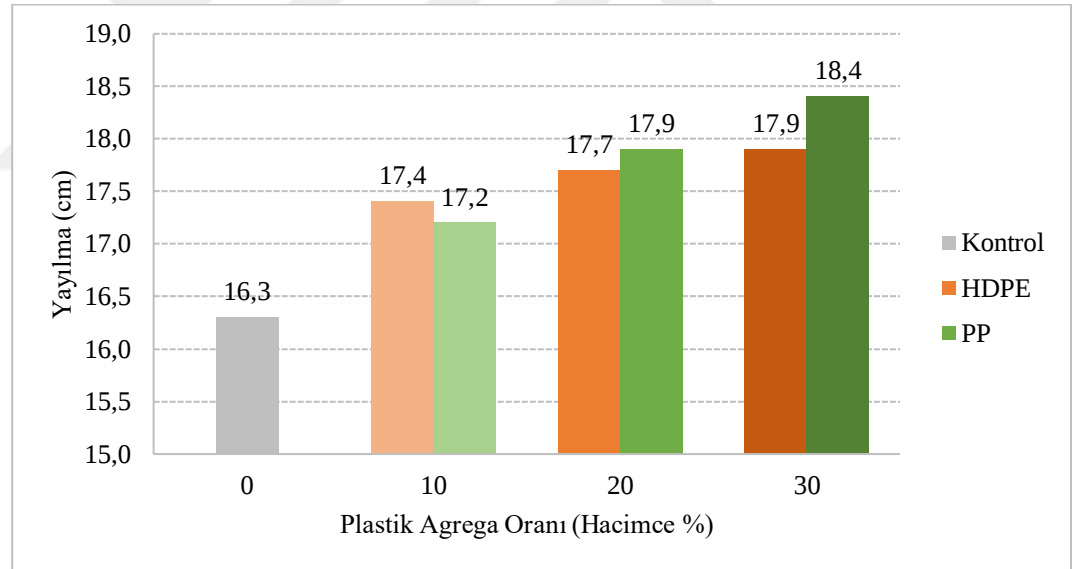


Şekil 4.2 Plastik lifli harçların kontrol karışımına göre yayılma değerlerindeki değişim oranları

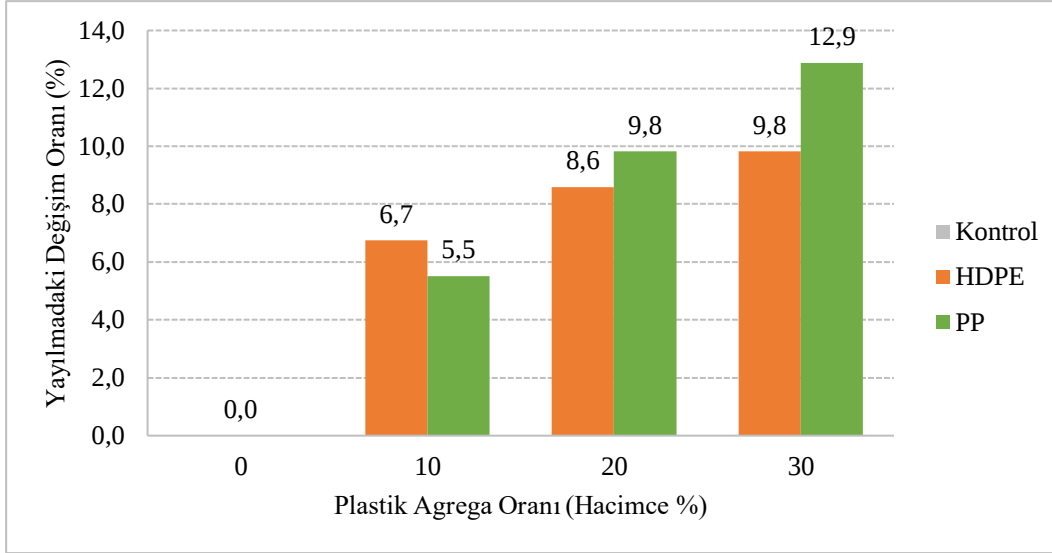
Şekil 4.1’de görüldüğü gibi tüm plastik türlerinde lif oranının artmasıyla birlikte yayılda azalma gerçekleşmiştir. Kontrol karışımına kıyasla, lif oranındaki artışa göre sırasıyla PET lifli karışımlarda %1,8, %1,8, %4,9; HDPE lifli karışımlarda %3,1, %2,5, %3,7; PP lifli karışımlarda %4,9, %6,7, %8 mertebesinde bir azalış gerçekleşmiş olup en fazla yayılma PET lifli karışımlarda, en az yayılma ise PP lifli karışımlarda meydana gelmiştir. Plastik lifli harçların yayılmalarındaki azalma, plastik liflerin ince agreganın homojen dağılımına kıyasla harç içerisindeki çeşitli açısıl konumunun sürtünmeyi arttırmasından kaynaklanmaktadır. Ahmad vd. (2022), Khatab vd. (2018) ve Gencel vd.’nin (2011) yaptığı çalışma bu sonuçları desteklemektedir.

4.1.2. Plastik agregalı karışımların yayılma tablası deney sonuçları

Şekil 4.3’te HDPE ve PP granül içeren karışımların kontrol karışımına göre yayılma değerleri görülmektedir. Şekil 4.4’te ise plastik agregalı harçların kontrol karışımına göre yayılma değerlerindeki değişim oranları verilmiştir.



Şekil 4.3 Plastik agregalı harçların yayılma değerleri

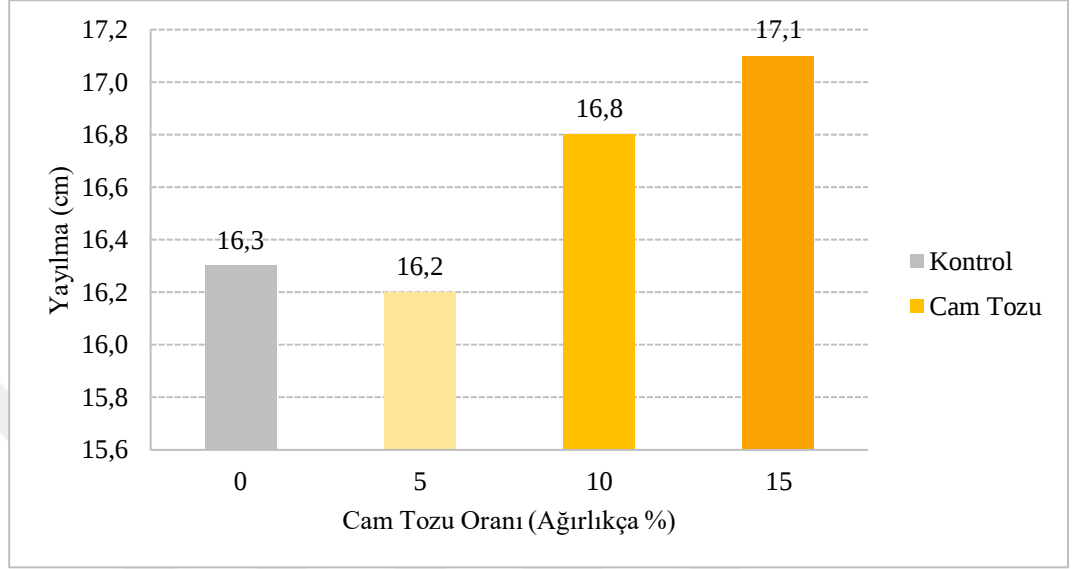


Şekil 4.4 Plastik agregalı harçların kontrol karışımına göre yayılma değerlerindeki değişim oranları

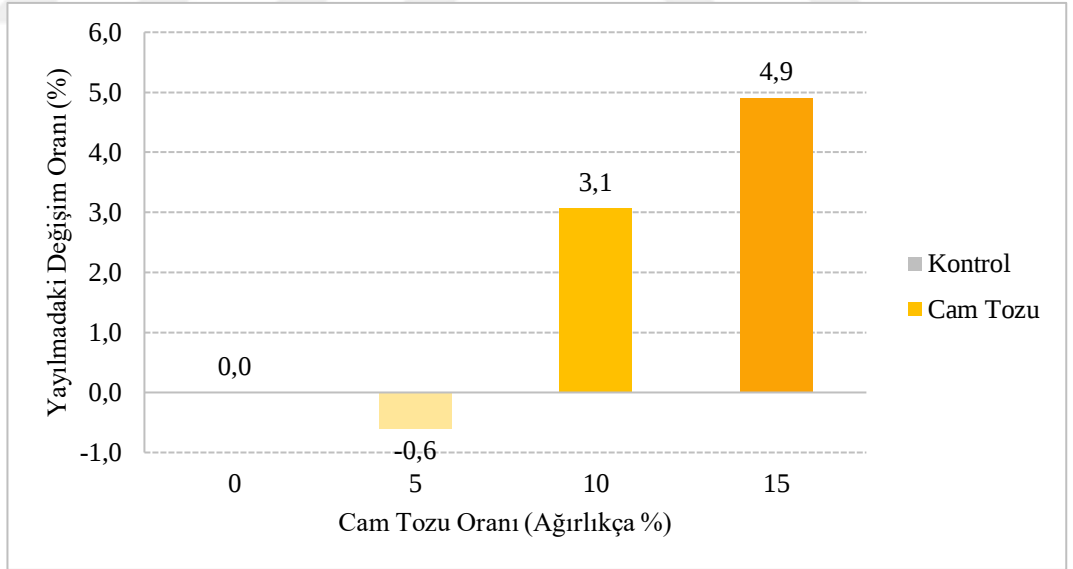
Yayılma sonuçlarına göre karışımdaki plastik agregat oranının artmasıyla yayılma değerlerinde artış gerçekleşmiştir. Kontrol karışımına kıyasla karışımdaki agregat oranındaki artışa göre sırasıyla HDPE agregalı karışımlarda %7, %9, %10 ve PP agregalı karışımlarda %6, %10, %13 mertebesinde artış meydana gelmiştir. Bu artış, plastik agreganın ince agregayla kıyaslandığında su emme kapasitesinin nispeten çok az olması ve ince agregaya göre pürüzsüz yüzeyi ile ortalama agregat boyutundaki artışa bağlı olarak yüzey alanının azalmasından kaynaklanmaktadır. Ahmad vd. (2022), Yang vd. (2015) ve Safi vd.'nin (2013) yaptığı çalışmada bu sonuçların desteklendiği görülmektedir.

4.1.3. Cam tozu içeren karışımların yayılma tablası deney sonuçları

Cam tozu içeren karışımların kontrol karışımına göre yayılma değerleri Şekil 4.5'te, kontrol karışımına göre yayılma değerlerindeki değişim oranları ise Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.5 Cam tozu içeren harçların yayılma değerleri



Şekil 4.6 Cam tozu içeren harçların kontrol karışımına göre yayılma değerlerindeki değişim oranları

Yayılma değerleri incelendiğinde karışımlardaki cam tozu oranının artmasıyla birlikte yayılma değerlerinde artış gerçekleşmiştir. Karışımlarda %5, %10 ve %15 oranında kullanılan cam tozunun kontrol karışımına kıyasla yayılma

değerleri sırasıyla %0,6 azalış, %3 ve %5 artış göstermiştir. Cam tozu oranı arttıkça yaşanan bu artışın sebebi, cam tozunun çimentoya göre daha iri taneli ve daha düşük su emmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Li vd. (2022), Islam vd. (2017) ve Aliabdo vd.'nin (2016) yaptığı çalışma sonucunda karışımlardaki cam tozu ikame oranının artmasıyla yayılma değerlerinde artış yaşandığı görülmüştür.

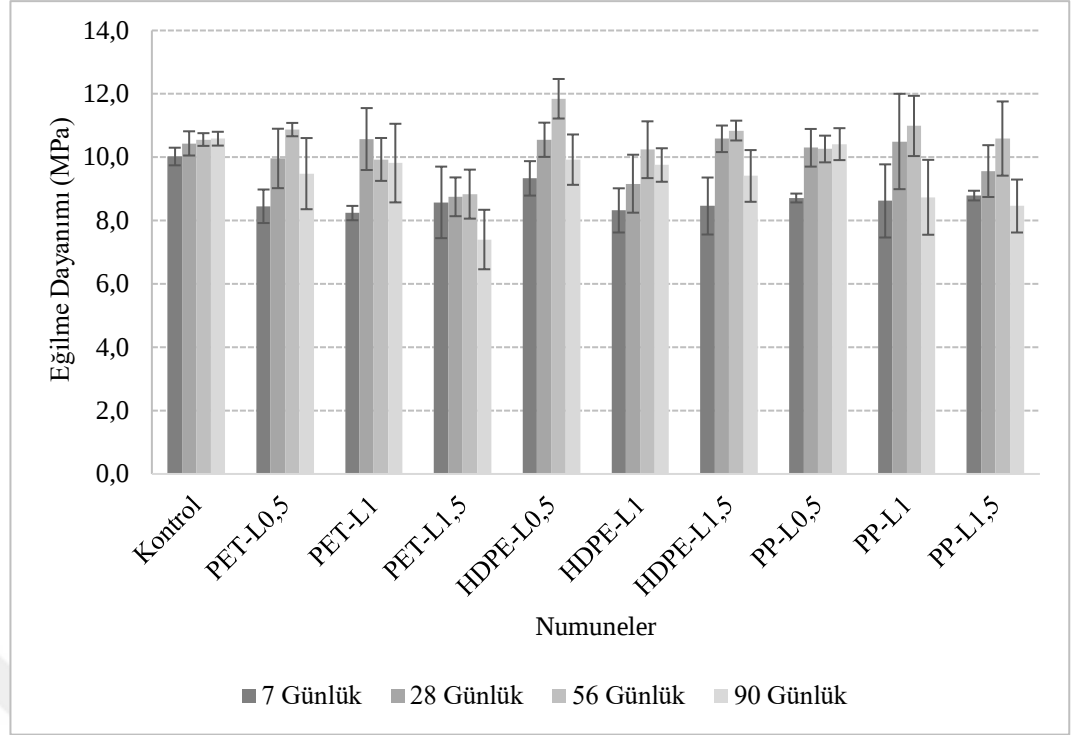
4.2. Eğilme Dayanımı Deney Sonuçları

4.2.1. Plastik lifli numunelerin eğilme dayanımları

PET, HDPE ve PP türü atık plastiklerden elde edilen liflerin harçlarda harç hacminin %0,5, %1 ve %1,5 oranlarında agrega ile ikame edilerek kullanılmasıyla üretilen numunelerin 7, 28, 56 ve 90 günlük eğilme dayanımları Tablo 4.1'de ve Şekil 4.7'de verilmiştir. Tablo 4.2'de plastik lifli numunelerin eğilme dayanımlarının kontrol numunesine göre değişim oranları verilmiştir.

Tablo 4.1 Plastik lifli numunelerin eğilme dayanımları

Numune	Eğilme Dayanımı (MPa)			
	7 Günlük	28 Günlük	56 Günlük	90 Günlük
Kontrol	10,0	10,4	10,6	10,6
PET-L0,5	8,5	10,0	10,9	9,5
PET-L1	8,2	10,6	9,9	9,8
PET-L1,5	8,6	8,7	8,8	7,4
HDPE-L0,5	9,3	10,5	11,8	9,9
HDPE-L1	8,3	9,2	10,2	9,8
HDPE-L1,5	8,5	10,6	10,8	9,4
PP-L0,5	8,7	10,3	10,3	10,4
PP-L1	8,6	10,5	11,0	8,7
PP-L1,5	8,8	9,6	10,6	8,5



Şekil 4.7 Plastik lifli numunelerin eğilme dayanımları

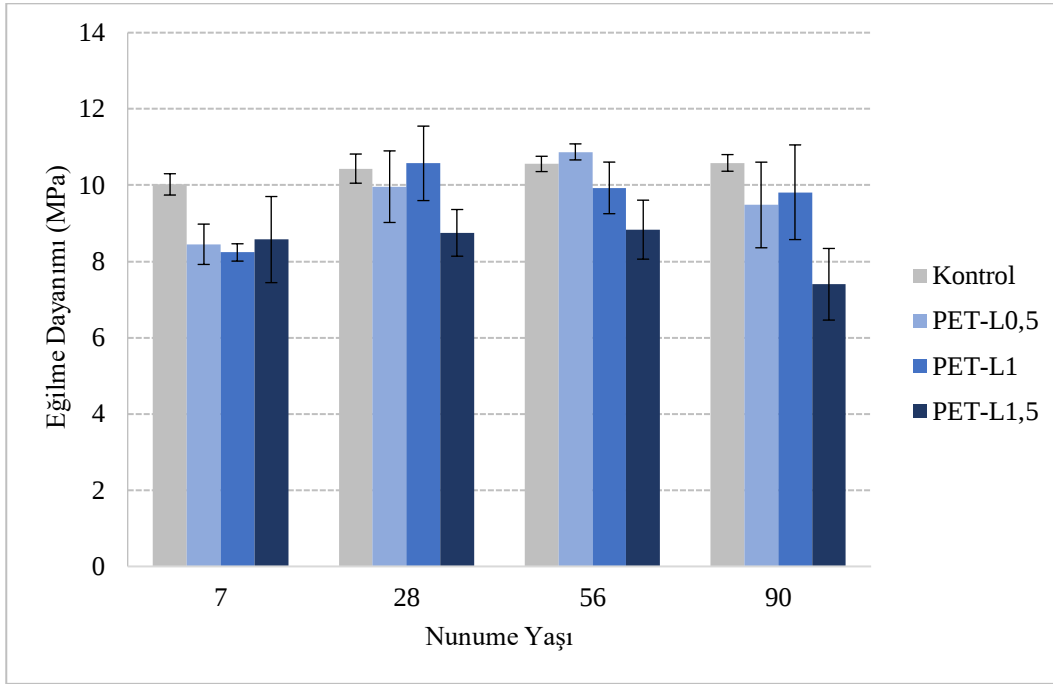
Tablo 4.2 Plastik lifli numunelerin eğilme dayanımlarının kontrol numunesine göre değişimi

Numune	Eğilme Dayanımı Değişim Oranı (%)			
	7 Günlük	28 Günlük	56 Günlük	90 Günlük
Kontrol	100,0	100,0	100,0	100,0
PET-L0,5	84,3	95,4	103,0	89,6
PET-L1	82,2	101,3	94,0	92,7
PET-L1,5	85,6	83,8	83,7	69,9
HDPE-L0,5	93,1	101,1	112,2	93,7
HDPE-L1	83,0	87,8	97,0	92,1
HDPE-L1,5	84,4	101,4	102,7	88,9
PP-L0,5	86,9	98,7	97,2	98,4
PP-L1	86,0	100,6	104,1	82,5
PP-L1,5	87,7	91,6	100,3	79,9

Lifli numunelerin eğilme dayanımları incelendiğinde karışımda lif kullanımının kontrol numunesine göre eğilme dayanımlarında artış ya da azalış olduğu görülmüştür. Lifli numunelerin eğilme dayanımları 7 günlük numunelerde 8,2-9,3 MPa, 28 günlük numunelerde 8,7-10,6 MPa, 56 günlük numunelerde 8,8-11,8 MPa, 90 günlük numunelerde 7,4-10,4 MPa arasında değişmektedir. Tüm bu sonuçlar karşılaştırıldığında kontrol numunesine göre 7, 28, 56 ve 90 günlük en yüksek dayanımlar sırasıyla HDPE-L0,5, HDPE-L1,5, HDPE-L0,5 ve PP-L0,5 numunelerinde gerçekleşmiş olup kontrol numunesine göre sırasıyla %6,9 azalış,

%1,4 artış, %12,2 artış ve %1,6 azalış gerçekleşmiştir. Eğilme dayanımlarındaki azalmalar, liflerin pürüzsüz yapısı ve lif oranına bağlı olarak arayüz bölgesinde meydana gelen zayıflamalar sebep olmaktadır. Eğilme dayanımlarındaki artış ise liflerin numune içerisindeki dağılım ve pozisyonlarından kaynaklanmaktadır. Elde edilen sonuçlar Tulaian vd. (2016) ve Vadivel ve Doddurani'nin (2013) yaptığı çalışmalarla karşılaştırıldığında lif kullanımı sonrası değişim oranlarının benzer olduğu görülmüştür.

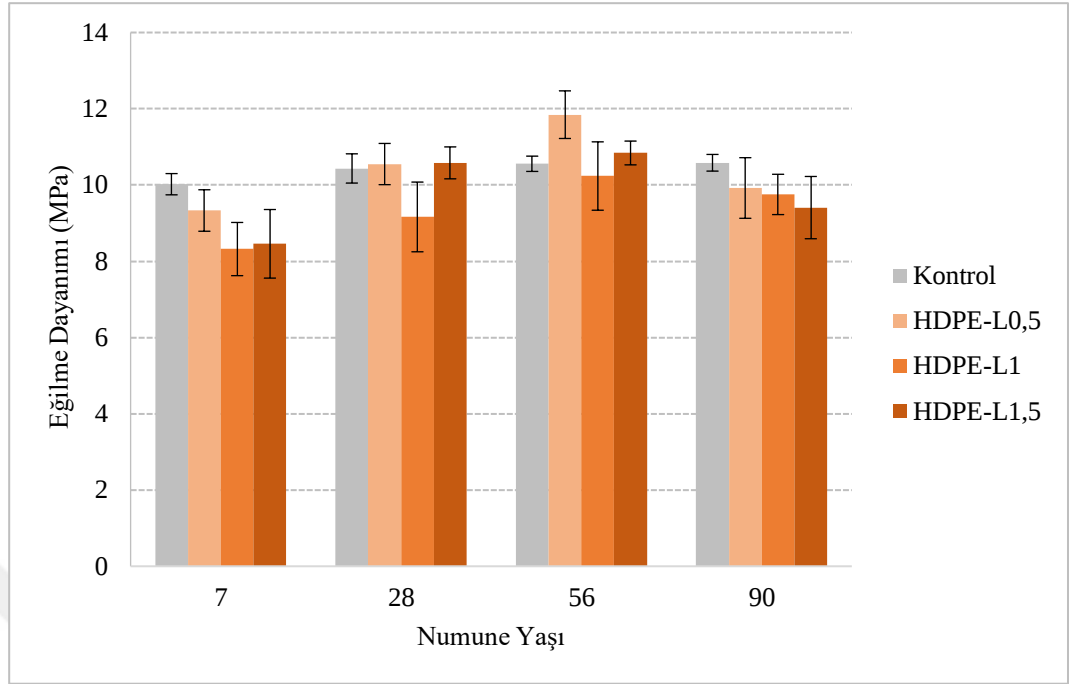
PET lifli numunelerin eğilme dayanımları Şekil 4.8'de görülmektedir.



Şekil 4.8 PET lifli numunelerin eğilme dayanımları

PET lifli numunelerdeki lif oranının artmasıyla eğilme dayanımlarında genel olarak bir azalma meydana gelmiştir. Karışımlardaki lif oranı %0,5, %1 ve %1,5 olan numunelerin eğilme dayanımları kontrol numunesi ile karşılaştırıldığında sırasıyla 7 günlük eğilme dayanımlarında %15,7, %17,8, %14,4 azalış; 28 günlük eğilme dayanımlarında %4,6 azalış, %1,3 artış, %16,2 azalış; 56 günlük eğilme dayanımlarında %3 artış, %6, %16,3 azalış; 90 günlük eğilme dayanımlarında %10,4, %7,3, %30,1 azalış meydana gelmiştir. PET lifli numunelerin 7, 28, 56 ve 90 günlük en yüksek eğilme dayanımları sırasıyla PET-L1,5, PET-L1, PET-L0,5, PET-L1 numunelerinde gerçekleşmiş olup kontrol numunesine göre sırasıyla %14,4 azalış, %1,3 artış, %3 artış, %7,3 azalış gerçekleşmiştir.

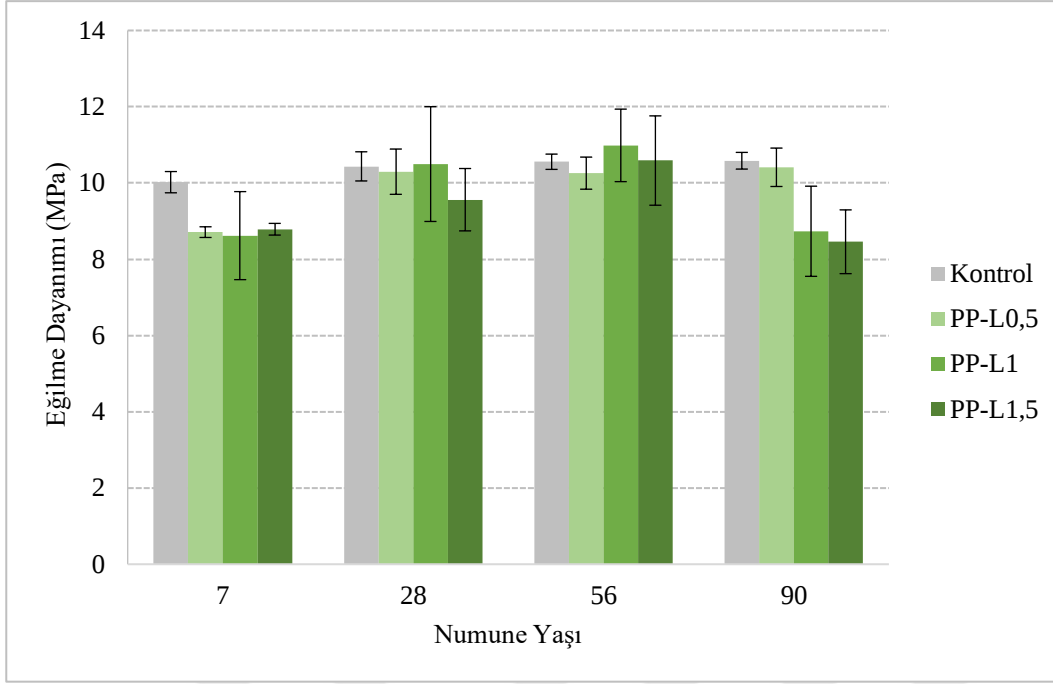
HDPE lifli numunelerin eğilme dayanımları Şekil 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.9 HDPE lifli numunelerin eğilme dayanımları

HDPE lifli numunelerdeki lif oranının artmasıyla eğilme dayanımlarında artış ya da azalış olduğu görülmüştür. Karışımlardaki lif oranı %0,5, %1 ve %1,5 olan numuneler ile kontrol numunesinin eğilme dayanımları karşılaştırıldığında sırasıyla 7 günlük eğilme dayanımlarında %6,9, %17, %15,6 azalış; 28 günlük eğilme dayanımlarında %1,1 artış, %12,2 azalış, %1,4 artış; 56 günlük eğilme dayanımlarında %12,2 artış, %3 azalış, %2,7 artış; 90 günlük eğilme dayanımlarında %6,3, %7,9, %11,1 azalış meydana gelmiştir. HDPE lifli numunelerin 7, 28, 56 ve 90 günlük en yüksek eğilme dayanımları sırasıyla HDPE-L0,5, HDPE-L1,5, HDPE-L0,5, HDPE-L0,5 numunelerinde gerçekleşmiş olup kontrol numunesine göre sırasıyla %6,9 azalış, %1,4 artış, %12,2 artış, %6,3 azalış gerçekleşmiştir.

PP lifli numunelerin eğilme dayanımları Şekil 4.10’da görülmektedir.



Şekil 4.10 PP lifli numunelerin eğilme dayanımları

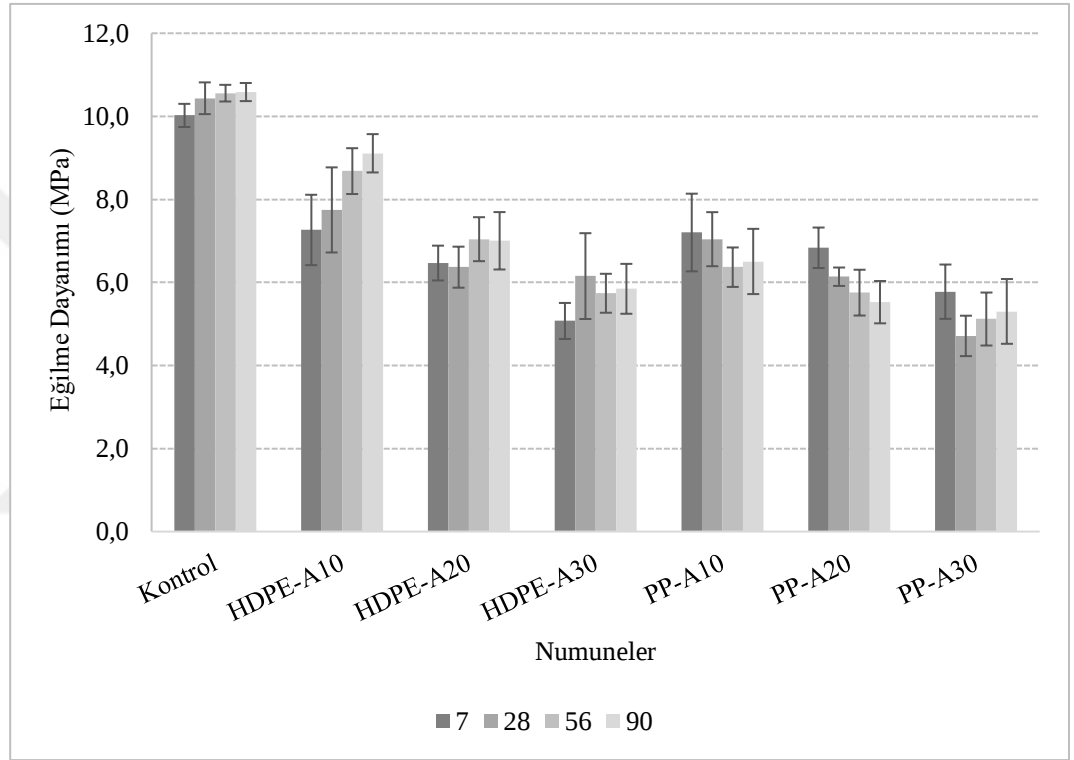
PP lifli numunelerin eğilme dayanımları karşılaştırıldığında lif oranının artmasıyla eğilme dayanımlarında genel olarak bir azalma meydana gelmiştir. Karışımlardaki lif oranı %0,5, %1 ve %1,5 olan numuneler ile kontrol numunesinin eğilme dayanımları karşılaştırıldığında sırasıyla 7 günlük eğilme dayanımlarında %13,1, %14, %12,3 azalış; 28 günlük eğilme dayanımlarında %1,3 azalış, %0,6 artış, %8,4 azalış; 56 günlük eğilme dayanımlarında %2,8 azalış, %4,1, %0,3 artış; 90 günlük eğilme dayanımlarında %1,6, %17,5, %20,1 azalış meydana gelmiştir. PP lifli numunelerin 7, 28, 56 ve 90 günlük en yüksek eğilme dayanımları sırasıyla PP-L1,5, PP-L1, PP-L1, PP-L0,5 numunelerinde gerçekleşmiş olup kontrol numunesine göre sırasıyla %12,3 azalış, %0,6 artış, %4,1 artış, %1,6 azalış gerçekleşmiştir.

4.2.2. Plastik agregalı numunelerin eğilme dayanımı deney sonuçları

HDPE ve PP türü atık plastiklerden elde edilen granüllerin harçlarda agrega ile hacimce %10, %20 ve %30 oranında ikame edilerek kullanılmasıyla üretilen numunelerin 7, 28, 56 ve 90 günlük eğilme dayanımı değerleri Tablo 4.3'te ve Şekil 4.11'de verilmiştir. Tablo 4.4'te plastik agregalı numunelerin eğilme dayanımlarının kontrol numunesine göre değişimi verilmiştir.

Tablo 4.3 Plastik agregalı numunelerin eğilme dayanımları

Numune	Eğilme Dayanımı (MPa)			
	7 Günlük	28 Günlük	56 Günlük	90 Günlük
Kontrol	10,0	10,4	10,6	10,6
HDPE-A10	7,3	7,7	8,7	9,1
HDPE-A20	6,5	6,4	7,0	7,0
HDPE-A30	5,1	6,2	5,7	5,8
PP-A10	7,2	7,0	6,4	6,5
PP-A20	6,8	6,1	5,8	5,5
PP-A30	5,8	4,7	5,1	5,3



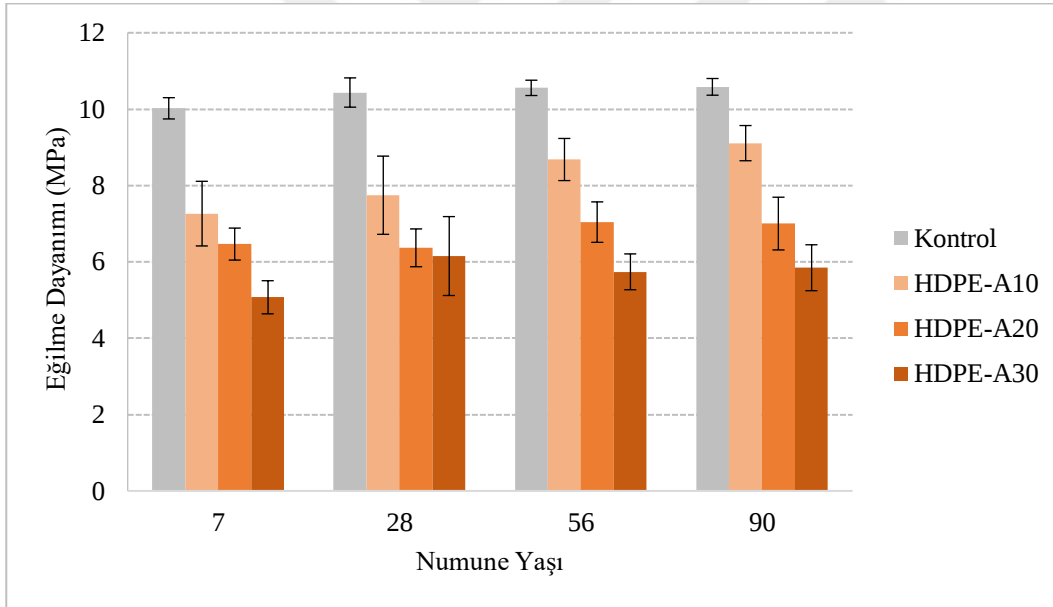
Şekil 4.11 Plastik agregalı numunelerin eğilme dayanımları

Tablo 4.4 Plastik agregalı numunelerin eğilme dayanımlarının kontrol numunesine göre değişimi

Numune	Eğilme Dayanımı Değişim Oranı (%)			
	7 Günlük	28 Günlük	56 Günlük	90 Günlük
Kontrol	100,0	100,0	100,0	100,0
HDPE-A10	72,5	74,2	82,2	86,1
HDPE-A20	64,5	61,0	66,7	66,2
HDPE-A30	50,6	59,0	54,4	55,2
PP-A10	71,9	67,5	60,3	61,5
PP-A20	68,2	58,8	54,5	52,2
PP-A30	57,6	45,2	48,5	50,1

Plastik agregalı numunelerin eğilme dayanımları karşılaştırıldığında karışımlardaki plastik agregası oranının artmasıyla kontrol numunesine göre eğilme dayanımlarında azalma meydana geldiği görülmüştür. Plastik agregalı numunelerin eğilme dayanımları 7 günlük numunelerde 5,1-7,3 MPa, 28 günlük numunelerde 4,7-7,7 MPa, 56 günlük numunelerde 5,1-8,7 MPa, 90 günlük numunelerde 5,3-9,1 MPa arasında değişmektedir. Tüm bu sonuçlar karşılaştırıldığında kontrol numunesine göre 7, 28, 56 ve 90 günlük en yüksek dayanım HDPE-A10 numunesinde gerçekleşmiş olup kontrol numunesine göre sırasıyla %27,5, %25,8, %17,8, %13,9 oranında azalış gerçekleşmiştir. Eğilme dayanımlarındaki azalmalar, plastik agreganın ince agregaya göre pürüzsüz yapısı ve agregası oranındaki artışa bağlı olarak arayüz bölgesinde meydana gelen zayıflamalar sebep olmaktadır. Elde edilen sonuçlar Ahmad vd. (2022), Sadrmomtazi vd. (2016) ve Safi vd.'nin (2013) yaptığı çalışmadaki sonuçlarla benzerlik göstermektedir.

HDPE agregalı numunelerin eğilme dayanımları Şekil 4.12'de görülmektedir.

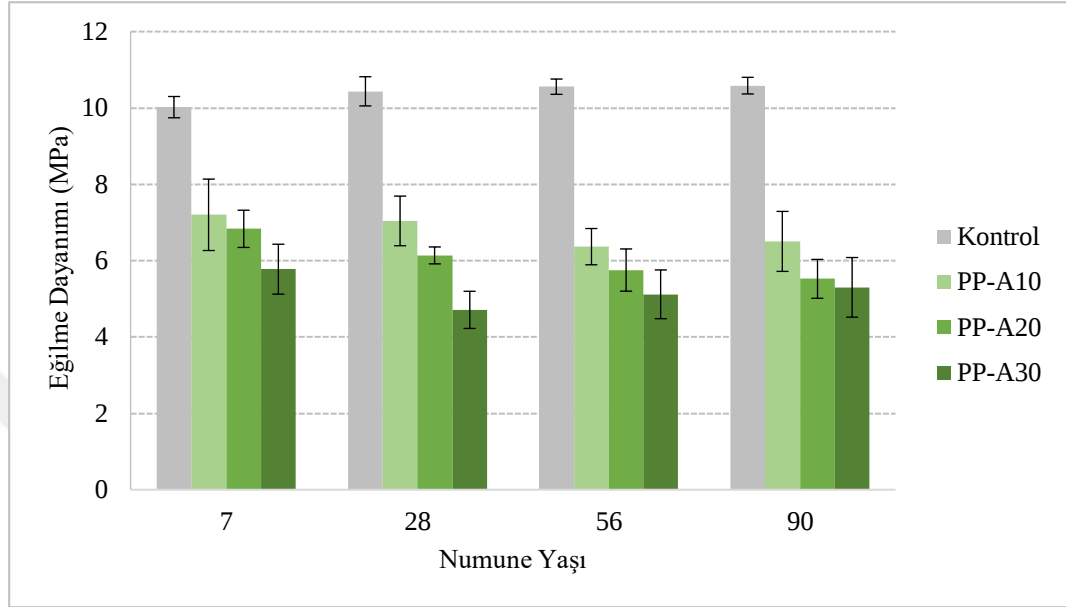


Şekil 4.12 HDPE agregalı numunelerin eğilme dayanımları

HDPE türü plastik agregalı numunelerdeki plastik agregası oranının artmasıyla eğilme dayanımlarında azalma meydana gelmiştir. Karışımlardaki plastik agregası oranı %10, %20 ve %30 olan numunelerin eğilme dayanımları kontrol numunesi ile karşılaştırıldığında sırasıyla 7 günlük eğilme dayanımlarında %27,5, %35,5, %49,4 azalış; 28 günlük eğilme dayanımlarında %28,8, %39, %41 azalış; 56 günlük eğilme dayanımlarında %17,8, %33,3, %45,6 azalış; 90 günlük eğilme dayanımlarında %13,9, %33,8, %44,8 azalış meydana gelmiştir. HDPE agregalı

numunelerin 7, 28, 56 ve 90 günlük en yüksek eğilme dayanımları HDPE-A10 numunesinde gerçekleşmiş olup kontrol numunesine göre sırasıyla %27,5, %25,8, %17,8, %13,9 oranında azalış gerçekleşmiştir.

PP agregalı numunelerin eğilme dayanımları Şekil 4.13'te verilmiştir.



Şekil 4.13 PP agregalı numunelerin eğilme dayanımları

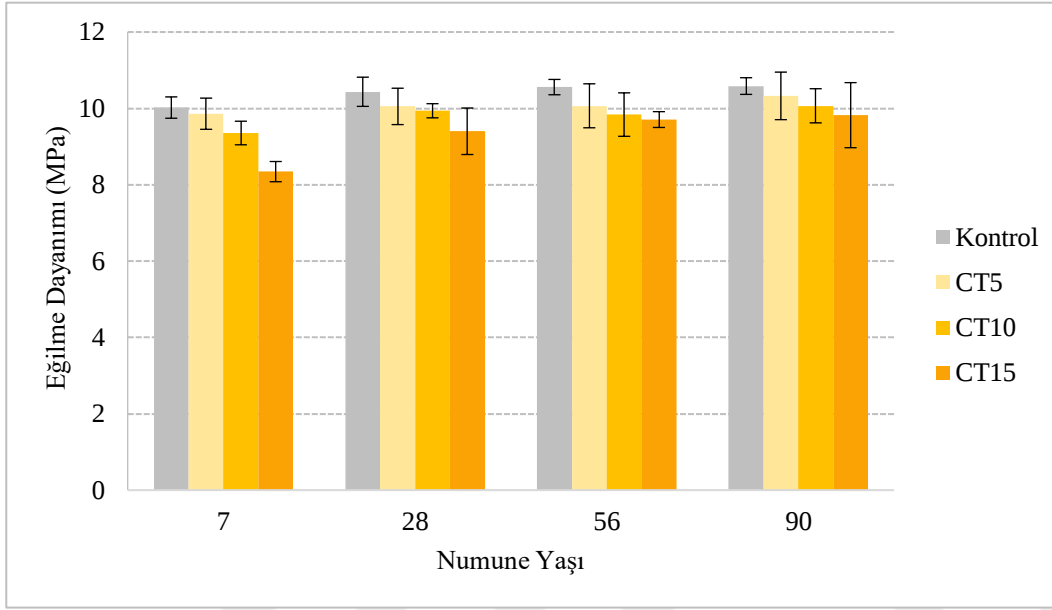
PP türü plastik agregalı numunelerdeki plastik agregat oranının artmasıyla eğilme dayanımlarında azalma görülmüştür. Karışımlardaki plastik agregat oranı %10, %20 ve %30 olan numunelerin eğilme dayanımları kontrol numunesi ile karşılaştırıldığında sırasıyla 7 günlük eğilme dayanımlarında %28,1, %31,8, %42,4 azalış; 28 günlük eğilme dayanımlarında %32,5, %41,2, %54,8 azalış; 56 günlük eğilme dayanımlarında %39,7, %45,5, %51,5 azalış; 90 günlük eğilme dayanımlarında %38,5, %47,8, %49,9 azalış meydana gelmiştir. HDPE agregalı numunelerin 7, 28, 56 ve 90 günlük en yüksek eğilme dayanımları PP-A10 numunesinde gerçekleşmiş olup kontrol numunesine göre sırasıyla %28,1, %32,5, %39,7, %38,5 oranında azalış gerçekleşmiştir.

4.2.3. Cam tozu içeren numunelerin eğilme dayanımı deney sonuçları

Çimento yerine %5, %10 ve %15 oranlarında cam tozu ikame edilerek üretilen numunelerin 7, 28, 56 ve 90 günlük eğilme dayanımı değerleri Tablo 4.5'te ve Şekil 4.14'te verilmiştir. Tablo 4.6'da cam tozu ikameli numunelerin eğilme dayanımlarının kontrol numunesine göre değişimi verilmiştir.

Tablo 4.5 Cam tozu içeren numunelerin eğilme dayanımları

Numune	Eğilme Dayanımı (MPa)			
	7 Günlük	28 Günlük	56 Günlük	90 Günlük
Kontrol	10,0	10,4	10,6	10,6
CT5	9,9	10,1	10,1	10,3
CT10	9,4	9,9	9,8	10,1
CT15	8,3	9,4	9,7	9,8



Şekil 4.14 Cam tozu içeren numunelerin eğilme dayanımları

Tablo 4.6 Cam tozu içeren numunelerin eğilme dayanımlarının kontrol numunesine göre değişimi

Numune	Eğilme Dayanımı Değişim Oranı (%)			
	7 Günlük	28 Günlük	56 Günlük	90 Günlük
Kontrol	100,0	100,0	100,0	100,0
CT5	98,4	96,3	95,4	97,6
CT10	93,3	95,2	93,2	95,1
CT15	83,3	90,1	91,9	92,8

Cam tozu içeren numunelerdeki cam tozu oranının artmasıyla birlikte eğilme dayanımlarında kontrol numunesine göre azalış gerçekleşmiştir. %5, %10 ve %15 cam tozu ikameli numunelerin eğilme dayanımları sırasıyla 7 günlük numunelerde 9,9 MPa, 9,4 MPa, 8,3 MPa, 28 günlük numunelerde 10,1 MPa, 9,9 MPa, 9,4 MPa, 56 günlük numunelerde 10,1 MPa, 9,8 MPa, 9,7 MPa, 90 günlük numunelerde 10,3 MPa, 10,1 MPa, 9,8 MPa'dır. Tüm bu sonuçlar kontrol numunesi ile karşılaştırıldığında 7, 28, 56 ve 90 günlük en yüksek dayanım CT5 numunesinde gerçekleşmiş olup kontrol numunesine göre sırasıyla %1,6, %3,7, %4,6, %2,4

oranında azalış gerçekleşmiştir. Cam tozu içeren numunelerdeki cam tozu oranına göre artan bu azalma, çimentonun cam tozuna göre daha ince taneli olmasıyla birlikte numune içerisindeki boşlukların yeterince doldurulamaması olarak değerlendirilmektedir. Yayılmalardaki artış dikkate alındığında su/bağlayıcı oranının azaltılması kontrol numunesine göre eğilme dayanımı kayıplarının giderilebileceği düşünülmektedir. Zeybek vd. (2022) ve Horszczaruk ve Brzozowski'nin (2019) yaptığı çalışmada karışımlardaki cam tozu oranının artmasıyla eğilme dayanımlarının kontrol numunesine göre azaldığı görülmüştür.

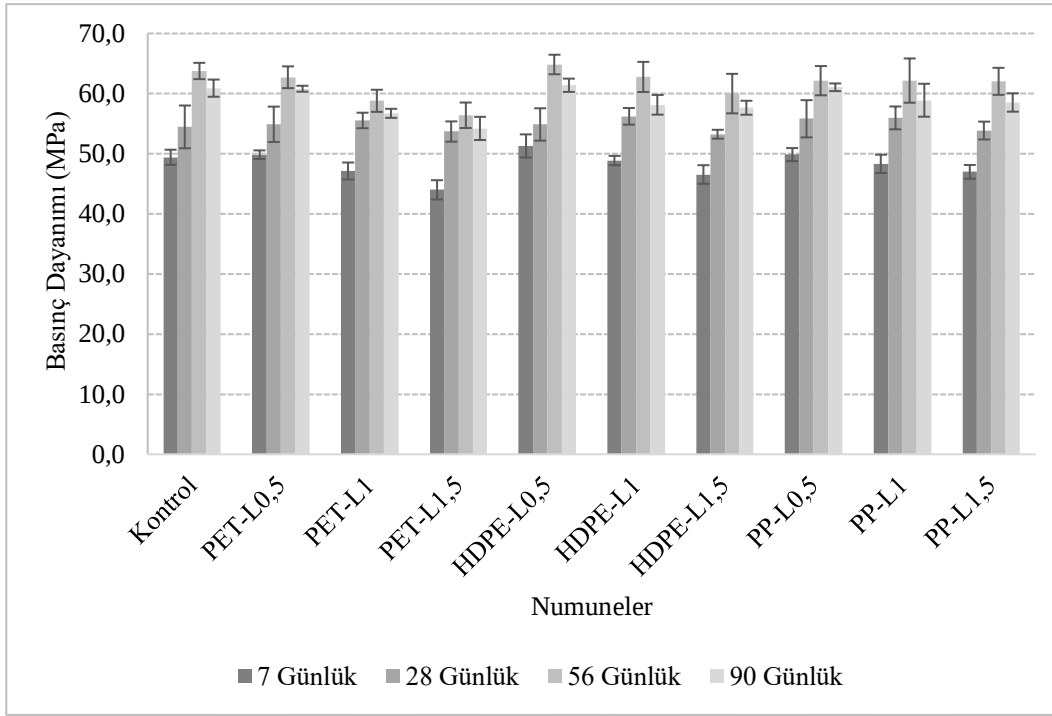
4.3. Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

4.3.1. Plastik lifli numunelerin basınç dayanımı deney sonuçları

PET, HDPE ve PP türü atık plastiklerden elde edilen liflerin harçlarda harç hacminin %0,5, %1 ve %1,5 oranlarında agrega ile ikame edilerek kullanılmasıyla üretilen numunelerin 7, 28, 56 ve 90 günlük basınç dayanımı değerleri Tablo 4.7'de ve Şekil 4.15'te verilmiştir. Tablo 4.8'de plastik lifli numunelerin basınç dayanımlarının kontrol numunesine göre değişimi verilmiştir.

Tablo 4.7 Plastik lifli numunelerin basınç dayanımları

Numune	Basınç Dayanımı (MPa)			
	7 Günlük	28 Günlük	56 Günlük	90 Günlük
Kontrol	49,4	54,5	63,8	60,9
PET-L0,5	49,8	54,9	62,7	60,8
PET-L1	47,1	55,5	58,8	56,7
PET-L1,5	44,0	53,7	56,4	54,2
HDPE-L0,5	51,3	54,9	64,8	61,4
HDPE-L1	48,9	56,2	62,8	58,1
HDPE-L1,5	46,5	53,2	60,0	57,6
PP-L0,5	49,9	55,8	62,1	61,1
PP-L1	48,3	56,0	62,2	58,9
PP-L1,5	47,0	53,9	62,0	58,5



Şekil 4.15 Plastik lifli numunelerin basınç dayanımları

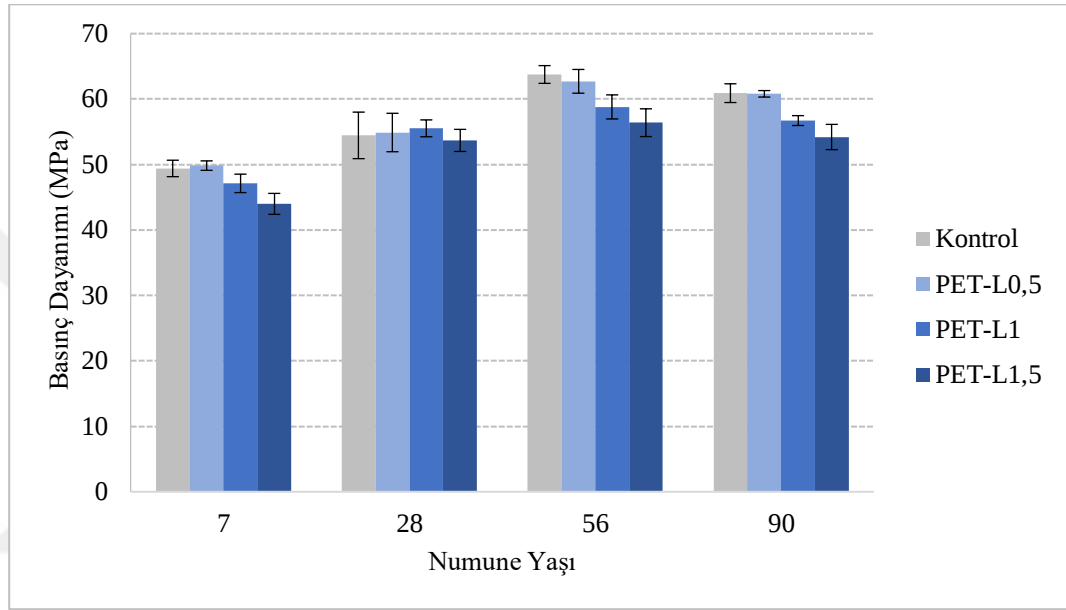
Tablo 4.8 Plastik lifli numunelerin basınç dayanımlarının kontrol numunesine göre değişimi

Numune	Basınç Dayanımı Değişim Oranı (%)			
	7 Günlük	28 Günlük	56 Günlük	90 Günlük
Kontrol	100,0	100,0	100,0	100,0
PET-L0,5	100,9	100,8	98,4	99,8
PET-L1	95,4	102,0	92,2	93,1
PET-L1,5	89,0	98,6	88,4	89,0
HDPE-L0,5	103,8	100,7	101,7	100,8
HDPE-L1	98,9	103,2	98,4	95,5
HDPE-L1,5	94,2	97,8	94,1	94,6
PP-L0,5	100,9	102,5	97,5	100,2
PP-L1	97,8	102,8	97,5	96,7
PP-L1,5	95,1	98,9	97,3	96,1

Lifli numunelerin basınç dayanımları incelendiğinde karışımda lif kullanımının kontrol numunesine göre basınç dayanımında artış ya da azalış olduğu görülmüştür. Lifli numunelerin basınç dayanımları 7 günlük numunelerde 44-51,3 MPa, 28 günlük numunelerde 53,2-56,2 MPa, 56 günlük numunelerde 56,4-64,8 MPa, 90 günlük numunelerde 54,2-61,4 MPa arasında değişmektedir. Tüm bu sonuçlar karşılaştırıldığında kontrol numunesine göre 7, 28, 56 ve 90 günlük en yüksek dayanımları sırasıyla HDPE-L0,5, HDPE-L1, HDPE-L0,5 ve HDPE-L0,5 numunelerinde gerçekleşmiş olup kontrol numunesine göre sırasıyla %3,8, %3,2, %1,7 ve %0,8 artış gerçekleşmiştir. Plastik liflerin ince agregaya göre pürüzsüz

yapısı ve lif oranındaki artışa bağlı olarak arayüz bölgesinde meydana gelen zayıflamalar plastik lifli numunelerin basınç dayanımlarında azalmaya sebep olmaktadır. Lifli numunelerin basınç dayanımlarındaki artış ise liflerin numune içerisindeki pozisyonu ve konumundan kaynaklanmaktadır. Elde edilen deney sonuçları Khatab vd. (2018), Pešić vd.'nin (2016) yaptığı çalışmayla benzerlik göstermektedir.

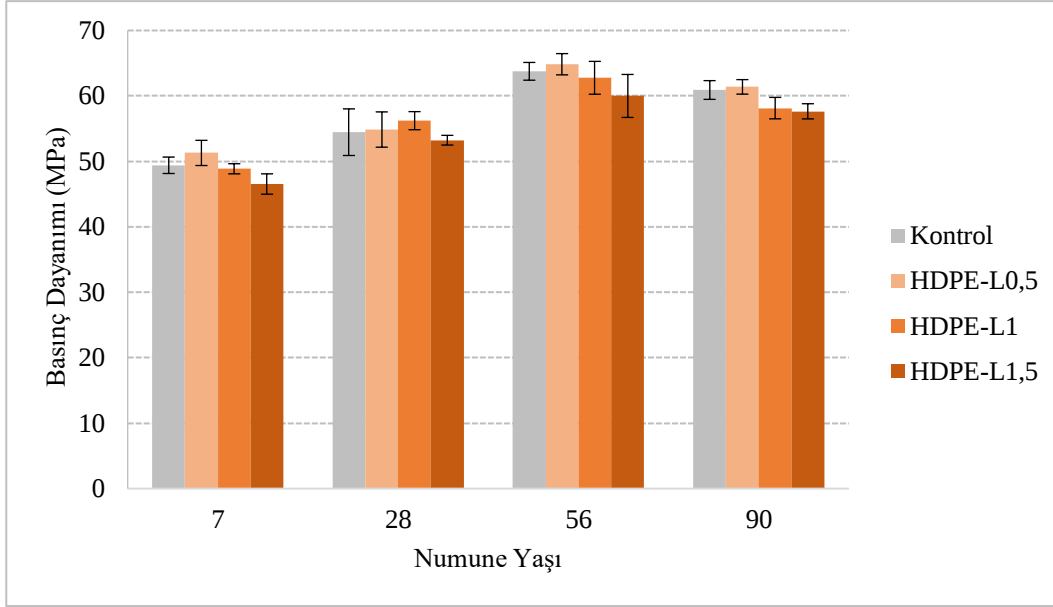
PET lifli numunelerin basınç dayanımları Şekil 4.16'da görülmektedir.



Şekil 4.16 PET lifli numunelerin basınç dayanımları

PET lifli numunelerdeki lif oranının artmasıyla basınç dayanımlarında genel olarak bir azalma meydana gelmiştir. Karışımlardaki lif oranı %0,5, %1 ve %1,5 olan numunelerin basınç dayanımları kontrol numunesi ile karşılaştırıldığında sırasıyla 7 günlük basınç dayanımlarında %0,9 artış, %4,6, %11 azalış; 28 günlük basınç dayanımlarında %0,8, %2 artış, %1,4 azalış; 56 günlük basınç dayanımlarında %1,6, %7,8, %11,6 azalış; 90 günlük basınç dayanımlarında %0,2, %6,9, %11 azalış meydana gelmiştir. PET lifli numunelerin 7, 28, 56 ve 90 günlük en yüksek basınç dayanımları sırasıyla PET-L0,5, PET-L1, PET-L0,5, PET-L0,5 numunelerinde gerçekleşmiş olup kontrol numunesine göre sırasıyla %0,9, %2 artış, %1,6, %0,2 azalış gerçekleşmiştir.

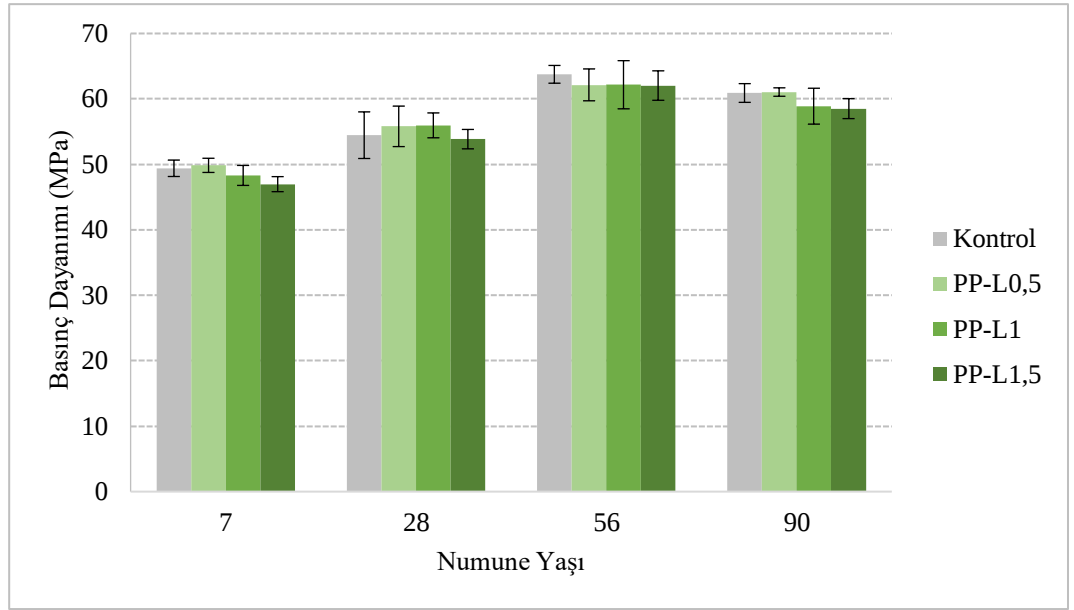
HDPE lifli numunelerin basınç dayanımları Şekil 4.17'de verilmiştir.



Şekil 4.17 HDPE lifli numunelerin basınç dayanımları

HDPE lifli numunelerdeki lif oranının artmasıyla basınç dayanımlarında genel olarak bir azalma olduğu görülmüştür. Karışımlardaki lif oranı %0,5, %1 ve %1,5 olan numuneler ile kontrol numunesinin basınç dayanımları karşılaştırıldığında sırasıyla 7 günlük basınç dayanımlarında %3,8 artış, %1,1, %5,8 azalış; 28 günlük basınç dayanımlarında %0,7, %3,2 artış, %2,2 azalış; 56 günlük basınç dayanımlarında %1,7 artış, %1,6, %5,9 azalış; 90 günlük basınç dayanımlarında %0,8 artış, %4,5, %5,4 azalış meydana gelmiştir. HDPE lifli numunelerin 7, 28, 56 ve 90 günlük en yüksek basınç dayanımları sırasıyla HDPE-L0,5, HDPE-L1, HDPE-L0,5, HDPE-L0,5 numunelerinde gerçekleşmiş olup kontrol numunesine göre sırasıyla %3,8, %3,2, %1,7, %0,8 artış gerçekleşmiştir.

PP lifli numunelerin basınç dayanımları Şekil 4.18’de görülmektedir.



Şekil 4.18 PP lifli numunelerin basınç dayanımları

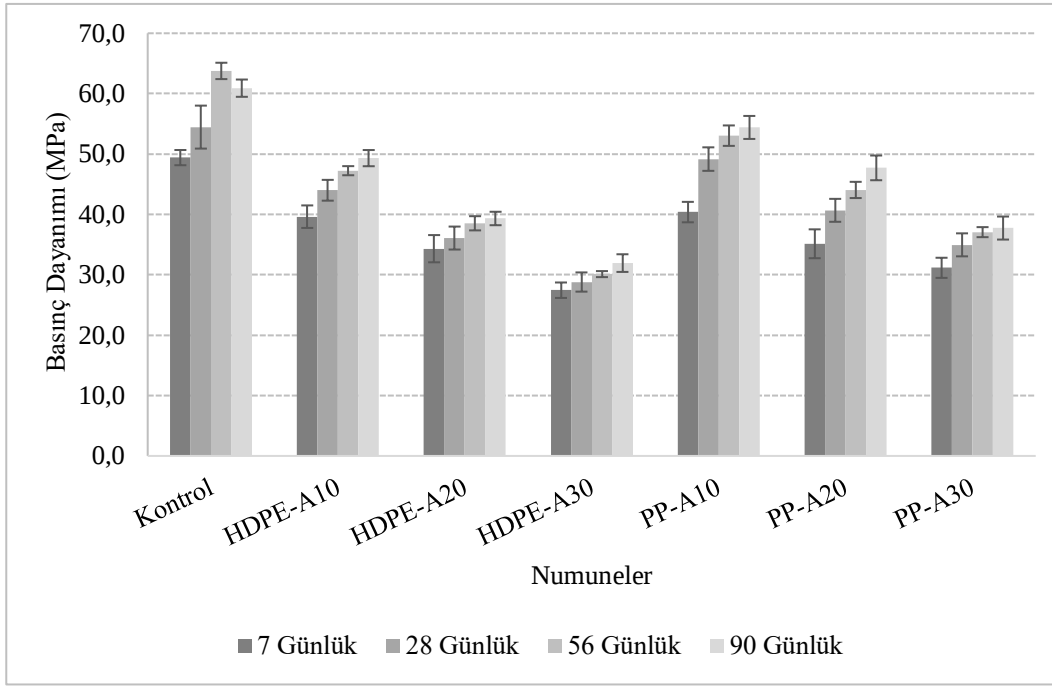
PP lifli numunelerin basınç dayanımları karşılaştırıldığında lif oranının artmasıyla eğilme dayanımlarında genel olarak bir azalma meydana gelmiştir. Karışımlardaki lif oranı %0,5, %1 ve %1,5 olan numuneler ile kontrol numunesinin basınç dayanımları karşılaştırıldığında sırasıyla 7 günlük basınç dayanımlarında %0,9 artış, %2,2, %4,9 azalış; 28 günlük basınç dayanımlarında %2,5, %2,8 artış, %1,1 azalış; 56 günlük basınç dayanımlarında %2,5, %2,5, %2,7 azalış; 90 günlük basınç dayanımlarında %0,2 artış, %3,3, %3,9 azalış meydana gelmiştir. PP lifli numunelerin 7, 28, 56 ve 90 günlük en yüksek basınç dayanımları sırasıyla PP-L0,5, PP-L1, PP-L1, PP-L0,5 numunelerinde gerçekleşmiş olup kontrol numunesine göre sırasıyla %0,9 artış, %2,8 artış, %2,5 azalış, %0,2 artış gerçekleşmiştir.

4.3.2. Plastik agregalı numunelerin basınç dayanımı deney sonuçları

HDPE ve PP türü atık plastiklerden elde edilen granüllerin harçlarda agrega ile hacimce %10, %20 ve %30 oranında ikame edilerek kullanılmasıyla üretilen numunelerin 7, 28, 56 ve 90 günlük basınç dayanımı değerleri Tablo 4.9'da ve Şekil 4.19'da verilmiştir. Tablo 4.10'da plastik agregalı numunelerin basınç dayanımlarının kontrol numunesine göre değişimi verilmiştir.

Tablo 4.9 Plastik agregalı numunelerin basınç dayanımları

Numune	Basınç Dayanımı (MPa)			
	7 Günlük	28 Günlük	56 Günlük	90 Günlük
Kontrol	49,4	54,5	63,8	60,9
HDPE-A10	39,6	44,0	47,2	49,3
HDPE-A20	34,3	36,1	38,5	39,3
HDPE-A30	27,4	28,8	30,1	31,9
PP-A10	40,4	49,2	53,0	54,4
PP-A20	35,1	40,7	44,1	47,7
PP-A30	31,2	35,0	37,1	37,7



Şekil 4.19 Plastik agregalı numunelerin basınç dayanımları

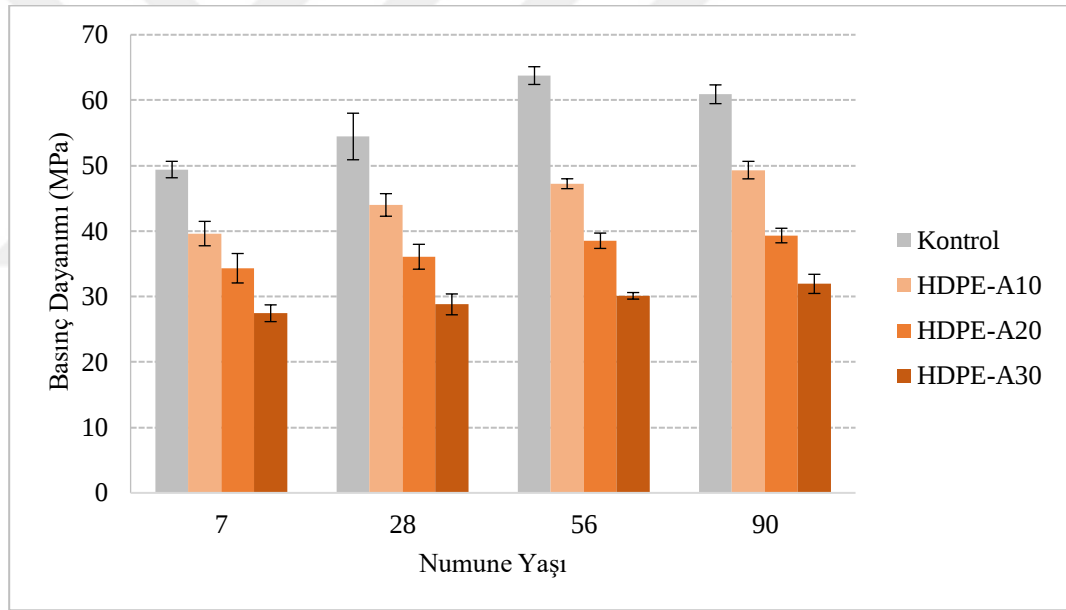
Tablo 4.10 Plastik agregalı numunelerin basınç dayanımlarının kontrol numunesine göre değişimi

Numune	Basınç Dayanımı Değişim Oranı (%)			
	7 Günlük	28 Günlük	56 Günlük	90 Günlük
Kontrol	100,0	100,0	100,0	100,0
HDPE-A10	80,2	80,8	74,1	81,0
HDPE-A20	69,5	66,3	60,4	64,6
HDPE-A30	55,6	52,9	47,2	52,4
PP-A10	81,7	90,3	83,2	89,3
PP-A20	71,1	74,7	69,1	78,3
PP-A30	63,1	64,2	58,1	62,0

Plastik agregalı numunelerin basınç dayanımları karşılaştırıldığında karışımlardaki plastik agrega oranının artmasıyla kontrol numunesine göre basınç

dayanımlarında azalma meydana geldiği görülmüştür. Plastik agregalı numunelerin basınç dayanımları 7 günlük numunelerde 27,4-40,4 MPa, 28 günlük numunelerde 28,8-49,2 MPa, 56 günlük numunelerde 30,1-53 MPa, 90 günlük numunelerde 31,9-54,4 MPa arasında değişmektedir. Tüm bu sonuçlar karşılaştırıldığında kontrol numunesine göre 7, 28, 56 ve 90 günlük en yüksek dayanım PP-A10 numunesinde gerçekleşmiş olup kontrol numunesine göre sırasıyla %18,3, %9,7, %16,8, %10,7 oranında azalış gerçekleşmiştir. Plastik agregalı numunelerde meydana gelen basınç dayanımlarındaki azalmaya, plastik agreganın yüzeyi ince agregaya göre daha pürüzsüz yapıda olması ve plastik agreganın oranındaki artışla beraber arayüz bölgesinde meydana gelen zayıflamalar sebep olmaktadır. Deney sonuçları Ahmad vd. (2022), Gül (2018), Kumari (2016) ve Safi vd.'nin (2013) yaptığı çalışmadaki sonuçlar ile uyusmaktadır.

HDPE agregalı numunelerin basınç dayanımları Şekil 4.20'de görülmektedir.

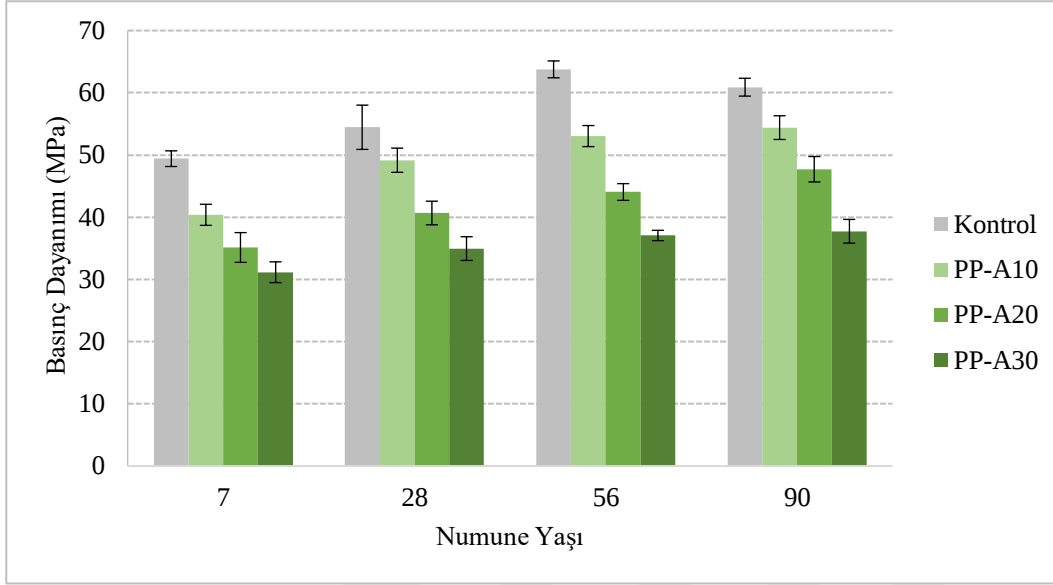


Şekil 4.20 HDPE agregalı numunelerin basınç dayanımları

HDPE türü plastik agregalı numunelerdeki plastik agreganın oranının artmasıyla basınç dayanımlarında azalma meydana gelmiştir. Karışımlardaki plastik agreganın oranı %10, %20 ve %30 olan numunelerin basınç dayanımları kontrol numunesi ile karşılaştırıldığında sırasıyla 7 günlük basınç dayanımlarında %19,8, %30,5, %44,4 azalış; 28 günlük basınç dayanımlarında %19,2, %33,7, %47,1 azalış; 56 günlük basınç dayanımlarında %25,9, %39,6, %52,8 azalış; 90 günlük basınç dayanımlarında %19, %35,4, %47,6 azalış meydana gelmiştir. HDPE agregalı numunelerin 7, 28, 56 ve 90 günlük en yüksek basınç dayanımları HDPE-A10

numunesinde gerçekleşmiş olup kontrol numunesine göre sırasıyla %19,8, %19,2, %25,9, %19 oranında azalış gerçekleşmiştir.

PP agregalı numunelerin basınç dayanımları Şekil 4.21’de verilmiştir.



Şekil 4.21 PP agregalı numunelerin basınç dayanımları

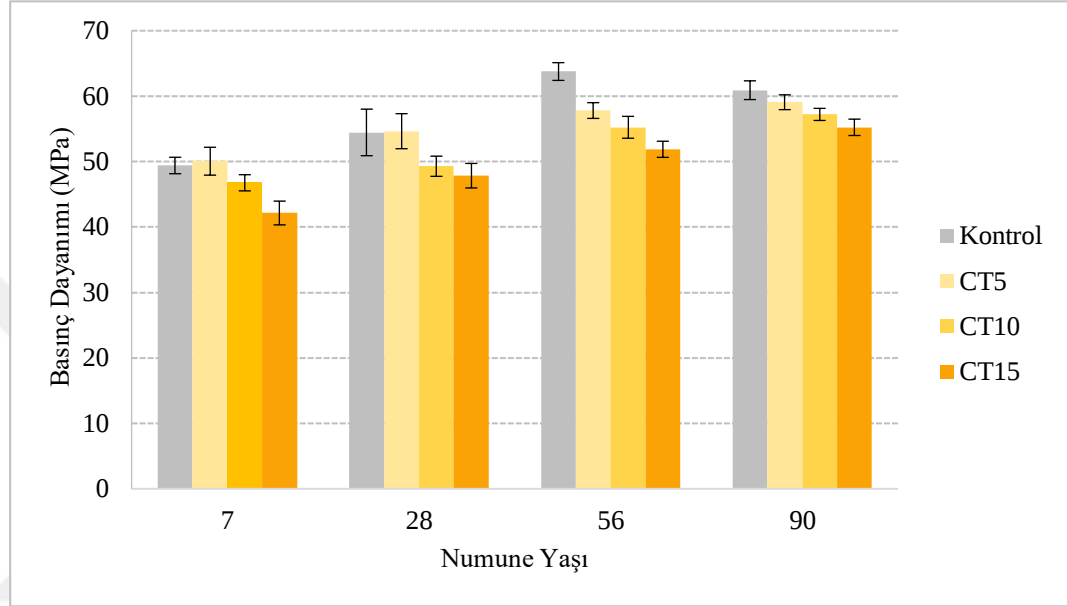
PP türü plastik agregalı numunelerdeki plastik agregata oranının artmasıyla basınç dayanımlarında azalma gerçekleşmiştir. Karışımlardaki plastik agregata oranı %10, %20 ve %30 olan numunelerin basınç dayanımları kontrol numunesi ile karşılaştırıldığında sırasıyla 7 günlük eğilme dayanımlarında %18,3, %28,9, %36,9 azalış; 28 günlük basınç dayanımlarında %9,7, %25,3, %35,8 azalış; 56 günlük basınç dayanımlarında %16,8, %30,9, %41,9 azalış; 90 günlük basınç dayanımlarında %10,7, %21,7, %38 azalış meydana gelmiştir. HDPE agregalı numunelerin 7, 28, 56 ve 90 günlük en yüksek basınç dayanımları PP-A10 numunesinde gerçekleşmiş olup kontrol numunesine göre sırasıyla %18,3, %9,7, %16,8, %10,7 oranında azalış gerçekleşmiştir.

4.3.3. Cam tozu içeren numunelerin basınç dayanımı deney sonuçları

Çimento yerine %5, %10 ve %15 oranlarında cam tozu ikame edilerek üretilen numunelerin 7, 28, 56 ve 90 günlük basınç dayanımı değerleri Tablo 4.11’de ve Şekil 4.22’de verilmiştir. Tablo 4.12’de cam tozu ikameli numunelerin basınç dayanımlarının kontrol numunesine göre değişimi verilmiştir.

Tablo 4.11 Cam tozu içeren numunelerin basınç dayanımları

Numune	Basınç Dayanımı (MPa)			
	7 Günlük	28 Günlük	56 Günlük	90 Günlük
Kontrol	49,4	54,5	63,8	60,9
CT5	50,1	54,6	57,8	59,1
CT10	46,8	49,3	55,2	57,2
CT15	42,1	47,8	51,9	55,2



Şekil 4.22 Cam tozu içeren numunelerin basınç dayanımları

Tablo 4.12 Cam tozu içeren numunelerin basınç dayanımlarının kontrol numunesine göre değişimi

Numune	Basınç Dayanımı Değişim Oranı (%)			
	7 Günlük	28 Günlük	56 Günlük	90 Günlük
Kontrol	100,0	100,0	100,0	100,0
CT5	101,3	100,3	90,6	97,0
CT10	94,6	90,5	86,6	93,9
CT15	85,3	87,9	81,4	90,7

Cam tozu içeren numunelerdeki cam tozu oranının artmasıyla birlikte basınç dayanımlarında kontrol numunesine göre azalış gerçekleşmiştir. %5, %10 ve %15 cam tozu ikameli numunelerin basınç dayanımları sırasıyla 7 günlük numunelerde 50,1 MPa, 46,8 MPa, 42,1 MPa, 28 günlük numunelerde 54,6 MPa, 49,3 MPa, 47,8 MPa, 56 günlük numunelerde 57,8 MPa, 55,2 MPa, 51,9 MPa, 90 günlük numunelerde 59,1 MPa, 57,2 MPa, 55,2 MPa'dır. Tüm bu sonuçlar kontrol numunesi ile karşılaştırıldığında 7, 28, 56 ve 90 günlük en yüksek dayanım CT5 numunesinde gerçekleşmiş olup kontrol numunesine göre sırasıyla %1,3, %0,3

artış, %9,4, %3 oranında azalış gerçekleşmiştir. Numunelerdeki cam tozu oranının artışıyla birlikte yaşanan basınç dayanımlarındaki bu azalma, cam tozunun çimentoya kıyasla daha iri taneli olması ve böylece numune içerisindeki boşlukların yeterince doldurulamaması olarak değerlendirilmektedir. Numunelerdeki cam tozu oranının artışıyla yaşanan yayılmalardaki artış göz önüne alındığında su/bağlayıcı oranının düşürülmesi kontrol numunesine göre basınç dayanımı kayıplarının giderilebileceği düşünülmektedir. Bouty ve Homsı (2021), Bıçakçioğlu (2020), Kalakada vd. (2020) ve İslam vd.'nin (2017) yaptığı deney sonuçlarına göre karışımlarda cam tozu ikame oranının artmasıyla numunelerin basınç dayanımlarında kontrol numunesine göre azalma olduğu görülmektedir.

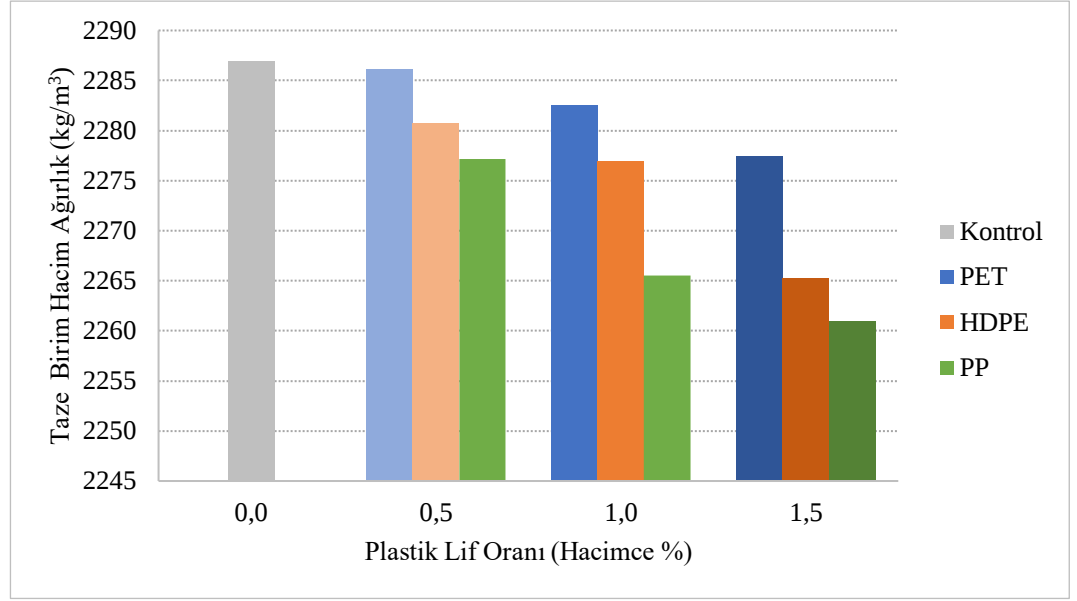
4.4. Birim Hacim Ağırlık, Su Emme Oranı ve Porozite Tayini

4.4.1. Plastik lifli karışımların birim hacim ağırlıkları, su emme oranı ve porozite tayini

Plastik lifli karışımların taze haldeki birim hacim ağırlıkları Tablo 4.13'te ve Şekil 4.23'te, numunelerin kuru yüzey doygun (kyd) birim hacim ağırlıkları (bha) Tablo 4.14'te ve Şekil 4.24'te verilmiştir.

Tablo 4.13 Plastik lifli karışımların taze birim hacim ağırlıkları

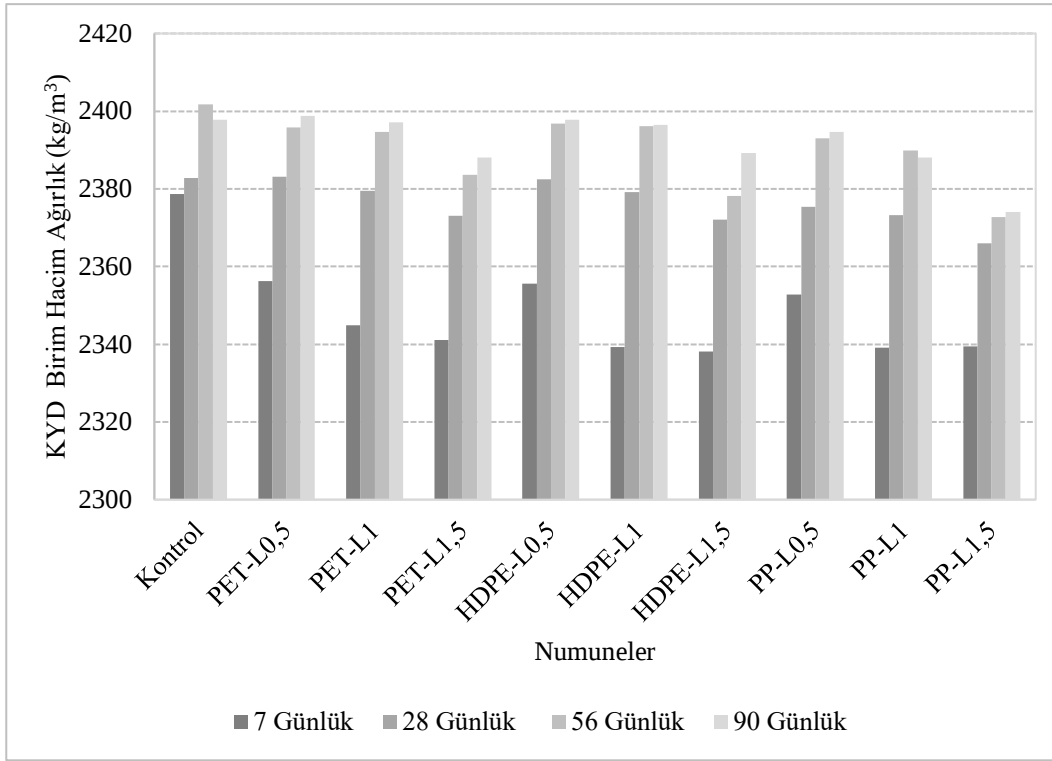
Karışım	Teorik BHA (kg/m ³)	Taze BHA (kg/m ³)
Kontrol	2313	2287
PET-L0,5	2306	2286
PET-L1	2299	2283
PET-L1,5	2293	2277
HDPE-L0,5	2304	2281
HDPE-L1	2296	2277
HDPE-L1,5	2287	2265
PP-L0,5	2304	2277
PP-L1	2295	2266
PP-L1,5	2287	2261



Şekil 4.23 Plastik lifli karışımların taze birim hacim ağırlıkları

Tablo 4.14 Plastik lifli numunelerin zamana göre kyd birim hacim ağırlıkları

Karışım	KYD Birim Hacim Ağırlık (kg/m³)			
	7 Günlük	28 Günlük	56 Günlük	90 Günlük
Kontrol	2379	2383	2402	2398
PET-L0,5	2356	2383	2396	2399
PET-L1	2345	2380	2395	2397
PET-L1,5	2341	2373	2384	2388
HDPE-L0,5	2356	2382	2397	2398
HDPE-L1	2339	2379	2396	2397
HDPE-L1,5	2338	2372	2378	2389
PP-L0,5	2353	2375	2393	2395
PP-L1	2339	2373	2390	2388
PP-L1,5	2339	2366	2373	2374



Şekil 4.24 Plastik lifli numunelerin zamana göre kyd birim hacim ağırlıkları

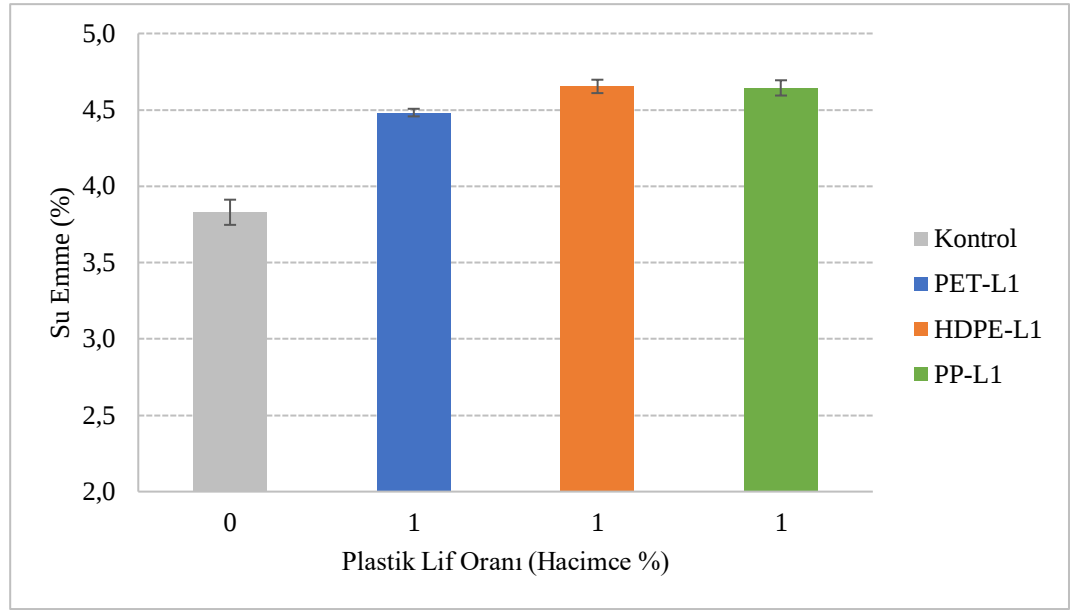
Deney sonuçları incelendiğinde, plastik lifli karışımların taze haldeki birim hacim ağırlıkları kontrol karışımına göre %0-%1,1 oranında azaldığı görülmüştür. En fazla azalma PP lifli karışımlarda görülmüş olup kontrol numunesiyle karşılaştırıldığında %0,5, %1, %1,5 lif oranlarına göre sırasıyla %0,4, %0,9 ve %1,1 oranında azalma gerçekleşmiştir.

Kyd birim hacim ağırlıkları incelendiğinde numunelerin kontrol numunesine göre 7, 28, 56 ve 90 günlük kyd birim hacim ağırlıklarında en fazla azalma sırasıyla %1,7, %0,7, %1,2 ve %1'e varan oranlarda gerçekleşmiş olup bu azalmalar PP lifli numunelerde görülmüştür.

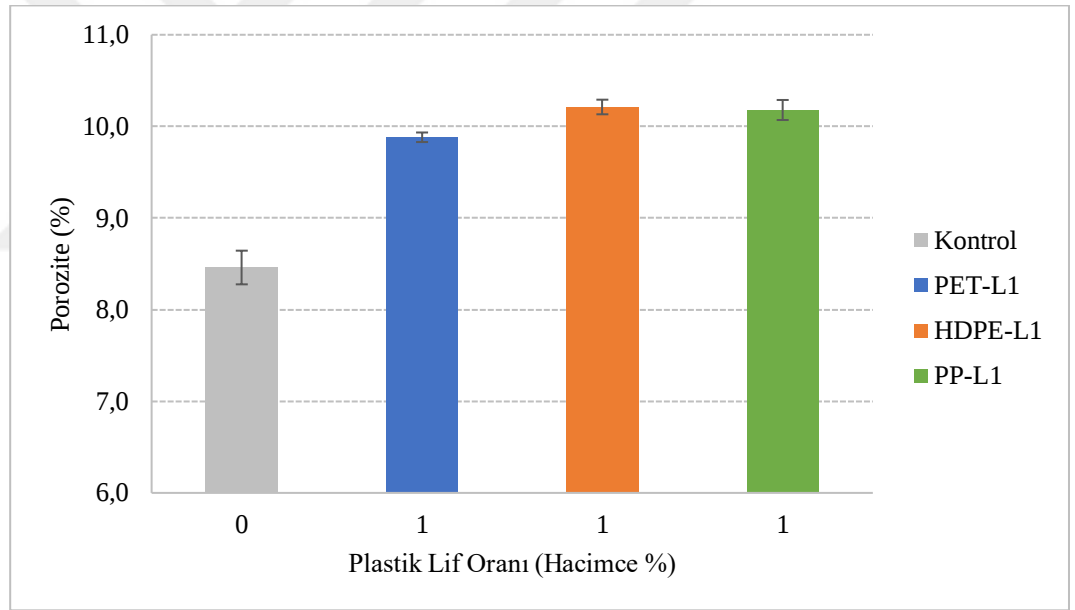
Hacimce %1 plastik lif içeren 28 günlük numunelerin su emme ve porozite oranları Tablo 4.15'te ve Şekil 4.25-26'da verilmiştir.

Tablo 4.15 Plastik lifli numunelerin su emme ve porozite oranları

Karışım	Su Emme Oranı (%)	Porozite (%)
Kontrol	3,8	8,5
PET-L1	4,5	9,9
HDPE-L1	4,7	10,2
PP-L1	4,6	10,2



Şekil 4.25 Plastik lifli numunelerin su emme oranları



Şekil 4.26 Plastik lifli numunelerin poroziteleri

Plastik lifli numunelerin su emme oranlarına bakıldığında numunelerde lif kullanımının su emme değerlerini arttırdığı görülmektedir. Su emme oranları PET-L1, HDPE-L1 ve PP-L1 numunelerinde sırasıyla %4,5, %4,7 ve %4,6 olup kontrol numunesine göre su emme oranlarında sırasıyla %17, %22 ve %21 oranlarında artış gerçekleşmiştir.

Porozite oranları incelendiğinde, numunelere lif ikame edilmesiyle porozite değerlerinde artış yaşanmıştır. PET-L1, HDPE-L1 ve PP-L1 numunelerinde

porozite oranları sırasıyla %9,9, %10,2 ve %10,2 olup kontrol numunesine göre porozite oranlarında sırasıyla %17, %21 ve %20 oranında artış gerçekleştiği görülmüştür.

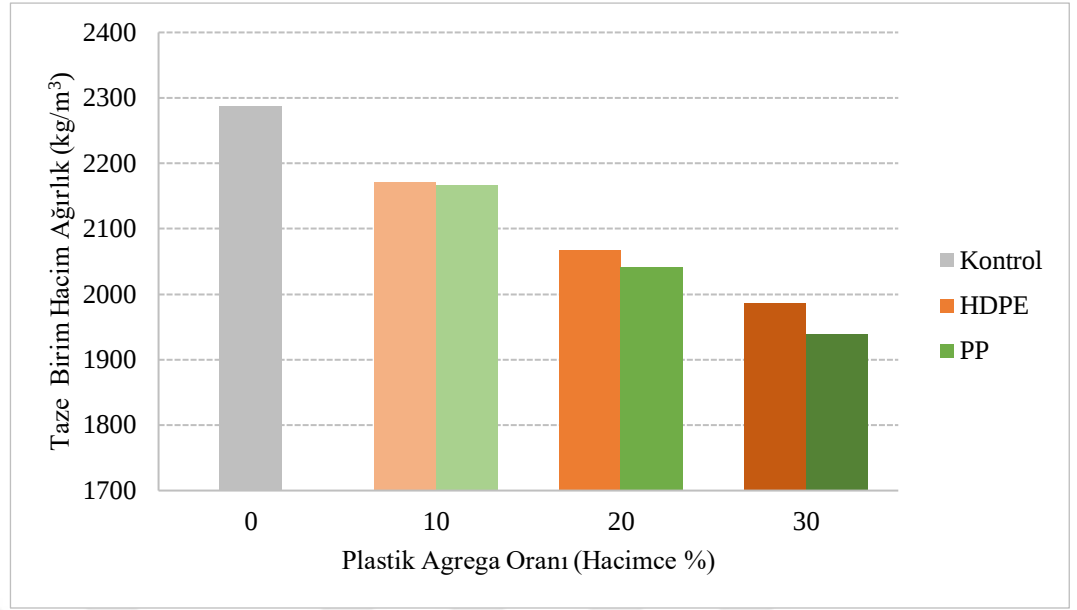
Plastik liflerin yoğunluğunun ince agregaya göre daha düşük olması sebebiyle numunelerdeki ince agreganın plastik lif ile yer değiştirmesine bağlı olarak ayrıca plastik liflerin bağlayıcı ile zayıf etkileşimleri sonucu meydana gelen boşluk oranındaki artış numunelerin taze ve kyd birim hacim ağırlıklarında kontrol numunesine göre azalmaya sebep olmuştur. Boşluk oranındaki artışa bağlı olarak su emme oranında da artış yaşanmıştır. Tüm bu sonuçlara paralel olarak Ahmad vd. (2022), Gül'ün (2018) ve Karahan (2011) yaptıkları çalışmada benzer sonuçların geldiği görülmüştür.

4.4.2. Plastik agregalı karışımların birim hacim ağırlıkları, su emme oranı ve porozite tayini

Plastik agregalı karışımların taze haldeki birim hacim ağırlıkları Tablo 4.16'da ve Şekil 4.27'de, numunelerin kyd birim hacim ağırlıkları Tablo 4.17'de ve Şekil 4.28'de verilmiştir.

Tablo 4.16 Plastik agregalı karışımların taze birim hacim ağırlıkları

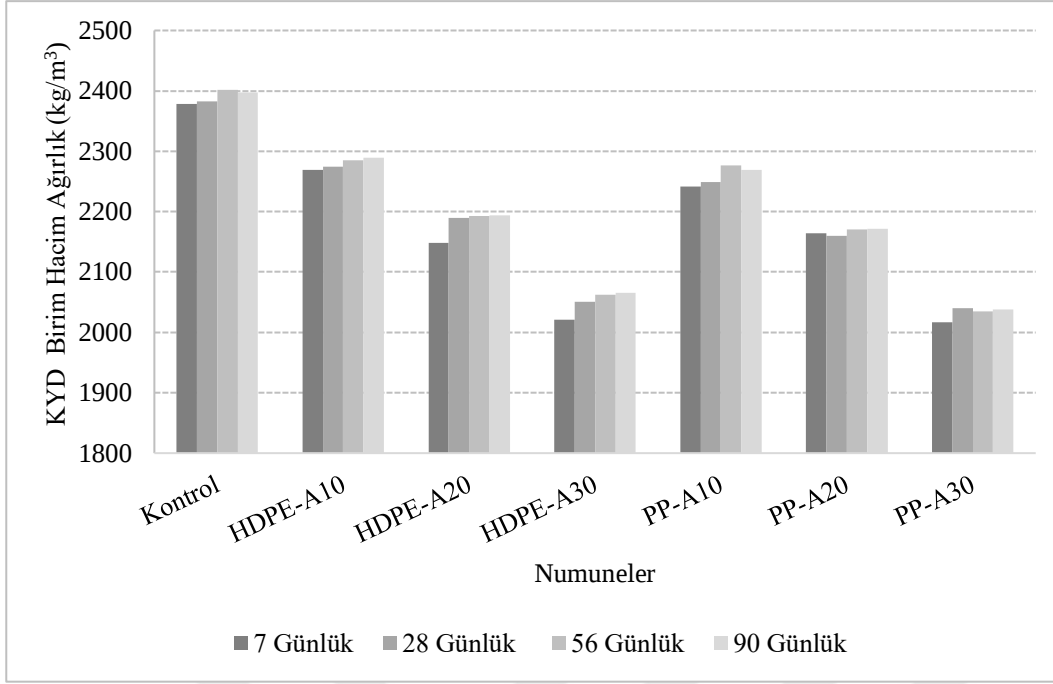
Karışım	Teorik BHA (kg/m ³)	Taze BHA (kg/m ³)
Kontrol	2313	2287
HDPE-A10	2213	2172
HDPE-A20	2113	2067
HDPE-A30	2012	1986
PP-A10	2211	2167
PP-A20	2109	2042
PP-A30	2006	1939



Şekil 4.27 Plastik agregatlı karışımların taze birim hacim ağırlıkları

Tablo 4.17 Plastik agregatlı numunelerin zamana göre kyd birim hacim ağırlıkları

Karışım	KYD Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)			
	7 Günlük	28 Günlük	56 Günlük	90 Günlük
Kontrol	2379	2383	2402	2398
HDPE-A10	2269	2275	2285	2290
HDPE-A20	2149	2190	2193	2194
HDPE-A30	2021	2051	2063	2065
PP-A10	2241	2249	2276	2269
PP-A20	2165	2160	2171	2172
PP-A30	2016	2040	2035	2038



Şekil 4.28 Plastik agregalı numunelerin zamana göre kyd birim hacim ağırlıkları

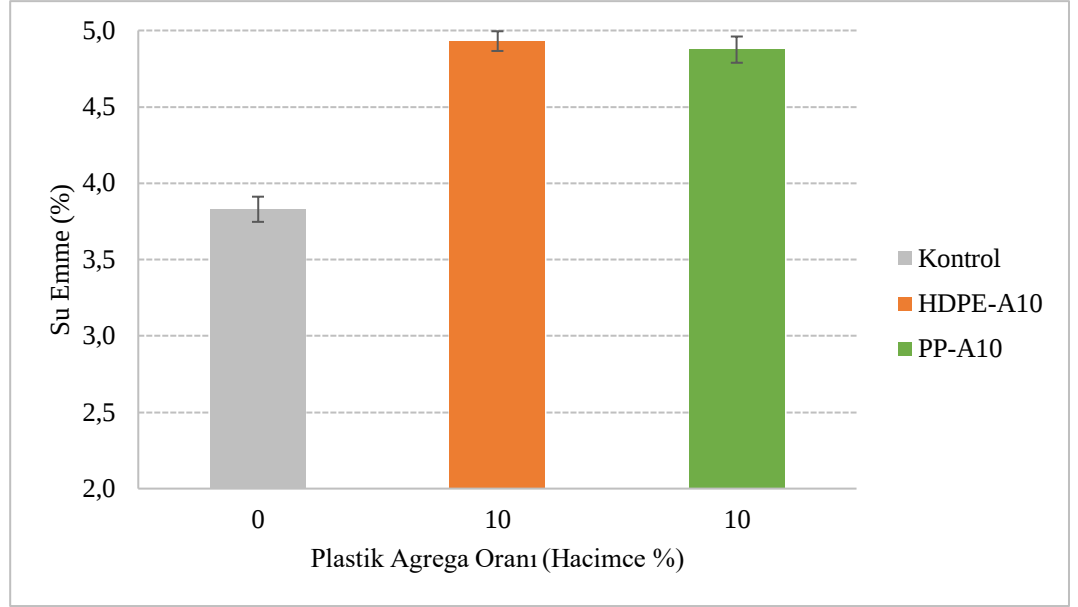
Deney sonuçları incelendiğinde, plastik agregalı karışımların taze haldeki birim hacim ağırlıkları HDPE-A10, HDPE-A20 ve HDPE-A30 numunelerinde kontrol karışımına göre sırasıyla %5, %10 ve %13 oranında azaldığı; PP-A10, PP-A20 ve PP-A30 numunelerinde ise kontrol karışımına göre %5, %11 ve %15 oranında azaldığı görülmüştür.

Plastik agregası içeren numunelerin kontrol numunesine göre 7, 28, 56 ve 90 günlük kyd birim hacim ağırlıklarında en fazla azalma sırasıyla %15, %14, %15 ve %15'e varan oranda gerçekleşmiş olup bu azalmalar PP-A30 numunelerinde görülmüştür.

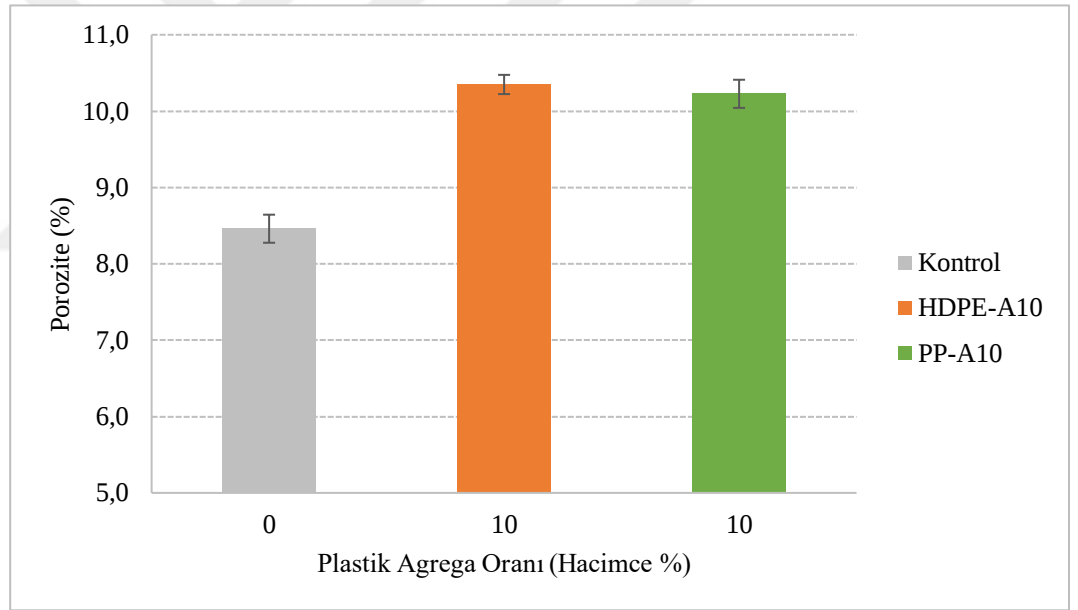
Hacimce %10 plastik agregası içeren 28 günlük numunelerin su emme ve porozite oranları Tablo 4.18'de ve Şekil 4.29-30'da verilmiştir.

Tablo 4.18 Plastik agregalı numunelerin su emme ve porozite oranları

Karışım	Su Emme Oranı (%)	Porozite (%)
Kontrol	3,8	8,5
HDPE-A10	4,9	10,3
PP-A10	4,9	10,2



Şekil 4.29 Plastik agregalı numunelerin su emme oranları



Şekil 4.30 Plastik agregalı numunelerin poroziteleri

Plastik agregalı numunelerin su emme oranlarına bakıldığında numunelerde plastik agregası kullanımının su emme değerlerini arttırdığı görülmektedir. Su emme oranları HDPE-A10 ve PP-A10 numunelerinde %4,9 olup kontrol numunesine göre su emme oranlarında sırasıyla %27, %29 oranında artış gerçekleşmiştir.

Porozite oranları incelendiğinde HDPE-A10 ve PP-A10 numunelerinde porozite oranları sırasıyla %10,3 ve %10,2 olup kontrol numunesine göre porozite oranlarında sırasıyla %22 ve %21 oranında artış gerçekleştiği görülmüştür.

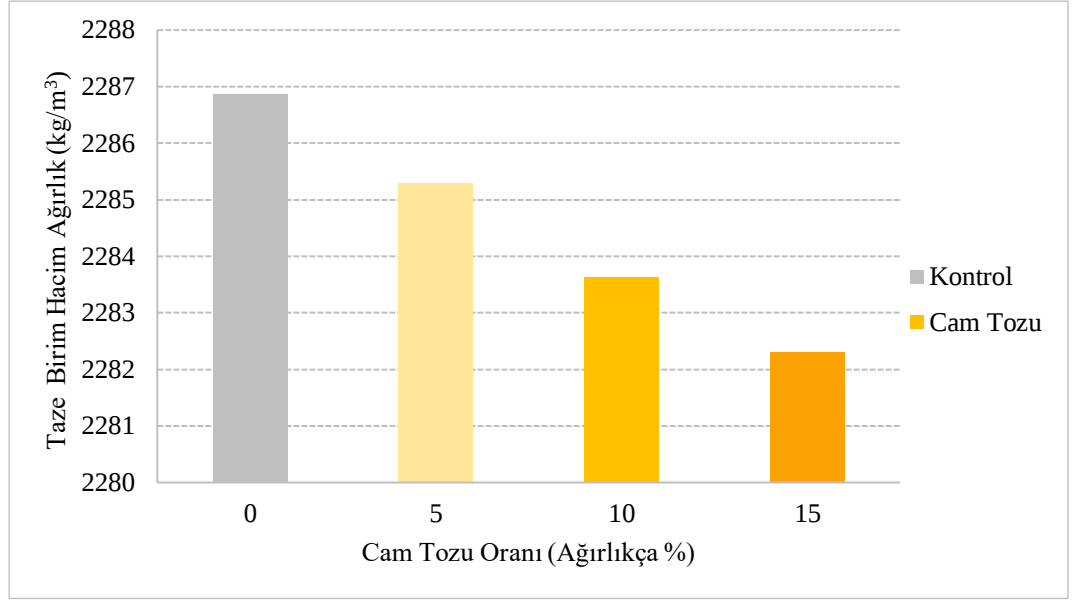
Plastik agreganın ince agregaya göre yoğunluğunun daha düşük olması sebebiyle ince agrega ile ikamesine bağlı olarak ve plastik agreganın bağlayıcı ile zayıf etkileşimleri sonucu numunelerde meydana gelen boşluk oranındaki artış plastik agregalı numunelerin kontrol numunesine göre taze ve kyd birim hacim ağırlıklarında azalma meydana gelmiştir. Boşluk oranındaki artışa bağlı olarak su emme oranında da artış yaşanmıştır. Ahmad vd. (2022), Mansour vd. (2022), Gül (2018) ve Memiş ve Örüng (2012) yaptıkları çalışma sonuçlarına göre benzer sonuçların geldiği görülmüştür.

4.4.3. Cam tozu içeren karışımların birim hacim ağırlıkları, su emme oranı ve porozite tayini

Cam tozu içeren karışımların taze haldeki birim hacim ağırlıkları Tablo 4.19’da ve Şekil 4.31’de, numunelerin kyd birim hacim ağırlıkları Tablo 4.20’de ve Şekil 4.32’de verilmiştir.

Tablo 4.19 Cam tozu içeren karışımların taze birim hacim ağırlıkları

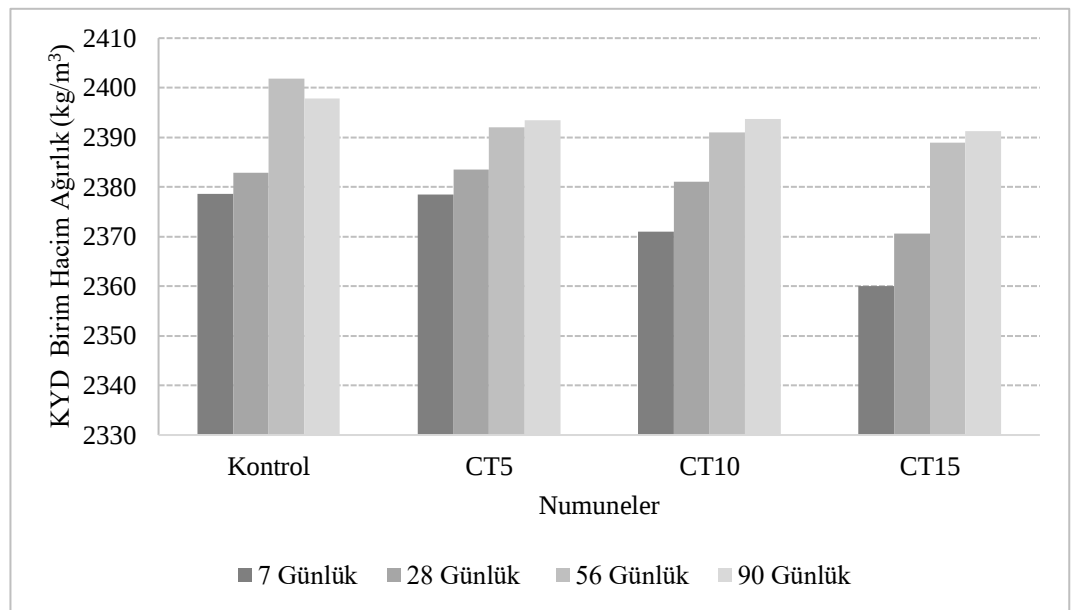
Karışım	Teorik BHA (kg/m ³)	Taze BHA (kg/m ³)
Kontrol	2313	2287
CT5	2304	2285
CT10	2300	2284
CT15	2295	2282



Şekil 4.31 Cam tozu içeren karışımların taze birim hacim ağırlıkları

Tablo 4.20 Cam tozu içeren numunelerin zamana göre kyd birim hacim ağırlıkları

Karışım	KYD Birim Hacim Ağırlık (kg/m³)			
	7 Günlük	28 Günlük	56 Günlük	90 Günlük
Kontrol	2379	2383	2402	2398
CT5	2379	2383	2392	2394
CT10	2371	2381	2391	2394
CT15	2360	2371	2389	2391



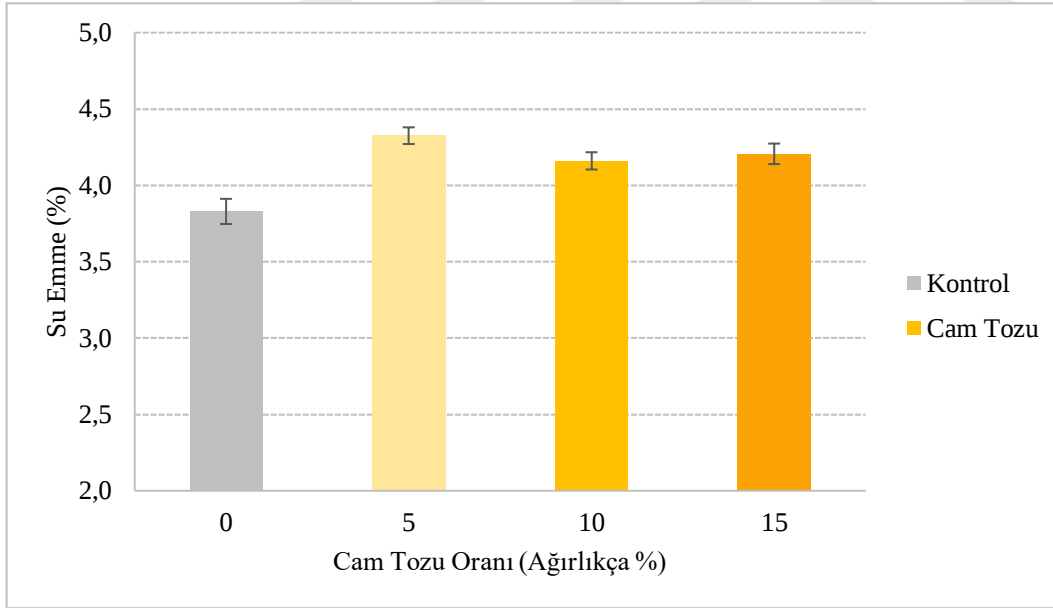
Şekil 4.32 Cam tozu içeren numunelerin zamana göre kyd birim hacim ağırlıkları

Deney sonuçlarına göre, cam tozu içeren karışımların taze haldeki birim hacim ağırlıkları CT5, CT10 ve CT15 numunelerinde kontrol karışımına göre sırasıyla %0,1, %0,1 ve %0,2 oranında azaldığı görülmüştür. Numunelerin kontrol numunesine göre 7, 28, 56 ve 90 günlük kyd birim hacim ağırlıklarında en fazla sırasıyla %0,8, %0,5, %0,5 ve %0,3'e varan oranda azalma gerçekleşmiş olup bu azalmalar CT15 numunelerinde görülmüştür.

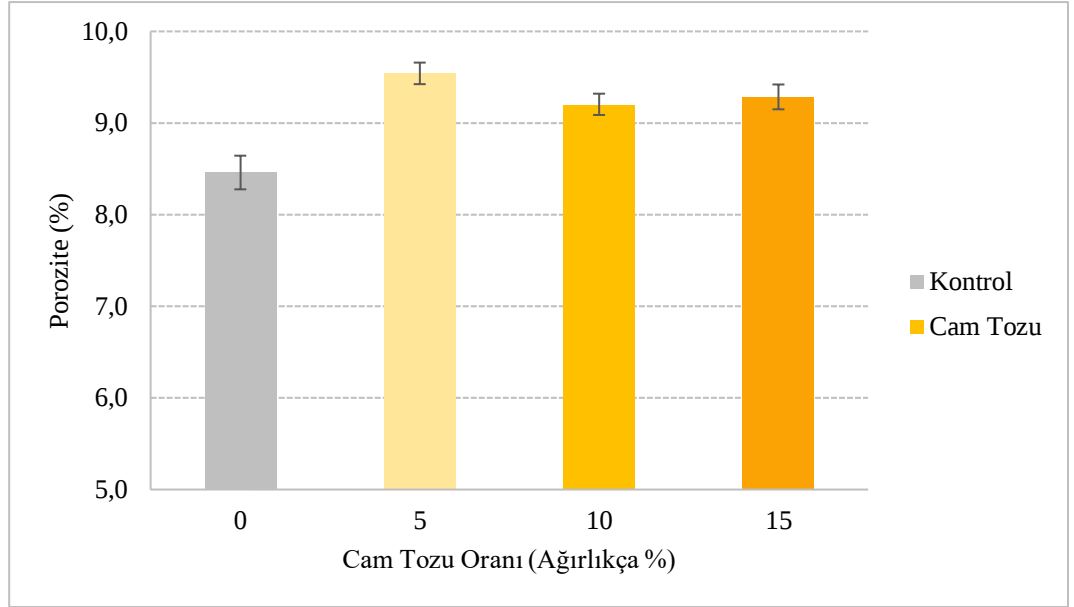
Cam tozu içeren 28 günlük numunelerin su emme ve porozite oranları Tablo 4.21'de ve Şekil 4.33-34'te verilmiştir.

Tablo 4.21 Cam tozu içeren numunelerin su emme ve porozite oranları

Karışım	Su Emme Oranı (%)	Porozite (%)
Kontrol	3,8	8,5
CT5	4,3	9,5
CT10	4,2	9,2
CT15	4,2	9,3



Şekil 4.33 Cam tozu içeren numunelerin su emme oranları



Şekil 4.34 Cam tozu içeren numunelerin poroziteleri

Cam tozu içeren numunelerin su emme oranlarına bakıldığında numunelerde cam tozu kullanımının su emme değerlerini arttırdığı görülmektedir. Su emme oranları CT5, CT10 ve CT15 numunelerinde %4,3, %4,2, %4,2 olup kontrol numunesine göre su emme oranlarında sırasıyla %13, %9 ve %10 oranında artış gerçekleşmiştir.

Porozite oranları incelendiğinde CT5, CT10 ve CT15 numunelerinde porozite oranları sırasıyla %9,5, %9,2, %9,3 olup kontrol numunesine göre porozite oranlarında sırasıyla %13, %9, %10 oranında artış gerçekleştiği görülmüştür.

Tüm bu sonuçlar değerlendirildiğinde cam tozu ikameli numunelerin taze birim hacim ağırlıkları cam tozu yoğunluğunun çimentodan daha düşük olmasına bağlı olarak numune içerisindeki cam tozu oranının artışıyla bir miktar azalmaktadır. Ayrıca su emme ve porozite oranlarındaki artış, cam tozunun çimentoya göre daha iri taneli olmasından dolayı boşlukları yeterince iyi dolduramamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Aliabdo vd.'nin (2016) yaptığı çalışmaya göre karışıma %15'e kadar cam tozu ikamesinin numunelerin su emme oranlarını kontrol numunesine göre %3 oranında düşürdüğü görülmüştür. Buna karşın Du ve Tan'ın (2017) yaptığı çalışmada karışımdaki cam tozu ikame oranının artmasıyla numunelerin porozite oranları artmaktadır. Ayrıca Letelier vd.'nin (2020) yaptığı çalışmada karışımlarda cam tozu kullanımının kontrol numunesine göre su emme ve porozite oranlarını arttırabileceği görülmüştür.

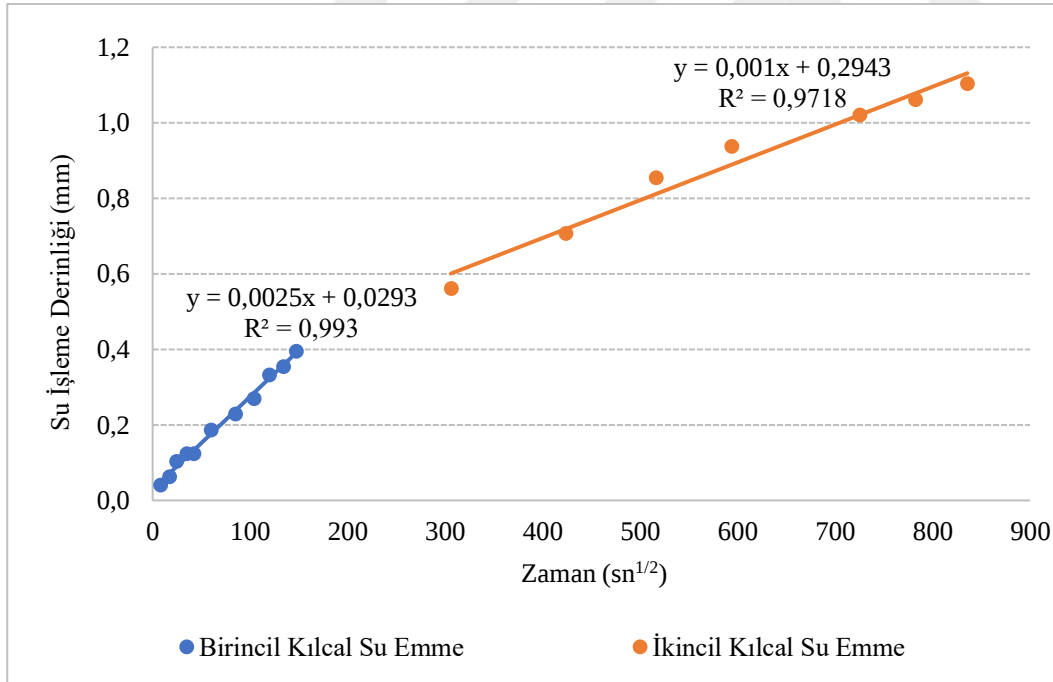
4.5. Kılcal Su Emme Deney Sonuçları

4.5.1. Plastik lifli numunelerin kılcal su emme deney sonuçları

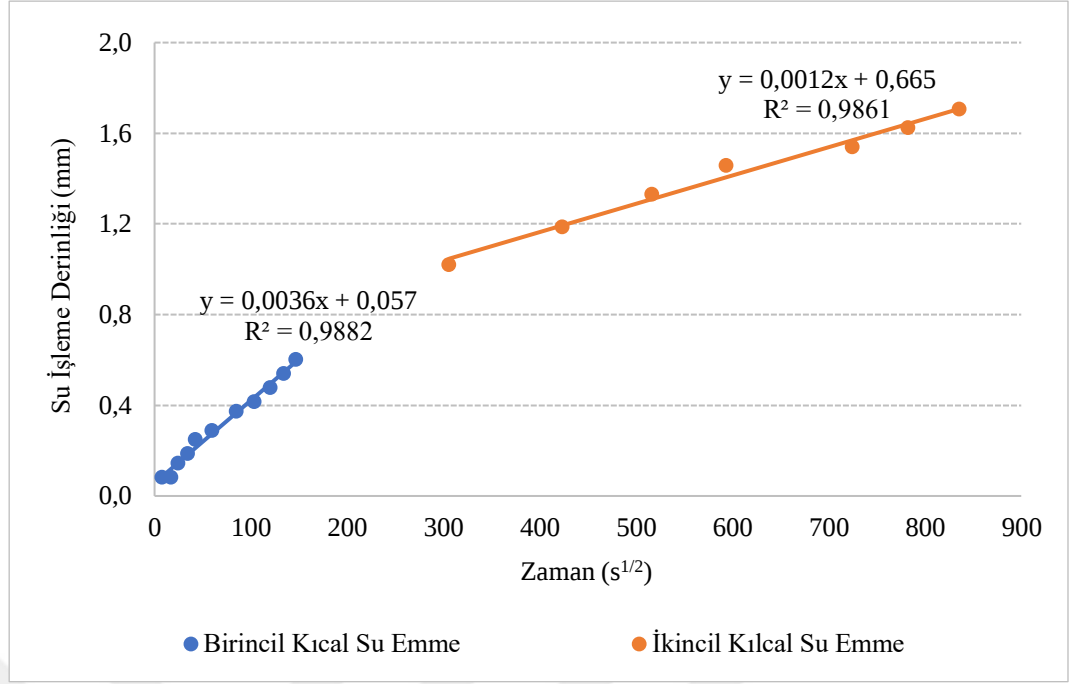
Plastik lif oranı %1 olarak üretilen numunelerin 28 günlük yaşa ulaştıklarında yapılan kılcal su emme deneyi sonucu hesaplanan kapilarite katsayıları Tablo 4.22’de, her bir karışımın zamana bağlı su işleme derinlikleri Şekil 4.35-38’de ve tüm plastik lif içeren karışımların zamana bağlı su işleme derinlikleri Şekil 4.39’da verilmiştir.

Tablo 4.22 Plastik lifli numunelerin kapilarite katsayıları

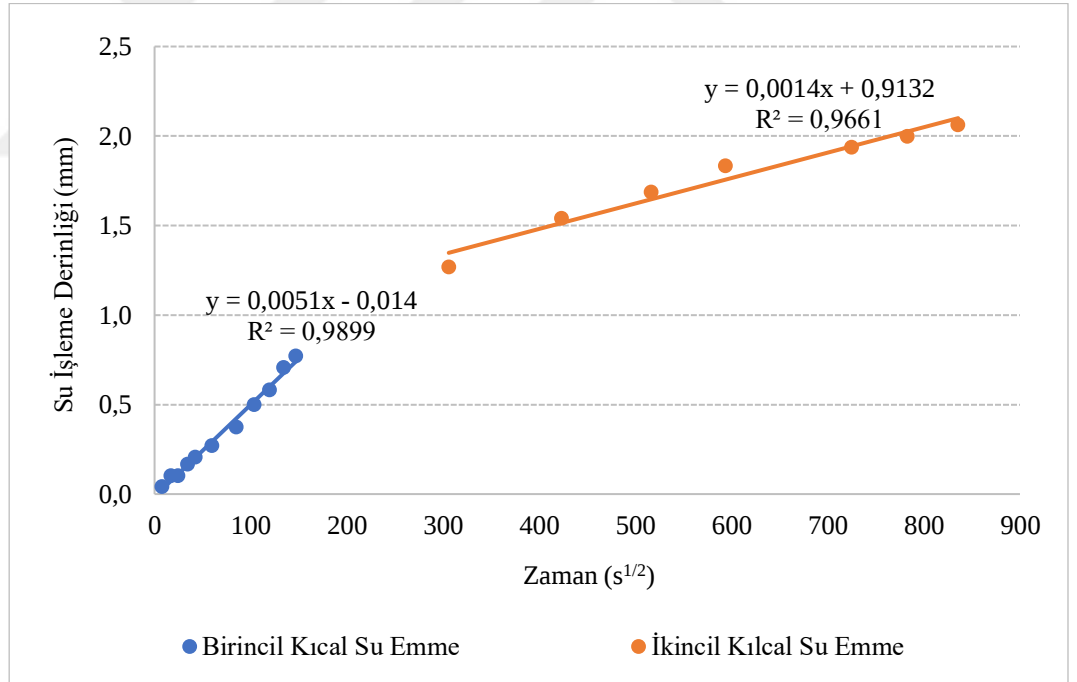
Numune	Birincil Kılcal Su Emme (mm/sn ^{1/2})	İkincil Kılcal Su Emme (mm/sn ^{1/2})
Kontrol	0,0025	0,0010
PET-L1	0,0036	0,0012
HDPE-L1	0,0051	0,0014
PP-L1	0,0047	0,0014



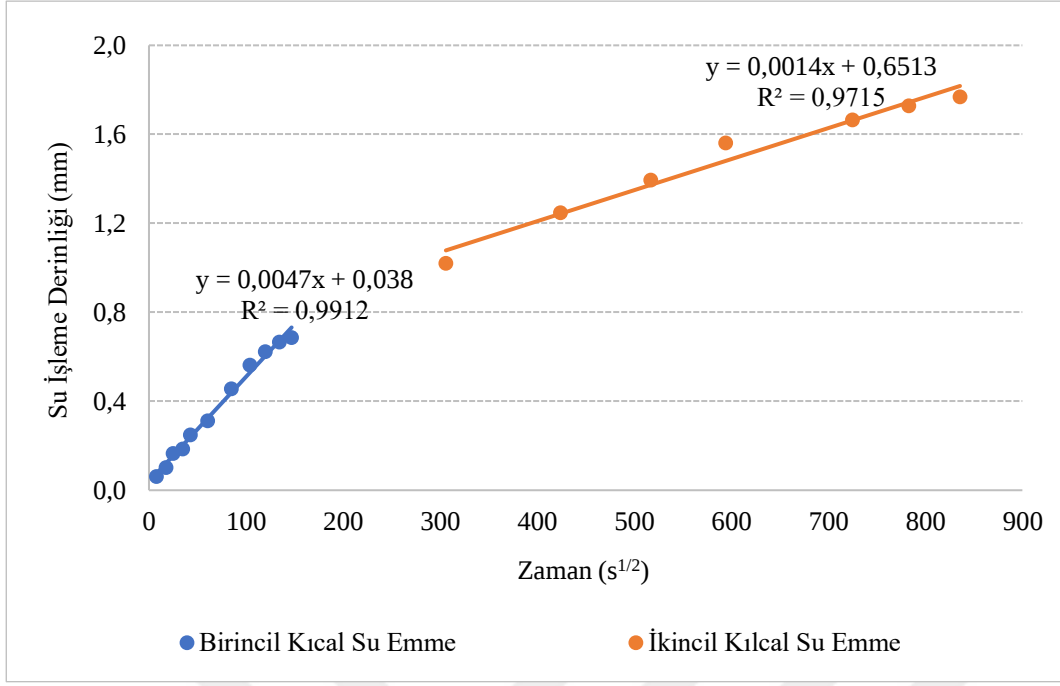
Şekil 4.35 Kontrol numunesinin zamana bağlı su işleme derinliği



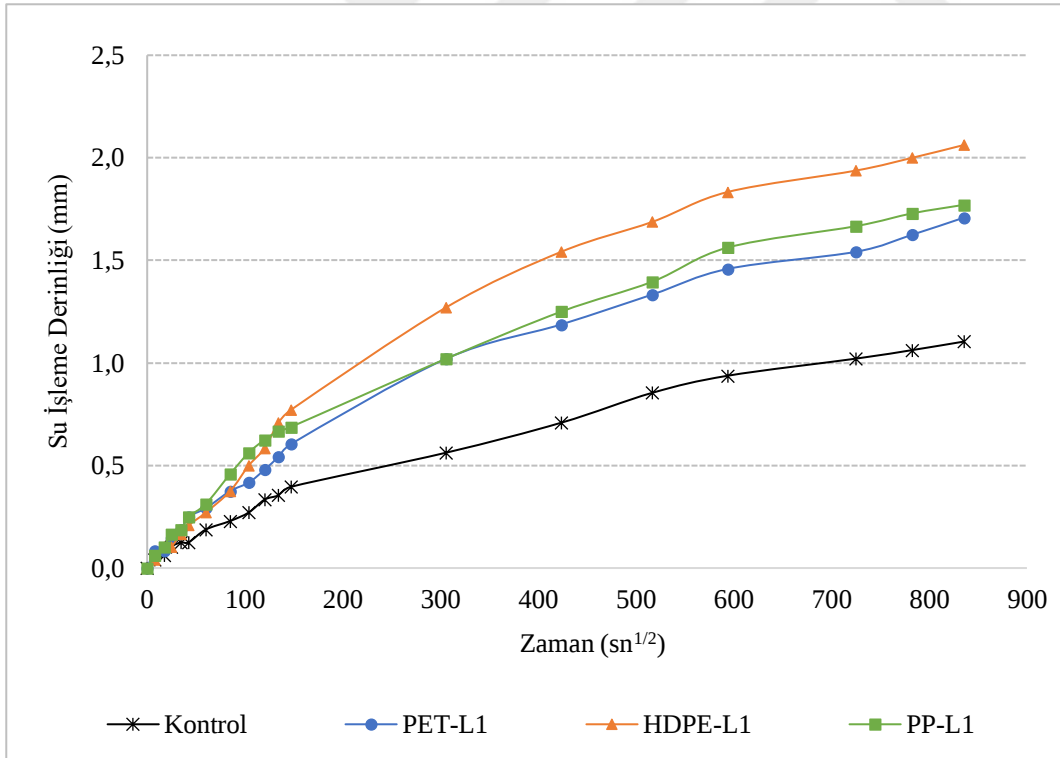
Şekil 4.36 PET-L1 numunesinin zamana bağlı su işleme derinliği



Şekil 4.37 HDPE-L1 numunesinin zamana bağlı su işleme derinliği



Şekil 4.38 PP-L1 numunesinin zamana bağlı su işleme derinliği



Şekil 4.39 Plastik lifli numunelerin zamana bağlı su işleme derinlikleri

Tablo ve grafikler incelendiğinde plastik lifli numunelerin kontrol numunesine göre birincil ve ikincil kılcal su emme değerleri ile su işleme

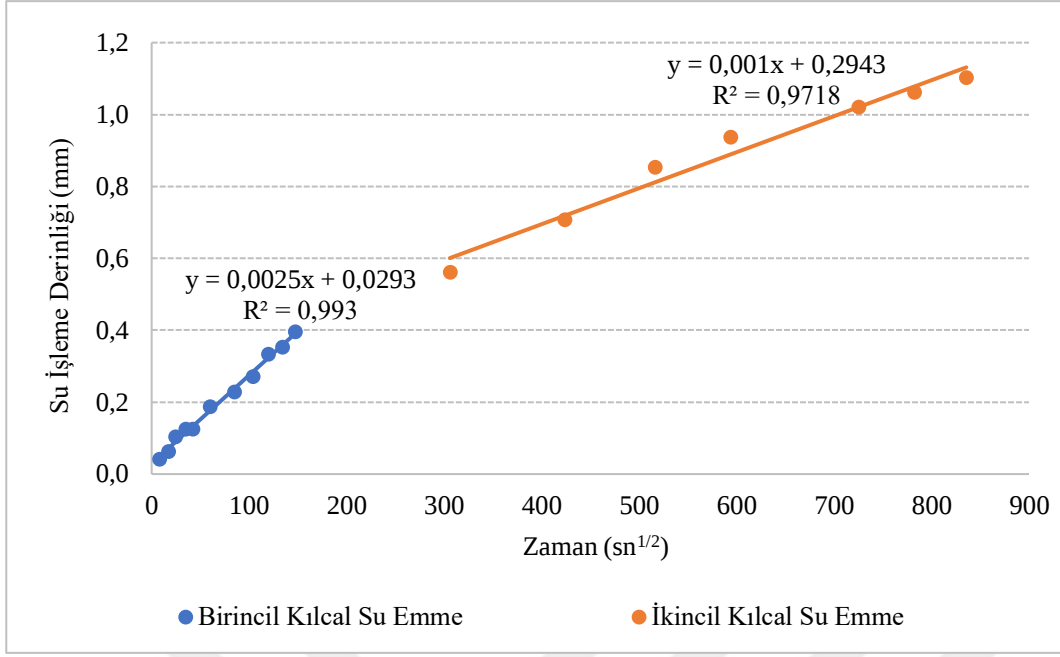
derinliklerinde artış olduğu görülmektedir. PET-L1, HDPE-L1 ve PP-L1 numunelerinde kontrol numunesine göre birincil kılcal su emme değerlerinde sırasıyla %44, %104 ve %88 oranında artış, ikincil kılcal su emme değerlerinde sırasıyla %20, %40 ve %40 oranında artış ve deney sonunda su işleme derinliklerinde sırasıyla %55, %87 ve %60 oranında artış görülmüştür. Bu artışların plastik lifli numunelerin bağlayıcı ile gerçekleşen zayıf etkileşimin bir sonucu olarak ortaya çıkan boşlukların kontrol numunesine göre daha fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Fakat bu deney sonuçlarının aksine Mahmood'un (2020) yaptığı çalışmada karışıma lif eklenmesiyle yapılan 24 saatlik kılcal su emme deneyinde kontrol karışımına göre su emme oranlarında azalma olduğu görülmüştür.

4.5.2. Plastik agregalı numunelerin kılcal su emme deney sonuçları

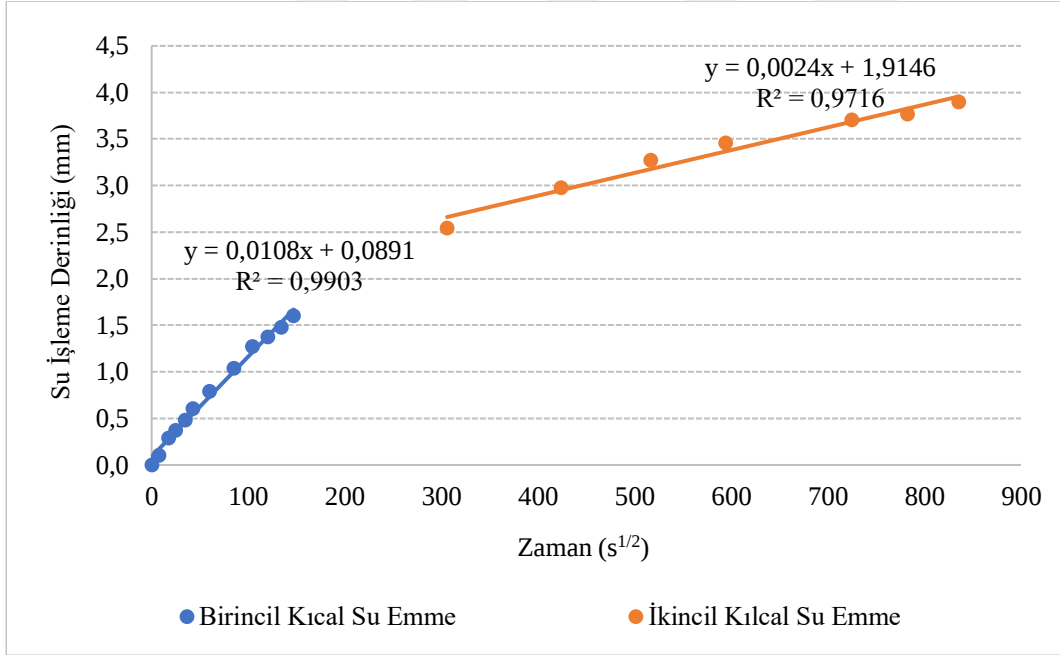
Plastik agregası oranı %10 olarak üretilen numunelerin 28 günlük yaşa ulaştıklarında yapılan kılcal su emme deneyi sonucu hesaplanan kapilarite katsayıları Tablo 4.23'te, her bir karışımın zamana bağlı su işleme derinlikleri Şekil 4.40-42'de ve tüm plastik agregası içeren karışımların zamana bağlı su işleme derinlikleri Şekil 4.43'te verilmiştir.

Tablo 4.23 Plastik agregalı numunelerin kapilarite katsayıları

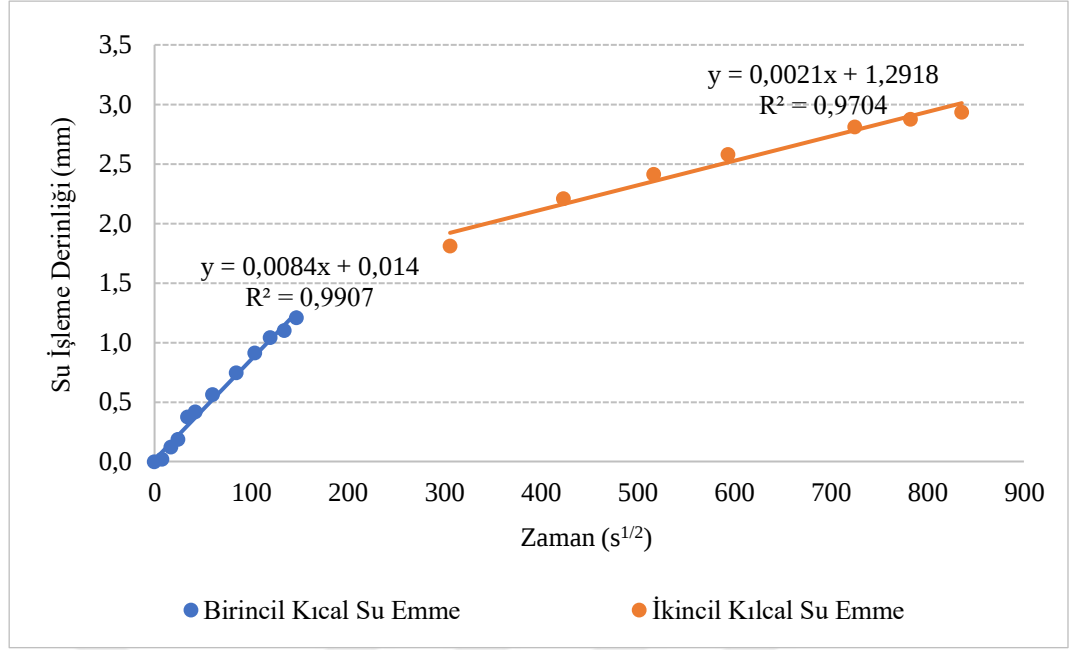
Numune	Birincil Kılcal Su Emme (mm/sn ^{1/2})	İkincil Kılcal Su Emme (mm/sn ^{1/2})
Kontrol	0,0025	0,0010
HDPE-A10	0,0108	0,0024
PP-A10	0,0084	0,0021



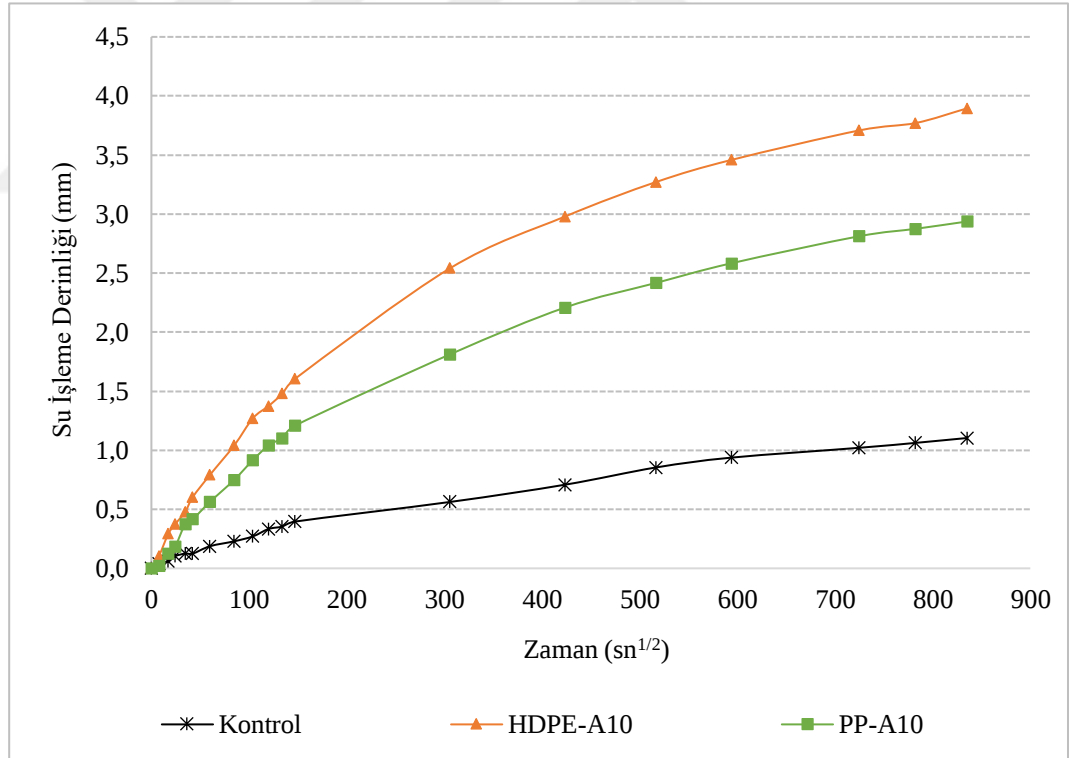
Şekil 4.40 Kontrol numunesinin zamana bağlı su işleme derinliği



Şekil 4.41 HDPE-A10 numunesinin zamana bağlı su işleme derinliği



Şekil 4.42 PP-A10 numunesinin zamana bağlı su işleme derinliği



Şekil 4.43 Plastik agregalı numunelerin zamana bağlı su işleme derinlikleri

Tablo ve grafiklere bakıldığında plastik agregası içeren numunelerin kontrol numunesine göre birincil ve ikincil kılcal su emme değerleri ile su işleme derinliklerinde artış olduğu görülmektedir. HDPE-A10 ve PP-A10 numunelerinde

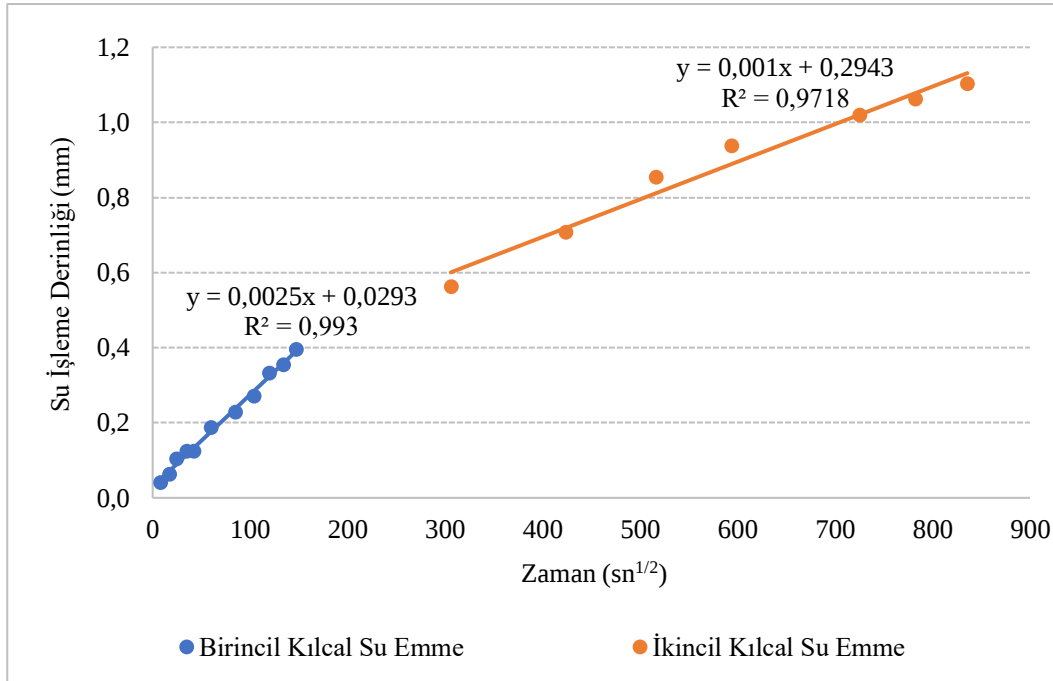
kontrol karışımına göre birincil kılcal su emme değerlerinde sırasıyla %332 ve %236 oranında artış, ikincil kılcal su emme değerlerinde sırasıyla %140 ve %110 oranında artış ve deney sonunda su işleme derinliklerinde sırasıyla %253 ve %166 oranında artış görülmüştür. Kılcal su emme değerlerindeki bu artış plastik agreganın pürüzsüz yüzeyiyle birlikte bağlayıcı ile oluşan zayıf bağın bir sonucu olduğu düşünülmektedir.

4.5.3. Cam tozu içeren numunelerin kılcal su emme deney sonuçları

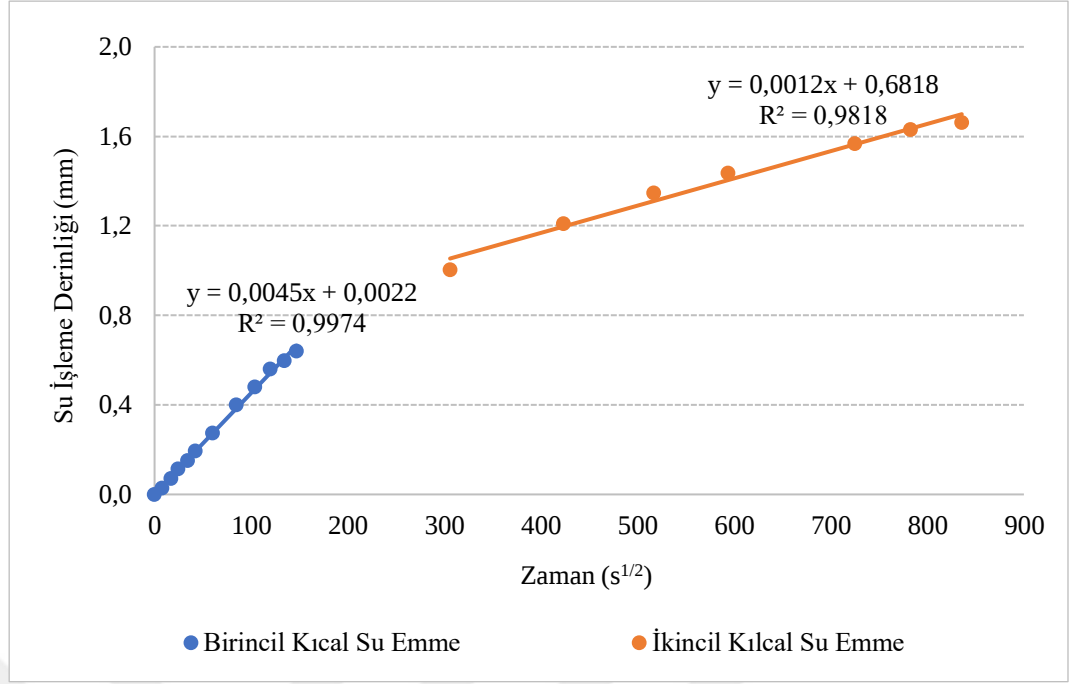
Cam tozu içeren numunelerin 28 günlük yaşa ulaştıklarında yapılan kılcal su emme deneyi sonucu hesaplanan kapilarite katsayıları Tablo 4.24'te, her bir karışımın zamana bağlı su işleme derinlikleri Şekil 4.44-47'de ve tüm cam tozu içeren karışımların zamana bağlı su işleme derinlikleri Şekil 4.48'de verilmiştir.

Tablo 4.24 Cam tozu içeren numunelerin kapilarite katsayıları

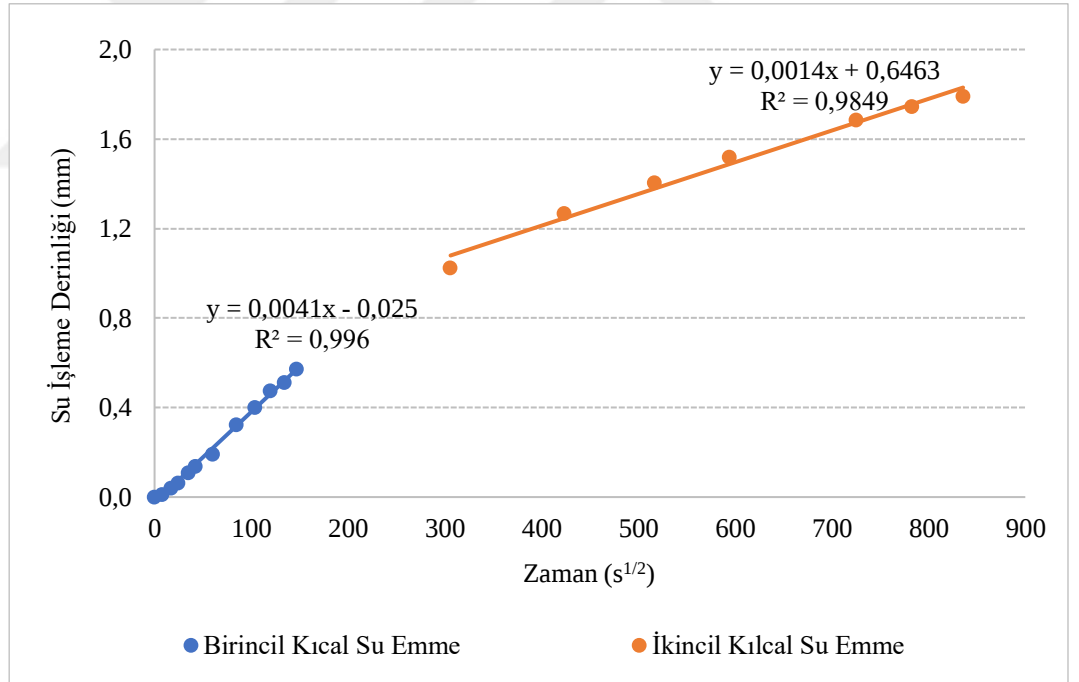
Numune	Birincil Kılcal Su Emme (mm/sn ^{1/2})	İkincil Kılcal Su Emme (mm/sn ^{1/2})
Kontrol	0,0025	0,0010
CT5	0,0036	0,0011
CT10	0,0039	0,0012
CT15	0,0046	0,0012



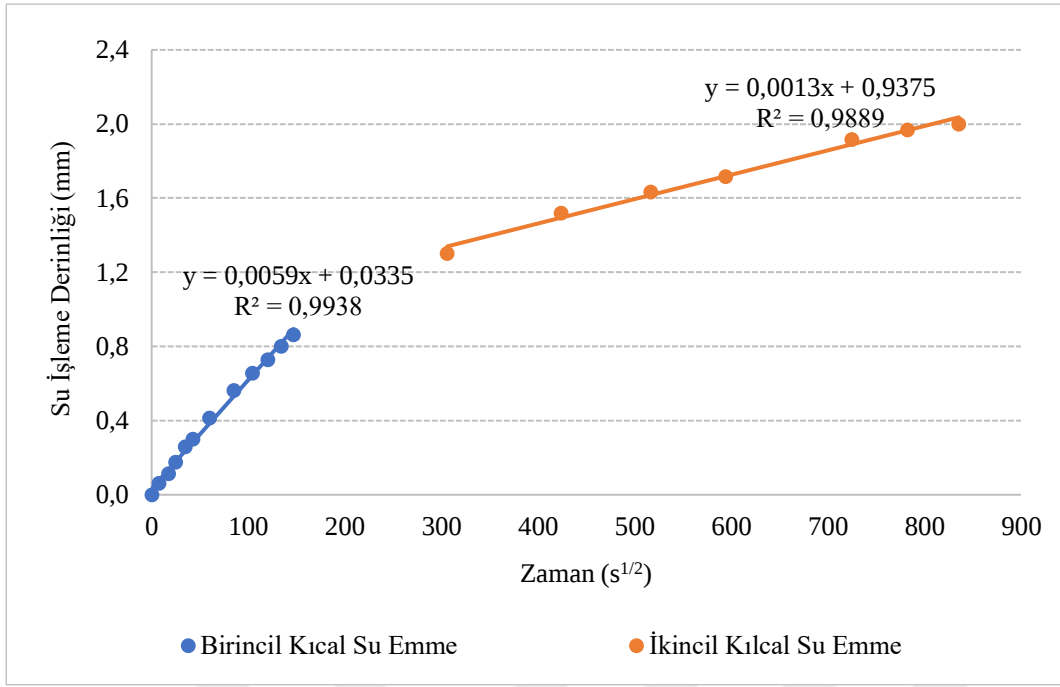
Şekil 4.44 Kontrol numunesinin zamana bağlı su işleme derinliği



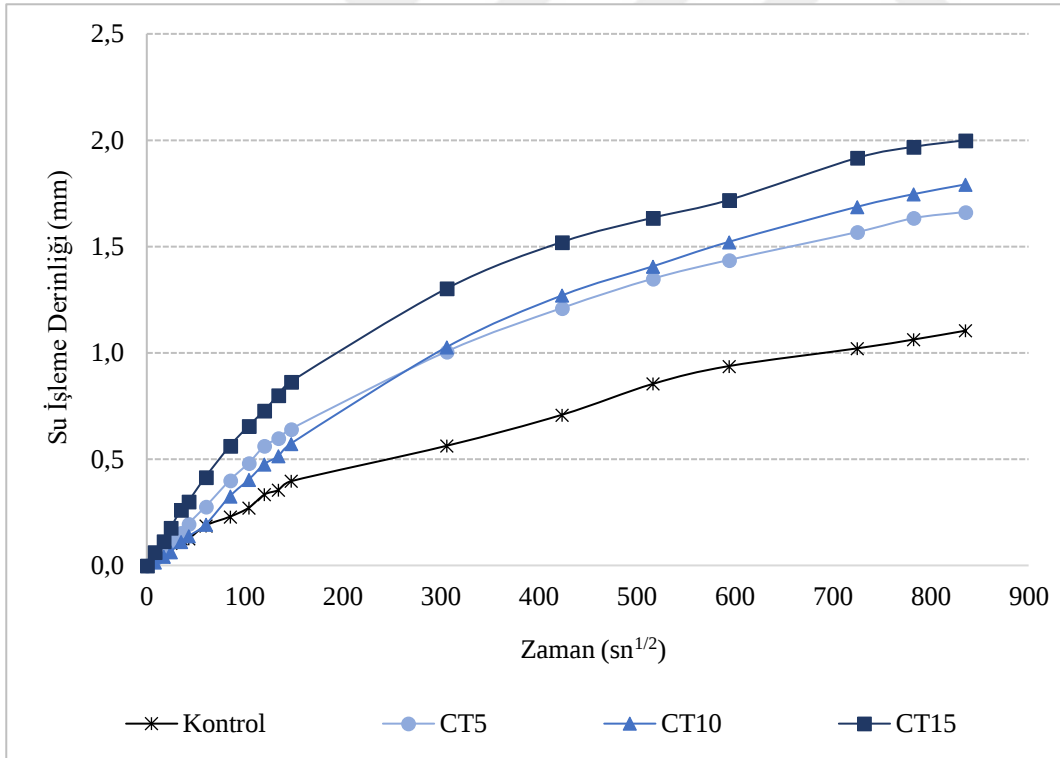
Şekil 4.45 CT5 numunesinin zamana bağlı su işleme derinliği



Şekil 4.46 CT10 numunesinin zamana bağlı su işleme derinliği



Şekil 4.47 CT15 numunesinin zamana bağlı su işleme derinliği



Şekil 4.48 Cam tozu içeren numunelerin zamana bağlı su işleme derinlikleri

Tablo ve grafikler incelendiğinde cam tozu içeren numunelerin kontrol numunesine göre birincil ve ikincil kılcal su emme değerleri ile su işleme derinliklerinde artış olduğu görülmektedir. CT5, CT10 ve CT15 numunelerinde

kontrol karışımına göre birincil kılcal su emme değerlerinde sırasıyla %44, %56 ve %84 oranında artış, ikincil kılcal su emme değerlerinde sırasıyla %10, %20 ve %20 oranında artış ve deney sonunda su işleme derinliklerinde sırasıyla %51, %62 ve %81 oranında artış görülmüştür. Bu sonuçlara göre cam tozu içeren numunelerin kontrol karışımına göre kılcal su emme değerlerindeki artışın sebebi, cam tozunun çimentodan daha iri taneli olduğu için cam tozu kullanımının artmasıyla boşlukların yeterince doldurulamaması olarak değerlendirilmektedir. Letelier vd.'nin (2019) yaptığı çalışma sonucu karışımlardaki cam tozu oranının artmasıyla numunelerin kapilarite katsayılarında artış olduğu görülmüştür.

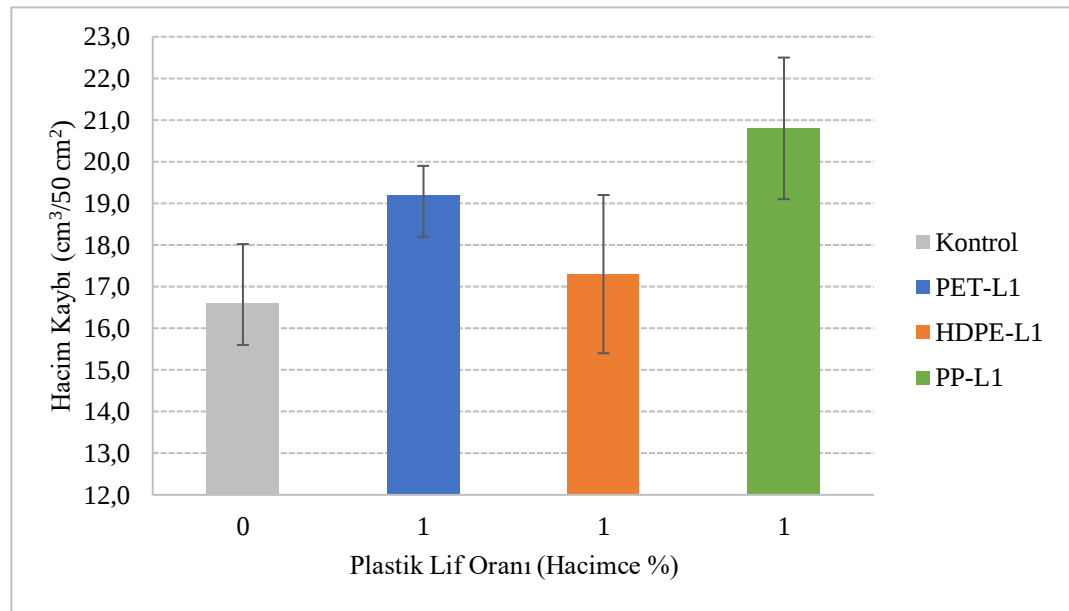
4.6. Yüzeysel Aşınma (Böhme) Deney Sonuçları

4.6.1. Plastik lifli numunelerin yüzeysel aşınma deney sonuçları

Hacimce %1 plastik lif içeren 28 günlük numunelerin yüzeysel aşınma deneyi sonucundaki hacim kayıpları Tablo 4.25'te ve Şekil 4.49'da verilmiştir.

Tablo 4.25 Plastik lifli numunelerin yüzeysel aşınma sonucu hacim kaybı

Numune	Hacim Kaybı ($\text{cm}^3/50 \text{ cm}^2$)
Kontrol	16,6
PET-L1	19,2
HDPE-L1	17,3
PP-L1	20,8



Şekil 4.49 Plastik lifli numunelerin yüzeysel aşınma sonucu hacim kaybı

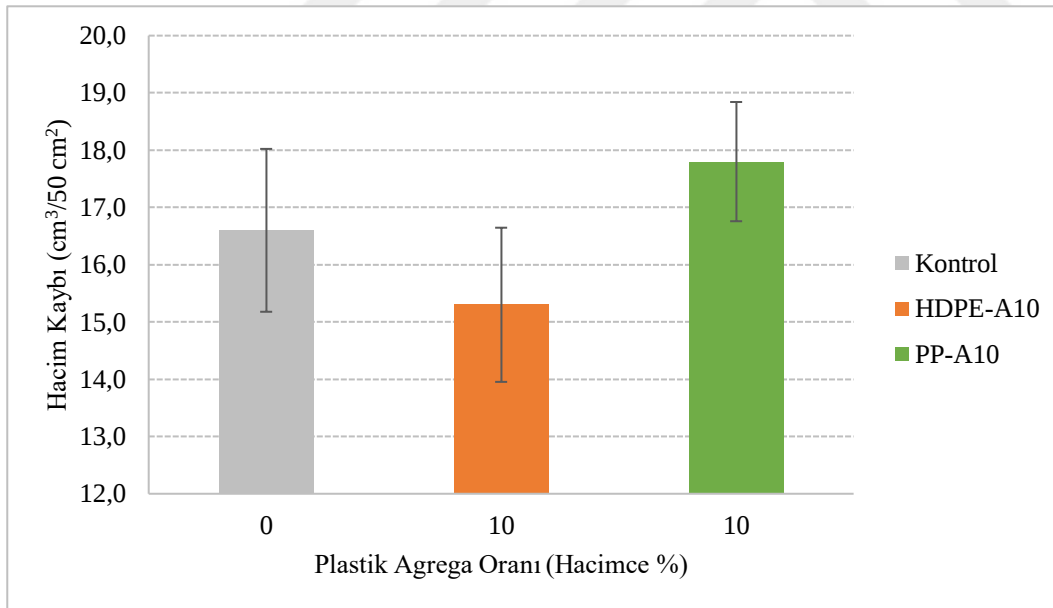
Sonuçlar incelendiğinde karışımlarda plastik lif kullanımının kontrol karışımına göre aşınma miktarını arttırdığı görülmüştür. PET-L1, HDPE-L1 ve PP-L1 numunelerinin yüzeysel aşınma sonucu hacim kaybı kontrol numunesine göre sırasıyla %15, %5 ve %25 oranında arttığı görülmüştür. Bu sonuçlara göre, plastik lif kullanımının arayüz bölgesini zayıflatmasıyla birlikte plastik lifli numuneler sürtünme ile daha kolay aşınarak hacim kaybı artmaktadır.

4.6.2. Plastik agregalı numunelerin yüzeysel aşınma deney sonuçları

Hacimce %10 plastik agregata içeren 28 günlük numunelerin yüzeysel aşınma deneyi sonucundaki hacim kayıpları Tablo 4.26'da ve Şekil 4.50'de verilmiştir.

Tablo 4.26 Plastik agregalı numunelerin yüzeysel aşınma sonucu hacim kaybı

Numune	Hacim Kaybı ($\text{cm}^3/50 \text{ cm}^2$)
Kontrol	16,6
HDPE-A10	15,3
PP-A10	17,8



Şekil 4.50 Plastik agregalı numunelerin yüzeysel aşınma sonucu hacim kaybı

Deney sonuçlarına bakıldığında HDPE-A10 ve PP-A10 numunelerinin yüzeysel aşınma sonucu hacim kaybında kontrol numunesine göre sırasıyla %8 oranında azalma ve %7 oranında artış olduğu görülmüştür. Bu sonuçlara göre HDPE agregalı numunelerin kontrol numunesine göre hacim kaybındaki azalma

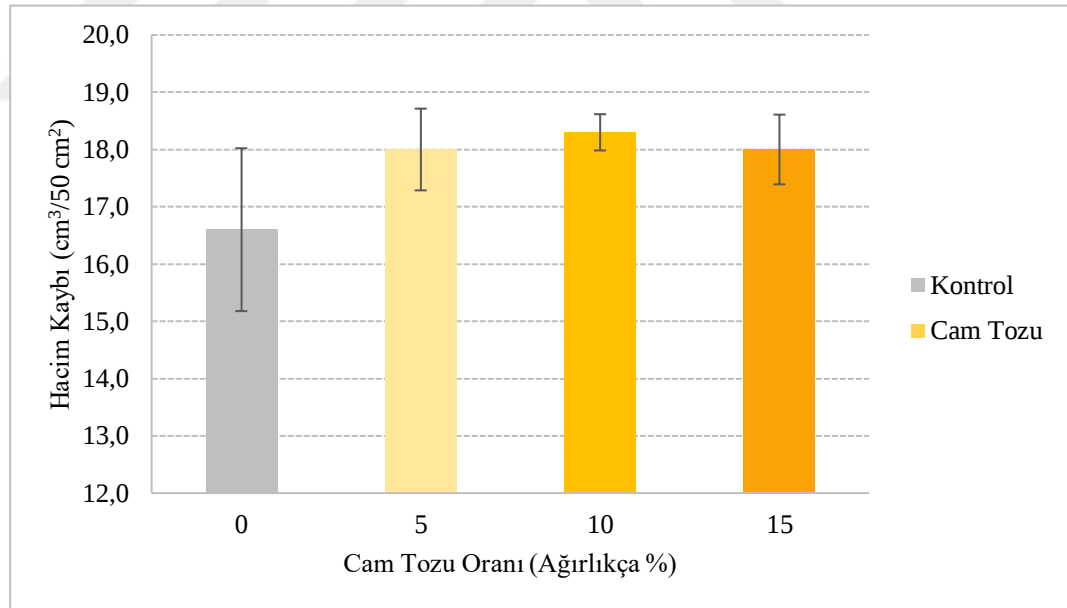
HDPE agregasının yapısına bağlı olarak numune içerisinde sürtünmeye karşı gösterdiği direnç olarak düşünülmektedir. PP agregasının ise HDPE agregasına göre sürtünmeye daha az direnç gösterdiği sonucuna varılmıştır. Saikia'nın (2014) yaptığı çalışmaya göre karışımlarda agrega yerine plastik kullanımının kontrol karışımına göre aşınma kayıplarını azalttığı sonucuna ulaşılmıştır.

4.6.3. Cam tozu içeren numunelerin yüzeysel aşınma deney sonuçları

Cam tozu içeren 28 günlük numunelerin yüzeysel aşınma deneyi sonucundaki hacim kayıpları Tablo 4.27'de ve Şekil 4.51'de verilmiştir.

Tablo 4.27 Cam tozu içeren numunelerin yüzeysel aşınma sonucu hacim kaybı

Numune	Hacim Kaybı ($\text{cm}^3/50 \text{ cm}^2$)
Kontrol	16,6
CT5	18,0
CT10	18,3
CT15	18,0



Şekil 4.51 Cam tozu içeren numunelerin yüzeysel aşınma sonucu hacim kaybı

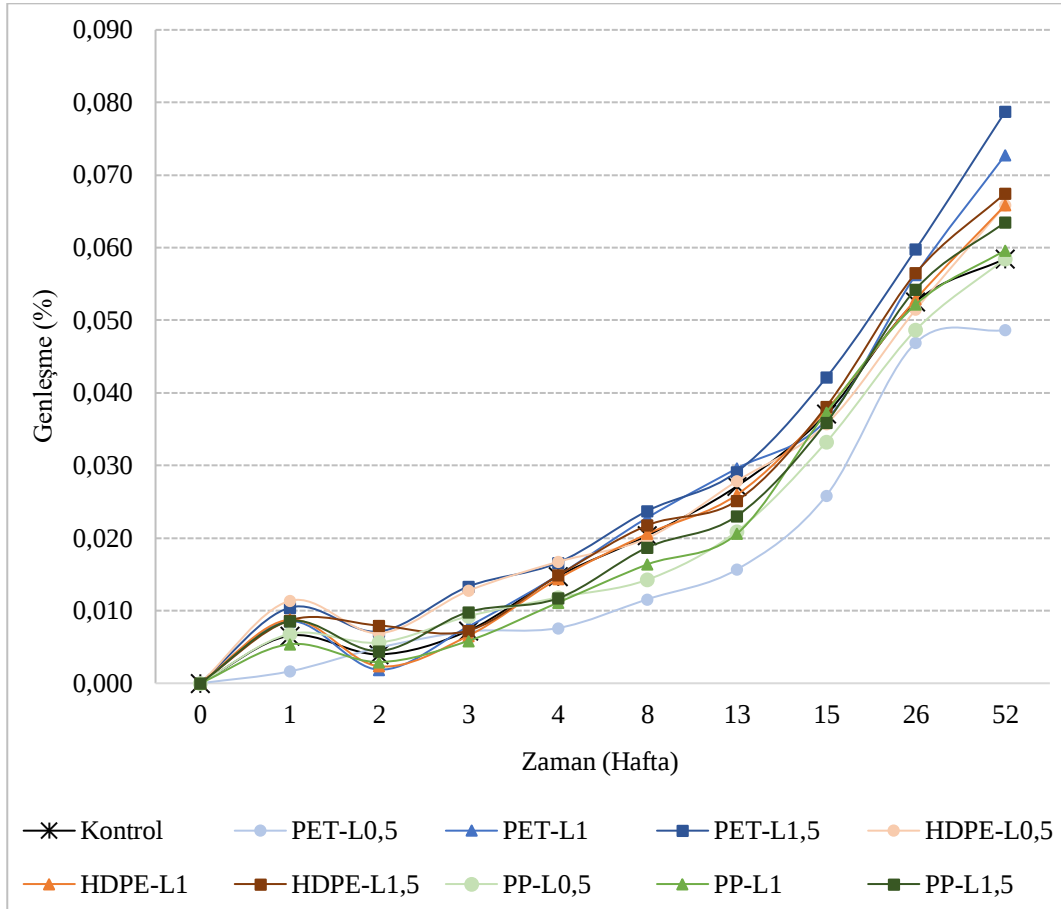
Deney sonuçlarına göre, cam tozu içeren numunelerin yüzeysel aşınma sonucu hacim kaybı CT5, CT10 ve CT15 numunelerinde kontrol karışımına göre sırasıyla %9, %10 ve %8 oranında arttığı görülmüştür. Yaşana bu artışın sebebi cam tozunun çimentoya göre daha iri taneli olmasına bağlı olarak boşluk oranının

artması sonucu aşınma direncinin azalması ve hacim kaybının artması olarak değerlendirilmektedir.

4.7. Sodyum Sülfat Etkisi Deney Sonuçları

4.7.1. Plastik lifli numunelerin sodyum sülfat etkisi deney sonuçları

28 günlük plastik lif içeren numunelerin 52 haftalık sülfat direnci deney sonuçları Şekil 4.52’de verilmiştir.



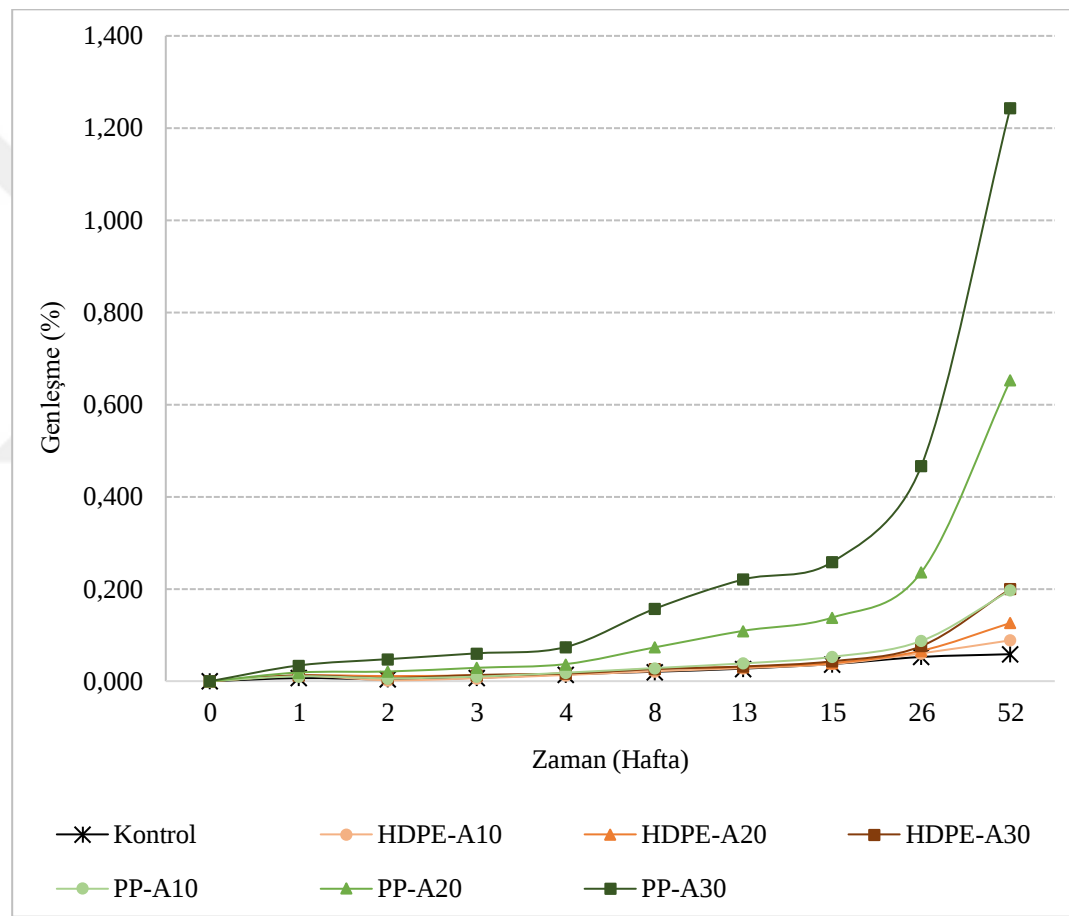
Şekil 4.52 Plastik lifli numunelerin sodyum sülfat etkisiyle zamana bağlı genleşmeleri

Yapılan deneyin sonucu göre karışımlarda lif kullanımının kontrol numunesine göre genleşmeyi genellikle arttırdığı görülmüştür. PET-L0,5, PET-L1, PET-L1,5, HDPE-L0,5, HDPE-L1, HDPE-L1,5, PP-L0,5, PP-L1 ve PP-L1,5 numunelerinin 52 haftanın sonunda kontrol numunesine göre genleşmelerinde sırasıyla %17 oranında azalış, %24, %35, %13, %13, %15, %0, %2 ve %9 oranında artış gerçekleşmiştir. Bu sonuçlara göre PET-L0,5 numunesinin genleşmesinde kontrol numunesine göre %17 oranında azalış gerçekleşmiştir. Ayrıca PP-L0,5

numunesinde kontrol numunesine göre genleşme değerinde bir değişim olmamıştır. Genel olarak lifli numunelerde kontrol numunesine göre gerçekleşen bu genleşme artışı lifli numunelerin lif oranına göre gerçekleşen boşluk oranı artışı sonucu numune içerisine daha fazla nüfus eden sodyum sülfat iyonlarının etrenjit oluşumuna yol açarak genleşme artışına sebep verdiği sonucuna varılmıştır.

4.7.2. Plastik agregalı numunelerin sodyum sülfat etkisi deney sonuçları

Plastik agregası içeren 28 günlük numunelerin 52 haftalık sülfat direnci deney sonuçları Şekil 4.53'te verilmiştir.



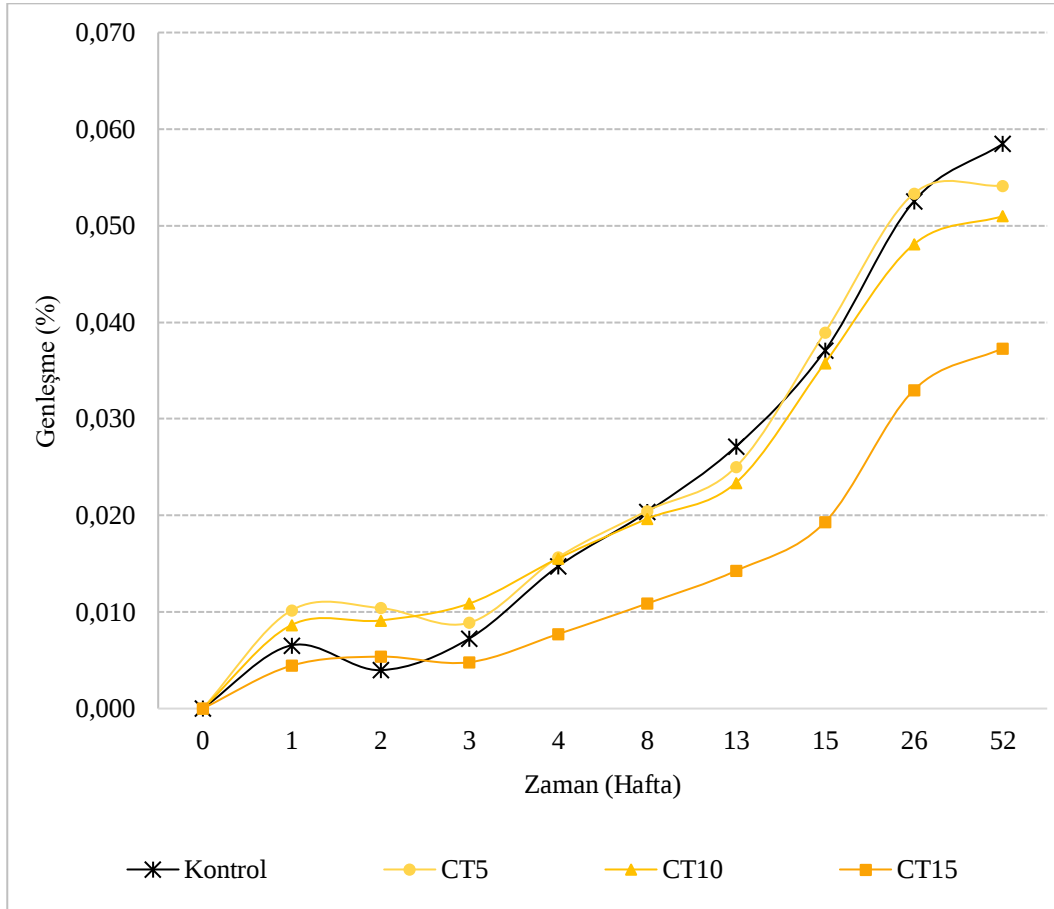
Şekil 4.53 Plastik agregalı numunelerin sodyum sülfat etkisiyle zamana bağlı genleşmeleri

Sonuçlar incelendiğinde karışımlarda plastik agregası kullanımının kontrol numunesine göre genleşmeyi arttırdığı görülmüştür. Kontrol numunesine göre en fazla genleşme artışı PP türü plastik agregası içeren numunelerde gerçekleşmiş olup HDPE-A10, HDPE-A20, HDPE-A30, PP-A10, PP-A20 ve PP-A30 numunelerinin 52 haftalık ölçümlerin sonunda kontrol numunesine göre genleşme değerlerinde sırasıyla %51, %116, %242, %237, %1016 ve %2028 oranında artış

gerçekleşmiştir. Genleşmelerdeki bu artış numune içerisindeki plastik agreganın artmasıyla birlikte numunelerde oluşan boşluk oranının artışı sonucu numune içerisinde daha fazla sodyum sülfat iyonunun girmesi ile oluşan etrenjitin bir sonucu olarak değerlendirilmektedir.

4.7.3. Cam tozu içeren numunelerin sodyum sülfat etkisi deney sonuçları

Cam tozu içeren 28 günlük numunelerin 52 haftalık sülfat direnci deney sonuçları Şekil 4.54'te verilmiştir.



Şekil 4.54 Cam tozu içeren numunelerin sodyum sülfat etkisiyle zamana bağlı genleşmeleri

Deney sonuçlarına göre karışımlarda çimento yerine cam tozu kullanımının kontrol numunesine göre genleşmeyi azalttığı görülmüştür. CT5, CT10, CT15 numunelerinin 52 haftanın sonunda kontrol numunesine göre genleşmelerinde sırasıyla %7, %13 ve %36 oranında azalış gerçekleşmiştir. Bu sonuçlara göre karışımlardaki cam tozu miktarının artmasıyla numunelerin kontrol numunesine göre genleşmelerinde azalma meydana geldiği görülmektedir. Çimento miktarındaki azalmaya bağlı olarak ortamdaki C_3A içeriğinin azalmasıyla birlikte

etrenjit oluşumunda azalma meydana gelmiştir (Yazıcı, 2016). Bu durum numunelerdeki cam tozu oranının artmasıyla birlikte kontrol numunesine göre genişleme oranlarının azalmasının sonucu olarak değerlendirilmektedir. Çorbacioğlu'nun (2019) yaptığı çalışmada %15 cam tozu içeren karışımın 52 haftalık genişleme değerleri bu deney sonuçları ile paralellik göstermektedir.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Plastik Lifli Karışımlarla İlgili Sonuçlar ve Öneriler

Harçlarda plastik lif kullanımıyla ilgili yapılan deneylerin sonuçları aşağıdaki gibidir:

- Karışımlardaki plastik lif oranının artmasıyla işlenebilirlikte kontrol karışımına göre %2-%8 arasında bir azalma gerçekleşmiştir.
- Karışımlarda plastik lif kullanımının lif türü ve karışım oranları dikkate alındığında kontrol numunesine göre eğilme ve basınç dayanımlarında artış ve azalış olduğu görülmüştür. Plastik lif içeren numunelerin kontrol numunesine göre eğilme dayanımlarında maksimum %30 oranında azalma ve %12 oranında artış olduğu; basınç dayanımlarında maksimum %12 oranında azalma ve %4 oranında artış olduğu görülmüştür.
- Karışımlarda plastik lif oranının artmasıyla harçların taze haldeki birim hacim ağırlıkları kontrol karışımına göre %1'e varan oranda azaldığı, kyd birim hacim ağırlıklarının da kontrol karışımına göre %2'ye varan oranda azaldığı görülmüştür.
- Karışımlarda %1 oranında plastik lif kullanılmasıyla kontrol karışımına göre su emme oranlarında %22'ye varan oranda artış görülmüştür. Porozite değerlerinde ise kontrol karışımına göre %21'e varan oranda artış gerçekleşmiştir.
- Karışımlarda %1 oranında plastik lif kullanılmasıyla kontrol numunesine göre birincil ve ikincil kılcal su emme değerleri ile su işleme derinliklerinde artış gerçekleşmiştir.
- Karışımlarda %1 oranında plastik lif kullanımının kontrol numunesine göre yüzeysel aşınma deneyi sonucu hacim kaybını %25'e varan oranda arttırdığı görülmüştür.
- Karışımlarda plastik lif kullanımının 52 haftalık sülfat direnci deneyinde 52 haftanın sonunda kontrol karışımına göre PET-L0,5 ve PP-L0,5 karışımları dışındaki diğer karışımlarda daha fazla genleşmeye sebep olduğu görülmüştür. Karışımlardaki plastik lif oranının artmasıyla genleşme değerlerinde artış görülmüştür.
- Tüm bu sonuçlar karşılaştırıldığında, farklı atık plastik türlerinde çalışılabileceği gibi aynı veya farklı atık plastik türleri ile farklı lif boyutlarında çalışılması önerilmektedir.

5.2. Plastik Agregalı Karışımlarla İlgili Sonuçlar ve Öneriler

Plastik agreganın harçlarda kullanımıyla ilgili yapılan deneyler neticesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Karışımlarda plastik agreganın kullanımının işlenebilirliği kontrol karışımına göre arttırdığı görülmüştür. Plastik agregalı harçların kontrol karışımına göre yayılma değerlerinde %7-%13 arasında artış yaşanmıştır.
- Karışımlarda plastik agreganın kullanımının eğilme ve basınç dayanımlarını kontrol numunesine göre azalttığı görülmüştür. Plastik agregalı içeren numunelerin kontrol numunesine göre eğilme dayanımlarında %14-%55 arasında bir azalma, basınç dayanımlarında ise %10-%53 arasında bir azalma gerçekleşmiştir.
- Karışımlarda plastik agreganın oranının artmasıyla harçların taze haldeki birim hacim ağırlıkları kontrol karışımına göre %15'e varan oranda azaldığı, kyd birim hacim ağırlıklarının da kontrol karışımına göre %15'e varan oranda azaldığı görülmüştür.
- Karışımlarda %10 oranında plastik agreganın kullanılmasıyla kontrol karışımına göre su emme oranlarında %29'a varan oranda artış görülmüştür. Porozite değerlerinde ise kontrol karışımına göre %22'ye varan oranda artış gerçekleşmiştir.
- Karışımlarda %10 oranında plastik agreganın kullanımının kontrol numunesine göre birincil ve ikincil kılcal su emme değerleri ile su işleme derinliklerinde artışa neden olduğu görülmektedir.
- Karışımlarda %10 oranında plastik agreganın kullanılmasıyla kontrol numunesine göre yüzeysel aşınma deneyi sonucu hacim kaybının %8'e varan oranda arttığı görülmüştür.
- Karışımlarda plastik agreganın kullanımının 52 haftalık sülfat direnci deneyinde 52 haftanın sonunda kontrol karışımına göre daha fazla genleşmeye sebep olduğu görülmüştür. Karışımlardaki plastik agreganın oranının artmasıyla genleşme değerlerinde artış görülmüştür.
- Tüm bu sonuçlar karşılaştırıldığında, farklı atık plastik türlerinde ve farklı boyutlarda çalışılması önerilmektedir.

5.3. Cam Tozu İçeren Karışımlarla İlgili Sonuçlar ve Öneriler

Harçlarda cam tozu kullanımıyla ilgili yapılan deneysel çalışma sonuçları aşağıdaki gibidir:

- Karışımlarda cam tozu oranının artmasıyla kontrol karışımına göre yayılma değerlerinde %5'e varan oranda artış görülmüştür.
- Karışımlarda cam tozu kullanımının kontrol numunesine göre eğilme dayanımlarını azalttığı ve basınç dayanımlarını çoğunlukla azalttığı görülmüştür. Cam tozu içeren numunelerin kontrol numunesine göre eğilme dayanımlarında %2-%17 arasında bir azalma, basınç dayanımlarında ise maksimum %1 oranında artış ve %19 oranında bir azalma gerçekleşmiştir.
- Karışımlarda cam tozu oranının artmasıyla harçların taze haldeki birim hacim ağırlıkları kontrol karışımına göre %0,2'ye varan oranda azaldığı, kyd birim hacim ağırlıklarının da kontrol karışımına göre %0,8'e varan oranda azaldığı görülmüştür.
- Karışımlarda cam tozu kullanılmasıyla kontrol karışımına göre su emme oranlarında ve porozite değerlerinde %13'e varan oranda artış görülmüştür.
- Karışımlarda cam tozu kullanılmasıyla ve cam tozu oranının artmasıyla kontrol numunesine göre birincil ve ikincil kılcal su emme değerleri ile su işleme derinliklerinde artış yaşanmıştır.
- Karışımlarda cam tozu kullanımının kontrol numunesine göre yüzeysel aşınma deneyi sonucu hacim kaybını %10'a varan oranda arttırdığı görülmüştür.
- Karışımlarda cam tozu kullanımının 52 haftalık sülfat direnci deneyinde 52 haftanın sonunda kontrol karışımına göre daha az genleşmeye sebep olduğu görülmüştür. Cam tozu oranının artmasıyla genleşme değerleri azalmıştır.
- Tüm bu sonuçlar değerlendirildiğinde, farklı incelikteki cam tozlarıyla da çalışılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Ahmad, J., Majdi, A., Babeker Elhag, A., Deifalla, A.F., Soomro, M., Isleem, H.F., Qaidi, S.**, 2022, A step towards sustainable concrete with substitution of plastic waste in concrete: overview on mechanical, durability and microstructure analysis, *Crystals*, 12, 944p.
- Aiello, M. A. and Leuzzi, F.**, 2010, Waste tyre rubberized concrete: properties at fresh and hardened state, *Waste Management*, 30 (8-9), 1696-1704p.
- Akcan A., Arcan G. ve Gökçe H.**, 2018, Plastikler, Enjeksiyon ve Ekstruderler, Enformak, 162s.
- Akçaözoğlu, S.**, 2008, Atık pet şişe kırıklarının hafif beton agregası olarak kullanılabilirliği, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 257s.
- Aliabdo, A.A., Elmoaty, A.E.M.A. and Aboshama A.Y.**, 2016, Utilization of waste glass powder in the production of cement and concrete, *Construction and Building Materials*, 124, 866-877p.
- Al-Mansour, A., Chen, S., Xu C., Peng, Y., Wang J., Ruan, S. and Zeng, Q.**, 2022, Sustainable cement mortar with recycled plastics enabled by the matrix-aggregate compatibility improvement, *Construction and Building Materials*, 318, 125994, 15p.
- Al-Tulaian, B.S., Al-Shannag, M.J. and Al-Hozaimy, A.R.**, 2016, Recycled plastic waste fibers for reinforcing Portland cement mortar, *Construction and Building Materials*, 127, 102-110p.
- ASTM C642-21**, ASTM International, Standard test method for density, absorption, and voids in hardened concrete, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM C1585-20**, ASTM International, Standard test method for measurement of rate of absorption of water by hydraulic-cement concretes, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM C1012/C1012M-18b**, ASTM International, Standard test method for length change of hydraulic-cement mortars exposed to a sulfate solution, West Conshohocken, PA, USA.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Bayraktar, O.Y.**, 2021, Possibilities of disposing silica fume and waste glass powder, which are environmental wastes, by using as a substitute for Portland cement, 28, 16843-16854p.
- Beller, G.**, 2019, Yüksek sıcaklığın atık pet agregalı harçların özelliklerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, 51s.
- Bıçakçioğlu, N.**, 2020, Cam tozu ve yüksek fırın cürufu kullanımlarının ultra yüksek performanslı beton karışımlarının basınç dayanımına etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 59s.
- Binici, H., Alma, M. H., Gemci, R. ve Durgun, M.Y.**, 2011, Atık polietilen (PE) bardaklardan üretilen çimentosuz harçların fiziksel ve mekanik özellikleri, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 7 (1), 71-79s.
- Bouty, A. and Homsı, F.**, 2021, The effects of partially replacing cement by glass waste powder on concrete properties, Journal of Silicate Based and Composite Materials, 73(2), 40-43p.
- Çorbacioğlu C.**, 2019, Mineral katkıların sülfat etkisindeki harçların genleşme, dayanım ve mikroyapı özelliklerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 89s.
- Du, H. and Tan, K.H.**, 2017, Properties of high volume glass powder concrete, Cement and Concrete Composites, 75, 22-29p.
- Elzafraney, M., Soroushian, P. and Deru, M.**, 2005, Development of energy-efficient concrete buildings using recycled plastic aggregates, Journal of Architectural Engineering, 11(4), 122-130p.
- El-zaki H., Gharbi, B.E. and Diouri, A.**, 2018, Development of eco-friendly mortars incorporating glass and shell powders, Construction and Building Materials, 159, 198-204p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Espinal M., Kane S., Ryan C., Phillips A. and Heveran C.,** 2022, Evaluation of the bonding properties between low-value plastic fibers treated with microbially-induced calcium carbonate precipitation and cement mortar, *Construction and Building Materials*, 357 (129331), 10p.
- Gavela, S., Karakosta, C., Nydriotis, C., Kaselouri-Rigopoulou, V., Kolias, S., Tarantili, P. A. and Andreopoulos, A.,** 2004, A study of concretes containig thermoplastic wastes as aggregates. Conference on the Use of Recycled Materials in Building and Structures, Spain, 8p.
- Gencil, O., Ozel, C., Brostow, W. and Martinez-Barrera, G.,** 2011, Mechanical properties of self- compacting concrete reinforced with polypropylene fibres, *Materials Research Innovations*, 15 (3), 216–225p.
- Gregorova, V., Ledererova, M. and Stefunkova, Z.,** 2016, Investigation of influence of recycled plastics from cable, ethylene vinyl acetate and polystyrene waste on lightweight concrete properties, *Procedia Engineering*, 195, 127-133p.
- Gül, M.,** 2018, Hafif beton agregası olarak atık plastiklerin ve PET'in kullanımının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elâzığ, 113s.
- Higuchi, A.M.D., Marques, M.G.S., Ribas L.F. and Vasconcelos R.P.,** 2021, Use of glass powder residue as an eco-efficient supplementary cementitious material, *Construction and Building Materials*, 304, 124640.
- Horszczaruk, E. and Brzozowski, P.,** 2019, Mechanical properties of mortars containing waste glass powder, *Periodica Polytechnica Architecture*, 50(1), 30-34p.
- Islam, G.M.S., Rahman, M.H. and Kazi, N.,** 2017, Waste glass powder as partial replacement of cement for sustainable concrete practice, *International Journal of Sustainable Built Environment*, 6, 37-44p.
- Kalakada, Z., Doh, J.H. and Zi, G.,** 2020, Utilisation of coarse glass powder as pozzolanic cement-A mix design investigation, *Construction and Building Materials*, 240 (117916), 11p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kamali M. And Ghahremaninezhad A.**, 2016, An investigation into the hydration and microstructure of cement pastes modified with glass powders, *Construction and Building Materials*, 112, 915-924p.
- Karahan, O., and Atış, C.D.**, 2011, The durability properties of polypropylene fiber reinforced fly ash concrete, *Materials and Design*, 32(2), 1044-1049p.
- Karakulak, E.**, 2019, Uçucu kül ve kablo atıklarının çimento harcı üretiminde kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 86s.
- Khatab, H.R., Mohammed, S.J., Hameed, L.A.**, 2019, Mechanical properties of concrete contain waste fibers of plastic straps, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 557, 012059.
- Koide, H., Tomon, M. and Sasaki, T.**, 2002, Investigation of the use of waste plastic as an aggregate for lightweight concrete, *Challenges of Concrete Construction*, 5, London, 177–185p.
- Kumari, B., Srivastava, V.**, 2016 Effect of waste plastic and fly ash on mechanical properties of rigid pavement. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 7(5), 247–256p.
- Letelier, V., Henriquez-Jara, B.I., Manosalva, M., Parodi, C. and Ortega, J.M.**, 2019, Use of waste glass as a replacement for raw materials in mortars with a lower environmental impact, *Energies*, 12, 1974.
- Li. Q., Qiao H., Li A., and Li G.**, 2022, Performance of waste glass powder as a pozzolanic material in blended cement mortar, *Construction and Building Materials*, 324, 126531.
- Liu, N. and Chen, B.**, 2014, Experimental study of the influence of eps particle size on the mechanical properties of eps lightweight concrete, *construction and building materials*, 68, 227-232p.
- Lu, J., Duan, Z. And Poon, C.S.**, 2017, Combined use of waste glass powder and cullet in architectural mortar, *Cement and Concrete Composites*, 82, 34-44p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Memiş, S. ve Örüñg, İ.**, 2012, Öğütülmüş atık plastik (PET) katkılı sıvaların tarımsal yapılarda kullanılabilirliğı, G.O.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi, 29(2), 19-27s.
- Mohammed, A.A.**, 2017, Modelling the mechanical properties of concrete containing pet waste aggregate, Construction and Building Materials, 150, 595-605p.
- Neville, AM.**, Properties of concrete, Fifth edition, Longman, 2011.
- Nikbin, İ.M., Rahimi, S.R., Allahyari, H. and Fallah, F.**, 2016, Feasibility study of waste poly ethylene terephthalate (pet) particles as aggregate replacement for acid erosion of sustainable structural normal and lightweight concrete, Journal of Cleaner Production, 126,108-117p.
- OECD**, 2022, Global plastics outlook: Economic drivers, environmental impacts and policy options, OECD Publishing, Paris, 201p.
- Orhan, E. ve Esen, Y.**, 2017, Öğütülmüş atık cam tozu katkılı betonun puzolanik aktivitesi ve yarmada çekme dayanımının belirlenmesi, Engineering Sciences, 12(2), 108-116s.
- Özel, C. Filiz, M. Sevinç, A. ve Kıran, C.**, 2011, Betonda fiber katkı olarak polietilen tereftalatın kullanılabilirliğinin araştırılması, Constructional Technology, 2, 17-28s.
- Patel, D., Tiwari, R.P., Shrivastava, R. and Yadav, R.K.**, 2019, Effective utilization of waste glass powder as the substitution of cement in making paste and mortar, Construction and Building Materials, 199, 406-415p.
- Pešić, N., Živanović, S., Garcia, R. and Papastergiou, P.**, Mechanical properties of concrete reinforced with recycled hdpe plastic fibres, Construction and Building Materials, 115, 362-370p.
- Ponmalar, S. and Revathi, P.**, 2022, Waste recycled plastic granules substitute for aggregate in concrete – Review, Materials Today: Proceedings, 65, 1441-1448p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Rahmani, E., Dehestani, M., Beygi, M.H.A., Allahyari, H. and Nikbin, I.M.,** 2013, On the mechanical properties of concrete containing waste PET particles, *Construction and Building Materials*, 47, 1302-1308p.
- Sadrmomtazi, A., Milehsara, S.D., Omran, O.L. and Nik, A.S.,** 2016, The combined effects of waste polyethylene terephthalate (PET) particles and pozzolanic materials on the properties of self-compacting concrete, *Journal of Cleaner Production*, 112(4), 2363- 2373p.
- Safi, B., Saidi, M., Aboutaleb, D. and Maallem M.,** 2013, The use of plastic waste as fine aggregate in the self-compacting mortars: Effect on physical and mechanical properties, *Construction and Building Materials*, 43, 436-442p.
- Saikia, N. and Brito, J.,** 2014, Mechanical properties and abrasion behaviour of concrete containing shredded PET bottle waste as a partial substitution of natural aggregate, *Construction and Building Materials*, 52, 236-244p.
- Saltaş, N.,** 2019, Farklı oranlarda çimentonun yerine kullanılan atık cam tozunun taze betona ve sertleşmiş betonun mekanik özelliklerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 49s.
- Şahin, S., Karaman, S. ve Örüng, İ.,** 2007, Atık PVC katkılı hafif betonların özellikleri ve tarımsal yapılarda kullanım olanakları, *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20074 (2), 137-144s.
- Türk Çimento,** 2022, <https://www.turkcimento.org.tr/tr/istatistikler/aylik-veriler> (Erişim tarihi: 25 Aralık 2022).
- TS EN 196-1,** 2016, Çimento deney metotları- Bölüm 1: Dayanım tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TS EN 1015-3,** 2000, Kagit harcı- Deney metotları- Bölüm 3: Taze harç kıvamının tayini (yayılma tablası ile), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TS 2824 EN 1338,** 2005, Zemin döşemesi için beton kaplama blokları- Gerekli şartlar ve deney metotları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Uzun, M., Çöğürçü, M.T. ve Keskin, Ü. S.,** 2018, Cam tozunun beton basınç dayanımına etkisi, Beykent Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 11(2), İstanbul, 10s.
- Vadivel, T.S. and Doddurani M.,** 2013, An experimental study on mechanical properties of waste plastic fiber reinforced concrete, International Journal of Emerging Trends in Engineering and Development, 3(2), 395-401p.
- Yang, S., Yue, X., Liu, X. and Tong, Y.,** 2015, Properties of self-compacting lightweight concrete containing recycled plastic particles, Construction and Building Materials, 84, 444-453p.
- Yazıcı, Ş. ve Sezer, İ.S.,** 2016, Polimer ilaveli harçlarda sülfat etkisinin ve alkali silis reaksiyonunun incelenmesi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 22(6), 413-417s.
- Yılmaz, A. and Degirmenci, N.,** 2008, Possibility of using waste tire rubber and fly ash with Portland cement as construction materials, Waste Management, 29 (5), 1541-1546p.
- Yücel, H.E., Öz, H.Ö., Güneş, M. and Kaya, Y.,** (2019), Basic durability properties of standard mortars produced with recycled glass powder, Omer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences, 8(1), 215-225p.
- Yüksel, C.,** 2009, Atık cam agregasının beton özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 115s.
- Zeybek, Ö., Özkılıç, Y.O., Karalar, M., Çelik, A.İ., Qaidi, S., Ahmad, J., Burduhos-Nergis, D.D. and Burduhos-Nergis, D.P.,** 2022, Influence of replacing cement with waste glass on mechanical properties of concrete. materials, 15, 7513.
- Zhao, Y., Gao, J., Wu, S., and Li, Q.,** 2022, Strength development and microcosmic mechanism of waste glass powder cement mortar, Journal of Experimental Nanoscience, 17(1), 564-584p.



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca yanımda olan, kıymetli görüşlerinden ve deneyimlerinden yararlandığım, tez çalışmamın aksamaması için her türlü desteği veren, her türlü sorunumda yardımını ve ilgisini esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Şemsi YAZICI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Bu araştırmada verdikleri bilgi ve gösterdikleri ilgiden dolayı Araş. Gör. Demet YAVUZ'a, Dr. Adil GÜLTEKİN'e, Dr. Hojjat HOSSEINNEZHAD'a ve diğer çalışma arkadaşlarıma; malzeme temininden dolayı Kentçim Çimento'ya, Akihan Cam'a teşekkür ederim.

Hayatım boyunca maddi manevi her türlü destek olup yanımda olan sevgili aileme sonsuz teşekkür ederim.

09/02/2023

Göksu PILSIM



ÖZGEÇMİŞ

Göksu PILSIM, ilkokul, ortaokul ve lise eğitimini İzmir’de tamamladıktan sonra 2012 yılında Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nü kazanmıştır. 2012-2013 eğitim öğretim yılında Pamukkale Üniversitesi Yabancı Diller Yüksekokulu'nda hazırlık eğitimini tamamlayarak 2013 yılında başladığı Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nden 2017 yılında mezun olmuştur. 2019 yılında başlamış olduğu Ege Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Yapı Malzemesi Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimini sürdürmüştür.

