MAKRO SENTETİK POLİPROPİLEN LİF KULLANIMININ BETON KARIŞIMLARININ TAZE VE SERTLEŞMİŞ HAL ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Mujeebul Rahman LATIFI

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKRO SENTETİK POLİPROPİLEN LİF KULLANIMININ BETON KARIŞIMLARININ TAZE VE SERTLEŞMİŞ HAL ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Mujeebul Rahman LATIFI
0000-0003-0815-1842

Doç. Dr. Ali MARDANI AGHABAGLOU
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2020
Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Mujeebul Rahman LATIFI tarafından hazırlanan "MAKRO SENTETİK POLİPROPİLEN LİF KULLANIMININ BETON KARIŞIMLARININ TAZE VE SERTLEŞMİŞ HAL ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Malzemesi Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Ali MARDANI AGHABAGLOU
(ORCİD:0000-0003-0326-5015)

Başkan : Doç. Dr. Ali MARDANI AGHABAGLOU — İmza
(ORCİD: 0000-0003-0326-5015)
Bursa Uludağ Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Doç. Dr. Hakan T. TÜRKER — İmza
(ORCİD: 0000-0001-5820-0257)
Bursa Uludağ Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ahsanollah BEGLARIGALE — İmza
(ORCİD: 0000-0002-4842-4289)
İstanbul Okan Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN
Enstitü Müdürü
20/08/2020

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

20/08/2020

Mujeebul Rahman LATIFI

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MAKRO SENTETİK POLİPROPİLEN LİF KULLANIMININ BETON KARIŞIMLARININ TAZE VE SERTLEŞMİŞ HAL ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Mujeebul Rahman LATIFI

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ali MARDANI AGHABAGLOU

Bu çalışmada, makro sentetik polipropilen lif kullanımının beton karışımlarının taze ve sertleşmiş hal özelliklerine etkisi incelenmiştir. Lifli karışımlarda toplam hacmin %0,1, %0,2, %0,3, %0,4 ve %0,5'i oranlarında uzunluğu 50±2 mm olan makro sentetik polipropilen lif kullanılmıştır. Tüm karışımlarda su/çimento oranı, çimento dozajı ve çökme değeri sırasıyla, 0,5, 390 kg/m^3 ve 18±2 cm olarak sabit tutulmuştur. Taze hal özelliği olarak karışımların çökme değeri elde edilmiştir. Sertleşmiş hal özellikleri olarak ise karışımların basınç, yarmada-çekme ve eğilme dayanımlar ile elastisite modülü, aşınma direnci, su emme kapasitesi ve kuruma-büzülme davranışı karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Beklendiği gibi, polipropilen lif kullanımı ile hedef yayılma değerini sağlamak için su azaltıcı katkı gereksinimi artmıştır. Bu etki lif kullanım oranın artışıyla daha da belirgin olmuştur. Beton karışımlarına makro sentetik polipropilen lif eklenmesinin basınç dayanımı ve elastisite modülü değerleri üzerinde kayda değer bir etkisi olmamıştır. Ancak, karışımların yarmada çekme dayanımını, eğilme dayanımını ve sünekliğini önemli derecede artırmıştır. Ayrıca, Karışımların durabilite performansını ve boyutsal kararlılığını lif kullanımı ile olumlu yönde etkilenmiştir. Özellikle büzülme kaynaklı boy değişimi ve aşınma sonucu oluşan ağırlık kaybı değerleri karşımda lif bulunması ile önemli ölçüde azalmıştır.

Anahtar kelime: Makro sentetik polipropilen lif, Lifli beton, Mekanik özellikleri, Boyutsal kararlılığı, Durabilite performansı.

2020, ix + 74 sayfa

ABSTRACT

MSc Thesis

EFFECT OF MACRO SYNTHETIC POLYPROPYLENE FIBER UTILIZATION ON SOME FRESH AND HARDENED PROPERTIES OF CONCRETE MIXTURES

Mujeebul Rahman LATIFI

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Ali MARDANI AGHABAGLOU

In this study, the effect of macro synthetic polypropylene fiber utilization on some fresh and hardened state properties of concrete mixtures was investigated. In fibrous mixtures, the macro synthetic polypropylene fiber having a length of 50±2 mm was used in the ratio of %0,1, %0,2, %0,3, %0,4 and %0,5 of the total volume. In all of the concrete mixtures, the w/c ratio, cement dosage and slump-flow value were kept constant as 0.5, 390 kg/m^3 and 18±2 cm, respectively. The slump-flow value of the mixtures was obtained as its fresh state properties. As to hardened state properties, compressive strength, split-tensile strength, flexural strength, modulus of elasticity, abrasion resistance, water absorption capacity and drying shrinkage behavior of the mixtures were investigated comparatively. As expected, water-reducing admixture demand for desired slump flow value increased by the utilization of polypropylene fiber. The mentioned effect was more pronounced with the increase in fiber utilization. Addition of macro synthetic polypropylene fiber to the concrete mixtures had no significant effect on their compressive strength and modulus of elasticity. However, split-tensile strength, flexural strength and ductility of the concrete mixtures increased significantly. Besides, durability performance and dimensional stability of the concrete mixtures were positively affected by the addition of the fiber. Particularly the shrinkage-based length change and the weight loss due to abrasion significantly decreased with the presence of fiber in the mixtures.

Key words: Macro synthetic polypropylene fiber, Fiber reinforced concrete, Mechanical properties, Dimension stability, Durability performance.

2020, ix + 74 page

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez konumunun belirlenmesinde, gelişmesinde, yazı kısmında ve her aşamasında yol gösterici önerileriyle bilgi ve tecrübelerini aktararak her zaman desteğini aldığım tez danışman hocam, sayın Doç. Dr. Ali Mardani-Aghabaglou'na en içten teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Tez çalışmalarında yardımlarını ve kıymetli tecrübelerini hiç esirgenmeyen Dr. Öğr. Üyesi Süleyman Özen'e,

Tez aşamasında bana çok değerli zamanını ayırıp tecrübelerini, tavsiyelerini ve yazı kısmında yardımlarını esirgenmeyen Arş. Gör. Öznur Biricik'e

Hem deneyler esnasında hem de tezin yazımı boyunca yardıma ihtiyacım olan her an destek veren Yüksek İnşaat Müh. Sultan Husein Bayqra'ya,

Deneysel çalışmalarda kullanılan su azaltıcı katkıların temini için Başta Yüksek İnşaat Mühendisi Gökhan Yılmaz ve Yüksek Kimyager Tolga Kaptı olmak üzere Polisan Kimya AŞ'ye, çimento ve standart kum temini için Yüksek İnşaat Mühendisi Ahmet Hilmi Aytaç olmak üzere Bursa Beton A.Ş' ye,

Polipropilen lif temini için Prof. Dr. Ömer Arıöz ve Ansa Ambalaj San. & Tic. A.Aş.'ye,

Yapı malzemesi laboratuvarındaki çalışmalarımda her zaman desteklerini aldığım Yüksek İnşaat Mühendisi Kemal Karakuzu ve Yüksek İnşaat Mühendisi Veysel Kobya'ya,

Öğrenim ve hayatım boyunca ilgilerini, maddi ve manevi desteklerini esirgenmeyen sevgili aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mujeebul Rahman LATIFI
20/08/2020

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
İÇİNDEKİLER iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ vi
ŞEKİLLER DİZİNİ vii
ÇİZELGELER DİZİNİ ix
1. GİRİŞ 1
2. KURUMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI 3
2.1. Yapı Malzemelerinde Liflerin Tarihçesi 3
2.2. Lifli Betonların Önemi 3
2.3. Polipropilen Lifler 4
2.3.1. Polipropilen liflerin özellikleri 4
2.3.2. Polipropilen liflerin sınıflandırması ve performansları 5
2.3.2. Polipropilen liflerin kullanım alanları ve oranları 7
2.4. Kaynak Özetleri 8
3. MATERYAL VE YÖNTEM 29
3.1. Amaç, Konu ve Kapsam 29
3.2. Malzemeler 29
3.2.1. Çimento 29
3.2.2. Agrega 30
3.2.3. Yüksek oranda su azaltıcı katkı 32
3.2.4. Su 33
3.2.5. Polipropilen lif 33
3.2.6. Karışım oranların belirlenmesi 33
3.2.7. Karışımların hazırlanması 34
3.3. Çalışmada Uygulanan Deneyler 36
3.3.1. Taze hal deneyleri 36
3.3.2. Sertleşmiş hal deneyleri 38
4. BULGULAR ve TARTIŞMA 45
4.1.Taze Hal Deney Sonuçları 45

4.2. Sertleşmiş Hal Deney Sonuçları....46
4.2.1. Basınç dayanımı deneyi sonuçları....46
4.2.2. Yarmada çekme deneyi sonuçları....47
4.2.3. Eğilme deneyi sonuçları....50
4.2.4. Elastisite modülü deneyi sonuçları....56
4.2.5. Böhme Aşınma deneyi sonuçları....57
4.2.6. Su Emme kapasitesi deney sonuçları....59
4.2.7. Kuruma rötresi sonuçları....62
5. SONUÇ....65
KAYNAKLAR....67
ÖZGEÇMİŞ....74

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
Al_2O_3	Alüminyum Oksit
C_2S	Dikalsiyum Silikat
C_3A	Trikalsiyum Alüminat
C_4AF	Tetrakalsiyum Alumino Ferrit
CaO	Kalsiyum Oksit
K_2O	Potasyum Oksit
MgO	Magnezyum Oksit
Na_2O	Sodyum Oksit
SO_3	Kükürt Trioksit
SiO_2	Silisyum Dioksit

Kısaltmalar	Açıklama
ASTM	American Society for Testing Materials
BS	British Standart
MPa	Metrik Sistemin Basınç Birimi
TS EN	Türk Standartları, EN: Avrupa Normu
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
SD	Silis Dumanı
ITZ	Agrega-hamur Arayüzeyi
KYB	Kendiliğinden Yerleşen Beton
SEM	Scanning Electron Microscope
SRA	Shrinkage Reducing Admixture
PF	Polipropilen Lif
EFNARC	European Federation of National Associations Representing for Concrete
DSC	Differential Scanning Calorimetry
TG	Thermogravimetric

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Agrega-çimento hamuru arayüzeyi 13
Şekil 2.2. Beton karışımlarının 28-günlük kuruma büzülme değerleri 18
Şekil 2.3. Beton karışımlarının 28-günlük bağıl kuruma büzülme değerleri 18
Şekil 2.4. Polipropilen lif miktarı ile darbe dayanımı arasındaki ilişki 22
Şekil 2.5. 360 aşınma döngüsüne maruz kalan beton karışımlarında ağırlık kaybı (%) . 23
Şekil 2.6. 360 aşınma döngüsüne maruz kalan beton karışımlarında göreceli ağırlık kaybı (%) 23
Şekil 2.7. Donma-çözülme döngülerine maruz kalan beton karışımlarında göreceli ağırlık kaybı (%) 25
Şekil 2.8. Sodyum sülfat çözeltisine maruz kalan beton karışımlarında genleşme (%) . 25
Şekil 2.9. Kimyasal etki ve donma-çözülmeye maruz kalmış lifsiz ve lifli numunelerin görünümleri 28
Şekil 3.1 Deneylerde kullanılan agregaların gradasyon eğrisi ve TS EN 206 Standart limitleri 32
Şekil 3.2. Kullanılan polipropilen lifin şekli 33
Şekil 3.3. Beton üretiminde kullanılan Pan Tipi Beton Mikseri 35
Şekil 3.4. Dökümden sonra 24 saat kalıpta bekletilen numuneler 35
Şekil 3.5. Lif içermeyen kontrol karışımın çökme deneyi 37
Şekil 3.6. Lif içeren karışımların çökme deneyi 37
Şekil 3.7. TS EN 12390–3 Standardına göre basınç dayanımı ölçümü 38
a) basınç deney cihazı b) uygulanna yük altında kırılan numune 38
Şekil 3.8. Küp numunenin yarmada-çekme deneyinde kırılma biçimi 39
Şekil 3.9. ASTM C78 Standardına göre eğilme dayanımının belirlenmesi için deney düzeneği 40
Şekil 3.10. Dört noktalı eğilme deneyin düzeneği 41
Şekil 3.11. Elastisite modülü deney düzeneği 42
Şekil 3.12. Numunelerin Böhme aşınma deney yapılışı 43
Şekil 3.13. Numunelerin kuruma rötresine ait ölçüm düzeneği 45
Şekil 4.1. Beton karışımların 28-günlük bağıl basınç dayanımı 47
Şekil 4.2. Karışımların 28-günlük bağıl yarmada çekme dayanımları 48
Şekil 4.3. Yarmada çekme deneyi sonrası numunelerin kırılma biçimi 49
a. Kontrol numuneleri b. Lif içeren numuneleri 49
Şekil 4.4. Beton karışımların 28-günlük basınç ve yarmada-çekme dayanımı arasındakı ilişki 50
Şekil 4.5. Beton karışımların bağıl eğilme dayanımı (%) 51
Şekil 4.6. Kontrol ve lif içeren karışımlarının yük-sehim eğrileri 53
Şekil 4.7. Beton karışımlarının yük-çatlak açılma deplasman eğrileri 54
Şekil 4.8. Hacimsel olarak farklı oranlarda lif içeren karışımların eğilme deneyi sonrası görünümü a) kontrol kiriş b) %0,1 lif içeren kiriş c) %0,2 lif içeren kiriş d) %0,3 lif içeren kiriş e) %0,4 lif içeren kiriş f) %0,5 lif içeren kiriş 55
Şekil 4.9. Beton Karışımların 28-günlük bağıl elastisite modülü sonuçları 56
Şekil 4.10. 352 aşınma çevrimi maruz kalan beton karışımlarının ağırlık kaybı değişimi (%) 57
Şekil 4.11. 352 aşınma döngüsün sonunda beton karışımlarında oluşan bağıl ağırlık

kaybı (%) 58
Şekil 4.12. Karışımların 28 günlük basınç dayanımı ve 352 çevrim sonunda numunelerde oluşan aşınmadan kaynaklanan ağrılık kaybı arasındakı ilişki (%) 59
Şekil 4.13. Kontrol ve lif içeren karışımlarının su emme kapasitesi 60
Şekil 4.14. Beton karışımlarının bağıl su emme kapasitesi (%) 61
Şekil 4.15. Karışımların 28 -günlük basınç dayanımı ve su emme arasındakı ilişki 61
Şekil 4.16. Beton karışımlarının 28 günlük büzülme değerleri 62
Şekil 4.17. Karışımların 28 günlük bağıl kuruma büzülme değerleri 63
Şekil 4.18. Karışımların kuruma-büzülme ve su emme arasındaki ilişki 64

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Polipropilen liflerin tipleri ve teknik özellikleri (Karahan 2006'dan değiştirilerek alınmıştır) 6
Çizelge 2.2. Polipropilen liflerin kullanım dozajları (Karahan 2006) 7
Çizelge 3.1. Çimentonun kimyasal bileşimi, fiziksel ve mekanik özelikleri 30
Çizelge 3.2. Karışımlarda kullanılan agregaların fiziksel özellikleri 30
Çizelge 3.3. Karışımlarda kullanılan agregaların elek analizi 31
Çizelge 3.4. Su azaltıcı katkıya ait özellikler 32
Çizelge 3.5. Polipropilen liflerin mekanik ve fiziksel özellikleri 33
Çizelge 3.6. 1 m^3 beton üretimi için gereken malzeme miktarlar (kg/m^3) 34
Çizelge 4.1. Beton karışımların çökme ve su azaltıcı katkı değerleri 45
Çizelge 4.2. Beton karışımların 28-günlük basınç dayanımı (MPa) 46
Çizelge 4.3. Beton karışımların yarmada çekme dayanımları (MPa) 47
Çizelge 4.4. Eğilme deney sonuçları 50
Çizelge 4.5. Beton karışımların 28 günlük elastisite modülü (GPa) 56

1. GİRİŞ

Geleneksel betonun süneklik, yorulma kapasitesi, çatlama sonrası yük taşıma kapasitesi, tokluk, aşınma ve darbe dayanımı açısından zayıf bir performans sergilediği bilinmektedir. Betonun en büyük dezavantajı düşük çekme dayanımına sahip olmasıdır. Betonun gevrek davranış özelliğinin iyileştirilerek daha sünek bir hale gelebilmesi için değişik yöntemler tercih edilmektedir. Betonda rastgele olarak dağılmış liflerin kullanımı, basınç ve çekme dayanımını, enerji yutma kapasitesini ve yukarıda bahsedilen zayıf özelliklerini iyileştirmek için kullanılan en etkin yöntemlerden birisidir (Baradan 2015, Şimşek 2016)

Beton numunelerinin bir diğer olumsuz yanı ise boyutsal kararlılığının zayıf olması sonucu oluşan çatlaklardır. Oluşan bu çatlakların betonda lif kullanımı ile azaldığı araştırmacılar tarafından rapor edilmiştir (Bantiha ve Gupta 2006, Aly 2008, İlhan 2018, Mardani-Aghabaglou ve ark. 2018, Leong 2020). Lifli beton geleneksel betona kıyasla üstün performans göstermesi nedeniyle farklı uygulamalarda başarıyla kullanılmıştır (Mardani-Aghabaglou ve ark. 2013). Lifli beton üretiminde genellikle farklı narinlik oranlarına sahip, çelik, polipropilen, cam, plastik ve karbon lifleri kullanılmaktadır (Neville 1990, Kosmatka 2003, Mehta 2014, Baradan 2015, Şimşek 2016).

Bu çalışmada kapsamında, polipropilen lifli betonların özellikleri ele alınmıştır. Polipropilen, tekstil ürünlerinde kullanımı yanında çeşitli inşaat mühendisliği uygulamalarında lif malzemesi olarak da kullanılmaktadır. Polipropilen lifler kimyasal olarak asitlere ve alkalilere karşı dayanıklıdırlar ve her tip portland çimentosu ile beraber kullanılabilirler (Celep 2010). Polipropilen lif, %100 polipropilen esaslı yapay bir malzeme olup üretiminde fazla işçilik gerektirmeyen, kolay uygulanabilen, betonun bazı özelliklerini iyileştiren ve beton içerisine üretim esnasında eklenen bir üründür (Karahan 2006).

Polipropilen lifler betonun kılcal çatlaklarının ilerlemesini engelleyerek geçirgenliğin azalmasına ve sıkıştırma faktörünün artmasına sebep olmaktadır. Polipropilen lifin kullanımı ile betonda rötre çatlağının %90 mertebesine kadar azaldığı rapor edilmiştir (Şimşek 2016). Ayrıca, beton karışımlarına uygun oranlarda polipropilen lif ilavesiyle darbe dayanımı gibi mekanik özelliklerin (Wongprachum 2018, Karimipour 2020) ve

aşınma direncinin (Mardani-Aghabaglou ve ark. 2018, Wang 2019) arttığı donma-çözülme (Ding 2018, Nguyen 2019) sülfat saldırısı (Behfarnia ve Farshadfar 2013, Wongprachum 2018) ve alkali silika reaksiyonu (ASR) sonucu ortaya çıkan hacim genleşmelerin azaldığı bildirilmiştir (Park ve Lee 2004, Wang 2019).

Bu çalışmada, makro sentetik polipropilen lif kullanımının beton karışımların bazı taze hal ve mekanik özellikleri ile durabilite performansı ve boyutsal kararlılığı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmada, lif içeremeyen kontrol karışımına ilaveten hacimce %,1, %0,2, %0,3, %0,4 ve %0,5 oranlarında polipropilen lif içeren toplamda 6 farklı beton karışımları hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımların çökme değeri, basınç dayanımı, yarmada-çekme dayanımı, eğilme dayanımı, eğilme altında yük-sehim ve yük-çatlak ağzı açılma deplasmanı ile elastisite modülü, aşınma direnci, su emme kapasitesi ve kuruma büzülme davranışı incelenmiştir. Yapılan deneylerde elde edilen sonuç değerlerin arasındaki ilişki yorumlanmıştır.

2. KURUMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Yapı Malzemelerinde Liflerin Tarihçesi

Lifli betonlara esin kaynağı olan en yaygın olarak kullanılan doğal lifler saman ve at kılıdır. Eski devirlerde mühendis ve mimarlar yapıları tahrip edici etkilere karşı korumak için saman, hayvan kılları ve farklı doğal lifleri kullanmışlardır (Erbaş 2003). Türkiye'de ise Mimar Sinan tarafından inşa edilen yapılarda kullanılan Horasan Harcı da içerisinde doğal lifler içermekteydi. Günümüzdeki bilinen çelik lifler 1950'lerde beton üretiminde kullanılmaya başlanmıştır. İleriki yıllarda, karbon, cam, asbest, plastik gibi yapay lifler ile Hint keneviri, bambu gibi doğal lifler betonun içine eklenerek test edilmiştir. Her bir lif farklı özelliklere sahip olduğu için değişik işlev ve üstünlüklere de sahip olduğu görülmüştür. Polipropilen liflerin betonda kullanılması, 1960'larda Amerikan Silahlı Kuvvetleri Mühendisler Birliği tarafından yürütülen bir araştırmada bu liflerin betonda sınırlı çatlaklara izin vererek aşınma ve darbelere karşı direnç sağladığının ispatlanmasıyla başlamıştır. Bununla birlikte sentetik liflerin gelişimi endüstriye çok faydalı olup, günümüzde yeni tip lifler, özellikle polipropilen, poliolefin ve PVA değişik projelerde kullanılmaktadır (Baradan 2015).

2.2. Lifli Betonların Önemi

Günümüzde beton teknolojisinin gelişimi ile beraber çeşitli amaçlar için değişik tipte beton karışımları üretilmektedir (Şimşek 2016). Betonun mekanik ve durabilite özelliklerinin iyileşmesi amacıyla farklı kimyasal ve mineral katkılar, sünekliğinin artması için ise değişik tipte lif kullanılmaktadır. Betonda, rastgele olarak dağılmış lifler farklı aşamalarda betonda meydana gelen çatlakların oluşumu ve büyümesini engelleyip böylece iç gerilmeleri dağıtarak, betonda enerji yutma kapasitesini arttırmaktadır. Betonda kullanılan liflerin etkinlikleri, lifin narinlik oranı, geometrisi, çekme dayanımı, tipi ve hacmi ile ilişkili olarak değişmektedir (Zeynal 2008).

Lifli betonun sünekliği, beton içerisinde gelişigüzel dağılan liflerin oluşan çatlakları köprüleme yeteneğine bağlıdır. Çatlak oluşumu esnasında meydana gelen gerilmeler lifler tarafından karşılanarak veya lif vasıtasıyla sağlam alanlara transfer edilerek çatlağın ilerlemesi engellenmektedir (Mehta 2014). Lifli betonlar, endüstriyel yapılarda, su yapılarında, püskürtme beton, şev stabilitesi, tünel kaplamaları, havaalanı ve

karayolları kaplama betonları gibi çeşitli uygulamalarda uzun yıllardır kullanılmaktadır. Lifli betonlar özellikle yapıların ağır çalışma koşullarına maruz kalması durumunda daha çok tercih edilmektedir (Baradan 2015).

Lifli betonların avantajları aşağıda sıralanmıştır.

- Dinamik yüklemelerde darbe rijitliği veya çarpma mukavemetini arttırmaktadır (Şimşek 2016).
- Yapıdaki çekme ve eğilme kuvvetinin birlikte oluşturduğu gerilme sebebiyle zor kesit tesirlerine karşı yapı elemanının dayanımı, çelik donatı ve lif kullanımı ile birlikte büyük ölçüde arttırılabilir (Baradan 2015).
- Lifin düktilitesi normal betona nazaran yüksektir. Bununla ilişkili olarak çarpma etkisi, titreşimli yük etkisi ve dinamik yük etkisi karşısında geleneksel betona göre daha dayanıklıdır (Celep 2010).
- Çelik donatı ile beraber lif kullanılması durumunda çeşitli yapısal davranış bozuklukları engellenebilir (Şimşek 2016).
- Yorulma, burulma ve kesme kuvvetlerine karşı dayanımı fazladır (Şimşek 2016).
- Enerji tutma kapasitesinin yanında, elastik mukavemet, darbe dayanımı ve çatlamaya karşı dayanımı da yüksektir (Baradan 2015).
- Lifli betonun bu üstün nitelikleri kesit derinliklerinin azalmasını mümkün kılarak malzemelerden tasarruf sağlar (Baradan 2015).

2.3. Polipropilen Lifler

Polipropilen yapay üretilen, malzeme olarak termoplastiklerin içinde yer alan hafif bir polimerdir. Polipropilen hammadde şeklinde birçok dayanıklılık ve elastiklik beklenen ürünün üretiminde kullanılır. Polipropilen ürünler gerek inşaat mühendisliği ve uygulamaları bakımından gerekse genel mühendislik malzemeleriyle birlikte kullanılmak suretiyle çok geniş bir kullanım alanına sahiptir (Celep 2010).

2.3.1. Polipropilen liflerin özellikleri

Daha önce de belirtildiği gibi, polipropilen tekstil ürünlerinin yanında çeşitli inşaat mühendisliği uygulamalarında beton karışımlarına ilave edilen liflerin üretiminde de kullanılmaktadır. Polipropilen liflerin tercih edilmesinin sebepleri düşük maliyeti, kolay

işlenebilirliği, yüksek dayanımı, düşük yoğunluğu ve mükemmel kimyasal dayanıklılığı olarak sıralanabilir (Zhu 2006). Polipropilen lifler beton karışımlarının üretim aşamasında miksere ilave edilmektedir. Çelik demir, metal lifler ve kümes filesi gibi alternatif donatı sistemlerine kıyasla polipropilen lifler en hafif donatı sistemidir. Diğer donatı sistemlerine kıyasla metrekare başına 90 gram ila 200 gram arasında kullanılması sebebiyle ölü donatı ağırlığı vermezler (Karahan 2006). Polipropilen lifler betonun fiziksel, mekanik ve termal özelliklerini olumlu etkilemektedir (Madhavi 2014).

2.3.2. Polipropilen liflerin sınıflandırması ve performansları

Polipropilen lifler %100 homo-polipropilenden F ve M olarak iki türde üretilmektedir. F-fibrilize lifleri, M-multifilament lifleri için kullanılmaktadır. Bu iki tipten M tipi lifleri şap yüzeyinde ince olmalarından ötürü gözükmediklerinden özellikle iç mekân şaplarında kullanımlarında uygun sonuçlar elde edilir. F tipi polipropilen lifler ağır hizmete maruz kalan endüstriyel zeminlerde durabilite ve tokluk özelliklerinden dolayı şap ve betonlar için daha uygundur. Polipropilen liflerin tipleri ve teknik özellikleri Çizelge 2.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 2.1. Polipropilen liflerin tipleri ve teknik özellikleri (Karahan 2006'dan değiştirilerek alınmıştır)

Tip	Fibrilize	Multifilament	Fibrilize
Polipropilen (%)	100	100	92
Ürün Tipi	Standart F	Standart M	Paint
Yoğunluk (kg/lt)	0.91	0.91	1.00
Kesit	Karesel	Yuvarlak	Karesel
Kalınlık (μ)	36	18	-
Renk	Şeffaf	Şeffaf	Renkli
Görünüm	Görünebilir	Görülmez	Görünebilir
Çekme Dayanımı (N/mm^2)	500	700	500
Young Modülü (N/mm^2)	7116.20	7116.20	7161.20
Uzama (%)	Maksimum 10	Minimum 100	-
Uzunluk (mm)	3-6-9-12-15-19-25-31-37-46-51		

Polipropilen lifler kimyasal olarak asitlere ve alkalilere karşı dayanıklıdırlar ve portland çimentosunun her çeşidi ile birlikte kullanılabilirler. Uzun süre güneş ışığı altında kalırsa lif zarar görür, organik çözücülere dirençli olduğundan ötürü benzin istasyonlarında rahatlıkla kullanılır (Celep 2010). Elektrik iletme ve ısıl geçirgenliği son derece düşüktür. Termal uzaması ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Bu liflerin su emmesi olmadığından su/çimento oranını etkilemezler, asitler ve oksitlere karşı tepkisiz davranırlar, paslanma ve çürümeye karşı dayanıklıdırlar (Karahan 2006).

Polipropilen lifler, çelik liflere kıyasla betonun mekanik mukavemetini arttırmada etkili değildirler, ancak betona enerji yutma özelliğini kazandırır ve plastik rötrenin azalmasını sağlarlar. Bu lifler güçlü olmayan büzülmelere karşı tercih edilmektedir (Dirikgil 2009). Betonarme yapı elemanları yüksek sıcaklık etkisine maruz kaldığında, betonun basınç dayanımında azalma, parçalanma, dağılma ve çatlak oluşumu meydana gelmektedir. Polipropilen lifler 170°C'de eriyerek kanallar oluşturur, bu kanallar sayesinde gazlar dışarı çıkar ve boşluk basıncı düşer bununla ilişkili olarak betonda oluşmuş hasarın derecesi azalır (Bahadır 2010).

2.3.2. Polipropilen liflerin kullanım alanları ve oranları

ASTM C1116 (2000) standardına göre 1 m^3 beton için %0,1=1 litre %100 saf polipropilen ham maddesinden üretilmiş lif yeterli olmaktadır. Polipropilen ham maddesinin yoğunluğu 0,9 kg/litre olması sebebiyle lif miktarı en az 0,9 kg/litre tavsiye edilir. Oran olarak %0,05 ile %2 arasında ve hatta %5'e kadar çıkabilir. Polipropilen lif dozajı mikro donatı yoğunluğu ve yüksek aşınma direncinin gerekli olduğu yerlerde hacimce %0,2 ye kadar arttırılabilir (Karahan 2006). İyi bir karışım elde etmek için lif miktarı hacimce %0,5 ile %1,5 arasındadır. Bu oran üretilen beton özelliklerine bağlı olarak %2'ye kadar arttırabilir. Ancak, %0,5'in altında kullanıldığı takdirde etkisi belirgin olmamaktadır (Şimşek 2016). Polipropilen lifler sıva ve harç betonu için ton başına 2 kg eklenir, tamir harçları ve derz dolguları için 5 kg düzeyine kadar çıkarılır. Karışıma homojen bir şekilde ve topaklanmadan kolaylıkla ile dağılır. Lif ihtiyaca göre miktar ve uzunluk özellikleri bakımından değişim gösterebilir. Tavsiye edilen polipropilen lif dozajları Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Polipropilen liflerin kullanım dozajları (Karahan 2006)

Plipropilen	İç Mekan	Diş Mekan	Ağır Hizmet
Lif Tipi	M	F	F
Minimum Dozaj (gr/m^3)	600	900	1800
Optimum Dozaji (gr/m^3)	1200	2700	3600
Uzunluk (mm)	6-9-12-15	6-9-12-15-19-25	

Daha önce vurgulandığı gibi, yapay olarak üretilen tekstil sektörü ürünü olan polipropilen lifler pasif donatı olarak beton üretiminde büyük ölçüde kullanılmaktadır (Celep 2010).

Polipropilen liflerin inşaat sektöründe kullanım alanları aşağıda sıralanmıştır.

- Bitümlü malzemelerde, püskürtme sıva ve betonlarda, yapısal taşıyıcı betonarme sistemlerinde, şap işlerinde, saha betonu ve su yapılarında (Karahan 2006).

- Endüstriyel zeminlerde, garajlar, çevresel saldırılara ve mekanik gerilmelere maruz kalan deniz yapılarında, hava alanlarında, vibrasyon rotasyona maruz yapılarda, su depoları, yüzme havuzları ve ince döşemelerde (Tanriöven 2009).

- Tüm prekast elemanlarda, boru imalatında, saksı, bordur taşı ve kiremit üretiminde (Güngör 2013).

- Park, ambar ve depo alanlarda, antibakteriyel beton üretiminde, sismik hareketlere karışı, kütle ve diyafram betonlarda, koruma şaplarında, radye temel ve hatıl dolguları üretiminde, tavan panellerinde, dekoratif beton panellerde ve ön cephe panellerinde (Celep 2010).

- Sıva, tamir, izolasyon gibi çimento esaslı harçlarda, dış etkilere maruz kalacak ince ve kaba uygulamalarda ve otoyol bariyerlerinde (Bahadir 2010).

2.4. Kaynak Özetleri

ACI komitesi 544'e göre lifli beton agrega, hidrat çimento ve değişik miktarlarda süreksiz lifler içeren bir beton türü olarak tanımlanmaktadır (ACI 2002). Birçok araştırmacı, farklı tipteki liflerin betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmıştır. Ancak, polipropilen lifli betonlar ile ilgili yapılan araştırmalar göreceli olarak diğer lif tiplerine göre sınırlı olmaktadır. Konu ile ilgili bazı araştırmalar ayrı başlıklar altında özetlenmiştir.

İşlenebilirlik özelliği

İnce (2005) tarafından gerçekleşen bir doktora tezi kapsamında uçucu kül, silis dumanı ve polipropilen lif kullanımının taze betonların basınç altındaki davranışına etkisi irdelenmiştir. Polipropilen lif ilavesiyle karışımların işlenebilirliğinin ve pompalanabilirliğinin olumsuz etkilendiği ancak, segregasyonun riskinin azaldığı rapor edilmiştir.

Polipropilen lif kullanımı ile ilgili benzer sonuçlar Sertbaşı (2006) tarafından kendiliğinden yerleşen beton (KYB) karışımları için bildirilmiştir. İşlenebilirliğin, lif kullanım oranındaki artıştan olumsuz etkilendiği daha açık olarak görülmüştür.

Bir diğer çalışmada, Gencel ve ark. (2011) multifilament polipropilen lif kullanımının uçucu kül içeren KYB karışımlarının bazı mekanik ve taze hal özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, lif 3, 6, 9 ve 12 Kg/m^3 olmak üzere 4 farklı oranda kontrol karışımına ilave edilmiştir. Tüm karışımlarda lifin homojen bir şekilde dağıldığı gözlemlenmiştir. Karışımların hava içeriğinin lif kullanım oranının artmasıyla arttığı tespit edilmiştir. Lif ilavesiyle bazı karışımlarda EFNARC kriterlerinin sağlanmadığı gözlemlense de karışımların taze hal özelliklerinin ciddi mertebede etkilenmediği vurgulanmıştır.

Açıkgenç ve ark. (2012) tarafından gerçekleşen bir diğer çalışmada polipropilen lif tipi ve kullanım oranının farklı dayanım sınıflarına sahip beton karışımlarının bazı taze ve sertleşmiş hal özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, toplam hacmin %1 ve %2 oranında yumuşak halde olan 2 farklı polipropilen lif kullanarak toplam 21 adet beton karışımı hazırlanmıştır. Karışımların çökme değeri lif tipinden bağımsız olarak lif ilavesi ve lif kullanım oranının artışıyla azalmıştır. Bu olumsuz etki yumuşak ve küme halinde olan liflerde sert liflere kıyasla daha bariz olduğu rapor edilmiştir.

Patel ve ark. (2012) tarafından yapılan bir diğer çalışmada, 5 farklı oranda polipropilen lif kullanımının KYB karışımların özelliklerine etkisi incelenmiştir. Toplam hacmin %1'i oranında lif içeren KYB karışımlarının akışkanlığının kabul edilebilir mertebede olduğu bu oranın üzerinde lif ilavesiyle karışımların akışkanlık performansının ciddi mertebede olumsuz etkilendiği rapor edilmiştir.

Madhavi ve ark. (2014) göre polipropilen lif kullanımı ile karışımların işlenebilirliğinin olumsuz etkilendiği ancak, su/çimento oranı çok düşük olan durumlarda bile karışıma uygun bir yüksek oranda su azaltıcı katkı ilavesiyle bu olumsuz sorunun çözüleceği beyan edilmiştir.

Bir başka çalışmada, Guerini ve ark. (2018) çelik (sertliği yüksek) ve makro sentetik (sertliği düşük) lif kullanımının beton karışımlarının bazı taze ve sertleşmiş hal özeliklerine etkisini araştırmıştır. Bu amaçla, hacimce %0,5 ve %1 oranında farklı tip lifler kullanılarak 2 farklı dayanım sınıfına sahip toplam 16 adet beton karışımı hazırlanmıştır. Lif tipinden bağımsız olarak, karışıma lif eklenmesi sonucu karışımların

hava içeriğinde çok düşük oranda artış gözlemlenmiştir. Lif ilavesiyle karışımların işlenebilirliği olumsuz etkilenmiştir. Bu durum lif içeriğinin artışıyla daha da belirgin olmuştur. Akışkanlık performansı açısından polipropilen liflerin çelik liflere kıyasla daha başarılı olduğu yazarlar tarafından bildirilmiştir.

Matar ve Assaad (2019) tarafından gerçekleşen bir çalışmada geri dönüştürülmüş agregaların ve polipropilen liflerin bir arada kullanımınınım KYB karışımlarının işlenebilirlik özelliğine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, %25-%100 arasında 4 farklı oranda geri dönüştürülmüş agrega ve hacimce %0,25-%1,75 arasında 7 farklı polipropilen kullanılarak KYB karışımları hazırlanmıştır. Lif ilavesiyle karışımların geçiş yeteneği ve reolojik özelliği ciddi mertebede olumsuz etkilemiştir. Bu etki geri dönüştürülmüş agrega kullanım oranının artışıyla daha da belirgin hale gelmiştir. Polipropilen lif ve geri dönüştürülmüş agreganın birlikte kullanımı ile karışımların segregasyon riskinin azaldığı gözlemlenmiştir. Benzer sonuçlar Karimpour ve ark (2020) tarafından da bildirilmiştir.

Leong ve ark. (2020) mikro perlit içeren hafif çimentolu sistemlere polipropilen lif ilavesi ile işlenebilirlik özelliğinde azalmaların gözlemlendiğini bildirmişlerdir.

Mekanik özellikler (basınç, eğilme, çekme dayanımı ve elastisite modülü)

Tokyay ve ark. (1991) makro polipropilen ve çelik lif kullanımının 0,25 su/çimento oranına sahip yüksek dayanımlı betonların bazı mekanik özelliklerine etkisini göreceli olarak araştırmıştır. Bu amaçla, lif içermeyen kontrol karışımına ilaveten 1 kg/m^3 polipropilen ve toplam hacmin %1,5'i kadar çelik lif kullanılarak 2-3 cm çökme değerine sahip toplamda 3 seri beton karışımı hazırlanmıştır. Lif türünden bağımsız olarak karışımların basınç dayanımı önemli ölçüde etkilenmemiştir. Kontrol karışımına kıyasla, polipropilen lifli betonların çekme dayanımında %13'lük bir artış gözlenmiştir. Bu oranın çelik lifli betonlarda %37 olduğu beyan edilmiştir. Enerji yutma kapasitesi açısından çelik lifli beton en üstün performansı sergilediği rapor edilmiştir.

Qian ve Stroeven (2000) liflerin belirli oranda homojen bir şekilde çimentolu sistemlerde dağılması için uçucu kül gibi ince malzemelerin kullanımının gerekli olduğunu beyan etmiştir. Lif uzunluğunun beton karışımlarının farklı mekanik

özellikleri üzerinde benzer etki yaratmadığı bildirilmiştir. Karışıma kısa lif ilavesi basınç dayanımını ciddi mertebede etkilerken yarmada çekme dayanımı üzerinde bu etkinin çok hafif oluğu vurgulanmıştır. Beton karışımlarına uzun lif ilavesiyle karışımların basınç dayanımı olumsuz etkilenmiştir. Hibrit elyaflı çimentolu sistemlerde sinerji etkisinin var olduğu ifade edilmiştir.

Yıldırım (2002) tarafından yapılmış doktora çalışmasında polipropilen ve çelik lifle güçlendirilmiş betonların performans özellikleri araştırılmıştır. Beton karışımlarda, hacimce %0,5, %0,75 ve %1 oranlarında çelik lif eklenmiş, polipropilen lif ise %0,1 oranında kullanılmıştır. Sonuç olarak polipropilen lif miktarının artması ile dayanımın düştüğü ve liflerin homojen dağılmadığı bildirilmiştir. Çelik liflerin %0,5 oranında eklenmesi ile karışımların basınç dayanımının arttığı ancak, lif kullanım oranının artışı ile dayanım değerlerinde düşüşler gözlemlendiği vurgulanmıştır.

Aulia (2002) tarafından yapılan çalışmada silis dumanlı yüksek dayanımlı betonlarda 19 mm uzunluğunda ve %0,20 oranında polipropilen lif kullanılmıştır. Söz konusu liflerin 28 günlük basınç dayanımında %5,61, elastisite modülünde ise %5,20 oranında bir artış gözlemlendiği rapor edilmiştir.

Alkan (2004) tarafından gerçekleşen bir yüksek lisans tez çalışmasında polipropilen lif uzunluğunun beton karışımlarının bazı taze ve sertleşmiş hal özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, hacimce %0,50 oranında 12-51 mm arasında uzunluğa sahip 4 farklı polipropilen lif %10 silis dumanı kullanılarak kontrol karışımına ek olarak 4 seri beton karışımı hazırlanmıştır. Tüm karışımlarda su/çimento oranı 0,39 olarak sabit tutulmuştur. Polipropilen lif uzunluğunun artışıyla beton karışımlarının kırılma enerjisi artmakta ancak, basınç dayanım, yarmada-çekme dayanımı, net eğilme dayanımı ve elastisite modülünün azaldığı rapor edilmiştir.

Karahan (2006) tarafından yapılan bir doktora tez çalışmasında uçucu kül katkılı betonlar ile polipropilen ve çelik lif ile güçlendirilmiş betonların özellikleri incelenmiştir. Karışımlara 19 mm uzunluğunda, polipropilen lif hacimce %0,05, %0,10 ve %0,20 oranlarında eklenmiştir. Çelik lifler 35 mm uzunluğuna sahip olup, hacimce %0,25, %0,5, %1,00 ve %1,50 oranlarında kullanılmıştır. Polipropilen liflerin %0,05 oranında betona eklenmesiyle karışımların elastisite modülünün az da olsa arttığı ancak,

bu oranın üstünde lif kullanılan durumda betonun elastisite modülünün düştüğü bildirilmiştir. Polipropilen liflerin %0,20 oranında eklenmesiyle, betonların elastisite modülleri azalmış ancak gerilme-birim deformasyon eğrilerinin kuyruğu uzamış ve betonlar sünek davranış kazanmışlardır.

Özcan (2006) tarafından gerçekleşen bir yüksek lisans tezi kapsamında, 5 farklı oranda (%10-%50) ince agreganın kazan altı külü ve granüle yüksek fırın cürufu ikamesi ile hazırlanan 2 farklı seri beton karışımlarında polipropilen lif kullanımının karışımların bazı mekanik ve durabilite özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, polipropilen lifin kullanım oranı tüm karışımlarda hacimce %0,02 olarak sabit tutulmuştur. Her iki durumda da ince agreganın ikamesi ile karışımların dayanım özelliklerinde kayda değer bir etkiye rastlanmamıştır. Ancak, %30'a kader ince agrega ikameli beton karışımlarında polipropilen lif ilavesiyle karışımların donma-çözülme, aşınma, sülfata karışı direnç ve geçirgenlik gibi durabilite performansının iyileştiği bildirilmiştir.

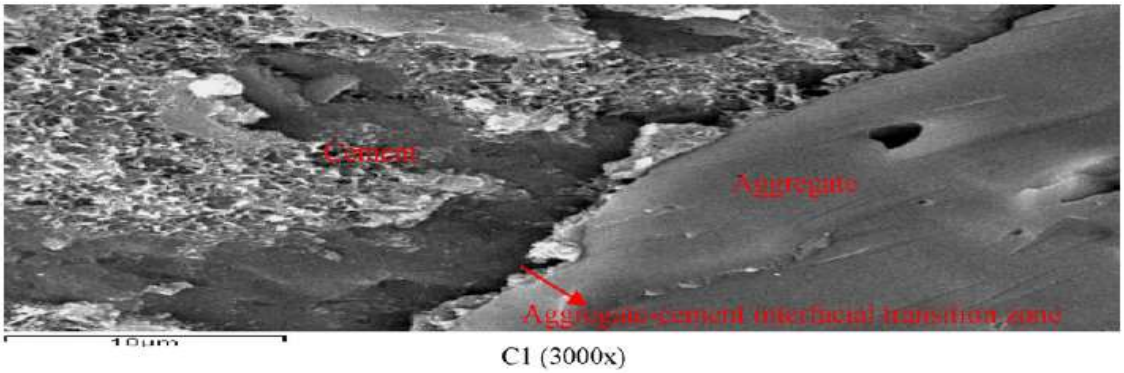
Topçu ve Canbaz (2007) tarafından gerçekleşen bir diğer çalışmada, hacimce %0,65 çelik lif, %0,05 ve %0,08 oranında polipropilen lif kullanımının silis dumanı içeren beton karışımlarının mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Lif türünden bağımsız olarak lif ilavesiyle karışımların mekanik özellikleri olumlu etkilenmiştir. Bu artış eğilme dayanımında daha da belirgin olmuştur. Çelik lifin polipropilen life kıyasla daha etkili olduğu vurgulanmıştır.

Şahin (2007) tarafından yapılan bir yüksek lisans tezi kapsamında hacimce %0,2-%1 oranları arasında polipropilen lif kullanımının beton karışımlarının mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Polipropilen lif eklenmesi ile basınç ve eğilme dayanımlarında önemli bir iyileşme olmadığı vurgulanmıştır. Lif kullanım oranı artışıyla karışımların basınç dayanımının azaldığı bildirilmiştir. Ancak, lif kulanım sonucu karışımların darbe mukavemetlerinde yaklaşık 2 kat artış saptanmıştır.

Subaşı (2008) çelik ve polipropilen lif kullanımının KYB karışımların basınç dayanım üzerinde olumlu etki sağladığını beyan etmiştir.

Sun ve Xu (2009) tarafından yapılan bir diğer çalışmada, polipropilen lif kullanımının beton karışımlarının fiziksel, mekanik ve mikro-yapı özellikleri üzerinde etkisi

araştırılmıştır. Yazarlar tarafından elde dilen lifli betonun agrega-hamur ara yüzeyine ait SEM görüntüsü Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Polipropilen liflerin matris içerisinde oluşturduğu ağ yapısı mikro-yapı analizi sonucu net bir şekilde görülmüştür. Lif kullanımının beton içerisinde oluşacak kılcal çatlakları ve çimento hamuru-agrega arasında oluşabilecek kırılmaları önlediği beyan edilmiştir. Lif kullanımı sonucu sistemde $Ca(OH)_2$ oluşumunun azaldığı buna bağlı boşluk yapısının iyileştiği bildirilmiştir. Lif kullanımı ile karışımlarda segregasyon riskinin azaldığı rapor edilmiştir. Tüm bu özellikler açısından, optimum lif içeriğinin 0,9-1 kg/m^3 geçmemesi gerektiği yazarlar tarafından önerilmiştir.



Şekil 2.1. Agrega-çimento hamuru arayüzeyi (Sun 2009)

Bahadır (2010) polipropilen lif türünün beton karışımlarının mekanik özelliklerine etkisini incelemek amacı ile 0,9 ve 1,8 kg/m^3 lif içeren karışımlar hazırlamıştır. Monofilament polipropilen liflerin betonun çekme dayanımını önemli ölçüde artırdığını, elyafımsı liflerin ise betonun boşluk oranını azalttığını dolayısıyla betonun dayanıklılığına katkıda bulunduğunu bildirmiştir.

Celep (2010) yaptığı çalışmada polipropilen lif kullanımının beton karışımlarının mekanik özelliklerini olumlu yönde etkilediğini, yardımcı donatı görevi yaparak çekme ve eğilme dayanımlarını artırdığını ve betonun durabilite performansını iyileştirdiğini beyan etmiştir.

Sümer ve Sarıbıyık (2013) silis dumanı ve polipropilen lif kullanımının beton karışımının özellikleri üzerine etkisini incelemiştir. Bu amaçla, çimento ağırlığının %5, %10 ve %15 oranında silis dumanı ve hacimce %0,10, %0,50 ve %1,00 oranında

polipropilen lif ilave edilerek beton karışımları hazırlanmıştır. Yapılan deneylerde %1,00 ve %0,50 lif katkılı betonlarda basınç ve eğilme dayanımının arttığı fakat %0,10 lif katkılı betonlarda basınç ve eğilme dayanımının azaldığı görülmüştür.

Fathima ve Varghese (2013) yaptıkları bir çalışmada, beton karışımlarının basınç, yarmada-çekme ve eğilme dayanımı açısından optimum polipropilen lif kullanım oranının hacimce %0,5 olduğunu ifade etmiştir.

Memon ve ark. (2018) polipropilen lif uzunluğunun beton karışımlarının mekanik özelliklerine etkisini araştırmıştır. Bu amaçla, 12,25 mm ve 25,4 mm uzunluğunda polipropilen lif hacimce %0,20, %0,25 ve %0,30 olmak üzere 3 farklı oranda kullanılarak beton karışımları hazırlanmıştır. Lif uzunluğundan bağımsız olarak, karışımlara lif ilavesiyle basınç dayanımının artığı ancak, lif uzunluğunun artışı ile bu etkinin azaldığı beyan edilmiştir. Lif uzunluğunun artması ile eğilme dayanımlarında artış gözlemlenmiştir. Kısa liflerin kullanım oranının artışı ile basınç dayanımının ciddi mertebede etkilenmediği fakat eğilme dayanımında azalmalar olduğu bildirilmiştir. Uzun lif içeriğinin artışı ile basınç dayanımının azaldığı ancak, eğilme dayanımının arttığı söylenmiştir.

Altalabani ve ark. (2019) tarafından yapılan bir çalışmada, polipropilen lif içeren kendiliğinden yerleşen hafif betonların mekanik özellikleri incelenmiştir. Polipropilen lif eklenmesinin basınç dayanımını etkilemediği, ancak elastisite modülü ve yarmada-çekme dayanımını arttırdığı gözlemlenmiştir. Mikro ve makro polipropilen liflerinin beraber kullanımıyla karışımların darbe direnci ve eğilme dayanımının önemli ölçüde arttığı beyan edilmiştir.

Leong ve ark. (2020) mikro perlit içeren hafif çimentolu sistemlere polipropilen lif ilavesi ile mekanik özellikleri üzerinde etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, %0,15, %0,30 ve %0,50 oranlarında polipropilen lif eklenerek beton karışımları hazırlanmıştır. Polipropilen lif eklenmesinin karışımların basınç dayanımında önemli bir iyileşme yaratmadığı ancak, düşük oranlarında eklenmesinin eğilme dayanımını %27 oranında arttırdığı rapor edilmiştir.

Eğilme tokluğu ve çatlak sonrası davranış

Qian ve Stroeven (2000) yaptıkları bir çalışmada lif türü ve uzunluğunun beton karışımlarının özelliğine etkisini araştırmıştır. Mikro polipropilen liflerin dinamik yükler sebebiyle meydana gelen ufak çatlakların önüne geçilmesinde etkili olduklarını ifade etmişlerdir. Ayrıca, betonun ağır yükler altında kırılması veya yarılması durumunda çelik liflerin veya polipropilen liflerin kullanılmasının daha uygun olacağını bildirmişlerdir.

Akkaş ve ark. (2010) yaptıkları bir çalışmada polipropilen lif kullanımının yarı hafif betonların özelliklerine etkisini incelemiştir. Basınç yükü altında liflerin numunelerde meydana gelen çatlakları önlediği, kırılma olduğu durumda numunelerin parçalanmadığı rapor edilmiştir.

Hüsem ve Demir (2013) tarafından yapılan bir çalışmada çelik ve polipropilen lif kullanımının geleneksel ve yüksek dayanımlı beton karışımlarının bazı mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Çelik ve polipropilen lifli geleneksel ve yüksek dayanımlı betonların basınç ve yarmada çekme dayanımlarının, kontrol karışımına göre daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Polipropilen lifli yüksek dayanımlı numunelerde lifsiz karışıma kıyasla kırılmanın daha sünek olduğu vurgulanmıştır.

Zhang ve Li (2013) tarafından gerçekleşen bir çalışmada polipropilen lif kullanımının silis dumanı ve uçucu kül içeren beton karışımlarının kırılma özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, hacimce %0,04, %0,06, %0,08, %0,10 ve %0,12 oranlarında lif %15 oranında uçucu kül ve %6 oranında silis dumanı kullanılarak beton karışımları hazırlanmıştır. Kiriş numuneleri üç noktalı eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Karışıma lif eklenmesi ile kırılma tokluğu, kırılma enerjisi, etkili çatlak uzunluğu ve maksimum orta açıklık sapması gibi beton karışımlarının kırılma parametrelerin büyük ölçüde olumlu etkilenmiştir. Bu olay lif kullanım oranın artışıyla daha da belirgin olmuştur.

Madhavi ve ark (2014) polipropilen liflerin kullanımının betonda kendiliğinden oluşan çatlakları önlediğini kohezyonu artırdığını bu nedenle kırılmanın sünek ve kademeli olduğunu rapor etmişlerdir.

Wang ve ark (2019) tarafından yapılan bir diğer çalışmada, makro poliropilen lif ve işlenmiş kauçuk kullanımının beton karışımlarının mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla hacimce %0,5 oranında lif ve %10 ile %15 oranında kauçuk kullanılarak toplamda 4 seri beton karışm hazırlanmıştır. Kauçuk agrega oranının artmasıyla karışımların basınç ve çekme dayanımları azalmıştır. Ancak, makro polipropilen ve kauçuk agreganın birlikte kullanılmasıyla karışımların kırılma sonrası davranışının önemli ölçüde iyileşmiştir. Bu etki kauçuk oranının artmasıyla daha da belirgin olmuştur.

Büzülme (rötre)

Aulia (2002) tarafından yapılan çalışmada silis dumanı içeren yüksek dayanımlı betonlarda lif kullanımının etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, uzunluğu 19mm olan %0,20 oranında polipropilen lif kullanılmıştır. Söz konusu liflerin basınç dayanımı ve elastisite modülünü etkilemediği ancak, erken rötre çatlaklarını azalttığı bildirilmiştir.

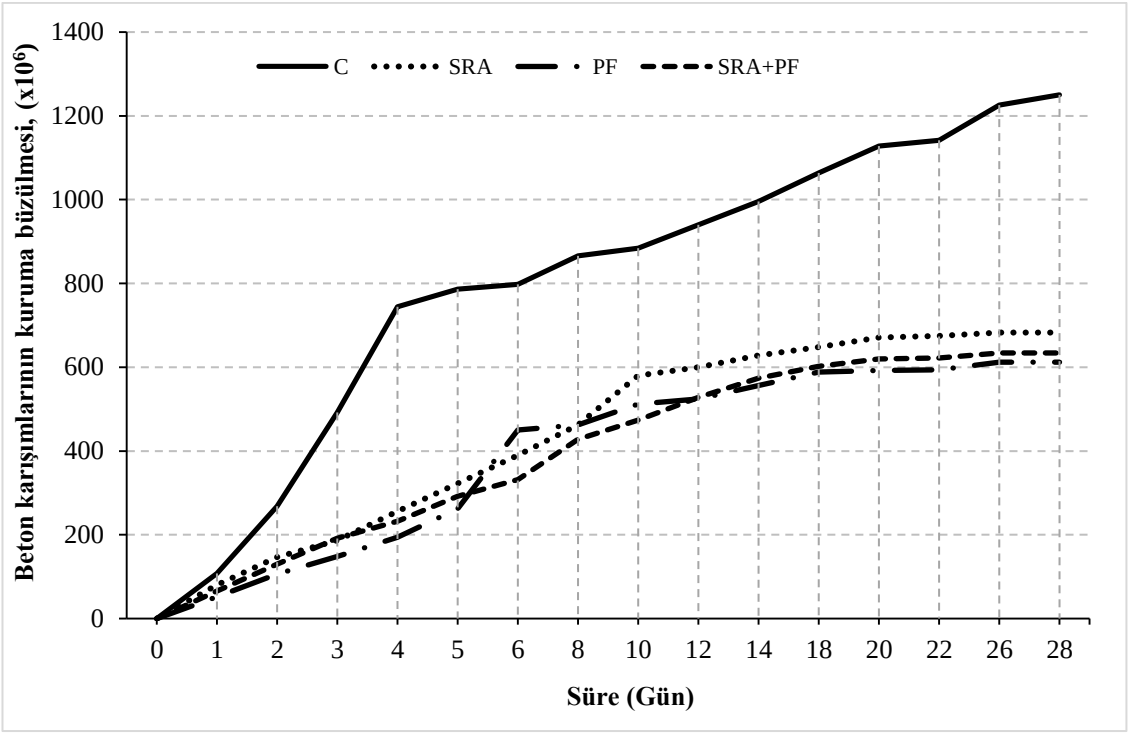
Kırca ve Şahin (2003) tarafından yapılan çalışmada polipropilen lif kullanımının beyaz çimento içeren beton karışımlarının bazı özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, 600gr/m^3 lif içeren, su/çimento oranı 0,49 olan beton karışımları hazırlanmıştır. Polipropilen lif kullanım ile karışımların kuruma-büzülme deformasyonlarında %25'lik bir azalma gözlemlenmiştir.

Song ve ark. (2005) tarafından yapılan çalışmada polipropilen ve plastik naylon lif kullanımının beton karışımlarının bazı mekanik ve durabilite özelliklerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, tüm karışımlarda naylon ve polipropilen lif kullanım oranı 0,60 kg/m^3 olarak sabit tutulmuştur. Plastik naylon liflerin rötre çatlaklarının önlenmesinde polipropilen liflere kıyasla daha iyi bir performans gösterdiği bildirilmiştir.

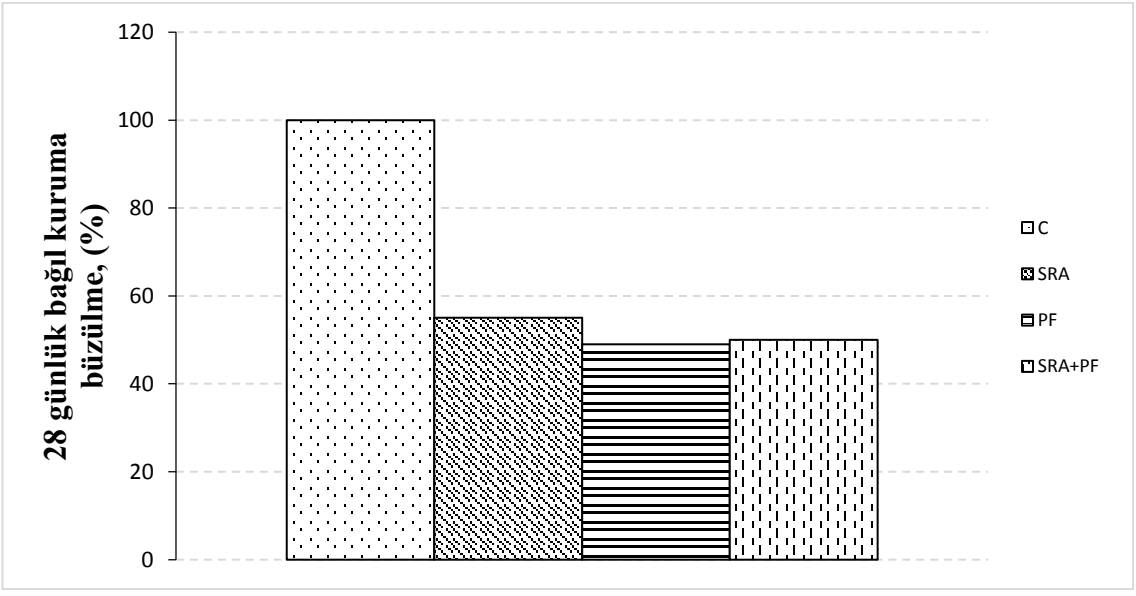
Bantiha ve Gupta (2006) yaptıkları bir çalışmada polipropilen lif geometrisinin plastik büzülmeden dolayı oluşacak çatlakların üzerinde etkisini araştırmıştır. Bu bağlamda farklı uzunluk ve çapa sahip Fibrilize ve Multifilament polipropilen liflerini %0,1, %0,2 ve %0,3 oranlarında kullanılarak beton numuneleri hazırlanmıştır. Polipropilen lif kullanılmasının çatlakların engellenmesinde etkili olduğu görülmüştür. İnce lifin kalın life göre, uzun lifin kısa life göre ve fibrilize lifin multifilament lifine göre çatlakların kontrol edilmesinde daha etkili olduğu bildirilmiştir.

Aly ve ark. (2008) yaptıkları bir çalışmada polipropilen lif kullanımının yüksek fırın cürufu içeren beton karışımlarının rötre davranışına ektisini araştırmıştır. Bu amaçla, hacimce %0,05 ile %0,5'i aralığında farklı oranlarda polipropilen lif kullanılarak beton karışımları hazırlanmıştır. Cüruflu betonlarda erken yaş kısıtlanmış rötre deney sonuçlarına göre, polipropilen lifli betonların daha yüksek büzülme değeri ve elastisite modülüne sahip olduğu için, lifsiz betonlara göre daha fazla çatlama eğilimi gösterdiği bildirilmiştir.

İlhan (2018) tarafından yapılan yüksek lisans tezi çalışmasında polipropilen lif ve rötre azaltıcı katkı (SRA) kullanımının çimentolu sistemlerin taze ve sertleşmiş hal özelliklerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, su/çimento oranı 0,4, çimento dozajı 450 kg/m^3 ve çökme değeri 210±20 mm olarak sabit tutulan 3 seri beton karışımları hazırlanmıştır. Birinci seri karışımlarda, çimento ağırlığının %2'si kadar SRA kullanılmıştır. İkinci seride ise, toplam hacmin %1'i kadar polipropilen lif kullanılmıştır. Üçüncü seride ise, hem %2 SRA hem de %1 polipropilen lif kullanılarak, SRA içeren lifli beton karışımları hazırlanmıştır. Karışımların kuruma-büzülme ve bağıl büzülme sonuçları sırasıyla, Şekil 2.2 ve Şekil 2.3'te gösterilmiştir. Deney sonuçlarına göre, polipropilen lif kullanımı kuruma rötresi açısından, rötre azaltıcı katkı kullanımına göre daha iyi sonuç göstermiştir. Polipropilen lif ve rötre azaltıcı katkının beraber kullanılması kuruma rötresi bakımından herhangi bir olumlu etki göstermemiştir



Şekil 2.2. Beton karışımlarının 28-günlük kuruma büzülme değerleri (İlhan 2018)



Şekil 2.3. Beton karışımlarının 28-günlük bağıl kuruma büzülme değerleri (İlhan 2018)

Kauçuk ve polipropilen lifin birlikte kullanılması ile harç numunelerin kuruma büzülmesinin sınırlandığı, alkali-silika reaksiyonundan dolayı oluşan boy değişiminin azaldığı Wang ve ark (2019) tarafından bildirilmiştir.

Mardani-Aghabaglou ve ark. (2019) rötre azaltıcı katkı ve polipropilen lif kullanımının beton karışımlarının rötre davranışına ektisini incelenmişlerdir. Rötre azaltıcı katkı ve lif kullanımı ile beton karışımlarının rötre oluşumunun azaldığını bildirmişlerdir. Ancak, lif kullanımınıın rötre açısından, rötre azaltıcı katkıya göre daha etkili olduğu vurgulanmıştır.

Leong ve ark. (2020) tarafından polipropilen lif kullanımının mikro perlit içeren hafif çimentolu sistemlerin kuruma büzülmesine etkisi incelenmiş, polipropilen lifin eklenmesinin kuruma büzülme davranışı üzerinde pozitif etki gösterdiği bildirilmiştir.

Yüksek sıcaklık ve yangına karşı dayanıklılığı

Aulia (2002) yaptığı çalışmada, yüksek dayanımlı lifli beton numunelerin yüksek sıcaklığa maruz kaldığında polipropilen liflerin 160°C de erimesi sonucu yangına karşı direnci arttırdığı gözlemlenmiştir.

Noumove (2005) tarafından yapılan çalışmada polipropilen lif içeren yüksek dayanımlı beton numuneleri 200 ^{o}C sıcaklığa maruz kaldıktan sonra mekanik özelliklerindeki değişimi irdelenmiştir. Polipropilen lifler 170 ^{o}C'de erdikleri ve beton içerisinde hava kanalcıkları açtıkları görülmüştür. Polipropilen liflerin erimesiyle meydana gelen kanalcıklar DSC (diferansiyel taramalı ısıl ölçme) ve TG (ısıl ağırlık ölçümü) analizleri sonucunda gözlemlenmiştir. Polipropilen liflerin erimesi sonucu oluşan boşluklar mikroskobik inceleme sonucunda açık bir şekilde görülmüştür. Boşluklu yapıya sahip beton numunelerin basınç dayanımları, eğilme dayanımları ve elastisite modüllerinde azalma meydana gelmiştir. Ancak, lifsiz karışımlarda lifli karışımlara kıyasla söz konusu bu mekanik özelliklerin olumsuz etkilenmesi az da olsa bir miktar daha bariz olmuştur.

Xiao ve Felkner (2006) tarafından yapılan bir çalışmada yüksek dayanımlı polipropilen lif içeren beton karışımlarının yüksek sıcaklık direnci incelenmiştir. Lif içermeyen

numunelerde patlamaya ve parçalanmaya rastlanmış, ancak polipropilen lif içeren numunelerde rastlanmamıştır. 400^{o}C sıcaklığa kadar polipropilen lifin numunelerin dayanımını olumlu etkilediği, ancak bu sıcaklık üstünde dayanımların azaldığı tespit edilmiştir. Eğilme dayanımının sıcaklık artışıyla beraber lif kullanımından bağımsız olarak azaldığı gözlemlenmiştir.

Celep (2010) tarafından yapılan yüksek lisans tezi çalışmasında, yüksek sıcaklığa maruz polipropilen lifli beton karışımlarının mekanik özelliklerinin değişimi araştırılmıştır. Lif içermeyen kontrol karışıma ilaveten, iki farklı oranda polipropilen lif içeren ve farklı su/çimento oranlarında beton numuneleri üretilmiştir. Numuneler 28. gün kürleme sonrası 20, 200, 400 ve 600^{o}C sıcaklık etkisine bırakılmıştır. Yüksek sıcaklığa maruz kalan lif içermeyen betonlarda 600^{o}C'de patlama, parçalama ve dökülme meydana gelmiştir. Ancak, polipropilen lif içeren betonlarda bunun gibi olaylara rastlanmamıştır. Yüksek sıcaklığa maruz kalan polipropilen liflerin erimesi sonucunda, oluşturduğu kanalcıklarla beton iç basıncının boşalmasına yardımcı olup betonun yangına karşı direncini arttırdığı gözlemlenmiştir.

Atashafrazeh (2013) tarafından yapılan bir çalışmada polipropilen lifli betonların yüksek sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra basınç dayanımları incelenmiştir. Bu amaçla, lif içermeyen kontrol karışıma ilaveten, 300, 600, 900 ve 1200 g/m^3 polipropilen elyaf ve çubuk lif içeren beton numuneler üretilmiştir. Üretilen numuneler 28. günün sonunda, 23^{o}C, 150^{o}C, 300^{o}C, 450^{o}C, 600^{o}C ve 750^{o}C sıcaklığa maruz bırakılmıştır. 300g polipropilen lif içeren numunelerde en yüksek basınç dayanımı tespit edilmiştir. Çubuk polipropilen liflerin, elyaf polipropilen liflere nazaran yüksek sıcaklık performans açısından daha başarılı olduğu rapor edilmiştir.

Abaeian ve ark. (2018) tarafından gerçekleşen bir çalışmada, polipropilen lif kullanımının yüksek dayanımlı beton karışımlarının yüksek sıcaklığa karşı direncine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, makro sentetik polipropilen lif 1, 2 ve 3 Kg/m^3 oranlarında kullanılarak yüksek dayanımlı beton karışımları hazırlanmıştır. Dayanım açısından 1 Kg/m^3 lif kullanım oranı optimum olarak bildirilmiştir. Bu orandaki numunelerin basınç, çekme ve eğilme dayanımları sırasıyla %14, %7 ve %15 artış göstermiştir.

Aygörmez ve ark (2020) geopolimer kompozitlerde lif kullanımının yüksek sıcaklık direncine etkisini incelemişlerdir. Bu amaçla polipropilen lif hacimce %0,8 olarak karışıma eklenmiştir. Lif kullanımının karışımların yüksek sıcaklığa karşı direnci üzerinde kayda değer bir etkisi olmadığı vurgulanmıştır.

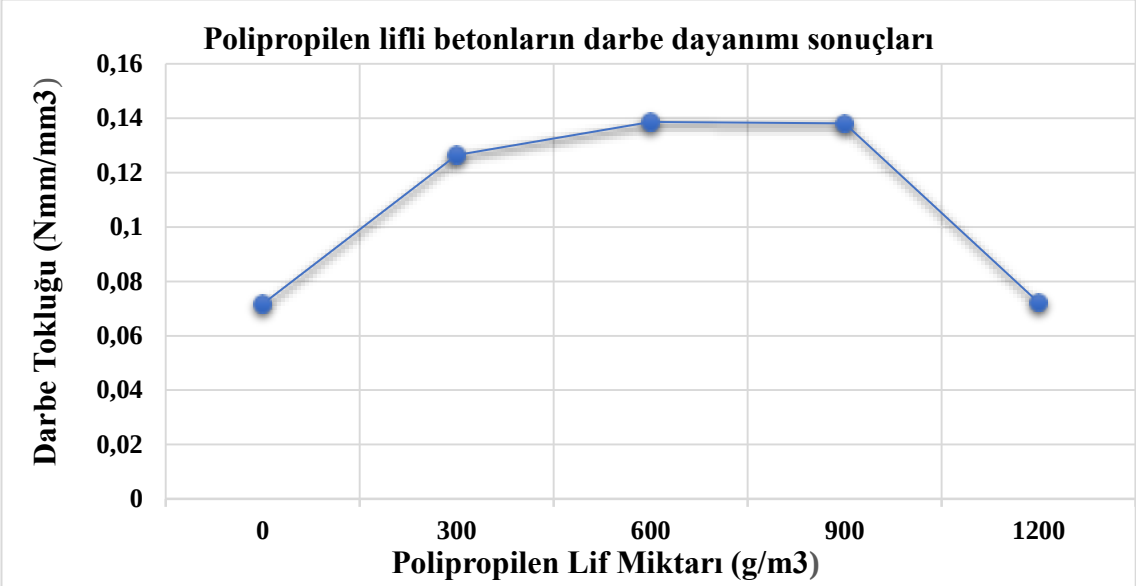
Aşınma ve darbe direnci

Can ve ark. (2009) tarafından gerçekleşen bir çalışmada, çelik ve polipropilen lif kullanımının beton karışımlarının aşınma direncine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla kontrol karışımına ilaveten hacimce %0,1, %0,3 ve %0,5 oranlarında çelik ve polipropilen lif kullanılarak çalışmada 3 seri karışım hazırlanmıştır. Aşınma direnci açısından sırasıyla çelik lifli, polipropilen lifli ve lif içermeyen karışımların en iyi karışımlar olduğu bildirilmişler.

Nili ve Afroughsabet (2009) farklı oranda polipropilen lif kullanımının 0,36 ve 0,46 S/Ç oranlarına sahip %8 silis dumanı içeren beton karışımlarının basınç dayanımı ve darbe performansına etkisini araştırmıştır. Bu amaçla, lif içermeyen kontrol karışımına %0,2-%0,5 arasında 4 farklı oranda uzunluğu 12mm olan polipropilen lif ilave edilerek toplamda 5 seri beton karışımı hazırlanmıştır. Karışımlara lif ilavesi sonucu basınç, yarmada-çekme ve eğilme dayanımları ile darbe performansında artış gözlemlenmiştir. Bu artış lif kullanım oranının artmasıyla daha da bariz olmuştur. Ayrıca, sistemde silis dumanının bulunması polipropilen lifin daha homojen bir şekilde matriste dağılmasına sebebiyet verdiği yazarlar tarafından rapor edilmiştir.

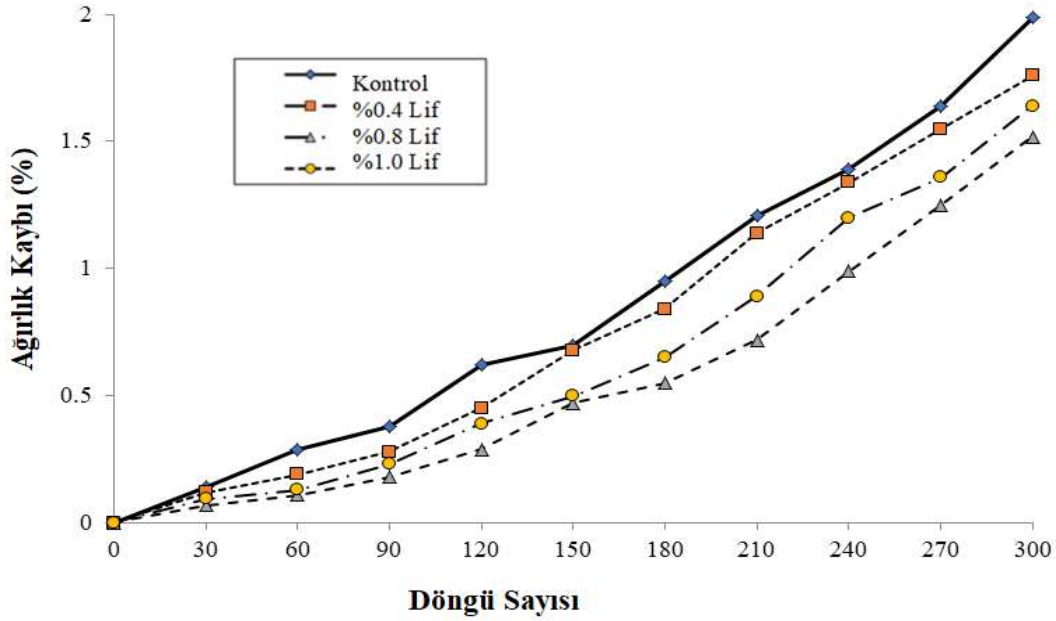
Caf (2012) tarafından yapılan bir tez çalışmasında polipropilen lif kullanım oranının beton karışımlarının darbe performansı üzerinde etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, kontrol karışımına ilaveten 300, 600, 900 ve 1200 gr/m^3 polipropilen lif içeren toplam 5 seri beton karışımı hazırlanmıştır. Karışımların darbe tokluğu sonuçları Şekil 2.4'te gösterilmiştir. Şekil 2.4'ten anlaşıldığı gibi lif kullanımı ile karışımların darbe tokluğu artmıştır. Lif içeriğinin 600 gr/m3 'e kadar artışı ile karışımların darbe tokluğu artarken, bu miktarın üstünde lif eklenmesi sonucu darbe tokluğu ciddi mertebede etkilenmemiştir. Hatta lif içeriği 1200 gr/m^3'a arttığında darbe tokluğu değeri azalmıştır.

Bu olayın lif içeriğinin beli bir orandan fazla artması ile karışımda topaklaşma oluşumu sonucu boşluk hacminin artışından kaynaklandığı düşünülmektedir.

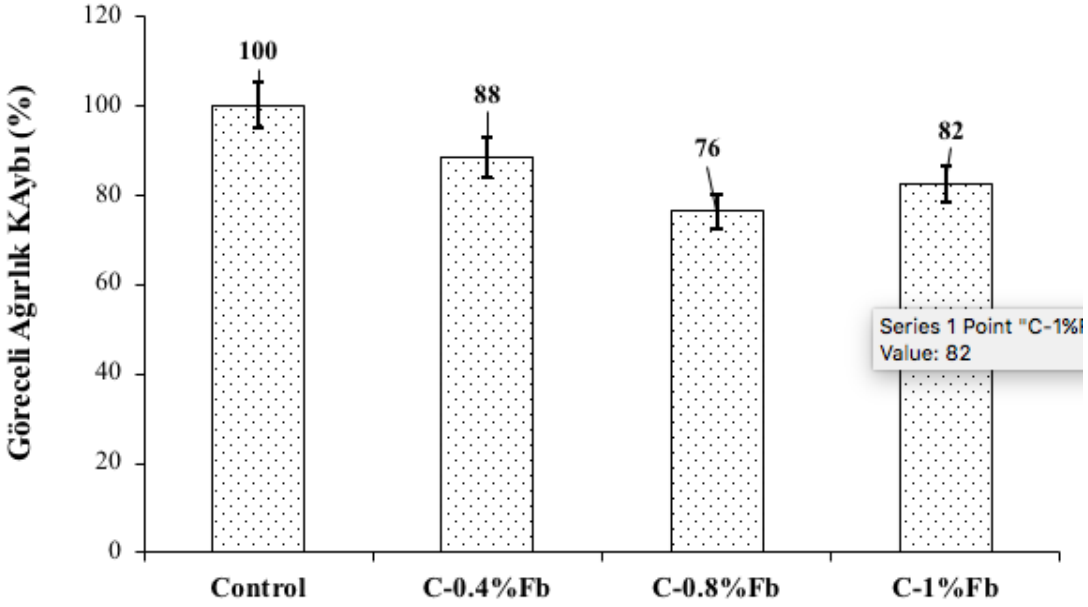


Şekil 2.4. Polipropilen lif miktarı ile darbe dayanımı arasındaki ilişki (CAF 2012)

Mardani-Aghabaglou ve ark. (2018) tarafından yapılan bir diğer çalışmada polipropilen lifli beton karışımının durabilite performansı ve boyutsal kararlılığı araştırılmıştır. Bu amaçla, kontrol karışıma ilaveten hacimce %0,40, %0,80 ve %1 oranlarında polipropilen lif eklenerek toplamda 4 seri beton karışımları hazırlanmıştır. Tüm karışımlarda S/Ç oranı, çimento dozajı ve çökme değeri sırasıyla 0,45, 350 Kg/m^3 ve 130±10 mm olarak sabit tutulmuştur. Beton karışımlarının 360 çevrime kadar aşınmaya maruz kaldıktan sonra ağırlık kaybı Şekil 2.5'te gösterilmiştir. Beklendiği gibi aşınma döngüsü sayısındaki artışla beton karışımlarının kütle kaybı da artmıştır. Söz konusu bu kayıp lif oranının artışı ile azalmıştır. Şekil 2.6'den anlaşıldığı gibi lif içeren karışımların aşınma direnci, kontrol karışımına kıyasla %12-22 oranında daha fazla olmuştur. Aynı zamanda, %0,80 lif içeren karşımın aşınma direnci açısından en iyi performans gösterdiği bildirilmiştir.



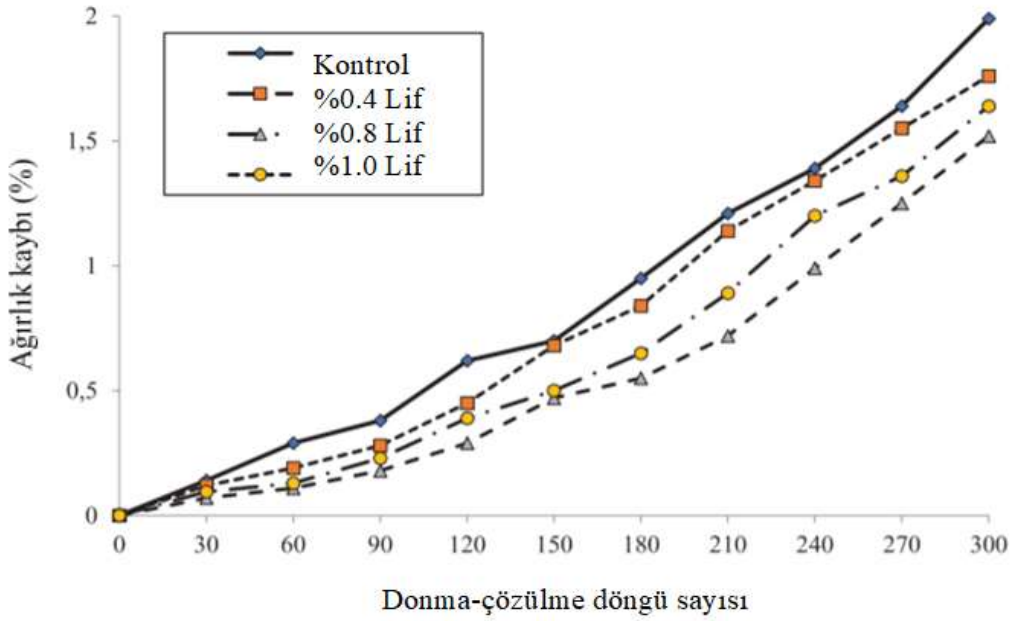
Şekil 2.5. 360 aşınma döngüsüne maruz kalan beton karışımlarında ağırlık kaybı (%) (Mardani-Aghabaglou ve ark 2018)



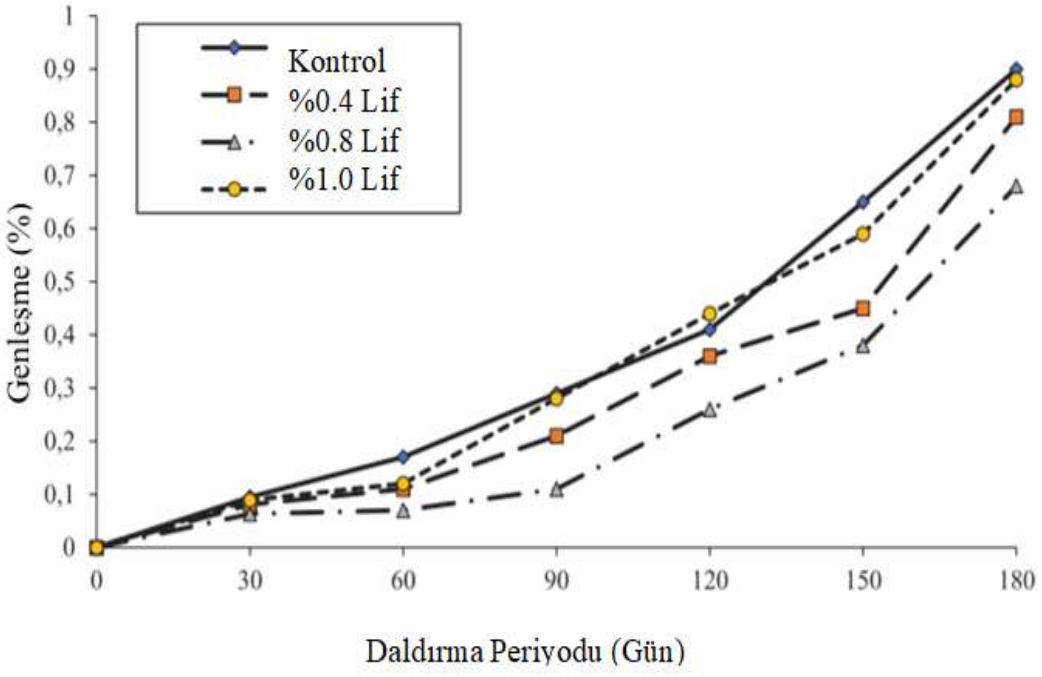
Şekil 2.6. 360 aşınma döngüsüne maruz kalan beton karışımlarında göreceli ağırlık kaybı (%) (Mardani-Aghabaglou ve ark 2018)

Donma çözülme ve sülfat direnci

Mardani-Aghabaglou ve ark. (2018) tarafından yapılan bir çalışmada polipropilen lif kullanımının beton karışımların donma-çözülme ve sülfata karşı direncine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, lifsiz kontrol karışımına ek olarak, toplam hacmin %0,4, %0,8 ve %1'i oranında polipropilen lif ilave edilerek üç farklı beton karışımı hazırlanmıştır. Karışımların donma-çözülme kaynaklı ağırlık kaybı ve sülfat saldırısı sonucu boy değişimi sırasıyla Şekil 2.7 ve Şekil 2.8'de gösterilmiştir. Şekil 2.7'den de görüldüğü gibi, 300 çevrim sonunda, hacimce % 0,8 lif içeren karışım, kontrol karışımına kıyasla %24 oranında daha az ağırlık kaybı ile donma-çözülme performansı açısından en üstün karışım olmuştur. Bu oran %0,4 ve lifli karışımlar için sırasıyla, %12 ve %18 olarak ölçülmüştür. Karışımların geçirgenlik özelliklerinin donma-çözülme direncini belirleyen önemli bir özellik olduğu, belirli bir orana kadar lif kullanımının geçirgenliği azalttığı rapor edilmiştir. Lif içeriği %0,8'i aştığında karışımın geçirgenliğinin arttığı böylece, kılcal gözeneklere giren suyun, donma sırasında iç genişleme ile betonun yapısına zarar verdiği yazarlar tarafından beyan edilmiştir. Benzer sonuçlar karışımların sülfat direnci performansında da gözlemlenmiştir.



Şekil 2.7. Donma-çözülme döngülerine maruz kalan beton karışımlarında göreceli ağırlık kaybı (%) (Mardani-Aghabaglou ve ark 2018)



Şekil 2.8. Sodyum sülfat çözeltisine maruz kalan beton karışımlarında genleşme (%) (Mardani-Aghabaglou ve ark 2018)

Wongprachum ve ark. (2018) tarafından gerçekleşen bir diğer çalışmada lif türü uzunluğu ve kullanım oranının harç karışımlarının sülfat direncine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla lif içermeyen kontrol karışımına ilaveten değişik oranlarda makro ve mikro boyutta polipropilen ve çelik lifin ayrı ayrı ve beraber kullanımıyla toplamda 8 farklı lifli karışım hazırlanmıştır. Sonuç olarak 8 ay sülfat saldırısına maruz bırakılmış numunelerin ağırlık kaybı karşılaştırıldığında %1 oranında makro polipropilen lif içeren numune en iyi sonuç göstermiştir. Makro liflerin mikro liflerle beraber kullanımı sülfat direnci açısından en üstün performansı göstermiştir.

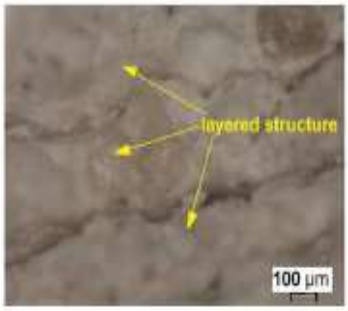
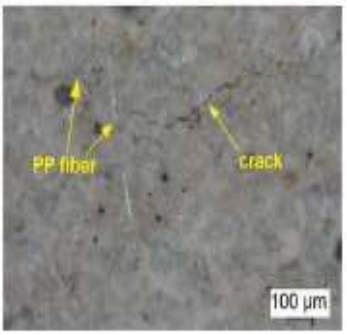
Wang ve ark. (2019) tarafından yapılan bir diğer çalışmada, makro poliropilen lif ve kauçuk kullanımının beton karışımlarının donma-çözülme direncine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla hacimce %0,5 oranında lif ve %10 ile %15 oranında kauçuk kullanılarak kontrol karışıma ek üç karışım hazırlanmıştır. Sonuç olarak %0,5 mikro lif ve % 10 kauçuğu birlikte içeren karışım donma-çözülme performansı açısından en üstün sonucu sergilemiştir.

Bir diğer çalışmada lif türünün ve kullanım oranının cüruf ve F sınıfı uçucu kül bazlı geopolimer beton karışımlarının donma-çözülme direncine etkisi Yuan ve ark. (2020) tarafından incelenmiştir. Bu amaçla polipropilen, polivinilalkol ve çelik lif hacimce %0,15, %0,30 ve % 0,45 olmak üzere 3'er farklı oranda kullanılmıştır. Lif türünden bağımsız olarak karışıma lif eklenmesinin mikro çatlakların oluşumunu engellemediği ancak oluşan çatlakların ilerlemesini önlediği bildirilmiştir. Tüm karışımlarda donma-çözülme direnci açısından optimum lif kullanım oranı %0,30 olarak elde edilmiştir. Çelik lif içeren karışımların tüm kullanım oranlarında donma-çözülme direnci açısından diğer iki tür life kıyasla en düşük performansı sergilediği yazarlar tarafından ifade edilmiştir.

Algın ve Gerginci (2020) yaptıkları bir çalışmada makro sentetik lif kullanımının silindir ile sıkıştırılmış beton karışımlarının donma-çözülme direnci ve geçirgenlik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla, hacimce %0, %0,2, %0,4 ve %0,6 içeriğinde 80,96 narinlik oranına sahip makro sentetik lif karışıma eklenerek dört

farklı silindirle sıkıştırılmış beton karışımı hazırlanmıştır. Lif kullanımı ile karışımların donma-çözülme direncinin arttığı gözlemlenmiştir. Ancak, donma-çözülme performansı açısından %0,4 kullanım oranı optimum olarak belirtilmiştir. Lif kullanımının karışımların yüzeyinde oluşan parçalanmayı engelleyerek donma-çözülme direncini olumlu etkilediği yazarlar tarafından bildirilmiştir.

Nguyen ve ark. (2019) bir diğer çalışmada polipropilen lif kullanımının hem donma-çözülme hem de sülfat klor çözeltisine maruz kalan etrenjit bazlı kompozitlerin dayanıklılık özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla hacimce %2 oranında multifilament tipi polipropilen lif kullanılmıştır. Numuneler %5 NaSO4, %3 NaCl içeren çözeltide doygun hale getirildikten sonra donmaya maruz bırakılmıştır. Çözülme işlemi söz konusu çözeltiye daldırılarak gerçekleştirilmiştir. Hem çözeltiye hem donma-çözülmeye maruz kalan lifli ve lifsiz numunelerin yüzeysel hasarları görünümü Şekil 2.9'da gösterilmiştir. Şekil 2.9'den de anlaşıldığı gibi polipropilen lifli numunelerde liflerin çatlak ilerlemesini manipüle etme yeteneği sayesinde hiçbir makro çatlak gözlenmemiş, bazı mikro çatlaklar bulunmuştur. Bunun aksine, güçlendirilmemiş malzeme çok zayıf donma-çözülme direnci ve sülfat-klorür direnci sergilemiş ve yapısında makro çatlaklar gözlemlenmiştir. Sonuç olarak lif içermeyen karışımlarda ağırlık kaybı lifli karışımlara göre 7 kat daha fazla ölçülmüştür.

	Lifsiz Numune	Lifli Numune
Başlangıç Durumu		
Kimyasal Etki ve 90 Donma-Çözülme Döngüsünden sonra		
Kimyasal Etki ve 180 Donma-Çözülme Döngüsünden sonra	 	 

Şekil 2.9. Kimyasal etki ve donma-çözülmeye maruz kalmış lifsiz ve lifli numunelerin görünümleri (Nguyen ve ark. 2019)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Amaç, Konu ve Kapsam

Bu çalışmada makro sentetik polipropilen lif kullanımının beton karışımlarının bazı taze ve sertleşmiş hal özelliklerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla lif içermeyen kontrol karışımına toplam hacminin %0,1, %0,2, %0,3, %0,4 ve %0,5 oranlarında makro sentetik polipropilen lif ilave edilerek toplamda 6 farklı beton karışımı üretilmiştir. Tüm karışımların çimento dozajı, su/çimento oranı ve çökme değerleri sabit tutulmuştur. İstenilen çökme değerini sağlamak için tek tip polikarboksilat-eter esaslı yüksek oranda su azaltıcı katkı değişik oranlarda kullanılmıştır. Taze hal özelliği olarak karışımların yayılma değerleri elde edilmiştir. Sertleşmiş hal özellikleri olarak ise karışımların basınç, yarmada-çekme ve eğilme dayanımları ile elastisite modülü, aşınma direnci, su emme kapasitesi ve kuruma-büzülmesi ölçülmüştür.

3.2. Malzemeler

Çalışmanın bu kısmında kullanılan malzemelerin fiziksel özellikleri ve kimyasal bileşimi ile 1 m^3 beton üretimi için kullanılan malzeme miktarları verilmiştir. Ortam şartlarının beton karışımlarının üzerindeki etkisini en aza indirmek amacı ile tüm karışım malzemeleri deneyden önce 48 saat 20±2 °C sıcaklığa sahip odada bekletilmiştir

3.2.1. Çimento

Bağlayıcı olarak TS EN 197-1 (2012) “Genel çimentolar-bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri” standardına uygun CEM I 42,5 R tipi Portland çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun üretici firma tarafından elde edilen bazı özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Çimentonun kimyasal bileşimi, fiziksel ve mekanik özelikleri

Oksit (%)	Çimento	Fiziksel özelikleri		
SiO_2	18.86	Özgül ağırlık		3.15
Al_2O_3	5.71	**Mekanik özelikleri**		
Fe_2O_3	3.09		1-günlük	14.7
CaO	62.70	Basınç dayanımı (MPa)	2-günlük	26.80
MgO	1.16		7-dünlük	49.80
SO_3	2.39		28-günlük	58.5
$Na_2O+0.658\ K_2O$	0.92	**İncelik**		
Cl^-	0.01	Özgül yüzey (Blaine, cm^2/g)		3530
Çözünmeyen kalıntı	0.32	0.045 mm elekte kalıntı (%)		7.6
Kızdırma kaybı	3.20			
Serbest CaO	1.26			

3.2.2. Agrega

Lif içeren ve içermeyen tüm beton karışımlarında en büyük tane çapı 22 mm olan kırma kireçtaşı agregası kullanılmıştır. Agregaların TS EN 1097-6 standardına göre elde edilen özgül ağırlığı ve su emme kapasitesi Çizelge 3.2'de verilmiştir. Ayrıca, Çizelge 3.3'te gösterilen agregaların elek analizi TS EN 206 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Beton karışımların üretiminde toplam agrega hacminin %54'i 0-5 mm, %25'i 5-12 mm ve %21'i kadar 12-22 mm boyutlarında agrega kullanılmıştır.

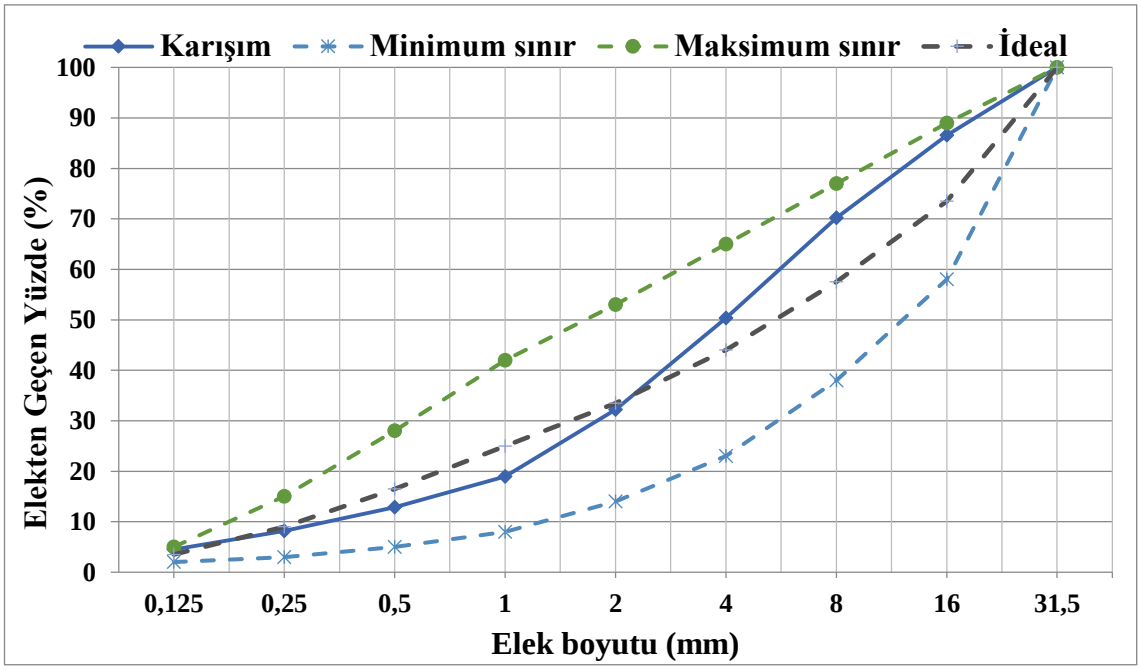
Çizelge 3.2. Karışımlarda kullanılan agregaların fiziksel özellikleri

Boyut (mm)	Özgül Ağırlık	Su Emme Kapasitesi (%)
0-5	2,64	1,2
5-12	2,68	0,4
12-22	2,69	0,3

Çizelge 3.3. Karışımlarda kullanılan agregaların elek analizi

Elek göz açıklığı (mm)	0-4 mm (Elekten Geçen, %)	4-12 mm (Elekten Geçen, %)	12-22 mm (Elekten Geçen, %)
22	100	100	97
16	100	97	22
11.2	100	85	2
8	100	43	0
5.6	97	13	0
4	87	4	0
2	58	0	0
1	41	0	0
0.5	32	0	0
0.250	23	0	0
0.150	5	0	0

Beton karışımında kullanılan agregaların gradasyon eğrisi ve TS EN 206 Standardının önerdiği sınırlar Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Şekil 3.1'den de anlaşıldığı gibi, agrega karışımlarının gradasyon eğrisi ilgili standart limitleri arasında ve ideal eğriye yakın olmuştur.



Şekil 3.1 Deneylerde kullanılan agregaların gradasyon eğrisi ve TS EN 206 Standart limitleri

3.2.3. Yüksek oranda su azaltıcı katkı

Beton karışımlarında istenilen çökme değerlerini sağlamak için farklı oranlarda tek tip Polikarboksilat-eter esaslı yüksek oranda su azaltıcı katkı kullanmıştır. Kullanılan ticari su azaltıcı katkının üretici firma tarafından verilen bazı özellikleri Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Su azaltıcı katkıya ait özellikler

Tip	Yoğunluk (gr/cm^3)	pH Değeri	Klorür İçeriği (%)	Alkali İçeriği Na_2O (%)
Polikarboksilat Eter Esaslı	1.097	3.82	<0.1	<10

3.2.4. Su

Beton karışımlarının üretiminde ve bakımında içme şebeke suyu kullanılmıştır.

3.2.5. Polipropilen lif

Lif içeren karışımlarda toplam hacminin %0,1 ile %0,5'i aralığında 5 farklı oranda tek tip makro sentetik polipropilen lif kullanılmıştır. Kullanılan liflerin üretici firmadan temin edilen bazı özellikleri Çizelge 3.5'te verilmiştir. Çalışmada kullanılan polipropilen life ait görünüm Şekil 3.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.5. Polipropilen liflerin mekanik ve fiziksel özellikleri

Yoğunluk (gr/cm^3)	0.91
Genişlik (mm)	1.2±0.2
Boy (mm)	50±2
Çap (mm)	0.39



Şekil 3.2. Kullanılan polipropilen lifin şekli

3.2.6. Karışım oranların belirlenmesi

Çalışmada lif içermeyen kontrol karışımına ilaveten hacimce %0,1 ile %0,5'i aralığında 5 farklı oranda makro sentetik polipropilen lif kullanılarak toplamda 6 farklı beton karışımı üretilmiştir. Tüm karışımların su/çimento oranı, çimento dozajı ve çökme değerleri sırasıyla, 0.5, 390 kg/m^3 ve 18±2 cm olarak sabit tutulmuştur. 18±2 cm olan hedef çökme değerini sağlamak için farklı oranlarda su azaltıcı katkı kullanılmıştır. 1 m^3

beton üretiminde kullanılan malzeme miktarları Çizelge 3.6'da verilmiştir. Karışımların isimlendirmesi lif oranına göre belirlenmiştir. Örneğin polipropilen lif içermeyen kontrol karışım 'K' ile gösterilirken polipropilen lif içeren karışım 'PL' ile gösterilmiştir. Bu bağlamda, %0,1 oranında lif içeren karışım PL01 ve %0,2 oranında lif içeren karışım PL02 olarak simgelenmiştir.

Çizelge 3.6. 1 m^3 beton üretimi için gereken malzeme miktarlar (kg/m^3)

Karışım kodu	Çimento (kg/m^3)	Su (kg/m^3)	Agrega			KK□	Lif (kg/m^3)	Çökme (cm)
			0-5 mm	5-12 mm	12-22 mm			
K	390	195	943	441	372	0.5	-	17
PL01	390	195	941	441	372	0.75	0.91	17
PL02	390	195	940	440	371	1.00	1.82	16
PL03	390	195	936	438	370	1.25	2.73	17
PL04	390	195	937	439	370	1.50	3.68	17
PL05	390	195	936	438	370	1.75	4.55	17

KK□: Kimyasal katkı

3.2.7. Karışımların hazırlanması

Çalışma başlangıcında polipropilen lif kullanım oranının hacimce %0,6 ile %1'i aralığında düşünülmüştür. Ancak, söz konusu oranlarda karışıma lif ilavesiyle topaklaşmanın oluştuğu gözlemlenmiştir. Bundan dolayı lif kullanım oranının %0,1 ile %0,5'i aralığında seçilmiştir. Karışımların üretiminde Şekil 3.3'te gösterilen Pan Tipi Beton Mikseri kullanılmıştır. Beton karışımlarının mikserde hazırlanması TS EN 14845-1 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Söz konusu standarda göre

miksere sırasıyla, agrega malzemeleri eklenip karışım suyunun yarısı ilave edilerek 2 dakika karıştırılmıştır. Islak karışıma çimento ve lif eklenip 30 saniye daha karıştırılıp geri kalan karışım suyuna yüksek oranda su azaltıcı katkı ilave edilerek 1 dakika daha karıştırılmıştır. Tüm karışımlar için karıştırma süresi toplamda 5 dakika olarak sabit tutulmuştur.



Şekil 3.3. Beton üretiminde kullanılan Pan Tipi Beton Mikseri

Hazırlanan karışımlar TS EN 12390-2 standardına uygun olarak kalıplara yerleştirilmiştir. Şekil 3.4'te de görüldüğü gibi numuneler dökümden sonra 24 saat kalıpta bekletilmiştir. Kalıptan çıkartılan numuneler sıcaklığı 23±2 °C olan kür havuzunda deney gününe kadar bekletilmiştir.



Şekil 3.4. Dökümden sonra 24 saat kalıpta bekletilen numuneler

3.3. Çalışmada Uygulanan Deneyler

3.3.1. Taze hal deneyleri

Bu çalışma kapsamında taze hal özelliği olarak beton karışımlarının çökme miktarı ölçülmüştür.

Çökme deneyi

Hazırlanan beton karışımlarının çökme deneyi TS EN 12350-2 ve ASTM C143 standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Çökme deneyi yardımıyla taze betonun işlenebilirliğinin saptanması amaçlanmıştır. Bu deneyde taze beton, Abrams hunisi (çökme hunisi) içerisinde ölçüleri belli olan üç tabaka şeklinde doldurulmuştur. Her tabaka düz çelik bir çubuk yardımıyla 25 kez şişlenmiştir. Daha sonra, üst tabakanın şişlenerek sıkıştırılmasının ardından Abrams hunisi yukarı doğru çekilerek taze beton kütlesindeki çökme değeri cetvel yardımıyla ölçülmüştür. Lif içermeyen karışımların çökme değerleri, polipropilen lif içeren karışımların çökme değerleri ile karşılaştırılarak, polipropilen liflerin eklenmesinin betonun işlenebilirliği üzerinde nasıl bir etki yaptığı araştırılmıştır. Hedef çökme değerini sağlamak için değişik oranlarda su azaltıcı katkı kullanılmıştır. Burada örnek olarak polipropilen lif içermeyen ve lifli karışıma ait çökme deneyi görünümü sırasıyla, Şekil 3.5 ve 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Lif içermeyen kontrol karışımın çökme deneyi



Şekil 3.6. Lif içeren karışımların çökme deneyi

3.3.2. Sertleşmiş hal deneyleri

Daha önce belirtildiği gibi sertleşmiş özellik olarak beton karışımların basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, eğilme dayanımı, elastisite modülü, aşınma direnci, su emme kapasitesi ve kuruma büzülme davranışı incelenmiştir.

Basınç deneyi

28 gün boyunca 23±2 °C sıcaklığa sahip kür havuzunda bekletilen numuneler üzerinde basınç dayanımı deneyi gerçekleştirilmiştir. Karışımların basınç dayanımı TS EN 12390–3 "Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini" standardına göre 100 mm'lik küp numuneler üzerinde uygulanmıştır. Uygulanan gerilme hızı saniyede 0.15-0.35 N/mm^2 olacak şekilde ayarlanan bir test presi kullanılarak numunelerin kırılma yükü belirlenmiştir. Elde edilen yük, beton numunelerde yükün uygulandığı alana bölünerek basınç dayanımı hesaplanmıştır. Beton numunelerin basınç dayanım deneylerinin yapılışı Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



a **b**

Şekil 3.7. TS EN 12390–3 Standardına göre basınç dayanımı ölçümü
a) basınç deney cihazı b) uygulanna yük altında kırılan numune

Yarmada-Çekme deneyi

Beton numunelerinin doğrudan çekme dayanımının belirlenmesi çok zor olduğundan karışımların çekme dayanımı yaramda-çekme deneyi ile dolaylı elde edilmiştir. Beton karışımlarının yarmada-çekme dayanımı TS EN 12390–6 "Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 6: Deney Numunelerinde Yarmada Çekme Dayanımının Tayini'' standardına göre 28 gün standart bir şekilde suda kürlenen 100 mm'lik küp numuneler üzerinde uygulanmıştır. Yarmada-çekme deneyine ait görünüm Şekil 3.8 de gösterilmiştir.

Numunelerin yaramda-çekme dayanımı Denklem 3.1'e göre elde edilmiştir.

$$\sigma = \frac{2P}{\pi \times \alpha^2} \tag{3.1}$$

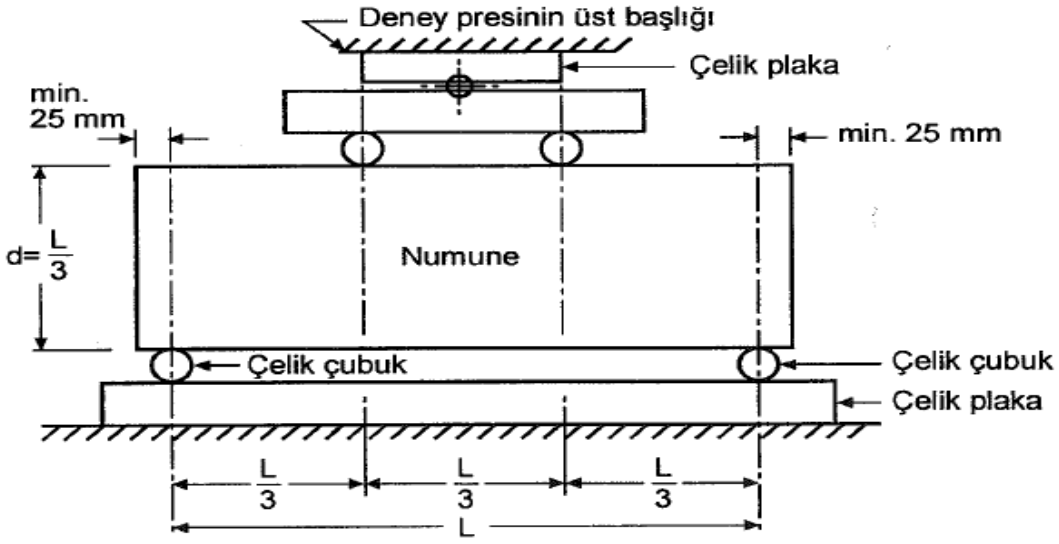
Burada, P uygulanan basınç yükü (N), a küp kenarlarının uzunluğunu (mm) ifade etmektedir.



Şekil 3.8. Küp numunenin yarmada-çekme deneyinde kırılma biçimi

Eğilme deneyi

Beton karışımlarının eğilme dayanımı deneyi ASTM C78 standardına uygun olarak 28 gün standart bir şekilde suda kürlenen numuneler üzerinde gerçekleştirilmiş ve deney düzeneği Şekil 3.9 da gösterilmiştir. Bu test için 100x100x500 mm boyutlarında kirişler üretilmiştir.



Şekil 3.9. ASTM C78 Standardına göre eğilme dayanımının belirlenmesi için deney düzeneği

Numunelerin eğilme dayanımlarının belirlenebilmesi için prizmatik kiriş numunelere 1 cm derinliğinde çentik açılarak dört noktalı eğilme deneyleri uygulanmıştır. Çentiklere yerleştirilen çatlak ağız açılma deplasmanı ölçer cihazın kullanması ile deney esnasında numunelerde yükleme kaynaklı oluşan çatlak genişliği kontrol edilmiştir. Tez çalışmasında kullanılan deney düzeneği Şekil 3.10'de gösterilmiştir. Deney sırasında aynı anda yük-sehim eğrisi "Load-Deflection" ile çatlak ağzı açılma deplasmanı (ÇAAD) ise "çatlak ağız açılma deplasmanı ölçer" ile ölçülmüştür.

Çentikli numunelerin eğilmede çekme dayanımı Denklem 3.2'e göre hesaplanmıştır.

$$\sigma = \frac{F \times L}{B \times (H-\alpha)^2} \tag{3.2}$$

Burada, σ eğilmede çekme dayanımını (N/mm^2), F deney makinesinde kırılma anındaki en büyük yükünü (N), L kırılma kesitinin mesnet açıklığını (mm), B kırılma kesitinin genişliğini (mm), H kırılma kesitinin yüksekliğini (mm), α kırılma kesitinin çentik derinliğini ifade etmektedir.

Ayrıca numunelerin kırılma enerjisi değerleri RILEM TC 50-FM'nin önerileri göre yük-sehim eğrisi altında kalan alanından Denklem 3.3'e göre hesaplanmıştır.

$$G_{F=\frac{W_{0+m.g.\delta_0}}{A_{lig}}} \tag{3.3}$$

Burada, G_f numunelerin kırılmaenerjisini (Joule/m^2), W_0 yük-sehim altında kalan alanı (N/m), m kiriş numunenin mesnetleri arasında kalan kısmın ağırlığını (N), g yer çekimi ivmesini (9,81 m/sn^2), A_{lig} ise kirişin göçme anında açıklığın ortasındaki sehim ve etkin kesit alanını (A_{lig}=(H -a).B) ifade etmektedir.



Şekil 3.10. Dört noktalı eğilme deneyin düzeneği

Elastisite modülü deneyi

Elastisite modülü deneyi ASTM C469 standardına uygun olarak 28 günlük 100x200 mm'lik silindir numuneleri üzerinde uygulanmıştır. Numunelerin elastisite modülleri basınç yüklemesi uygulanarak $\boldsymbol{\sigma - \varepsilon}$ grafiğinde eğrinin %40'lık kısmının eğiminden Denklem 3.4'e göre hesaplanmıştır. Elastisite Modülüne ait deney düzeneği Şekil 3.11'de gösterilmiştir.

$$\mathrm{E} = \frac{\sigma}{\varepsilon} \tag{3.4}$$

Burada, E elastisite modülü, **σ** gerilme (MPa), *ε* birim deformasyonunu (mm) ifade etmektedir.



Şekil 3.11. Elastisite modülü deney düzeneği

Böhme aşınma deneyi

Karışımların aşınma direnci BS EN 1338:2003 Annex-H Böhme Testi standardına uygun olarak 71mmx71mmx71mm küp numuneler üzerinde belirlenmiştir. Numuneler Böhme testi uygulamadan önce 24 saat boyunca 105±5°C sıcaklığa sahip etüvde bekletilmiştir. Kuru numuneler oda sıcaklığına gelene kadar açık havada bekletildikten hemen sonra aşınma deneyine tabı tutulmuştur. Böhme aşınma cihazı Şekil 3.12'de gösterildiği gibi 30±1 devir/dakika hızında dönen, 300 N yük seviyesi uygulayabilen ve 750 mm çapı olan bir dönen çelik diskten oluşmaktadır. İlk aşamada 20g Korondum (Al_2O_3) kökenli aşınma tozu 750 mm çapı olan diskin üzerinde yerleştirmiştir. Test uygulanmadan önce numunelerin yoğunluğu 0.1 mm ve ağırlığı 0.1 gr hassasiyetli ile ölçülmüştür. Daha sonra küp numuneler 300 N sabit yük ve 30±1 devir/dakika dönüş hızı altında 22 devirden oluşan 16 aşınma döngüsüne tabi tutulmuştur. Numuneler her 22 devirde bir 90° döndürülmüş üzerine 20g aşındırma tozu eklenerek aşınmaya maruz bırakılmıştır. Her 4 döngüden bir numunelerin ağırlığı ve yoğunluğu ölçülmüştür. 16 aşınma döngüsü sonunda numunelerin toplam ağırlık kaybı Denklem 3.5'e göre hesaplanmıştır.

$$\Delta V=\Delta m/\rho_R \quad (3.5)$$

Burada, ΔV 16 döngüden sonra numunenin hacim kaybını ($cm^3/50\ cm^2$), Δm numunenin 16 döngüden sonra kütle kaybını (g), ρ_R numunenin yoğunluğunu (g/mm^3) ifade etmektedir.



Şekil 3.12. Numunelerin Böhme aşınma deney yapılışı

Su emme kapasitesi deneyi

Beton karışımların su emme kapasitesi 100 mm'lik küp numuneler üzerinde ASTM C642-97 standardına göre hesaplanmıştır. Numunelerin su emme oranları Denklem 3.6'e uygun olarak hesaplanmıştır.

$$m = \frac{b-a}{a} \times 100 \quad (3.6)$$

Burada, b numunelerin suya doygun yüzey kuru ağırlığı, a numunelerin etüv kurusu ağırlığını ifade etmektedir.

Kuruma rötresi deneyi

Beton karışımlarının kuruma büzülme kaynaklı boy değişimi ASTM C157 standardına uygun olarak 75mm x 75mm x 285mm prizmatik numuneler üzerinde belirlenmiştir. Bu amaçla, numuneler dökümden 24 saat sonra kalıptan çıkarılmış, %95±5 bağıl nem ve 23±2°C sıcaklığa sahip suda 48 saat boyunca kürlenmiştir. Daha sonra kirece duygun sudan çıkartılıp sıcaklığı 20°C ve bağıl nemi %55±3 olan iklimlendirme kabininde 28 gün boyunca bekletilmiş ve belirli günlerde boy değişim ölçümleri alınmıştır. Numunelerin 28 gün boyunca boy değişimi Denklem 3.7'de gösterildiği gibi hesaplanmıştır. Numunelerin kuruma rötresine ait ölçüm düzeneği Şekil 3.13'te gösterilmiştir.

$$S = \frac{L_1 - L}{L_0} \times 100 \tag{3.7}$$

Burada, S numunenin boy değişim yüzdesini, L_1 kür havuzundan çıkartılmış numunenin ilk boy ölçümü değerini, L numunenin sonraki günlerde boy ölçümü değerini, L_0 numunenin efektif ölçüm boyunu ifade etmektedir.



Şekil 3.13. Numunelerin kuruma rötresine ait ölçüm düzeneği

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1.Taze Hal Deney Sonuçları

Daha önce de vurgulandığı gibi çalışmada taze hal özelliği kapsamında beton karışımların çökme değerleri ölçülmüştür. Karışımların çökme değeri ve su azaltıcı katkı gereksinimi Çizelge 4.1'de verilmiştir. Her değer üç ölçümün ortalamasını göstermektedir.

Çizelge 4.1. Beton karışımların çökme ve su azaltıcı katkı değerleri

	K	**PL01**	**PL02**	**PL03**	**PL04**	**PL05**
Çökme (mm)	170	170	160	170	170	170
Su azaltıcı katı (Kg)	0,5	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75

Tüm karışımlarda çökme değeri 180±20 mm olarak sabit tutulmuştur. Hedef yayılma değerini sağlamak için su azaltıcı katkı gereksinimi değişmiştir. Kontrol karışımına polipropilen lif ilavesiyle hedef yayılmayı sağlamak için su azaltıcı katkı gereksinimi artmıştır. Bu etki lif kullanım oranının artışıyla daha da belirgin olmuştur. Örneğin

kontrol karışımına kıyasla %0,5 oranında lif içeren PL05 karışımında hedef yayılma değerini sağlamak için 2,5 kat daha fazla su azaltıcı katkı kullanılmıştır. Bu olay polipropilen lif kullanım oranının artışıyla karışımlarda topaklaşma riskinin fazla olacağından kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.2. Sertleşmiş Hal Deney Sonuçları

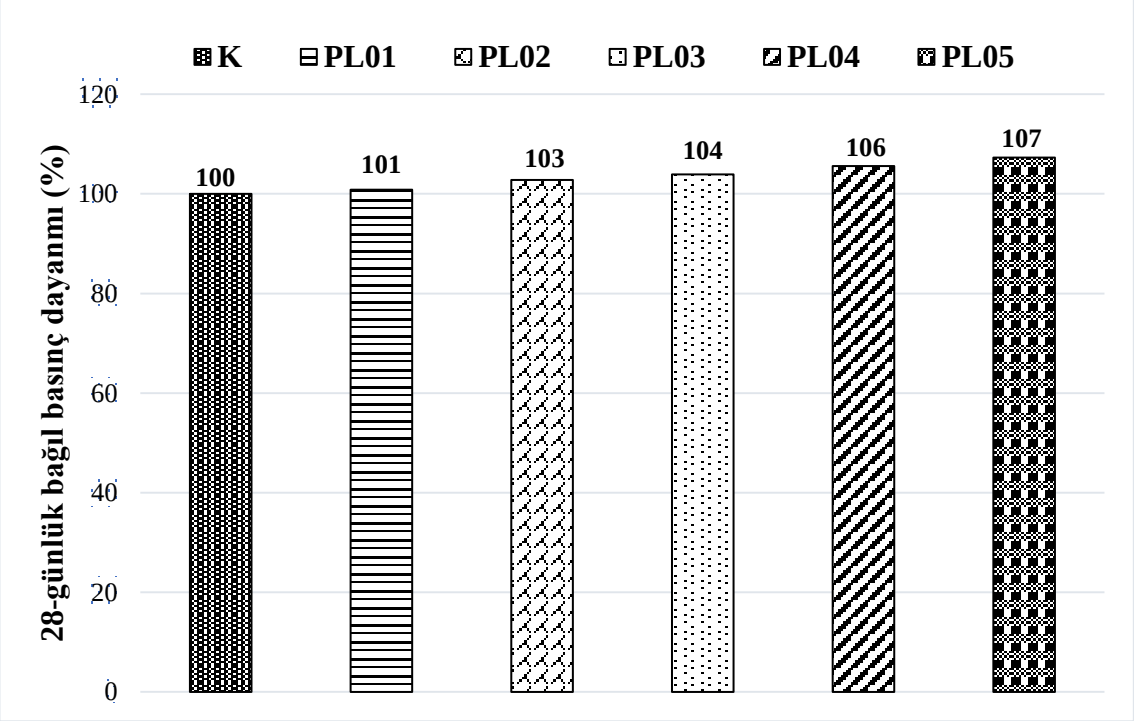
4.2.1. Basınç dayanımı deneyi sonuçları

Karışımların 28-günlük basınç dayanımı sonuçları Çizelge 4.2'de gösterilmiştir. Ayrıca, kontrol karışımına kıyasla lifli karışımların 28-günlük bağıl basınç dayanım değerleri Şekil 4.1'de verilmiştir. Her değer üç ölçümün ortalamasını ifade etmektedir.

Çizelge 4.2. Beton karışımların 28-günlük basınç dayanımı (MPa)

K	PL01	PL02	PL03	PL04	PL05
35,80	36,10	36,80	37,20	37,80	38,41

Sonuçlardan anlaşıldığı gibi lif kullanım oranının artışıyla karışımların basınç dayanımı değerlerinde az da olsa bir miktar artış gözlemlenmiştir.



Şekil 4.1. Beton karışımların 28-günlük bağıl basınç dayanımı

Şekil 4.1'den anlaşıldığı gibi lifli karışımlar kontrol karışıma kıyasla yaklaşık %1-%7 arası daha yüksek basınç dayanımı göstermiştir. Polipropilen lif kullanımı ile beton karışımlarının basınç dayanımını hem olumlu (Qian ve Stroeven 2000, Subaşı 2003, Bahadir 2010) hem de olumsuz (Alkan 2004, Şahin 2007, Leong 2020) etkilediği diğer araştırmacılar tarafından bildirilmiştir.

Mardani-Aghabaglou ve ark. (2018) lif kullanımı ile karışımlarda oluşacak olası topaklaşma sebebiyle basınç dayanımının olumsuz etkilendiği vurgulanmıştır. Öte yandan basınç yükü altında numunelerde oluşacak yanal deformasyonların lif tarafından bir miktar engelleneceği gerekçesi ile dayanımının olumlu etkilendiği söylenmiştir.

Beton karışımlarının basınç dayanımı açısından optimum polipropilen lif kullanım oranının hacimce %0,5 olduğu tespit edilmiştir.

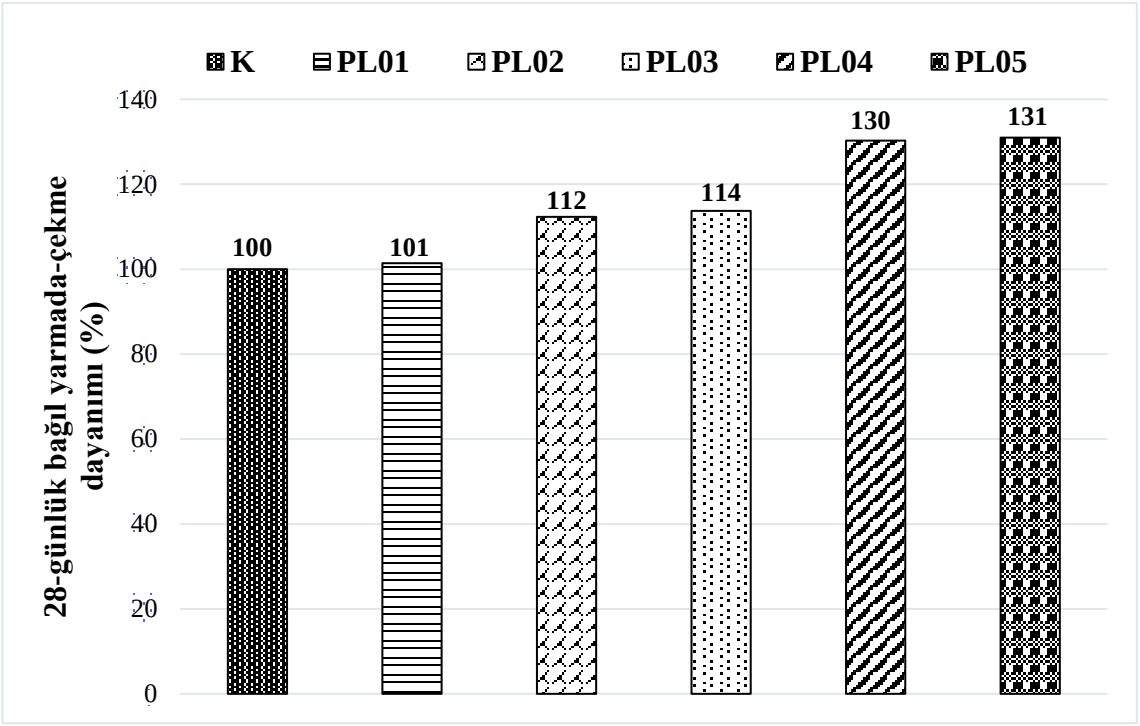
4.2.2. Yarmada çekme deneyi sonuçları

28-günlük beton numunelerin yarmada çekme deney sonuçları Çizelge 4.3'te verilmiştir. Ayrıca, kontrol karışımına kıyasla lifli karışımların 28-günlük bağıl yarmada-çekme dayanım değerleri Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Her değer 3 ölçümün ortalamasını göstermektedir.

Çizelge 4.3. Beton karışımların yarmada çekme dayanımları (MPa)

K	PL01	PL02	PL03	PL04	PL05
2,84	2,88	3,19	3,23	3,70	3,72

Sonuçlardan da anlaşıldığı gibi, beton karışımlarına polipropilen lif ilavesiyle karışımların yarmada-çekme dayanımlarında artış gözlemlenmiştir. Bu etkinin lif oranının artışıyla daha da bariz olduğu anlaşılmıştır. Lifli karışımların kontrol karışımına kıyasla %1-31 arasında daha yüksek yarmada-çekme dayanımına sahip olduğu Şekil 4.2'den de anlaşılmıştır.



Şekil 4.2. Karışımların 28-günlük bağıl yarmada çekme dayanımları

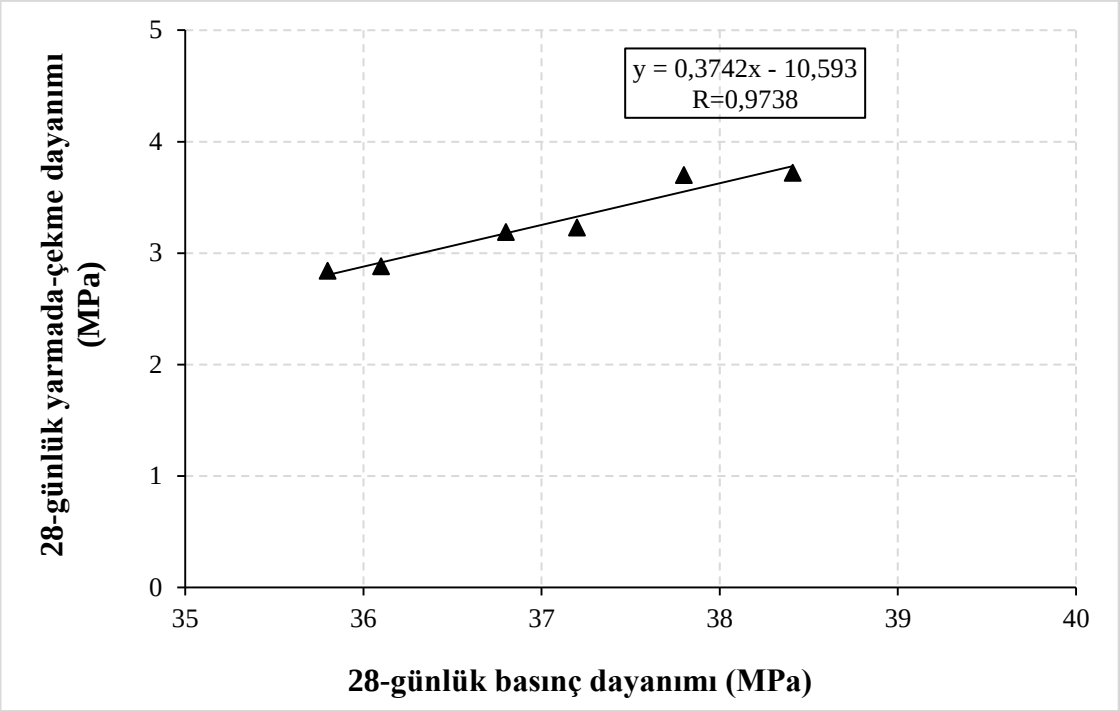
Beton karışımlarda polipropilen lifin kullanılması numunelerde yükleme esnasında oluşan mikro-çatlakların gelişmesini engelleyerek yarmada çekme ve eğilme dayanımı gibi mekanik özelliklerini olumlu yönde etkilemektedir (Qian ve Stroven 2000, Karahan 2006, Sun ve Xu 2009, Bahadır 2010). Şekil 4.3'te görüldüğü gibi kontrol numuneler yarmada çekme deneyine maruz kaldığında iki parçaya ayrılmıştır. Ancak polipropilen lif içeren karışımlarda tam olarak iki parçaya ayrılma olmamıştır. Lifli karışımların yarmada-çekmeden dolayı kırılması sünek ve kademli olmuştur.



a **b**

Şekil 4.3. Yarmada çekme deneyi sonrası numunelerin kırılma biçimi
a. Kontrol numuneleri b. Lif içeren numuneleri

Beton karışımların 28-günlük basınç ve yarmada-çekme dayanımı arasındaki ilişki Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Şekil 4.4'ten anlaşıldığı gibi lif kullanımından bağımsız olarak beton karışımların 28-günlük basınç ve yarmada-çekme dayanımları arasında doğrusal güçlü bir ilişkinin mevcut olduğu Şekil 4.4'ten anlaşılmaktadır.



Şekil 4.4. Beton karışımların 28-günlük basınç ve yarmada-çekme dayanımı arasındakı ilişki

4.2.3. Eğilme deneyi sonuçları

Beton karışımlarının 28-günlük eğilme dayanımı ve kırılma enerjisi değerleri Çizelge 4.4'te verilmiştir. Ayrıca, kontrol karışımına kıyasla karışımların 28-günlük bağıl eğilme dayanım değerleri Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Her değer üç ölçümün ortalamasını göstermektedir.

Çizelge 4.4. Eğilme deney sonuçları

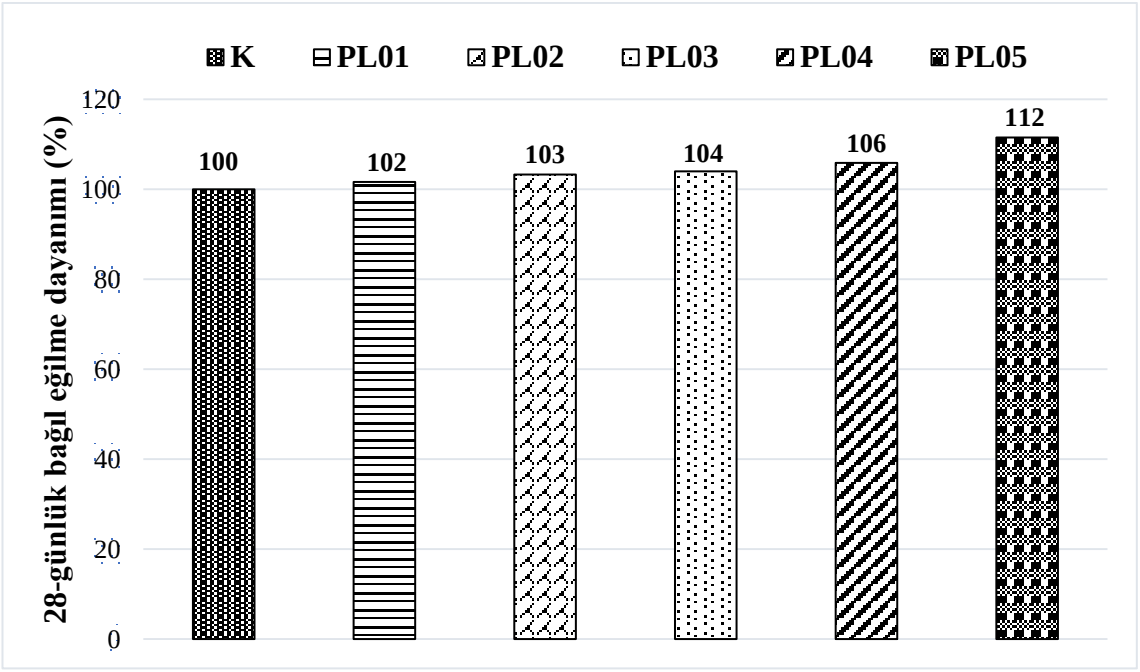
	K	**PL01**	**PL02**	**PL03**	**PL04**	**PL05**
Kırılma Enerjisi (J/m^2)	47	545	896	1337	2377	2978
Eğilme Dayanımı (MPa)	4,25	4,32	4,39	4,42	4,50	4,74

Sonuçlardan da anlaşıldığı gibi, karışımlara lif ilavesi ve lif kullanım oranın artışıyla eğilme dayanımında ve kırılma enerjisinde artış tespit edilmiştir. Eğilme dayanımı ve

kırılma enerjisi açısından %0,50 polipropilen lif içeren PL05 karışımı en iyi performansı sergilemiştir.

Çizelge 4.4' değerlerden anlaşıldığı gibi lifli karışımların kırılma enerjisi kontrol karışımına kıyasla 11 ile 63 kat aralığında daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Karışımlara lif eklenmesi çatlak gelişimin azalmasında önemli katkı sağlanmıştır. Lif içeren karışımların kırılma enerjilerinde önemli derecede artışlar gözlemlenmiştir. Bu etki lif oranın artışıyla daha da belirgin hala gelmiştir.

Geleneksel beton gerilme altında sınırlı miktarda deformasyon yapabilir ve yük artımı sonucunda sistem göçer. Lifler ise çatlakların gelişmesini sınırlı mertebede tutup gerilme transferi ile daha fazla deformasyon yapma yeteneğini sağlarlar (Karahan 2006). Karışıma polipropilen lif ilavesiyle kırılma enerjisin önemli ölçüde artırdığı diğer araştırmacılar tarafından (Alkan 2004, Zhang ve Li 2013, Madhavi 2014 ve Wang ve ark. 2019) da bildirilmiştir.



Şekil 4.5. Beton karışımların bağıl eğilme dayanımı (%)

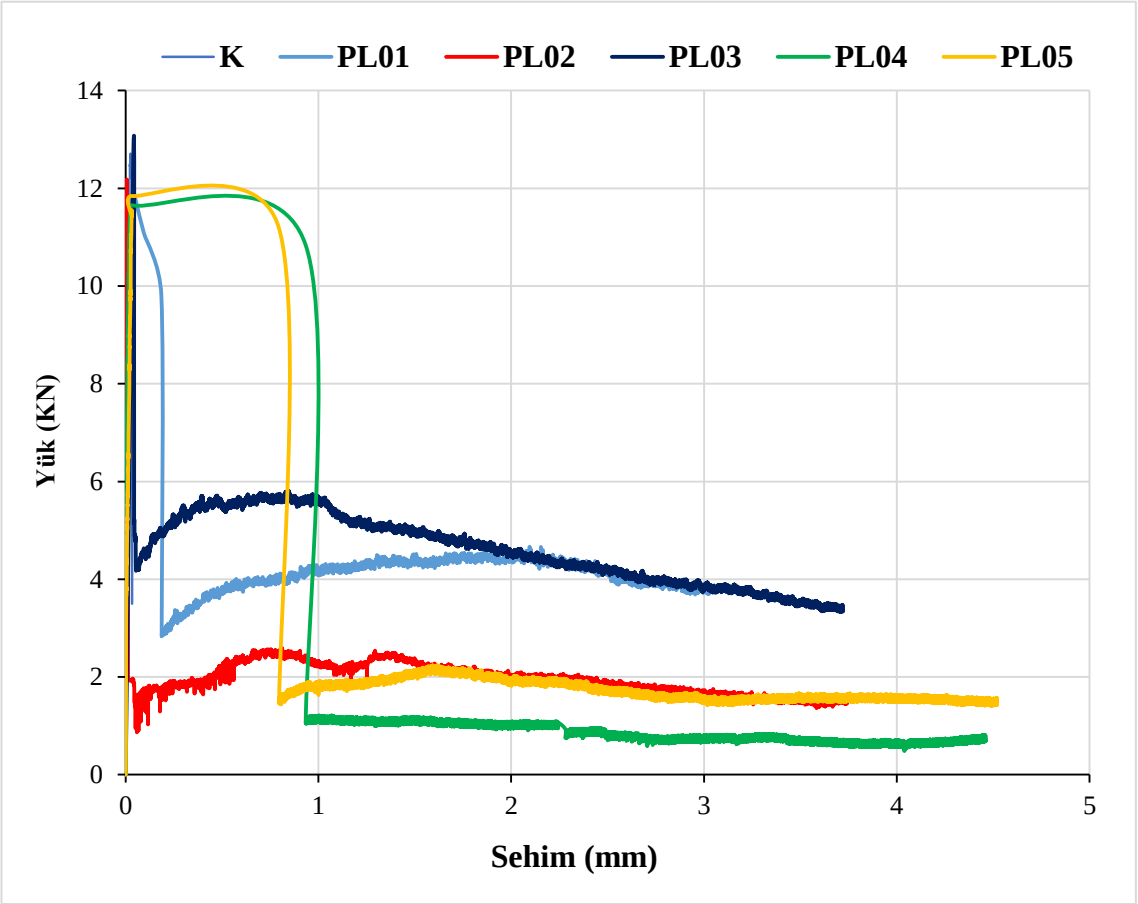
Şekil 4.5'te de gösterildiği gibi polipropilen lifli karışımların eğilme dayanımının kontrol karışımına kıyasla %2-%12 oranında daha fazla olduğu anlaşılmıştır.

Mardani-Aghabaglou ve ark. (2018) lifli karışımların eğilme dayanımı, yarmada-çekme dayanımı ve enerji yutma kapasitesinin lif türüne, uzunluğuna ve karışımda hangi yönde ve nasıl dağıldığına bağlı olarak değiştiğini vurgulamışlardır. Aynı zamanda, karışımlarda kısa liflerin kullanılması, mikro çatlakların gelişmesini önleyerek betonun eğilme dayanımını arttırdığını bildirmişlerdir.

Beton içerisine gelişi güzel bir şekilde dağılmış lifler, köprü vazifesi yaparak matristeki çatlağın gelişimine yol açan gerilmeleri çatlamamış bölgelere transfer ederek, daha yüksek eğilme ve yarmada-çekme dayanımı sağladığı Şimşek (2016) tarafından beyan edilmiştir.

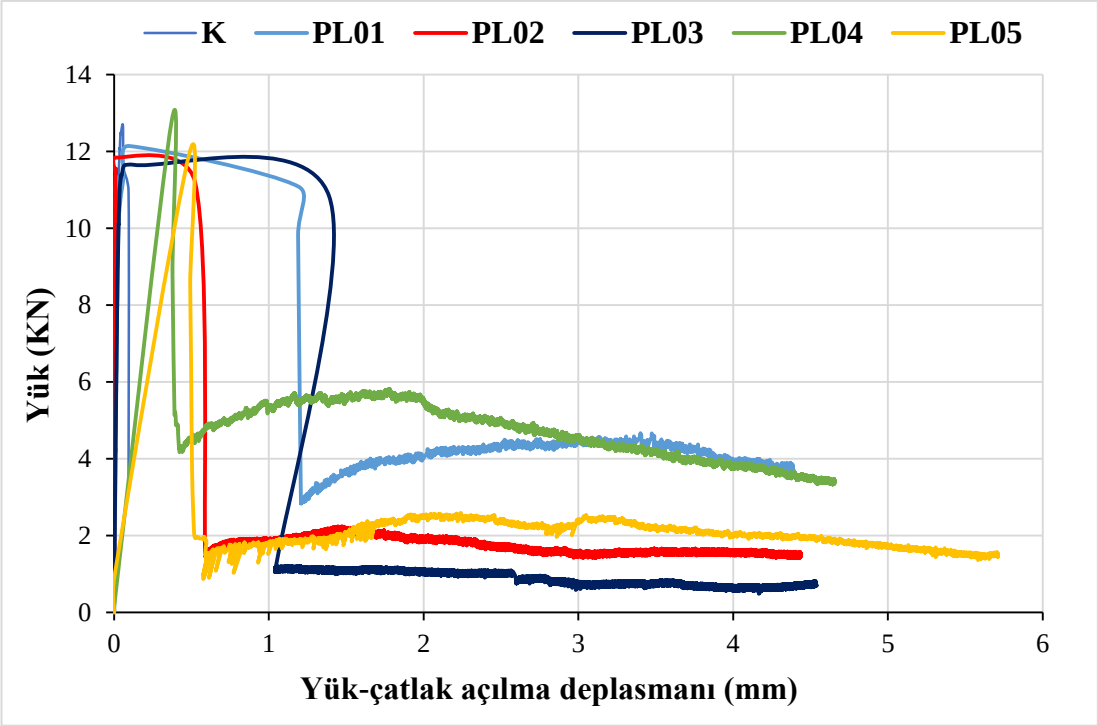
Kontrol ve lif içeren karışımların eğilme dayanımı deneyi durumu için yük-sehim eğrileri Şekil 4.6'de gösterilmiştir. Şekil 4.6'de görüldüğü gibi lif içermeyen karışım dışında tüm lifli karışımların sehim değerleri 3,5 mm'ye kadar uzamıştır.

Kontrol karışımına kıyasla polipropilen lifli karışımların enerji yutma kapasitesinin daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu etki lif kullanım oranının artışıyla daha da belirgin olmuştur. Benzer sonuçlar diğer araştırmacılar tarafından (Tokyay ve ark. 1991, Zeynal 2000, Dirikgil 2009, Zhang ve Li 2013) da ifade edilmiştir.



Şekil 4.6. Kontrol ve lif içeren karışımlarının yük-sehim eğrileri

Dört noktalı eğilme deneyine maruz bırakılan çentikli kiriş numunelerin yük-çatlak ağzı açılma deplasmanı kontrol ve lif içeren karışımlar için Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Beton karışımlarının yük-çatlak açılma deplasman eğrileri

Şekil 4.7'da görüldüğü gibi kontrol karışımı dışında polipropilen lif içeren karışımlarda çatlak ağzı açılma deplasmanı yaklaşık 6 mm değerine kadar ulaşmıştır. Eğilme deneyine maruz kalan çentikli kiriş numunelerin belirli bir sehim gösterdikten sonra matris fazında çatlaklar meydana gelmiştir.

Beton kiriş numunelerinin eğilme deneyine maruz kaldıktan sonra görümü Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Kontrol numunelerinde eğilme deneyine maruz kalan kırılmanın gevrek olduğu Şekil 4.8'den anlaşılmıştır. Ancak, lif içeren karışımlarda polipropilen lifler çatlaklar arasında köprü vazifesi üstlenip çatlağın gelişimini engelleyerek daha sünek bir şekilde kırılmasına sebep olmuştur. Şekil 4.8'de gösterildiği gibi lif içeren karışımların kırılması sünek olduğu için çentik hizasında kiriş numuneler tam olarak iki parçaya ayrılmamıştır.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil 4.8. Hacimsel olarak farklı oranlarda lif içeren karışımların eğilme deneyi sonrası görünümü a) kontrol kiriş b) %0,1 lif içeren kiriş c) %0,2 lif içeren kiriş d) %0,3 lif içeren kiriş e) %0,4 lif içeren kiriş f) %0,5 lif içeren kiriş

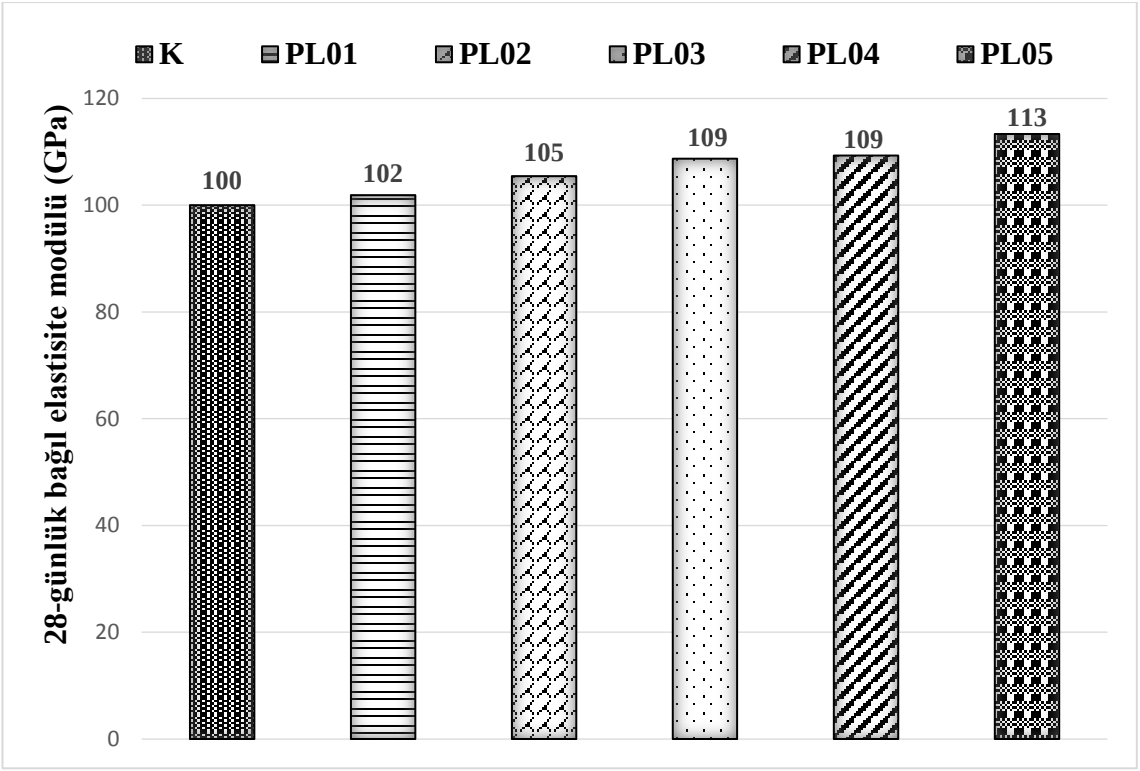
4.2.4. Elastisite modülü deneyi sonuçları

Karışımların 28-günlük elastisite modülü sonuçları Çizelge 4.5'te verilmiştir. Her değer üç ölçümün ortalamasını ifade etmektedir. Ayrıca kontrol karışımına kıyasla karışımların 28-günlük bağıl elastisite modülü sonuçları Şekil 4.9 'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. Beton karışımların 28 günlük elastisite modülü (GPa)

K	PL01	PL02	PL03	PL04	PL05
29,75	30,31	31,37	32,34	32,52	33,72

Literatüre bakıldığında, beton karışımlarında polipropilen lif kullanılması karışımların elastisite modülünü hem olumlu (Karahan 2006, Aly ve ark 2008, Altalabani ve ark 2019) hem de olumsuz (Aulia 2002, Alkan, 2004, Noumove 2005) etkilediği vurgulanmıştır. Ancak, bu çalışmada, Polipropilen lif ilavesinin karışımın elastisite modülü üzerinde kayda değer bir etkisi olmadığı sonuçlardan anlaşılmıştır.

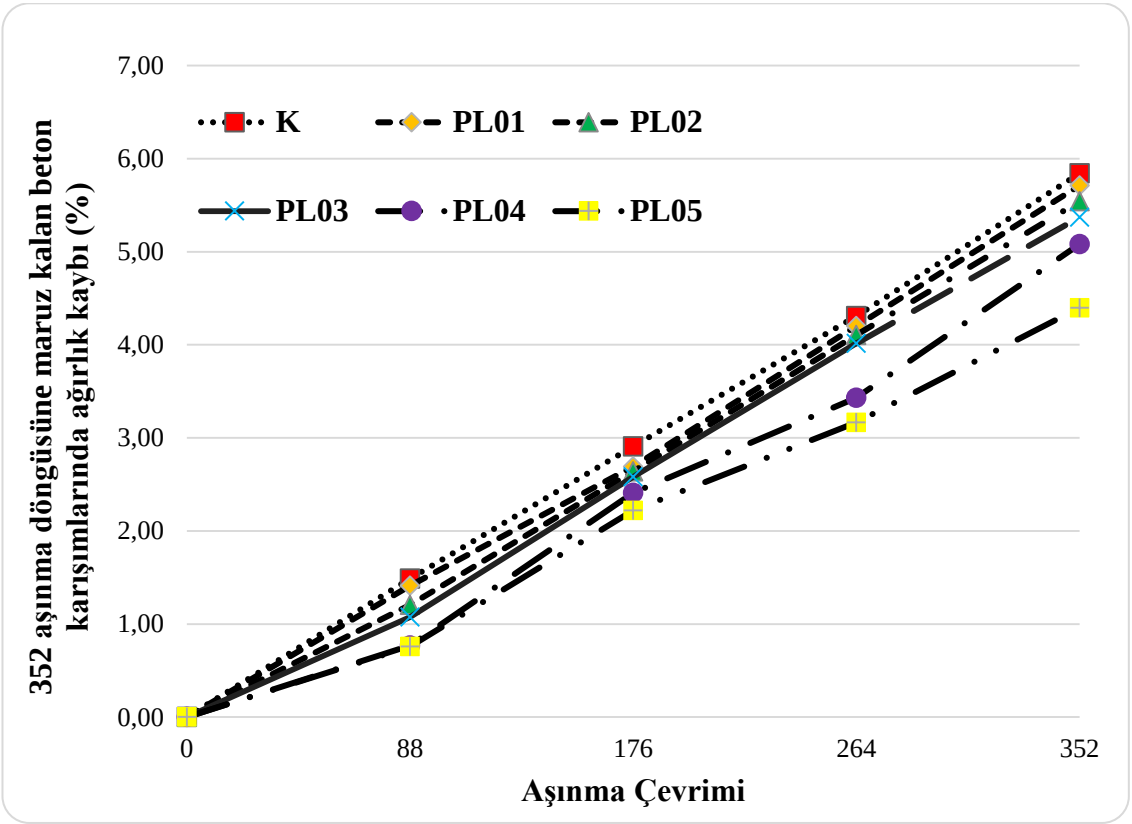


Şekil 4.9. Beton Karışımların 28-günlük bağıl elastisite modülü sonuçları

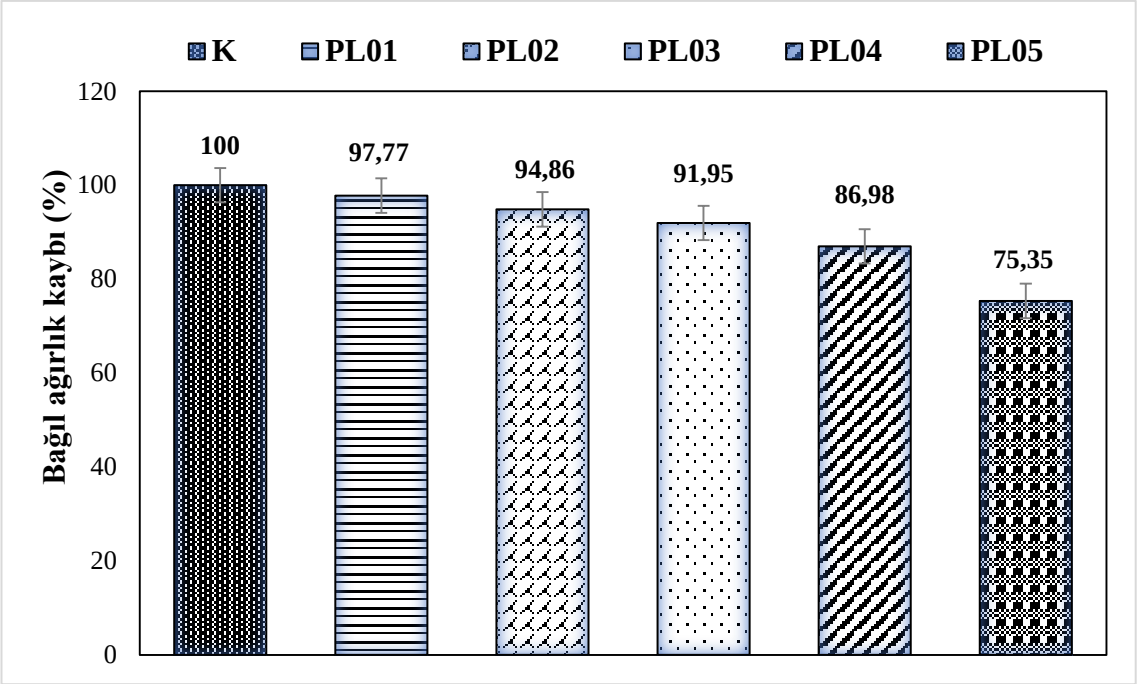
4.2.5. Böhme Aşınma deneyi sonuçları

Beton karışımlarının 352 aşınma çevrimi boyunca ağırlık kaybı değerleri Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Ayrıca, karışımların 352 aşınma çevrimi sonunda kontrol karışımına kıyasla bağıl ağırlık kaybı Şekil 4.11'de gösterilmiştir. Her bir değer üç ölçümün ortalamasını temsil etmektedir. Beklendiği gibi aşınma döngüsü sayısındaki artışla beton karışımlarının kütle kaybı da artmıştır. Söz konusu bu kayıp lif oranının artışı ile azalmıştır.

Şekil 4.11'de gösterildiği gibi 352 aşınma çevrimi sonunda lif içeren karışımların aşınma direnci, kontrol karışımına kıyasla %2-%25 oranında daha fazla olmuştur. Aşınma direnci açısından %0,50 polipropilen lif içeren PL05 karışımın en iyi performansı gösterdiği tespit edilmiştir.

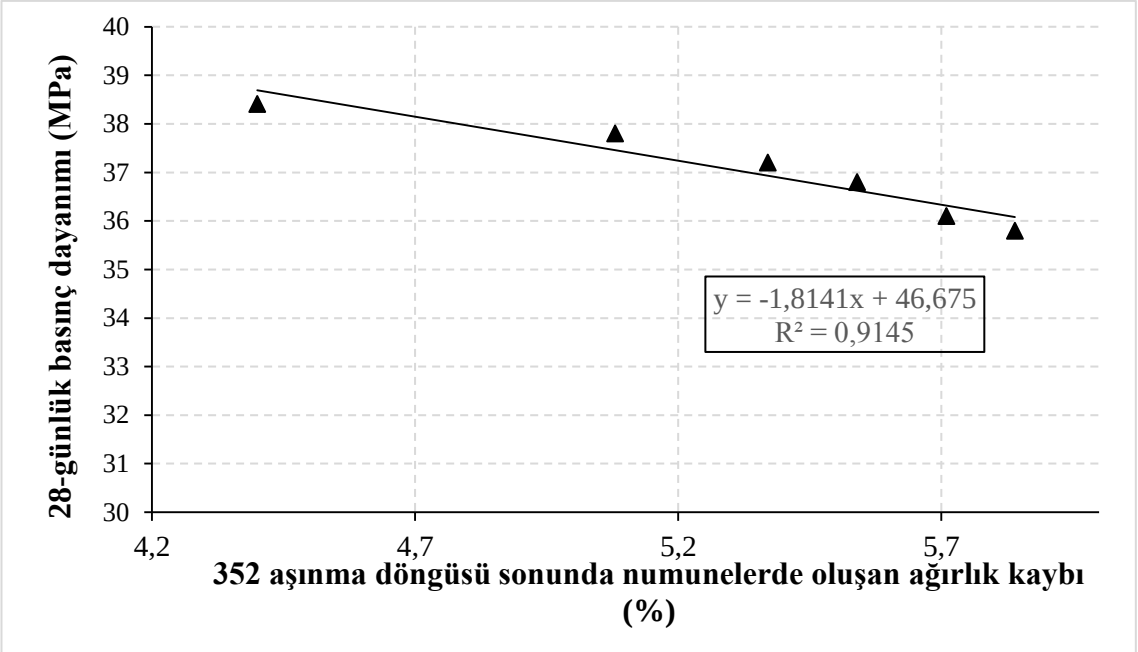


Şekil 4.10. 352 aşınma çevrimi maruz kalan beton karışımlarının ağırlık kaybı değişimi (%)



Şekil 4.11. 352 aşınma döngüsün sonunda beton karışımlarında oluşan bağıl ağırlık kaybı (%)

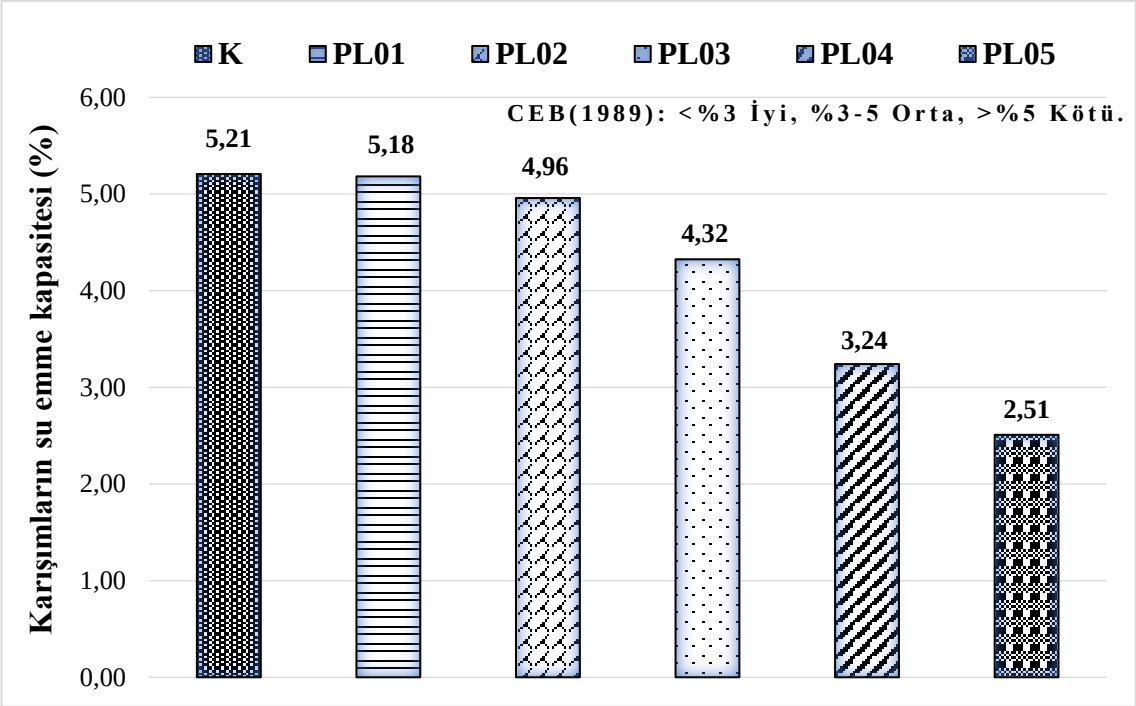
Karışımların 28 günlük basınç dayanımı ve aşınmadan kaynaklanan kütle kaybı değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.12'de gösterilmiştir. Basınç dayanımı yüksek olan beton karışımlarının aşınma dayanımın da yüksek olduğu (Mardani-Aghabaglou 2014) tarafından bildirilmiştir. Şekil 4.12'den de görüldüğü gibi karışımların basınç dayanımı ve aşınmadan kaynaklanan ağırlık kaybı arasında güçlü bir ilişkinin olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4.12. Karışımların 28 günlük basınç dayanımı ve 352 çevrim sonunda numunelerde oluşan aşınmadan kaynaklanan ağrılık kaybı arasındakı ilişki (%)

4.2.6. Su Emme kapasitesi deney sonuçları

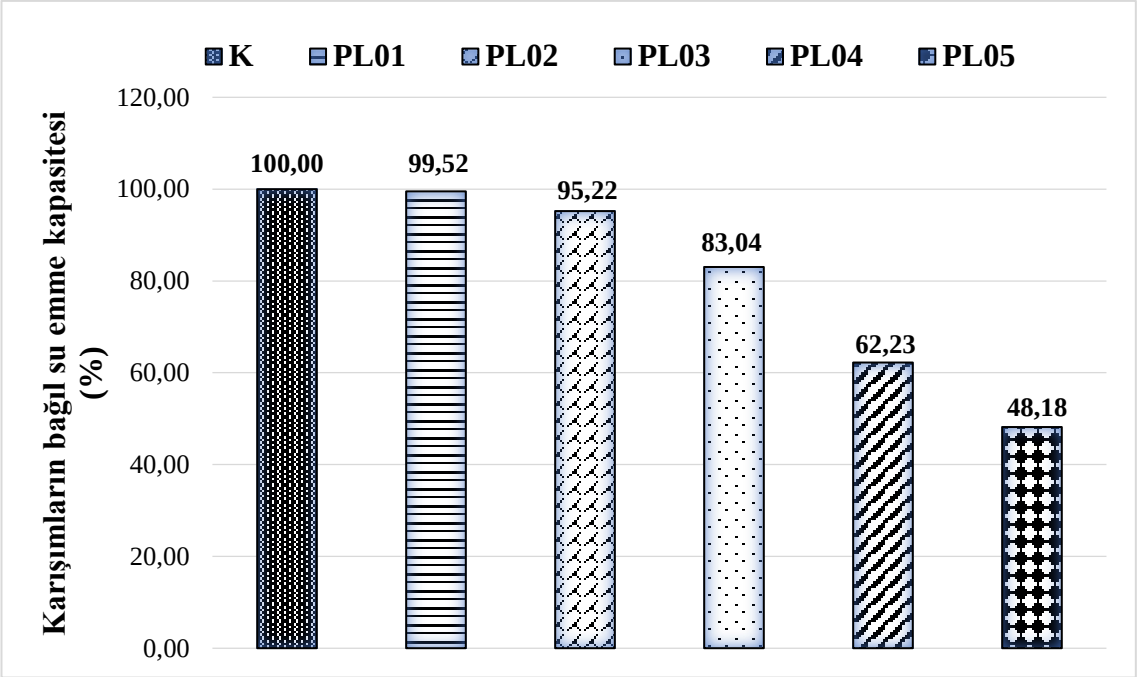
Beton karışımlarının 28-günlük su emme değerleri Şekil 4.13'te verilmiştir. Her bir değer 3 numune ölçümünün ortalamasını ifade etmektedir. Ayrıca, lifli karışımların kontrol karışımına kıyasla bağıl su emme değerleri Şekil 4.14'te verilmiştir. Yapılan su emme deneylerine göre, beton karışımlarda polipropilen lif oranının artmasıyla karışımların su emme değerleri azalmıştır.



Şekil 4.13. Kontrol ve lif içeren karışımlarının su emme kapasitesi

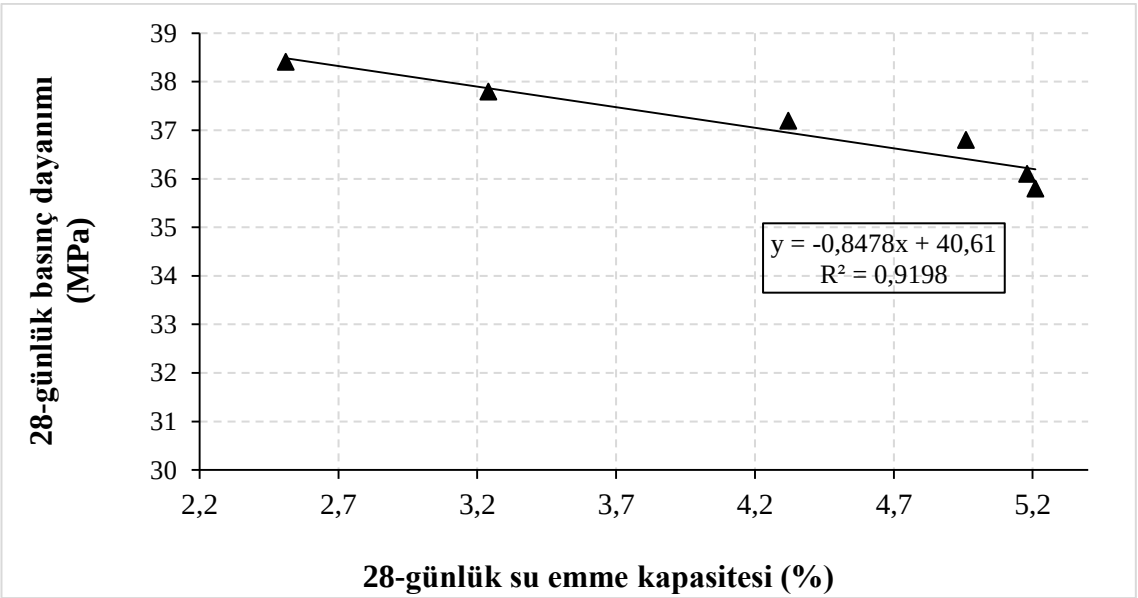
Şekil 4.14'ten de anlaşıldığı gibi, %0,5 polipropilen lif içeren PL05 karışımının su emme değerleri kontrol karışımına kıyasla %50 oranında daha düşük olmuştur. CEB_FIB (1989) sınıflandırmasına göre betonların su emme kapasitesi açısından PL05 karışımı iyi, PL04 ve PL03 karışımları orta, kontrol ve diğer lif içeren karışımlar ise kötü beton olarak değerlendirilmektedir.

Polipropilen lifler karışımlarda büzülmeden dolayı oluşacak çatlaklarını engelleyerek beton içerindeki boşluk yapısını iyileştirip böylece daha az su emme kapasitesinin sağladığını düşünülmüştür.



Şekil 4.14. Beton karışımlarının bağıl su emme kapasitesi (%)

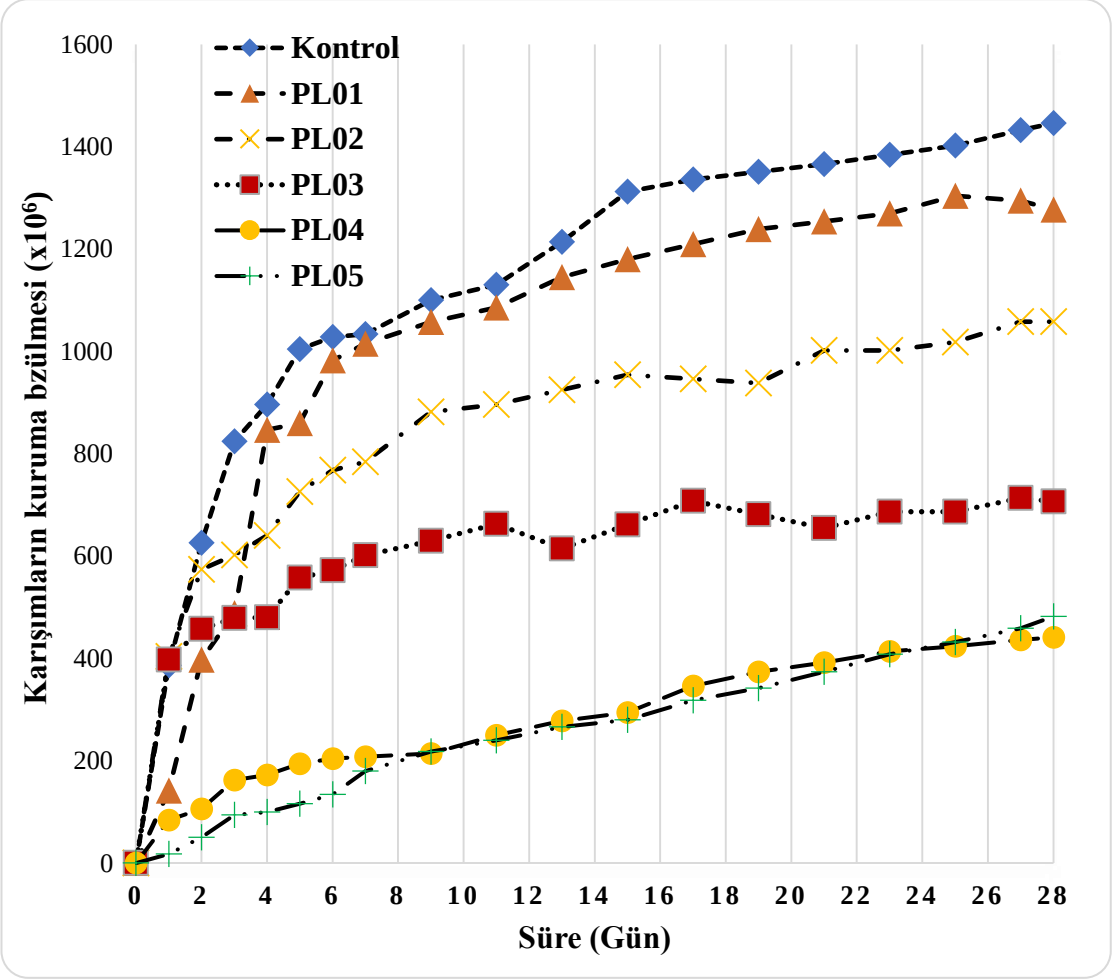
Lif kullanımından bağımsız olarak beton karışımlarının basınç dayanımı ve su emme değeri arasında doğrusal güçlü bir ilişkinin mevcut olduğu Şekil 4.15'ten anlaşılmaktadır.



Şekil 4.15. Karışımların 28 -günlük basınç dayanımı ve su emme arasındakı ilişki

4.2.7. Kuruma rötresi sonuçları

Beton karışımların 28 gün boyunca kuruma büzülme kaynaklı boy değişim değerleri Şekil 4.16'de gösterilmiştir. Her bir değer 3 numunenin ölçüm ortalamasını temsil etmektedir. Ayrıca, kontrol karışımına kıyasla lifli karışımların 28 gün kurumaya maruz bırakıldıktan sonra bağıl büzülme değerleri Şekil 4.17'de gösterilmiştir.



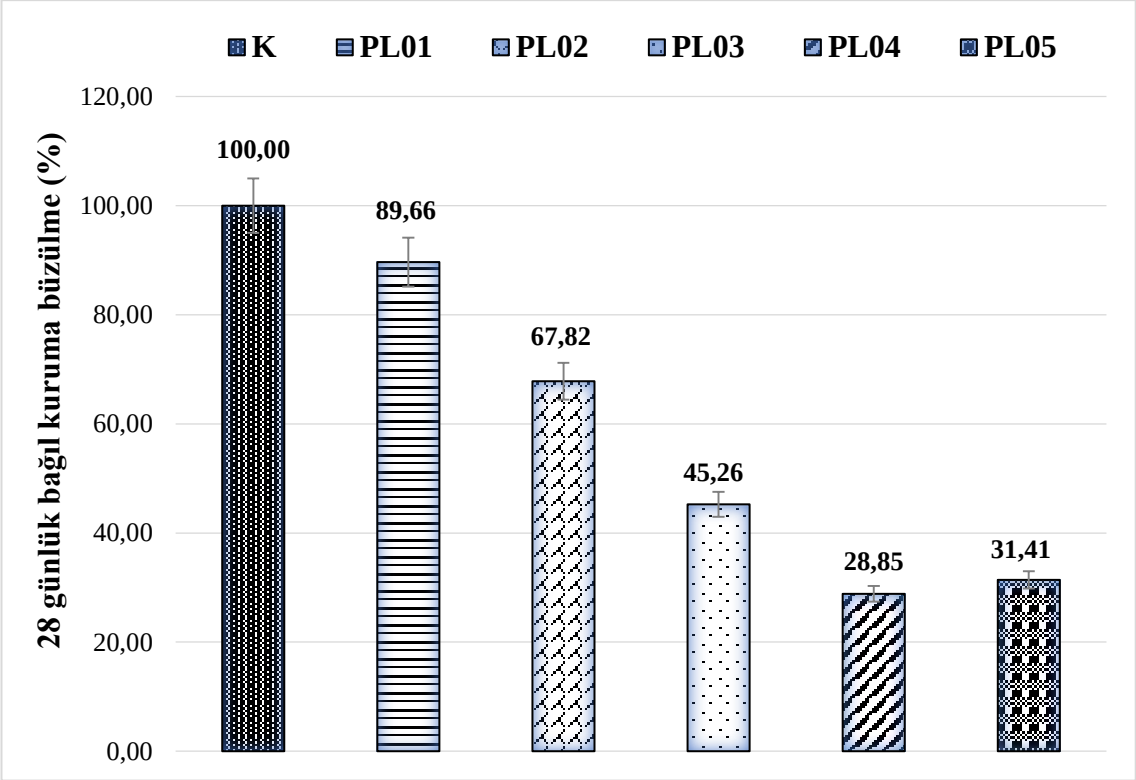
Şekil 4.16. Beton karışımlarının 28 günlük büzülme değerleri

Beklendiği gibi, polipropilen lifin kullanımından bağımsız olarak karışımların büzülme kaynaklı doy değişim değerindeki artış hızı ilk günlerde yüksek iken zaman içinde bu hız azalmıştır. Polipropilen lif kullanımıyla karışımların kuruma büzülme değerleri azalmıştır. Bu etki lif kullanım oranının artışıyla ve zamanla daha da belirgin hala gelmiştir.

Şekil 4.17'den görüldüğü gibi %0,4 oranında polipropilen lif içeren karışım 28 gün sonunda kontrol karışıma kıyasla yaklaşık %70 daha az büzülme davranışı göstermiştir. PL04 karışımı kuruma-büzülme davranışı açısından en başarılı karışım olmuştur. Diğer lif içeren karışımlar da benzer bir davranış göstermiştir.

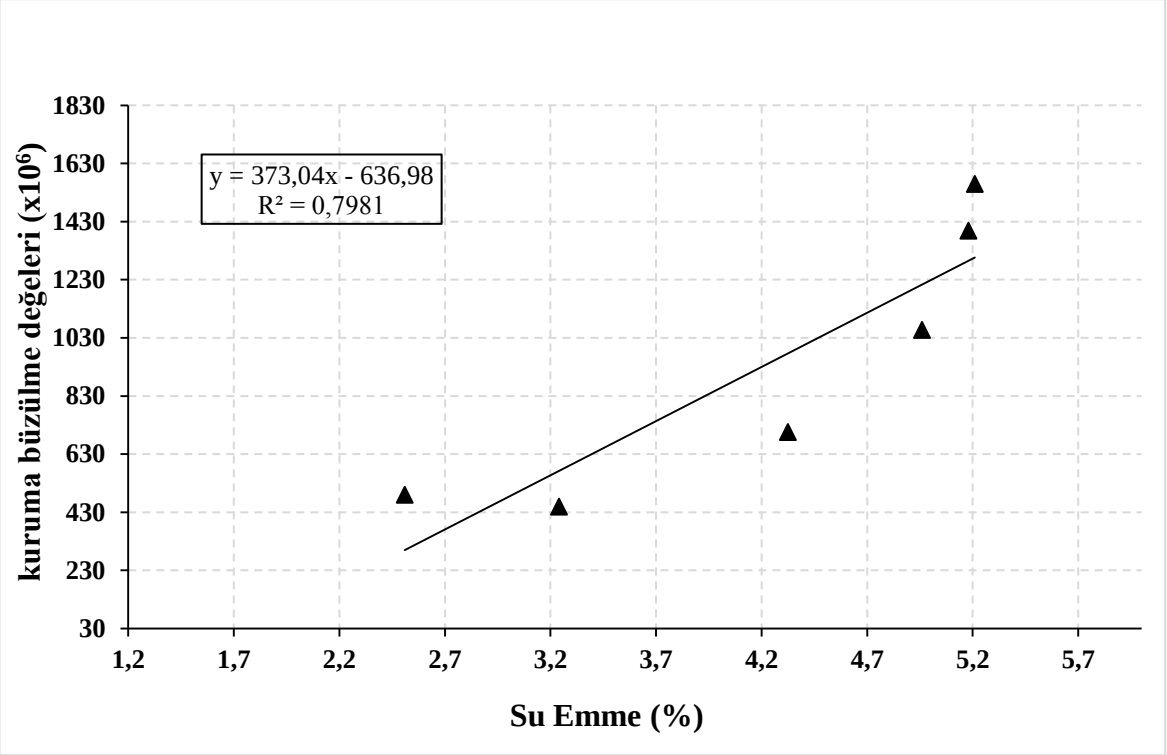
Bilindiği gibi, beton içerisindeki kapiler boşluklarda bulunan su zamanla buharlaşıp betonun içyapısında çekme gerilmeleri meydana getirmektedir. Bu çekme gerilmeleri büzülme çatlaklarının oluşmasına sebep olmaktadır. Polipropilen lif içeren karışımlarda ise lifler çatlaklar arasında köprü vazifesini üstelenip çatlak gelişimini engellemektedir (Mardani-Aghabaglou ve ark. 2019).

Çimento harç içerisinde kullanılan polipropilen lifler, büzülmeden dolayı oluşan gerilmeleri taşımakta, harç içerisindeki mikro düzeydeki hareketlenmeyi kılcal çatlaklarda köprüler oluşturarak kısıtlanmaktadır (Kırca ve Şahin 2003).



Şekil 4.17. Karışımların 28 günlük bağıl kuruma büzülme değerleri

Karışımların 28 günlük kuruma büzülme değerleri ve su emme oranları arasındaki ilişki Şekil 4.18'de gösterilmiştir. Karışımların su emme ve kuruma-büzülme değerleri arasında kuvvetli bir ilişkinin mevcut olduğu görülmektedir. Bilindiği gibi betonda oluşan rötre beton içerisindeki boşluk oranıyla doğrudan ilişkilidir. Betondaki su emme kapasitesinin yüksek olması, beton içerisinde kapiler boşluk miktarlarının fazla olduğunu göstermektedir. Beton içerisinde boşluk oranının artışıyla boşluk suyunun buharlaşması hızlanacağından dolayı betonun rötre davranışı olumsuz etkilenmektedir.



Şekil 4.18. Karışımların kuruma-büzülme ve su emme arasındaki ilişki

5. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında, makro sentetik polipropilen lif kullanımının beton karışımlarının bazı taze ve sertleşmiş hal özelliklerine etkisi incelenmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan malzemeler ve yapılan deneylere göre aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Çalışma başlangıcında polipropilen lif kullanım oranı toplam hacmin %0,6, %0,7, %0,8, %0,9 ve %1'i olarak düşünülmüştür. Ancak, söz konusu oranlarda karışıma lif ilavesiyle topaklaşmanın oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu sebepten dolayı karışımlarda polipropilen lif kullanım oranları toplam hacmin %0,1, %0,2, %0,3, %0,4 ve %0,5'i olarak seçilmiştir.
- Beton karışımlarına polipropilen lif ilavesiyle, istenilen yayılma değerini sağlamak için su azaltıcı katkı gereksinimi artmıştır. Bu etki lif kullanım oranının artışıyla daha da belirgin olmuştur.
- Lif kullanım oranının artışıyla basınç dayanımı değerlerinde az da olsa bir miktar artış gözlemlenmiştir.
- Lif kullanımı ile karışımların yarmada-çekme dayanımlarında artış gözlemlenmiştir. Bu etkinin lif oranının artışıyla daha da bariz olduğu anlaşılmıştır.
- Karışımlara lif ilavesiyle ve lif kullanım oranının artışıyla eğilme dayanımında da artış sağlanmıştır. %0,5 polipropilen lif içeren PL05 karışımı eğilme dayanımı ve çatlak ağzı açılma deplasmanı açısından diğer karışımlara göre daha yüksek performans sergilemiştir.
- Lif kullanım oranından bağımsız olarak, polipropilen lif ilavesinin karışımların elastisite modülü üzerinde kayda değer bir etkisi olmadığı anlaşılmıştır.
- Aşınma döngüsü sayısındaki artışla karışımların kütle kaybı da artmıştır. Söz konusu bu kayıp lif oranının artışı ile azalmıştır. Aşınma direnci açısından %0,5 polipropilen lif içeren karışımın en iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir.
- Polipropilen lif kullanımı sonucu karışımların su emme değerleri azalmıştır. Bu durum lif oranının artmasıyla daha da belirgin olmuştur.

- Polipropilen lif kullanımıyla karışımların kuruma büzülme değerleri azalmıştır. Bu etki lif kullanım oranının artışıyla ve zamanla daha da belirgin hala gelmiştir. %0,4 polipropilen lif içeren PL04 karışımı kuruma-büzülme davranışı açısından en başarılı karışım olmuştur.

Bu tez çalışması sonucunda elde edilen tecrübeler ışığında, aşağıda belirtilen öneriler yapılmıştır.

- Yapılan deneyler sonucunda polipropilen lifin hacimce %0,5 kullanım oranı optimum oran olarak belirlenmiştir. Polipropilen lif kullanım oranının %0,5'ten daha fazla kullanılması topaklaşmaya sebep olacağından dolayı, sonraki çalışmalarda bu oranın aşılmaması önerilmektedir.
- Lif kullanımının farklı dayanım sınıflarına sahip beton karışımların özellikleri üzerinde etkisi incelenebilir.
- Benzer çalışma farklı agrega gradasyonu ve tane boyuna sahip beton karışımları için tekrarlanabilir.
- Polipropilen lif kullanımının beton karışımlarının donma-çözülme direnci, sülfat direnci, alkali silika reaksiyonu (ASR), yüksek sıcaklık ve darbe dayanımı gibi özelliklerine etkisi araştırabilir.
- Polipropilen lifin diğer lif türleri (hibrit) ile birlikte kullanımının beton karışımlarının taze ve sertleşmiş hal özelliklerine etkisi irdelenebilir.

KAYNAKLAR

Abaeian, R., Behbahani, H. P., Moslem, S. J. 2018. Effects of high temperatures on mechanical behavior of high strength concrete reinforced with high performance synthetic macro polypropylene (HPP) fibers. *Construction and Building Materials*, 165: 631-638.

Açıkgenç, M., Arazsu, U., Alyamaç, K. E. 2012. Farkli Karişim Oranlarina Sahip Polipropilen Lifli Betonlarin Dayanim Ve Durabilite Özellikleri. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 4(3): 41-54.

Akkaş, A., Alpaslan, L., Arabaci, S., Başyiğit, C. 2010. Polipropilen Lif Katkili Yari Hafif Betonlarin Basinç Dayanimi Özellikleri. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 2(1): 9-14.

Algin, Z., Gerginci, S. 2020. Freeze-thaw resistance and water permeability properties of roller compacted concrete produced with macro synthetic fibre. *Construction and Building Materials*, 234: 117382.

Alkan, G. 2004. Polipropilen Lifli Betonların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Altalabani, D., Bzeni, D. K., Linsel, S. 2020. Mechanical properties and load deflection relationship of polypropylene fiber reinforced self-compacting lightweight concrete. *Construction and Building Materials*, 252: 119084.

Aly, T., Sanjayan, J. G., Collins, F. 2008. Effect of polypropylene fibers on shrinkage and cracking of concretes. *Materials and Structures*, 41(10): 1741.

ASTM C1116, 2000. Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA.

ASTM C143, 2015. Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA.

ASTM C157, 2017. Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete, West Conshohocken, PA.

ASTM C469, 2014. Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression, ASTM International, West Conshohocken, PA.

ASTM C642-97, 1997. Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA.

ASTM C78-18, 2018. Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading), ASTM International, West Conshohocken, PA.

Atashafrazeh, M., 2013. Polipropilen Lif Takviyeli Betonların Yüksek Sıcaklık Etkilerinden Sonra Basınç Dayanımlarının İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum.

Aulia, T. B. 2002. Effects of polypropylene fibers on the properties of high-strength concretes. Institutes for Massivbau and Baustoffechnologi, University Leipzig, Lacer, 7.

Aygörmez, Y., Canpolat, O., Al-mashhadani, M. M., Uysal, M. 2020. Elevated temperature, freezing-thawing and wetting-drying effects on polypropylene fiber reinforced metakaolin based geopolymer composites. *Construction and Building Materials*, 235: 117502.

Bahadır, F. 2010. Polipropilen Lifli Betonların Mekanik Özelikleri. *Yüksek Lisans Tezi*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.

Banthia, N., Gupta, R. 2006. Influence of polypropylene fiber geometry on plastic shrinkage cracking in concrete. *Cement and concrete Research*, 36(7): 1263-1267.

Baradan, B., Yazici, H., Aydin, S. 2015. Beton (ikinci baskı). Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir, 413-697.

Behfarnia, K., Farshadfar, O. 2013. The effects of pozzolanic binders and polypropylene fibers on durability of SCC to magnesium sulfate attack. *Construction and Building Materials*, 38: 64-71.

Caf, M. 2007. Polipropilen ve Çelik Lifli Betonların Darbe Dayanımı. *Yüksek Lisans Tezi*, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum.

Çalik, Y., Akbulut, R. K., Zaimoğlu, A. Ş., Yetimoğlu, T. 2019. Polipropilen Lif ile Rastgele Donatılandırılan Bir CH Kil Zemininin Donma-Çözülme Çevrimlerinde Serbest Basınç Dayanımının Araştırılması. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(2): 911-921.

Can, Ö., Durmuş, G., Subaşi, S., Yildiz, K., Arslan, M. 2009. Lif Katkili Betonlarin Aşinma Direnci Üzerindeki Etkileri. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 13-15 Mayıs 2009, Karabük, Türkiye.

Ceb-Fip, 1989. Diagnosis and assessment of concrete structures- state of art report. CEB Bullent, Luasane, pp: 83-5.

Celep, G. 2010. Polipropilen Lifli Betonların Isıl Özelikleri. *Yüksek Lisans Tezi*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.

Dirikgil, T. 2009. Polipropilen Lifli Betonların Yüksek Sıcaklık Etkisi Altında Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Deneysel Araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri.

Ding, M., Zhang, F., Ling, X., Lin, B. 2018. Effects of freeze-thaw cycles on mechanical properties of polypropylene fiber and cement stabilized clay. *Cold Regions Science and Technology*, 154: 155-165.

EN, B. 2003. "Concrete paving blocks. Requirements and test methods''. British Standards, (London, UK), 76.

Erbaş, M. 2003. Polipropilen Lifler Ve Betonun Dürabilitesine Etkisi. 5. Ulusal Beton Kongresi, IMMO Yayınları, İstanbul.

Gencel, O., Ozel, C., Brostow, W., Martinez-Barrera, G. 2011. Mechanical properties of self-compacting concrete reinforced with polypropylene fibres. *Materials Research Innovations*, 15(3): 216-225.

Guerini, V., Conforti, A., Plizzari, G., Kawashima, S. 2018. Influence of steel and macro-synthetic fibers on concrete properties. *Fibers*, 6(3): 47.

Güngör, E. 2013. Karma lifli betonların özelliklerinin deneysel irdelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir.

Hüsem, M., Demir, S. 2013. Çelik Ve Polipropilen Lifleringeleneksel Ve Yüksek Performansli Betonlarda Kirilma Ve Çatlak Gelişimine Etkisi. *Engineering Sciences*, 8(4): 182-193.

İlhan, M. 2018. Kuruma Büzülme Engelleyici Katkı ve Lif Kullanımının Çimentolu Sistemlerin Taze Hal, Mekanik ve Bazı Durabilite Özelliklerine Etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.

İnce, H. H. 2005. Mineral, kimyasal katkılı ve polipropilen fiber takviyeli taze betonun basınç altındaki davranışının belirlenmesi. *Doktora Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.

Karahan, O. 2006. Liflerle güçlendirilmiş uçucu küllü betonların özellikleri. *Doktora Tezi*, Çukurova üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.

Karimipour, A., Ghalehnovi, M., de Brito, J., Attari, M. 2020. The effect of polypropylene fibres on the compressive strength impact and heat resistance of self-compacting concrete. *In Structures*, 25: 72-87.

KM, A. F., Varghese, S. 2014. Behavioral Study of Steel Fiber and Polypropylene Fiber Reinforced Concrete. *International Journal Of Research In Engineering And Technology*, 2(10): 17-24.

Kırca, Ö., Şahin, M. 2003. Polipropilen Lif Kullanımının Beyaz Beton Dayanıklılığına Etkisi. 5. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, 375-382.

Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C. 2003. Design and control of concrete mixtures. Portland Cement Association, Skokie, 121-127.

Leong, G. W., Mo, K. H., Loh, Z. P., Ibrahim, Z. 2020. Mechanical properties and drying shrinkage of lightweight cementitious composite incorporating perlite microspheres and polypropylene fibers. *Construction and Building Materials*, 246: 118410.

Li, Y., Zhang, Y., Yang, E. H., Tan, K. H. 2019. Effects of geometry and fraction of polypropylene fibers on permeability of ultra-high performance concrete after heat exposure. *Cement and Concrete Research*, 116: 168-178.

Madhavi, T. C., Raju, L. S., Mathur, D. 2014. Polypropylene fiber reinforced concrete-a review. *International Journal Of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 4(4): 114-118.

Mehta, P. K., Monteiro, P. J. M. 2014. Concrete: microstructure, properties, and materials (4th ed.). McGraw- Hill Press, United States, 553.

Memon, I. A., Jhatial, A. A., Sohu, S., Lakhiar, M. T., Hussain, Z. 2018. Influence of fibre length on the behaviour of polypropylene fibre reinforced cement concrete. *Civil Engineering Journal*, 4(9): 2124-2131.

Matar, P., Assaad, J. J. 2019. Concurrent effects of recycled aggregates and polypropylene fibers on workability and key strength properties of self-consolidating concrete. *Construction and Building Materials*, 199: 492-500.

Mardani-Aghabaglou, A., Tuyan, M., Yılmaz, G., Çakır, Ö. A., Ramyar, K. 2013. Farklı Liflerin Kendiliğinden Yerleşen Betonun Taze ve Mekanik Özeliklerine Etkisi. Hazır Beton Kongresi,21-23 Şubat, İstanbul, 52-62.

Mardani-Aghabaglou, A., Hosseinnezhad, H., Boyacı, O. C., Arıöz, Ö., Yaman, İ. Ö., Ramyar, K. 2014. Abrasion Resistance and Transport Properties of Road Concrete. 12th International Symposium on Concrete Roads, Prag, 23-26.

Mardani-Aghabaglou, A., Özen, S., Altun, M. G. 2018. Durability Performance And Dimensional Stability Of Polypropylene Fiber Reinforced Concrete. *Journal of Green Building*, 13(2): 20-41.

Mardani-Aghabaglou, A., Ilhan, M., Ozen, S. 2019. The effect of shrinkage reducing admixture and polypropylene fibers on drying shrinkage behavior of concrete. *Cement Wapno Beton*, 24(3): 227.

Neville, A. M. 1995. Properties of concrete (Vol. 4), Longman Press. London, 268-348.

Nili, M., Afroughsabet, V. 2010. The effects of silica fume and polypropylene fibers on the impact resistance and mechanical properties of concrete. *Construction and Building Materials*, 24(6): 927-933

Nguyen, H., Kinnunen, P., Carvelli, V., Illikainen, M. 2019. Durability of ettringite-based composite reinforced with polypropylene fibers under combined chemical and physical attack. *Cement and Concrete Composites*, 102: 157-168.

Noumowe, A. 2005. Mechanical properties and microstructure of high strength concrete containing polypropylene fibres exposed to temperatures up to 200 C. *Cement and concrete research*, 35(11): 2192-2198.

Özcan, A. 2006. Endüstriyel Atıklar ve Polipropilen Lif İçeren Saha Betonlarının Özelliklerinin Araştırması. *Yüksek Lisans Tezi*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak.

Park, S. B., Lee, B. C. 2004. Studies on expansion properties in mortar containing waste glass and fibers. *Cement and Concrete Research*, 34(7): 1145-1152.

Patel, P. A., Desai, A. K., Desai, J. A. 2012. Evaluation of engineering properties for polypropylene fibre reinforced concrete. *International Journal of Advanced Engineering Technology*, 3(1): 42-45.

Qian, C. X., Stroeven, P. 2000. Development of hybrid polypropylene-steel fibre-reinforced concrete. *Cement and Concrete Research*, 30(1): 63-69.

RILEM, D.R., 1985. 50-FMC Committee Fracture Mechanics of Concrete, Determinaton of the fracture energy of mortar and concrete by means of three-point bending tests on notched beams. *Materials and Stuructures*, 85(85):285-290.

Sertbaş, B. 2006. Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Polipropilen Lif Kullanımının İzlenebilirliğe Etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Song, P. S., Hwang, S., Sheu, B. C. 2005. Strength properties of nylon-and polypropylene-fiber-reinforced concretes. *Cement and Concrete Research*, 35(8): 1546-1550.

Subaşı, S., Emiroğlu, M. 2008. Lif Kullanılan Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda İşlenebilirlik Ve Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki Analizi. Fırat Üniv. *Fen Ve Müh. Bil. Dergisi*, (3): 527-539.

Sun, Z., Xu, Q. 2009. Microscopic, physical and mechanical analysis of polypropylene fiber reinforced concrete. *Materials Science and Engineering*, 527(1-2): 198-204.

Sümer, B., Sarıbıyık, M. 2013. Betonda silis dumanı ve polipropilen lif kullanımının beton özellikleri üzerine etkilerinin incelenmesi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 17(2): 217-224.

Şahin, M. 2007. Betonla uyumlu polipropilen elyaf takviyeli kompozitlerin üretimi ve özellikleri. *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Şimşek, O. 2016. Beton ve Beton Teknolojisi, Seçkin Yayıncılık AŞ. Ankara, 50-60.

Tanriöven, F. 2009. Yüksek Sıcaklık Etkilerindeki Karma Lifli Betonların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri.

Tokyay, M., Ramyar, K., Turanlı, L. 1991. Polipropilen ve çelik lifli yüksek dayanımlı betonların basınç ve çekme yükleri altındaki davranışları. 2. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, 303-311.

Topcu, I. B., Canbaz, M. 2007. Effect of different fibers on the mechanical properties of concrete containing fly ash. *Construction and Building Materials*, 21(7): 1486-1491.

TS EN 197-1, 2012. Genel Çimentolar-Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri. TSE, Ankara.

TS EN 1097-6, 2013. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler - Bölüm 6: Tane Yoğunluğunun Ve Su Emme Oranının Tayini, TSE, Ankara.

TS EN 206, 2013. Beton- Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, TSE, Ankara.

TS EN 12350-2, 2010. Beton - Taze beton deneyleri - Bölüm 2: Çökme (slump) deneyi, TSE, Ankara.

TS EN 12390-2, 2010. Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 2: Dayanım Deneylerinde Kullanılacak Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Kürlenmesi, TSE, Ankara.

TS EN 12390-3, 2010. Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, TSE, Ankara.

TS EN 12390-6, 2010. Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 6: Yarmada Çekme Dayanımı Saptama Deneyi, TSE, Ankara.

TS EN 14845-1, 2008. Beton - Lifler - Betonda kullanım için - Deney metotları - Bölüm 1: Şahit betonlar, TSE, Ankara**.**

Wang, J., Dai, Q., Si, R., Guo, S. 2019. Mechanical, durability, and microstructural properties of macro synthetic polypropylene (PP) fiber-reinforced rubber concrete. *Journal of Cleaner Production*, 234: 1351-1364.

Wongprachum, W., Sappakittipakorn, M., Sukontasukkul, P., Chindaprasirt, P., Banthia, N. 2018. Resistance to sulfate attack and underwater abrasion of fiber reinforced cement mortar. *Construction and Building Materials*, 189: 686-694.

Xiao, J., Falkner, H. 2006. On residual strength of high-performance concrete with and without polypropylene fibres at elevated temperatures. *Fire safety journal*, 41(2):115-121.

Yıldırım, S. T. 2006. Lif Takviyeli Betonların Performans Özelliklerinin Araştırması. *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat mühendisliği Anabilim Dalı, Elâzığ.

Yuan, Y., Zhao, R., Li, R., Wang, Y., Cheng, Z., Li, F., Ma, Z. J. 2020. Frost resistance of fiber-reinforced blended slag and Class F fly ash-based geopolymer concrete under the coupling effect of freeze-thaw cycling and axial compressive loading. *Construction and Building Materials*, 250: 118831.

Zhang, P., Li, Q. 2013. Fracture Properties of Polypropylene Fiber Reinforced Concrete Containing Fly Ash and Silica Fume. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 5(2): 665-670.

Zeynal, E. 2008. Çelik Lif ve S/Ç Oranlarının Çelik Lifli Betonların Darbe Mukavemetine ve Mekanik Özelliklerine Etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat mühendisliği Anabilim Dalı, Bornova-İzmir.

Zhu, Mei Fang, and H. H. Yang. 2006. Handbook of Fiber Chemistry 3rd Edition. Lewin Press, London .139.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	: Mujeebul Rahman LATIFI
Doğum Yeri ve Tarihi	: AFGANİSTAN-05.05.1993
Yabancı Dili	: İngilizce, Türkçe
Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)	:
Lise	: Ziayul Haq Shahid High School
Lisans	: Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği
Yüksek Lisans	: Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği
İletişim (e-posta)	: mujeebnejrabi@gmail.com