



MÜHENDİSLİKTE ÇAĞDAŞ VE YENİLİKÇİ ARAŞTIRMALAR



All Sciences Academy

MÜHENDİSLİKTE ÇAĞDAŞ VE YENİLİKÇİ ARAŞTIRMALAR

Editör

Dr. Öğr. Üyesi Umut ÖZKAYA





Mühendislikte Çağdaş ve Yenilikçi Araştırmalar

Editör: Dr. Öğr. Üyesi Umut ÖZKAYA

Dizayn: All Sciences Academy Design

Basım Tarihi: Mart 2026

Yayıncı Sertifika Numarası: 72273

ISBN: 978-625-8676-90-7

© All Sciences Academy

www.allsciencesacademy.com

allsciencesacademy@gmail.com

İÇERİK

1. Bölüm	5
Doğal Perlit ve Genleştirilmiş Perlitin Farklı Analiz Teknikleri Kullanılarak Enstrümantal Karakterizasyonu <i>Ceyda BİLGİÇ, Şafak BİLGİÇ</i>	
2. Bölüm	25
Nadir toprak elementleri (NTE), uygulama alanları ve sürdürülebilirlik <i>Fehim FINDIK</i>	
3. Bölüm	43
Filament Sarma Yöntemi ile Kompozit Üretimi; Proses Parametreleri ve Uygulamaları <i>Hüseyin ÜNAL, Cihat ARDA</i>	
4. Bölüm	58
Çimentolu Harç ve Betonlarda Polipropilen Liflerin Performansı <i>Ömer Faruk PORTAKAL, Özlem ÇALIŞKAN, Ahmet Ferdi ŞENOL</i>	

Çimentolu Harç ve Betonlarda Polipropilen Liflerin Performansı

Ömer Faruk PORTAKAL¹

Özlem ÇALIŞKAN²

Ahmet Ferdi ŞENOL³

- 1- İnşaat Mühendisi; Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği ABD. omerfaruk_portakal05@hotmail.com ORCID No: 0009-0009-9052-3158
- 2- Doç.Dr.; Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, ozlem.caliskan@bilecik.edu.tr ORCID No: 0000-0002-5272-9552
- 3- Öğr.Gör.; Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü. ahmetferdi.senol@bilecik.edu.tr ORCID No: 0000-0002-6663-3340

ÖZET

Polipropilen lifler, son yıllarda çimentolu harç ve betonların performansını geliştirmek amacıyla yaygın olarak kullanılan lif türlerinden biri haline gelmiştir. Bu çalışmada, çimentolu harç ve betonlarda kullanılan polipropilen liflerin performansı, özellikle son yıllardaki literatürde yer alan çalışmalar kapsamında değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, öncelikle polipropilen liflerin fiziksel ve kimyasal özellikleri incelenmiş, ardından bu liflerin taze harç ve beton özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bunun yanında lif katkısının betonun mekanik davranışı üzerindeki etkileri; basınç, eğilme, çekme ve darbe dayanımları ile tokluk ve süneklik özellikleri açısından da değerlendirilmiştir. Ayrıca polipropilen liflerin dayanıklılık performansı üzerindeki etkileri de ele alınmış; özellikle su emme ve geçirimsizlik davranışı, rötre ve çatlak kontrolü ile yüksek sıcaklık ve yangın dayanımı gibi konular incelenmiştir. Literatürde yer alan çalışmalar genel olarak polipropilen liflerin taze karışımların işlenebilirliğini bir miktar azalttığını göstermektedir. Buna karşılık lif katkısının çekme ve eğilme dayanımı ile darbe direnci ve süneklik özellikleri üzerinde olumlu etkiler oluşturabildiği görülmektedir. Basınç dayanımı üzerindeki etkinin ise lif miktarı, lif boyutu ve karışım tasarımı gibi parametrelere bağlı olarak değişebildiği anlaşılmaktadır. Ayrıca polipropilen liflerin rötre çatlaklarının oluşumunu sınırlayabildiği ve yüksek sıcaklık koşullarında buhar basıncını azaltarak betonun yangın performansına katkı sağlayabildiği değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler – Beton, Polipropilen lif, İşlenebilirlik, Mekanik Özellikler, Dayanıklılık

GİRİŞ

Beton yapılar; araç çarpışmaları, düşen cisimler ve patlama etkileri gibi çeşitli darbe yüklerine maruz kalabilmektedir. Bu tür yükleme durumlarında geleneksel harç ve betonlar genellikle gevrek kırılma davranışı sergilemekte ve ani hasarlara yol açabilmektedir. Bu nedenle, betonun darbe etkilerine karşı davranışını iyileştirmek amacıyla farklı türde liflerin beton matrisine ilave edilmesi yaygın olarak başvuru olan bir yöntemdir. Lif takviyesi, çatlak oluşumunu geciktirerek betonun enerji yutma kapasitesini artırmakta ve daha sünek bir davranış sergilemesini sağlamaktadır (Khan vd., 2026).

Polipropilen lifler, özellikle yol kaplamaları, püskürtme uygulamaları ve yangına karşı koruma gereken yapısal elemanlarda tercih edilir; çatlak oluşumunu engelleyerek malzemenin bütünlüğünü korur ve askeri yapılar gibi yüksek güvenli alanlarda da etkin rol oynar (Şenol, 2022:10).

Bu bağlamda, polipropilen liflerin çimento esaslı kompozitlerde kullanımı özellikle malzemenin kırılma davranışının azaltılması ve eğilme

dayanımının geliştirilmesi açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Polipropilen lifler, matris içerisinde çatlak köprüleme mekanizması oluşturarak çatlak ilerlemesini sınırlandırmakta ve böylece kompozitin sünekliğini artırmaktadır. Bununla birlikte literatürde, polipropilen lif kullanımının basınç dayanımı üzerinde belirgin bir artış sağlamadığı, bazı durumlarda ise sınırlı bir azalmaya neden olabildiği bildirilmektedir. Buna karşın lif takviyesinin özellikle eğilme dayanımı üzerinde olumlu etkiler oluşturduğu belirtilmektedir. Ayrıca lif miktarındaki artışın, kompozit yapıda porozite ve su emme oranını bir miktar artırabildiği de ifade edilmektedir (Akgül, 2025, 722–725).

Literatürde polipropilen liflerin özellikle bağ dayanımı üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmalar bulunmaktadır. Abdulrahman vd. (2025:12) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada polimer modifiyeli çimento harçlarında polipropilen lif kullanımının eğik kesme bağ dayanımı (slant-shear) ve doğrudan çekme bağ dayanımı (pull-off) üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu çalışmada harç karışımlarına %0–1.5 hacim oranlarında polipropilen lif ilave edilmiş ve bağ dayanımları deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, lif ilavesinin özellikle slant-shear bağ dayanımını önemli ölçüde artırdığını ve %1.5 lif oranında yaklaşık %100’e varan bir artış sağlandığını göstermiştir. Buna karşılık, pull-off bağ dayanımında lif katkısının daha sınırlı bir etki gösterdiği ve yalnızca bazı karışımlarda yaklaşık %20 civarında bir artış elde edildiği belirlenmiştir.

Bu kapsamda, polipropilen liflerin çimento esaslı kompozitlerdeki performansının kapsamlı biçimde değerlendirilmesi önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, çimentolu harç ve betonlarda kullanılan polipropilen liflerin temel özellikleri ve mühendislik performansına olan etkileri literatürdeki çalışmalar ışığında derlenmiştir. Öncelikle polipropilen liflerin kimyasal ve fiziksel özellikleri ile beton ve harçlarda kullanım amaçları ele alınmıştır. Ardından lif katkısının basınç dayanımı, çekme ve eğilme dayanımı, darbe dayanımı ile tokluk ve süneklik gibi mekanik özellikler üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ayrıca polipropilen liflerin su emme ve geçirimsizlik davranışı, rötre ve çatlak kontrolü, donma–çözülme dayanımı ile yüksek sıcaklık ve yangın performansı gibi dayanıklılık özellikleri üzerindeki etkileri de literatür kapsamında değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda, çalışma kapsamında ele alınan alt başlıklar çerçevesinde mevcut araştırmalar sistematik bir şekilde incelenerek polipropilen lif takviyesinin çimentolu kompozitlerin performansına olan katkıları bütüncül bir bakış açısıyla ortaya konulmuştur.

POLİPROPİLEN LİFLER VE TEMEL ÖZELLİKLERİ

Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

Polipropilen lifler, düşük yoğunluk ve düşük elastisite modülüne sahip sentetik lifler olup beton teknolojisinde yaygın olarak kullanılan takviye malzemelerinden biridir. Bu liflerin çapları genellikle 10–100 µm, uzunlukları ise 6–50 mm aralığında değişmektedir (Şekil 1). Bu geometrik

özellikler, liflerin çimentolu matris içerisinde homojen şekilde dağılabilmesine ve çatlak oluşumunun erken aşamalarında etkili bir köprüleme mekanizması oluşturmaya katkı sağlamaktadır.

Bununla birlikte polipropilen lifler hidrofobik bir yüzey yapısına sahiptir ve bu nedenle çimento hamuru tarafından kolaylıkla ıslanmaz. Ancak liflerin düşük yoğunluğa sahip olması, hafiflikleri, düşük maliyetleri ve düşük termal iletkenlikleri gibi avantajlar sağlamaktadır. Ayrıca polipropilen lifler asidik ve alkali ortamlara karşı yüksek kimyasal direnç göstermekte olup bu özellikleri sayesinde çimento esaslı kompozitlerde dayanıklı bir takviye malzemesi olarak tercih edilmektedir (Şenol, 2022:11).



Şekil 1: Polipropilen liflerin harç ve betonlarda kullanımı (Şenol, 2022:11)

POLİPROPİLEN LİFLERİN İŞLENEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ

Polipropilen liflerin beton ve harç karışımlarına ilave edilmesi, taze betonun işlenebilirliği üzerinde belirgin etkiler oluşturmaktadır. Literatürde, lif ilavesinin genellikle karışımın akışkanlığını azalttığı ve lif miktarının artmasıyla birlikte çökme (slump) değerlerinde düşüş meydana geldiği bildirilmektedir (Karahan ve Atis, 2011:1045). Bu durum, liflerin karışım içerisinde oluşturduğu fiziksel engelleme etkisi ve lif-matris etkileşimleri ile açıklanmaktadır.

Polipropilen liflerin çimento esaslı karışımlara eklenmesi karışımın reolojik özelliklerini de değiştirebilmektedir. Özellikle lif varlığının akma gerilmesi ve viskozite değerlerini artırabildiği ifade edilmektedir. Ayrıca lif uzunluğu ve lif miktarının artmasıyla birlikte karışımın akış davranışının değiştiği ve bunun taze harçların işlenebilirliği üzerinde belirgin bir etki oluşturduğu belirtilmektedir (Si vd., 2026:1). Deneysel çalışmalar da bu eğilimi desteklemektedir. Eidan vd. (2019:198) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada beton karışımlarına 6 mm ve 12 mm uzunluğunda polipropilen lifler sırasıyla 1, 1.5 ve 2 kg/m³ dozajlarında ilave edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, lif miktarının artmasıyla birlikte betonun işlenebilirliğinin azaldığını ve çökme değerinin 185 mm'den 155 mm'ye kadar düştüğünü göstermiştir.

Benzer şekilde Sarıkaya ve Susurluk (2023:8) tarafından yapılan araştırmada beton karışımlarına %1, %2 ve %3 oranlarında polipropilen lif eklenmiş ve lif dozajındaki artışın çökme değerlerinde önemli bir azalmaya yol açtığı belirlenmiştir. Çalışmada kontrol betonunda yaklaşık 170 mm olan çökme değerinin, %3 polipropilen lif içeren karışımlarda yaklaşık 20 mm seviyesine kadar düştüğü rapor edilmiştir.

Buna karşın, bazı araştırmalarda lif katkısının yalnızca işlenebilirliği azaltmakla kalmayıp taze betonun kohezyonunu da artırabildiği ifade edilmektedir. Açıkgenç vd. (2012:46) tarafından yapılan deneysel çalışmada beton karışımlarına hacimce %1 ve %2 oranlarında polipropilen lif ilave edilmiş ve lif oranı arttıkça betonun çökme miktarının azaldığı belirlenmiştir. Bununla birlikte araştırmacılar, lif katkısının taze betonun işlenebilirliğini azaltmasına rağmen karışımın kohezyonunu artırarak segregasyon riskini azaltabildiğini belirtmiştir.

POLİPROPİLEN LİFLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİLERİ

Basınç Dayanımına Etkisi

Polipropilen liflerin beton içerisine ilave edilmesi, betonun mekanik performansını etkileyebilen önemli bir parametre olarak değerlendirilmektedir. Genel olarak lif takviyesinin betonun basınç dayanımında belirli iyileşmeler sağlayabildiği ve bu durumun lif takviyeli betonların mekanik performansına olumlu katkılar sunabildiği ifade edilmektedir (Boğa vd., 2022:3). Bununla birlikte literatürde, lif içeriğinin belirli bir seviyeye kadar artırılmasının basınç dayanımını yükseltebildiği; ancak lif miktarının aşırı artırılması durumunda dayanımın yeniden azalabildiği bildirilmektedir (Sun ve Xu, 2009:200). Bu durumun, lif miktarına, lif uzunluğuna ve karışım özelliklerine bağlı olarak değişkenlik gösterebildiği de belirtilmektedir (Si vd., 2026:1).

Öte yandan bazı çalışmalarda polipropilen lif katkısının betonun basınç dayanımı üzerinde belirgin bir iyileşme sağlamadığı ve lif miktarındaki artışa bağlı olarak dayanımda sınırlı azalmalar meydana gelebileceği ifade edilmektedir (Karahana ve Atis, 2011:1046). Bu bağlamda

yapılan deneysel çalışmalar incelendiğinde, farklı sonuçların elde edilebildiği görülmektedir.

Yuan ve Jia (2020:11) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, su/bağlayıcı oranı 0.30 ve 0.35 olan beton karışımlarına %0.45, %0.90 ve %1.35 hacim oranlarında polipropilen lif ilave edilerek betonun mekanik ve mikroyapısal özellikleri incelenmiştir. Araştırma sonuçları, lif oranının aşırı artırılması durumunda beton matrisinde boşluk oluşumunun arttığını ve %1.35 lif içeriğinde basınç dayanımının yaklaşık %70 oranında azalabildiğini göstermiştir. Benzer şekilde İslam ve Gupta (2016:353) tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmada beton karışımlarına %0.1, %0.15, %0.2, %0.25 ve %0.3 hacim oranlarında polipropilen lif ilave edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, lif katkısının betonun basınç dayanımı üzerinde sınırlı bir etki oluşturduğunu ve lif oranının artmasıyla birlikte dayanımda %2–10 arasında azalma meydana geldiğini ortaya koymuştur.

Buna karşılıklı bazı araştırmalarda polipropilen lif kullanımının basınç dayanımında artış sağlayabildiği de rapor edilmiştir. Kakooei vd. (2012:75) tarafından gerçekleştirilen çalışmada beton karışımlarına 0–2 kg/m³ aralığında polipropilen lif ilave edilmiş ve lif içeriğinin artmasıyla birlikte betonun basınç dayanımının yükseldiği belirlenmiştir. Çalışmada kontrol betonunda yaklaşık 25 MPa olan basınç dayanımı, 0.5, 1, 1.5 ve 2 kg/m³ polipropilen lif içeren karışımlarda sırasıyla yaklaşık %16, %28, %44 ve %48 oranlarında artış göstermiştir. Ayrıca lif katkısının betonun geçirgenliğini azaltarak dayanıklılık performansını da iyileştirdiği ifade edilmiştir.

Bununla birlikte bazı araştırmalar lif miktarının belirli bir seviyeyi aşması durumunda dayanımın yeniden dşebildiğini göstermektedir. Sarıkaya ve Susurluk (2023:8) tarafından yapılan çalışmada beton karışımlarına %1–3 oranlarında polipropilen lif ilavesinin basınç dayanımını bir miktar azalttığı belirlenmiştir. 28 günlük basınç dayanımı kontrol betonunda yaklaşık 49.76 MPa iken, %3 polipropilen lif içeren karışımlarda yaklaşık 44.19 MPa seviyesine gerilemiştir. Benzer şekilde Aıkge v. d. (2012:48–49) tarafından yapılan çalışmada da polipropilen lif oranının belirli bir seviyeye kadar artırılmasıyla basınç dayanımının yükseldiği; ancak lif oranının daha fazla artırılması durumunda dayanımın yeniden azalabildiği belirlenmiştir. Araştırmacılar özellikle %1 lif oranında referans betona göre dayanım artışı gözlenirken, %2 lif oranında bazı karışımlarda dayanımın azaldığını rapor etmiştir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, polipropilen liflerin betonun basınç dayanımı üzerindeki etkisinin lif miktarı, lif boyutu, karışım tasarımı ve matris yapısına bağlı olarak deđerēebildiđi ve literatürde farklı eğilimlerin rapor edildiği görülmektedir.

Çekme ve Eğilme Dayanımına Etkisi

Polipropilen liflerin beton matrisi içerisinde kullanılması, betonun özellikle çekme ve eğilme davranışı üzerinde olumlu etkiler oluşturabilmektedir. Lif takviyesi sayesinde betonun eğilme dayanımının artabildiği ve kırılma davranışının daha sünek bir karakter kazandığı bildirilmektedir. Bu durumun temel nedeni, liflerin çatlak oluşumu sonrasında gerilmelerin yeniden dağılımına katkı sağlaması ve çatlak ilerlemesini sınırlandırmasıdır. Böylece betonun yapısal performansı önemli ölçüde iyileştirilebilmektedir (Sun ve Xu, 2009:198–200). Polipropilen liflerin beton matrisi içerisinde çatlak köprüleme etkisi oluşturduğu ve bu mekanizma sayesinde çatlakların ilerlemesini sınırlandırarak kırılma davranışının daha sünek hale gelmesine katkı sağladığı ifade edilmektedir (Boğa vd., 2022:5). Liflerin bu etkisi, özellikle çatlak oluşumundan sonraki yük taşıma kapasitesinin korunmasında önemli bir rol oynamaktadır.

Ayrıca literatürde, polipropilen liflerin beton matrisi içerisinde üç boyutlu bir lif ağı oluşturduğu ve bu yapının gerilmelerin daha homojen şekilde dağıtılmasına katkı sağladığı belirtilmektedir. Bu durum, betonun genel mekanik performansını iyileştirebilmekte ve özellikle çekme ve eğilme davranışının gelişmesine yardımcı olabilmektedir (Zhang vd., 2026:4). Benzer şekilde Si vd. (2026:1) tarafından yapılan çalışmalarda da liflerin matris içerisinde oluşturduğu ağ yapısının gerilmelerin yeniden dağıtılmasına katkı sağladığı ve bu mekanizmanın çatlak ilerlemesini sınırlandırarak çekme ve eğilme performansının iyileştirilmesine yardımcı olduğu ifade edilmektedir.

Darbe Dayanımına Etkisi

Polipropilen liflerin beton karışımlarına ilave edilmesi, betonun darbe etkileri altındaki davranışını önemli ölçüde iyileştirebilmektedir. Deneysel çalışmalar, lif takviyesinin betonun darbe direncini ve dinamik performansını artırdığını göstermektedir. Özellikle lif içeren beton numunelerinde ilk çatlak oluşumu ve nihai kırılma için gerekli darbe sayısının, lifsiz betonlara kıyasla belirgin şekilde arttığı bildirilmektedir (Sun ve Xu, 2009:200). Polipropilen liflerin beton içerisine ilave edilmesi betonun darbe yükleri altında sergilediği performansı geliştirebilmekte ve uygun lif miktarının seçilmesi durumunda betonun enerji yutma kapasitesinin önemli ölçüde artabildiği ifade edilmektedir (Zhang vd., 2026:4). Bu durum, liflerin çatlak ilerlemesini sınırlandırması ve darbe etkisi altında oluşan gerilmelerin matris içerisinde daha dengeli şekilde dağıtılmasına katkı sağlaması ile açıklanmaktadır. Literatürde yer alan deneysel çalışmalar da bu durumu desteklemektedir. Şahin vd. (2021:484) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, 12 mm uzunluğunda ve 32 µm çapında M12 monofilament tip polipropilen lifler beton karışımlarına farklı oranlarda ilave edilmiştir. Lif oranları %0.20, %0.40, %0.60, %0.80 ve %1 olarak belirlenmiş ve lif katkısının betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkileri deneysel olarak

incelenmiştir. Darbe dayanımı deney sonuçları, polipropilen lif katkısının betonun darbe performansını önemli ölçüde artırdığını ve darbe dayanımında %318'e varan artışlar sağlanabildiğini göstermiştir. Benzer şekilde Dong (2020:5) tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmada beton kompozitlerine 0.5, 1, 1.5 ve 2 kg/m³ oranlarında polipropilen lif ilave edilerek betonun mekanik ve dayanıklılık performansı incelenmiştir. Deney sonuçlarına göre lif içeriğinin artmasıyla birlikte betonun darbe dayanımının önemli ölçüde yükseldiği belirlenmiştir. Lif içermeyen beton numunelerinde ilk çatlak oluşumu ortalama 47 darbe sonrasında gerçekleşirken, 2 kg/m³ polipropilen lif içeren numunelerde bu değer yaklaşık 135 darbe seviyesine yükselmiştir. Bu sonuçlar, polipropilen liflerin beton içerisinde çatlak ilerlemesini sınırlandırarak darbe dayanımını artırdığını göstermektedir.

Öte yandan, lif miktarının aşırı artırılması her zaman olumlu sonuçlar vermeyebilmektedir. Xiaogang vd. (2025:3) tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmada polipropilen lif takviyeli betonların dinamik darbe davranışı Split Hopkinson basınç çubuğu (SHPB) sistemi kullanılarak incelenmiştir. Araştırma sonuçları, uygun lif içeriğinin betonun enerji yutma kapasitesini ve darbe altındaki mekanik performansını artırdığını; ancak lif oranının aşırı yükseltilmesi durumunda enerji sönmüleme etkisinin azalabildiğini göstermiştir.

Tokluk ve Süneklik Özelliklerine Etkisi

Polipropilen liflerin beton içerisine ilave edilmesi, betonun tokluk ve süneklik özellikleri üzerinde önemli iyileşmeler sağlayabilmektedir. Liflerin en önemli etkilerinden biri, beton matrisi içerisinde çatlak köprüleme mekanizması oluşturarak çatlakların birbirine bağlanmasına katkı sağlamasıdır. Bu mekanizma sayesinde betonun kırılma sonrası deformasyon kapasitesi artmakta ve kırılma sonrası esneklik davranışı gelişebilmektedir (Şenol, 2022:11). Benzer şekilde polipropilen liflerin çatlak köprüleme etkisi sayesinde betonun tokluğunu artırdığı ve çatlama sonrasında yük taşıma kapasitesinin belirli ölçüde korunmasına katkı sağladığı bildirilmektedir (Sun ve Xu, 2009:203). Bunun yanı sıra liflerin beton matrisi içerisinde gerilmelerin yeniden dağıtılmasına katkı sağladığı ve bu sayede betonun enerji yutma kapasitesinin arttığı ifade edilmektedir. Lif takviyesi ile betonun çatlak sonrası davranışının iyileştiği ve kırılma sürecinde daha sünek bir davranış sergilendiği belirtilmektedir (Boğa vd., 2022:3). Bu durum, özellikle liflerin matris içerisinde oluşturduğu bağlanma etkisi ve çatlak ilerlemesini sınırlandırma kapasitesi ile açıklanmaktadır.

Literatürde ayrıca polipropilen liflerin beton içerisindeki çatlak ilerlemesini sınırlandırarak tokluk ve süneklik özelliklerini geliştirdiği vurgulanmaktadır. Liflerin çatlak yüzeyleri arasında köprü görevi görmesi, çatlakların ani şekilde ilerlemesini engelleyebilmekte ve böylece betonun kırılma davranışı daha kontrollü hale gelmektedir (Zhang vd., 2026:4).

Deneyisel çalışmalar da bu bulguları desteklemektedir. Xiaogang vd. (2025:3) tarafından gerçekleştirilen çalışmada polipropilen liflerin beton içerisinde çatlak ilerlemesini sınırladığı ve kırılma sırasında oluşan parçacık boyutunu küçülterek kırılma mekanizmasını değiştirdiği belirlenmiştir. Ayrıca liflerin mikro ölçekte çatlak direnci oluşturarak betonun kırılma dayanımını ve enerji sönümleme kapasitesini geliştirdiği rapor edilmiştir.

POLİPROPİLEN LİFLERİN DAYANIKLILIK ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ

Su Emme ve Geçirimlilik Özellikleri

Polipropilen liflerin betonun dayanıklılık özellikleri üzerindeki etkileri literatürde farklı yönleriyle ele alınmaktadır. Bazı araştırmalarda, polipropilen liflerin beton mikro yapısını değiştirerek boşluk miktarını azaltabildiği ve bunun sonucunda betonun su geçirimsizliğinin azalabildiği bildirilmektedir (Sun ve Xu, 2009:198). Bu durum, liflerin beton matrisi içerisinde mikro çatlakların ilerlemesini sınırlandırması ve çatlakların sürekliliğini azaltması ile açıklanmaktadır.

Bununla birlikte, bazı çalışmalarda polipropilen liflerin hidrofobik yüzey özellikleri nedeniyle lif çevresinde su cepleri oluşabildiği ve geçiş bölgesinde (ITZ) daha fazla hava kabarcığı çekerek gözenekliliği artırabildiği belirtilmektedir (Boğa vd., 2022:3). Bu durum lif-matris ara yüzeyinde oluşan boşlukların betonun gözenek yapısını etkileyebileceğini göstermektedir.

Polipropilen lif içeren betonlarda porozite ve su emme değerlerinin lif içeriğinin artmasıyla birlikte yükseldiği ve bunun beton içerisindeki boşluk yapısındaki değişim ile ilişkili olabileceği ifade edilmektedir (Karahan ve Atis, 2011:1046). Nitekim bazı araştırmalar, lif ilavesinin beton içerisinde ek ara yüzey bölgeleri oluşturması nedeniyle su ve gaz geçirimsizliğini artırabildiğini ortaya koymaktadır. Bu durumun, liflerin beton matrisi içerisinde yeni ara yüzey bölgeleri oluşturmaya ve gözenek bağlantılarını artırmasına bağlı olabileceği belirtilmektedir (Islam ve Gupta, 2016:353).

Deneyisel çalışmalar da benzer eğilimleri ortaya koymaktadır. Sarıkaya ve Susurluk (2023:7) tarafından gerçekleştirilen çalışmada lif dozajının artmasıyla birlikte beton numunelerinin su emme oranlarının da arttığı belirlenmiştir. Araştırmacılar bu durumun liflerin beton içerisinde yeni ara yüzey bölgeleri oluşturması ve boşluk yapısında meydana gelen değişim ile ilişkili olabileceğini ifade etmiştir.

Rötre ve Çatlak Kontrolü

Polipropilen liflerin beton içerisine ilave edilmesi, betonun rötre davranışı ve çatlak oluşumu üzerinde olumlu etkiler sağlayabilmektedir. Özellikle lif takviyesinin betonun rötre deformasyonunu azaltabildiği ve erken yaşlarda meydana gelen çatlakların gelişimini sınırlandırabildiği bildirilmektedir (Sun ve Xu, 2009:202). Bu durum, liflerin beton matrisi

içerisinde oluşan gerilmeleri dengeleyerek mikro çatlakların ilerlemesini kontrol etmesi ile açıklanmaktadır.

Yapılan araştırmalar, lif hacim oranının artmasıyla birlikte kuruma rötrelерinin azaldığını ve liflerin beton içerisindeki mikro hareketleri sınırlayarak çatlak oluşumunu kontrol edebildiğini göstermektedir (Karahan ve Atis, 2011:1047). Liflerin bu etkisi, beton matrisi içerisinde oluşan çekme gerilmelerinin daha dengeli şekilde dağıtılmasına katkı sağlaması ile ilişkilendirilmektedir.

Deneysel çalışmalar da polipropilen liflerin özellikle plastik rötre çatlaklarının kontrolünde oldukça etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Islam ve Gupta (2016:352) tarafından gerçekleştirilen çalışmada polipropilen liflerin plastik rötre çatlaklarının oluşumunu önemli ölçüde azalttığı belirlenmiştir. Beton karışımlarına %0.1–0.3 oranında lif ilavesi ile plastik rötre çatlaklarının %50–99 oranında azaldığı, ayrıca çatlak genişliğinin %72–93 oranında küçüldüğü rapor edilmiştir.

Yüksek Sıcaklık ve Yangın Dayanımı

Polipropilen liflerin betonun yüksek sıcaklık davranışı üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Bu lifler yaklaşık 170 °C üzerindeki sıcaklıklarda eriyerek beton matrisi içerisinde mikro kanallar oluşturmakta ve böylece iç buhar basıncının azalmasına katkı sağlamaktadır. Bu mekanizma sayesinde betonun iç gerilmeleri düşmekte ve yüksek sıcaklık altında meydana gelebilecek patlayıcı parçalanma (spalling) riskinin azalabildiği ifade edilmektedir (Şenol, 2022:11).

Deneysel çalışmalar da polipropilen liflerin yüksek sıcaklık performansına olumlu katkılar sağlayabildiğini göstermektedir. Eidan vd. (2019:202) tarafından gerçekleştirilen çalışmada 12 mm uzunluğunda polipropilen lif içeren beton numuneleri 100–600 °C sıcaklık aralığına maruz bırakılmıştır. Araştırma sonuçları, 400 °C sıcaklık sonrasında lif içeren betonların artık dayanım değerlerinin lifsiz betonlara göre daha yüksek olduğunu göstermiştir. Ayrıca 600 °C sıcaklık uygulamasından sonra da polipropilen lif içeren betonların lifsiz betonlara kıyasla daha yüksek artık dayanım sergilediği belirlenmiştir.

Rudnik ve Drzymała (2018:1006–1012) tarafından gerçekleştirilen çalışmada beton karışımlarına 1.8 ve 3.0 kg/m³ oranlarında polipropilen lif ilave edilerek betonun yüksek sıcaklık altındaki davranışı incelenmiştir. Deneysel çalışmada numuneler 200 °C ve 300 °C sıcaklıklara maruz bırakılmış ve betonun termal davranışı eşzamanlı termal analiz yöntemi ile değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre polipropilen lif ilavesi betonun termal stabilitesini artırmış ve yüksek sıcaklık etkisi altında betonun iç yapısında meydana gelen değişimleri sınırlamıştır. Ayrıca liflerin yüksek sıcaklıklarda erimesi sonucunda beton içerisinde oluşan mikro kanalların su buharı basıncını azaltarak patlayıcı parçalanma riskini düşürdüğü ifade edilmiştir.

SONUÇ

Bu çalışmada, çimentolu harç ve betonlarda kullanılan polipropilen liflerin performansı, literatürde yer alan çalışmalar doğrultusunda incelenmiştir. Elde edilen bulgular aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

Polipropilen lifler düşük yoğunlukları, kimyasal dayanımları ve hidrofobik yüzey özellikleri sayesinde çimento esaslı kompozitlerde yaygın olarak kullanılan sentetik liflerdir. Liflerin matriste oluşturduğu çatlak köprüleme mekanizması, betonun kırılma davranışını daha sünek hale getirerek yapısal performansın iyileştirilmesine katkı sağlamaktadır.

Polipropilen lif ilavesi, taze betonun işlenebilirliğini genellikle azaltmaktadır. Lif miktarı ve lif uzunluğu arttıkça karışımın akışkanlığında azalma ve çökme değerlerinde düşüş meydana gelebilmektedir. Buna karşın liflerin karışımın kohezyonunu artırarak segregasyon riskini azaltabildiği de rapor edilmektedir.

Mekanik özellikler açısından değerlendirildiğinde, polipropilen lifler özellikle çekme, eğilme ve darbe dayanımı üzerinde belirgin iyileşmeler sağlayabilmektedir. Liflerin beton matrisi içerisinde oluşturduğu üç boyutlu ağ yapısı ve çatlak köprüleme etkisi sayesinde çatlak ilerlemesi sınırlandırılmakta ve betonun enerji yutma kapasitesi ile tokluk özellikleri geliştirilmektedir. Buna karşılık basınç dayanımı üzerindeki etkisinin sınırlı olduğu ve bazı durumlarda lif içeriğinin artmasıyla birlikte dayanımın azalabildiği değerlendirilmektedir.

Dayanıklılık özellikleri açısından polipropilen liflerin betonun rötre deformasyonunu azaltabildiği ve özellikle plastik rötre çatlaklarının oluşumunu önemli ölçüde sınırlandırabildiği belirlenmiştir. Bununla birlikte bazı çalışmalarda lif ilavesinin betonun porozitesini ve su emme oranını artırabildiği, bunun ise lif-matris ara yüzeyinde oluşan boşluk yapısı ile ilişkili olabileceği ifade edilmektedir.

Polipropilen liflerin yüksek sıcaklık performansı üzerinde de olumlu etkileri bulunmaktadır. Liflerin yaklaşık 170 °C üzerindeki sıcaklıklarda eriyerek beton içerisinde mikro kanallar oluşturması, su buharı basıncını azaltarak patlayıcı parçalanma riskini düşürmekte ve betonun yangın dayanımını artırabilmektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, polipropilen liflerin çimentolu harç ve betonlarda özellikle süneklik, darbe direnci ve çatlak kontrolü açısından önemli avantajlar sağladığı; ancak optimum lif içeriğinin belirlenmesinin hem mekanik performans hem de dayanıklılık özellikleri açısından kritik bir parametre olduğu görülmektedir.

REFERANSLAR

- Abdulrahman, P. I., Bzeni, D. K., & Ahmed, S. M. (2025). Pull-off and slant-shear tests for evaluating bond strength in polymer-modified cement mortar reinforced with polypropylene fibers. *Journal of Building Engineering*, 104, 112259.
- Açıkgöç, M., Arazsu, U., & Alyamaç, K. E. (2012). Farklı karışım oranlarına sahip polipropilen lifli betonların dayanım ve durabilite özellikleri. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 4(3), 41-54.
- Akgül, M. (2025). Polipropilen lifli mikro betonlarda nano silika kullanımının etkisi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 28(2), 721-731.
- Boğa, A. R., Karakurt, C., and Şenol, A. F. (2022). The effect of elevated temperature on the properties of SCC's produced with different types of fibers. *Construction and Building Materials*, 340, 127803.
- Dong, H. (2020). Preparation and performance analysis of polypropylene fiber-reinforced concrete composite. *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*, 15, e2445.
- Eidan, J., Rasoolan, I., Rezaeian, A., and Poorveis, D. (2019). Residual mechanical properties of polypropylene fiber-reinforced concrete after heating. *Construction and Building Materials*, 198, 195-206.
- Islam, G. S., and Gupta, S. D. (2016). Evaluating plastic shrinkage and permeability of polypropylene fiber reinforced concrete. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 5(2), 345-354.
- Kakooei, S., Akil, H. M., Jamshidi, M., & Rouhi, J. (2012). The effects of polypropylene fibers on the properties of reinforced concrete structures. *Construction and Building Materials*, 27(1), 73-77.
- Karahan, O., and Atis, C. D. (2011). The durability properties of polypropylene fiber reinforced fly ash concrete. *Materials and Design*, 32, 1044-1049.
- Khan, M. M., Ahmad, S., Al-Huri, M., Mukhtar, F., & Al-Osta, M. A. (2026). Mechanical behaviour and impact response of ultra-high-performance concrete incorporating steel and polypropylene fibers. *Next Materials*, 10, 101436.
- Rudnik, E., & Drzymała, T. (2018). Thermal behavior of polypropylene fiber-reinforced concrete at elevated temperatures. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 131(2), 1005-1015.
- Şahin, M., Karagöz, İ., Öksüz, M., and Yazıcıoğlu, S. (2021). Properties of concrete reinforced with m12 monofilament type polypropylene fiber. *El-Cezeri*, 8(1), 481-494.
- Sarıkaya, H., & Susurluk, G. (2023). Thermal and Mechanical Properties of Concretes Containing Polypropylene, Kapok and Coconut Fibers. *Usak University Journal of Engineering Sciences*, 6(1), 1-11.
- Si, W., Khan, M., & McNally, C. (2026). Designing polypropylene fiber reinforcement for 3D concrete printing: Rheology control, thixotropic recovery and mechanical performance. *Construction and Building Materials*, 514, 145562.
- Şenol, A. F. (2022). Beton teknolojisinde lif türleri ve lif takviyeli betonların özellikleri. Editör Ö. S. Bideci, *Mühendislik bilimlerinde güncel tartışmalar* (pp. 7-23). Duvar Yayınları.

- Sun, Z., and Xu, Q. (2009). Microscopic, physical and mechanical analysis of polypropylene fiber reinforced concrete. *Materials Science and Engineering A*, 527, 198–204.
- Xiaogang, W., Zhifan, Q., Shiao, W., Shuaixin, M., Mengqing, S., Jingyu, F., & Guanghui, L. (2025). Experimental study on dynamic impact mechanical properties and fracture resistance mechanism of polypropylene fiber reinforced concrete. *Journal of Building Engineering*, 112, 113654.
- Yuan, Z., & Jia, Y. (2021). Mechanical properties and microstructure of glass fiber and polypropylene fiber reinforced concrete: An experimental study. *Construction and Building Materials*, 266, 121048.
- Zhang, X., Niu, D., Luo, D., vd. (2026). Flexural performance of polypropylene fiber reinforced coral aggregate concrete at different curing ages. *Construction and Building Materials*, 506, 144792.