



POLYESTER LİF UZUNLUĞU VE KATKI ORANININ BETONUN MEKANİK VE ISI YALITIM ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Gülşah SUSURLUK^{1*}, Hakan SARIKAYA²

¹ İstanbul Beykent Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Tekstil Teknolojisi Programı, İstanbul

² Uşak Üniversitesi, Banaz Meslek Yüksekokulu, İnşaat Teknolojisi Programı, Uşak

Anahtar Kelimeler

*Polyester Lifi,
Basınç Dayanımı,
Eğilme Dayanımı,
Isı yalıtım.*

Öz

İnşaat mühendisliği yapı malzemelerinde üstün yalıtım ve performans özellikleri sağlamak için, tekstil sektöründe özellikle 2000'li yıllardan itibaren en çok kullanılan ve tüketilen sentetik lif olarak tanımlanan polyester (PES) lifi çok önemli bir hammadde kaynağı olarak öne çıkmaktadır. Bu sebeple, bu çalışma, farklı PES lif uzunlukları (3, 4.5 ve 6 cm) ve farklı lif katkı oranlarında tasarlanan PES lif katkılı betonlarda basınç, eğilme dayanımı ve ısı yalıtımı özellikleri arasındaki ilişkilere odaklanmıştır. Bu amaçla çimento ağırlığınca göre %0, %0,5, %1 ve %1.5 PES lifi içeren rastgele dağıtılmış lif katkılı beton karışımları hazırlanmıştır. Deneysel sonuçlar, PES lif katkısının betonun mekanik özelliklerini artırabileceğini, özellikle eğilme dayanımında olumlu etki sağladığını ortaya koymaktadır. Eğilme kazancına yönelik %1.5 lif katkı oranında %32.4'lük bir kazanç elde edilmiştir. Lif uzunluğunun artması ve karışım oranlarının artması ile yalıtkanlık değerlerinde dikkate değer bir artış görülmektedir. Dolayısıyla lif uzunlukları ve lif içerik oranları ile mekanik ve yalıtım özellikleri arasındaki ilişkilere yönelik R² 0.98 korelasyon katsayısı ile tahmin edilebileceğini ortaya koymaktadır. Bu çalışma, inşaat sektöründe sentetik liflerin içeriğinin beton karışımlarına entegrasyonu etkili bir tasarım yaklaşımı olarak görülmektedir.

THE EFFECT OF POLYESTER FIBER LENGTH AND MIX RATIO ON MECHANICAL AND THERMAL INSULATION PROPERTIES OF CONCRETE

Keywords

*Polyester Fiber,
Compressive Strength,
Flexural Strength,
Thermal Insulation.*

Abstract

Polyester (PES) fiber, recognized as the most widely used and consumed synthetic fiber in the textile industry, is a significant raw material source that provides superior insulation and performance characteristics in construction materials. Therefore, this study focuses on the relationships among compressive strength, flexural strength, and thermal insulation properties in PES fiber-incorporated concrete designed with different PES fiber lengths (3, 4.5 and 6 cm) and different content ratios. For this purpose, randomly distributed fiber-incorporated concrete mixtures containing 0%, 0.5%, 1% and 1.5% PES fiber by weight of cement were prepared. Experimental results indicate that PES fiber additive can enhance the mechanical properties of concrete, particularly providing a positive effect on flexural strength. A significant enhancement in thermal insulation values is observed with the increase of fiber length and fiber content ratios. Therefore, it is revealed that the relationships between fiber lengths and fiber content ratios and mechanical and insulation properties can be estimated with a correlation coefficient of R² of 0.98. This study demonstrates that the integration of synthetic fibers into concrete mixtures represents an effective design approach in the construction industry.

Alıntı / Cite

Susurluk, G., Sarıkaya, H., (2025). Polyester Lif Uzunluğu ve Katkı Oranının Betonun Mekanik ve Isı Yalıtım Özelliklerine Etkisi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 13(1), 107-119.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

G. Susurluk, 0000-0003-3284-2248
H. Sarıkaya, 0000-0002-8043-3302

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	14.10.2024
Revizyon Tarihi / Revision Date	28.11.2024
Kabul Tarihi / Accepted Date	07.12.2024
Yayın Tarihi / Published Date	20.03.2025

* İlgili yazar / Corresponding author: gulsahsusurluk@beykent.edu.tr, +90 507 593 1977

THE EFFECT OF POLYESTER FIBER LENGTH AND MIX RATIO ON MECHANICAL AND THERMAL INSULATION PROPERTIES OF CONCRETE

Gülşah SUSURLUK^{1†}, Hakan SARIKAYA²

¹Textile Technology Department, School of Advanced Vocational Studies, Istanbul Beykent University, Istanbul, Turkey

²Construction Technology Department, School of Advanced Vocational Studies, Usak University, Usak, Turkey

Highlights

- Utilization of synthetic fiber into cement mixtures.
 - Enhanced flexural strength and thermal insulation via polyester fiber.
 - Effect of fiber length on the strength-insulation mechanism.
-

Purpose and Scope

The focus of this research is to investigate the effects of different fiber lengths and content ratios of polyester fibers on the mechanical and insulation properties of concrete samples and to provide a new perspective on the use of synthetic-based significant raw material sources in the construction sector.

Design/methodology/approach

The methodology of this study involves preparing concrete mixes containing PES fibers of different lengths (3, 4.5 and 6 cm) and content ratios (0%, 0.5%, 1%, and 1.5% by weight of cement). Experiments were conducted to evaluate the compressive strength, flexural strength and thermal insulation properties, and then the correlations between the variables were analyzed. This approach will provide insights into the performance improvements achieved by incorporating PES fibers into concrete.

Findings

At both 7 and 28 days of curing, the increases in PES fiber length and fiber content ratio resulted in limited decreases in the compressive strength among the mechanical properties. A remarkable performance increase of 32.4% and 25.51% was achieved in flexural strength and thermal insulation values at maximum fiber length and fiber content ratio, respectively. In addition, our study reveals that the relationships observed among compressive strength-flexural strength-insulation properties can be estimated with high correlation coefficient.

Research limitations/implications (if applicable)

The homogeneity of the designed concrete mixtures and the uniform distribution of PES fiber particles in the cement matrix is an important factor in determining improved thermal insulation and mechanical properties. In order to provide remarkable insulation and performance properties in civil engineering building materials, synthetic-based fibers may be preferred in future studies to contribute to the development of concrete design with PES fiber content.

Originality

This study presents the effect of PES fiber-incorporated concrete mixtures designed with different fiber lengths and content ratios in improving mechanical and thermal conductivity properties. It provides a new perspective on the utilization of PES fiber, which is the most widely consumed and utilized synthetic fiber in the textile sector, especially for providing excellent insulation properties in the construction sector.

[†] Corresponding author: gulsahsusurluk@beykent.edu.tr, +90 507 593 1977

1. Giriş (Introduction)

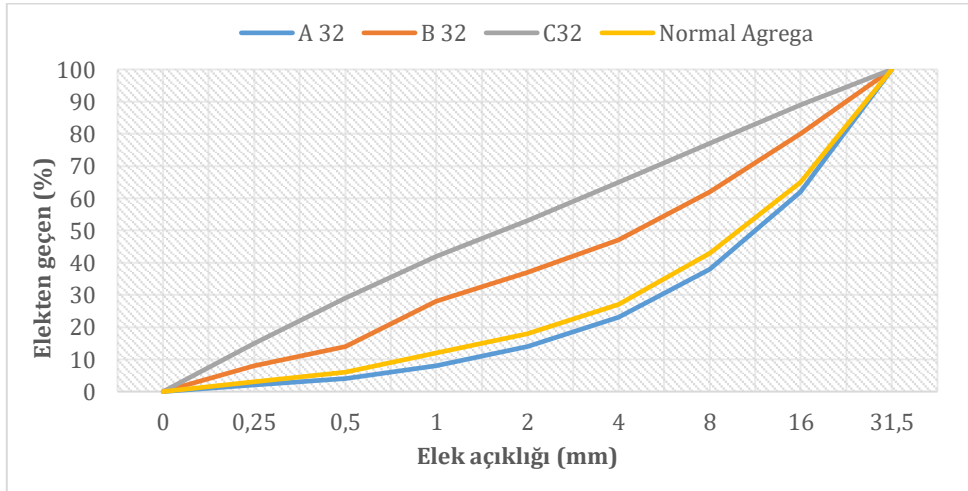
Dünya çapında en yaygın kullanılan yapı malzemelerinden biri olan betona olan talepte, özellikle 21. yüzyılın başlarından itibaren önemli bir artış yaşanmaktadır (Khan ve McNally, 2023; Althoey vd., 2023; Nassar vd., 2022). Beton; gerilme kapasitesi, enerji yutma ve darbe direnci açısından bazı sınırlı özelliklere sahip kırılabilir bir malzemedir (Wang vd., 2000; AbdelAleem ve Hassan, 2019). Beton yapıların özellikle mekanik ve performans özellikleri açısından sünek davranış göstermeleri sınırlı özelliklerin giderilmesi açısından önem taşımaktadır. Betonun bu özelliklerini geliştirmek amacıyla beton içerisine tekstil sektörünün en küçük yapıtaşı (lif) olarak adlandırılan doğal veya sentetik esaslı lifler ilave edilmektedir. Sentetik esaslı lifler sünek karakterde malzeme yapısına sahip olmasından dolayı betona dahil edilmesi hem kırılabilirliği hafifletmeye yardımcı olmakta, hem de betonun sünekliliğini, enerji yutma ve darbe direncini artırmaya katkı sağlamaktadır (AbdelAleem ve Hassan, 2019; Zheng vd., 2008). Bu sebeple dünyada tekstil sektöründe en çok üretilen ve tüketilen sentetik lif olarak tanımlanan polyester (PES) lifi çok önemli bir hammadde kaynağı olarak öne çıkmakta ve özellikle inşaat sektöründe betonun gerilme kapasitesi, çatlak ve darbe direnci gibi üstün mekanik özelliklerinde iyileştirmeler sağlamaktadır (Fode vd., 2024; Patti ve Cicala, 2021; Ba 2023, Kiruthika vd., 2020; Salhotra vd., 2023).

Mevcut çalışmaların çoğu, doğal veya sentetik liflerin yapı malzemelerine katkısının mekanik özelliklerinin etkisine odaklanılmıştır. Fakat lif takviyeli çimentolu malzemenin enerji yutma kapasitesinin ve sünekliliğinin artışı, lif ile çimentolu matris arasındaki etkileşime bağlıdır. Bu etkileşimin bulunduğu alan, arayüz geçiş bölgesi (ITZ) olarak tanımlanmaktadır. Aslında lif takviyeli beton içerisinde, ITZ'deki elyaf ve matris arasındaki bağlanmayı etkileyen çeşitli faktörler bulunmaktadır. Bu faktörler lif özelliklerinden lif türü, lif uzunluğu, lif geometrisi, lif çapı vb. özellikleriyle ilgili faktörlerdir. Bu faktörler nihayetinde yük altında betonun genel deformasyon davranışını etkilemektedir (Ranade vd., 2015; Babafemi ve Boshoff, 2017). Ayrıca hidrofil yani nemi ve suyu iyi çeken bir elyaf kullanıldığında, lif ile matris arasındaki yapı bozulduğu için sentetik esaslı lifler yapıyı etkilememektedir. Bu sebeple sentetik lif takviyeli beton tasarımları büyük ölçüde lifin türüne ve özelliklerine bağlı olduğu ifade edilmiştir (Babafemi ve Boshoff, 2017; Nanni vd. 1998). Son yıllarda farklı lif uzunlukları, farklı lif özelliklerinin kullanılmasıyla tasarlanan beton karışımlarının mekanik özelliklerini arttırdığı çalışmalara odaklanılırken (Al-Ameeri 2013; Anand vd., 2016; Khaloo vd., 2014; Eduardo vd., 2008; El-Dieb 2009) yalıtım özelliklerine odaklanılmamıştır. Bu nedenle, bu araştırmanın odak noktası, farklı lif uzunluklarında ve katkı oranlarında polyester lifi içeren beton numunelerinin mekanik ve yalıtım özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmak ve inşaat sektöründe sentetik bazlı önemli hammadde kaynaklarının kullanımı için yeni bir bakış açısı sunmaktır.

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

2.1. Materyal (Material)

Bu çalışmada TS EN 206+A2 standardına göre üretilen beton karışımlarına, sentetik liflerin en önemli hammadde kaynağı olan PES lifleri ilave edilmiştir. Beton karışımlarında kullanılan TS EN 196-1 standardına uygun ve beton kompozisyonlarında kullanılan CEM I 42,5 R tipi çimento, Afyon Çimentodan, agrega ve su ise Oktaş Beton tarafından tedarik edilmiştir. Bu malzemelerin fiziksel özellikleri ve kimyasal kompozisyonları Tablo 1'de verilmiştir. Beton numunelerine ilave edilen PES liflerinin fiziksel ve mekanik özellikleri de Tablo 2'de verilmiştir. Ayrıca çalışmamızda kullanılan agreganın tane boyutu dağılımını gösteren granülometri eğrisi Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Granülometri eğrisi

Tablo 1. Kullanılan çimento ve agreganın kimyasal bileşimleri ve fiziksel özellikleri
(Chemical compositions and physical properties of used cement and aggregate)

	Çimento	Agrega
Kimyasal bileşimler (wt/wt %)		
SiO ₂	19.1	20.9
Al ₂ O ₃	5.19	0.4
Fe ₂ O ₃	2.65	0.2
CaO	63.4	42.6
MgO	1.83	0.4
SO ₃	2.95	-
Na ₂ O	0.22	<0.1
K ₂ O	0.94	0.1
Cl ⁻	0.011	-
Fiziksel özellikler		
Yoğunluk (g/cm ³)	3.10	-
Etüv kuru (g/cm ³)	-	2.55
Özgül yüzey alan (cm ² /g)	3680	-

Tablo 2. PES lifinin fiziksel ve mekanik özellikleri (Physical and mechanical properties of PES fiber)

Polyester lifi	
Fiziksel Özellikler	
Yoğunluk (g/cm ³)	1.38
Nem (%)	0.4-0.8
Uzunluk (mm)	30-50
Çap (µm)	10-15
Mekanik özellikler	
Kopma mukavemeti (N/mm ²)	30-40
Başlangıç modülü (GPa)	2-3

2.2. Karışım Oranları (Mix Proportions)

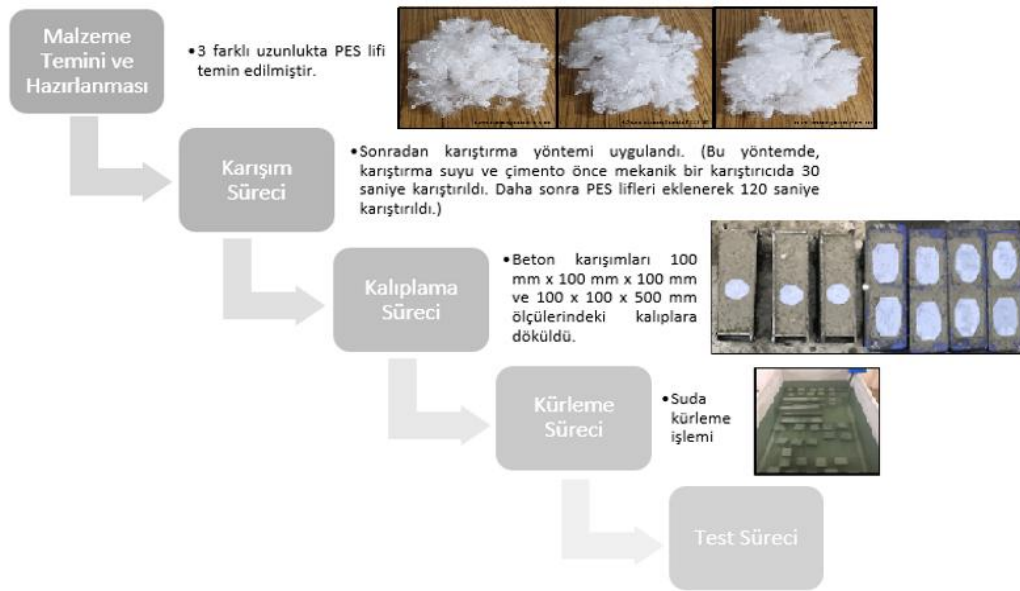
PES lif ilavesinin beton numunelerinin mekanik ve yalıtım özellikleri üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla, bu deneysel çalışmamızda 9 farklı beton karışımı oluşturulmuştur. Bu amaçla, beton karışımlarında çimento miktarı sabit tutularak çimento ağırlığının %0.5, %1 ve %1.5'i oranında PES lifi kullanılmıştır. Tablo 3'te üretilen beton numunelerine ait karışım oranları görülmektedir. PES-0, PES-3-0.5, PES-3-1, PES-3-1.5, PES-4.5-0.5, PES-4.5-1, PES-4.5-1.5, PES-6-0.5, PES-6-1 ve PES-6-1.5 olarak etiketlenen toplam 9 karışım oluşturulmuştur. Numuneler herhangi bir lif içermeyen PES-0, lif uzunluğu 3, 4.5 ve 6 cm olanlar sırasıyla PES-3, PES-4.5 ve PES-6 olacak edecek şekilde etiketlenmiştir. Sondaki "0,5", "1" ve "1,5" etiketleri beton karışımına eklenen PES lif miktarını yüzde olarak göstermektedir.

Tablo 3. Karışım oranları (Mix proportions)

Karışım	Çimento (kg/m ³)	İnce Agregat (kg/m ³)	Kaba Agregat (kg/m ³)	PES lifi (g)	Su (kg/m ³)
PES-0	300	722	1111	-	160
PES-3-0.5	300	722	1111	15	160
PES-3-1	300	722	1111	30	160
PES-3-1	300	722	1111	45	160
PES-4.5-0.5	300	722	1111	15	160
PES-4.5-1	300	722	1111	30	160
PES-4.5-1.5	300	722	1111	45	160
PES-6-0.5	300	722	1111	15	160
PES-6-1	300	722	1111	30	160
PES-6-1.5	300	722	1111	45	160

2.3. Numune Hazırlanması, Kür Koşulları ve Uygulanan Testler (Sample Preparation, Curing Conditions and Testing Procedures)

Deneysel çalışmalar kapsamında karışımlar mekanik bir karıştırıcıda karıştırılmış ve karışımlar 100 x 100 x 100 mm ve 100 x 100 x 500 mm'lik kalıplara dökülmüştür. Karışımların oluşturulması esnasında dikey eksenli bir karıştırıcı yardımıyla karıştırma işlemi uygulanmıştır. Su kademeli olarak homojen bir matris elde edilene kadar karışımlara eklenmiştir. Karışım suyu olarak doğal kaynak suyu kullanılmıştır. Gao ve diğerlerinin çalışmasında önerilen sonradan karıştırma yöntemi uygulanmıştır (Gao vd., 2017). Daha sonra beton karışımları standart küp kalıplara dökülmüştür ve numunelerin homojenliğini artırmak amacıyla etkin bir vibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Üretilen beton numuneleri 22 ± 2 °C de ilk 24 saat etüvde bekletilmiştir. Ertesi gün etüvden çıkarılan numuneler 7 ve 28 gün boyunca iki farklı periyotta suda kür işlemine tabi tutulmuştur. Numunelerin suda kür işlemi, oda sıcaklığı koşullarında kür havuzuna tamamıyla batırılmaları suretiyle gerçekleştirilmiştir. Kür süresini tamamlayan numuneler, kür havuzundan çıkarılarak suda kürlenmiş beton numunelerine sırasıyla kuru birim hacim ağırlığı, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve termal iletkenlik katsayısı testleri gerçekleştirilmiştir. Tüm testler 22 ± 2 °C ve %65 bağıl nem içeren ortam koşullarında gerçekleştirilmiştir. Şekil 2 numune hazırlama akış diyagramı sürecini göstermektedir. Şekil 3, uygulanan test programını göstermektedir.



Şekil 2. Numune hazırlama akış diyagramı süreci (Sample preparation flow chart process)



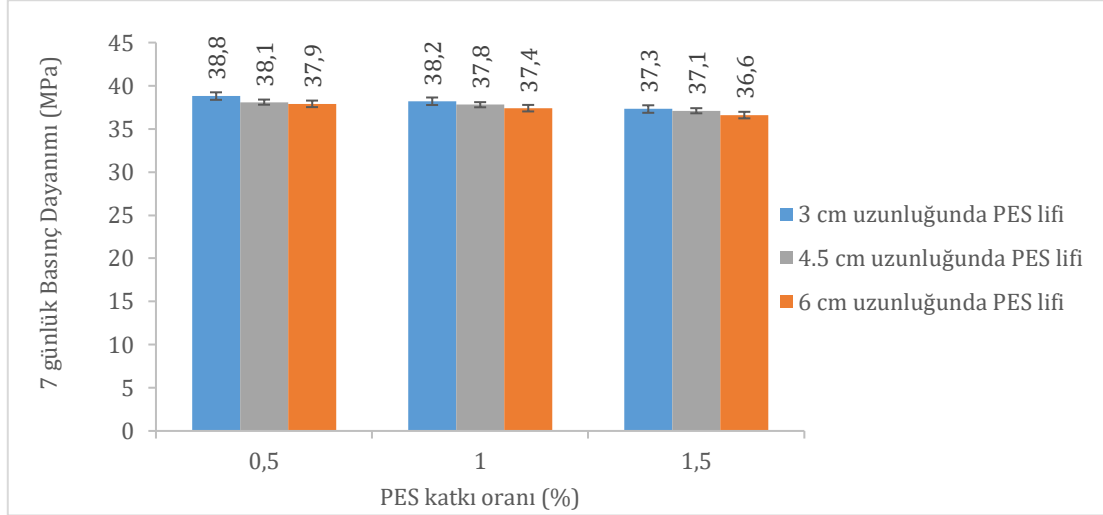
Şekil 3. Uygulanan test programı (Implemented test program)

Basınç dayanımı testi, 100 x 100 x 100 mm ölçülerinde üretilen beton numunelerine, eğilme dayanımı testi ise 100 x 100 x 500 mm ölçülerinde üretilen beton numunelerine uygulanmıştır. Basınç ve eğilme dayanımı tespitinde, her bir karışım için 3 farklı test sonucunun aritmetik ortalaması alınarak karışımın basınç ve eğilme dayanımı tespit edilmiştir. Basınç dayanımı testi, TS EN 12390-4 standardı esaslarına göre, eğilme dayanımı testi ise TS EN 12390-5 standardı esaslarına göre gerçekleştirilmiştir. PES lif katkılı beton numunelerinin ısıl iletkenlik katsayılarını belirlemek için 100 x 100 x 100 mm ölçülerinde üretilen numuneler kesilerek 100 x 50 x 20 mm boyutlarına getirilmiştir. Elde edilen numunelerin ısıl iletkenlik katsayısı ölçümleri ASTM C 1113-09 hot wire standardına uygun termal iletkenlik katsayısı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Her numune için termal iletkenlik katsayısı numunenin farklı bölgeleri için beş kez ölçülmüş ve ortalama sonuç numunenin termal iletkenlik katsayısı olarak kabul edilmiştir. Analizler QTM-500 cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

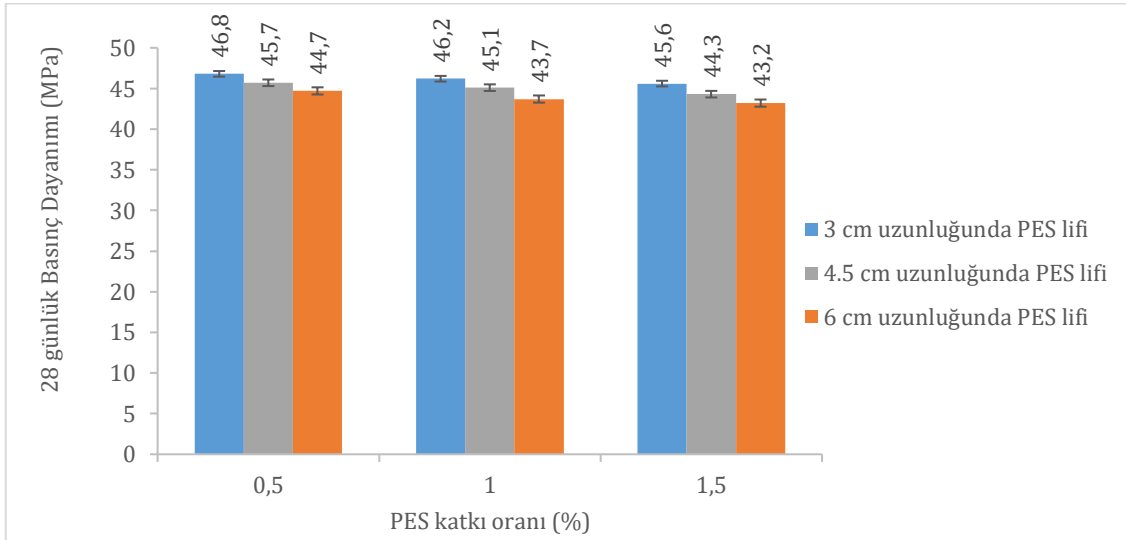
3. Bulgular ve Tartışma (Results And Discussions)

3.1. Basınç Dayanımı Test Sonuçları (Compressive Strength Test Results)

Şekil 4 ve 5'te, suda kürlenme koşulu altında farklı uzunluk ve içerikte PES lifi içeren beton numunelerinin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları görülmektedir.



Şekil 4. Farklı uzunluk ve içerikte tasarlanan PES lif katkılı beton numunelerinin 7 günlük basınç dayanımı test sonuçları (7-day compressive strength test results of PES fiber-incorporated concrete samples designed with different lengths and content ratios)



Şekil 5. Farklı uzunluk ve içerikte tasarlanan PES lif katkılı beton numunelerinin 28 günlük basınç dayanımı test sonuçları (28-day compressive strength test results of PES fiber-incorporated concrete samples designed with different lengths and content ratios)

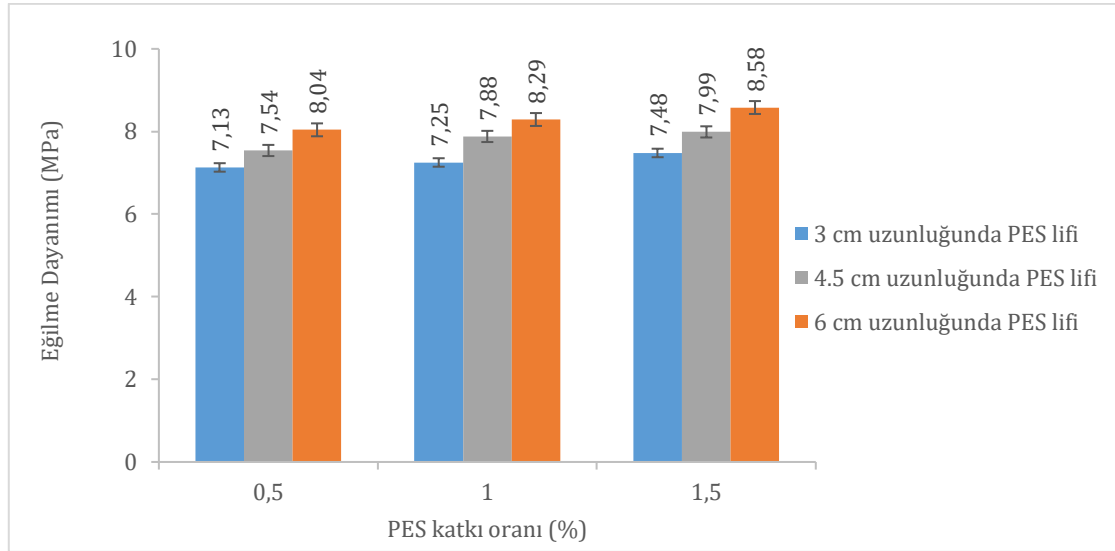
Katkısız numune 7 günlük kürlenme süresi sonunda 41.6 MPa dayanıma ulaşmıştır. 3 cm uzunluğunda PES lif katkısı ile oluşturulan beton karışımlarına %0.5, %1 ve %1.5 içerik oranlarında PES lifi eklenmesi basınç dayanımında sırasıyla %6.73, %8.17 ve %10.33 oranında azalmaya neden olmuştur. 4.5 cm uzunluğunda PES lif katkısı ile oluşturulan beton karışımlarına %0.5, %1 ve %1.5 içerik oranlarında PES lifi eklenmesi basınç dayanımında sırasıyla %8.41, %9.13 ve %10.81 oranında azalmaya neden olmuştur. 6 cm uzunluğunda PES lif katkısı ile oluşturulan beton karışımlarına %0.5, %1 ve %1.5 içerik oranlarında PES lifi eklenmesi basınç dayanımında sırasıyla %8.89, %10.09 ve %12.01 oranında azalmaya neden olmuştur.

Katkısız numune 28 günlük kürlenme süresi sonunda 49.6 MPa dayanıma ulaşmıştır. %0.5, %1 ve %1.5 içerik oranlarında 3 cm uzunluğunda PES lifi eklenmesiyle oluşturulan karışımlar için basınç dayanımında sırasıyla %5.64, %6.85 ve %8.06 oranında azalmaya neden olmuştur. %0.5, %1 ve %1.5 içerik oranlarında 4.5 cm uzunluğunda PES lifi eklenmesiyle oluşturulan karışımlar için basınç dayanımında sırasıyla %7.86, %9.07 ve

%10.68 oranında azalmaya neden olmuştur. %0.5, %1 ve %1.5 içerik oranlarında 6 cm uzunluğunda PES lifi eklenmesiyle oluşturulan karışımlar için basınç dayanımında sırasıyla %9.87, %11.89 ve %12.9 oranında azalmaya neden olmuştur. 7 ve 28 günlük kürlenme sonunda betonun basınç dayanımı, PES lif uzunluğu ve lif içerik oranı ne kadar yüksek ise basınç dayanımının o kadar düşük olduğu yönünde bir eğilim göstermektedir. Lif katkısının beton karışımlarına minimum içerikte bile dahil edilmesi, matrisin daha zayıf olmasına neden olduğu ve lifin ara yüzey bölgesi ile çimento matrisi arasındaki bağlanma mekanizmasını azalttığından dolayı lif içeriği oranının betonun basınç dayanımı üzerindeki kritik etkisinin altını çizmektedir (Michalik vd., 2023).

3.2. Eğilme Dayanımı Test Sonuçları (Flexural Strength Test Results)

Şekil 6, suda kürlenme koşulu altında farklı uzunluk ve içerikte PES lifi içeren beton numunelerinin 28 günlük eğilme dayanımı testinin sonuçlarını göstermektedir.

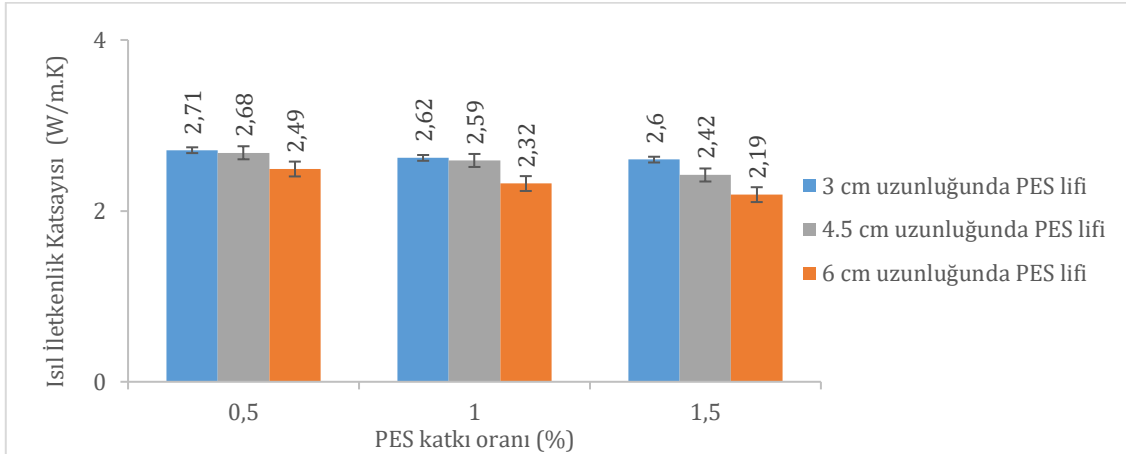


Şekil 6. Farklı uzunluk ve içerikte tasarlanan PES lif katkılı beton numunelerinin 28 günlük eğilme dayanımı test sonuçları (28-day flexural strength test results of PES fiber-incorporated concrete samples designed with different lengths and content ratios)

Lif içermeyen kontrol numunesinin 28 günlük kürlenme işlemi sonrasında 6.48 MPa eğilme mukavemeti değerine ulaşmıştır. %0.5, %1 ve %1.5 içerik oranlarında 3 cm uzunluğunda PES lifi eklenmesiyle oluşturulan karışımlar için eğilme dayanımında sırasıyla %10.03, %11.88 ve %15.43 oranında artışa neden olmuştur. %0.5, %1 ve %1.5 içerik oranlarında 4.5 cm uzunluğunda PES lifi eklenmesiyle oluşturulan karışımlar için eğilme dayanımında sırasıyla %16.35, %21.6 ve %23.3 oranında artışa neden olmuştur. %0.5, %1 ve %1.5 içerik oranlarında 6 cm uzunluğunda PES lifi eklenmesiyle oluşturulan karışımlar için eğilme dayanımında sırasıyla %24.07, %27.93 ve %32.4 oranında artışa neden olmuştur. 28 günlük kürlenme sonunda, PES lif uzunluğu ve lif içerik oranı ne kadar yüksek ise betonun eğilme mukavemeti değerlerinde belirgin bir artış görülmektedir. Bu noktada, 28 günlük PES lif içeren numunelerde artan uzunluk ve içeriğinin, eğilme dayanımlarını önemli düzeyde geliştirdiği net olarak söylenebilir.

3.3. Isıl İletkenlik Katsayısı Test Sonuçları (Thermal Conductivity Coefficient Test Results)

28 günlük suda kürlenme koşulu altında değerlendirilen PES katkılı beton numunelerinin ısı iletkenlik katsayıları Şekil 7'de gösterilmiştir.

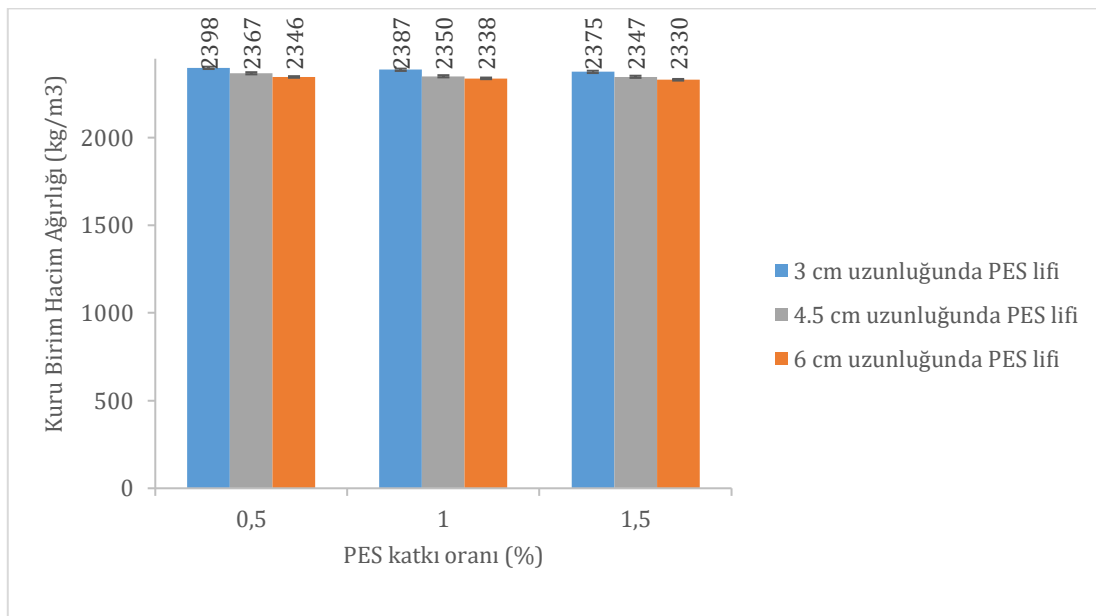


Şekil 7. Farklı uzunluk ve içerikte tasarlanan PES lif katkılı beton numunelerinin ısı iletkenlik katsayısı test sonuçları (Thermal conductivity coefficient test results of PES fiber-incorporated concrete samples designed with different lengths and content ratios)

Lif içermeyen kontrol numunesinin 28 günlük kürlenme işlemi sonrasında ısı iletkenlik değeri 2.94 W/mK'dir. 3 cm uzunluğunda PES lif katkısı içeren numunelerde, ısı iletkenlik katsayısı azalmaları %0.5, %1 ve %1.5 PES lif içerikleri için sırasıyla %7.82, %10.88 ve %11.56 olarak bulunmuştur. 4.5 cm uzunluğunda PES katkısı içeren numunelerde, ısı iletkenlik katsayısı azalmaları %0.5, %1 ve %1.5 PES lif içerikleri için sırasıyla %8.84, %11.9 ve %17.68 olarak bulunmuştur. 6 cm uzunluğunda PES lif katkısı içeren numunelerde, ısı iletkenlik katsayısı azalmaları %0.5, %1 ve %1.5 PES lif içerikleri için sırasıyla %15.3, %21.08 ve %25.51 olarak bulunmuştur. 28 günlük kürlenme işlemi sonunda betonun ısı iletkenlik katsayısı, hem PES lif uzunluğu hem de PES lif katkı oranı ne kadar yüksekse, ısı iletkenlik katsayısının o kadar düşük olması eğilimini göstermiştir. Beton karışımlarına minimum uzunluk ve içerikte bile PES lifi eklenmesi, yalıtım performansı açısından olumlu etki göstermektedir.

3.4. Kuru Birim Hacim Ağırlığı Test Sonuçları

28 günlük suda kürlenme koşulu altında değerlendirilen PES katkılı beton numunelerinin kuru birim hacim ağırlığı testinin sonuçları Şekil 8'de gösterilmiştir.

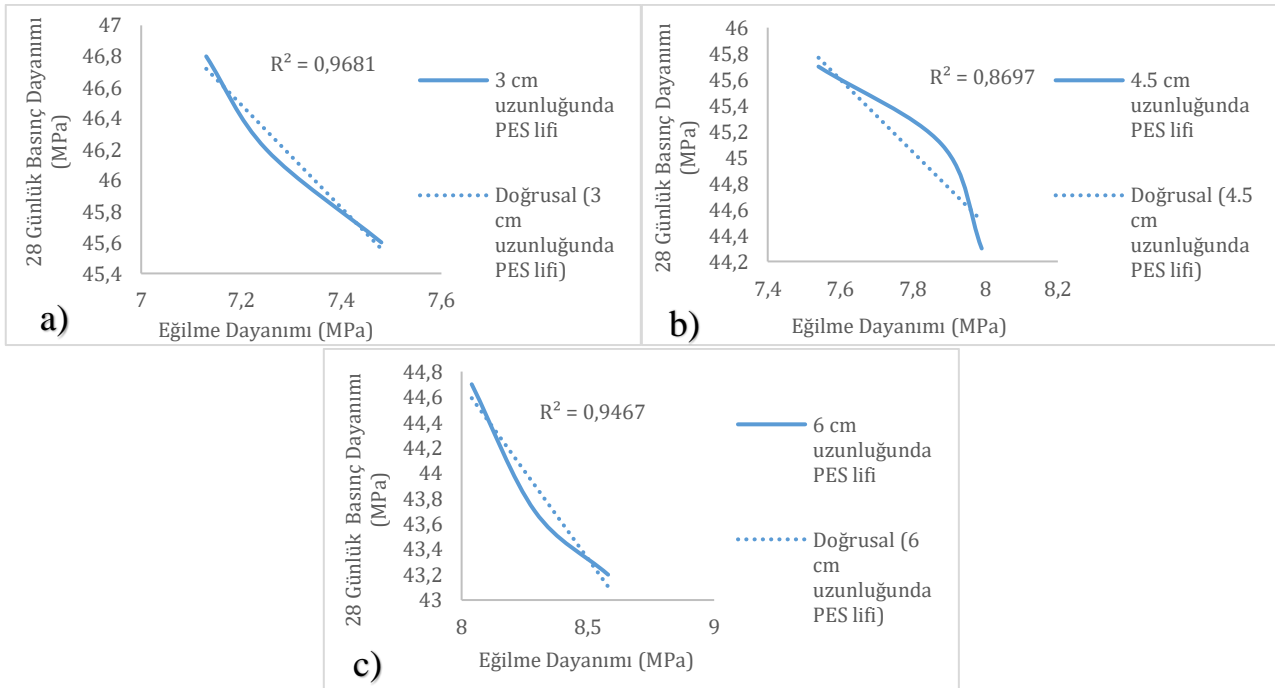


Şekil 8. Farklı uzunluk ve içerikte tasarlanan PES lif katkılı beton numunelerinin kuru birim hacim ağırlığı test sonuçları (Dry unit volume weight test results of PES fiber-incorporated concrete samples designed with different lengths and content ratios)

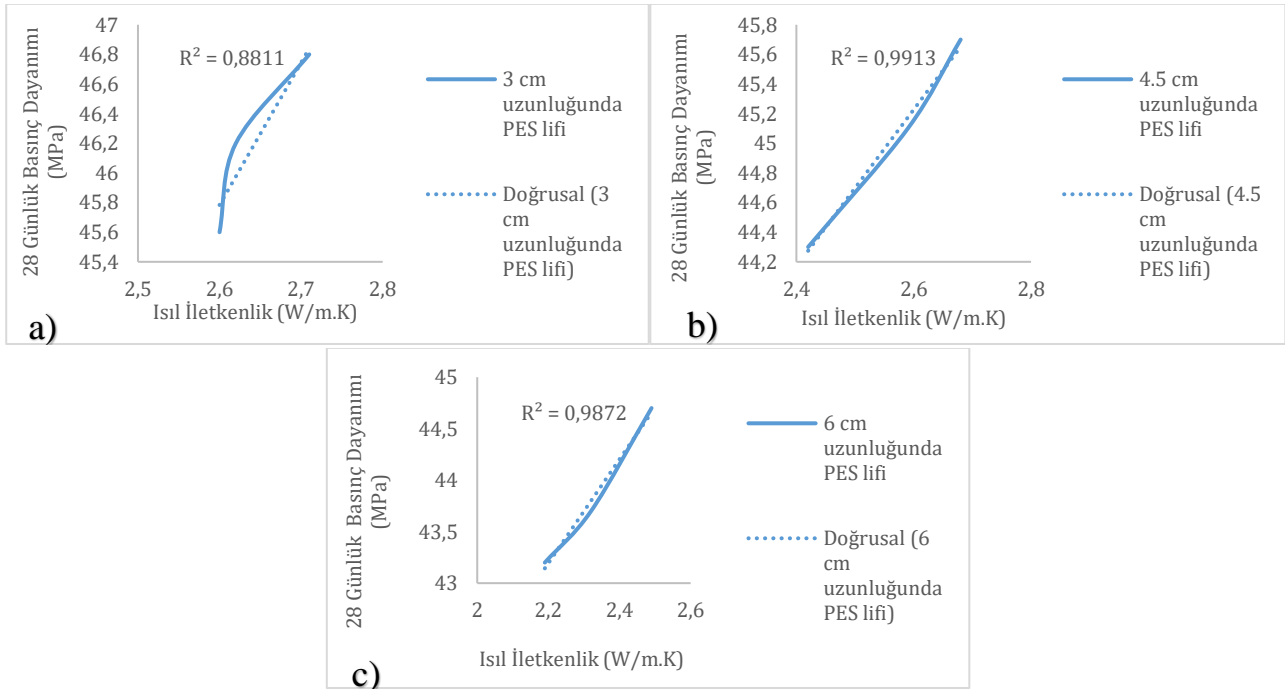
Lif içermeyen kontrol numunesinin 28 günlük kütleme işlemi sonrasında kuru birim hacim ağırlığı 2404 kg/m^3 'tür. 3 cm uzunluğunda PES lif katkısı içeren numunelerde, kuru birim hacim ağırlığı %0.5, %1 ve %1.5 PES lif içerikleri için sırasıyla %0.24, %0.70 ve %1.2 olarak bulunmuştur. 4.5 cm uzunluğunda PES katkısı içeren numunelerde, ısı iletkenlik katsayısı azalmaları %0.5, %1 ve %1.5 PES lif içerikleri için sırasıyla %1.53, %2.24 ve %2.37 olarak bulunmuştur. 6 cm uzunluğunda PES lif katkısı içeren numunelerde, ısı iletkenlik katsayısı azalmaları %0.5, %1 ve %1.5 PES lif içerikleri için sırasıyla %2.41, %2.74 ve %3.07 olarak bulunmuştur. 28 günlük kütleme işlemi sonunda betonun kuru birim hacim ağırlığı, hem PES lif uzunluğu hem de PES lif katkı oranı ne kadar yüksekse, kuru birim hacim ağırlığı değerlerinin o kadar düşük olması yönünde eğilim göstermiştir.

3.5. Mekanik Özellikler-Yalıtım Özellikler İlişkisi (Mechanical Properties-Insulation Properties Relationship)

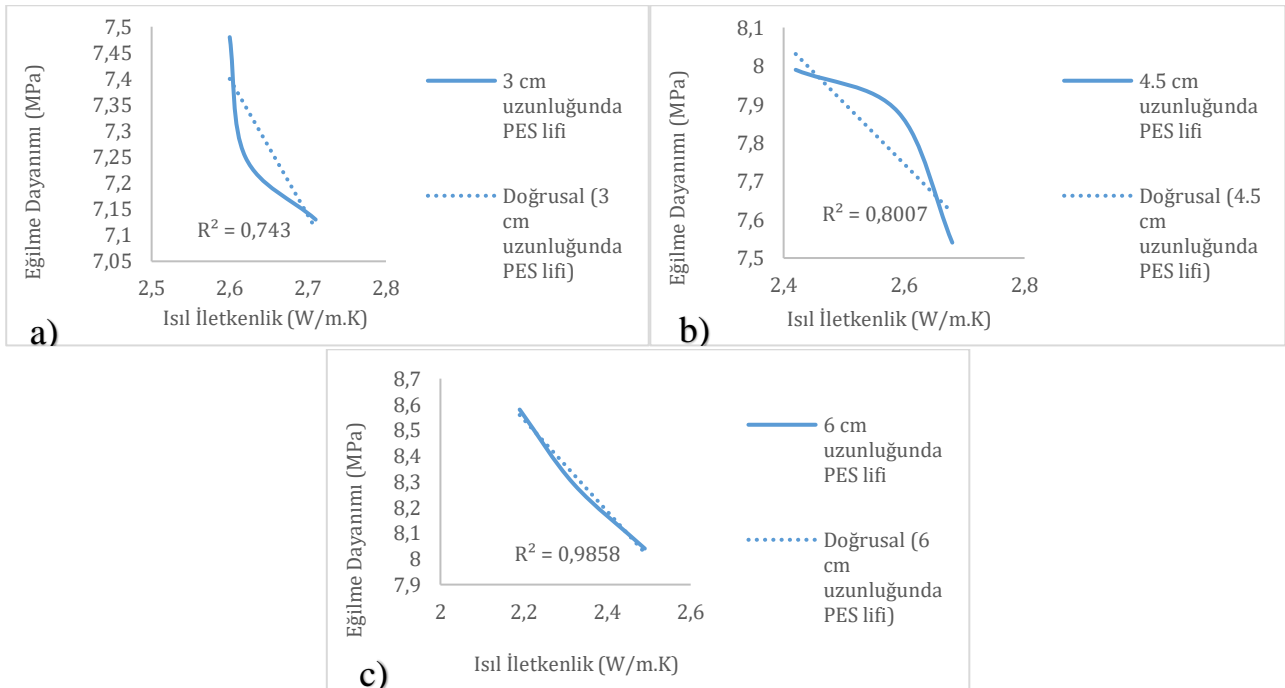
Şekil 9, PES lif katkılı beton numunelerinin basınç-eğilme dayanımı arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Şekil 9.a, 9.b ve 9.c, 3, 4.5 ve 6 cm uzunluğunda PES lifi kullanılarak tasarlanan beton numunelerinin basınç-eğilme dayanımı arasındaki ilişkiyi belirtmektedir. Şekil 10, PES lif katkılı beton numunelerinin basınç dayanımı-ısı iletkenlik arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Şekil 10.a, 10.b ve 10.c, 3, 4.5 ve 6 cm uzunluğunda PES lifi kullanılarak tasarlanan beton numunelerinin basınç dayanımı-ısı iletkenlik arasındaki ilişkiyi belirtmektedir. Şekil 11. PES lif katkılı beton numunelerinin eğilme dayanımı-ısı iletkenlik arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Şekil 11.a, 11.b ve 11.c, 3, 4.5 ve 6 cm uzunluğunda PES lifi kullanılarak tasarlanan beton numunelerinin eğilme dayanımı-ısı iletkenlik arasındaki ilişkiyi belirtmektedir. Şekil 12.a, 12.b ve 12.c 6 cm uzunluğunda PES lifi kullanılarak tasarlanan beton numunelerinin birim hacim ağırlığının basınç dayanımı-eğilme dayanımı-ısı iletkenlik özellikleri arasındaki ilişkiyi belirtmektedir.



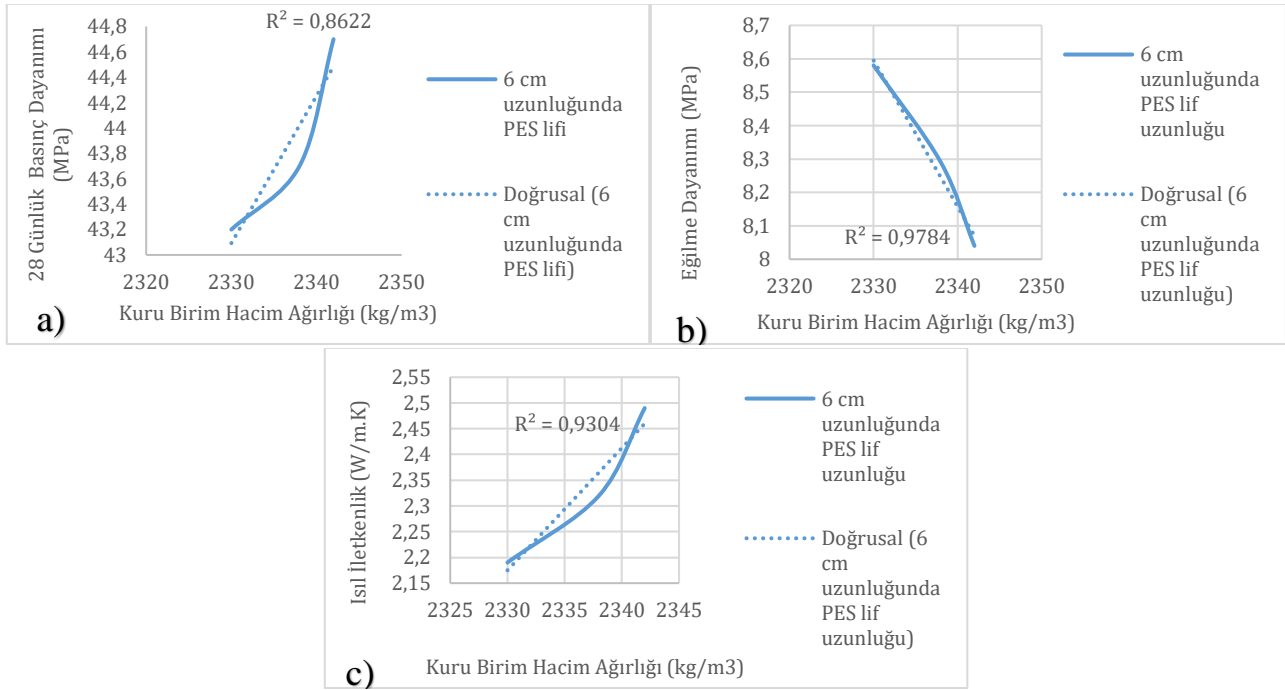
Şekil 9. PES lif katkılı beton numunelerinin basınç-eğilme dayanımı arasındaki ilişki **a)** 3 cm uzunluğunda PES lifi kullanılarak tasarlanan beton numunelerinin basınç-eğilme dayanımı arasındaki ilişki **b)** 4.5 cm uzunluğunda PES lifi kullanılarak tasarlanan beton numunelerinin basınç-eğilme dayanımı arasındaki ilişki **c)** 6 cm uzunluğunda PES lifi kullanılarak tasarlanan beton numunelerinin basınç-eğilme dayanımı arasındaki ilişki (Relationship between the compressive and flexural strength of PES fiber-incorporated concrete samples **a)** Relationship between the compressive-flexural strength of concrete samples designed using 3 cm length PES fiber **b)** Relationship between the compressive-flexural strength of concrete samples designed using 4.5 cm length PES fiber **c)** Relationship between the compressive-flexural strength of concrete samples designed using 6 cm length PES fiber)



Şekil 10. PES lif katkılı beton numunelerinin basınç dayanımı-ısı iletkenlik arasındaki ilişki **a)** 3 cm uzunluğunda PES lifi kullanılarak tasarlanan beton numunelerinin basınç dayanımı-ısı iletkenlik arasındaki ilişki **b)** 4.5 cm uzunluğunda PES lifi kullanılarak tasarlanan beton numunelerinin basınç dayanımı-ısı iletkenlik arasındaki ilişki **c)** 6 cm uzunluğunda PES lifi kullanılarak tasarlanan beton numunelerinin basınç dayanımı-ısı iletkenlik arasındaki ilişki (Relationship between the compressive strength-thermal conductivity of PES fiber-incorporated concrete samples **a)** Relationship between the compressive strength-thermal conductivity of concrete samples designed using 3 cm length PES fiber **b)** Relationship between the compressive strength-thermal conductivity of concrete samples designed using 4.5 cm length PES fiber **c)** Relationship between the compressive strength-thermal conductivity of concrete samples designed using 6 cm length PES fiber)



Şekil 11. PES lif katkılı beton numunelerinin eğilme dayanımı-ısı iletkenlik arasındaki ilişki **a)** 3 cm uzunluğunda PES lifi kullanılarak tasarlanan beton numunelerinin eğilme dayanımı-ısı iletkenlik arasındaki ilişki **b)** 4.5 cm uzunluğunda PES lifi kullanılarak tasarlanan beton numunelerinin eğilme dayanımı-ısı iletkenlik arasındaki ilişki **c)** 6 cm uzunluğunda PES lifi kullanılarak tasarlanan beton numunelerinin eğilme dayanımı-ısı iletkenlik arasındaki ilişki (Relationship between the flexural strength-thermal conductivity of of PES fiber-incorporated concrete samples **a)** Relationship between the flexural strength-thermal conductivity of concrete samples designed using 3 cm length PES fiber **b)** Relationship between the flexural strength-thermal conductivity of concrete samples designed using 4.5 cm length PES fiber **c)** Relationship between the flexural strength-thermal conductivity of concrete samples designed using 6 cm length PES fiber)



Şekil 12. PES lif katkılı beton numunelerinin kuru birim hacim ağırlığının basınç dayanımı-eğilme dayanımı-ısı iletkenlik arasındaki ilişki **a)** 6 cm uzunluğunda PES lifi kullanılarak tasarlanan beton numunelerinin kuru birim hacim ağırlığı-basınç dayanımı arasındaki ilişki **b)** 6 cm uzunluğunda PES lifi kullanılarak tasarlanan beton numunelerinin kuru birim hacim ağırlığı-eğilme dayanımı arasındaki ilişki **c)** 6 cm uzunluğunda PES lifi kullanılarak tasarlanan beton numunelerinin kuru birim hacim ağırlığı-ısı iletkenlik arasındaki ilişki (Relationship between compressive strength-flexural strength-thermal conductivity of dry unit weight of PES fiber-incorporated concrete samples) **a)** Relationship between the dry unit weight-compressive strength of concrete samples designed using 6 cm length PES fiber **b)** Relationship between the dry unit weight-flexural strength of concrete samples designed using 6 cm length PES fiber **c)** Relationship between the dry unit weight-thermal conductivity of concrete samples designed using 6 cm length PES fiber)

Şekil 9'da, farklı lif uzunluğu ve içerik oranlarının artışına göre, basınç-eğilme dayanımı özellikleri arasında saptanan ilişkilerin sırasıyla R² 0.96, 0.86 ve 0.94 korelasyon katsayısı ile tahmin edilebileceğini ortaya koymaktadır. Şekil 10'da, farklı lif uzunluğu ve içerik oranlarının artışına göre, basınç dayanımı-ısı iletkenlik özellikleri arasında saptanan ilişkilerin sırasıyla R² 0.88, 0.99 ve 0.98 korelasyon katsayısı ile tahmin edilebileceğini ortaya koymaktadır. Şekil 11'de, farklı lif uzunluğu ve içerik oranlarının artışına göre, eğilme dayanımı-ısı iletkenlik özellikleri arasında saptanan ilişkilerin sırasıyla R² 0.74, 0.80 ve 0.98 korelasyon katsayısı ile tahmin edilebileceğini ortaya koymaktadır. Lif uzunluğu artışı, lif katkılı numunelerin kuru birim hacim ağırlığında korelasyon katsayılarını düşürmektedir. Şekil 12'de, max lif uzunluğu ve içerik oranlarına göre kuru birim hacim ağırlığının basınç dayanımı-eğilme dayanımı-ısı iletkenlik özellikleri arasında saptanan ilişkilerin sırasıyla R² 0.86, 0.97 ve 0.93 korelasyon katsayısı ile tahmin edilebileceğini ortaya koymaktadır. Tespit edilen yüksek korelasyonlar, beton tasarımı için kuru birim hacim ağırlığı-basınç dayanımı-eğilme dayanımı-ısı iletkenlik özelliklerinin esas alınmasını teşvik edici ölçektir. Özellikle çalışmamızda kullanılan maximum lif uzunluğunda basınç dayanımı-ısı iletkenlik ile eğilme dayanımı-ısı iletkenlik mekanizmaları arasındaki ilişkilerde R² 0.98 değerleri ile anlaşılabilirliği üzere güçlü bir etkileşim bulunmaktadır. Bu durumda artan lif uzunluğu ve lif içerik oranının tasarlanan beton numunelerinde, eğilme dayanımı-yalıtım kazancı performansını desteklemektedir. Fakat artan lif uzunluğu hem mekanik hem de yalıtım özelliklerinin kuru birim hacim ağırlığı değerleri arasında korelasyon değerlerini düşürmektedir.

4. Sonuç (Conclusion)

Bu çalışmada, farklı uzunluk ve içerikte tasarlanan PES lif katkılı beton numunelerinin mekanik ve termal yalıtım özellikleri üzerindeki etkisi deneysel olarak araştırılmış ve deneysel çalışmadan aşağıdaki önemli sonuçlar elde edilmiştir.

- 7 ve 28 günlük kürlenme sonunda, PES lif uzunluğu ve lif içerik oranı ne kadar yüksek ise mekanik özelliklerden basınç dayanımındaki düşüşler sınırlı gerçekleşmiştir.
- Tasarlanan beton karışımlarına çimento ağırlığına farklı uzunluk ve katkı oranlarında ilave edilen PES lif içeren numunelerin eğilme mukavemeti performansı üzerinde oldukça etkilidir. Eğilme mukavemeti

değerlerinde max lif uzunluğu ve lif içerik oranında %32.4 seviyesinde yüksek bir performans artışı gerçekleşmiştir.

- Tasarlanan beton karışımlarına çimento ağırlığınca farklı uzunluk ve katkı oranlarında ilave edilen PES lif içeren numunelerin yalıtkanlık performansı üzerinde de oldukça yeterli seviyededir. 6 cm lif uzunluğu ve % 1.5 lif katkısı ile tasarlanan beton numunelerinde termal yalıtkanlık performansı %25.51 seviyesine kadar gelişebilmektedir.
- Ayrıca çalışmamız, basınç dayanımı-eğilme dayanımı-ısıl iletkenlik özellikleri arasında saptanan ilişkilerin yüksek korelasyon katsayısı ile tahmin edilebileceğini ortaya koymaktadır. Özellikle max lif uzunluğunda basınç dayanımı-ısıl iletkenlik ile eğilme dayanımı-ısıl iletkenlik özellikleri arasındaki ilişkilerde R^2 0.98 değerleri ile anlaşılabilirliği üzere güçlü bir etkileşim bulunmaktadır.

Özetle bu çalışma, farklı lif uzunlukları ve lif içerik oranları kullanılarak tasarlanan beton karışımlarının mekanik ve termal iletkenlik özellikleri üzerindeki etkisini detaylı olarak göstermiştir. Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar, beton numunelerinin mekanik özelliklerinden basınç mukavemetindeki sınırlı düzeydeki düşüşlere karşın numunelerin mekanik özelliklerinden eğilme performansı ve termal yalıtkanlığında dikkate değer bir artışın mümkün olabileceğini ortaya koymaktadır. Tasarlanan beton karışımlarının homojenliği ve PES lif partiküllerinin çimento matrisindeki iyi dağılımı, gelişmiş ısı yalıtımı ile mekanik özelliklerin saptanmasında önemli bir faktör görünmektedir. İnşaat mühendisliği yapı malzemelerinde üstün yalıtım ve performans özellikleri sağlamak için tekstil sektöründe en çok kullanılan ve tüketilen sentetik lif olarak belirtilen PES lif içerikli betonların tasarımı hakkında yeni bir perspektif açarak sentetik bazlı hammadde kaynakları ile uyumlu beton tasarımı gelişimine katkı sunmaktadır.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- AbdelAleem, B.H., Hassan, A.A.A., 2019. Influence of Synthetic Fibers' Type, Length, And Volume on Enhancing The Structural Performance of Rubberized Concrete, *Construction and Building Materials*, 229, 116861.
- Al-Ameeri, A., 2013. The Effect of Steel Fiber on Some Mechanical Properties of Self Compacting Concrete, *American Journal of Civil Engineering*, 1, 102-110.
- Althoey, F., Ansari, W.S., Sufian, M., Deifalla, A.F., 2023. Advancements in Low-Carbon Concrete As A Construction Material for The Sustainable Built Environment. *Developments in the Built Environment*, 16, 100284.
- Anand, S., Khan, M.A., Kumar, A., 2016. Effect of Steel Fiber on Self Compacting Concrete: A Review, *International Research Journal of Engineering and Technology*, 3, 507-510.
- ASTM C1113/C1113-09, 2009. Standard Test Method for Thermal Conductivity of Refractories By Hot Wire (Platinum Resistance Thermometer Technique). ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Ba, J., 2023. On The Feasibility of Using Polyester (PE) Waste Particles From Metal Coating Industry As A Secondary Raw Materials in Concrete, *Clean. Mater.* 9, <https://doi.org/10.1016/j.clema.2023.100193>.
- Babafemi, A.J., Boshoff, W.P., 2017. Pull-Out Response of Macro Synthetic Fibre From Concrete Matrix: Effect of Loading Rate and Embedment Length. *Construction and Building Materials*, 135, 590-599.
- Eduardo, N.B.P., Joaquim, A.O.B., Camoes, A., 2008. Steel Fiber-Reinforced Self-Compacting Concrete: Experimental Research and Numerical Simulation, *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 134, 1310-1315.
- El-Dieb, A.S., 2009. Mechanical, Durability and Microstructural Characteristics of Ultra High Strength Self Compacting Concrete Incorporating Steel Fiber, *Materials and Design*, 30, 4286-4292.
- Fode, T.A., Jande, Y.A.C., Kivevele, T., 2024. Physical, Mechanical, And Durability Properties of Concrete Containing Different Waste Synthetic Fibers for Green Environment – A critical review, *Heliyon*, 10, e32950.
- Gao, J., Wang, Z., Zhang, T., Zhou, L., 2017. Dispersion of Carbon Fibers in Cement-Based Composites with Different Mixing Methods, *Construction and Building Materials* 134, 220-227.
- Khaloo, A., Raisi, E.M., Hosseini, P., Tahsiri, H., 2014. Mechanical Performance of Self Compacting Concrete Reinforced with Steel Fibers, *Construction and Building Materials*, 51, 179-186.
- Khan, M., McNally, C., 2023. A Holistic Review on The Contribution of Civil Engineers for Driving Sustainable Concrete Construction in The Built Environment. *Developments in the Built Environment*, 16, 100273.
- Kiruthika, C., Prabha, S.L., Neelamegam, M., 2020. Different Aspects of Polyester Polymer Concrete for Sustainable Construction, *Materials Today Proceedings*, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.766>.
- Michalik, A., Chylinski, F., Piekarczyk, A., Pichor, W., 2023. Evaluation of Recycled Tyre Steel Fibres Adhesion to Cement matrix, *Journal of Building Engineering*, 68, 106146.
- Nanni, A., Bakis, C.E., Boothby, T.E., 1998. Test Methods for FRP-Concrete Systems Subjected to Mechanical Loads: State-Of-The-Art Review, *Plast. Compos.* 14, 524-558.
- Nassar, R.U.D., Saeed, D., Sufyan-Ud-Din, M., Nassar, S., 2022. Production of Eco-Friendly Concrete Masonry Units Using Powder Waste Glass, *Civil Engineering and Architecture*, 10 (2), 415-424

- Patti, A., Cicala, G., 2021. Eco-Sustainability of The Textile Production: Waste Recovery and Current Recycling in The Composites World, *Polymer*, 1-25.
- Ranade, R., Li, V.C., Heard, W.F., 2015. Tensile Rate Effects in High Strength-High Ductility Concrete, *Cement Concrete Research*, 68, 94-104.
- Salhotra, S., Khitoliya, R.K., Kumar, S., 2023. Comparative Study of Uncoated and Coated Waste PET Fiber for Sustainable Concrete, *Materials Today Proceedings*, 80, 2022–2026, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.06.060>.
- TS EN 12390-4, 2002. Testing Hardened Concrete - Part 4: Compressive Strength - Specification for Testing Machines, Turkish Standard Institute, Ankara (in Turkish).
- TS EN 12390-5, 2019. Testing Hardened Concrete - Part 5: Flexural Strength of Test Specimens, Turkish Standard Institute, Ankara (in Turkish).
- TS EN 196-1, 2009. Methods of Testing Cement: Part 1. Determination of Strength, Turkish Standard Institute, Ankara (In Turkish).
- TS EN 206+A2, 2021. Concrete - Specification, Performance, Production and Conformity. Turkish Standard Institute, Ankara (in Turkish).
- Wang, Y., Wu, H.C., Li, V.C., 2000. Concrete Reinforcement with Recycled Fibers, *J. Mater. Civ. Eng.* 12 (4), 314-319.
- Zheng, L., Huo, X.S., Yuan, Y., 2008. Experimental Investigation on Dynamic Properties of Rubberized Concrete, *Construction Building Materials*, 22 (5), 939-947.