

## Mechanical Properties of PET Fiber Reinforced Cement Mortars with Different Pozzolanic Substitutes

Ahmet FİLAZİ<sup>1,\*</sup> 

<sup>1</sup>Kırıkkale University, Kırıkkale Vocational School, Department of Construction Technology, 71450 Kırıkkale, TÜRKİYE

### Graphical/Tabular Abstract

#### Article Info:

Research article  
Received: 04.07.2022  
Revision: 08.08.2022  
Accepted: 15.08.2022

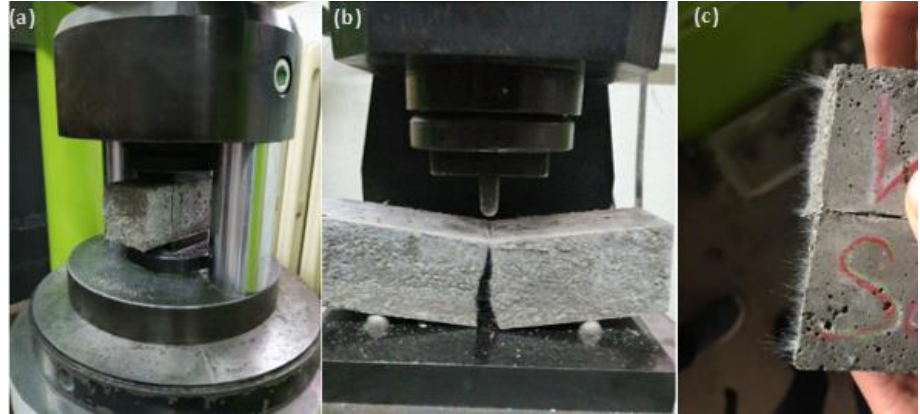
#### Highlights

- PET Fiber
- Pozzolanic
- Mechanical Properties.

#### Keywords

Fly ash  
Blast Furnace Slag  
PET Fiber  
Flexural and Compressive  
Strength  
Ultrasonic Pulse Velocity

In this study, 7, 28 and 90 days bending and compression values of 1% PET fiber reinforced pozzolanic cement mortar were obtained. (Figure A.)



**Figure A.** a. Compressive Strength b. Flexural Strength c. Pet Fiber Reinforced Sample

**Purpose:** In this study, mechanical and physical properties of cement mortars were investigated by using fiber reinforcement of Fly ash, Blast Furnace Slag and Polyethylene terephthalate (PET). In the first stage of this study, the effects of PET fiber reinforcement on the cured mortar properties were investigated.

**Theory and Methods:** In this study, 0.5% 1%, 1.5% 2% and 3% PET fiber was added to the cement in order to increase the flexural and compressive strengths of the cement mortar. Composite samples were produced by substituting 5%, 10%, 15%, 20%, 25% and 30%, and flexural strength, compressive strength and ultrasonic sound velocity measurements of these sample composite samples were carried out.

**Results:** It was observed that the highest flexural strength was 1% PET fiber reinforced, 10% FA and BFS substituted cement mortar mixtures. Flexural, compressive strength and ultrasonic pulse velocity measurements were carried out on the mortar samples..

**Conclusion:** The use of PET fibers in the evaluation of PET bottle wastes and the use of industrial waste UK and YFC in the cement industry will both prevent the reduction of natural resources and provide energy savings. Therefore, wastes that will reduce costs and reduce carbon dioxide released into the nature will benefit economically and environmentally.



## Mechanical Properties of PET Fiber Reinforced Cement Mortars with Different Pozzolanic Substitutes

Ahmet FİLAZİ<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, 71450 Kırıkkale, TÜRKİYE

### Abstract

In this study, mechanical and physical properties of cement mortars were investigated by using fiber reinforcement of Fly ash (FA), Blast Furnace Slag (BFS) and Polyethylene terephthalate (PET). In the first stage of this study, the effects of PET fiber reinforcement on the cured mortar properties were investigated. For this, 0.5% 1%, 1.5% 2% and 3% PET fiber were added by weight of the binder ratio and the fiber reinforcement giving the highest strength was determined as 1%. It was observed that flexural strength increased by 25.79% when 1% PET fiber was added. Then, by keeping 1% PET fiber constant, composite samples were produced by substituting 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% and 30% FA and BFS into cement by weight.

At the end of the study; It was observed that the highest flexural strength was 1% PET fiber reinforced, 10% FA and BFS substituted cement mortar mixtures. Flexural, compressive strength and ultrasonic pulse velocity measurements were carried out on the mortar samples.

### PET Lif Takviyeli Farklı Pozolanik İkameli Çimento Harçlarının Mekanik Özellikleri

#### Öz

Bu çalışmada, çimento harçlarında, Uçucu kül (UK), Yüksek Fırın Cürufu (YFC) ve Polietilen tereftalat (PET) lif takviyesi kullanarak mekanik ve fiziksel özellikler incelenmiştir. Bu çalışmanın ilk aşamasında PET lif takviyesinin sertleşmiş harç özelliklerine etkileri incelenmiştir. Bunun için ilk olarak bağlayıcı oran ağırlığının %0.5 %1, %1.5 %2 ve %3 PET lif ilave edilmiş ve en yüksek dayanımını veren lif takviyesi %1 olarak belirlenmiştir. %1 PET lif ilave edildiğinde eğilme dayanımının %25,79 oranında arttığı gözlemlenmiştir. Daha sonra %1 PET lif sabit tutularak çimento içerisine ağırlıkça %0, %5, %10, %15, %20, %25 ve %30 UK ve YFC ikame edilerek kompozit numuneler üretilmiştir.

Yapılan çalışma sonucunda, en yüksek eğilme dayanımının %1 PET lif takviyeli, %10 UK ve YFC ikameli çimento harç karışımlarında elde edildiği görülmüştür. Harç numuneleri üzerinde, eğilme, basınç dayanımı ve ultrasonik ses hızı ölçümü deneyleri gerçekleştirilmiştir.

### Makale Bilgisi

*Araştırma makalesi*  
 Başvuru: 04.07.2022  
 Düzeltme: 08.08.2022  
 Kabul: 15.08.2022

### Keywords

*Fly ash*  
*Blast Furnace Slag*  
*PET Fiber*  
*Flexural and Compressive Strength*  
*Ultrasonic Pulse Velocity*

### Anahtar Kelimeler

*Uçucu Kül*  
*Yüksek Fırın Cürufu*  
*PET Lif*  
*Eğilme ve Basınç Dayanımı*  
*Ultra Ses Geçiş Hızı*

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Betonun çekme dayanımının düşük olması, çimento hamuru, agrega ve çimento hamuru-agrega arasında kalan bağlanma fazı, betonu oluşturan bileşenlerin birbirlerine bağlanma eksikliği etki eden belli başlıca faktörlerdir [1-3]. Özellikle yüksek dayanımlı betondaki bu kusurlara rağmen, bu malzemeye olan talep artmaya devam etmektedir. Yüksek pozolanik aktiviteden dolayı silis dumanının, UK ve YFC gibi endüstriyel atıkların, yüksek dayanımlı beton üretiminde kaçınılmaz bir malzeme olduğu yapılan çalışmalarda görülmüştür, ancak bu durum betonun kırılma bir yapıda olmasına neden olmaktadır [4-5]. Bu nedenle, sünekliği iyileştirme, beton biliminde araştırmacılar tarafından dikkate alınması gereken hayati bir konudur.

Beton ve çimento harçlarının içerisine lif ilave edilmesi, beton yapıların sünekliğini, darbe, yorulma ve deprem gibi dinamik yüklere karşı geliştirmek için olası bir çözümdür [6-7].

Lif takviyeli beton üzerine yapılan çalışmalarda, lifli beton üzerine uygulan yük etkisi ile oluşan çatlaklardan sonra betonun yük taşıma özelliğinin devam etmesi istenir. Bu durum lif türüne ve özelliğine göre değişecektir. Beton içerisindeki lif takviyelerinin en olumlu yönü, beton içerisindeki çatlağın ilk oluştuğu andan itibaren, çatlak oluşumunun bittiği ana kadar oluşan gerilmeleri engellemesi ve oluşan gerilmeleri sağlam bölgelere taşımalarıdır [8-10].

Lifli olarak üretilen betonların eğilme dayanımı yanında, aşınma, oyulma (kavitasyon) direncinde iyileşme olduğu görülmüştür. Buna ilaveten aderansı iyi ise, donatının aderansını arttırdığı, çatlakları engellediği, sünekliği artırdığı, patlama ve kabarıp dökülmeleri iyileştirici rolü olduğu yapılan çalışmalarda görülmektedir [11-14].

Sentetik, karbon, polipropilen, polyester ve cam lifleri, beton içerisine takviye etmek betonun durabilitesini geliştirecektir. Beton içerisine çelik ve sentetik liflerin, betonda kullanımı hacimce %1-2 arasında konulması, eğilme ve aşınma dayanımını geliştirdiği yapılan çalışmada görülmüştür [15-16]. Beton içerisine polyester, sentetik ve polietilen lif takviyesi, çelik liflere oranla daha azdır [17]. Ayrıca doğal (selüloz, karbon, pamuk, hindistan cevizi, jüt vb.) veya sentetik (çelik, polipropilen, polietilen, polyester, naylon, Kevlar vb.) takviye edici lifler beton içerisine literatürde yapılan çalışmalara göre daha sık kullanıldığı görülmektedir. Plastik liflerin daha geleneksel çelik liflere göre, düşük nakliye maliyeti, daha yüksek korozyon direnci, büyük sızdırmazlık, elyaf takviyeli betonun, katkı maddeleri ile gelişmiş uyumluluk, daha düşük termal iletkenlik; daha yüksek işlenebilirlik; malzeme dökme için makine ve teçhizatın daha az aşınması ve yıpranmasında çeşitli avantajlar sunduğu görülmektedir.

PET lif takviyeli betonun temel özelliği, işlenmesinin kolay olmasıdır. Ochi, T., vd. [9] yaptıkları geri dönüştürülmüş PET elyafın geliştirilmesi ve beton takviye elyafı olarak uygulanma çalışmasında, PET lifli betonu ilk uyguladıkları Hishikari Madeni'nde betonun kolay işlenebilir olduğunu yaptıkları çalışmada ifade etmişlerdir. PET elyafın geliştirilmesinde en çok endişe duyulan konu her zaman alkali direnci olduğunu, ancak dikkatli bir inceleme sonucunda normal betonda kullanıldığında herhangi bir sorun olmadığı bildirmişlerdir.

Yüksek dayanımlı beton üretiminde, klinker, curuf, silis duman karışımı çimento kullanımı ve lif takviyeli sertleşmiş betonların, darbelere ve aşınmalara karşı dayanıklılığını, aşınma, yorulma, kimyasallara, parçalanmaya karşı dirençlerinin arttığını yaptıkları çalışmada belirtmişlerdir [18-19].

Farklı lif takviyeli yapılan çalışmalarda, polipropilen lifli betonun basınç dayanımını, lifsiz betona göre %0.4- 0.5 düşürdüğünü, fakat eğilme dayanımını ise %12 ila %14 arasında arttığını belirtmişlerdir. Çelik lif takviyeli betonların basınç dayanımını %1 civarında arttırırken, çekme dayanımını ise %35 kadar arttığını belirtmişlerdir [20-22].

Cam ve çelik lif katkılı beton özellikleri üzerine yapılan çalışmada, puzolanik malzemelerin kullanım miktarının artırılması ile durabilite özelliklerinin iyileştiğini belirtmişlerdir [23].

UK gibi puzolanik malzemelerin betonda kullanımı, kimyasal katkı maddesi olarak son zamanlarda artmıştır. Endüstriyel atık olan UK'nın çimento endüstrisinde kullanımı doğal kaynakların azalmasını önlemede, enerji tasarrufu sağlamada, dolayısıyla maliyetlerin düşmesine neden olacaktır [24-25].

Bu çalışmada, çimento harcının eğilme ve basınç dayanımlarını arttırmak amacı ile çimentonun ağırlıkça %0.5 %1, %1.5 %2 ve %3 oranında PET lif ilave edilmiş, ayrıca en yüksek dayanımı veren lif takviyesi belirlendikten sonra PET lif katkılı UK ve YFC %0, %5, %10, %15, %20, %25 ve %30 ikame edilerek kompozit numuneler üretilmiş ve üretilen bu örnek kompozit numunelerin, eğilme dayanımı, basınç dayanımı ve ultrasonik ses hızı ölçümü deneyleri gerçekleştirilmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOTLAR (MATERIALS AND METHODS)

### 2.1. Kullanılan Malzemeler (Used materials)

Yapılan bu çalışmada; CEM I 42.5 R tipi Portland Çimentosu, TS EN 197-1 [26] standartlara uygun bağlayıcı kullanılmıştır. Çayırhan termik santralinde üretilen UK kullanılmıştır. Çalışmada Ereğli Demir Çelik fabrikasında üretilen yüksek fırın cürufu kullanılmıştır. Kullanılan malzemelerin, kimyasal ve fiziksel

özellikler Tablo1'de sunulmuştur. Bu çalışma için TS EN 196-1'e uygun olarak standart kum, Trakya bölgesinden temin edilen edilmiştir. Üretilen numunelerin çimentonun ağırlıkça %0.5 %1, %1.5 %2 ve %3 oranında PET lif ilave edilmiştir. Bütün numunelere PET lifin boy uzunluğu 3mm sabit olacak şekilde numunelere ikame edilmiştir.

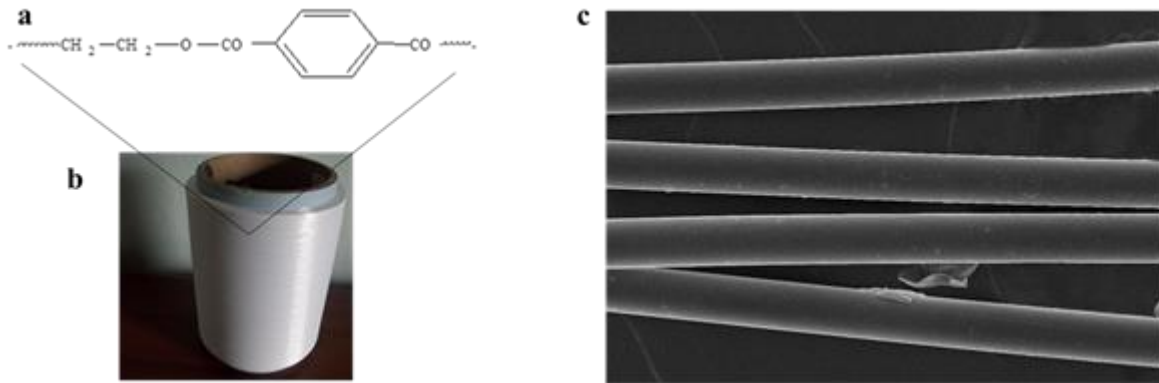
**Tablo 1.** Kullanılan Malzemelerin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Oksitler (%)	CEM I 42.5 R	UK	YFC
SiO <sub>2</sub>	21.01	46.59	35.2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.39	12.42	17.51
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.23	9.74	0.68
CaO	62.11	14.50	37.7
MgO	1.97	7.23	5.51
SO <sub>3</sub>	3.10	5.52	0.69
Na <sub>2</sub> O	0.39	1.01	0.42
K <sub>2</sub> O	0.82	2.28	1.71
Fiziksel Özellikler			
Blaine inceliği (cm <sup>2</sup> /g)	3355	2830	3940
Kızdırma Kaybı (%)	2.36	2.28	1.84
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	3.12	2.47	2.89

## 2.2. PET Lif (PET Fiber)

Molekül yapısı Şekil 1'de gösterilen PET, termoplastik bir eriyiktir. Isıtıldığında yumuşayan, soğutulduğunda tekrar sertleşen zincir içinde kovalent, zincirler arasında van der Waals bağlarına sahiptir [27]

PET, amorf yapıya sahiptir. PET lifler, ağırlıkça en az %85 dihidroksi alkol ve bir tereftalik asit esteri içeren polimerlerden elde edilen lifler olarak tanımlanır. İyi fiziksel ve kimyasal özelliklere sahiptir, bakteri ve güvelere karşı dayanıklıdır, ışığın etkisiyle bozulmaz ve ayrıca kaynama sıcaklığında bile asitlere karşı dayanıklıdır.



**Şekil 1. a. PET'in kimyasal yapısı b. PET lif c. PET lifin orijinal SEM görüntüsü**

Günümüzde plastik atıkların miktarı oldukça artmıştır. PET atıkların yeni ürünlere dönüşebilmesi için atık polimerlerin kimyasal geri dönüşümü önemli hale gelmiştir [38]. PET lifler Kırıkkale Üniversitesi Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojileri Bölümü laboratuvarından temin edilmiştir [39].

### 2.3. Karışım Oranı (Mixing Ratio)

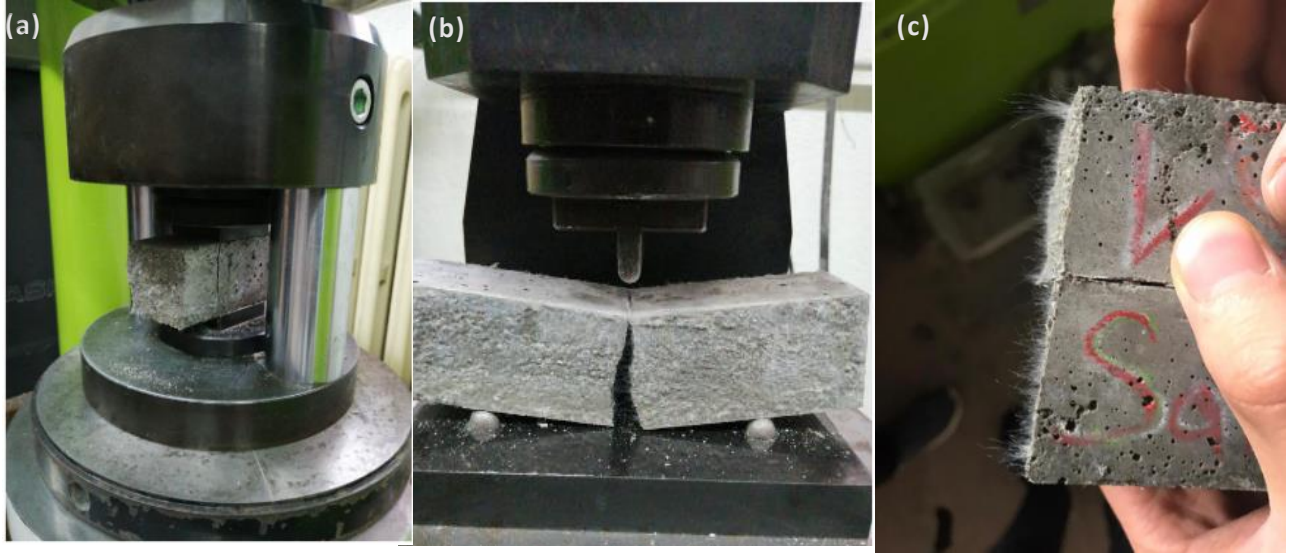
Üretilen çimento harçları TS EN 196-1 [28] standardındaki deney metoduna göre yapılmıştır. Eğilme ve basınç dayanımı deneyi için kullanılacak malzeme karışım oranları Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2.** Pet Lif Takviyeli YFC ve UK esaslı çimento esaslı kompozit numunelerin kodları ve karışım oranları

Karışım Kodları	Çimento (g)	YFC (g)	UK (g)	PET Lif (%)	Kum (g)	Su (g)
Kontrol (K0)	450	-	-	-	1350	225
P0.5	450	-	-	0.5	1350	225
P1	450	-	-	1	1350	225
P1.5	450	-	-	1.5	1350	225
P2	450	-	-	2	1350	225
P3	450	-	-	3	1350	225
P1C5	422,5	22,5	-	1	1350	225
P1C10	405	45	-	1	1350	225
P1C15	382,5	67,5	-	1	1350	225
P1C20	360	90	-	1	1350	225
P1C25	337,5	112,5	-	1	1350	225
P1C30	315	135	-	1	1350	225
P1F5	422,5	-	22,5	1	1350	225
P1F10	405	-	45	1	1350	225
P1F15	382,5	-	67,5	1	1350	225
P1F20	360	-	90	1	1350	225
P1F25	337,5	-	112,5	1	1350	225
P1F30	315	-	135	1	1350	225

### 2.4. PET Lif Takviyeli UK ve YFC İkameli Çimento Harcının Eğilme ve Basınç Dayanımının Belirlenmesi (Determination of Flexural and Compressive Strength of PET Fiber Reinforced UK and YFC Substituted Cement Mortar)

7, 28 ve 90 gün normal suda bekletilen çimento harçları kür havuzundan çıkarılarak, TS 196-1’e [28] uygun eğilme ve basınç deneyine (Şekil 2) tabi tutulmuştur. 40×40×160 mm prizmatik numune önce deney presinde eğilme deneyi yapılarak 2 ayrı parçaya ayrılır. Böylece 3 prizma numunesinden 6 adet basınç numunesi elde edilir. Her yarım numunenin alt ve üst yüzeylerine 4 × 4 cm boyutlarında metal kırma başlığı yerleştirilerek deney presinde basınç deneyine tabi tutulmuştur.



**Şekil 2. a. Basınç Dayanımı b. Eğilme Dayanımı c. Pet Lif Takviyeli Örnek Numune**

### 2.5. Ultrases Geçiş Hızı Deneyi (Ultrasonic Pulse Velocity Experiment)

PET lif takviyeli UK ve YFC ikameli çimento harç numuneleri 0,1  $\mu$ s duyarlıklı ultrases aleti ile t,  $\mu$ s ses geçiş süreleri ASTM C 597 [29] uygun bir şekilde ölçülmüştür. Hesaplanan ses dalga hızı Tablo 3’de görüldüğü gibi ultrases geçiş hızlarının pratik değerlendirilmesine göre değerlendirilmiştir.

**Tablo 3. Ultrases geçiş hızlarının pratik değerlendirilmesi[40]**

Hız (km/s)	$\geq 4.5$	3.5-4.5	3.0-3.5	2.0-3.0	$\leq 2.0$
Beton kalitesi	Çok İyi	İyi	Orta	Zayıf	Çok Zayıf

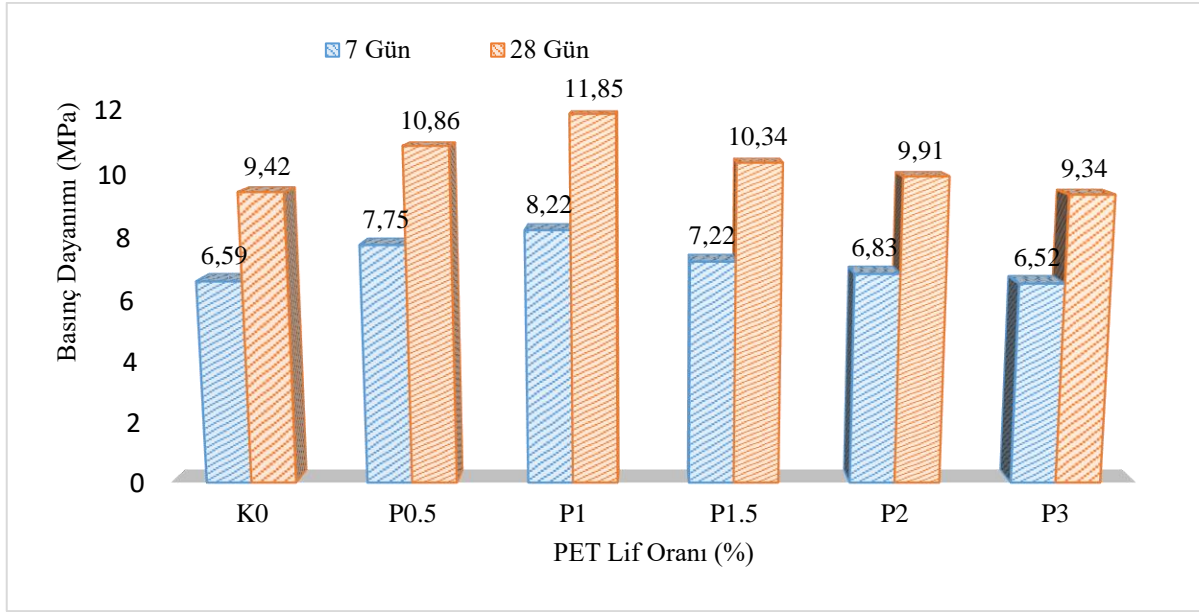
### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA (RESEARCH FINDINGS AND DISCUSSION)

PET lif takviyeli, UK ve YFC ikameli çimento harçları arasındaki ilişki, 7,28 ve 90 günlük eğilme ve basınç dayanım testleri ve ultrases geçiş hızı deneyi verileri değerlendirilmiştir.

#### 3.1. PET Lif Oranının Belirlenmesi (Determination of PET Fiber Ratio)

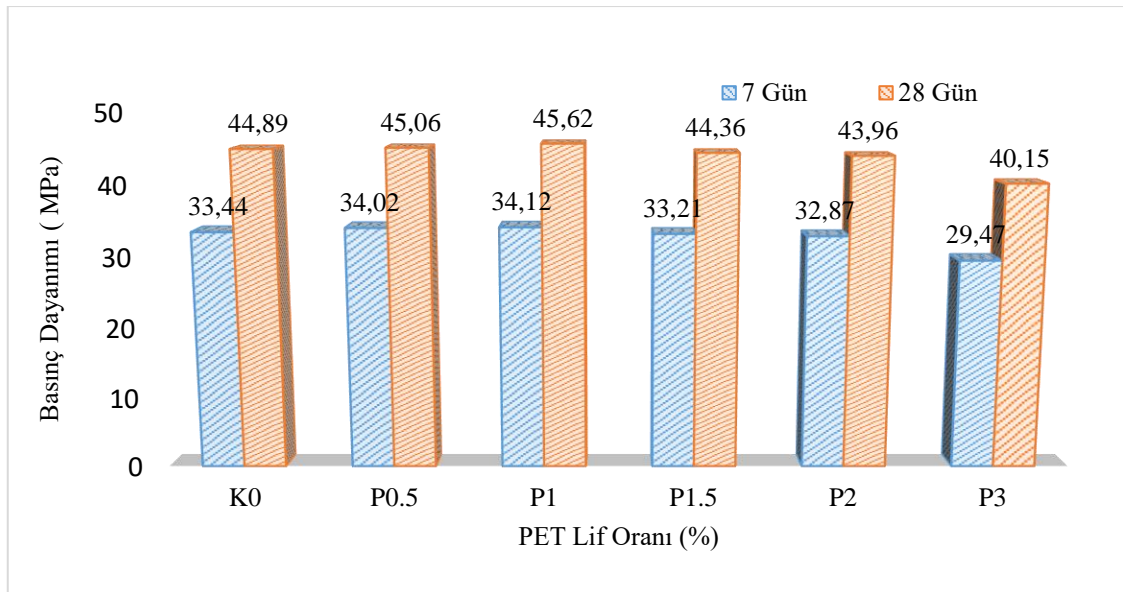
En uygun lif oranını belirleyebilmek amacı ile puzolanik katkısız bağlayıcı oranın ağırlığını %0.5 %1, %1.5 %2 ve %3 PET lif ilave edilmiş Şekil 3 ve Şekil 4’te gösterilmiştir.





**Şekil 3.** PET lif takviyeli çimento harç numunelerinin eğilme dayanımı

Şekil 3’de PET lif takviyelerinin çimento harç numune örneklerinin eğilme dayanımları incelendiğinde, PET lif yüzdesinin artmasıyla eğilme dayanımında önemli derecede bir artış gerçekleşmiştir. 7 günlük PET lif ilaveli çimento harç numunelerinin eğilme dayanımlarının; kontrol numunesi (K0) ile karşılaştırıldığında P0.5 numunesinde %17,60, P1 numune örneğinde %24,73, P1.5 numunesinde %9,56 ve P2 numunesinde %3,64 eğilme dayanımında artış meydana gelmiştir. P3 numune örneğinde ise %1,06 eğilme dayanımında düşüş gözlemlenmiştir. 28 günlük PET lif ilaveli çimento harç numunelerinin eğilme dayanımlarının; katkısız kontrol numunesi ile karşılaştırıldığında P0.5 numunesinde %15,29 P1 numune örneğinde %25,79, P1.5 numunesinde %9,77 ve P2 numunesinde %5,20 eğilme dayanımında artış meydana gelmiştir. P3 numune örneğinde ise %0,85 eğilme dayanımında düşüş gözlemlenmiştir. Yapılan bir çalışmada PET liflerin, %1 ve %1,5 lif katkısının eğilme dayanımı arttırdığını ifade etmişlerdir[9]. Bunun sebebi lif dozajının artması sonucu eğilme dayanımını ve tokluğunun arttırmasıdır.



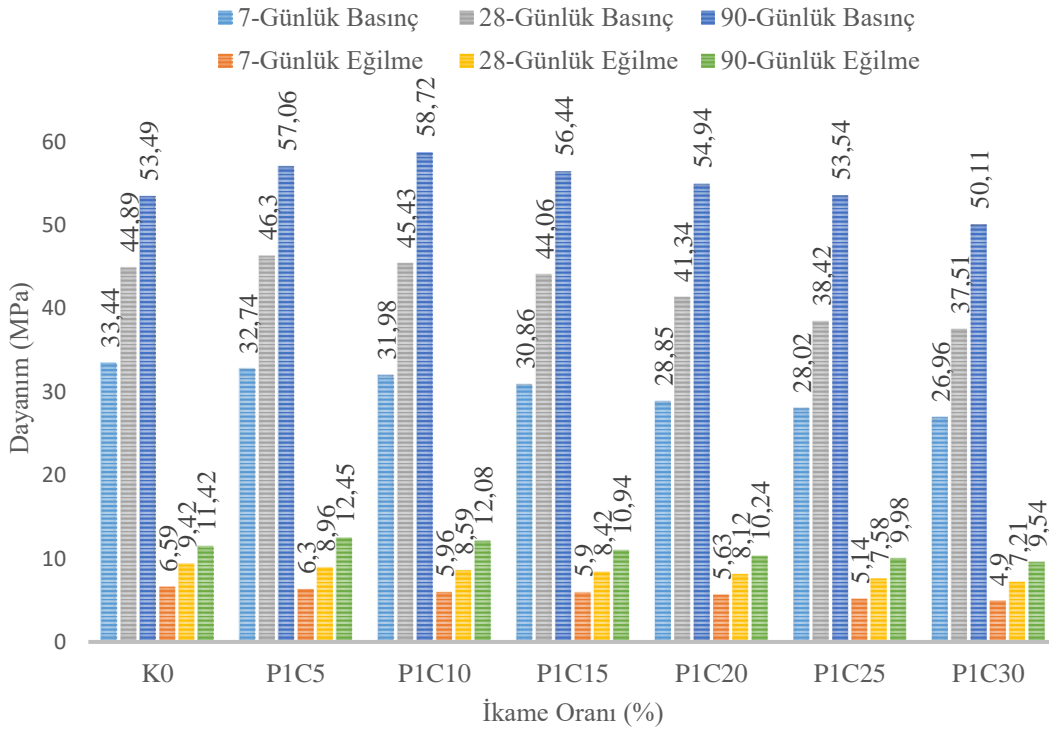
**Şekil 4.** PET lif takviyeli çimento harç numunelerinin basınç dayanımı

Şekil 4’de PET lif takviyelerinin çimento harç numune örneklerinin basınç dayanımları incelendiğinde, 7 günlük PET lif ilaveli çimento harç numunelerinin basınç dayanımlarının; kontrol numunesi ile karşılaştırıldığında P0.5 numunesinde %1,73, P1 numune örneğinde %2,03 basınç dayanımında artış meydana gelmiştir. 28 günlük PET lif ilaveli çimento harç numunelerinin basınç dayanımlarının; kontrol

numunesi ile karşılaştırıldığında P0.5 numunesinde %0,38, P1 numune örneğinde ise %1,63 basınç dayanımında artış meydana gelmiştir. Kim vd. [24], %0, 0,5, 1, 1,5 oranında harç karışımına PET liflerin takviyesinin basınç dayanımlarına etkisini incelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda PET lifli örnekler %0,75 PET lif takviyesine kadar basınç dayanımında belirgin bir değişime neden olmadığını, %1 lif PET lif takviyesinde ise bir miktar düştüğünü gözlemlemişlerdir. Ochi vd., [9] betona %1 lif PET lif ilavesinin basınç dayanımı artarken %1 den sonra basınç PET lif ilavesinin beton dayanımında azaldığı söylemişlerdir. Lif dozajı arttıkça taze betonun yerleşebilirliğinin azalması ve sıkıştırmadaki zorluklar nedeniyle basınç dayanımında düşüş meydana gelmektedir[9]. %1 PET lif ikamesinden sonra basınç dayanımında olumsuz etkiler yaratmıştır. Bunun nedeni numunelere ilave edilen PET liflerin harcın kıvamını düşürdüğü ve çimento harcı içerisinde boşluklara neden olduğundan olumsuz etkide bulunmuştur [30-32]. Ayrıca lif miktarının artması ile toplaşmanın fazlaşması ve çimento harçlarını oluşturan bileşenlerin hareket kabiliyetlerinin azalarak işlenebilirliğin azalması ve numuneler içerisinde bir miktar boşlukların oluşturmasıdır [9,24]. Yapılan çalışmada sonuçların literatürle uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Tüm numunelere %1 PET lif ikamesi yapılarak, PET lif katkılı UK ve YFC ikameli kompozit çimento harçlarının dökümü yapılmıştır.

### 3.2. Basınç Dayanım Sonuçları (Compressive Strength Results)

En uygun PET lif %1 oranı bulunduktan sonra, endüstriyel atıkları kullanmak ve daha ekonomik katkılı çimento üretmek amacı puzolanik malzeme olarak, UK ve YFC %0, %5, %10, %15, %20, %25 ve %30 ikame oranlarında çimento içerisine ikame edildi. %1 PET lif takviyeli puzolanik çimento harcının 7, 28 ve 90 günlük eğilme ve basınç değerleri elde edildi.

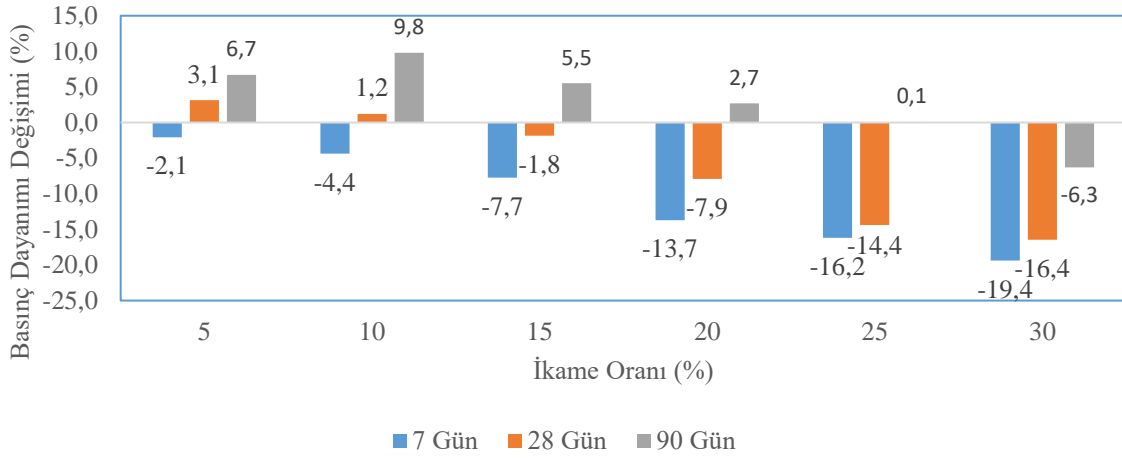


**Şekil 5.** %1 Lif katkılı, YFC ikameli çimento harçlarının 7,28 ve 90 günlük ortalama basınç ve eğilme dayanımları

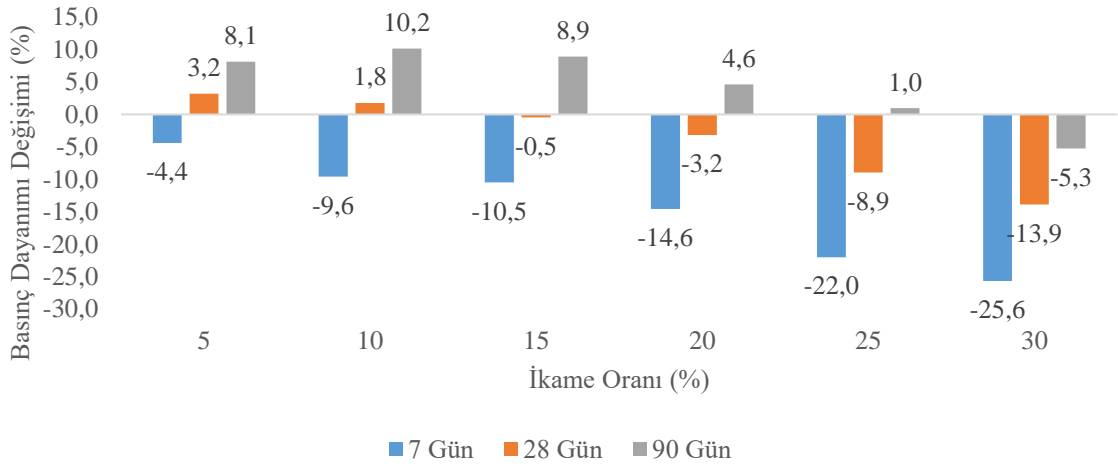
Şekil 5’de görüldüğü gibi 7 günlük YFC ikameli çimento harçlarının basınç ve eğilme dayanımları lif katkısız kontrol numuneyi geçememiştir. YFC’nin ilk günlerde puzolanik aktivitelerinin düşük olmasıdır. YFC ikame oranı arttıkça eğilme ve basınç dayanım değerlerinde azalma görülmüştür. 28 günlük basınç ve eğilme dayanımları incelendiğinde YFC’nin %5 ve %10 ikame oranlarında kontrol numuneyi geçtiği görülmüştür. 28 günlük basınç dayanım değişimleri incelendiğinde, %5 ikame oranında %3.1 artarken, %10 ikame oranında %1.2 artış gözlemlenmiştir. 90 günlük basınç dayanım değişimlerine baktığımız zaman %5 ikame oranında %6.7 artarken, %10 ikame oranında %9.8, %15 ikame oranında %5.5, %20



ikame oranında %2.7 ve %25 ikame oranında ise %0.1 basınç dayanımı artışı gözlemlenmiştir. Bütün ikame oranlarındaki basınç dayanımı artışları ve azalmaları Şekil 6'da görülmektedir.

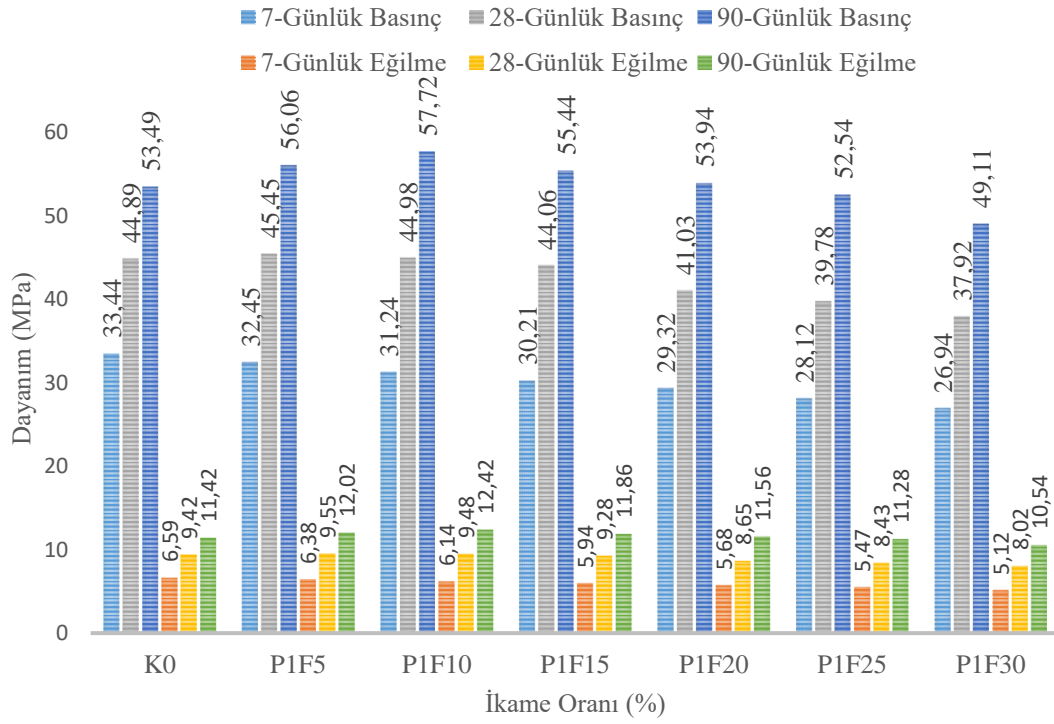


**Şekil 6.** 7,28 ve 90 günlük lif katkılı, YFC ikameli çimento harçlarının basınç dayanımlarının yüzde değişimi



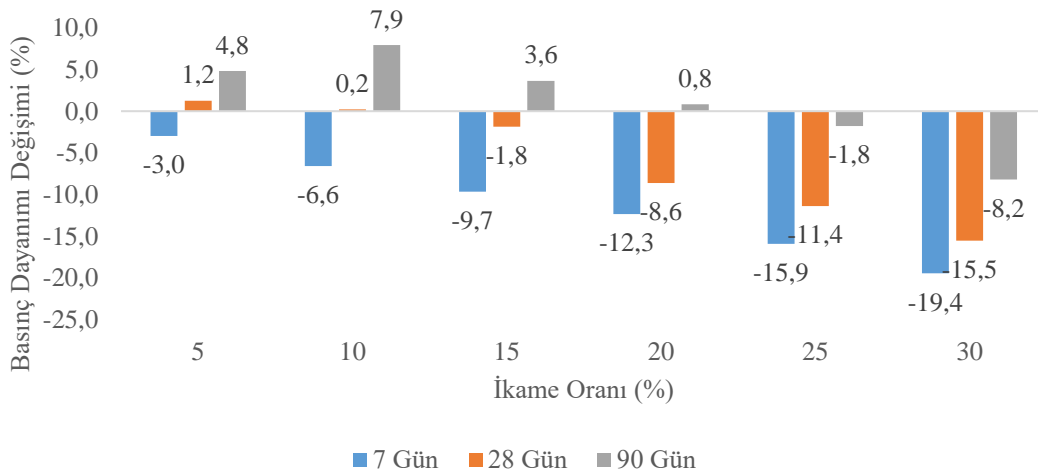
**Şekil 7.** 7,28 ve 90 günlük lif katkılı, YFC ikameli çimento harçlarının eğilme dayanımlarının yüzde değişimi

28 günlük eğilme dayanım değişimleri, kontrol numuneye göre %5 ikame oranında %3.2, %10 ikame oranında %1.8 arttığı gözlemlenmiştir. 90 günlük eğilme dayanım değişimleri ise %5 ikame oranında %8.1 artarken, %10 ikame oranında %10.2, %15 ikame oranında %8.9 %20 ikame oranında %4.6 ve %25 ikame oranında ise %1 eğilme dayanımının artışı gözlemlenmiştir. Bütün ikame oranlarındaki eğilme dayanımı artışları ve azalmaları Şekil 7'de görülmektedir.

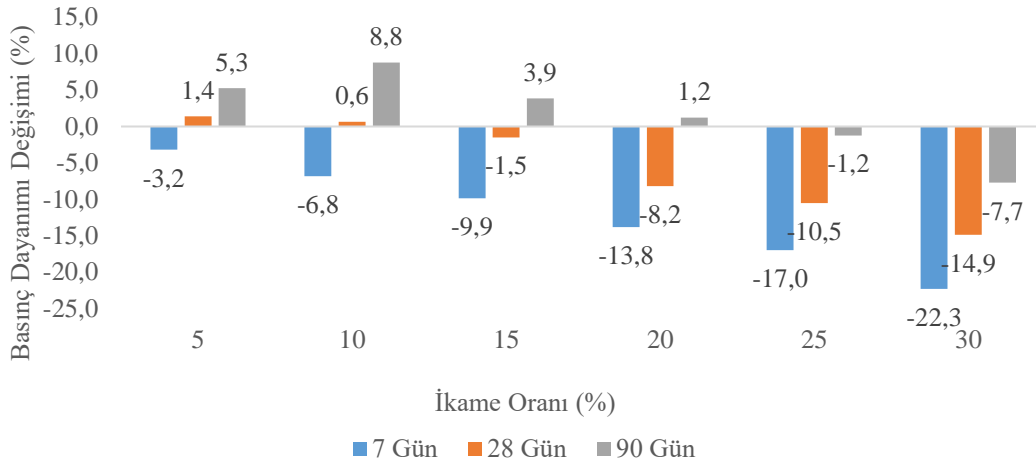


**Şekil 8.** %1 lif katkılı UK ikameli çimento harçlarının 7,28 ve 90 günlük ortalama basınç ve eğilme dayanımları

Şekil 8’de görüldüğü gibi 7 günlük UK ikameli farklı tip çimento harçlarının basınç ve eğilme dayanımları kontrol numuneyi geçememiştir. Bunun sebebi, UK’ün erken yaşlarda puzolanik aktivitesinin düşük olmasıdır. UK oranı arttıkça, eğilme ve basınç dayanım değerinde azalmalar görülmektedir. 28 günlük basınç ve eğilme dayanımları, kontrol numuneye karşılaştırıldığında, UK’nın %5 ve %10 ikame oranlarında kontrol numunesine göre yüksek çıktığı gözlemlenmiştir. 28 günlük basınç dayanım değişimleri ise, %5 ikame oranında %1.2 artarken, %10 ikame oranında %0.2 artış gözlemlenmiştir. 90 günlük basınç dayanımında ise, %5 ikame oranında %4.8 artarken, %10 ikame oranında %7.9, %15 ikame oranında %3.6, %20 ikame oranında %0.8 basınç dayanımı artışı gözlemlenmiştir. Bütün ikame oranlarındaki artış ve azalmalar Şekil 9’de görülmektedir.



**Şekil 9.** 7,28 ve 90 günlük lif katkılı, UK ikameli çimento harcının basınç dayanımlarının yüzde değişimi



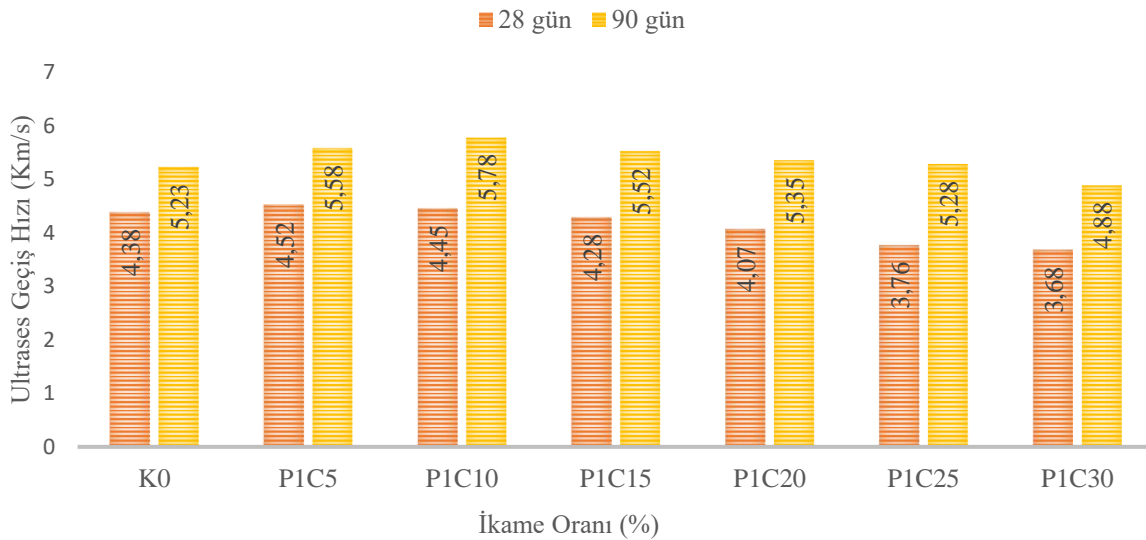
**Şekil 10.** 7,28 ve 90 günlük lif katkılı, UK ikameli Çimento harcının eğilme dayanımlarının yüzde değişimi

28 günlük eğilme dayanım değişimleri kontrol numuneyle karşılaştırıldığında; %5 ikame oranında %1.4 artarken, %10 ikame oranında %0.6 arttığı gözlemlenmiştir. 90 günlük eğilme dayanım değişimlerinde ise, %5 ikame oranında %5.3 artarken, %10 ikame oranında %8.8, %15 ikame oranında %3.9 ve %20 ikame oranında %1.2 eğilme dayanımının arttığı gözlemlenmiştir. Bütün ikame oranlarındaki artış ve azalmalar Şekil 10'da görülmektedir.

### 3.3. Ultrases Geçiş Hızı Deneyi Sonuçları (Ultrasonic Pulse Velocity Experiment Results)

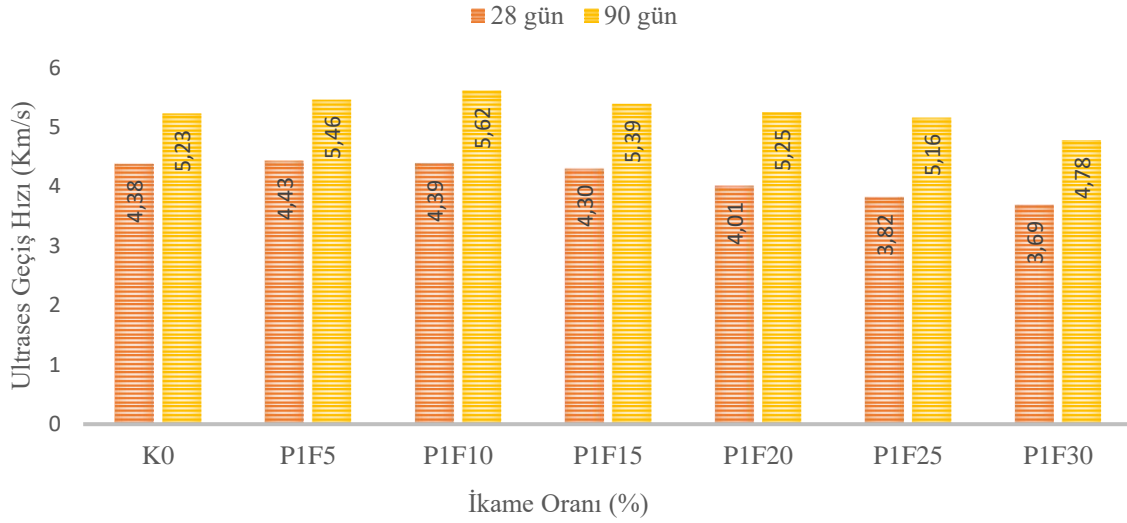
Çimento harç numunelerinde ölçüm esnasında sismik dalga hızları harç numunesinin kompasitesi hakkında bilgi verir. Ses geçiş hızının düşük değerde olması çimento harç numunelerinde bir miktar boşluk içerdiğini, ses geçiş hızını yüksek olduğu çimento harçlarında ise kompasitenin yüksek olduğunu gösterir. PET lif katkılı çimento harçlarının ses geçiş hızları UK ve YFC ikame miktarının artması ile birlikte kontrol harcına göre dahayüksek değerler almıştır.

%1 PET lif takviyeli UK ve YFC ikameli harç numunelerin 28 ve 90 günlük ultrases geçiş hızları sırasıyla, Şekil 11 ve Şekil 12' de verilmiştir. 28 ve 90 günlük üretilen örnek numunelerin ultrases geçiş süreleri sırasıyla, kontrol numunesinde 4.38 km/sn ve 5.23 km/sn olarak ölçülmüştür.



**Şekil 11.** 28 ve 90 günlük lif katkılı, YFC ikameli çimento harcının ultrases geçiş hızı

Şekil 11 incelendiğinde; YFC ikameli çimentoların Ultrases geçiş hızları farklı olsa da 28. günde %5 ve %10 ikame oranlarında ultrases geçiş hızları, kontrol numuneye göre daha hızlı olmuştur. 90 günde ise, %20 ikame oranına kadar ultrases geçiş hızlarının daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.



**Şekil 12.** 28 ve 90 günlük lif katkılı, UK ikameli çimento harcının ultrases geçiş hızı

Şekil 12 incelendiğinde; UK ikameli çimentoların Ultrases geçiş hızları farklı olsa da 28. günde %5 ve %10 ikame oranlarında ultrases geçiş hızları, kontrol numuneye göre daha hızlı olmuştur. 90 günde ise, %20 ikame oranına kadar ultrases geçiş hızlarının daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

90 günlük, Lif katkılı puzolanik numunelerin ultrases geçiş hızları ise en fazla %1 lif takviyeli, %10 YFC ikameli üretilen kompozit harç numunelerinde 5.78 km/sn ölçülürken, %1 lif takviyeli, %10 UK ikameli üretilen kompozit harç numunelerinde ise 5.62 km/sn olarak ölçülmüştür. Ayrıca, ölçülen ultrases geçiş hızları 4 km/sn değerinden daha büyük olduğundan bütün lif takviyeli kompozit harç numune örnekleri, kaliteli harç sınıfında yer almaktadırlar [33] Bunun sebebi; UK ve YFC ikameli çimento harçlarının ileriki yaşlarda basınç dayanımlarının daha da artmasıdır [36,37]. UK ve YFC ikameli çimento harçlarının, çimento ile su arasındaki reaksiyonlar sonucu dayanım kazandıran C-S-H jellerini oluşturarak, ultrases hızlarının da yüksek çıkmasına sebep olur.

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSION)

PET lif katkılı, UK ve YFC ikameli çimento harçları için elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Ağırlıkça bağlayıcı oranın %0.5 %1, %1.5 %2 ve %3 PET lifin en yüksek dayanımı veren %1 PET lif olarak ölçülmüştür.
- %1 PET lif takviyeli çimento harcının, lifsiz kontrol numunesine göre eğilme dayanımında %25,79 oranında artış gerçekleşmiştir.
- Pet lif ikamesini kontrol numuneye göre karşılaştırıldığında, basınç dayanımında %1, eğilme dayanımında ise %2'den sonra bir düşüş görülmüştür.
- 7 günlük %1 PET lif takviyeli UK ve YFC ikameli çimento harçlarının basınç ve eğilme değerlerinin ilk günlerde kontrol numuneye göre düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebin puzolanik reaksiyonların ilk günlerde yavaş olduğundan kaynaklanmaktadır.
- 28 günlük PET lif takviyeli UK ve YFC ikameli çimento harçlarının eğilme ve basınç dayanımları incelendiğinde, UK ve YFC'nin %5 ve %10 ikame oranlarında kontrol numuneye göre yüksek çıkmıştır. En yüksek ikame oranı %5 olarak tespit edilmiştir.

- 90 günlük PET lif takviyeli UK ve YFC ikameli çimento harçlarının basınç dayanımları incelendiğinde, %20 ikame oranına kadar kontrol numuneyi geçtiği ve en iyi ikame oranının UK ve YFC için %10 ikameli çimentolarda olduğu ölçülmüştür.
- 90 günlük PET lif takviyeli UK ve YFC ikameli çimento harçlarının eğilme dayanım verileri incelendiğinde; %20 ikame oranına kadar kontrol numuneyi geçtiği ve en iyi ikame oranının UK ve YFC için %10 ikameli çimentolarda olduğu görülmüştür.
- 28 günlük PET lif takviyeli UK ve YFC ikameli çimento harç numunelerin ultrases geçiş hızı verileri kontrol numuneye göre değerlendirildiğinde %5 ikameli numunenin en yüksek olduğu ve %5 ve %10 UK ve YFC ikameli çimento harçlarının yüksek olduğu ve beton kalitesi “çok iyi” olduğu görülmektedir.
- Basınç dayanım değerleri ile ultrases geçiş hızı veri sonuçlarının birbiriyle örtüştüğü görülmektedir. Lif Katkılı çimento harçlarında, UK ve YFC gibi puzolanik malzemelerin kullanımı liften kaynaklanan boşlukları dolgu etkisi yaratarak daha sıkı bir yapı oluşturmaktadır.
- UK ve YFC ikameli çimento harçları incelendiğinde YFC ikameli çimento harçlarının UK ikameli çimento harçlarının mekanik dayanımlarından daha yüksek çıktığı yapılan çalışmada görülmektedir. Buda YFC ikameli çimento harçlarının UK ikameli çimento harçlarına göre aynı ikame oranında çimento harçları içindeki boşlukları daha iyi doldurduğu yani YFC ikameli numunelerin kompasitesinin daha yüksek olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak; PET şişe atıkların değerlendirilmesinde PET liflerin kullanılması, endüstriyel atık olan UK ve YFC'nin çimento endüstrisinde kullanımı ile hem doğal kaynakların azalmasını önlemede, hem de enerji tasarrufu sağlamış olacaktır. Dolayısıyla maliyetlerin düşmesine ve doğaya salınan karbondioksit azalmasına neden olacak atıkların ekonomik ve çevresel açıdan fayda sağlanacaktır.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Yan, H., Sun, W., & Chen, H. (1999). The effect of silica fume and steel fiber on the dynamic mechanical performance of high-strength concrete. *Cement and Concrete Research*, 29(3), 423–426.
- [2] Kayali, O., Haque, M. N., & Zhu, B. (2003). Some characteristics of high strength fiber reinforced lightweight aggregate concrete. *Cement and Concrete Composites*, 25(2), 207–213.
- [3] Brandt, A. M. (2008). Fibre reinforced cement-based (FRC) composites after over 40 years of development in building and civil engineering. *Composite Structures*, 86(1–3), 3–9.
- [4] Köksal, F., Altun, F., Yiğit, I., & Şahin, Y. (2008). Combined effect of silica fume and steel fiber on the mechanical properties of high strength concretes. *Construction and Building Materials*, 22(8), 1874–1880.
- [5] Shannag, M. J. (2000). High strength concrete containing natural pozzolan and silica fume. *Cement and Concrete Composites*, 22(6), 399–406. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(00\)00037-8](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(00)00037-8)
- [6] Banthia, N., Yan, C., & Sakai, K. (1998). Impact resistance of fiber reinforced concrete at subnormal temperatures. *Cement and Concrete Composites*, 20(5), 393–404. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(98\)00015-8](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(98)00015-8)
- [7] Toutanji, H., McNeil, S., & Bayasi, Z. (1998). Chloride permeability and impact resistance of polypropylene-fiber-reinforced silica fume concrete. *Cement and Concrete Research*, 28(7), 961–968. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(98\)00073-8](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(98)00073-8)
- [8] Borg, R. P., Baldacchino, O., & Ferrara, L. (2016). Early age performance and mechanical characteristics of recycled PET fibre reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 108, 29–47.



- [9] Ochi, T., Okubo, S., & Fukui, K. (2007). Development of recycled PET fiber and its application as concrete-reinforcing fiber. *Cement and Concrete Composites*, 29(6), 448–455.
- [10] Fraternali, F., Spadea, S., & Berardi, V. P. (2014). Effects of recycled PET fibres on the mechanical properties and seawater curing of Portland cement-based concretes. *Construction and Building Materials*, 61, 293–302. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2014.03.019>
- [11] 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. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2009.11.025>
- [12] Alani, A. M., & Beckett, D. (2013). Mechanical properties of a large scale synthetic fibre reinforced concrete ground slab. *Construction and Building Materials*, 41, 335–344.
- [13] Hsie, M., Tu, C., & Song, P. S. (2008). Mechanical properties of polypropylene hybrid fiber-reinforced concrete. *Materials Science and Engineering: A*, 494(1–2), 153–157.
- [14] Bošnjak, J., Ožbolt, J., & Hahn, R. (2013). Permeability measurement on high strength concrete without and with polypropylene fibers at elevated temperatures using a new test setup. *Cement and Concrete Research*, 53, 104–111. <https://doi.org/10.1016/J.CEMCONRES.2013.06.005>
- [15] Rostami, M., & Behfarnia, K. (2017). The effect of silica fume on durability of alkali activated slag concrete. *Construction and Building Materials*, 134, 262–268.
- [16] Afroughsabet, V., & Ozbakkaloglu, T. (2015). Mechanical and durability properties of high-strength concrete containing steel and polypropylene fibers. *Construction and Building Materials*, 94, 73–82.
- [17] Richardson, A.E., Coventry, K., Landless, S. Synthetic and steel fibers in concrete with regard to equal toughness. *Structural Survey*, (2010), 28: p. 355-369.
- [18] Sümer, M. Uçucu kül atıklarının beton üretiminde değerlendirilmesi, I. Ulusal İnşaat & Çevre Sempozyumu, Salihli, Bildiriler Kitabı, (1994), p. 179-185.
- [19] Koca, C. Yüksek performanslı beton üretiminde mikrosilis, curuf, klinker karışımı çimento kullanımı. 4. Ulusal Beton Kongresi Beton Teknolojisinde Mineral ve Kimyasal Katkılar Bildiri Kitabı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul, (1996), p.381-394.
- [20] Şengül, Ü. Uçucu kül ve çevresel etkileri. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, (2001), 7(1): p. 89-104.
- [21] Zhang, P., Li, Q. Effect of polypropylene fiber on durability of concrete composite containing fly ash and silica fume. *Composites: Part B*, (2013), 45(1): p. 1587–1594.
- [22] Ramezani pour, A.A., Esmaili M., Ghahari S.A., Najafi M.H. Laboratory study on the effect of polypropylene fiber on durability, and physical and mechanical characteristic of concrete for application in sleepers. *Construction and Building Materials*, (2013), 44: p. 411-418.
- [23] Yaprak, H., Şimşek, O., Öneş, A. Cam ve çelik liflerin bazı beton özelliklerine etkisi. *Politeknik Dergisi*, (2004), 7(4): p. 353-358.
- [24] Kim, S.B., Yi, N.H., Kim, H.Y., Kim, J.H.J., Song, Y.C. Material and structural performance evaluation of recycled PET fiber reinforced concrete. *Cement and Concrete Composites*, (2010), 32(3): p. 232–240.
- [25] Foti, D. Preliminary analysis of concrete reinforced with waste bottles PET fibers. *Construction and Building Materials*, (2011), 25(4): p. 1906–1915.

- [26] TS EN 197-1: Cement–Part 1: Composition, specification and conformity criteria for common cements. Turkish Standard Institution, Ankara, (2012).
- [27] Tayyar A. E. & Üstün S. Geri Kazanılmış Pet'in Kullanımı. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2010; 16(1): 53-62.
- [28] TS EN 196-1: Methods of testing cement–Part 1: Determination of strength. Turkish Standard Institution, Ankara, (2016).
- [29] ASTM C 597: Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete, Annual Book of ASTM Standard, (February 2003).
- [30] Fanella D.A. and Naaman A.E., "Stress-Strain Properties of Fiber Reinforced Concrete in Compression", Journal of ACI Materials, 82 (4): 475 – 483, (1985)
- [31] Khaloo A.R. and Afshari M., "Flexural Behavior of Small Steel Fiber Reinforced Concrete Slabs", Cement and Concrete Composites 27: 141–149, (2005).
- [32] Uygunoğlu, T., "Investigation of microstructure and flexural behavior of steel-fiber reinforced concrete", Materials and Structures, 41(8): 1441-1449, (2008).
- [33] Erdoğan T.Y., "Beton", ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayn. ve İletişim Şti, 130-160, Ankara, Mayıs, (2003).
- [34] Felekoğlu, B. (2009). Yüksek performanslı beton tasarımı, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Fakültesi, İzmir
- [35] Atahan N.A., Pekmezci B.Y., Tuncel E.Y. 'Behavior of PVA fiber-reinforced cementitious composites under static and impact flexural effects', Journal of Materials in Civil Engineering, 25(10): 1438-1445, (2013).
- [36] Liu J., Qiu Q., Xing F., Pan D. Permeation Properties and Pore Structure of Surface Layer of Fly Ash Concrete. Materials, 7, 4282-4296, 2014.
- [37] Ikram M., 2016. High volume fly ash strength development in concrete: a review. International Journal of Advanced Structures and Geotechnical Engineering, 5 (2), 52-57.
- [38] Kim J.H., Lee J.J., Yoon J.Y., Lyoo W.S., Kotek R., (2001), "Alkaline Depolymerization of Poly(trimethylene terephthalate)", Journal of Applied Polymer Science, Vol. 82, 99–107
- [39] Günay, K. (2018). Antibakteriyel Özelliğe Sahip Modifiye Edilmiş Poli(Etilen Teraftalat) Liflerin Sentezi ve Karakterizasyonu
- [40] Indian Standard IS 13311-1, Method of Non-destructive testing of concrete, Part 1: Ultrasonic pulse velocity [CED 2: Cement and Concrete], Bureau of Indian Standards Manak Bhavan, 9 Bahadur Shah Zafar Maro New Delhi 110002, (1992).