

# Polipropilen Lif Katkılı Harçların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

İlker Bekir TOPÇU<sup>1</sup>, Onur Enes DEMİREL<sup>1</sup>, Tayfun UYGUNOĞLU<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

<sup>2</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Böl., Afyonkarahisar

(Geliş/Received : 09.06.2016 ; Kabul/Accepted: 10.06.2016 )

## ÖZ

Bu çalışmada, dört farklı görünüm oranındaki polimer esaslı polipropilen lifin harç özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Öncelikle lif katkısız kontrol numunesi üretilmiştir. Lifler harç içine hacimce %0.6, %0.8, %0.9, %1.1 oranlarında katılmıştır. Harçlar üzerinde basınç dayanımı, eğilme dayanımı, ultrases hızı, su emme, dinamik elastisite modülü ve mikroyapı incelemesi yapılmış ve kontrol numuneleri ile karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre, polipropilen lif katkısının harçlar üzerinde basınç dayanımını bir miktar düşürdüğü, eğilme dayanımını bir miktar artırdığı, su emmelerinin lif tipine göre değiştiği ve elastisite modülünün de düştüğü görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Polipropilen Lif, Lif Hacmi, Çimento Esaslı Harç, Sertleşmiş Harç Özellikleri.

## Physical and Mechanical Properties of Polypropylene Fiber Reinforced Mortars

### ABSTRACT

In this study, the effects of polymer based polypropylene fibers with four aspect ratios type on mortar properties have been investigated. Firstly, control samples were produced without fibers. The fibers were added to mortar mixtures in ratio of 0.6% 0.8% 0.9% and 1.1% by volume. On the mortars, compressive strength, flexural strength, ultrasonic velocity, water absorption and dynamic modulus of elasticity were defined and compared with control samples. According to experimental results, it was seen that when the compressive strength and dynamic modulus of elasticity was decreased by addition of fibers to mortar, bending strength and water absorption was slightly increased.

**Keywords:** Polypropylene Fiber, Fiber Volume, Cement Based Mortar, Hardened Mortar Properties.

### 1. GİRİŞ (INRODUCTION)

Yapı malzemelerinin belirli özelliklerini iyileştirmek için bu malzemelere katılan lifler önceleri bitkisel kökenliler olurken günümüz teknolojisi ile cam, çelik ve polimer esaslı liflerin de kullanım olanakları ortaya çıkmıştır. Cam liflerinin özellikle alkali ortamlarda durabilite açısından sorun oluşturması nedeniyle günümüzde beton içerisine çelik ve polimer esaslı lifler ilave edilmektedir. Günümüzde en çok kullanılan yapı malzemelerinden beton, aşınma, çekme, kayma, çatlama sonrası yük taşıma, tokluk, yangına karşı dayanıklılığı ve enerji emme kapasitesi zayıf olan bir malzemedir [1-3]. Zayıf olan bu özelliklerini iyileştirmek için birçok çalışma yapılmıştır. Betonda ani kırılmayı önleyebilmek ve betonun sünekliğini artırabilmek için beton içerisinde farklı mekanik ve fiziksel özeliğe sahip lifler kullanılmaktadır. Fiziksel ve mekanik özellikleri farklı olan bu lifler, beton karışımı içerisinde karma olarak da kullanılarak, çok gevrek davranış gösteren yüksek dayanımlı betonlara süneklik kazandırma da ve zayıf yönleri daha da iyileştirmede katkı sağlamaktadır [4,5].

Betonlara katılan polipropilen lifler belli oranda katılmalıdır. Liflerin özelliklerine göre polipropilen lif katkılı betonlar günümüzde özel uygulamalarda kullanılmaktadır [6]. Özellikle son yıllarda beton teknolojisindeki gelişmelerle birlikte, basınç dayanımı çok yüksek olan betonlar, yüksek yapılar, köprüler, deniz altı yapıları, nükleer santraller gibi önemli yapılarda kullanılmaya başlanmıştır [7,8].

Polipropilenlerin en önemli özelliklerinden birisi betonda oluşacak plastik rötre çatlaklarını sınırlamasıdır. Bu betonlar günümüzde özellikle yol inşaatlarında, endüstriyel döşemelerde, havaalanı pist kaplamalarında, su yapılarında, püskürtme betonlarda, şev stabilitesi problemi olan yamaçlarda, ince kabuk yapılarında, beton borularda, yüksek sıcaklığa maruz yapılarda, askeri yapılarda, öngermeli yapılarda, dış cephe mantolama uygulamalarında kullanılan sıvaların içinde için sıvaların içinde ve daha birçok inşaatlarda kullanılmaktadır [9,10]. Özellikle betonun içindeki boşlukları doldurmak, rötre ve büzülme çatlaklarını azaltmak, betonun darbeye karşı dayanımını artırmak gibi önemli faydalar sağladığı için son yıllarda ülkemizde önde gelen beton şirketleri de polipropilenli beton üretimini artırmıştır [11,12].

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: uygunoglu@aku.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2017.20.1 91-96

Bu çalışmada, farklı fiziksel ve mekanik özelliklere sahip polipropilen lifler harç karışımı içerisinde farklı oranlarda kullanılmıştır. Özellikle polipropilen liflerin mikro çatlama önlemesi sayesinde hazır harç, sıva harcı ve tamir harcı gibi çimento esaslı kompozitlerde kullanımları oldukça yaygındır. Bu nedenle, bu çalışmada öncelikli olarak sertleşmiş harç deneylerine yer verilmiştir. Ayrıca betonun en önemli özelliği olan basınç dayanımını azami koruyacak ve diğer zayıf yönlerini geliştirebilecek en uygun polipropilen lif tipi ve oranını tespit etmek için deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışma sonunda polipropilen liflerin harçların sertleşmiş haldeki özelliklerini nasıl etkilediği araştırılmıştır.

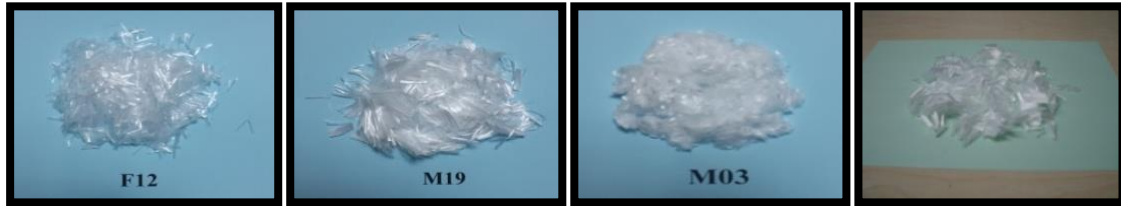
## 2. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

### 2.1. Kullanılan Malzemeler (Materials used)

Numunelerin hazırlanmasında hidrolik bağlayıcı olarak TS EN 197-1 [13] standardına uygun olarak üretilmiş olan CEM I-42.5/R tipi Portland Çimentosu (PÇ) kullanılmıştır. Çimentonun Blaine incelik değeri 3312 cm<sup>2</sup>/g ve özgül ağırlığı da 3.1'dir. Çimentoaya ait kimyasal oksit değerleri Çizelge 1'de sunulmuştur. Agrega olarak standart kumun kullanıldığı harçlarda dört farklı görünüm oranlarında polipropilen lif kullanılmıştır. Liflerin karakteristik özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir

kodlu polipropilen liflerdir. Yapılan deneylerin hepsinde 40x40x160 mm boyutlarında numuneler hazırlanmıştır. Deneysel çalışmalar toplamda 48 seri harç karışımı üzerinde yapılmıştır. Bu karışımlardan bir tanesi kontrol karışımı olup diğerleri polipropilen lifli karışımlardır. Karışım içerisine giren polipropilen lif miktarları; M03:0.0105 kg/dm<sup>3</sup>, M06:0.0141 kg/dm<sup>3</sup>, F12:0.0158 kg/dm<sup>3</sup>, M19:0.0193 kg/dm<sup>3</sup>tür.

Harçlar, üretimlerini takiben 24 sa sonra kalıptan alınıp 20±2 °C kirece doymuş su içerisinde 27 gün kuru edilmişlerdir. Bir gün laboratuvar ortamında bekletilen harçlar üzerinde 28 günlük basınç, eğilme, su emme, ultrases geçiş hızı gibi deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylere fiziksel özelliklerden başlanılmıştır. Numuneler etüv kuru hale getirilip ağırlıkları alındıktan sonra ultrases geçiş hızları belirlenmiştir. Daha sonra, 24 sa su içerisinde doymuş hale getirilmiş ve su emme değerleri belirlenmiştir. Mekanik özelliklerin belirlenmesinde otomatik basınç ve eğilme presi kullanıldı. Basınç presinin kapasitesi 200 kN olup, eğilme presinin kapasitesi de 50 kN'dur. Eğilme deneyi ortadan yükleme tipiyle 120 mm mesnet açıklığında TS EN 12390-5 [14] standardına göre gerçekleştirildi. Eğilme testi sırasında ikiye ayrılan numuneler yine TS EN 12390-5 [14] standardına göre basınç testi için kullanılmıştır. Numunelerin alt ve üstüne aynı düşey eksen çizgisindeki mesafeye gelecek şekilde 40x40 mm plakalar yerleştirilmiştir. Bu halde basınç presi tablaları



Şekil 1. Polipropilen lifler (Polypropylene fibers)

Çizelge 1. Çimentonun kimyasal bileşenleri (Chemical component of cement)

Bileşen, %	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	KK
PÇ	63.6	19.6	4.72	3.27	1.91	0.34	1.06	4.72	2.69

Çizelge 2. Polipropilen liflerin teknik özellikleri (Technical properties of polypropylene fibers)

Lif	Çap (mm)	Boy (mm)	Narinlik (Boy/Çap)	Çekme Dayanımı (MPa)	Birim Ağırlığı (gr/cm <sup>3</sup> )	Erime Noktası (°C)	E- Modülü (MPa)
M03	0.05	3	60	600-700	0.91	150	3500
M06	0.20	6	30	600	0.90	230	3800
F12	0.30	12	40	450-600	0.91	160	3500
M19	0.30	19	63.3	400-500	0.91	160	3500

### 2.2. Karışımların Hazırlanması ve deneyler (Preparation of mixes and experiments)

Harç bileşeni olarak 450 g çimento, 225 g su, 1350 g standart kum ve farklı oranlarda (%0.6, %0.8 %0.9 ve %1.1) polipropilen lif kullanılmıştır. Polipropilen lifler dört çeşit olup, bunlar; ticari olarak M03, M06, F12, M19

arasına yerleştirilen numunelere basınç yükü uygulanarak TS EN 12390-3 [15] standardına göre dayanım değerleri belirlenmiştir. Numuneler üzerinde gerçekleştirilen ultrases geçiş hızı ve birim ağırlık deney verileri kullanılarak dinamik elastisite modülleri de aşağıda verilen (1) nolu denklem ile belirlenmiştir.

$$E_d = (10^5 V^2 \Delta) / 9.81 \quad (1)$$

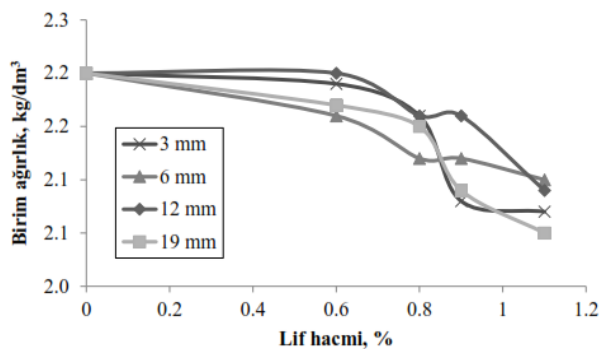
Denklemden,  $E_d$ , dinamik elastisite modülünü;  $V$ , ultrases geçiş hızını;  $\Delta$ , birim ağırlığı simgelemektedir [16].

Polipropilen lif içeren ve kontrol numuneleri üzerinde mikroyapı incelemeleri Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknolojik Uygulama ve Araştırma Merkezi (TUAM)'nde bulunan LEO 1430 VP model W (Tungsten) filament ile çalışan taramalı elektron mikroskobu (SEM) cihazında yapılmıştır. Bütün lif tipleri yapı olarak polipropilen olduğundan sadece bir seri üzerinde (M19) SEM görüntüleri alınmıştır. Numuneler kırık yüzeyli hazırlanmış olup, yüzeyleri karbon ile kaplanmıştır.

### 3. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME (RESULTS AND DISCUSSIONS)

#### 3.1. Birim Ağırlık Deney Sonuçları (Unit weight results)

Harç içerisine ilave edilen farklı boy veya narinlik oranlarındaki polipropilen lifler harçların birim ağırlık değerlerinin azalmasına neden olmuştur (Şekil 2). Harç veya beton içerisine ilave edilen polipropilen liflerin işlenebilirlik değerlerini azalttığı literatürden bilinmektedir [3]. İşlenebilirlikteki azalmanın en büyük nedeni, artan lif miktarıyla topaklaşmanın ortaya çıkması ve bunun sonucunda bileşenlerin hareket kabiliyetlerinin azalmasıdır. İşlenebilirlikteki azalma harç kalıba yerleştirilmesini de etkilemekte ve kısmen de olsa kontrol (lifsiz) harca göre daha boşluklu kalmasına neden olmaktadır. Lif miktarının artmasıyla birlikte kalıba daha boşluklu yerleşmiş olan harçların birim hacim ağırlık değerleri de kontrol harcına göre daha düşük değerler almıştır. En düşük birim ağırlık değerleri tüm lifler için en fazla lif içeriğindeki harçlarda elde edilirken, lif tipi açısından dikkate alındığında en uzun lif (19 mm) içeren harçlarda görülmüştür.

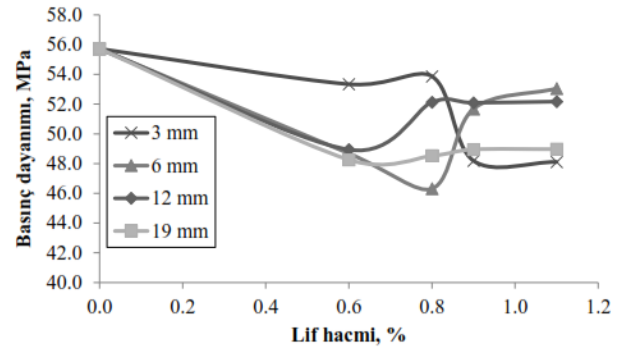


Şekil 2. Polipropilen lif katkıları ile hazırlanan harçların birim ağırlıklarının (Unit weights of polypropylene fiber added mortars)

#### 3.2. Basınç Dayanımı Deney Sonuçları (Compressive strength results)

Harç içerisine ilave edilen liflerin basınç dayanımı değerleri üzerindeki etkisi incelendiğinde (Şekil 3), lif miktarının basınç dayanımına hem olumlu hem de olumsuz yönde etkisi olmuştur. Bunun sebebi, harca

ilave edilen liflerin harçın işlenebilmesini azalttığından veya harç içerisindeki dağılımının ve yöneliminin etkisi sonucu oluşmuş olabileceği belirtilebilir. Yapılan çalışmalarda da lif içeriğinin betonun basınç dayanımı üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı ve hatta  $\pm\%25$  oranında olumlu veya olumsuz yönde etkileyebileceği belirtilmiştir [17-20].



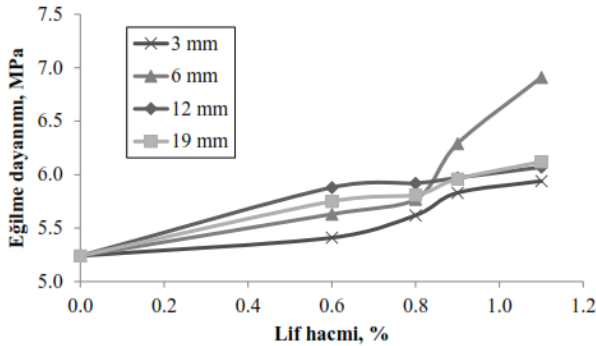
Şekil 3. Polipropilen lif katkıları ile hazırlanan harçların basınç dayanımı sonuçları (Compressive strength results of polypropylene fiber added mortars)

Sonuçlar incelendiğinde; kontrol numunesi basınç dayanımı değeri 55.72 MPa iken, polipropilen lifli karışımların basınç dayanımı değerleri 46.31 MPa ile 53.87 MPa arasında değişerek  $\%3.3$ - $\%17$  oranında azaldığı görülmüştür. Buna göre; basınç dayanımı değerlerinin lif katkısı ile birlikte tüm karışımlarda düştüğü görülmüştür. Lif ilavesinin artırılmasıyla birlikte harçların işlenebilirliklerindeki azalmalar yapılan çalışmalardan bilinmektedir [3]. Lif boylarının ve miktarının artmasıyla birlikte harç içerisindeki topaklanma daha fazla olduğundan hem birim ağırlık hem de dayanım değerleri diğer lif tiplerini içeren harçlara göre daha düşük değerler almıştır.

#### 3.2. Eğilme Dayanımı Deney Sonuçları

Harç içerisine ilave edilen liflerin eğilme dayanımları üzerindeki etkileri incelendiğinde (Şekil 4), lif miktarının artmasıyla eğilme dayanımının da belirgin bir biçimde arttığı görülmektedir. Lifsiz harçın eğilme dayanımı 5.24 MPa civarında iken, lifli harçların eğilme dayanımı değerleri 5.94-6.91 MPa arasında ölçülmüştür. Polipropilen liflerin  $\%1.1$  oranında ilave edilmesiyle harçların eğilme dayanımlarında yaklaşık  $\%13.3$ - $\%31.9$  oranında artış sağlanabilmiştir. Betona ilave edilen lif miktarıyla doğrudan ilişkili olan eğilme dayanımının, lif tipiyle de doğrudan ilişkili olduğu belirtilebilir. Boyu 6 mm olan liflerin harç içerisinde daha homojen dağılarak eğilme testi sırasında harçın alt bölgelerinde çekme gerilmelerinden dolayı oluşan mikro çatlakları durdurmada daha etkili olduğu ve buna bağlı olarak da lif miktarının da artırılmasıyla birlikte eğilme dayanımının da arttığı görülmüştür. Lif boyu arttıkça harç içerisinde dağılımları sırasında topaklanmaları ve liflerin kıvrılarak etkilerinin azalma riski daha fazla olmakta ve bu da birim ağırlık değerlerinin azalmasından açıkça görülmektedir [18,19]. Basınç dayanımıyla karşılaştırıldığında, kontrol serilerinin eğilme dayanımları basınç dayanımının

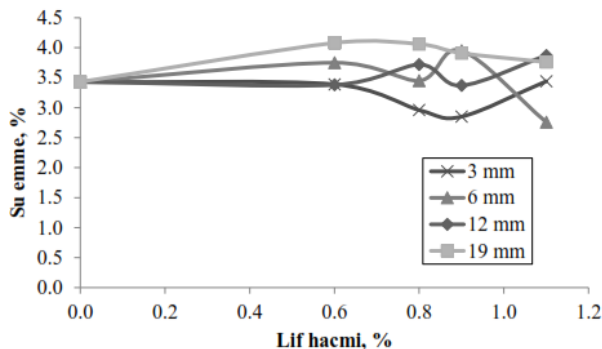
yaklaşık onda birine karşılık gelirken, lif hacminin artmasıyla artan eğilme dayanımları sonucunda, polipropilen katkılı harçların eğilme dayanımları basınç dayanımlarının yaklaşık sekizde birine karşılık gelmektedir.



Şekil 4. Polipropilen lif katkılı harçların eğilme dayanımı sonuçları (Flexural strength results of polypropylene fiber added mortars)

### 3.3. Su Emme Deney Sonuçları

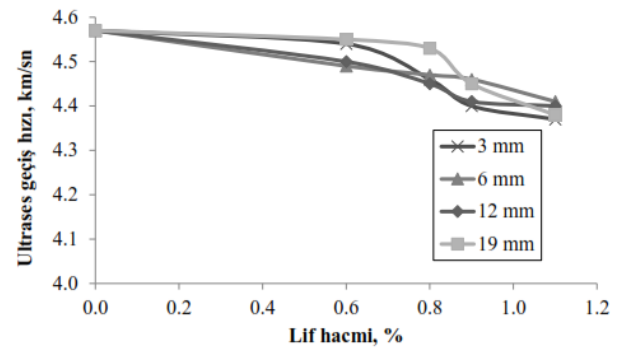
Farklı tipte polipropilen lif içeren harçların ağırlıkça su emme değerleri de belirlenmiştir (Şekil 5). Kontrol numunesinin su emme değeri %3.43'tür. En yüksek su emme değeri yaklaşık %4 oranıyla 19 mm uzunluğundaki lifli harçlarda görülürken, en düşük su emme değeri ise yaklaşık %2.7 değeriyle 3 mm uzunluğundaki lifleri içeren harçlarda elde edilmiştir. Kullanılan lif uzunluğunun artmasıyla harç içerisinde az da olsa boşlukların arttığı sonucuna varılmıştır. Lif miktarının artırılmasıyla da 3 mm lif içeren harçların su emmesi haricindeki serilerde artış görülmüştür. Ancak genel olarak incelendiğinde, polipropilen liflerin su emmeyen yapıda olmaları nedeniyle harçlardaki su emme oranlarındaki artışlar oldukça düşük miktardadır [21,22]. Su emme oranlarındaki artışın nedeni topaklanmaları nedeniyle betonda oluşan boşluklardan dolaydır. Bu boşluklar aynı zamanda basınç dayanımlarının da kontrol serilerine göre daha düşük değerler almasına da neden olmuştur.



Şekil 5. Polipropilen lif katkılı harçların su emme değerleri (Water absorption values of polypropylene fiber added mortars)

### 3.4. Ultrases Deney Sonuçları (Ultrasonic Pulse Velocity Results)

Bir beton ortamında ölçülen sismik dalga hızları o ortamın doluluğu veya kompasitesi hakkında yeterli ve güvenilir bir fikir verir. Beton ortamında ses geçiş hızının yüksek olması ortamın dolu olduğunu gösterirken, düşük olması da bir miktar boşluk içerdiğinin göstergesidir. Ses dalgaları boşlukta daha yavaş ilerlediklerinden daha düşük değerler elde edilmektedir. Polipropilen lif katkılı harçların da ses geçiş hızları lif miktarının artırılmasıyla birlikte kontrol harcına göre daha düşük değerler almıştır (Şekil 6). Numunelerin ultrases geçiş süreleri kontrol numunesinde 4.57 km/sn olarak hesaplanmıştır. Polipropilenli numunelerin ultrases geçiş hızları ise en fazla lif içeriğinde 4.37 km/sn ile 4.41 km/sn arasındadır. Buna rağmen, belirlenen ultrases geçiş hızları 4 km/sn değerinden daha büyük olduğundan bütün lif katkılı harçlar kaliteli harç sınıfında yer almaktadırlar [16]. Ultrases hızlarındaki azalmanın nedeni de hem kullanılan liflerin polimerik (düşük yoğunluklu) olması hem de liflerin topaklanmaları sonucunda birim ağırlık ile basınç dayanımlarının azalmasına ve su emme oranının artmasına neden olan boşluklardır.

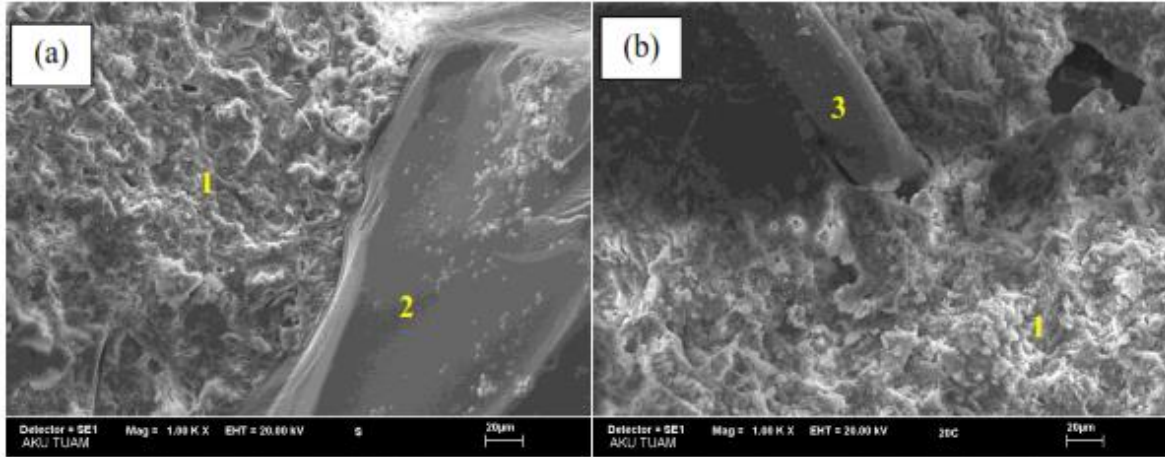


Şekil 6. Lif katkılı harçların ultrases geçiş hızlarının karşılaştırılması (Comparison of ultrasonic pulse velocity of fiber added mortars)

### 3.5. Elastisite Modülü (Modulus of Elasticity)

Numunelerin geçiş süreleri ve birim ağırlıklarına bağlı olarak belirlenen dinamik elastisite (E) modülü değerleri Şekil 7'de verilmiştir. Kontrol harcının E-modülü 46 GPa değerindeyken, harçların içerisine lif ilave edilmesiyle tüm lif tiplerinde E-modülü değerleri azalmaya başlamıştır. Harçların içerisindeki liflerin en yüksek oranda kullanıldığı harçların E-modülleri 41.6-42.63 MPa arasında değişmektedir. Lif tipine göre fazla değişim olmamasına rağmen lif içeriğine göre dikkate alındığında yaklaşık %10 oranında azalma görülmüştür. Basınç dayanımına benzer şekilde E-modülü de lif içeriğinin artmasıyla birlikte liflerin harç veya beton içerisindeki yönelim ve dağılımlarından kaynaklanan nedenlerden dolayı lif katkısız beton veya harçlara göre  $\pm\%25$  oranları arasında değerler alabilmektedir [17]. Birim hacim ağırlık ve basınç dayanımı sonuçlarında olduğu gibi liflerin kullanım oranlarının artmasıyla birlikte topaklaşma sonucunda oluşan boşlukların artması sonucunda daha düşük ultrases geçiş hızı

kırık yüzey numune hazırlanması sırasında oluşmuş

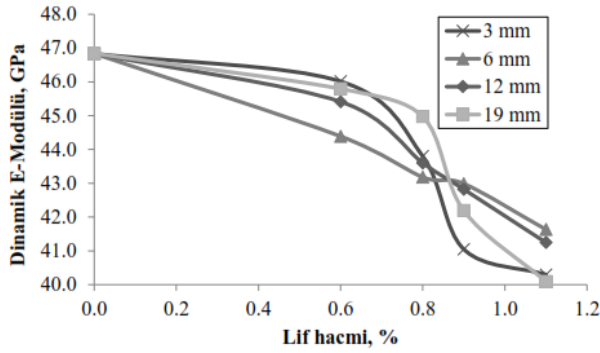


Şekil 8. a) Lifsiz harç; b) lifli harç mikroyapısı (1: çimento harcı; 2: agrega; 3: polipropilen lif)

(microstructure of mortar a: Plain mortar; b: mortar with fiber; 1: hydrated cement; 2: aggregate; 3: polypropylene fiber)

ölçülerek yine daha düşük değerlerde dinamik elastisite modülü değerleri belirlenmiştir.

Buna rağmen polipropilen lif üzerinde hidrasyon ürünlerine de rastlanmıştır. Zaten eğilme dayanımlarının lif hacmiyle artış göstermesi adreansın da çok zayıf olmadığını göstermektedir



Şekil 7. Dinamik elastisite modülü (Dynamic modulus of elasticity)

### 3.6. Mikroyapı incelemesi (Microstructure)

Çimento esaslı harç içerisindeki hidrate ürünlerin dağılımları ile polipropilen liflerin harç arasındaki aderanslarının gözlenmesi amacıyla mikroyapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 8). Kontrol hacında yapılan mikroyapı gözleminde, agrega etrafında, oldukça yoğun çimento hidrasyon ürünleri görülmüştür. Agregayla çimento hamuru arasındaki bu kuvvetli aderans sayesinde harçlar üzerinde oldukça yüksek basınç ve eğilme dayanımları ile yüksek ultrases hızı, düşük su emme değerleri elde edilmiştir. Lif katkıli harçlarda yapılan mikroyapı gözlemi sonucunda da polipropilen lif etrafında oldukça yoğun hidrasyon ürünleri olmasına rağmen aderansın tam olarak sağlanmadığı gözlenmiştir. Bunun muhtemel nedenleri, i) çimento esaslı bağlayıcıyla polimer esaslı lif malzemesinin iki farklı yapıya sahip olması; ii) aderans bölgesinde gözlenen mikro düzeydeki zayıf bölgenin

### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Polipropilen lifli betonlar ve harçlar günümüzde gelişim göstermekte olup birçok araştırma yapılmıştır. Bu çalışmada farklı tipte (uzunlukta) ve oranda polipropilen katkıli çimento esaslı harçların mekanik ve fiziksel özellikleri incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Polipropilen katkıli harçlar üzerinde yapılan basınç deneyi sonucunda, polipropilen liflerin dağılım ve yöneliminden dolayı basınç dayanımının %3-17 oranında azaldığı elde edilmiştir.
- Polipropilen lif katkıli harçlar üzerinde eğilme dayanımı deneyi yapıldığında, lif katkısının harçlarda eğilme dayanımını yani çekme dayanımını yükselttiği görülmüştür.
- Polipropilen lif katkıli harçlar üzerinde yapılan ultrases deneylerinden genellikle polipropilen miktarı arttıkça numunelerin ultrases geçiş hızlarının düştüğü görülmüştür,
- Dinamik E-modülleri de basınç dayanımına benzer şekilde lif içeriğinin artışıyla azalmış ve %1.1 lif kullanılması durumunda kontrol harçlarına göre %10 oranında azalma görülmüştür.
- Polipropilen lif katkıli harçlar üzerinde yapılan su emme deneyleri sonuçlarına göre, lif tipinin değişmesiyle, diğer bir ifadeyle lif uzunluğunun artmasıyla su emme değerleri de artmıştır. Diğer yandan diğerlerine göre daha kısa olan lif hacminin artışıyla su emme değerleri azalırken, nispeten daha uzun olan liflerin miktarının artışı da harçların su emme miktarının yükselmesine neden olmuştur.

**KAYNAKLAR (REFERENCES)**

- [1] Kakooei S., Akil H.Md., Jamshidi M. and Rouhi J., "The effects of polypropylene fibers on the properties of reinforced concrete structures", *Construction Building Materials*, 27(1): 73-77, (2012).
- [2] Fakharifar A, Arezoumandi M, Sharbatdar, M.K., Chen G. and Kheyroddin A., "Mechanical properties of high performance fiber reinforced cementitious composites", *Construction Building Materials*, 71: 510-520, (2014).
- [3] Açıkgenç M., Arazsu U. and Alyamaç K.E., "Farklı karışım oranlarına sahip polipropilen lifli betonların dayanım ve durabilite özellikleri", *SDU International Technologic Science*, 4(3): 41-54, (2012).
- [4] Alani A.M. and Beckett, D., Mechanical properties of a large scale synthetic fibre reinforced concrete ground slab, *Construction and Building Materials*, 41: 335-344, (2013).
- [5] Hsie M., Tua C. and Song, P.S., "Mechanical properties of polypropylene hybrid fiber-reinforced concrete", *Materials Science and Engineering A*, 494: 153-162, (2008).
- [6] Nili M. and Afrouhsabet V., "The effects of silicafume polypropylene fibers on The impact resistance mechanical properties of concrete", *Construction Building Materials*, 24(6): 927-933, (2010).
- [7] Bošnjak J., Ožbolt J. and Hahn R. "Permeability measurement on High strength concrete out with polypropylene fibers at elevated temperatures using a new test setup", *Cement and Concrete Research*, 53-55, (2013).
- [8] Afrouhsabet V. and Ozbakkaloglu T, "Mechanical and durability properties of high-strength concrete containing steel and polypropylene fibers", *Construction and Building Materials*, 94: 73-82, (2015).
- [9] Martinez-Barrera G., Urena-Nunez F., Gencel O. and Brostow W., "Mechanical properties of polypropylene-fiber reinforced concrete after gamma irradiation", *Composites: Part A*, 42-44, (2011).
- [10] Grdic Z.J., Curcic G.A.T., Ristic N.S. and Despotovic, I.M., "Abrasionresistance of concrete micro-reinforced with polypropylene fibers", *Construction and Building Materials*, 27: 305-312, (2012).
- [11] Salemi N. and Behfarnia K., "Effect of nano-particles on durability of fiber-reinforced concrete pavement", *Construction and Building Materials*, 48: 934-941, (2013).
- [12] Asokan P., Osmani M. and Price A.D.F., "Improvement of the mechanical properties of glass fibre reinforced plastic waste powder filled concrete", *Construction and Building Materials*, 24(4): 448-460, (2010).
- [13] TS EN 197-1, Çimento- Bölüm 1: Genel Çimentolar Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (2012).
- [14] TS EN 12390-5, Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 5: Deney numunelerinin eğilme dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (2010).
- [15] TS EN 12390-3/AC, Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (2012).
- [16] Erdoğan T.Y., "Beton", ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayn. ve İletişim Şti, 130-160, Ankara, Mayıs, (2003).
- [17] 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).
- [18] Khaloo A.R. and Afshari M., "Flexural Behavior of Small Steel Fiber Reinforced Concrete Slabs", *Cement and Concrete Composites* 27: 141-149, (2005).
- [19] Uygunoğlu, T., "Investigation of microstructure and flexural behavior of steel-fiber reinforced concrete", *Materials and Structures*, 41(8): 1441-1449, (2008).
- [20] Ersoy, H.Y., "Kompozit Malzeme", Literatür Yayınları, Mimarlık Dizisi, ISBN:975-8431-47-1, (2003).
- [21] Ramezaniapour A.A., Esmaeili M., Ghahari S.A. and 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*, 44: 411-418, (2013).
- [22] Zhang P. and Li Q., "Effect of polypropylene fiber on durability of concrete composite containing fly ash and silica fume", *Composites: Part B*, 45(1): 1587-1594, (2013).