



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Çimento esaslı harçların fiziksel ve mekanik özelliklerinde polivinil alkol (pva) liflerin etkisi

The effect of polyvinyl alcohol (pva) fibers on physical and mechanical properties of cement based mortars

Yazar(lar) (Author(s)): Tayfun UYGUNOĞLU*, İlker Bekir TOPÇU², Barış ŞİMŞEK³, Özge ERYEŞİL⁴, Yaser Ahmad Yahya Ali AL-TURKİ⁵

ORCID¹: 0000-0003-4382-8257

ORCID²: 0000-0002-2075-6361

ORCID³: 0000-0002-0655-4368

ORCID⁴: 0000-0003-4475-5264

ORCID⁵: 0000-0001-8032-5793

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Uygunoğlu T., Topçu İ.B., Şimşek B., Eryeşil Ö., Al-Turki Y. A. Y. A., “Çimento esaslı harçların fiziksel ve mekanik özelliklerinde polivinil alkol (PVA) liflerin etkisi”, *Politeknik Dergisi*, 25(1): 29-36, (2022).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.541795

Çimento Esaslı Harçların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinde Polivinil Alkol (PVA) Liflerin Etkisi

The Effect of Polyvinyl Alcohol (PVA) Fibers on Physical and Mechanical Properties of Cement Based Mortars

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Polivinil Alkol (PVA) lif katkılı çimento esaslı kompozitler üretildi/ Cement based and polyvinyl alcohol (PVA) blended composites were produced
- ❖ PVA lif katkılı kompozitler eğilmeye maruz bırakılmışlardır./ The PVA fiber blended composites were exposed to bending.
- ❖ Kompozitlerde oluşan çatlak genişlikleri belirlenmiştir./ The crack were determined on the composites.
- ❖ PVA lif kullanımıyla çatlak genişlikleri önemli miktarda azaltılmıştır./ The crack width was decreased by using of PVA fibers.

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Farklı hacim fraksiyonlarında polivinil alkol (PVA) lifin, sertleşmiş harç özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Lifler harç içine hacimce %2, %4, %6, oranlarında katılarak üretilmiş ve fiziksel-mekanik özellikleri araştırılmıştır. / The effects of polyvinyl alcohol (PVA) on hardened mortar properties of different volume fractions were investigated. The fibers were added to the mortar in a ratio of 2%, 4%, 6% by volume, and physical-mechanical properties were investigated.



Şekil. PVA lifli harçların eğilme deneyi sonrası çatlak görünüşleri (Crack vies of PVA fiber added mortars after bending test) (a: %0; b: %2; c: %4; d: %6)

Amaç (Aim)

Bu çalışmada, çimentolu kompozitlerde çoklu çatlak oluşumu amaçlanmıştır. / In this study, multiple crack pattern was aimed.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Çimentolu kompozitlerde farklı oranlarda PVA lif kullanıldı. / In the cement based composites, PVA fibers in different ratio was used.

Özgünlük (Originality)

Bu çalışmada yüksek oranda PVA lif kullanımı gerçekleştirilmiştir. / In this study, high volume PVA fibers were used.

Bulgular (Findings)

PVA lif kullanımı arttıkça çatlak sayısı artmıştır. Çatlak genişliği azalmıştır. / By using of PVA fiber in high content, crack number was increased, however, crack width decreased.

Sonuç (Conclusion)

Çoklu çatlak için PVA lifler %4 üzerinde kullanılmalıdır. / The PVA fibers must used over 4% for multiple cracks.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission

Çimento Esaslı Harçların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinde Polivinil Alkol (PVA) Liflerin Etkisi

Araştırma Makalesi / Research Article

Tayfun UYGUNOĞLU^{1*}, İlker Bekir TOPÇU², Barış ŞİMŞEK³, Özge ERYEŞİL, Yaser Ahmad Yahya Ali AL-TURKİ¹

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar

²Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

³Çankırı Karatekin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Çankırı

(Geliş/Received : 19.03.2019 ; Kabul/Accepted : 16.06.2020 ; Erken Görünüm/Early View : 26.08.2020)

ÖZ

Betonarme yapılarda karşılaşılan en önemli sorun betonun gevrek davranışa sahip olmasıdır. Gevrek davranışa sahip yapı elemanları yükler altında hızlı bir şekilde plastik deformasyona uğrarlar. Gevrek davranışa sahip yapı elemanının sönümlediği enerji az olduğundan, yapı elemanı taşıma kapasitesine ulaştığı anda göçme meydana gelir. Bu nedenle yapı elemanlarının belirli bir oranda sünek davranışa sahip olmaları istenir. Betona katılan çeşitli lifler betona bir miktar süneklik kazandırarak betonun bu gevrek davranışının sönümlediği enerjiden daha fazla enerji sönümleyebilmektedir. Bu çalışmada sunulan, farklı hacim fraksiyonlarında polivinil alkol (PVA) lifin, sertleşmiş harç özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Lifler harç içine hacimce %2, %4, %6, oranlarında katılarak üretilmiş, bunun yanı sıra lif katkısız kontrol numunesi üretilmiştir. Üretilen numuneler sertleşmiş basınç ve eğilme dayanımı, ultrases hızı, su emme, dinamik elastisite modülü ve mikroyapı incelemesi testlerine tabi tutulmuş ve karşılaştırması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, harçlarda PVA lif kullanım oranının artması çoklu çatlak davranışına sebep olarak sünek davranış sağlanmış bununla birlikte çatlak genişlikleri azalmıştır.

Anahtar Kelimeler: PVA lif, lif hacmi, çimento esaslı harç, sertleşmiş harç özellikleri.

The Effect of Polyvinyl Alcohol (PVA) Fibers on Physical and Mechanical Properties of Cement Based Mortars

ABSTRACT

The most important issue encountered in reinforced concrete structures is the brittle of rebar. Structural elements with brittle behavior undergo rapid plastic deformation under loads. Since the energy absorbed by the brittle element is low, collapse occurs as soon as the structural element reaches its carrying capacity. It is therefore desirable that the structural elements have a certain ductile behavior. The various fibers added to the concrete can absorb more energy than the energy absorbed by this brittle behavior of concrete by providing some ductility to the concrete. The various fibers added to the concrete prevent the brittle fracture of the concrete by increasing ductility to the concrete. In this study, the effects of polyvinyl alcohol (PVA) on hardened mortar properties of different volume fractions were investigated. The fibers were added to the mortar in a ratio of 2%, 4%, 6% by volume, and fiber-free control sample was produced. Compressive and flexural strength, ultrasound velocity, water absorption, dynamic elasticity modulus and microstructure analysis were performed and compared. According to the results, with the increase of PVA fiber utilization rate in mortars, multiple cracking behavior was observed in the produced samples and the mortars exhibited a ductile behavior and the crack widths decreased.

Keywords: PVA fiber, fiber volume, cement-based mortar, hardened mortar properties.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Beton yaygın bir yapı malzemesi olarak bilinen betonun yüksek basınç mukavemeti, kolay bulunabilirliği ve düşük maliyeti olmasına karşın gevrek davranışı ve düşük çekme dayanımı gibi dezavantajları da vardır ki en önemlisi gevrek olması ve düşük çekme dayanımına sahip olmasıdır [1]. Betonun dezavantajlarını gidermek, mekanik özellikleri iyileştirmek ve betona yeni özellikler kazandırmak amacıyla beton içerisinde katkı olarak lifler kullanılmaktadır. Betona lif katılması; çekme

dayanımını, tokluğunu, aşınma direncini, enerji yutma kapasitesini, çatlaklara karşı dayanımını ve dayanıklılığını artırmasının yanında sünek davranışını da sağlamaktadır. Böylelikle limanlarda, havaalanı pistlerinde, su yapılarında, yol kaplamalarında, patlamaya dayanıklı askeri yapılarda ve endüstriyel döşemeler gibi uygulamalarda kullanılabilir. Son yıllarda betonda en çok kullanılan lifler; çelik, polimer (Polipropilen, Poli Vinil Alkol), cam ve karbon lifleridir. Liflerin betonun özelliklerine etki eden özellikler lifin tipi, miktarı, geometrisi, görünüm-narinlik oranı (boy/çap) ve sünekliğidir. Özellikle lifin ilave edildiği beton karışımında homojen dağılması ve yönelimi,

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : uygunoğlu@aku.edu.tr

betonun özelliklerini önemli ölçüde etkiler. Lifin yönelimi ve dağılımı homojen olmadığı durumda topaklanma meydana gelerek etkilemektedir, beton dayanımı ve dayanıklılığı azalmaktadır. Günümüz beton teknolojisinde yüksek süneklik sağlaması amacıyla kullanımı araştırılan liflerden birisi de Poli Vinil Alkol (PVA) lifleridir. Bu lifler kullanılarak Michigan Üniversitesi'nde Prof. Victor Li tarafından mikromekanik olarak tasarlanmış çimentolu kompozitler (ECC) üretilmiştir [2-4].

PVA lifler, beton içerisinde kullanıldığında yüksek çekme dayanımı ve göreceli olarak yüksek elastisite modülüne sahip olup Portland çimentosuyla iyi bir kimyasal uyum sağlayarak yüksek oranda lif-matris aderansı sağlamaktadır. Bu sayede bu lifler betonun eğilme dayanımını ve çekme dayanımını arttırmakta ve enerji yutma kapasitelerini de yükselterek betonun sünek bir davranışa sahip olmasını sağlamaktadır [5]. PVA liflerin bu özelliklerinden dolayı beton içerisinde kullanımına dair araştırmalar artmaktadır. Yapılan bir çalışmada [6], ECC betonda kullanılan yüksek maliyetli PVA liflerin daha düşük maliyetlerde üretilmesi amaçlanarak mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır. Düşük maliyetli PVA lifinin üzerinde özel yağlama tekniği olmadığından dolayı uçucu kül, viskozite artırıcı ve kırıntı kauçuğu kullanılarak oluşan mikromekanik değişim azaltılmıştır. Elde edilen düşük maliyetli kauçuk esaslı PVA liflerin basınç dayanımı ve çekme dayanımı, PVA life kıyasla daha az çıkmış olsa da çekme dayanımının %5.2'sine kadar ulaşabileceği görülmüştür. Çalışmada Noushini vd. [7] PVA lif takviyeli betonun, dinamik özelliklere etkisini araştırmıştır. PVA lif hacimsel olarak %0.25 ile %0.5 fraksiyonlarında kullanılmıştır. Harçlarda bağlayıcı olarak Portland çimentosu ve uçucu kül kullanılarak 28 günlük numuneler üzerinde testler yapılmıştır. Düşük fraksiyondaki (%0.25) PVA lifli betonun mekanik özelliklerde artış gösterdiği ancak malzeme sönümlemeye karşı pek bir etkisi olmadığı belirlenmiştir. Li ve Fischer [8] ECC betonun çelik donatı ile birlikte nasıl bir davranış sergileyeceğini araştırılmıştır. Sonuçlarda ECC matrisi ve çelik donatı arasında uyumlu bir deformasyon davranışı gözlemlenmiştir. Bu kombinasyon sayesinde enerji yutma kapasitesinde artış, enine donatı gereksiniminde azalma ve hasara dayanıklı inelastik deformasyon davranışı sağlanmıştır.

Literatürde, PVA liflerle üretilen beton veya harçların mekanik özellikleri üzerine birçok çalışma yapılmasına rağmen fiziksel özellikleri üzerine yapılan çalışmalar kısıtlı kalmıştır. Bu amaca yönelik olarak gerçekleştirilen çalışmada, PVA lifin çimento esaslı harç karışımına farklı oranda ilave edilmesiyle, sertleşmiş harcın fiziksel ve mekanik özelliklerine etkileri araştırılmıştır.

2. DENEYSEL PROGRAM (EXPERIMENTAL PROGRAM)

2.1. Malzemeler (Materials)

Numunelerde PÇ 42.5 Portland çimentosu, silis kumu, uçucu kül, süperakışkanlaştırıcı, içme suyu kullanılmıştır. Ayrıca betonun mekanik özelliklerine etkisini incelemek için çimento, silis kumu, uçucu kül, kimyasal katkı miktarları sabit tutulmuş olup PVA lif miktarı değişen oranlarda alınmıştır.

Deney numunelerin hazırlanmasında hidrolik bağlayıcı olarak kullanılan CEM I-42.5/R tipi Portland Çimentosu (PÇ) TS EN 197-1 [9] standardına uygun olup çimentonun Blaine incelik değeri 3312 cm²/g ve özgül ağırlığı da 3.1'dir. Puzolanik bağlayıcı olarak F sınıfı uçucu kül kullanılmıştır. Çimentonun ve uçucu külün kimyasal bileşenleri Çizelge 1'de sunulmuştur. Agrega olarak 10 µm boyutunda silis kumu kullanılmıştır.

Çizelge 1. Çimento ve uçucu külün kimyasal bileşenleri (Chemical contents of cement and fly ash)

Bileşen, %	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	KK
PÇ	63.6	19.6	4.72	3.27	1.91	0.34	1.06	4.72	2.69
Uçucu kül	6.66	47.4	19.8	11.8	4.76	0.57	2.62	1.86	2.76

Numune hazırlanmasında kullanılan su içme suyu olup Afyon Kocatepe Üniversitesi kampüs şebekesinden kullanılmıştır. Taze betonun işlenebilirliğini arttırmak için karışımlarda çimento ağırlığının %0.59'u oranında Sika Viscocrete SF-18 marka yüksek performanslı akışkanlaştırıcı beton katkı maddesi kullanılmıştır. Beton katkı maddesi karışıma suyla karıştırılarak ilave edilmiştir. Katkı maddesinin kimyasal bileşimi Çizelge 2'de sunulmuştur.

Çizelge 2. Süper akışkanlaştırıcı katkı maddesinin kimyasal özellikleri (Chemical properties of super plasticizer additive)

Kimyasal Yapı	Modifiye polikarboksilat esaslı polimer
Yoğunluk	1.10±0.02 kg/l, 20°C
pH Değeri	3 – 7
Donma Noktası	-10 °C
Suda Çözünabilir Klorür	Maksimum 0.1%, klorür içermez (TS EN 934-2)

Numune hazırlanmasında kullanılan PVA lifler Kuraray marka olup KURALON K-II olarak temin edilmiş olup Şekil 1'de gösterilmiştir. Üç farklı oranda kullanılan PVA liflerin karakteristik özellikleri Çizelge 3'te sunulmuştur.



Şekil 1. PVA lifin görünümü (The appearance of PVA fiber)

Çizelge 3. PVA liflerin mekanik ve fiziksel özellikleri (Mechanical and physical properties of PVA fibers)

Lif	Çap (µm)	Boy (mm)	Narinlik (Boy/Çap)	Çekme Dayanım (GPa)	Birim Ağırlığı (gr/cm ³)	Kopma Uzaması (%)	E-Modülü (GPa)
M0 3	40	8	200	1.6	1.3	6.5	41

2.2. Karışımlar ve Deneylemler (Mixtures and Experiments)

Hidrolik bağlayıcı olarak çimento kullanılıp, silis kumu, uçucu kül, su, süperakışkanlaştırıcı ve farklı oranlarda (%0, %2, %4 ve %6) PVA lif kullanılmıştır. Birim hacimdeki bileşen miktarları Çizelge 4'te sunulmuştur. Yapılan deneylerde 40x40x40 mm küp numune ve 300x90x25 mm boyutlarında plak numuneler hazırlanmıştır.

Çizelge 4. PVA liflerin karışım oranları (Mixture ratios of PVA fibers)

Bileşenler	Miktar (kg/m ³)			
	%0	%2	%4	%6
Çimento	578	578	578	578
Silis kumu	462	462	462	462
Uçucu Kül	694	694	694	694
Süperakışkanlaştırıcı	9.82	9.82	9.82	9.82
Su	334	334	334	334
Lif (fiber)	0	26	52	78
TOPLAM	2077.8	2103.8	2129.8	2155.8
W/(C + FA)	0.26	0.26	0.26	0.26
FA/C	1.2	1.2	1.2	1.2

Hazırlanan harçlarda, taze haldeyken harç yayılma tablası deneyi yapılmıştır. Yayılma tablasında 15 serbest düşüş yapılması sonrasında harçların yayılma çapları ölçülmüştür. Yayılma değerleri sırasıyla %0, %2, %4 ve %6 için sırasıyla 210, 200, 180 ve 160 mm olarak ölçülmüştür. Harçların içerisine katılan lif fraksiyonu arttıkça yayılma değerleri azalmış ve bu azalmanın sonucunda işlenebilirlik doğru orantılı olarak azalma göstermiştir. Harçlar, kalıplara döküldükten 24 saat sonra kalıptan alınıp 20±2 °C sıcaklıktaki kirece doymun su içerisinde 28 gün kür edilmiştir. Harçlar üzerinde 28 günlük eğilme, basınç, su emme, ultrases geçiş hızı,

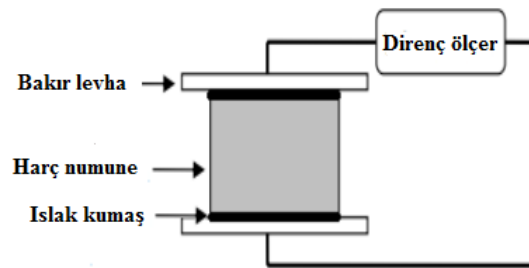
kapilarite gibi deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylere fiziksel özelliklerden başlanılmıştır. Numuneler 24 saat etüvde kurutulmuş ve etüv kuru su ağırlıkları alındıktan sonra ultrases geçiş hızları, kılcallık katsayıları ve elektriksel özdirençleri belirlenmiştir. Daha sonra, 24 saat su içerisinde doymun hale getirilip su emme değerleri belirlenmiş, elektriksel özdirençleri ve ultrases geçiş hızları ölçülmüştür. Mekanik özelliklerin belirlenmesinde kapasitesi 50 kN olan otomatik eğilme ve 200 kN olan basınç presi kullanılmıştır.

Eğilme deneyi, plak numunelerde 4 noktalı eğilme tipiyle 20 mm mesnet açıklığında TS EN 12390-5 [10] standardına göre gerçekleştirilmiştir. Küp numunelere basınç presinde TS EN 12390-3 [11] standartına göre basınç testi uygulanmıştır. Deney numunelerinde kırılma tokluğunun belirlenebilmesi için numunelere Charpy testi uygulanmıştır. 90x25x25 mm boyutlarındaki numunelerde genişliği 1.5 mm yüksekliği 10 mm olan U çentik açılmıştır. Charpy testinde numunelerin dinamik zorlama altında gereken enerji miktarı deney sarkacının yükseklikleri esas alınarak potansiyel farklar ile belirlenmiştir. Belirlenen potansiyel enerjinin alana bölünmesiyle kırılma tokluğu elde edilmiştir. Numunelerin kırılma tokluğu Dnk. 1 ile belirlenmiştir [12].

$$Ç = U/A = (G(h_0 - h_1))/A \quad (1)$$

Dnk. 1'de, Ç, kırılma tokluğu (kJ/m²), U, potansiyel enerji (Nm), A, kesit alanı (m²), G, sarkacın ağırlığı (kN), h₀ sarkacın ilk yüksekliği (m) ve h₁ sarkacın darbeden sonraki yüksekliğine (m) karşılık gelmektedir.

Numuneler etüv kuru su ve doymun durumdayken elektriksel özdirençleri belirlenmiştir. Numune dirençlerinin ölçümünde, iki yan yüzeye ıslak keçe konularak direnç ölçer ile iki plaka yöntemine göre elektriksel direnç değeri (R) ASTM C 1760 [13] standardına uygun olarak ölçülmüştür (Şekil 2).



Şekil 2. Özdirenç deney düzeneği (Experimental setup for resistivity)

Her seriden iki tekrarlı ölçüm yapılarak harçların elektriksel özdirenç değerleri Dnk. 2 ile belirlenmiştir.

$$\delta = R \cdot A / L \quad (2)$$

Dnk. 2'de, δ, elektriksel özdirenç (kohm.m); R, direnç (kohm); A, numune yüzey alanı (m²) ve L, plakalar arası mesafe (m) olarak alınmıştır.

Harçlar $110^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}$ 'de hava sirkülasyonlu etüvde 24 saat bekletilerek etüv kurusu hale getirildikten sonra kapiler su emme testi yapılmıştır. Numunelerin alt yüzeyleri suyla temas ettirilmiş, yan yüzeyleri ise su geçirmeyen parafin maddesiyle kaplanmıştır. Suya temas ettirilen numuneler belirli sürelerde çıkartılıp ağırlıkları ölçülmüştür. Numunelerin kapiler su emme katsayıları Dnk. 3 ile belirlenmiştir.

$$Q/A = k\sqrt{t} \quad (3)$$

Burada, Q : Emilen su miktarı (cm^3); A : Su ile temas eden alan (cm^2); k : Kapilarite katsayısı (cm^2/sn) ve t : Geçen zamanı (sn) simgelemektedir [5].

Ayrıca birim ağırlık ve ultrases geçiş hızı deneyinden bulunan değerlere göre numunelerin dinamik elastisite modülleri Dnk. 4 ile belirlenmiştir.

$$E_d = (10^5 V^2 \Delta / 9.81) \quad (4)$$

Dnk. 4'teki, E_d : Dinamik elastisite modülü, V : Ultrases geçiş hızı ve Δ : Birim ağırlık'tır.

Tüm serilerde eğilme testi sonrasında 40X büyütme mikroskopu kullanılarak numunelerin eğilme yapılan alt yüzeylerindeki çatlak genişlikleri ölçülmüş ve en az dört çatlak genişliğinin ortalama değeri kullanılmıştır (Şekil 3). Şahit numunede eğilme altında ani kırılma gerçekleştiğinden dolayı çatlak ölçülemediği görülmüştür.



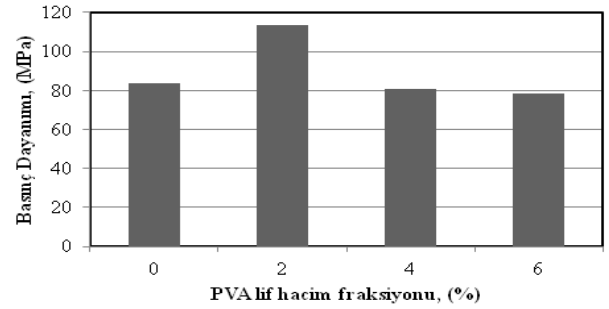
Şekil 3. PVA lif içeren harçlarda eğilme testi sonrası çatlak genişliği ölçümü (Measurement of crack width after bending test in PVA-containing mortars)

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME (RESULTS AND DISCUSSION)

3.1. Mekanik Özellik Sonuçları (Mechanical Property Results)

3.1.1. Basınç Dayanımı (Compressive Strength)

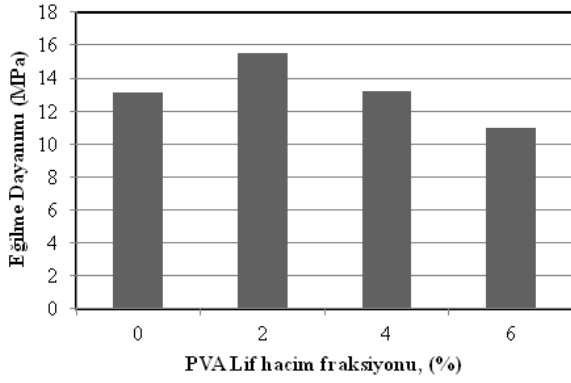
İçerisine farklı fraksiyonlarda PVA lif ilave edilen harçların basınç dayanımı değerleri incelendiğinde, kontrol harçların basınç dayanımı değerinin 83.5 MPa olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 4). Harç içerisindeki lif fraksiyonunun %2 oranına kadar artırılmasıyla basınç dayanımı değeri %36 oranında artış sağlarken, %4 ve üzerinde PVA kullanımı ile basınç dayanımındaki azalma oranları %4 PVA için %3 oranındayken %6 PVA kullanımıyla %6 oranında olduğu görülmüştür. Bu azalmaların nedeni, PVA miktarının yüksek oranda kullanımı ile harcın işlenebilmesini azaltması ve harç içerisindeki dağılımının ve yöneliminin etkisi sonucu topaklaşma olmasıdır. Yapılan çalışmalarda lif fraksiyonunun betonun basınç dayanımına olumlu veya olumsuz yönde %25 oranında etkileyebileceği belirtilmiştir [14,15].



Şekil 4. PVA lif katkı harçların basınç dayanımları (Compressive strength results of PVA fiber added mortars)

3.1.2. Eğilme Dayanımı (Flexural Strength)

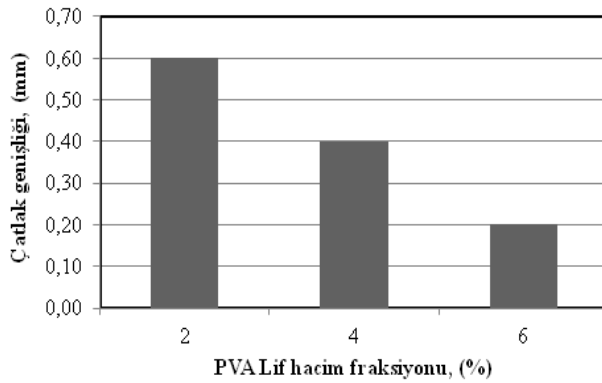
Harç içerisine ilave edilen PVA liflerin eğilme dayanımları üzerindeki etkileri incelendiğinde, lif miktarının %2'ye artırılmasıyla eğilme dayanımının da belirgin bir biçimde arttığı görülmektedir (Şekil 5). Ancak lif miktarı arttıkça eğilme dayanımında azalma görülmekte ve kontrol numunesinin eğilme dayanımından daha az dayanım elde edilmiştir. Bunun nedeni karışımındaki lif miktarının yüksek oranda kullanılması sonucu topaklanma oluşumudur. Lifsiz harcın eğilme dayanımı 13.14 MPa civarında iken, %2, %4 ve %6 PVA lifli harçların eğilme dayanım değerleri sırasıyla 15.52 , 13.16 ve 10.95 MPa olarak ölçülmüştür. PVA liflerin %2 oranında ilave edilmesiyle harçların eğilme dayanımlarında %18.11 oranında artış sağlanabilmiştir. Eğilme dayanımında en iyi sonuç %2 lif fraksiyonunda elde edildiği gözlemlenerek lif miktarının artırılmasıyla eğilme dayanımında belirgin azalma olduğu gözlemlenmiştir. Benzer olarak yapılan bir çalışmada %1.5 oranında katılan lif miktarı için eğilme dayanımı değeri %2 oranına göre daha fazla çıktığı bulunmuştur [16].



Şekil 5. PVA lif katkılı harçların eğilme dayanımları (Flexural strength results of PVA fiber added mortars)

3.1.3. Çatlak Genişliği (Crack Width)

Liflerin beton davranışında neden olduğu çoklu çatlakların etkisini belirlemek üzere farklı fraksiyonlardaki numuneler eğilme testinden sonra çatlak mikroskobu ile incelenmiş ve çatlak genişlikleri kaydedilmiştir (Şekil 6). Lif fraksiyonu arttıkça çatlak genişliğinin azaldığı gözlenmiştir. Çatlak genişliğinin azalması betonda ani kırılmayı önlemektedir.



Şekil 6. PVA Lif katkılı harçların çatlak genişlikleri (Crack widths of PVA fiber added mortars)

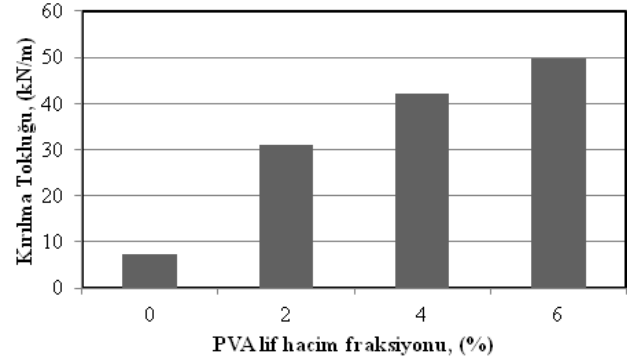


Şekil 7. PVA lifli harçların eğilme deneyi sonrası çatlak görünümleri (a: %0; b: %2; c: %4; d: %6) (Crack views of PVA fiber added mortars after bending test (a: 0%; b: 2%; c: 4%; d: 6%))

Çatlak genişliğinin yanı sıra lif fraksiyonunun artmasıyla aynı zamanda çoklu çatlak oluşumu da gözlenmiştir. Kontrol betonunda ani kırılma gözlemlenirken lif fraksiyonu artırıldığında özellikle %4 ve %6 oranındaki lif katkılı betonlarda çoklu çatlak oluşumu belirgin bir şekilde görülmektedir (Şekil 7).

3.1.4. Kırılma Tokluğu (Fracture Toughness)

Numunelerin farklı lif fraksiyonlarında kırılma tokluğunun belirlenebilmesi için Charpy testi uygulanmıştır. Kontrol numunesinin kırılma tokluğu 7.3 kN/m iken %6 lif fraksiyonunda kırılma tokluğu 49.9 kN/m değerine kadar artış göstermiştir. Lif fraksiyonu arttıkça kırılma tokluğunun da artması sayesinde numunelerde absorbe edilen enerji artarak daha sünek bir beton elde edilmesi sağlanmaktadır [12].

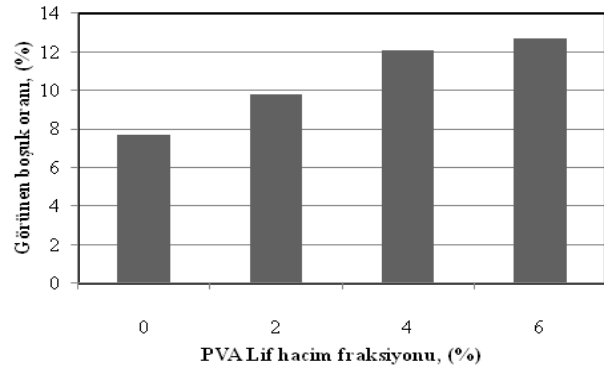


Şekil 8. PVA lif katkılı harçların kırılma tokluğu değerleri (Fracture toughness values of PVA fiber added mortars)

3.2. Fiziksel Özellik Sonuçları (Physical Property Results)

3.2.1. Boşluk Oranı, Su Emme ve Kapillarite (Specific Porosity, Water Absorption and Capillarity)

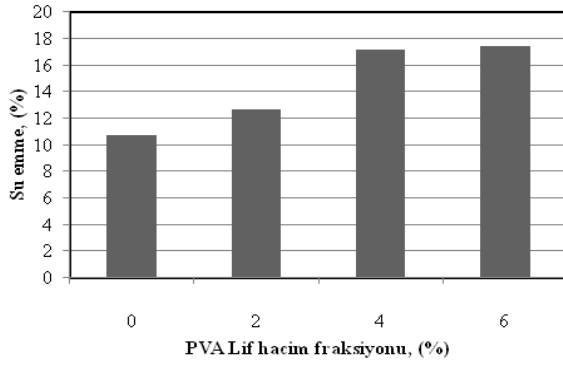
Denyde harç içerisine ilave edilen lif fraksiyonunun artmasına bağlı olarak boşluk miktarının arttığı gözlenmiştir. Lif fraksiyonu arttıkça harçta topaklaşma artmış olup boşluk miktarını da arttırmıştır (Şekil 9).



Şekil 9. PVA lif katkılı harçların görünen boşluk oranı değerleri (Specific porosity values of PVA fiber added mortars)

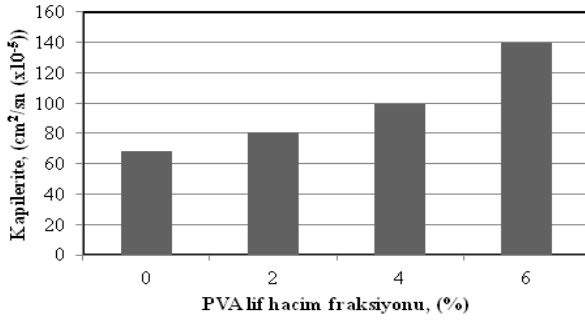
Farklı fraksiyonlarda PVA lif içeren harçların ağırlıkça su emme değerleri Şekil 10'de verilmiştir. Kontrol numunesinin su emme miktarı %10.8'dir. Lif fraksiyonu arttıkça su emme miktarlarında artış gözlemlenmiştir. Su emmedeki artış oranı lif fraksiyonunun %4 ve %6'ya çıkarılmasıyla artmış olduğu gözlemlense de bu artışın

nedeni lif fraksiyonunun artmasına bağlı olarak topaklaşmanın oluşmasıyla boşluk oranının artmasıdır.



Şekil 10. PVA lif katkıli harçların su emme değerleri (Water absorption values of PVA fiber added mortars)

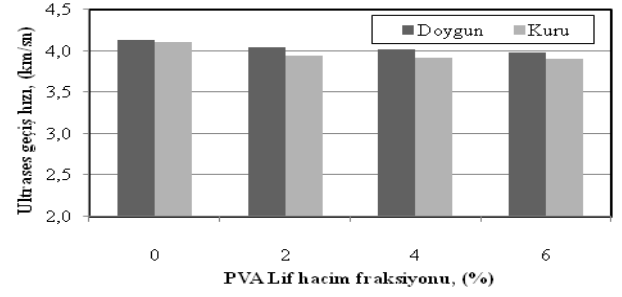
Lif fraksiyonu arttıkça kapilarite katsayısının artmasıyla su emme miktarının arttığı gözlenmiştir (Şekil 11). Bu artışın sebebi ise lif miktarının artmasına bağlı olarak topaklaşmanın gerçekleşmesi sonucu oluşan boşluklara suyun yerleşmesidir.



Şekil 11. PVA lifli harçların kılcal su emme özellikleri (Capillary water absorption properties of PVA fiber added mortars)

3.2.2. Ultrases Geçiş Hızı (Ultrasonic Pulse Velocity)

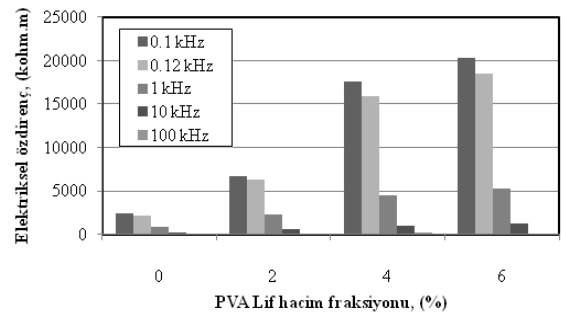
Betona gönderilen sismik dalgalar beton ortamının doluluk oranı veya kompasitesi hakkında bilgi sağlamaktadır. Beton ortamında ölçülen ultrases geçiş hızının yüksek olması betonun dolu bir yapıda olduğunu gösterirken, düşük olması ise boşluklu bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir [17]. PVA lif katkıli ECC betonun ultrases geçiş hızları kontrol betonuyla yaklaşık aynı değerleri aldığı görülmüştür (Şekil 12). Ultrases testi numuneler kuru haldeyken yapılmış ve harçların doymuş duruma yakın değerleri aldığı görülmüştür. PVA lif katkıli harçlar beton ortamı açısından incelendiğinde lif fraksiyonlarına göre boşluklu yapının değişmediği gözlemlenmiş olsa da daha yüksek çıkmamasının nedeni kullanılan liflerin polimerik (düşük yoğunluklu) olması ve liflerin topaklanmaları nedeni ile harç içerisinde boşluk oluşturmalarıdır. Buna karşın, en fazla azalma oranı doymuş halde %3.6, kuru halde ise %5.3 olarak belirlendiğinden tüm lif katkıli harçlar kaliteli harç sınıfında yer almaktadır [18].



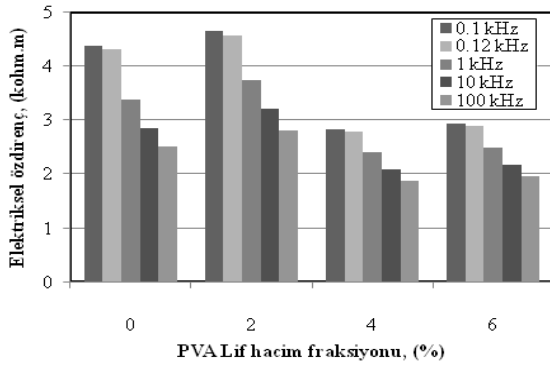
Şekil 12. PVA Lif katkıli harçların ultrases geçiş hızlarının karşılaştırılması (Comparison of ultrasonic pulse velocity of PVA fiber added mortars)

3.2.3. Elektriksel Özdirenç (Electrical Resistivity)

Elektriksel özdirenç betonun boşluk yapısı ve boyutları ile doğrudan ilişkili bir malzeme özelliğidir. Betonda yayılan akım boşluk suyundaki iyonlar tarafından taşınır ve beton boşluk yapısını değiştiren çimento dozajı ve su/bağlayıcı oranı gibi faktörler betonun özdirençini etkilemektedir [19]. Elektriksel özdirenç deneyi sonuçları lif fraksiyonuna bağlı olarak doymuş ve kuru haldeyken sırasıyla Şekil 13 ve Şekil 14'te verilmiştir. Testler sonucunda PVA lif katkıli harçların kuru haldeki özdirençinin ölçülmesi ile lif kullanımının özdirenç etkisi elde edilmiştir. PVA lif katkıli harçlarda lif hacim fraksiyonu arttıkça kontrol numunesine göre özdirençlerinde artış meydana gelmiştir. Polimerik olan PVA liflerin harçlarda kullanımıyla elektriksel özdirenç artması sağlanmıştır. Bunun yanı sıra PVA lifli harçların özdirençleri doymuş halde incelendiğinde %2 oranında artarken lif fraksiyonu arttıkça (%4 ve %6) özdirençte %34 oranında azalma meydana gelmiştir. Ancak bu azalma donatı korozyonu açısından risk oluşturmayan sınırlar içinde kalmıştır [20]. Bu azalmanın nedeni lif fraksiyonu arttıkça kapilarite ve su emme değerleri de artacağından boşluk suyundaki iyonlar da artmış ve özdirenç azalmıştır.



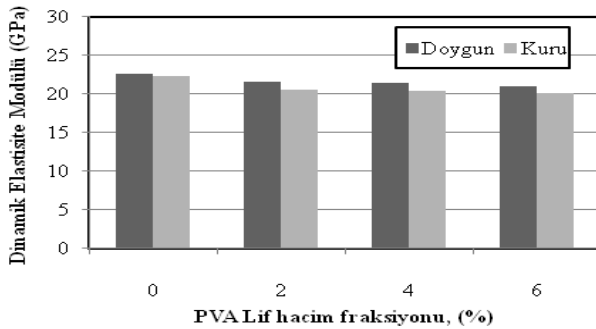
Şekil 13. PVA Lif katkıli kuru harçların elektriksel özdirençleri (Electrical resistivity of PVA fiber added dry mortars)



Şekil 14. PVA Lif katkılı doymuş harçların elektriksel özdirenç (Electrical resistivity of PVA fiber added saturated mortars)

3.2.4. Dinamik Elastisite Modülü (Dynamic Modulus of Elasticity)

Deney numunelerinin dinamik elastisite (E) modülü değerleri Dnk. 4'te ultrases geçiş süreleri ve birim ağırlıklarına bağlı olarak belirlenmiştir. Belirlenen değerler Şekil 15'te gösterilmiştir. Kontrol harcının E-modülü doymuş haldeyken 22.60 GPa, kuru haldeyken 22.28 GPa değerindeyken lif fraksiyonu arttırıldıkça E-modülü değeri eğilimine sahiptir. Lif fraksiyonu %6'ya çıkarıldığında E- modülleri doymuş durum için, 20.99 ve kuru durum için, 20.16 GPa'dır. Lif fraksiyonuna bağlı olarak doymuş durumda %7.1 ve kuru durumda %9.5 oranında azalma görülmüştür. Bu azalmanın nedeni lif miktarına bağlı olarak boşluk miktarının artmasıyla düşük ultrases geçiş hızı ölçülmesidir.



Şekil 15. PVA Lif katkılı harçların dinamik E-modülü (Dynamic E-moduli for PVA fiber added mortars)

4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER (CONCLUSIONS and SUGGESTIONS)

Gerçekleştirilen çalışmada, PVA lif içeren çimento esaslı harçların fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmış ve elde edilen bulgular aşağıda listelenmiştir.

- Üretilen harçlardaki PVA lif miktarının %2 oranına kadar arttırılmasıyla basınç dayanımı değeri %36 oranında artış sağlanırken, %4 ve üzerinde PVA kullanımı ile liflerin harç içerisindeki dağılımının ve yöneliminin etkisi sonucu basınç dayanımları %6 oranına kadar azaldığı olduğu görülmüştür.

- PVA lif katkılı çimento esaslı harçlar üzerinde yapılan eğilme deneyi sonucunda, %2 lif fraksiyonunda %18.11 oranında dayanım artışı sağlanırken %4 lif fraksiyonunda kontrol numunesine görece anlamlı seviyede bir artış gözlenmemiştir. Lif kullanım oranı %6'ya çıkarıldığında liflerin dağılımı ve yöneliminden kaynaklı topaklaşma sonucu dayanımı %16.6 oranında azalttığı gözlemlenmiştir.
- PVA lif katkılı harçlarda farklı lif fraksiyonlarında eğilme dayanımı testi sonucu meydana gelen çatlak genişliği incelendiğinde lif fraksiyonu arttıkça lif-matris arasındaki bağın kuvvetlenmesi sonucunda çatlak genişliklerinde azalma meydana gelmiş bunun yanı sıra çoklu çatlak oluşumunda artış gözlemlenmiştir.
- PVA lifli numunelerde Charpy deneyi sonucunda lif fraksiyonu arttıkça liflerin yük taşıma transferi arttığından dolayı kırılma tokluğunun da %580 oranında arttığı görülmüştür.
- PVA lif katkılı harçlar üzerinde yapılan su emme ve kılcalık deneyleri sonucunda kontrol numunesine kıyasla lif fraksiyonları arttıkça su emme değerlerinde boşluk oranının artmasından dolayı %62 oranında artmış gözlenmiştir.
- PVA lif katkılı harçlar üzerinde yapılan ultrases deneyinden kontrol numunesine kıyasla en fazla azalma oranı doymuş halde %3.6, kuru halde ise %5.3 oranda değiştiği gözlenmiştir.
- PVA lif katkılı harçlar üzerinde yapılan elektriksel özdirenç deneyi sonucunda kuru ortamlarda liflerin özdirenç arttırmasına karşın suya doymuş ortamlarda betonda meydana gelen boşluk artışından dolayı özdirençte azalma gözlemlenmiştir.
- Dinamik E-modüllerinin lif fraksiyonunun artışıyla şahit serilere göre doymuş durumda %7.1 ve kuru durumda ise %9.5 oranında azaldığı gözlemlenmiştir.
- PVA liflerin ülkemizde üretimleri günümüzde mevcut değildir. Bu nedenle, aynı lif kullanım oranlarıyla polipropilen, çelik ve bazalt gibi liflerin eğilme altındaki çoklu çatlak oluşum davranışları incelenerek PVA yerine kullanılabilecek lifler ileriki araştırmalarda incelenmesi önerilmektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Yazarlar, bu çalışmayı 218M954 nolu projeye destekleyen Tübitak'a teşekkürlerini sunarlar.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Tayfun UYGUNOĞLU: Sonuçları analiz etmiş ve makale kontrolünü sağlamıştır.

İlker Bekir TOPÇU: Sonuçları analiz etmiş ve makale kontrolünü sağlamıştır.

Barış ŞİMŞEK: Lifleri sentezlemiş ve sonuçlarını analiz etmiştir.

Özge ERYEŞİL: Deneyleri yapmış ve makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

Yaser Ahmad Yahya Ali AL-TURKİ: Deneyleri yapmıştır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Özbay E., ‘Lif türünün betonların yük deplasman davranışı ve donma- çözülme direncine etkisi’, Çukurova Üniversitesi, *Mühendislik Mimarlık Dergisi*, 31, 1, (2016).
- [2] Li, V.C., Ward, R., Hamza, A.M., ‘steel and synthetic fibers as shear reinforcement’, *J. Materials, American Concrete Institute*, 89(4): 499-508, (1992).
- [3] Li, V.C., ‘engineered cementitious composites (ecc) – material, structural, and durability performance’, in *Concrete Construction Engineering Handbook*, Chapter 24, Ed. E. Nawy, published by CRC Press, (2008).
- [4] Topçu İ.B., Demirel O.E., Uygunoğlu T., ‘polipropilen lif katkılı harçların fiziksel ve mekanik özellikleri’, *Journal of Polytechnic*, 20(1) : 91-96, (2017).
- [5] Şahmaran M., Yücel H.E., Demirhan S., Arık M.T, Li V.C., ‘Combined effect of aggregate and mineral admixtures on tensile ductility of engineered cementitious composites’, *ACI Materials Journal*, 109(6): 627-638, (2012).
- [6] Zhang Z., Zhang G., ‘matrix tailoring of engineered cementitious composites (ecc) with non-oil-coated, low tensile strength pva fiber’, *School of Civil Engineering*, Chongqing University, Chongqing 400045, PR China, Department of Civil Engineering, The University of Louisiana, Lafayette, LA, United States, Elsevier, (2018).
- [7] Noushini A., Samali B., Vessalas K., ‘Effect of polyvinyl alcohol (PVA) fibre on dynamic and material properties of fibre reinforced concrete’, *School of Civil and Environmental Engineering*, University of Technology Sydney, Australia, Elsevier, (2013).
- [8] Li V.C., Fischer G., ‘Effect of matrix ductility on deformation behavior of steel-reinforced ECC flexural members under reversed cyclic loading conditions’, *Structural Journal*, 99(6): 781-790, (2002).
- [9] TS EN 197-1, ‘Çimento- Bölüm 1: Genel çimentolar bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri’, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2012).
- [10] TS EN 12390-5, ‘Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 5: Deney numunelerinin eğilme dayanımının tayini’, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2010).
- [11] TS EN 12390-3/AC, ‘Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini’, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2012).
- [12] Arıcı E., ‘Betonunun çarpma mukavemeti üzerine basınç dayanımının etkisi’, *ISSN 1302/6178 Journal of Technical (Online)*, 9(1), (2010).
- [13] ASTM C 1760, ‘Standard test method for bulk electrical conductivity of hardened concrete’, *West Conshohocken (PA): ASTM*, (2012).
- [14] Fanella D.A., Naaman A.E., ‘stress-strain properties of fiber reinforced concrete in compression’, *ACI Journal*, 82(4): 475 – 483, (1985).
- [15] Ersoy H.Y., ‘Kompozit malzeme’, *Literatür Yayınları, Mimarlık Dizisi*, ISBN:975-8431-47-1, (2003).
- [16] 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).
- [17] Hannachi, S., Guetteche, M.N., ‘Application of the combined method for evaluating the compressive strength of concrete on site’, *Open Journal of Civil Engineering*, 2(1), (2012).
- [18] Erdoğan T.Y., ‘Beton’, *ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayın ve İletişim Şti*, Ankara, Mayıs, ss. 130-160, (2003).
- [19] Uygunoğlu T., Topçu İ.B., Şimşek B., Çınar E., ‘kendiliğinden yerleşen harçların elektriksel özdirenci üzerine mineral katkıların etkisi’, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(2): 986-992 (2018).
- [20] Uygunoğlu T., Topçu İ.B., Şimşek B., ‘Influence of steel-fiber type and content on electrical resistivity of old-concrete’, *Techno-Press*, ISSN: 1598-8198 (Print), 1598-818X (Online), 21(1): 1-9, (2018)