ELECTRICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF POLYPROPYLENE FIBER REINFORCED MORTARS

POLİPROPİLEN LİF KATKILI HARÇLARIN ELEKTRİKSEL VE MEKANİK ÖZELİKLERİ

Tayfun UYGUNOĞLU[1], İlker Bekir TOPÇU[2], Mehmet MEŞE[3], Emriye ÇINAR[4]

[1,3,4]Afyon Kocatepe Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, uygunoglu@aku.edu.tr
[2]Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, ilkerbt@ogu.edu.tr

Özet: Beton, tüm dünyada inşaat malzemesi olarak yaygın bir kullanıma sahiptir. Ancak beton yüksek olan basınç dayanımını karşın, oldukça düşük bir çekme dayanımına sahiptir. Betona katılan liflerle betonun bu zayıf yönü iyileştirilmeye çalışılmaktadır. Lifler beton içerisinde uzun bir süredir birçok köprü ve bina uygulamalarında başarıyla kullanılmıştır. Bu çalışmada, dört farklı görünüm oranındaki polimer esaslı polipropilen lifin harç özeliklerine etkileri araştırılmıştır. Öncelikle lif katkısız kontrol numunesi üretilmiştir. Lifler harç içine hacimce %0.0, %0.5, %1.0, %1.5, %2.0 oranlarında katılmıştır. Harçlar üzerinde taze haldeyken işlenebilirlik, sertleşmiş haldeyken de basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve elektriksel özdirenç ölçümleri yapılarak kontrol numuneleri ile karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre, polipropilen lif katkısının harçlar üzerinde basınç dayanımını bir miktar düşürdüğü, eğilme dayanımını ve elektriksel iletkenliği bir miktar arttırdığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Polipropilen lif; harç; mekanik özelik; elektriksel özdirenç.

Abstract: Concrete is widely used as construction material all over the world. However, the concrete has a very low tensile strength in spite of it has high compressive strength. It is being tried to improve this weakness of the concrete with the adding of fibers into concrete mix. Fibers has been used successfully into the concrete in many bridges and buildings applications for long time. 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 %0.0, %0.5, %1.0, %1.5, %2.0 by volume. On the mortars, workability in fresh state, compressive strength, flexural strength and electrical resistivity measurements at hardened state were defined and compared with control samples. According to experimental results, it was seen that when workability and compressive strength was decreased by addition of fibers to mortar, bending strength and electrical conductivity was slightly increased.

Keywords: Polyprolylene fiber; mortar; mechanical properties; electrical resistivity.

1. Giriş

Bağlayıcı içeren yapı malzemelerinin özelikle çekme özeliklerini iyileştirmek için bu malzemelere farklı karakteristik özeliğe sahip lifler katılmıştır. Kullanılan lifler önceleri bitkisel kökenliler olurken günümüz teknolojisi ile çelik, cam ve polimer esaslı liflerin de kullanım olanakları ortaya çıkmıştır. Cam liflerinin özellikle alkali ortamlarda durabilite açısından sorun oluşturması nedeniyle günümüzde beton veya harç içerisine çelik ve polimer esaslı lifler ilave edilmektedir. Günümüzde en çok kullanılan yapı malzemelerinden çimento esaslı harç veya 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 özeliklerini iyileştirmek için birçok çalışma yapılmıştır. Örneğin, ani kırılmayı önleyebilmek ve sünekliliği artırabilmek için matris içerisinde farklı mekanik ve fiziksel özeliğe sahip lifler ilave edilmektedir. Fiziksel ve mekanik özelikleri farklı olan bu lifler, matris içerisinde karma olarak da

kullanılarak, çok gevrek davranış gösteren yüksek dayanımlı çimento esaslı kompozitlere süneklik kazandırma da ve zayıf yönleri daha da iyileştirmede katkı sağlamaktadır [4,5]. Lif grubunda çelik lifler genellikle sünme, ilk çatlak gelişimi, enerji yutma kapasitesi gibi mekanik yükler altındaki davranışlarını iyileştirirken, polimerik olan lifler ise genel olarak rötreden dolayı oluşacak çatlakların önlenmesinde tercih edilmektedir. İnşaat sektöründe en çok kullanılan malzeme grubunda betondan sonraki sırayı harçlar oluşturmaktadır. Sıvalarda, onarım gerektiren yerlerde, tesviye işlemlerinde, seramik yapıştırma, derz dolgu, farklı amaçlı levhaların yapı üzerine yapıştırılması gibi bir çok farklı uygulamalarda harçlar yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Çimento esaslı harcın bazı kullanım alanları

Sıvalar yapıyı çevre şartlarından korumak ve dik yüzeyleri düzgün hale getirme amacıyla kullanılmaktadır. Tesviye harçları da yatay yüzeyleri düzeltmede tercih edilmektedir. Benzer şekilde, onarım harçları da değişik etkenler altında hasar görmüş yapı ve yapı elemanlarının özelliklerinin hasar öncesi duruma getirilmesi ya da özelliklerinin daha da iyileştirilmesi amacı ile kullanılmaktadır [6-8]. Bu tip harçlarda en çok görülen hasar nedenlerini; i) harcın uygulanan zemine aderansının düşük olması, ii) harç yüzeyinde oluşan kılcal çatlaklar şeklinde gruplandırmak mümkündür. Yapışma veya aderans yetersizliğinin önlenmesinde zeminde alınacak önlem yanında harç karışımına giren maddelerin yapışmayı artıracak özellikte olmasına özen göstermek gerekli olmaktadır. İkinci tür hasar nedeni olan kılcal çatlaklar çimento hamurunda, gerek taze durumdayken oluşan büzülme (plastik büzülme) gerekse de sertleşmiş durumdayken oluşan büzülmeler (bünyesel büzülme, karbonatlaşma büzülmesi) sonucunda oluşurlar. Harçlar betona göre daha fazla ince malzeme içerdiklerinden dolayı büzülmeye daha fazla eğilimlidirler. Bu nedenle de harçlarda genellikle büzülme çatlaklarını önleyecek nitelikte polimerik liflerden polipropilenler tercih edilmektedir [8]

Polipropilenlerin en önemli özeliklerinden birisi harçlarda oluşacak plastik rötre çatlaklarını sınırlamasıdır. Özellikle harcın içindeki boşlukları doldurmak, rötre ve büzülme çatlaklarını azaltmak, harcın darbeye karşı dayanımını artırmak gibi önemli faydalar sağladığı için son yıllarda ülkemizde polipropilenli harç üretimi artmıştır [9-10].

Bu çalışmada, polipropilen lifler harç karışımı içerisinde farklı oranlarda kullanılması durumunda başta harçların işlenebilirlikleri olmak üzere mekanik özelikleri ve elektriksel özelikleri de araştırılarak etkileri ortaya konmuştur.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1.Kullanılan Malzemeler

Numunelerin hazırlanmasında hidrolik bağlayıcı olarak TS EN 197-1 [11] standardına uygun olarak üretilmiş olan CEM I-42.5/R tipi Portland Çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun Blaine incelik değeri 3312 cm^2/g ve özgül ağırlığı da 3.1'dir. Çimentoya ait kimyasal oksit değerleri Çizelge 1'de sunulmuştur. Agrega olarak 0/4 mm kırma-kumun kullanıldığı harçlarda dört farklı oranlarda polipropilen lif kullanılmıştır. Lifin karakteristik özelikleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. Çimentonun kimyasal bileşenleri

Bileşen, %	**CaO**	**SiO_2**	**Al_2O_3**	**Fe_2O_3**	**MgO**	**Na_2O**	**K_2O**	**SO_3**	**KK**
CEM I 42.5	63.6	19.6	4.72	3.27	1.91	0.34	1.06	4.72	2.69

Çizelge 2. Polipropilen liflerin teknik özelikleri

Çap (mm)	**Boy (mm)**	**Narinlik (Boy/Çap)**	**Çekme Dayanımı (MPa)**	**Birim Ağırlığı (gr/cm^3)**	**Erime Noktası (°C)**	**E-Modülü (MPa)**
0.30	12	40	552	0.91	160	3500

2.2. Karışımların Hazırlanması ve deneyler

Harç bileşeni olarak 350 g çimento, 175 g su, 2650 g kum ve farklı oranlarda (%0, %0.5, %1.0, %1.5 ve %2.0) polipropilen lif kullanılmıştır. Harçlar, üretimlerini takiben yayılma tablasında 15 kez darbe sonrasında yayılma çapları ölçülmüştür. Daha sonra 40x40x160 mm boyutlu prizmatik kalıplara yerleştirilen harçlar 24 sa sonra kalıptan alınıp 20±2 ^oC kirece doygun su içerisinde her bir deney gününe kadar kür edilmişlerdir (Şekil 2). Bir gün laboratuar ortamında bekletilen harçlar üzerinde basınç, eğilme, ulrtases geçiş hızı ve elektriksel özdirenç gibi deneyler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Polimerik liflerden ve harçlardan görünüm

Deneylere fiziksel özeliklerden başlanılmıştır. Numuneler etüv kurusu hale getirilip ağırlıkları alındıktan sonra, 24 sa su içerisinde doygun hale getirilmiş ve su emme değerleri belirlenmiştir. Mekanik özeliklerin 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 [12] standardına göre gerçekleştirildi. Eğilme testi sırasında ikiye ayrılan numuneler yine TS EN 12390-5 [12] 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 arasına yerleştirilen numunelere basınç yükü uygulanarak TS EN 12390-3 [13] standardına göre dayanım değerleri belirlenmiştir. Nem koşullarının etkisinden bağımsız halde ölçüm yapabilmek için etüv kurusu duruma getirilmiş harç numuneler üzerinde ASTM C 1760 [14] standardına uygun olarak direnç ölçer (ohm-metre) ile iki plaka yöntemine göre elektriksel direnç değeri (R) ölçülmüştür.

Direnç değerleri (R) ölçülen harçların elektriksel özdirenç değerleri de aşağıda verilen denklem (1) ile belirlenmiştir.

$$\delta = R\frac{A}{L} \quad (1)$$

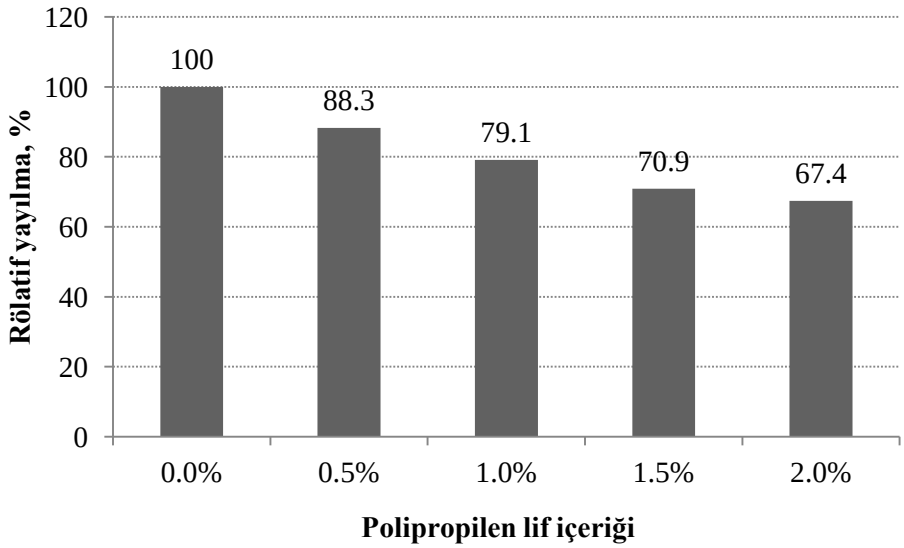
Denklemde, δ, elektriksel özdirenç (kohm.m); R,direnç (kohm); A, numune yüzey alanı (m^2) ve L, plakalar arası mesafeyi (m) simgelemektedir.

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

3.1. İşlenebilirlik sonuçları

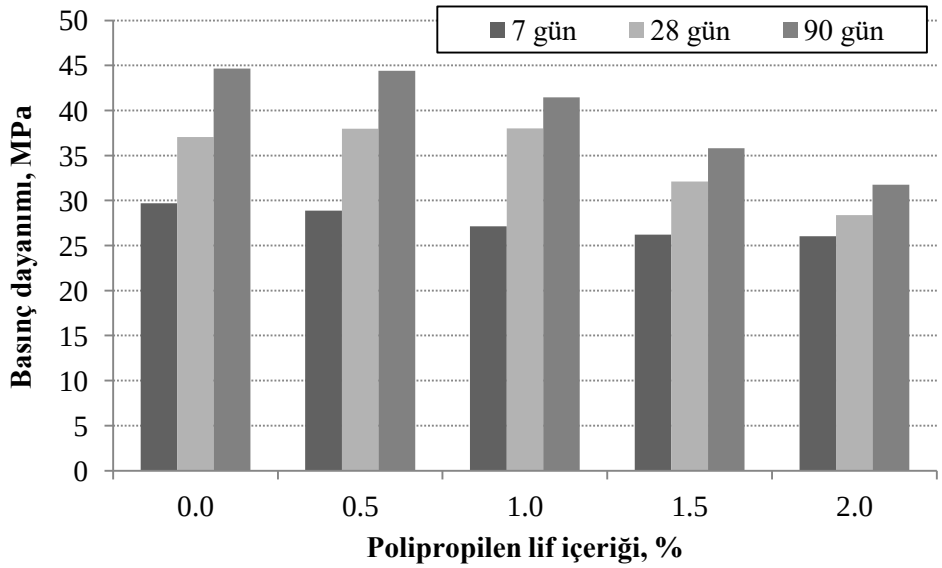
Polimerik lif katkılı harçların işlenebilirlikleri yayılma tablası deneyi ile belirlenmiş ve deney sonuçları rölatif olarak Şekil 3'te karşılaştırılmıştır. Bulgulara göre, polimerik lif ilavesiyle harçların yayılma değerleri azalmaya başlamıştır. Örneğin, kontrol harcına %1 lif ilavesiyle %21 oranında azalan yayılma değerleri %2 lif ilavesi sonucunda %32,6 oranında işlenebilirlik kaybına uğramıştır. İşlenebilirliğin azalması durumunda özellikle liflerin matris işerisinde homojen dağılmaları güçleşmekte, taze haldeki harç nispeten daha zor kalıba yerleştirilebilmektedir.



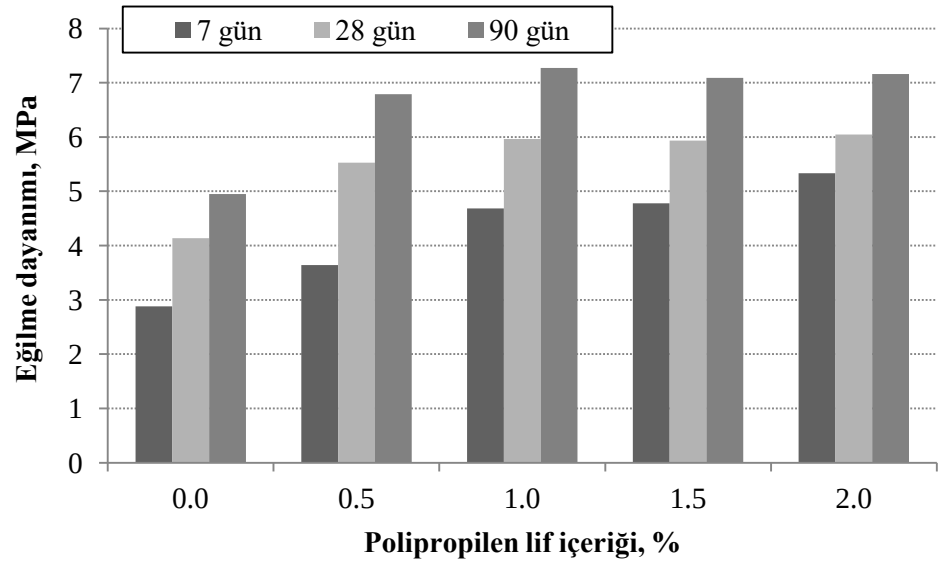
Şekil 3. Polipropilenli harçların rölatif yayılma oranları

3.2. Mekanik Özelikler

Harç içerisine ilave edilen liflerin basınç dayanımı değerleri üzerindeki etkisi incelendiğinde (Şekil 4), lif miktarının basınç dayanımına hem olumlu hem de olumsuz yönde etkisi olmuştur. Bunun sebebi, harca ilave edilen liflerin harcın 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 ±%25 oranında olumlu veya olumsuz yönde etkileyebileceği belirtilmiştir [15-18]. Sonuçlar incelendiğinde; 7-90 günlük kontrol numunelerinin basınç dayanımı değerleri 29-44 MPa arasında değerler alır iken, %2 polipropilen lifli 7-90 günlük kompozitlerin basınç dayanımı değerleri ise 26-32 MPa arasında değişerek %10.3-%27 oranında azaldığı görülmüştür. Buna göre; basınç dayanımı değerlerinin lif katkısı ile birlikte tüm karışımlarda düştüğü görülmüştür. Lif ilavesinin arttırılmasıyla birlikte harçların işlenebilirliklerindeki azalmalar yapılan çalışmalardan bilinmektedir [3]. Lif boylarının ve miktarının artmasıyla birlikte harç içerisindeki topaklanma daha fazla olduğundan harç içerisindeki boşluk oranının artışına neden olarak dayanım değerlerinin azalmasına neden olmuştur.



Şekil 4. Polipropilen lif ilavesiyle harçların basınç dayanımları



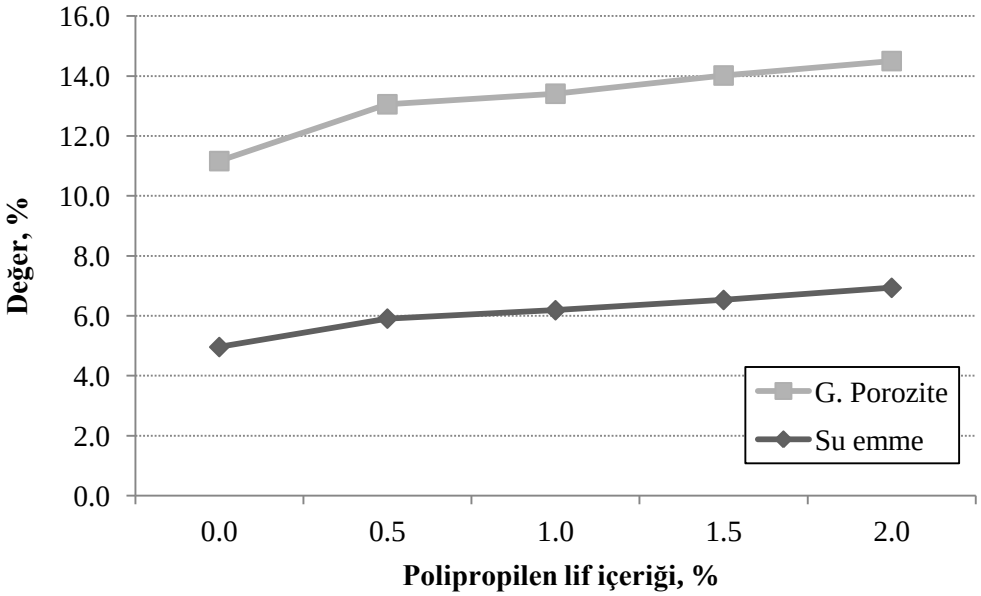
Şekil 5. Polipropilen katkılı harçların eğilme dayanımları

Harç içerisine ilave edilen liflerin eğilme dayanımları üzerindeki etkileri incelendiğinde (Şekil 5), lif miktarının artmasıyla eğilme dayanımlarının da belirgin bir biçimde arttığı görülmektedir. Eğilme dayanımının harç içerisine ilave edilen lif miktarıyla doğrudan ilişkili olduğu açıkça görülmektedir. Liflerin harç içerisinde dağılarak eğilme testi sırasında harcın alt bölgelerinde çekme gerilmelerinden dolayı oluşan mikro çatlakları durdurmada daha etkili olduğu ve buna bağlı olarak da lif miktarının da arttırılmasıyla birlikte eğilme dayanımının da arttığı görülmüştür.

3.3. Fiziksel özelikler

Harç içerisine ilave edilen polipropilen lifler harçların görünen porozite değerlerinin artmasına neden olmuştur (Şekil 6). 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 azalarak harcın kıvamını azaltmasıdır. İşlenebilirlikteki azalma harcın 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 görünen boşluk oranı değerleri de kontrol harcına göre daha yüksek değerler almıştır.



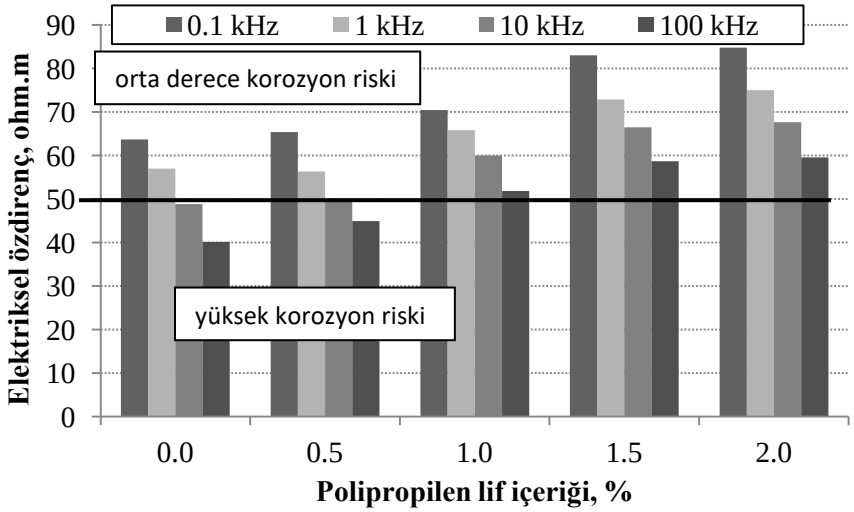
Şekil 6. Polipropilen içeriğine bağlı olarak harçların boşluk oranı ve su emme yüzdeleri

Farklı oranlarda poliporpilen lif içeren harçların ağırlıkça su emme değerleri de belirlenmiştir (Şekil 6). Kullanılan lif miktarının artmasıyla harç içerisinde az da olsa boşlukların arttığı sonucuna varılmıştır. Ancak genel olarak incelendiğinde, polipropilen liflerin su emmeyen yapıda olmaları nedeniyle harçlardaki su emme oranlarındaki artışlar oldukça düşük miktardadır [19,20]. Su emme oranlarındaki artışın nedeni topaklanmaları nedeniyle betonda oluşan boşluklardan dolayıdır. Bu boşluklar aynı zamanda basınç dayanımlarının da kontrol serilerine göre daha düşük değerler almasına da neden olmuştur.

3.4. Elektriksel özelikler

Elektrik iletkenliği çimento bazlı sistemlerde iyonların boşluk solüsyonlarında hareket etmeleriyle meydana gelir. İletkenlik hem poroziteye hem de boşluk solüsyonu iletkenliğine bağlıdır. Birçok özelikle ilişkilendirilebilen betonun veya harcın elektriksel özdirenci beton bileşenlerinin değişkenliği ile de farklı değerler alacaktır. Farklı oranlarda polimerik lifin kullanımıyla üretilmiş harçların elektriksel özdirenç değerleri frekansa bağlı olarak Şekil 7'de verilmiştir. Bilindiği gibi frekans, bir AC sinyalin saniyedeki periyot sayısıdır. Çimento esaslı sistemlerde elektrik iletkenliği boşluk solüsyonlarındaki iyon transferi sebebiyle meydana gelmekte ve frekansın artışıyla birlikte iyon transferi hızlanmaktadır. Dolayısıyla direnç azalmaktadır. Harçlara uygulanan frekans değerinin arttırılmasıyla harç içerisindeki iyonların transfer hızının artması sonucu daha düşük elektriksel özdirenç değerleri elde edilmiştir. Polimerik harçlarda farklı frekanslarda elektriksel özdirencin belirlenmesinin amacı, ölçüm frekansına bağlı olarak elde edilebilecek özdirenç değerinin belirlenmesidir. Diğer bir ifadeyle, malzemelerin özdirenç değerlerinin belirlenmesi sırasında seçilen frekans değeri sonuçları doğrudan etkilemektedir. Yüksek

frekanslı gerilim altında harçlar düşük frekans gerilim altında bulunma durumuna göre daha az dirence sahip olacaklardır.

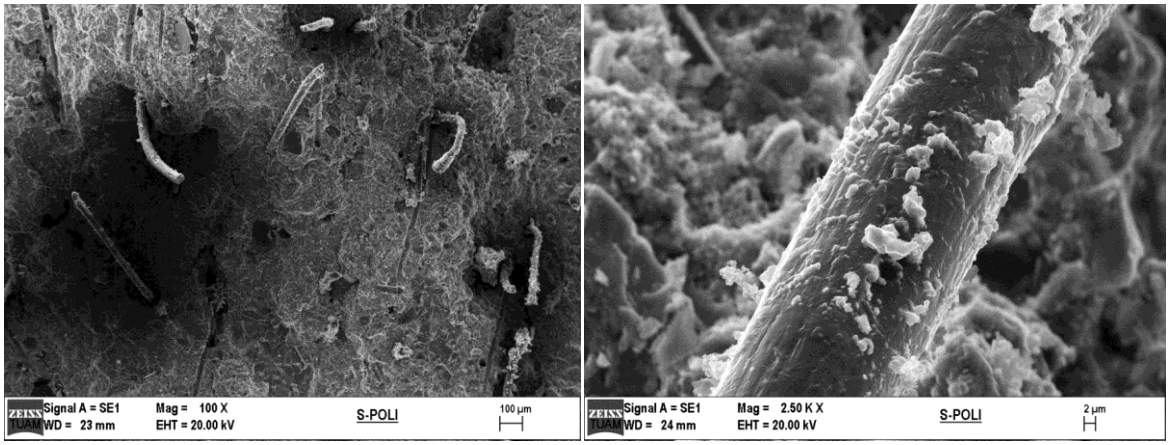


Şekil 7. Harçların elektriksel özdirenç değerleri

Çimentolu sistemlerde elektrik iletkenliği hidroksil (OH^-) iyonları tarafından sağlanır ve bu iyonların artması ortamın pH değerinin azalmasına neden olmaktadır. Ortamda Ca^{++} iyonlarının artması ise pH seviyesini yükselterek elektriksel iletkenliği azaltmakta ve donatılı betonlarda pasivasyon tabakasının korunduğunu göstermektedir [21-24]. Dolayısıyla korozyon riski oldukça azalmış olacaktır. Elektriksel özdirenç değerinin 50 ohm.m değerinden düşük olması ortamda yüksek korozyon riskini gösterirken, elektriksel özdirenç değerinin daha fazla değerler alması da orta derecede donatı korozyonuna yol açacağının göstergesidir [25]. Bu açıdan incelendiğinde, polipropilen lif katkısıyla harçların direnç değerleri arttırılarak özellikle %1 lif içeriğinden sonrası harçların korozyona uğrama riskini de azalmış olmaktadırlar.

3.5. Mikroyapı İncemesi

Çimento esaslı harç içerisindeki hidrate ürünlerin dağılımları ile polipropilen liflerin harç arasındaki aderanslarının gözlenmesi amacıyla mikroyapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 8). Harcın matris kısmında yapılan mikroyapı gözleminde, oldukça yoğun çimento hidratasyon ürünleri görülmüştür.



Şekil 8. Polipropilen liflerin harç içerisindeki görünümleri

Lif katkılı harçlarda yapılan mikroyapı gözlemi sonucunda polipropilen lif etrafında oldukça yoğun hidratasyon ürünleri olmasına rağmen aderansın tam olarak sağlanamadığı 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 olmasıdır. Buna rağmen polipropilen lif üzerinde hidratasyon ürünlerine de rastlanmıştır.

4. Sonuçlar

Polipropilen lifli harçlar günümüzde gelişim göstermekte olup inşaat sektöründe birçok alanda kullanılmaktadır. Bu çalışmada farklı oranda polipropilen katkılı çimento esaslı harçların mekanik, fiziksel ve elektriksel özelikleri incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Polipropilen lif katkılı taze harçlar üzerinde yapılan yayılma deneylerinden genellikle polipropilen miktarı arttıkça numunelerin işlenebilirlik değerlerinin düştüğü görülmüştür,
- Polipropilen katkılı 7-90 günlük harçlar üzerinde yapılan basınç deneyi sonucunda, polipropilen liflerin dağılım ve yöneliminden dolayı basınç dayanımının %10-27 oranları arasında azaldığı gözlenmiştir.
- Polipropilen lif katkılı harçlar üzerinde eğilme dayanımı deneyi yapıldığında, lif katkısının harçlarda eğilme dayanımını yani çekme dayanımını arttırdığı görülmüştür.
- Polipropilen lif katkılı harçlar üzerinde yapılan görünen boşluk oranı ve su emme deneyleri sonuçlarına göre, lif miktarının değişmesiyle, diğer bir ifadeyle lif miktarının artmasıyla hem boşluk miktarı hem de su emme değerleri artmıştır.
- Farklı frekans değerlerinde yapılan ölçümler sonucunda elde edilen elektriksel özdirenç değerlerinin harç içerisindeki lif miktarının artışıyla birlikte daha yüksek değerler aldığı görülmüştür. Dolayısıyla polimerik lif katkısı harçların elektriksel özdirençlerini arttırmıştır. Durabilite açısından daha dayanıklı harç üretimini sağlamışlardır.

Kaynaklar

[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] Mangat P.S., O'Flaherty F.J., Long-Term Performance of High-Stiffness Repairs in Highway Structures, Mag. Con. Res., Vol. 51, No. 5, 1999, pp.325-339.

[7] Hassan K.E., Brooks J.J., Al-Alawi L., Compatibility of Repair Mortars with Concrete in a Hot - Dry environment, Cem. Con. Comp., Vol.23, 2001, pp.93-101.

[8] Kırca Ö, Şahin M., (2003), *"Polipropilen Lif Kullanımının Beyaz Beton Dayanıklılığına Etkisi"*, 5. Ulusal Beton Kongresi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, ss.375-382, İstanbul.

[9] 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).

[10] Salemi N. and Behfarnia K., "Effect of nano-particles on durability of fiber-reinforced concrete pavement", *Construction and Building Materials*, 48: 934-941, (2013).

[11] TS EN 197-1, Çimento- Bölüm 1: Genel ÇimentolarBileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (2012).
[12] TS EN 12390-5, Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 5: Deney numunelerinin eğilme dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (2010).
[13] TS EN 12390-3/AC, Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (2012).
[14] ASTM C 1760. Standard test method for bulk electrical conductivity of hardened concrete. West Conshohocken (PA): ASTM; 2012.
[15] 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).
[16] Khaloo A.R. and Afshari M., "Flexural Behavior of Small Steel Fiber Reinforced Concrete Slabs", *Cement and Concrete Composites* 27: 141–149, (2005).
[17] Uygunoğlu, T., "Investigation of microstructure and flexural behavior of steel-fiber reinforced concrete", *Materials and Structures*, 41(8): 1441-1449, (2008).
[18] Ersoy, H.Y., "Kompozit Malzeme", Literatür Yayınları, Mimarlık Dizisi, ISBN:975-8431-47-1, (2003).
[19] Ramezanianpour 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).
[20] 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).
[21] Layssi,H., Ghods, P., Alizadeh, A.R., Salehi, M., Electrical Resistivity of Concrete, Concrete International, 2016.
[22] Gonga, H., Li, Z., Zhang, Y., Fan, R., Piezoelectric and dielectric behavior of 0-3 cement based composites mixed with carbon black, Journal of the European Ceramic Society, 2009, 29, 2013-2019.
[23] Mancio, M., Moore, J. R., Brooks, Z., Monteiro, P. J. M., Glaser, S. D., Effect of mixing proportions of concrete on its electrical conductivity and the rapid chloride permeability test (ASTM C1202 or ASSHTO T277) results, Cement and Concrete Research, 2004, 34, 537–545.
[24] Silva, P.C., Ferreira, R.M., Figueiras, H., Electrical Resistivity as a Means of Quality Control of Concrete – Influence of Test Procedure, International Conference on Durability of Building Materials and Components, 2011.
[25] Topçu, İ.B., Uygunoğlu, T., Hocaoğlu, İ., Electrical conductivity of setting cement paste with different mineral admixtures, Construction and Building Materials, 28, 414-420, 2012.