

ATIK POLİPROPİLEN LİFLERİN HARCIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ*

C. Karademir¹, D. M. A. Ghilan², E. Teomete³

Özet

Sanayileşmeyle birlikte artan çevre kirliliği dünyadaki tüm canlıların sağlığını ve yaşamını tehdit etmektedir. Çevre kirliliğini engellemek için atık malzemeler geri dönüştürülmek istenmektedir. Bu çalışmada çevre kirliliğinde önemli sorun haline gelen ve doğada uzun süre kalabilen plastik atıkların harç içerisinde lif olarak kullanılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda geri dönüşüm şirketinden kırılmış olarak alınan polipropilen atık plastikler, harç içerisine farklı hacimsel oranlarda katarak basınç dayanımı ve eğilme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda plastik atıkların betonda lif olarak kullanılabilirliği gözlemlendi.

1. GİRİŞ

Nüfus artışıyla birlikte doğal kaynaklarının tüketimi hızla artmaktadır ve bundan dolayı atık miktarında da artışa neden olmaktadır. Her yıl gelişen endüstri ile üretilen atıklar daha da artmakta ve çevreye daha fazla zarar vermektedir. Artan çevre kirliliğine karşı önlem almak için yapılan araştırmalar önem kazanmaktadır. Türk İstatistik Kurumu verilerine göre 2014 yılında düzenli atık depolama tesislerinde 41 milyon ton atık, yakma tesislerinde ise 43 bin ton atık bertaraf edildi. Geri dönüşüm tesislerinde ise toplam 19 milyon ton atık geri kazanıldı [1]. Çevre kirliliğine yol açan atıklardan birisi de plastik atıklardır. Plastik, 1907'de sanayi üretimine giren yeni bir materyal olarak düşünülmektedir. Plastik dayanıklılığıyla, hafifliğiyle ve düşük maliyetiyle oldukça pratik bir malzemedir [2]. Ayrıca biyolojik olarak parçalanmadığından dolayı, geri dönüştürülmeyen plastik atıklar çevre içinde uzun süre kalmaktadır. Bu durum çevre kirliliğine neden olur ve ekosisteme zarar verir

Effect of Waste Polypropylene Fibers on Mechanical Properties of Mortar

Increase of environmental pollution caused by industrialization threatens the health and life of all living things in the world. To prevent environmental pollution, waste materials are being recycled. This study aimed to reuse plastic wastes, which became one of important environmental pollution problems because it can stay in the nature for long time. Polypropylene waste plastics obtained from recycling company and used as fiber in mortar at different volume ratios. Then its compressive and flexural strength were tested. The results of the experiments showed that the waste plastics can be used in concrete.

[3]. Bu nedenle atık plastiklerin olumsuz etkilerini azaltmak için mantıklı yöntemlerden biri de bu materyallerin diğer sanayilerde kullanılmasıdır. Plastik atıklarla ilgili çeşitli geri kazanım çalışmaları yapılmaktadır. Bu geri kazanım çalışmalarından birisi de plastik atıkların çimento bazlı yapı elemanlarında agrega veya lif olarak yeniden kullanımıyla ilgilidir. Önceki çalışmalarda beton veya harç içerisinde agrega veya lif olarak kullanılan başlıca plastik tipleri; PVC, polietilen (PE), polipropilen (PP), polietilen tefalat (PET) ve naylondur [4]. Bu çalışmada atık olarak polipropilen (PP) tipi plastik kullanılmıştır. Polipropilen, düşük özgül ağırlıklı ve iyi bir darbe dayanımına sahip esnek bir plastiktir. Tekstil ve yiyecek paketlemeleri gibi çok geniş bir kullanı-

mı vardır [5]. Atık polipropilenin agrega olarak beton içerisinde kullanımı yoğunluğu azaltarak hafif beton elde etmemizi sağlar. Fakat hem basınç hem de eğilme dayanımı değerlerini düşürmektedir [6]. Polipropilenin lif olarak beton içerisinde kullanımı taze betonun işlenebilirliğini azaltır. Optimum değere kadar basınç dayanımı artmaktadır. Optimum değerden sonra basınç dayanımında azalma görülmektedir. Polipropilen lifin, betonun mekanik özelliğine olumlu yönde etkileri saptanmıştır. Özellikle betonun çekme dayanımını arttırıcı özelliği gözlemlendi ve taşıyıcı elemanlarda kullanılabilirliği araştırıldı [7]. Bir başka çalışmada ise geri dönüştürülmüş polipropilen ile işlenmemiş polipropilen lif olarak beton içerisinde kullanıldı. Geri dönüştürülmüş polipropilenin işlenmemiş polipropilene göre benzer performansa sahip olduğu görülmektedir. Böylece geri dönüştürülmüş polipropilen işlenmemiş polipropilen yerine kullanılabilirliği tespit edilmektedir [8]. Polipropilenin lif olarak harç içerisinde kullanımında ise dayanımda bir miktar artış gösterse de daha fazla lif oranında dayanımda düşüşler görülmektedir. Polipropilen lifin harcın tokluğuna

^{1,2}) cihankarademir35@gmail.com, dheyaghilan@gmail.com, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Buca İzmir

³) egemen.teomete@deu.edu.tr, Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Buca İzmir

^{*)} Türkiye Hazır Beton Birliği tarafından düzenlenen Beton İstanbul 2017 Hazır Beton Kongresi'nde sunulmuştur.

olumlu katkısı gözlenmektedir ve lif oranı arttıkça tokluğunda arttığı görülmektedir [9]. Bu çalışmanın temel amacı beş farklı oranda polipropilen lif kullanılarak üretilen harçların ve lifsiz referans harcın eğilme ve basınç dayanımı testi yapılarak mekanik özellikleri saptanmıştır. Polipropilen lifin harç içerisinde mekanik özelliğini ne yönde etkilediği araştırılmıştır.

2. Malzeme ve Metot

Deneyisel çalışmada 6 farklı karışım tasarlandı. Çimento, (0-5 mm) agrega, silis dumanı, süper akışkanlaştırıcı katkı, atık polipropilen lif ve su kullanıldı.

Kullanılan çimento, Batıçim tesislerinde üretilmiş CEM II B-M (L-W) 42.5 R tipi çimentodur. Su/bağlayıcı oranı 0,42; BASF silika dumanı /toplam bağlayıcı (çimento+silika dumanı) oranı %10 olarak belirlendi. Akışkanlaştırıcı katkı olarak SİKA ViscoCrete High Tech 30 bağlayıcının %1 oranında kullanıldı. Akışkanlaştırıcının su kesme oranı %10 alındı. İzmir ilinin Batıbeton tesislerinden elde edilen ve en büyük tane çapı 5 mm olan agrega kullanıldı. Karışımlar içilebilir nitelikte su ile hazırlandı. Lif içermeyen referans karışımda (M0) çimento 501 kg/m³, agrega (0-5 mm) 1.384 kg/m³, su 249,4 kg/m³, silika dumanı 55,7 kg/m³ ve akışkanlaştırıcı 5,6 kg/m³ içerir. Polipropilen lifler hacimce %0,2, %0,5, %0,8, %1 ve %1,5 oranlarında kullanılarak sırayla PP1, PP2, PP3, PP4 ve PP5 karışımları tasarlandı.

Çalışmada kullanılan atık polipropilen lifler Narsan Plastik tarafından temin edildi. Geri dönüştürülmek üzere toplanan çoğunluğu çuval olarak kullanılmış atık polipropilenler Şekil 1a'da görüldüğü gibi kesme ve yıkama işlemlerinden geçerek lif şekline getirildi. Kullanılan polipropilen liflerin uzunluğu 5 mm ile 30 mm arasında, eni ise 2 mm ile 4 mm arasında değişmektedir. Kullanılan lifler Şekil 1b'de gösterilmektedir. Polipropilen liflerin yoğunluğunu bulmak için ASTM D 1895-96 [10] kullanılarak Şekil 2'de görüldüğü gibi özgül ağırlık testleri yapıldı ve polipropilen lifin özgül ağırlığı 0,904 bulundu.



Şekil 2. Özgül ağırlık testi

Deney kapsamında karışımlar Şekil 3'teki çelik kalıplara döküldü ve bir gün kalıpta bekletilen örnekler kalıptan alındı. Her karışım oranı için 3 adet olmak üzere toplam 18 adet 40x40x160 mm'lik prizmatik örnek elde edildi. Tüm örnekler 28 gün suda 20 derece sıcaklığında küre bırakıldı. 28. günde sudan çıkarılan örnekler bir hafta laboratuvar koşullarında



Şekil 1.a. Yıkama ve kesme işlemleri b. Karışımlara katılan polipropilen lifleri

kurumaya bırakıldı ve tüm örnekler 36. günde önce eğilme dayanımı testine, eğilme dayanımı testinden çıkan harçların iki tarafına 40x40 mm'lik demir plaka yardımıyla basınç dayanımı testleri yapıldı.



Şekil 3. Kullanılan çelik kalıp

Mekanik testleri gerçekleştirmek için maksimum yükü 300kN olan Shimadzu test cihazı kullanıldı. Deney parametreleri, Trapezum X yazılımıyla oluşturuldu.

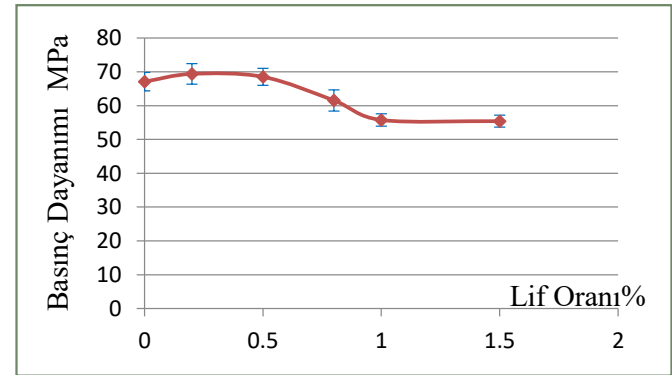
Eğilme dayanımı testi, basit kiriş üzerine 3 nokta eğilme deneyi yaparak Şekil 4a'daki gibi gerçekleştirildi. Deney yükleme hızı 0,2 mm/dk olarak ASTM 1609 [11]'a göre belirlendi ve kiriş orta nokta yer değiştirmesi 2 mm'ye vardığında deney durduruldu.

Basınç dayanımı testi, eğilme dayanımı testinden çıkan harçlara 40x40 mm'lik iki çelik plaka yardımıyla Şekil 4b'de görüldüğü gibi yapıldı. Deney yükleme hızı 0,5 mm/dk olarak ASTM C349-14 [12]'e göre belirlendi.



3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Polipropilen lifli harçların basınç dayanımı testlerinin sonuçları Şekil 5'te gösterilmektedir. Basınç dayanımında PP1 (%0,2) ve PP2 (%0,5) harçlarında M0 (%0) göre, %2-3 arasında bir artış gözlemlense de PP3 (%0,8), PP4 (%1) ve PP5'te (%1,5) dayanım %8-17 aralığında azalma gözlenmektedir. Çimento harcına lif katmanının basınç dayanımına iki temel etkisi olabilir; birincisi basınç deneyi sırasında Poisson etkisi nedeniyle yana doğru genişlemeye çalışan çimento harcını lifler tutarak, çatlakların oluşmasını geciktirir ve dayanımı bir miktar arttırabilir; ikinci etki lifler boşluk olarak davranır ve matrisi zayıflatarak dayanımı düşürür. Bu iki etki yarışır, bu durumda düşük lif oranlarında birinci etki (güçlendirme), yüksek lif oranlarında ikinci etki (zayıflatma) görülür.



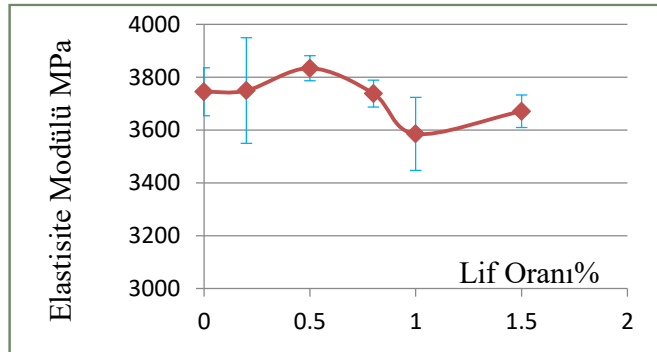
Şekil 5. Basınç dayanımının lif hacimsel oranı ile değişimi

Bütün harçların elastisite modülü değerleri Şekil 6'da gösterilmektedir. Polipropilen lif içermeyen M0 harcında elastisite modülü 3744,7 MPa iken PP1 (%0,2), PP2 (%0,5) ve PP3 (%0,8) harçlarında %0-2'lik artış, PP4 (%1) ve PP5 (%1,5) harçlarında ise %2-4'lük azalma gözlemlenmiştir. En yüksek



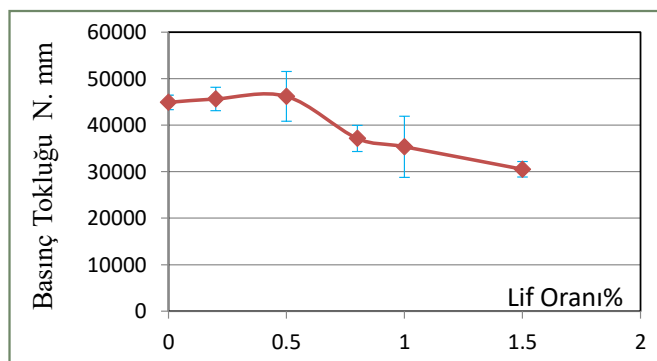
Şekil 4. a. Eğilme b. Basınç dayanım testleri

artma %2'lik artış ile 3834,0 MPa elastisite modülü değerine sahip PP2'de en büyük azalma ise %4'lük azalma ile 3585,4 MPa elastisite modülü değerine sahip PP4'de görülmektedir. Elastisite modülünün düşük lif oranlarında artıp, yüksek lif oranlarında azalmasının nedeni, daha önce sunulan iki etki ile açıklanabilir.



Şekil 6. Elastisite modülünün lif hacimsel oranı ile değişimi

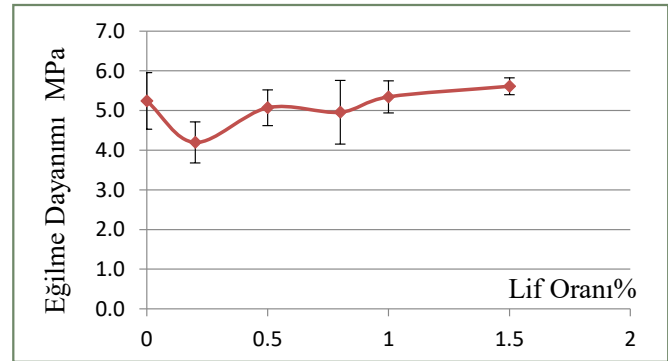
Basınç tokluğu değeri, yük-deplasman eğrisinin altında kalan alanın bulunmasıyla elde edilir. Bu çalışmada basınç tokluğu değeri maksimum yüke kadar yük-deplasman eğrisinden hesaplanmıştır. Basınç tokluğu sonuçları Şekil 7'de verilmiştir. Referans karışıma göre PP1 (%0,2) ve PP2'de (%0,5) %2-3 aralığında artış gözlemlense de PP3 (%0,8), PP4 (%1) ve PP5'de (%1,5) %17-32 aralığında azalma gözlemlenmektedir. Bu sonuçlardan yola çıkarak %0,5-1,5 aralığında lif oranı arttıkça basınç tokluğu değerinde azalma söz konusudur.



Şekil 7. Basınç tokluğu - lif hacimsel oranı ilişkisi

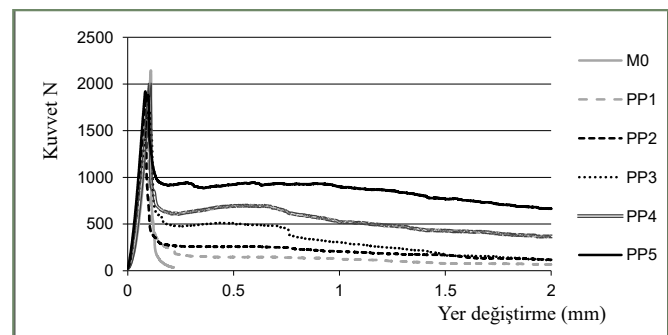
Polipropilen lifli harçların eğilme dayanımı testlerinin sonuçları Şekil 8'de gösterilmiştir. PP1 (%0,2), PP2 (%0,5) ve PP3 (%0,8) eğilme dayanımı, MO'a (%0) göre, azalmaktadır. PP1 (%0,2) harcının eğilme dayanımında %20 azalma gözlenmektedir. Diğer PP2 (%0,5) ve PP3 (%0,8) harçlarında %3-5 arasında düşüş gözlenmektedir. PP4 (%1) ve PP5 (%1,5) harçlarında ise eğilme dayanımı %2-7 arasında artmaktadır.

dır. Sonuç olarak, %0,2 lif oranından sonra eğilme dayanım eğrisi artsa da atık polipropilen liflerin harçların dayanımına önemli bir katkısı olmadığı gözlenmiştir.



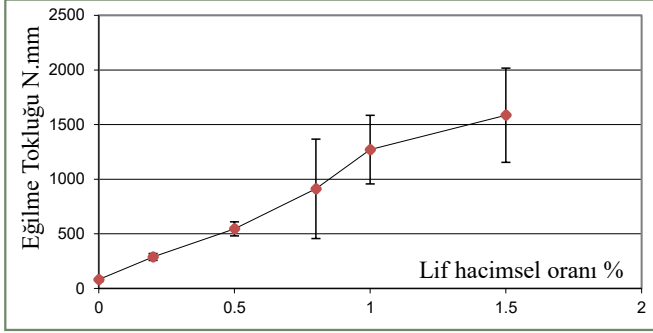
Şekil 8. Eğilme dayanımı - lif hacimsel oranı ilişkisi

Atık polipropilen lifli harçların yük-deplasman grafiği Şekil 9'da verilmektedir. Eğilme deneyinde ilk çatlak oluşuktan sonra, harçlardaki lifler köprüleme etkisi ile yük iletir ve çatlağın ilerlemesini önler. Eğilme deneyi sırasında lifli harçlar enerji yutmaya devam eder. Ayrıca, lif oranı arttıkça harçların daha fazla enerji yuttuğu gözlemlenmektedir. Bu durum PP5'in (%1,5) diğer harçlar ile karşılaştırıldığında açıkça görülmektedir. Polipropilen lifler eğilme deneyi sırasında yük taşıdığından dolayı toklukta belirgin bir artış elde edilir.



Şekil 9. Eğilme deneyinde kuvvet-yer değiştirme eğrisi grafiği

Polipropilen lifli harçların eğilme tokluğu, giriş orta noktasının 2 mm deplasman yaptığı değere kadar yük-deplasman eğrisinin altındaki alanın hesaplanmasıyla bulunur. Her lif oranındaki harçların ortalama değeri alınarak eğilme tokluğu Şekil 10'da verilmiştir. Polipropilen içermeyen lifsiz MO'da eğilme tokluğu değeri 81,7 N.mm iken lif oranı arttıkça PP1'de en az %353'lük artışla 288,3 N.mm, PP5'te en fazla %1.941'lık artışla 1585,6 N.mm eğilme tokluğu değerine ulaşır. Görüldüğü gibi polipropilen lif oranı harç içerisinde arttıkça eğilme tokluğu değerinin arttığı saptanmıştır.



Şekil 10. Eğilme tokluğu- lif hacimsel oranı ilişkisi

4. Sonuçlar

Yapılan deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir.

1. Harç içerisine polipropilen %0,2-0,5 hacimsel oranlarında lif eklenmesiyle basınç dayanımı az miktar artsa da %0,8-1,5 yüzdelinde basınç dayanımı azalmaktadır. Benzer ilişki elastisite modülü için de geçerlidir. Bunun nedeni basınç dayanımı deneyi sırasında yana doğru genişlemeye çalışan çimento harcını lifler tutarak, çatlakların oluşmasını geciktirebilir ve dayanımın bir miktar artmasına neden olabilir. Diğer neden ise lifler boşluk olarak davranır ve matrisi zayıflatarak dayanımı düşürebilir. Bu durumda düşük lif oranlarında dayanımda az miktar artış, yüksek lif oranlarında ise dayanımda azalma görülür.
2. Eğilme dayanımlarında polipropilen lif içermeyen harca göre %0,2-0,8 lif oranlarında %3-20 aralığında düşüşler görülürken %1-1,5 aralığında %2-7 aralığında artışlar görülmüştür. Lif oranının eğilme dayanımına önemli bir katkısı yoktur.
3. Polipropilen lif içermeyen referans harç gevrek bir şekilde kırılırken farklı yüzdelerde polipropilen lif içeren diğer harçlar enerji yutarak sünek bir şekilde kırılmıştır. Eğilme tokluğu, lif oranı arttıkça artmakta, PP5 (%1,5) 1.585,6 N.mm (lifsiz MO a göre %1941 artış) ile en yüksek eğilme tokluğu değerine sahiptir.
4. Basınç tokluğu değeri lif içermeyen harca göre %0,2-0,5 lif oranlarında %2-3 artışlar görülürken %0,8-1,5 lif oranlarında %17-32 düşüşler gözlemlenmiştir.
5. Atık polipropilen plastiğin harcın eğilme tokluğunu ve sünekliğini arttırması yapısal uygulamalarda kullanılabileceğini gösterir. Ayrıca, düşük özgül ağırlığa sahip atık polipropilen kullanımı daha hafif yapı elamanları üretilmesini sağlar.

Teşekkürler

Batıçim ve Batıbeton'a agrega ve çimento sağladıkları için, BASF'a silis dumanı sağladığı için, SİKA'ya akışkanlaştırıcı sağladığı için, Narsan Plastik'e atık plastik sağladığı için teşekkür ederiz.

Kaynaklar

1. TÜİK haber bülteni "Atık Bertaraf ve Geri Kazanım Tesisleri İstatistikleri", 2014, <http://www.tuik.gov.tr/PreHaber-Bultenleri.do?id=18776>, Erişim Tarihi (29.12.2015),
2. European Commission. Green Paper "a European Strategy on Plastic Waste in the Environment", Brussels, 2013.
3. Ismail, Zainab Z., and Enas A. Al-Hashmi, "Use of Waste Plastic in Concrete Mixture as Aggregate Replacement.", Waste Management, No. 28, pp. 2041-2047, 2008.
4. Gu, Lei, and Togay Ozbakkaloglu, "Use of Recycled Plastics in Concrete: A Critical Review.", Waste Management, No. 51, pp. 19-42, 2016.
5. Siddique, Rafat, Jamal Khatib, and Inderpreet Kaur. "Use of Recycled Plastic in Concrete: a Review", Waste management, No. 28, pp. 1835-1852, 2008.
6. Gavela, S., et al. "A Study of Concretes Containing Thermoplastic Wastes as Aggregates.", Conference on the Use of Recycled Materials in Building and Structures, pp. 911-8, 2004.
7. Açıkgöçer M, Arazsü U, Alyamaç KE., "Farklı Karışım Oranlarına Sahip Polipropilen Lifli Betonların Dayanım ve Durabilite Özellikleri", SDU International Journal of Technological Science. 2012.
8. Yin, Shi, et al. "Comparative Evaluation of Virgin and Recycled Polypropylene Fibre Reinforced concrete", Construction and Building Materials, No. 114, pp. 134-141, 2016.
9. Zhang, Hua, et al. "Transient Dynamic Behavior of Polypropylene Fiber Reinforced Mortar under Compressive Impact Loading", Construction and Building Materials, No. 111, pp. 30-42, 2016.
10. ASTM. "D 1895-96", "Standard Test Methods for Apparent Density, Bulk Factor, and Pourability of Plastic Materials, United States, 2010.
11. ASTM, C. "1609/C 1609M-05." Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading), ASTM International, United States, 2005.
12. ASTM C 349-97. Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic-Cement Mortars (Using Portions of Prisms Broken in Flexure). Annual Book of ASTM, United States, 2002.