



POLİETİLEN PLASTİK ATIKLARIN BETONUN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Cihan Karademir¹, Egemen Teomete²

Cihan Karademir¹-Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir
Egemen Teomete²- İnşaat Mühendisliği Bölümü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir

ABSTRACT

Industrialization in the world causes long-term and non-degradable solid wastes in nature. Plastic wastes are among the most striking solid wastes. Removing and recycling plastic waste also leads to financial and environmental problems. The use of these wastes in concrete aims not only to reduce the environmental pollution but also to improve the mechanical properties of the concrete. For this purpose, compressive strength and bending strength tests of concrete were carried out by adding waste polyethylene plastic which has passed washing and cutting process, in volumetric proportion of 0%, 0.2%, 0.5%, 0.8%, 1% and 1.5% by volume. The addition of waste plastic increased the flexural toughness of the concrete significantly while a small decrease in compressive strength and flexural strength was observed. In application, the decrease in compressive strength can be foreseen and compensated, thus would not be a problem. According to the results obtained, plastic waste can be used as fiber in concrete.

ÖZET

Dünyadaki endüstrileşme doğada uzun süre kalan ve parçalanmayan katı atıklara neden olmaktadır. Plastik atıklar en dikkat çeken katı atıklar arasındadır. Plastik atıkları, ortadan kaldırmak ve geri dönüştürmek de maddi ve çevresel problemlere yol açmaktadır. Bu atıkların beton içerisinde kullanılması çevresel kirliliği azaltmanın yanında betonun mekanik özelliklerini de iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda geri dönüşüm sürecinde yıkama ve kesme işleminden geçen atık polietilenin, hacimce %0, %0.2, %0.5, %0.8, %1 ve %1.5 oranlarında betona katarak, betonun basınç dayanımı ve eğilme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Betona plastik atık katılması, eğilme tokluğunu önemli ölçüde arttırmış, basınç ve eğilme dayanımını biraz düşürmüştür. Uygulamada, betonun basınç dayanımındaki düşüş öngörülerek tasarım yapılırsa, sorun oluşturmaz. Elde edilen sonuçlara göre plastik atıkların beton içerisinde lif olarak kullanılabilirliği görülmüştür.

GİRİŞ

Plastik, günlük yaşantımızın önemli parçasıdır ve düşük yoğunluklu, dayanıklı, üretim kolaylığı ve düşük maliyetli olmasından ötürü son yıllarda üretimi daha da artmaktadır. Dünya plastik üretimi 2011 yılında 279 milyon tondur. 2015 yılında %15 artışla 322 milyon ton plastik üretimine ulaşmıştır [1]. Artan plastik üretimi ve plastiğin çevre içerisinde uzun süre kalması atık plastik miktarında artışa neden olmaktadır. Bu durum çevre kirliliği oluşturarak doğaya zarar vermektedir [2]. Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre

Türkiye’de yılda 28 milyon ton belediye atığı oluşuyor. Bu atıklarının %2 si plastiktir. Bu verilere göre Türkiye’de belediyeler 2014 yılında 560,000 ton plastik atık toplamıştır [3]. Plastik atıkların geri dönüşümü ile ilgili çeşitli bilimsel çalışmalar yapılmaktadır. Bu geri dönüşüm çalışmalarından birisi de plastik atıkların yapı sektöründe yeniden kullanılmasıdır. Önceki çalışmalarda kullanılan başlıca plastik tipler; PVC, polietilen (PE), polipropilen (PP), polietilen telefat (PET) ve naylondur [4]. Bu deneysel çalışmada atık plastik olarak polietilen (PE) kullanıldı. Polietilen, yumuşak ve esnek bir plastiktir. Çöp torbaları, çöp kutuları, paketlenme ve ambalaj filmi gibi geniş bir kullanım alanı vardır [5]. Atık polietilenin beton içerisinde farklı yüzdelerde kullanarak betonun mekanik özellikleri iyileştirilmek istenmektedir. Yapılan çalışmalarda plastik oranı arttıkça betonun basınç dayanımında azalma görülse de çekme mukavemetini arttırmaktadır [6]. Başka bir çalışmada, % 80 polietilen ve % 20 polistirenden oluşan kırılmış plastik kapları, betonda agrega olarak kullandılar. Atık plastik oranının artmasıyla basınç dayanımının ve eğilme mukavemet değerlerinin düştüğü görülmektedir. Buna ek olarak, hafif beton üretiminde plastik kullanılabilirliği gözlenmiştir [7]. Diğer deneysel çalışmalarda polietilen, çelik lif ile birlikte hibrit karışımlar elde etmek için kullanılmıştır. Statik dayanımı ve gerçek patlama dayanımı karşılaştırıldı. Hibrit çelik lif ve polietilen lif eklenmesi, beton basınç dayanımı daha da arttırırken, daha iyi çekme gerilimi kapasitesi sağladığı görülmektedir [8]. Bu deneysel çalışma kapsamında ise beton içerisine hacimce %0, %0.2, %0.5, %0.8, %1 ve %1.5 oranlarında atık polietilen katarak lifli beton elde edilmiştir. Bu numunelerin eğilme dayanımı, eğilme enerjisi basınç dayanımı ve basınç enerjisi bulunmuştur, bu testlerde farklı oranlardaki atık plastik lifler kullanılarak örneklerden hangisinin uygun olduğu incelenmiştir.

MALZAME VE METOD

Atık polietilenin betonun mekanik özelliklerine etkisini araştırmak için, altı farklı karışım tasarlandı ve test edildi. Karışım için kullanılan malzemeler; çimento, silika dumanı, süperakışkanlaştırıcı, ince ve iri agregalar, atık polietilen ve su kullanıldı.

Türk standartlarına uygun CEM II B-M (L-W)42.5 R tipi çimento kullanıldı. İzmir ilinin Bornova bölgesinden elde edilen ince agrega (0-5mm) ve iri agrega (5-15mm) karışımlarda kullanıldı. Yüksek performanslı beton davranışını sağlamak için süperakışkanlaştırıcı Sika Viscocrete hightech 30 ile silika dumanı kullanıldı. Karışımlar içilebilir nitelikte su ile hazırlandı.

Geri dönüştürülmek üzere toplanan çoğunluğu yiyecek torbası olarak kullanılmış atık polietilenler(PE) Şekil 1.a.’da görüldüğü gibi geri dönüşüm işlemlerinden geçmektedir. Kesme ve yıkama işlemlerinden geçen atık polietilenlerin uzunluğu 5 mm ile 40 mm arasındadır. Bu atık malzemeler beton içerisinde lif olarak kullanılmak istenmektedir ve Şekil 1.b.’de gösterilmektedir.



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

Kullanılan malzemelerin yoğunlukları Tablo 1'de verildi. PE liflerin yoğunluğu ASTM (D1895- 96)'e uygun olarak belirlendi [9].

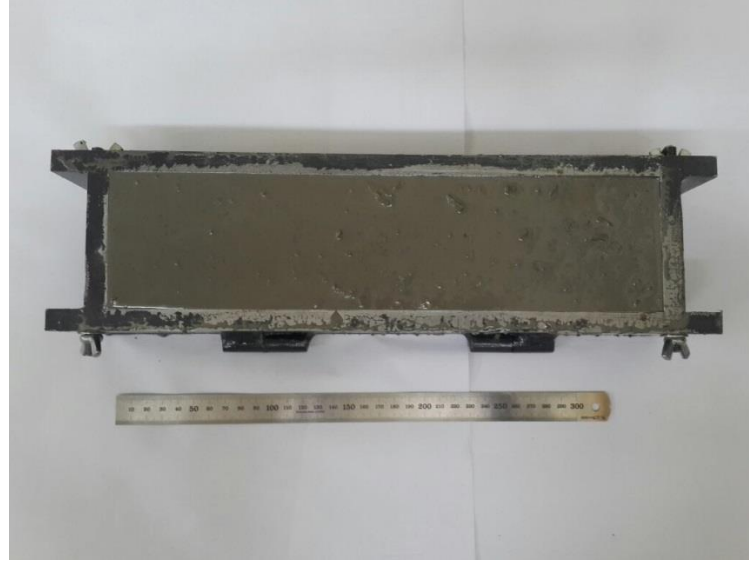
Tablo 1. Malzeme yoğunlukları

| Malzeme | Yoğunluk (Kg/dm ³) |
|-----------------------|--------------------------------|
| Çimento | 2,98 |
| Silis Dumanı | 2,3 |
| Süperakışkanlaştırıcı | 1,09 |
| İnce agrega | 2,7 |
| İri agrega | 2,6 |
| Polietilenler(PE) | 0,917 |

(TS 802-2009) uygun olarak karışım tasarlandı [10]. Su /bağlayıcı oranı 0.54; silika dumanı /toplam bağlayıcı (çimento+silika dumanı) oranı %10 olarak belirlendi. Akışkanlaştırıcı katkı bağlayıcının %1 oranında kullanıldı. Akışkanlaştırıcının su kesme oranı %10 alındı.

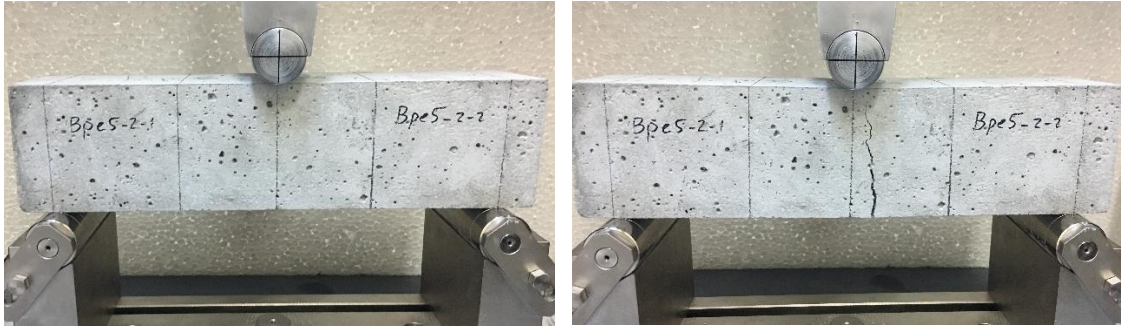
Atık Lif içermeyen referans beton karışımı (M0)'nın 1 m³ ünde şunlar mevcuttur; çimento 342 kg/m³, iri agrega (5-15 mm) 665 kg/m³, ince agrega (0-5) 986 kg/m³, su 224,5 kg/m³, silika dumanı 38 kg/m³ ve akışkanlaştırıcı 3,8 kg/m³ içerir. BPE1-BPE2-PPE3-BPE4 ve BPE5 karışımları için atık PE lif hacminin toplam hacme oranı, sırasıyla,% 0.2,% 0.5,% 0.8,% 1 ve% 1.5 dur.

Her karışım için üçer adet 75 mm x 75 mm x 305 mm boyutlarındaki prizma örnek Şekil 2'deki çelik kalıba döküldü. Her karışım oranı için 3 adet olmak üzere toplam 18 adet 75mm x 75mm x 305mm'lik prizmatik örnekler elde edildi. Her numune bir gün boyunca kalıpta bekletildi. Sonra 28 gün boyunca 20 °C sıcaklıkta su içerisinde bırakıldı. Daha sonra 7 gün laboratuvar koşullarında bekletildi. Tüm örnekler 36. günde önce eğilme dayanımı testine, eğilme dayanımı testinden çıkan kirişlerin iki tarafına 75mm x 75mm'lik demir plaka yardımıyla basınç dayanımı testleri yapıldı.

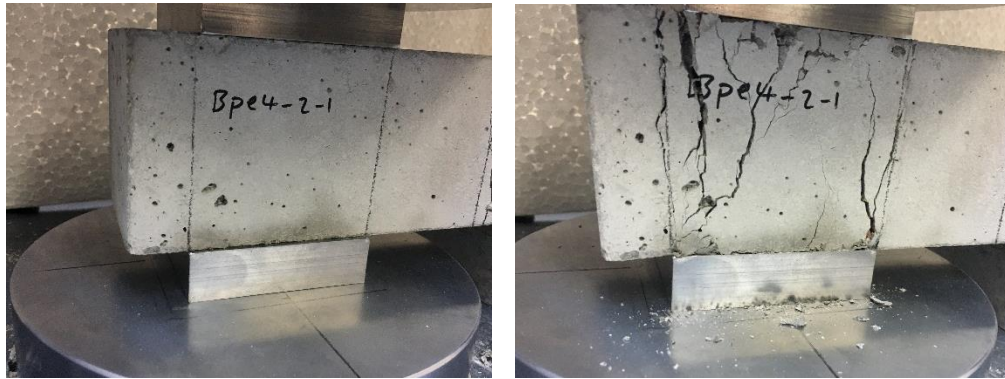


Şekil 2. Kullanılan çelik kalıp

Eğilme deneyleri ASTM 1609 göre yapıldı [11]. İlk olarak, maksimum yükleme kapasitesi 300 kN olan deney cihazı ile üç nokta eğilme deneyi yapıldı (Şekil 3). Yükleme hızı 0,1 mm/dk alındı ve numunelerin orta nokta yer değiştirmesi 1.8 mm olduğunda deneye son verildi. Her karışım için üç numuneye eğilme testi yapıldı. Daha sonra, eğilme deneyinde elde edilen numunenin iki tarafına Şekil 4 görüldüğü gibi basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirildi. Yükleme hızı 0,5 mm/dk olarak alındı. Yük maksimum yükün %50'sine düştüğünde deney durduruldu.



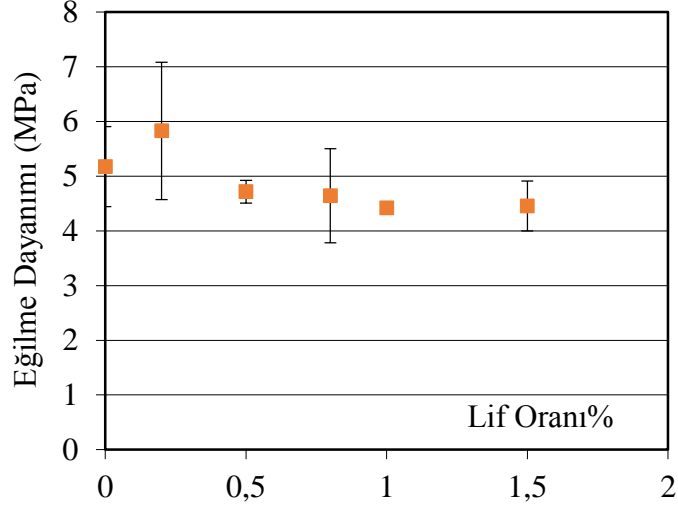
Şekil 3. Üç noktalı eğilme deneyi.



Şekil 4. Basınç deneyi.

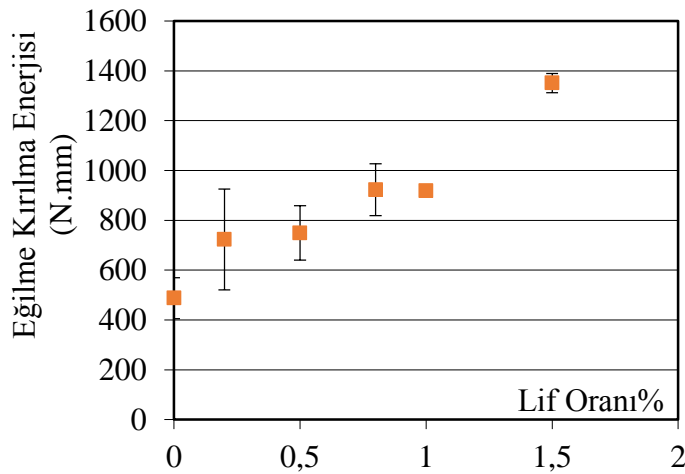
SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Polietilen lifli betonların eğilme dayanımı her lif oranının ortalama değeri alınarak Şekil 5’de gösterilmektedir. Hata çizgileri 3 örneğin +-1 standart sapmasını gösterir. Eğilme dayanımı değeri lif oranı arttıkça azalma eğilimi gösterse de standart sapmalar göz önünde alındığında önemli bir değişim olmadığı saptanmıştır.



Şekil 5. Eğilme dayanımı - lif hacimsel oranı ilişkisi

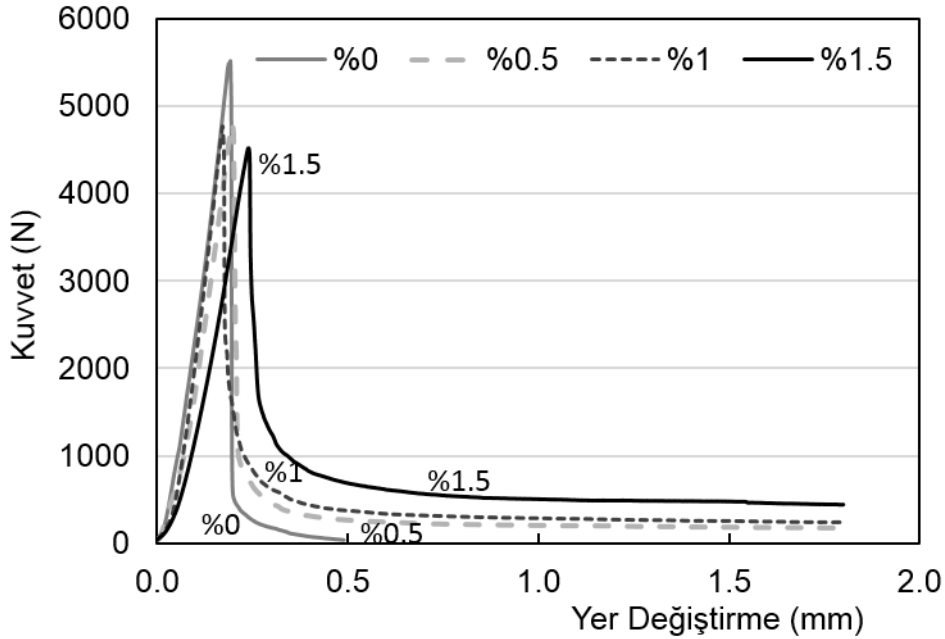
Polietilen lifli betonların eğilme dayanımındaki kırılma enerjisi, kiriş orta noktasının 1.8 mm değere kadar yük-yerdeğiştirme eğrisinin altındaki alanın hesaplanmasıyla bulunur. Her lif oranındaki betonun ortalama değeri alınarak kırılma enerjisi değeri Şekil 6’da verilmiştir. Polietilen içermeyen lifsiz M0 karışımının kırılma enerjisi değeri 487.7 N.mm iken lif oranı arttıkça BPE1 (%0.2)’de en az %148’lük artışla 723.6 N.mm, BPE5 (%1.5)’de en fazla %277’lik artışla 1351.2 N.mm kırılma enerjisi değerine ulaşır. Polietilen lif oranı beton içerisinde arttıkça kırılma enerjisi değerinin arttığı gözlemlenmektedir. Bu artış, polietilen liflerin çatlakları köprüleme etkisiyle açıklanabilir.



Şekil 6. Eğilme tokluğu- lif hacimsel oranı ilişkisi

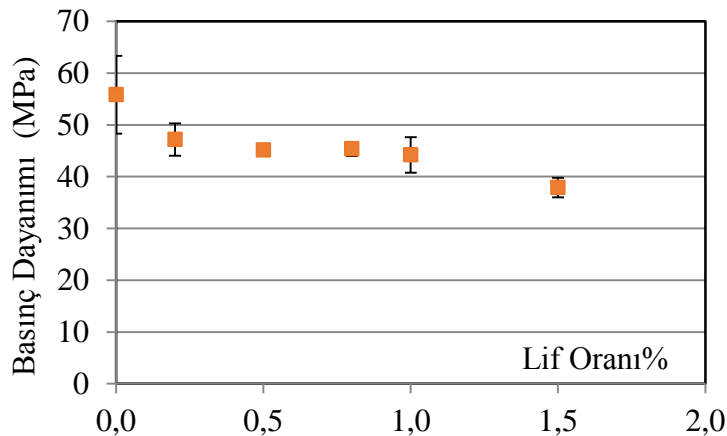
Polietilen lifli betonların yük-deplasman grafiği Şekil 7’de verilmektedir. Polietilen lif oranı arttıkça beton daha fazla yer değiştirme yaparak maksimum yüke ulaşmaktadır. Maksimum

yükten sonra betonlardaki polietilen lifler köprüleme etkisi ile yük taşımaya devam eder. Lif oranı arttıkça beton kırıldıktan sonra yük taşıma kapasiteleri de artmaktadır ve kırılma enerjisinde belirgin bir artış elde edilmektedir.



Şekil 7. Eğilme deneyinde kuvvet-yer değiştirme eğrisi grafiği

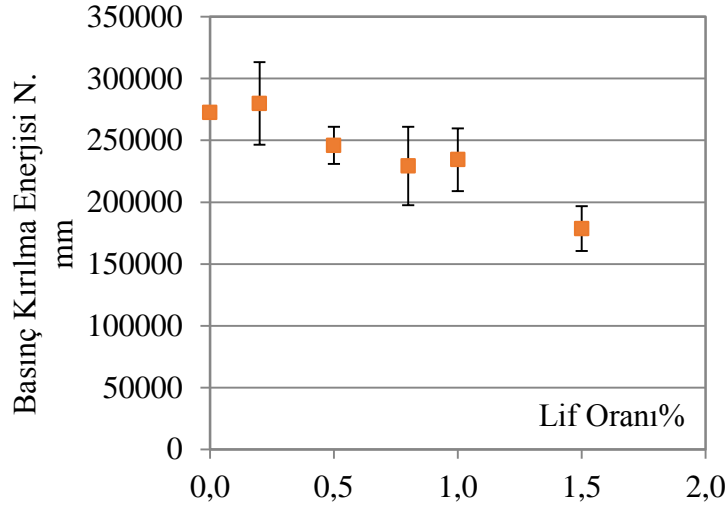
Polietilen lifli betonların basınç dayanımı testlerinin sonuçları Şekil 8'de gösterilmektedir. Polietilen lif içeren numunelerin ortalama basınç dayanımının, lif oranı arttıkça, azalmakta olduğu görülmektedir. M0 referans beton 55.8 MPa ortalama basınç dayanım değerine sahipken, BPE5 (%1,5) 37.9 MPa ortalama basınç değeri ile %32lik dayanım kaybı görülmektedir. Bu dayanım kaybının sebebi atık lifler boşluk olarak davranır ve matrisi zayıflatır. Yüksek lif oranlarında boşluk etkisi daha fazla görüldüğü için dayanımda önemli kayıplar gözlenmektedir.



Şekil 8. Her lif oranındaki betonun ortalama değeri

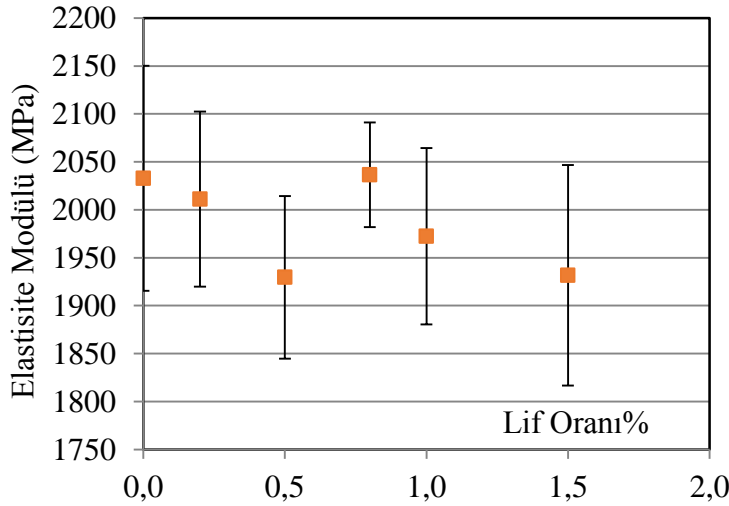
Basınç dayanımında kırılma enerjisi, yük-yerdeğiştirme eğrisinin altındaki alan, maksimum yüke kadar bulundu. Elde edilen sonuçlar Şekil 9'da verilmiştir. Kırılma enerjisi M0'a göre

%10-34 azalmaktadır. Bunun nedeni basınç deneyinde betonun içerisinde bulunan atık lifler zayıf noktalar oluşturarak betonun dayanımını düşürür. Kırılma enerjisi değeri maksimum yük değerine göre değiştiği için basınç kırılma enerjisi ile basınç dayanımı değerleri benzer eğilim gösterir.



Şekil 9. Basınç kırılma enerjisi - lif hacimsel oranı ilişkisi

Elastisite modülü değerleri basınç deneyinde gerilme-birim şekil değiştirme eğrisinden elde edilmiştir. Deney sonuçlarından elde edilen elastisite modülü değerleri Şekil 10'da verilmiştir. Standart sapmalar göz önüne alındığında atık polietilen lifin betonun elastisite modülünde önemli değişikliğe neden olmamaktadır.



Şekil 10. Elastisite modülünün lif hacimsel oranı ile değişimi

SONUÇLAR

Yapılan deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir.

1. Beton içerisine polietilen lif eklenmesiyle basınç dayanımı azalmaktadır. Bunun nedeni basınç dayanımı testi sırasında atık lifler boşluk olarak davranır ve dayanımı düşürmektedir. Bu durumda lif oranı arttıkça dayanımda azalma görülür.
2. Basınç kırılma enerjisi maksimum kuvvete göre değiştiği için basınç dayanımı ile benzer etki görülmektedir. Lif oranı arttıkça basınç kırılma enerjisi de azalmaktadır.
3. Atık polietilen lifli betonların eğilme dayanımı lifsiz referans betona göre değişmemiştir.
4. Polietilen lifli betonlar, lifsiz referans karışıma göre enerji yutarak sünek bir şekilde kırılmaktadır. Eğilme kırılma enerjisi, lif oranı arttıkça artmaktadır. BPE5 (%1.5) eğilme kırılma enerjisi M0'a göre yaklaşık 2.8 kat artış göstererek 1351.2 N.mm değerine ulaşarak en yüksek kırılma enerjisi değerine sahiptir. Eğilme kırılma enerjisindeki liflerin çatlakları köprülemesiyle açıklanabilir.
5. Polietilen lifin betonun elastisite modülünde önemli bir değişikliğe neden olmamaktadır.
6. Betona polietilen lif eklemek betonun basınç dayanımında düşüş gösterse de bu düşüş göz önüne alınarak referans karışımın değiştirilmesi ile dayanımdaki azalma giderilebilir. Atık polietilen plastiğin geri kazandırılması, çevre kirliliğinin önlenmesi, sünek ve daha düşük maliyetli beton elde edilmesi atık plastiklerin yapı sektörü içerisinde kullanılabilirliğini göstermektedir.

Teşekkürler

Batıçim ve Batıbeton'a agrega ve çimento sağladıkları için, BASF'a silika dumanı sağladığı için, Sika'ya akışkanlaştırıcı sağladığı için, Narsan Plastik'e atık plastik sağladığı için teşekkür ederiz. Laboratuvarındaki çalışmalarındaki yardımı için Dheya Ghilan'a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] Plastics Europe – the Facts 2016 “An analysis of European plastics production, demand and waste data”, http://www.plasticseurope.org/documents/document/20161014113313-plastics_the_facts_2016_final_version.pdf, Erişim Tarihi (2016),
- [2] Z.Z. Ismail, A.A. Enas, Use of waste plastic in concrete mixture as aggregate replacement, *Waste Management*. 28 (2008) 2041-2047. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.08.023>
- [3] Ulusal Geri Dönüşüm Stratejisi Belgesi ve Eylem Planı 2014 - 2017. (2014), Türkiye Cumhuriyeti Resmi Gazete, 2014/39, 18 Aralık 2014.

- [4] L. Gu, O. Togay, Use of recycled plastics in concrete: A critical review, *Waste Management*. 51 (2016) 19-42.
- [5] R. Siddique, K. Jamal, K. Inderpreet, Use of recycled plastic in concrete: a review, *Waste management*. 28 (2008) 1835-1852.
- [6] A.M. Raghatate, Use of plastic in a concrete to improve its properties, *International journal of advanced engineering research and studies*, 1/3 (2012) 109-111.
- [7] Z.Z. Ismail, E. A. Al-Hashmi, Use of waste plastic in concrete mixture as aggregate replacement, *Waste Management*. 28/11 (2008) 2041-2047.
- [8] J. Li, C. Wu, Z.X. Liu, Comparative evaluation of steel wire mesh, steel fibre and high performance polyethylene fibre reinforced concrete slabs in blast tests, *Thin-Walled Structures*. In press (2017).
- [9] ASTM D 1895-96, Standard Test Methods for Apparent Density, Bulk Factor, and Pourability of Plastic Materials, ASTM International, United States , 2010.
- [10] TSE, Ankara. "TS802 Beton Karışım Hesapları." TSE, Ankara, 12s (1985).
- [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.