

Atık Pet Plastiklerin Tamir Harçlarının Mekanik Özelliklerine Etkisi

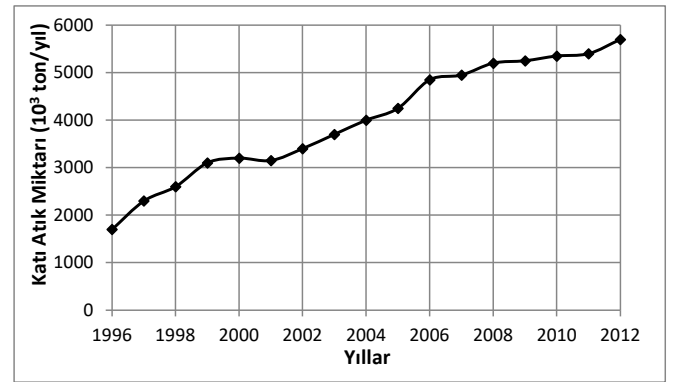
Dheya M. A. Ghilan¹, Egemen Teomete²

Özet

Plastik atıklar, toprağı, yer altı ve yer üstü sularını kirletmekte, doğayı ve yaşamı tehdit etmektedir. Plastik atıklar Türkiye’de genelde gömülerek veya yakılarak bertaraf edilmektedir. Bu işlemler çevre kirliliğine yol açar. Bu çalışmada farklı hacimsel oranlarda plastik atık PET içeren prizmatik numunelerinde eğilme ve basınç dayanımları belirlendi. Plastik atık liflerinin geometrisinin ve hacimsel oranının harcın mekanik özelliklerine etkileri belirlendi. PET lifi içeriği arttıkça, basınç dayanımı ve basınç tokluğu değerlerinde düşüş gözlemlendi. Eğilme dayanımında fazla bir değişiklik gözlemlenmesine de eğilme tokluğunda önemli bir artış görüldü.

1. GİRİŞ

Son yıllarda nüfus artışına eş düzeyde kaynak tüketimi, enerji tüketimi ve katı atık tesislerinde toplanan atıkların miktarı önemli düzeyde artmaktadır (Şekil 1). Çevre kirliliğine sebep olan atıklardan birisi de plastik atıklardır. Plastik hafif, dayanıklı, uzun ömürlü ve düşük maliyetli üstün özellikleri nedeniyle modern yaşamın en önemli malzemelerinden biridir. Son yıllarda tüketimindeki hızlı artış, katı atık tesislerinde toplanan atıktaki plastik içeriğinin oranının arttığı gözlemlenmektedir. Amerika Birleşik Devletleri’nde yılda yaklaşık 11 milyon ton plastik atık oluşmaktadır ve bu da genel katı atığın yaklaşık %11,1’ini temsil etmektedir [1]. Plastik atıklar, İstanbul’un toplam katı atığının %10’u olarak tahmin edilmektedir [2].



Şekil 1. İstanbul Büyükşehir Belediyesinde 1996-2012 dönemi için yıllık katı atık miktarı [3].

Plastik atıklar, biyolojik olarak parçalanmayan doğaları ve çeşitli toksik kimyasallar, stabilizatörler, pigmentler ve renklendiricilerden dolayı çevre kirliliğine neden olan önemli atıklardan biri olarak düşünülmektedir [4]. İnsan hayatını etkileyebilecek tehlikeli gazlar üretimine sebep olan yakma işlemi de dâhil olmak üzere plastik atıkları imha etmek için pek çok yetersiz veya uygun olmayan yöntemler uygulanmaktadır. Bu tür uygulamalar, bu materyali başka bir şekilde kullanmaya ve etkili bir geri dönüşüm sürecini geliştirmeye sebep oldu. Plastik tüketiminin artmasına paralel olarak, polietilen tereftalat (PET) içecek şişeleri ve bardakları hafiflik, kullanım ve saklama kolaylığı nedeniyle cam şişelere tercih edilmektedir [4]. Tablo 1 ABD’de atık plastik miktarını göstermektedir [5].

Effect of Waste Pet Plastic Fibers on Mechanical Properties of Repair Mortars

Plastic wastes pollute land, ground and surface water, threatening nature and life. They are usually disposed of in Turkey by burial or burning. This leads to environmental pollution. In this study, flexural and compressive strength tests were performed on prismatic specimens containing PET plastic waste at different ratios by volume. The effects of the waste PET fiber geometry and content on the mechanical properties were determined. As the PET fiber content increased, the compressive strength and compressive toughness decreased, the flexural strength did not significantly change, but the flexural toughness increased.

1) dheyaghilan@gmail.com, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir

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

(*) Türkiye Hazır Beton Birliği tarafından düzenlenen Beton İstanbul 2017 Hazır Beton Kongresi’nde sunulmuştur.

Tablo 1. ABD'de belediye katı atıklarındaki plastik türleri ve miktarı [5].

Plastik türü	Polietilen tereftalat (PET)	Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE)	Düşük yoğunluklu polietilen (LDPE)	Polipropilen (PP)	Polistiren (PS)	Diğer
Miktar (10 ³ ton)	1700	4120	5010	2580	1990	3130

Polietilen tereftalat polimerleri, yüksek basınç toleransı, kimyasal etkileşim direnci, hafiflik, yüksek esneklik vb. gibi özel fiziksel ve kimyasal özelliklere sahiptir. Bu nedenle, farklı endüstriyel amaçlar için yaygın olarak kullanılmaktadır [6]. İnşaat sektörü, doğal kaynakları tüketen en büyük alanlardan biri olduğu için, plastik atığın bu endüstride kullanılmasına yönelik alternatif çözümler araştırılmaktadır [4, 7]. Plastiğin beton içinde kullanımı, betonun mikro ve makro çatlaklarının yayılmasını önlemek veya en azından sınırlandırmak ve büzülme azaltmak yönünde yararlı etkileri vardır [8, 9, 10].

PET şişeleri, dört farklı yöntemle yapı malzemesine dönüştürülebilmektedir. İlk yöntem, atık PET şişeleri depolimerize edip doymamış polyester reçinesine dönüştürerek polimer harcı ve beton üretmektir. Bu işlem çok enerji gerektirdiğinden polimerlerin maliyeti yüksektir. İkinci yöntem, granüle plastikleri agreganın bir kısmının yerine koyarak hafif beton üretmektir. Bu yöntemde beton ve harç hacmi artmakla birlikte basınç dayanımı, çekme dayanımı ve elastisite modülü belirgin bir şekilde azalmaktadır. Üçüncü yöntem, plastiklerin ısıtma işlemi ile eritilip bir birleştirici olarak kullanılmasıdır. Bu alanda daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir. Dördüncü yöntem, plastiklerin lif olarak beton veya harcı takviye amacıyla kullanımınıdır. Büzülme ve çatlama azaltmada iyi sonuçlar verir ve az miktarda plastik atık tüketir [11, 12].

Plastik lif ve çimento matrisi arasında zayıf mekanik bir bağ oluşur. Ara yüz bağ bölgesi iç mikro çatlaklara neden olabilir. Bu olgu suya dayanıklılık özelliklerinden ve plastiklerin düşük yüzey enerjisinden dolayı çimentolu ürünlerde plastik atık kullanımının zayıf noktası olarak düşünülmektedir [4, 12].

Bu çalışmanın amacı sadece atık plastikleri harca ekleyerek geri dönüşümü için bir seçenek üretmek değil aynı zamanda harcın mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi olarak belirlendi. PET şişeler el ile belirli boyutlarda kesilerek üretilen liflerin hacimsel oranı ve uzunluğunun, harcın mekanik özelliklerine etkisi araştırıldı.

2. MALZEME VE METOT

Bu çalışmanın ana malzemesi çimento, silika dumanı, süper akışkanlaştırıcı, ince agregalar, polietilen tereftalat lifleri ve sudur. Bağlayıcı olarak, CEM II B-M (L-W) 42.5 R ve yüksek

performanslı harç davranışını sağlamak için süper akışkanlaştırıcı ile silis dumanı, agregası ve geri dönüştürülmüş polietilen tereftalat (PET) lifleri kullanıldı. Kullanılan agregası, İzmir ilinin Bornova bölgesinden elde edilen maksimum boyutu 5 mm'dir. Aynı özelliklere sahip PET şişeler 5 mm × 15 mm ve 5 mm × 10 mm boyutlarında dikdörtgen şeritler hâline getirilerek PET lifleri elde edildi. Liflerin kesme işlemleri Şekil 2'de görülmektedir.

Kullanılan malzemelerin yoğunlukları Tablo 2'de verildi. PET liflerin yoğunluğu ASTM (D1895-96)'e uygun olarak belirlendi.

Tablo 2. Malzeme yoğunlukları

Malzeme	Çimento	Silis Dumanı	Süper-akışkanlaştırıcı	İnce agregası	PET
Yoğunluk (Mg/m ³)	2,98	2,3	1,09	2,7	1,34



Şekil 2. PET şişe kesme ve lif oluşturma işlemleri

Tasarım karışım oranları (TS 802-2009) uyarınca tasarlandı. Su/bağlayıcı oranı 0,37, hava içeriği %2,2, akışkanlaştırıcı su kesme oranı %10, silis dumanı oranı %10, akışkanlaştırıcı dozajı %1 alındı. Tablo 3'te gösterildiği gibi PET liflerinin hacimsel ilave katılım oranına göre isimlendirildi (Tablo 3). Her karışım için üçer adet 40 mm × 40 mm × 160 mm boyutlarında numune kullanıldı (Şekil 3).

Tablo 3. PET içeren numunelerin isimlendirilmesi.

Ad (5 mm ×15 mm lifler)	PET1	PET2	PET3	PET4	PET5	PET6
PET oranı (%)	0,2	0,5	0,8	1,0	1,5	2,0
Ad (5 mm ×10 mm lifler)	PET7	PET8	PET9	PET10	PET11	PET12
PET oranı (%)	0,2	0,5	0,8	1,0	1,5	2,0

Her numune bir gün boyunca kalıpta bekletildi. Sonra 28 gün 20 °C sıcaklıkta su içerisinde bırakıldı. Daha sonra 7 gün 25 derecede laboratuvar koşullarında bekletildi.

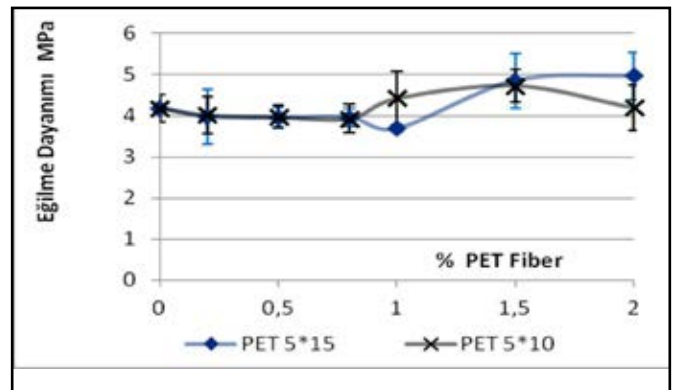
**Şekil 3.** Dökülen karışımlar.

Basınç ve eğilme deneyleri ASTM C78/C78M-15a ve C349-14'e göre yapıldı. İlk olarak, maksimum yükleme kapasitesi 300 kN olan deney cihazı ile üç nokta eğme yükleme deneyi yapıldı (Şekil 4). Yükleme hızı 0,2 mm/dk. değerine ayarlandı ve numunelerin orta nokta sehimini 2 mm olduğunda deneye son verildi. Her karışım için üç numunenin ortalama değerleri alındı. Daha sonra, eğilme deneyinde elde edilen prizma parçaları üzerinde basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirildi (Şekil 5 ve 6). Yükleme hızı 0,5 mm/min olarak alındı, yük, ulaşılan maksimum yükün %10'una düştüğünde deney durduruldu.

**Şekil 4.** Üç noktalı eğilme deneyi**Şekil 5.** Basınç deneyi.

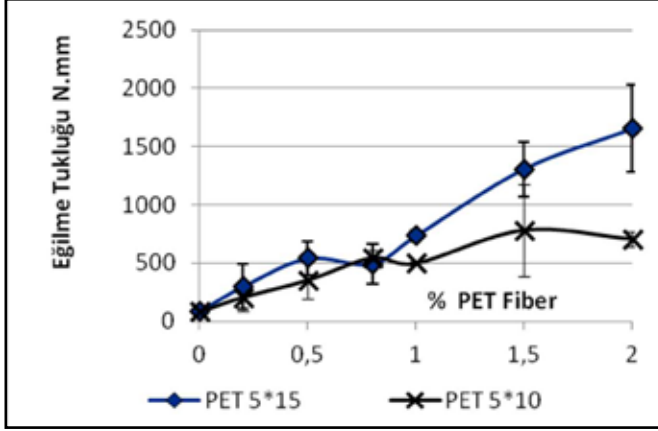
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Şekil 6, PET içeriğine bağlı olarak karışımların eğilme dayanımı değerlerini göstermektedir. Numunelerin eğilme dayanımında fark edilebilir bir değişiklik gözlenmedi. 5 mm ×10 mm PET liflerinin %0,8 ile %2,0 katkı oranı arasında küçük bir artış görülse de bu etki, 5 mm ×15 mm boyutlu lif içeren örneklerde %1,0 ve daha büyük katkı oranlarında görüldü.

**Şekil 6.** Eğilme Dayanımı (MPa)-lif hacimsel oranı

Bu çalışmada tokluk yük-sehim eğrisinin 2 mm orta nokta sehimine kadar olan bölümünün altında kalan alan olarak hesaplandı. Şekil 7, karışımların eğilme tokluğunu göstermektedir.

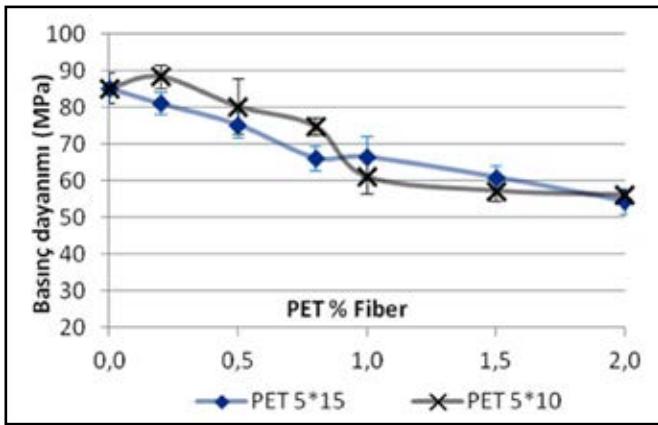
Katılmış PET lif yüzdesi arttıkça, eğilme tokluğu artmaktadır. 5 mm × 15 mm kırık lif katılmış karışımların tokluğundaki artış 5 mm×10 mm boyutlularinkinden daha belirgindir. Bu artış, PET liflerin çatlakları köprüleme etkisiyle açıklanabilir.



Şekil 7. Eğilme Tokluğu (N.mm)-lif hacimsel oranı

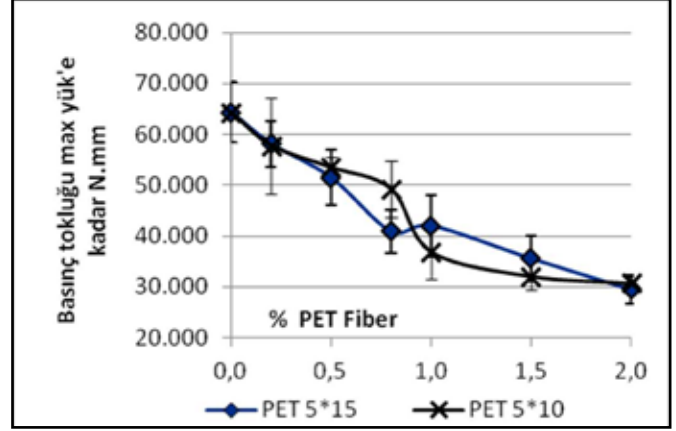
Eğilme deneyinde, PET içermeyen referans numune gevrek davranış gösterdi ve iki parçaya ayrıldı. PET lifleri içeren numuneler ise sünek olduğu için enerji yuttu. Lif oranı arttıkça örneklerin daha fazla süneklik gösterdiği gözlemlendi. Aynı zamanda, ilerleyen çatlak, uygulanan yükle orantılı bir şekilde yayıldı.

Şekil 8, karışımların basınç dayanımı değerlerini göstermektedir. PET lif oranı arttıkça, basınç dayanımı azalmıştır. Basınç dayanımdaki bu azalma, lifin harc içerisinde zayıf faz olarak davranmasıyla açıklanabilir.



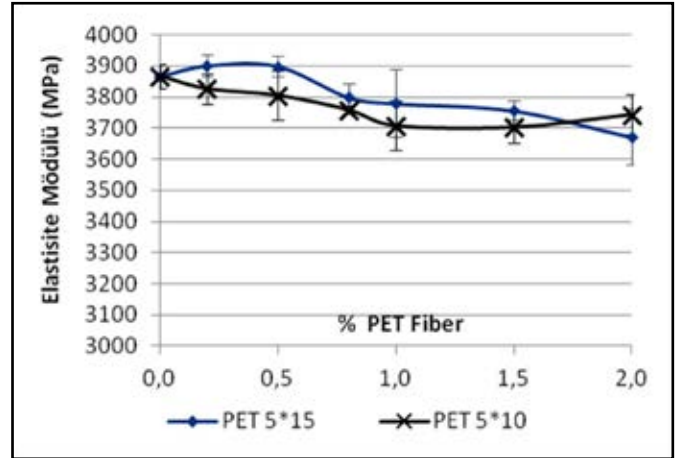
Şekil 8. Basınç dayanımı-lif hacimsel oranı

Basınç tokluğu, yük-deplasman eğrisi altındaki alan olarak tarif edilebilir. Basınç tokluğu elde edilen maksimum yüke kadar alındı. Sonuçlar basınç dayanımıyla aynı değişimi gösterdi. Şekil 9'da PET liflerinin artmasıyla basınç tokluğunun azaldığı gösterilmektedir. Bu durum, 5x10 mm ve 5x15 mm boyutlarında PET lifleri içeren her iki karışım için de geçerlidir.



Şekil 9. Basınç tokluğu-lif hacimsel oranı

5x15 mm lifleri içeren karışımların elastisite modülü değeri 5x10 mm lif içeren karışımların elastisite modülü değerinden biraz daha yüksektir (bakınız Şekil 10) ancak, 5x10 mm %2 lif oranı içeren karışımın elastisite modülü değeri 5x15 mm %2 lif oranı karışımından daha yüksektir. Lif oranının artmasıyla elastisite modülünde önemli bir değişim gözlenmedi.



Şekil 10. Elastisite Modülü (MPa)-lif hacimsel oranı

4. Sonuç

Bu laboratuvar çalışmasında kırılmış PET şişelerin 5 mm×15 mm ve 5 mm×10 mm liflerinin harc içerisine katılmasıyla mekanik özelliklerinde oluşan değişimler aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

Karışımlardaki atık PET liflerinin hacimsel oranı arttıkça basınç dayanımı ve basınç kırılma enerjisi değerlerinde azalma gözlemlendi. Atık plastik lifler çimento harcı içinde zayıf alanlar oluşturup, çatlak başlangıcını ve ilerlemesini kolaylaştırarak basınç dayanımını düşürmektedir.

Atık plastik lif hacimsel içeriği arttıkça, eğilme dayanımında

önemli bir değişim olmadı fakat eğilme tokluğunda büyük artışlar oldu; harcın sünekliği önemli ölçüde arttı. 5 mm × 15 mm atık PET içeren harcın eğilme tokluğu %1600 oranında arttı. 5 mm × 10 mm atık PET içeren harcın eğilme tokluğu %600 oranında arttı.

5 mm × 15 mm PET lifli harçların, 5 mm × 10 mm PET lifli harçlara göre eğilme toklukları daha yüksek bulundu.

Tamir harçları başta olmak üzere, atık kırılmış PET lif katkılı harçlar, amaca uygun dayanım ve yüksek süneklik düzeyleri ile kullanım alanları bulabilir. Plastik atıkların ekonomiye geri kazandırılması, çevre kirliliğinin önlenmesi ve yapı maliyetini fazla arttırmadan başarımı arttırmada yardımcı olur.

Teşekkürler

Karışım malzemeleri, Batıçim, Batıbeton, Basf ve Sika şirketlerinden sağlandı. Bu araştırma projesini destekledikleri için, şükranlarımızı ifade ederiz. Laboratuvardaki büyük yardımı için Cihan Karademir'e ve Erman Demircilioğlu'na teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Ernst, T., Popp, R., Eldik, R.V., "Quantification of Heavy Metals for the Recycling of Waste Plastic from Electrotechnical Applications", Talanta, No. 53, pp. 347-357, 2000.
- ENVEST Planners konsorsiyumu, "Çanakale katı Atık Yönetim Projesi Fizibilite Raporu", T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Yüksek Maliyetli Çevre Yatırımlarının Planlanması için Teknik Yardım Projesi - EHCIP, 2005.
- Öztürk, İ., Arıkan, O., Altınbaş, M., Alp, K., Güven, H., "Katı Atık Geri Dönüşüm ve Arıtma Teknolojileri", Türkiye Belediyeler Birliği, Korza Yayıncılık Basın San. ve Tic. A.Ş., 2015.
- Siddique, R., Khatib, J., Kaur, I., "Use of Recycled Plastic in Concrete: A Review". Waste Management, No. 28, pp. 1835-1852, 2008.
- Subramanian, P.M., "Plastics Recycling and Waste Management in the US", Resource, Conservation and Recycling, No. 28, pp. 253-263, 2000.
- Azhdarpour, A.M., Nikoudel, M.R., Taheri, M., "The effect of Using Polyethylene Terephthalate Particles on Physical and Strength-related Properties of Concrete; a Laboratory Evaluation", Construction and Building Materials, No. 109, pp. 55-62, 2016.
- Saikia, N., de Brito, J., "Mechanical Properties and Abrasion Behaviour of Concrete Containing Shredded PET Bottle Waste as a Partial Substitution of Natural Aggregate", Construction and Building Materials, No. 52, pp. 236-244, 2014.

8. Choi, Y.W., Moon, D.J., Kim, Y.J., Lachemi, M., "Characteristics of Mortar and Concrete Containing Fine Aggregate Manufactured from Recycled Waste Polyethylene Terephthalate Bottles", Construction and Building Materials, No. 23, pp. 2829-283, 2009.

9. Choi, Y.W., Moon, D.J., Chung, J.S., Cho, S.K., "Effects of Waste PET Bottles Aggregate on the Properties of Concrete", Cement and Concrete Research, No. 35, pp. 776-781, 2005.

10. Foti, D. "Preliminary Analysis of Concrete Reinforced with Waste Bottles PET Fibers", Construction and Building Materials, No. 25, pp. 1906-1915, 2011.

11. Saikia, N., de Brito, J., "Use of Plastic Waste as Aggregate in Cement Mortar and Concrete Preparation: A Review", Construction and Building Materials, No. 34, pp. 385-401, 2012.

12. Ge, Z., Sun, R., Zhang, K., Gao, Z., Li, P., "Physical and Mechanical Properties of Mortar Using Waste Polyethylene Terephthalate Bottles", Construction and Building Materials, No. 44, pp. 81-86, 2013.

13. Neno, C., de Brito, J., Veiga, R., "Using Fine Recycled Concrete Aggregate for Mortar Production", Materials Research, No. 17, pp. 168-177, 2014.

14. Karaman, S., Şahin, S., Özüng İ., "Usability of Recycled Plastic Wastes for Particle Board Production as Construction Material", GOÜ. Ziraat Fakültesi Dergisi, No. 23, pp. 57-60, 2006.