

Çimento-Pet Kompozitlerin Isıl ve Mekanik Özellikleri

Filiz Kar, Ayşe Bicer*

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Elazığ
*abicer@firat.edu.tr

(Geliş/Received:26.01.2018; Kabul/Accepted:17.08.2018)

Özet

Bu çalışma da atık PET (Polietilen tereftalat) ile bağlayıcı olarak çimentodan oluşan iki bileşenli malzemelerin bazı fiziksel özellikleri araştırılmıştır. Atık PET şişeleri toplanarak parçalanmış ve ağırlıkça %5, 10, 15 ve %20 oranlarında çimento ile karıştırılarak 4 farklı numune üretilmiştir. Numunelere uygulanan testler sonucu, PET katılım oranına bağlı olarak sırasıyla yoğunluk, ısı iletim katsayısı ve basma gerilmesi %21.12, %34.30 ve %39.26 küçülmüştür. Üretilen numunelerde, su emme oranı kritik değeri olan % 30 dan küçük çıkması nedeniyle donma riski bulunmamaktadır. Bu çalışma ile numunelerin belirlenen fiziksel özellikleri ile birlikte, kanal açma ve boya tutma özellikleri mevcuttur. Bu malzemelerin kullanılması halinde; *i*) atık PET değerlendirilerek çevreyi kirletmesi önlenecek ve ekonomiye yeniden kazandırılacak, *ii*) ısı ve sese karşı bina dış beton duvar, tuğla, briket, şeklinde kullanılması ile enerji tasarrufu sağlanacaktır.

Anahtar Kelimeler: Atık PET, geri dönüşüm, çimento, hafif betonlar, yapı malzemeleri

Thermal and Mechanical Properties of Cement-Pet Composites

Abstract

In this study, some physical properties of two-component materials made of waste PET (Polyethylene terephthalate) and cement as a binder were investigated. Waste PET bottles were collected and shredded and mixed with cement in 5%, 10%, 15%, and 20% percentages by weight and 4 separate samples were produced. As a result of the tests performed on the samples, density, thermal conductivity coefficient, and compressive stress decreased 21.12%, 34.30%, and 39.26% respectively depending on the PET mixing percentage. There was no freezing risk since the water absorption ratio was lower than the critical value of 30% in the produced samples. In this study, in addition to the determined physical properties of the samples, there are canalization and paint adherence properties. In case these materials are used; *i*) waste PET will be benefited and environmental pollution will be prevented and they will recontribute to economy, *ii*) energy savings will be achieved in case they are used as concrete building exterior walls, clinkers, and briquettes against heat and sound.

Keywords: Waste PET, recycling, cement, light concretes, building materials

1. Giriş

Artan sanayileşme, kentleşme ve teknolojik gelişmeler doğal kaynakların tükenmesi ve çevre kirliliği problemlerinin artmasına neden olmuştur. Bu nedenle, atıkların değerlendirilmesi veya hacminin azaltılması büyük önem taşır. Dünyadaki plastik üretiminin %18 PET (Polietilen tereftalat) oluşturur. Gündelik hayatta en çok karşılaştığımız plastiktir. PET atıklar, kaynaklarına göre proses atıkları ve kullanım sonrası atıklar olarak iki sınıfta gruplandırılabilir [1]. Kullanım sonrası atıkların başında gelen PET şişeler özellikle içecek sektöründe yaygın olarak kullanılmakta olup, geri kazanım alanları hızla gelişmektedir. Türkiye’de

yıllık 165 bin ton pet şişe üretilmektedir. Ancak bu şişelerin sadece 40 bin tonu geri dönüştürülmektedir. Her yıl doğaya karışan 125 bin ton pet şişenin maddi değeri 70 milyon dolardır. PET geri kazanım oranının ülkelere göre dağılımı ise; Çin %70 – 85, ABD %23, Japonya % 64, AB %35, Diğer ülkeler %20-40 [2].

İlk PET geri dönüşüm projesi 1976 yılında St. Jude Polymers adında bir şirket tarafından başlatılmıştır. General Electric ve Mac Polymers son yıllarda %50-60 atık PET’den otomobil tamponları, otomobil tekerlek kapakları ve rüzgârlıklar üretmiştir [3]. Dünyadaki atık PET miktarları arttıkça bu artışa paralel olarak geri dönüşüm çalışmaları da hızlanmıştır. PET’in geri dönüşümü ile ilgili gerek yurt içi ve gerekse yurt

dışı birçok çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda özetle verilmiştir.

Rebeiz ve arkadaşları, (1994) geri dönüşümlü PET'ten üretilmiş polyester takviyeli betonların bükülgenlik özelliklerini araştırmıştır[4]. Anabal, (2007) çalışmasında, PET atıkların geri dönüşümünde istenmeyen madde PVC'nin ayrılma teknikleri irdeleyerek, elektrostatik yöntemle PET ve PVC ayrılmasına çalışmıştır [5]. Hon ve Buhion (1994) Kompozit malzemelerde, çeşitli karışım oranlarında PET ve HDPE (Yüksek yoğunluklu polietilen)'nin işlenebilirliğini araştırmışlardır. Mekanik özelliklerinin, maksimum yüklemeye gerilmelerinin ve elastikiyet modülünün istatistiksel olarak analizini yapmışlardır [6]. Hassani ve arkadaşları, (2005) çalışmasında agrega yerine asfalt beton karışımında PET atıkları kullanılarak PET'in çevreye olan olumsuz etkilerinin azaltılabileceği göstermişlerdir [7]. Abbasi ve Mojtahedi (2004) şişeden üretilen filament ipliklerin yapısal ve fiziksel özelliklerinin eğirme hızına etkisini incelemişlerdir [8]. Kawamura ve arkadaşları, (2002) atık PET'ten kaplama reçinesi yapmayı çalışmışlardır [9].

Hafif beton üretiminde, geleneksel agrega yerine farklı malzeme kullanımı ile ilgili de birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların bazıları; uçucu küllerle ilgili [10-12], geliştirilmiş polistiren (EPS) [13], bims [14], geliştirilmiş kil [15], atık lastik parçaları [16], odun parçaları [17], geliştirilmiş perlit [18] örnek olarak verilebilir.

Bu çalışmada çimento ve parçalanmış PET ile birlikte, ikili karışımlı kompozit malzemelerin ısıl ve mekanik özellikleri belirlenerek bunların potansiyel bir yapı malzemesi olarak değerlendirilmesi araştırılmıştır.

2. Malzeme ve Ölçme Yöntemleri

2.1. Malzemeler

Deneysel çalışma için numunelerin üretilmesinde PET şişe atıkları ile bağlayıcı olarak serbest piyasadan temin edilen KPÇ 325 portland çimentosu kullanılmıştır.

PET: Polyester fiberler, film, elyaf, şişe gibi malzemelerin yapımında kullanılan polimer türü olup, maksimum kullanılabilir sıcaklığı 60° C'dir.

PET, açık veya hafif renkli, yarısaydam, suda yüzebilir fakat köpük yapılamaz, sert darbeye karşı dayanıklı, 250° C gibi yüksek erime sıcaklığına sahip bir plastiktir. Asitlerden etkilenmez ve alkalilere karşı biraz duyarlıdır. Deneysel olarak kullanılan PET parçaları Şekil 1'de gösterilmiştir. PET'in bazı fiziksel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Atık PET şişeleri toplanarak 2-4 cm eninde 5-8 cm boylarında, parçalanarak, ağırlıkça %5, 10, 15 ve %20 oranlarında çimento ile karıştırılmış ve 4 farklı numune üretilmiştir.



Şekil 1. Parçalanmış PET görünümü

Tablo 1. PET'in fiziksel ve kimyasal özellikleri

Özellik	Değer
Molekül ağırlığı	192 (g/mol)
Yoğunluk	1.37(g cm ⁻³)
Camsı geçiş sıcaklığı	69-115 °C
Erime sıcaklığı	265 °C
Su absorpsiyonu	0.5 (%)

Çimento: Deneysel olarak, KPÇ325 portland çimentosu kullanılmış olup bileşenleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. KPÇ325 çimento bileşenleri

Bileşenler	Oranlar
SiO ₂	18.65
Al ₂ O ₃	6.15
Fe ₂ O ₃	3.25
CaO	57.71
MgO	2.34
SO ₃	2.91
K ₂ O	0.7
Kızdırma kaybı	2.84
Tespit edilemeyen	6.08
Toplam	100.03

2.2. Örneklerin hazırlanması

Isıl testler de kullanılacak numunelerin

dökümü için kalıplar, ölçme aletinin prob ölçülerine uygun olarak 20x60x150 mm ve mekanik testlerde kullanılacak numunelerin dökümü için 100x100x100 mm ebatlarında hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımlara harç kıvamına gelinceye kadar su ilave edilmiştir. Harçlar yeteri kadar karıştırıldıktan sonra oda sıcaklığında (20° C) kalıplara dökülmüştür. Bu kalıplar titreşime tabi tutulduktan sonra üst yüzeyler sıvanarak kurumaya bırakılmıştır. Numuneler 48 saat kalıp içerisinde bekletildikten sonra çıkarılarak oda sıcaklığında 28 günlük standart kuruma dönemine bırakılmıştır. Kuruma dönemi sonunda numuneler ambalajlanarak ölçüm anına kadar muhafaza edilmiştir.

2.3. Ölçme yöntemleri

2.3.1. Isıl iletkenlik

Geçici rejimde ölçme yapan ve sıcak tel (Hot Wire) yöntemi ile çalışan “Isomet 2104” marka cihazı ile ölçümler yapılmıştır. DIN 51046 normuna göre ölçüm yapan bu cihazla, Isı iletim katsayısı, 22-25° C oda sıcaklığında ve her numune üzerinde 5 farklı noktadan ölçümler yapılmış ve bu ölçümlerden birbirine uyumlu olan 3 değer aritmetik ortalamaları alınmıştır. Cihaz ısı iletim katsayısını 0.02-6 W/mK aralığında %5 hassasiyetle vermektedir. Sonuçlar Tablo 3’de topluca verilmiştir.

2.3.2. Basınç ve çekme deneyi

Numunelere uygulanan basınç dayanımı deneyleri, Ele International marka, 3000 kN yükleme kapasiteli, dijital kumanda panelli, yükleme hızı ayarlanabilen ve tek eksende kuvvet uygulayabilen cihazla yapılmıştır. Basınç dayanımı sonuçları, TS 500’ e göre aşağıdaki (1) bağıntısıyla çekme dayanımına dönüştürülmüştür.

$$f_{ctk} = 0.35\sqrt{f_{ck}} \quad (1)$$

Burada, f_{ck} =Basınç dayanımı (MPa) ve f_{ctk} =Çekme dayanımı (MPa) dır.

2.3.3. Su emme deneyi

Bu deneyin amacı, su ile direkt temasta kalan yapı malzemelerinin donma sürecinde, bünyesinde teşekkül eden buz kristallerinin genişleme imkanı bulabileceği bir kuru hacmin varlığının araştırılmasıdır. Bu özellik malzemede donmaya karşı güvence sağlamaktadır. Her numunenin kuru ağırlığı (W_k) tespit edilmiştir. Daha sonra numunelerin bulunduğu bir su kabında su seviyesi kademeli olarak yükseltilmiş ve numunelerin tamamı su içinde kalacak şekilde kaba su ilave edilmiştir. Numuneler 48 saat su içinde bekletildikten sonra sudan çıkarılıp silinerek, su emdirilmiş ağırlıkları (W_d) bulunmuş ve (2) bağıntısı ile su emme oranı hesaplanmıştır.

$$\text{Su emme oranı} = \frac{W_d - W_k}{W_k} \cdot 100 \quad (2)$$

2.3.5. Yoğunluk testi

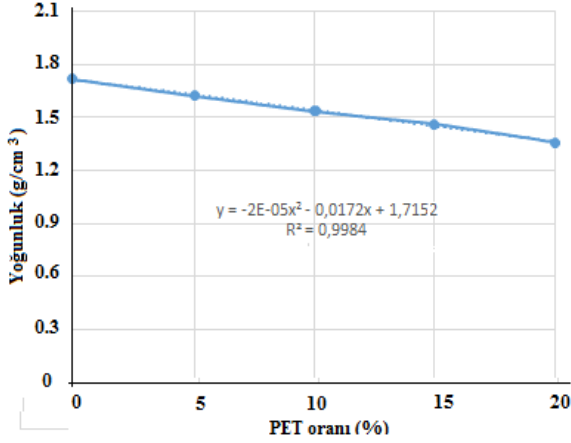
Numunelerin kuru ağırlıkları %1 hassasiyetle ölçme yapan terazide tartılarak belirlenmiş, numune hacimleri ise numune ölçüleri ile hesaplanmıştır. Bu iki parametre ile yoğunluklar hesaplanarak Tablo 3’de topluca verilmiştir.

3. Ölçme Sonuçları ve Tartışma

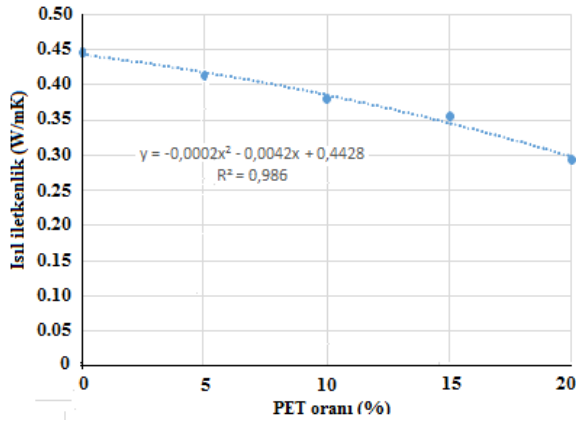
Hazırlanan numunelere uygulanan testler sonucu;

Numunelerde, PET oranı ağırlıkça %0 dan %20 kadar artarken, çimento oranı azalmış ve yoğunlukları %21.12 oranla 1.718 den 1.355 g/cm³ kadar küçülmüştür. Bu küçülme, bileşenlerden PET yoğunluğunun küçük olmasından (1.37 g/cm³) kaynaklanmaktadır (Şekil 2).

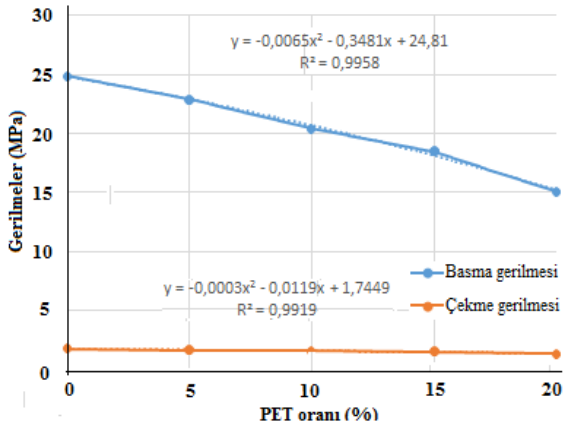
Numunelerde PET oranı arttıkça ısı iletkenlik değerleri ise 0.446 W/mK den 0.293 W/mK kadar küçülmüştür (Şekil 3). Isıl iletkenlik değerindeki %34.30 değişim oranı, PET in ısı iletim katsayısının 0.19-0.21 W/mK gibi küçük değerde oluşundandır. Tablo 4’ den, ısı iletim katsayısı değerleri kaynak [15] ve [17] den büyük çıkarken, örnek (4) ve (5) kaynak [13] ve [16] den küçük çıkmıştır.



Şekil 2. PET oranına göre numunelerin yoğunluk değişimi



Şekil 3. PET oranına göre numunelerin ısı iletkenlik değişimi

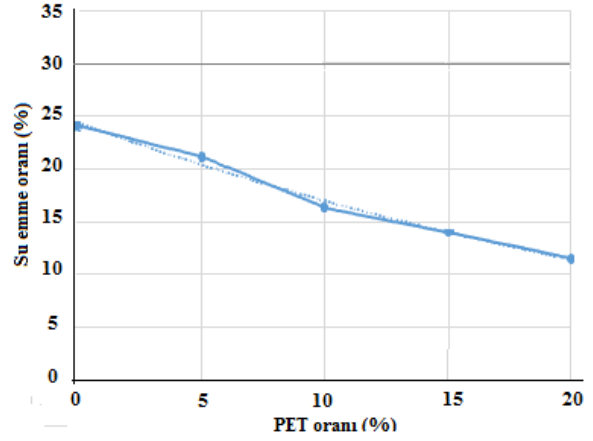


Şekil 4. PET oranına göre numunelerin basma ve çekme gerilmeleri değişimi

Mekanik dayanımların değerlendirilmesi ile, PET oranı arttıkça basma ve çekme gerilmeleri sırasıyla 24.86 den 15.10 MPa ve 1.75 dan 1.36 MPa küçülmüştür (Şekil 4). Bu küçülmeler

PET'in geleneksel agregalar gibi çimento ile piriz tutamamasından kaynaklanmaktadır. Tablo 4' den, basınç gerilmesi değerleri kaynak 13, 14, 15 ve 17' den büyük çıkmıştır.

Numunelerin su emme oranları kritik değer 30% altında çıkmıştır (Şekil 5). Bu nedenle 0° C altındaki sıcaklıklarda numunelerin donma riski bulunmamaktadır.



Şekil 5. PET oranına göre numunelerin su emme oranı değişimi

4. Sonuçlar

PET ve çimento kullanılarak üretilen malzemelerin değerlendirilmesi ile ilgili yapılan bu çalışmada, 5 farklı numune üzerinde uygulanan testler sonucu aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

✓ Günümüzde PET atıklar bir taraftan çevre kirliliğine neden olurken diğer taraftan ekonomiye olumsuz etki eder. Bu çalışma ile soruna bir çözüm olarak, atık PET'lerin yeniden değerlendirilmesi konusunda farklı bir uygulama alanı önerilmiştir.

✓ Numuneler geleneksel beton, kaba sıva ve tuğla gibi yapı malzemelere göre daha küçük ısı iletkenlik katsayılarına sahip ve düzgün yüzey verecek şekilde hazırlanmıştır. Bu malzemelerin, ısı ve sese karşı bina dış beton perde duvar ve kaba sıva, tuğla, briket, şeklinde kullanılması ile enerji tasarrufu sağlanacaktır.

✓ Numunelerde su emme oranları, kritik değer (30%) altında çıkmıştır. Bu tür malzemeler gibi su ile direkt ilişkili yerlerde donma riski olmaksızın kullanılabilir durumdadır.

✓ Isı su yalıtımı söz konusu olduğu zaman malzemedeki PET oranının fazla, dayanıklılığın

önemli olduğu yerlerde ise PET oranının küçük olacak şekilde karışım ayarlanmalıdır.

Sonuç olarak bu çalışma ile, çimento+PET gibi iki bileşenli malzemelerin potansiyel bir yapı malzemesi olarak değerlendirilmesi önerilmiştir.

Tablo 3. Numunelerin ısı ve mekanik özellikleri

Kod	PET oranı (%)	Yoğunluk (g/cm ³)	Isıl iletkenlik (W/m K)	Basma gerilmesi (MPa)	Çekme gerilmesi (MPa)	Su emme oranı (%)
1	0	1.718	0.446	24.86	1.75	24.09
2	5	1.624	0.413	22.90	1.67	21.17
3	10	1.558	0.381	20.40	1.58	16.39
4	15	1.461	0.356	18.50	1.51	14.07
5	20	1.355	0.293	15.10	1.36	11.50

Tablo 4. Bazı benzer çalışmaların özellikleri

Malzemeler	Yoğunluk (g/cm ³)	Isıl iletkenlik (W/m K)	Basma gerilmesi (MPa)	Kaynak
EPS (20%) + çimento (%80)	1.567	0.390	16.87	[13]
çimento + bims + EPS	0.562	0.330	2.99	[14]
çimento+gen. kil (%5)+(%1) kitle	1.183	0.213	5.46	[15]
çimento+gen.kil(%10)+(%1) kitle	1.056	0.189	2.07	
çimento+gen.kil(%20)+(%1) kitle	0.867	0.182	1.48	
çimento + lastik parçası (%30)	1.010	0.220	2.67	[16]
çimento+kil+ahşap parçası (%20)	0.870	0.160	2.35	[17]
çimento+kil+ahşap parçası (%20)	0.870	0.160	2.35	çalışma
Örnek 1 (PET %0+çimento)	1.718	0.446	24.86	
Örnek 2 (PET %5+çimento)	1.624	0.413	22.90	
Örnek 3 (PET %10+çimento)	1.558	0.381	20.40	
Örnek 4 (PET %15+çimento)	1.461	0.356	18.50	
Örnek 5 (PET %20+çimento)	1.355	0.293	15.10	

5. Kaynaklar

1. Tayyar, A.E., Üstün, S. (2010). Geri kazanılmış Pet'in kullanımı. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* **16**: 53-62.
2. Sevencan, F., Vaizoğlu, S. (2007). Pet ve geri dönüşümü. *TSK Koruyucu Hekim Bül.* **6(4)**: 307-312
3. Iyım, T.B., Orbay, M. (2015). Usage of the waste Pet as filler in phenolic resins molds. *Research on Chemical Intermediates* **41**: 163-16
4. Rebeiz, K.S. and Fowle, D.W. (1994). Flexural properties of reinforced polyester concrete made with recycled Pet. *Journal of Reinforced Plastics and Composites* **13**: 895-904
5. Anabal, F.Y. (2007). FET atıkların endüstride değerlendirilmesi. Gazi Üniversitesi, FBE Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
6. Hon, D.N.S. and Buhion, C.J. (1994). Processability and compatibility of polyethylene terephthalate and high-density polyethylene from post-consumer wastes. *Journal of Thermoplastic Composite Materials* **7**: 4-13.
7. Hassania, A., Ganjidoust, H. and Maghanaki, A. (2005). Use of p-plastic waste in asphalt concrete mixture as aggregate replacement. *Waste Management and Research* **23**: 322-327
8. Abbasi, M. and Mojtahedi, M. R. M. (2004). Effect of spinning speed on the structure and physical properties of filament yarns produced from used Pet bottles. *3rd International Conference of Czechoslovakia*
9. Kawamura, C., Ito, K., Nishida, R., Yoshihara, I., and Numa, N. (2002). Coating resin synthesized from recycled Pet. *Progress in Organic Coatings* **45**: 185-191.
10. Yildirim, S., Biçer, Y., Yıldız, C. (1996). Utilization of the fly ash and polypropylene wastes in the production of a new material. *Journal of Porous Materials* **3**: 189-191.
11. Bicer, A., Celik, N., Bicer, Y. (2010). Mechanical and thermal properties concretes with rice husk and

- its ash. *10th International Conference on Clean Energy*, (ICCE-2010), 15-17 September, Famagusta, N. Cyprus.
12. Dan, R. (2004). Properties of fresh concrete incorporating a high volume of fly ash as partial fine sand replacement. *Materials and Structures* **30**: 473-479.
 13. Kaya, A., Kar, F. (2016). Properties of concrete containing waste expanded polystyrene and natural resin. *Construction and Building Materials* **105**: 572-578
 14. Sariisik, A., Sariisik, G. (2002). New production process for insulation blocks composed of Eps and lightweight concrete containing pumice aggregate. *Materials and Structures* **45(9)**: 1345-1357.
 15. Devecioglu, A.G., Bicer, Y. (2016). The effects of tragacanth addition on the thermal and mechanical properties of light weight concretes mixed with expanded clay. *Period. Polytech. Civil Eng.* 60(1): 45-50
 16. Benazzouk A., Douzane O., Mezreb K., Laidoudi B., Queneudec, M. (2008). Thermal conductivity of cement composites containing rubber waste particles. Experimental study and modelling. *Construction and Building Materials* **22**: 573-579.
 17. Rim, A., Ledhem, K., Douzane, A., Dheilily, O., Queneude RM. (1996). Influence of the proportion of wood on the thermal and mechanical performances of clay-cement-wood composites. *Cement and Concrete Composites* **21**: 269-276.
 18. Sengul, O. (2011). Effect of expanded perlite on the mechanical properties and thermal conductivity of lightweight concrete. *Energy Building* **43(2-3)**: 671-676.
 19. ASTM C (1985). 618-685.
 20. TS 500. *Turkish Standard 2000* Ankara.