

BETONDA FİBER KATKI OLARAK POLİETİLEN TEREFTALATIN KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Cengiz ÖZEL*, Mümin FİLİZ, Arzu SEVİNÇ, Canan KIRAN

Özet

Gelişen yapı sektörü ve teknoloji ile beraber betondan beklenen ihtiyaçlar her geçen gün artmaktadır. Bu ihtiyaçlar beton içinde katkı maddelerin kullanılmasıyla karşılanmaya çalışılmaktadır. Yine endüstriyel atıklar oluşturduğu çevre kirliliğinin yanı sıra, bunların imhası ve geri dönüşümü de çeşitli mali ve teknolojik problemlere neden olmaktadır. Bu endüstriyel atıkların inşaat sektöründe kullanılması, atıkların güvenli bir şekilde yok edilmesinin yanında hammadde elde etmek için çevreye verilen zararların azaltılmasını da sağlamaktadır.

Bu çalışmada sabit su/çimento oranında (0.55) ve iki farklı çimento tipi (CEM II/B-M (P-LL) 32.5 N ve CEM I 42.5 R) kullanılarak hazırlanmış karışımlarda polipropilen fiberlere (PPF) alternatif olarak endüstriyel atık olan polietilen tereftalat'ların (PET) betonda kullanılabilirliği araştırılmıştır. Üretilen betonlarda, agrega yerine farklı oranlarda kullanılan PET'lerin betonun taze ve sertleşmiş özellikleri üzerindeki etkileri PPF'li betonlarla karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre PET kullanım miktarına bağlı olarak betonun mekanik ve fiziksel performansını düşürdüğü, fakat piyasada kullanılan PPF'lere göre alternatif olarak kullanılabilceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Beton, polietilen tereftalat, polipropilen fiber, mekanik ve fiziksel özellikler

INVESTIGATION OF USABILITY OF POLYETHYLENE TEREPHTHALATE AS FIBER ADMIXTURES IN CONCRETE

Abstract

The expected needs from concrete with the developing construction sector and technology are increasing every day. These needs are eliminated by the use of admixtures materials in the concrete. Their disposal and recycling as well as environmental pollution created by industrial wastes are causing to various financial and technological problems. The utilization of industrial waste in the construction sector, alongside the destruction of wastes in a safe way it can be reduces of damages to the environment to get raw materials.

In this study, a constant water/cement ratio (0.55) and in two different cement types (CEM II / BM (P-LL) 32.5 N and CEM I 42.5 R) was prepared mixtures. Usability of polyethylene terephthalate (PET), which is industrial waste, as alternative to polypropylene fibers in the mixtures was investigated. Effects on fresh and hardened properties of PET used at the different proportions instead of aggregates in concrete were investigated as comparison with concretes of polypropylene fibers.

According to the obtained experimental results, the fresh and hardened properties of concrete as depending on the amount of PET and using polypropylene fibers are reducing. However, it can be used as alternative to polypropylene fibers in concrete.

Keywords: Concrete, polyethylene terephthalate, polypropylene fiber, mechanical and physical properties

* Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, 32260 Isparta/ TÜRKİYE, E-posta: cozel@tef.sdu.edu.tr

1. Giriş

Beton günümüzde en yaygın kullanılan yapı malzemesidir. Günümüz katkı sektöründeki ilerlemeye paralel olarak beton sektöründe de büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. Artık yüksek dayanımlı betonlar, bu katkıların kullanılmasıyla çok daha kolay imal edilebilmektedir.

Betonun mutlak hacminin yaklaşık %70 oranında agrega (kum, çakıl, mıcır) , %10 oranında çimento, %20 oranında su oluşturur. Gerekliğinde, çimento ağırlığının oranı olarak veya agrega hacminin azaltılmasıyla katkı malzemeleri betona ilave edilebilir. Betonda kullanılan katkılar; kimyasal (akışkanlaştırıcı, priz geciktirici, geçirimsizlik sağlayıcı, antifriz vb.), mineral (silis dumanı, taş unu, tras, yüksek fırın cürufu, uçucu kül vb.) ve fiber (çelik, PPF, cam lifi vb.) katkıları olarak gruplandırılmaktadır (Akman, 1987; Baradan, 1998; Erdoğan, 2003).

Gelişen teknolojiye paralel olarak, sanayi sektöründe hammaddelerin ortaya çıkarılması veya işlenmesi sırasında (üretim) ve/veya bu ürünlerin tüketimi sonrası açığa çıkan atıklar çevre kirliliği açısından büyük tehlikeler oluşturmaktadır. Atık maddelerin geri dönüştürülmesi ile ilgili birçok çalışma yapılmaktadır. Geri dönüştürme işlemleri ayrıca bir yatırım gerektirdiği gibi malzemelerin tamamı da geri dönüştürülemezdir. Atık malzemelerden en büyük faydayı sağlamak için çeşitli sektörlerde kullanılabilirliği son yıllarda üzerinde yoğun bir şekilde çalışılan konulardandır. Beton ve yapı malzemesi sektöründe de çevre kirliliğine neden olan birçok atık maddenin kullanılabilirliği ile ilgili çalışmalar yapılmıştır (Özcan, 2006; Mesci, vd., 2007; Şahin, vd., 2007; Etxeberria, 2010; Galvão vd., 2010; Hebhouh vd., 2010).

Kaynaklarımızın sınırlı olduğu dünyamızda geri dönüşüm uygulamalarının özellikle inşaat sektöründe potansiyel bir hammadde kaynağı olduğu unutulmamalıdır. Dünyadaki en büyük hammadde ihtiyacı olan sanayilerin başında inşaat sektörü gelmektedir. Dolayısıyla geri dönüşümden; enerji, hammadde tüketilmesinin azaltılması, atık sınırlanması ve faydalanılması bakımından en büyük oranda yarar sağlanacak sektör inşaat sektörüdür. Çizelge 1’de ülkemizde son yıllarda geri kazanım projelerinde toplanan atık çeşitleri ve bunların oranları görülmektedir (Gürer vd., 2004).

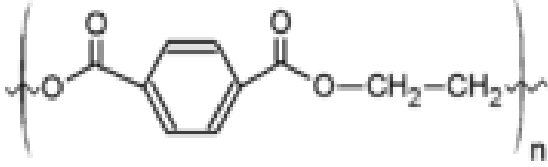
Çizelge 1. Ülkemizde geri kazanım projelerinde toplanan atık miktarı (%) (Gürer vd., 2004)

Kağıt-Karton	Cam	Metal	Plastik
42	28	7	23

Çizelge 1’de verilen ve atık malzemelerden biri olan plastikler günlük hayatımızda çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Plastikler küresel enerji ihtiyaçlarını minimize etmeye yardımcı olur ve yenilenmeyen kaynakların ömrünü uzatır. Plastikler doğada parçalanma süresi en uzun olan maddelerdir, bu nedenle bu maddelerin mümkün olduğunca ayrı biriktirilip geri kazanılmaları sağlanmalıdır. Plastiklerin çoğunu geri kazanmak mümkündür. Fakat toplama, kaba temizleme, ayırma, yıkama ve tekrar işleme zorluğundan dolayı genelde mevcut durumda 3 tür plastik geri kazanılmaktadır. Bunlar; yüksek yoğunlukta polietilen (HDPE), polivinil klorür (PVC), polietilen tereftalat (PET)’dir. (Tan, vd., 2007).

Polietilen tereftalat (PET, PETE, PETP), polyester ailesine ait termoplastik bir malzemedir. En önemli kullanım avantajı, tamamen geri dönüşebilir olmasıdır. Fiber veya cam partikül

dolgu olduğunda, kayda değer bir şekilde sert ve daha uzun ömürlü bir hal alır (Anonim, 2010).



Şekil 1. Polietilen Tereftalat Zincir Yapısı

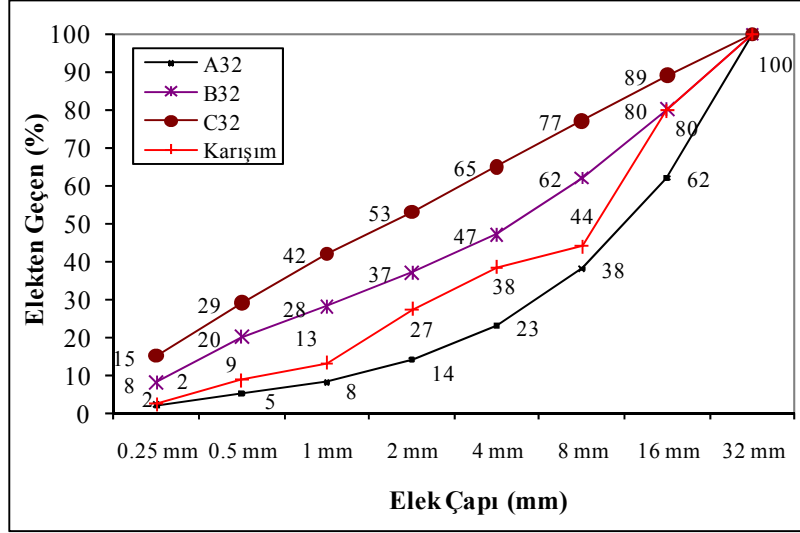
1980'li yılların başında ülkemizde ilk kez Polietilen tereftalat (PET) şişeler üretilmeye başlanmıştır. Su ambalajlarında kullanılmaya başlanan PET şişeler çok kısa süre içinde sıvı gıda maddelerinin ambalajlanmasında yaygın olarak kullanılır hale gelmiştir. Günümüzde PET şişeler çoğunlukla su, meşrubat ve yağ şişelerinin ambalajlanmasında kullanılmaktadır. Üretim ucuz olması, istenen şekilde üretilebilmesi, hafif ve dayanıklı olmaları nedeniyle kullanım alanı giderek genişleyen PET şişeler Avrupa ve ABD'de soda ve bira ambalajı olarak da kullanılmaktadır. Suyu şişelemekte kullanılan ve ham petrolden üretilen Polietilen tereftalat (PET) malzemesi için, sadece ABD'de yılda 1.5 milyon varil ham petrol harcanmaktadır ve bu miktar yüz bin otomobilin bir yıllık yakıt harcamasına eşittir. Tüm dünyada PET şişe üretimi için kullanılan plastik 2.7 milyon ton civarındadır. Bununla birlikte ortaya katı atık sorunu da çıkmaktadır. PET şişelerin doğada tamamen yok olması için yüz yıldan fazla bir süre gerekmektedir. Bu sebeple, çöp alanlarında toplanan plastik atıkları ve buna bağlı olan çevresel kirliliği azaltabilmek için uygulanabilecek akılcı yöntemlerden biri, bu malzemeleri diğer endüstrilerde kullanmaktır. Genel olarak atık malzemelerin yeniden kullanımındaki en önemli alan, malzemelerin büyük çoğunluğunun geri dönüşümde değerlendirilebildiği inşaat uygulamalarıdır. Atık PET'lerin eritilip tekrar işlenerek, yeniden kullanımının maliyeti oldukça yüksektir. Ancak, atık PET şişelerin parçalanıp hafif agrega olarak kullanılması; diğer geri dönüşüm yöntemlerinde kullanılan temizleme ve renk içeriğinin değiştirilmesi gibi uygulamalara gerek olmadığından dolayı, yeniden işleme maliyetini düşürmek açısından oldukça avantajlıdır. Beton üretimi için çok miktarda doğal agregaya ihtiyaç vardır. Bu yüzden, PET atıkların beton üretiminde agrega olarak kullanılması, atıkların güvenli bir şekilde yok edilmesinin yanında doğal agrega elde etmek için çevreye verilen zararların azaltılmasını da sağlayacaktır (Akçaözoğlu, 2008).

Bu çalışmada, betona atık PET (polietilen tereftalat) ilavesinin betonun fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

2.MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Yapılan çalışmada TS 706 EN 12620 (2003)'ya uygun kırmataş agregası kullanılmıştır. Agregalar üzerinde birim ağırlık ve su emme oranı tayini deneyleri iri agrega için ASTM C127 (2001)'ye göre, ince agrega için ise ASTM C128 (1997)'e göre ve tane boyut dağılımı (granülometri) TS 706 EN 12620 (2003)'ya göre yapılmıştır. Kullanılan agregalara ait granülometri değeri Şekil 2'de bazı fiziksel özellikleri Çizelge 2'de ve kimyasal özellikleri ise Çizelge 3'de verilmiştir.



Şekil 2. Karışım agregasının gradasyonu

Çizelge 2. Agregaların yoğunluk ve su emme değerleri ile hacimsel kullanım oranları

	Yoğunluk (gr/cm ³)	Su Emme (%)	Kullanım oranı (%)
Kum	2.65	1.2	0.25
7-15	2.62	0.4	0.25
15-32	2.64	0.3	0.50

Çizelge 3. Agreganın kimyasal özellikleri (%)

CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SiO ₂	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Kızdırma kaybı
55.37	0.11	0.06	0.35	0.32	0.02	0.02	0.01	43.89

TS EN 197-1'e uygun olan CEM II/B-M (P-LL) 32.5 N ve CEM I 42.5 R tipi olmak üzere iki farklı çimento tipi kullanılmıştır. Çimento üzerinde fiziksel ve mekanik özellikler TS EN 196-1 (2002) ve TS EN 197-1 (2002)'e göre belirlenmiştir. Tüm karışımlarda çimentolar 400 kg/m³ sabit dozlu olacak şekilde kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan çimentolara ait özellikler Çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelge 4. Kullanılan çimentolara ait bazı özellikler

Çimento Tipi	SO ₃ (%)	Cl ⁻ (%)	Blaine (cm ² /g)	Priz Başlama (dakika)	Genleşme (mm)	Mukavemet değeri (MPa) 2 günlük	Mukavemet değeri (MPa) 28 günlük
32.5	2.62	0.02	4230	170	1	14.7	39.6
42.5	2.53	0.004	3560	145	1	25.3	51.7

Fiber katkı olarak PET (polietilen tereftalat) kullanılmıştır. Toplanan PET'ler kapak ve ambalaj kısımları çıkartılıp, şekil bozukluğu olan üst ve alt kısımları kesilerek atıldıktan sonra, öğütme makinesinde genişliği 3 mm, uzunluğu 8 mm olacak şekilde (narınlık oranı 2.5) parçalanmıştır. Çalışmada kullanılan PET'in özgül ağırlığı 1.35 g/cm³'dir. PET karışımlarda 300, 600 ve 900 gr/m³ olarak kullanılmış olup, agregaların hacimsel kullanım oranlarıyla orantılı olarak karışım agregası ile yer değiştirilmiştir.

Ayrıca, boyu 12 mm, çapı 18 mikron (narinlik oranı 666.7), özgül ağırlık 0.91 g/cm^3 , özgül yüzey alanı $250 \text{ m}^2/\text{kg}$ olan polipropilen fiber katkı (PPF), önerilen kullanım oranı olan 600 gr/m^3 olacak şekilde beton üretiminde kullanılmıştır.

2.2. Metot

Yapılan çalışmada şahit beton için hedef basınç dayanımı C25/30 olarak hedeflenmiştir. Bu nedenle karışımda kullanılacak olan su/çimento oranı (s/ç) yapılan ön deneyler sonucu 0.55 olarak belirlenmiştir.

Beton üretimlerinde CEM II/B-M (P-LL) 32.5'un kullanıldığı seriler A serisi olarak, CEM I 42.5 R'nin kullanıldığı seriler ise B serisi olarak kodlanmıştır. Karışım kodları ve özellikleri Çizelge 5'de verilmiştir.

Çizelge 5. Karışım kodları ve 1 m^3 betonların teorik bileşenleri (kg/m^3)

	Kod	Çimento	Su	Kum	7-15	15-32	PET	PPF
1. Seri	A	400	220	442.0	437.2	880.8	-	-
	A1	400	220	436.9	432.2	870.6	0.3	-
	A2	400	220	434.3	429.6	865.5	0.6	-
	A3	400	220	426.8	422.0	850.3	0.9	-
	A4	400	220	431.8	427.1	860.5	-	0.6
2. Seri	B	400	220	439.5	434.7	875.8	-	-
	B1	400	220	431.9	427.1	860.7	0.3	-
	B2	400	220	426.9	422.0	850.5	0.6	-
	B3	400	220	424.3	419.5	845.4	0.9	-
	B4	400	220	426.9	422.0	850.5	-	0.6

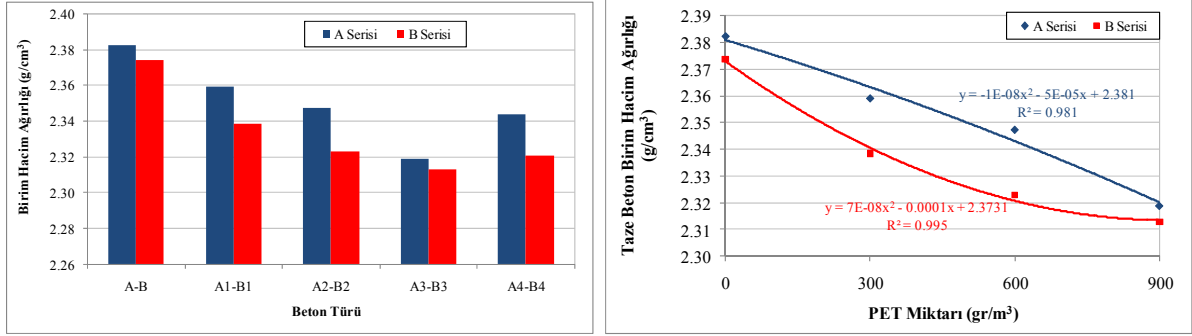
Üretilen her seri betona ait üçer adet küp ($15 \times 15 \times 15 \text{ cm}$), silindir (15×30) ve eğilme numuneleri ($10 \times 10 \times 50 \text{ cm}$) beton üretimini sonrasında (5. dk) alınmıştır. Numuneler üretimini takip eden gün kalıptan çıkarılmış ve deney yapılacak güne kadar $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de sıcaklık kontrollü ve sirkülasyonlu kür havuzlarında saklanmıştır.

Üretilen betonlar üzerinde ASTM C143 (2000), TS EN 12350-2 (2002)'e göre çökme deneyi, ASTM C597 (1997)'ye uygun ultrases geçiş hızı tayini, TS 3260 (1978)'e göre Schmidt deneyi yapılmıştır. Schmidt yüzey sertliği basınç altındaki (3~5 t) numunelere 90° 'lik açıyla ve beş farklı noktadan alınmıştır (Özel, 2007). Beş değer ortalaması bir numune için değer olarak kaydedilmiştir. Basınç dayanımı tayini 200 ton kapasiteli beton basınç presi ile TS EN 12390-3 (2003)'e göre, eğilme dayanımı tayini 10 ton kapasiteli eğilme cihazı ile TS EN 12390-5 (2002)'e göre (üç noktalı) yapılmıştır. Yine beton basınç presi kullanılarak yapılan elastisite modülü tayini deneyinde, Sekant Yöntemi (Erdoğan, 2003) kullanılarak Elastisite Modülü değerleri belirlenmiştir.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. Taze Beton Deney Sonuçları

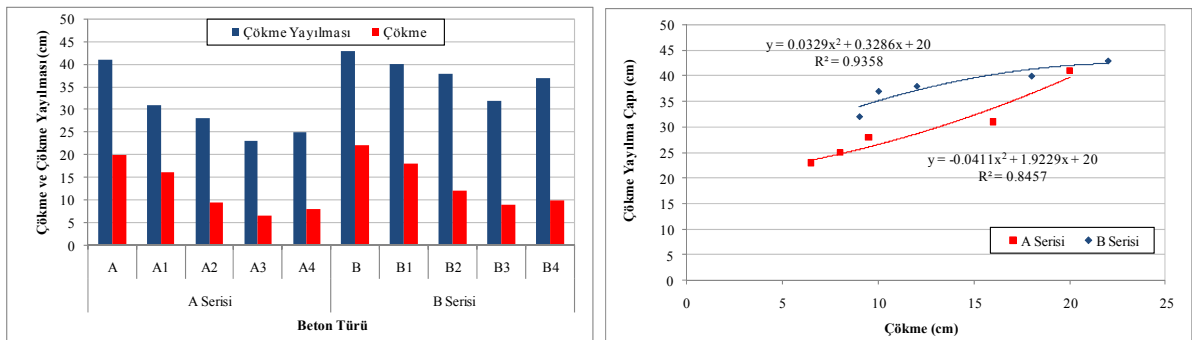
Üretilen betonların PET kullanım miktarına bağlı taze beton birim hacim ağırlığı değişimi Şekil 3’de verilmiştir. A serisi betonların birim hacim ağırlığı değerleri B serisi betonlara göre daha yüksek elde edilmiştir. Birim hacim ağırlığı PET’in kullanım oranına ve PPF ilavesine bağlı olarak azalma göstermektedir.



Şekil 3. Üretilen betonların taze beton birim hacim ağırlıklarının değişimi ve kullanılan PET miktarına bağlı olarak birim hacim ağırlık değişimi

Her iki seride de PPF katkılı karışımda birim hacim ağırlığı değişimi 600 gr/m³ PET kullanılan karışımdan fazla olmasına karşılık, bu değişim oranı oldukça küçüktür (% 0.15 ve 0.09) ve 600 ve 900 gr/m³ PET kullanılan serilerin arasında kalmıştır.

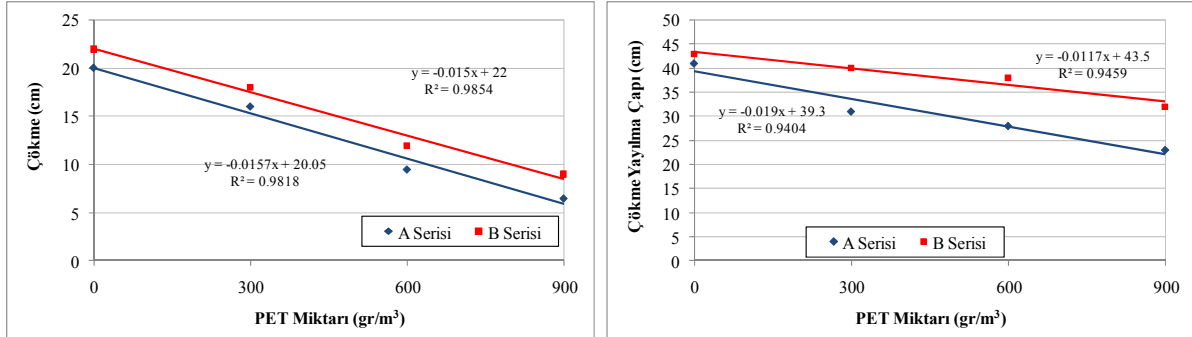
Üretilen betonlardan çökme (slump) değerlerine ilave olarak çökme yayılması çapı (slump flow) (Özel, 2007) ölçümleri de alınmış olup deney sonuçları Şekil 4’de verilmiştir. Elde edilen verilere göre PET ilavesi ile yayılma çapı ile çökme değerleri benzer davranış göstermektedir. B serisi betonlarda çökme ve çökme yayılması değeri A serisi betonlara göre daha yüksek elde edilmiştir. Şekil 4’den görüleceği gibi çökme ile çökme yayılma çapı arasındaki ilişki her iki seride de yüksek olmasına karşılık, bu ilişki B serisinde ($R^2=0.9358$) A serine göre ($R^2=0.8457$) daha yüksektir.



Şekil 4. Üretilen betonlara ait çökme ve çökme yayılması değerleri

Her iki seride de PPF katkılı karışımda çökme yayılması ve çökme değerlerinin değişim oranı 600 gr/m³ PET kullanılan karışımdan fazladır. Bu değerler 600 gr/m³ PET kullanılan serilere daha yakın olmakla beraber 600 ve 900 gr/m³ PET kullanılan serilerin arasında kalmıştır.

PET miktarına bağlı olarak çökme ve çökme yayılma çapı arasındaki ilişki Şekil 5’de verilmiştir. PET miktarı-çökme ilişkisi ($R^2=0.9818$ ve $R^2=0.9854$) her iki seride de yayılma çapı-PET miktarı ilişkisinden ($R^2=0.9404$ ve $R^2=0.9459$) yüksektir. Bununla birlikte her iki ilişki katsayısı da kabul edilebilir değerdedir.

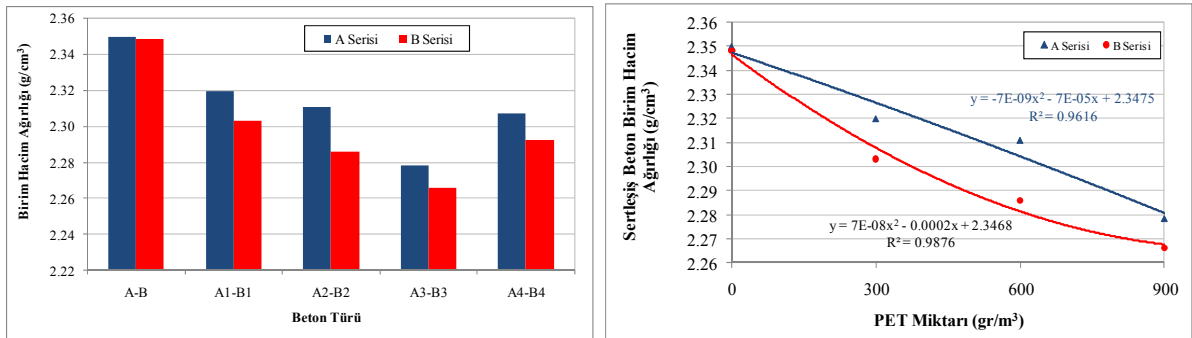


Şekil 5. PET miktarına bağlı olarak çökme ve çökme yayılması çapı değişimi

3.2. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları

3.2.1. Tahribatsız deney sonuçları

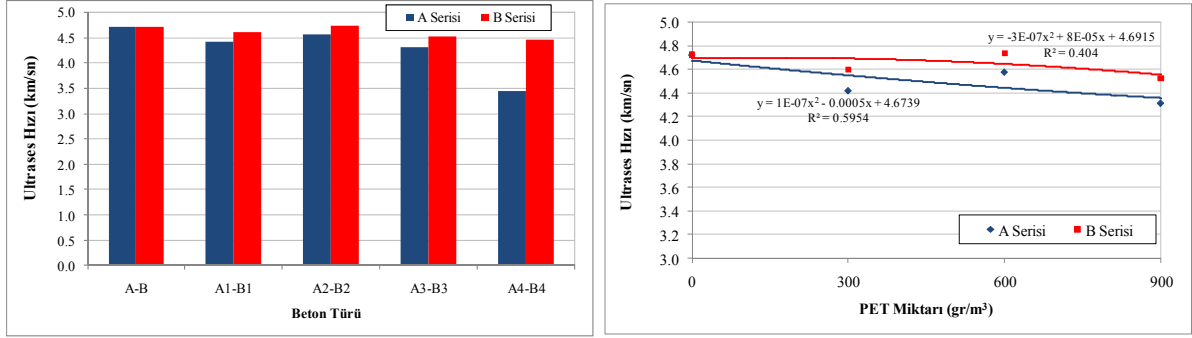
Üretilen betonlara ait sertleşmiş betonun birim hacim ağırlık değerlerinin değişimi Şekil 6’da verilmiştir. Taze betonun birim hacim ağırlığı değişiminde olduğu gibi, A serisi betonların birim hacim ağırlığı değerleri B serisi betonlara göre daha yüksek elde edilmiştir. Birim hacim ağırlığı PET’in kullanım oranına ve PPF ilavesine bağlı olarak azalma göstermektedir. PET miktarı–birim hacim ağırlık ilişkisi incelendiğinde B serisi betondan elde edilen ilişki katsayısı ($R^2=0.9876$), A serisi betondan elde edilen ilişki katsayısından ($R^2=0.9616$) daha yüksektir.



Şekil 6. Sertleşmiş beton deney sonuçları ve PET miktarı-Sertleşmiş betonun birim hacim ağırlığı ilişkisi

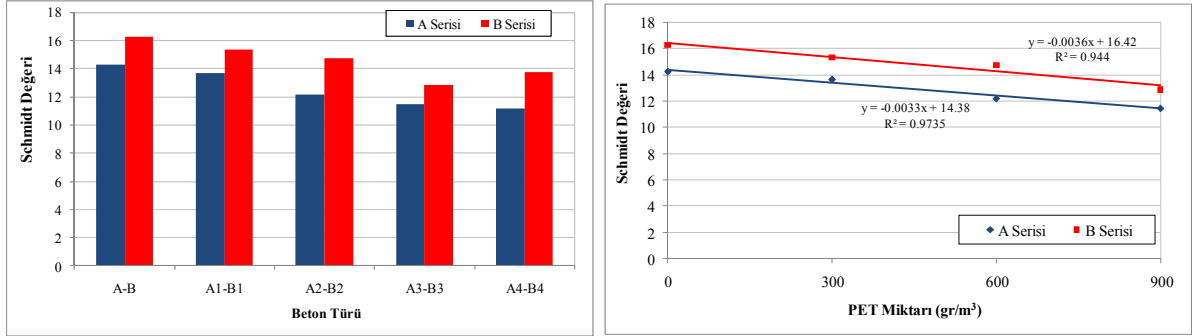
A serisinde PPF katkılı karışımda sertleşmiş betonun birim hacim ağırlığı değerlerinin değişim oranı PET kullanılan karışımdan fazla (% 0.16) olmasına karşılık B serisinde bu değer daha azdır (% 0.26).

Ultrases geçiş hızı değişimi (Şekil 7) incelendiğinde genel olarak A serisi betonlarda B serisi betonlara göre daha düşük değerler elde edilmiştir. Ancak PET ve PPF ilavesi ile ultrases hızı değişiminde anlamlı ilişkiler (A serisi için $R^2=0.5954$, B serisi için $R^2=0.404$) elde edilememiştir. Bu değerlerin beton içinde dağılı fazda bulunan fiber katkının rastgele yerleşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 7. Ultrases geçiş hızı deney sonuçları ve PET miktarı-Ultrases geçiş hızı ilişkisi

Deneylerden elde edilen Schmidt yüzey sertliği değerleri Şekil 8’de verilmiştir. A serisi betonlarda B serisi betonlara göre daha düşük Schmidt değeri elde edilmiştir. Yine PET ve PPF katkılarının kullanılmasıyla Schmidt değerleri azalma göstermiştir. PET miktarı- Schmidt değerlerinin değişimi incelendiğinde ise A serisi betonlarda ($R^2=0.9735$), B serisi betonlara göre daha yüksek ($R^2=0.944$) ilişki katsayısı elde edilmiştir.

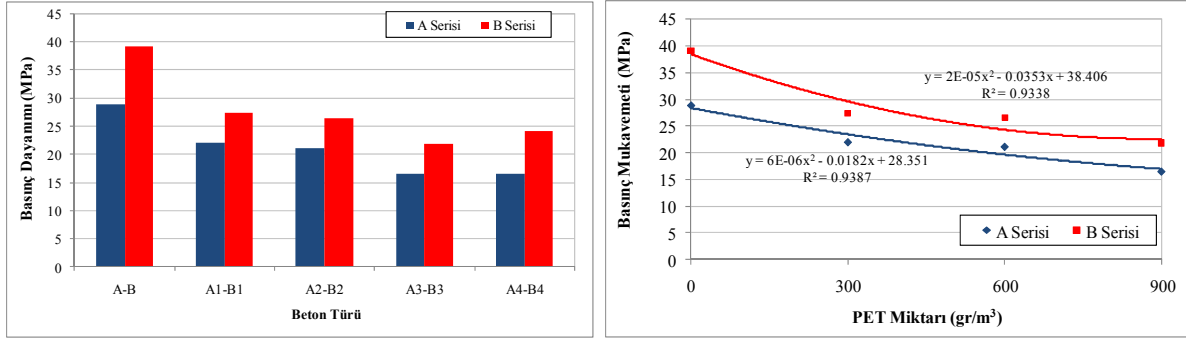


Şekil 8. Schmidt yüzey sertliği deney sonuçları ve PET miktarı-Schmidt değeri ilişkisi

Schmidt yüzey sertliği değişim oranları incelendiğinde A serisinde PPF’li seride değişim oranı PET kullanılan tüm serilerden yüksek çıkmasına karşılık, B serisinde 600 ve 900 gr/m³ PET kullanılan betonların arasında kalmıştır.

3.2.2. Tahribatlı deney sonuçları

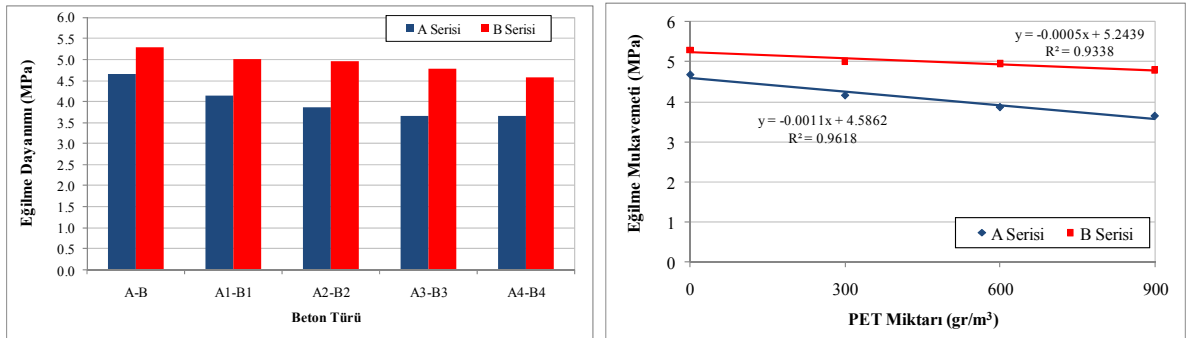
a) Basınç Dayanımı Sonuçları; Üretilen betonlara ait basınç dayanımı değişimi Şekil 9’da verilmiştir. Elde edilen verilere göre basınç dayanımı değerleri karşılaştırıldığında B serisi betonların basınç mukavemeti A serisi betonlardan daha yüksektir. PET ve PPF kullanılmasıyla basınç dayanımı değerleri azalma göstermektedir. PET miktarı-basınç dayanımı ilişkisi incelendiğinde benzer ilişki katsayısı elde edilmiştir.



Şekil 9. Üretilen betonların basınç mukavemeti değişimi

Basınç mukavemeti değişim oranlarına göre, A serisinde PPF betonun değişim oranı 900 gr/m³ PET kullanılan beton ile aynı değerdedir. B serisinde ise 600 ve 900 gr/m³ PET kullanılan betonların arasında kalmıştır.

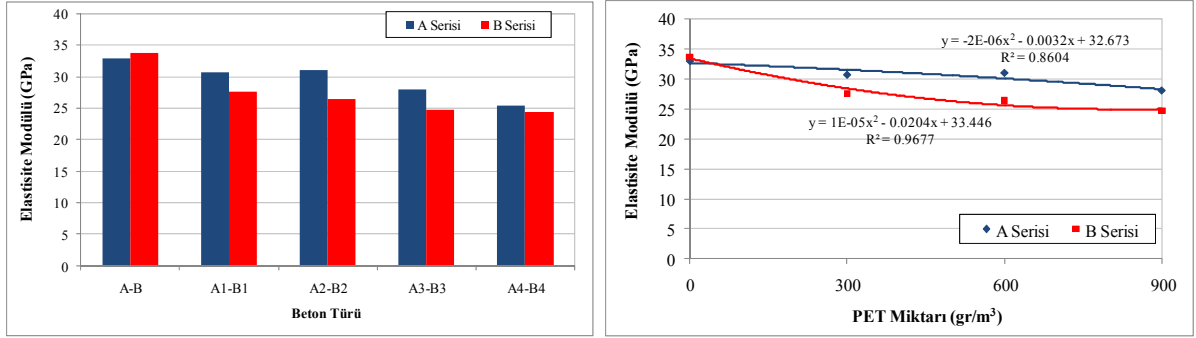
b) Eğilme Dayanımı Sonuçları; Üretilen betonlara ait eğilme mukavemeti değişimi Şekil 10'da verilmiştir. Elde edilen verilere göre B serisi betonların eğilme mukavemeti A serisi betonlara göre daha yüksektir. PET ve PPF kullanılmasıyla eğilme dayanımı değerleri azalma göstermektedir. PET miktarı - eğilme mukavemeti değişimi incelendiğinde A serisi betonlarda ($R^2=0.9618$), B serisi betonlara göre daha yüksek ($R^2=0.9338$) ilişki katsayısı elde edilmiştir.



Şekil 10. Üretilen betonların eğilme mukavemeti değişimi

Eğilme mukavemeti değişim oranlarına göre, A serisinde PPF'li betonun değişim oranı 900 gr/m³ PET kullanılan beton ile aynı değerdedir. B serisinde ise PET kullanılan tüm serilerden daha fazladır. Yani eğilme mukavemeti kaybı en yüksektir.

c) Elastisite Modülü Sonuçları; Sekant yöntemi kullanılarak belirlenen elastisite modülü değerleri Şekil 11'de verilmiştir. Elde edilen deney sonuçlarına göre katkılı betonlar şahit betona göre düşük elastisite modülü değerleri verirken, şahit betonlarda B serisi, katkılı betonlarda ise A serisi betonlardan daha yüksek elastisite modülü değerleri elde edilmiştir. PET ve PPF kullanılmasıyla elastisite modülü değerleri azalma göstermektedir. PET miktarı-elastisite modülü değişimi incelendiğinde A serisi betonlarda ($R^2=0.9677$), B serisi betonlara göre daha yüksek ($R^2=0.8604$) ilişki katsayısı elde edilmiştir.



Şekil 11. Beton türüne göre elastisite modülü değişimi

Elastisite modülü değişim oranlarına göre, her iki seride de en yüksek değişim oranları PPF'li betonlardan elde edilmiştir. Bir başka deyişle PET kullanılan serilerde, şahit betonlara göre elastisite modülü kaybı PPF'li serilerden daha azdır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada s/ç oranının sabit olarak tutulduğu (0.55) ve iki farklı çimento tipi kullanılarak hazırlanmış karışımlara, hacim oranı olarak PET ve PPF ikamesinin betonun taze ve sertleşmiş özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Yapılan çalışmada PET üç farklı oranda (300, 600, 900 gr/m³) kullanılırken PPF önerilen en büyük değer olan 600 gr/m³ olarak kullanılmıştır.

Betonda fiber katkı olarak kullanılan PET'in kullanım miktarında ve PPF'li betonların fiziksel ve mekanik özelliklerinde şahit betonlara göre azalma meydana geldiği tespit edilmiştir.

PET kullanım miktarına bağlı olarak fiziksel ve mekanik özellikleri tespit etmek ultrases geçiş hızı değerleri hariç mümkündür. Ultrases geçiş hızında düşük ilişki katsayısının nedeni olarak dağılı fazda bulunan fiber katkının rastgele yerleşmesinden kaynaklandığı ve katkıların termoplastik malzeme olmasından dolayı betondan çok farklı olarak sahip oldukları ultrases geçiş özelliklerinin etkisinin olduğu düşünülmektedir.

Özellikler arası en yüksek ilişki katsayısı taze beton birim hacim ağırlığı-PET miktarı arasından ($R^2= 0.995$), en düşük ilişki katsayısı elastisite modülü-PET miktarı arasından ($R^2= 0.8604$) elde edilmiştir. İncelenen diğer tüm veriler bu iki ilişki katsayısı arasındadır.

PET ve PPF'li serilerin betonun özelliklerine etkileri incelendiğinde, PPF'li serilerden elde edilen verilerin genellikle 600 gr/m³ ve 900 gr/m³ PET kullanılan seriler arasında kaldığı, ancak değerlerin 600 gr/m³ PET'li serilere daha yakın olduğu görülmüştür. Bununla birlikte PPF kullanılmasıyla basınç dayanımı kaybı A serisinde (CEM II/B-M (P-LL) 32.5 N) 900 gr/m³ PET kullanılan betonlarla aynı, eğilme dayanımı kaybı A serisinde (CEM II/B-M (P-LL) 32.5 N) 900 gr/m³ PET kullanılan betonlarla aynı, eğilme dayanımı kaybı B serisinde (CEM I 42.5 R) tüm PET'li serilerden daha yüksek, elastisite modülü kaybı açısından ise her iki seride en yüksek değerlerde elde edilmiştir.

Atık PET ilavesi ile elde edilen betonların mekanik ve fiziksel özelliklerindeki azalmalar, PPF'li betonlardaki azalmalara göre daha az değerlerdedir. Atık PET'ler bu özellikler açısından kullanılabilir olduğu gibi, PET'lerin çevreye verdiği zararını azaltmak, geri dönüşüm maliyetini azaltmak ve beton maliyeti düşürmek için beton imalatlarında kullanılabilir durumdadır.

KAYNAKLAR

Akçaözoğlu, S., Atık Pet Şişe Kırıklarının Hafif Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, (2008).

Akman, M. S., Yapı Malzemeleri. İTÜ İnşaat fakültesi yayını, (1987), 161 s., İstanbul

Anonim, <http://www.muzafferpinarbasi.com.tr/en/products> (E.T.: 01.10.2010)

ASTM C127, Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate. Annual Book of ASTM Standards, USA, (2001), p. 5.

ASTM C128, Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate. Annual Book of ASTM Standards, USA, (1997), p. 5.

ASTM C143, Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete. Annual Book of ASTM Standards, USA, (2000) p. 3.

ASTM C597, Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete. Annual Book of ASTM Standards, USA, (1997), p. 4.

Baradan, B., Yapı Malzemesi II. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, No: 207, İzmir, (1998), 222 s.

Erdoğan, T. Y., Beton. ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, Ankara, (2003), 741 s.

Etxeberria, M., Pacheco, C., Meneses, J. M., Berridi, I., Properties of concrete using metallurgical industrial by-products as aggregates, Construction and Building Materials, 24, (2010), 1594–1600.

Galvão, j. C. A., Portella, K. F., Joukoski, A., Mendes, R., Ferreira, E. S., Use of Waste Polymers in Concrete for Repair of Dam Hydraulic Surfaces, Construction and Building Materials, (2010), (in pres).

Gürer, C., Akbulut, H., Kurklu, G., İnşaat Endüstrisinde Geri Dönüşüm ve Bir Hammadde Kaynağı Olarak Farklı Yapı Malzemelerinin Yeniden Değerlendirilmesi, 5 Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon (2004), 29 s.

Hebhoub, H., Aoun, H., Belachia, M., Houari, H., Ghorbel, E., Use of waste marble aggregates in concrete Construction and Building Materials, (2010), (in pres).

Mesci, B., Ergun, O. N., Çakıroğlu, M., Bakır Endüstri Atıklarının Beton Katkı Maddesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, 2. Yapılarda Kimyasal katkılar Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Ankara, (2007), 299-309.

Özcan, A., Endüstriyel Atıklar ve Polipropilen Lif İçeren Saha Betonlarının Özelliklerinin Araştırılması, Karaelmas Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak, (2006).

Özel, C., Katkılı Betonların Reolojik Özelliklerinin Taze Beton Deney Yöntemlerine Göre Belirlenmesi, Doktora Tezi, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, (2007).

Şahin, S., Karaman, S., Örüng, İ., Atık PVC Katkılı Hafif Betonların Özellikleri ve Tarımsal Yapılarda Kullanım Olanakları, Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi (Journal of Tekirdag Agricultural Faculty), 4 (2), (2007), 137-144.

Tan, E., Tarakçılar, A. R., Yurtseven,, R., Plastik Geri Kazanımları Ve Plastik Atıklardan Plastik Geri Kazanım Teknolojileri, Metal Dünyası, (2007).

TS 706 EN 12620, Beton Agregaları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (2003), 46 s.

TS 3260, Beton Yüzey Sertliği Yolu ile Yaklaşık Beton Dayanımının Tayini Kuralı. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (1978), s: 7.

TS EN 196-1, Çimento Deney Metotları- Bölüm 1: Dayanım. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (2002), s: 24.

TS EN 197-1, Çimento – Bölüm 1: Genel Çimentolar, Bileşim, Özellikleri ve Uygunluk Değerleri. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (2002), s: 25.

TS EN 12350-2, Beton- Taze Beton Deneyleri- Bölüm 2: Çökme (Slamp) Deneyi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (2002), s: 5.

TS EN 12390-3, Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (2003), s: 12.

TS EN 12390-5, Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 5: Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (2003), s: 5.