

Geri Dönüştürülmüş Plastik Atık Malzemeler ile Beton Üretimi: Yapısal Performans ve Sürdürülebilirlik

Yasemin KILIÇ ERDİM¹, Ahmet Yavuz ŞAHİN^{2*}

¹İnşaat Teknolojisi / Gelişim Meslek Yüksekokulu, İstanbul Gelişim Üniversitesi, Türkiye

²İnşaat Teknolojisi / Gelişim Meslek Yüksekokulu, İstanbul Gelişim Üniversitesi, Türkiye

*(a.yavuzsahin@gmail.com)

¹Orcid No : 0000-0001-6086-6808

^{2*}Orcid No : 0000-0002-6207-1432

(Received: 25 July 2025, Accepted: 31 July 2025)

(3rd International Conference on Modern and Advanced Research ICMAR 2025, July 25-26, 2025)

ATIF/REFERENCE: Kılıç Erdim, Y. & Şahin A. Y. (2025). Geri Dönüştürülmüş Plastik Atık Malzemeler ile Beton Üretimi: Yapısal Performans ve Sürdürülebilirlik, *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, 9(8), 11-18.

Özet – Günümüzde yapı malzemelerinde çevresel sürdürülebilirlik arayışı, özellikle çimento esaslı ürünlerde alternatif hammadde kullanımını ön plana çıkarmaktadır. Bu doğrultuda, geri dönüştürülmüş plastik atıkların çimento esaslı harçlarda değerlendirilmesi, hem doğal kaynak tüketiminin azaltılması hem de atık yönetimine katkı sağlanması açısından önem taşımaktadır. Bu çalışmada, geri dönüştürülmüş (PET) plastik atık malzeme çimento harcına ince agrega yerine hacimce %1 , %1.5 , %5 ve %10 oranlarda ikame edilerek, yapısal performans üzerindeki etkileri incelenmiştir.

DeneySEL çalışmada, TS EN 196-1 standardına uygun olarak 40×40×160 mm boyutlarında prizma harç numuneleri üretilmiş ve 28 günlük kür süreci sonrasında mekanik ve fiziksel testlere tabi tutulmuştur. Sertleşmiş numuneler üzerinde eğilme dayanımı ve ardından kırılan parçalarda basınç dayanımı (her ikisi TS EN 196-1'e göre) uygulanmıştır. Ayrıca, farklı atık türleri ve ikame oranlarının harçların dayanıklılık özellikleri üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Elde edilen bulgular, düşük ve orta düzeydeki ikame oranlarında geri dönüştürülmüş plastik ve atık malzemelerin harç dayanımında kabul edilebilir seviyelerde performans sergileyebileceğini göstermektedir. Bu çalışma, inşaat sektöründe sürdürülebilir ve çevre dostu harç tasarımlarının mümkün olabileceğini gösterecek ve döngüsel ekonomiye yönelik uygulamalara bilimsel katkı sunmayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler – Geri Dönüştürülmüş Plastik, PET, Atık Malzeme, Çimento Harcı, Sürdürülebilir Yapı Malzemeleri.

I. GİRİŞ

Küresel ölçekte artan çevre sorunları, yapı malzemeleri üretiminde doğal kaynakların daha verimli kullanılmasını ve endüstriyel atıkların yeniden değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır. İnşaat sektörü, yüksek hacimde malzeme tüketimi ve karbon salımı nedeniyle sürdürülebilirlik politikalarının merkezinde yer almaktadır. Bu bağlamda, çimento esaslı yapı malzemelerinde çevre dostu uygulamalar

geliştirmek, hem kaynak tüketimini azaltmak hem de atık yönetimi açısından önemli bir strateji olarak öne çıkmaktadır. Son yıllarda özellikle plastik atıkların, yapı malzemelerinde ikinci bir yaşam döngüsüne kazandırılması üzerine yapılan çalışmalar dikkat çekmektedir [1]. Geri dönüştürülmüş plastiklerin çimento harçlarına katkı malzemesi ya da agregaya yerine ikame edilerek kullanılması, hem atık miktarının azaltılmasını sağlamakta hem de bazı durumlarda malzeme özelliklerinde olumlu değişimlere neden olabilmektedir [2]. Özellikle Polietilen Tereftalat (PET) gibi yaygın plastik türlerinin farklı şekil ve boyutlarda çimento esaslı sistemlere entegre edilmesiyle, malzemenin eğilme davranışı, gözenekliliği ve su emme kapasitesi gibi çeşitli mühendislik özellikleri üzerinde etkili sonuçlar alınabilmektedir [3]. Ancak bu tür malzemelerin mekanik dayanım, hacimsel kararlılık ve dayanıklılık açısından performansının detaylı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. Çünkü PET gibi polimer esaslı atıklar, çimento matrisine bağlanma açısından zayıf olabileceğinden, bazı durumlarda dayanım kayıplarına da neden olabilmektedir [4]. Bu çalışmada, geri dönüştürülmüş PET plastik atıkların çimento harcına hacimsel olarak %1, %1.5, %5 ve %10 oranlarında ince agregaya yerine ikame edilmesiyle elde edilen karışımların yapısal performansı deneysel olarak araştırılmıştır. Standartlara uygun olarak hazırlanan prizmatik harç numuneleri üzerinde eğilme ve basınç dayanımı, su emme oranı ve hacimsel stabilite testleri gerçekleştirilmiştir. Deneysel prosedürler TS EN 196-1, TS EN 1015-18 ve TS EN 196-3 standartlarına uygun şekilde yürütülmüştür. Bu sayede, farklı PET ikame oranlarının çimento harçlarının fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisi karşılaştırmalı olarak ortaya konmuştur. Çalışmanın bulguları, özellikle düşük ve orta düzeyde ikame oranlarında geri dönüştürülmüş PET kullanımının malzeme performansı üzerinde olumsuz etkiler yaratmadığını, hatta belirli koşullarda eğilme dayanımı gibi özelliklerde iyileştirme sağladığını göstermektedir [5]. Bu durum, hem sürdürülebilir malzeme geliştirme çabalarına hem de döngüsel ekonomi ilkelerine katkı sunabilecek çevre dostu çözümler üretilebileceğini göstermektedir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, TS EN 196-1 standardına uygun olarak CEM II A-LL 52,5 R tipi beyaz çimento ile 40×40×160 mm boyutlarında prizmatik harç numuneleri üretilmiştir. İnce agregaya yerine hacimce %1, %1.5, %5 ve %10 oranlarında geri dönüştürülmüş PET atığı ikame edilmiştir. Numuneler 28 gün suda kür edilerek, eğilmede çekme ve basınç dayanımı testlerine tabi tutulmuştur. Deneysel çalışmalar İstanbul Gelişim Üniversitesi İnşaat Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Karışımlarda s/ç 0.5 olarak belirlenmiştir. PET'lerin karışıma homojen olarak dağılması için kuru karışım aşamasında ilave edilmiş ve yeterli süre karıştırma sağlanmıştır. 40x40x160mm prizma kalıpları için, TS EN 196-1 standardında belirtildiği şekilde; 225 gr su, 450 gr çimento ve 1350 gr CEN standart kum kullanılmıştır.

Tablo 1. PET ikamesi için örnek hesaplama

TS EN-196-1 40x40x160mm 3 gözlü prizma kalıp için		
$V=256 \times 3=768 \text{ cm}^3$	$\%1V= 7,68 \text{ cm}^3$	PET BHA = 1,38 gr/cm ³
PET Oranı = $7,68 \times 1,38= 10,6 \text{ gr}$		

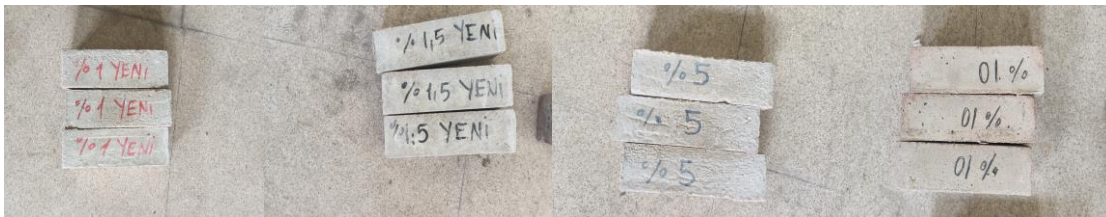
Tablo 2. Karışım PET ağırlıkları

İkame Oranı	Hacim (cm ³)	PET (g)
%1	7,68	10,6
%1.5	11,52	15,89
%5	38,4	53,0
%10	76,8	106,0

Çalışmada kullanılan 40×40×160 mm boyutlarındaki prizma harç numuneleri, TS EN 196-1 standardına uygun 3 gözlü kalıplarda üretilmiştir. Bu kalıpların toplam hacmi 768 cm³'tür. Geri dönüştürülmüş PET atıklar, bu hacme hacimsel olarak sırasıyla %1, %1.5, %5 ve %10 oranlarında ikame edilmiştir. PET'in birim hacim ağırlığı 1,38 g/cm³ olarak alınmıştır. Bu verilere göre, %1 ikame oranı için 7,68 cm³ hacim karşılığı olarak 10,6 gram PET; %1.5 oranı için 11,52 cm³ karşılığı 15,89 gram PET; %5 oranı için 38,4 cm³ karşılığı 53,0 gram PET; %10 oranı için ise 76,8 cm³ hacim karşılığı olarak 106,0 gram PET karışıma eklenmiştir. Böylece, her bir ikame düzeyinde plastik katkıların harç üzerindeki etkileri doğrudan karşılaştırılabilir şekilde değerlendirilmiştir.



Şekil 1. Hazırlanan seriler



Şekil 2. Kalıptan çıkarılan seriler

Çalışmada, biri kontrol grubu olmak üzere toplam beş farklı karışım serisi hazırlanmıştır. Geri dönüştürülmüş PET atık, ince agrega yerine hacimsel olarak %0 (kontrol), %1, %1.5, %5 ve %10 oranlarında ikame edilerek beş ayrı seri oluşturulmuştur. Her seri için, TS EN 196-1 standardına uygun şekilde 40×40×160 mm boyutlarında prizmatik harç numuneleri üretilmiştir. Bu numuneler, 3 gözlü prizma kalıplarında hazırlanmış olup, her bir göz, bir eğilme dayanımı testine tabi tutulmuştur. Eğilme testi sonrasında kırılan her bir prizma parçası, 40×40 mm basınç dayanımı aparatı ile basınç dayanımı testine alınmıştır.



Şekil 3. Hazırlanan Seriler İle Laboratuvar Çalışmaları Eğilme Çekme Ve Basınç Dayanım Testleri

Numuneler, kalıplardan çıkarıldıktan sonra, çimento hidratasyonunun sağlıklı gerçekleşmesi ve uygun mekanik dayanım gelişiminin temin edilmesi amacıyla 28 gün boyunca su içerisinde kür edilmiştir. Kür süresi boyunca su sıcaklığı 20 ± 2 °C’de sabit tutulmuş, numuneler ise doğrudan güneş ışığına maruz bırakılmadan depolanmıştır.

III. BULGULAR

Bu bölümde, geri dönüştürülmüş PET atıklarının farklı oranlarda çimento harçlarına ikame edilmesiyle elde edilen numunelere ait mekanik deney sonuçları sunulmaktadır. Eğilme ve basınç dayanımları başta olmak üzere, numunelerin yapısal performansları kontrol serisi ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler, PET oranının arttıkça harç özellikleri üzerindeki etkilerini detaylı biçimde ortaya koymaktadır.

Tablo 3. Kontrol Serisi Deney Sonuçları

Numune No	Eğilme Gerilmesi (MPa)	Eğilme Yüğü (kN)	Basınç Gerilmesi 1 (MPa)	Basınç Yüğü 1 (kN)	Basınç Gerilmesi 2 (MPa)	Basınç Yüğü 2 (kN)
Numune 1	7,42	3,18	55,60	88,96	56,80	90,88
Numune 2	7,30	3,12	53,95	86,32	52,88	84,60
Numune 3	7,15	3,05	51,65	82,64	50,40	80,64

Kontrol serisine ait veriler incelendiğinde, numunelerin 28 günlük kür sonrası oldukça yüksek mekanik performans gösterdiği görülmektedir. Ortalama basınç dayanımı değerleri, 50,40 MPa ile 56,80 MPa arasında değişmekte olup, bu aralık CEM II A-LL 52,5 R tipi beyaz çimentosunun sağladığı yüksek dayanım potansiyelini doğrulamaktadır. Özellikle Numune 1’in basınç dayanımı 56,80 MPa gibi oldukça yüksek bir değere ulaşmış, bu da malzemenin homojenliğini ve kür koşullarının etkinliğini göstermektedir. Eğilme dayanımı değerleri ise 7,15 MPa ile 7,42 MPa arasında değişmekte olup, bu değerler basınç dayanımına göre yaklaşık %13–14 oranında seyretmektedir. Bu oran, çimento esaslı harçlarda eğilme–basınç dayanımı ilişkisine uygunluk göstermektedir. Eğilme yüklerinin 3,02–3,18 kN aralığında olması, prizmatik numunelerin çatlama öncesi yeterli rijitliğe sahip olduğunu göstermektedir. Genel olarak, kontrol serisinin dayanım değerleri hem çimento sınıfının hem de üretim ve kür koşullarının uygun yürütüldüğünü ortaya koymaktadır. Bu seri, diğer PET ikameli karışımlar için referans nitelikte değerlendirilerek, ikamenin dayanım üzerindeki etkisinin analiz edilmesinde temel karşılaştırma noktası olarak kullanılacaktır.

Tablo 4. %1 PET katkılı Seri Deney Sonuçları

Numune No	Eğilme Gerilmesi (MPa)	Eğilme Yüğü (kN)	Basınç Gerilmesi 1 (MPa)	Basınç Yüğü 1 (kN)	Basınç Gerilmesi 2 (MPa)	Basınç Yüğü 2 (kN)
Numune 1	7,55	3,22	53,40	85,44	52,95	84,72
Numune 2	7,68	3,28	52,25	83,60	51,90	83,04
Numune 3	7,82	3,34	50,80	81,28	50,35	80,56

Kontrol serisinde eğilme gerilmesi değerleri 7,15 ile 7,42 MPa arasında değişirken, %1 PET serisinde bu değerler 7,55 ile 7,82 MPa aralığında gerçekleşmiştir; bu da %2,8 ile %8,8 arasında bir artışa karşılık gelmektedir. Basınç gerilmesi ise kontrol serisinde 50,40 ile 56,80 MPa arasında iken, %1 PET serisinde 50,35 ile 53,40 MPa arasında gerçekleşmiş ve bu da yaklaşık %6 ile %0,1 arasında azalma göstermektedir. Eğilme ve basınç yükleri de benzer oranlarda değişim göstermektedir.

Tablo 5. %1.5 PET katkılı Seri Deney Sonuçları

Numune No	Eğilme Gerilmesi (MPa)	Eğilme Yüğü (kN)	Basınç Gerilmesi 1 (MPa)	Basınç Yüğü 1 (kN)	Basınç Gerilmesi 2 (MPa)	Basınç Yüğü 2 (kN)
Numune 1	7,90	3,37	49,20	78,72	48,80	78,08
Numune 2	8,05	3,44	47,80	76,48	47,40	75,84
Numune 3	8,12	3,47	46,50	74,40	46,00	73,60

%1,5 PET serisinde ise eğilme gerilmesi 7,90 ile 8,12 MPa aralığında gerçekleşerek, kontrol serisine göre %10,5 ile %13,5; %1 PET serisine göre ise %3,3 ile %4,9 arasında ek bir artış göstermiştir. Basınç gerilmesi değerleri kontrol serisinde 50,40 ile 56,80 MPa arasında iken, %1 PET serisinde 50,35 ile 53,40 MPa aralığına gerilemiştir. %1,5 PET serisinde ise basınç dayanımı daha düşük olup, 46,00 ile 49,20 MPa arasında değişmiş ve bu değerler kontrol serisine göre %13,5 ile %19,0; %1 PET serisine göre ise %7,8 ile %13,4 oranlarında azalma göstermiştir.

Tablo 6. %5 PET katkılı Seri Deney Sonuçları

Numune No	Eğilme Gerilmesi (MPa)	Eğilme Yüğü (kN)	Basınç Gerilmesi 1 (MPa)	Basınç Yüğü 1 (kN)	Basınç Gerilmesi 2 (MPa)	Basınç Yüğü 2 (kN)
Numune 1	8,20	3,50	25,80	41,28	23,50	37,60
Numune 2	8,35	3,56	24,10	38,56	23,00	36,80
Numune 3	8,50	3,63	24,00	38,40	22,80	36,48

%5 PET serisinde ise eğilme gerilmesi 8,20 ile 8,50 MPa aralığında gerçekleşerek, kontrol serisine göre %14,7 ile %18,9; %1,5 PET serisine göre %1,0 ile %4,9 arasında artış trendini sürdürmüştür. Basınç gerilmesi değerleri kontrol serisinde 50,40 ile 56,80 MPa aralığında iken, %1,5 PET serisinde 46,00 ile 49,20 MPa aralığına düşmüştür. %5 PET serisinde ise bu değerler belirgin şekilde azalarak 22,80 ile 25,80 MPa aralığına gerilemiş, kontrol serisine göre %54,7 ile %59,8; %1,5 PET serisine göre ise %44,2 ile %53,5 oranlarında ciddi bir düşüş sergilemiştir.

Tablo 7. %10 PET katkılı Seri Deney Sonuçları

Numune No	Eğilme Gerilmesi (MPa)	Eğilme Yüğü (kN)	Basınç Gerilmesi 1 (MPa)	Basınç Yüğü 1 (kN)	Basınç Gerilmesi 2 (MPa)	Basınç Yüğü 2 (kN)
Numune 1	8,52	3,64	18,50	29,60	16,94	27,10
Numune 2	8,55	3,65	19,20	30,72	18,10	28,96
Numune 3	8,58	3,67	19,80	31,68	18,50	29,60



Şekil 4. %10 PET Katkılı Seri En Düşük Basınç Dayanımı

%10 PET serisinde ise eğilme gerilmesi 8,52 ile 8,58 MPa aralığında gerçekleşmiş, bu değerler %5 PET serisine göre %0,2 ile %3,7 arasında sınırlı bir artış göstermiştir ve eğilme dayanımındaki artış durağanlaşmıştır. Basınç gerilmesi değerleri %5 PET serisinde 22,80 ile 25,80 MPa aralığında iken, %10 PET serisinde belirgin şekilde azalarak 16,94 ile 19,80 MPa aralığına düşmüştür. Bu, kontrol serisine göre yaklaşık %65-70 oranında ciddi bir azalmaya işaret etmektedir.

IV. TARTIŞMA

Bu çalışmada, geri dönüştürülmüş PET plastik atıkların ince agrega yerine farklı oranlarda harca ikamesinin mekanik performanslara etkisi incelenmiştir. Elde edilen bulgular, literatürdeki çalışmalarla paralellik göstermektedir. Kontrol serisine kıyasla, düşük PET oranlarında (%1 ve %1,5) eğilme dayanımında belirgin bir artış gözlenmiştir. Bu durum, plastik partiküllerin harç içindeki mikroçatlak yayılımını engellemesi ve esneklik sağlamasıyla açıklanabilir. Sulyman ve arkadaşları (2016), PET katkısının malzeme elastikiyetini artırdığını ve eğilme dayanımında olumlu etkiler yarattığını bildirmiştir [1]. Ayrıca, Almeshal ve arkadaşları (2020) geri dönüştürülmüş plastiklerin ince agrega yerine kullanılmasının düşük oranlarda mekanik dayanımı önemli ölçüde koruduğunu vurgulamıştır [2]. Basınç dayanımı ise PET oranı arttıkça düşme eğilimi göstermiştir. Kontrol numunelerindeki ortalama 53 MPa basınç dayanımı, %10 PET katkılı serilerde 16,94 MPa'ya kadar azalmıştır. Bu azalma, plastik parçacıkların harç matrisine yeterince bağlanmaması ve gözenek hacminin artmasıyla ilişkilidir. Rahmani ve arkadaşları (2013) da benzer şekilde yüksek PET oranlarında basınç dayanımında önemli düşüşler raporlamıştır [3]. Skominas ve arkadaşları (2017) ise plastik katkılı harçlarda dayanımın plastik oranına bağlı olarak azaldığını belirtmiştir [4]. Yüksek oranlı PET katkılarının mekanik performansa olumsuz etkisi belirgin olmakla birlikte, düşük oranlarda plastik atık kullanımı sürdürülebilir yapı malzemeleri geliştirme açısından umut vadetmektedir. Abu-Saleem ve arkadaşları (2021), düşük plastik ikame oranlarının harçların dayanıklılığını önemli ölçüde azaltmadan sürdürülebilir çözümler sunduğunu ifade etmektedir [5]. Bu çalışma da %1 ve %1,5 oranlarındaki PET katkılarının eğilme dayanımını iyileştirirken, basınç dayanımı üzerindeki olumsuz etkilerinin sınırlı olduğunu ortaya koymuştur. Ancak %5 ve %10 oranlarındaki PET katkılarında basınç dayanımında ciddi kayıplar yaşanması, bu oranların yapı güvenliği açısından dikkatli değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Literatürde PET partiküllerinin yüzey modifikasyonu, bağlayıcı özelliklerinin artırılması ve plastik atıkların şekilsel optimizasyonu konularında araştırmalar sürmektedir. Bu yaklaşımların, yüksek oranlı plastik katkılarının mekanik özellikler üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmada etkili olabileceği belirtilmektedir [6,7]. Dolayısıyla, sürdürülebilir inşaat malzemeleri geliştirme çabalarında geri dönüştürülmüş plastiklerin kontrollü oranlarda kullanılması ve malzeme optimizasyonu önem taşımaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışma bulguları, PET plastik atıkların harçlarda hacimsel ikamesinin düşük oranlarda yapısal performansı olumlu etkileyebileceğini, ancak yüksek oranlarda dayanımda önemli azalmalar meydana getirdiğini göstermektedir. Bu sonuçlar, çevresel sürdürülebilirlik ve mekanik performans arasındaki dengeyi gözeterek uygulamalar için literatürdeki genel eğilimlerle uyumludur.

V. SONUÇLAR

Bu çalışmada, geri dönüştürülmüş PET plastik atıkların çimento esaslı harçlarda ince agrega yerine farklı oranlarda (%1, %1.5, %5 ve %10) kullanılmasıyla elde edilen mekanik performans değişiklikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, sürdürülebilir yapı malzemeleri geliştirme bağlamında önemli çıkarımlar sunmaktadır.

Öncelikle, düşük oranlarda (%1 ve %1.5) PET katkısının eğilme dayanımında anlamlı bir artışa yol açtığı; bunun ise malzemenin esneklik ve mikroçatlak direncini artırmasından kaynaklandığı gözlenmiştir. Bu bulgu, mevcut literatürle uyumlu olup, düşük plastik katkı oranlarının harç performansını olumsuz etkilemeden çevresel sürdürülebilirliği destekleyebileceğini göstermektedir [1,2]. Basınç dayanımı ise tüm PET katkı oranlarında azalma eğilimindedir; ancak %1 ve %1.5'teki düşüşler, yapısal uygulamalar açısından henüz kabul edilebilir sınırlar içindedir. Yüksek plastik oranlarında (%5 ve %10), basınç dayanımında belirgin azalma meydana gelmiş ve özellikle %10 PET katkısında dayanım kritik düzeye gerilemiştir. Bu durum, plastik partiküllerin harç matrisine zayıf bağlanması ve artan gözenek hacmi ile açıklanabilir [3,4].

Bulgular ışığında, bu çalışmada optimum PET katkı oranının %1.5 olduğu söylenebilir. Bu oran, mekanik performansta gözlemlenen artış ve çevresel faydaların dengelendiği noktayı temsil etmektedir. Optimum katkı oranı üzerinde yapılan çalışmalar, plastik atıkların harç dayanımına olumsuz etkisini artırmakta ve sürdürülebilirlik hedeflerinin risk altına girmesine yol açmaktadır. Bu nedenle, geri dönüştürülmüş plastik kullanımı planlanırken, optimum kullanım oranlarına dikkat edilmelidir [5,6].

Bu sonuçlar sürdürülebilirlik açısından iki temel önemi ortaya koymaktadır: Birincisi, atık plastiklerin kontrollü oranlarda harç üretiminde kullanımı doğal kaynak tüketimini ve plastik atık miktarını azaltarak çevresel yükü hafifletebilir. İkincisi ise, mekanik performansın kritik sınırlar içinde korunması durumunda bu uygulamalar ekonomik ve yapısal anlamda da avantaj sağlayabilir. Çimento üretiminin yüksek karbon salımı dikkate alındığında, alternatif malzeme kullanımıyla karbon ayak izinin azaltılması inşaat sektöründe sürdürülebilirliğin sağlanmasına katkı sunacaktır [5]. Ancak, yüksek plastik katkılarının mekanik performansa olumsuz etkileri göz önünde bulundurulduğunda, bu tür katkıların kullanımında dikkatli olunmalıdır. Plastik parçacıkların yüzey modifikasyonu, kompozit bağlayıcılarla iyileştirilmesi ve optimum karışım tasarımları gibi ileri araştırmalar, bu engellerin aşılmasına katkı sağlayabilir [6,7]. Ayrıca, plastik atıkların fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak mekanik performans farklılıklarının ortaya çıkması, her atık türü için özel çalışmalar yapılmasını gerektirmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Askar, M.K.; Al-Kamaki, Y.S.S.; Hassan, A. Utilizing Polyethylene Terephthalate PET in Concrete: A Review. *Polymers* 2023, 15, 3320. [MDPI](#)[MDPI+1](#)[SpringerLink+1](#)
- [2] Environmental Sustainable Cement Mortars Based on Polyethylene Terephthalate from Recycling Operations. *Materials* 2023, 16, 2111. [MDPI](#)
- [3] Mortar with Substituted Recycled PET Powder: Experimental Characterization and Data-Driven Strength Predictive Models. *Journal of Materials in Civil Engineering* 2023. [arXiv+3](#)[ascelibrary.com+3](#)[SpringerLink+3](#)
- [4] Biomineralization of Plastic Waste to Improve the Strength of Plastic-Reinforced Cement Mortar. PubMed, 2021. [MDPI+12](#)[pubmed.ncbi.nlm.nih.gov+12](#)[pmc.ncbi.nlm.nih.gov+12](#)

- [5] On the Cementitious Mixtures Reinforced with Waste Polyethylene Terephthalate. *Materials* 2024, 17(21), 5351. pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8MDPI+8SpringerLink+8
- [6] Sulyman, M.; Haponiuk, J.; Formela, K. Utilization of recycled polyethylene terephthalate (PET) in engineering materials: A review. *Int. J. Environ. Sci. Dev.* 2016, 7, 100.
- [7] Almeshal, I.; Tayeh, B.A.; Alyousef, R.; Alabduljabbar, H.; Mustafa Mohamed, A.; Alaskar, A. Use of recycled plastic as fine aggregate in cementitious composites: A review. *Constr. Build. Mater.* 2020, 253, 119146.
- [8] Rahmani, E.; Dehestani, M.; Beygi, M.H.A.; Allahyari, H.; Nikbin, I.M. On the mechanical properties of concrete containing waste PET particles. *Constr. Build. Mater.* 2013, 47, 1302–1308.
- [9] Skominas, R.; Zvinakevičius, L.; Gurskis, V.; Šadzevičius, R. Evaluation of suitability to use plastic waste in concrete production. In *Proceedings of the International Scientific Conference Rural Development*, Akademija, Lithuania, 23–24 November 2017; pp. 428–432.
- [10] Abu-Saleem, M.; Zhuge, Y.; Hassanli, R.; Ellis, M.; Rahman, M.; Levett, P. Evaluation of concrete performance with different types of recycled plastic waste for kerb application. *Constr. Build. Mater.* 2021, 293, 123477.
- [11] Rafiq, A.H.; Al-kamaki, Y.S.S. The effect of adding waste plastic fibers on the concrete properties and shear strength of rc beams: A review. *J. Duhok Univ.* 2022, 25, 507–530.
- [12] Qaidi, S.M.A.; Al-Kamaki, Y.S.S. State-of-the-Art Review: Concrete Made of Recycled Waste PET as Fine Aggregate. *J. Duhok Univ.* 2020, 23, 412–429.