



Kahramanmaraş Sutcu Imam University

Journal of Engineering Sciences



Atık Malzemelerin Kendiliğinden Yerleşen Beton Performansına Etkisi: Bir Derleme

Effect of Waste Materials on Performance of Self Compacting Concrete: A Review

Sevgi DEMİREL^{1*}, Hatice Öznur ÖZ²

¹ Ömer Halisdemir Üniversitesi, Çevre Mühendisliği, Niğde, Türkiye

² Ömer Halisdemir Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, Niğde, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Sevgi DEMİREL , sevgi.demirel@gmail.com

ÖZET

Doğal kaynakların korunması ve endüstriyel atıkların azaltılması amacıyla sürdürülebilir bir atık yönetimi yaklaşımının önemi giderek artmaktadır. Atık malzemelerin değerlendirilebileceği yeni alanlar ve yöntemler oluşturmak bilim dünyasının önemli araştırma alanlarından biri haline gelmiştir. Doğal kaynakların sınırlı olması, geri dönüşüm uygulamalarının özellikle inşaat sektöründe potansiyel bir hammadde kaynağı olarak kullanılması alternatifini ortaya çıkarmıştır. Örneğin endüstriyel atıkların (uçucu kül, mermer tozu, atık cam ve plastik vb.) inşaat sektöründe kullanılması, atıkların güvenli bir şekilde bertarafının yanında hammadde ve enerji kullanımını da azaltmaktadır. Atık malzemelerin inşaat sektöründe kullanımı ile "endüstriyel simbiyoz" uygulamasını gerçekleştirmek mümkündür. Bu sayede bir endüstriden kaynaklı çevresel problemin önüne geçmekle kalmayıp aynı zamanda ekonomik getiri de sağlanmaktadır. Bu çalışmada, atık malzeme (tarımsal atıklar, atık cam, atık lastik ve plastikler) kullanımının kendiliğinden yerleşen beton (KYB) performansına olan etkisinin araştırıldığı çalışmalar derlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Atık malzeme, endüstriyel simbiyoz, geri kazanım, kendiliğinden yerleşen beton (KYB), sürdürülebilirlik.

ABSTRACT

A sustainable waste management approach is increasingly important in order to conserve natural resources and reduce industrial waste. Creating new areas and methods for evaluating waste materials has become one of the important research areas of the scientific world. Due to the limited natural resources, recycling applications have emerged as a potential source of raw materials, especially in the construction industry. For example, the use of industrial wastes (fly ash, marble dust, waste glass and plastic, etc.) in the construction sector reduces raw material and energy usage as well as the safe disposal of wastes. It is possible to carry out "industrial symbiosis" application by using waste materials in construction sector. In this respect, we are not only able to avoid an environmental problem caused by an industry, but also provide economic return. This study reviewed the researches into the effects of the use of waste materials (agricultural waste, waste glass, waste rubber and plastics) on the performance of self-compacting concrete (SCC).

Keywords: Waste material, industrial symbiosis, recycling, self compacting concrete (SCC), sustainability.

1. GİRİŞ

Türkiye’de nüfusun 2020 yılına kadar 82,1 milyona, 2030 yılına kadar da 88,4 milyona ulaşması beklenmektedir (url 1). Kalkınma ile birlikte ortaya çıkan “katı atık yönetimi ve enerji temini” hususunda araştırmalar giderek yaygınlaşmaktadır. 2014 yılı Belediye Atık İstatistikleri Anketi sonuçlarına göre kişi başına üretilen katı atık üretim hızı 1,08 kg / kişi-gün olarak belirlenmiştir. Evsel nitelikli katı atıkların kompozisyonu ile ilgili Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından yapılan ulusal düzeyde bir çalışmada, geri kazanılabilir atıkların % 12.05 oranında olup kağıt, karton, metal, cam, plastik, PET, PVC, lastik, kauçuk ve tekstil ürünlerinden oluştuğu belirtilmektedir (Tablo 1).

Tablo 1. Türkiye katı atık kompozisyonu (Demirarslan ve Demirarslan, 2016)

Atık Cinsi	%
Organik Atık (mutfak, park, bahçe)	65.45
Kül, cüruf, taş, toprak	22.48
Geri kazanılabilir malzeme	12.05
Toplam	99.98
Geri Kazanılabilir Malzeme Kompozisyonu	%
Kağıt, karton	45.48
Metal	8.62
Cam	18.46
Plastik	13.19
PET, PVC	6.15
Lastik, kauçuk	3.35
Tekstil	4.88

Türkiye'nin atık yönetim stratejisinin en önemli ilkelerinden birisi atık oluşumunun kaynağında önlenmesi, eğer mümkün değilse atığın azaltılması ve atık oluşumunun kaçınılmaz olması durumunda da atıkların geri kazanılmasıdır. Bu yaklaşımla ortaya çıkan "endüstriyel simbiyoz", doğal kaynakların korunması, enerjinin etkin kullanımı ve atık yönetimi sorunları açısından desteklenmesi gereken önemli bir kavramdır.

Geri kazanılabilir malzeme iki şekilde katı atıklar içinden ayrılmaktadır. İlk olarak, kaynağında ayrıştırılan geri dönüştürülebilir atıklar, geri dönüşüm konteynerlerine atılır ve lisanslı firmaların araçları ile toplanarak ayrıştırma tesisine gönderilmektedir. İkinci olarak, geri dönüştürülebilir atıklar, evsel atıklar ile birlikte toplanarak düzenli depolama alanlarına götürülmektedir. Düzenli depolama alanlarında geri dönüştürülebilir atıklar diğer atıklardan ayrılarak geri dönüşüm tesislerine gönderilmektedir. Atıkların çevreye zarar vermeden bertaraf edilmesi ile çevre ve insan sağlığının korunması yanı sıra ekonomiye de katkı sağlanmaktadır. Geri dönüşüm uzun vadede verimli bir ekonomik yatırım olarak görülmektedir. Sektörlerin hammadde ihtiyacının bir bölümünün geri dönüştürülebilir ve ekonomik değeri bulunan atıklardan karşılanması sürdürülebilirliğin sağlanması adına büyük önem taşımaktadır.

Değerlendirilebilir atıkların kaynağında ayrı toplanması, bu atıkların katı ayırma atık tesislerinde işlenerek özelliklerine göre daha homojen gruplara sınıflandırılması, atıkların bu şekilde tekrar kullanılabilir ve ikincil hammadde haline getirilebilecek nitelikte elde edilmesi "geri kazanım" olarak tanımlanmaktadır (url2). Atıkların endüstriyel simbiyoz ile hammaddeye dönüştürülmesi, üretim sırasındaki endüstriyel işlem sayısını azaltmak suretiyle enerji tasarrufu sağlar. Örneğin; metal içecek kutularının geri dönüşümü işleminde bu metaller direkt olarak eritilerek yeni ürün haline dönüştürüldüğünde, bu metallerin üretimi için kullanılan maden cevherinin saflaştırılma işlemlerine gerek olmadan üretim gerçekleştirilebilmektedir (Gürer ve ark., 2004). İnşaat sektöründe de bazı atıklar; çimento, beton, agrega, kerpiç, tuğla, gaz beton ve yalıtım malzemesi üretiminde, baraj ile yol yapımında ve geoteknik uygulamalarda kullanılmaktadır (Paris ve ark., 2016). Böylece, depolama alanlarında atık hacmini azaltmanın yanı sıra, doğal kaynaklar daha az kullanılmakta, nihayetinde "ayak izi" ve olumsuz çevresel etkiler de azaltılmaktadır.

Beton yaygın olarak kullanılan bir yapı malzemesidir (Prabhu ve ark., 2014). Temel olarak beton; çimento, su, ince ve kaba agrega karışımından oluşmaktadır. Küresel ölçekte, beton üretiminde ana bileşen olarak, yılda 8-12 milyon ton doğal agrega tüketilmektedir ve beton hacminin % 70'ini agrega oluşturmaktadır (Devi ve Gnanavel, 2014; Al-Jabri ve ark., 2009). Kullanılan agrega kaba (4.75 mm veya daha fazla parçacık boyutu) ve ince agrega (4.75 mm'den daha az olan parçacık boyutu) olarak sınıflandırılmaktadır (Dash ve ark., 2016). Atık malzemelerin ince ve kaba agrega yerine kullanıldığı çalışmalar mevcuttur. Betonda bağlayıcı malzeme olarak kullanılan çimento üretim esnasında sera gazı ortaya çıkarmaktadır. Dünya genelinde toplam CO₂ emisyonunun yaklaşık olarak %5-7'si çimento üretiminden kaynaklanmaktadır (Turner ve Collins, 2013). Çimento üretimi esnasında tesisten kaynaklanan emisyonlar; CO₂, NO_x, SO₂ ve toksik maddelerdir. Özellikle çimento fırın bacalarından gelen toz emisyonları önemli çevresel sorunlardır. Bu nedenle, çimentoya alternatif olabilecek ya da belli oranlarda çimento yerine kullanılabilir malzemelerin araştırılması, bu sektörden kaynaklanan çevresel problemleri ve enerji ihtiyacını azaltacağından önemlidir. Yapı sektöründe kullanılan atık malzemeler elde edildikleri kaynaklara göre, tarımsal, kentsel, endüstriyel ve mineral atıklar olmak üzere gruplara ayrılabilir (Tablo 2). Tablo 2'den de anlaşılacağı üzere katı atıkların geri dönüştürülmesi ve yapı malzemesi olarak ikincil bir endüstride kullanım potansiyeli oldukça yüksektir.

Tablo 2. Farklı Atık Malzeme Türlerinin Yapı Sektöründe Kullanımı (Safiuddin ve ark., 2010)

Atık Madde Grubu	Atık İçeriği ve Kaynağı	Yapı Sektöründe Kullanımı
Tarımsal Atıklar	Hayvan atıkları, hasat atıkları, ağaç ve kereste atıkları	Yalıtım malzemesi, duvar panelleri, çatı levhaları, bağlayıcılar, lifli yapı panoları, tuğla, aside dayanıklı çimento, takviyeli kompozitler, polimer kompozitler
Kentsel Atıklar	Cam ve seramik atıklar, kanalizasyon atıkları, evsel kullanımdan kaynaklanan katı atıklar, kullanılmış lastik, plastik ve kağıt atıkları	İnce-kaba agrega, bloklar, tuğlalar, çimento klinkeri, hidrolik bağlayıcı
Endüstriyel Atıklar	Yüksek fırın cürufu, çimento ve kireç fırını partikül atıkları, kömür külü atıkları, inşaat ve moloz atıkları, dökümhane atıkları, kağıt hamuru atıkları, asfalt ve beton kaplama atıkları	Tuğla, bloklar, fayanslar, çimento, boya, ince ve kaba agregalar, beton, ahşap değiştirme ürünleri, seramik ürünler
Maden/Mineral Atıklar	İşlenmiş kömür atıkları, işlenmiş maden atıkları, maden ocağı atıkları, fosfojips, kaya atıkları	Tuğla, ince ve iri agrega, fayans

Bu alanda kullanılan atık malzemeler ya çimento yerine ya da puzolanik madde olarak kullanılmaktadır. Çimento yerine kullanılabilenler içerdikleri CaO miktarına bağlı olarak, Portland Çimentosu gibi davranmaktadır; karışım, su ile birleştirildiğinde geri döndürülemez bir hidrolik reaksiyon sırasında sertleşir. Puzolanik olanlar ise, kendi başlarına su varlığında bağlayıcı özelliğe sahip olmayan, yüksek oranda SiO₂ içeren maddelerdir (Paris ve ark., 2016). Araştırmacılar, çimento yerine geçebilecek; verimli ve kolayca bulunabilen, doğadaki puzolanik malzemelere benzer atık malzeme arayışındadırlar. Aranılan malzeme, Silisyum (Si) ve Alüminyum (Al) açısından zengin olmalıdır.

Bu çalışmanın amacı, atık malzemelerin ikincil bir hammadde olarak inşaat/yapı sektöründe kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır. Bununla birlikte, atık malzeme kullanımının kendiliğinden yerleşen beton (KYB) performansına olan etkisinin araştırıldığı çalışmalar derlenmiştir.

2. KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON

Geleneksel betonun yanı sıra, teknolojinin gelişmesi sonucunda farklı ihtiyaçları karşılayabilen birçok beton çeşidi üretilmiştir. Bunlar arasında hafif beton, yüksek performanslı beton, lifli beton, vakumlu beton, ön gerilmeli beton, hazır beton ve kendiliğinden yerleşen betonlar (KYB) sayılabilir (Aruntaş ve ark., 2007). KYB, iç veya dış mekanik sıkıştırmaya ihtiyaç duymadan, kendi ağırlığı ile kalıba yerleşebilen özel bir beton türüdür (Gesoğlu ve ark., 2012). Geleneksel beton dökümünde vibrasyon ve sıkıştırma işlemi ile betonun içindeki hava boşluklarını dışarı atılır, böylece dayanımı ve dayanıklılığı daha yüksek ve aynı zamanda daha düzgün yüzeyli bir beton elde etmek mümkündür. Vibrasyon uygulanmamış betonların basınç dayanımında, vibrasyon uygulanmış olanlara göre % 30'lara varan düşüşler görülmektedir. Ayrıca sağlıklı vibrasyon yapılmamış beton elemanlarda yüzey bozuklukları oluşabilmektedir. Oysa KYB, kendi kendine sıkışma yeteneği sayesinde vibrasyon gerektirmez ve tüm olumsuz etkenleri elimine ederek, işçilikten ve zamandan tasarruf sağlar. Ayrıca gürültü probleminin ortadan kalkması, şehir merkezlerinde ve özellikle gece beton dökümlerinde üstünlük sağlar (Topçu ve ark., 2008).

KYB düşük su/bağlayıcı ile tasarlandığından çok fazla miktarda çimento içerir. KYB'nun üstün davranış özelliklerini sağlayabilmek için yüksek akıcılıkta olması, yüksek ayrışma direnci ve şekil değiştirme yeteneğine sahip olması gereklidir. Yüksek akıcılık, üstün akışkanlaştırıcı kimyasal katkıları (süper akışkanlaştırıcılar) yardımı ile sağlanırken betonun kararlılığı (ayrışma direnci), ince malzeme miktarını yüksek tutmakla ve/veya viskozite artırıcı maddeler kullanılarak gerçekleştirilmektedir (Shi ve ark., 2015). Betonun kolayca şekil değiştirebilmesi için kayma eşiğinin küçük olması gerekir. Ancak, bu özelliğin su miktarını artırarak sağlanması durumunda betonun kararlılığı bozulmakta, yani ayrışma eğilimi ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle ayrışmanın göstergesi olan viskozite özelliği çok küçülmemelidir. Dolayısıyla KYB'lerin işlenebilirlik ve segregasyona direnç özelliklerini sağlayabilmeleri için taze KYB'ler üzerinde yapılan slump yayılma, V-hunisi akış zamanı ve L kutusu deneyi değerleri EFNARC (2005) tarafından Tablo 3'de görüldüğü üzere sınırlandırılmıştır. KYB'nun, düzgün yüzey elde edilmesine olanak vermesi ve üretim sırasında vibratör gerektirmemesi nedeniyle prefabrike eleman endüstrisinde de kullanımı yaygınlaşmaktadır (Viacava ve ark., 2012).

Tablo 3. EFNARC (2005)'e göre slump yayılma, viskozite ve geçme yeteneği sınıfları

Sınıf	Slump yayılma çapı (mm)	
Slump yayılma sınıfı		
SF1	550-650	
SF2	660-750	
SF3	760-850	
Sınıf	T _{50cm} (s)	V-hunisi akış zamanı (s)
Viskozite sınıfları		
VS1/VF1	≤2	≤8
VS2/VF2	>2	9-25
Geçme yeteneği		
PA1	≥0.8 iki donatı	
PA2	≥0.8 üç donatı donatı	

3. ATIK MALZEMELERİN KYB PERFORMANSINA ETKİSİ

Çimentonun maliyetinin yanı sıra üretim aşamasında çevreye verdiği zararlar da göz önüne alındığında alternatif malzeme arayışı ortaya çıkmaktadır. Puzolanik özellikte olan atık malzemeleri değerlendirerek daha ekonomik ve performansı yüksek KYB üretebilmek mümkündür. (Şahmaran ve ark., 2004, Türel ve Felekoğlu, 2005, Güneyisi ve ark., 2008, Khatib, 2008, Güneyisi ve ark., 2012, Kurt ve ark., 2016). KYB için ana hipotez, agrega miktarının azaltılması, taze özelliklerini ve homojenliğini sağlamak için çimento içeriğinin artırılmasıdır. Yüksek çimento içeriği, toplam beton üretim maliyetini artırır; hidrasyon işlemi sırasında yüksek ısı üretir ve betonda büzülme sorunlarının artmasına yol açar. Bu nedenle, betonun taze özelliklerini iyileştirmek için, uçucu kül, pirinç kabuğu, silis dumanı, granüle yüksek fırın cürufu da dahil olmak üzere önemli miktarlarda puzolanik atık malzeme çimentonun yerine kullanılmaya başlanmıştır (Nagaratnam ve ark., 2016). Böylece, Portland çimentosu üretimi ile bağlantılı CO₂ emisyonlarının azaltılması sağlanabilir. Dahası, uçucu kül, pirinç kabuğu, silis dumanı ve

benzeri puzolanik atık malzemelerle yapılan KYB araştırmalarında, enerji gereksiniminin ve toplam maliyetin azaldığı, basınç dayanımı, taze işlenebilirlik özelliklerinin ve verimliliğın arttığı görülmüştür (Ranjbar ve ark., 2016). Bu çalışmada, atık malzeme (tarımsal atıklar, atık cam, atık lastik ve plastikler) kullanımının kendiliğinden yerleşen beton performansına olan etkisinin araştırıldığı çalışmalar derlenmiştir.

3.1. Tarımsal Atıklar

Son zamanlarda, tarımsal atık maddelerin (Bambu, muz, mısır, buğday, sisal, çimen vb.) beton üretiminde kullanımı hususundaki araştırmalar giderek artmaktadır (Pappu ve ark., 2007; Karade, 2010). Bitkilerin, büyüme süreci boyunca çeşitli mineralleri (özellikle silikatları) topraktan almaları kısmi çimento yerine kullanılabilirliği fikrini ortaya çıkarmıştır (Mo ve ark., 2016). Tarımsal atıkların bir diğer yaygın kullanım sebebi, lifli yapılarıdır. Böylece elde edilecek betonu güçlendirmek için sentetik lif yerine kullanımı mümkündür.

Ahmadi ve ark. (2007) yaptıkları çalışmada, pirinç kabuğu külünü %10 ve %20 oranlarında, iki farklı su/çimento oranı kullanarak (0.40 ve 0.35) KYB üretmişlerdir. Bu çalışmada, pirinç kabuğu külünün, kendiliğinden yerleşen betonda çimento hamuru ve agrega arasındaki arayüz geçiş bölgesinin mikroyapısını iyileştirmek için oldukça reaktif bir puzolanik malzeme olduğunu göstermişlerdir. 180. güne kadar mekanik özelliklerin incelendiği çalışmada, basınç, eğilme dayanımı ve elastisite modülü değerleri araştırılmıştır. Pirinç kabuğu külünün, 60. gündeki mekanik özellikler üzerinde olumlu bir etkisi olduğu sonucuna varılmıştır.

Buğday çöpü (sapı) atıkları, tahıl üretiminden kaynaklanan yan ürünlerden birisidir. Çiftçiler genelde bu atıkları açık alanda yakarlar ve çevre kirliliğine neden olurlar (Binici ve Aksogan, 2011). Bununla birlikte, buğday çöpü atığı uygun koşullarda yakılıp öğütüldüğünde, puzolanik bir madde olan saman külü üretilebilir ve bu malzeme çimento yerine kullanılabilir (Mo ve ark., 2016). Ataie ve Riding, 2013, yaptıkları bir çalışmada çimento yerine %20 oranında buğday samanı külü ilave ederek, harç basınç dayanımının yaklaşık %25 arttığı sonucuna ulaşmışlardır. Rahman ve ark., (2014) tarafından pirinç kabuğu külü ile yapılan çalışma sonuçları, bu malzemenin KYB'lerin tüm taze durum özelliklerini karşılar nitelikte olduğunu ortaya koymuştur (Tablo 4).

Tablo 4. Pirinç kabuğu külünün KYB'lerin taze özellikleri üzerindeki etkisi (Rahman ve ark., 2014)

Test Metodu	Mix 1	Mix 2	Mix 3	Mix 4
slump yayılma (mm)	630	660	670	580
V-hunisi akış hızı (s)	5.9	6.6	6.3	7
J-ring (mm)	5.2	3.7	3.5	4.4

Filtre keki, şeker kamışı değirmenlerinden elde edilen endüstriyel atıktır. Her 100 ton öğütölmüş şeker kamışı için yaklaşık 3-3,3 ton filtre keki yan ürün olarak kalmaktadır. Filtre keki, nihai bertaraf ve atık yönetimi sorunları nedeniyle çeşitli şeker fabrikalarında önemli çevre kirliliği sorunlarına neden olmaktadır. Şeker endüstrisine ait bu atık, yüksek enerji kapasitesi ve metal absorplama özelliğinin kullanımı ile faydalı bir amaca yönlendirilebilir. Hatta şeker kamışı üretiminde toprak verimliliğinin artırılması amacıyla da kullanılmaktadır. İçerdiği CaO miktarı nedeniyle çimento malzemesi olarak KYB üretiminde kullanımı da araştırılmıştır (Sua-Iam ve Makul, 2017). Bu amaçla yakılan filtre kekinin külü belli oranlarda (%10-40) KYB'a eklenmesi ile elde edilen betonun taze ve sertleşmiş özellikleri incelenmiştir. KYB karışımlarının işlenebilirlik özelliklerini değerlendirmek için slump yayılma deneyi, V- hunisi akış zamanı ve J-Ring testleri yapılmıştır. Tüm karışımlar için bazı yayılma deneyi sonuçları dışında hedef aralıkta kalmıştır. Dahası atık kül miktarı arttıkça V-hunisinde elde edilen süreler uzamıştır. Çimentoya eklenen kül miktarı arttıkça, KYB'nin basınç, eğilme dayanımı ve su emme gibi özellikleri olumsuz etkilenmiştir.

Mısır koçanı önemli miktarda silika içerdiği bilinen tarımsal bir atıktır (Binici ve Aksoğan, 2011). Mısır koçanından üretilen çimento ikame malzemesi yanında, agrega olarak kullanım imkânları da araştırılmıştır. Mısır koçanından elde edilen külün ince agrega olarak %6 yer değiştirme oranı, betonun basınç dayanımı % 40'a kadar artmıştır (365.gün) (Binici ve ark., 2008).

3.2. Atık Cam

Geleneksel cam geri dönüşümü, atık camın enerji gerektiren bir teknikle eritilerek yeniden kullanılabilir hale getirilmesi işlemidir. Ayrıca, toplanan atık camların, genellikle renkli ve kirli olması yeniden kullanımındaki en büyük engeller arasındadır. Bu nedenle atık camın beton üretiminde agrega olarak kullanımı, geri dönüşümün ekonomik bir yoldur.

Doğal kaynakların sınırlı olması, atık depolamada yaşanan sorunlar ve endüstrilerin aşırı enerji ihtiyacı, kentsel ve endüstriyel atıkların "yan ürün" olarak üretim sürecine dahil edilmesini gündeme getirmiştir (Pollery ve ark., 1998). Atık maddelerin yol, kaldırım ve binalarda yapı malzemesi olarak inşaat sektöründe değerlendirilmesi faydalı uygulamalar arasında yer almaktadır (Rebeiz, 2007). Bu atıkların değerlendirilmesi ile atıkların oluşturacağı çevresel sorunlar ortadan kaldırılacak,

ham maddeye duyulan ihtiyaç ve enerji tüketimi azalacak, dolayısıyla sürdürülebilir atık yönetimi gerçekleştirmek mümkün olacaktır.

Kavas ve ark., (2004) tarafından yapılan bir çalışmada, cam atıklarının PÇ 42.5 Portland çimentosunu bünyesine % 5, 10, 15, 20, 25 ve 30 oranlarında katılmasıyla Portland Katkılı Çimento üretilmiştir. Aynı çalışmada, çimentonun genel özelliklerinin olumsuz etkilenmemesi için katkı oranının % 30'u geçmemesi önerilmektedir.

Atık camın agregası olarak kullanıldığı betonlar, aynı işlenebilirliğe ulaşmak için geleneksel agregalara göre daha yüksek su içeriği gerektirmektedir (Pollery ve Ark, 1998). Bazı çalışmalar, atık camların agregası olarak kullanılmasının betonun işlenebilirliği üzerinde belirgin bir etkisi olmadığını; ancak, yayılma (çökme) akış hızında, hava içeriğinde ve taze birim ağırlığında azalmaya neden olduğunu ortaya koymaktadır (Poon ve Chan, 2007).

Elektronik cihazlardaki artışa paralel olarak sıvı kristal ekran (LCD) kaynaklı atıklar da artmıştır. Atık LCD ekranların inşaat sektöründe katkı malzemesi olarak kullanımı son yıllarda dikkat çeken araştırmalar arasındadır. Wang ve Huang (2010) yaptıkları çalışmada, atık LCD camı agregası olarak kullanmışlar, atık malzeme miktarı arttıkça, yayılma hızının arttığı ve %30 oranında pik değerlere ulaştığı görülmüştür. Atık LCD agregası miktarı arttıkça, betonun basınç ve eğilme mukavemetlerinde azalma gözlemlenmiştir. Atık cam agregası oranı %20 olduğunda en yüksek dayanım özellikleri ortaya çıkmıştır. Aynı çalışmada sülfat korozyonu direnci de araştırılmıştır. 8 defa sülfat korozyonu döngüsüne maruz bırakılan numunelerdeki ağırlık kaybı %2,4 - %2,9 aralığında değişmiştir. Bu durum atık LCD camı agregası olarak kullanımı ile sülfat korozyonunun azaltılabileceği, böylece KYB'lerin dayanıklılığının artırılacağı sonucunu ortaya çıkarmıştır.

3.3. Atık Lastikler

2016 yılı TÜİK verilerine göre motorlu taşıtların sayısı 20.098.994'tür. Motorlu araçlarla beraber lastik kullanımı da artmaktadır. Motorlu araçlarda kullanılan lastikler belirli bir süre sonra özelliklerini kaybederek ömrünü tamamlamış lastikler (ÖTL) haline gelmektedir. ÖTL'lerin yığıldığı ve atıldığı yerlerde, şiddetli yangınlar meydana gelmesi ve bu yığınlarda rahatça çoğalma fırsatı bulan böcekler nedeniyle toplum sağlığı açısından risk oluşturmaktadır (Pacheco-Torgal ve ark., 2012). ÖTL'lerin hangi sebeple olursa olsun vadi veya çukurlarda dolgu malzemesi olarak kullanılması, katı atık depolama tesislerine kabulü ve depolanması, ısınmada kullanılması, gösteri ve benzeri fiilleri kapsayacak şekilde her ne amaçla olursa olsun yakılması yasaktır (url 3). Bir kamyon lastiği 18,2 kg ağırlığında olup, bu ağırlığın %60 ile %70'i geri kazanılabilir kauçuk içermektedir (Tablo 5). Kullanılmış lastiklerin, bütün halden toz hale kadar çeşitli boyutlar için geri kazanılması/yeniden kullanımı mümkündür (Sugözü ve Mutlu, 2009). Örneğin çimento üretiminde ilave yakıt olarak kullanıldığı bilinmektedir.

Tablo 5. Atık lastikten elde edilen ürünlerin yüzdesel değerleri

Ürün	Kamyon lastiği (%)	Endüstriyel araç lastikleri (%)	Otomobil lastiği (%)
Kırıntı kauçuk	70	78	70
Çelik	27	15	15
Elyaf ve diğer katkılar	3	7	15

Atık lastiğin, betonda agregası yerine kullanılması ile ilgili daha önce bazı araştırmalar yapılmış olup, sertleşme özelliklerinin iyileştiği (eğilme dayanımı) ve ses yalıtım özelliklerinin arttığı görülmüştür (Eldin ve Senouci, 1993). Bignozzi ve Sandrolini (2006) yaptıkları çalışmada, atık lastik kauçuk parçacıklarının KYB'lerin, taze beton davranışını önemli ölçüde etkilemediğini görmüşlerdir (Tablo 6).

Tablo 6. Taze beton test sonuçları (Bignozzi ve Sandrolini, 2006)

	KYB-A	KYB-B	KYB-C
Atık lastik (v/v) %	0	22.2	33.3
slump yayılma (mm)	630	630	700
J-ring (mm)	580	580	680

Güneyisi ve arkadaşları (2004), silis dumanı katkılı, kırıntı lastik ve lastik parçaları ile elde ettikleri betonun mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Deney sonuçları incelendiğinde atık lastiğin çekme dayanımını, basınç dayanımına göre daha çok azalttığını gözlemlenmişlerdir. Ayrıca, silis dumanı oranı arttıkça, çimento harcı-atık lastik ara yüzeyi silis dumanının sağladığı yüksek bir dolgu etkisi ile iyileşmiştir.

Najim ve Hall (2012) tarafından yapılan çalışmada, atık lastiklerden elde edilen 2-6 mm boyutundaki parçacıkları kendinden yerleşen betonda ince ve/veya iri agregası olarak kullanmışlardır. Yazarlar, % 5, % 10 ve % 15 oranlarında kullandıkları atık lastiklerin beton içerisinde agregası olarak kullanılmasının betonun dayanımını azalttığını gözlemlenmişlerdir. Bununla birlikte, eklenen atık lastik parçacıklarından kaynaklanan dayanım kaybı hala tartışılan bir konudur (Hesami ve ark., 2016). Mekanik özelliklerin artırılması için atık lastik üzerinde yüzey işleme ve kaplama yöntemleri uygulamak mümkündür (Li ve ark., 1998, Segre ve Joeke, 2000).

Yung ve arkadaşları (2012) tarafından, % 5 atık lastik tozu ilavesi ile elde edilen KYB örneklerinde 28. günde yapılan ultrasonik ses geçirme hızı 4000 m/s olarak ölçülmüştür. Bununla birlikte, atık lastik miktarı arttıkça, ultrasonik ses geçirme hızı 4000 m / s'den daha düşük bir seviyeye inmiştir.

3.4. Atık Plastikler

Dünyada üretilen toplam petrolün %4'ü plastik üretimi için kullanılmaktadır. Plastikler bütün dünyada demir, tahta ve cam gibi malzemelerin yerine alternatif malzeme olarak kullanılmakta ve her gün yeni uygulamalara imkân sağlamaktadır. Gerek ekonomik, gerekse kolay işlenebilir olması, plastiğin diğer maddelere göre tüketimini hızla arttırmaktadır (Pivnenko ve ark., 2016). Günümüzde PET (Polietilen tereftalat) su, meşrubat, sıvı yağ vb. sıvı gıdaların ambalajlanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Atık plastikler, aşırı tüketilmeleri ve düşük biyobozunurluk özelliklerinden dolayı dünya genelinde çevresel sorunlara yol açmaktadır. Son yıllarda plastiklerin ikincil bir kullanım alanı olarak inşaat sektöründe kullanımı yaygın olarak araştırılmaktadır. Özellikle kendiliğinden yerleşen beton (KYB) ve hafif beton teknolojisinde kullanımı incelenmektedir (Safi ve ark., 2013).

Rebeiz (2007) yaptığı bir çalışmada, atık PET'ten üretilmiş reçine ile iyi kalitede hazır beton elde etmiştir. Başka bir çalışmada, Choi ve ark. (2005), plastik atıkların (PET şişeler) agrega olarak kullanımının beton üzerindeki etkilerini ortaya koymuşlardır. Bu çalışmada elde edilen somut bulgular, plastik kullanımı ile beton ağırlığının % 2-6 ve basınç dayanımının %33 oranında azaldığını göstermiştir. Safi ve ark. (2013) tarafından yapılan çalışmada; %20-50 plastik atık içeren kendiliğinden yerleşen harç ile yapılan deneylerde, basınç dayanımının %15-33 oranında azaldığı bulgusu elde edilmiştir.

İnşaat sektöründe hafif beton kullanımı, yapıların ölü yüklerini ve yanal deprem kuvvetlerini azaltmak açısından avantaj sağlamaktadır. Hafif betonun yoğunluğunun düşük olmasının yanı sıra, normal ağırlıkta betona kıyasla daha iyi izolasyon kabiliyetine sahip olduğu bilinmektedir. Tüketim sonrası plastiklerle yapılan kendiliğinden yerleşen hafif beton çalışmalarında başarılı ve etkili sonuçlar elde edilmiştir (Siddique ve ark., 2008). Geri dönüştürülmüş plastiklerin betonda kullanılması, betonun birim hacim ağırlığını düşürmektedir. % 10-50 oranında geri dönüşümlü plastik agregalar içeren betonlarda hacim yoğunluğu, geleneksel betonla karşılaştırıldığında, % 2.5-13 oranında azalmıştır. % 10-50 geri dönüştürülmüş plastik agrega içeren betonun basınç dayanımı 48 ila 19 MPa arasında değişmektedir. Bununla beraber, basınç dayanımı, geri dönüşümlü plastik içeriğindeki artışla birlikte azalmıştır (Siddique ve ark., 2008).

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, atık malzemelerin inşaat sektöründe çok büyük kullanım potansiyelinin bulunduğunu göstermektedir. Betonda kullanılan ana bağlayıcı olan Portland çimentosu, yalnızca yoğun enerji kullanılarak üretilen bir endüstrinin ürünü değildir, aynı zamanda sera gazı olarak adlandırılan CO₂ emisyonlarından da sorumludur. Dolayısıyla çimento üretimi; küresel ısınmaya ve iklim değişikliğine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Türkiye'de ve Dünyada atıkların inşaat sektöründe değerlendirilmesi durumunda, enerji tasarrufu sağlanması, daha ucuz ve kaliteli malzeme üretilmesi, atık malzemenin geri dönüştürülmesiyle ülke ekonomisine katkı sağlanması mümkün görünmektedir. Bununla birlikte atık malzemenin elde edilen yapı malzemelerinin dayanıklılık, ekonomi ve çevreye etkisini inceleyen daha çok araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu makale, atık malzemelerin yapı malzemesi olarak kullanımı hakkında çeşitli hususları ortaya koymuştur ve bunlar şu şekilde özetlenebilir:

- ✓ Pirinç kabuğu külü, buğday sapı, bambu yaprağı külü, mısır koçanı külü, şeker kamışı külü ve çimen gibi birçok tarımsal atığın çimento yerine kullanımı mümkündür.
- ✓ Geri dönüşümlü atık camın farklı beton ürünlerde (beton bloklar, kendiliğinden yerleşen beton ve mimari harçlar), kullanımı için yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları umut verici sonuçlara ulaşmıştır.
- ✓ Tüketim sonrası plastiklerin, agrega olarak kullanımına ilişkin başarılı ve etkin sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca, geri dönüşümlü plastikler; kaldırım, köprü, zemin yüzeyi ve barajlarda hasar görmüş çimento beton yüzeylerin onarımında etkili bir şekilde kullanılabilir.
- ✓ Atık lastikler şiddetli deprem riski bulunan alanlardaki yapılar ve demiryolu traversleri gibi ciddi dinamik hareketlerin olduğu yerlerde özel olarak önerilmektedir. Bu malzeme, gürültü azaltan bariyerler gibi yük taşıyıcı özelliği olmayan amaçlar için de yapı malzemesi olarak kullanılabilir.

Farklı katı atık türlerinden üretilen alternatif yapı malzemelerinin kullanımını en üst düzeye çıkarmak, laboratuvara dayalı üretim süreçlerine uygulama alanı bulabilmek ve girişimcilerin ürünleri ticarileştirmelerini kolaylaştırmak için teknoloji merkezlerine ihtiyaç vardır. Ayrıca; atık malzemenin elde edilen yapı malzemelerinin somut performansının en üst düzeye çıkarılması için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

5. KAYNAKLAR

Ahmadi, M.A., Alidoust, O., Sadrinejad I., ve Nayeri, M., (2007). Development of Mechanical Properties of Self Compacting Concrete Contain Rice Husk Ash, World Academy of Science, Engineering and Technology, *International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering*,1(10).

- Al-Jabri, K.S., Hisada, M., Al-Saidy, A.H., Al-Oraimi, S.K., (2009). Performance of high strength concrete made with copper slag as a fine aggregate, *Construction and Building Materials*, 23, 2132–2140.
- Aruntaş, H. Y., Dayı, M., Tekin, İ., Birgül, R., Şimşek, O., (2007). Kendiliğinden Yerleşen Beton Özelliklerine Atık Mermer Tozunun Etkisi, 2. *Yapılarda Kimyasal katkılar Sempozyumu*, 12-13 Nisan 2007, 173-180.
- Ataie, F.F., Riding, K.A., (2013). Thermochemical pretreatments for agricultural residue ash production for concrete, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 25 (11), 1703-1711.
- Bigozzi, M.C., Sandrolini, F., (2006). Tyre rubber waste recycling in self-compacting concrete, *Cement and Concrete Research*, 36, 735–739.
- Binici, H., Aksogan, O., (2011). The use of ground blast furnace slag, chrome slag and corn stem ash mixture as a coating against corrosion, *Construction and Building Materials*, 25 (11), 4197-4201.
- Binici, H., Yuçegok, F., Aksogan, O., Kaplan, H., (2008). Effect of corncob, wheat straw, and plane leaf ashes as mineral admixtures on concrete durability, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 20 (7), 478-483.
- Choi Y.W., Moon D.J., Chung J.S., Cho S.K., (2005). Effects of waste PET bottles aggregate on the properties of concrete, *Cement and Concrete Research*, 35:776–781.
- Dash, M. K., Patro, S. K., Rath, A. K., (2016). Sustainable use of industrial-waste as partial replacement of fine aggregate for preparation of concrete – A review, *International Journal of Sustainable Built Environment*, 5, 484–516.
- Demirarslan, K. O., Demirarslan D., (2016). Kentlerde Yeni Yerleşim Alanlarının Gelişimi ve Katı Atık Sorunu: İzmit Yahyakaptan Mahallesi Örneği, *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 2 (2), 108-120.
- Devi, V.S., Gnanavel, B.K., (2014). Properties of concrete manufactured using steel slag, *Procedia Engineering*, 97, 95–104.
- Eldin, N.N., Senouci, A.B., (1993). Rubber-tyre particles as concrete aggregates. *ASCE Journal of Materials in Civil Engineering*, 5 (4): 478–496.
- Gesoglu, M., Güneyisi, E., Mahmood, S.F., Öz, H.Ö., Kasım Mermerdas, (2012). Recycling ground granulated blast furnace slag as cold bonded artificial aggregate partially used in self-compacting concrete, *Journal of Hazardous Materials*, 235-236, 352–358.
- Güneyisi, E., Gesoglu, M., Ozturan, T., (2004). Properties of rubberized concretes containing silica fume, *Journal of Cement and Concrete Research*, 34: 2309–2317.
- Güneyisi, E., Gesoğlu, M., Booya, E., (2012). Fresh properties of self-compacting cold bonded fly ash lightweight aggregate concrete with different mineral admixtures, *Materials and Structures*, 45: 1849-1859.
- Güneyisi, E., Gesoğlu, M., Booya, E., Mermerdaş, K., (2015). Strength and permeability properties of self-compacting concrete with cold bonded fly ash lightweight aggregate, *Construction and Building Materials*, 74: 17-24.
- Gürer, C., Akbulut, H., Kurklu, G., (2004). İnşaat Endüstrisinde Geri Dönüşüm ve Bir Hammadde Kaynağı Olarak Farklı Yapı Malzemelerinin Yeniden Değerlendirilmesi, 5 *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 13-14 Mayıs 2004, İzmir, Türkiye.
- Hesami, S., Hikouei, I.S., Emadi, S.A.A., (2016). Mechanical behavior of selfcompacting concrete pavements incorporating recycled tire rubber crumb and reinforced with polypropylene fiber. *Journal of Cleaner Production*, 133: 228-234.
- Karade, S., (2010). Cement-bonded composites from lignocellulosic wastes, *Construction and Building Materials*, 24 (8) 1323-1330.
- Kavas, T., Çelik, M. Y., Evcin, A., (2004). Cam Atıklarının Çimento Üretiminde Katkı Maddesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, 5. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 13-14 Mayıs, İzmir, Türkiye, 114-119.
- Kendiliğinden yerleşen beton özellikleri, üretimi ve kullanımı için Avrupa Standartı, EFNARC; 2005.

- Khatib, J. M., (2008). Performance of self-compacting concrete containing fly ash, *Construction and Building Materials*, 22: 1963-1971.
- Kurt, M., Gül, M. S., Gül, R., Aydın, A. C., Kotan, T., (2016). The effect of pumice powder on the self-compactability of pumice aggregate lightweight concrete, *Construction and Building Materials*., 103: 36-46.
- Li, Z., Li, F., Li, J., (1998). Properties of concrete incorporating rubber tyre particles. *Magazine of Concrete Research*, 50 (4): 297-304.
- Mo, K. H., Alengaram, U. J., Jumaat, M. Z., Yap, S. P., Lee, S. C., (2016). Green concrete partially comprised of farming waste residues: a review, *Journal of Cleaner Production* ,117, 122-138.
- Nagaratnam, B.H., Rahman, M. E., Mirasa, A.K, Mannan, M.A., Lame, S.O., (2016). Workability and heat of hydration of self-compacting concrete incorporating agro-industrial waste, *Journal of Cleaner Production*, 112: 882-894.
- Najim, K.B. ve Hall, M.R., (2012). Mechanical and dynamic properties of self-compacting crumb rubber modified concrete. *Construction and Building Materials*, 27: 522–524.
- Pacheco-Torgal, F., Ding, Y., Jalali, S., (2012). Properties and durability of concrete containing polymeric wastes (tyre rubber, and polyethylene terephthalate bottles): An overview, *Construction and Building Materials*, 30:714–724
- Paris, J. M., Roessler, J. G., Ferraro, C. C., DeFord, H. D., Townsend, T. G., (2016). A review of waste products utilized as supplements to Portland cement in concrete, *Journal of Cleaner Production* ,121,1-18.
- Pappu, A., Saxena, M., Asolekar, S.R., (2007). Solid wastes generation in India and their recycling potential in building materials, *Building and Environment*, 42 (6) 2311-2320.
- Pivnenko K., Eriksen, M.K., Martín-Fernández, J.A., Eriksson, E., Astrup, T.F., (2016). Recycling of plastic waste: Presence of phthalates in plastics from households and industry, *Waste Management*, 54, 44–52.
- Pollery C, Cramer SM, De La Cruz RV., (1998). Potential for using waste glass in Portland cement concrete, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 10(4):210–219.
- Poon, C.S. ve Chan D., (2007). Effects of contaminants on the properties of concrete paving blocks prepared with recycled concrete aggregates, *Construction and Building Materials*, 21(1):164–175.
- Prabhu, G. G., Hyun, J. H., Kim Y. Y., (2014). Effects of foundry sand as a fine aggregate in concrete production, *Construction and Building Materials*, 70, 514–521.
- Rahman, M.E., Muntohar, A.S., Pakrashi, V., Nagaratnam, B.H., Sujan, D., (2014). Self compacting concrete from uncontrolled burning of rice husk and blended fine aggregate, *Materials and Design*, 55, 410–415.
- Ranjbar, N., Behnia, A., Alsubari, B., Birgani, P. M., Jumaat M. Z, (2016). Durability and mechanical properties of self-compacting concrete incorporating palm oil fuel ash, *Journal of Cleaner Production*, 112, 723-730.
- Rebeiz KS., (2007). Time-temperature properties of polymer concrete using recycled PET, *Cement and Concrete Composites*,17:603–608.
- Safi, B., Saidi, M., Aboutaleb, D., Maallem, M., (2013). The use of plastic waste as fine aggregate in the self-compacting mortars: Effect on physical and mechanical properties, *Construction and Building Materials*, 43, 436–442.
- Safiuddin, M., Jumaat, M. Z., Salam, M. A., Islam, M.S., Hashim, R., (2010). Utilization of solid wastes in construction materials, *International Journal of the Physical Sciences*, 5(13), 1952-1963.
- Segre, N., Joekes, I., (2000). Use of tire rubber particles as addition to cement paste. *Cement and Concrete Research*, 30 (9): 1421-1425.
- Shi, C., Wu, Z., Lv, K., Wu, L., (2015). A review on mixture design methods for self-compacting concrete, *Construction and Building Materials*, 84, 387–398.

- Siddique, R., Khatib, J., Kaur, I., 2008. Use of recycled plastic in concrete: A review, *Waste Management*, 28, 1835–1852.
- Sua-Iam, G., Makul, N., (2017). Effect of incinerated sugarcane filter cake on the properties of self-compacting concrete, *Construction and Building Materials*, 130, 32–40.
- Sugözü, İ., Mutlu, İ., (2009). Atık Taşıt Lastikleri ve Değerlendirme Yöntemleri (Teknik Not), *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 1(1), 35-46.
- Şahmaran, M., Yaman, İ., Ö., Tokyay, M., (2004). Yeni Nesil Yüksek Akışkanlaştırıcı Katkı Maddeleri ile Yüksek Hacimde Uçucu Kül İçeren Kendiliğinden Yerleşen Beton, *Beton 2004 Kongresi, İstanbul*, 10-12 Haziran 2004, 225- 233.
- Topçu, İ. B., Bilir, T., Baylavlı, H., (2008). Kendiliğinden Yerleşen Betonun Özellikleri, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Müh.Mim.Fak. Dergisi*, 1-22.
- Turner, L.K., Collins, F.G., 2013. Carbon dioxide equivalent (CO₂-e) emissions: A comparison between geopolymer and OPC cement concrete, *Construction and Building Materials*, 43, 125–130.
- Türel, S., Felekoğlu, B., 2005. Silika Dumanı ve Akışkanlaştırıcı Kimyasal Katkı Kullanımının Betonda Kendiliğinden Yerleşebilirlik ve Basınç Dayanımı Üzerine Etkileri, *Deprem Sempozyumu, Kocaeli*, 286-293.
- url 1 TUİK <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=15844> (Erişim Tarihi 13.04.2017)
- url2 <http://www.rewistanbul.com/tc-bilim-sanayi-ve-teknoloji-bakanligi-2014-2017-ulusal-geri-donusum-strateji-belgesi-ve-eylem-planini-yayinladi-51.html> (Erişim Tarihi 13.04.2017)
- url3 <http://www.csb.gov.tr/gm/cygm/index.php?Sayfa=sayfa&Tur=webmenu&Id=8048>
- Viacava, I. R., Cea, A. A., Sensale, G. R., (2012). Self-compacting concrete of medium characteristic strength, *Construction and Building Materials*, 30, 776–782.
- Yung, W. H., Yung, L. C., Hua, L. H., (2013). A study of the durability properties of waste tire rubber applied to self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 41: 665–672.
- Wang, H.-Y., Huang, W.-L., (2010). Durability of self-consolidating concrete using waste LCD glass, *Construction and Building Materials*, 24, 1008–1013.