



Plastik Atıkların ve Yapıda Kullanım Olanaklarının İncelenmesi

Merve Tuna Kayılı^{1*}, Gülser Çelebi²

¹ Mimarlık Bölümü, Mimarlık Fakültesi, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

² İç Mimarlık Bölümü, Mimarlık Fakültesi, Çankaya Üniversitesi, Ankara, Türkiye

E-Posta: mervetunakayili@karabuk.edu.tr, gulsercelebi@cankaya.edu.tr

Gönderim 11.04.2020; Kabul 15.07.2020

Özet: Plastikler dayanıklı, yalıtkan ve hafif malzemelerdir. Şekil verilebilme özelliği yüksek, esnek veya rijit olarak üretilebildikleri için kullanım alanı da geniştir. Plastiklerin günümüzden her sektöründe kullanılması, atık miktarının da her geçen gün kaçınılmaz olarak artması anlamına gelmektedir. Plastik atıklarının azaltımına yönelik en önemli çözüm, kaynaktan azaltma yöntemi olup, sonrasında ise yeniden kullanım ve geri dönüşümdür. Mümkün olduğunca düşük tüketim sonrasında kullanım ömrünü tamamlayan plastik atıkların yeniden kullanılması ya da yapıda veya çeşitli sektörlerde farklı işlevlerde geri dönüşümü, atık azaltımını güçlendiren yöntemler arasında görülmektedir. Plastik tüketiminin azaltılması, kullanılmış plastik ürünlerin sektöre döndürülmesi atık oranının azaltılmasının yanı sıra ülke ekonomisi bağlamında da büyük önem arz etmektedir. Çalışma kapsamında Türkiye’de plastik kullanımının niceliği ve atık plastiklerin azaltılmasına yönelik yöntemlere yer verilirken, plastik atıkların azaltılmasına yönelik atık plastik kullanılarak üretilen kompozit malzeme çalışmaları ve yapıda kullanım olanakları detaylı bir literatür çalışması ile ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Plastik atıklar, atık azaltımı, atık plastiklerin yapıda kullanımı

Investigation of Plastic Wastes and Possibilities for Use in Construction

Received 11.04.2020; Accepted 15.07.2020

Abstract: Plastics are durable, insulating and lightweight materials. Since they can be produced with high shapeability, flexible or rigid usage area is also wide. The use of plastics in every sector of today means that the amount of waste inevitably increases with each passing day. The most important solution for the reduction of plastic wastes is the method of reduction at the source, and then reuse and recycling. Reuse of plastic wastes that have completed their lifetime after consumption as low as possible, or recycling in different functions in the building or in various sectors, are among the methods that strengthen waste reduction. Reducing plastic consumption, returning used plastic products to the industry is of great importance in the context of the country's economy as well as reducing the waste rate. In this study, the quantity of plastic used in Turkey and the methods for the reduction of waste plastic were evaluated. Then composite material studies using waste plastic to reduce plastic wastes and usage possibilities in the building are discussed with a detailed literature study.

Key Words: Waste plastics, waste reduction, use of waste plastics in the construction

GİRİŞ

Sanayi devrimiyle birlikte, yüksek üretime bağlı olarak artan hammadde gereksinimi doğal kaynakların çevrim kapasitesinin üzerine çıkmakta ve bununla beraber büyük bir atık sorunu oluşturmaktadır. Yapı ürünü sektörü, üretim endüstrisinin büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Ürünlerin oluşum enerjisine bağlı olarak çevreye olan zararlı etkisinin artmasının yanı sıra, yüksek enerjili yapı ürünlerinin atık miktarları ve buna bağlı olarak kirletici oranları da büyük miktarda gerçekleşmektedir (Tablo 1).

Yapı ürünü sektörüne girdi veren endüstrilerden birisi polimer üretim tesisleridir. Petrol esaslı olan plastiklerin üretilmesi sırasında yüksek enerjiye gereksinim duyulmaktadır. Plastik sanayisinin birçok kullanım sahası bulunmakla birlikte, yeni ve estetik malzemelerin üretilmesi, ısı konfor, kullanım kolaylığı gibi birçok nedenle polimer esaslı yapı malzemeleri yapı sektöründe kendine yer bulmaktadır. Petrol -esaslı bu malzemelerin yapıda ya da herhangi bir sektörde kullanımını tamamladıktan sonra atık olarak çevreye bırakılma oranı her geçen gün artmaktadır.

*İlgili E-posta/Corresponding E-mail: mervetunakayili@karabuk.edu.tr

Bu çalışma “Yüksek Fırın Baca Tozu ve Atık Polietilen Kullanılarak Üretilen Kompozit Malzemenin Yapıda Kullanılabilirliğinin Saptanması” adlı Doktora Tezi’nden üretilmiştir.

Tablo 1. Bazı yapı ürünlerinin üretiminde oluşan kirletici atıklar ^[1]

Yapı Ürünü	Hava Kirletici Atık	Su Kirletici Atık	Toprak Kirletici Atık
Çimento	Kükürt dioksit, toz, çimento atıkları	Ağır metaller (Pb, Cd, Zn, Cu)	Fırın tozlarının ve ağır metallerin yağmurla ıslanarak toprağa geçmesi
Alüminyum	Parçacıklar, flor	Siyanid, yağlar	Toprak pH'sının alkali hale gelerek bünyesinde Al miktarının artması inorganik fosfat oluşumu
Demir-Çelik	Parçacıklar, baca gazları, katran bileşikleri, kükürtdioksit, amonyak, diğer organik bileşikler, karbonmonoksit, hidrokarbonlar	Ağır metaller, sülfat, demir, siyanit, amonyak, klorür, fenoller	Ağır metallerin toprağa geçmesi
Bakır	Parçacıklar, kükürt dioksit, kükürt trioksit, florlu hidrojen, karbon monoksit	Ağır metaller, sülfat, demir, siyanit	Ağır metaller ve küçük bitkilerde zehir etkisi
Kurşun ve Çinko	Parçacıklar, kükürt dioksit, kükürt trioksit	Ağır metaller, sülfat, demir, siyanit	Ağır metaller
Boya ve Cila	Parçacıklar, hidrokarbonlar, diğer organik bileşikler	Yağlar, fenoller.	
Plastik	Parçacıklar, klor	POPs (kalıcı organik kirleticiler)	POPs (kalıcı organik kirleticiler)

Atıkların geri dönüşümü işleminde, geri dönüştürülen ürün miktarının artırılması için gereken “kaynakta ayırma/source separation” yönteminin önemi açıktır. Öyle ki; kaynakta ayırma yöntemi kullanılmadan bütün yapının ekskavator yardımıyla yıkılıp, yıkıntı atıklarının “karışık toplanması /mixed collection” esnasında, ürün kayıpları %13'e ^[2] kadar çıkabilmektedir.

Atıkların bertarafı ve değerlendirilmesini içeren atık yönetimi ve kalkınma faaliyetlerinin abiyotik ve biyotik çevreye etkisine yönelik dünyada birçok yasal uygulamalar ve standartlar getirilmiştir. Bunlardan bazıları aşağıda sıralanmaktadır: ^[3]

- Çevresel Etki Değerlendirmesi Direktifi (ÇED)
- Çevresel Ürün Beyanları (Environmental Product Declarations-EPD)/ ISO 14020 Çevre Etiketleri ve Beyanları
- Maden Çıkarım ve İşleme Endüstrisinde Atık Yönetimi Direktifi (2006/21/EC):
- CEN ürün standartları
- Çevresel Etiket (Eco-label)
- Çevre Yönetim ve Denetim Sistemi (Eco Management and Auditing Scheme-EMAS)
- ISO 14001-Çevre Yönetim Sistemleri
- MSDS (Malzeme Güvenlik Föyleri /Material Safety Data Sheet)

Türkiye’de ise aşağıda sıralanan yönetmelik ve standartlar uygulamaya konulmaktadır;

- Çevre Kanunu
- Sıfır Atık Yönetmeliği
- Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği
- ÇED Yönetmeliği
- Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik
- Bitkisel Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği
- Atık Pil ve Akümülatörlerin Kontrolü Yönetmeliği
- Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Kontrolü Yönetmeliği
- Hava Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
- Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
- Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
- Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliği Yönetmeliği

- Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği
- Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik
- Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği
- Endüstriyel Tesislerden Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği
- Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği
- TS ISO/TR 14062 Çevre Yönetimi/ Ürün Tasarımına ve Geliştirilmesine Çevresel Boyutların Dâhil Edilmesi
- TS ISO/TR 14025 Çevre etiketleri ve beyanları/ Tip III Çevre Beyanları

Yukarıda sayılan yönetmelik ve standartların yanı sıra, yapı ürünlerine yönelik Yapı Malzemeleri Yönetmeliği, 89/106/EEC sayılı Yapı Malzemeleri Direktifinin uyumlaştırılmasıyla oluşturulmuştur. Dayanıklılık, yangına dayanım, gürültüye kaşı korunum, kullanım emniyeti, enerji korunumu ve etkinliği, çevre, sağlık ve hijyen temel gereklerini tarifleyen açıklayıcı dokümanlardan çevre sağlık ve hijyenle ilgili olan bölümde, yapının çevre üzerindeki etkisinin yaşam döngüsünün her anında dikkate alınmasının gerekliliği belirtilmektedir. [4]

Yapı Malzemeleri Yönetmeliği'ne (89/106/EEC) İlişkin Açıklayıcı Dokümanlar Hakkında Tebliğ'e göre çevre sağlık ve hijyen temel gereğine göre yapı ürünleri, zehirli gazların salımı, havadaki tehlikeli partikül veya gazların varlığı, tehlli radyasyon salımı, toprağın ve suyun kirlenmesi veya zehirlenmesi gibi nedenlerden dolayı hijyen ve sağlık açısından tehdit oluşturmayacak şekilde tasarlanmalıdır.

Bütün yasal düzenleme ve yönetmeliklere rağmen atık sorununun büyük bir kısmından sorumlu olan plastik yapı ürünleri ve bu ürünlerin üretim süreci atıkları, beraberinde büyük çevre sorunlarını getireceğinden, bu sorunun çözülmesi sadece bölgesel bir gereklilikten ziyade küresel bir ihtiyaç olarak görülmektedir. Bu bağlamda bu çalışmanın içeriğinde, yüksek enerjili üretime sahip plastik atıkları ayrıntılı olarak incelenmiş ve plastik atıklarının yapıda ve ürün üretiminde kullanımına bakılarak plastik atıklarının azaltılmasına yönelik çalışmalar geniş literatür taraması ile ele alınmıştır.

PLASTİK KULLANIMI VE PLASTİK ATIKLARIN İNCELENMESİ

Plastikler, dayanıklı, yalıtkan, hafif, şekil verilebilme özelliği yüksek ve esnek veya rijit olarak üretilebilmesi nedeniyle oldukça yüksek kullanım alanına sahiptir. 1950 yılında 1,5 milyon ton olan dünya plastik üretiminin 2018 yılında 358 milyon tona çıktığı tahmin edilmektedir. Dünya üzerinde toplam plastik üretiminin yaklaşık %25'ini tek başına Çin gerçekleştirirken, yine Çin'in de içinde bulunduğu ABD, Almanya, S. Arabistan ve Hindistan olmak üzere 5 ülke tarafından %53'lük kısmını gerçekleştirmektedir. Küresel plastik üretiminin 2015 yılında 300 milyon tondan 2050'de 1800 milyon tona yükselmesi beklenmektedir [5].

Türkiye'de kişi başına plastik mamul tüketimi 2014 yılı sonunda 94 kg olarak belirlenmektedir. Bu düzeydeki kişi başına tüketim seviyesi, gelişmiş batı toplumlarının altında, dünya ortalamasının ise iki katındadır. Bu durum, iç pazarın doyum noktasının çok altında olduğunu ve Türkiye'de plastik tüketimine yönelik potansiyel talebin daha da artacağını göstermektedir [6]. Türkiye'deki plastik sektörünün plastik hammadde sağlanmasında ithalata bağımlılığı sürmekte olup, 2016 yılında bu oran % 87.2'ye kadar yükselmiştir [7]. Bu bağlamda, plastik tüketiminin azaltılması, kullanılmış plastik ürünlerin sektöre döndürülmesi hem atık oranının azaltılması hem de ülke ekonomisine katkı değer sağlaması bağlamında önem taşımaktadır.

Türkiye'de plastik tüketimini yönlendiren başlıca sektörler, dünyada da olduğu gibi ambalaj ve yapı ürünü sektörleridir. En yüksek kullanım alanına sahip ambalaj sektörünün bütün tüketim içindeki oranı %36 olup, yapı sektörü % 23, ayakkabı ve otomotiv % 17, elektrik % 10, tarım % 6 ve giyim % 4 oranında paya sahiptir [8].

Türkiye'nin en büyük ve önde gelen sivil toplum kuruluşlarından biri olan PAGEV'in (Türk Plastik Sanayicileri Araştırma Geliştirme ve Eğitim Vakfı) 2019 faaliyet raporuna [9] göre, en çok üretim hacmi termoplastik çeşidinde gerçekleşmektedir. 2019 yılında toplam plastik hammadde üretiminin 1 milyon 14 bin ton civarında gerçekleştiği tahmin edilmektedir [9]. Isıyla tekrar şekillendirilebilmelerinden dolayı Dünya'da büyük kullanım olanağı bulan termoplastikler daha çok, ekstüzyonla kalıplama, enjeksiyonla kalıplama, şişirerek kalıplama, vakumla şekillendirme, dönerek (rotasyon) kalıplama yöntemleriyle işlenerek endüstriyel ürün haline dönüştürülmektedir [10]. Termoplastiklerden polietilenlerin ilk türü olan AYPE yüksek basınçlı üretim süreci kullanılarak 1000-3000 atmosfer basınçlarında ve 100-300 °C

arasındaki sıcaklıkta bağımsız radikal polimerizasyonu yoluyla üretilmektedir. Sağlam parafin esaslı yapısı nedeniyle, en dayanıklı polimerlerden birisi olan AYPE'den, enjeksiyon veya ekstrüzyon yöntemi kullanılarak bir çok ürün üretilebilmektedir. Çeşitli konteyner üretiminde, sera örtülerinde, bilgisayar parçaları için plastik çanta yapımında, laboratuvar malzemeleri şekillendirmede ve ambalajlamada, boru üretiminde ve plastik poşet üretiminde yaygın olarak kullanım alanına sahip AYPE, oda sıcaklığında inorganik tuz, seyreltik asit ve alkali çözeltilerinden etkilenmemekte olup hidrofobik özelliğe sahiptir.

Bir diğer termoplastik olan PVC (polivinilklorür) , yapı sektöründe sıklıkla kullanılmaktadır. Yapı sektörünün yanı sıra PVC'nin elektrik ve telefon kablolarında, gıda ambalaj, montaj ve giyecek sanayisinde ve otomobil sektörü gibi yaygın kullanım alanları bulunmaktadır. Atık PVC plastik ambalajlarından kirli su boruları, marley ve çeşitli dolgu malzemelerinin üretildiği bilinmektedir ^[11].

PP (polipropilen) de diğer plastik türlerine göre daha hafif ve yumuşama sıcaklığının yüksek olması nedeniyle sağlık sektöründen yapı sektörüne kadar birçok alanda kullanım imkânı bulmaktadır. Özellikle ABD'de halıcılık endüstrisinde polipropilen liflerin kullanımı oldukça yaygındır ^[11-12]. Mobilya, duvar kaplaması, ambalaj ve otomobil sektöründe kullanılan PP'nin Türkiye'deki 2010 ile 2014 yılları arasındaki kullanımının yaklaşık %30 oranında azaldığı gözlenmektedir.

Yapıda sıklıkla kullanılan bir diğer plastik türü ise ABS (Acrylonitrile-Bütadien-Styrene) plastiklerdir. Mutfak aletlerinde, aydınlatma ürünlerinde, yüksek sıcaklığa dayanıklı olması nedeniyle radyatör panellerinde, tesisat boru ve parçalarında sıklıkla tercih edilmektedir. ABS plastiklerin bina ve yapı uygulamalarındaki kullanım alanları ise tavan vantilatörleri, banyo küveti parçaları ve diğer tesisat parçalarıdır ^[13].

Yukarıda sayılan plastiklerin dışında PPO (polifenilen oksit), OPP (oriented polipropilen), PPE (polifenilen eter), EVA (etilen vinil asetat), PMP (polimetilpenten), PS (polysitren), PPS (polifenilen sülfid), PA (poliallomer), PAI (poliamid-imide), PET (polietilenteraftalat), PB (polibutilen) , PMMA (polimetil metakrilat), PC (polikarbonat), TPU (poliüretan termoplastik) ve NYLON gibi birçok plastik türü günlük yaşamda sıklıkla kullanım alanı bulmaktadır.

Plastiklerin günümüzün her alanında kullanılması, atık miktarının da her geçen gün kaçınılmaz olarak artması anlamına gelmektedir. Ürünlerin atık yönetiminde "azalt-yeniden kullan-geri dönüştür-yok et" hiyerarşik prensibi ^[14] ve ürünlerin "beşikten beşiğe" anlayışı ^[15] önemli bir yer tutmaktadır. Atık yönetiminin stratejileri atığın geri kazanım durumuna göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir;

- Atık üretiminin sınırlandırılması (reduce)
- Atıkların yeniden kullanımı (reuse)
- Yeniden kullanımı uygun değilse geri dönüşümü (recycle-downcycle ^[16])
- Termal uygulamalarla enerji kazanımı (incineration)
- Depolama (land filling) ^[17].

Atık yönetimi hiyerarşisinde önerilen, ilk uygulanması gereken kural, mümkün olduğunca atık çıkarımının azaltılması kuralıdır. Ortaya çıkan atıklar, eğer mekanik ya da kullanılacağı işleve yönelik performans kaybına sahip değilse aynı işleyle, herhangi bir kimyasal uygulamaya maruz bırakılmadan yeniden kullanımı sağlanmalıdır. Performans kaybına uğramış atıkların, fiziksel/kimyasal bir sürecin ardından aynı malzeme işlevine yönelik üretilmesiyle geri dönüşümü ya da fiziksel/kimyasal işleme tabi tutularak düşük performansa uygun olan farklı işlevlerde kullanılması ile alt dönüşümü (downcycle) ^[16] sağlanmalıdır. İki yöntemle de geri kazanımı sağlanamayan atıkların yakılması ile enerji kazanımı ya da tozuşma ve gürültü kontrolü yapılmış bir alanda depolanması gerekmektedir ^[2,17-21]. Fakat depolama yöntemi ile atıkların geri dönüşümünden ziyade çevreye zararının minimize edilmesi amaçlanmaktadır. Bu durum atığın azaltılmasını sağlamadığından, atıklar mümkün olduğunca geri kazanım yöntemleriyle geri dönüştürülmeli ve azaltılmalıdır.

Plastik atıklarının azaltılması için öncelikle kaynakta kullanımının etkin bir şekilde yapılması sağlanarak plastik girdisi azaltılabilmekte, kullanım ömrü dolanlar çeşitli işlemlerden ardından yeniden kullanılarak ya da geri dönüştürülerek aynı ya da başka bir işleyle geri kazanılabilmektedir.

PE (polietilen), PP (polipropilen), PS (polistren) ve PVC (polivinilklorür) toplanma şekillerine bağlı olarak karışık form (commingled) ve ya kaynakta ayırma yöntemi ile (source separation) geri dönüştürülebilmektedir. Karışık formda toplanan bütün yapı malzemelerinde olduğu gibi, plastiklerin

de geri dönüşümünde kirletici maddelerden arındırılması için bazı işlemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca kullanım sonrası toplanan atık plastiklerin mekanik performanslarında düşüşler gözlemlenmektedir. Buna bağlı olarak, yeni plastik ürün eldesinde, karışıma %30 oranında atık plastik eklenerek performans kaybının önüne geçilmeye çalışılmaktadır. Ayrıca bu oran ürünün yeterli morötesi (ultraviyole-UV) dayanıklılığını sağlamak için kullanılan bir orandır. İlerleyen teknolojiyle birlikte bu oranın artacağı düşünülmektedir ^[22].

Plastik atıklarının geri dönüşümü için birçok yöntem bulunmaktadır. Bazı ülkelerde atık plastiklerin geri kazanımıyla elektrik enerjisi üretimi için atık yakma tesisleri kurulmuştur. Ülkemizde de yerel yönetimlere ya da özel sektör kuruluşlarına ait birçok atık yakma tesisi bulunmaktadır. Geri dönüşüme gönderilmeyen atıkların yakılarak enerjiye dönüşümü atık yakma tesislerinde sağlanabilmekle birlikte bu yöntem çevre açısından olumsuz etkiler doğurmaktadır. Plastiklerin yakılmasıyla bacalardan çıkan gazların yaratacağı hava kirliliği büyük bir sorun niteliği taşımaktadır. Ayrıca küllerin içerisinde bulunan toksinler ve reçinelerin yakılmasına bağlı olarak ortaya çıkabilecek dioksin sorununun boyutları konusunda da tam bir değerlendirme yapılamamaktadır ^[23]. Ayrıca yapılan çalışmalarda atık plastiklerin yüksek fırında kullanılabilmesine yönelik çalışmalar da bulunmaktadır ^[24-27]. Bununla birlikte, atık plastikler, yüksek ısıda yakıldıktan sonra çok küçük partiküller haline getirilip yapay toprak olarak da kullanılabilir ^[28]. Fakat bu durum, Tablo 3'te görülebildiği gibi sorunun çevreye zarar vermeden çözülmesi konusunda yeterli görülmemektedir ^[28]. Plastik ambalaj için yüksek tüketici talepleri, kısa süreli ve tek kullanımlık plastik malzemelerin yoğun kullanımı büyük miktarda plastik atıkların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. 2015 yılında 300 milyon tondan fazla plastik atığın üretildiği tahmin edilmektedir ^[29]. Bir araştırmaya göre, atıkların yaklaşık % 79'u depolama alanlarına, çöpe veya çevreye atılırken, yakmaya ve geri dönüşüme gönderimi sırasıyla % 12 ve % 9 şeklindedir ^[29].

Tablo 3. Bazı ülkelerdeki atık plastik miktarı ve geri dönüşüm oranları ^[30]

Ülkeler	Plastik atıkları (milyon ton)	Geri dönüşüm oranı (%)	Kaynak
İngiltere (2008)	3.2	24	DEFRA, 2011
Avustralya (2008)	2.3	23	DSEWPC, 2012
ABD (2011)	3.2	8.3	EPA, 2011

AB'de, plastik ambalaj atıklarının tahmini % 42'si 2017 yılında geri dönüştürülmüştür. Bu oran 2005 ile karşılaştırıldığında, plastik ambalaj atıklarının geri dönüşüm oranı AB'de yüzde 18 puan artmıştır (2005'te % 24'ten 2017'de % 42'ye). 2017 verilerine göre AB ülkelerindeki plastik ambalajların geri dönüşüm oranları Tablo 4'te verilmiştir. Tablo 4'te görülebileceği gibi AB ülkelerinde en yüksek plastik ambalaj geri dönüşüm oranına sahip ülke Litvanya iken, en düşük geri dönüşüm oranına sahip ülke ise Malta'dır. ^[31]

Tablo 4. Bazı ülkelerdeki plastik ambalaj atık miktarı ve geri dönüşüm oranları ^[31]

Ülkeler	Plastik ambalaj atıkları (ton)	Geri dönüşüm miktarı (ton)	Geri dönüşüm oranı (%)
Litvanya	64,742	51,038	78.8
Hollanda	512,000	258,000	50
Finlandiya	130,309	34,565	26.5
Polonya	1,041,124	360,577	34.6
İtalya	2,271,400	949,786	41.8
Almanya	3,184,900	1,528,100	47.9
Fransa	2,328,662	616,205	26.4
Malta	13,297	2,558	19.2
Norveç	220,614	79,616	36

Türkiye'de plastik hammadde bağımlılığının yanı sıra dışardan plastik atık ihracatı da bir hayli fazladır. Türkiye, 2019 yılında yaklaşık 11,4 milyon tonluk bir hacmi AB'den ithal eden en büyük atık

noktası olma konumundadır. 2004 rakamlarına göre bu rakam 15 yılda neredeyse 3 kat artmıştır. Türkiye'den sonra en büyük ikinci atık alan ülke yaklaşık 2,9 milyon ton atıkla Hindistan'dır^[32].

PLASTİK ATIKLARIN GERİ DÖNÜŞÜM VE YAPIDA KULLANIM OLANAKLARI

Atık plastiklerin geri dönüşümüne yönelik bir sektörü de içine alan geri dönüşüm ve kompozit malzeme çalışmaları atık sorununun çözümüne katkı sunmaktadır. Bu kapsamda atık plastiklerden birçok kompozit malzeme üretilebilmektedir. PET, PP ya da PE ve farklı dolgu maddeleri ile hazırlanmış rögar kapakları, banklar, kalıp malzemesi gibi ürünler atık plastiklerle üretilmiş kompozit malzemelere örnek olarak verilebilmektedir. Hammadde plastik kullanılmadan ziyade atık plastiklerle üretilen kompozitler ve bunların yapı sektöründe kullanımı üzerine yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır:

Fareed vd, 2007^[33] yılında PET şişesi atıklarını polimer harç üretiminde kullanmayı başarmış ve bu harcın kaldırım taşı ve kanalizasyon borularının yapımında kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Bununla birlikte atık PET'ler kullanılarak halı tabanları, uyku tulumları, yastık, yorgan, oto parçaları, boya fırçaları, cankurtaran yastıkları, torbalar, posta kutuları, piknik masaları, çitler, yürüyüş botları, çift bölmeli kovalar, lazer toner kartuşu ve kayışlar gibi malzemeler üretilebilmektedir.

2015 yılında Martinez Urreaga vd,^[34] geri dönüştürülmüş tarımsal plastik ile atık HDPE'yi (yüksek yoğunluklu polietilen) atık selülozik liflerle bir araya getirerek ürettikleri eko-kompozit malzemenin mekanik özelliklerini EVA (Etil vinil asetat), PP (polipropilen) gibi çeşitli katkı maddeleriyle arttırmayı başarmışlardır.

Gonzales Sanchez vd,^[35] 2014 yılında geri dönüştürülmüş tarımsal plastiklerle atık selülozik lifleri bir araya getirerek güçlü mekanik özelliklere sahip kompozit malzeme üretmişlerdir. Buna benzer atık doğal liflerle atık plastiklerin bir araya getirilmesiyle üretilen birçok kompozit malzeme çalışmalarının^[36-41] bulunması, tarımsal ve plastik atıklarının atık dönüşümünün hızlanabilmesine katkıda bulunmaktadır.

PET atıkları ve çeltik kabuğu ile üretilen kompozit malzeme çalışmasında, PET atıklarının limit oksijen indeksi (LOI)değeri 19 olarak belirlenmiş, kompozite eklenen %25, %50 çeltik saplarının ise limit oksijen indeksi değerine bir etkisi olmamıştır. %75 çeltik kabuğu eklenmesiyle ise limit oksijen indeksi değeri 21'e yükselmiştir. Bu etkinin, bol miktarda silis içermesinden dolayı yanmazlık kabiliyetine sahip olan çeltik kabuğundan kaynaklandığı belirtilmiştir^[42].

Günümüzde odun plastik kompozitler-OPK (Wood Plastic Composites-WPC) ahşap kullanımına alternatif olarak birçok alanda kullanılmaktadır. Hammadde plastikten üretilen bu kompozitlerin, atık plastikler kullanılarak üretilebilmesine yönelik bazı çalışmalar yapılmaktadır:

Sommerhuber ve diğerleri 2015^[43] yılında odun plastik kompozitlerde atık HDPE kullanarak %70'e daha az maliyetle üretim yapabilmış ve mekanik özelliklerde de tatmin edici sonuçlara ulaşmışlardır. Buna benzer atık plastikler kullanılarak üretilen kompozit çalışmaları^[44-49] odun plastik kompozitlerin ikincil kullanımda bile güçlü mekanik özelliklere sahip^[50] atık polyolefinlerle üretilebileceğini göstermektedir^[51-56].

Mitchell vd, 2014^[57] yılında yapmış oldukları çalışmada, sınırlı geri dönüşüm imkanına sahip atık kağıt plastik laminatları (Paper Plastic Laminates-PPL) ve polipropileni (PP) ekstrüzyon yöntemi ile kompozit granül haline getirip, enjeksiyon yöntemiyle şekil vermişlerdir. Yüksek mekanik özelliklere erişilen bu çalışmada, atık PPL-PP kompozitlerin başka işlevle yeniden kullanılabileceği belirtilmektedir.

Geri dönüştürülmüş plastiklerle çeşitli kombinasyonlarda kompozit malzemeler uzun bir süredir üretim sektörüne sunulmaktadır. Bu endüstrilerden biri de, yapı sektörüdür. Rebeiz vd. 1993^[58] yılında, atık plastiklerin polimer betondaki davranışlarını incelemiş, bu kombinasyonun çeşitli mühendislik uygulamaları için ekonomik ve teknolojik olarak uygun olduğunu saptamışlardır. Ayrıca atık plastiklerin matris malzemesi olarak kullanılması, Sivakumar ve Chouksey'in 2011^[59] yılındaki çalışmasında görülebilmektedir. Bu çalışmada araştırmacılar, yol yapımında, alt ve orta zeminin hazırlanması sırasında sıkıştırılan toprağa ek atık plastik parçacıkları ekleyerek, hem kullanılan toprak miktarını azaltmış, hem de yolun dayanımını arttırmışlardır.

2016 yılında yüksek fırın baca tozu ve atık LDPE kullanılarak üretilen kompozit malzemenin yüksek aşınma direnci ve düşük su emme değerlerine sahip olduğu gözlenmiş ve yapıda zemin kaplama malzemesi olarak kullanılabileceğine karar verilmiştir^[60-62].

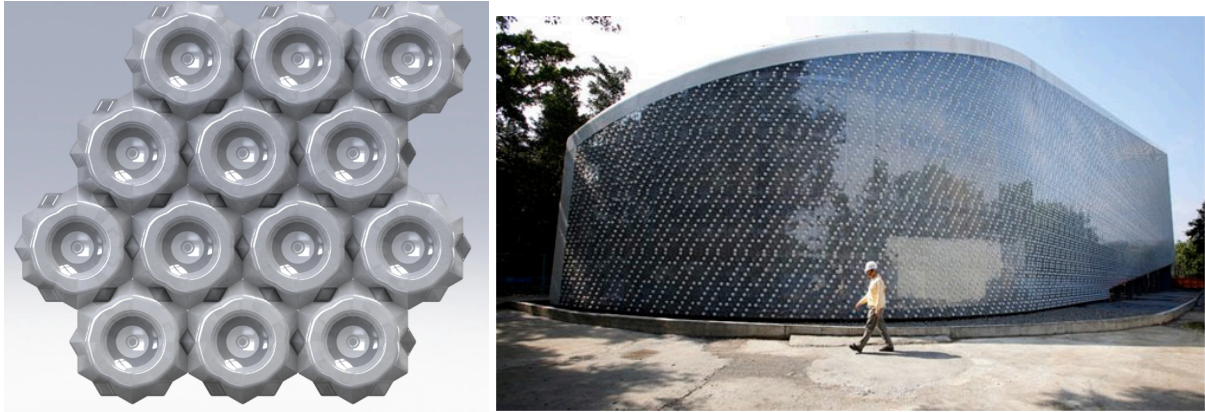
Rutgers Üniversitesi'ndeki bir grup araştırmacı, %100 atık plastiklerden, termoplastik kompozit üretmiş, bu kompozit malzeme öncelikle demir yolu çapraz bağlarında, sonrasında ise köprü yapımında

kullanılmıştır. Şekil 1’de görülebilen, 2009 yılında Fort Bragg tarafından, Kuzey Karolina’da tamamen bu kompozit malzemeden üretilen 71 tonluk M1 Abrams tankını ve HS25 yüklerini taşıyabilen bir köprü yapımı gerçekleştirilmiştir. Köprüde bu kompozit malzemenin kullanılmasının, çevresel etkisinin düşürülmesi hususunda büyük getirileri olmuştur. Örneğin, plastik atıklardan üretilen bu kompozit malzemenin kullanılmasıyla oluşan enerji kazancı, 22,296 galon benzine eşit olmaktadır. Aynı zamanda bu enerji kazancı, 196 ton karbondioksit salımını engellemiştir. Fort Bragg’dan etkilenen Fort Eustis, Virjinya’da iki eski ahşap demiryolu köprüsünün malzemesini, aynı kompozit malzemeyle değiştirmiştir [63].



Şekil 1. Atık plastik esaslı kompozit köprü ve M1 Abraham tankının geçişi [63]

Miniviz şirketi tarafından %100 geri dönüştürülmüş PET kullanılarak üretilen cephe malzemesi Polli-doğal yalıtımlı, saydam ve dayanıklıdır. Modüler 3-D petek şeklinde üretimi ile kendinden kilitlemeli yapı, herhangi bir kimyasal yapıştırıcı olmadan son derece güçlü olmasını sağlarken, standart perde duvar sistemlerinin ağırlığının sadece 1 / 5’ini oluşturmaktadır [64] (Şekil 2).



Şekil 2. Polli-Bricks cephe malzemesinin petek dokusu ve EKO-ARK Pavilyonu [62]

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Çalışma kapsamında yapıda ve endüstride ortaya çıkan plastik atıkları ve plastik atıklarının azaltımına yönelik yapılan çalışmalar incelenmiştir. Plastik tüketiminin azaltılması, kullanılmış plastik ürünlerin sektöre döndürülmesi hem atık oranının azaltılması hem de ülke ekonomisi bağlamında büyük önem arz etmektedir. Plastik atıklarının azaltımına yönelik en önemli çözüm kaynakta azaltma yöntemi olup, sonrasında ise yeniden kullanım ve geri dönüşümdür. Mümkün olduğunca düşük ürün tüketiminden sonra ortaya çıkan atıkların dönüşüme gönderilmesi atık azaltımı için temel yoldur. Bu kapsamda geri dönüşüm vizyonu ile plastik atıklarının yapıda değerlendirildiği literatür çalışmaları bulunmaktadır. Bunlar;

- Atık PET şişelerin harç içerisinde kullanımı ve üretilen bu harcın kaldırım taşı ve kanalizasyon borusunda kullanımı,
- Atık PET’ler kullanılarak halı tabanı, tekstil ürünleri mobilya üretimi,
- Geri dönüştürülmüş tarımsal plastik ile atık HDPE’yi atık selülozik liflerle bir araya getirerek üretilen eko-kompozit malzemenin çeşitli katkı maddeleri ile mekanik özelliklerinin artırımı,
- Atık plastik ve atık ahşap ürünleri ile oluşturulan odun plastik kompozitlerin endüstriyel ve kentsel alanda kullanımı,
- Kağıt plastik laminatlarla atık polipropilenin biraraya getirilerek yeni işlevli ürünler eldesini,

-Atık plastiklerin betonda ve yol yapımında kullanımını,
-Atık LDPE ile yüksek fırın baca tozunun biraraya getirilerek aşınma direnci yüksek zemin kaplama malzemesi üretimini,

-Atık termoplastiklerin köprü yapımında kullanımını,
-Atık PET şişeleriyle oluşturulan cephe sistemi şeklinde özetlenebilmektedir.

Yapılan çalışmalar ışığında bu konuya yönelik çalışmaların artırılması, plastiklerin mümkün olduğunda az kullanılması ve kullanım ömrü dolan plastiklerin geri dönüşümü ile hammadde kullanımında gerekli olan oluşum enerjisinin ve ortaya çıkan emisyonların azaltılması, küresel çevre sorunlarının önüne geçilmesinde büyük önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Akyüz, M., 1997, Endüstriyel Atıkların Çevre Üzerindeki Etkileri ve Alınması Gereken Önlemler. III. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi, 3-5 Eylül, Kırşehir, 1-8.
- [2] Edwards, D. W., and Schelling, J., 1999, Municipal waste life cycle assessment: Part 2: transport analysis and glass case study. *Process Safety and Environmental Protection*, 77(5), 259-274.
- [3] PAGÇEV. URL(2020): <http://www.pagcev.org/yonetmelikler>
- [4] Yapı malzemeleri yönetmeliği, 2013, (305/2011/AB), Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Türkiye.
- [5] Ryan, P.G., 2015, A brief history of marine litter research. In: Bergmann, M., Gutow, L., Klages, M. (Eds.), *Marine Anthropogenic Litter*. Springer, Cham, pp. 1–25. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3_1.
- [6] PLASFED, Demirci, B. (2014). Plastik Sanayicileri Federasyonu, Türkiye Plastik Sektör İzleme Raporu.
- [7] PAGEV. URL:
<https://www.pagev.org/upload/files/Hammadde%20Yeni%20Tebli%C4%9F%20Bilg.%203/T%C3%BCrkiye%20Plastik%20Sekt%C3%B6r%20Raporu%202016.pdf>
- [8] PETKİM (2014) Faaliyet Raporu. URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.petkim.com.tr%2FSayfa%2F1%2F176%2FYATIRIMCI-ILISKILERI-OPERASYONEL-VE-FINANSAL-VERILER-FAALİYET-RAPORLARI.aspx+&date=2016-05-05, Son Erişim tarihi: 07.03.2016>.
- [9] PAGEV. URL:
<https://www.pagev.org/upload/files/Plastik%20%20Sekt%C3%B6r%20Raporu%202019%20Mart%20%283%29.pdf>
- [10] Saçak, M., 2005, Polimer Teknolojisi, Ankara: Gazi Kitabevi, 1-3, 7
- [11] Lesko, J., 1998, *Industrial Design Materials and Manufacturing*, Van Nostrand Reinhold, New York.
- [12] Rubin, I., 1990, *Handbook of Plastic Materials and Technology*, Wiley, New York.
- [13] Vatan, C., 2002, Plastik Malzemelerin Geri Dönüşümü: Otomotiv Endüstrisinden Örnekler, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
- [14] Lansink, J., 1976,
URL:http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.+nl.wikipedia.org%2Fwiki%2FLadder_van_Lansink+&date=2016-05-05, Son Erişim tarihi: 15.03.2016.
- [15] McDonough, W., Braungart, M., 2002, *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*, New York: North Point Press., 56-57.
- [16] Thornton Kay, Salvo in Germany, 1994, *Reiner Pilz, SalvoNEWS*, 99, 14.
- [17] Demirbas, A., 2011, Waste management, waste resource facilities and waste conversion processes. *Energy Conversion and Management*, 52(2), 1280-1287.
- [18] European Commission, 2008, *Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC)*, European Commission.
- [19] Stein, von L.E., 1993, *Construction and demolition debris*, book section of recycling handbook, USA: McGraw Hill, 20,14.
- [20] Vefago, L. H. M., & Avellaneda, J., 2013, Recycling concepts and the index of recyclability for building materials. *Resources, conservation and recycling*, 72, 127-135.

- [21] Wu, Z., Yu, T.W., Shen, L., and Liu, G., 2014, Quantifying construction and demolition waste: An analytical review. *Waste Management*, 34, 1683–1692
- [22] Hendriks, C. F., and Pietersen, H. S., 2000, Report 22: Sustainable raw materials: construction and demolition waste–state-of-the-art report of RILEM technical committee 165-SRM (Vol. 22). RILEM publications.
- [23] Güler, Ç., & Çobanoğlu, Z., 1997, Toprak kirliliği. TC Sağlık Bakanlığı Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi, 40.
- [24] Furukawa, T., 1998, Plastic as Ironmaking Fuel at NKK, *New Steel*, 5
- [25] Tukker, A., Groot, H., Simons, L., and Wiegersma, S., 1999, Chemical Recycling of Plastics Waste (PVC And Other Resins) TNO Report STB-99-55 Final, TNO Institute of Strategy, Technology and Policy, Netherlands.
- [26] Ogaki, Y., Tomioka, K., Watanabe, A., Arita, K., Kuriyama, I., and Sugayoshi, T., 2001, Recycling of waste plastic packaging in a blast furnace system. *NKK Technical Review*, 84, 1-7.
- [27] Saridede, M. N., 2004, Yüksek Fırında Atık Plastik Kullanımı, *Metalurji Dergisi*, 138, 58-63.
- [28] Tam, V. W., Tam, C. M., 2006, A review on the viable technology for construction waste recycling. *Resources, Conservation and Recycling*, 47(3), 209-221.
- [29] Geyer, R., Jambeck, J.R., Law, K.L., 2017. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Sci. Adv.* 3 (7), e1700782. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>.
- [30] Bajracharya, R. M., Manalo, A. C., Karunasena, W., and Lau, K. (2014). An overview of mechanical properties and durability of glass-fibre reinforced recycled mixed plastic waste composites, *Materials and Design*, 62, 98–112.
- [31] Eurostat (2020) URL: https://ec.europa.eu/eurostat/documents/4187653/9451024/Recycling_rate_of_plastic_2019_3/3d36f6f7-6662-c70a-b29d-55f1f0cfa10c?t=1572896410205
- [32] Eurostat (2020) URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/en/web/products-eurostat-news/-/DDN-20191105-2>
- [33] Fareed, M., Asif, A.K., and Abbas, H. (2007). Physiochemical properties of polymer mortar composites using resins derived from post-consumer PET bottles. *Cement & Concrete Composites*, 29, 241–248.
- [34] Urreaga, J. M., González-Sánchez, C., Martínez-Aguirre, A., Fonseca-Valero, C., Acosta, J. and de la Orden, M. U., 2015, Sustainable eco-composites obtained from agricultural and urban waste plastic blends and residual cellulose fibers. *Journal of Cleaner Production*, 108, 377-384.
- [35] González-Sánchez, C., Martínez-Aguirre, A., Pérez-García, B., Martínez-Urreaga, J., María, U., & Fonseca-Valero, C., 2014, Use of residual agricultural plastics and cellulose fibers for obtaining sustainable eco-composites prevents waste generation. *Journal of Cleaner Production*, 83, 228-237.
- [36] La Mantia, F. P., Morreale, M., 2006, Mechanical properties of recycled polyethylene eco-composites filled with natural organic fillers. *Polymer Engineering & Science*, 46(9), 1131-1139.
- [37] De la Orden, M. U., Sánchez, C. G., Quesada, M. G., and Urreaga, J. M., 2007, Novel polypropylene–cellulose composites using polyethylenimine as coupling agent. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 38(9), 2005-2012.
- [38] Faruk, O., Bledzki, A. K., Fink, H. P., and Sain, M., 2012, Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010. *Progress in Polymer Science*, 37(11), 1552-1596
- [39] Kazemi, N. S., 2013, Use of recycled plastics in wood plastic composites-a review. *Waste management*, 33(9), 1898-1905.
- [40] Koronis, G., Silva, A., and Fontul, M., 2013, Green composites: a review of adequate materials for automotive applications. *Composites Part B: Engineering*, 44(1), 120-127
- [41] Al-Oqla, F. M., Sapuan, S. M., 2014, Natural fiber reinforced polymer composites in industrial applications: feasibility of date palm fibers for sustainable automotive industry. *Journal of Cleaner Production*, 66, 347-354.
- [42] Bilici, İ., 2012, Atık plastiklerden kompozit malzeme üretimi ve karakterizasyonu, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 87.
- [43] Sommerhuber, P. F., Welling, J., and Krause, A., 2015, Substitution potentials of recycled HDPE and wood particles from post-consumer packaging waste in Wood–Plastic Composites, *Waste Management*, 46, 76–85.

- [44] Boeglin, N., Triboulot, P., and Masson, D., 1997, A feasibility study on boards from wood and plastic waste: bending properties, dimensional stability and recycling of the board. *Holz als Roh-und Werkstoff*, 55(1), 13-16.
- [45] Balasuriya, P. W., Ye, L., and Mai, Y. W., 2003, Morphology and mechanical properties of reconstituted wood board waste-polyethylene composites. *Composite Interfaces*, 10(2-3), 319-341.
- [46] Chen, H. C., Chen, T. Y., and Hsu, C. H., 2006, Effects of wood particle size and mixing ratios of HDPE on the properties of the composites. *Holz als Roh-und Werkstoff*, 64(3), 172-177.
- [47] Adhikary, K. B., Pang, S., and Staiger, M. P. (2008). *Dimensional stability and mechanical behaviour of wood-plastic composites based on recycled and virgin high-density polyethylene (HDPE)*. *Composites Part B: Engineering*, 39(5), 807-815.
- [48] Migneault, S., Koubaa, A., and Perré, P., 2014, Effect of fiber origin, proportion, and chemical composition on the mechanical and physical properties of wood-plastic composites. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 34(4), 241-261.
- [49] Gozdecki, C., Wilczyński, A., Kociszewski, M., and Zajchowski, S., 2015, Properties of wood-plastic composites made of milled particleboard and polypropylene. *European Journal of Wood and Wood Products*, 73(1), 87-95.
- [50] Hu, B., Serranti, S., Fraunholz, N., Di Maio, F., and Bonifazi, G., 2013, Recycling-oriented characterization of polyolefin packaging waste, *Waste Management*, 33 (3), 574-584.
- [51] Yam, K. L., Gogoi, B. K., Lai, C. C., and Selke, S. E., 1990, Composites from compounding wood fibers with recycled high density polyethylene. *Polymer Engineering & Science*, 30(11), 693-699.
- [52] Selke, S. E., Wichman, I., 2004, Wood fiber/polyolefin composites. *Composites Part A: applied science and manufacturing*, 35(3), 321-326.
- [53] Najafi, S. K., Hamidinia, E., and Tajvidi, M., 2006, Mechanical properties of composites from sawdust and recycled plastics. *Journal of Applied Polymer Science*, 100(5), 3641-3645.
- [54] Adhikary, K. B., Pang, S., and Staiger, M. P., 2008, Dimensional stability and mechanical behaviour of wood-plastic composites based on recycled and virgin high-density polyethylene (HDPE). *Composites Part B: Engineering*, 39(5), 807-815.
- [55] Cui, Y., Lee, S., Noruziaan, B., Cheung, M., & Tao, J., 2008, Fabrication and interfacial modification of wood/recycled plastic composite materials. *Composites Part A: applied science and manufacturing*, 39(4), 655-661.
- [56] Cui, Y. H., Tao, J., Noruziaan, B., Cheung, M., & Lee, S., 2010, DSC Analysis and Mechanical Properties of Wood—Plastic Composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 29(2), 278-289.
- [57] Mitchell, J., Vandeperre, L., Dvorak, R., Kosior, E., Tarverdi, K., and Cheeseman, C., 2014, Recycling disposable cups into paper plastic composites, *Waste Management*, 34, 2113-2119.
- [58] Rebeiz, K. S., Fowler, D. W. and Paul, D. R., 1993, Recycling plastics in polymer concrete for construction applications. *Journal of materials in civil engineering*, 5(2), 237-248.
- [59] Sivakumar Babu, G. L., Chouksey, S. K., 2011, Analytical model for stress-strain response of plastic waste mixed soil. *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*, 16(3), 219-228.
- [60] Tuna Kayılı, M., 2016, Yüksek fırın baca tozu ve atık polietilen kullanılarak üretilen kompozit malzemenin yapıda kullanılabilirliğinin saptanması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- [61] Tuna Kayılı, M., Çelebi, G., and Gültaş, A., 2018, Sürdürülebilir Yapı Malzemesi Hedefiyle Demir Çelik ve Plastik Endüstrisi Atıklarının Geri Kazanımı. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(2), 33-44.
- [62] Tuna Kayılı, M., Çelebi, G., and Gültaş, A., 2020, Morphological, Mechanical, Thermal and Tribological Properties of Environmentally Friendly Construction Materials: Recycled LDPE Composites Filled by Blast Furnace Dust, *Journal of Green Building*, 15 (3), [Baskıda].
- [63] Chandra, V., Kim., 2011, World's First Recycled Plastic Bridges, *The International Conference on Sustainable Design and Construction 2011: ICSDC 2011: Integrating Sustainability Practices in the Construction Industry*, 23-25 March, Kansas City MO.
- [64] POLLI-BRICK (2020) URL: https://www.miniwiz.com/solution_detail.php?id=5