

## TÜRKİYE’DE ATIK MALZEMEDEN YAPILMIŞ KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HARÇ ÜRETİMİNİN YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ

**Sevgi DEMİREL<sup>1</sup> (ORCID: 0000-0002-5329-591X)\***  
**Hatice Öznur ÖZ<sup>2</sup> (ORCID: 0000-0003-3568-1689)**  
**Fehiman ÇİNER<sup>1</sup> (ORCID: 0000-0002-9684-4392)**  
**Muhammet GÜNEŞ<sup>2</sup> (ORCID: 0000-0001-6788-788X)**

<sup>1</sup>Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Niğde, Türkiye  
<sup>2</sup>İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Niğde, Türkiye

**Geliş / Received:** 22.05.2018  
**Kabul / Accepted:** 21.11.2018

### ÖZ

Yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD), binaların ve inşaat malzemelerinin çevresel performansını analiz etmek için kullanılan bir yöntemdir. Betonda bağlayıcı malzeme olarak kullanılan çimento, üretimi esnasında sera gazı ortaya çıkarmaktadır. Dünya genelinde, toplam CO<sub>2</sub> emisyonunun yaklaşık olarak %5-8’i çimento üretiminden kaynaklanmaktadır. Sera gazı emisyonlarının azaltılması amacıyla, çimentonun atık malzemelerle (uçucu kül, atık cam ve yüksek fırın cürufu vb.) ikame edilmesi giderek önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, beşikten-kapıya (cradle to gate) yaklaşımı ile atık malzeme (camPET ve uçucu kül) kullanımının kendiliğinden yerleşen harç üretiminin çevresel performansı üzerindeki etkileri ortaya konulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** CamPET; uçucu kül; yaşam döngüsü değerlendirmesi; SimaPro; IMPACT 2002+

## LIFE CYCLE ANALYSIS OF SELF COMPACTING MORTAR PRODUCTION WITH WASTE MATERIAL IN TURKEY

### ABSTRACT

Life Cycle Assessment (LCA) is a method used to analyse the environmental performance of buildings and construction materials. Cement used as binder material in concrete reveals greenhouse gas during production. Globally, approximately 5-8% of the total CO<sub>2</sub> emissions are due to cement production. In order to reduce greenhouse gas emissions, it is increasingly important to replace cement with waste materials (fly ash, waste glass and blast furnace slag, etc.). In this study, the effects of the waste material (glass PET and fly ash) on the environmental performance of the self-compacting mortar production have been demonstrated via the cradle to gate approach.

**Keywords:** GlassPET; fly ash; life cycle assessment; SimaPro; IMPACT 2002+

### 1. GİRİŞ

Beton; düşük maliyeti, mekanik özellikleri, dayanıklılığı, ısı depolama kapasitesi, kimyasal ataleti, farklı boyut ve şekillerde kalıplanma kolaylığı gibi birçok avantajından dolayı bina inşasında önemli bir bileşendir ve dünya genelinde yıllık 30 milyar ton tüketim miktarı ile yaygın olarak kullanılan bir malzemedir [1]. İnşaat sektörü doğal kaynaklardan elde edilen minerallerin yaklaşık % 60’ını tüketmektedir [2]. Öte yandan, betonun temel bir

\*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 388 225 22 64; e-mail /e-posta: sevgi.demirel@gmail.com

bileşeni olan Portland çimentosu üretimi sırasındaki klinker prosesleri, küresel CO<sub>2</sub> emisyonunun yaklaşık olarak %5-8'ine katkıda bulunmaktadır [3,4]. Bu rakamlar, üretimde daha az enerji tüketen atık minimizasyonunu ve geri dönüştürülebilir mühendislik malzemelerini kullanarak inşaat sektörünün sürdürülebilirliğini artırmanın gerekliliğini açıkça göstermektedir [5].

Betonun CO<sub>2</sub> ayak izini azaltmak için en uygun yaklaşımlardan biri, klinkerde kullanılan ham maddelerin doğal kaynaklar yerine, özellikle uçucu kül, yüksek fırın cürufu, silika dumana vb. endüstriyel yan ürünlerle veya atık cam ve plastik gibi geri dönüştürülmüş malzemelerle ikame ettirilmesidir [6, 7].

Polietilen tereftalat (PET) su, meşrubat, sıvı yağ vb. sıvı gıdaların ambalajlanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Her ne kadar PET kullanımı oldukça yaygın olsa da sağlıkla ilgili endişeler taşımaktadır. Özellikle uygunsuz koşullarda bekleyen ve yeniden kullanılan PET şişelerin, termal reaksiyonlarla, içindeki sıvıya bazı kanserojen kimyasallar yaydığı hususunda çalışmalar mevcuttur. Bu durum, PET gibi hafif, kırılmaz, dayanıklı ve kolay taşınabilir ancak sağlık riski taşımayan yeni ambalaj arayışını ortaya çıkarmıştır. “CamPET” kavramı bu şekilde doğmuştur. PET malzemenin sağlık endişelerinden dolayı içi cam, dışı PET olan bu ambalajların gıda ve ilaç sektöründe kullanımının giderek yaygınlaşacağı düşünülmektedir. Bu çalışmanın amacı, hâlihazırda kullanılmakta olan bu ambalajın tüketiminden sonra ikincil bir hammadde olarak inşaat sektöründe kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır. Ayrıca, termik santrallerin bir yan ürünü olan uçucu küller (UK) kolay ulaşılabilmeleri, öğütmeye gerek duymadan çimento yerine kullanılabilmesi ve kimyasal özellikleri ile en çok tercih edilen çimento ikame malzemelerindedir [7]. Böylece su ve hava kirliliği açısından sorunlu bir süreç olan çimento üretiminin azaltılması alternatifini ortaya çıkarken, depolama alanlarına duyulan talep de azalmaktadır.

Geleneksel beton dökümünde vibrasyon ve sıkıştırma işlemi ile betonun içindeki hava boşlukları dışarı atılır, böylece dayanımı ve dayanıklılığı daha yüksek ve aynı zamanda daha düzgün yüzeyli bir beton elde etmek mümkündür. Oysa kendiliğinden yerleşen beton (KYB), kendi kendine sıkışma yeteneği sayesinde vibrasyon gerektirmez ve tüm olumsuz etkenleri elimine ederek, işçilikten ve zamandan tasarruf sağlar [8].

Günümüzde, endüstriyel ürünlerin üretiminde maliyet ve teknik performans değerlendirmesinin yanında, ham madde ve enerji tüketimi ile oluşabilecek çevresel problemler de dikkate alınarak tasarım yapılmaktadır [9]. Yaşam döngüsü, bir ürünün hammaddelerinin çıkarılmasından başlayıp, işlenmesi, paketlenmesi, taşınması, yapımı, kullanımı, gerektiği zamanlarda bakım-onarımı, ömrünü tamamladığında atılması, geri dönüştürülmesi, birtakım işlemlerden geçirilerek yeniden kullanıma hazır hale getirilmesine kadar geçen süreçtir. Yaşam döngüsüne yönelik ilk fikirler 1960'lı yıllarda enerjinin etkin kullanımı, hammadde tüketimi ve atık maddeler gibi çevre sorunlarıyla ilgili olarak ortaya çıkmış olup, uygulama alanı giderek artmıştır. Yaşam döngüsü analizi (YDA) bir ürün ya da hizmet sürecinin tüm kademelerini, birbirleri ile ilintileri çerçevesinde bütünsel olarak değerlendirir. YDA, ambalajlar, yiyecekler, deterjanlar, yakıtlar, atık yönetim senaryoları, ulaşım ve yapılar vb. bir çok farklı ürünlere ve proseslere uygulanabildiği gibi, ürün ve proses geliştirme, stratejik karar verme, ekotasarım, ürün karşılaştırma, eko-etiketleme, pazarlama ve kamusal faaliyetler gibi bir dizi uygulama için de kullanılabilir [10].

YDA, bir ürünün ya da hizmetin yaşam döngüsünün hangi aşamalarını kapsadığını ifade eden “beşikten mezara”, “beşikten kapıya”, “beşikten beşiğe” ve “kapıdan kapıya” olmak üzere farklı türleri vardır [9]. Bir ürünün ya da hizmetin, ham madde temininden (beşik) atık bertarafına (mezar) kadar tüm yaşam döngüleri düşünülerek analiz yapıldığında bu durum “beşikten mezara”; ham madde temininden (beşik) fabrikaya iletim aşamasına (kapı) kadar tüm süreçleri kapsayacak şekilde analiz yapıldığında, bu durum “beşikten kapıya” olarak adlandırılmaktadır. Eğer “beşikten mezara” yapılan YDA, döngünün son aşaması olan atık bertarafı geri kazanım ile sonuçlanıyorsa “beşikten beşiğe” olarak anılmaktadır. Son olarak, tek bir aşamaya ait yaşam döngüsü ele alınıyorsa bu yaklaşım “kapıdan kapıya” olarak adlandırılır [11].

Yaşam döngüsünün değerlendirilmesine yönelik birçok model bulunmaktadır. Ana endüstriler ve üniversiteler tarafından yaygın olarak kullanılan modellerden birisi de SimaPro (System for Integrated Environmental Assessment of Products) modelidir. ‘SimaPro’ modeli; ürünlerin ve servislerin çevresel performanslarının değerlendirilmesini sağlamaktadır. SimaPro yazılımı ile ISO 14040 standart serileri baz alınarak, sistematik ve kolay anlaşılır bir yol ile karmaşık yaşam döngülerinin modellenmesi ve analiz edilmesi kolaylaşmaktadır [12].

Endüstriyel ürünlerin çevresel etkilerinin yaşam döngüleri boyunca değerlendirilmesine yönelik ortaya çıkan YDA yöntemi, zamanla yapı sektörü tarafından da benimsenmiştir. Birçok araştırmacı, farklı yapı ürünlerinin çevresel etkilerini YDA yoluyla modellemeye çalışmıştır [12, 13, 14–15]. Valipour vd. [17], YDA metodolojisinin sera gazı emisyonlarının analizinde ve karşılaştırılmasında çok etkili olduğunu ve elde ettikleri sonuçlar, zeolit kullanıldığında küresel ısınma indeksinde önemli bir azalma olduğunu göstermiştir. Uçucu kül [18] ve atık cam tozunun [19] beton üzerindeki çevresel etkileri hakkında da güncel çalışmalar bulunmaktadır.

Yukarıda belirtilen yaklaşım doğrultusunda, bu çalışmanın temel amacı; Portland çimento, camPET ve UK'nin farklı oranlarda kullanılarak, 1 m<sup>3</sup> harç üretiminden kaynaklanan potansiyel çevresel etkilerini ölçmek ve karşılaştırmaktır. Bu kapsamda SimaPro 8.5.0.0 yazılımında yer alan IMPACT 2002+ metodu aracılığıyla,

## TÜRKİYE'DE ATIK MALZEMEDEN YAPILMIŞ KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HARÇ ÜRETİMİNİN YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ

kendiliğinden yerleşen harç (KYH) numunelerinin yaşam döngüsü analizi yapılacak ve hammadde temininden inşaat alanına sevkiyatına (beşikten kapıya) kadar tüm aşamalarda ortaya çıkabilecek çevresel etkiler ortaya konulacaktır. Dolayısıyla standart üretim ile atık camPET ve UK katkılı KYH üretiminin sebep olacağı çevresel etkileri kıyaslama imkânı ortaya çıkacaktır.

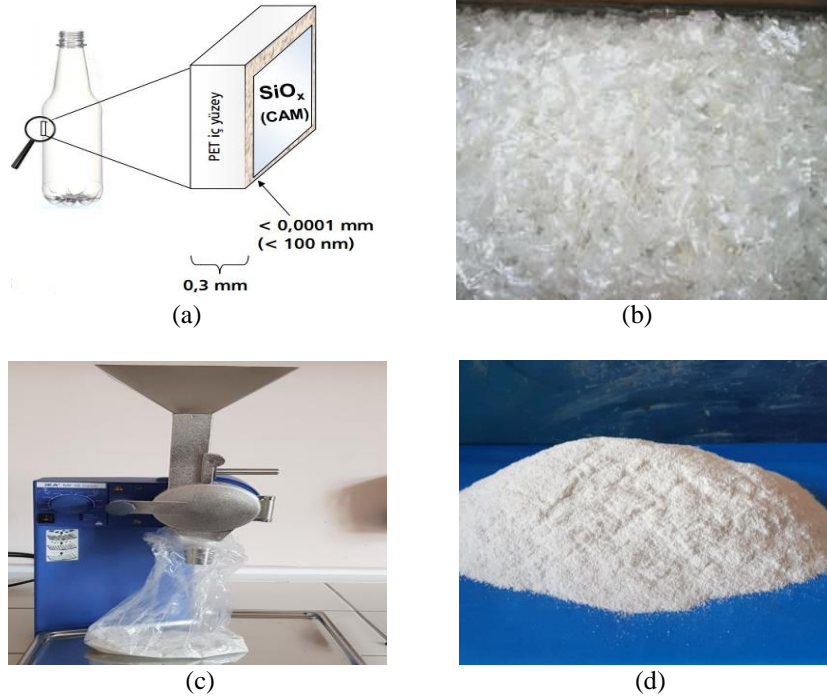
## 2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, Tablo 1'de kimyasal bileşenleri ve fiziksel özellikleri verilen, Portland çimento (PÇ), camPET ve UK'nin farklı oranlarda kullanılarak, 1 m<sup>3</sup> KYH üretim sürecinin potansiyel çevresel etkileri, SimaPro 8.5.0.0 yazılımı aracılığıyla IMPACT 2002+ metodu kullanılarak irdelenmiştir (Tablo 1). Çalışmanın metodu 3 ana bölümden oluşmaktadır: i) amaç ve çalışmanın kapsamının tanımlanması ii) envanter analizi iii) etki değerlendirmesi.

**Tablo 1.** Portland Çimentosu, uçucu kül ve camPet'in kimyasal bileşenleri ve fiziksel özellikleri

Kimyasal Bileşim (%)	Çimento	Uçucu Kül	CamPET
CaO	62,58	2,24	36,93
SiO <sub>2</sub>	20,25	57,2	5,85
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,31	24,4	1,53
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,04	7,1	8,35
MgO	2,82	2,4	1,4
SO <sub>3</sub>	2,73	0,29	1,28
K <sub>2</sub> O	0,92	3,37	1,37
Na <sub>2</sub> O	0,22	0,38	1,2

Çalışmanın ilk aşamasında, Niğde Belediyesi Geri Dönüşüm Tesisi'nden alınan, atık camPet şişeleri, temizlendikten sonra birkaç aşamada öğütülerek toz haline getirilmiş, daha sonra elek analizine tabi tutularak dane çapı belirlenmiştir (Şekil 1).



**Şekil 1.** CamPet'in öğütülme aşamaları; (a) camPET ve iç yüzeyi, (b) parçalanmış camPET (çapak), (c) öğütücü (IKA MF10) ve (d) toz camPET

S. DEMİREL, H.Ö. ÖZ, F. ÇİNER, M. GÜNEŞ

Aşağıda belirtilen oranlarda hazırlanan harç karışımları içeriğine göre şu şekilde isimlendirilmiştir: Ürün 1, bağlayıcı olarak % 20 UK ve normal PÇ, Ürün 2 % 9 camPET, % 11 UK ve normal PÇ, Ürün 3 ise sadece normal PÇ içermektedir. Harç karışımlarındaki bağlayıcı içerikleri Tablo 2’de sunulmuştur.

**Tablo 2.** Karışım oranları

Ürün Adı	Çimento	Uçucu Kül	CamPet
Ürün 1	440	110	0
Ürün 2	440	60,5	49,5
Ürün 3	550	0	0

## 2.1. Sistem Sınırları

Bu çalışmada sistem sınırları, “beşikten kapıya” yaklaşımı ile belirlenmiştir. Dolayısıyla bu durum, üretime kadar olan tüm aşamaların dikkate alındığı, ancak ürünün kullanımının ve nihai bertarafının dikkate alınmadığı anlamına gelmektedir [20]. Sistem sınırı dört ana adımı içerecek şekilde belirlenmiştir: 1) Atık malzemeler (glassPET ve UK) hazırlama (tasnif ve öğütme) 2) Hammaddenin topraktan çıkarılması (madencilik ve kırma), 3) Su, agrega, kimyasal katkıları ve mineral katkıların eklenmesi, 4) Kalsinasyon, öğütme ve paketleme.

Ayrıca, tüm materyallerin ham madde olarak kaynağından alınıp, harç üretim tesisine taşınması süreci de sistem sınırları içindedir. Yani, taşıma sırasında kullanılan araçların içten yanmalı motorlarında yakıt yakılması ile ortaya çıkan emisyonları da içerir. Aynı zamanda çimento fırınında kullanılan yakıtın yanmasını da içermektedir [21].

## 2.2. Envanter Analizi

### Girdiler: Enerji ve ham madde kullanımı

Bu çalışmada, camPET ve UK, farklı oranlarda çimento yerine kullanılmıştır (ikame ettirilmiştir). İkame, camPET ve UK gibi geri kazanım ve geri dönüşümden elde edilen ikincil malzemeler yoluyla birincil kaynaklardan üretilen çimentonun kullanımından kaçınma anlamına gelmektedir. SimaPro yazılımı aracılığıyla, atıkları (camPET) değerli bir girdiye dönüştüren sistem, ilgili birincil çimento üretiminin çevresel yükleri ile kredilendirilir, ancak geri dönüşüm veya hazırlama işlemi için kullanılan enerji ile yüklenir (kırma, öğütme vb.) [22]. Harç bileşenlerinin (örn. camPET, UK, çimento, agregalar, katkı maddeleri ve su) ve taşıma mesafeleri için hazırlama süreci aşağıda açıklanmıştır.

Bu çalışmada kullanılan camPET, harç üretim alanına yaklaşık 30 km uzaklıkta bulunan yerel Belediye Atık Geri Dönüşüm Tesisi’nden temin edilmiştir. CamPET, laboratuvarında IKA MF10 model öğütücü ile öğütülerek toz haline getirilmiş (Şekil 3 ve 4), müteakiben elek analizine tabi tutularak dane çapı belirlenmiştir. Öğütülmüş CamPET’in yüzey alanı 0,0769 m<sup>2</sup>/g olarak tespit edilmiş, özgül ağırlığı ise ortalama 1,39 g/cm<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. Uygun boyuta getirmek için gerekli enerji tüketimi, literatür ışığında 0,25 kWh/kg olarak belirlenmiştir [23].

UK de camPET gibi çimento katkı maddesi olarak kabul edilmiş ve SimaPro verilerinde uçucu kül bertarafına karşılık gelen girdiler de göz önünde bulunarak, veriler değerlendirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan UK, harç üretim sahasına 640 km mesafedeki Çatalağzı Termik Santrali’nden temin edilmiştir.

Tüm harç karışımlarında, Portland çimentosu P.O 42.5 kullanılmıştır. Tüm karışımlar için doğal kum, ince agrega olarak kullanılmıştır. Son olarak, tüm karışımlara musluk suyu ve polikarboksilik eter bazlı süper akışkanlaştırıcı uygulanmıştır.

## 2.3. Etki Değerlendirmesi

### Çıktılar: İnsan sağlığı, ekosistem, iklim değişikliği ve kaynaklara etki

Bu çalışmada Türkiye koşullarında, yukarıda bahsedilen özellikteki harç karışımlarının çevresel performansları SimaPro yazılımı kullanılarak bir YDA yaklaşımı ile gerçekleştirilmiştir. Ham madde temininden, kullanılan enerji çeşidine kadar hem ülkemiz koşulları hem de SimaPro yazılımının içerdiği global veriler dikkate alınmıştır. YDA çalışmasında, SimaPro yazılımında IMPACT 2002+ metodu ile etki değerlendirmesi yapılmıştır.

Bu yöntemdeki etki kategorileri 15 orta ve 3 uzun vadede etkiler olmak üzere aşağıdaki gibidir:

Orta vade etki kategorileri; kanserojenler (Carcinogens), kanserojen olmayanlar (Non-carcinogens), solunan inorganikler (Respiratory inorganics), iyonlaştırıcı radyasyon (Ionizing radiation), ozon tabakasının tahribati

## TÜRKİYE'DE ATIK MALZEMEDEN YAPILMIŞ KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HARÇ ÜRETİMİNİN YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ

(Ozone layer depletion), solunan organikler (Respiratory organics), sucul ekotoksosite (Aquatic ecotoxicity), karasal ekotoksosite (Terrestrial ecotoxicity), karasal asitlenme/ötröfikasyon (Terrestrial acid/nutri), arazi işgali (Land occupation), sucul asidifikasyon (Aquatic acidification), sucul ötröfikasyon (Aquatic eutrophication), küresel ısınma (Global warming), yenilenemeyen enerji (Non-renewable energy), mineraller (Mineral extraction) olarak ele alınmıştır.

Uzun vade etki kategorileri; insan sağlığı (human health), iklim değişikliği (climate change) ve kaynaklara etki (resources) olarak gruplandırılmıştır.

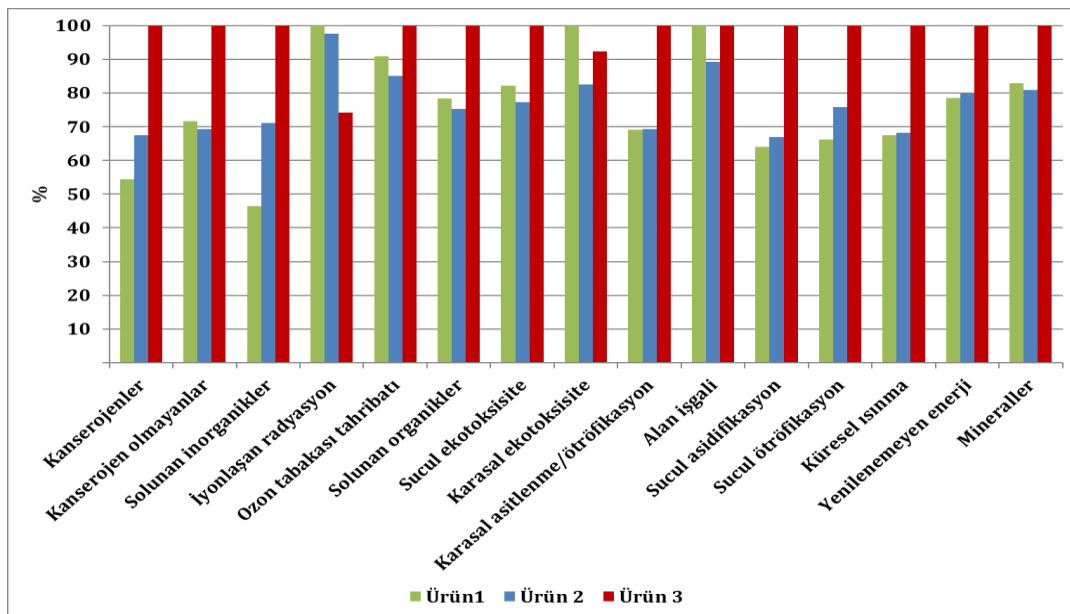
### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

YDA, 1990 yılından beri inşaat sektöründe kullanılmakta ve malzemelerin çevresel etki değerlendirmesi ve binaların çevresel performans değerlendirmesi için önemli bir araçtır. Beton üretimine uygulanan YDA, malzemenin sürdürülebilirliğini arttırmak amacıyla birçok çalışmanın ortaya çıkmasına neden olmuştur. Beton karışımları üzerine yapılan çalışmalar, büyük miktarlarda Portland çimentosu ve doğal katkı maddeleri ile mineral katkıları ve diğer endüstrilerden geri dönüştürülmüş atıkların (artan miktarda katkı maddesi ve daha az klinker) ikame edilmesine yönelik alternatiflerin oluşturulmasına odaklanmakta, malzeme kalitesi korunmakta ve servis aşamasında mümkün olan en uzun kullanım ömrünü sağlamaktadır [2,6].

Aşağıdaki verilen bulgular, üç farklı ürünün (Ürün 1, 2 ve 3) orta nokta etki kategorilerine göre değerlendirilmesinden elde edilmiştir:

Ürün 3'ün, radyasyon ve karasal ekotoksosite etki faktörleri hariç, diğer göstergelerde (13 madde) % 100 katkısı bulunmaktadır. Çimento üretiminin çevresel etkilerinin ana kaynağı olarak üretim sürecindeki elektrik kullanımı ve ortaya çıkan emisyonlar gösterilmektedir [24]. Şekil 2'de görüldüğü üzere, normal harç/beton üretimi sırasında kullanılan Portland çimentosunun olduğu karışım atık malzeme içerenlere kıyasla, üretim süreci ile ilgili çevresel dezavantajları açıkça ortaya koymaktadır.

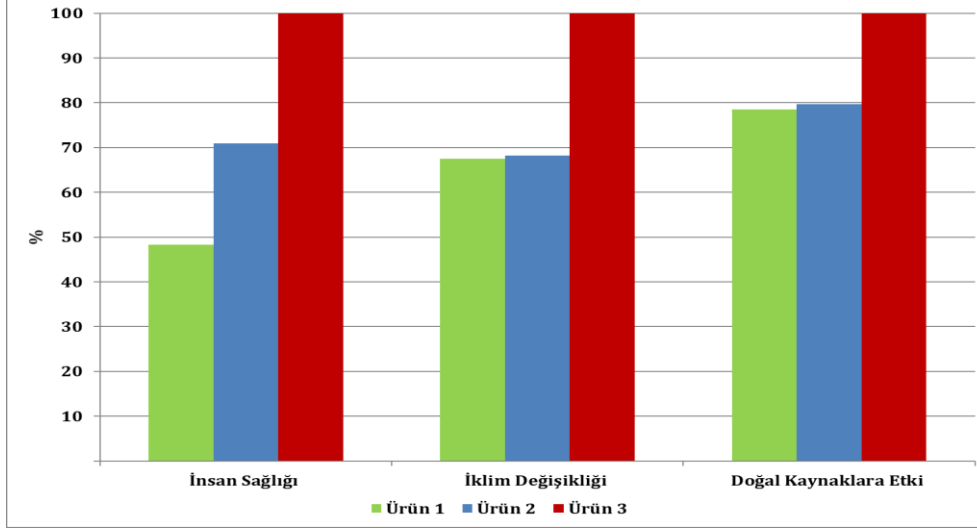
Ürün 2, solunan inorganiklerin oluşumunda en düşük etki kategorisine (% 46,42) sahipken, orta nokta göstergeleri arasında yer alan "radyasyon" ve "karasal ekotoksosite" (% 100) ve alan işgali (% 99,86) en yüksek etki kategorisine sahiptir. Radyasyon etkisinin yüksek çıkması, camPET'in ögütülmesi için kullanılan elektriğin üretim aşamasından kaynaklanabilir. İyonlaştırıcı radyasyon, uzun süreli radon-222 hava emisyonu yayıldığına işaretler. Bu emisyonun elektrik tüketimi ile ilgili olduğu düşünülmektedir [25]. Karasal ekotoksosite, termik santrallerde (elektrik üretimi) kullanılan kömürün çıkarılması (madencilik) ile ilişkili olabilir. Çünkü patlatma işleminden dolayı önemli bir alüminyum kirliliği ortaya çıkmaktadır, bu durumun karasal ekotoksosite göstergelerine katkıda bulunduğu düşünülmektedir [19]. Ürün 1 ise, "sucul asidifikasyon'da, en düşük etki kategorisi katkısına (% 66,95) sahipken, "radyasyon" parametresinde en yüksek etki kategorisine sahiptir (>% 90) (Şekil 2).



Şekil 2. Orta vade etki kategorileri (IMPACT 2002+ Metodu)

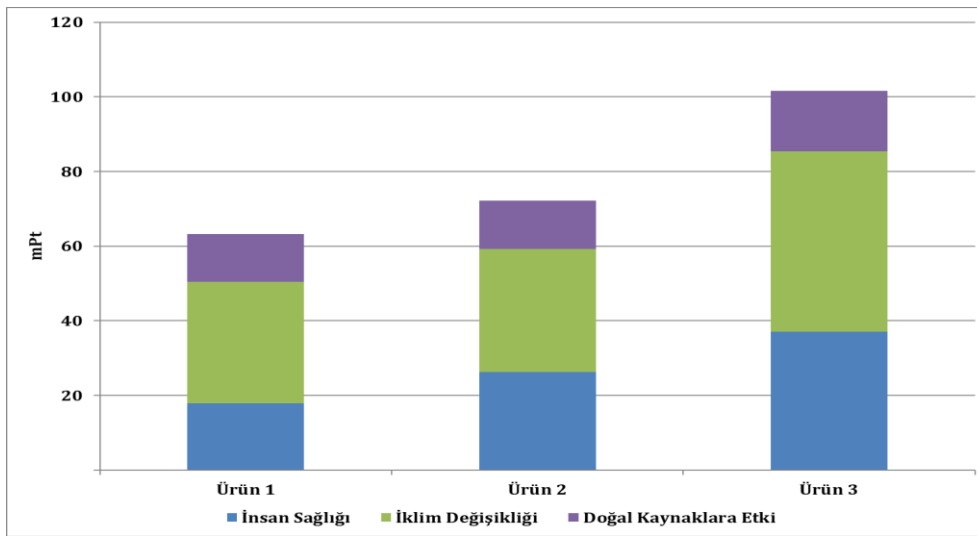
S. DEMİREL, H.Ö. ÖZ, F. ÇİNER, M. GÜNEŞ

IMPACT 2002+ metodunun uzun vade etki kategorileri insan sağlığı, ekosistem kalitesi ve kaynakların tükenmesi hususunda hasar tespitine dayanmaktadır. Şekil 3'de görüldüğü gibi, Ürün 3'ten kaynaklanan hasarlar tüm kategorilerde en yüksek olanı iken, Ürün 1'deki hasar en düşüktür. Üretim süreci için elde edilen sonuçları karşılaştırdığımızda, Ürün 3'ün tüm kategorilerdeki yüksek katkısından dolayı atık malzeme içeren harç karışımlarının normal harçtan daha çevre dostu olduğu sonucuna varılabilir. Ürün 1 ve 2 kıyaslandığında, Ürün 1'in "insan sağlığı" kategorisine katkısı daha az iken "iklim değişikliği" ve "doğal kaynakların tüketimine" etkileri hemen hemen aynıdır (Şekil 3).



Şekil 3. Uzun vade etki kategorileri (IMPACT 2002+ Metodu)

IMPACT 2002+ metodu içinde yer alan tek değer (single score) yaklaşımı, Pt (point) birimini kullanmaktadır. Bir Pt birimi, bir yıl boyunca 1000 Avrupalının çevreye yüklediği ortalama yükü (ekolojik ayak izi) belirtmektedir ve 1mPt (milipoint) 1/1000Pt'ye eşittir. Şekil 4, envanter gruplarının, hasar kategorilerinden her birine olan katkısını göstermektedir. Her üç harç karışımı için de "iklim değişikliği" üzerindeki potansiyel etki en fazla iken "doğal kaynaklara etki" nispeten daha az etki göstermektedir. İnsan sağlığı üzerindeki etkiler sırasıyla Ürün 1, Ürün 2 ve Ürün 3'ten geldiğini göstermektedir (sırasıyla 17,89 Pt, 26,27 Pt ve 37,05 mPt).



Şekil 4. Tek değer (single score) yaklaşımı (IMPACT 2002+ Metodu)

## TÜRKİYE'DE ATIK MALZEMEDEN YAPILMIŞ KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HARÇ ÜRETİMİNİN YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ

IMPACT 2002+ metodu içinde yer alan tek değer (single score) yaklaşımı, Pt (point) birimini kullanmaktadır. Bir Pt birimi, bir yıl boyunca 1000 Avrupalı'nın çevreye yüklediği ortalama yükü (ekolojik ayak izi) belirtmektedir ve 1mPt (milipoint) 1/1000Pt'ye eşittir. Şekil 4, envanter gruplarının, hasar kategorilerinden her birine olan katkısını göstermektedir. Her üç harç karışımı için de “iklim değişikliği” üzerindeki potansiyel etki en fazla iken “doğal kaynaklara etki” nispeten daha az etki göstermektedir. İnsan sağlığı üzerindeki etkiler sırasıyla Ürün 1, Ürün 2 ve Ürün 3'ten geldiğini göstermektedir (sırasıyla 17,89 Pt, 26,27 Pt ve 37,05 mPt).

Tek değer yaklaşımı grafiğine göre, Ürün 3'ün her üç kategoride de en yüksek katkıya sahip olduğu görülmektedir. Çimento üretimi sırasında, özellikle klinker aşamasında ortaya çıkan CO2 emisyonu ve fosil yakıtların kullanımına bağlı olarak bu durumun ortaya çıktığı düşünülmektedir [26].

## 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Türkiye ölçeğinde, kendiliğinden yerleşen harç (KYH) karışımlarında, çimento yerine kullanılan camPET ve uçucu külün çevresel etkileri, YDA metodolojisi kullanılarak klasik Portland çimento ile karşılaştırılmıştır. Üç farklı harç karışımı verileri kullanılarak IMPACT 2002+ metodu ile analiz edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, geri dönüştürülmüş bir malzemenin harç/beton yaşam döngüsünde kullanılmasıyla, çimentonun insan sağlığı, ekosistemler ve kaynaklar üzerindeki etkisini azalttığını ortaya koymuştur. Aynı zamanda, geri dönüşüm/geri kazanım ürününün kullanımının, eşdeğer miktarda bakire ürünün (ham madde) üretiminden kaçınmak için potansiyel bir krediyi temsil ettiğini göstermektedir. Sonuç olarak, KYH gibi harç/beton uygulamalarında, atıkların yeniden kullanımı sadece doğal kaynakların korunmasına ve deponi alanı kullanımının sınırlandırılmasına değil aynı zamanda daha geniş çevresel etkilerin azaltılmasına da neden olmaktadır.

Bununla birlikte, seçilen geri dönüştürülmüş malzemelerin, üretim alanına taşıma mesafesi ve hazırlama prosedürüne (atığın ayıklanması, öğütme vb.) özellikle dikkat edilmelidir. Aksi takdirde uzak bir mesafeden malzeme temini ile ortaya çıkan fosil yakıt kullanımı (transfer araçları için) ya da malzeme hazırlığı (öğütme, parçalama vs.) için gerekli elektrik enerjisi, üretim senaryosunun çevresel yükünü artırabilecektir.

## TEŞEKKÜR

Bu araştırma Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi Koordinatörlüğü'nce desteklenmiştir. Proje No: FEB2017/21-BAGEP, 2017-2018.

## KAYNAKLAR

- [1] MONTEIRO, P.J.M., MILLER, S.A., HORVATH, A., “Towards Sustainable Concrete”, *Nature Materials*, 16(7), 698-699, 2017.
- [2] VITALE, P. ARENA, N. DI GREGORIO, F., ARENA, U., “Life Cycle Assessment of The End-of-Life Phase of A Residential Building”, *Waste Management*, 60, 311-321, 2017.
- [3] ALSUBARİ, B., SHAFİGH, P., JUMAAT, M.Z., “Utilization of High-Volume Treated Palm Oil Fuel Ash to Produce Sustainable Self-Compacting Concrete”, *Journal of Cleaner Production*, 137, 982-996, 2016.
- [4] MARAGHECHI, H., SALWOCKI, S., RAJABIPOUR, F., “Utilisation of Alkali Activated Glass Powder in Binary Mixtures with Portland Cement, Slag, Fly Ash and Hydrated Lime”, *Materials and Structures*, 50(1), 1-14, 2017.
- [5] TEIXEIRA, E.R. MATEUS, R., CAMÕESA, A. F., BRAGANÇA, L., BRANCO, F.G., “Comparative Environmental Life-Cycle Analysis of Concretes Using Biomass and Coal Fly Ashes as Partial Cement Replacement Material”, *Journal of Cleaner Production*, 112, 2221-2230, 2016.
- [6] BERNDT, M.L., “Properties of Sustainable Concrete Containing Fly Ash, Slag and Recycled Concrete Aggregate”, *Construction and Building Materials*, 23(7), 2606-2613, 2009.
- [7] MEYER, C., “The Greening of The Concrete Industry”, *Cement and Concrete Composites*, 31(8), 601-605, 2009.
- [8] GÜRDAL, H., YÜCEER, Z., “Türkiye’de ve Dünyada Kendiliğinden Yerleşen Beton Uygulamaları”, *Hazır Beton Kongresi Bildiriler Kitabı*, 244-254, 2004.
- [9] TANGÜLER, M., GÜRSEL, P., MERAL, C., “Türkiye’de Uçucu Küllü Betonlar İçin Yaşam Döngüsü Analizi”, *Nisan*, 2015.

S. DEMİREL, H.Ö. ÖZ, F. ÇİNER, M. GÜNEŞ

- [10] GÜLTEKİN, A.B. VE ÇELEBİ, G., “Yaşam Döngüsü Değerlendirme Yöntemi Kapsamında Yapı Ürünlerinin Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesine Yönelik Bir Model Önerisi”, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 4(1), 1-36, 2016.
- [11] DEMİRER, G.N., “Yaşam Döngüsü Analizi (LCA) ve Uygulama Örnekleri”, Çevre Alanında Kapasite Geliştirme Projesi Entegre Ürün Politikaları ve Sürdürülebilir Kaynak Yönetimi, 2011.
- [12] DEMİREL, B., YAZICIOĞLU, S., “İnce Malzeme Olarak Kullanılan Atık Mermer Tozunun Betonun Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi”, International Sustainable Buildings Symposium, Bildiriler Kitabı, 173-176, 2010.
- [13] ANASTASIOU, E.K., LIAPIS, A., PAPACHRISTOFOROU, M., “Life Cycle Assessment of Concrete Products for Special Applications Containing EAF Slag”, Procedia Environmental Sciences, 38, 469-476, 2017.
- [14] ARRIGONI, A. BECKETT, C. CIANCIO, D., DOTELLI, G., “Life Cycle Analysis of Environmental Impact vs. Durability of Stabilised Rammed Earth”, Construction and Building Materials, 142, p. 128-136, 2017.
- [15] CHIU, C.T., HSU, T.H., YANG, W.F., “Life Cycle Assessment on Using Recycled Materials for Rehabilitating Asphalt Pavements”, Resources Conservation and Recycling, 52(3), 545-556, 2008.
- [16] MARCELINO-SADABA, S., KINUTHIA, J., OTI, J., MENESES, A.S., “Challenges in Life Cycle Assessment (LCA) of stabilised clay-based construction materials”, Applied Clay Science, 144, 121-130, 2017.
- [17] VALIPOUR, M., YEKKALAR, M., SHEKARCHI, M., PANAHİ, S., “Environmental Assessment of Green Concrete Containing Natural Zeolite on The Global Warming Index in Marine Environments, Journal of Cleaner Production, 65, 418-423, 2014.
- [18] NATH, P., SARKER, P.K., BISWAS, W.K., “Effect of Fly Ash on The Service Life, Carbon Footprint and Embodied Energy of High Strength Concrete in The Marine Environment, Energy and Buildings, 158, 1694-1702, 2018.
- [19] DESCHAMPS, J., SIMON, B., TAGNIT-HAMOU, A., AMOR, B., “Is Open-Loop Recycling The Lowest Preference in A Circular Economy? Answering Through LCA of Glass Powder in Concrete”, Journal of Cleaner Production, 185, 14-22, 2018.
- [20] MORETTI L., MANDRONE, V., D’ANDREA, A., CARO, S., “Comparative ‘from cradle to gate’ Life Cycle Assessments of Hot Mix Asphalt (HMA) Materials, Sustainability, 9(3), 1-16, 2017.
- [21] MARCEAU, M.L., NISBET, M.A., VANGEEM, M.G., “Life Cycle Inventory of Portland Cement Manufacture”, Research & Development Information, PCA R&D Serial No. 3007, 68, 2006.
- [22] BLENGINI, G.A., BUSTO, M., FANTONI, M., FINO, D., “Eco-Efficient Waste Glass Recycling: Integrated Waste Management and Green Product Development Through LCA, Waste Management, 32(5), 1000-1008, 2012.
- [23] MACKO, M., “Size Reduction by Grinding as an Important Stage in Recycling”, Post-Consumer Waste Recycling Optimum Production, 273-294, 2012.
- [24] SONG, D., YANG, J., CHEN, B., HAYAT, T., ALSAEDI, A., “Life-Cycle Environmental Impact Analysis of A Typical Cement Production Chain, Applied Energy, 164, 916-923, 2016.
- [25] HUMBERT, S., ROSSI, V., MARGNI, M., JOLLIET, O., LOERINCIK, Y., “Life Cycle Assessment of Two Baby Food Packaging Alternatives: Glass Jars vs. Plastic Pots, The International Journal of Life Cycle Assessment, 14(2), 95-106, 2009.
- [26] EVANGELISTA, B.L., ROSADO, L.P., PENTEADO, C.S.G., “Life Cycle Assessment of Concrete Paving Blocks Using Electric Arc Furnace Slag as Natural Coarse Aggregate Substitute”, Journal of Cleaner Production, 178, 176-185, 2018.