



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Geri Dönüştürülmüş Lastik Atık İkameli Poliüretan Dolgulu Kompozit Panellerin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi

Emrah YILMAZ ^{a,*}, Hakan ARSLAN ^b, Serkan SUBAŞI ^a, L. Onur UĞUR ^a, Alper BİDECI ^b

^a İnşaat Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

^b Mimarlık Bölümü, Sanat, Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: emrahylimaz@duzce.edu.tr

ÖZET

Dünyanın daha sürdürülebilir bir yer olması ve gelecek nesillere daha temiz bir dünya bırakmak için, kompozit inşaat malzemelerinin çevresel etkilerinin azaltılması ile ilgili çalışmalar son zamanlarda artmaktadır. Bu çalışmada, kompozit inşaat malzemelerinin çevresel etkilerini azaltmak ve endüstriyel atık kullanımının önemini ortaya koyabilmek için, 50 mm kalınlığındaki poliüretan dolgulu kompozit cephe paneline (PCP) %25 oranında geri dönüştürülmüş lastik atık ikame edilmiş ve bu panelin yaşam döngüsü değerlendirilmesi yöntemi ile çevresel performansı hesaplanmıştır. Çalışmanın sonucunda, poliüretan dolgulu kompozit panelinin çevresel etkisinin azaltılması ve böylece daha sürdürülebilir bir kompozit panel üretimi için poliüretanın geri dönüştürülmüş lastik atık ile ikamesinin çevresel açıdan uygun bir seçenek olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kompozit cephe paneli, Yaşam döngüsü değerlendirilmesi, Atık lastik, Çevresel etki

Life Cycle Assessment of Polyurethane Filled Composite Panels with Recycled Rubber Waste

ABSTRACT

Work has recently been ongoing to reduce the environmental impact of composite construction materials to make the world a more sustainable place and leave a cleaner world for future generations. In this study, 25% recycled rubber waste was replaced with a 50 mm thick polyurethane filled composite panel (PCP) to reduce the environmental impact of composite construction materials and to demonstrate the importance of industrial waste. The environmental performance of this panel was evaluated by the life cycle assessment method. As a result of the work, it has been determined that polyurethane recycled rubber waste is an environmentally viable option to reduce the environmental impact of the polyurethane filled composite panel and thus to produce a more sustainable composite panel.

Keywords: Composite façade panel, Life cycle assessment, Waste Rubber, Environmental Impact

I. GİRİŞ

Nüfusun artması ve sanayilerin gelişmesi ile endüstriyel atıkların bertarafı ciddi bir çevre sorunu haline geldi. Endüstriyel atıklar ve fabrika üretim atıkları çevresel etki oluşturmakla birlikte çoğu zaman depolanma zorunluluğundan dolayı ekstra bir maliyet oluşturmaktadır. Endüstriyel atıkların geri kazanımı ve bertarafı için etkin ve çevresel bir çözüm elzem olarak gereklidir.

Atık maddelerin yeniden kullanılması kamu güvenliğini tehdit etmeyecek ve çevreye zarar vermeyecek şekilde planlanmalıdır. Atık malzemeleri yeniden kullanılabilir formlara dönüştüren bir yeniden kullanım teknolojisi, kabul edilebilir sınırlar dahilinde çevresel zararları oluşturmamalıdır [1]. Yeniden kullanım oranı az, biyolojik bozunum süreci yavaş ve doğal çevreye son derece zarar veren atıklar, kimyasal bileşenlerine ayrılarak farklı bir malzemenin hammaddesini oluşturmakta, parçalanarak farklı ikame malzemeleri ile bir araya getirilip yeni bir kompozit malzeme oluşturmak veya kompozit bir malzemede alternatif dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır [2-4]. Atıkların hammadde, ikame malzeme ya da dolgu malzemesi olarak geri kazanımı ile sürdürülebilir çevre dostu malzeme üretimi gerçekleştirilmektedir [5].

Arabalar, uçaklar, kamyonlar, iki tekerler vb. araçlarda kullanılan lastikler ömrünü tamamladıktan sonra toplanmakta, depolanarak bertaraf edilmekte, yakıt kaynağı olarak kullanılmakta, yeniden kullanılmakta ve farklı yöntemler ile geri dönüştürülmektedir [6]. Muhtelif büyüklüklerde ve mikron seviyesine kadar granül haline getirilerek geri dönüştürülen lastik atıkları halı saha zeminlerinde, araç lastiklerinin kaplanmasında, lastik karo taşı üretiminde, makine takozu üretiminde ve asfalt yollara bariyer yapımında kullanılarak çevreye dost yeni malzemeler olarak geri dönüştürülmektedir [7].

Atık lastik granüllerinden oldukça iyi mekanik ve fonksiyonel özelliklere sahip çok çeşitli kirletici değil, aynı zamanda sürdürülebilir kompozitler üretilmektedir. Geri dönüştürülmüş lastiklerden elde edilen bu kompozitlerin üretim yöntemi çok basit olup kauçuk ve termoplastik malzemeler endüstrisinde kullanılan bilinen teknoloji, makine ve teçhizat kullanılarak üretilirler. Aynı zamanda bu kompozitlerin endüstriyel üretimde uygulanması fazla yatırım gerektirmez [8]. Son yıllarda atık lastik kauçuğu asfalt parçacıklarıyla olan iyi etkileşiminden ötürü asfalt modifiye edici olarak yaygın şekilde kullanılarak geri dönüştürülmektedir. [9]. Doğal agreganın yerine atık lastiklerden elde edilen agregalar kullanılarak beton üretim deneyleri yapılmakta ve lastik kauçuk agregası dahil edildiğinde betonun mekanik özelliklerinin genel kalitesinde bir düşüş olduğunu belirtilmektedir [10]. Mekanik özelliklerinin düşük olmasına rağmen kullanılan lastiklerin tekrar kullanılmasından dolayı atıkların geri kazanılmasından kaynaklanan çevresel avantajların dikkate alınması gerektiği ifade edilmektedir [11]. İnşaat sektöründe, kaynak tüketimi sorununun üstesinden gelmek, daha çevre dostu ve sürdürülebilir malzemelerin üretilmesini sağlamak, inşaat malzemelerini karşılaştırmak ve çevresel kaygılara hitap etmek için, yapı ve yapı malzemelerinin çevresel performansını değerlendiren bir yöntem olan YDD (Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi) yöntemi kullanılmaktadır [12-13].

Bu çalışmada, 50 mm kalınlığındaki poliüretan dolgulu kompozit cephe paneline (PCP) %25 oranında geri dönüştürülmüş lastik atık ikame edilerek elde edilen panelin yaşam döngüsü değerlendirmesi yöntemi ile çevresel etkileri belirlenmiştir.

II. MATERYAL YÖNTEM

A. MATERYAL

A1. Poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli (PCP)

Bir uçtan üretim hattına giren, istenilen renkte ve kalınlıkta iki alüminyum veya galvanize sac şekillendirilerek kompozit panelin alt ve üst yüzeyini oluşturmakta, sonrasında levhalar arasına yalıtım malzemesi olarak farklı yoğunluk ve kalınlıkta poliüretan dökülerek poliüretan dolgulu kompozit panel oluşturulmaktadır. Paneller istenen boy ve sayıda kesilerek sevke hazır hale getirilmektedirler. Panellerin nakliye ve montajda korunması için dış yüzeylerine koruyucu polietilen folyo uygulanmaktadır [14]. Kompozit cephe panelini oluşturan materyaller aşağıda verilmiştir.

Galvaniz Sac

Poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli üretiminde alt metal kalınlığı 0.50 mm ve üst metal kalınlığı 0.40 mm galvaniz sac kullanılmıştır. Galvaniz kaplı çelik saclar, EN 10142 standardına uygun, kesintisiz hatlarda galvanizlenmiş, bükme, çekme ve derin çekme işlemlerine uygun olarak tasarlanmıştır.

Boya

Panel üretiminde kullanılan boya, ultraviyole, kimyasal ve mekanik dayanımı yüksek, renk solmasına karşı uzun süre dayanan, kimyasallara, leke ve kirlere karşı en dayanıklı, yüksek parlaklıkta, çizilmelere ve korozyona karşı dayanımları iyi boyalardır.

Boyalı sac, Galvanizli sac veya alüminyum ruloların kesintisiz üretim hattında coil coating tekniği ile boyanması ile elde edilir. İstenen RAL renginde ve cinsten boyama yapılıır. Coil Coating tekniği ile sac yüzeyinin her noktasında homojen boya kalınlığı elde edilir. Metalin yalıtım gören yüzeyine astar tabakası uygulanması ile metale önemli bir özellik kazandırılır ve bu sayede yalıtım tabakası metale tutunarak yalıtımlı panel kompozit bir yapıya kavuşur [15].

Poliüretan

Poliüretan, polyol ve izosiyanat adlı iki ana bileşenin, özel üretim şartlarında, katalizör malzemelerle, yüksek basınç altında karışımıyla oluşan rijit poliüretan sert köpüktür [16]. Poliüretan, termoset malzeme olup 250 0C kadar ısı yalıtımı sağlama özelliğine sahiptir. İlk üretildiğinde ısı iletkenliği 0,020 – 0,024 W/m0C olup zamanla kullanım sonucu aralarda oluşan gazlardan dolayı 0,024 – 0,030 W/m0C kadar yükselebilmektedir [17]. Poliüretan, kompozit panellerin iç dolgu malzemesi olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bir çok dış cidar malzemesi ile birlikte kullanılabilen poliüretan iç dolgulu kompozit paneller, yapılarda, dış cephe paneli, çatı paneli, soğuk hava deposu paneli ve iç mekan bölme paneli olarak kullanılmaktadır [18].

Folyo

Panellerin nakliye ve montaj aşamasında korunması için dış yüzeylerine koruyucu polietilen folyo uygulanmaktadır. Bu folyolar cast ya da blown film, yırtılmaya karşı dirençli ve iyi sarılma özelliğine sahiptir.

Yan bant

Poliüretan döküm işlemi gerçekleştirilirken alt sacın her iki yanından poliüretanın akması için bantlama işlemi yapılır. Firmanın reklamının yapılması amacıyla bantların üzerinde genellikle şirket bilgileri yer almaktadır.

A2. Geri dönüştürülmüş lastik atık

Kahya Kauçuk firmasından elde edilen 1-2mm elek aralığındaki granül lastik atığı poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli üretiminde ikame malzemesi olarak %25 oranında kullanılmıştır. EDS analizleri sonucunda (Tablo 1) kauçuk numunenin yüksek oranda karbon (C) elementi içerdiğini göstermiştir [7].

Tablo 1. Lastik atığın kimyasal özellikleri

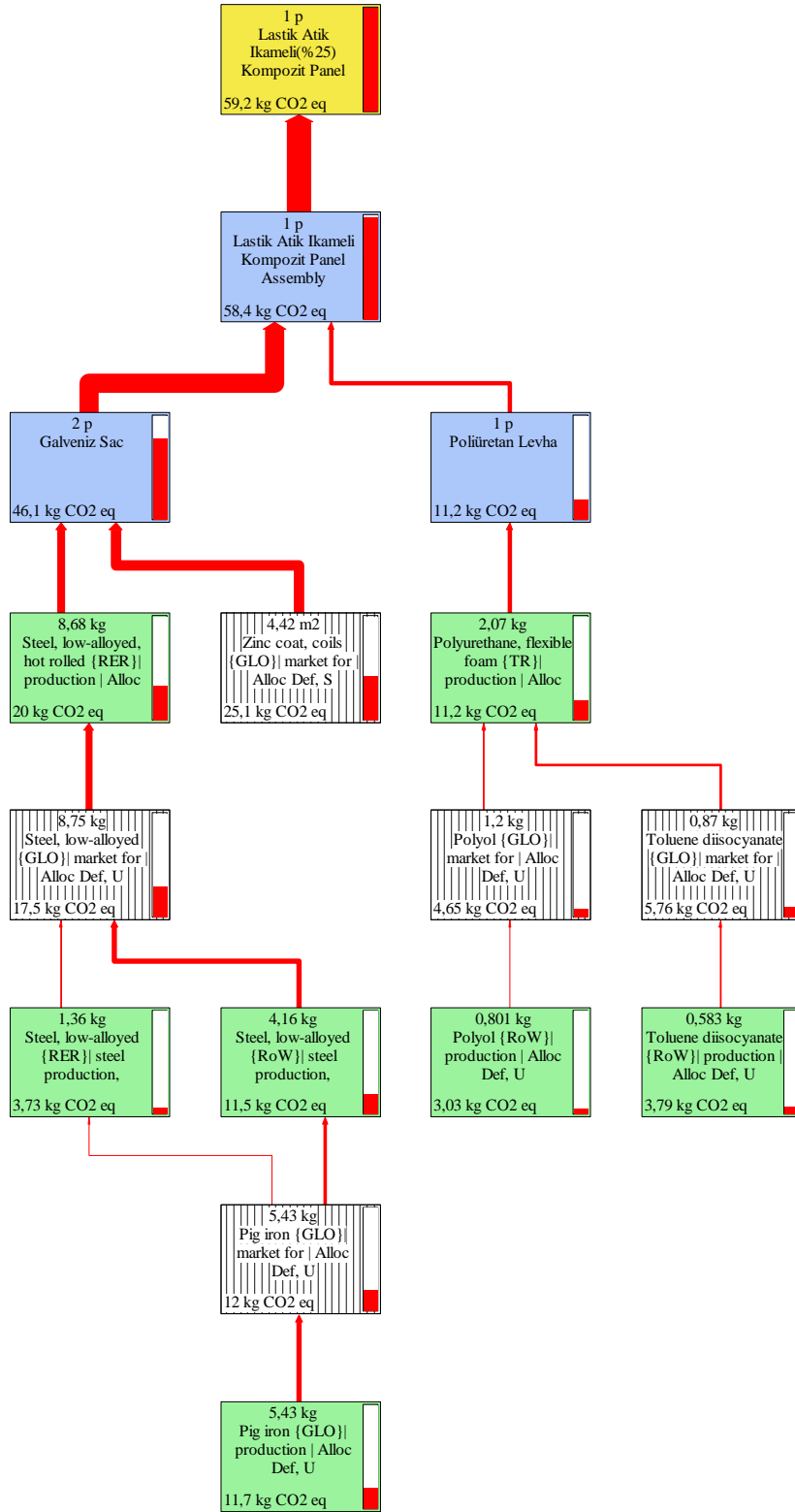
| Bileşen | Sembol | % |
|----------------|---------------|---------------|
| Karbon | C | 89.80 |
| Oksijen | O | 8.04 |
| Sodyum | Na | 1.32 |
| Sülfür | S | 0.84 |
| Toplam | | 100.00 |

B. YÖNTEM

Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi, bir ürünün, prosesin veya servisin yaşam döngüsü boyunca, yani hammadde edinimi, üretim ve kullanım aşamalarından atık yönetimine kadar, muhtemel çevresel etkileri ve kaynakları değerlendirmek için kullanılan bir araçtır [19-20]. Ürünlerin çevresel etkilerinin karşılaştırılması için bir yaklaşım olarak başlayan YDD aynı zamanda endüstri ve hükümetin çevresel sürdürülebilirliği için sağlam bir bilimsel temel sağlamak adına standartlaştırılmış bir yöntemdir [21]. Ayrıca kompozit malzemelerin geri dönüştürülebilirliğine ilişkin çevresel etkilerin değerlendirmesine yönelik kullanılan bir yöntemdir [22]. Çalışmada, 50 mm kalınlığındaki poliüretan dolgulu kompozit cephe paneline %25 oranında geri dönüştürülmüş lastik atık ikameli edilerek oluşturulan kompozit panelin yaşam döngüsü değerlendirme yöntemi ile çevresel performansı hesaplanmıştır.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Poliüretanın içerisine %25 oranında lastik atık ikame edilerek oluşturulan kompozit panelin envanter analizi sonucunda elde edilen bulgular doğrultusunda CML-IA baseline ver.3.01 modeline göre SimaPro 7.2 bilgisayar yazılımında yaşam döngüsü etki değerlendirme yapılmıştır. Değerlendirme sonucunda 50 mm kalınlığındaki lastik atık ikameli kompozit cephe panelinin Şekil 1'deki yaşam döngüsü ağaç diyagramı elde edilmiştir. Ayrıca değerlendirme sonucunda 50 mm kalınlığındaki %25 oranında geri dönüştürülmüş lastik atık ikameli kompozit panelin üretim aşaması ve yaşam sonu bertaraf aşamasındaki karakterizasyon sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. Karakterizasyon sonuçlarının her bir kategorisinin sonuçlarına ait birimler farklı olduğundan dolayı Şekil 2'de her bir kategorinin kendi içerisindeki yüzde dağılımına göre normalizasyon grafiği oluşturulmuştur.



Şekil 1. 50 mm kalınlığındaki %25 oranında geri dönüştürülmüş lastik atık ikamelî kompozit panelin yaşam döngüsü ağaç diyagramı

Şekil 1’de 50 mm kalınlığındaki %25 oranında geri dönüştürülmüş lastik atık ikameli kompozit paneli üretiminde kullanılan malzemelerin çevresel etkilerinin toplam miktarına ait çevresel yaşam döngüsü, ağaç diyagramında ayrı ayrı incelenmiştir. Buna göre, oluşan etkinin %77.8’i galvaniz sac kullanımından, %18,9’u poliüretan kullanımından, %0,72’si endüstriyel atık olarak lastik tozu ikame edilmesinden, %1’i panelin üretimi sırasında kullanılan enerjiden, %0,26’sı üretilen panelin ambalajlanmasından ve %1,26’sı panelin yaşam sonundaki atık senaryosundan kaynaklandığı görülmektedir. Kompozit cephe panelinin üretiminde en çok çevresel etkiye sahip olan galvaniz sacın üretimi sırasında galvanizleme işlemi %42.5, sıcak haddelenmiş çelik kullanımı %33,9, galvaniz çeliğin üretim tesisine nakliyesi %0,79 ve çeliğin boyanması %0.7 oranında etkilemektedir. Yalıtım malzemesi olarak poliüretan kullanımının detayları incelendiğinde, poliüretanı oluşturan malzemelerden isocyanete %9.73, polyol %7.85, poliüretanın oluşumunda harcanan enerji %0,77, organikler %0.22, atık poliüretan %0.06 ve poliüretanın üretim tesisine nakliyesi %0.09 oranında etkiye sahip olduğu görülmektedir.

Tablo2. Geri dönüştürülmüş lastik atık ikameli kompozit panelin karakterizasyon sonuçları

| Etki Kategorisi | Lastik Atık İkameli Kompozit Panel | | |
|-------------------------------|------------------------------------|------------------|--------|
| | Üretim Aşaması | Bertaraf aşaması | Toplam |
| KTOP (kg Sb eq.) | 0,0294 | 4,3E-7 | 0,0294 |
| KTOPF (MJ eq.) | 808 | 3,11 | 811 |
| KIP (kg CO2 eq.) | 57,9 | 0,686 | 58,4 |
| OİP (kg CFC-11 eq.) | 2,79E-6 | 1,36E-8 | 2,8E-6 |
| İTP (kg DCB eq.) | 92,4 | 1,45 | 93,7 |
| TSEP (kg DCB eq.) | 43,5 | 4,97 | 48,3 |
| DEP (kg DCB eq.) | 1,07E5 | 4,12E3 | 1,1E5 |
| TEP (kg DCB eq.) | 0,0791 | 0,00271 | 0,0815 |
| FOOP (kg C2H4 eq.) | 0,0253 | 0,000159 | 0,0254 |
| AP (kg SO2 eq.) | 1,22 | 0,000957 | 1,22 |
| ÖP (kg PO4 eq.) | 0,324 | 0,0288 | 0,352 |

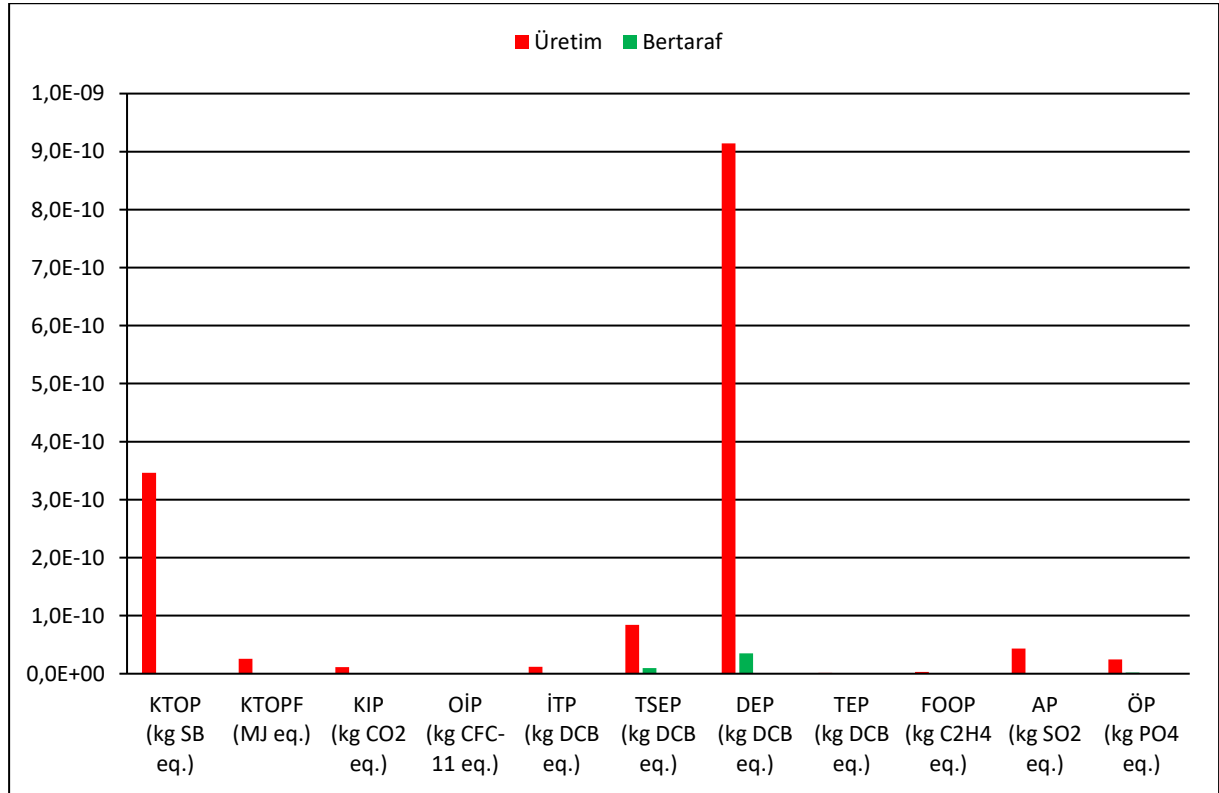
Tablo 1’de 1 m² boyutunda ve 50 mm kalınlığındaki lastik atık ikameli kompozit cephe panelinin üretim ve bertaraf senaryosu aşamalarına ait veriler paylaşılmıştır. Bu veriler; KTOP: Kaynak tüketim oluşumu potansiyeli (fosil olmayan); KTOPF: Kaynak tüketimi oluşumu potansiyeli (fosil kaynaklardan); KIP: Küresel ısınma potansiyeli; OİP: Ozon incelme potansiyeli; İTP: İnsan toksisite potansiyeli; TSEP: Temiz su ekotoksisite potansiyeli; DEP: Deniz ekotoksisite potansiyeli; TEP: Toprak

ekotoksosite potansiyeli; FOOP: Fotokimyasal oksidasyon oluşma potansiyeli; AP: Asidifikasyon potansiyeli; ÖP: Ötrofikasyon potansiyeli çevresel etki kategorilerini ifade etmektedir.

Buna göre, lastik atık ikameli kompozit cephe panelinin bertaraf aşamasının, çevresel etki kategorilerinin tümünde üretim aşamasına göre daha az çevresel etkisi olduğu görölmektedir.

Lastik atık ikameli kompozit panelin üretim aşaması küresel ısınmaya 57,9 kg CO₂ eşdeğeri, bertaraf aşaması 0,686 kg CO₂ eşdeğeri etkisi olduğu görölmektedir. Kaynak tüketimi oluşumu potansiyeli açısından irdelendiğinde ise üretim aşaması 808 MJ eşdeğeri, bertaraf aşaması 3,11 MJ eşdeğeri olumsuz etki sağlamaktadır.

NH₃, SO_x ve NO_x emisyonlarına bağlı olarak oluşan asidifikasyon ve ötrofikasyon potansiyelinin üretim aşamasındaki etkileri sırasıyla 1,22 kg SO₂ eşdeğeri ve 0,324 kg PO₄ eşdeğeri, bertaraf aşamasında ise 0,000957 kg SO₂ eşdeğeri ve 0,0288 kg PO₄ eşdeğeri olarak hesaplanmıştır.



Şekil 2. Geri dönüştürölmüş lastik atık ikameli kompozit panelin normalizasyon sonuçları

Orta nokta kategorileri ve zarar kategorilerinin farklı birimlerle ifade edilmekte olup karşılaştırma yapılabilmesi için tüm bu çevresel etkileri boyutsuz hale getirmek amacıyla Şekil 2’de normalizasyon yapılmıştır. Normalizasyon ile tüm kategoriler boyutsuz hale getirilerek çevresel etkileri karşılaştırmak mümkün kılınmaktadır.

Şekil 2’de göröldüğu gibi çevresel olarak en etkili olan kategoriler deniz ekotoksosite potansiyeli, kaynak tüketim oluşumu potansiyeli (fosil olmayan) ve temiz su ekotoksosite potansiyeli olup bunu asidifikasyon ve ötrofikasyon potansiyeli izlemektedir. Çevresel yükün oluşmasında en etkili olan bu

kategorilerin tümünde üretim aşamasının çevresel etkisi bertaraf aşamasının çevresel etkisinden daha yüksektir.

IV. SONUÇ

Bu çalışmada 50 mm kalınlığındaki poliüretan dolgulu kompozit cephe panelin çevresel etkilerini azaltmak için üretim aşamasında sıvı olarak galvaniz sacın yüzeyine akıtılan poliüretan karışımı içerisinde geri dönüştürülmüş lastik atık ikame edilmesi önerilmiş ve oluşan panelin beşikten kapıya (opsiyonlu) YDD yöntemi ile çevresel etkileri hesaplanmıştır.

Geri dönüştürülmüş lastik atık ikame edilerek oluşturulan panelin üretim aşamasının, çevresel etki kategorilerinin tümünde bertaraf aşamasına göre daha fazla çevresel etkisi olduğu görülmektedir. Kompozit panel üretiminde yalıtım malzemesine geri dönüştürülmüş lastik ikame edilerek oluşan panelin sadece çevresel değil aynı zamanda teknik avantajlarda sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca poliüretan dolgulu kompozit panel üretiminde kullanılan atık miktarı kadar poliüretan kullanımı azaltılacak ve oluşturulacak panelin birim maliyeti diğerlerine oranla daha düşük olacaktır.

Böylece üretimde geri dönüşümlü malzemelerin kullanılması, kaynak verimliliği açısından önem arz etmekte ve malzemelerin önemli ölçüde ekolojik kaliteye sahip olmasını sağlamaktadır. Atıklar yeniden kullanılarak doğal kaynakların korunması, değerli depolama alanlarındaki doluluğun azalması, hammadde ve enerji ihtiyacının azalması, hava ve su kirliliği kontrolü ve son olarak yeni iş alanları yaratma potansiyeli ile sonuçlanabilecektir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir (Proje no: 2016.09.04.404).

V. KAYNAKLAR

- [1] J. Y. Park ve M. R. Chertow, “Establishing and testing the ‘reuse potential’ indicator for managing wastes as resources”, *Journal of Environmental Management*, c. 137, ss. 45–53, 2014.
- [2] P. K. Roy, R. Mathur, D. Kumar, ve C. Rajagopal, “Tertiary recycling of poly(ethylene terephthalate) wastes for production of polyurethane–polyisocyanurate foams”, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, c. 1, sayı 4, ss. 1062–1069, 2013.
- [3] A. Z. Ahrabi, İ. Bilici, ve A. Y. Bilgesü, “Pet Atıkları Kullanılarak Kompozit Malzeme Üretiminin Araştırılması”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimar. Fakültesi Dergisi*, c. 27, sayı 3, ss. 467–471, 2012.
- [4] B. Dębska, 10 – Modification of Polymer Composites by Polyethylene Terephthalate Waste, Poly(Ethylene Terephthalate) Based Blends, Composites and Nanocomposites, 2015, ss. 195–212.
- [5] A. M. H. Mansour ve S. A. Ali, “Reusing waste plastic bottles as an alternative sustainable building material”, *Energy for Sustainable Development*, c. 24, ss. 79–85, 2015.

- [6] D. Dobrotă ve G. Dobrotă, “An innovative method in the regeneration of waste rubber and the sustainable development”, *Journal of Cleaner Production*, 2017.
- [7] M. Sienkiewicz, H. Janik, K. Borzędowska-Labuda, ve J. Kucińska-Lipka, “Environmentally friendly polymer-rubber composites obtained from waste tyres: A review”, *Journal of Cleaner Production*, c. 147, ss. 560–571, 2017.
- [8] K. Yan, W. He, M. Chen, ve W. Liu, “Laboratory investigation of waste tire rubber and amorphous poly alpha olefin modified asphalt”, *Construction and Building Materials*, c. 129, ss. 256–265, 2016.
- [9] N. I. Fattuhi ve L. A. Clark, “Cement-based materials containing shredded scrap truck tyre rubber”, *Construction and Building Materials*, c. 10, sayı 4, ss. 229–236, 1996.
- [10] M. Bravo ve J. de Brito, “Concrete made with used tyre aggregate: durability-related performance”, *Journal of Cleaner Production*, c. 25, ss. 42–50, 2012.
- [11] H. Babaizadeh, N. Haghghi, S. Asadi, R. Broun, ve D. Riley, “Life cycle assessment of exterior window shadings in residential buildings in different climate zones”, *Building and Environment*, c. 90, ss. 168–177, Ağu. 2015.
- [12] O. Ortiz, C. Bonnet, J. C. Bruno, ve F. Castells, “Sustainability based on LCM of residential dwellings: A case study in Catalonia, Spain”, *Building and Environment*, c. 44, sayı 3, ss. 584–594, Mar. 2009.
- [13] E. Yılmaz ve H. Arslan, “Poliüretan ve Taşyünü Dolgulu Kompozit Panellerin Çevresel Performanslarının İrdelenmesi”, 9. Ulusal Çatı & Cephe Konferansı, İstanbul, Türkiye, 2018
- [14] K. Büyüklü, “Malzeme Teknolojisi,” *Mühendis ve Makina Dergisi*, c.47, s. 563, ss. 51-56, 2006.
- [15] H. AYDIN ve İ. EKMEKÇİ, “Isı yalıtım malzemesi olarak poliüretan köpüğün fiziksel ve kimyasal özellikleri, üretimi ve incelenmesi”, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Dergisi*, c. 6, sayı 1, ss. 45–50, 2002.
- [16] J. M. Davies, *Lightweight sandwich construction*, John Wiley & Sons, 2008.
- [17] N. Serter, “Cephelerde Kullanılan Sandviç Panellerin Üretim Ve Montaj Aşamaları,” Yüksek Lisans Tezi, Mimarlık Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2010.
- [18] Ö. S. Bideci, R. C. Saka, ve A. Bideci, “Physical Characteristics of Rubberized Concrete Including Granulated Waste Tire Aggregate”, *Politeknik Dergisi*, c. 20, sayı 4, ss. 777–786, 2017.
- [19] Environmental management — Life Cycle Assessment — Principles and Framework, International Organization for Standardization ISO 14040, 2006

- [20] M. Finkbeiner, A. Inaba, R. B. H. Tan, K. Christiansen, ve H.-J. Klüppel, “The New International Standards for Life Cycle Assessment: ISO 14040 and ISO 14044”, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, c. 11, sayı 2, ss. 80–85, 2006.
- [21] M. A. Curran, “Life Cycle Assessment: A review of the methodology and its application to sustainability”, *Current Opinion in Chemical Engineering*, c. 2, sayı 3. ss. 273–277, 2013.
- [22] A. D. La Rosa, D. R. Banatao, S. J. Pastine, A. Latteri, ve G. Cicala, “Recycling treatment of carbon fibre/epoxy composites: Materials recovery and characterization and environmental impacts through life cycle assessment”, *Composites Part B: Engineering*, c. 104, ss. 17–25, 2016.