



## Production and construction process environmental impact assessment of waterproofing applications

Şeyma Levent<sup>1</sup>, İkbal Çetiner\*<sup>2</sup>

Architecture Department, Istanbul Technical University, Istanbul, 34437, Turkey

### Highlights:

- Waterproofing applications in flat roofs
- Production and construction process environmental impact analysis
- Life cycle assessment

### Keywords:

- Waterproofing
- Flat roof
- Life cycle assessment
- SimaPro
- Environmental impact

### Article Info:

Research Article  
Received: 20.04.2020  
Accepted: 15.05.2021

### DOI:

10.17341/gazimmfd.723798

### Correspondence:

Author: İkbal Çetiner  
e-mail: cetinerikb@itu.edu.tr  
phone: +90 212 293 1300

### Graphical/Tabular Abstract

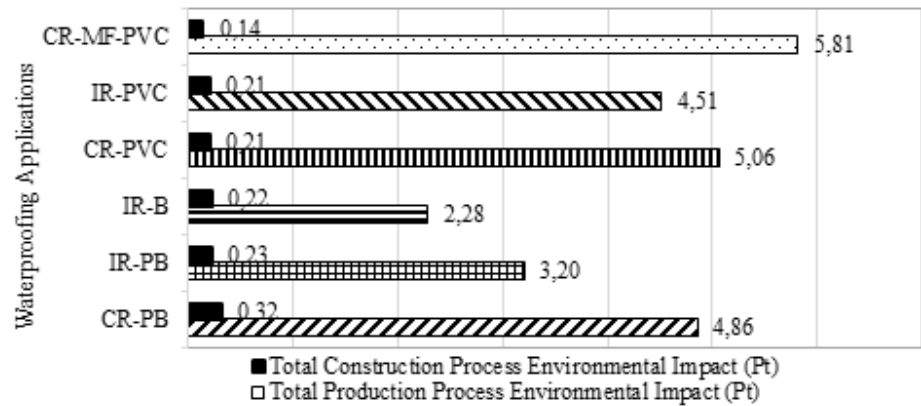


Figure A. Production and construction process environmental impacts of waterproofing systems

**Purpose:** The purpose of the research is to investigate the production and construction process environmental impacts of waterproofing systems commonly applied in the flat roofs in the Turkey industry.

### Theory and Methods:

The production and construction process environmental impacts of waterproofing applications are carried out with SimaPro simulation program, which analyzes life cycle of products and services. Whereas the production process data of the materials used in the applications are provided from Ecoinvent database inside the program, the construction process data are obtained via manufacturer firms and on-site observations.

### Results:

The mechanically fastened PVC based waterproofing system (MF-PVC) in the conventional flat roof system (CFRS) has the highest amount of production process environmental impact. The application with the least environmental impact is the bitumen based liquid waterproofing type (B) in the inverted flat roof system (IFRS). Amongst the waterproofing applications, the polymer modified bitumen waterproofing system (PB) in CFRS has the highest environmental impact during the construction process whereas MF-PVC in CFRS has the lowest construction process environmental impact. When the production and construction process environmental impacts of the applications are compared, MF-PVC in CFRS has the highest environmental impact while the application with the least environmental impact is PB in IFRS.

### Conclusion:

The research results will help architects and engineers preferring waterproofing applications with low environmental impact. Additionally, the paper will also be a guide for future studies where different applications to be carried out in other building subsystems will be investigated environmentally.



## Su yalıtımı uygulamalarının üretim ve yapım süreci çevresel etki değerlendirmesi

Şeyma Levent<sup>1</sup>, İkbal Çetiner\*<sup>2</sup>

İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 34437, Taksim, İstanbul, Türkiye

### Ö N E Ç İ K A N L A R

- Teras çatılarda su yalıtımı uygulamaları
- Üretim ve yapım süreci çevresel etki analizi
- Yaşam döngüsü değerlendirmesi

#### Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi  
Geliş: 20.04.2020  
Kabul: 15.05.2021

#### DOI:

10.17341/gazimmfd.723798

#### Anahtar Kelimeler:

Su yalıtımı,  
teras çatı,  
yaşam döngüsü  
değerlendirmesi,  
SimaPro,  
çevresel etki

#### ÖZ

Binalardaki su yalıtımı uygulamaları, malzemelerin üretim ve yapım süreçlerinde oluşan enerji ve kaynak tüketimi nedeniyle çeşitli çevresel etkiler oluşturmaktadır. Her yıl tonlarca su yalıtım malzemesinin uygulandığı dikkate alınrsa; bu malzemelerin fiziksel, kimyasal vb. performans özelliklerinin yanı sıra, olası çevresel etkilerinin de değerlendirilmesi gerektiği açıktır. Makalede, Türkiye’de klasik ve ters teras çatılarda yaygın olarak uygulanan su yalıtım sistemlerinin üretim ve yapım süreçlerindeki çevresel etkileri yaşam döngüsü yaklaşımı ile değerlendirilmektedir. Klasik ve ters teras çatılar için belirlenen altı tip uygulamanın çevresel etki analizi, ürün ve hizmetlerin yaşam döngüsünü analiz eden SimaPro benzetim programı ile gerçekleştirilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre; üretim ve yapım süreçleri toplamında klasik teras çatıda mekanik yöntemle sabitlenen PVC esaslı serme tip su yalıtımı uygulaması en yüksek çevresel etkiye, ters teras çatıda bitüm esaslı sürme tip su yalıtımı uygulaması ise en düşük çevresel etkiye sahiptir. Araştırma sonuçları, mimarlar ve mühendislerin düşük çevresel etkili su yalıtımı uygulamalarını tercih etmelerine yardımcı olacaktır. Ayrıca bina alt sistemlerinde gerçekleştirilecek farklı uygulamaların çevresel konular açısından değerlendirileceği gelecek çalışmalar için bir rehber niteliği taşımaktadır.

## Production and construction process environmental impact assessment of waterproofing applications

### H I G H L I G H T S

- Waterproofing applications in flat roofs
- Production and construction process environmental impact analysis
- Life cycle assessment

#### Article Info

Research Article  
Received: 20.04.2020  
Accepted: 15.05.2021

#### DOI:

10.17341/gazimmfd.723798

#### Keywords:

Waterproofing,  
flat roof,  
life cycle assessment,  
SimaPro,  
environmental impact

#### ABSTRACT

Waterproofing applications in buildings cause environmental impacts due to energy and resource consumption in the production and construction processes of materials. Considering tons of waterproofing materials are applied every year, it is clear that their possible environmental impacts besides physical, chemical, etc. performance characteristics of these materials should also be evaluated. In the article, the production and construction process environmental impacts of the waterproofing systems commonly applied to conventional and inverted flat roofs in Turkey are investigated by life cycle assessment method. The environmental impact analyses of the applications determined for conventional and inverted flat roofs are carried out with SimaPro simulation program, which analyzes life cycle of products and services. According to the results obtained; the total environmental impacts during the production and construction processes are the highest for the mechanically fastened PVC based waterproofing system in conventional flat roof while they are the lowest for the bitumen based liquid waterproofing system in the inverted flat roof. The research results will help architects and engineers preferring waterproofing applications with low environmental impact. Additionally, the paper will also be a guide for future studies where different applications to be carried out in other building subsystems will be investigated environmentally.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde giderek artan inşaat faaliyetleri sonucu doğal kaynaklar tüketilmekte, tarım alanları ve kentsel yeşil alanlar yapıyı çevreye dönüştürülmektedir. Bu durum doğal çevre üzerinde zararlı etkilere neden olurken, insan sağlığını da olumsuz yönde etkilemektedir. Avrupa’da sadece binaların harcadığı enerji, toplam küresel enerji tüketiminin %40’ından; küresel karbondioksit (CO<sub>2</sub>) salımlarının da %36’sından sorumludur [1]. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre; 2018 yılında 520,9 milyon ton CO<sub>2</sub> eşdeğeri olarak hesaplanan toplam sera gazı salımı, bir önceki yıla göre %0,5 azalma göstermiştir. Söz konusu emisyonlarda en büyük pay %71,6 ile enerji kaynaklı olup; geri kalanı sırasıyla %12,5 endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı, %12,5 tarımsal faaliyetler ve %3,4 atık olarak belirlenmiştir [2].

Tüm bu gelişmeler gerek doğal kaynak tüketimini gerekse enerji harcamalarını azaltmak üzere, sürdürülebilir yapı/yapım kavramı çerçevesinde enerji ve ekonomik etkin, yenilenebilir kaynakları kullanan, ekosistemi dikkate alan, çevre dostu ve konfor odaklı tasarımların öncelik kazanmasına gerektirmektedir. Bu kapsamda sürdürülebilir bir tasarım; bir binayı oluşturan sistem/alt sistemlerin binanın üretiminden yok olmasına kadar geçen süreçte gerçekleşecek tüm eylemlerin/uygulamaların çevresel, ekonomik ve sosyal etkilerinin bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmesini amaçlamaktadır. Söz konusu süreçte çevreye verilen zararlı etkilerin belirlenmesi ve mimarlar, inşaat mühendisleri ve bina üretiminde yer alan diğer ilgili paydaşlar tarafından malzeme/bileşen/eleman ya da yapım teknolojisi seçiminde dikkate alınması; doğal kaynakların tükenmesi, çevre kirliliği, iklim değişikliği gibi insan sağlığı için tehdit oluşturan sorunların azaltılmasına yardımcı olacaktır.

Sistem/alt sistemlerin çevresel bir bakış açısı ile değerlendirilmesi ve kıyaslanmasına yardımcı olan bir çok araç, yöntem ya da yaklaşım geliştirilmiştir [3]. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (Life Cycle Assessment - LCA), Stratejik Çevresel Değerlendirme (Strategic Environmental Assessment), Çevresel Etki Değerlendirmesi (Environmental Impact Assessment), Çevresel Risk Değerlendirmesi (Environmental Risk Assessment), Fayda-Maliyet Analizi (Cost-Benefit Analysis), Malzeme Akış Analizi (Material Flow Analysis), Ekolojik Ayakizi Metodu, Yaşam Döngüsü Maliyeti (Life Cycle Costing) gibi araç, yöntem ya da yaklaşımlar bunlara örnek olarak verilebilir [4]. Genel olarak bir binanın üretiminden yok olmasına kadar geçen süreçte hava, su ve toprağa yaydığı zararlı salımlar ile katı/sıvı atıklar, “Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD)” olarak isimlendirilen Uluslararası Standartlar Kuruluşu (International Organization for Standardization -ISO) tarafından 1997’de geliştirilmiş ve standard haline getirilmiş çevresel etki değerlendirme yöntemi ile analiz edilmektedir. ISO 14044 standardında YDD yönteminin; amaç ve kapsamın tanımlanması, yaşam döngüsü veri analizi, yaşam

döngüsü etki analizi ve yorumlama aşamalarından oluştuğu ifade edilmiştir [5]. YDD, bir servis ya da ürünün çevresel bakış açısı ile uzun dönemli olası etkilerinin tahmin edilmesinde kullanılan bir tekniktir [6]. Doğru bir şekilde kullanıldığında, bir ürünün veya sistemin tasarımında, üretiminde veya kullanımında, çevresel açıdan tercih edilebilirliği konusunda kullanıcılara yardımcı olmaktadır [7]. Cooper ve Fava, yöntemin endüstriyel üretim süreci için araştırma ve geliştirme çalışmalarında, strateji geliştirmede, ürün/süreç tasarımında, ürünün tanımlanması/etiketlenmesinde ve eğitim amacıyla kullanılabilmesini belirtmişlerdir [8]. Yöntem ile; binanın bütün olarak tüm yaşam döngüsü değerlendirilebildiği gibi, ayrı ayrı alt sistemlerinin farklı süreçler için analiz edilmesi de mümkündür. Amaç; tüm salım ve atıkların neden olduğu zararların hesaplanarak, hammadde ve enerji girdisini en aza indirecek bir sistem fikrinin oluşturulmasıdır [9].

Türkiye’de Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 27.10.2017 tarihinde hazırlanarak 1 Haziran 2018’de yürürlüğe konulan “Binalarda Su Yalıtımı Yönetmeliği - BSY” ile temel, döşeme ve perde duvarlarda, balkon ve çatılarda, ıslak hacimlerde, su depoları ve havuzlarda su yalıtımı yapılması zorunlu hale getirilmiştir [10]. Böylelikle, su yalıtımı uygulamaları önemli ölçüde artmış ve farklı yalıtım malzemesi/teknolojiler ile gerçekleştirilen uygulamaların yaşam döngüsü içerisinde gösterdikleri performansın çeşitli yönlerden analizi konusu gündeme gelmiştir. Bu bağlamda, su yalıtımı uygulamalarının çevresel performansının araştırılması, doğal kaynakların tükenmesi, çevre kirliliği, iklim değişikliği gibi sorunların azaltılmasına ve sürdürülebilir yapı/yapım teknolojisi seçimine yönelik karar vermede yardımcı olacaktır. Bununla birlikte, su yalıtımı uygulamalarının yaşam döngüsü sürecindeki çevresel etkilerini ele alan çalışmalar incelendiğinde, sadece iki uluslararası bilimsel makaleye rastlanmıştır. Bunlar dışında, firmalarının kendi yalıtım ürünlerinin çevresel etki düzeylerini belgelemek üzere hazırladıkları “Çevresel Ürün Beyanları (Environmental Product Declaration -EPD)” olarak bilinen malzeme düzeyinde üretim süreci çevresel etki değerlendirmesi sonuçlarını sunan belgeler bulunmaktadır.

Sözü edilen makalelerden birincisi, betonarme iskelet taşıyıcı sistemli, 10x10m boyutlu bir binanın çatısında gerçekleştirildiği varsayılan 6 farklı su yalıtımı uygulamasının, YYD yöntemi ile yapım, bakım ve söküm sürecinin incelendiği bir çalışmadır. Sonuçlar yapım, bakım ve söküm sürecinde oluşan sera gazı salımları (CO<sub>2</sub> eşdeğeri) olarak verilmiştir. Çevresel etki analizi SimaPro 7.0 benzetim programı kullanılarak CML 2002 metodu ile gerçekleştirilmiştir. Seçilen su yalıtımı uygulamaları; asfalt sürme su yalıtımı (C1), metal tabaka üzerine uygulanan polimer katkılı sentetik su yalıtım örtüsü (C2), modifiye asfalt su yalıtım örtüsü (C3), poliüretan sürme su yalıtımı (C4), polimer kaplı metal tabakanın üzerine uygulanan sentetik madde katkılı asfalt su yalıtım örtüsü (N1) ve çimento katkılı asfalt sürme su yalıtımıdır (N2). C1, C3 ve C4 uygulamalarında bitiş katmanı uygulanırken, C2, N1 ve

N2 uygulamalarında bitiş katmanı uygulanmamıştır. Elde edilen sonuçlara göre; yapım, bakım ve söküm süreçleri toplamında, sera gazı salımlarının en fazla C4 uygulamasında, en az N1 uygulamasında olduğu görülmüştür. Bakım süreci, tüm yaşam dönemindeki sera gazı salımlarının %71.4 - % 78.3'ünü oluşturmaktadır [11]. İkinci makalede ise; teras çatılarda kullanılan çeşitli su yalıtım malzemelerinin yaşam döngüsü içerisindeki çevresel ve ekonomik etki karşılaştırması yapılmıştır. Çalışmada kullanılan veriler, EPD belgeleri veya farklı Avrupa veritabanlarından elde edilmiştir. İlk olarak, incelenecek malzemelerin yaşam döngüsünün aşamaları tanımlanmıştır. Daha sonra, hem araştırma çalışmalarında hem de veri tabanlarında, bu ürünlerin çevresel performansı ile ilgili mevcut bilgilerin ulusal ve uluslararası düzeyde bir değerlendirmesi yapılmıştır. Her bir su yalıtım malzemesinin yaşam döngüsü maliyeti piyasa verileri kullanılarak tahmin edilmiştir. Ele alınan malzemeler, bitümlü ve sentetik membranlardır. Farklı birimlerdeki ekonomik ve çevresel etkilerin birarada değerlendirilmesi için çok kriterli karar verme yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, tasarım aşamasında en az ve en çok faydalı çözümlerin seçilmesine yardımcı olmaktadır. Çalışmada seçilen tüm teras çatı tipleri için, bitümlü membranların en iyi seçenek olduğu ve sentetik membranların daha yüksek etki değerleri sunduğu bulunmuştur [12].

Makalede; su yalıtımı uygulamalarının çevresel açıdan değerlendirilmesi alanındaki bilgi/araştırma eksikliği ve konunun önemi nedeniyle, binayı oluşturan alt sistemlerden biri olan teras çatılarda gerçekleştirilen farklı tipte su yalıtımı uygulamalarının üretim ve yapım süreci olası çevresel etkileri YDD yöntemi ile değerlendirilmiştir. Çalışma, makale birinci yazarının yüksek lisans tezinin geliştirilmesi sonucu üretilmiştir [13].

## 2. MALZEME VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

Su yalıtımı uygulamalarının üretim ve yapım süreci çevresel etkileri, YDD yönteminin adımları çerçevesinde ele alınmıştır. Çalışmada çevresel etkilerin araştırılmasında izlenen yöntem alt bölümlerde açıklanmıştır.

### 2.1. Amaç ve Kapsamın Tanımlanması (Defining Purpose and Scope)

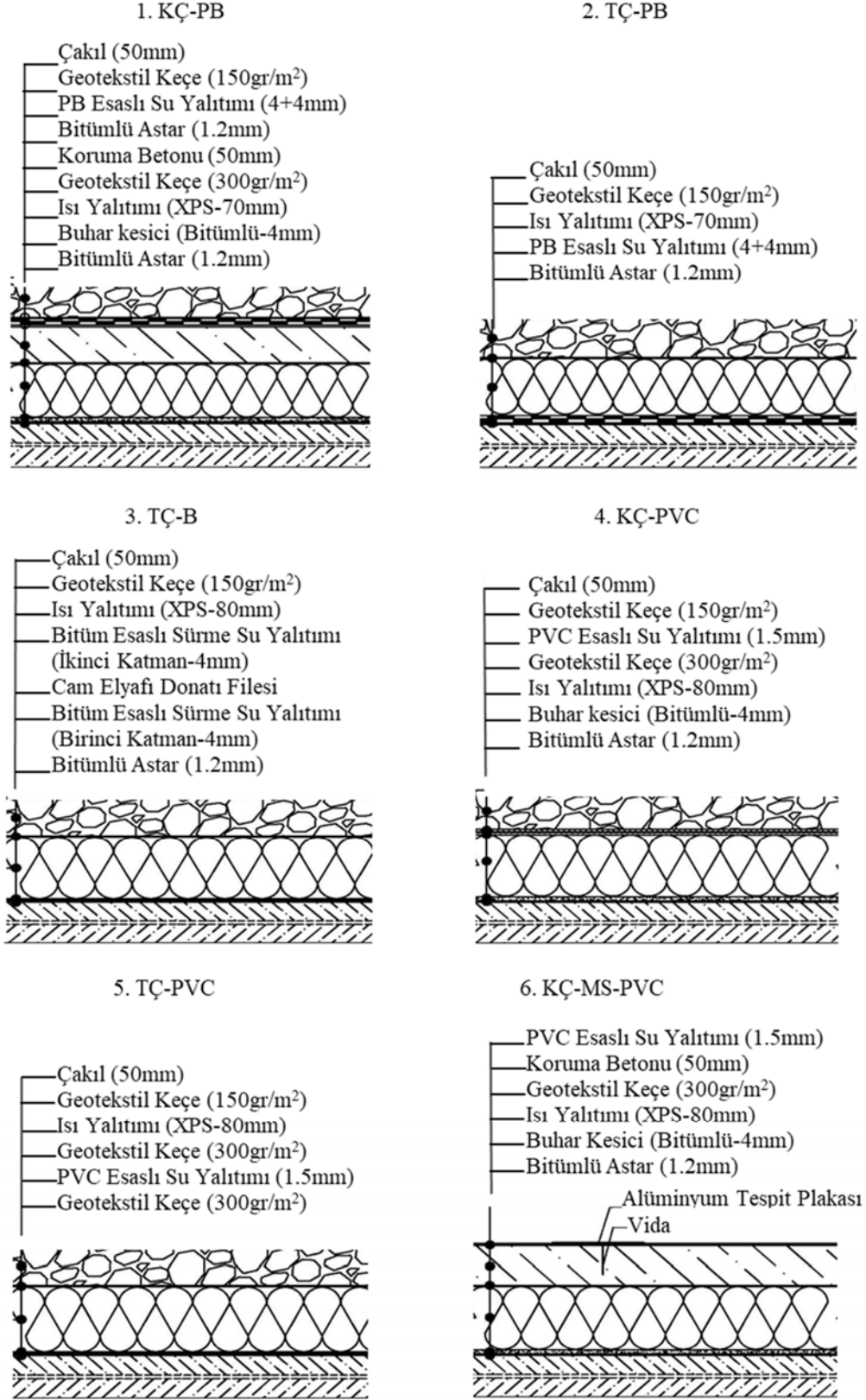
Çalışmanın amacı, Türkiye'de bina teras çatılarında sıklıkla gerçekleştirilen su yalıtımı uygulamalarının üretim ve yapım süreci çevresel etkilerinin değerlendirilmesidir. Analiz edilen uygulama tiplerine, Türkiye'deki teras çatılarda sıklıkla kullanılan yalıtım sistemlerine göre karar verilmiştir. Söz konusu sistemleri uygulamak üzere seçilen tip teras çatılar ise, klasik teras çatı (KÇ) ve ters teras çatıdır (TÇ). Üzerinde gezilmediği, çakıl ile kaplandıkları varsayılmıştır. Bu çatı sistemleri için, polimer bitüm esaslı serme tip su yalıtım örtüsü (PB-SYÖ), PVC esaslı serme tip su yalıtım örtüsü (PVC-SYÖ) ve bitüm esaslı sürme tip su yalıtım malzemesi (B-SYM) ile oluşturulan uygulama tipleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

- Klasik teras çatıda polimer bitüm esaslı serme tip su yalıtımı uygulaması (KÇ-PB)
- Ters teras çatıda polimer bitüm esaslı serme tip su yalıtımı uygulaması (TÇ-PB)
- Ters teras çatıda bitüm esaslı sürme tip su yalıtımı uygulaması (TÇ-B)
- Klasik teras çatıda PVC esaslı serme tip su yalıtımı uygulaması (KÇ-PVC)
- Ters teras çatıda PVC esaslı serme tip su yalıtımı uygulaması (TÇ-PVC)
- Klasik teras çatıda mekanik yöntemle sabitlenen PVC esaslı serme tip su yalıtımı uygulaması (KÇ-MS-PVC)

Yalıtım uygulaması sırasında enerji kullanımı gerektiren araçları ve harcadıkları enerji miktarlarını belirlemek üzere saha gözlemleri ve uygulayıcı firma önerileri esas alınmıştır. Malzemelerin üretim yerinden uygulama alanına taşınması sırasında harcanan taşıma enerjisi de analizlere dahil edilmiştir. Şekil 1'de KÇ ve TÇ sistemlerinde uygulanan su yalıtım sistemlerinin üretim ve yapım süreci çevresel etkilerini değerlendirmek üzere belirlenmiş altı tip katmanlaşma detayı görülmektedir.

Söz konusu uygulamaların çevresel etki analizinde; eğim betonu yapımından sonra uygulanan ayırıcı, koruyucu (300 kg/m<sup>2</sup>) veya filtre amaçlı yerleştirilen geotekstil keçe (150 kg/m<sup>2</sup>), ısı yalıtım malzemesi, cam elyaf donatı filesi, bitüm esaslı soğuk olarak sürülen astar, koruma betonu ve çakıl gibi katmanlar ile vidalar, alüminyum baskı çitaları ve alüminyum raptet plakaları gibi yardımcı malzemeler hesaba katılmışlardır. Eğim betonu ve altındaki katmanlar dikkate alınmamıştır. TS 13658 Plastik ve Kauçuk Esaslı Sentetik Örtüler – Çatı ve Temelerde Su Yalıtımı İçin Kullanılan - Uygulama Kurallarında verilmiş öneriler doğrultusunda [14], filtre katmanı olarak 150 gr/m<sup>2</sup> birim kütleli, polistren (EPS/XPS) ile temas eden yerlerde ise 300 gr/m<sup>2</sup> birim kütleli geotekstil keçeler kullanılmıştır.

Seçilen malzemelerin üretim süreçleri; her bir malzeme için ham maddelerinin yerinden çıkartılması ve fabrikaya ulaştırılması, fabrika ortamında işlenmesi, paketlenmesi, depolanması gibi eylemleri kapsamaktadır. Yapım süreçleri ise; depodan alınan ürünlerin uygulama alanına getirilerek tip bina teras çatısına belirli yöntem ve araçlarla uygulanması aşamalarıdır. Uygulamalarda kullanılan malzemelerin üretim süreci çevresel etkilerine ilişkin veriler; Türkiye için ulusal bir veri tabanı olmayışı ve firmalardan/teknik föylerden ürünün tüm yaşam döngüsüne dair veri elde etmede yaşanan güçlükler (veri eksikliği/yanlışı, veri verme konusundaki isteksizlik, vb.) nedeniyle, bir çevresel etki değerlendirme aracı olan ve içerisinde üretim süreci Avrupa veri tabanlarının yer aldığı SimaPro 7.3 benzetim programından elde edilmiştir. Program, bir yapının tüm malzeme ve bileşenlerinin yaşam döngüsü çevresel etkilerini farklı veri tabanlarını ve yöntemlerini kullanarak analiz edebilmektedir [15]. Çevresel etki hesaplamalarında; enerji, tarım, ulaşım, kimyasal, yapı malzemeleri gibi endüstrilere ilişkin 17000'in üzerinde yaşam döngüsü verisine sahip, kapsamlı, uluslararası bir



Şekil 1. Değerlendirmek üzere seçilen teras çatı detayları (The flat roof details selected to evaluate)

yaşam döngüsü veri tabanı oluşu nedeniyle SimaPro programı içerisinde yer alan 'Ecoinvent veri tabanı' tercih

edilmiştir [16]. Böylelikle malzemelerin ham maddelerinin yerinden çıkartılması ve fabrikaya ulaştırılması, fabrika

ortamında işlenmesi, paketlenmesi, depolanması gibi eylemlerin çevresel etkileri Ecoinvent veri tabanından alınmış verilerle belirlenmiş olmaktadır. Ayrıca her bir uygulamada kullanılan toplam malzeme miktarları ve söz konusu malzemelerin fabrikadan şantiye alanına taşınması sırasında harcanan taşıma enerjisi hesabı için gerekli “taşıma mesafesi” ile uygulamalar sırasında kullanılan elektrik/LPG enerjisi miktarları hesaplanarak programa veri olarak girilmiştir. Yapım sürecinde ortaya çıkan çevresel etkilere ilişkin veriler ise; sahada gözlemlenen uygulamalara (PB-SYÖ ve PVC-SYÖ) ve firma görüşme/önerilerine göre (B-SYM) belirlenmiştir. İzleyen paragraflarda her üç malzemenin yapım süreci açıklanarak; uygulamada kullanılan malzemelere, elektrikli araç/gereç türlerine ve çalışma sürelerine ilişkin bilgi verilmiştir. Bu bilgiler, Tablo 3’te verilen toplam malzeme ve enerji verilerinin/miktarlarının hesabında kullanılmıştır.

*PB-SYÖ yapım süreci;* İstanbul ili Üsküdar ilçesinde bulunan ‘Haydarpaşa Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi’ne ait teras çatının yenilenmesi döneminde gözlemlenmiştir. Fabrika ortamından sahaya kamyonlar ile getirilen malzemeler, sabit kule vinç ile teras çatıya çıkartılmıştır. Ters teras çatı detayına göre uygulanan PB-SYÖ’nün hazırlık evresinde, döşeme yüzeylerinin düzgün ve pürüzsüz olması sağlanmış, yağ, mazot gibi su yalıtımı malzemesine zarar verebilecek kir ve birikintilerden arındırılmıştır. Teras döşeme ile parapet duvarı birleşim arakesitinde, örtülerin yumuşak bir dönüş yapabilmeleri için 45° eğimli ve “8cm x 8cm” genişlikte pahlar yapılmıştır. Su yalıtım örtüsü serilmeden önce uygulama yüzeyi ile örtü arasındaki aderansın arttırılabilmesi için, betonarme yüzeylere, soğuk uygulamalı bitüm esaslı astar uygulanmıştır (Şekil 2 - solda). Bitümlü astar malzemesi hazırlanırken, dakikada 400-600 devir yapan bir karıştırıcı ile homojen bir karışım elde edilinceye kadar 3-5 dakika karıştırılmış [17] ve döşeme ile parapet yüzeylerine fırça yardımıyla 1m<sup>2</sup>'ye 400gr olacak şekilde tek kat ve soğuk olarak sürülmüştür. Astarın kurumasından sonra, rulo halinde ilk kat su yalıtım örtüleri döşeme üzerine eğime dik doğrultuda ve parapet kenarından başlanarak şaşırtmalı olarak aynı istikamette serilmiştir. Serilen ilk kat örtülerin ek yerlerindeki biniler boydan 15cm, enden 10cm'dir. Örtülerin döşeme yüzeyine ve bini

yerlerinden birbirlerine yapıştırılması şalümo alevi ile gerçekleştirilmiştir. Şalümo alevi kaynağı olarak içerisinde 24 kg sıvılaştırılmış petrol gazı (Liquified Petroleum Gas - LPG) bulunan tüpler kullanılmıştır. İlk kat PB-SYÖ üzerine, ek yerleri ortalanacak şekilde ikinci kat örtüler serilmiş ve şalümo alevi ile yapıştırılmıştır (Şekil 2-sağda). Sonrasında, XPS ısı yalıtım malzemesi ve ardından üst katmanlardan gelebilecek olan toz ya da yabancı madde geçişini engellemek için geotekstil keçe ve çakıl serilerek uygulama tamamlanmıştır.

*PVC-SYÖ yapım süreci;* İstanbul ili Esenler ilçesinde yer alan Yıldız Teknik Üniversitesi, Teknopark C bloğu teras çatısında 27-28 Ekim 2017 tarihlerinde gözlemlenmiştir. Binada uygulanan su yalıtımı detayı, mekanik yöntemle sabitlenen PVC-SYÖ ile yapılan gezilemeyen klasik teras çatı uygulamasıdır. İlk olarak, su yalıtım örtüleri fabrikadan uygulama yapan firmanın deposuna, depodan da sahaya kamyonlarla taşınmış ve uygulamanın yapıldığı teras çatıya lastik tekerlekli vinç ile çıkartılmıştır. PVC-SYÖ, klasik teras çatı detayına göre ısı yalıtım katmanının üstünde olacak şekilde uygulanmış ve güneş radyasyonuna dayanımlı olduğu için üzerinde herhangi bir kaplama malzemesi kullanılmamıştır. Su yalıtımına hazırlık evresinde; betonarme yüzeylerin düzgün, pürüzsüz olması ve su yalıtım malzemesine zarar verebilecek kirlere temizlenmesi, insan gücü ile fırça ve raspa spatula kullanılarak sağlanmıştır. PVC-SYÖ, enine ve boyuna bindirmeli ek yerleri 10cm, tüm örtü katmanları aynı yönde, örtülerin enlemesine olan ek yerleri şaşırtmalı olarak ve teras eğimine dik doğrultuda serilmiştir. Üzerinde herhangi bir katman olmadığından; rüzgâr ve bina hareketleri nedeniyle deformasyon oluşmaması için, örtüler bir kenarından bini yerlerinin altında kalacak şekilde alüminyum tespit plakaları yardımı ile gazlı çivi çakma makinesi kullanılarak beton yüzeye mekanik olarak sabitlenmişlerdir (Şekil 3 - solda). Son olarak, dakikada 9m. hızla ilerleyen ve başlığından sıcak hava üfleyerek örtüleri birbirine yapıştıran robot kaynak makinesi ile ek yerleri birleştirilmiştir (Şekil 3 - sağda). *B-SYM yapım süreci;* bir şantiye bulunmadığı için gözlemlenememiş, sürece ilişkin veriler uygulayıcı firma önerilerinden yararlanarak elde edilmiştir. Uygulamanın yapılacağı hava sıcaklığı genellikle 1-30°C arasında



**Şekil 2.** Bitümlü astar uygulaması (solda), PB-SYÖ ek yerlerinin şalümo alevi ile yapıştırılması (sağda) [18]  
(Bitumen primer application (left), Bonding the joints of PB waterproofing membrane with torch flame (right)) [18]



olmalıdır. Hazırlık aşamasında betonarme döşeme yüzeylerinin düzgün, pürüzsüz olması, yağ, mazot gibi su yalıtım malzemesine zarar verebilecek kirlere, birikintilerden arındırılmış olması gereklidir. Ayrıca uygulamanın yapılacağı döşeme üzerindeki çatlaklar ve derzler uygun tamir harçlarıyla kapatılmalıdır. Su yalıtım malzemesi ile uygulama yüzeyi arasındaki aderansın artırılabilmesi için, betonarme yüzey üzerine soğuk olarak fırça, rulo veya sprey yardımıyla bitüm esaslı astar uygulanmalıdır. Astarın kuruması sonrasında, toz-sıvı ya da sıvı-sıvı bileşenlerden oluşan B-SYM karışımı düşük devirli bir mikser yardımıyla homojen bir dağılım sağlanarak hazırlanmalıdır. Yüze 2 kat olarak yapılan uygulamanın toplam kalınlığı, uygulama alanına ve yalıtım katmanının maruz kaldığı basınca göre 2-4mm (cam elyaf donatı filesi ile) arasında değişmektedir. İlk katman uygulandıktan sonra (Şekil 4 - solda) üzerine cam elyaf donatı filesi serilmeli ve (Şekil 4 - sağda) malzeme teknik bilgi föyünde belirtilen kuruma süresi geçtikten sonra ikinci katman fileyi tamamen kapatacak şekilde uygulanmalıdır [19]. Sonrasında, ısı yalıtım malzemesi ve ardından üst katmanlardan gelebilecek olan toz ve istenmeyen yabancı maddelerin geçişini engellemek için geotekstil keçe ve çakıl serilerek uygulama tamamlanmalıdır.

## 2.2. Yaşam Döngüsü Veri Analizi (Life Cycle Inventory Analysis)

Veri analizi; İstanbul ili, Kadıköy ilçesinde bulunduğu varsayılan 10 katlı, 20x20m boyutlarında, betonarme taşıyıcı sistemli, teras çatılı bir ofis binası için Şekil 1’de belirlenmiş altı farklı uygulama seçeneği için gerçekleştirilmiştir. PB-SYÖ, PVC-SYÖ, B-SYM ve diğer katmanlar ile yardımcı malzemelerin birim miktarları, ilgili standartlardan, üretici/uygulayıcı firma görüşmelerinden ve ürün kataloglarından yararlanılarak belirlenmiştir (Tablo 1). Su yalıtım malzemelerinin parapetlerde döşeme seviyesinden yukarıya doğru 30 cm yükseltildiği varsayılmıştır.

Söz konusu enerji harcamalarının hesabı için bazı kabuller de yapılmıştır. Taşıma enerjisi, “tkm” cinsinden taşınan malzeme miktarı (ton) ile taşıma mesafesinin (km) çarpımı olarak hesaplanmıştır. Taşıma mesafesinin, malzemelerin ağırlıklı olarak İzmit civarındaki fabrikalardan taşındığı öngörülerek, bu alandan Kadıköy’e kamyon ile taşınmaları ve kamyonun geliş-dönüşü için toplam 200km olduğu varsayılmıştır. Beton katmanının gerekli olduğu uygulamalarda, betonun ve beton karıştırıcısının taşınması için gidiş-dönüş mesafesi 30km ve vincin sahaya gidiş-dönüş mesafesi 60km olarak kabul edilmiştir. Su yalıtım



**Şekil 3.** PVC-SYÖ’lerinin beton döşemeye mekanik olarak sabitlenmesi (solda), Bini yerlerinin robot kaynak makinesi ile yapıştırılması (sağda) [18]

(Mechanically fastening the PVC membranes on the concrete floor (left), Bonding joints with automatic hot air welding machine (right) [18])



**Şekil 4.** B-SYM’nin ilk kat uygulaması (solda) [20], B-SYM’nin ikinci kat uygulaması (sağda) [21]  
(First layer application of “bitumen based liquid waterproofing -BBLW” (left) [20], Second layer application of BBLW (right) [21])

**Tablo 1.** Kullanılan malzemeler/bileşenler, boyutlar ve birim miktarları (Materials and the unit quantities used)

Malzemeler/Bileşenler	Boyut (m)	Birim miktar	Birim
Çakıl	-	50	kg/m <sup>2</sup>
Ayırıcı keçe	-	0,3	kg/m <sup>2</sup>
Filtrasyon keçesi	-	0,15	kg/m <sup>2</sup>
XPS	0,6x1,25x0,05	1,125	kg/adet
PB-SYÖ (1 top)	1x10x0.004	39,5	kg/adet
PVC-SYÖ (1 top)	2,1x20x0.004	87	kg/adet
B-SYM	-	6	kg/m <sup>2</sup>
Bitüm esaslı astar	-	0,4	kg/m <sup>2</sup>
Buhar kesici (1 top)	1x5x0.004	22	kg/adet
Cam elyaf donatı filesi	-	0,06	kg/m <sup>2</sup>
Koruma betonu	0,05	2375	kg/m <sup>3</sup>
Alüminyum baskı çitası	1x3x0,013	0,114	kg/adet
Alüminyum tespit plakası	-	0,02	kg/adet
Gazlı tabanca çivisi	-	0,00142	kg/adet
Vida	-	0,00127	kg/adet

malzemelerinin 10 katlı binanın terasına çıkartılması için kullanılacak vincin çalışması için gerekli enerji miktarı da elektrik enerjisi hesabına katılmıştır. Ayrıca PVC-SYÖ uygulamalarında kullanılan robot kaynak makinasının 12,3 dakikalık ısınma süresi içerisinde harcadığı elektrik enerjisi de, tüketim hesabına ilave edilmiştir. Saha gözlemlerinden, şantiye şefleriyle yapılan görüşmelerden ve kabullerden elde edilen verilere göre hesaplanmış elektrik, LPG/gaz tüketen araçlara ilişkin birim tüketim verileri Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2.** Araçların birim enerji tüketimi miktarları (kWh-BTU) (Unit energy consumption of the vehicles (kWh-BTU))

Araçlar	Birim Miktar	Birim
Vinç (tam kapasite)	75	kWh
Vinç (ortalama kapasite)	45	kWh
Vinç (kol boşta)	35	kWh
Robot kaynak makinesi	4,6	kWh
El kaynak makinesi	1,6	kWh
El karıştırıcısı	1,2	kWh
Elektrikli vidalama aleti	0,8	kWh
LPG tüp (şalümo kaynağı)	5,57	BTU
Gazlı çivi çakma tabancası	0,0026*	BTU

\*Bir adet çivinin çakılması için harcanan gaz miktarı

Açıklanan veriler doğrultusunda; tip bina teras çatısı için gerçekleştirilen altı farklı su yalıtımı uygulaması için programa girmek üzere üretim süreci verisi olarak hesaplanmış “malzeme miktarları” ve yapım süreci verisi olarak hesaplanmış “malzemelerin fabrikadan şantiye alanına taşınması için gereken taşıma enerjisi ile uygulamalar sırasında kullanılan elektrik ve LPG/gaz enerjisi miktarları” Tablo 3’te görülmektedir.

### 2.3. Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi (Life Cycle Impact Assessment)

Yaşam döngüsü etki değerlendirme için, SimaPro programı içerisinde yer alan çevresel etki değerlendirme yöntemlerinden biri olan IMPACT 2002+ v2.06 yöntemi kullanılmıştır. Yöntemde sonuçlar, Şekil 5’te gösterildiği

gibi orta nokta veya son nokta (zarar) etki kategorileri ile ifade edilmekte ve farklı birimlerdeki etki kategorilerinin çevresel etkileri “Eko-puan” adı verilen ölçsüz bir birime dönüştürülmektedir [22]. Son nokta etki kategorileri, ilgili kategorideki maddelerin Avrupa’daki kişi başına düşen yıllık toplam etki değerine bölünmesi yoluyla normalleştirilir [23]. Söz konusu kategorilerin ölçsüz bir birimde temsil ediliyor oluşu, bu kategorilere ait çevresel etkilerin toplanabilmesine ve her uygulama için toplam çevresel etkinin hesaplanabilmesine imkan tanımaktadır.

### 2.4. Yorumlama (Interpretation)

Bina teras çatıları için belirlenen altı farklı su yalıtımı uygulamasına ait SimaPro benzetim aracı kullanılarak elde edilen çevresel etkilerin yorumlandığı aşamadır. Makalede, YDD kapsamında bu aşama için yapılan değerlendirme sonuçlar bölümünde verilmiştir.

## 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

20x20m boyutlarındaki bir ofis binasının teras çatısında gerçekleştirildiği varsayılan altı farklı su yalıtımı uygulaması için elde edilen çevresel etkiler, son nokta etki kategorileri ve uygulamalarda kullanılan malzeme ve enerji tipleri dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

### 3.1. Son Nokta Etki Kategorileri Kapsamında Değerlendirme

(Assessment in the Scope of End-point Categories)

Su yalıtımı uygulamalarına ait üretim ve yapım süreci çevresel etki puanları, insan sağlığı (İS), kaynaklar (K), iklim değişikliği (İD) ve eko-sistem kalitesi (EK) olarak gruplanan son nokta etki kategorilerine göre Tablo 4’te verilmiştir.

Üretim süreci çevresel etki puanları incelendiğinde;

- Klasik teras çatı uygulamaları ters çatı uygulamalarına oranla katmanlaşmasında kullanılan malzeme tipi ve



**Tablo 3.** Üretim ve yapım süreci verileri (Production and construction process data)

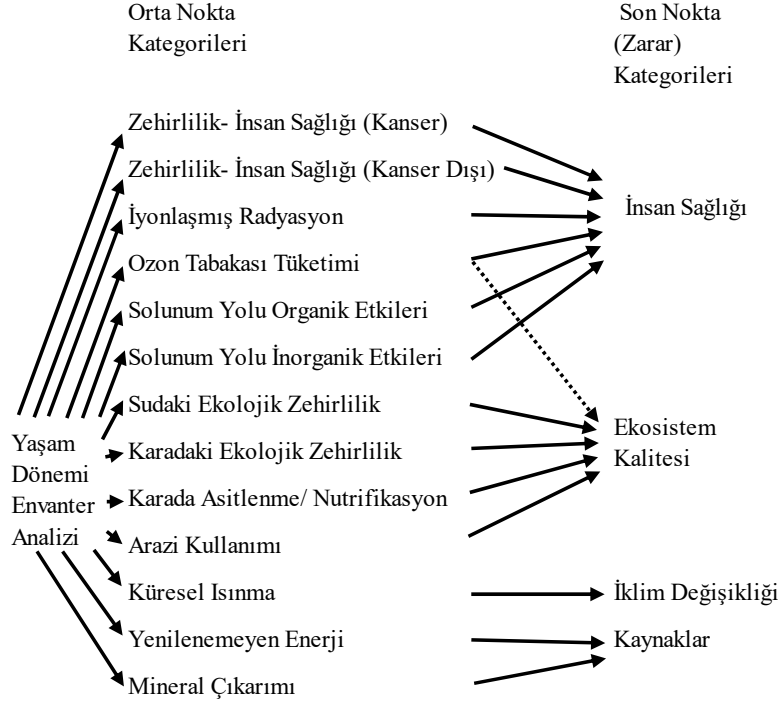
Malzemeler ve Araçlar		Malzeme ve Araç Enerji Tüketimi Miktarları							
		Birim	KÇ-PB	TÇ-PB	TÇ-B	KÇ-PVC	TÇ-PVC	KÇ-MS-PVC	
ÜRETİM SÜRECİ VERİLERİ	PB-SYÖ	kg	3772,76	3772,76	-	-	-	-	
	B-SYM	kg	-	-	5088,00	-	-	-	
	PVC-SYÖ	kg	-	-	-	900,00	900,00	900,00	
	Çakıl	kg	20000	20000	20000	20000	20000	-	
	Keçe	kg	190,80	63,60	63,60	190,80	318,00	127,20	
	XPS	kg	837,68	837,68	956,52	956,52	956,52	956,52	
	Buhar kesici	kg	517,32	-	-	517,32	-	517,32	
	Astar	kg	339,20	169,60	169,60	169,60	-	169,60	
	Koruma betonu	m <sup>3</sup>	20,00	-	-	-	-	20,00	
	Alüminyum baskı çitası	kg	3,04	3,04	3,04	3,04	3,04	3,04	
	Vida	kg	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	
	Donatı Filesi	kg	-	-	25,44	-	-	-	
	Alüminyum tespit plakası	kg	-	-	-	-	-	4,40	
	Çivi	kg	-	-	-	-	-	0,62	
	YAPIM SÜRECİ VERİLERİ	Elektrik	Robot kaynak makinesi	kWh	-	-	5,39	5,39	5,39
El kaynak makinesi			kWh	-	-	1,60	1,60	1,60	
El karıştırıcısı			kWh	2,20	1,10	32,90	1,10	-	1,10
Vidalama aleti			kWh	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
Vinç			kWh	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00
<i>Toplam</i>			<i>kWh</i>	<i>19,42</i>	<i>18,32</i>	<i>50,12</i>	<i>25,31</i>	<i>24,21</i>	<i>25,31</i>
Gaz		LPG (şaltımo kaynağı)	Btu	6618,02	5323,86	-	1294,16	-	1294,16
		Gazlı çivi çakma tabancası	Btu	-	-	-	-	-	1,15
		<i>Toplam</i>	<i>Btu</i>	<i>6618,02</i>	<i>5323,86</i>	<i>-</i>	<i>1294,16</i>	<i>-</i>	<i>1295,31</i>
Taşıma		Beton karıştırıcısı	tkm	742,50	-	-	-	-	742,50
	Beton pompası	tkm	30,13	-	-	-	-	30,13	
	Kamyon (Vinç taşıma)	tkm	979,20	979,20	979,20	979,20	979,20	979,20	
	Kamyon (Malzeme taşıma)	tkm	2666,15	2584,74	2730,69	2373,80	2317,82	367,94	
	<i>Toplam</i>	<i>tkm</i>	<i>4417,98</i>	<i>3563,94</i>	<i>3709,89</i>	<i>3353,00</i>	<i>3297,02</i>	<i>2119,77</i>	

miktarına bağlı olarak daha fazla üretim süreci çevresel etki puanına sahiptir. Şekil 6'da her iki çatı tipi için PB-SYÖ uygulamasında kullanılan malzemelerin neden olduğu çevresel etki puanları görülmektedir. Örneğin; klasik teras çatı detayında ısı yalıtımı, su yalıtımı katmanının altındadır. Bu nedenle, ısı yalıtım katmanını bina içerisinden gelebilecek su buharına karşı korumak amacıyla bitüm esaslı buhar kesici tabaka yerleştirilmekte ve bu tabakanın üretim süreci de uygulamanın çevresel etkisinin artmasına neden olmaktadır.

- İnsan sağlığı kategorisinde; tüm su yalıtımı uygulamaları karşılaştırıldığında; 3,18 puanla KÇ-MS-PVC, 2,98 puanla KÇ-PVC ve 2,95 puanla TÇ-PVC uygulamaları en yüksek üretim süreci çevresel etkisine sahiptirler. Bunun nedeni, PVC-SYÖ üretimi sırasında insan sağlığı için zararlı etkiler içeren salımların oluşmasıdır. Söz konusu kategori kapsamında; kullanılacak malzemelerin çevresel etkilerini denetlemek üzere "Zararlı Maddeler ve Karışımlara İlişkin Güvenlik Bilgi Formları Hakkında Yönetmelik"de bahsedilen güvenlik bilgi formları da dikkate alınmalıdır [24]. Bu yönetmelik, Avrupa Birliği yönetmeliği olan 1272/2008 EC sayılı CLP Yönetmeliği (Sınıflandırma, Etiketleme ve Ambalajlama) hükümlerine paralel olarak

hazırlanmış olup; yönetmeliğin amacı işçiyi, tüketiciyi kısacası insanları ve çevreyi korumaktır. Örneğin; bu çalışma kapsamında seçilen bitüm esaslı sürme su yalıtım malzemesi, insan sağlığı ve çevre üzerinde yaratabileceği olumsuz etkiler (organlarda toksisite (zehirlilik), solunumda toksisite, gözde ciddi hasarlar, cilt tahrişleri, alerjik cilt tepkimeleri, vb.) nedeniyle ürün katalogunda tehlikeli olarak etiketlenmiştir. Bu nedenle malzemenin depolanmasından, bileşenlerin hazırlanmasına ve uygulanmasına kadar geçen süreçte; toz, duman, buhar ve sprey solunmamalı, el, yüz ve göz koruyucuları kullanılmalı ve her türlü temasından kaçınılmalıdır. Ayrıca ürün kalıntısı tehlikeli olduğundan bertarafı da atık idareleri tarafından teslim alınmalıdır [25].

- Ekosistem kalitesi son nokta kategorisinde gözlenen düşük puanlar; su yalıtımı uygulamalarının üretim sürecinde ekosisteme zarar verecek etkilerin ihmal edilebilir düzeyde oluşmaktadır.
- İklim değişikliği son nokta kategorisinde; birbirine yakın değerlerle KÇ-PB ve KÇ-MS-PVC uygulamaları, üretim süreci çevresel etkileri açısından en yüksek puanlara (sırasıyla 1,39 ve 1,37 puan) sahiptir.
- Kaynaklar son nokta kategorisinde, tüm su yalıtımı uygulamaları karşılaştırıldığında 2,19 puanla KÇ-PB



Şekil 5. Impact 2002+ yöntemi çevresel etki kategorileri [22] (Environmental impact categories of Impact 2002+ method [22])

Tablo 4. Su yalıtımı uygulamalarının son nokta etki kategorilerine göre üretim (Ü) ve yapım (Y) süreci çevresel etki puanları

(Production (P) and construction (C) process environmental impact points of of waterproofing applications according to end-point categories)

Son Nokta Etki Kategorileri	Çevresel etki puanları (Eko-puan-Pt)											
	KÇ-PB		TÇ-PB		TÇ-B		KÇ-PVC		TÇ-PVC		KÇ-MS-PVC	
	Ü	Y	Ü	Y	Ü	Y	Ü	Y	Ü	Y	Ü	Y
İS	0,95	0,11	0,63	0,08	0,57	0,08	2,98	0,07	2,95	0,07	3,18	0,05
K	2,19	0,09	1,72	0,07	1,61	0,07	1,33	0,06	1,20	0,06	1,47	0,04
İD	1,39	0,09	0,77	0,06	0,74	0,06	0,87	0,06	0,83	0,06	1,37	0,04
EK	0,12	0,02	0,08	0,01	0,05	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,06	0,01
<b>Toplam</b>	<b>4,65</b>	<b>0,31</b>	<b>3,20</b>	<b>0,22</b>	<b>2,97</b>	<b>0,23</b>	<b>5,21</b>	<b>0,21</b>	<b>5,00</b>	<b>0,20</b>	<b>6,08</b>	<b>0,14</b>

uygulaması en yüksek, 1,20 puanla TÇ-PVC uygulaması en düşük üretim süreci çevresel etki puanına sahiptir.

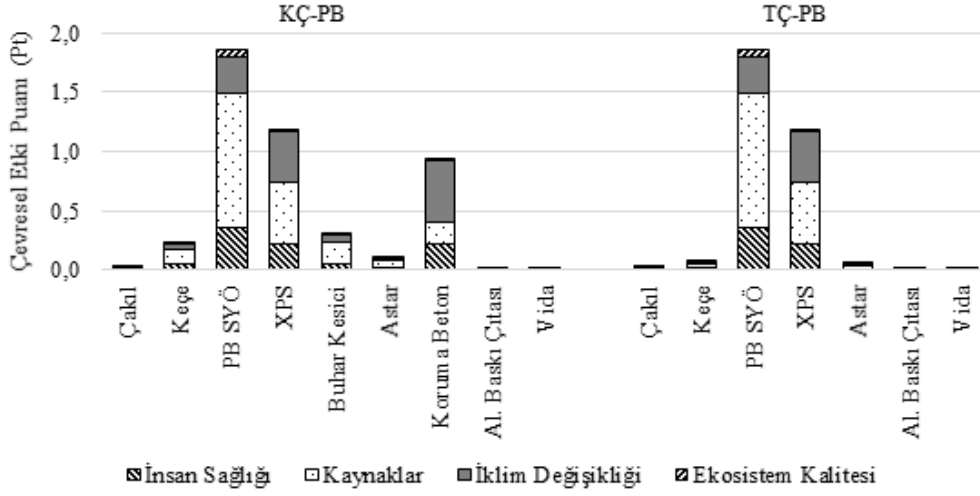
- Üretim süreci son nokta etki kategorileri toplamı incelendiğinde; 6,08 puanla KÇ-MS-PVC, 5,21 puanla KÇ-PVC, 5,00 puanla TÇ-PVC ve 4,65 puanla KÇ-PB uygulamaları en yüksek çevresel etkilere sahiptirler.

Yapım süreci çevresel etki puanları incelendiğinde;

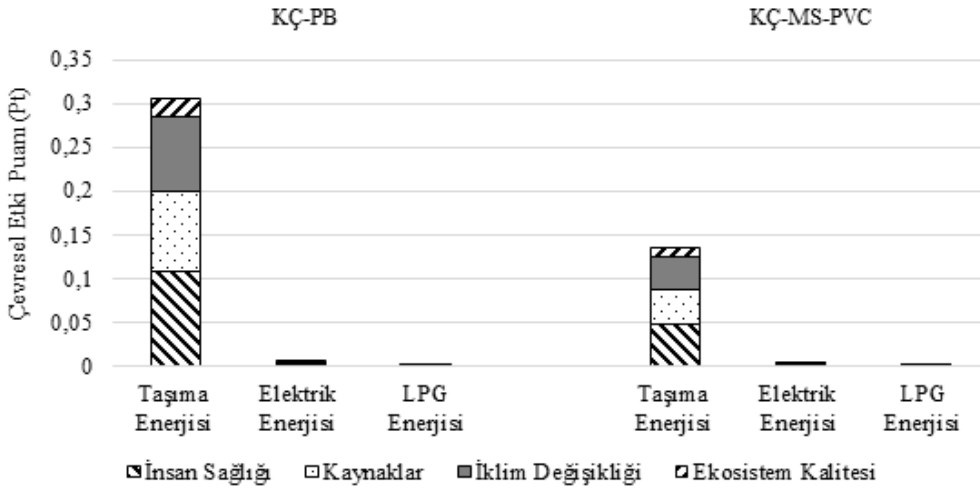
- Tüm su yalıtımı uygulamalarının yapım süreci eko-puanları incelendiğinde; insan sağlığı, kaynaklar ve iklim değişikliği kategorilerinin yakın etki puanlarına sahip oldukları görülmektedir. Ekosistem kalitesi kategorisi ise en düşük puana sahiptir.
- Tüm kategorilerde; yapım süreci açısından KÇ-PB uygulaması en yüksek puana sahip iken; KÇ-MS-PVC uygulaması en düşük puana sahiptir. Şekil 7'de her iki

uygulama tipi için yapım sürecinde tüketilen enerji miktarları görülmektedir. Aynı teras alanını yalıtım amacıyla kullanılan PB-SYÖ'lerin PVC-SYÖ'lere göre toplam ağırlıklarının daha fazla oluşu, kamyonla inşaat alanına ve oradan da vinçle çatıya taşınması sırasında harcanan taşıma enerjilerini ve taşıma kaynaklı ortaya çıkan karbondioksit nedeniyle insan sağlığı ve iklim değişikliği kategorilerindeki çevresel etkilerini arttırmaktadır. Ayrıca PB-SYÖ'lerin ek yerlerinin şalümo alevi ile yapıştırılması amacıyla kullanılan LPG enerjisinin PVC-SYÖ'lere oranla yaklaşık 4-5 kat daha fazla oluşunun da bu sonucu etkilediği düşünülmektedir (Tablo 3).

- Yapım süreci son nokta etki kategorileri toplamı incelendiğinde; 0,31 puanla KÇ-PB uygulaması en yüksek, 0,14 puanla KÇ-MS-PVC uygulaması en düşük etkiye sahiptir.



Şekil 6. Klasik ve ters teras çatılarda PB-SYÖ uygulamalarının üretim süreci çevresel etki puanları (Production process environmental impact points of PB waterproofing applications in conventional and inverted flat roofs)



Şekil 7. Klasik çatıda PB-SYÖ ve MS-PVC uygulamalarının yapım süreci çevresel etki puanları (Construction process environmental impact points of PB and mechanically fastened PVC waterproofing applications in conventional flat roof)

Üretim ve yapım süreci çevresel etki puanları karşılaştırıldığında;

- Tüm kategoriler toplamında; yapım süreci çevresel etkileri üretim sürecine oranla KÇ-PB uygulamasında 15, TÇ-PB uygulamasında 14, TÇ-B uygulamasında 12, KÇ-PVC uygulamasında 25, TÇ-PVC uygulamasında 24, KÇ-MS-PVC uygulamasında 44 kat daha düşük düzeydedir.
- Her uygulama için sıralaması değişmekle birlikte, üretim ve yapım süreci için en yüksek çevresel etkiler insan sağlığı, kaynaklar ve iklim değişikliği kategorilerinde, en düşük etkiler ise ekosistem kalitesi kategorisinde oluşmaktadır. Söz konusu etkilerin; üretim süreci için insan sağlığı kategorisinde PVC-SYÖ, kaynaklar ve iklim değişikliği kategorilerinde PB-SYÖ ve koruma betonu ile buhar kesici kullanımı kaynaklı olduğu söylenebilir. Yapım sürecinde ise; tüm kategorilerde çevresel etkilerin

önemli ölçüde taşıma enerjisi kaynaklı oldukları görülmektedir (Şekil 7).

Üretim ve yapım süreçleri toplam çevresel etki puanları incelendiğinde;

- En yüksek çevresel etkinin 6,22 puanla KÇ-MS-PVC uygulaması için, en düşük çevresel etkinin ise 3,20 puanla TÇ-B için olduğu görülmektedir (Tablo 4).

### 3.2. Malzeme ve Enerji Tüketimi Kapsamında Değerlendirme

(Assessment in the Scope of Material and Energy Consumption)

Su yalıtımı uygulamalarında kullanılan malzemelerin ve tüketilen enerjilerin üretim ve yapım süreci çevresel etki puanlarının verildiği Tablo 5'teki sonuçların

**Tablo 5.** Su yalıtımı uygulamalarında kullanılan malzemelerin ve tüketilen enerjilerin üretim ve yapım süreci çevresel etki puanları (Production and construction process environmental impact points of materials and energies consumed in waterproofing applications)

Kullanılan Malzemeler ve Enerji Türleri	Çevresel Etki Puanları (Eko-puan-Pt)						
	KÇ-PB	TÇ-PB	TÇ-B	KÇ-PVC	TÇ-PVC	KÇ-MS-PVC	
PB-SYÖ	1,8562	1,8562					
B-SYM			1,4020				
PVC-SYÖ				3,2488	3,2488	3,2488	
Çakıl	0,0228	0,0228	0,0228	0,0228	0,0228		
Keçe	0,2232	0,0743	0,0743	0,2229	0,3715	0,1486	
XPS	1,1823	1,1823	1,3516	1,3516	1,3516	1,3516	
Buhar kesici	0,3055			0,3055		0,3055	
Astar	0,0935	0,0467	0,0467	0,0467		0,0467	
Koruma betonu	0,9480					0,9480	
Alüminyum baskı çitası	0,0120	0,0120	0,0120	0,0120	0,0120	0,0120	
Vida	0,0027	0,0027	0,0027	0,0027	0,0027	0,0027	
Donatı Filesi			0,0587				
Alüminyum tespit plakası						0,0173	
Çivi						0,0024	
<i>Toplam</i>	<i>4,6462</i>	<i>3,1969</i>	<i>2,9706</i>	<i>5,2129</i>	<i>5,0093</i>	<i>6,0836</i>	
Yapım Süreci	Taşıma enerjisi	0,3058	0,2169	0,2258	0,2040	0,2006	0,1357
	Elektrik enerjisi	0,0032	0,0030	0,0083	0,0041	0,0040	0,0023
	LPG enerjisi	0,0001	0,0002	-	0,0001		0,0001
	<i>Toplam</i>	<i>0,3091</i>	<i>0,2201</i>	<i>0,2341</i>	<i>0,2082</i>	<i>0,2046</i>	<i>0,1381</i>
<i>Üretim ve Yapım Süreci Toplamı</i>	<i>4,9553</i>	<i>3,4170</i>	<i>3,2047</i>	<i>5,4212</i>	<i>5,2139</i>	<i>6,2217</i>	

değerlendirilmesi ile, çevresel etkilerin hangi malzeme kullanımı ya da enerji tüketimi kaynaklı olduğu belirlenebilmektedir. Tablodaki değerler, dört son nokta etki kategorisi için çevresel etki puanı değerlerinin toplanması ile belirlenmiştir.

*Malzeme ve enerji tüketimlerinin üretim süreci çevresel etki puanları incelendiğinde;*

- Tüm uygulamalarda son nokta kategorileri toplamında sırasıyla PVC-SYÖ, PB-SYÖ, B-SYM, XPS ısı yalıtımı, buhar kesici ve koruma betonunun en yüksek çevresel etki puanlarına sahip oldukları görülmüştür.
- Uygulamalarda kullanılan su yalıtımı malzemelerinin üretim süreci çevresel etkileri karşılaştırıldığında; PVC-SYÖ 3,25 puana, PB-SYÖ 1,86 puana, B-SYM ise 1,40 puana sahiptir.
- Çakıl, keçe, bitüm esaslı astar gibi katmanlar ile alüminyum baskı çitası, vida, alüminyum tespit plakası gibi yardımcı bileşenler, tüm uygulamaların üretim sürecinde en düşük çevresel etki puanlarına sahiptirler.
- Klasik çatıda koruma betonu ve buhar kesici kullanımını gerektiren uygulamaların çevresel etkileri daha yüksektir.

*Malzeme ve enerji tüketimlerinin yapım süreci çevresel etki puanları incelendiğinde;*

- Tüm uygulamalarda, yapım sürecinde harcanan elektrik ve LPG enerjisinin, taşıma enerjisine oranla ihmal edilebilecek düzeyde olduğu söylenebilir.
- Taşıma enerjisi kaynaklı çevresel etkiler, klasik çatıda PB-SYÖ uygulaması için 0,31 puanla en yüksek değerdeyken, MS-PVC uygulaması için 0,14 puanla en düşük değerdedir.

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Makalede bina teras çatı su yalıtımı uygulamalarının malzeme ve yapım teknolojisini dikkate alan üretim ve yapım süreci çevresel etkileri, klasik ve ters teras çatı tipleri için araştırılmıştır. Bu kapsamda; saha gözlemleri ve firma görüşleri/önerileri doğrultusunda belirlenen altı tip uygulama için yapılmış analiz sonuçlarına göre; klasik teras çatı uygulamalarının ters çatı uygulamalarına oranla katmanlaşmasında kullanılan malzeme tipine ve miktarına bağlı olarak daha fazla çevresel etki puanına sahip olduğu görülmüştür. Tüm etki kategorileri toplamında yapılan

değerlendirme sonuçlarına göre; üretim süreci için KÇ-MS-PVC uygulaması en fazla, TÇ-B uygulaması ise en az çevresel etkiye sahip iken, yapım süreci için KÇ-PB uygulaması en fazla, KÇ-MS-PVC uygulaması ise en az çevresel etkiye sahiptir. Üretim ve yapım süreçleri toplamında ise klasik teras çatıda mekanik yöntemle sabitlenen PVC esaslı serme tip su yalıtımı uygulaması (KÇ-MSPVC) en yüksek çevresel etkiye, ters teras çatıda bitüm esaslı sürme tip su yalıtımı uygulaması (TÇ-B) en düşük çevresel etkiye sahiptir. Her uygulama için sıralaması değişmekle birlikte, üretim ve yapım süreci için en yüksek çevresel etkiler; insan sağlığı, kaynaklar ve iklim değişikliği kategorilerinde, en düşük etkiler ise ekosistem kalitesi kategorisinde oluşmaktadır. Söz konusu etkilerin; üretim sürecinde insan sağlığı kategorisinde PVC-SYÖ, kaynaklar kategorisinde PB-SYÖ, iklim değişikliği kategorisinde PB-SYÖ ve koruma betonu kullanımı kaynaklı olduğu söylenebilir. Yapım sürecinde ise; tüm kategorilerde çevresel etkilerin önemli ölçüde taşıma enerjisi kaynaklı oldukları görülmektedir.

Söz konusu uygulamaların üretim ve yapım süreçlerinde oluşan çevresel etki puanları; su yalıtımı uygulaması yapan mimarlar, mühendisler ve ilgili diğer paydaşların teras çatılar için çevre dostu, enerji ve kaynak etkin malzeme/uygulama teknolojisi tercihlerinde doğru seçimler yapmalarına yardımcı olacaktır. Bununla birlikte, uygulamaların sadece üretim ve yapım süreçlerini değil, kullanım ve yok olma süreçlerini de dikkate alan gelecek akademik araştırmalar ile incelenmesi, çevresel etki değerlendirmesi açısından daha doğru ve gerçekçi sonuçlar verecektir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, bu kapsamda su yalıtımı uygulamalarının bütüncül değerlendirileceği ileride yapılacak çalışmalar için rehber niteliği taşımaktadır.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. European Commission. Energy performance of buildings directive. [https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive\\_en](https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en). Yayın tarihi: 16 Mayıs, 2019. Güncellenme tarihi: 12 Mart 2020. Erişim tarihi: 6 Nisan 2020.
2. Türkiye İstatistik Kurumu. İstatistiklerle Çevre 2018. Haber Bülteni, Sayı: 33675. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Istatistiklerle-Cevre-2018-33675>. Yayınlandığı Tarih: 5 Haziran 2020. Erişim Tarihi: 6 Şubat 2021. <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=30627>. Yayın tarihi: 11 Nisan 2019. Erişim Tarihi: 6 Nisan 2020.
3. Finnveden, G., Moberg, A., Environmental Systems Analysis Tools – An Overview, J. Cleaner Prod., 13 (12), 1165–1173, 2005.
4. Finnveden, G., Hauschild, M. Z., Ekvall, T., Guinée, J., Heijungs, R., Hellweg, S., Suh, S. Recent developments in Life Cycle Assessment, J. Environ. Manage., 91 (1), 1–21, 2009.
5. International Standart Organization, 14044: Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines, International Organization for Standardization, Switzerland, 2006.
6. Guinée, J. B., Heijungs, R., Huppes, G., Zamagni, A., Masoni, P., Buonamici, R., Rydberg. Life Cycle Assessment: Past, Present, and Future, Environ. Sci. Technol., 45 (1), 90–96, 2011.
7. Scientific Applications International Corporation (SAIC). Life Cycle Assessment: Principles and Practice. <http://people.cs.uchicago.edu/~ftchong/290N-W10/EPAonLCA2006.pdf>. Yayın tarihi: Mayıs 2006. Erişim tarihi: 3 Nisan 2019.
8. Cooper, J. S., Fava, J. A., Life-Cycle Assessment Practitioner Survey, J. Ind. Ecol., 10 (4), 12–14, 2006.
9. Vezzoli, C. & Manzini, E., Design for Environmental Sustainability, Springer, London, UK, 2008.
10. Resmi Gazete, Binalarda Su Yalıtımı Yönetmeliği, Sayı : 30223, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 27 Ekim 2017.
11. Ji, S., Kyung, D., Lee, W., Life Cycle Assessment (LCA) of Roof-Waterproofing Systems for Reinforced Concrete Building, Journal of Techno Press, 3 (4), 366-367, 2017.
12. Gonçalves, M., Silvestre, J.D., de Brito, J., Gomes, R., Environmental and economic comparison of the life cycle of waterproofing solutions for flat roofs, Journal of Building Engineering, 24, 100710, 2019.
13. Levent, Ş., Gezilemeyen Teras Çatılardaki Su Yalıtımı Uygulamalarının Üretim Ve Yapım Süreci Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Yüksek Lisans Programı, Yüksek Lisans Tezi, Aralık 2019.
14. TS 13658 Plastik ve Kauçuk Esaslı Sentetik Örtüler – Çatı ve Temelerde Su Yalıtımı İçin Kullanılan - Uygulama Kuralları, TSE, Ankara, Nisan 2015.
15. Goedkoop, M., Oele, M., Leijting, J., Ponsioen, T., Meijer, E., Introduction to LCA with SimaPro. PRÉ Consultants, January 2016.
16. Swiss Centre for Life Cycle Inventories. About Ecoinvent. <https://www.ecoinvent.org/about/about.html>. Erişim tarihi: 6 Nisan 2020.
17. Bitümlü Tecrit Maddeleri San. Ve Tic. A.Ş. BTM Likit Su Yalıtım Malzemeleri. BT2K 750. <https://www.btm.co.tr/urun/bt2k-750>. Erişim tarihi: 6 Nisan 2020.
18. Levent, Ş., Şantiye fotoğrafları albümü, 2018.
19. Saint-Gobain Yapı Malzemeleri. Balkon ve Teras, Su Yalıtım Uygulamaları. Bitüm Esaslı Su Yalıtım Ürünleri ‘weber.dry 706’ Teknik Bilgi Föyü. [https://www.tr.weber/files/tr/2020-03/weber.dry\\_706\\_-\\_Teknik\\_Bilgi\\_Fy.pdf](https://www.tr.weber/files/tr/2020-03/weber.dry_706_-_Teknik_Bilgi_Fy.pdf). Yayın tarihi: 2 Aralık 2019. Erişim tarihi: 6 Nisan 2020.
20. KYK Yapı Kimyasalları San. ve Tic. A.Ş. Su yalıtım malzemeleri. Polimer Modifiye Edilmiş, Bitüm Emülsiyon Esaslı, Çift Bileşenli Elastik Su Yalıtım Malzemesi. Megaİzo 2K S302 Ürün Teknik Bilgi Föyü. <https://www.kyk.com.tr/kyk-urun-MegaIzo-2K>. Yayınlanma tarihi: 2013. Güncellenme tarihi: 2020. Erişim tarihi: 6 Nisan 2020.



21. KYK Yapı Kimyasalları San. ve Tic. A.Ş. Uygulama Videoları. Su yalıtımı uygulamaları. <https://www.kyk.com.tr/uygulama-videolar>. Yayınlanma tarihi: 2013. Güncellenme tarihi: 2020. Erişim tarihi: 6 Nisan 2020.
22. Jolliet, O., Saadé-Sbeih, M., Shaked, S., Jolliet, A., Crettaz, P., Environmental Life Cycle Assessment, CRC Press, Boca Raton, USA, 2016.
23. Humbert, S., Margni, M., Impact 2002+, Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods, Data v2.2. Ecoinvent Report No.3, Part 2 / 11, Frischknecht, R., Jungbluth, N. (Editors), Swiss centre for Life Cycle Inventories, Switzerland, 2007.
24. Resmi Gazete, Zararlı Maddeler ve Karışımlara İlişkin Güvenlik Bilgi Formları Hakkında Yönetmelik, Sayı: 29204, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 13 Aralık 2014.
25. Saint-Gobain Weber Yapı Kim. San. ve Tic. A.Ş., 6DUT18054 Weber.dry 706/1006 A komponent. <https://www.tr.weber/su-yalitim-sistemleri/bitum-esasli-su-yalitim-urunleri/weberdry-706-plus>. Güncellenme tarihi: 2020. Erişim tarihi: 6 Şubat 2021.