

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**HAZIR BETON, PARKE TAŞI VE BORDÜR TAŞI ÜRETİMİNDE
YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Eda NURHAT

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri, Mühendisliği ve Yönetimi Programı

EKİM 2022

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HAZIR BETON, PARKE TAŞI VE BORDÜR TAŞI ÜRETİMİNDE
YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Eda NURHAT
501191708**

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri, Mühendisliği ve Yönetimi Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Fatoş GERMİRLİ BABUNA

EKİM 2022

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 501191708 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Eda NURHAT, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “HAZIR BETON, PARKE TAŞI VE BORDÜR TAŞI ÜRETİMİNDE YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Fatoş GERMİRLİ BABUNA**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin Güven**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. İlda Vergili
İstanbul Üniversitesi

Teslim Tarihi : 30 Eylül 2022
Savunma Tarihi : 3 Ekim 2022





Doğaya,



ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam boyunca beni destekleyen, motive eden, tüm içtenliği ile her zaman yanımda olan saygıdeğer danışmanım Prof. Dr. Fatoş Germirli BABUNA'ya ve çalışmamda yardımcı olan, sabırla sorularıma cevap veren Dr. Öğr. Üyesi Bilge BAŞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam için veri aldığım tesisin çalışanlarına her sorduğum soruya ilgiyle, özenle cevap verdikleri için çok teşekkür ediyorum.

Son olarak bu süreçte her türlü desteğiyle motivasyonumu canlı tutan sevgili eşim, ailem ve dostlarıma çok teşekkür ediyorum.

Ekim 2022

Eda NURHAT
Çevre Mühendisi



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xv
ÖZET	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Önemi	1
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	2
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	1
2.1 Hazır Beton Üretimi	1
2.2 Parke Taşı	2
2.3 Bordür Taşı	3
2.4 Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi	4
2.4.1 . Amaç ve Kapsamın Tanımlanması	5
2.4.2 Envanter Analizi	6
2.4.3 Etki Değerlendirmesi	6
2.4.4 Yorumlama	7
2.5 Hazır Beton Üzerine Yapılmış YDD Çalışmaları	7
2.6 Parke Taşları Üzerine Yapılmış YDD Çalışmaları	11
2.7 Bordür Taşları Üzerine Yapılmış YDD Çalışmaları	16
3. MATERYAL VE METOD	19
3.1 Amaç	19
3.2 Kapsam	19
3.2.1 Enerji Kaynağı	19
3.2.2 Fonksiyonel Birim	20
3.3 Yazılım ve Metotlar	20
4. ÜRETİM PROSESLERİ	21
4.1 Hazır Beton Üretim Prosesi	21
4.1.1 Fonksiyonel Birim	21
4.1.2 Sistem Sınırları	21
4.1.3 Hazır Beton Üretimi	22
4.2 Parke Taşı Üretimi Üretim Prosesi	24
4.2.1 Fonksiyonel Birim	24
4.2.2 Sistem Sınırları	24
4.2.3 Parke Taşı Üretimi	25
4.3 Bordür Taşı Üretimi Üretim Prosesi	27
4.3.1 Fonksiyonel Birim	27
4.3.2 Sistem Sınırları	28

4.3.3 Bordür Taşı Üretimi	28
4.4 Yapılan Kabuller	30
5. MODELLEME SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	33
5.1 Hazır Beton Üretiminin Çevresel Etkileri	33
5.1.1 Abiyotik Element Tüketme Potansiyeli	40
5.1.2 Abiyotik Fosil Tükenme Potansiyeli.....	40
5.1.3 Asidifikasyon Potansiyeli.....	41
5.1.4 Ötrofikasyon Potansiyeli	42
5.1.5 Tatlı Su Ekotoksisite Potansiyeli	44
5.1.6 Küresel Isınma Potansiyeli.....	44
5.1.7 İnsana Toksisite Potansiyeli	46
5.1.8 Sucul Ekotoksisite Potansiyeli	46
5.1.9 Ozon Tabakası İncelmesi Potansiyeli	47
5.1.10 Fotokimyasal Oksidan Oluşumu Potansiyeli	48
5.1.11 Karasal Ekotoksisite Potansiyeli	49
5.2 Parke Taşı Üretiminin Çevresel Etkileri.....	49
5.2.1 Abiyotik Element Tüketme Potansiyeli	58
5.2.2 Abiyotik Fosil Tükenme Potansiyeli.....	59
5.2.3 Asidifikasyon Potansiyeli.....	60
5.2.4 Ötrofikasyon Potansiyeli	62
5.2.5 Tatlı Su Ekotoksisite Potansiyeli	64
5.2.6 Küresel Isınma Potansiyeli.....	64
5.2.7 İnsana Toksisite Potansiyeli	66
5.2.8 Sucul Ekotoksisite Potansiyeli	66
5.2.9 Ozon Tabakası İncelmesi Potansiyeli	67
5.2.10 Fotokimyasal Oksidan Oluşumu Potansiyeli	69
5.2.11 Karasal Ekotoksisite Potansiyeli	70
5.3 Bordür Taşı Üretiminin Çevresel Etkileri	71
5.3.1 Abiyotik Element Tüketme Potansiyeli	78
5.3.2 Abiyotik Fosil Tükenme Potansiyeli.....	78
5.3.3 Asidifikasyon Potansiyeli.....	79
5.3.4 Ötrofikasyon Potansiyeli	80
5.3.5 Tatlı Su Ekotoksisite Potansiyeli	82
5.3.6 Küresel Isınma Potansiyeli.....	82
5.3.7 İnsana Toksisite Potansiyeli	83
5.3.8 Sucul Ekotoksisite Potansiyeli	84
5.3.9 Ozon Tabakası İncelmesi Potansiyeli	84
5.3.10 Fotokimyasal Oksidan Oluşumu Potansiyeli	85
5.3.11 Karasal Ekotoksisite Potansiyeli	86
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	87
KAYNAKLAR.....	97

KISALTMALAR

AÇEE	: Açığa Çıkan Elektrik Enerjisi
AÇTE	: Açığa Çıkan Termal Enerji
AETP	: Abiyotik Element Tükenme Potansiyeli
AFTP	: Abiyotik Fosil Tükenme Potansiyeli
AP	: Asidifikasyon Potansiyeli
BET-B	: Yenilenebilen Birincil Enerji Tüketimi (biyokütle)
BET-BO	: Yenilenebilen Birincil Enerji Tüketimi (biyokütle olmayan)
BET-T	: Yenilenebilen Birincil Enerji Tüketimi (toplam)
EGKKM	: Enerji Geri Kazanımında Kullanılan Malzeme
ET	: Enerji Tüketimi
ETOKBEK	: Enerji Taşıyıcısı Olarak Kullanılan Yenilenebilir Birincil Enerji Kaynakları
ETOKYBEK	: Enerji Taşıyıcısı Olarak Kullanılan Yenilenemeyen Birincil Enerji Kaynakları
EPD	: Çevresel Ürün Beyanı
FOOP	: Fotokimyasal Oksidan Oluşumu Potansiyeli
GDM	: Geri Dönüştürülen Malzeme
İMK	: İkincil Malzeme Kullanımı
İTP	: İnsana Toksisite Potansiyeli
KEP	: Karasal Ekotoksisite Potansiyeli
KIP	: Küresel Isınma Potansiyeli
MK	: Yenilenebilen Malzeme Kullanımı
MPA	: Megapaskal
TSEP	: Tatlı Su Ekotoksisite Potansiyeli
TA	: Tehlikeli Atık
THBB	: Türkiye Hazır Beton Birliği
TOA	: Tehlikeli Olmayan Atık
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
OTTP	: Ozon Tabakası İncelmesi Potansiyeli
ÖP	: Ötrofikasyon Potansiyeli

RA	: Radyoaktif Atık
SETP	: Sucul Ekotoksosite Potansiyeli
ST	: Temiz Su Tüketimi
YBET-F	: Yenilenemeyen Birincil Enerji Tüketimi (fosil)
YBET-N	: Yenilenemeyen Birincil Enerji Tüketimi (nükleer)
YBET-T	: Yenilenemeyen Birincil Enerji Tüketimi (toplam)
YDD	: Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi
YKB	: Yeniden Kullanılan Bileşen
YMK	: Yenilenemeyen Malzeme Kullanımı
AACP	: Abiotic Element Consumption Potential
AFCP	: Abiotic Fossil Consumption Potential
AP	: Acidification Potential
EP	: Eutrophication Potential
FAETP	: Freshwater Aquatic Ecotoxicity Potential
GWP	: Global Warming Potential
HTP	: Human Toxicity Potential
MAETP	: Marine Aquatic Ecotoxicity Potential
ODP	: Ozone Layer Depletion Potential
POCP	: Photochemical Oxidant Creation Potential
TETP	: Terrestrial Ecotoxicity Potential

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Hazır beton üzerine yapılmış YDD çalışmalarının sonuçları.....	10
Çizelge 2.2: Parke taşı üzerine yapılmış YDD çalışmalarının sonuçları.....	14
Çizelge 2.3: Bordür taşı üzerine yapılmış YDD çalışmalarının sonuçları.....	18
Çizelge 4.1: Hazır beton üretiminin girdi ve çıktıları (1 m ³ hazır beton başına).....	23
Çizelge 4.2: Hazır beton üretimi nakliye envanter tablosu.....	24
Çizelge 4.3: Parke taşı üretiminin girdileri çıktıları (1 m ³ beton parke taşı için).	26
Çizelge 4.4: Parke taşı üretimi nakliye envanter tablosu.....	27
Çizelge 4.5: Bordür taşı üretiminin girdileri çıktıları (1 m ³ beton bordür taşı için). .	29
Çizelge 4.6: Bordür taşı üretimi nakliye envanter tablosu.	30
Çizelge 5.1: Hazır betonun çevresel etki değerlendirme sonuçları.	35
Çizelge 5.2: Hazır betonun çevresel etki değerlendirme sonuçlarının yüzdesel dağılımı (%).	36
Çizelge 5.3: Hazır betonun malzeme içeriğinin literatür ile karşılaştırılması	37
Çizelge 5.4: Hazır betonun çevresel etki değerlendirme sonuçlarının literatür ile karşılaştırılması (1 m ³ beton).	38
Çizelge 5.5: Parke taşı çevresel etki değerlendirme sonuçları.	52
Çizelge 5.6: Parke taşının çevresel etki değerlendirme sonuçlarının yüzdesel dağılımı (%).	53
Çizelge 5.7: Parke taşının malzeme içeriğinin literatür ile karşılaştırılması	55
Çizelge 5.8: Parke taşının çevresel etki değerlendirme sonuçlarının literatür ile karşılaştırılması.	56
Çizelge 5.9: Bordür taşı çevresel etki değerlendirme sonuçları.	73
Çizelge 5.10: Bordür taşının çevresel etki değerlendirme sonuçlarının yüzdesel dağılımı (%).	74
Çizelge 5.11: Bordür taşının malzeme içeriğinin literatür ile karşılaştırılması	75
Çizelge 5.12: Bordür taşının çevresel etki değerlendirme sonuçlarının literatür ile karşılaştırılması.	76



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Türkiye yıllık hazır beton üretim miktarı (TÜİK, 2021).....	2
Şekil 2.2: Parke taşları (Url-2, 2019).....	3
Şekil 2.3: Bordür taşı (Url-2, 2019).....	4
Şekil 2.4: Yaşam döngüsü değerlendirmesinin aşamaları	5
Şekil 4.1: Sistem sınırları (Hazır beton modeli)	21
Şekil 4.2: Hazır beton üretim akış şeması	22
Şekil 4.3: Parke taşı şekli ve boyutları.....	24
Şekil 4.4: Sistem sınırları (parke taşı modeli)	25
Şekil 4.5: Parke taşı üretimi akış şeması	25
Şekil 4.6: Bordür taşı şekli ve boyutları	27
Şekil 4.7: Sistem sınırları (bordür taşı modeli).....	28
Şekil 4.8: Bordür taşı üretimi akış şeması	28
Şekil 5.1: Hazır betonun çevresel etki kategorine etki eden faktörler.....	37
Şekil 5.2: Parke taşının çevresel etki kategorine etki eden faktörler.....	54
Şekil 5.3: Bordür taşının çevresel etki kategorine etki eden faktörler.....	75



HAZIR BETON, PARKE TAŞI VE BORDÜR TAŞININ YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ

ÖZET

Bu çalışmada hazır beton, parke taşı ve kaldırım taşının yaşam döngüsü değerlendirilmesi incelenerek bu ürünlerin çevreye olan etkilerinin belirlenmesi, gelecekte bu ürünlerin çevresel etkilerinin azaltılması için odaklanılması gereken hususların belirlenmesi hedeflenmiştir.

Çalışmada Türkiye’de bulunan bir hazır beton tesisinden hazır beton üretimi, parke taşı üretimi ve bordür taşı üretimi hakkında veriler toplanmıştır. Tesiste hazır beton üretimi tek bir prosesten, parke taşı üretimi ise hazır beton üretimi, parke taşı üretimi, cilalama ve ambalajlama proseslerinden son olarak bordür taşı üretimi hazır beton üretimi, bordür taşı üretimi ve ambalajlama proseslerinden oluşmaktadır. Hazır beton üretimi prosesinde ham maddeler, su ve kimyasal katkı maddesi istenilen beton tasarımına bağlı olarak belirli oranlarda mikserlerde karıştırılarak hazır beton elde edilir. Hazır beton eğer beton yapı elemanı olarak kullanılmayacaksa transmikserlere doldurularak ilgili tesise taşınır. Beton yapı elemanı olarak kullanılacaksa ilgili beton yapı elemanının yapılacağı makinelerle hareketli kovalarla taşınır.

Bu çalışmada beton yapı elemanı olarak 165 mm x 200 mm x 60 mm boyutlarında parke taşı ve 120 mm x 300 mm x 700 mm boyutlarında bordür taşı üretimi ele alınmıştır. Parke taşı üretiminde hazırlanan beton hareketli kovalarla parke taşı üretim makinesine taşınır. Kalıp yardımıyla üretilen parke taşları prizini almaları için raflara kaldırılır. Prizini alan parke taşları cilalanır. Daha sonra ambalajlanarak stok sahasında sevkiyata hazır halde bekletilir. Benzer şekilde bordür taşı üretimi için hazırlanan beton hareketli kovalarla bordür taşı üretim makinesine taşınır. Kalıp yardımıyla bordür taşı üretilir. Prizini alması için raflara alınan bordür taşları daha sonra ambalajlanarak stok sahasında sevkiyata hazır bir şekilde bekletilir.

Tesiste üretilen bu üç farklı ürün (hazır beton, parke taşı ve bordür taşı) için yaşam döngüsü değerlendirmesi yapılmıştır. Bu çalışmada hazır betonunun yaşam döngüsü değerlendirmesinde fonksiyonel birim 1 m³ hazır beton olarak seçilip sistem sınırlarına ham maddenin çıkarılması, ham maddenin tesise taşınması, hazır beton üretimi ve trasmikserlerin tesise geldiklerinde yıkanması dahil edilmiştir. Parke taşının yaşam döngüsü değerlendirmesinde fonksiyonel birim 1 m³ beton parke taşı olarak seçilip sistem sınırlarına ham maddenin çıkarılması, ham maddenin tesise taşınması, parke taşı üretimi, parke taşlarının cilalanması ve ambalajlanması dahil edilmiştir. Bordür taşının yaşam döngüsü değerlendirmesinde fonksiyonel birim 1 m³ bordür taşı olarak seçilip sistem sınırlarına ham maddenin çıkarılması, ham maddenin tesise taşınması, bordür taşı üretimi ve ambalajlanması dahil edilmiştir. Bu çalışmada yaşam döngüsü değerlendirme modellemesi GaBi Education 9.2.1.68 yazılımı kullanılarak yapılmış etki değerlendirmesi CML 2001 yöntemiyle belirlenmiştir. Yapılan yaşam döngüsü değerlendirmesiyle hazır beton, parke taşı ve bordür taşının çevresel etkileri abiyotik tüketim potansiyeli (AETP), abiyotik fosil tüketim potansiyeli (AFTP), asidifikasyon

potansiyeli (AP), ötrofikasyon potansiyeli (ÖP), tatlı su ekotoksisite potansiyeli (TSEP), küresel ısınma potansiyeli (KIP), insana toksisite potansiyeli (İTP), sucul ekotoksisite potansiyeli (SETP), ozon tabakası incilmesi potansiyeli (OTTP), fotokimyasal oksidan oluşumu potansiyeli (FOOP) ve karasal ekotoksisite potansiyeli (KEP) etki kategorilerinde analiz edilmiştir.

Bu çalışmada 1 m³ hazır beton için AETP değeri 4,32x10⁻⁴ kg Sb eşd., AFTP değeri 1280 MJ, AP değeri 0,72 kg SO₂ eşd., ÖP değeri 0,09 kg fosfat eşd., TSEP değeri 1,32 kg DCB eşd., KIP değeri 276,87 kg CO₂ eşd., İTP değeri 26,7 kg DCB eşd., SETP değeri 1,73x10⁴ kg DCB eşd., OTTP değeri 1,23x10⁻⁵ kg R11 eşd., FOOP değeri 0,06 kg etilen eşd., KEP değeri 0,355 kg DCB eşd. saptanmıştır.

Bu çalışmada 1 m³ beton parke taşının AETP değeri 6,55x10⁻⁴ kg eşd., AFTP değeri 2150 MJ, AP değeri 1,13 kg SO₂ eşd., ÖP değeri 0,14 kg fosfat eşd., TSEP değeri 2,09 kg DCB eşd., KIP değeri 441 kg CO₂ eşd., İTP değeri 42,2 kg DCB eşd., SETP değeri 2,88x10⁴ kg DCB eşd., OTTP değeri 1,94x10⁻⁵ kg R11 eşd., FOOP değeri 0,10 kg etilen eşd., KEP değeri 0,535 kg DCB eşd. olarak bulunmuştur.

1 m³ beton bordür taşının AETP değeri 6,52x10⁻⁴ kg eşd., AFTP değeri 2160 MJ, AP değeri 1,13 kg SO₂ eşd., ÖP değeri 0,14 kg fosfat eşd., TSEP değeri 2,07 kg DCB eşd., KIP değeri 442 kg CO₂ eşd., İTP değeri 42,2 kg DCB eşd., SETP değeri 2,89x10⁴ kg DCB eşd., OTTP değeri 2,46x10⁻⁵ kg R11 eşd., FOOP değeri 0,10 kg etilen eşd., KEP ise 0,534 kg DCB eşd. olarak saptanmıştır. Yapılan çalışmada hazır beton, parke taşı ve bordür taşının tüm etki kategorilerinde en büyük etkinin çimento girdisinden kaynaklandığı saptanmıştır.

LIFE CYCLE ASSESSMENT OF READY-MIXED CONCRETE, PAVING STONE AND KERBSTONE

SUMMARY

This study aims to determine the environmental impacts of the production of ready mixed concrete, paving stone and kerbstone by adopting life cycle assessment methodology.

In the study, data on production of ready-mixed concrete, paving stone and kerbstone were collected from a real ready-mixed concrete plant which is located in Turkey. At the plant ready-mixed concrete production consists of one single process with the same name. Paving stone production consists ready-mixed concrete production, paving stone production, polish and packaging processes. And lastly, kerbstone production consists ready-mixed production, kerbstone production and packaging processes. In the ready-mixed concrete production process, ready-mixed concrete is obtained by mixing raw materials, water and chemical admixture in mixers at certain rates depending on the specific concrete design. If the ready-mixed concrete is not to be used as a concrete element, it is filled into the transmixers and transported to the facility where it will be used. If the concrete is to be used as a concrete element, it is transported with movable buckets to the machines where the concrete element will be produce.

In this study, the environmental impacts of 165 mm x 200 mm x 60 mm paving stone production and 120 mm x 300 mm x 700 mm kerbstone production are evaluated. In paving stone production, the ready-mixed concrete is transported with movable buckets to the paving stone production machine. The paving stones are produced with molds than put on the shelves to get their setting. The hardened paving stones are polished. After polish paving Stones are packed and kept ready for shipment in the stock area. Similarly, the ready-mixed concrete prepared for kerbstone production is transported to the kerbstone production machine with moving buckets. Kerbstones are produced with mold. The kerbstones are taken to the shelves to get their setting, then they are packed and kept in the stock area ready for shipment.

In this study life cycle assessment was made for these three different products (ready-mixed concrete, paving stone and kerbstone) that are produced at the facility which is located in Turkey. In the life cycle assessment of ready mixed concrete, the functional unit was selected as 1 m³ ready mixed concrete. Extraction of raw materials, transport of raw materials from supplier to the site, concrete production, washing of the mixers when they arrived at the plant are within system boundry of ready mixed concrete. In the life cycle assessment of the paving stone, the functional unit was selected as 1 m³ concrete paving stone. Extraction of raw materials, transport of raw materials from supplier to the site, paving stone production, varnishing, packaging are within system boundry of concrete paving stone production. In the life cycle assessment of the kerbstone, the functional unit was selected as 1 m³ concrete kerbstone. Extraction of raw materials, transport of raw materials from supplier to the site, kerbstone

production, packaging are within system boundary of concrete kerbstone production. A literature search was conducted to compare the results of the study. The results of the literature research were examined in detail in the study. The analyzing modelling of this study, which is performed based on the LCA approach, was formed by using GaBi Education 9.2.1.68 software and the impact assessment was evaluated according to CML 2001 method with all the result obtained. In order to compare the results in this study with the literature studies, the results were also evaluated with the Traci 2.0 method. Environmental effects of ready mixed concrete, paving stone and kerbstone were analyzed in impact categories that are abiotic element consumption potential (AECp), abiotic fossil consumption potential (AFcP), acidification potential (AP), eutrophication potential (EP), freshwater aquatic ecotoxicity potential (FAETP), global warming potential (GWP), human toxicity potential (HTP), marine aquatic ecotoxicity potential (MAETP), ozone layer depletion potential (ODP), photochemical ozone creation potential (POCP) and terrestrial ecotoxicity potential (TETP).

In this study for 1 m³ ready mixed concrete; AECp is $4,32 \times 10^{-4}$ kg Sb eq., AFcP is 1280 MJ, AP is 0,72 kg SO₂ eq., EP is 0,09 kg phosphate eq., FAETP is 1,32 kg DCB eq., GWP is 276,87 kg CO₂ eq., HTP is 26,7 kg DCB eq., MAETP is $1,73 \times 10^4$ kg DCB eq., ODP is $1,23 \times 10^{-5}$ kg R11 eq., POCP is 0,06 kg ethylene eq., TETP is 0,355 kg DCB eq.

In this study for 1 m³ paving stone: AECp is $6,55 \times 10^{-4}$ kg eq., AFcP is 2150 MJ, AP is 1,13 kg SO₂ eq., EP is 0,14 kg phosphate eq., FAETP is 2,09 kg DCB eq., GWP is 441 kg CO₂ eq., HTP is 42,2 kg DCB eq., MAETP is $2,88 \times 10^4$ kg DCB eq., ODP is $1,94 \times 10^{-5}$ kg R11 eq., POCP is 0,10 kg ethylene eq., TETP is 0,535 kg DCB eq..

In this study for 1 m³ kerbstone; AECp is $6,52 \times 10^{-4}$ kg eq., AFcP is 2160 MJ, AP is 1,13 kg SO₂ eq., EP is 0,14 kg phosphate eq., FAETP is 2,07 kg DCB eq., GWP is 442 kg CO₂ eq., HTP is 42,2 kg DCB eq., MAETP is $2,89 \times 10^4$ kg DCB eq., ODP is $2,46 \times 10^{-5}$ kg R11 eq., POCP is 0,10 kg ethylene eq., TETP is 0,534 kg DCB eq..

It has been determined that the biggest impact in all the environmental impact categories for the production of ready mixed concrete, paving stone and kerbstone is caused by cement. As a result of the life cycle assessment of ready mixed concrete it was determined that cement contributed 100% in ODP, 98% in FAETP, 97% in HTP, 95% in AECp and MAETP, 91% GWP, 87% in AP and POCP, 82% in TETP, 77% in EP, 76% in AFcP. It was determined that transportation contributed 12% in AFcP and EP, and 7% in AP and POCP. It was observed that the use of chemicals contributed 7% in the AFcP and 5% in AECp and EP. The environmental impacts of electricity consumption and waste disposal are less than 1% or 1% in all impact categories. The environmental impact of sand is 3% in TETP, 1% or below 1% in all other impact categories.

As a result of the life cycle assessment of paving stone it was determined that cement contributed 100% in ODP, 98% in AECp, 97% in FAETP, 96% in HTP, 90% in GWP and MAETP, 88% in POCP, 87% in AP, 85% in TETP, 81% in EP, 70% in AFcP. It was determined that transportation contributed 9% in EP, 8% in AFcP, and 5% in AP and POCP. It was observed that the use of chemicals contributed 4% in AFcP and 2% in EP. It was observed that electricity consumption contributed 8% in AFcP, 6% in MAETP, 3% in AP and GWP. It was determined that gravel contributed 6% and sand contributed 4% in TETP. It is observed that polyethylene film contributed 6% in AFcP. Environmental impacts of other inputs and waste disposal are less than 1% or

1% in all impact categories. The environmental impact of sand is 3% in KEP, 1% or below 1% in all other impact categories.

As a result of the life cycle assessment of kerbstone it was determined that cement contributed 100% in ODP, 99% in AECP, 98% in FAETP, 96% in HTP, 90% in GWP and MAETP, 88% in POCP, 87% in AP, 85% in TETP, 82% in EP, 70% in AFCP. It was determined that transportation contributed 9% in OP, 7% in AFCP and 5% in AP and POCP. It was observed that the use of chemicals contributed 4% in AFCP and 2% in EP. It was determined that electricity consumption contributed 9% in AFCP, 6% in MAETP, 4% in GWP, 3% in AP and EP. The effect of gravel is 6% and the effect of sand is 4% in TETP. It was observed that polyethylene film contributed 6% in AFCP. Environmental impacts of other inputs and waste disposal are less than 1% or 1% in all impact categories. The environmental impact of sand is 4% in TETP, 1% or below 1% in all other impact categories.





1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Önemi

Çevre, son yıllarda tüm gözleri üzerine çekmiş ve iklim tartışması sadece bilim insanlarının konusu olmaktan çıkıp herkesi ilgilendiren bir konu haline gelmiştir. Çevresel etkinin azaltılmasında ülkeler, sanayiler ve bireylerin hepsi birer taraftır. Avrupa Birliği (AB) giderek artan küresel ısınma gibi çevre problemleriyle mücadele etmek amacıyla çevre politikasında hedefler belirlemiştir. Bu hedeflerden bazıları; doğal kaynakları mümkün olduğunca dikkatli ve rasyonel kullanmak, bölgesel ve dünya çapındaki çevre sorunlarını yönetmek için uluslararası düzeyde önlemleri teşvik etmektir. Ayrıca AB bölgesindeki CO₂ emisyonlarının ve enerji tüketiminin 2050 yılından önce %80-90'a düşürülmesini hedeflemektedir (EC, 2018).

İnşaat sektörü iki ana etmenle çevreyi etkilemektedir; a) doğal kaynakları tüketmek ve b) kirlilik ve atık oluşturmak. Dünyadaki enerji kullanımının yaklaşık %45-50'sine, su kullanımının yaklaşık %50'sine ve toplam hammadde kullanımının yaklaşık %60'ına inşaat sektörü neden olmaktadır (Ryden, 2015). Bununla beraber hava kirliliğinin %23'ü, sera gazlarının %50'si ve çöp sahası atıklarının %50'sine de sebep olmaktadır. Dünya üzerindeki artan çevreye duyulan hassasiyet inşaat sektöründe de ekonomik, çevresel ve sosyal etki analizlerinin önemi arttırmıştır. (Ryden, 2015)

Türkiye'de 2020 yılında yaklaşık 95 milyon m³ hazır beton üretilmiştir (THBB, 2022). Beton endüstrisi, büyük miktarlarda enerji tüketirken, aynı zamanda çimento üretimi ve malzeme taşımacılığından kaynaklanan emisyonlar nedeniyle de çevresel yük oluşturmaktadır. Hazır betonun en sık kullanıldığı alanlardan biri de parke taşları ve bordür taşlarından meydana gelen yaya yollarıdır. Parke ve bordür taşları, bakım onarım ihtiyacının daha az olması, üretim sırasında yerli malzeme tüketildiği için malzemenin ekonomik olması, üretim hızının yüksek olması, döşendikten hemen sonra kullanılabilmesi, bakımının kolay ve kısa sürede yapılması, estetik görünmesi gibi birçok avantaj sunmaktadır (Patil ve Sathe, 2020). Tüm dünyada kullanılan hazır beton ve hazır beton yapı malzemeleri üretiminin enerji tüketimi ve çevre üzerindeki

etkilerini iyi analiz etmek için daha ayrıntılı nicel çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada Türkiye’de bulunan bir hazır beton fabrikasında üretilen hazır beton, parke ve bordür taşının çevresel etkileri yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD) yöntemiyle belirlenmiştir.

1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

İnşaat ve altyapı sektöründe kullanılan hazır beton, parke taşı ve bordür taşı tüm dünyada yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmanın amacı Türkiye’de bulunan bir beton fabrikasında üretilen hazır beton, parke taşı ve bordür taşının çevresel etkilerinin YDD yöntemiyle analiz edilmesi ve çevresel etkileri azaltacak yöntemlerin önerilmesidir.

Çalışmanın amacına birinci bölümde yer verilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde hazır beton, parke taşı ve bordür taşı ile ilgili çevresel etkilere ve YDD’yi ele alan literatür çalışmalarına yer verilmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde kullanılan materyal ve metothakkındaki bilgiler yer almaktadır.

Dördüncü bölümde fonksiyonel birim, sistem sınırları, incelenen tesis ve proseslere değinilmiştir.

Beşinci bölümde modelleme sonuçları değerlendirilmiştir.

Altıncı bölümde çalışmanın sonuçları ve öneriler sunulmuştur.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

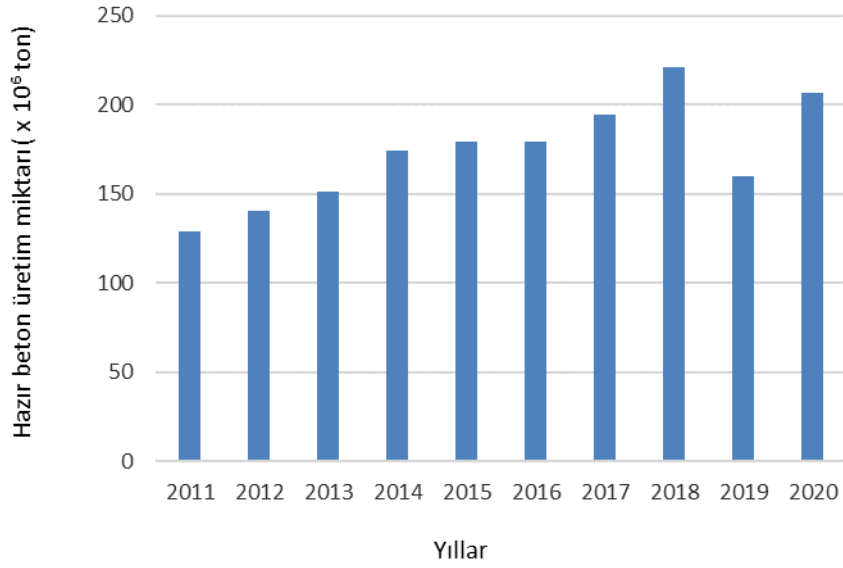
2.1 Hazır Beton Üretimi

Hazır beton ham maddelerin ve katkı maddesinin karıştırılmasıyla elde edilen başlangıçta yarı akışan bir halde olup zamanla sertleşip şekil alan bir yapı malzemesidir. Hazır betonun ana bileşenleri değişkenlik göstermekle birlikte yaklaşık %10-20 çimento, %70-80 agrega %7-9 su ve betona özel karakteristik sağlayan kimyasal katkı maddesidir (%1'den az) (Zhao ve diğ, 2013). Agrega; beton, harç ve benzeri yapımında çimento ve suyla kullanılan kum, çakıl, kırma taş gibi taneli farklı mineral yapıya sahip inorganik malzemelere verilen isimdir (Url-10).

Beton inşaat sektöründe en yaygın kullanılan yapı malzemesidir (Marinković, 2013). Beton endüstrisi, büyük miktarlarda enerji tüketirken, çimento üretimi ve malzeme taşımacılığından kaynaklanan çevresel emisyonlar nedeniyle çevreye büyük yük getirmektedir (Zhao ve diğ, 2013). Bununla birlikte beton endüstrisi, doğal agregalar ve yenilenemeyen fosil yakıtlar gibi büyük bir doğal kaynak tüketicisidir (Avrupa Çevre Ajansı, 2008). Beton üretimi ve kullanımı arttıkça tüketim de sürekli ve hızlı bir şekilde artmaktadır. Örneğin, Avrupa Birliği ülkelerinde her yıl üç milyar ton agrega üretilmektedir (Avrupa Çevre Ajansı, 2008). İnşaat ve yıkıntı atıkları olarak adlandırılan inşaat sektöründen kaynaklanan atıklar da çevrenin korunmasında önemli bir husustur. Örneğin, AB'de yılda yaklaşık 850 milyon ton inşaat ve yıkıntı atığı üretilir ve bu toplam atık üretiminin %31'ine karşılık gelmektedir (Marinković, 2013). Beton üretildikten sonra çevresel etkisi ve enerji tüketimleri yüksek olan bina, köprü, yol, baraj gibi yapılarda kullanım ömrünün sonuna kadar bulunur. Avrupa Komisyonu'na göre bina, köprü, yol ve baraj gibi bu yapılar kullanım ömürleri boyunca, Avrupa Birliği'ndeki enerji tüketiminin %40'ına ve CO₂ emisyonlarının %36'sına neden olmaktadır (Marinković, 2013).

Türkiye 2020 yılında 1032 tesis ve 542 hazır beton firmasıyla 95 milyon m³ hazır beton üreterek, Avrupa'da 2009 yılından bu yana hazır beton üretiminde birinci sıradadır etmektedir (TUIK 2020 istatistikleri). Bu sırayı 55,3 m³ ile Almanya, 37 milyon m³ ile

Fransa takip etmektedir (TÜİK 2020 istatistikleri). Şekil 2.1’de Türkiye’de yıllık üretilen hazır beton miktarları ton bazında verilmiştir (TÜİK, 2021).



Şekil 2.1: Türkiye yıllık hazır beton üretim miktarı (TÜİK, 2021).

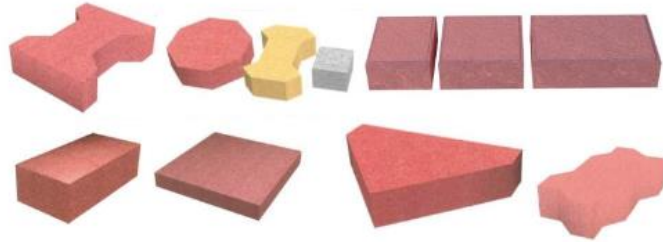
Beton üretimi ve kullanımının başlıca çevresel etkilerini; doğal kaynak tüketimi, enerji tüketimi (çimento üretimi, nakliye, inşaat, yıkım, geri dönüşüm süreçlerinde), başta CO₂ olmak üzere sera gazı emisyonları salımı, inşaat ve yıkıntı atığı üretimi şeklinde özetleyebiliriz (Marinković, 2013). Çevremizde baktığımız her yerde betonu görebilmemiz betonu çok fazla tükettiğimiz anlamına gelmektedir. Dolayısıyla betonun enerji tüketimi ve çevre üzerindeki etkilerini daha iyi analiz edebilmemiz için daha ayrıntılı nicel çalışmalara ihtiyacımız vardır (Zhao ve diğ, 2013). Sürdürülebilir bir toplum yaratma çabalarında betonun çevresel değerlendirmesi büyük önem taşımaktadır. Süreçlerin ve ürünlerin yaşam döngüleri boyunca çevresel yüklerini değerlendirmek için birçok metodoloji vardır, ancak en yaygın olarak kabul edilen (ve standartlaştırılmış olan) YDD’dir (Marinković, 2013).

2.2 Parke Taşı

Kaldırım bir sokağın kenarı boyunca uzanan genelde parke taşlarıyla (Şekil 2.2) kaplı olan ulaşım altyapısının kritik ve oldukça görünür bir parçasını oluşturan yaya yoluna denir. (Oliver-Sola ve diğ, 2009). Dünya çapında yıllık on beş trilyon kilometreden fazla kaldırım yük taşımacılığına ve dokuz trilyon ton kilometreden fazla kaldırım ise yayaların ulaşımına imkan sağlamaktadır (Santero ve diğ, 2021). Bununla birlikte,

inşaatı ve bakımı için yıllık 400 milyar doları aşan küresel yatırıma sahip kaldırımlar çevresel iyileştirme için iyi bir fırsat sunmaktadır (Santero ve diğ, 2021). Son yapılan araştırmalar, taşıtların yakıt tüketimi ve sera gazı (GHG) emisyonlarına; karayolu inşaatı, işletimi ve bakımının çevresel etkilerinin eklenmesi durumunda, bu çevresel etkilerin sadece araç kullanımına dayalı tahminlerden yaklaşık %10 daha yüksek çıktığını göstermektedir (Santero ve diğ, 2021).

İklim değişikliğini engellemeye yönelik ilgi alternatif yakıtlara, araçlara ve elektrik üretimine odaklanmıştır. Kentsel tasarımın iyileşmesi ise önemli ancak göz ardı edilen bir fırsattır. Kyoto Protokolü ve insanın çevre üzerindeki etkisini azaltmaya yönelik diğer küresel girişimler çerçevesinde, şehirler, kaynakların korunması ve kaynak kullanımında verimlilik için stratejilerin uygulanmasında bir mihenk taşıdır (Oliver-Sola ve diğ, 2009). Bütün bu girişimler “şehir” ve “sürdürülebilirlik” kavramları arasında bir bağ oluşturmaktadır. Bu bağlamda kentsel peyzajın büyük bir bölümünde yer aldığı için kaldırımlar önemlidir. Örneğin Barcelona’da kaldırımlar kentsel alanın %7,2’sini, Sacramento’da kaldırımlar kentsel alanın %5’ini oluşturmaktadır (Oliver-Sola ve diğ, 2009). Kaldırımları oluşturan parke taşlarından kaynaklanan çevresel etkiler, en iyi yaşam döngüsü değerlendirmesi kullanılarak analiz edilebilir (Oliver-Sola ve diğ, 2009).

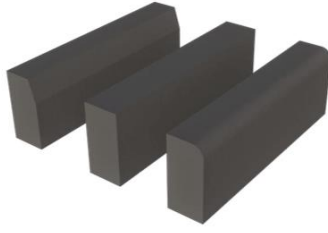


Şekil 2.2: Parke taşları (Url-2, 2019).

2.3 Bordür Taşı

Bordür taşları (Şekil 2.3) kaldırım, patika veya refüjün caddeden veya yoldan ayrıldığı, yolun yükseltilmiş kenarını oluşturan yapı malzemesidir. Bordür kullanımı, M.S.79’da Vezüv Yanardağı’nın patlamasıyla volkanik kül ve pomzanın altında kalan İtalya’nın Pompeii şehrinde keşfedilmiştir (Momtaz ve diğ, 2022). Bordür taşları, kaldırıma yapısal destek sağlar ve yağmur suyunun uzaklaştırılmasına yardımcı olur. Etkili

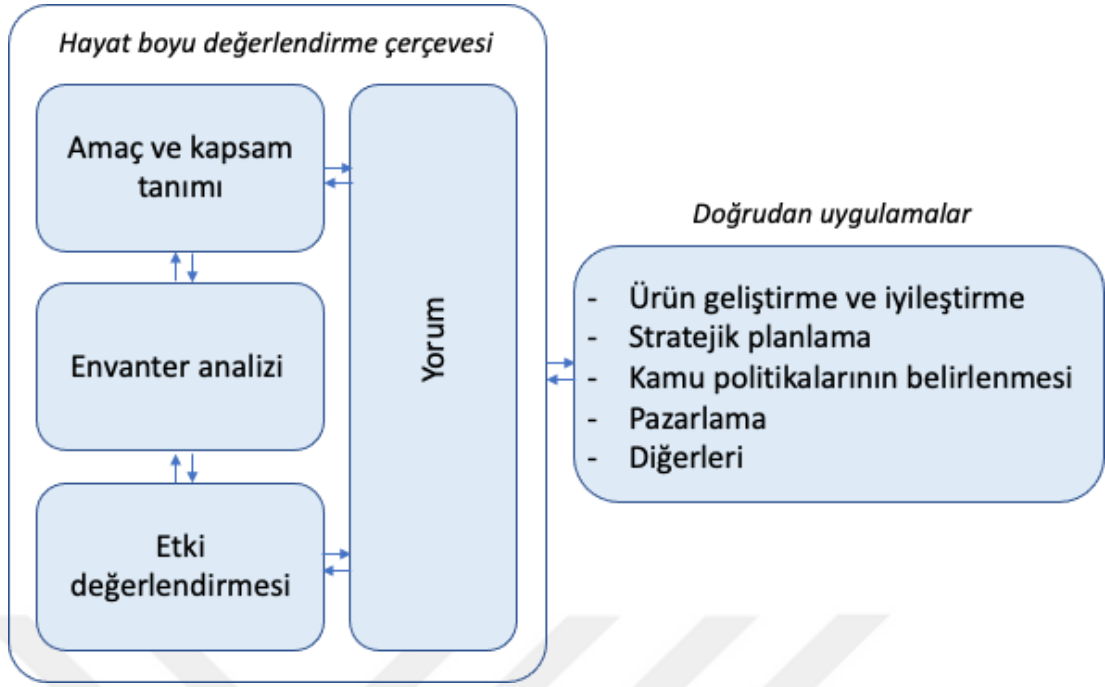
drenaj sağlayarak kaldırımın çatlamasını engeller böylece kaldırımın kullanım ömrünü etkin bir şekilde artmasını sağlar (Momtaz ve diğ, 2022). Bordürlerin zedelenmesi genellikle kaldırım yapısına aşırı nem girmesine yol açarak parke taşlarının yumuşamasına yol açar, bu da yolun yapısal performansını önemli ölçüde etkileyip bakım onarım maliyetini artırır (Momtaz ve diğ, 2022). Kaldırımlar ayrıca toprak erozyonu riskini azaltmaya yardımcı olur, sürücülerin istenmeyen alanlara park etmesini ve kaldırım üzerinde araç kullanmasını engeller, kaldırımlara estetik bir görüntü katar ve yol işaretleri olarak kullanılabilir. Bazen bank ve ağaçlandırma için ekstra alan elde etmeye yardımcı olur (Momtaz ve diğ, 2022).



Şekil 2.3: Bordür taşı (Url-2, 2019).

2.4 Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi

Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD), bir ürün, sistem veya hizmetin çevresel etkisini tahmin etmek ve değerlendirmek için kullanılan bir yöntem ve süreçtir. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesinin geniş bir kullanım alanı vardır; araştırma, etiketleme ve ürün beyanları gibi çeşitli amaçlar için veya bir ürün ve süreç tasarımı için karar vermede kılavuz olarak kullanılabilir. Yaşam döngüsü değerlendirilmesinde beşikten mezara adı verilen yöntemle ürün, sistem veya hizmetin hammaddesinin topraktan çıkarılmasından ürünün üretilmesine ve ürünün son kullanımından sonra bertaraf edilmesi sürecinde çevresel etkisi değerlendirilir (ISO, 2006). ISO 14040 ve ISO 14044 standartlarına göre YDD hedef ve kapsam belirleme, envanter analizi, etki değerlendirmesi ve yorumlama adı verilen dört aşamadan oluşan sistematik bir yaklaşımdır (ISO 2006) (Şekil 2.4).



Şekil 2.4: Yaşam döngüsü değerlendirmesinin aşamaları.

2.4.1 . Amaç ve Kapsamın Tanımlanması

YDD'nin ilk aşamasında amaç ve kapsam açıkça tanımlanmalıdır. Amaç tanımlamada amaçlanan uygulama, çalışmanın gerçekleştirilme nedenleri, sonuçların ulaştırılması istenen hedef kitle yer almalıdır (ISO, 2006).

Kapsam tanımında sistem sınırları, fonksiyonel birim, seçilen etki kategorileri, veri gereklilikleri, varsayımlar gibi temel seçimler bulunmalıdır. Fonksiyonel birim, ürünün tanımlanmış işlevlerinin özelliğini belirtir. Fonksiyonel birimin amacı, girdi ve çıktılar ilişkili olduğu bir referans sağlamaktır. Sistem sınırı sisteme dahil edilecek birim süreçleri tanımlar. İdeal olarak, sistem sınırına girdiler ve çıktılar temel akışlar olacak şekilde modellenmelidir. Ancak, çalışmanın genel sonuçlarını önemli ölçüde değiştirmeyecek olan girdi ve çıktılar nicelleştirilmesi için kaynak harcanmasına gerek yoktur. (ISO, 2006).

YDD'de çeşitli yaklaşımlarla kapsam belirlenebilir: beşikten mezara, beşikten kapıya, kapıdan kapıya vb. “Beşikten mezara” yaklaşımı, hammaddenin çıkartılmasından, ürünün üretimi, kullanımı ve bertarafına kadar olan tüm süreci kapsayan çalışma iken; “beşikten kapıya” yaklaşımında hammadde çıkartılmasından başlanıp, ürünün üretimi ve fabrikadan çıkışına kadarki süreç değerlendirilir (ISO, 2006).

2.4.2 Envanter Analizi

Envanter analizi sisteminin ilgili girdi ve çıktılarını ölçmek için veri toplama ve hesaplama prosedürlerini içerir. Yaşam döngüsü değerlendirmesinin en kritik aşaması veri kalitesi ve ulaşılabilirliği nedeniyle bu envanter analizidir. Bu aşamada, ürünün, sistemin veya hizmetin tüm yaşam döngüsü süreçleri boyunca girdi ve çıktıları tanımlanır; enerji ve hammadde akışları, çevresel etkiler (havaya, suya ve toprağa) ve diğer atıklar belirlenir. Envanter analizi süreci sürekli yinelenir. Veriler toplandıkça ve sistem hakkında daha fazla şey öğrenildikçe, çalışmanın hedeflerine ulaşılabilmesi için veri toplama prosedürlerinde değişiklik gerektiren yeni veri gereksinimleri veya sınırlamalar belirlenebilir. Bazen, çalışmanın amacında veya kapsamında güncelleme gerektiren sorunlar dahi tespit edilebilir (ISO, 2006).

2.4.3 Etki Değerlendirmesi

Etki değerlendirme aşamasında envanter analizi sonuçları kullanılarak potansiyel çevresel etkilerin önemi değerlendirilir. Burada envanter verilerinin belirli çevresel etki kategorileri ve kategori göstergeleri ile ilişkilendirilmesini ve böylece bu etkilerin anlaşılmasını içerir. Etki değerlendirmesi aşaması ayrıca yaşam döngüsü yorumlama aşaması için bilgi sağlar (ISO, 2006).

Etki kategorilerinin seçimi, modellenmesi ve değerlendirilmesi gibi konular, bu aşamada öznellik sağlayabilir. Bu nedenle, varsayımların açık bir şekilde tanımlanması ve raporlanması için etki değerlendirmesi için şeffaflık kritik öneme sahiptir. Etki değerlendirmede zorunlu olarak kategori tanımlama, sınıflandırma, karakterizasyon ve isteğe bağlı olarak normalizasyon, gruplandırma, ağırlıklandırma aşamaları bulunur (ISO, 2006). Etki değerlendirmesinde kullanılan etki kategorilerinden bazıları; küresel ısınma potansiyeli (KIP), ozon tabakası incilmesi potansiyeli (OTTP), asidifikasyon potansiyeli (AP), ötrofikasyon potansiyeli (ÖP), fotokimyasal oksidan oluşumu potansiyeli (FOOP), karasal ekotoksosite potansiyeli (KEP), abiyotik element tüketim potansiyeli (AETP), abiyotik fosil tüketim potansiyeli (AFTP), sucul ekotoksosite potansiyeli (SETP), arazi kullanımı (AK), insana toksisite potansiyelidir (İTP).

2.4.4 Yorumlama

Yorumlama YDD'nin envanter analizi ve etki değerlendirmesinden elde edilen bulguların değerlendirildiği son aşamadır. Yorumlama aşamasında, belirtilen amaç ve kapsamla tutarlı olan, sınırlamaları açıklayan ve önerilerde bulunan sonuçlara yer verilmelidir. (ISO, 2006).

2.5 Hazır Beton zerine Yapılmış YDD alışmaları

Literatürde hazır beton üzerine yapılmış YDD çalışmalarının sonuçları, fonksiyonel birimleri ile birlikte izelge 2.1'de özetlenmiştir.

Hossain ve diğ. (2021) yaptıkları çalışmada imento yerine kullanılabilecek malzemelerin beton endüstrisindeki sürdürülebilirlik performansını incelemişlerdir. Çalışmada beton üretiminde imento yerine kullanılan volkanik kül, uçucu kül ve öğütülmüş yüksek fırın cürufunun sera gazı emisyonları salımı YDD tekniği ile kıyaslanmıştır (Hossain ve diğ, 2021). Hossain ve diğ. (2021) standart imento kullanılarak oluşturulmuş aynı kalitedeki bir beton için volkanik kül kullanımının sera gazı emisyonlarını %19 - %25 oranında azaltabileceğini ortaya koymuştur. Yapılan YDD çalışmasında fonksiyonel birim 1 m³ hazır beton olarak seçilmiş olup çalışmanın kapsamı beşikten kapıya (ham maddenin çıkarılmasından ürünün müşteriye tesliminden hemen önceki aşamasına kadar olan süreç) yaklaşımıyla belirlenmiştir (Hossain ve diğ, 2021). Çalışma SimaPro (versiyon 9) veri tabanı kullanılarak modellenmiş ve toplam sera gazı emisyonları (kg CO₂ eşd. cinsinden) IMPACT 2002+ etki değerlendirme yöntemi ile değerlendirilmiştir (Hossain ve diğ, 2021). Çalışmada %100 standart imento içeren, %30 cüruf içeren, %50 cüruf içeren, %25 uçucu kül içeren, %20 volkanik kül içeren, %30 volkanik kül içeren olmak üzere altı farklı senaryodaki 1 m³ hazır betonun çevresel etkisi KIP'e göre kıyaslanmıştır (Hossain ve diğ, 2021). Çizelge 2.1'de yer aldığı gibi yapılan çalışmada %100 standart imento içeren 1 m³ hazır betonun 511 kg CO₂ eşd., %30 cüruf içeren 1 m³ hazır betonun 446 kg CO₂ eşd., %50 cüruf içeren 1 m³ hazır betonun 366 kg CO₂ eşd., %25 uçucu kül içeren 1 m³ hazır betonun 479 kg CO₂ eşd., %20 volkanik kül içeren 1 m³ hazır betonun 429 kg CO₂ eşd., %30 volkanik kül içeren 1 m³ hazır betonun 385 kg CO₂ eşd. KIP sahip olduğu sonucuna varılmıştır (Hossain ve diğ, 2021).

Athena Sustainable Materials Institute (ASMI) (2019) yayımladığı çevresel ürün beyanında 72 farklı beton tasarımı yer almaktadır. Çalışmanın kapsamı beşikten mezara yaklaşımıyla belirlenmiş olup, ham madde tedarigi, malzemeler ve yakıtın tesise taşınması ve üretim prosesleri sistem sınırlarının içerisinde tutulmuştur (ASMI, 2019). Çalışmanın fonksiyonel birimi 1 m³ hazır beton seçilmiştir ve %0-19 oranında uçucu kül ve/veya cüruf, %20-29 oranında uçucu kül, %30-39 oranında uçucu kül, %40-49 oranında uçucu kül, %30-49 oranında cüruf, %40-39 oranında cüruf, %50'ye eşit veya daha fazla oranda cüruf ve son olarak %20'ye eşit veya daha fazla oranda uçucu kül ve %30'a eşit veya daha fazla oranda cüruf içeren olmak üzere 0 ile 5000 psi arasında basınç dayanımına sahip toplam 72 farklı betonun YDD çalışması gerçekleştirilmiştir (ASMI, 2019). Modelleme SimaPro (versiyon 8.5) ile gerçekleştirilmiş, Traci (versiyon 2.1) etki kategorileri kullanılmıştır (ASMI, 2019). Yapılan çalışmada hazır beton üretiminde ham madde üretiminin %84-%95 oranında KIP ve %71-%90 oranında YBET-T sebep olduğu sonucuna varılmıştır (Çizelge 2.1) (ASMI, 2019). Çizelge 2.1'de bu çalışmada yer alan standart çimento içeren 1 m³ hazır beton ve %40 oranında uçucu kül içeren 2501-3000 psi basınç dayanımına sahip iki ayrı 1 m³ hazır betonun çevresel etkileri yer almaktadır.

2020 yılında yayımlanan çevresel ürün beyanında 1 m³ hazır betonun çevresel etkileri YDD ile analiz edilmiştir (Url-3, 2020). Çalışmada analiz edilen betonun içeriğini %10 – 20 oranında çimento, %25 – 40 oranında kum, %35-50 oranında agrega, % 3 – 12 oranında su ve %1'den az kimyasal katkı maddesi oluşturmaktadır (Url-3, 2020). Modelleme GaBi veri tabanı (versiyon 8.5.079) ile gerçekleştirilmiş, Traci (versiyon 2.1) etki kategorileri kullanılmıştır (Url-3, 2020). Ham madde üretimi, maddelerin tesise taşınması, hazır beton üretimi ve karıştırma ve dağıtım sırasında kullanılan su çalışmanın kapsamında tutulmuştur (Url-3, 2020). Çizelge 2.1'de gösterildiği gibi yapılan çalışmanın sonucunda 1 m³ hazır betonun çevresel etkileri KIP 348 kg CO₂ eşd., AP 0,634 kg SO₂ eşd., ÖP 0,0449 kg fosfat eşd., OTTP 2,8x10⁻⁸ kg R11 eşd., AETP 1,2x10⁻⁵ kg Sb eşd., AFTP 1500 MJ olarak verilmiştir (Url-3, 2020).

Kim ve Tae (2016)'nın yaptığı çalışmada sistem sınırları çimento su ve agreganın üretimi, tesise taşınması ve betonun üretilmesi olarak belirlenmiş olup fonksiyonel birim 1 m³ beton seçilmiştir. Modelleme CLAS Concrete Lifecycle Assessment System yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Kore Çevre Bakanlığı tarafından kullanılan ilgili veri tabanlarına uygun etki kategorileri uygulanmıştır (Kim ve TaeHo, 2016).

Kore Arazi, Altyapı ve Ulaştırma Bakanlığı, Bilgi Ekonomisi Bakanlığı ve Çevre Bakanlığı tarafından sağlanan veriler envanter analizinde veritabanı olarak kullanılmıştır. Buradan sağlanamayan veriler Ecoinvent'ten temin edilmiştir. Çalışmada 24 Mpa basınç dayanım değerinde sahip 1 m³ betonun çevresel etkileri Çizelge 2.1'de gösterildiği gibi KIP 309 kg CO₂ eşd., AP 28,7 kg SO₂ eşd., ÖP 5,21 kg fosfat eşd., OTTP 0,000049 kg R11 eşd. ve FOOP 0,908 kg etilen eşd. olarak verilmiştir (Kim ve Tae, 2016).



Çizelge 2.1: Hazır beton üzerine yapılmış YDD çalışmalarının sonuçları.

Etki Kategorileri/ Fonksiyonel Birim	Hossain ve diğ. (2021)						ASMI (2019)		Kim ve Tae (2016)	Url-3 (2020)
	Standart çimento içeren 1 m³ beton	%30 cüruf içeren 1 m³ beton	%50 cüruf içeren 1 m³ beton	%25 uçucu kül içeren 1 m³ beton	%20 volkanik kül içeren 1 m³ beton	%30 volkanik kül içeren 1 m³ beton	Standart çimento içeren 1 m³ beton	%40 uçucu kül içeren 1 m³ beton	1 m³ beton	1 m³ beton
KIP (kg CO₂ eşd.)	5,11E+02	4,46E+02	3,66E+02	4,79E+02	4,29E+02	3,85E+02	3,46E+02	2,44E+02	3,09E+02	3,48E+02
ÖP (kg Fosfat eşd.)	-	-	-	-	-	-	-	-	5,21E+00	4,49E-02
ÖP (kg N eşd.)	-	-	-	-	-	-	4,60E-01	3,40E-01	-	-
AP (kg SO₂ eşd.)	-	-	-	-	-	-	1,13E+00	8,60E-01	2,87E+01	6,34E-01
FOOP (kg Etilen eşd.)	-	-	-	-	-	-	-	-	9,08E-01	-
FOOP (kg O₃ eşd.)	-	-	-	-	-	-	2,42E+01	1,87E+01	-	1,40E+01
OTTP (kg R11 eşd.)	-	-	-	-	-	-	9,18E-06	6,60E-06	4,90E-05	2,80E-08
AETP (kg Sb eşd.)	-	-	-	-	-	-	3,16E-04	2,63E-04	-	1,20E-05
AFTP (MJ)	-	-	-	-	-	-	2,13E+03	1,60E+03	3,40E+00	1,50E+03
YBET-F (MJ)	-	-	-	-	-	-	1,59E+02	1,30E+02	-	-
ST (lt)	-	-	-	-	-	-	3,17E-02	2,23E-02	-	5,44E-01
RA (kg)	-	-	-	-	-	-	2,29E-08	2,23E-08	-	2,26E-03
TOA (kg)	-	-	-	-	-	-	9,64E+00	9,64E+00	-	5,49E+01
TA (kg)	-	-	-	-	-	-	1,30E-01	1,30E-01	-	9,38E-06
ETOKBEK (MJ)	-	-	-	-	-	-	9,84E+01	7,01E+01	-	2,15E+02
BET-T (MJ)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,15E+02
ETOKYBEK (MJ)	-	-	-	-	-	-	2,31E+03	1,74E+03	-	1,71E+03
YBET-T (MJ)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,71E+03

2.6 Parke Taşları Üzerine Yapılmış YDD Çalışmaları

Literatürde beton parke taşı üzerine yapılmış YDD çalışmalarının sonuçları, fonksiyonel birimleri ile birlikte Çizelge 2.2’de özetlenmiştir.

Oliver-Solà ve diğ. (2009) yaptığı çalışmada 6 cm kalınlığında parke taşlarından, 15 cm kalınlığında betondan ve 10, 12, 15 cm kalınlığında beton plakalardan oluşan 5 farklı beton kaldırım yolunun çevresel etkileri YDD yöntemiyle analiz etmiştir. Çalışmada fonksiyonel birim 1 m² kaldırım yolu seçilmiştir (Oliver-Sola ve diğ, 2009). Hammaddenin çıkarılması, malzeme üretimi/işleme, toprak sıkıştırma, kaldırım montajı, kaldırım bakımı/kaldırım yıkımı ve malzeme nakliyesin sistem sınırlarının dahilinde tutulmuştur (Oliver-Sola ve diğ, 2009). Çalışmada EcoConcrete LCA ve Ecoinvent (versiyon 1.2) veri tabanı ile modellenmiş olup, CML Baseline 2000 metodu kullanılmıştır (Oliver-Sola ve diğ, 2009). Çalışmada kaldırımın kullanım ömrü bittikten sonra bertarafına ilişkin aşamada sadece nakliye kapsam dahilinde tutulmuş olup atık bertaraf süreçleri kapsam dışı bırakılmıştır (Oliver-Sola ve diğ, 2009). Çalışmanın sonucuna göre 1 m² parke taşlı kaldırım yolu Çizelge 2.2’de yer aldığı gibi KIP 19,70 kg CO₂ eşd., ÖP 0,016 kg fosfat eşd., AP 0,0862 kg SO₂ eşd., FOOP 0,00878 kg etilen eşd., OTTP 0,14x10⁵ kg R11 eşd., İTP 1,32 kg DCB eşd., AETP 0,265 kg Sb eşd. değerinde olduğu verilmiştir (Oliver-Sola ve diğ, 2009).

Hossain ve diğ. (2015) yaptığı çalışmada doğal kaynakların kıtlığından dolayı yeşil ürünlere talebin artması ve hızla artan hafriyat atıklarına rağmen düzenli depolama alanlarının sınırlı olması konularını birlikte ele almıştır. Çalışmada hafriyat atıklarından geri dönüştürülmüş malzemelerle üretilmiş beton parke taşlarının YDD’si incelenmiştir (Hossain ve diğ, 2015). Çalışma Chinese Core Life Cycle veri tabanı ile modellenmiş, etki kategorileri IMPACT 2002+ metoduyla belirlenmiştir (Hossain ve diğ, 2015). Çalışmanın fonksiyonel birimi 1 ton parke taşı üretimidir. Ham maddenin toplanması ve üretimi, parke taşı üretimi ve parke taşlarının kullanılan alana taşınması sistem sınırları dahilindedir (Hossain ve diğ, 2015). Çalışmada doğal malzemeler kullanılarak üretilmiş parke taşı ve 6 farklı karışım oranına sahip geri dönüştürülmüş malzemelerle üretilmiş parke taşları kıyaslanmıştır (Hossain ve diğ, 2015). Çalışmanın sonucuna göre Çizelge 2.2’de görülebileceği gibi geri dönüştürülmüş malzeme ile parke taşı üretimi doğal malzeme ile üretimden %26 ile % 37 oranında daha az enerji

tüketimi sağlamakta ve %17 ile %23 arasında daha az sera gazı emisyonu salımı gerçekleştirmektedir (Hossain ve diğ, 2015).

2015 yılında yayımlanan bir çevresel ürün beyanında 1 m³ beton parke taşının çevresel etkisi analiz edilmiştir (Url-5, 2015). Çalışma ASTM PCR ile modellenmiş olup, etki kategorileri Traci (versiyon 2.1) metodu ile belirlenmiştir (Url-5, 2015). Raporda ham maddenin çıkarılması ve işlenmesi, ham maddenin çıkarıldığı alandan üretim yapılan tesise taşınması, üretim prosesi, ambalajlama ve atık bertarafı sistem sınırları dahilinde tutulmuştur (Url-5, 2015). Raporda 1 m³ beton parke taşının çevresel etkileri Çizelge 2.2’de gösterildiği gibi KIP 480 kg CO₂ eşd., ÖP 0,1 kg N eşd., AP 3 kg SO₂ eşd., FOOP 57,7 kg O₃ eşd., OTTP 4,43x10⁻⁸ kg R11 eşd. olarak verilmiştir (Url-5, 2015).

2017 yılında yayımlanan bir çevresel ürün beyanında fonksiyonel birim olarak 1 ton parke taşının çevresel etkisi YDD yöntemiyle analiz edilmiştir (Url-1, 2017). Analiz edilen parke taşının yoğunluğu 2350 kg/m³ olarak verilmiştir (Url-1, 2017). Çalışma Institut Bauen und Umwelt (IBU) yazılımı ile modellenmiş olup etki kategorileri EN 15804 +A1 metoduyla belirlenmiştir (Url-1, 2017). Çalışmada kapsam beşikten kapıya seçilmiş olup, ham madde temini, ham maddenin parke taşı üretilen tesise taşınması, parke taşı üretim prosesi, parke taşının uygulanacak sahaya taşınması, ürünün kullanımı, bakımı, tamiri, yenilenmesi, iyileştirilmesi, operasyonel enerji tüketimi, operasyonel su tüketimi, yıkım (dekonstrüksiyon), hafriyat atıklarının ilgili bertaraf tesisine taşınması, atık işleme süreçleri ve bertaraf süreci sistem sınırları dahilinde tutulmuştur. Potansiyel geri dönüşüm, tekrar kullanım ve geri kazanım faaliyetleri kapsam dışı bırakılmıştır (Url-1, 2017). Çalışmanın sonucunda 1 ton beton parke taşının çevresel etkileri KIP 137 kg CO₂ eşd., ÖP 0,0384 kg fosfat eşd., AP 0,306 kg SO₂ eşd., FOOP 0,0685 kg etilen eşd., OTTP 2,93 kg R11 eşd., AETP 2,8x10⁻⁴ kg Sb eşd., AFTP 1030 MJ olarak verilmiştir (Url-1, 2017). Parke taşının verilen yoğunluğuna göre 1 m³ beton başına çevresel etkileri hesaplanıp Çizelge 2.2’de verilmiştir.

2019 yılında yayımlanan bir çevresel ürün beyanında 1 m³ parke taşı üretiminin YDD analizi verilmiştir (Url-2, 2019). Çalışma ASTM PCR ile modellenmiş olup, etki kategorileri Traci (versiyon 2.1) metoduyla belirlenmiştir (Url-2, 2019). Çalışmada fonksiyonel birim olan 1 m³ parke taşı olarak verilmiştir (Url-2, 2019). Ham madde tedariki, ham maddenin üreticiye taşınması ve üretim prosesleri sistem sınırları dahilinde tutulmuştur (Url-2, 2019). Çalışmanın sonucunda 1 m³ parke taşının çevresel

etkileri Çizelge 2.2’de yer aldığı gibi KIP 492 kg CO₂ eşd., ÖP 0,620 kg N eşd., AP 1,12 kg SO₂ eşd., FOOP 27,7 kg O₃ eşd., OTTP 4,91 x10⁻⁵ kg R11 eşd., AFTP 4200 MJ olarak verilmiştir (Url-2, 2019).



Çizelge 2.2: Parke taşı üzerine yapılmış YDD çalışmalarının sonuçları.

Etki Kategorileri/Çalışma ve Fonksiyonel Birim	Hossain ve diğ. (2015)		Oliver-Solà ve diğ. (2009)					Url-5 (2015)	Url-1 (2017)	Url-2 (2019)
	<i>1 ton parke taşı (doğal agrega)</i>	<i>1 ton parke taşı (geri dönüştürül müş malzeme)</i>	<i>1 m² kaldırım yolu (6 cm beton parke taşlı)</i>	<i>1 m² kaldırım yolu (15 cm beton)</i>	<i>1 m² kaldırım yolu (10 cm beton plaka)</i>	<i>1 m² kaldırım yolu (12 cm beton plaka)</i>	<i>1 m² kaldırım yolu (15 cm beton plaka)</i>	<i>1 m³ beton</i>	<i>1 m³ beton</i>	<i>1 m³ beton</i>
KIP (kg CO₂ eşd.)	2,61E+02	2,17E+02	1,97E+01	5,33E+01	5,79E+01	6,45E+01	7,43E+01	4,80E+02	3,22E+02	4,92E+02
ÖP (kg Fosfat eşd.)	2,00E-03	-0,117	1,60E-02	4,16E-02	4,43E-02	4,85E-02	5,47E-02	-	9,03E-02	-
ÖP (kg N eşd.)	-	-	-	-	-	-	-	1,00E-01	-	6,20E-01
AP (kg SO₂ eşd.)	4,74E+00	3,70E+00	8,62E-02	2,28E-01	2,43E-01	2,66E-01	3,00E-01	3,00E+00	7,19E-01	1,02E+00
FOOP (kg Etilen eşd.)	-	-	8,78E-03	2,14E-02	2,27E-02	2,49E-02	2,81E-02	-	1,61E-01	-
FOOP (kg O₃ eşd.)	-	-	-	-	-	-	-	5,77E+01	-	2,77E+01
OTTP (kg R11 eşd.)	1,21E-06	-1,30E-07	1,40E-06	3,32E-06	3,55E-06	3,93E-06	4,49E-06	4,43E-08	6,89E+00	4,91E-05
İTP (kg DCB eşd.)	-	-	1,32E+00	3,33E+00	3,63E+00	4,04E+00	4,65E+00	-	-	-
AETP (kg Sb eşd.)	-	-	2,65E-01	7,39E-01	7,74E-01	8,69E-01	1,01E+00	-	6,58E-04	-
AFTP (MJ)	-	-	-	-	-	-	-	-	2,41E+03	4,20E+03
YBET-F (MJ)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,21E+02
YBET-N (MJ)	-	-	-	-	-	-	-	5,62E+03	-	1,66E+01
BET-BO (MJ)	-	-	-	-	-	-	-	2,44E+02	-	2,03E+01
BET-B (MJ)	-	-	-	-	-	-	-	3,98E+02	-	3,01E+03

Çizelge 2.2 (devam) : Parke taşı üzerine yapılmış YDD çalışmalarının sonuçları.

Etki Kategorileri/Çalışma ve Fonksiyonel Birim	Hossain ve diğ. (2015)		Oliver-Solà ve diğ. (2009)					Url-5 (2015)	Url-1 (2017)	Url-2 (2019)
	<i>1 ton parke taşı (doğal agrega)</i>	<i>1 ton parke taşı (geri dönüştürül müş malzeme)</i>	<i>1 m² kaldırım yolu (6 cm beton parke taşlı)</i>	<i>1 m² kaldırım yolu (15 cm beton)</i>	<i>1 m² kaldırım yolu (10 cm beton plaka)</i>	<i>1 m² kaldırım yolu (12 cm beton plaka)</i>	<i>1 m² kaldırım yolu (15 cm beton plaka)</i>	<i>1 m³ beton</i>	<i>1 m³ beton</i>	<i>1 m³ beton</i>
YMK (kg)	-	-	-	-	-	-	-	2,29E+03	-	3,72E+00
MK (kg)	-	-	-	-	-	-	-	1,51E+01	2,13E+03	3,68E+03
ST (lt)	-	-	-	-	-	-	-	1,85E+02	-	-
RA (kg)	-	-	-	-	-	-	-	-	2,26E-03	1,94E+01
TOA (kg)	-	-	-	-	-	-	-	1,91E-01	2,35E+02	-
TA (kg)	-	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	1,07E-05	-
ETOKBEK (MJ)	-	-	-	-	-	-	-	-	2,94E+02	-
BET-T(MJ)	2,07E+03	1,53E+03	-	-	-	-	-	-	3,15E+02	-
ETOKYBEK (MJ)	-	-	-	-	-	-	-	-	2,11E+03	-
YBET-T (MJ)	-	-	-	-	-	-	-	-	2,60E+03	-
İMK (kg)	-	-	-	-	-	-	-	-	1,29E+02	-

2.7 Bordür Taşları Üzerine Yapılmış YDD Çalışmaları

Literatürde beton bordür taşı üzerine yapılmış YDD çalışmalarının sonuçları, fonksiyonel birimleri ile birlikte Çizelge 2.3'te özetlenmiştir.

Gayarre ve diğ. (2015) yaptığı çalışmada doğal agrega yerine %50 geri dönüştürülmüş agrega kullanılarak üretilmiş bordür taşının etkilerini doğal agrega kullanılarak üretilmiş parke taşının etkileriyle YDD yöntemiyle kıyaslamışlardır. Çalışmada etki kategorileri CML 2001 metoduyla belirlenmiştir (Gayarre ve diğ, 2015). Çalışmanın fonksiyonel birimi 1 m³ beton bordür taşı seçilmiştir ancak modellemede kullanılan veri tabanına ilişkin bilgi verilmemiştir (Gayarre ve diğ, 2015). Geri dönüştürülmüş agrega temini, üretim prosesi, yıkım faaliyetleri sistem sınırları kapsamında tutulmuştur (Gayarre ve diğ, 2015). Çalışmada geri dönüştürülmüş agrega içeren bordür taşı ve doğal agrega içeren bordür taşının çevresel etkileri Çizelge 2.3'te verildiği gibi ET, KIP, ÖP, AP, ve FOOP etki kategorilerinde kıyaslanmıştır (Gayarre ve diğ, 2015). Çalışmada geri dönüştürülmüş agrega içeren bordür taşı üretiminde iki farklı senaryo oluşturulmuştur (Gayarre ve diğ, 2015). I. Senaryoda hafriyat atıklarından geri dönüştürülen atığın sabit bir tesiste geri dönüşüm işleminin gerçekleştirilmesi, II. Senaryoda ise hafriyat atıklarından geri dönüştüren agregaların mobil bir tesis kurularak yıkım faaliyetlerinin gerçekleştiği alanda geri dönüşüm işleminin yapılması incelenmiştir (Gayarre ve diğ, 2015). Çalışmanın sonucunda Çizelge 2.3'te yer aldığı gibi doğal agrega içeren 1 m³ bordür taşı üretiminin çevresel etkileri KIP 3,70x10⁵ kg CO₂ eşd., ÖP 169 kg fosfat eşd., AP 2,28 kg SO₂ eşd., FOOP 0,69 kg etilen eşd.; sabit bir tesiste geri dönüşüm işleminin gerçekleştiği %50 geri dönüştürülmüş agrega içeren 1 m³ bordür taşı üretiminin çevresel etkileri KIP 3,75x10⁴ kg CO₂ eşd., ÖP 177 kg fosfat eşd., AP 2310 kg SO₂ eşd., FOOP 0,84 kg etilen eşd.; mobil bir tesiste geri dönüşüm işleminin gerçekleştiği %50 geri dönüştürülmüş agrega içeren 1 m³ bordür taşı üretiminin çevresel etkileri KIP 4,25x10⁵ kg CO₂ eşd., ÖP 230 kg fosfat eşd., AP 2710 kg SO₂ eşd., FOOP 2,90 kg etilen eşd. olarak verilmiştir (Gayarre ve diğ, 2015). Çalışmanın asıl amacı agregaların nasıl üretildiği olmamasına rağmen bu iki senaryo kıyaslandığında agregaların sabit bir tesiste geri dönüştürülmesi mobil tesiste geri dönüştürülmesinden daha düşük çevresel etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir (Gayarre ve diğ, 2015). Çalışmanın sonucunda %50 geri

dönüştürülmüş agrega kullanmanın kirlilik emisyonu azaltmasını sağlamamasına rağmen doğal kaynak kullanımı açısından çevresel etkisinin daha az olduğu vurgulanmıştır (Gayarre ve diğ, 2015). Bununla birlikte doğal agrega çıkarılmasının peyzaj açısından çevre üzerinde negatif etkisine değinilmiştir (Gayarre ve diğ, 2015).

2019 yılında yayımlanan çevresel ürün beyanında 1 m³ bordür taşı üretiminin YDD incelenmiştir (Url-2, 2019). Etki kategorileri Traci (versiyon 2.1) metoduyla belirlenmiş olup modelleme ASTM PCR ile gerçekleştirilmiştir (Url-2, 2019). Çalışmada fonksiyonel birim olan 1 m³ bordür taşı üretimi için girdiler 0,26 m³ su, 0,370 ton çimento, 4 ton kalın agrega ve 1,225 ton ince agrega olarak verilmiştir (Url-2, 2019). Ham madde tedarigi, ham maddenin üreticiye taşınması ve üretim prosesleri sistem sınırları dahilinde tutulmuştur (Url-2, 2019). Çalışmanın sonucunda 1 m³ bordür taşının çevresel etkileri Çizelge 2.3'te yer aldığı gibi KIP 402 kg CO₂ eşd., ÖP 1,32 kg N eşd., AP 0,51 kg SO₂ eşd., FOOP 22,6 kg O₃ eşd., OTTP 3,98 x10⁻⁵ kg R11 eşd. olarak verilmiştir (Url-2, 2019).

2021 yılında yayımlanan çevresel ürün beyanında 1 ton bordür taşı üretiminin YDD incelenmiştir (Url-4, 2021). Bordür taşının tüm yaşam döngüsü sistem sınırlarına dahil edilmiştir (Url-4, 2021). Çalışma SimaPro 9.1.0.11 ile modellenmiş olup etki kategorileri EN 15804+A1 metoduyla belirlenmiştir (Url-4, 2021). 1 ton bordür taşının çevresel etkileri KIP 176 kg CO₂ eşd., ÖP 0,234 kg fosfat eşd., AP 1,46 kg SO₂ eşd., FOOP 0,045 kg etilen eşd., AETP 5000 kg Sb eşd., AFTP 2470 MJ, ETOKBEK 302 MJ, BET-T 302 MJ, ETOKYBEK 2410 MJ, YBET-T 2410 MJ, ST 2410 lt, RA 0,014 kg, TOA 275 kg, TA 0,005 kg, YKB 0,8 kg, GDM 0,107 kg, EGKKM 0,9 kg, AÇEE 1,23 MJ, AÇTE 2,51 MJ olarak verilmiştir (Url-4, 2021). Çalışmada bordür taşının yoğunluğu 2,6 ton/m³ verilmiştir. Bu bilgi doğrultusunda 1 m³ beton başına etki değerlerini bulmak için ton başına verilen değerler 2,6 ile çarpılmıştır. Böylece ton başına verilen değerler m³ başına haline dönüştürülmüştür. Çizelge 2.3'te 1 m³ beton başına hesaplanan bu değerler yazılmıştır (Url-4, 2021).

Çizelge 2.3: Bordür taşı üzerine yapılmış YDD çalışmalarının sonuçları.

Etki Kategorileri/Çalışma ve Fonksiyonel Birim	Gayarre ve diğ. (2015)			Url-2 (2019)	Url-4 (2021)
	Doğal agrega içeren 1 m³ beton	Geri dönüştürülmüş agrega içeren 1 m³ beton		1 m³ beton	1 m³ beton
		<i>I. Senaryo</i>	<i>II. Senaryo</i>		
ET (MJ)	1,13E+03	1,20E+03	1,62E+03	-	-
KIP(kg CO ₂ eşd.)	3,70E+05	3,75E+04	4,25E+05	4,07E+02	4,58E+02
ÖP (kg Fosfat eşd.)	1,69E+02	1,77E+02	2,30E+02	-	6,08E-01
ÖP (kg N eşd.)	-	-	-	1,32E+00	-
AP (kg SO ₂ eşd.)	2,28E+00	2,31E+03	2,71E+03	5,10E-01	3,79E+00
FOOP (kg Etilen eşd.)	6,90E-01	8,40E-01	2,90E+00	-	1,17E-01
FOOP (kg O ₃ eşd.)	-	-	-	2,26E+01	-
OTTP (kg R11 eşd.)	-	-	-	3,98E-05	-
AETP (kg Sb eşd.)	-	-	-	-	1,30E-02
AFTP (MJ)	-	-	-	-	6,42E+03
YBET-F (MJ)	-	-	-	3,43E+03	-
YBET-N (MJ)	-	-	-	1,81E+02	-
BET-BO (MJ)	-	-	-	1,34E+01	-
BET-B (MJ)	-	-	-	1,64E+01	-
ETOKBEK (MJ)	-	-	-	-	7,86E+02
BET-T (MJ)	-	-	-	-	7,86E+02
ETOKYBEK (MJ)	-	-	-	-	6,26E+03
YBET-T (MJ)	-	-	-	-	6,26E+03
ST (lt)	-	-	-	3,36E+03	6,26E+03
YMK (kg)	-	-	-	2,29E+03	-
MK (kg)	-	-	-	3,10E+00	-
RA (kg)	-	-	-	-	3,64E-02
TOA (kg)	-	-	-	1,94E+01	7,16E+02
TA (kg)	-	-	-	-	1,30E-02
YKB (kg)	-	-	-	-	2,08E+00
GDM (kg)	-	-	-	-	2,78E-01
EGKKM (kg)	-	-	-	-	2,34E+00
AÇEE (MJ)	-	-	-	-	3,20E+00
AÇTE (MJ)	-	-	-	-	6,53E+00

3. MATERYAL VE METOT

3.1 Amaç

Bu çalışmada Türkiye’de bulunun bir hazır beton tesisinin hazır beton, parke taşı ve bordür taşı üretiminin çevresel etkileri YDD kullanılarak incelenmesi hedeflenmiştir. Tesisteki hazır beton, parke taşı ve bordür taşı üretimi detaylı ele alınarak girdi çıktı envanterleri belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan veriler tesise ait 1 yıllık verilerdir. Tesis bizzat ziyaret edilerek veriler tesisten toplanmıştır. Elde edilemeyen veriler literatür araştırmaları sonucu belirlenmiştir.

Türkiye’de parke taşı ve bordür taşı üretimiyle ilgili daha önce YDD yapılmamış olması bu çalışmada elde edilen verilerin değerini arttırmaktadır.

3.2 Kapsam

Ham madde üretimi ve tedariki, ham maddenin üretim tesisine taşınması, hazır beton üretimi, parke taşı üretimi, bordür taşı üretimi, üretimde harcanan enerji miktarları, oluşan atıklar ve bertarafı bu çalışmanın kapsamındadır. Sistem sınırları hazır beton üretimi için Şekil 4.1’de, parke taşı üretimi için Şekil 4.4’te ve bordür taşı üretimi için Şekil 4.7’de verilmiştir.

Üretilen ürünlerin uygulanacağı sahaya taşınması kapsam dışı bırakılmıştır.

3.2.1 Enerji Kaynağı

Yapılan çalışmadaki elektrik temini için Türkiye’nin elektrik enerjisi üretiminin 2020 yılındaki kaynak dağılımı dikkate alınmıştır. Modellenen şebeke elektriği karışımının %25,5’ini hidroelektrik, %23,1’ini doğalgaz, %22,1’ini kömür, %12,4’ünü linyit, %8,1’ini rüzgar enerjisi ve %3,6’sını güneş enerjisi oluşturmaktadır (TEİAŞ, 2021).

3.2.2 Fonksiyonel Birim

Bu çalışmada yapılan yaşam döngüsü değerlendirmesinde hazır beton için 1 m³ hazır beton, parke taşı için 1 m³ beton parke taşı, bordür taşı için 1 m³ beton bordür taşı fonksiyonel birim olarak seçilmiştir.

3.3 Yazılım ve Metotlar

Bu çalışmada Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi için GaBi Education 9.2.1.68 veri tabanı kullanılmıştır. Çevresel etkilerin değerlendirilmesi için CML 2001 metodu baz alınarak etki kategorilendirilmesi yapılmıştır. Bu metot kapsamında incelenen etki kategorileri; AETP, AFTP, AP, ÖP, TSEP, KIP, İTP, SETP, OTTP, FOOP, KEP olarak belirlenmiştir.

4. ÜRETİM PROSESLERİ

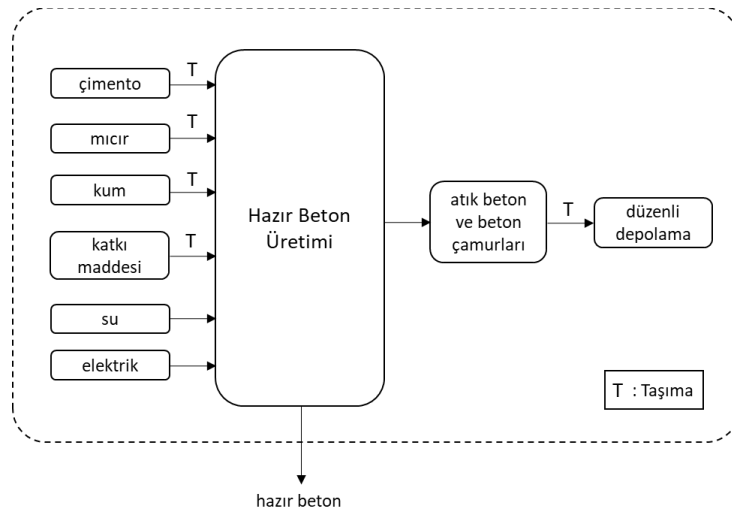
4.1 Hazır Beton Üretim Prosesi

4.1.1 Fonksiyonel Birim

Literatür araştırmasında hazır beton üretim üzerine gerçekleştirilen YDD çalışmalarında fonksiyonel birimin 1 m³ hazır beton olarak alındığı gözlemlenmiştir (ASMI, 2019; Url-3, 2020; Hossain ve diğ, 2021; Kim ve Tae, 2016). Bu çalışmada C30/37 sınıfında üretilen hazır beton üretimi için fonksiyonel birim 1 m³ C30/37 sınıfında üretilen hazır beton seçilmiştir (bundan sonra 1 m³ hazır beton olarak bahsedilecektir).

4.1.2 Sistem Sınırları

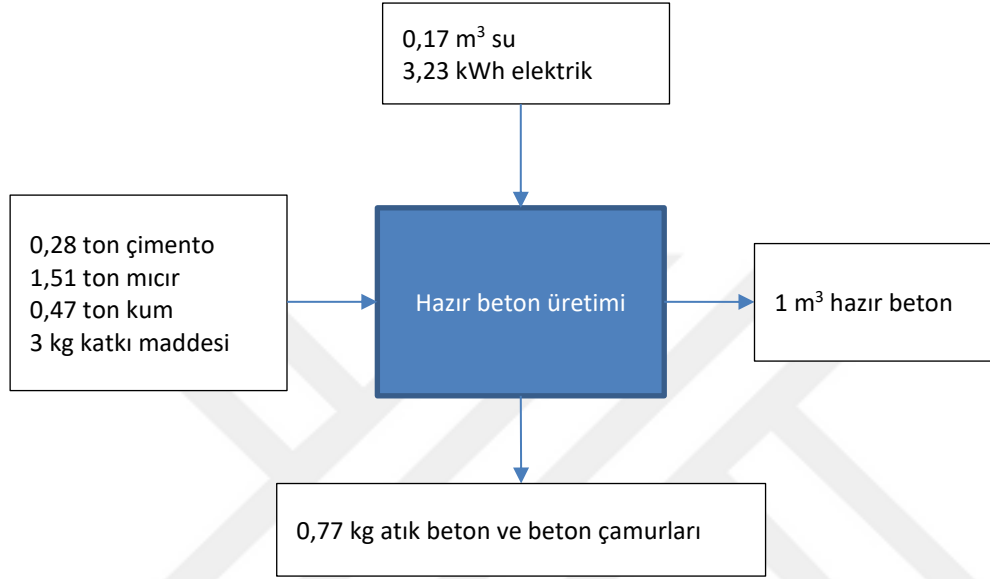
Çalışmanın yapıldığı tesiste hazır beton üretim prosesi ayrıntılı olarak incelenmiştir. Şekil 4.1’de hazır beton modeli için yapılan YDD analizindeki sistem sınırları gösterilmektedir. Ham maddelerin tesise taşınması ve çıkan atığın ilgili bertaraf tesisine taşınması sistem sınırlarına dahil edilmiştir.



Şekil 4.1: Sistem sınırları (Hazır beton modeli).

4.1.3 Hazır Beton Üretimi

Tesiste bir adet beton santrali mevcut olup üretimi $80 \text{ m}^3/\text{saat}$ kapasitelidir. Üretimin %60'ı hazır beton olarak, %40'ı da prefabrik yapı elemanları üretiminde kullanılmaktadır. Tesiste 8 m^3 kapasiteli 5 adet transmikser bulunmaktadır. Üretilen hazır betonun özgül ağırlığı $2,4 \text{ ton/m}^3$ 'tür.



Şekil 4.2. Hazır beton üretim akış şeması.

Şekil 4.2’de hazır beton üretiminin akış şeması verilmiştir. Hazır beton üretiminde ilk adım hammaddelerin kamyonlarla üretimin gerçekleşeceği tesise taşınmasıdır. Tesise gelen çimento silolarda, agregalar bunkerlerde depolanır. Depolanan malzemeler bant konveyörle stok bunkerine taşınır. Her betonun içeriği aynı değildir. Stok bunkerinin altındaki tartım bandına ihtiyaç duyulan beton tasarımına göre bir yazılımla hangi çeşit agregadan ne kadar konulacağı belirlenir ve stok bunkerinden otomatik olarak tartım bandına boşaltılır. Tartım bandaki agregalar santrale taşınmak için kovaya boşaltılır. Santrale taşınan agregalar mikserlerde karıştırılır. Mikserlere beton tasarımında belirtilen miktarlarda su, çimento, kum, taş tozu ve kimyasal katkılar eklenir. Bu çalışmada incelenen tesiste 1 m^3 hazır beton üretmek için 0,28 ton çimento, 1,51 ton mıcır, 0,47 ton kum, $0,15 \text{ m}^3$ su ve katkı maddesi olarak 3 kg hızlı priz alan beton katkısı kullanılmaktadır. Mikserlerde karıştırma işlemi bittikten sonra üretim tamamlanmış olur. Bant konveyör, stok bunker, tartım bandı ve mikserlerde tüketilen

elektriğe ait veriler tesisten ayrı temin edilemediğinden tüketim miktarı toplam olarak verilmiş olup 1 m³ hazır beton üretmek için tüketilen enerji 3,42 kWh'dir.

Son olarak üretilen hazır beton transmikserlere doldurulur ve transmikserlerle hazır betonun kullanılacağı şantiyeye nakliye edilir. Nakliye sonrası transmikserler tesise döner ve su ile yıkanarak temizlenir. Bu temizleme esnasında 0,77 kg atık beton ve beton çamuru oluşmaktadır. Tesiste transmikserler yıkandıktan sonra çöktürme havuzunda bekletilen yıkma suyu sisteme geri döndürülerek tekrar mikserlerin yıkanmasında kullanılmakta ve hazır beton üretiminde kullanılmak üzere geri devir sistemiyle hazır beton üretim prosesine gönderilmektedir. Tesiste 1 m³ hazır beton başına 0,15 m³ su ham madde olarak kullanıldığı bilgisine ulaşılmıştır ancak yıkamada kullanılan suyun miktarı elde edilememiştir. Literatürde yer alan bir çalışmada 1 m³ hazır beton için 0,19 m³ yıkama suyu kullanıldığı yer almaktadır (Tsimas ve Zervaki, 2020). Bu çalışmada çıkan yıkama suyu sisteme geri devir ettirilerek tekrar kullanıldığından dışarıdan bu amaçla sisteme girmesi gereken su 0,02 m³ olarak kabul edilmiştir. Hazır beton üretiminde kullanılan 0,15 m³ suya 0,02 m³ yıkama suyu ilave edilip Çizelge 4.1'de yer görüldüğü gibi su girdisi 0,17 m³ olarak değerlendirilmiştir. Atık beton ise tehlikesiz atık olarak depolama tesisine gönderilmektedir. Hazır beton üretiminin tüm girdileri ve çıktıları aşağıda yer alan Çizelge 4.1'de özetlenmiştir.

Çizelge 4.1: Hazır beton üretiminin girdi ve çıktıları (1 m³ hazır beton başına).

	Girdi/Çıktı Türü	Birim	Miktar
Girdiler	Çimento	ton	0,28
	Mıcır	ton	1,51
	Kum	ton	0,47
	Katkı maddesi	kg	3
	Su	m ³	0,17
	Elektrik	kWh	3,23
Çıktılar	Hazır beton	m ³	1
	Atık beton ve beton çamurları	kg	0,77

Üretimde kullanılan ham maddelerin tedarikçiden üretimin yapıldığı tesise gelişi ve üretim sonucu ortaya çıkan atığın ilgili bertaraf tesisine gidişi aradaki mesafeler hesaplanarak sisteme girilmiştir. Girdiler için tedarikçiyle tesis arasındaki mesafeler, çıktı için tesis ile bertaraf tesisi arasındaki mesafeler Çizelge 4.2'de yer almaktadır. Tüm nakliyeler 22 ton kapasiteli dizel kamyonlar vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir.

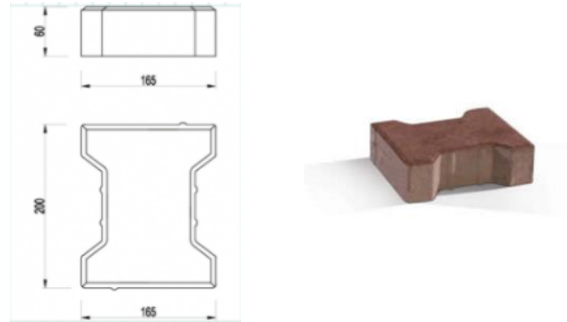
Çizelge 4.2: Hazır beton üretimi nakliye envanter tablosu.

		Çıkış Varış Noktası	km
Girdiler	Çimento	Tedarikçi/Tesis	71,3
	Mıdır	Tedarikçi/Tesis	71,3
	Kum	Tedarikçi/Tesis	71,3
	Katkı Maddesi	Tedarikçi/Tesis	11,7
Çıktılar	Atık beton ve beton çamurları	Tesis/Düzenli Depolama Tesisi	142

4.2 Parke Taşı Üretimi Üretim Prosesi

4.2.1 Fonksiyonel Birim

Literatür araştırmasında parke taşının YDD çalışmalarında fonksiyonel birimin değişkenlik gösterdiği gözlemlenmiştir. Oliver-Sola ve diğ. (2009) yaptığı çalışmada fonksiyonel birim 1 m² kaldırım yolu olarak belirlenmiştir. Fonksiyonel birimin 1 ton parke taşı olarak belirlendiği çalışmalar da bulunmaktadır (Hossain ve diğ, 2015 ve Url-1, 2017). Son olarak fonksiyonel birimin 1 m³ beton parke taşı olarak belirlendiği çalışma da mevcuttur (Url-2, 2019). Bu çalışmada parke taşı üretiminin fonksiyonel birimi 1 m³ beton parke taşı seçilmiştir. Bu çalışmada Şekil 4.3'te görülen boyutları 165 mm x 200 mm x 60 mm'dir. Parke taşının özgül ağırlığı yaklaşık 2,45 ton/m³'tür.

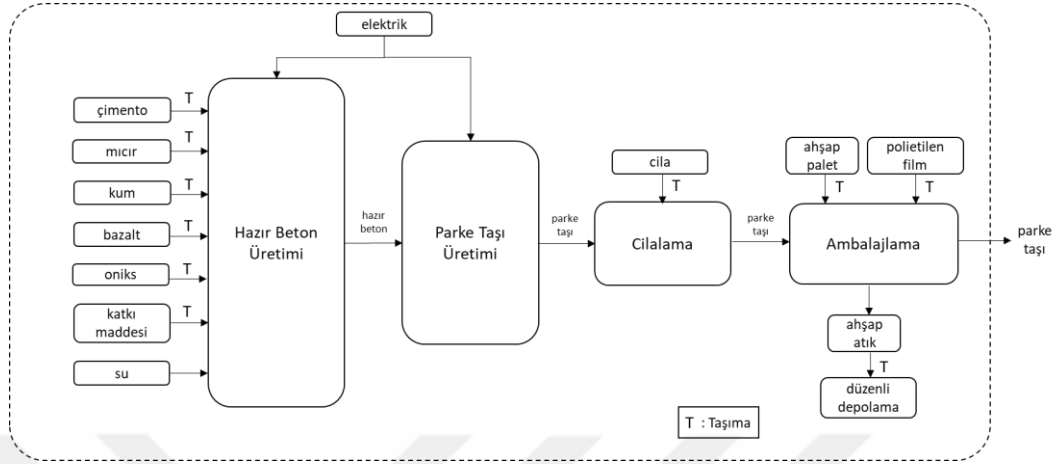


Şekil 4.3: Parke taşı şekli ve boyutları.

4.2.2 Sistem Sınırları

Parke taşının YDD modeli hazır beton üretimi, parke taşı üretimi, cilalama ve ambalajlama prosesleri için kurulmuştur. Aşağıdaki Şekil 4.4'te parke taşı modelinin YDD analizindeki sistem sınırları gösterilmiştir. Tesiste hazır beton üretimi ve parke taşı üretimi proseslerindeki elektrik tüketimi bilgisi her iki proses için ayrı verilemediğinden elektrik tüketimi toplam olarak ele alınıp sistem sınırlarına dahil edilmiştir. Ham maddelerin, cilanın, ambalajlama esnasında kullanılan ahşap

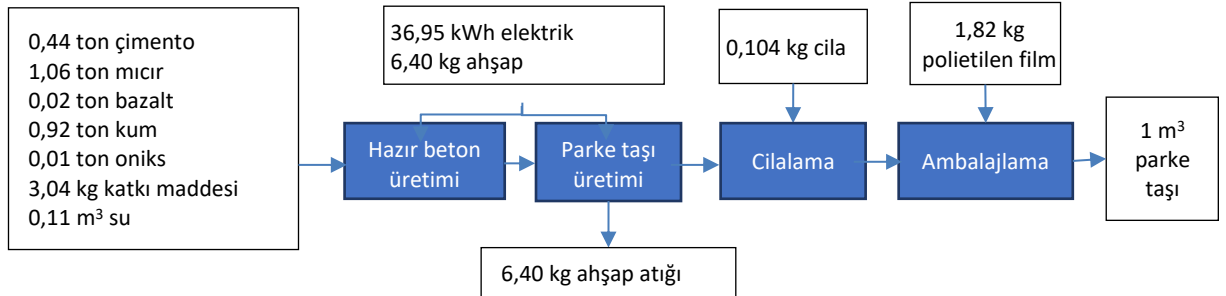
paletlerin ve polietilen filmin tesise taşınması, çıkan ahşap atığın depolama tesisine taşınması sistem sınırlarına dahil edilmiştir.



Şekil 4.4: Sistem sınırları (parke taşı modeli).

4.2.3 Parke Taşı Üretimi

Tesiste biri 150 m²/saat diğeri 100 m²/saat kapasiteli iki adet parke taşı üretim makinesi mevcuttur. 1 m³ betondan 12,5 m² parke taşı üretilmektedir. Çalışmada incelenen parke taşının boyutları 165 mm x 200 mm x 60 mm'dir.



Şekil 4.5: Parke taşı üretimi akış şeması.

Şekil 4.5'te parke taşı üretiminin akış şeması verilmiştir. Parke taşı üretimi hazır beton üretimi prosesiyle başlar. Parke taşı üst tabaka ve alt tabaka olmak üzere iki farklı beton harcından oluşur. 1 m³ üst tabaka parke taşı betonu için 0,06 ton çimento, 0,13 ton micir, 0,12 ton kum, 0,38 kg katkı maddesi, 0,01 m³ su, 0,02 ton mozaik (bazalt), 0,01 ton oniks kullanılır. 1 m³ alt tabaka parke taşı betonu için 0,38 ton çimento, 0,93 ton micir, 0,80 ton kum, katkı maddesi olarak 2,66 kg süperakışkanlaştırıcı, 0,10 m³ su kullanılır. Üst tabaka betonu ve alt tabaka ayrı ayrı mikserlerde oluşturulur ve hareketli kovalarla üretim makinasına taşınır.

Önce alt tabaka için hareketli kovalarla taşınan beton makinanın ortasında bulunan kalıba doldurulur. Kısa bir presleme ile üst tabaka betonu için 8 mm-10 mm'lik yer açılır. Hareketli kova ile üst tabaka için hazırlanmış beton alt tabaka betonunun üzerine doldurulur. Yaklaşık 10 sn boyunca 600 tonluk presleme ile betonlar kalıp içerisinde preslenir. Preslenmiş olan taze beton kalıplardan çıkarılıp ahşap paletler üzerine bırakılır. 1 m³ beton taşı başına 6,4 kg ahşap palet kullanılır. Her preslemede preslenen parke taşları bir baskı boyunca ilerletilir. Bir robotla parke taşları raflara alınır 72 saat boyunca prizini alması beklenir. Daha sonra parke taşları robot yardımı ile raflarından alınarak boşaltım asansörüne taşınır. Parke taşları robot yardımı ile paletlenir, üst yüzeyi cilalanır. 1 m³ beton başına 0,104 kg cila kullanılır. Son adımda parke taşları UV dayanımı arttırılmış polietilen film ile şirinklenir. Sevke hazır parke taşları stok sahasında bekletilir.

Bant konveyör, stok bunker, taşıma bandı, mikserler, hareketli kovalar, parke taşı üretim makinesi ve robotlarda tüketilen elektriğe ait veriler tesisten ayrı temin edilemediğinden tüketim miktarı toplam olarak verilmiş olup 1 m³ parke taşı üretmek için tüketilen enerji 36,95 kWh'dir.

Ambalajlama esnasında 1 m³ parke taşı üretimi başına 6,4 kg ahşap palet kullanılmaktadır. Paletlerin kullanım ömrünü bitirdikten sonra depolama tesisine gönderilmektedir. Parke taşı üretiminin tüm girdi ve çıktıları aşağıda yer alan Çizelge 4.3'te özetlenmiştir

Çizelge 4.3: Parke taşı üretiminin girdileri çıktıları (1 m³ beton parke taşı için).

	Girdi/Çıktı Türü	Birim	Miktar
Girdiler	Çimento	ton	0,44
	Mıdır	ton	1,06
	Kum	ton	0,92
	Bazalt	ton	0,02
	Oniks	ton	0,01
	Katkı maddesi	kg	3,04
	Su	m ³	0,11
	Elektrik	kWh	36,95
	Cila	kg	0,104
	Ahşap palet	kg	6,4
Çıktılar	Polietilen film	kg	1,82
	Parke taşı	m ³	1
	Ahşap atık	kg	6,4

Üretimde kullanılan ham maddelerin ve diğer girdilerin tedarikçiden üretimin yapıldığı tesise gelişi ve üretim sonucu ortaya çıkan ahşap atığın depolama tesisine taşınması aradaki mesafeler hesaplanarak sisteme girilmiştir. Girdiler için tedarikçiyle tesis arasındaki mesafeler, çıktı için tesis ile bertaraf tesisi arasındaki mesafe Çizelge 4.4’de yer almaktadır. Tüm nakliyeler 22 ton kapasiteli dizel kamyonlar vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir.

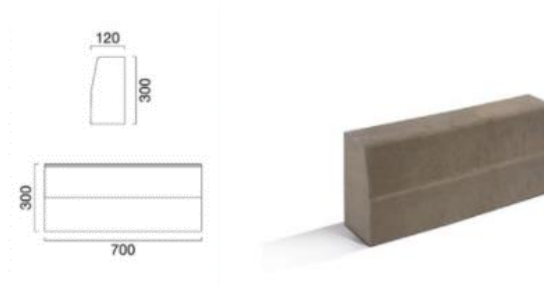
Çizelge 4.4: Parke taşı üretimi nakliye envanter tablosu.

		Çıkış Varış Noktası	km
Girdiler	Çimento	Tedarikçi/Tesis	71,3
	Mıdır	Tedarikçi/Tesis	71,3
	Kum	Tedarikçi/Tesis	71,3
	Bazalt	Tedarikçi/Tesis	37
	Oniks	Tedarikçi/Tesis	37
	Katkı Maddesi	Tedarikçi/Tesis	11,7
	Cila	Tedarikçi/Tesis	9,5
	Ahşap	Tedarikçi/Tesis	11
	Polietilen film	Tedarikçi/Tesis	10,77
Çıktılar	Ahşap Atık	Tesis/Düzenli Depolama Tesis	57

4.3 Bordür Taşı Üretimi Üretim Prosesi

4.3.1 Fonksiyonel Birim

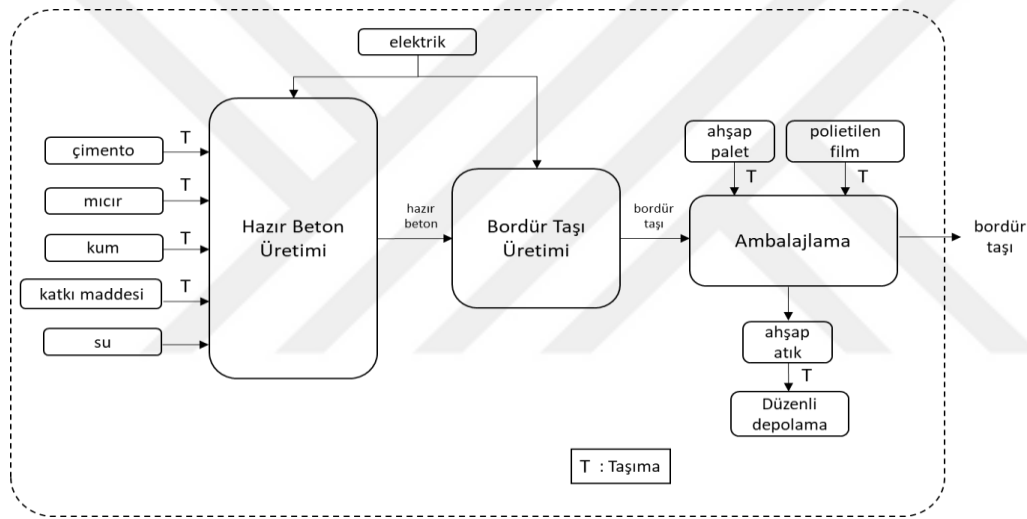
Daha önce yapılmış YDD çalışmalarında bordür taşı üretiminde fonksiyonel birimin 1 m³ beton bordür taşı olarak belirlendiği gözlemlenmiştir. (Url-2, 2019; Url-4, 2021; Gayarre ve diğ, 2015). Bu çalışmadaki bordür taşının fonksiyonel birimi, incelenen tüm çalışmaların fonksiyonel birimi olan 1 m³ beton bordür taşı olarak seçilmiştir. Çalışmada analiz edilen bordür taşının şekli ve boyutları Şekil 4.6’da görüldüğü gibi 120 mm x 300 mm x 700 mm’dir. Bordür taşının özgül ağırlığı yaklaşık 2,39 ton/m³’tür.



Şekil 4.6: Bordür taşı şekli ve boyutları.

4.3.2 Sistem Sınırları

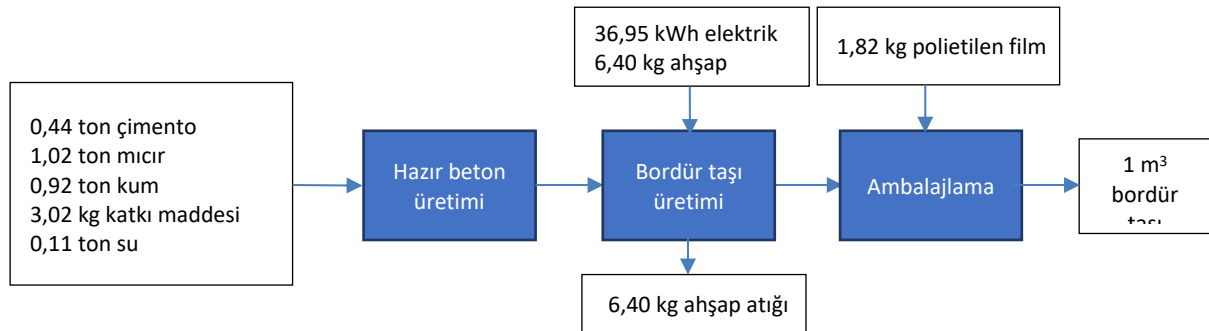
Bordür taşının YDD modeli hazır beton üretimi, bordür taşı üretimi ve ambalajlama prosesleri için kurulmuştur. Aşağıdaki Şekil 4.7’de bordür taşı modelinin YDD analizindeki sistem sınırları gösterilmiştir. Tesiste hazır beton üretimi ve bordür taşı üretimi proseslerindeki elektrik tüketimi bilgisi her iki proses için ayrı verilemediğinden elektrik toplam olarak ele alınıp sistem sınırlarına dahil edilmiştir. Benzer şekilde üretim faaliyetleri sonucu ortaya çıkan atık yağ ve atıklar toplam olarak ele alınıp sistem sınırlarına dahil edilmiştir. Ham maddelerin, ambalajlama esnasında kullanılan ahşap paletlerin ve polietilen filmin tesise taşınması, çıkan atıkların ilgili bertaraf tesislerine taşınması sistem sınırlarına dahil edilmiştir.



Şekil 4.7: Sistem sınırları (bordür taşı modeli).

4.3.3 Bordür Taşı Üretimi

Tesiste iki adet 181 adet/saat kapasitesine sahip bordür makinesi mevcuttur. 1 adedi 0,03 m³ betondur.



Şekil 4.8: Bordür taşı üretimi akış şeması.

Şekil 4.8’de bordür taşı üretiminin akış şeması verilmiştir. Bordür taşı üretimi hazır beton üretimi prosesiyle başlar. 1 m³ bordür taşı betonu için 0,44 ton çimento, 1,02 ton mıcır, 0,92 ton kum, katkı maddesi olarak 3,02 kg süperakışkanlaştırıcı, 0,01 m³ su kullanılır. Malzemeler mikserde karıştırılır ve hareketli kovalarla beton makinesinin ortasında bulunan kalıba doldurulur. Yoğun bir presleme ile betonlar kalıp içerisinde preslenir. Preslenmiş olan taze beton kalıplardan çıkarılıp zemin üzerine bırakılır. Bordür makinası bir baskı boyu yürüyerek baskıyı gerçekleştirir. Bir baskı süresi 30 sn’de tamamlanır. Bordürler robotlarla raflara kaldırılır ve 72 saat boyunca prizini alması beklenir. Prizini alan bordürler paletlerle stok sahasına taşınır, UV dayanımı arttırılmış polietilen film ile şirinklenir.

Bant konveyör, stok bunker, tardım bandı, mikserler, hareketli kovalar, bordür taşı üretim makinesi ve robotlarda tüketilen elektriğe ait veriler tesisten ayrı temin edilemediğinden tüketim miktarı toplam olarak verilmiş olup 1 m³ bordür taşı üretmek için tüketilen enerji 36,95 kWh’dir.

Ambalajlama esnasında 1 m³ parke taşı üretimi başına 6,4 kg ahşap palet kullanılmaktadır. Paletlerin kullanım ömrünü bitirdikten sonra depolama tesisine gönderilmektedir. Parke taşı üretiminin tüm girdi ve çıktıları aşağıda yer alan Çizelge 4.5’te özetlenmiştir.

Çizelge 4.5: Bordür taşı üretiminin girdileri çıktıları (1 m³ beton bordür taşı için).

	Girdi Türü	Birim	Miktar
Girdiler	Çimento	ton	0,44
	Mıcır	ton	1,02
	Kum	ton	0,92
	Beton katkısı	kg	3,02
	Su	m ³	0,11
	Elektrik	kWh	36,95
	Ahşap palet	kg	6,4
	Polietilen film	kg	1,82
Çıktılar	Bordür taşı	m ³	1
	Ahşap atık	kg	6,4

Üretimde kullanılan ham maddelerin ve diğer girdilerin tedarikçiden üretimin yapıldığı tesise gelişi ve üretim sonucu ortaya çıkan ahşap atığın depolama tesisine taşınması aradaki mesafeler hesaplanarak sisteme girilmiştir. Girdiler için tedarikçiyle tesis arasındaki mesafeler, çıktı için tesis ile bertaraf tesisi arasındaki mesafe Çizelge

4.6’da yer almaktadır. Tüm nakliyeler 22 ton kapasiteli dizel kamyonlar vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.6: Bordür taşı üretimi nakliye envanter tablosu.

		Çıkış Varış Noktası	km
Girdiler	Çimento	Tedarikçi/Tesis	71
	Mıcır	Tedarikçi/Tesis	71
	Kum	Tedarikçi/Tesis	71
	Katkı Maddesi	Tedarikçi/Tesis	12
	Ahşap	Tedarikçi/Tesis	11
	Polietilen film	Tedarikçi/Tesis	11
Çıktılar	Ahşap Atık	Tesis/Düzenli Depolama Tesis	57

4.4 Yapılan Kabuller

Tesisten alınan veriler haricinde çalışma için gerekli olan bazı veriler tesisten elde edilememiştir. Çevresel etki değerlendirmesinin daha doğru olabilmesi adına literatür araştırmalarından elde edilen veriler kabul edilerek bu veri eksiklikleri tamamlanmıştır.

Tsimas ve Zervaki (2020)’nin yaptığı çalışmada yer alan verilere göre 1 m³ hazır beton için 0,19 m³ su transmikserlerin yıkanmasında kullanılmaktadır. Çalışmada yer alan tesiste transmikserlerin yıkama suyu bir havuzda bekletilip sürekli aynı su üretimde kullanıldığı için hazır beton üretiminde ham madde olarak kullanılan 0,15 m³ suya ilaveten 0,02 m³ yıkama suyu olduğu kabul edilmiştir.

Hazır beton üretilirken kullanılan hızlı priz alan beton katkısının içeriğine ulaşamadığı için modellemede Avrupa Beton Katkı Maddeleri Federasyonu’nun (EFCA) yayımladığı bir çevresel ürün beyanında yer alan hızlı priz alan beton katkısının çevresel etkileri kabul edilmiştir (Url-6, 2015).

Parke taşı ve bordür taşı üretiminde kullanılan süperakışkanlaştırıcının içeriğine ulaşamadığı için modellemede Avrupa Beton Katkı Maddeleri Federasyonu’nun (EFCA) yayımladığı bir çevresel ürün beyanında yer alan süperakışkanlaştırıcının çevresel etkileri kabul edilmiştir (Url-7, 2015).

Parke taşı üretiminde kullanılan cilanın içeriğine ulaşamamıştır. Üretimde kullanılan cila yerine modellemede, yapılan literatür araştırması doğrultusunda GaBi veri tabanında bulunan epoksi reçine kabul edilmiştir (Sameer ve diğ, 2019).

Parke taşı üretiminde kullanılan bazaltın çevresel etkilerine kullanılan veri tabanından erişilememiştir. Bazaltın çevresel etkileri Ecoinvent veri tabanından alınıp Ecoinvent veri tabanında bazalt için kullanılan elektrik yerine Türkiye elektriği kullanılmıştır.

Parke taşı ve bordür taşı üretiminde ürünlerin taşınması ve ambalajlanması esnasında kullanılan ahşap paletlerin yapılan literatür araştırmaları doğrultusunda GaBi veri tabanında bulunan %65 nem oranına sahip ladin keresteden üretildiği kabul edilmiştir (Url-8, 2017).

Her bir ürün için tüketilen enerji miktarı tesisten elde edilememiştir. Ancak tesis çalışanları tarafından toplam enerji tüketiminin %10'unun hazır beton üretimine, %25'inin parke taşı üretimine ve %25'inin bordür taşı üretimine harcandığı bilgisi verilmiştir. Çalışmada toplam tüketim üzerinde verilen bu oranlar doğrultusunda hesap yapıp modelleme gerçekleştirilmiştir.

Hazır beton, parke taşı ve bordür taşı üretimi sırasında çıkan tehlikeli atık miktarı çok az olduğundan ve atıkları oluşturan girdilere ait sağlıklı verilere ulaşılamadığından oluşan tehlikeli atık ihmal edilmiştir.



5. MODELLEME SONUÇLARI VE TARTIŞMA

5.1 Hazır Beton Üretiminin Çevresel Etkileri

Hazır beton üretiminde çimento, mıcır, kum, kimyasal madde, taşıma, elektrik, su ve atık bertarafının çevresel etkileri Çizelge 5.1’de verilmiştir. Çizelge 5.2’de Çizelge 5.1’de verilen etkilerin yüzde katkıları özetlenmiştir. Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2’de görüldüğü üzere bu çalışmada tüm etki kategorinde en büyük etkinin çimentodan kaynaklandığı saptanmıştır. Bunun nedeni çimento üretiminin büyük oranda ham madde, kimyasal madde kullanımı ve enerji tüketimi gerektiren bir proses olması ve hazır beton üretiminde büyük oranda çimento kullanılmasıdır (Url-9, 2022).

Çizelge 5.2’de görüldüğü gibi etki kategorisindeki pay açısından çimentonun en düşük katkısı %76 ile AFTP etki kategorisindedir. AETP, TSEP, İTP ve SETP etki kategorilerinde çimentonun etkisi %95’in üzerindedir. OTTP kategorisindeki çevresel etkinin ise neredeyse tamamı çimentodan kaynaklanmaktadır. Çizelge 5.2’de görüldüğü gibi taşımanın AFTP ve ÖP kategorilerinde %12, AP ve FOOP kategorilerinde %7 katkısının olduğu saptanmıştır. Kimyasal madde kullanımının AFTP etki kategorisinde %7, AETP ve ÖP etki kategorilerinde %5 katkısı olduğu gözlemlenmiştir. Elektrik tüketimi ve atık bertarafının çevresel etkileri tüm etki kategorilerinde etkisi %1 veya %1’in altındadır. Kumun çevresel etkisi KEP etki kategorisinde %3 diğer tüm etki kategorilerinde %1 veya %1’in altındadır.

Çizelge 5.4’te bu çalışmadaki hazır betonun çevresel etki değerlendirme sonuçlarının literatürdeki ile karşılaştırılması verilmiştir. Çizelge 5.4’te görüldüğü gibi bu çalışmadaki hazır betonun AFTP, AP, KIP, FOOP değerleri literatürdeki çalışmalardan düşük ve AETP, ÖP, OTTP değerleri yüksektir. Bu farklılıkların nedeninin hazır betonun içeriği ve kullanılan çevresel etki saptama yönteminden kaynakladığı düşünülmektedir.

Çizelge 5.3’te literatür çalışmalarındaki hazır beton içeriklerinin karşılaştırılması m³ başına ağırlıkça ve % ağırlıkça verilmiştir.

Çizelge 5.3'te verilen çalışmalarda hazır betonun çimento içeriği %11 ile %19, agrega içeriği %72 ile %82, su içeriği %7 ile %9 arasında değişmektedir. Literatür çalışmaları incelendiğinde Çizelge 5.3'te görüldüğü gibi 1 m³ hazır betonun farklı ağırlıklarda olduğu görülmektedir. Bu çalışmadaki hazır beton literatür çalışmalarındaki hazır betondan ağırdır (Hossain ve diğ, 2021; ASMI, 2019; Kim ve Tae, 2016). Ayrıca 1 m³ beton için farklı oranlarda çimento ve agrega kullanılmıştır. Örneğin; Hossain ve diğ. (2021) yaptığı çalışmada çimento ağırlıkça %19 iken ASMI (2019)'de %12, Kim ve Tae (2016)'de %13 olarak verilmiştir. Bu çalışmadaki hazır betonun çimento içeriği ise ağırlıkça %12'dir. Hossain ve diğ. (2021) yaptığı çalışmada agrega ağırlıkça %72 iken ASMI (2019)'de %82 Kim ve Tae (2016)'de %80 olarak verilmiştir. Bu çalışmadaki hazır betonun agrega içeriği ise ağırlıkça %81'dir. Bu çalışmadaki hazır betonun kum içeriği ağırlıkça %19'dur. Hossain ve diğ. (2021), ASMI (2019) ve Kim ve Tae (2016)'deki hazır betonun kum içeriği verilmemiştir.

Çizelge 5.1: Hazır betonun çevresel etki değerlendirme sonuçları.

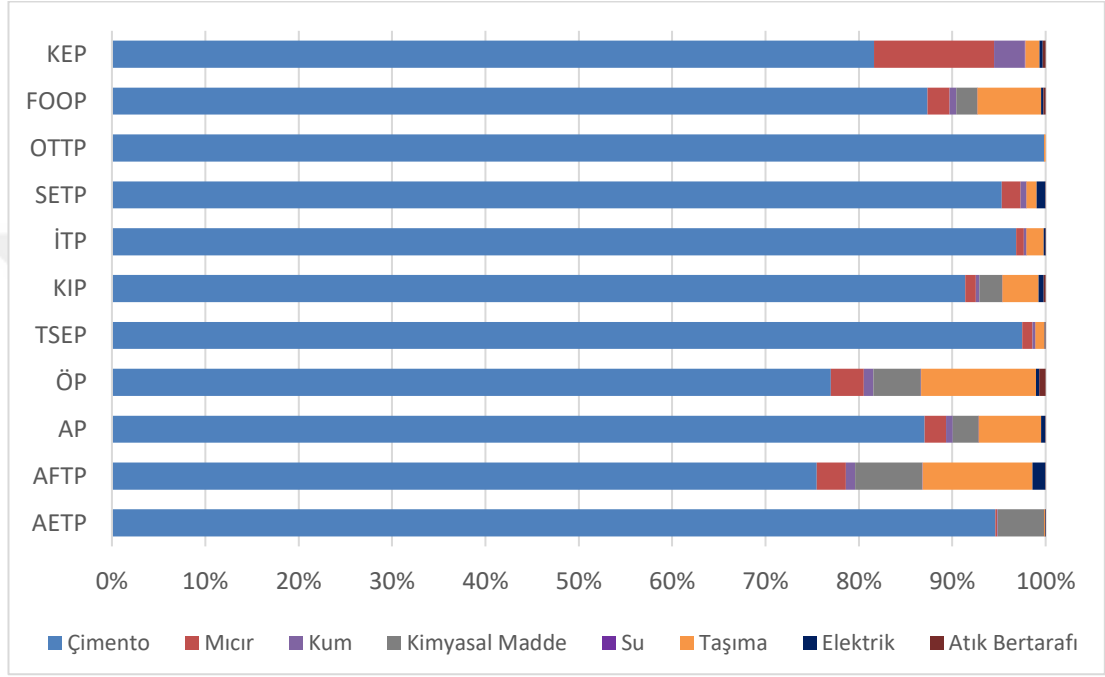
Etki Kategorisi	Toplam	Çimento	Mıcır	Kum	Kimyasal Madde	Su	Taşıma	Elektrik	Atık Bertarafı	Birim
AETP	4,32E-04	4,09E-04	8,80E-07	2,51E-07	2,13E-05	2,85E-08	4,24E-07	3,50E-07	7,71E-09	kg Sb-Eşd.
AFTP	1,28E+03	9,63E+02	3,97E+01	1,25E+01	9,21E+01	3,75E-01	1,50E+02	1,74E+01	5,98E-01	MJ
AP	7,19E-01	6,26E-01	1,67E-02	5,15E-03	1,98E-02	5,66E-05	4,82E-02	3,25E-03	1,70E-04	kg SO ₂ -Eşd.
ÖP	9,11E-02	7,01E-02	3,21E-03	9,56E-04	4,62E-03	2,05E-05	1,12E-02	3,17E-04	6,28E-04	kg Fosfat-Eşd.
TSEP	1,32E+00	1,29E+00	1,47E-02	3,91E-03	-	2,68E-04	1,31E-02	9,39E-04	4,20E-04	kg DCB-Eşd.
KIP	2,77E+02	2,53E+02	3,20E+00	9,93E-01	6,84E+00	2,47E-02	1,07E+01	1,57E+00	5,46E-01	kg CO ₂ -Eşd.
İTP	2,67E+01	2,59E+01	2,26E-01	6,66E-02	-	1,77E-03	4,97E-01	5,46E-02	1,47E-03	kg DCB-Eşd.
SETP	1,73E+04	1,65E+04	3,48E+02	1,08E+02	-	1,69E+00	1,89E+02	1,63E+02	3,97E+00	kg DCB-Eşd.
OTTP	1,23E-05	1,23E-05	3,84E-14	1,19E-14	5,22E-10	2,75E-16	2,14E-08	3,62E-14	1,28E-16	kg R11-Eşd.
FOOP	6,45E-02	5,63E-02	1,52E-03	4,74E-04	1,45E-03	4,51E-06	4,39E-03	1,69E-04	1,55E-04	kg Etan-Eşd.
KEP	3,55E-01	2,90E-01	4,56E-02	1,17E-02	0,00E+00	2,31E-04	5,43E-03	1,22E-03	1,07E-03	kg DCB-Eşd.

Çizelge 5.2: Hazır betonun çevresel etki değerlendirme sonuçlarının yüzdesel dağılımı (%).

Etki Kategorisi	Toplam	Çimento	Mıcır	Kum	Kimyasal madde	Su	Taşıma	Elektrik	Atık bertarafı
AETP	100	95	<1	<1	5	<1	<1	<1	<1
AFTP	100	76	3	<1	7	<1	12	1	<1
AP	100	87	2	<1	3	<1	7	<1	<1
ÖP	100	77	4	1	5	<1	12	<1	<1
TSEP	100	98	1	<1	-	<1	<1	<1	<1
KIP	100	91	1	<1	2	<1	4	<1	<1
İTP	100	97	<1	<1	-	<1	2	<1	<1
SETP	100	95	2	<1	-	<1	1	<1	<1
OTTP	100	100	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
FOOP	100	87	2	<1	2	<1	7	<1	<1
KEP	100	82	13	3	<1	<1	2	<1	<1

Şekil 5.1’de hazır betonun çevresel etki kategorilerine etki eden faktörlerin yüzdeleri verilmiştir. Grafikte çimento, taşıma, mıcır ve kimyasal maddenin diğer faktörlere oranla daha büyük etkiye sahip oldukları gözlemlenmektedir.

Çizelge 5.4’te hazır betonun çevresel etki değerlendirme sonuçlarının literatür ile karşılaştırılması yapılmıştır. Çizelge 5.4’te yer alan tüm çalışmalarla daha doğru karşılaştırabilme adına Traci 2.1 metodu ile yapılan sonuçlara da yer verilmiştir.



Şekil 5.1: Hazır betonun çevresel etki kategorisine etki eden faktörler.

Çizelge 5.3: Hazır betonun malzeme içeriğinin literatür ile karşılaştırılması.

Kaynak	Hossain ve diğ. (2021)		ASMI (2019)		Kim ve Tae (2016)		Bu Çalışma	
Malzeme	(kg/m ³)	% (ağırlık)	(kg/m ³)	% (ağırlık)	(kg/m ³)	% (ağırlık)	(kg/m ³)	% (ağırlık)
Çimento	445	19	251	12	297	13	280	12
Agrega	1650	72	1802	82	1827	80	1980 ¹	81 ¹
Mıcır	-	-	-	-	-	-	1510	62
Su	208	9	153	7	160	7	170	7
Katkı Maddesi	1,69	0	0,84	0	2,6	0	3	0
Kum	-	-	-	-	-	-	470	19
Toplam Ağırlık	2304,7	100	2206,8	100	2286,6	100	2433	100

¹ Tabloda ayrı ayrı verilen kum ve mıcırın değerlerinin toplamıdır.

Çizelge 5.4: Hazır betonun çevresel etki değerlendirme sonuçlarının literatür ile karşılaştırılması (1 m³ beton).

Kaynak							Hossain ve diğ. (2021)		ASMI (2019)	Kim ve Tae (2016)	Url-3 (2020)	Bu Çalışma	
Metot							IMPACT 2002+		Traci 2.1	-	Traci 2.1	CML 2001	Traci 2.1
Sistem Sınırları							a		a	a	a	a	
Fonksiyonel Birim/ Etki Kategorileri	Standart çimento içeren	%30 cüruf içeren	%50 cüruf içeren	%25 uçucu kül içeren	%20 volkanik kül içeren	%30 volkanik kül içeren	Standart çimento içeren	40% uçucu kül içeren					
KIP (kg CO ₂ eşd.)	5,11E+02	4,46E+02	3,66E+02	4,79E+02	4,29E+02	3,85E+02	3,46E+02	2,44E+02	3,09E+02	3,48E+02	2,77E+02	2,76E+02	
ÖP (kg Fosfat eşd.)	-	-	-	-	-	-	-	-	5,21E+00	4,49E-02	9,11E-02	-	
ÖP (kg N eşd.)	-	-	-	-	-	-	4,60E-01	3,40E-01	-	-	-	3,00E-02	
AP (kg SO ₂ eşd.)	-	-	-	-	-	-	1,13+E00	8,60E-01	2,87E+01	6,34E-01	7,19E-01	7,88E-01	
FOOP (kg Etilen eşd.)	-	-	-	-	-	-	-	-	9,08E-01	-	6,45E-02	-	
FOOP (kg O ₃ eşd.)	-	-	-	-	-	-	2,42E+01	1,87E+01	-	1,40E+01	-	1,55E+01	
OTTP (kg R11 eşd.)	-	-	-	-	-	-	9,18E-06	6,60E-06	4,90E-05	2,80E-08	1,23E-05	1,56E-05	

Çizelge 5.4 (devam): Hazır betonun çevresel etki değerlendirme sonuçlarının literatür ile karşılaştırılması (1 m³ beton).

Kaynak							Hossain ve diğ. (2021)		ASMI (2019)	Kim ve Tae (2016)	Url-3 (2020)	Bu Çalışma	
Metot							IMPACT 2002+		Traci 2.1	-	Traci 2.1	CML 2001	Traci 2.1
Sistem Sınırları							a		a	a	a	a	
Fonksiyonel Birim/ Etki Kategorileri	Standart çimento içeren	%30 cüruf içeren	%50 cüruf içeren	%25 uçucu kül içeren	%20 volkanik kül içeren	%30 volkanik kül içeren	Standart çimento içeren	40% uçucu kül içeren					
AETP (kg Sb eşd.)	-	-	-	-	-	-	3,16E-04	2,63E-04	-	1,20E-05	4,32E-04	-	
AFTP (MJ)	-	-	-	-	-	-	2,13E+03	1,60E+03	-	1,50E+03	1,28E+03	-	
AFTP (MJ fazla enerji) ²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,09E+02

a: üretim aşaması (ham madde tedariki, ham maddenin tedarikçiden tesise taşınması, üretim, hazır betonun karıştırılması ve dağıtılması aşamasındaki su kullanımı)

² Bir birim fosil yakıtı çıkarmak için gelecekte gereken ek enerji miktarını belirtir.

5.1.1 Abiyotik Element Tüketme Potansiyeli

Bu çalışmada CML 2001 yöntemi ile saptanan 1 m³ hazır betonun AETP değeri Çizelge 5.1’de görüldüğü gibi 4,32x10⁻⁴ kg Sb eşdeğeri düzeydedir. Literatür çalışmalarında verilen AETP değerlerinin tümü Traci 2.1 ile belirlenmiştir (ASMI 2019; Url-3 2020). Literatürde standart çimento içeren 1 m³ hazır betonun AETP değeri 3,16x10⁻⁴ kg Sb eşd. (ASMI 2019), %40 uçucu kül içeren 1 m³ hazır betonun AETP değeri 2,63x10⁻⁴ kg Sb eşd. (ASMI 2019) ve 1 m³ hazır betonun AETP değeri 1,20x10⁻⁵ kg Sb eşd. (Url-3 2020) olarak verilmiştir. Literatürde uçucu kül içeriğinin artması sonucu AETP değeri azalmıştır (ASMI, 2019). Bu çalışmadaki AETP değerinin literatür çalışmasındaki AETP değerinden fazla olmasının nedeninin Çizelge 5.3’te görüldüğü gibi bu çalışmadaki hazır betonun çimento ve katkı maddesi içeriğinin literatür çalışmasındaki hazır betonun çimento ve katkı maddesi içeriğinden fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (ASMI, 2019). Görüldüğü gibi aynı yöntemin kullanıldığı (Traci 2.1) farklı kaynaklarda farklı AETP değerleri sunulmaktadır. Bu çalışmada saptanan 4,32x10⁻⁴ kg Sb eşd. AETP değeri farklı bir yöntemle elde edilmiştir ve literatürde verilen değerler olan 3,16x10⁻⁴ kg Sb eşd. (ASMI, 2019) ve 1,20x10⁻⁵ kg Sb eşd. (Url-3 2020)’den büyüktür. Aradaki farklılığın hazır betonun içeriğindeki farklılıklar (özellikle çimento içeriği) ve kullanılan çevresel etki saptama yönteminin farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu çalışmada elde edilen AETP değerinin literatür ile uyumlu olmadığı saptanmıştır.

AETP’yi en çok etkileyen faktörlerin çimento ve kimyasal madde olduğu Şekil 5.1’de görülmektedir. Çimento 4,09x10⁻⁴ kg Sb eşd. ile %95 oranında, kimyasal madde 2,13x10⁻⁵ kg Sb eşd. ile %5 oranında AETP’ye etki etmektedir. Mıcır, kum, taşıma, elektrik, su ve atık bertarafının AETP’ye etkisi %1’in altındadır.

Çimento kaynaklı AETP değerinin tamamı yenilenemeyen kaynak olan doğal alçı taşının (kalsiyum sülfat) tüketiminden kaynaklanmaktadır.

5.1.2 Abiyotik Fosil Tükenme Potansiyeli

Bu çalışmada 1 m³ hazır betonun AFTP değeri Çizelge 5.4’te görüldüğü CML 2001 yöntemi ile 1280 MJ, Traci 2.1 yöntemiyle 109 MJ (fazla enerji) saptanmıştır. Aradaki farklılığın nedeni birimlerin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Literatür çalışmalarında verilen AFTP değerlerinin tümü Traci 2.1 yöntemi ile belirlenmiştir

(ASMI 2019; Url-3 2020). Literatürde standart çimento içeren 1 m³ hazır betonun AFTP değeri 2130 MJ (ASMI, 2019), %40 uçucu kül içeren 1 m³ hazır betonun AFTP değeri 1600 MJ (ASMI, 2019) ve 1 m³ hazır betonun AFTP değeri 1500 MJ (Url-3, 2020) olarak verilmiştir. Literatürde uçucu kül içeriğinin artması sonucu AFTP değeri azalmıştır (ASMI, 2019). Literatür çalışmasındaki AFTP değerinin bu çalışmadaki AFTP değerinden fazla olmasının bir nedeninin literatür çalışmasındaki nakliye kaynaklı girdinin bu çalışmadaki nakliye kaynaklı girdinin 1,7 katı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (ASMI, 2019). Bu çalışmada saptanan 1280 MJ AFTP değeri literatürde verilen değerler olan 2130 MJ (ASMI, 2019) ve 1500 MJ (Url-3, 2020)'den küçüktür. Aradaki farklılığın hazır betonun çimento içeriğindeki farklılıklar ve nakliye girdisinin farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu çalışmandan elde edilen AFTP değerinin literatür ile uyumlu olmadığı gözlemlenmiştir.

Modelde AFTP'ye en çok etki eden faktörler sırasıyla çimento, taşıma ve kimyasal maddedir. Çimento 963 MJ, taşıma 150 MJ ve kimyasal madde 92,10 MJ ile AFTP'ye etki etmişlerdir. Çizelge 5.2'de görüldüğü üzere hazır betonun AFTP etkisi üzerinde %75 çimentonun, %12 taşımanın, %7 kimyasal maddenin, %3 mıcırın, %1'den az elektriğin ve %1'den az kumun payları vardır.

Çimento kaynaklı AFTP değerinin tamamı çimento üretimi sırasındaki enerji girdisinden kaynaklanmaktadır. Çimento üretiminde tüketilen enerjinin %44'ünü petrol, %37'sini kömür, %10'unu doğalgaz ve %9'unu linyit oluşturmaktadır. Taşıma kaynaklı AFTP değerinin tamamı enerji girdisinden kaynaklanmaktadır. Taşımada kullanılan enerjinin %93'ü petrol, %7'sini doğalgaz oluşturmaktadır. Mıcır kaynaklı AFTP değerinin tamamı enerji girdisinden kaynaklanmaktadır. Mıcır üretiminde kullanılan enerjinin %56'sı petrol, %22'si doğalgaz, %12'si kömür ve %9'u linyitten oluşmaktadır.

5.1.3 Asidifikasyon Potansiyeli

Bu çalışmada 1 m³ hazır betonun AP değeri Çizelge 5.4'te görüldüğü gibi CML 2001 yöntemiyle 0,72 kg SO₂ eşd., Traci 2.1 yöntemiyle 0,79 kg SO₂ eşd. saptanmıştır. Literatür çalışmalarında verilen AP değerleri Traci 2.1 yöntemi ile belirlenmiştir (ASMI 2019; Url-3 2020). Çizelge 5.4'te yer alan bir literatür çalışmasında standart çimento içeren 1 m³ hazır betonun AP değeri 1,13 kg SO₂ eşd., %40 oranında uçucu kül içeren 1 m³ hazır betonun AP değeri 0,86 kg SO₂ eşd. olarak verilmiştir (ASMI,

2019). Literatürde uçucu kül içeriğinin artması sonucu edilen AP değeri azalmıştır (ASMI, 2019). Literatür çalışmasındaki AP değerinin bu çalışmadaki AP değerinden fazla olmasının bir nedeninin literatür çalışmasındaki nakliye kaynaklı girdinin bu çalışmadaki nakliye kaynaklı girdinin 1,7 katı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (ASMI, 2019). Başka bir çalışmada 1 m³ hazır betonun AP değeri 28,70 kg SO₂ eşd. verilmiş olup bu çalışma ve Çizelge 5.4'te yer alan diğer tüm çalışmaların AP değerinden yüksektir (Kim ve Tae, 2016). Bu literatür çalışmasındaki AP değerinin bu çalışmadaki AP değerinden fazla olmasının nedeninin Çizelge 5.3'te görüldüğü gibi literatür çalışmasındaki hazır betonun çimento içeriğinin bu çalışma ve diğer tüm çalışmalardaki hazır betonun çimento içeriğinden fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Kim ve Tae, 2016). Literatür çalışmasındaki AP değerinin bu çalışmadaki AP değerinden farklı olmasının bir nedeninin de kullanılan etki saptama yönteminin farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir (Kim ve Tae, 2016). Literatürde yer alan diğer bir çalışmada 1 m³ hazır betonun AP değeri 0,63 kg SO₂ eşd. verilmiştir (Url-3, 2020). Literatürdeki bilgi eksikliğinden dolayı farklılığın neden olduğu anlaşılamamıştır (Url-3, 2020). Bu çalışmada saptanan 0,72 kg SO₂ eşd. AP değeri literatürde verilen değerler olan 1,13 kg SO₂ eşd. (ASMI, 2019) ve 28,70 kg SO₂ eşd. (Kim ve Tae, 2016)'den düşüktür. Aradaki farklılığın hazır betonun çimento içeriğindeki farklılıklar, farklı etki saptama yönteminin kullanılması ve nakliye girdisinin farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu çalışmada yer alan hazır betonun AP değeri literatürle uyumludur (Url-3, 2020; ASMI, 2019).

Çimento 0,63 kg SO₂ eşd., taşıma 0,05 kg SO₂ eşd., kimyasal madde 0,02 kg SO₂ eşd. ile AP'ye etki etmişlerdir. Çizelge 5.2'ye bakıldığında AP üzerinde çimentonun %87, taşımanın %7 ve kimyasal maddenin %3 payı vardır. AP üzerinde en çok paya sahip olan çimentonun ve taşımanın etkileri atmosfere verilen inorganik emisyonlardan kaynaklanmaktadır. Çimento kaynaklı AP değerinin %40'ını azot oksit, %56'sını sülfür dioksit oluşturmaktadır. Taşıma kaynaklı AP değerinin %44'ünü azot oksit, %52'sini sülfür dioksit oluşturmaktadır.

5.1.4 Ötrofikasyon Potansiyeli

Çizelge 5.4'te görüldüğü gibi bu çalışmada 1 m³ hazır betonun ÖP değeri CML 2001 yöntemiyle 0,09 kg fosfat eşd., Traci 2.1 yöntemiyle 0,03 kg N eşd. saptanmıştır.

Aradaki farklılığın nedeni birimlerin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Literatür çalışmalarında verilen ÖP değerleri Traci 2.1 yöntemi ile belirlenmiştir (ASMI 2019; Url-3 2020). Literatür çalışmasında 1 m³ hazır betonun ÖP değeri 0,04 kg fosfat eşd. olarak verilmiştir (Url-3, 2020). Çizelge 5.4'te görüldüğü gibi aynı yöntemin kullanıldığı (Traci 2.1) farklı kaynaklarda farklı ÖP değerleri sunulmaktadır. Literatürde ÖP değeri Traci 2.1 yöntemiyle fosfat eşdeğeri cinsinden verilmiştir. Bu çalışmada saptanan ÖP değeri Traci 2.1 ile N eşd., CML 2001 yöntemi ile fosfat eşd. cinsinden saptanmıştır. Dolayısıyla bu çalışmada her iki yöntem ile ÖP değeri saptansa da literatür çalışması CML 2001 yöntemi ile saptanan değer ile kıyaslanmıştır. Bu çalışmada saptanan ÖP değeri literatürde verilen değerden daha büyüktür (Url-3, 2020). Başka bir çalışmada 1 m³ hazır betonun ÖP değeri 5,21 kg fosfat eşd. verilmiş olup Çizelge 5.4'te yer alan tüm çalışmaların ÖP değerinden yüksektir (Kim ve Tae, 2016). Literatür çalışmasındaki ÖP değerinin bu çalışmadaki ÖP değerinden fazla olmasının nedeninin Çizelge 5.3'te görüldüğü gibi literatür çalışmasındaki hazır betonun çimento içeriğinin bu çalışmadaki hazır betonun çimento içeriğinden fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Kim ve Tae, 2016). Literatür çalışmasındaki ÖP değerinin bu çalışmadaki ÖP değerinden farklı olmasının bir nedeninin de kullanılan etki saptama yönteminin farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir (Kim ve Tae, 2016). Bir başka literatür çalışmasına bakıldığında standart çimento içeren 1 m³ hazır betonun ÖP değeri 0,46 kg N eşd., %40 oranında uçucu kül içeren 1 m³ hazır betonun ÖP değeri 0,34 N eşd. olarak verilmiştir (ASMI, 2019). Literatürde uçucu kül içeriğinin artması sonucu ÖP değeri azalmıştır (ASMI, 2019). Literatür çalışmasındaki ÖP değerinin bu çalışmadaki ÖP değerinden fazla olmasının bir nedeninin literatür çalışmasındaki nakliye kaynaklı girdinin bu çalışmadaki nakliye kaynaklı girdinin 1,7 katı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (ASMI, 2019). Bu çalışmada CML 2001 yöntemiyle saptanan 0,09 kg fosfat eşd. ÖP değeri literatürde verilen değer olan 5,21 kg fosfat eşd. (Kim ve Tae, 2016) ve Traci yöntemiyle saptanan 0,03 kg N eşd. ÖP değeri literatürde verilen değer olan 0,46 kg N eşd. (ASMI, 2019)'den düşüktür. Aradaki farklılığın hazır betonun çimento içeriğindeki farklılıklar, nakliye kaynaklı girdi ve kullanılan çevresel etki saptama yönteminin farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu çalışmada yer alan hazır betonun ÖP değerinin literatürdeki çalışmalarla uyumlu olmadığı saptanmıştır.

Modelde ÖP'ye en çok etki eden faktörler sırasıyla 0,07 kg fosfat eşd. ile çimento, 0,01 kg fosfat eşd. ile taşıma, 0,005 kg fosfat eşd. ile kimyasal madde ve 0,003 kg fosfat eşd. ile mıcırır. Çizelge 5.2'de görüldüğü üzere çimento %77, taşıma %12, kimyasal madde %5 ve mıcır %4 ile ÖP'ye etki etmişlerdir. Çimentonun ÖP değerinin %99'unu atmosfere verilen inorganik emisyonlar %1'ini temiz suya verilen emisyonlar oluşturur. Bu emisyonların %94'ü azot oksit, %6'sı amonyak kaynaklıdır. Taşıma kaynaklı ÖP değerinin %99'unu azot oksit oluşturmaktadır. Mıcır kaynaklı ÖP değerinin %93'ünü atmosfere verilen emisyonlar, %7'sini temiz suya verilen emisyonlar oluşturmaktadır. Atmosfere verilen bu emisyonların %89'u azot oksit %2'si amonyak kaynaklıdır.

5.1.5 Tatlı Su Ekotoksosite Potansiyeli

Bu çalışmada 1 m³ hazır betonun TSEP değeri CML 2001 yöntemi ile Çizelge 5.1'de görüldüğü gibi 1,32 kg DCB eşdeğeri olarak saptanmış. Literatürde bu değere rastlanmadığından karşılaştırılma yapılamamaktadır.

Çizelge 5.2'de görüldüğü gibi çimento 1,29 kg DCB eşd. ile %98 oranında TSEP'e etki etmektedir. Mıcırın TSEP'e etkisi %1'dir. Kum, su, taşıma, elektrik ve atık bertarafının TSEP'e etkisi %1'in altındadır. Hazır betonun TSEP üzerinde en çok pay sahibi olan çimentonun etkisi %92'si temiz suya verilen emisyonlardan, %8'i atmosfere verilen emisyonlardan kaynaklanmaktadır. Temiz suya verilen emisyonların %96'sını organik emisyonlar, atmosfere verilen emisyonların %89'unu ağır metaller oluşturmaktadır.

5.1.6 Küresel Isınma Potansiyeli

Bu çalışmada 1 m³ hazır betonun KIP değeri Çizelge 5.4'te görüldüğü üzere CML 2001 yöntemi ile 276,87 kg CO₂ eşd., Traci 2.1 yöntemiyle 276 kg CO₂ eşd. olarak saptanmıştır. Literatür çalışmalarında verilen KIP değerleri Traci 2.1 (ASMI 2019; Url-3 2020) ve IMPACT 2002+ (Hossain ve diğ, 2021) yöntemleri ile belirlenmiştir). Literatürde standart çimento içeren 1 m³ hazır betonun 511 kg CO₂ eşd., %30 cüruf içeren 1 m³ hazır betonun 446 kg CO₂ eşd., %50 cüruf içeren 1 m³ hazır betonun 366 kg CO₂ eşd., %25 uçucu kül içeren 1 m³ hazır betonun 479 kg CO₂ eşd., %20 volkanik kül içeren 1 m³ hazır betonun 429 kg CO₂ eşd., %30 volkanik kül içeren 1 m³ hazır betonun 385 kg CO₂ eşd. KIP değerlerine sahip olduğu verilmiştir (Hossain ve diğ, 2021). Çimento içeriğinin azaltılarak yerine cüruf, uçucu kül ve volkanik kül

kullanılması elde edilen KIP değerini azaltmıştır (Hossain ve diğ, 2021). Literatür çalışmasındaki hazır betonun KIP değerinin bu çalışmadan fazla olmasının nedeni Çizelge 5.3'te görüldüğü gibi literatür çalışmasındaki hazır betonun çimento içeriğinin bu çalışmadaki hazır betonun çimento içeriğinden fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Hossain ve diğ, 2021). Literatür çalışmasındaki KIP değerinin bu çalışmadaki KIP değerinden farklı olmasının diğer bir nedeninin kullanılan çevresel etki saptama yönteminin farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir (Hossain ve diğ, 2021). Bir başka çalışmada standart çimento içeren 1 m³ hazır beton için 346 kg CO₂ eşd., %40 oranında uçucu kül içeren 1 m³ hazır beton için 244 kg CO₂ eşd. KIP değerlerinin elde edildiği görülmektedir (ASMI,2019). Literatürde uçucu kül içeriğinin artması sonucu KIP değeri azalmıştır (ASMI, 2019). Literatür çalışmasındaki KIP değerinin bu çalışmadaki KIP değerinden fazla olmasının bir nedeninin literatür çalışmasındaki nakliye kaynaklı girdinin bu çalışmadaki nakliye kaynaklı girdinin 1,7 katı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (ASMI, 2019). Literatür çalışmasında %40 oranında cüruf içeren 1 m³ hazır betonun KIP değerinin bu çalışmadaki hazır betonun KIP değerinden düşük olmasının nedeninin ise %40 oranında cüruf içeren 1 m³ hazır betonun çimento içeriğinin bu çalışmadaki hazır betonun çimento içeriğinden düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (ASMI, 2019). Kim ve Tae (2016) yaptığı çalışmada 1 m³ hazır beton için 309 kg CO₂ eşd. elde etmişlerdir. Literatürdeki KIP değerinin bu çalışmadakinden fazla olmasının nedeninin Çizelge 5.3'te görüldüğü gibi literatürdeki hazır betonun çimento içeriğinin bu çalışmadaki hazır betonun çimento içeriğinden fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Kim ve Tae, 2016). Literatür çalışmasındaki KIP değerinin bu çalışmadaki KIP değerinden farklı olmasının bir nedeninin de kullanılan etki saptama yönteminin farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir (Kim ve Tae, 2016). Bir diğer çalışmada 1 m³ hazır betonun 348 kg CO₂ eşd. KIP değeri olduğu verilmiştir (Url-3, 2020). Literatürdeki bilgi eksikliğinden dolayı farklılığın neden olduğu anlaşılamamıştır (Url-3, 2020). Bu çalışmada elde edilen 276,87 kg CO₂ eşd. KIP değeri literatürde verilen değerler olan 511 kg CO₂ eşd. (Hossain ve diğ, 2021), 346 kg CO₂ eşd. (ASMI, 2019), 309 kg CO₂ eşd. (Kim ve Tae, 2016) ve 348 kg CO₂ eşd. (Url-3, 2020)'den düşüktür. Bu farklılığın nedeninin bu çalışmadaki hazır betonun çimento içeriğinin literatürdeki çalışmalardaki hazır betonun çimento içeriğinden (Hossain ve diğ, 2021; Kim ve Tae, 2016) düşük olması ve literatürdeki (ASMI, 2019) nakliye girdisinin bu çalışmadan yüksek olmasından ve çevresel etki saptama yönteminin farklılığından kaynaklandığı

düşünülmektedir. Çalışmada saptanan KIP değeri literatür ile uyumludur (Kim ve Tae, 2016).

Çizelge 5.2’de görüldüğü üzere hazır betonun KIP değeri üzerinde çimentonun %91, taşımanın %4 ve kimyasal maddenin %2 payları vardır. Hazır betonun KIP üzerinde en çok pay sahibi olan çimentonun etkisi %98’i atmosfere verilen inorganik emisyonlardan, %2’si ise atmosfere verilen organik emisyonlardan kaynaklanmaktadır. Atmosfere verilen emisyonların %98’ini karbon dioksit %2’sini metan oluşturmaktadır.

5.1.7 İnsana Toksisite Potansiyeli

Bu çalışmada 1 m³ hazır betonun İTP değeri CML 2001 yöntemi ile Çizelge 5.1’de görüldüğü gibi 26,7 kg DCB eşdeğeri olarak saptanmıştır. Literatürde bu değere rastlanmadığından karşılaştırılma yapılamamaktadır.

Çizelge 5.2’de görüldüğü gibi çimento 1,65x10⁴ kg DCB eşd. ile %95 oranında İTP değerine etki etmektedir. Taşımanın İTP’ye etkisi %2’dir. Mıcır, kum, su, elektrik ve atık bertarafının İTP’ye etkisi %1’in altındadır. Hazır betonun İTP üzerinde en çok pay sahibi olan çimentonun etkisi %44’ü temiz suya verilen organik emisyonlardan, %13’ü atmosfere verilen ağır metallerden, %7’si atmosfere verilen inorganik emisyonlardan, %35’i atmosfere verilen organik emisyonlardan kaynaklanmaktadır. Temiz suya verilen emisyonların %99’unu polisiklik aromatik hidrokarbonlar oluşturmaktadır.

5.1.8 Sucul Ekotoksisite Potansiyeli

Bu çalışmada 1 m³ hazır betonun SETP değeri CML 2001 yöntemi ile Çizelge 5.1’de görüldüğü gibi 1,73x10⁴ kg DCB eşdeğeri olarak saptanmıştır. Literatürde bu değere rastlanmadığından karşılaştırılma yapılamamaktadır.

Çizelge 5.2’de görüldüğü gibi çimento 1,65x10⁴ kg DCB eşd. ile %95 oranında SETP değerine etki etmektedir. Mıcırın SETP’ye etkisi %2’dir. Taşımanın SETP’ye etkisi %1’dir. Kum, su, elektrik ve atık bertarafının SETP’ye etkisi %1’in altındadır. Hazır betonun SETP üzerinde en çok pay sahibi olan çimentonun etkisi %99 oranında atmosfere verilen emisyonlardan kaynaklanmaktadır. Atmosfere verilen emisyonların %5’ini ağır metaller, %95’ini hidrojen florid oluşturmaktadır.

5.1.9 Ozon Tabakası İncelmesi Potansiyeli

Bu çalışmada 1 m³ hazır betonun OTTP değeri Çizelge 5.4'te görüldüğü gibi CML 2001 yöntemi ile 1,23x10⁻⁵ kg R11 eşdeğeri, Traci 2.1 yöntemi ile 1,56x10⁻⁵ kg R11 eşdeğeri olarak saptanmıştır. Literatür çalışmalarında verilen OTTP değerleri Traci 2.1 yöntemi ile belirlenmiştir (ASMI 2019; Url-3 2020). Literatür çalışmasında standart çimento içeren 1 m³ hazır betonun OTTP değeri 9,18x10⁻⁶ kg R11 eşd., %40 oranında uçucu kül içeren 1 m³ hazır betonun OTTP değeri 6,60x10⁻⁶ kg R11 eşd. olarak verilmiştir (ASMI, 2019). Litaratürde uçucu kül içeriğinin artması sonucu OTTP değeri azalmıştır (ASMI, 2019). Literatür çalışmasında hazır betonun OTTP değerinin yapılan bu çalışmadaki hazır betonun OTTP değerinden düşük olmasının nedeninin, OTTP değerinin neredeyse tamamının çimento kaynaklı olması ve literatür çalışmasında yer alan hazır betonun çimento içeriğinin bu çalışmadaki hazır betonun çimento içeriğinden daha düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (ASMI, 2019). Başka bir çalışmada 1 m³ hazır betonun OTTP değeri 4,90 x10⁻⁵ kg R11 eşdeğeri düzeydedir. (Kim ve Tae, 2016). Çizelge 5.3'te görüldüğü gibi Kim ve Tae (2016) yaptığı çalışmadaki hazır betonun çimento içeriğinin bu çalışmadaki hazır betonun çimento içeriğinden fazla olduğu için OTTP değerinin bu çalışmada elde edilen OTTP değerinden yüksek olduğu düşünülmektedir. Literatür çalışmasındaki OTTP değerinin bu çalışmadaki OTTP değerinden farklı olmasının bir nedeninin de kullanılan etki saptama yönteminin farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir (Kim ve Tae, 2016). Diğer bir literatür çalışmasında ise 1 m³ hazır betonun OTTP değeri 6,60x10⁻⁶ kg R11 eşd. verilmiştir (Url-3, 2020). Literatürdeki bilgi eksikliğinden dolayı farklılığın neden olduğu anlaşılamamıştır (Url-3, 2020). Bu çalışmada yer alan hazır betonun 1,23x10⁻⁵ kg R11 eşd. OTTP değeri literatürde verilen değerler olan 9,18x10⁻⁶ kg R11 eşd. (ASMI, 2019) ve 6,60x10⁻⁶ kg R11 eşd. (Url-3, 2020)'den yüksektir. Aradaki farklılığın nedeninin hazır betonun içeriğindeki farklılıklardan (özellikle çimento içeriği) ve çevresel etki saptama yönteminin farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Modelde OTTP değerinin neredeyse tamamının çimentodan kaynaklandığı saptanmıştır. Çimentonun OTTP değerinin tamamı atmosfere verilen organik emisyonlardan oluşturur. Bu emisyonların %74'ü bromotriflorometan, %12'si trikloroflorometan ve %11'i diklorotetrafloraetan kaynaklıdır.

5.1.10 Fotokimyasal Oksidan Oluşumu Potansiyeli

Bu çalışmada 1 m³ hazır betonun FOOP değeri Çizelge 5.4'te görüldüğü gibi CML 2001 yöntemiyle 0,06 kg etilen eşdeğeri, Traci 2.1 yöntemiyle 15,5 kg O₃ eşdeğeri olarak saptanmıştır. Aradaki farklılığın nedeni birimlerin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Literatür çalışmalarında verilen FOOP değerleri Traci 2.1 yöntemi ile belirlenmiştir (ASMI 2019; 2016; Url-3 2020). Literatür çalışmasında 1 m³ hazır betonun FOOP değeri 0,908 kg etilen eşd. olarak verilmiştir (Kim ve Tae, 2016). Literatür çalışmasında elde edilen FOOP değerinin bu çalışmada elde edilen FOOP değerinden fazla olmasının nedeninin Çizelge 5.3'te görüldüğü gibi literatür çalışmasındaki hazır betonun çimento içeriğinin bu çalışmadaki hazır betonun çimento içeriğinden fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Kim ve Tae, 2016). Literatür çalışmasındaki FOOP değerinin bu çalışmadaki FOOP değerinden farklı olmasının bir nedeninin de kullanılan etki saptama yönteminin farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir (Kim ve Tae, 2016). Bir başka literatür çalışmasında standart çimento içeren 1 m³ hazır betonun FOOP değeri 24,2 kg O₃ eşd., %40 uçucu kül içeren 1 m³ hazır betonun FOOP değeri 18,7 kg O₃ eşd. olarak verilmiştir (ASMI, 2019). Literatürde uçucu kül içeriğinin artması sonucu FOOP değeri azalmıştır (ASMI, 2019). Literatür çalışmasındaki FOOP değerinin bu çalışmadaki FOOP değerinden fazla olmasının bir nedeninin literatür çalışmasındaki nakliye kaynaklı girdinin bu çalışmadaki nakliye kaynaklı girdinin 1,7 katı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (ASMI, 2019). Literatürde yer alan bir diğer çalışmada ise 1 m³ hazır betonun FOOP değeri 14 kg O₃ eşd. verilmiştir (Url-3, 2020). Literatürdeki bilgi eksikliğinden dolayı farklılığın neden olduğu anlaşılamamıştır (Url-3, 2020). Bu çalışmada CML 2001 yöntemi ile elde edilen 0,06 kg etilen eşd. FOOP değeri literatürde verilen değer olan 0,908 kg etilen eşd. (Kim ve Tae, 2016) ve Traci 2.1 yöntemiyle elde edilen 15,5 kg O₃ eşd. FOOP değeri literatürde verilen değer olan 24,2 kg O₃ eşd. (ASMI, 2019)'den daha düşüktür. Bu farklılığın nedeninin bu çalışmadaki hazır betonun çimento içeriğinin literatürdekinden (Kim ve Tae, 2016) düşük olması, çevresel etki saptama yönteminin farklılığından ve literatürdeki çalışmada (ASMI, 2019) nakliye girdisinin bu çalışmadan yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

FOOP değerinin %87'sini çimento, %7'sini taşıma, %2'sini mıcır ve kimyasal madde oluşturur. Çimentonun FOOP değerinin tamamını atmosfere verilen inorganik

emisyonlar oluşturur. Bu emisyonların %79'u inorganik %21'i organik emisyonlardır. Atmosfere verilen bu emisyonların %29'unu karbon monoksit, %25'ini azot oksit, %25'ini sülfür dioksit ve %20'sini metan içermeyen uçucu organik bileşikler oluşturur. Taşıma kaynaklı FOOP değerinin %72'si inorganik %28'i organik emisyon kaynaklıdır. Atmosfere verilen bu emisyonların %12'sini karbon monoksit, %54'ünü azot oksit, %5'ini sülfür dioksit, %27'sini metan içermeyen uçucu organik bileşikler oluşturmaktadır.

5.1.11 Karasal Ekotoksisite Potansiyeli

Bu çalışmada 1 m³ hazır betonun KEP değeri CML 2001 yöntemi ile Çizelge 5.1'de görüldüğü gibi 0,355 kg DCB eşdeğeri olarak saptanmıştır. Literatürde bu değere rastlanmadığından karşılaştırılma yapılamamaktadır.

Çizelge 5.2'de görüldüğü gibi çimento 0,29 kg DCB eşd. ile %82, mıcır 0,0456 kg DCB eşd. ile %13, kum 0,0117 kg DCB eşd. ile %3 oranında KEP değerine etki etmektedir. Taşımanın KEP değerine etkisi %2'dir. Kimyasal madde, su, elektrik ve atık bertarafının KEP'e etkisi %1'in altındadır. Hazır betonun KEP üzerinde en çok pay sahibi olan çimentonun etkisi %99 oranında havaya verilen ağır metallerden kaynaklanmaktadır. KEP üzerinde ikincil büyüklükte paya sahip olan mıcırın etkisi %79 oranında havaya, %21 oranında toprağa verilen ağır metallerden kaynaklanmaktadır. Kumun etkisi de %95 oranında havaya, %5 oranında toprağa verilen ağır metallerden kaynaklanmaktadır.

5.2 Parke Taşı Üretiminin Çevresel Etkileri

Parke taşı üretiminde çimento, mıcır, kum, kimyasal madde, polietilen film, taşıma, elektrik ve atık bertarafının çevresel etkileri Çizelge 5.5'te verilmiştir. Diğer girdiler olarak verilen grupta şebeke suyu, cila, bazalt, oniks ve ahşap bulunmaktadır. Çizelge 5.6'da Çizelge 5.5'te verilen etkilerin yüzde katkıları özetlenmiştir. . Tüm etki kategorinde en büyük etkinin çimentodan kaynaklandığı saptanmıştır. Bunun nedeni çimento üretiminin büyük oranda ham madde ve kimyasal madde kullanımı, enerji ve yakıt tüketimi gerektiren bir proses olması ve parke taşı üretiminde büyük oranda çimento kullanılmasıdır (Url-9, 2022). Etki kategorisindeki pay açısından çimentonun en düşük katkısı %70 ile AFTP etki kategorisindedir. OTTP kategorisindeki çevresel etkinin ise neredeyse tamamı çimentodan kaynaklanmaktadır. Çimentonun AETP,

TSEP ve İTP etki kategorilerinde etkisi %95'in, AP, ÖP, KIP, SETP, FOOP ve KEP etki kategorilerinde %80'in üzerindedir.

Taşımanın ÖP kategorisinde %9, AFTP kategorisinde %8, AP ve FOOP kategorilerinde %5 katkısının olduğu saptanmıştır. Kimyasal madde kullanımının AFTP etki kategorisinde %4, ÖP etki kategorilerinde %2 katkısı olduğu gözlemlenmiştir. Elektrik tüketiminin AFTP değerindeki payı %8, SETP değerindeki payı %6, AP ve KIP değerlerindeki payı %3'tür. Parke taşının KEP değerinde mıcırın etkisi %6, kumun etkisi %4'tür. Polietilen filmin AFTP değerine etkisi %6'dır. Diğer girdiler ve atık bertarafının çevresel etkileri tüm etki kategorilerinde %1 veya %1'in altındadır. Kumun çevresel etkisi KEP etki kategorisinde %3 diğer tüm etki kategorilerinde %1 veya %1'in altındadır.

Çizelge 5.8'de parke taşının çevresel etki değerlendirme sonuçlarının literatür ile karşılaştırılması verilmiştir. Çizelge 5.8'de görüldüğü gibi bu çalışmadaki parke taşının AFTP, AFTP, AP, KIP, FOOP değerleri literatürdekinden düşük ve ÖP, İTP, OTTP değerleri yüksektir. Bu farklılıkların nedeninin sistem sınırları, parke taşının içeriği (özellikle çimento, mıcır ve katkı maddesi), kullanılan etki saptama yönteminin farklılığı olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 5.8'de görülen Oliver-Solà ve diğ. (2009) yaptığı çalışmada 1 m² lik kaldırımda kullanılan parke taşı yüksekliği 6 cm verilmiştir. Literatür çalışmasında verilen veriler ($100/6 = 16,67$) 16,67 ile çarpılarak 1 m³ parke taşı içeren kaldırım yolu için çevresel etkiler hesaplanmıştır. Çizelge 5.8'de 1 m³ parke taşı içeren kaldırım yolu için hesaplanan bu değerler yazılmıştır.

Çizelge 5.7'de literatürde verilen 1 m³ beton parke taşının içeriğinin karşılaştırılması m³ başına, ton başına ve % ağırlıkça verilmiştir. Hossain ve diğ. (2015) yaptığı çalışmada parke taşının içerdiği malzemeler ton başına yüzdelik olarak verilmiştir. Verilen yüzdelikler 1 ton ile çarpılarak 1 ton başına malzeme miktarları hesaplanıp tabloya eklenmiştir. Çizelge 5.7'de 1 ton başına hesaplanan bu değerler yazılmıştır. Oliver-Solà ve diğ. (2009) yaptığı çalışmada 1 m² lik kaldırımda kullanılan parke taşı yüksekliği 6 cm verilmiştir. Veriler ($100/6 = 16,67$) 16,67 ile çarpılarak 1 m³ parke taşı içeren kaldırım yolu için kullanılan malzeme miktarları hesaplanmıştır. Çizelge 5.7'de 1 m³ parke taşı içeren kaldırım yolu için hesaplanan bu değerler yazılmıştır.

Literatür çalışmalarına bakıldığında Çizelge 5.7’de görüldüğü gibi parke taşının çimento içeriği %8 ile %18, agrega içeriği %81 ile %91, kum içeriği %17 ile %42, su %4 ile %6 arasında değişmektedir. Literatür çalışmaları incelendiğinde Çizelge 5.7’de görüldüğü gibi parke taşların farklı ağırlıklarda olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmadaki parke taşı genel olarak literatürdeki parke taşlarından hafiftir (Oliver-Solà ve diğ., 2009; Url-2, 2019). Ayrıca 1 m³ başına farklı oranlarda çimento, agrega ve su kullanılmıştır. Örneğin; Hossain ve diğ. (2015) yaptığı çalışmada çimento ağırlıkça %17 iken Oliver-Solà ve diğ. (2009)’de %8, Url-5 (2015)’de %12, Url-2 (2019)’de %17 olarak verilmiştir. Bu çalışmadaki parke taşının çimento içeriği ise ağırlıkça %18’dir. Hossain ve diğ. (2015) yaptığı çalışmada agrega ağırlıkça %84 iken Oliver-Solà ve diğ. (2009)’de %91, Url-5 (2015)’de %84, Url-2 (2019)’de %83 olarak verilmiştir. Bu çalışmadaki parke taşının agrega içeriği ise ağırlıkça %81’dir. Hossain ve diğ. (2015) yaptığı çalışmada kum ağırlıkça %42 iken Oliver-Solà ve diğ. (2009)’de %17 olarak verilmiştir. Url-5 (2015) ve Url-2 (2019)’de agreganın içindeki kum miktarı verilmemiştir. Bu çalışmadaki parke taşının kum içeriği ise ağırlıkça %38’dir.

Çizelge 5.5: Parke taşı çevresel etki değerlendirme sonuçları.

Etki Kategorisi	Toplam	Çimento	Mıcır	Kum	Kimyasal madde	Polietilen film	Diğer girdiler ³	Taşıma	Elektrik Tüketimi	Atık Bertarafı	Birim
AETP	6,55E-04	6,42E-04	6,18E-07	4,91E-07	3,34E-06	4,78E-07	3,83E-06	4,57E-07	3,41E-06	3,37E-08	kg Sb Eşd.
AFTP	2,15E+03	1,51E+03	2,79E+01	2,45E+01	8,85E+01	1,35E+02	3,16E+01	1,62E+02	1,70E+02	1,24E+00	MJ
AP	1,13E+00	9,84E-01	1,17E-02	1,01E-02	8,88E-03	2,15E-02	7,55E-03	5,21E-02	3,16E-02	5,59E-04	kg SO ₂ Eşd.
ÖP	1,35E-01	1,10E-01	2,25E-03	1,87E-03	3,13E-03	1,22E-03	1,70E-03	1,21E-02	3,09E-03	6,30E-05	kg Fosfat Eşd.
TSEP	2,09E+00	2,02E+00	1,03E-02	7,65E-03	0,00E+00	2,37E-03	2,49E-02	1,42E-02	9,15E-03	3,91E-04	kg DCB Eşd.
KIP	4,41E+02	3,97E+02	2,25E+00	1,94E+00	5,72E+00	4,42E+00	2,40E+00	1,16E+01	1,53E+01	9,56E-02	kg CO ₂ Eşd.
İTP	4,22E+01	4,07E+01	1,59E-01	1,30E-01	0,00E+00	3,75E-02	1,22E-01	5,36E-01	5,32E-01	4,83E-03	kg DCB Eşd.
SETP	2,88E+04	2,60E+04	2,44E+02	2,12E+02	0,00E+00	3,11E+02	2,33E+02	2,04E+02	1,59E+03	1,98E+01	kg DCB Eşd.
OTTP	1,94E-05	1,94E-05	2,70E-14	2,34E-14	6,99E-10	0,00E+00	1,56E-08	2,31E-08	3,52E-13	4,80E-16	kg R11 Eşd.
FOOP	1,01E-01	8,84E-02	1,07E-03	9,28E-04	9,48E-04	2,48E-03	3,89E-04	4,74E-03	1,65E-03	4,21E-05	kg Etilen Eşd.
KEP	5,35E-01	4,56E-01	3,20E-02	2,30E-02	0,00E+00	2,34E-04	3,97E-03	5,86E-03	1,19E-02	2,52E-03	kg DCB Eşd.

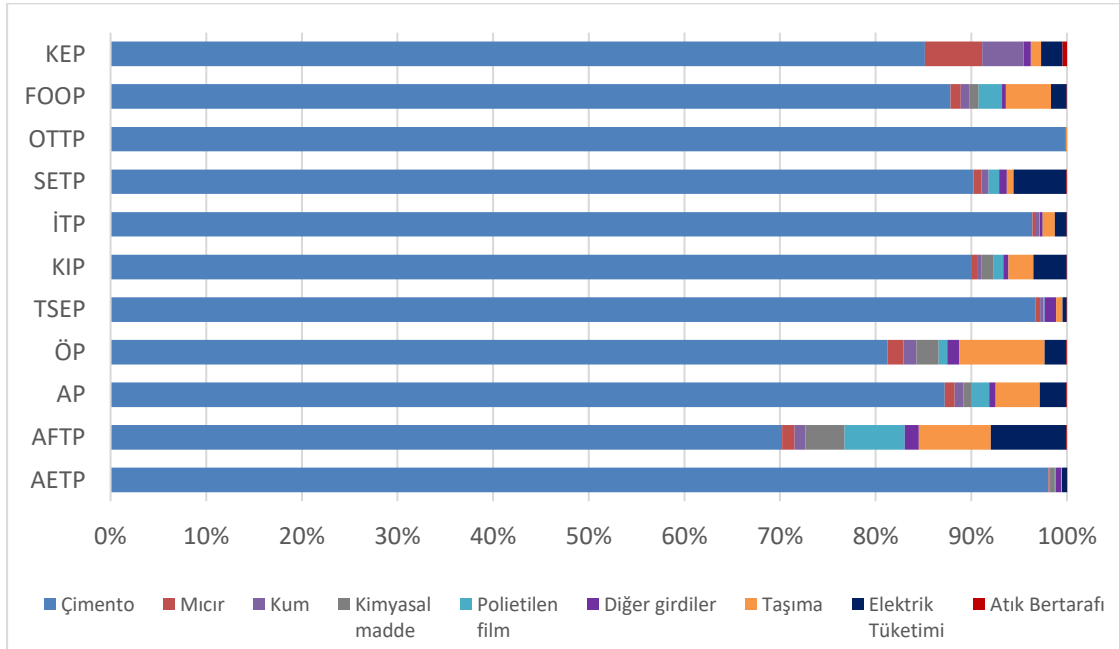
³ Diğer girdiler olarak verilen grupta şebeke suyu, cila, bazalt, oniks ve ahşap bulunmaktadır.

Çizelge 5.6: Parke taşının çevresel etki değerlendirme sonuçlarının yüzdesel dağılımı (%).

Etki Kategorisi	Toplam	Çimento	Mıcır	Kum	Kimyasal madde	Polietilen film	Diğer girdiler	Taşıma	Elektrik Tüketimi	Atık Bertarafı
AETP	100	98	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
AFTP	100	70	1	1	4	6	1	8	8	<1
AP	100	87	1	<1	<1	2	<1	5	3	<1
ÖP	100	81	2	1	2	<1	1	9	2	<1
TSEP	100	97	<1	<1	-	<1	1	<1	<1	<1
KIP	100	90	<1	<1	1	1	<1	3	3	<1
İTP	100	96	<1	<1	-	<1	<1	1	1	<1
SETP	100	90	<1	<1	-	1	<1	<1	6	<1
OTTP	100	100	<1	<1	<1	-	<1	<1	<1	<1
FOOP	100	88	1	<1	<1	2	<1	5	2	<1
KEP	100	85	6	4	-	<1	<1	1	2	<1

Şekil 5.2’de parke taşının çevresel etki kategorilerine etki eden faktörlerin yüzdeleri verilmiştir. Grafikte çimento, taşıma, mıcır, kimyasal madde ve elektriğin diğer faktörlere oranla daha büyük etkiye sahip oldukları gözlemlenmektedir. Çimento etkisinin her kategoride önemli ölçüde yüksek olduğu göz önünde bulundurulursa, parke taşı üretimindeki çimento kullanımı azaltılması veya yerine daha az çevresel etkiye sahip bir malzeme kullanılması parke taşının çevresel etkisini büyük oranda azaltacaktır.

Çizelge 5.8’de parke taşının çevresel etki değerlendirme sonuçlarının literatür ile karşılaştırılması yapılmıştır. Çizelge 5.8’de yer alan tüm çalışmalarla daha doğru karşılaştırabilme adına Traci 2.1 metodu ile yapılan sonuçlara da yer verilmiştir.



Şekil 5.2: Parke taşının çevresel etki kategorisine etki eden faktörler.

Çizelge 5.7: Parke taşının malzeme içeriğinin literatür ile karşılaştırılması.

Kaynak	Hossain ve diğ. (2015)		Oliver-Solà ve diğ. (2009)		Url-5 (2015)		Url-2 (2019)		Bu Çalışma		
Malzeme	(kg/ton)	% (ağırlık)	(kg/m ³)	% (ağırlık)	(kg/m ³)	% (ağırlık)	(kg/m ³)	% (ağırlık)	(kg/m ³)	(kg/ton)	% (ağırlık)
Çimento	200	17	250	8	294	12	440	17	440	180	18
Uçucu kül	-	-	-	-	77	3	-	-	-	-	-
Agrega	1000 ⁴	84 ⁴	2649 ⁴	91 ⁴	2008	84	2200	83	1980 ⁴	810 ⁴	81 ⁴
Mıcır	500	42	2149	74	-	-	-	-	1060	430	43
Bazalt	-	-	-	-	-	-	-	-	20	7	1
Oniks	-	-	-	-	-	-	-	-	10	2	0
Cila	-	-	-	-	-	-	-	-	0,104	0,04	0
Su	- ⁵	-	136	5	15	1	155	6	110	50	4
Katkı maddesi	1-2	0	3,75	0	5	0	- ⁶	-	3,04	1	0
Demir oksit	4-12	0-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kum	500	42	500	17	-	-	-	-	920	380	38
Toplam Ağırlık	1205-1214	100	2902	100	2384	100	2640	100	2453	1000	100

⁴ Tabloda ayrı ayrı verilen kum ve mıcırın değerlerinin toplamıdır.

⁵ Çalışmada su kullanılmıştır ancak miktarı verilmemiştir.

⁶ Çalışmada kimyasal madde kullanılmıştır ancak miktarı verilmemiştir.

Çizelge 5.8: Parke taşının çevresel etki değerlendirme sonuçlarının literatür ile karşılaştırılması.

Kaynak	Hossain ve diğ. (2015)		Oliver-Solà ve diğ. (2009)	Url-5 (2015)	Url-1 (2017)	Url-2 (2019)	Bu Çalışma		
Metot	Impact 2002+		CML 2	Traci 2.1	EN 15804+A1	Traci 2.1	CML 2001		Traci 2.1
Sistem Sınırları	b		c	a	d	a	a		
Fonksiyonel Birim/ Etki Kategorileri	<i>1 ton parke taşı (doğal agreg)</i>	<i>1 ton parke taşı (geri dön. malzeme)</i>	<i>1 m³ parke taşı içeren kaldırım yolu</i>	<i>1 m³ beton parke taşı</i>	<i>1 m³ beton parke taşı</i>	<i>1 m³ beton parke taşı</i>	<i>1 m³ beton parke taşı</i>	<i>1 ton beton parke taşı</i>	<i>1 m³ beton parke taşı</i>
KIP (kg CO ₂ eşd.)	2,61E+02	2,17E+02	3,28E+02	4,80E+02	3,22E+02	4,92E+02	4,41E+02	1,08E+03	4,39E+02
ÖP (kg Fosfat eşd.)	2,00E-03	−0,117	2,67E-01	-	9,03E-02	-	1,35E-01	3,32E-01	-
ÖP (kg N eşd.)	-	-	-	1,00E-01	-	6,20E-01	-	-	4,89E-02
AP (kg SO ₂ eşd.)	4,74E+00	3,70E+00	1,44E+00	3,00E+00	7,19E-01	1,02E+00	1,13E+00	2,76E+00	1,23E+00
FOOP (kg Etilen eşd.)	-	-	1,46E-01	-	1,61E-01	-	1,01E-01	2,47E-01	-
FOOP (kg O ₃ eşd.)	-	-	-	5,77E+01	-	2,77E+01	-	-	2,37E+01
OTTP (kg R11 eşd.)	1,21E-06	−1,30E-07	2,33E-05	4,43E-08	6,89E+00	4,91E-05	1,94E-05	4,76E-05	2,46E-05
İTP (kg DCB eşd.)	-	-	2,20E+01	-	-	-	4,22E+01	1,03E+02	-
AETP (kg Sb eşd.)	-	-	4,42E+00	-	6,58E-04	-	6,55E-04	1,60E-03	-

Çizelge 5.8 (devam): Parke taşının çevresel etki değerlendirme sonuçlarının literatür ile karşılaştırılması.

Kaynak	Hossain ve diğ. (2015)		Oliver-Solà ve diğ. (2009)	Url-5 (2015)	Url-1 (2017)	Url-2 (2019)	Bu Çalışma		
Metot	Impact 2002+		CML 2	Traci 2.1	EN 15804+A1	Traci 2.1	CML 2001	Traci 2.1	
Sistem Sınırları	b		c	a	d	a	a		
<i>1 ton parke taşı (doğal agrega)</i>	<i>1 ton parke taşı (geri dön. malzeme)</i>	<i>1 m³ parke taşı içeren kaldırım yolu</i>	<i>1 m³ beton parke taşı</i>	<i>1 m³ beton parke taşı</i>	<i>1 m³ beton parke taşı</i>	<i>1 m³ beton parke taşı</i>	<i>1 ton beton parke taşı</i>	<i>1 m³ beton parke taşı</i>	<i>1 ton parke taşı (doğal agrega)</i>
AFTP (MJ)	-	-	-	-	2,41E+03	4,20E+03	2,15E+03	5,27E+03	-
AFTP (MJ fazla enerji) ⁷	-	-	-	-	-	-	-	-	1,90E+02

a: üretim aşaması (ham madde tedariği, ham maddenin tedarikçiden tesise taşınması, üretim, paketlenme)

b: üretim aşaması (ham madde tedariği, ham maddenin tedarikçiden tesise taşınması, üretim), inşaat süreci aşaması (ürünün kullanılacağı alana taşınması)

c: üretim aşaması (ham madde tedariği, ham maddenin tedarikçiden tesise taşınması, parke taşı), inşaat süreci aşaması (ürünün kullanılacağı alana taşınması, montaj), kullanım aşaması (bakım, onarım), ömür sonu aşaması (yıkım süreçleri, ömrünü tamamlayan ürünün bertaraf sahasına taşınması)

d: üretim aşaması (ham madde tedariği, ham maddenin tedarikçiden tesise taşınması, üretim), inşaat süreci aşaması (ürünün kullanılacağı alana taşınması, montaj), kullanım aşaması (kullanım, bakım, onarım, yenisiyle değiştirme, yenileme, operasyonel enerji kullanımı, operasyonel su kullanımı), ömür sonu aşaması (yıkım süreçleri, ömrünü tamamlayan ürünün bertaraf sahasına taşınması, atık işleme, bertaraf)

⁷ Bir birim fosil yakıtı çıkarmak için gelecekte gereken ek enerji miktarını belirtir.

5.2.1 Abiyotik Element Tüketme Potansiyeli

Bu çalışmada CML 2001 yöntemi ile saptanan 1 m³ beton parke taşının AETP değeri çizelge 5.5'te görüldüğü gibi 6,55x10⁻⁴ kg Sb eşdeğeri düzeydedir. Literatür çalışmalarında verilen AETP değerleri CML 2 (Oliver-Sola ve diğ, 2009) ve EN 15804+A1 (Url-1, 2017) yöntemleri ile belirlenmiştir. Literatürde 1 m³ parke taşı içeren kaldırım yolunun AETP değeri 4,42 kg Sb eşd. olarak verilmiştir (Oliver-Sola ve diğ, 2009). Literatür çalışmasında verilen AETP değerinin bu çalışmada verilen AETP değerinden fazla olmasının nedeninin literatür çalışmasındaki sistem sınırlarına bu çalışmadaki sistem sınırlarına ek olmak üzere parke taşlarının kullanılacağı sahaya taşınması ve yaşam ömrü tamamlandıktan sonra parke taşlarının bertaraf sahasına taşıma işlemlerinin dahil edilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Oliver-Sola ve diğ, 2009). Bir diğer nedenin Çizelge 5.7'de görüldüğü gibi literatür çalışmasındaki 1 m³ parke taşı içeren kaldırım yolunun agrega içeriğinin bu çalışmadaki 1 m³ beton parke taşının agrega içeriğinden fazla olmasından ve kullanılan etki saptama yönteminin farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Oliver-Sola ve diğ, 2009). Diğer bir çalışmada 1 m³ beton parke taşının AETP değeri 6,58x10⁻⁴ kg Sb eşd. verilmiştir (Url-1, 2017). Çalışmadaki AETP değerinin literatürdeki AETP değerinden farklı olmasının nedeninin literatürde kullanılan çevresel etki saptama yönteminin farklı olmasından ve literatürdeki sistem sınırlarına inşaat süreci aşaması, kullanım aşaması, ömür sonu aşamasının dahil edilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Url-1, 2017). Bu çalışmada saptanan 6,55x10⁻⁴ kg Sb eşd. AETP değeri literatürde verilen değerler olan 4,42 kg Sb eşd. (Oliver-Sola ve diğ, 2009) ve 6,58x10⁻⁴ kg Sb eşd. (Url-1 2017)'den düşüktür. Aradaki farklılığın sistem sınırları, parke taşının agrega içeriği ve kullanılan çevresel etki saptama yönteminin farklılıklarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu çalışmada elde edilen AETP değeri literatür ile uyumludur (Url-1, 2017).

Çimento 6,42x10⁻⁴ kg Sb eşd. ile %98 oranında AETP'yi en çok etkileyen faktör olduğu Şekil 5.2'de görülmektedir. Çizelge 5.6'da görüldüğü üzere mıcır, kum, kimyasal madde, polietilen film, diğer girdiler, taşıma, elektrik ve atık bertarafının AETP'ye etkisi %1'in altındadır.

Çimento kaynaklı AETP değerinin tamamı yenilenemeyen kaynak olan doğal alçı taşının (kalsiyum sülfat) tüketiminden kaynaklanmaktadır.

5.2.2 Abiyotik Fosil Tükenme Potansiyeli

Bu çalışmada 1 m³ beton parke taşının AFTP değeri Çizelge 5.8’de görüldüğü üzere CML 2001 yöntemi ile 2150 MJ, Traci 2.1 yöntemi ile 190 MJ (fazla enerji) olarak saptanmıştır. Aradaki farklılığın nedeni birimlerin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Literatür çalışmalarında verilen AFTP değerleri Traci 2.1 (Url-2, 2019) ve EN 15804+A1 (Url-1, 2017) yöntemleri ile belirlenmiştir. Literatüre çalışmasında 1 m³ beton parke taşının AFTP değeri 2410 MJ olarak verilmiştir (Url-1, 2017). Bu çalışmadaki AFTP değerinin literatürdeki AFTP değerinden farklı olmasının nedeninin literatürde kullanılan çevresel etki saptama yönteminin bu çalışmadakinden farklı olmasından ve literatürdeki sistem sınırlarına inşaat süreci aşaması, kullanım aşaması, ömür sonu aşamasının dahil edilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Url-1, 2017). Diğer bir literatür çalışmasında 1 m³ beton parke taşının AFTP değeri 4200 MJ olarak verilmiştir (Url-2, 2019). Literatür çalışmasındaki AFTP değerinin bu çalışmadaki AFTP değerinden fazla olmasının nedeninin literatürdeki üretim prosesinde bu çalışmadan fazla olarak dizel girdisinin bulunması ve Çizelge 5.7’de görüldüğü gibi literatür çalışmasındaki parke taşının agrega içeriğinin bu çalışmadaki parke taşının agrega içeriğinden yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Url-2, 2019). Bu çalışmada elde edilen 2150 MJ AFTP değeri literatürde verilen değerler olan 4200 MJ (Url-2, 2019) ve 2410 MJ (Url-1, 2017)’den düşüktür. Aradaki farklılığın parke taşının agrega içeriği, üretim prosesinde bu çalışmadakilerden ek olarak dahil edilen dizel girdisi ve kullanılan çevresel etki saptama yönteminin farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu çalışmada elde edilen AFTP değeri literatür (Url-1, 2017) ile uyumludur.

Modelde AFTP’ye en çok etki eden faktörler sırasıyla çimento, elektrik tüketimi, taşıma, polietilen film ve kimyasal maddedir. Çimento 1510 MJ, elektrik 170 MJ, taşıma 162 MJ, polietilen film 135 MJ ve kimyasal madde 88,50 MJ ile AFTP’ye etki etmişlerdir. Çizelge 5.5’te görüldüğü üzere parke taşının AFTP etkisi üzerinde %70 çimentonun, %8 elektrik ve taşımanın, %6 polietilen filmin, %4 kimyasal maddenin, %1 mıcır, kum, diğer girdilerin ve %1’den az atık bertarafının payları vardır.

Çimento kaynaklı AFTP değerinin tamamı çimento üretimi sırasındaki enerji girdisinden kaynaklanmaktadır. Çimento üretiminde tüketilen enerjinin %44’ününü petrol, %37’sini kömür, %10’unu doğalgaz ve %9’unu linyit oluşturmaktadır. Elektrik kaynaklı AFTP değerinin tamamı enerji girdisinden kaynaklanmaktadır. Elektrikte

kullanılan enerjinin %41'ini kömür, %33'ünü doğalgaz ve %23'ünü linyit oluşturmaktadır. Taşıma kaynaklı AFTP değerinin tamamı enerji girdisinden kaynaklanmaktadır. Taşımada kullanılan enerjinin %93'ü petrol, %7'sini doğalgaz oluşturmaktadır. Polietilen film kaynaklı AFTP değerinin tamamı enerji girdisinden kaynaklanmaktadır. Polietilen filde kullanılan enerjinin %50'sini petrol, %42'sini doğalgaz, %8'ini kömür oluşturmaktadır. Mıdır kaynaklı AFTP değerinin tamamı enerji girdisinden kaynaklanmaktadır. Mıdırda kullanılan enerjinin %56'sını petrol, %22'sini doğalgaz, %12'sini kömür, %9'unu linyit oluşturmaktadır.

5.2.3 Asidifikasyon Potansiyeli

Bu çalışmada 1 m³ beton parke taşı AP değeri Çizelge 5.8'de görüldüğü üzere CML 2001 yöntemi ile 1,13 SO₂ eşd., Traci 2.1 yöntemi ile 1,23 kg SO₂ eşd. saptanmıştır. Literatür çalışmalarında verilen AP değerleri Impact 2002+ (Hossain ve diğ, 2015), Traci 2.1 (Url-2, 2019; Url-5, 2015), CML 2 (Oliver-Sola ve diğ, 2009) ve EN 15804+A1 (Url-1, 2017) yöntemleri ile belirlenmiştir. Literatür çalışmasında 1 m³ beton parke taşının AP değeri 1,02 kg SO₂ eşd. olarak verilmiştir (Url-2, 2019). Bu çalışmadaki parke taşının AP değerinin literatür çalışmasındaki parke taşının AP değerinden fazla olmasının nedeninin Çizelge 5.7'de görüldüğü gibi bu çalışmada yer alan parke taşının içeriğinde kum, bazalt ve oniks bulunmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Url-2, 2019). Başka bir çalışmada 1 m³ beton parke taşının AP değeri 3 kg SO₂ eşd. verilmiş olup bu çalışma ve Çizelge 5.8'de yer alan diğer tüm çalışmaların AP değerinden yüksektir (Url-5, 2015). Literatür çalışmasındaki parke taşının AP değerinin bu çalışmadaki parke taşının AP değerinden fazla olmasının nedeninin Çizelge 5.7'de görüldüğü gibi literatür çalışmasındaki parke taşının agrega ve kimyasal madde içeriğinin bu çalışmadaki parke taşının agrega ve kimyasal madde içeriğinden fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Url-5, 2015). Diğer bir çalışmada 1 m³ parke taşı içeren kaldırım yolunun AP değeri CML 2 metodu ile 1,44 kg SO₂ eşd. olarak saptanmıştır (Oliver-Sola ve diğ, 2009). Literatür çalışmasında verilen AP değerinin bu çalışmada verilen AP değerinden fazla olmasının nedeninin literatür çalışmasındaki sistem sınırlarına bu çalışmadaki sistem sınırlarına ek olmak üzere parke taşlarının kullanılacağı sahaya taşınması ve yaşam ömrü tamamlandıktan sonra parke taşlarının bertaraf sahasına taşıma işlemlerinin dahil edilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Oliver-Sola ve diğ, 2009). Bir diğer nedenin Çizelge 5.7'de görüldüğü gibi literatür çalışmasındaki 1 m³ parke taşı içeren kaldırım yolunun

agrega içeriğinin bu çalışmadaki 1 m³ beton parke taşının agrega içeriğinden fazla olmasından ve kullanılan etki saptama yönteminin farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Oliver-Sola ve diğ, 2009). Diğer bir çalışmada 1 m³ beton parke taşının AP değeri EN15804+A1 yöntemi ile 0,72 kg SO₂ eşd. olarak verilmiştir (Url-1, 2017). Bu çalışmadaki parke taşının AP değerinin literatürdeki parke taşının AP değerinden farklı olmasının nedeninin literatürde kullanılan çevresel etki saptama yönteminin bu çalışmadakinden farklı olmasından ve literatürdeki parke taşının özgül ağırlığının bu çalışmadaki parke taşının özgül ağırlığından daha düşük olup dolayısıyla malzeme içeriğinin daha az olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Url-1, 2017). Bu çalışmada 1 ton parke taşının AP değeri CML 2001 yöntemi ile 2,76 kg SO₂ eşd. saptanmıştır. Literatürde 1 ton doğal agrega ile üretilmiş parke taşının AP değerinin 4,74 kg SO₂ eşd., 1 ton doğal agrega yerine geri dönüştürülmüş malzeme ile üretilen parke taşının AP değerinin 3,70 kg SO₂ eşd. olduğu verilmiştir (Hossain ve diğ, 2015). Geri dönüştürülmüş agrega kullanılması parke taşının AP etkisini azaltmıştır (Hossain ve diğ, 2015). Çizelge 5.7’de görüldüğü gibi literatür çalışmasında 1 ton doğal agrega ile üretilmiş parke taşının ve 1 ton doğal agrega yerine geri dönüştürülmüş malzeme ile üretilen parke taşının içerdiği çimento miktarları bu çalışmadaki parke taşının içerdiği çimento miktarından fazladır (Hossain ve diğ, 2015). Literatür çalışmasındaki AP değerinin bu çalışmada elde edilen AP değerinden daha yüksek olmasının nedeninin bu çalışmadaki parke taşının çimento içeriğinin literatürdeki parke taşlarının çimento içeriğinden daha düşük olmasından ve literatürdeki sistem sınırlarına yıkım süreçlerinin de dahil edilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Hossain ve diğ, 2015). Bu çalışmada 1 m³ beton parkte taşı için elde edilen 1,13 SO₂ eşd. AP değeri literatürde verilen değerler olan 1,44 kg SO₂ eşd. (Oliver-Sola ve diğ, 2009) ve 3 kg SO₂ eşd. (Url-5,2015)’den, 1 ton beton parke taşı için elde edilen 2,76 kg SO₂ eşd. AP değeri literatürde verilen değer olan 4,74 kg SO₂ eşd. (Hossain ve diğ, 2015)’den düşüktür. Aradaki farklılığın sistem sınırları, parke taşının içeriği (özellikle çimento, agrega ve kimyasal madde), üretim prosesinde bu çalışmadakilerden ek olarak dahil edilen dizel girdisi ve kullanılan çevresel etki saptama yönteminin farklılıklarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu çalışmada yer alan parke taşının AP değeri literatürle uyumludur (Url-2, 2019; Oliver-Sola ve diğ, 2009).

Çimento 0,98 kg SO₂ eşd., taşıma 0,05 kg SO₂ eşd., elektrik tüketimi 0,03 kg SO₂ eşd. ile AP’ye etki etmişlerdir. Çizelge 5.6’ya bakıldığında AP üzerinde çimentonun %87,

taşının %5 ve elektriğin %3 payı vardır. AP üzerinde en çok paya sahip olan çimentonun, taşının ve elektriğin etkilerinin tamamı atmosfere verilen inorganik emisyonlardan kaynaklanmaktadır. Çimento kaynaklı AP değerinin %40'ını azot oksit, %56'sını sülfür dioksit oluşturmaktadır. Taşıma kaynaklı AP değerinin %88'ini azot oksit, %12'sini sülfür dioksit oluşturmaktadır. Elektrik kaynaklı AP değerinin %40'ını sülfür dioksit, %29'unu azot oksit, %28'ini hidrojen sülfid oluşturmaktadır.

5.2.4 Ötrofikasyon Potansiyeli

Bu çalışmada Çizelge 5.8'de görüldüğü gibi 1 m³ beton parke taşının ÖP değeri CML 2001 yöntemi ile 0,14 kg fosfat eşdeğeri, Traci yöntemi ile 0,049 kg N eşd. olarak saptanmıştır. Aradaki farklılığın nedeni birimlerin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Literatür çalışmalarında verilen ÖP değerleri Impact 2002+ (Hossain ve diğ, 2015), Traci 2.1 (Url-2, 2019; Url-5, 2015), CML 2 (Oliver-Sola ve diğ, 2009) ve EN 15804+A1 (Url-1, 2017) yöntemleri ile belirlenmiştir. Literatür çalışmasında 1 m³ parke taşı içeren kaldırım yolunun ÖP değeri 0,27 kg fosfat eşd. olarak verilmiştir (Oliver-Sola ve diğ, 2009). Literatür çalışmasında verilen ÖP değerinin bu çalışmada verilen ÖP değerinden fazla olmasının nedeninin literatür çalışmasındaki sistem sınırlarına bu çalışmadaki sistem sınırlarına ek olmak üzere parke taşlarının kullanılacağı sahaya taşınması ve yaşam ömrü tamamlandıktan sonra parke taşlarının bertaraf sahasına taşıma işlemlerinin dahil edilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Oliver-Sola ve diğ, 2009). Bir diğer nedenin Çizelge 5.7'de görüldüğü gibi literatür çalışmasındaki 1 m³ parke taşı içeren kaldırım yolunun agrega içeriğinin bu çalışmadaki 1 m³ beton parke taşının agrega içeriğinden fazla olmasından ve kullanılan etki saptama yönteminin farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Oliver-Sola ve diğ, 2009). Bir başka çalışmada 1 m³ beton parke taşının ÖP değeri 0,09 kg fosfat eşd. olarak verilmiştir (Url-1, 2017). Bu çalışmadaki parke taşının ÖP değerinin literatürdeki parke taşının ÖP değerinden farklı olmasının nedeninin literatürde kullanılan çevresel etki saptama yönteminin bu çalışmadakinden farklı olmasından ve literatürdeki parke taşının özgül ağırlığının bu çalışmadaki parke taşının özgül ağırlığından daha düşük olup dolayısıyla malzeme içeriğinin daha az olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Url-1, 2017). Literatürde yer alan diğer bir çalışmada 1 m³ beton parke taşının ÖP değeri 0,1 kg N eşd. olarak verilmiştir (Url-5, 2015). Literatür çalışmasındaki parke taşının ÖP değerinin bu çalışmadaki parke taşının ÖP değerinden fazla olmasının nedeninin Çizelge 5.7'de görüldüğü gibi

literatür çalışmasındaki parke taşının agrega ve kimyasal madde içeriğinin bu çalışmadaki parke taşının agrega ve kimyasal madde içeriğinden fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Url-5, 2015). Başka bir çalışmada 1 m³ beton parke taşının ÖP değeri 0,62 kg N eşd. verilmiştir (Url-2, 2019). Literatür çalışmasındaki ÖP değerinin bu çalışmadaki ÖP değerinden fazla olmasının nedeninin literatürdeki üretim prosesinde bu çalışmadan fazla olarak dizel girdisinin bulunması ve Çizelge 5.7’de görüldüğü gibi literatür çalışmasındaki parke taşının agrega içeriğinin bu çalışmadaki parke taşının agrega içeriğinden yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Url-2, 2019). Literatürde 1 ton doğal agrega içeren parke taşının ÖP değeri 0,002 kg fosfat eşd., 1 ton doğal agrega yerine geri dönüştürülmüş malzeme kullanılarak üretilen parke taşının ÖP değeri -0,117 kg fosfat eşd. olarak verilmiştir (Hossain ve diğ, 2015). Literatürde geri dönüştürülmüş agrega kullanılmasının parke taşının ÖP değerinde etki azaltıcı etkiye sahip olduğu görülmektedir (Hossain ve diğ, 2015). Bu çalışmada 1 ton parke taşının ÖP değeri CML 2001 yöntemi ile 0,33 kg fosfat eşd. olarak saptanmıştır. Bu çalışmadaki parke taşının ÖP değerinin literatürdeki ÖP değerinden yüksek olmasının nedeninin literatür çalışmasındaki parke taşının içeriğinde geri dönüştürülmüş agrega bulunmasından, çimento içeriğinin azaltılarak yerine uçucu kül kullanılmasının bununla birlikte bu çalışmadaki parke taşının kum, bazalt ve oniks içermesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Hossain ve diğ, 2015). Bu çalışmada CML 2001 yöntemiyle elde edilen 0,14 kg fosfat eşdeğeri ÖP değeri literatürde verilen değer olan 0,27 kg fosfat eşd. (Oliver-Sola ve diğ, 2009)’den, Traci yöntemiyle elde edilen 0,049 kg N eşd. ÖP değeri literatürde verilen değerler olan 0,1 kg N eşd. (Url-5,2015) ve 0,62 kg N eşd. (Url-2,2019)’den düşüktür. Aradaki farklılığın sistem sınırları, parke taşının içeriğindeki (çimento, agrega ve kimyasal madde), üretim prosesinde bu çalışmadakilerden ek olarak dahil edilen dizel girdisi ve kullanılan çevresel etki saptama yönteminin farklılıklarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu çalışmada yer alan parke taşının ÖP değeri literatürdeki çalışmalarla uyumlu olmadığı saptanmıştır.

Modelde ÖP’ye en çok etki eden faktörler sırasıyla 0,11 kg fosfat eşd. ile çimento, 0,01 kg fosfat eşd. ile taşımadır. Çizelge 5.6’da görüldüğü üzere çimento %81, taşıma %9 ile ÖP’ye etki etmişlerdir. Mıdır, kimyasal madde ve elektrik tüketimi ÖP’ye %2 etki etmişlerdir. Polietilen film ve atık bertarafının ÖP’ye etkisi %1’in altındadır. ÖP üzerinde en fazla katkısı olan çimentonun etkisinin %99’unu atmosfere verilen

inorganik emisyonlar %1'ini temiz suya verilen emisyonlardan kaynaklanmaktadır. Bu emisyonların %93'ü azot oksit, %5'i amonyak kaynaklıdır. Taşıma kaynaklı ÖP değerinin %98'ini azot oksit oluşturmaktadır.

5.2.5 Tatlı Su Ekotoksosite Potansiyeli

Bu çalışmada CML 2001 yöntemi ile saptanan 1 m³ beton parke taşının TSEP değeri Çizelge 5.5'te görüldüğü gibi 2,09 kg DCB eşdeğeri düzeydedir. Literatürde bu değere rastlanmadığından karşılaştırılma yapılamamaktadır.

Çizelge 5.6'da görüldüğü gibi çimento 2,02 kg DCB eşd. ile %97 oranında TSEP'e etki etmektedir. Diğer girdilerin TSEP'e etkisi %1'dir. Mıdır, kum, polietilen film, taşıma, elektrik ve atık bertarafının TSEP'e etkisi %1'in altındadır. Parke taşının TSEP üzerinde en çok pay sahibi olan çimentonun etkisi %92'si temiz suya verilen emisyonlardan, %8'i atmosfere verilen emisyonlardan kaynaklanmaktadır. Temiz suya verilen emisyonların %96'sını organik emisyonlar, atmosfere verilen emisyonların %89'unu ağır metaller oluşturmaktadır.

5.2.6 Küresel Isınma Potansiyeli

Bu çalışmada 1 m³ beton parke taşının KIP değeri Çizelge 5.8'de görüldüğü gibi CML 2001 yöntemi ile 441 kg CO₂ eşdeğeri, Traci 2.1 yöntemi ile 439 kg CO₂ eşd. olarak saptanmıştır. Literatür çalışmalarında verilen KIP değerleri Impact 2002+ (Hossain ve diğ, 2015), Traci 2.1 (Url-2, 2019; Url-5, 2015), CML 2 (Oliver-Sola ve diğ, 2009) ve EN 15804+A1 (Url-1, 2017) yöntemleri ile belirlenmiştir. Bir literatür çalışmasında 1 m³ parke taşı içeren kaldırım yolunun KIP değeri 328 kg CO₂ eşd. olarak verilmiştir (Oliver-Sola ve diğ, 2009). Literatür çalışmasındaki parke taşının KIP değerinin bu çalışmadaki parke taşının KIP değerinden düşük olmasının nedeninin Çizelge 5.7'de görüldüğü gibi literatür çalışmasında yer alan parke taşının çimento içeriğinin bu çalışmadaki parke taşının çimento içeriğinden düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Oliver-Sola ve diğ, 2009). Bir başka çalışmada 1 m³ beton parke taşının KIP değeri 322 kg CO₂ eşd. olarak verilmiştir (Url-1, 2017). Bu çalışmadaki parke taşının KIP değerinin literatürdeki parke taşının KIP değerinden farklı olmasının nedeninin literatürde kullanılan çevresel etki saptama yönteminin bu çalışmadakinden farklı olmasından ve literatürdeki parke taşının özgül ağırlığının bu çalışmadaki parke taşının özgül ağırlığından daha düşük olup dolayısıyla malzeme içeriğinin daha az olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Url-1, 2017). Bir diğer literatür

çalışmasında 1 m³ beton parke taşının KIP değeri 480 kg CO₂ eşd. olarak verilmiştir (Url-5, 2015). Literatür çalışmasındaki parke taşının KIP değerinin bu çalışmadaki parke taşının KIP değerinden fazla olmasının nedeninin Çizelge 5.7’de görüldüğü gibi literatür çalışmasındaki parke taşının agrega ve kimyasal madde içeriğinin bu çalışmadaki parke taşının agrega ve kimyasal madde içeriğinden fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Url-5, 2015). Başka bir literatür çalışmasında 1 m³ beton parke taşının KIP değeri 492 kg CO₂ eşd. verilmiştir (Url-2, 2019). Literatür çalışmasındaki KIP değerinin bu çalışmadaki KIP değerinden fazla olmasının nedeninin literatürdeki üretim prosesinde bu çalışmadan fazla olarak dizel girdisinin bulunması ve Çizelge 5.7’de görüldüğü gibi literatür çalışmasındaki parke taşının agrega içeriğinin bu çalışmadaki parke taşının agrega içeriğinden yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Url-2, 2019). Bu çalışmada 1 ton beton parke taşı için elde edilen OTTP değeri 1080 kg CO₂ eşd.’dir. Literatür çalışmasında 1 ton doğal agrega içeren parke taşının KIP değeri 261 kg CO₂ eşd., 1 ton doğal agrega yerine geri dönüştürülmüş malzeme kullanılarak üretilen parke taşının KIP değeri 217 kg CO₂ eşd. olarak verilmiştir (Hossain ve diğ, 2015). Geri dönüştürülmüş agrega kullanılması parke taşının KIP etkisini azaltmıştır (Hossain ve diğ, 2015). Bu çalışmada 1 ton parke taşının KIP değeri CML 2001 yöntemi ile 1080 kg CO₂ eşdeğeri saptanmıştır. Bu çalışmadaki parke taşının KIP değerinin literatürdeki KIP değerinden yüksek olmasının nedeninin literatür çalışmasındaki parke taşının içeriğinde geri dönüştürülmüş agrega bulunmasından, çimento içeriğinin azaltılarak yerine uçucu kül kullanılmasının bununla birlikte bu çalışmadaki parke taşının kum, bazalt ve oniks içermesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Hossain ve diğ, 2015). Bu çalışmada 1 m³ beton parke taşı için elde edilen 441 kg CO₂ eşdeğeri KIP değeri literatürde verilen değerler olan 322 kg CO₂ eşd. (Oliver-Sola ve diğ, 2009), 322 kg CO₂ eşd. (Url-1, 2017)’den, 1 ton beton parke taşı için elde edilen 1080 kg CO₂ eşd. literatürde verilen 261 kg CO₂ eşd. (Hossain ve diğ, 2015)’den yüksektir. Aradaki farklılığın sistem sınırları, parke taşının içeriğindeki (çimento, agrega ve kimyasal madde), üretim prosesinde bu çalışmadakilerden ek olarak dahil edilen dizel girdisi ve kullanılan çevresel etki saptama yönteminin farklılıklarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu çalışmada yer alan parke taşının KIP değeri literatürle uyumludur (Url-2, 2019; Url-5, 2015).

Modelde KIP'e en çok etki eden faktörler sırasıyla 397 kg CO₂ eşd. ile çimento, 15,3 kg CO₂ eşd. ile elektrik ve 11,6 kg CO₂ eşd. ile taşımadır. Çizelge 5.6'da görüldüğü üzere çimento %90, elektrik ve taşıma %3 ile KIP'e etki etmişlerdir. Kimyasal madde ve polietilen filmin KIP'e etkisi %1'dir. Mıdır, kum, diğer girdiler ve atık bertarafının KIP'e etkisi %1'in altındadır. KIP üzerinde en fazla katkısı olan çimentonun etkisinin %98'si atmosfere verilen inorganik emisyonlardan, %2'si atmosfere verilen organik emisyonlardan kaynaklanmaktadır. Bu emisyonların %98'ini karbondioksit, %2'sini metan oluşturmaktadır. Taşıma kaynaklı KIP değerinin %97'sini karbondioksit %2'ünü metan oluşturmaktadır.

5.2.7 İnsana Toksisite Potansiyeli

Bu çalışmada 1 m³ beton parke taşının İTP değeri çizelge 5.8'de görüldüğü gibi CML 2001 yöntemi ile 42,2 kg DCB eşdeğeri olarak saptanmıştır. Literatür çalışmasında 1 m³ parke taşı içeren kaldırım yolunun İTP değeri CML 2 yöntemi ile 22 kg DCB eşd. olarak verilmiştir (Oliver-Sola ve diğ, 2009). Literatür çalışmasındaki parke taşının İTP değerinin bu çalışmadaki parke taşının İTP değerinden düşük olmasının nedeninin Çizelge 5.7'de görüldüğü gibi literatür çalışmasındaki parke taşının çimento içeriğinin bu çalışmadaki parke taşının çimento içeriğinden düşük olmasından ve kullanılan çevresel etki saptama yönteminin farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir (Oliver-Sola ve diğ, 2009). Bu çalışmada elde edilen İTP değeri literatür ile uyumlu değildir.

Çizelge 5.6'da görüldüğü gibi çimento 40,7 kg DCB eşd. ile %96 oranında İTP değerine etki etmektedir. Taşıma ve elektriğin İTP'ye etkisi %1'dir. Mıdır, kum, polietilen film, diğer girdiler ve atık bertarafının İTP'ye etkisi %1'in altındadır. Parke taşının İTP üzerinde en çok pay sahibi olan çimentonun etkisi %55'i atmosfere verilen emisyonlardan, %45'i temiz suya verilen emisyonlardan kaynaklanmaktadır. Atmosfere verilen emisyonların %24'ünü ağır metaller, %12'sini inorganik emisyonlar, %63'ünü organik emisyonlar oluşturmaktadır. Temiz suya verilen emisyonların %99'unu hidrokarbonlar oluşturmaktadır.

5.2.8 Sucul Ekotoksisite Potansiyeli

Bu çalışmada CML 2001 yöntemi ile saptanan 1 m³ beton parke taşının SETP değeri Çizelge 5.5'te görüldüğü gibi 2,88x10⁴ kg DCB eşdeğeri düzeydedir. Literatürde bu değere rastlanmadığından karşılaştırılma yapılamamaktadır.

Çizelge 5.6'da görüldüğü gibi çimento $2,60 \times 10^4$ kg DCB eşd. ile %90, elektrik $1,59 \times 10^3$ kg DCB eşd. ile %6 oranında SETP değerine etki etmektedir. Polietilen filmin SETP'ye etkisi %1'dir. Mıdır, kum, diğer girdiler, taşıma ve atık bertarafının SETP'ye etkisi %1'in altındadır. Parke taşının SETP değeri üzerinde en çok pay sahibi olan çimentonun etkisi %99 oranında atmosfere verilen emisyonlardan kaynaklanmaktadır. Atmosfere verilen emisyonların %5'ini ağır metaller, %95'ini hidrojen florid oluşturmaktadır.

5.2.9 Ozon Tabakası İncelmesi Potansiyeli

Bu çalışmada 1 m^3 beton parke taşının OTTP değeri Çizelge 5.8'de görüldüğü gibi CML 2001 yöntemi ile $1,94 \times 10^{-5}$ R11 eşd., Traci 2.1 yöntemi ile $2,46 \times 10^{-5}$ kg R11 eşd. saptanmıştır. Literatür çalışmalarında verilen OTTP değerleri Impact 2002+ (Hossain ve diğ, 2015), Traci 2.1 (Url-2, 2019; Url-5, 2015), CML 2 (Oliver-Sola ve diğ, 2009) ve EN 15804+A1 (Url-1, 2017) yöntemleri ile belirlenmiştir. Literatürde 1 m^3 beton parke taşının OTTP değeri $4,91 \times 10^{-5}$ kg R11 eşd. olarak verilmiştir (Url-2, 2019). Literatür çalışmasındaki OTTP değerinin bu çalışmadaki OTTP değerinden fazla olmasının nedeninin literatürdeki üretim prosesinde bu çalışmadan fazla olarak dizel girdisinin bulunması ve Çizelge 5.7'de görüldüğü gibi literatür çalışmasındaki parke taşının agrega içeriğinin bu çalışmadaki parke taşının agrega içeriğinden yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Url-2, 2019). Başka bir literatür çalışmasında 1 m^3 beton parke taşının OTTP değeri $4,43 \times 10^{-8}$ kg R11 eşd. verilmiştir (Url-5, 2015). Literatür çalışmasındaki OTTP değerinin bu çalışmadaki OTTP değerinden düşük olmasının nedeninin literatür çalışmasındaki parke taşının çimento içeriğinin bu çalışmadaki parke taşının çimento içeriğinden daha düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Url-5, 2015). Diğer bir çalışmada 1 m^3 parke taşı içeren kaldırım yolunun OTTP değeri CML 2 yöntemiyle $2,33 \times 10^{-5}$ kg R11 eşd. olarak verilmiştir (Oliver-Sola ve diğ, 2009). Literatür çalışmasında verilen OTTP değerinin bu çalışmada verilen OTTP değerinden fazla olmasının nedeninin literatür çalışmasındaki sistem sınırlarına bu çalışmadaki sistem sınırlarına ek olmak üzere parke taşlarının kullanılacağı sahaya taşınması ve yaşam ömrü tamamlandıktan sonra parke taşlarının bertaraf sahasına taşıma işlemlerinin dahil edilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Oliver-Sola ve diğ, 2009). Bir diğer nedenin Çizelge 5.7'de görüldüğü gibi literatür çalışmasındaki 1 m^3 parke taşı içeren kaldırım yolunun agrega içeriğinin bu çalışmadaki 1 m^3 beton parke taşının agrega içeriğinden fazla

olmasından ve kullanılan etki saptama yönteminin farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Oliver-Sola ve diğ, 2009). Diğer bir çalışmada 1 m³ beton parke taşının OTTP değeri EN15804+A1 yöntemi ile 6,89 kg R11 eşd. saptanmıştır (Url-1, 2017). Çalışmadaki OTTP değerinin literatürdeki OTTP değerinden farklı olmasının nedeninin literatürde kullanılan çevresel etki saptama yönteminin bu çalışmadakinden farklı olmasından ve literatürdeki sistem sınırlarına inşaat süreci aşaması, kullanım aşaması, ömür sonu aşamasının dahil edilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Url-1, 2017). Bu çalışmada 1 ton parke taşının OTTP değerinin 4,76x10⁻⁵ kg R11 eşd. olduğu hesaplanmıştır. Literatürde yer alan 1 ton doğal agrega ile üretilmiş parke taşının OTTP değerinin 1,26x10⁻⁶ kg R11 eşd., 1 ton doğal agrega yerine geri dönüştürülmüş malzeme ile üretilen parke taşının OTTP değerinin 1,30x10⁻⁷ kg R11. olduğu verilmiştir (Hossain ve diğ, 2015). Literatürde geri dönüştürülmüş agrega kullanılmasının parke taşının OTTP değerinde etki azaltıcı etkiye sahip olduğu görülmektedir (Hossain ve diğ, 2015). Bu çalışmadaki parke taşının OTTP değerinin literatürdeki OTTP değerinden yüksek olmasının nedeninin literatür çalışmasındaki parke taşının içeriğinde geri dönüştürülmüş agrega bulunmasından, çimento içeriğinin azaltılarak yerine uçucu kül kullanılmasının bununla birlikte bu çalışmadaki parke taşının kum, bazalt ve oniks içermesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Hossain ve diğ, 2015). Bu çalışmada 1 m³ beton parke taşı için elde edilen 1,94x10⁻⁵ R11 eşd. OTTP değeri literatürde verilen değerler olan 2,33x10⁻⁵ kg R11 eşd. (Oliver-Sola ve diğ, 2009) ve 6,89 kg R11 eşd. (Url-1, 2017)’den, 1 ton beton parke taşı için elde edilen 4,76x10⁻⁵ kg R11 eşd. OTTP değeri literatürde 1 beton ton parke taşı için verilen değerden 1,26x10⁻⁶ kg R11 eşd. (Hossain ve diğ, 2015) düşüktür. Aradaki farklılığın sistem sınırları, parke taşının içeriğindeki (çimento ve agrega), üretim prosesinde bu çalışmadakilerden ek olarak dahil edilen dizel girdisi ve kullanılan çevresel etki saptama yönteminin farklılıklarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu çalışmadaki parke taşının OTTP değeri literatür ile uyumludur (Oliver-Sola ve diğ, 2009).

OTTP’nin neredeyse tamamı 1,94x10⁻⁵ kg R11 eşd. ile çimentodan kaynaklanmaktadır. Mıdır, kum, kimyasal madde, diğer girdiler, taşıma, elektrik ve atık bertarafının OTTP’ye etkisi %1’in altındadır. OTTP üzerinde en büyük paya sahip çimentonun etkisinin tamamını metan olmayan uçucu bileşikler oluşturmaktadır.

5.2.10 Fotokimyasal Oksidan Oluşumu Potansiyeli

Bu çalışmada 1 m³ beton parke taşının FOOP değeri Çizelge 5.8’de görüldüğü gibi CML 2001 yöntemi ile 0,10 kg etilen eşdeğeri, Traci 2.1 yöntemi ile 0,24 kg O₃ eşd. olarak saptanmıştır. Aradaki farklılığın nedeni birimlerin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Literatür çalışmalarında verilen FOOP değerleri Traci 2.1 (Url-2, 2019; Url-5, 2015), CML 2 (Oliver-Sola ve diğ, 2009) ve EN 15804+A1 (Url-1, 2017) yöntemleri ile belirlenmiştir. Bir literatür çalışmasına 1 m³ parke taşı içeren kaldırım yolunun FOOP değeri 0,15 kg etilen eşd. olarak verilmiştir (Oliver-Sola ve diğ, 2009). Literatür çalışmasında verilen FOOP değerinin bu çalışmada verilen FOOP değerinden fazla olmasının nedeninin literatür çalışmasındaki sistem sınırlarına bu çalışmadaki sistem sınırlarına ek olmak üzere parke taşlarının kullanılacağı sahaya taşınması ve yaşam ömrü tamamlandıktan sonra parke taşlarının bertaraf sahasına taşıma işlemlerinin dahil edilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Oliver-Sola ve diğ, 2009). Bir diğer nedenin Çizelge 5.7’de görüldüğü gibi literatür çalışmasındaki 1 m³ parke taşı içeren kaldırım yolunun agrega içeriğinin bu çalışmadaki 1 m³ beton parke taşının agrega içeriğinden fazla olmasından ve kullanılan etki saptama yönteminin farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Oliver-Sola ve diğ, 2009). Diğer bir literatür çalışmasında 1 m³ beton parke taşının FOOP değeri 1,16 kg etilen eşd. olarak verilmiştir (Url-1, 2017). Çalışmadaki FOOP değerinin literatürdeki FOOP değerinden farklı olmasının nedeninin literatürde kullanılan çevresel etki saptama yönteminin bu çalışmadakinden farklı olmasından ve literatürdeki sistem sınırlarına inşaat süreci aşaması, kullanım aşaması, ömür sonu aşamasının dahil edilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Url-1, 2017). Diğer bir literatür çalışmasında 1 m³ beton parke taşının FOOP değeri 0,58 kg O₃ eşd. olarak verilmiştir (Url-5, 2015). Literatür çalışmasındaki parke taşının FOOP değerinin bu çalışmadaki parke taşının FOOP değerinden fazla olmasının nedeninin Çizelge 5.7’de görüldüğü gibi literatür çalışmasındaki parke taşının agrega ve kimyasal madde içeriğinin bu çalışmadaki parke taşının agrega ve kimyasal madde içeriğinden fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Url-5, 2015). Diğer bir çalışmada 1 m³ beton parke taşının FOOP değeri 0,28 kg O₃ eşd. olarak verilmiştir (Url-2, 2019). Literatür çalışmasındaki OTTP değerinin bu çalışmadaki OTTP değerinden fazla olmasının nedeninin literatürdeki üretim prosesinde bu çalışmadan fazla olarak dizel girdisinin bulunması ve Çizelge 5.7’de görüldüğü gibi literatür çalışmasındaki parke taşının agrega içeriğinin bu

çalışmadaki parke taşının agrega içeriğinden yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Url-2, 2019). Bu çalışmada CML 2001 yöntemiyle elde edilen 0,10 kg etilen eşdeğeri FOOP değeri, literatürde verilen değerler olan 0,15 kg etilen eşd. (Oliver-Sola ve diğ, 2009) ve 1,16 kg etilen eşd. (Url-1, 2017)'den, Traci yöntemiyle elde edilen 0,24 kg O₃ eşd. literatürde verilen değerler olan 0,58 kg O₃ eşd. (Url-5, 2015) ve 0,28 kg O₃ eşd. (Url-2, 2019)'den düşüktür. Aradaki farklılığın sistem sınırları, parke taşının içeriğindeki (agrega ve kimyasal madde), üretim prosesinde bu çalışmadakilerden ek olarak dahil edilen dizel girdisi ve kullanılan çevresel etki saptama yönteminin farklılıklarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu çalışmadaki parke taşının FOOP değeri literatürle uyumludur (Oliver-Sola ve diğ, 2009; Url-1, 2017; Url-2, 2019)

Parke taşının FOOP değerinin %88'i çimento ve %5'i taşıma kaynaklıdır. Polietilen film ve elektrik tüketiminin FOOP'a katkısı %2'dir. Mıcırın FOOP değerine etkisi %1'dir. Kum, kimyasal madde, diğer girdiler ve atık bertarafının FOOP değerine etkisi %1'in altındadır. FOOP değeri üzerinde en büyük paya sahip olan çimentonun etkisinin tamamı atmosfere verilen emisyonlar oluşturur. Bu emisyonların %79'u inorganik %21'i organik emisyonlardır. Atmosfere verilen bu emisyonların %29'unu karbon monoksit, %25'ini azot oksit, %25'ini sülfür dioksit ve %20'sini metan içermeyen uçucu organik bileşikler oluşturur. Taşıma kaynaklı FOOP değerinin %72'si inorganik %28'i organik emisyon kaynaklıdır. Atmosfere verilen bu emisyonların %12'sini karbon monoksit, %54'ünü azot oksit, %5'ini sülfür dioksit, %27'sini metan içermeyen uçucu organik bileşikler oluşturmaktadır.

5.2.11 Karasal Ekotoksisite Potansiyeli

Bu çalışmada CML 2001 yöntemi ile saptanan 1 m³ beton parke taşının KEP değeri Çizelge 5.5'te görüldüğü gibi 0,535 kg DCB eşdeğeri düzeydedir. Literatürde bu değere rastlanmadığından karşılaştırılma yapılamamaktadır.

Çizelge 5.6'da görüldüğü gibi çimento 0,456 kg DCB eşd. İle %85, mıcır 0,032 kg DCB eşd. İle %6, kum 0,023 kg DCB eşd. ile %4 oranında KEP değerine etki etmektedir. Elektrik tüketiminin KEP değerine etkisi %2, taşımanın etkisi %1'dir. Polietilen film, diğer girdiler ve atık bertarafının KEP'e etkisi %1'in altındadır. Parke taşının KEP üzerinde en çok pay sahibi olan çimentonun etkisi %99 oranında havaya verilen ağır metallerden kaynaklanmaktadır. KEP üzerinde ikincil büyüklükte paya

sahip olan mıcırın etkisi %79 oranında havaya, %21 oranında toprağa verilen ağır metallerden kaynaklanmaktadır. Kumun etkisi de %95 oranında havaya, %5 oranında toprağa verilen ağır metallerden kaynaklanmaktadır.

5.3 Bordür Taşı Üretiminin Çevresel Etkileri

Bordür üretiminde çimento, mıcır, kum, kimyasal madde, polietilen film, taşıma, elektrik ve atık bertarafının çevresel etkileri Çizelge 5.9’da verilmiştir. Diğer girdiler olarak verilen grupta şebeke suyu ve ahşap bulunmaktadır. Çizelge 5.10’da Çizelge 5.9’da verilen etkilerin yüzde katkıları özetlenmiştir. Çizelge 5.9 ve Çizelge 5.10’da görüldüğü üzere bu çalışmada tüm etki kategorinde en büyük etkinin çimentodan kaynaklandığı saptanmıştır. Bunun nedeni çimento üretiminin büyük oranda ham madde ve kimyasal madde kullanımı, enerji ve yakıt tüketimi gerektiren bir proses olması ve bordür taşı üretiminde büyük oranda çimento kullanılmasıdır (Url-9, 2022).

Etki kategorisindeki pay açısından çimentonun en düşük katkısı %70 ile AFTP etki kategorisindedir. OTTP kategorisindeki çevresel etkinin ise neredeyse tamamı çimentodan kaynaklanmaktadır. Çimentonun AETP, TSEP ve İTP etki kategorilerinde etkisi %95’in, AP, ÖP, KIP, SETP, FOOP ve KEP etki kategorilerinde %80’in üzerindedir.

Taşımanın ÖP kategorisinde %9, AFTP kategorisinde %7, AP ve FOOP kategorilerinde %5 katkısının olduğu saptanmıştır. Kimyasal madde kullanımının AFTP etki kategorisinde %4, ÖP etki kategorilerinde %2 katkısı olduğu gözlemlenmiştir. Elektrik tüketiminin AFTP değerindeki payı %9, SETP değerindeki payı %6, KIP değerindeki payı %4, AP ve ÖP değerlerindeki payı %3’tür. Bordür taşının KEP değerinde mıcırın etkisi %6, kumun etkisi %4’tür. Polietilen filmin AFTP değerine etkisi %6’dır. Diğer girdiler ve atık bertarafının çevresel etkileri tüm etki kategorilerinde %1 veya %1’in altındadır. Kumun çevresel etkisi KEP etki kategorisinde %4 diğer tüm etki kategorilerinde %1 veya %1’in altındadır.

Çizelge 5.12’de bordür taşının çevresel etki değerlendirme sonuçlarının literatür ile karşılaştırılması verilmiştir. Çizelge 5.12’de görüldüğü gibi bu çalışmadaki bordür taşının AETP, AFTP, AP, ÖP, OTTP, FOOP değerleri literatürdeki çalışmalardan düşük ve KIP değeri yüksektir. Bu farklılıkların nedeninin sistem sınırları, bordür

taşının içeriği (özellikle çimento ve mıcır) ve kullanılan çevresel etki saptama yönteminin farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 5.11’de literatürde verilen 1 m³ beton bordür taşının içeriğinin karşılaştırılması m³ başına ve % ağırlıkça verilmiştir. Çizelge 5.11’de görüldüğü gibi literatür çalışmalarında bordür taşının çimento içeriği %13 ile %18 ve agrega içeriği %81 ile %86 arasında değişmektedir. Çizelge 5.11’e bakıldığında literatür çalışmalarındaki bordür taşlarının farklı ağırlıklarda olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmadaki bordür taşı literatür çalışmalarındaki bordür taşlarından ağırdır (Gayarre ve diğ, 2015; Url-2, 2019). Ayrıca 1 m³ beton bordür taşı için farklı oranlarda çimento, agrega ve su kullanılmıştır. Örneğin; Gayarre ve diğ. (2015) yaptığı çalışmada çimento ağırlıkça %13 iken Url-2 (2019)’de %18 verilmiştir. Bu çalışmadaki bordür taşının çimento içeriği ise ağırlıkça %18’dir. Gayarre ve diğ. (2015) yaptığı çalışmada agrega ağırlıkça %86 iken Url-2 (2019)’de %81 verilmiştir. Bu çalışmadaki bordür taşının mıcır içeriği ise ağırlıkça %82’dir. Bu çalışmadaki bordür taşının kum içeriği ağırlıkça %39 iken Gayarre ve diğ. (2015) ve Url-2 (2019) çalışmalarında bordür taşının içeriğindeki kum miktarı verilmemiştir.

Çizelge 5.9: Bordür taşı çevresel etki değerlendirme sonuçları.

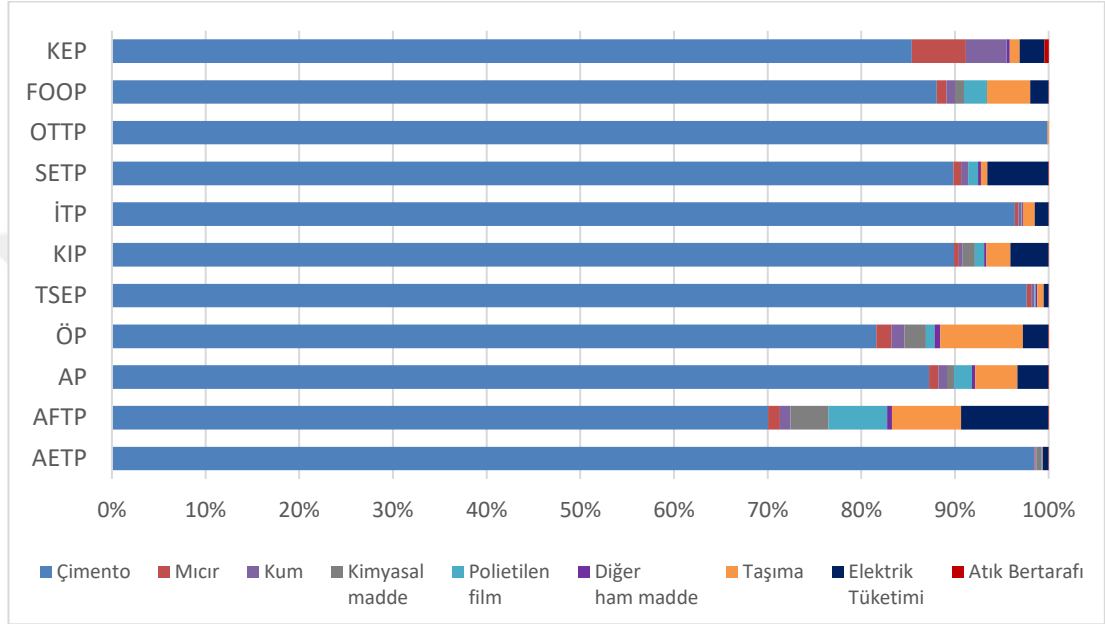
Etki Kategorisi	Toplam	Çimento	Mıdır	Kum	Kimyasal madde	Polietilen film	Diğer girdiler	Taşıma	Elektrik Tüketimi	Atık Bertarafı	Birim
AETP	6,52E-04	6,42E-04	5,94E-07	4,91E-07	3,32E-06	4,78E-07	2,48E-07	4,47E-07	4,01E-06	3,37E-08	kg Sb Eşd.
AFTP	2,16E+03	1,51E+03	2,68E+01	2,45E+01	8,79E+01	1,35E+02	1,10E+01	1,59E+02	2,00E+02	1,24E+00	MJ
AP	1,13E+00	9,84E-01	1,13E-02	1,01E-02	8,82E-03	2,15E-02	3,58E-03	5,09E-02	3,72E-02	5,59E-04	kg SO ₂ Eşd.
ÖP	1,35E-01	1,10E-01	2,17E-03	1,87E-03	3,11E-03	1,22E-03	8,42E-04	1,19E-02	3,64E-03	6,30E-05	kg Fosfat Eşd.
TSEP	2,07E+00	2,02E+00	9,95E-03	7,65E-03	0,00E+00	2,37E-03	3,78E-03	1,38E-02	1,08E-02	3,91E-04	kg DCB Eşd.
KIP	4,42E+02	3,97E+02	2,16E+00	1,94E+00	5,68E+00	4,42E+00	9,52E-01	1,13E+01	1,80E+01	9,56E-02	kg CO ₂ Eşd.
İTP	4,22E+01	4,07E+01	1,53E-01	1,30E-01	0,00E+00	3,75E-02	4,63E-02	5,24E-01	6,27E-01	4,83E-03	kg DCB Eşd.
SETP	2,89E+04	2,60E+04	2,35E+02	2,12E+02	0,00E+00	3,11E+02	9,06E+01	1,99E+02	1,87E+03	1,98E+01	kg DCB Eşd.
OTTP	1,94E-05	1,94E-05	2,59E-14	2,34E-14	6,95E-10	0,00E+00	1,87E-14	2,26E-08	4,15E-13	4,80E-16	kg R11 Eşd.
FOOP	1,00E-01	8,84E-02	1,03E-03	9,28E-04	9,42E-04	2,48E-03	-1,34E-05	4,63E-03	1,94E-03	4,21E-05	kg Etilen Eşd.
KEP	5,34E-01	4,56E-01	3,08E-02	2,30E-02	0,00E+00	2,34E-04	1,75E-03	5,73E-03	1,40E-02	2,52E-03	kg DCB Eşd.

Çizelge 5.10: Bordür taşının çevresel etki değerlendirme sonuçlarının yüzdesel dağılımı (%).

Etki Kategorisi	Toplam	Çimento	Mıcır	Kum	Kimyasal madde	Polietilen film	Diğer girdiler	Taşıma	Elektrik tüketimi	Atık bertarafı
AETP	100	99	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
AFTP	100	70	1	1	4	6	<1	7	9	<1
AP	100	87	1	<1	<1	2	<1	5	3	<1
ÖP	100	82	2	1	2	<1	<1	9	3	<1
TSEP	100	98	<1	<1	-	<1	<1	<1	<1	<1
KIP	100	90	<1	<1	1	1	<1	3	4	<1
İTP	100	96	<1	<1	-	<1	<1	1	1	<1
SETP	100	90	<1	<1	-	1	<1	<1	6	<1
OTTP	100	100	<1	<1	<1	-	<1	<1	<1	<1
FOOP	100	88	1	<1	<1	2	<1	5	2	<1
KEP	100	85	6	4	-	<1	<1	1	3	<1

Şekil 5.3'te bordür taşının çevresel etki kategorilerine etki eden faktörlerin yüzdeleri verilmiştir. Grafikte çimento, taşıma, mıcır, kimyasal madde ve elektriğin diğer faktörlere oranla daha büyük etkiye sahip oldukları gözlemlenmektedir.

Çizelge 5.12'de bordür taşının çevresel etki değerlendirme sonuçlarının literatür ile karşılaştırılması yapılmıştır. Çizelge 5.12'de yer alan tüm çalışmalarla daha doğru karşılaştırabilme adına Traci 2.1 metodu ile yapılan sonuçlara da yer verilmiştir.



Şekil 5.3: Bordür taşının çevresel etki kategorine etki eden faktörler.

Çizelge 5.11: Bordür taşının malzeme içeriğinin literatür ile karşılaştırılması.

Kaynak	Gayarre ve diğ. (2015)		Url-2 (2019)		Bu Çalışma	
Malzeme	(kg/m ³)	% (ağırlık)	(kg/m ³)	% (ağırlık)	(kg/m ³)	% (ağırlık)
Çimento	300	13	370	18	440	18
Agrega	1920	86	1625	81	1940 ⁸	82 ⁸
Mıcır	-	-	-	-	1020	43
Su	100	4	260	13	110	5
Katkı maddesi	-	-	- ⁹	-	3,02	0
Kum	-	-	-	-	920	39
Toplam Ağırlık	2220	100	1995	100	2390	100

⁸ Tabloda ayrı ayrı verilen kum ve mıcırın değerlerinin toplamıdır.

⁹ Çalışmada kimyasal madde kullanılmıştır ancak miktarı verilmemiştir.

Çizelge 5.12: Bordür taşının çevresel etki değerlendirme sonuçlarının literatür ile karşılaştırılması.

Kaynak		Gayarre ve diğ. (2015)		Url-2 (2019)	Url-4 (2021)	Bu Çalışma	
Metot		CML 2001		Traci 2.1	EN15804+A1	CML 2001	Traci 2.1
Sistem sınırları		b	c	d	a	e	a
Fonksiyonel Birim/ Etki Kategorileri	Doğal agregası içeren 1 m ³ beton bordür taşı	Geri dönüştürülmüş agregası içeren 1 m ³ beton bordür taşı		1 m ³ beton bordür taşı	1 m ³ beton bordür taşı	1 m ³ beton bordür taşı	1 m ³ beton bordür taşı
		I. Senaryo	II. Senaryo				
KIP (kg CO ₂ eşd.)	3,70E+05	3,75E+04	4,25E+05	4,07E+02	4,58E+02	4,42E+02	4,40E+02
ÖP (kg Fosfat eşd.)	1,69E+02	1,77E+02	2,30E+02	-	6,08E-01	1,35E-01	-
ÖP (kg N eşd.)	-	-	-	1,32E+00	-	-	4,86E-02
AP (kg SO ₂ -eşd.)	2,28E+00	2,31E+03	2,71E+03	5,10E-01	3,79E+00	1,13E+00	1,23E+00
FOOP (kg Etilen eşd.)	6,90E-01	8,40E-01	2,90E+00	-	1,17E-01	1,00E-01	-
FOOP (kg O ₃ eşd.)	-	-	-	2,26E+01	-	-	2,37E+01
OTTP (kg R11 eşd.)	-	-	-	3,98E-05	-	1,94E-05	2,46E-05
AETP (kg Sb eşd.)	-	-	-	-	1,30E-02	6,52E-04	-

Çizelge 5.12 (devam): Bordür taşının çevresel etki değerlendirme sonuçlarının literatür ile karşılaştırılması.

Kaynak		Gayarre ve diğ. (2015)		Url-2 (2019)	Url-4 (2021)	Bu Çalışma	
Metot		CML 2001		Traci 2.1	EN15804+A1	CML 2001	Traci 2.1
Sistem sınırları		b	c	d	a	e	a
Fonksiyonel Birim/ Etki Kategorileri	Doğal agregata içeren 1 m ³ beton bordür taşı	Geri dönüştürülmüş agregata içeren 1 m ³ beton bordür taşı		1 m ³ beton bordür taşı	1 m ³ beton bordür taşı	1 m ³ beton bordür taşı	1 m ³ beton bordür taşı
		I. Senaryo	II. Senaryo				
AFTP (MJ)	-	-	-	-	6,42E+03	2,16E+03	-
AFTP (MJ fazla enerji) ¹⁰	-	-	-	-	-	-	1,86E+02

a: üretim aşaması (ham madde tedariği, ham maddenin tedarikçiden tesise taşınması, üretim, paketlenme)

b: üretim aşaması (ham madde tedariği, ham maddenin tedarikçiden tesise taşınması, üretim, paketlenme), ömür sonu aşaması (yıkım faaliyetleri)

c: üretim aşaması (ham madde tedariği, geri dönüştürülmüş agreganın sabit tesiste üretimi aşaması, ham maddenin tedarikçiden tesise taşınması, üretim, paketlenme), ömür sonu aşaması (yıkım faaliyetleri)

d: üretim aşaması (ham madde tedariği, geri dönüştürülmüş agreganın mobil tesiste üretimi aşaması, ham maddenin tedarikçiden tesise taşınması, üretim, paketlenme), ömür sonu aşaması (yıkım faaliyetleri)

e: üretim aşaması (ham madde tedariği, ham maddenin tedarikçiden tesise taşınması, üretim), inşaat süreci aşaması (ürünün kullanılacağı alana taşınması, montaj), kullanım aşaması (kullanım, bakım, onarım, yenisiyle değiştirme, yenileme, operasyonel enerji kullanımı, operasyonel su kullanımı), ömür sonu aşaması (yıkım süreçleri, ömrünü tamamlayan ürünün bertaraf sahasına taşınması, atık işleme, bertaraf), tüm aşamalarda (tekrar kullanım, geri dönüşüm, geri kazanım)

¹⁰ Bir birim fosil yakıtı çıkarmak için gelecekte gereken ek enerji miktarını belirtir.

5.3.1 Abiyotik Element Tüketme Potansiyeli

Bu çalışmada CML 2001 yöntemi ile saptanan 1 m³ beton bordür taşının AETP değeri çizelge 5.9’da görüldüğü gibi $6,52 \times 10^{-4}$ kg Sb eşdeğeri düzeydedir. Literatürde 1 m³ beton bordür taşının AETP değeri EN15804+A1 yöntemi ile $1,3 \times 10^{-2}$ kg Sb eşd. olarak verilmiştir (Url-4, 2021). Bu çalışmadaki bordür taşının AETP değerinin literatürdekinden düşük olmasının nedeninin literatür çalışmasında ham maddenin çıkarılmasından bordür taşının üretim, kullanım ve bertarafı süreçlerinin tümünün sistem sınırlarına dahil edilmesinden ve kullanılan çevresel etki saptama yönteminin farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir (Url-4, 2021).

Çimento $6,42 \times 10^{-4}$ kg Sb eşd. ile AETP’yi en çok etkileyen faktör olduğu Şekil 5.3’te görülmektedir. Çizelge 5.8’de görüldüğü üzere mıcır, kum, kimyasal madde, polietilen film, diğer girdiler, taşıma, elektrik ve atık bertarafının AETP’ye etkisi %1’in altındadır.

Çimento kaynaklı AETP değerinin tamamı yenilenemeyen kaynak olan doğal alçı taşının (kalsiyum sülfat) tüketiminden kaynaklanmaktadır.

5.3.2 Abiyotik Fosil Tükenme Potansiyeli

Bu çalışmada 1 m³ beton bordür taşının AFTP değeri Çizelge 5.12’de görüldüğü gibi CML 2001 yöntemi ile 2160 MJ, Traci 2.1 yöntemi ile 186 MJ (fazla enerji) saptanmıştır. Aradaki farklılığın nedeni birimlerin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Literatürde 1 m³ beton bordür taşının AFTP değeri EN15804+A1 yöntemi ile 6420 MJ olarak verilmiştir (Url-4, 2021). Bu çalışmadaki bordür taşının AFTP değerinin literatürdekinden düşük olmasının nedeninin literatür çalışmasında ham maddenin çıkarılmasından bordür taşının üretim, kullanım ve bertarafı süreçlerinin tümünün sistem sınırlarına dahil edilmesinden ve kullanılan çevresel etki saptama yönteminin farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir (Url-4, 2021). Bu çalışmandan elde edilen AFTP değeri literatür ile uyumlu değildir.

Modelde AFTP’ye en çok etki eden faktörler sırasıyla çimento, elektrik tüketimi, taşıma, polietilen film ve kimyasal maddedir. Çimento 1510 MJ, elektrik 200 MJ, taşıma 159 MJ, polietilen film 135 MJ ve kimyasal madde 87,90 MJ ile AFTP’ye etki etmişlerdir. Çizelge 5.10’da görüldüğü üzere bordür taşının AFTP etkisi üzerinde %70 çimentonun, %9 elektriğin, %7 taşımanın, %6 polietilen filmin, %4 kimyasal

maddenin, %1 mıcır ve kumun, %1'den az diğer girdiler ve atık bertarafının payları vardır.

Bordür taşının çimento kaynaklı AFTP değerinin tamamı çimento üretimi sırasındaki enerji girdisinden kaynaklanmaktadır. Çimento üretiminde tüketilen enerjinin %44'ünün petrol, %37'sini kömür, %10'unu doğalgaz ve %9'unu linyit oluşturmaktadır. Bordür taşının elektrik kaynaklı AFTP değerinin tamamı enerji girdisinden kaynaklanmaktadır. Elektrikte kullanılan enerjinin %41'ini kömür, %33'ünü doğalgaz ve %23'ünü linyit oluşturmaktadır. Taşıma kaynaklı AFTP değerinin tamamı enerji girdisinden kaynaklanmaktadır. Taşımada kullanılan enerjinin %93'ü petrol, %7'sini doğalgaz oluşturmaktadır. Polietilen film kaynaklı AFTP değerinin tamamı enerji girdisinden kaynaklanmaktadır. Polietilen filde kullanılan enerjinin %50'sini petrol, %42'sini doğalgaz, %8'ini kömür oluşturmaktadır. Mıcır kaynaklı AFTP değerinin tamamı enerji girdisinden kaynaklanmaktadır. Mıcırdaki kullanılan enerjinin %56'sını petrol, %22'sini doğalgaz, %12'sini kömür, %9'unu linyit oluşturmaktadır.

5.3.3 Asidifikasyon Potansiyeli

Bu çalışmada 1 m³ beton bordür taşının AP değeri Çizelge 5.12'de görüldüğü gibi CML 2001 yöntemi ile 1,13 kg SO₂ eşd., Traci 2.1 yöntemi ile AP değeri 1,23 kg SO₂ eşd. saptanmıştır. Literatür çalışmalarında verilen AP değerleri CML 2001 (Gayyare ve diğ., 2015), Traci 2.1 (Url-2, 2019; Url-5, 2015) ve EN 15804+A1 (Url-4, 2021) yöntemleri ile belirlenmiştir. Literatürde 1 m³ beton bordür taşının AP değeri 0,51 kg SO₂ eşd. olarak verilmiştir (Url-2, 2019). Bu çalışmadaki (Url-2, 2019) AP değerinin literatürdeki AP değerinden yüksek olmasının nedeninin Çizelge 5.11'de görüldüğü gibi bu çalışmadaki bordür taşının çimento içeriğinin literatürdeki bordür taşının çimento içeriğinden fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Başka bir çalışmada 1 m³ beton bordür taşının AP değeri 3,29 kg SO₂ eşd. verilmiş olup bu çalışma ve Çizelge 5.12'de yer alan diğer tüm çalışmaların AP değerinden yüksektir (Url-4, 2021). Bu çalışmadaki bordür taşının AP değerinin literatürdekinden düşük olmasının nedeninin literatür çalışmasında ham maddenin çıkarılmasından bordür taşının üretim, kullanım ve bertarafı süreçlerinin tümünün sistem sınırlarına dahil edilmesinden ve kullanılan çevresel etki saptama yönteminin farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir (Url-4, 2021). Başka bir literatür çalışmasında 1 m³

doğal agrega ile üretilen bordür taşının AP değeri 2,28 kg SO₂ eşd., sabit bir tesiste geri dönüşümü gerçekleşen geri dönüştürülmüş agrega ile üretilen 1 m³ bordür taşının AP değeri 2310 kg SO₂ eşd., mobil bir tesiste geri dönüşümü gerçekleşen geri dönüştürülmüş agrega ile üretilen 1 m³ bordür taşının AP değeri 2710 kg SO₂ eşd. olarak verilmiştir (Gayarre ve diğ, 2015). Literatür çalışmasındaki AP değerinin bu çalışmada elde edilen AP değerinden yüksek olmasının nedeninin literatür çalışmasının sistem sınırlarına ham maddenin çıkarılması, üretim, nakliye ve yıkım faaliyetleri bununla birlikte geri dönüştürülmüş agreganın geri dönüşüm proseslerinin dahil edilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Gayarre ve diğ, 2015). Diğer bir çalışmada 1 m³ beton bordür taşının AP değerinin 3,79 kg SO₂ eşd. olduğu verilmiştir (Url-4, 2021). Bu çalışmadaki bordür taşının AP değerinin literatürdekinden düşük olmasının nedeninin literatür çalışmasında ham maddenin çıkarılmasından bordür taşının üretim, kullanım ve bertarafı süreçlerinin tümünün sistem sınırlarına dahil edilmesinden ve kullanılan çevresel etki saptama yönteminin farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir (Url-4, 2021). Bu çalışmada elde edilen 1,13 kg SO₂ eşd. AP değeri , literatürde verilen değerler olan 2,28 kg SO₂ eşd. (Gayarre ve diğ, 2015) ve 3,29 kg SO₂ eşd. (Url-4, 2021)'den küçüktür. Aradaki farklılığın sistem sınırları, bordür taşının çimento içeriği ve kullanılan çevresel etki saptama yönteminin farklılıklarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu çalışmada yer alan bordür taşının AP değerinin literatürle uyumlu olmadığı saptanmıştır.

Çimento 0,98 kg SO₂ eşd., taşıma 0,05 kg SO₂ eşd., elektrik tüketimi 0,04 kg SO₂ eşd. ile AP'ye etki etmişlerdir. Çizelge 5.10'a bakıldığında AP üzerinde çimentonun %87, taşımanın %5 ve elektriğin %3 payı vardır. AP üzerinde en çok paya sahip olan çimentonun, taşımanın ve elektriğin etkilerinin tamamı atmosfere verilen inorganik emisyonlardan kaynaklanmaktadır. Çimento kaynaklı AP değerinin %40'ını azot oksit, %56'sını sülfür dioksit oluşturmaktadır. Taşıma kaynaklı AP değerinin %88'ini azot oksit, %12'sini sülfür dioksit oluşturmaktadır. Elektrik kaynaklı AP değerinin %40'ını sülfür dioksit, %29'unu azot oksit, %28'ini hidrojen sülfid oluşturmaktadır.

5.3.4 Ötrofikasyon Potansiyeli

Bu çalışmada 1 m³ beton bordür taşının ÖP değeri Çizelge 5.12'de görüldüğü gibi CML 2001 yöntemi ile 0,14 kg fosfat eşdeğeri, Traci 2.1 yöntemi ile 0,05 kg N eşd. olarak saptanmıştır. Aradaki farklılığın nedeni birimlerin farklı olmasından

kaynaklanmaktadır. Literatür çalışmalarında verilen ÖP değerleri CML 2001 (Gayarre ve diğ, 2015), Traci 2.1 (Url-2, 2019; Url-5, 2015) ve EN 15804+A1 (Url-4, 2021) yöntemleri ile belirlenmiştir. Literatür çalışmasında 1 m³ beton bordür taşının ÖP değeri 0,68 kg fosfat eşd. olarak verilmiştir (Url-4, 2021). Bu çalışmadaki bordür taşının ÖP değerinin literatürdekinden düşük olmasının nedeninin literatür çalışmasında ham maddenin çıkarılmasından bordür taşının üretim, kullanım ve bertarafı süreçlerinin tümünün sistem sınırlarına dahil edilmesinden ve kullanılan çevresel etki saptama yönteminin farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir (Url-4, 2021). Bir başka çalışmada 1 m³ doğal agrega ile üretilen bordür taşının ÖP değeri 169 kg fosfat eşd., sabit bir tesiste geri dönüşümü gerçekleştiren geri dönüştürülmüş agrega ile üretilen 1 m³ bordür taşının ÖP değeri 177 kg fosfat eşd., mobil bir tesiste geri dönüşümü gerçekleştiren geri dönüştürülmüş agrega ile üretilen 1 m³ bordür taşının ÖP değeri 230 kg fosfat eşd. olarak verilmiştir (Gayarre ve diğ, 2015). Literatür çalışmasındaki ÖP değerinin bu çalışmada elde edilen ÖP değerinden yüksek olmasının nedeninin literatür çalışmasının sistem sınırlarına ham maddenin çıkarılması, üretim, nakliye ve yıkım faaliyetleri bununla birlikte geri dönüştürülmüş agreganın geri dönüşüm proseslerinin dahil edilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Gayarre ve diğ, 2015). Diğer bir literatür çalışmasında 1 m³ bordür taşının ÖP değeri 1,32 kg N eşd. olarak verilmiştir (Url-2, 2019). Bu çalışmadaki ÖP değerinin literatürdeki ÖP değerinden yüksek olmasının nedeninin Çizelge 5.11’de görüldüğü gibi bu çalışmadaki bordür taşının çimento içeriğinin literatürdeki bordür taşının çimento içeriğinden fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Url-2, 2019). Bu çalışmada CML yöntemi ile elde edilen 0,14 kg fosfat eşdeğeri ÖP değeri literatürde verilen değerler olan 169 kg fosfat eşd. (Gayarre ve diğ, 2015), ve 0,68 kg fosfat eşd. (Url-4, 2021)’den; Traci yöntemi ile elde edilen 0,05 kg N eşd. ÖP değeri literatürde verilen 1,32 kg N eşd. (Url-2, 2019)’den küçüktür. Aradaki farklılığın sistem sınırları, bordür taşının çimento içeriği ve kullanılan çevresel etki saptama yönteminin farklılıklarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu çalışmada yer alan bordür taşının ÖP değerinin literatürle uyumlu olmadığı saptanmıştır.

Modelde ÖP’ye en çok etki eden faktörler sırasıyla 0,11 kg fosfat eşd. ile çimento, 0,01 kg fosfat eşd. ile taşımadır. Çizelge 5.10’da görüldüğü üzere çimento %82, taşıma %9 ile ÖP’ye etki etmişlerdir. ÖP değeri üzerinde elektriğin payı %3’tür. Mıdır ve kimyasal madde ÖP’ye %2 etki etmişlerdir. Polietilen film, diğer girdiler ve atık

bertarafının ÖP'ye etkisi %1'in altındadır. ÖP üzerinde en fazla katkısı olan çimentonun etkisinin %99'unu atmosfere verilen inorganik emisyonlar %1'ini temiz suya verilen emisyonlardan kaynaklanmaktadır. Bu emisyonların %93'ü azot oksit, %5'i amonyak kaynaklıdır. Taşıma kaynaklı ÖP değerinin %98'ini azot oksit oluşturmaktadır.

5.3.5 Tatlı Su Ekotoksosite Potansiyeli

Bu çalışmada 1 m³ beton bordür taşının TSEP değeri CML 2001 yöntemi ile Çizelge 5.9'da görüldüğü gibi 2,07 kg DCB eşdeğeri olarak saptanmıştır. Literatürde bu değere rastlanmadığından karşılaştırılma yapılamamaktadır.

Çizelge 5.10'da görüldüğü gibi çimento 2,02 kg DCB eşd. ile %97 oranında TSEP'e etki etmektedir. Mıdır, kum, polietilen film, diğer girdiler, taşıma, elektrik ve atık bertarafının TSEP'e etkisi %1'in altındadır. Bordür taşının TSEP üzerinde en çok pay sahibi olan çimentonun etkisi %92'si temiz suya verilen emisyonlardan, %8'i atmosfere verilen emisyonlardan kaynaklanmaktadır. Temiz suya verilen emisyonların %96'sını organik emisyonlar, atmosfere verilen emisyonların %89'unu ağır metaller oluşturmaktadır.

5.3.6 Küresel Isınma Potansiyeli

Bu çalışmada 1 m³ beton bordür taşının KIP değeri Çizelge 5.12'de görüldüğü gibi CML 2001 yöntemi ile 442 kg CO₂ eşdeğeri, Traci 2.1 yöntemi ile 440 kg CO₂ eşdeğeri olarak saptanmıştır.. Literatür çalışmalarında verilen KIP değerleri CML 2001 (Gayyare ve diğ, 2015), Traci 2.1 (Url-2, 2019; Url-5, 2015) ve EN 15804+A1 (Url-4, 2021) yöntemleri ile belirlenmiştir. Literatür çalışmasında 1 m³ beton bordür taşının KIP değeri 458 kg CO₂ eşd. olarak verilmiştir (Url-4, 2021). Bu çalışmadaki bordür taşının KIP değerinin literatürdekinden düşük olmasının nedeninin literatür çalışmasında ham maddenin çıkarılmasından bordür taşının üretim, kullanım ve bertarafı süreçlerinin tümünün sistem sınırlarına dahil edilmesinden ve kullanılan çevresel etki saptama yönteminin farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir (Url-4, 2021). Bir başka literatür çalışmada 1 m³ doğal agrega ile üretilen bordür taşının KIP değeri 3,70x10⁵ kg CO₂ eşd., sabit bir tesiste geri dönüşümü gerçekleştiren geri dönüştürülmüş agrega ile üretilen 1 m³ bordür taşının KIP değeri 3,75x10⁴ kg CO₂ eşd., mobil bir tesiste geri dönüşümü gerçekleştiren geri dönüştürülmüş agrega ile üretilen 1 m³ bordür taşının KIP değeri 4,25x10⁵ kg CO₂ eşd. olarak verilmiştir

(Gayarre ve diğ, 2015). Literatür çalışmasındaki KIP değerinin bu çalışmada elde edilen KIP değerinden yüksek olmasının nedeninin literatür çalışmasının sistem sınırlarına ham maddenin çıkarılması, üretim, nakliye ve yıkım faaliyetleri bununla birlikte geri dönüştürülmüş agreganın geri dönüşüm proseslerinin dahil edilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Gayarre ve diğ, 2015). Başka bir literatür çalışmasında 1 m³ beton bordür taşının KIP değeri 407 kg CO₂ eşd. olarak verilmiştir (Url-2, 2019). Bu çalışmada elde edilen KIP değerinin literatür çalışmasında elde edilen KIP değerinden yüksek olmasının nedeninin bu çalışmadaki bordür taşının çimento içeriğinin literatür çalışmasındaki bordür taşının çimento içeriğinden fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Url-2, 2019). Bu çalışmada elde edilen 442 kg CO₂ eşdeğeri KIP değeri literatürde verilen değerler olan 3,70x10⁵ kg CO₂ eşd. (Gayarre ve diğ, 2015) ve 458 kg CO₂ eşd. (Url-4, 2021)'den küçüktür. Aradaki farklılığın sistem sınırları, bordür taşının çimento içeriği ve kullanılan çevresel etki saptama yönteminin farklılıklarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu çalışmada yer alan bordür taşının ÖP değerinin literatürle uyumlu olmadığı saptanmıştır. Bu çalışmada yer alan bordür taşının KIP değeri literatürle uyumludur (Url-2, 2019; Url-4, 2021).

Modelde KIP'e en çok etki eden faktörler sırasıyla 397 kg CO₂ eşd. ile çimento, 15,3 kg CO₂ eşd. ile elektrik ve 11,6 kg CO₂ eşd. ile taşımadır. Çizelge 5.10'da görüldüğü üzere çimento %90, elektrik %4 ve taşıma %3 ile KIP'e etki etmişlerdir. Kimyasal madde ve polietilen filmin KIP'e etkisi %1'dir. Mıcır, kum, diğer girdiler ve atık bertarafının KIP'e etkisi %1'in altındadır. KIP üzerinde en fazla katkısı olan çimentonun etkisinin %98'si atmosfere verilen inorganik emisyonlardan, %2'si atmosfere verilen organik emisyonlardan kaynaklanmaktadır. Bu emisyonların %98'ini karbondioksit, %2'sini metan oluşturmaktadır. Elektrik kaynaklı KIP değerinin %96'sını karbondioksit %4'ünü metan oluşturmaktadır. Taşıma kaynaklı KIP değerinin %97'sini karbondioksit %2'ünü metan oluşturmaktadır.

5.3.7 İnsana Toksisite Potansiyeli

Bu çalışmada 1 m³ beton bordür taşının İTP değeri CML 2001 yöntemi ile çizelge 5.9'da görüldüğü gibi 42,2 kg DCB eşdeğeri olarak saptanmıştır. Literatürde bu değere rastlanmadığından karşılaştırılma yapılamamaktadır.

Çizelge 5.10'da görüldüğü gibi çimento 40,7 kg DCB eşd. ile %96 oranında İTP değerine etki etmektedir. Taşıma ve elektriğin İTP'ye etkisi %1'dir. Mıdır, kum, polietilen film, diğér girdiler ve atık bertarafının İTP'ye etkisi %1'in altındadır. Bordür taşının İTP üzerinde en çok pay sahibi olan çimentonun etkisi %55'i atmosfere verilen emisyonlardan, %45'i temiz suya verilen emisyonlardan kaynaklanmaktadır. Atmosfere verilen emisyonların %24'ünü ağır metaller, %12'sini inorganik emisyonlar, %63'ünü organik emisyonlar oluşturmaktadır. Temiz suya verilen emisyonların %99'unu hidrokarbonlar oluşturmaktadır.

5.3.8 Sucul Ekotoksosite Potansiyeli

Bu çalışmada 1 m³ beton bordür taşının SETP değeri CML 2001 yöntemi ile çizelge 5.9'da görüldüğü gibi 2,89x10⁴ kg DCB eşdeğeri olarak saptanmıştır. Literatürde bu değere rastlanmadığından karşılaştırılma yapılamamaktadır.

Çizelge 5.10'da görüldüğü gibi çimento 2,60x10⁴ kg DCB eşd. ile %90, elektrik 1,87x10³ kg DCB eşd. ile %6 oranında SETP değerine etki etmektedir. Polietilen filmin SETP'ye etkisi %1'dir. Mıdır, kum, diğér girdiler, taşıma ve atık bertarafının SETP'ye etkisi %1'in altındadır. Bordür taşının SETP değeri üzerinde en çok pay sahibi olan çimentonun etkisi %99 oranında atmosfere verilen emisyonlardan kaynaklanmaktadır. Atmosfere verilen emisyonların %5'ini ağır metaller, %95'ini hidrojen florid oluşturmaktadır.

5.3.9 Ozon Tabakası İncelmesi Potansiyeli

Bu çalışmada 1 m³ beton bordür taşının OTTP değeri Çizelge 5.12'de görüldüğü gibi CML 2001 yöntemi ile değeri 1,94x10⁻⁵ kg R11 eşd., Traci 2.1 yöntemi ile 2,46x10⁻⁵ kg R11 eşd. olarak saptanmıştır. Literatür çalışmasında 1 m³ beton bordür taşının OTTP değeri 3,98x10⁻⁵ kg R11 eşd. olarak verilmiştir (Url-2, 2019). Literatür çalışmasındaki OTTP değerinin bu çalışmadaki OTTP değerinden fazla olmasının nedeninin literatürdeki üretim prosesinde girdi olarak görünen dizelden ve bordür taşının içerdığı agrega miktarının bu çalışmadaki bordür taşının içerdığı agrega miktarından yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Url-2, 2019). Bu çalışmada yer alan bordür taşının OTTP değeri literatürle uyumlu değildir.

OTTP'nin neredeyse tamamı çimentodan kaynaklanmaktadır. Mıdır, kum, kimyasal madde, diğér girdiler, taşıma, elektrik ve atık bertarafının OTTP'ye etkisi %1'in

altındadır. OTTP üzerinde en büyük paya sahip çimentonun etkisinin tamamını metan olmayan uçucu bileşikler oluşturmaktadır.

5.3.10 Fotokimyasal Oksidan Oluşumu Potansiyeli

Bu çalışmada 1 m³ beton bordür taşının FOOP değeri Çizelge 5.12’de görüldüğü gibi CML 2001 yöntemi ile 0,10 kg etilen eşdeğeri, Traci 2.1 yöntemi ile 23,7 kg O₃ eşd. olarak saptanmıştır. Aradaki farklılığın nedeni birimlerin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Literatür çalışmalarında verilen FOOP değerleri CML 2001 (Gayyare ve diğ, 2015), Traci 2.1 (Url-2, 2019; Url-5, 2015) ve EN 15804+A1 (Url-4, 2021) yöntemleri ile belirlenmiştir. Literatürde 1m³ bordür taşının FOOP değeri 0,12 kg etilen eşd. olarak verilmiştir (Url-4, 2021). Bu çalışmadaki bordür taşının FOOP değerinin literatürdekinden düşük olmasının nedeninin literatür çalışmasında ham maddenin çıkarılmasından bordür taşının üretim, kullanım ve bertarafı süreçlerinin tümünün sistem sınırlarına dahil edilmesinden ve kullanılan çevresel etki saptama yönteminin farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir (Url-4, 2021). Diğer bir literatür çalışmasında 1 m³ doğal agrega ile üretilen bordür taşının FOOP değeri 0,69 kg etilen eşd., sabit bir tesiste geri dönüşümü gerçekleştiren geri dönüştürülmüş agrega ile üretilen 1 m³ bordür taşının FOOP değeri 0,84 kg etilen eşd., mobil bir tesiste geri dönüşümü gerçekleştiren geri dönüştürülmüş agrega ile üretilen 1 m³ bordür taşının FOOP değeri 0,29 kg etilen eşd. olarak verilmiştir (Gayarre ve diğ, 2015). Literatür çalışmasındaki (Gayarre ve diğ, 2015) FOOP değerinin bu çalışmada elde edilen FOOP değerinden yüksek olmasının nedeninin literatür çalışmasının sistem sınırlarına ham maddenin çıkarılması, üretim, nakliye ve yıkım faaliyetleri bununla birlikte geri dönüştürülmüş agreganın geri dönüşüm proseslerinin dahil edilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Başka bir literatür çalışmasında bordür taşının FOOP değeri 22,6 kg O₃ eşd. olarak verilmiştir (Url-2, 2019). Bu çalışmada elde edilen FOOP değerinin literatür çalışmasında elde edilen FOOP değerinden yüksek olmasının nedeninin bu çalışmadaki bordür taşının çimento içeriğinin literatür çalışmasındaki bordür taşının çimento içeriğinden fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Url-2, 2019). Bu çalışmada elde edilen 0,10 kg etilen eşdeğeri FOOP değeri, literatürde verilen değerler olan 0,29 kg etilen eşd. (Gayarre ve diğ, 2015) ve 0,12 kg etilen eşd. (Url-4, 2021)’den küçüktür. Aradaki farklılığın sistem sınırları, bordür taşının çimento içeriği ve kullanılan çevresel etki saptama yönteminin farklılıklarından

kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu çalışmadaki bordür taşının FOOP değeri literatürle uyumludur (Url-4, 2021; Url-2, 2019).

Bordür taşının FOOP değerinin %88'i çimento ve %5'i taşıma kaynaklıdır. Polietilen film ve elektrik tüketiminin FOOP'a katkısı %2'dir. Mıcırın FOOP değerine etkisi %1'dir. Kum, kimyasal madde, diğer girdiler ve atık bertarafının FOOP değerine etkisi %1'in altındadır. FOOP değeri üzerinde en büyük paya sahip olan çimentonun etkisinin tamamı atmosfere verilen emisyonlar oluşturur. Bu emisyonların %79'u inorganik %21'i organik emisyonlardır. Atmosfere verilen bu emisyonların %29'unu karbon monoksit, %25'ini azot oksit, %25'ini sülfür dioksit ve %20'sini metan içermeyen uçucu organik bileşikler oluşturur. Taşıma kaynaklı FOOP değerinin %72'si inorganik %28'i organik emisyon kaynaklıdır. Atmosfere verilen bu emisyonların %12'sini karbon monoksit, %54'ünü azot oksit, %5'ini sülfür dioksit, %27'sini metan içermeyen uçucu organik bileşikler oluşturmaktadır.

5.3.11 Karasal Ekotoksisite Potansiyeli

Bu çalışmada 1 m³ beton bordür taşının KEP değeri çizelge 5.9'da görüldüğü gibi CML 2001 yöntemi ile 0,534 kg DCB eşdeğeri olarak saptanmış. Literatürde bu değere rastlanmadığından karşılaştırılma yapılamamaktadır.

Çizelge 5.10'da görüldüğü gibi çimento 0,456 kg DCB eşd. ile %85, mıcır 0,031 kg DCB eşd. ile %6, kum 0,023 kg DCB eşd. ile %4 oranında KEP değerine etki etmektedir. Elektrik tüketiminin KEP değerine etkisi %3, taşımanın etkisi %1'dir. Polietilen film, diğer girdiler ve atık bertarafının KEP'e etkisi %1'in altındadır. Bordür taşının KEP üzerinde en çok pay sahibi olan çimentonun etkisi %99 oranında havaya verilen ağır metallerden kaynaklanmaktadır. KEP üzerinde ikincil büyüklükte paya sahip olan mıcırın etkisi %79 oranında havaya, %21 oranında toprağa verilen ağır metallerden kaynaklanmaktadır. Kumun etkisi de %95 oranında havaya, %5 oranında toprağa verilen ağır metallerden kaynaklanmaktadır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Türkiye’de parke taşı ve bordür taşı üzerine yapılmış ilk çalışma olan bu araştırmada, hazır beton, parke taşı ve bordür taşı üretiminin çevresel etkileri yaşam döngüsü değerlendirme yaklaşımı ile belirlenmiştir.

Sonuçlar incelendiğinde hazır beton, parke taşı ve bordür taşının çevresel etkilerinin tümünde en büyük katkının çimentodan kaynaklandığı saptanmıştır. Literatür çalışmaları incelendiğinde betonun çimento içeriğinin azaltılıp yerine curuf veya kül konulmasının çevresel etkiyi azalttığı gözlemlenmiştir (Hossain ve diğ, 2021; ASMI, 2019). Bu literatür çalışmaları ışığında bu çalışmadaki hazır beton, parke taşı ve bordür taşının çevresel etkisinin azaltılması için çimento içeriğinin azaltılarak yerine cüruf veya uçucu kül kullanılması önerilmektedir.

Yapılan değerlendirme sonucunda hazır beton, parke taşı ve bordür taşının çevresel etkilerinde çimentonun katkısının baskın olduğu ve çimentodan sonra gelen katkının taşımadan kaynaklandığı saptanmıştır. Bu çalışmadaki hazır betonun KIP, ÖP, AP, FOOP , OTTP değerlerinin ASMI (2019) yaptığı çalışmadaki hazır betonun çevresel etkilerinden düşük olmasının nedeninin literatürde nakliye kaynaklı girdinin bu çalışmadan 1,7 kat fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Dolayısıyla bu çalışmadaki hazır beton, parke taşı ve bordür taşının çevresel etkisinin azaltılması için hazır beton, parke taşı ve bordür taşı üretiminde ham maddenin mümkün olan en kısa mesafeden temin edilmesi, nakliye kaynaklı girdinin azaltılması önerilmektedir.

Sonuçlar incelendiğinde hazır beton, parke taşı ve bordür taşının çevresel etkilerin tümünde agreganın diğer bir etken olduğu saptanmıştır. Literatürde geri dönüştürülmüş agrega kullanımının parke taşı ve bordür taşının çevresel etkilerini azalttığına değinilmiştir (Hossain ve diğ, 2015; Gayarre ve diğ, 2015). Bu literatür çalışmaları ışığında bu çalışmadaki hazır beton, parke taşı ve bordür taşının çevresel etkisinin azaltılması için doğal agrega yerine geri dönüştürülmüş agrega kullanılması önerilmektedir.

Yapılan çalışma sonucunda hazır beton, parke taşı ve bordür taşı üretiminin çevresel etkileri ile ilgili aşağıdaki çıkarımlar elde edilmiştir.

Hazır betonun çevresel etkileri incelendiğinde, tüm çevresel etki kategorilerinde çimentonun büyük bir paya sahip olduğu görülmektedir. Hazır betonun yaşam döngüsündeki çevresel etkileri özet olarak;

AETP değeri $4,32 \times 10^{-4}$ kg Sb eşdeğeri düzeydedir. AETP'nin %95'i çimento, %5'i kimyasal madde tüketiminden kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada elde edilen AETP değeri literatürde verilen değerler olan $3,16 \times 10^{-4}$ kg Sb eşd. (ASMI,2019) ve $1,20 \times 10^{-5}$ kg Sb eşd. (Url-3, 2020)'den büyüktür. Aradaki farkın hazır betonun çimento içeriğindeki farklılıklar ve kullanılan çevresel etki saptama yönteminin farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

AFTP değeri 1280 MJ'dür. AFTP'nin %75'i çimento, %12'si taşıma, %7 kimyasal maddeden kaynaklanmaktadır. Bu çalışmadan elde edilen AFTP değeri literatürde verilen değerler olan 2130 MJ (ASMI, 2019) ve 1500 MJ (Url-3, 2020)'den küçüktür. Aradaki farkın hazır betonun çimento içeriğindeki farklılıklar ve nakliye girdisinin farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

AP değeri 0,72 kg SO₂ eşd.'dir. AP'nin %87'si çimento, %7'si taşıma ve %3'ü kimyasal maddeden kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada elde edilen hazır betonun AP değeri literatürde verilen değerler olan 1,13 kg SO₂ eşd. (ASMI, 2019) ve 28,70 kg SO₂ eşd. (Kim ve Tae, 2016)'den düşüktür. Aradaki farkın hazır betonun çimento içeriğindeki farklılıklar, farklı etki saptama yönteminin kullanılması ve nakliye girdisinin farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir. ÖP değeri 0,09 kg fosfat eşdeğeri düzeydedir. Çimento %77, taşıma %12, kimyasal madde %5 ve mıcır %4 ile ÖP'ye etki etmişlerdir. Bu çalışmada CML 2001 yöntemiyle saptanan 0,09 kg fosfat eşd. ÖP değeri literatürde verilen değer olan 5,21 kg fosfat eşd. (Kim ve Tae, 2016) ve Traci yöntemiyle saptanan 0,03 kg N eşd. ÖP değeri literatürde verilen değer olan 0,46 kg N eşd. (ASMI, 2019)'den düşüktür. Aradaki farklılığın hazır betonun çimento içeriğindeki farklılıklar, nakliye kaynaklı girdi ve kullanılan çevresel etki saptama yönteminin farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

TSEP değeri 1,32 kg DCB eşdeğeri düzeydedir. TSEP'in %98'i çimentodan kaynaklanmaktadır.

KIP değeri 276,87 kg CO₂ eşdeğeri düzeydedir. KIP değeri üzerinde çimentonun %91, taşımanın %4 ve kimyasal maddenin %2 payları vardır. Bu çalışmada elde edilen 276,87 kg CO₂ eşd. KIP değeri literatürde verilen değerler olan 511 kg CO₂ eşd. (Hossain ve diğ, 2021), 346 kg CO₂ eşd. (ASMI, 2019), 309 kg CO₂ eşd. (Kim ve Tae, 2016) ve 348 kg CO₂ eşd. (Url-3, 2020)'den düşüktür. Bu farklılığın nedeninin bu çalışmadaki hazır betonun çimento içeriğinin literatürdeki çalışmalardaki hazır betonun çimento içeriğinden (Hossain ve diğ, 2021; Kim ve Tae, 2016) düşük olması ve literatürdeki (ASMI, 2019) nakliye girdisinin bu çalışmadan yüksek olmasından ve çevresel etki saptama yönteminin farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

İTP değeri 26,7 kg DCB eşdeğeri düzeydedir. İTP'nin %95'i çimento, %2'si taşımadan kaynaklanmaktadır.

SETP değeri $1,73 \times 10^4$ kg DCB eşdeğeri düzeydedir. SETP'nin %95'i çimento, %2'si mıcırdan kaynaklanmaktadır.

OTTP değeri $1,23 \times 10^{-5}$ kg R11 eşdeğeri düzeydedir. OTTP değerinin neredeyse tamamı çimentodan kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada elde edilen OTTP değeri literatürde verilen değerler olan $9,18 \times 10^{-6}$ kg R11 eşd. (ASMI, 2019) ve $6,60 \times 10^{-6}$ kg R11 eşd. (Url-3, 2020)'den yüksektir. Aradaki farklılığın nedeninin hazır betonun çimento içeriğindeki farklılıklar ve çevresel etki saptama yönteminin farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

FOOP değeri 0,06 kg etilen eşdeğeri düzeydedir. FOOP değerinin %87'sini çimento, %7'sini taşıma, %2'sini mıcır ve kimyasal madde oluşturur.

Bu çalışmada CML 2001 yöntemi ile elde edilen 0,06 kg etilen eşd. FOOP değeri literatürde verilen değer olan 0,908 kg etilen eşd. (Kim ve Tae, 2016) ve Traci 2.1 yöntemiyle elde edilen 15,5 kg O₃ eşd. FOOP değeri literatürde verilen değer olan 24,2 kg O₃ eşd. (ASMI, 2019)'den daha düşüktür. Bu farklılığın nedeninin bu çalışmadaki hazır betonun çimento içeriğinin literatürdekinden (Kim ve Tae, 2016) düşük olması, çevrsel etki saptama yönteminin farklılığından ve literatürdeki çalışmada (ASMI, 2019) nakliye girdisinin bu çalışmadan yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

KEP değeri 0,355 kg DCB eşdeğeri düzeydedir. KEP değerinin %82'si çimento, %13'ü mıcır, %3'ü kumdan kaynaklanmaktadır.

ASMI (2019) çalışmasında AFTP, FOOP, AP, ÖP ve KIP değerlerinin bu çalışmada elde edilen değerlerden daha yüksek olmasının nedeninin literatür çalışmasındaki nakliye kaynaklı girdinin bu çalışmadaki nakliye kaynaklı girdinin 1,7 katı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Literatür çalışmasında AETP ve OTTP değerlerinin bu çalışmada elde edilen AETP ve OTTP değerlerinden düşük olmasının nedeni ise literatür çalışmasındaki hazır betonun çimento içeriğinin bu çalışmadaki hazır betonun çimento içeriğinden daha az olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (ASMI, 2019).

Hossain ve diğ. (2021) yaptığı çalışmadaki KIP değerinin bu çalışmadaki KIP değerinden fazla olmasının nedeni literatür çalışmasındaki hazır betonun çimento içeriğinin bu çalışmadaki hazır betonun çimento içeriğinden fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir .

Kim ve Tae (2016) yaptığı çalışmada KIP, ÖP, AP, OTTP ve FOOP değerlerinin bu çalışmada elde edilen değerlerden fazla olmasının nedeninin literatürdeki hazır betonun çimento içeriğinin bu çalışmadaki hazır betonun çimento içeriğinden fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Literatürdeki çevresel ürün beyanında KIP ve AFTP değerleri bu çalışmada elde edilen değerden yüksek, ÖP, AP, FOOP, OTTP ve AETP değerleri bu çalışmada elde edilen değerlerden düşüktür (Url-3, 2020). Literatürdeki bilgi eksikliğinden dolayı farklılığın neden olduğu anlaşılamamıştır (Url-3, 2020).

Parke taşının çevresel etkileri incelendiğinde, tüm çevresel etki kategorilerinde çimentonun büyük bir paya sahip olduğu görülmektedir. Parke taşının yaşam döngüsündeki çevresel etkileri özet olarak;

AETP değeri $6,55 \times 10^{-4}$ kg eşdeğeri düzeydedir. AETP'nin %98'i çimentodan kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada elde edilen AETP değeri literatürde verilen değerler olan 4,42 kg Sb eşd. (Oliver-Sola ve diğ, 2009) ve $6,58 \times 10^{-4}$ kg Sb eşd. (Url-1 2017)'den düşüktür. Aradaki farklılığın sistem sınırları, parke taşının agrega içeriği ve kullanılan çevresel etki saptama yönteminin farklılıklarından kaynaklandığı düşünülmektedir. AFTP değeri 2150 MJ'dür. AFTP'nin %70'i çimento, %8'i elektrik ve taşıma, %6'sı polietilen film, %4'ü kimyasal maddeden kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada elde edilen AFTP değeri literatürde verilen değerler olan 4200 MJ (Url-2, 2019) ve 2410 MJ (Url-1, 2017)'den düşüktür. Aradaki farklılığın parke taşının agrega

içeriği, üretim prosesinde bu çalışmadakilerden ek olarak dahil edilen dizel girdisi ve kullanılan çevresel etki saptama yönteminin farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

AP değeri 1,13 kg SO₂ eşd.'dir. AP'nin %87'si çimento, %5'i taşıma ve %3'ü elektrikten kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada 1 m³ beton parke taşı için elde edilen 1,13 SO₂ eşd. AP değeri literatürde verilen değerler olan 1,44 kg SO₂ eşd. (Oliver-Sola ve diğ, 2009) ve 3 kg SO₂ eşd. (Url-5,2015)'den, 1 ton beton parke taşı için elde edilen 2,76 kg SO₂ eşd. AP değeri literatürde verilen değer olan 4,74 kg SO₂ eşd. (Hossain ve diğ, 2015)'den düşüktür. Aradaki farklılığın sistem sınırları, parke taşının içeriği (özellikle çimento, agrega ve kimyasal madde), üretim prosesinde bu çalışmadakilerden ek olarak dahil edilen dizel girdisi ve kullanılan çevresel etki saptama yönteminin farklılıklarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

ÖP değeri 0,14 kg fosfat eşdeğeri düzeydedir. Çimento %81, taşıma %9, mıcır, kimyasal madde ve elektrik tüketimi %2 ile ÖP'ye etki etmişlerdir. Bu çalışmada CML 2001 yöntemiyle elde edilen 0,14 kg fosfat eşdeğeri ÖP değeri literatürde verilen değer olan 0,27 kg fosfat eşd. (Oliver-Sola ve diğ, 2009)'den, Traci yöntemiyle elde edilen 0,049 kg N eşd. ÖP değeri literatürde verilen değerler olan 0,1 kg N eşd. (Url-5,2015) ve 0,62 kg N eşd. (Url-2,2019)'den düşüktür. Aradaki farklılığın sistem sınırları, parke taşının içeriğindeki (çimento, agrega ve kimyasal madde), üretim prosesinde bu çalışmadakilerden ek olarak dahil edilen dizel girdisi ve kullanılan çevresel etki saptama yönteminin farklılıklarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

TSEP değeri 2,09 kg DCB eşdeğeri düzeydedir. TSEP'in %97'si çimentodan kaynaklanmaktadır.

KIP değeri 441 kg CO₂ eşdeğeri düzeydedir. KIP değeri üzerinde çimentonun %90, elektrik ve taşımanın %3 payları vardır. Bu çalışmada 1 m³ beton parke taşı için elde edilen 441 kg CO₂ eşdeğeri KIP değeri literatürde verilen değerler olan 322 kg CO₂ eşd. (Oliver-Sola ve diğ, 2009), 322 kg CO₂ eşd. (Url-1, 2017)'den, 1 ton beton parke taşı için elde edilen 1080 kg CO₂ eşd. literatürde verilen 261 kg CO₂ eşd. (Hossain ve diğ, 2015)'den yüksektir. Aradaki farklılığın sistem sınırları, parke taşının içeriğindeki (çimento, agrega ve kimyasal madde), üretim prosesinde bu çalışmadakilerden ek

olarak dahil edilen dizel girdisi ve kullanılan çevresel etki saptama yönteminin farklılıklarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

İTP değeri 42,2 kg DCB eşdeğeri düzeydedir. İTP'nin %96'sı çimentodan kaynaklanmaktadır. Bu çalışmadaki İTP değeri literatürde verilen değer olan 22 kg DCB eşd. (Oliver-Sola ve diğ, 2009)'den yüksektir. Aradaki farklılığın nedeninin literatür çalışmasındaki parke taşının çimento içeriğinin bu çalışmadaki parke taşının çimento içeriğinden düşük olmasından ve kullanılan çevresel etki saptama yönteminin farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir (Oliver-Sola ve diğ, 2009).

SETP değeri $2,88 \times 10^4$ kg DCB eşdeğeri düzeydedir. SETP'nin %90'ı çimento, %6'sı elektrikten kaynaklanmaktadır.

OTTP değeri $1,94 \times 10^{-5}$ kg R11 eşdeğeri düzeydedir. OTTP değerinin neredeyse tamamı çimentodan kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada 1 m^3 beton parke taşı için elde edilen $1,94 \times 10^{-5}$ R11 eşd. OTTP değeri literatürde verilen değerler olan $2,33 \times 10^{-5}$ kg R11 eşd. (Oliver-Sola ve diğ, 2009) ve 6,89 kg R11 eşd. (Url-1, 2017)'den, 1 ton beton parke taşı için elde edilen $4,76 \times 10^{-5}$ kg R11 eşd. OTTP değeri literatürde 1 beton ton parke taşı için verilen değerden $1,26 \times 10^{-6}$ kg R11 eşd. (Hossain ve diğ, 2015) düşüktür. Aradaki farklılığın sistem sınırları, parke taşının içeriğindeki (çimento ve agrega), üretim prosesinde bu çalışmadakilerden ek olarak dahil edilen dizel girdisi ve kullanılan çevresel etki saptama yönteminin farklılıklarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

FOOP değeri 0,10 kg etilen eşdeğeri düzeydedir. FOOP değerinin %88'ini çimento, %5'ini taşıma oluşturur. Bu çalışmada CML 2001 yöntemiyle elde edilen FOOP değeri literatürde verilen değerler olan 0,15 kg etilen eşd. (Oliver-Sola ve diğ, 2009) ve 1,16 kg etilen eşd. (Url-1, 2017)'den, Traci yöntemiyle elde edilen 0,24 kg O_3 eşd. literatürde verilen değerler olan 0,58 kg O_3 eşd. (Url-5, 2015) ve 0,28 kg O_3 eşd. (Url-2, 2019)'den düşüktür. Aradaki farklılığın sistem sınırları, parke taşının içeriğindeki (agrega ve kimyasal madde), üretim prosesinde bu çalışmadakilerden ek olarak dahil edilen dizel girdisi ve kullanılan çevresel etki saptama yönteminin farklılıklarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

KEP değeri 0,535 kg DCB eşdeğeri düzeydedir. KEP değerinin %85'i çimento, %6'sı mıcır, %4'ü kumdan kaynaklanmaktadır.

Hossain ve diğ. (2015) yaptığı çalışmadaki AP değerinin bu çalışmadaki AP değerinden fazla olmasının nedeninin bu çalışmadaki parke taşının çimento içeriğinin literatür çalışmasındaki parke taşının çimento içeriğinden daha düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Literatür çalışmasındaki KIP, ÖP ve OTTP değerlerinin bu çalışmada elde edilen değerlerden daha düşük olmasının nedeninin literatür çalışmasındaki parke taşının içeriğinde geri dönüştürülmüş agrega bulunmasından, çimento içeriğinin azaltılarak yerine uçucu kül kullanılmasının bununla birlikte bu çalışmadaki parke taşının kum, bazalt ve oniks içermesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Hossain ve diğ, 2015).

Oliver-Solà ve diğ. (2009) yaptığı çalışmada ÖP, AP, OTTP, FOOP ve AETP değerlerinin bu çalışmada elde edilen değerlerden fazla olmasının bir nedeninin literatür çalışmasındaki sistem sınırlarına bu çalışmadaki sistem sınırlarına ek olmak üzere parke taşlarının kullanılacağı sahaya taşınması ve yaşam ömrü tamamlandıktan sonra parke taşlarının bertaraf sahasına taşıma işlemlerinin dahil edilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bir diğer neden ise literatür çalışmasındaki 1 m³ parke taşı içeren kaldırım yolunun agrega içeriğinin bu çalışmadaki 1 m³ beton parke taşının agrega içeriğinden fazla olmasından ve kullanılan etki saptama yönteminin farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Oliver-Sola ve diğ, 2009). Literatür çalışmasındaki KIP ve İTP değerlerinin bu çalışmadaki KIP ve İTP değerlerinden düşük olmasının nedeninin literatür çalışmasındaki parke taşının çimento içeriğinin bu çalışmadaki parke taşının çimento içeriğinden düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Oliver-Sola ve diğ, 2009).

Diğer bir literatür çalışmasındaki KIP, ÖP, AP ve FOOP değerlerinin bu çalışmadaki değerlerden yüksek olmasının nedeninin literatür çalışmasındaki parke taşının agrega ve kimyasal madde içeriğinin bu çalışmadaki parke taşının agrega ve kimyasal madde içeriğinden fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Url-5, 2015). Bu çalışmadaki OTTP değerinin literatür çalışmasındaki OTTP değerinden yüksek olmasının nedeninin ise literatürdeki parke taşının çimento içeriğinin bu çalışmadaki parke taşının çimento içeriğinden daha az olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Url-5, 2015).

Bu çalışmadaki KIP, ÖP, AP ve AFTP değerlerinin diğer bir literatür çalışmasındaki değerlerden yüksek olmasının nedeninin literatürde kullanılan çevresel etki saptama yönteminin EN 15804+A1 olup bu çalışmadakinden farklı olmasından ve literatürdeki

parke taşının özgül ağırlığının bu çalışmadaki parke taşının özgül ağırlığından daha düşük olup dolayısıyla malzeme içeriğinin daha az olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Url-1, 2017). Çalışmadaki AETP, OTTP ve FOOP değerlerinin literatürdeki OTTP ve FOOP değerinden farklı olmasının nedeninin ise literatürde kullanılan çevresel etki saptama yönteminin farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Url-1, 2017).

Bu çalışmadaki KIP, ÖP, FOOP, OTTP ve AFTP değerlerinin literatürdeki değerlerden düşük olmasının nedeninin literatürdeki üretim prosesinde bu çalışmadan fazla olarak dizel girdisinin bulunması ve literatür çalışmasındaki parke taşının agrega içeriğinin bu çalışmadaki parke taşının agrega içeriğinden yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Url-2, 2019). Bu çalışmada elde edilen AP değerinin literatürdeki AP değerinden yüksek olmasının nedeninin ise bu çalışmadaki parke taşının içeriğinde kum, bazalt ve oniks bulunmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Url-2, 2019).

Bordür taşının çevresel etkileri incelendiğinde, tüm çevresel etki kategorilerinde çimentonun büyük bir paya sahip olduğu görülmektedir. Bordür taşının yaşam döngüsündeki çevresel etkileri özet olarak;

AETP değeri $6,52 \times 10^{-4}$ kg eşdeğeri düzeydedir. AETP'nin %99'u çimentodan kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada elde edilen AETP değeri literatürde verilen değer olan 0,013 kg Sb eşd. (Url-4, 2021)'den düşüktür. Aradaki farklılığın nedeninin literatür çalışmasında ham maddenin çıkarılmasından bordür taşının üretim, kullanım ve bertarafı süreçlerinin tümünün sistem sınırlarına dahil edilmesinden ve kullanılan çevresel etki saptama yönteminin farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

AFTP değeri 2160 MJ'dür. AFTP'nin %70'i çimento, %9'u elektrik, %7'si taşıma, %6'sı polietilen film %4'ü kimyasal maddeden kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada elde edilen AFTP değeri literatürde verilen değer olan 6420 MJ (Url-4, 2021)'den düşüktür. Aradaki farklılığın nedeninin literatür çalışmasında ham maddenin çıkarılmasından bordür taşının üretim, kullanım ve bertarafı süreçlerinin tümünün sistem sınırlarına dahil edilmesinden ve kullanılan çevresel etki saptama yönteminin farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

AP değeri 1,13 kg SO₂ eşd.'dir. AP'nin %87'si çimento, %5'i taşıma ve %3'ü elektrikten kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada elde edilen AP değeri literatürde verilen

değerlen olan 2,28 kg SO₂ eşd. (Gayarre ve diğ, 2015) ve 3,29 kg SO₂ eşd. (Url-4, 2021)'den küçüktür. Aradaki farklılığın sistem sınırları, bordür taşının çimento içeriği ve kullanılan çevresel etki saptama yönteminin farklılıklarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

ÖP değeri 0,14 kg fosfat eşdeğeri düzeydedir. Çimento %82 ve taşıma %9, mıcır ile ÖP'ye etki etmişlerdir. Bu çalışmada CML yöntemi ile elde edilen 0,14 kg fosfat eşdeğeri ÖP değeri literatürde verilen değerler olan 169 kg fosfat eşd. (Gayarre ve diğ, 2015), ve 0,68 kg fosfat eşd. (Url-4, 2021)'den; Traci yöntemi ile elde edilen 0,05 kg N eşd. ÖP değeri literatürde verilen 1,32 kg N eşd. (Url-2, 2019)'den küçüktür. Aradaki farklılığın sistem sınırları, bordür taşının çimento içeriği ve kullanılan çevresel etki saptama yönteminin farklılıklarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

TSEP değeri 2,07 kg DCB eşdeğeri düzeydedir. TSEP'in %97'si çimentodan kaynaklanmaktadır.

KIP değeri 442 kg CO₂ eşdeğeri düzeydedir. KIP değeri üzerinde çimentonun %90, elektriğin %4 ve taşımanın %3 payları vardır. Bu çalışmada elde edilen KIP değeri literatürde verilen değerler olan $3,70 \times 10^5$ kg CO₂ eşd. (Gayarre ve diğ, 2015) ve 458 kg CO₂ eşd. (Url-4, 2021)'den küçüktür. Aradaki farklılığın sistem sınırları, bordür taşının çimento içeriği ve kullanılan çevresel etki saptama yönteminin farklılıklarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu çalışmada yer alan bordür taşının ÖP değerinin literatürle uyumlu olmadığı saptanmıştır.

İTP değeri 42,2 kg DCB eşdeğeri düzeydedir. İTP'nin %96'sı çimentodan kaynaklanmaktadır.

SETP değeri $2,89 \times 10^4$ kg DCB eşdeğeri düzeydedir. SETP'nin %90'ı çimento, %6'sı elektrikten kaynaklanmaktadır.

OTTP değeri $2,46 \times 10^{-5}$ kg R11 eşdeğeri düzeydedir. OTTP değerinin neredeyse tamamı çimentodan kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada elde edilen OTTP değeri literatürde verilen değer olan $3,98 \times 10^{-5}$ kg R11 eşd. (Url-2, 2019)'den küçüktür. Aradaki farklılığın nedeninin literatürdeki üretim prosesinde girdi olarak görünen dizelden ve bordür taşının içerdiği agrega miktarının bu çalışmadaki bordür taşının içerdiği agrega miktarından yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

FOOP değeri 0,10 kg etilen eşdeğeri düzeydedir. FOOP değerinin %88'ini çimento, %5'ini taşıma oluşturur. Bu çalışmada elde edilen FOOP değeri literatürde verilen değerler olan 0,29 kg etilen eşd. (Gayarre ve diğ, 2015) ve 0,12 kg etilen eşd. (Url-4, 2021)'den küçüktür. Aradaki farklılığın sistem sınırları, bordür taşının çimento içeriği ve kullanılan çevresel etki saptama yönteminin farklılıklarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

KEP değeri 0,534 kg DCB eşdeğeri düzeydedir. KEP değerinin %85'i çimento, %6'sı mıcır, %4'ü kum ve %3'ü elektrikten kaynaklanmaktadır.

Gayyare ve diğ. (2015) yaptığı çalışmadaki ÖP, AP, KIP ve FOOP değerlerinin bu çalışmadaki değerlerden fazla olmasının nedeninin literatür çalışmasının sistem sınırlarına ham maddenin çıkarılması, üretim, nakliye ve yıkım faaliyetleri bununla birlikte geri dönüştürülmüş agreganın geri dönüşüm proseslerinin dahil edilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Gayarre ve diğ, 2015).

Bu çalışmadaki ÖP, OTTP değerlerinin literatürdeki değerlerden düşük olmasının nedeninin literatürdeki üretim prosesinde girdi olarak görünen dizelden ve bordür taşının içerdiği agrega miktarının bu çalışmadaki bordür taşının içerdiği agrega miktarından yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Url-2, 2019). Bu çalışmadaki AP, KIP ve FOOP değerlerinin literatürdeki değerlerden yüksek olmasının nedeninin ise bu çalışmadaki bordür taşının çimento içeriğinin literatürdeki bordür taşının çimento içeriğinden fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Url-2, 2019).

Bu çalışmadaki bordür taşının KIP, ÖP, AP, FOOP, AETP ve AFTP değerlerinin literatürdeki değerlerden düşük olmasının nedeninin literatür çalışmasında ham maddenin çıkarılmasından bordür taşının üretim, kullanım ve bertarafı süreçlerinin tümünün sistem sınırlarına dahil edilmesinden ve kullanılan çevresel etki saptama yönteminin farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir (Url-4, 2021).

Ülkemizde yerel veriler toplanarak gerçekleştirilen YDD çalışmalarının sınırlı olması nedeniyle, bu konudaki araştırmalara yoğunluk verilmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

Athena Sustainable Materials Institute (ASMI). (2019). A Cradle-to-Gate Life Cycle Assessment of Ready-Mixed Concrete Manufactured by NRMCA Members – Version 3

Avrupa Çevre Ajansı. (2008). Effectiveness of environmental taxes and charges for managing sand, gravel and rock extraction in selected EU countries

Çankaya, S. (2018). Çimento Üretiminde Çevresel Sürdürülebilirlik İçin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi.

European Commission (EC). (2018). A Clean Planet for all A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy

Gayarre F., a, Perez J., Perez C., Lopez M., Martínez A. (2015). Life cycle assessment for concrete kerbs manufactured with recycled aggregates.

Hossain U., Dong Y., Thomas S. (2021). Influence of supplementary cementitious materials in sustainability performance of concrete industry: A case study in Hong Kong.

Hossain U., Poon C., Lo I., Cheng J. (2015). Evaluation of environmental friendliness of concrete paving eco-blocks using LCA approach.

ISO 14040. (2006). Environmental management – life cycle assessment – principles and framework, International Organization for Standardization.

Kim T., Tae S. (2016) . Proposal of Environmental Impact Assessment Method for Concrete in South Korea: An Application in LCA (Life Cycle Assessment).

Kirthika, S.K., Singh S.K., Chourasia A. (2020). Alternative fine aggregates in production of sustainable concrete- A review.

Momtaz, H., Rahman, M., Karim R., Iqbal, A., Zhuge, Y., Ma, X., Levett, P. (2022). A Review of Current Design and Construction Practice for Road Kerbs and a Sustainability Analysis

Marinković, S. (2013). Life cycle assessment (LCA) aspects of concrete

Patil A., Sathe B. (2020). Feasibility of sustainable construction materials for concrete paving blocks: A review on waste foundry sand and other materials.

Ryden, M. (2015). Impact of different concrete types on the LCA of NCC Composite bridge.

Oliver-Sola, J., Josa, A., Rieradevall, J., Gabarrell, X. (2009). Environmental optimization of concrete sidewalks in urban areas.

- Sameer, H.,** Weber, V., Mostert, C., Bringezu, S., Fehling, E., Wetzal, A. (2019). Environmental Assessment of Ultra-High-Performance Concrete Using Carbon, Material, and Water Footprint. **Santero, N., Masanet E., Horvath A. (2011).** Life-cycle assessment of pavements. Part I: Critical review.
- Tsimas S., Zervaki M. (2010).** Reuse of waste water from ready-mixed concrete plants.
- Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ). (2021).** Türkiye Elektrik Üretim – İletim 2020 Yılı İstatistikleri.
- Türkiye Hazır Beton Birliği (THBB). (2022).** Hazır Beton Sektör Raporu, 2021.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). (2021).** Yıllık Sanayi Ürün (PRODCOM) İstatistikleri, 2020.
- Waskow R., Maciel V., Tubino R., Passuello A. (2021).** Environmental Performance Of Construction And Demolition Waste Management Strategies For Valorization Of Recycled Coarse Aggregate.
- Zhao M., Gong X., Shi F., Fang M. (2013).** Life Cycle Assessment of Ready-mixed Concrete.
- Url-1** <http://www.paving.org.uk/documents/EPD-Generic_Precast_Paving_Products>, erişim tarihi 16.05.2022.
- Url-2** <<https://docplayer.net/150630651-Environmental-product-declaration-concrete-pavers-and-kerbstone-manufactured-by-emcon-llc.html>>, erişim tarihi 16.05.2022.
- Url-3** <<https://info.nsf.org/Certified/Sustain/ProdCert/EPD10437.pdf>>, erişim tarihi 16.05.2022.
- Url-4** <https://www.epd-norge.no/getfile.php/1319631-1637011691/EPDer/Byggevarer/Naturstein/NEPD-2985-1665_BeerEcoSten---Evjen-----The-Polar-Selection.pdf>, erişim tarihi 16.05.2022.
- Url-5** <<http://www.expocrete.com/pdf/epd/EPD10068-Acheson-PaverSlab.pdf>>, erişim tarihi 16.05.2022.
- Url-6** <<https://www.admixtures.org.uk/download/epd-3-hardening-accelerators-ref-epd-efc-20150089-iaq1-en/>>, erişim tarihi 16.05.2022.
- Url-7** <<https://www.admixtures.org.uk/download/epd-1-plasticiser-superplasticisers-ref-epd-efc-20150091-iaq1-en-2/>>, erişim tarihi 16.05.2022.
- Url-8** <<https://straatagetskontor.dk/wp-content/uploads/2017/05/001-EPD-Straatag-Carlo-F.-Christensen.pdf>>, erişim tarihi 16.05.2022.
- Url-9** <<https://www.turkcimento.org.tr/index.php?page=icerikgoster&menuID=54>>, erişim tarihi 28.06.2022
- Url-10** <<https://cimsa.com.tr/formulhane/beyaz-cimento/agrega-nedir-agrega-ozellikleri-nelerdir/>>, erişim tarihi 04.10.2022

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Eda NURHAT

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2015, Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2018-2022 yılları arasında İstanbul Uygulamalı Gaz ve Enerji Teknolojileri Araştırma Mühendislik A.Ş.'de Enerji Verimliliği ve Yenilenebilir Enerji Mühendisi olarak çalışmakta.