



B-6418 ÇITIR PLASTİK KASA VE B-6417A
KATLANIR PLASTİK KASA YAŞAM DÖNGÜSÜ
DEĞERLENDİRMESİ
(LCA)

TRENTO/BENOPLAST LCA RAPORU

TRENTO®

BENOPLAST®
www.benoplast.com

HAZİRAN, 2022

İLETİŞİM BİLGİLERİ**Üretici İletişim Bilgileri**

Firma Adı

Trento Lojistik ve Kiralama

Operasyonları

Adres

Selvilitepe Osb Mah. Osb 2004. Cad.

No:11 İç Kapı No:1 Turgutlu

Turgutlu / Manisa / Türkiye

E-mail: info@benoplast.com

Telefon: +90 226 353 23 66

Website: <https://www.benoplast.com/>

LCA Çalışması İletişim Bilgileri

Nurcan Buber Gül

Kalite Yöneticisi

E-mail: NBUBER@benoplast.com

Telefon: +90 533 798 21 18

TRENTO®**BENOPLAST®****LCA Çalışması Danışmanlık
İletişim Bilgileri**

Company Name

Enexion Enerji Danışmanlık

Ve Risk Yönetimi A.Ş

Adres

Akasyalı Sokak No: 5/21

4. Levent 34330 İstanbul

Telefon: +90 212 280 0705

Faks: +90 (212) 280 0704

Website: www.enexion.com.tr

LCA Çalışması**İletişim Bilgileri**

Sinem Özsoy Aydemir, PhDs

Sürdürülebilirlik Hizmetleri

Müdürü

Email: sinem.ozsoy@enexion.de

GSM: + 90 533 123 3570

Telefon: + 90 212 280 0705

enexion
group

İçindekiler

Yönetici Özeti	8
1. Giriş.....	10
2. Üretici Şirket Hakkında	11
3. LCA Danışman Şirket Hakkında	12
4. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA)	14
5. Çalışmanın Amacı	16
6. Çalışmanın Kapsamı	17
6.1. Malzeme Bilgisi.....	17
6.3. Fonksiyonel Birim	21
6.4. Ürünlerin Yaşam Döngü Süreci.....	22
6.5. Sistem Sınırları	24
6.6. Veri toplanması.....	24
6.8. Cut-Off Kriteri.....	26
6.9. Veri kalitesi gereksinimleri	26
6.10. Coğrafya Kapsamı	26
6.11. Zaman Kapsamı	26
6.12. Tahsis İlkeleri.....	27
6.13. Çevresel etki kategorilerinin seçilmesi	27

7. Yaşam Döngüsü Envanteri (LCI) Analizi.....	30
8. LCA Sonuçları.....	30
8.1. B-6418 Çıtır Plastik Kasa	30
8.2. 6417A Katlanır Plastik Kasa	35
9. Yorumlama.....	40
10. Karşılaştırma.....	42
11. Sonuçlar ve Öneriler.....	49
12. Sözlük.....	52
EK-A.....	56
EK-B1	58
EK-B2.....	59
Ek C.....	60

Şekil Listesi

Şekil 1 Trento-Benoplast iş akış şeması	11
Şekil 2. ISO 14040:1997(E) uyarınca LCA'nın dört aşaması	15
Şekil 3 LCA aşamaları	16
Şekil 4 Çıtır ve katlanır plastik kasanın üretim akış şeması	20
Şekil 5 Çıtır plastik kasanın yaşam döngüsü aşamalarının çevresel etki kategori dağılımı	33
Şekil 6 Çıtır plastik kasa için İklim Değişikliği - GWP (kg CO ₂ eq)	34
Şekil 7 Çıtır plastik kasa için Kümülatif Enerji İhtiyacı - CED (MJ)	34
Şekil 8 Katlanır plastik kasanın yaşam döngüsü aşamalarının çevresel etki kategori dağılımı	38
Şekil 9 Katlanır plastik kasa için İklim Değişikliği - GWP (kg CO ₂ eq)	39
Şekil 10 Katlanır plastik kasa için Kümülatif Enerji İhtiyacı - CED (MJ)	39
Şekil 11 2021 yılı Türkiye elektrik üretimi	41
Şekil 12 Çıtır ve katlanır plastik kasa çevresel etki kategorilerinin yüzde olarak karşılaştırılması	45
Şekil 13 Çıtır ve katlanır plastik kasanın İklim Değişikliği, GWP çevresel etki kategorisi (kg CO ₂ eq.)	46
Şekil 14 Çıtır ve katlanır plastik kasanın Kümülatif Enerji İhtiyacı, CED çevresel etki kategorisi (MJ)	46
Şekil 15 Çıtır ve katlanır plastik kasa için ötrofikasyon, su kullanımı, ekotoksiklik ve arazi kullanımı çevresel etki kategori sonuç karşılaştırmaları	47
Şekil 16 Üretim aşaması (elektrik tüketimi) karbon ayak izi kıyası (kg CO ₂ eq.)	48
Şekil 17 Bir adet kasa için üretim aşaması (elektrik tüketimi) karbon ayak izi kıyası (kg CO ₂ eq.)	48
Şekil 18 Çıtır plastik kasa GWP değerleri için ağaç akış diyagramı	58
Şekil 19 Katlanır plastik kasa GWP değerleri için ağaç akış diyagramı	58
Şekil 20 Çıtır plastik kasa CED değerleri için ağaç akış diyagramı	59
Şekil 21 Katlanır plastik kasa CED değerleri için ağaç akış diyagramı	59
Şekil 22 Küresel Isınma Potansiyeli (GWP) [13]	61

Tablo Listesi

Tablo 1 Çıtır plastik kasa LCA girdi bilgileri	18
Tablo 2 Katlanır plastik kasa LCA girdi bilgileri	19
Tablo 3 Kasaların hacim bilgileri	21
Tablo 4 Fonksiyonel birimin belirlenmesi	22
Tablo 5 Dahil edilen ve hariç tutulan bileşenler	24
Tablo 6 LCA çalışması indikatörleri ve hesaplama yöntemleri	28
Tablo 7 Çıtır plastik kasa etki kategorileri sonuçları I	31
Tablo 8 Çıtır plastik kasa etki kategorileri sonuçları II	32
Tablo 9 Katlanır plastik kasa etki kategorileri sonuçları I	36
Tablo 10 Katlanır plastik kasa etki kategorileri sonuçları II	37
Tablo 11 Ürün grupları için İklim Değişikliği (GWP) (kg CO ₂ eq.) etki kategorisi yüzde dağılımları	42
Tablo 12 Ürün grupları için Kümülatif Enerji İhtiyacı (CED) (MJ) etki kategorisi yüzde dağılımları	43
Tablo 13 Çıtır ve katlanır plastik kasa çevresel etki kategorileri sonuçları	43

Kısaltmalar

CED: Cumulative Energy Demand – Kümülatif Enerji İhtiyacı Parametresi

EF: Environmental Footprint – Çevresel Ayak İzi

EPD: Environmental Product Declaration – Çevresel Ürün Beyanı

GWP: Global Warming Potential – İklim Değişikliği Parametresi

H-PPC: High Performance Polypropylene Copolymer – Yüksek Performanslı Polipropilen Kopolimer

ISO: International Organization for Standardization – Uluslararası Standardizasyon Örgütü

LCA: Life Cycle Assessment – Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi

LCI: Life Cycle Inventory – Yaşam Döngüsü Envanteri

LCIA: Life Cycle Impact Assessment – Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi

LDPE: Linear Low Density Polyethylene – Lineer Düşük Yoğunluklu Polietilen

PEF: Product Environmental Footprint – Ürün Çevresel Ayak İzi

Yönetici Özeti

Bu rapor, Trento'nun Benoplast Yalova Tesisi'nde üretilen B-6418/çıtır plastik kasa ve 6417A/katlanır plastik kasa modelleri için ISO 14040/14044 metodolojisine uygun olarak "beşikten mezara" yaklaşımıyla modellenen ve çevresel etkileri fonksiyonel birim bazında kıyaslanan Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA) çalışmasını içermektedir.

Trento Lojistik ve Kiralama Operasyonları A.Ş., gıda, tarım, elektronik, otomotiv, kimya, tekstil gibi birçok sektörde gereksinim duyulan lojistik ve kiralamaya yönelik sürdürülebilir, karbon ayak izi düşük, döngüsel ekonomiye uygun, takip edilebilir ve %100 geri dönüştürülebilir çevre dostu çözümler sunmaktadır.

Bu LCA modeli, Benoplast Yalova Tesisi'nin 2021 yılı tedarik zinciri verileri kullanılarak oluşturulmuştur. İkincil veriler ise Ecoinvent 3.8 (2021) veri tabanı kullanılarak elde edilmiştir. SimaPro yazılımı kullanılarak analiz edilen sistemin işlevi, çıtır ve katlanır plastik kasanın 0,035 m³ eşit hacimde kullanım amacına uygun olan ürünlerin taşınmasını ve depolanmasını sağlamaktır. Bu doğrultuda fonksiyonel birim (FU), 3,5 m³ (100 çıtır plastik kasa hacmine denk gelen) taşıma kapasitesi olarak belirlenmiştir.

LCA, bir şirketin ürünleri için sürdürülebilirlik çalışmalarını ölçülebilir hale getirir ve sürdürülebilirliğin iş stratejisi ile günlük operasyonlarının bir parçası olabilmesine yardımcı olan perspektifler sunar. Yapılan LCA çalışmasının sonuçları incelendiğinde, çıtır plastik kasa için çevresel etki kategorilerinde operasyonel elektrik üretimi ve ham madde üretimi; katlanır plastik kasa için ise ham madde üretimi ve kullanım evresinin öne çıktığı görülmüştür.

Bu karşılaştırmalı LCA çalışmasında; ömrü boyunca toplamda 100 kez kullanılacağı varsayılan katlanır plastik kasa, çıtır plastik kasayla karşılaştırıldığında tüm çevresel etkilerin daha az olduğu görülmüştür. LCA çıktılarını değerlendirmede GWP (iklim Değişikliği- kg CO₂ eq.) ve CED (Kümülatif Enerji İhtiyacı-MJ) kritik öneme sahiptir.

Küresel Isınma Potansiyeli (GWP) değerleri **katlanır plastik kasa için 4,75 kg CO₂ eq**, **çıtır plastik kasa için 136,02 kg CO₂ eq** olarak hesaplanmıştır. **Kümülatif Enerji İhtiyacı (CED)** değerleri ise **katlanır plastik kasa için 199,01 MJ**, **çıtır plastik kasa için 2310,40 MJ** olarak bulunmuştur.

Katlanır plastik kasa, çıtır plastik kasaya kıyasla GWP için 27 kat, CED için 12 kat daha az çevresel etkiye sebep olmaktadır.

Çıtır ve katlanır plastik kasanın yaşam döngüsünün ham madde üretim ve bertaraf aşamaları ile tüm LCA aşamalarının toplamı için kritik çevresel etki kategori değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Çıtır ve katlanır plastik kasanın kritik çevresel etki kategorileri (GWP ve CED) sonuçları özet tablosu

Çevresel Etki Kategorileri	Birim	Çıtır Plastik Kasa	Katlanır Plastik Kasa	Çıtır Plastik Kasa	Katlanır Plastik Kasa	Çıtır Plastik Kasa	Katlanır Plastik Kasa
		Ham madde Üretim		Bertaraf		Toplam	
İklim Değişikliği (GWP)	kg.CO ₂ eq	30.44	3.24	19.68	0.27	136.02	4.75
Kümülatif Kaynak Tüketimi, Fosil Yakıt (CED)	MJ	394.35	115.68	9.45	0.86	2310.40	199.01

Katlanır plastik kasanın yaşam döngüsü boyunca 100 kez kullanılması, çıtır plastik kasaya kıyasla daha az girdi kullanımına (ham madde, enerji, su ve nakliye yakıtı) ve daha az çıktı oluşumuna (atık, zararlı gazların salımı) sebep olmaktadır. Bu sayede katlanır plastik kasanın çevresel etkileri, çıtır plastik kasaya kıyasla bütün çevresel etki kategorilerinde daha azdır. Böylece **katlanır plastik kasalar, çıtır plastik kasalara**

göre daha sürdürülebilir bir yaşam döngüsü ile dögüsel ekonomiye önemli katkılar sunmaktadır.

1. Giriş

Bu çalışma, Benoplast'ın Türkiye'deki Yalova Fabrikası'nda üretilen B-6418/çıtır plastik kasa ve 6417A/katlanır plastik kasanın çevresel etkilerini incelemeyi amaçlamaktadır. Bu Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA) çalışması öncelikli olarak çıtır ve katlanır plastik kasa ürünlerinin çevresel performansını anlamak, bu iki plastik kasa arasındaki çevresel etki farklılıklarını karşılaştırmalarla ortaya koymak ve B2B iletişim yoluyla pazar payını genişletmek için yapılmıştır. Bu çalışma, potansiyel çevresel etkileri beşikten mezara değerlendiren LCA tekniğine odaklanmaktadır.

Benoplast'ın Yalova Fabrikası'nın 2021 yılı için sağladığı ortalama veriler kullanılarak ürünlerin LCA modeli geliştirilmiş ve sonuçlar bu raporda sunulmuştur.

Ham maddeler için yukarı akış (upstream) tedarik zinciri girdi ve çıktılarının tümü (ham madde çıkarma, ham madde üretim, ham maddenin fabrikaya nakliyesi operasyonel tüketimler, ürünlerin müşterilere nakliyesi, kullanım evresi tüketimleri ile bertaraf evresi) LCA analizine dahil edilmiştir.

LCA analizi öncelikli olarak çıtır ve katlanır plastik kasa için ürün bazında sunulmuş ve plastik kasaların çevresel etkileri kıyaslanmıştır. Çevresel etkileri değerlendirirken en önemli parametreler olan GWP ve CED üzerinde durulmuştur. Bununla birlikte, raporda farklı LCA aşamalarının etkilerini ortaya koymak adına detaylı grafikler eklenmiş ve yorumlanmıştır. Son olarak, yapılan literatür taramasıyla plastik sektöründe ve enerji kaynaklı çevresel etkileri azaltmaya yönelik çözümler değerlendirilmiştir.

LCA çalışması ve raporlaması Enexion Türkiye ekibi tarafından yapılmıştır.

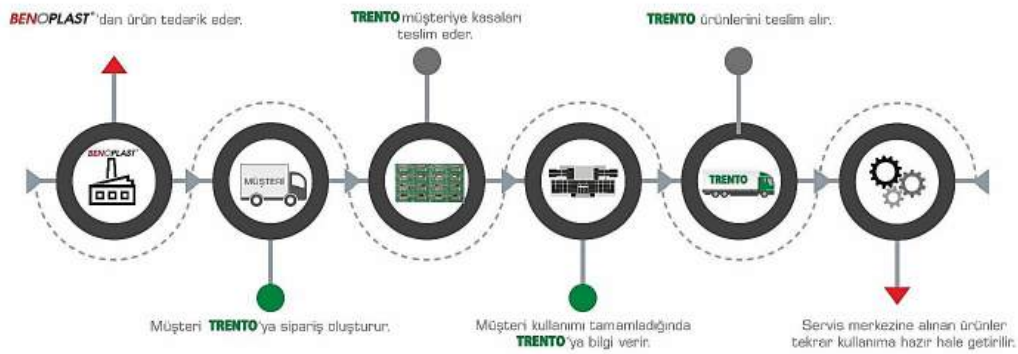
2. Üretici Şirket Hakkında

Trento Lojistik ve Kiralama Operasyonları A.Ş., gıda, tarım, elektronik, otomotiv, kimya, tekstil gibi birçok sektörde gereksinim duyulan lojistik ve kiralamaya yönelik sürdürülebilir, karbon ayak izini azaltan, döngüsel ekonomiye uygun, takip edilebilir ve %100 geri dönüştürülebilir çevre dostu çözümler sunmaktadır.

Anlık bilgi erişimine olanak sağlayan Online Takip Sistemi (OTS) ve 7/24 hizmet sunan Servis Merkezleri ile firmaların tedarik zincirlerindeki adaptasyonlarını kolaylaştırmak ve süreçlerini hızlandırmak üzere kurulmuş bir otomasyon sistemine sahiptir.

Trento, Benoplast tarafından enerji tüketimi düşük, yüksek teknolojik ve çevreye duyarlı ekipmanlar ile üretilen ürünleri kullanmaktadır. Yalnızca müşterilerine karşı değil, çalışanlarına, tedarikçilerine ve içinde bulunduğu sosyal çevreye karşı saygılı firma olma prensibini taviz vermeden sürdürmektedir.

Benoplast üç farklı lokasyonda yer alan 44.200 m² açık, 17.300 m² kapalı, toplamda 61.500 m² alana sahip modern üretim tesislerinde, yine 23.000 m² açık, 5.000 m² kapalı, toplamda 28.000 m² alana sahip geri dönüşüm (ham madde üretim) tesislerinde, deneyimli yöneticileri ve ekip çalışmasından ödün vermeyen çalışanları ile ürünlerin "taşınma ve depolanmasını" kolaylaştıran ürün çözümleri sunmaktadır. Benoplast taşıma ve depolamada kullanılan; plastik kasa, palet, konteyner, kapak ve endüstriyel ambalaj tasarımı, üretimi ve satışı alanlarında sektörde adından söz ettirmektedir. Benoplast ve Trento arasındaki iş akışı aşağıdaki Şekil 1'de özetlenmiştir.



Şekil 1 Trento-Benoplast iş akış şeması

3. LCA Danışman Şirket Hakkında

Enexion Group, 15 yılı aşkın global tecrübeye sahip Alman merkezli bir enerji danışmanlık şirketi olup, Almanya dışında İsviçre, Türkiye ve Hindistan'da ofisleri bulunmaktadır. Enexion Group, uzun yıllara dayanan uzmanlığı ile enerji sektöründe talep tarafı yönetimi, danışmanlık hizmetleri ve portföy yönetimi sunan iş ortağıdır. Küresel enerji piyasalarında şirketlere sürekli enerji maliyeti ve risk azaltma desteği sağlamaktadır. Sunduğu entegre çözümlerle iş ortaklarının, giderek karmaşılaşan Pazar yapısında, enerji fırsatları konusunda etkin çalışabilme olanağı sunan Enexion Group, söz konusu hizmetler alanında Orta-Avrupa pazar lideridir.

Uluslararası grubun bir parçası olan ve Türkiye'yi toplam enerji maliyet yönetimi ve risk yönetimi kavramıyla tanıştıran Enexion Group Türkiye, şirketlerin enerji maliyetlerini sürdürülebilir yöntemlerle azaltırken, kârlılıklarında sürdürülebilir artış sağlamaktadır. Türkiye dışında Almanya, İsviçre ve Hindistan'da ofisleri bulunan Enexion Group, Çin'den ABD'ye kadar dünyanın birçok ülkesinde projeler yürütmektedir.

Avrupa ve Türkiye'deki uzman ekipleriyle, müşterilerine maliyet avantajları sağlamaları ve değişen şartlar karşısında korunmaları, rekabet güçlerini arttırmaları ve büyümeleri konularında yardımcı olmaktadır.

Enerji, doğalgaz, karbon emisyonu ve sürdürülebilirlik konularında müşterilerine 360 derece hizmet sağlamakta; bu kapsamda müşteriye özgü çözümler üretmektedir. Enexion Group; Enerji Maliyet ve Risk Yönetimi, Yenilenebilir Yatırım Danışmanlığı, Stratejik Sıfır Karbon Yol Haritası, Stratejik Sürdürülebilirlik, Sürdürülebilirlik Raporlaması (GRI), Çevresel, Sosyal, Yönetişim (ESG) Risk Yönetimi, LCA (Yaşam Döngüsü Analizi), Sürdürülebilirlik Stratejisi ve Uygulaması konularında profesyonel hizmet sunmaktadır.

Demir çelikten otomotiv sektörüne, Türkiye'nin en büyük sanayi şirketlerine hizmet veren Enexion Group'un referansları arasında; MAN Turkey, Tofaş Otomobil, Sasa Polyester, Brisa Bridgestone, Kordsa, Garanti Bankası, Arçelik, Asaş Alüminyum,

Erbakır, Philip Morris, JTI Turkey, CMS Jant, İnci Holding, Maxion Wheels, Ege Çelik, BenoPlast ve Omya Madencilik Turkey bulunmaktadır.

Sunduğu entegre çözümlerle iş ortaklarının, giderek karmaşılaşan enerji ve karbon piyasasında, etkin çalışabilmesine yardımcı olan Enexion Group, alanında dünyanın önde gelen oyuncularından biridir. Enexion Group'un müşteri portföy büyüklüğü (TEC®) 1 milyar Euro'nun üzerindedir ve 30'dan fazla ülkede faaliyet göstermektedir.

Türkiye'de 8 yılı aşkın deneyimi ve 100'den fazla müşterisi ile 5 TWh'in üzerinde bir portföyü yönetmektedir. Bunlarla birlikte, Enexion Group, 500+ proje ve 300+ tesise hizmet vermeye devam etmektedir.

Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA)

Bir ürünün tüm yaşam döngüsünün sürdürülebilirlik açısından bütünsel olarak incelenmesi yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA) 'dır. Yaşam döngüsünün her aşaması (malzeme çıkarılması, üretim aşaması, kullanım aşaması ve yaşam sonu aşaması, geri dönüşüm ve bertaraf aşamaları) önemli çevresel etkilere sahiptir. Enerji ve malzeme tüketiminin çevreye, doğaya ve insan sağlığına olan etkileri, LCA çalışmasında farklı aşamalar için modellenir. LCA metodolojisinde olduğu gibi girdileri ve çıktıları nicelleştirmeden, gerçek çevresel etkileri ifade etmek oldukça zordur¹. LCA metodolojisi, çevresel etki kategorileri bazındaki sonuçları ortaya koymak için bir ürünün yaşam döngüsü boyunca olan etkileri nicelleştiren bir bağlam sunmaktadır.

LCA, ürün geliştirme ve iyileştirme, karar süreçleri ve stratejik planlama süreçlerine yardımcı olabilecek bütünsel bir yaklaşıma dayalı verimli bir araçtır. LCA; pazar davranışına yön vermek, tedarik zincirini geliştirmek ve şirketin marka değerini artırma açısından fırsatları tespit etmek gibi dolaylı faydalar sağlayabilmektedir². Bu değerlendirme ek olarak şirketlerin maddi olmayan duran varlıkların (intangible assets) oluşturulmasına yardımcı olan ve aynı zamanda sürdürülebilirlik mentalitesinin gelişmesini sağlayan altyapıyı oluşturur.

Uygulayıcıları arasında yaygın olarak kabul görmüş olan Uluslararası ISO 14040 Standardı, Çevre Yönetimi Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi İlkeleri ve Çerçevesine göre, LCA; hedef ve kapsam tanımı, yaşam döngüsü envanter analizi (LCI), yaşam döngüsü etkisi değerlendirmesi (LCIA) ve yorumlama olmak üzere birbirini takip eden iteratif dört süreci içermektedir. LCA çalışmasında, veri envanteri toplama süreci devam ederken önceki adımlara dönülerek iyileştirme ve yenilemeler yapılabilmektedir³.

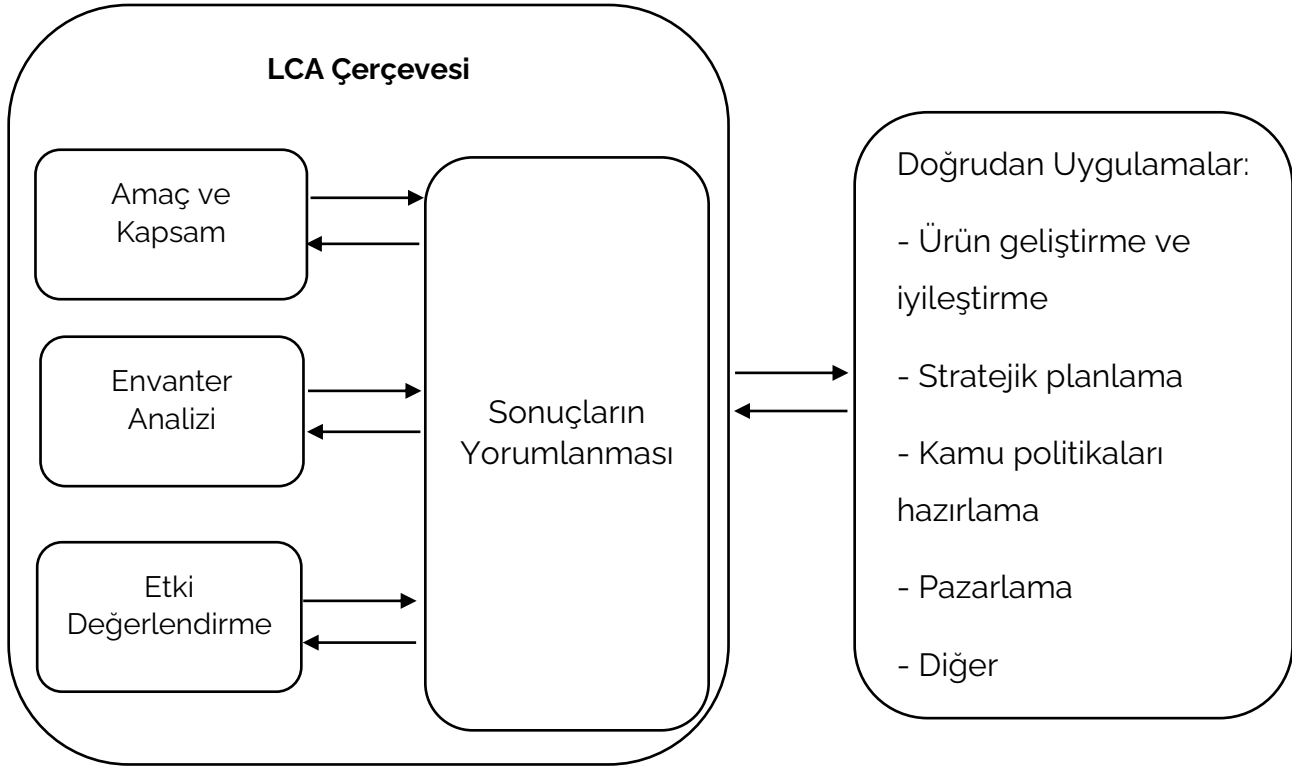
LCA'nın ilk adımında, amaç ve kapsam tanımı yapılır. Çalışmanın kullanım amacı ve kapsamı, fonksiyonel birim ve sistem sınırları belirlenir. Bu kısım, farklı amaç ile

¹ 15.04.2022 tarihinde Life Cycle Analysis (LCA) - A Complete Guide to LCAs (bpf.co.uk) adresinden erişildi.

² Anne-Marie Tillman, Significance of decision-making for LCA methodology, Environmental Impact Assessment Review, Volume 20, Issue 1, 2000, Pages 113-123, ISSN 0195-9255, [https://doi.org/10.1016/S0195-9255\(99\)00035-9](https://doi.org/10.1016/S0195-9255(99)00035-9)

³ ISO. (2006a) Environmental Management – Life cycle assessment – Principles and framework. ISO 14040:2006. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization. Retrieved from: iso14040.pdf (uri.edu)

kullanımlara bağılı olarak LCA'nın çalışmalar arası değışebilen bölümlerinden biridir. Aynı zamanda bu adım, okuyucu için anlamlı bir çalışma ifade etmesi adına kritik öneme sahiptir. LCA aşamalarının gösterildiğı şema Şekil 2'de verilmiştir.

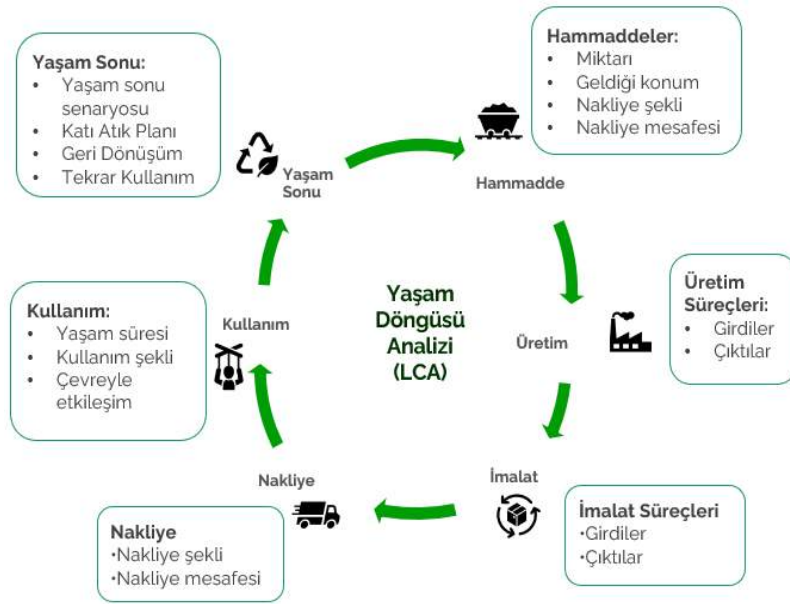


Şekil 2. ISO 14040:1997(E) uyarınca LCA'nın dört aşaması

LCA'nın ikinci adımı olan envanter analizi, girdi verilerinin toplanmasını ve hesaplanmasını içerdiğinden en fazla zaman ve çaba gerektiren adımdır. Ürünle bağlantılı kaynakların tüketimi ile havaya, suya ve toprağı yapılan emisyonlar bu girdi ve çıktılarına örnektir. Elde edilen bu nicel veriler, yaşam döngüsü etki değerlendirmesi bir sonraki adımda kullanılır.

LCA'nın üçüncü adımında, etki değerlendirmesi, bir önceki adımın envanter analizi sonuçları kullanılarak, belirlenen potansiyel çevresel etki kategorileri altında değerlendirmeler yapmayı amaçlar. Bu adımda, tüm etki kategorilerinin gösterge bulguları detaylandırılır ve her etki kategorisinin önemi ağırlıklandırma yoluyla değerlendirilir.

LCA'nın son adımı olan yorumlama kısmında, son iki adımdan elde edilen sonuçlar birleştirilip özetlenir, tüm adımlar arasındaki tutarlılık kontrol edilir, bu adımda çalışmanın kapsamının gözden geçirilmesi ve revize edilmesi durumu oluşabilmektedir. Ayrıca bu adım, veri duyarlılığı belirleme ile birlikte sonuçların eleştirel incelemesini ve uygun formatlarda sunumunu da içerir. LCA aşamaları Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3 LCA aşamaları

LCA, kapıdan kapıya, beşikten kapıya, beşikten mezara ve geniş aralıkta beşikten beşiğe farklı kapsamlarda

modellenebilmektedir.

Modellemenin kapsam metodolojisi, LCA çalışması ile neyin elde edilmek istendiğine ve/veya hangi soruların cevaplanacağına bağlı olarak belirlenir.

Ürünün şirketler tarafından

öne çıkarılmak istenilen aşamaları LCA kapsamına dahil edilebilmektedir. LCA yaklaşımına karar verildikten sonra, veri duyarlılığına karar vermek için belirgin bir cut-off kriteri olmadığından, vakaya dayalı olarak bir birim süreci veya malzemeyi hariç tutma seçimi yapılabilir.⁴

4. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada, beşikten mezara yaklaşımı ile çitir ve katlanır plastik kasaların çevresel performansını karşılaştırmak hedefiyle ISO 14040/14044 metodolojisine uygun bir Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA) çalışması yürütülmüştür. Bu çalışmanın bir

⁴ . ISO. (2006a) Environmental Management – Life cycle assessment – Principles and framework. ISO 14040:2006. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization. Retrieved from: iso14040.pdf (uri.edu)

diğer önemli amacı, ürünün değer zincirindeki yüksek çevresel etkiye sahip noktalarını keşfetmek ve bulguları sürdürülebilir ürünler geliştirmek için kullanmaktır.

Bu değerlendirme, bilimsel bir metodolojiye dayanmaktadır ve paydaşlara dahili ve harici olarak ürünlerin çevresel etkileri hakkında bilgilendirme sağlamaktadır. Bununla birlikte bu rapor şirketin çevre stratejilerini geliştirilmesinde ve rakiplerine karşı kıyaslamada kullanılabilmektedir. Ayrıca bu LCA raporu, dış paydaşlar için güçlü bir pazarlama aracı olup kamu politikası oluşturma sürecine de katkıda bulunabilmektedir. Şirket, öne çıkan ürünlerinin kapsamlı bir LCA çalışmasını sunarak müşterilerine, çevreye ve topluma karşı sorumluluğunu yerine getirmektedir.

Bu çalışma, sonuçları şeffaf bir şekilde karşılaştırmak için değerlendirilen çıtır ve katlanır plastik kasa için Yaşam Döngüsü Analizi ile beşikten kapıya çevresel etki profilini sunmaktadır. Bu LCA çalışmasının güvenilirliğini artırmak için; malzeme temini, nakliye, üretim ve geri dönüşüm aşamalarından yüksek kaliteli verilerin toplanmasına önem verilmiştir.

5. Çalışmanın Kapsamı

Bu bölüm, belirtilen hedeflere ulaşmak için projenin genel kapsamını ve metodolojisini özetlemektedir. Çalışma kapsamı dahilinde, hangi üretim teknolojilerinin değerlendirileceği ile birlikte destekleyici ürün sistemleri, çalışmanın işlevsel birimi ve sistem sınırları, veri toplama, yazılım ve veri tabanı, cut-off kriterleri, veri kalitesi gereksinimleri, coğrafya ve zaman kapsamı, tahsis ilkeleri ve çevresel etki kategorilerinin seçimleri detaylandırılmaktadır.

5.1. Malzeme Bilgisi

Bu bölümde çıtır ve katlanır plastik kasa için yapılan LCA analizinde kullanılan girdiler fonksiyonel birim bazında hazırlanmıştır. Yaşam döngüsü aşamalarına göre başlıklar oluşturulmuş, girdi kalemleri çıtır ve katlanır plastik kasa için Tablo 1 ve Tablo 2' de özet olarak sunulmuştur.

Tablo 1 Çıtır plastik kasa LCA girdi bilgileri

ÇITIR PLASTİK KASA

1.BESİKTEN KAPIYA

Üretimde Kullanılan Malzemeler			Malzeme Nakliyesi				
Malzeme Kategorisi	Malzeme Adı	Ulaşım Şekli	Araç Tipi	Yakıt Türü	Araç Kapasite (kg)	Araçların ortalama yakıt tüketimi (L/km)	Geri Dönüşüm Elektik Tüketimi
Ana Ham madde (İkincil)	H-PPC (Polipropilen Kopolimer)	Kara yolu	Tır	Dizel	828	0.33	Var
Katkı Maddesi 1 (İkincil)	H-LDPE (Yüksek Yoğunluklu Polietilen)	Kara yolu	Tır	Dizel	828	0.33	Var
Katkı Maddesi 2	Polietilen ve Kalsiyum Karbonat İçeren Nem Giderici	Kara yolu	Tır	Dizel	24000	0.33	Yok

2. KAPIDAN KAPIYA

Çıtır Plastik Kasa Üretimden Kaynaklı Tüketimler				
Enerji Tüketimi	Su Tüketimi	Paketleme	Şirket İçi Nakliye	
Elektrik	Şebeke Suyu	Streç Plastik	Araç Tipi	Yakıt Türü
		Karton	Forklift	Dizel
		Palet		

3. KAPIDAN KULLANICIYA VE KULLANIM

Çıtır Plastik Kasa Nakliyesi (Fabrikadan Müşteriye)				
Ulaşım Şekli	Araç Tipi	Yakıt Türü	Araç Kapasite (kg)	Araçların ortalama yakıt tüketimi (L/km)
Kara yolu	Tır	Dizel	1150	0.33

Çıtır plastik kasaların tek kullanımlık olduğu varsayılmıştır. Bu sebeple kullanım evresinde kaynak tüketimi yoktur.

4.YASAM SONU

Yaşam Sonu Senaryosu		Çıtır Plastik Kasa Bertaraf Nakliyesi	
Geri Dönüşüm	%55	Bertaraf Nakliyesi	Ulaşım Şekli
Düzenli Depolama	%45	Var	Kara yolu

6418 Çıtır Plastik Kasa



Tablo 2 Katlanır plastik kasa LCA girdi bilgileri

KATLANIR PLASTİK KASA

1.BESİKTEN KAPIYA

Üretimde Kullanılan Malzemeler			Malzeme Nakliyesi			
Malzeme Kategorisi	Malzeme Adı	Ulaşım Şekli	Araç Tipi	Yakıt Türü	Araç Kapasite (kg)	Araçların ortalama yakıt tüketimi (L/km)
Ana Ham madde	H-PPC (Polipropilen Kopolimer)	Kara yolu	Tır	Dizel	24750	0.33
		Kara yolu	Tır	Dizel	24750	0.33
Katkı Maddesi	LLDPE (Lineer Düşük Yoğunluklu Polietilen)	Kara yolu	Tır	Dizel	24000	0.33
Boya	Boya Yeşil (PE Taşıyıcı Yeşil Masterbatch.)	Kara yolu	Tır	Dizel	24000	0.33
Aksesuar	H-POM (Polioksimetilen/Polyasetal)	Kara yolu	Tır	Dizel	24000	0.33

2. KAPIDAN KAPIYA

Katlanır Plastik Kasa Üretimden Kaynaklı Tüketimler			
Enerji Tüketimi	Su Tüketimi	Paketleme	Şirket İçi Nakliye
Elektrik	Şebeke Suyu	Streç Plastik	Araç Tipi
		Palet	Forklift
			Yakıt Türü
			Dizel

3. KAPIDAN KULLANICIYA VE KULLANIM

Katlanır Plastik Kasa Dezenfekte Nakliyesi				
Ulaşım Şekli	Araç Tipi	Yakıt Türü	Araçların ortalama yakıt tüketimi (L/km)	Araç Kapasite (kg)
Kara yolu	Tır	Dizel	0.33	15235

Katlanır Plastik Kasa Kullanım Evresi					
Katlanır Plastik Kasa Dezenfekte Nakliyesi					
Su Tüketimi	Ulaşım Şekli	Araç Tipi	Yakıt Türü	Araç Kapasite (kg)	Araçların ortalama yakıt tüketimi (L/km)
Deiyonize Su	Kara yolu	Tır	Dizel	8836.3	0.33

4. YAŞAM SONU

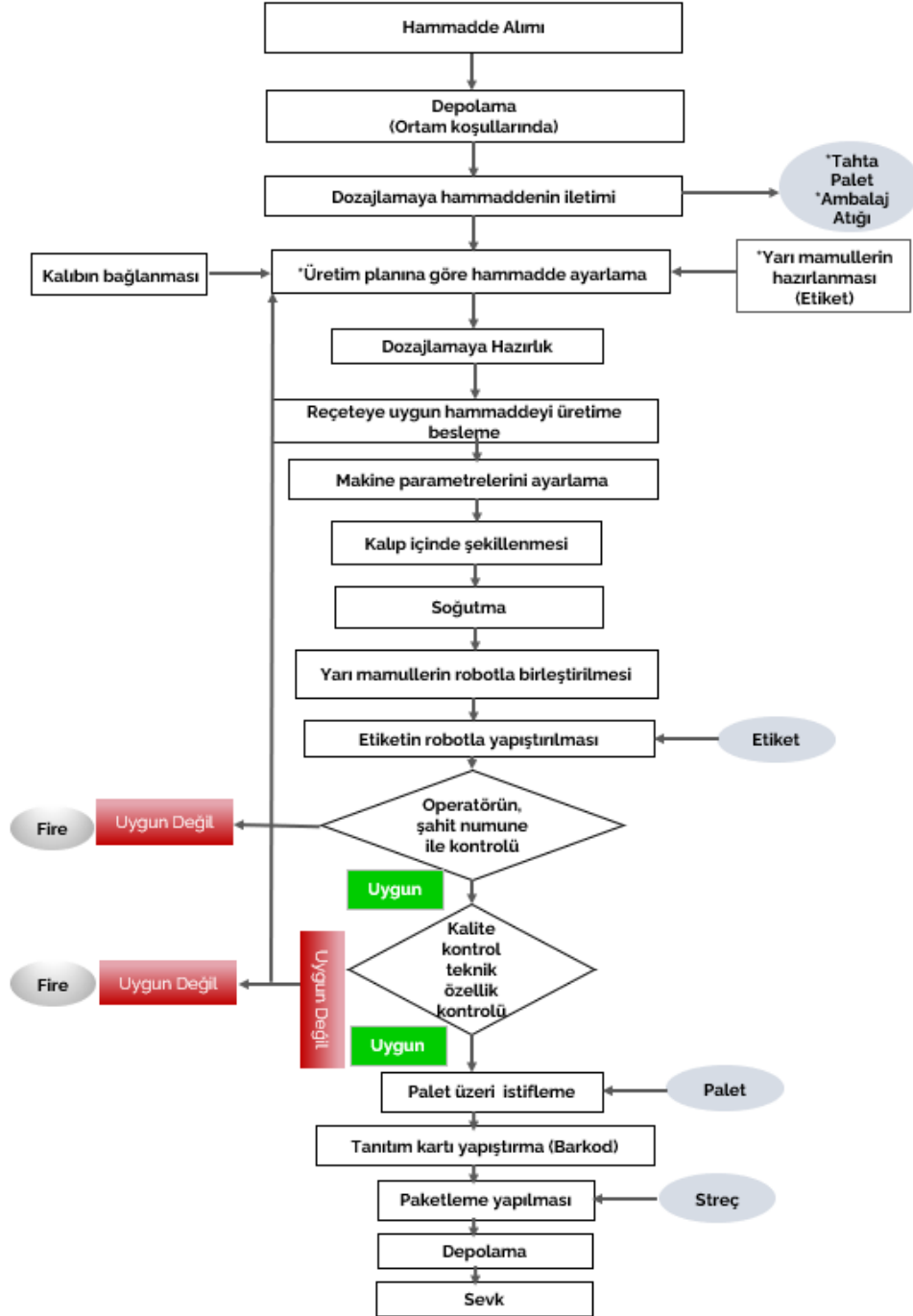
Yaşam Sonu Senaryosu		Katlanır Plastik Kasa Dönüşüm Nakliyesi	
Geri Dönüşüm	%90	Dezenfekte Nakliyesi	Ulaşım Şekli
Düzenli Depolama	%10	Var	Kara yolu

B6417-A Katlanır Plastik Kasa



5.2. Ürünlerin Üretim Akış Şemaları

Çıtır ve katlanır plastik kasaların üretim akış şemaları Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4 Çıtır ve katlanır plastik kasanın üretim akış şeması

5.3. Fonksiyonel Birim

Çıtır plastik kasanın 1 kez, katlanır plastik kasanın ise 5 yıl boyunca yılda ortalama 20 kez kullanıldığı varsayılmıştır. Toplamda 100 kez kullanılan katlanır plastik kasaların 99 kez yıkama işlemine tabii tutulduğu LCA modellemesine yansıtılmıştır.

Çıtır plastik kasanın hacmi 0,039 m³ iken, katlanır plastik kasanın hacmi 0,035 m³'tür. Kasaların fonksiyonel birim hesabında ortak minimum hacim olan 0,035 m³ dikkate alınmıştır. Çıtır ve katlanır plastik kasa için hacim bilgileri Tablo 3'te gösterilmiştir.

Analiz edilen sistemin işlevi, birim çıtır ve katlanır plastik kasanın 0,035 m³ eşit hacimde kullanım amacına uygun olan ürünlerin taşınmasını ve depolanmasını sağlamaktır. Bu çalışma, karşılaştırmalı LCA çalışması olduğundan ortak bir fonksiyonel birim (FU) belirlenmiştir. Bu doğrultuda ortak fonksiyonel birim, 3,5 m³ (100 çıtır plastik kasa hacmine denk gelen) taşıma kapasitesi olarak kabul edilmiştir.

Bir katlanır plastik kasa ömrü boyunca 3,5 m³ taşıma kapasitesine sahipken, bir çıtır plastik kasa ömrü boyunca 0,035 m³ taşıma kapasitesine sahiptir. Bundan dolayı ortak fonksiyonel birim 3,5 m³ olarak belirlenmiştir.

Tablo 3 Kasaların hacim bilgileri

Ürünler	B-6418 Çıtır Plastik Kasa	
	İç Hacim (m ³)	576,5 mm x 376,50 mm x 170 mm
	Toplam Hacim (m ³)	0,039
	6417A Katlanır Plastik Kasa	
	İç Hacim (m ³)	566 mm x 368 mm x 166 mm
	Toplam Hacim (m ³)	0,035

Tablo 4 Fonksiyonel birimin belirlenmesi

Fonksiyonel Birimin Belirlenmesi					
Ürün	Bir Kasanın Hacmi (m ³)	Bir Kasa Ortak Hacmi Varsayımı (m ³)	Kullanım Sayısı	Bir Kasa Taşıyabileceği Toplam Hacim (m ³)	Fonkiyonel Birim (m ³)
B-6418 (Çıtır Plastik Kasa)	0,039	0,035	1	0,035	3.5
6417A (Katlanır Plastik Kasa)	0,035		100	3.5	

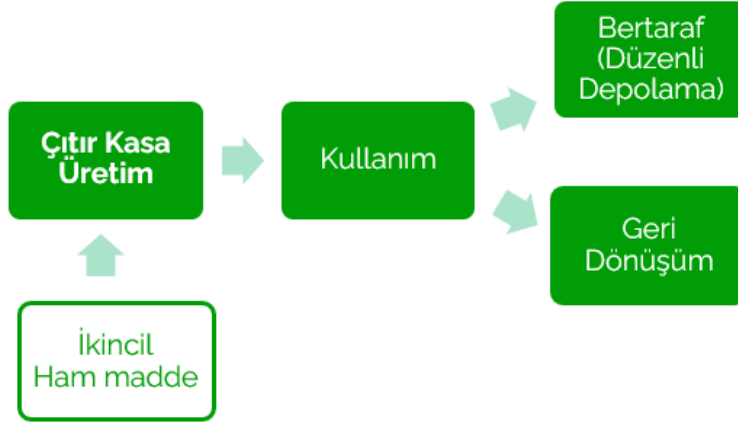
5.4. Ürünlerin Yaşam Döngü Süreci:

5.4.1. Çıtır Plastik Kasanın Yaşam Döngü Süreci:

Çıtır plastik kasa müşteriler tarafından belirsiz süre kullanılabilir. Çıtır plastik kasanın tekrar kullanımı için toplanma ve yıkanma uygulanmamaktadır. Bu LCA çalışmasında, Türkiye'de yürürlükte olan Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği'nde belirtilen geri dönüşüm hedeflerine uygun olarak; çıtır plastik kasaların bir kez kullanıldığı ve sonrasında %55 oranında geri dönüştürüldüğü, %45 oranında ise katı atık düzenli depolama tesisine gönderildiği varsayılmıştır ⁵.

Kullanımı sona eren çıtır plastik kasalar Benoplast bünyesindeki geri dönüşüm (ham madde üretim) tesislerinde geri dönüşüm sürecine girmekte ve ikincil ham maddeye dönüştürülmektedir. Bu tesiste, sadece şirket tarafından üretilen çıtır plastik kasalar için değil, aynı zamanda diğer plastik kasalar için de geri dönüşüm yapılarak ham madde elde edilmektedir. Çıtır plastik kasada kullanılan ana ham madde her zaman ikincil ham madde olarak geri dönüşüm tesisinden kazanılan ham maddedir.

⁵ Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği (2021). Resmi Gazete (Sayı: 31523). Erişim adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2021/06/20210626-18.htm>



5.4.2. Katlanır Plastik Kasanın Yaşam Döngü Süreci:

Üretimi 2021 yılında başlayan katlanır plastik kasalar Benoplast Tesisleri'nde üretildikten sonra bir alt kuruluş olan Trento'ya satılmaktadır. Trento tarafından firmalara kiralanın katlanır plastik kasaların, ortalama 5 yıl boyunca kullanıldığı varsayılmıştır. Trento tarafından her kullanımdan sonra toplanan kasalar, yıkanıp tekrar firmalara kiralanmaktadır. Ortalama 5 yıl ve yılda 20 kez, toplamda ömrü boyunca 100 kez kullanıldığı varsayılan kasaların geri dönüştürölüp ikincil ham madde olarak kullanılması planlanmaktadır. Bir yıldan az süredir üretimi yapılan katlanır plastik kasaların bertaraf senaryosu geri dönüştürölüğü varsayılarak oluşturulmuştur. Kullanımı sona eren katlanır plastik kasaların %90 oranında geri dönüştürölüğü varsayılmıştır.



5.5. Sistem Sınırları:

LCA modeli “beşikten mezara” yaklaşımıyla oluşturulmuştur. Tablo 5'te, beşikten mezara LCA yaklaşımı ile dahil edilen ve hariç tutulan tüm bileşenler gösterilmiştir.

Tablo 5 Dahil edilen ve hariç tutulan bileşenler

Dahil Edilen ve Hariç Tutulan Bileşenler	
Dahil	Hariç
Ham madde üretimi	Çalışan insan gücü
Nakliye (Ham maddelerin tesise nakliyesi, tesis içi nakliye, ürünlerin müşterilere nakliyesi, kullanım evresi nakliyeleri)	Ofis genel kullanımları (Isıtma, aydınlanma, elektronik eşya kullanımı vb.)
Operasyonel tüketimler (enerji+su+paketleme)	
Kullanılan enerjinin üretimi	
Ürün kullanım aşaması	
Ürün yaşam sonu aşaması	

5.6. Veri toplanması:

Birincil veriler, doğrudan üreticiden elde edilen bilgilerdir ve analiz edilen yaşam döngüsü aşamalarıyla ilgilidir. Birincil veriler, Benoplast'ın Yalova, Türkiye tesisindeki kasa üretim süreçlerinden elde edilmiştir. Mevcut birincil verinin sağlanamadığı durumlarda ikincil veriler ilgili literatür araştırması ile desteklenerek Ecoinvent (versiyon 3.8) AB ve küresel veri setleri ile tamamlanmıştır.

Katlanır plastik kasa üretimi, henüz 5 yılı doldurmadığından dolayı literatür araştırması sonucu yaşam sonu senaryosunda ham maddenin %90'ının geri dönüştürüldüğü varsayılmıştır ⁶.

Üretimde kullanılan her bir ham maddenin kaynağı ve miktarı belirlendikten sonra, bu malzemelerin taşındığı kilometre bilgileri ve nakliye verileri Benoplast tarafından sağlanmıştır. Taşıma araçlarının boyutları değiştiği için nakliye girdileri kg.km bilgileri yerine yakıt bilgisi (tüketim miktarı ve yakıt türü) üzerinden modelde tanımlanmıştır. Ayrıca elektrik veri seti olarak Ecoinvent (versiyon 3.8) Türkiye elektrik üretim veri seti kullanılmıştır.

5.7. Yazılım ve Veritabanı:

LCA modeli, SimaPro (Ver. 9.3.0.3) yaşam döngüsü değerlendirme yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. SimaPro LCA yazılımı, ürün ve hizmetlerin yaşam döngüsü performansını analiz etmek için sürdürülebilirlik verileriyle gelişmiş hesaplamalar yapmak üzere Pré Sustainability tarafından geliştirilmiştir.

SimaPro, 80'den fazla ülkede endüstri, danışmanlık ve araştırma enstitüleri tarafından kullanılan ISO 14067 ve 14040 uyumlu bir yazılımdır. Bu yazılım, tasarım aşamasında anahtar performans göstergeleri belirlenerek ürün tasarımına uygulanabilen ve ürünü daha sürdürülebilir hale getirebilen, aynı zamanda karbon ve su ayak izi ve tüm yaşam döngüsü aşamalarını kapsayabilen daha kapsamlı değerlendirmeler için de kullanılabilen profesyonel bir araç olarak kullanılabilir. Bu değerlendirmeler, şirketler tarafından sürdürülebilirlik raporlama formatlarında yaygın olarak kullanılmaktadır ve aynı zamanda çevresel ürün beyanı (EPD) olarak da yayınlanabilmektedir.

Ecoinvent veri tabanı, doğal kaynak eldesi, su, toprak ve hava emisyonları, operasyonel tüketim kaynaklarının etkileri, ürünler ve yan ürünler ile atıklar dahil olmak üzere modellendikleri endüstriyel süreçler hakkında verileri içermektedir.

⁶ D.S. Achilias, C. Roupakias, P. Megalokonomos, A.A. Lappas, E.V. Antonakou, Chemical recycling of plastic wastes made from polyethylene (LDPE and HDPE) and polypropylene (PP), Journal of Hazardous Materials, Volume 149, Issue 3, 2007, Pages 536-542, ISSN 0304-3894, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.06.076>.

5.8.Cut-Off Kriteri:

LCA hesaplaması için mevcut tüm girdiler ve çıktılar, %1 cut-off kriterinin altında dikkate alınmıştır. Malzeme akışlarına malzeme ve enerji verilerini dahil etmek veya hariç tutmak için cut-off kriterleri aşağıdaki gibidir:

Çıtır plastik kasalar için barkod ve paketleme için kullanılan ip, katlanır plastik kasalar için ise etiket ve barkod LCA girdilerinden hariç tutulmuştur.

5.9. Veri kalitesi gereksinimleri:

Veri kalitesinin, çalışmanın amaç ve kapsamının önceden belirlenmiş standartlarını karşılaması kritik önem taşır. Kesinlik, tamlık, tutarlılık ve temsil edilebilirlik, veri kalitesini (coğrafi, zaman, teknoloji) değerlendirmek için kullanılan önemli kriterlerdir.

Benoplast tesisinden toplanan tüm birincil veriler, veri kalitesinin bir ölçütü olarak 2021 yılı için ortalama değerleri alınarak elde edilmiştir. Bu veriler, SimaPro'da birincil veri kümeleri oluşturmak için kullanılmıştır. Ecoinvent sürüm 3.8 (2021) veritabanından, yaşam döngüsü aşamalarıyla ilgili ikincil veriler sağlanmıştır. Kullanılan Ecoinvent verilerinin maksimum 10 yıllık olmasına özen gösterilmiştir. Modellemede kullanılan veri kümeleri Ek A'da gösterilmiştir.

5.10. Coğrafya Kapsamı:

Plastik kasa üretimi küreseldir. Birincil veriler Benoplast'ın Türkiye Yalova tesisindeki kasa üretiminden elde edilmiş, ikincil veriler ise Türkiye veri setlerinin olmadığı durumda AB ve global veri setleri üzerinden elde edilmiştir.

5.11. Zaman Kapsamı:

Bu LCA çalışmasında, çıtır plastik kasa için Ocak-Aralık 2021 verileri, katlanır plastik kasa için ise 2021 yılı son çeyrek operasyon verileri dikkate alınarak fonksiyonel birim bazında ortalama değerler kullanılmıştır.

5.12. Tahsis İlkeleri:

Ham madde üretim verileri, nakliye, enerji ve tesiste kullanılan her türlü kaynak kategori bazında değerlendirilmiştir. Kaynakları tahsis ederken seçilen yöntem, sürecin doğasına ve amacına göre belirlenmiştir.

5.13. Çevresel etki kategorilerinin seçilmesi:

Etki değerlendirmesi aşamanın amacı, önceki aşama olan envanter analizi sonuçlarına dayalı olarak potansiyel çevresel sonuçların büyüklüğünü ve önemini değerlendirmektir (ISO 14040/44, 2006a). Bu çalışmanın yaşam döngüsü etkilerini hesaplamak için SimaPro'nun EF 3.0 Yöntemi (değiştirilmiş) (ver.1.01) kullanılmıştır. Tablo 6'da yaşam döngüsü etki indikatörleri ve bunları hesaplamak için kullanılan metodolojiler listelenmiştir.

Avrupa Komisyonu'nun Çevresel Ayak İzi (EF) girişimi, herhangi bir ürün veya hizmetin tüm yaşam döngüsü boyunca çevresel performansını değerlendirmek için tutarlı bir bilimsel metodoloji sağlamayı amaçlamaktadır. EF, bir aktivitenin sadece bir tanesine odaklanmak yerine birden fazla etkisini dikkate almaya çalışan istatistikleri ifade eder. Bu veri tabanında Ürün Çevresel Ayak İzleri (PEF) kategori kuralları ve organizasyon çevresel ayak izi sektör kuralları desteklenmektedir. Bu kurallar, EF yaklaşımıyla uyumlu olması amaçlanan tamamlayıcı yaşam döngüsü envanteri veri kümelerini ve bir EF etki değerlendirme yöntemini içermektedir.

Bu LCA çalışmasının amaç ve kapsam olarak uygunluğu değerlendirildiğinde, EF yönteminin LCIA metodolojisine uygulanmasına karar verilmiştir. LCA çalışması indikatörleri ve metodları Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6 LCA çalışması indikatörleri ve hesaplama yöntemleri

LCA İndikatörleri	Birim	Etki Kategorisi Methodu	İndikatör
Asidifikasyon	mol H ⁺ eq.	Accumulated Exceedance	Accumulative Exceedance (AE), asitleştirici maddelerin biriktiği karasal ve büyük tatlı su ekosistemlerinde hassas alanın kritik yük aşımındaki değişikliği karakterize eder.
İnsan sağlığı, kanserojenler (Cancer human health effects)	CTUh	USEtox consensus model	İnsanlar için Karşılaştırmalı Toksik Birim (CTUh), yayılan bir kimyasalın birim kütlesi başına tüm insan popülasyonunda hastalık oranında beklenen artışı (kilogram başına vaka) ifade eder.
İklim değişikliği (Global Warming Potential, GWP)	kg CO ₂ eq.	The baseline model of the IPCC 2013, including the carbon feedbacks for different substances.	100 yıl için Küresel Isınma Potansiyeli'ni ifade eder.
İklim değişikliği – biyojenik	kg CO ₂ eq.		
İklim değişikliği – arazi kullanımı	kg CO ₂ eq.		
İklim değişikliği – fosil yakıt	kg CO ₂ eq.		
Ekotoksiklik, tatlı su	CTUe	USEtox consensus model	Ekosistemler için Karşılaştırmalı Toksik Birim (CTUe), yayılan bir kimyasalın birim kütlesi başına zaman ve hacim üzerinden entegre türlerin, potansiyel olarak etkilenen fraksiyonunun (PAF) tahminini ifade eder (PAF m ³ yıl/kg).
Ötrofikasyon, tatlı su	kg P eq.	EUTREND model	Fosfor eşdeğerleri: Yayılan nütrientlerin tatlı suya ulaşma derecesini (tatlı suda sınırlayıcı faktör olarak kabul edilen fosfor) karakterize eder.

Ötrofikasyon, denizsel	kg N eq.	EUTREND model	Azot eşdeğerleri: Yayılan nütrientlerin denize ulaşma derecesini (deniz suyunda sınırlayıcı faktör olarak kabul edilen azot) karakterize eder.
Ötrofikasyon, karasal	kg N eq.	Accumulated Exceedance	Accumulated Exceedance (AE), ötrofikasyon yapan maddelerin biriktiği hassas alanın kritik yük aşımındaki değişikliği tanımlar
İnsan sağlığı, kanserojen olmayan (Non-cancer human health effects)	CTUh	USEtox consensus model	İnsanlar için Karşılaştırmalı Toksik Birim (CTUh), yayılan bir kimyasalın birim kütlesi başına tüm insan popülasyonunda hastalık oranında beklenen artışı ifade eder (kilogram başına vaka).
Ozon Tabakası İncelmesi, (Ozone Depletion Potential, ODP)	kg CFC11 eq.	Steady-state ODPs	Ozon Tüketim Potansiyeli (ODP) kullanılarak 100 yıllık bir zaman diliminde stratosferik ozon tabakası üzerindeki zararlı etkilerin hesaplanmasını ifade eder.
Fotokimyasal Sis, (Photochemical ozone creation potential, POCP)	kg NMVOC eq.	LOTOS-EUROS model	Fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli (POCP): Fotokimyasal ozon oluşumuna potansiyel katkını ifade eder.
Kaynak tüketimi, enerji taşıyıcıları	MJ	ADP for energy carriers, based on van Oers et al. 2002 as implemented in CML, v. 4.8 (2016).	Abiyotik kaynak tükenen fosil yakıtlar (ADP-fosil); alt ısıtma değerine göre hesaplanır.
Kaynak tüketimi, mineral, ve metaller	kg Sb eq	ADP for energy carriers, based on van Oers et al. 2002 as implemented in CML, v. 4.8 (2016)	Abiyotik kaynakların tükenmesi (ADP nihai rezervi)'ni ifade eder.

6. Yaşam Döngüsü Envanteri (LCI) Analizi

Çıtır ve katlanır plastik kasaların kullanım amacına uygun olarak seçilen 0.035 m³ eşit hacim için yapılan LCA çalışması yaşam döngüsü envanter verileri Ek-A'da verilmiştir.

7. LCA Sonuçları

7.1. B-6418 Çıtır Plastik Kasa

Raporun bu bölümünde, Benoplast tarafından üretilen B-6418 Çıtır plastik kasanın LCA çevresel etki kategorileri sonuçlarına yer verilmiştir.

Çıtır plastik kasanın çevresel etki kategorileri sonuçları; ham madde üretim, ürün gruplarının üretim aşamalarındaki elektrik ve su tüketimleri Tablo 7'de; paketlenme, kullanım aşaması ve bertaraf ve toplam değerleri Tablo 8'de gösterilmiştir. Ek olarak, Şekil 6'da, her bir etki kategorisine göre LCA aşamalarının göreceli etkilerinin yüzdeleri gösterilmektedir. Tüm etki kategorileri için baskın olan aşamanın, ürünlerin üretim sürecindeki elektrik tüketimleri olduğu görülmektedir.

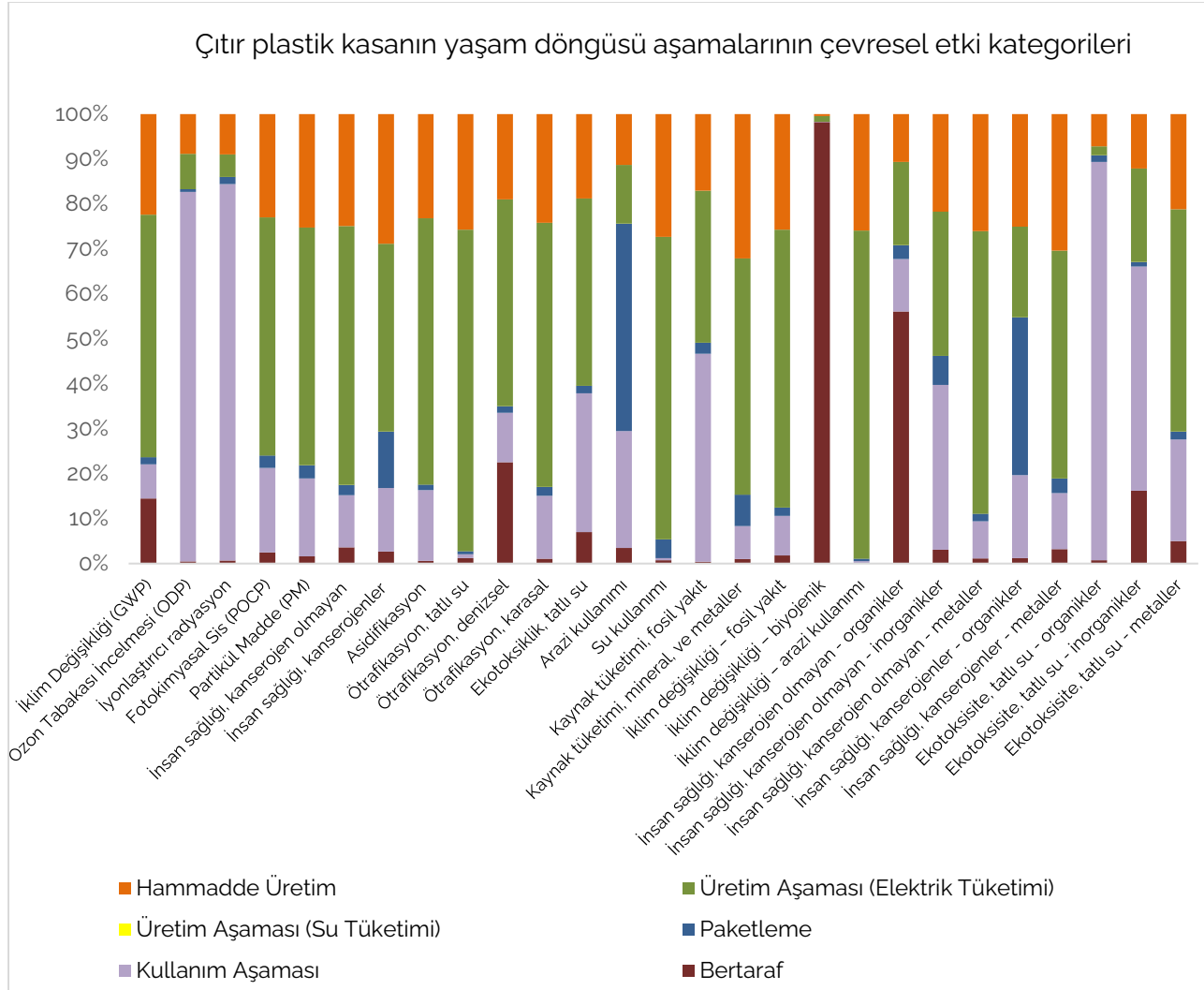
Ürünlerin üretim aşamasındaki elektrik kullanımı; iklim değişikliği, insan sağlığı ve ötrofikasyon gibi birçok kategoride öne çıkmaktadır. Öne çıkan diğer yaşam döngüsü çevresel etkileri ise kullanım aşaması ve ham madde üretimi kaynaklı etkilerdir. Buna ek olarak bazı iklim değişikliği ve insan sağlığı parametrelerinde bertaraf yaşam döngüsünün öne çıktığı görülmektedir.

Tablo 7 Çıtır plastik kasa etki kategorileri sonuçları

Çevresel Etki Kategorileri	Birim	Ham Madde Üretim	Üretim Aşaması (Elektrik Tüketimi)	Üretim Aşaması (Su Tüketimi)
İklim Değişikliği (GWP)	kg CO ₂ eq	30.44	73.35	6,62E-05
Ozon Tabakası İncelmesi (ODP)	kg CFC ₁₁ eq	1.90E-06	1,70E-06	4,40E-12
İyonlaştırıcı radyasyon	kBq U-235 eq	0.50	0,28	7,97E-06
Fotokimyasal Sis (POCP)	kg NMVOC eq	0.09	0,20	2,19E-07
Partikül Madde (PM)	disease inc,	9.73E-07	2,04E-06	3,38E-12
İnsan sağlığı, kanserojen olmayan	CTUh	2.69E-07	6,21E-07	3,90E-12
İnsan sağlığı, kanserojenler	CTUh	9.37E-09	1,36E-08	2,77E-13
Asidifikasyon	mol H ⁺ eq	1.86E-01	4,75E-01	3,67E-07
Ötrofikasyon, tatlı su	kg P eq	2.89E-03	8,05E-03	5,13E-09
Ötrofikasyon, denizsel	kg N eq	2.69E-02	6,51E-02	5,94E-08
Ötrofikasyon, karasal	mol N eq	0.2981	0,7243	6,72E-07
Ekotoksiklik, tatlı su	CTUe	344.29	763,74	1,20E-03
Arazi kullanımı	Pt	58.46	67,37	2,56E-04
Su kullanımı	m ³ depriv,	10.77	26,52	8,60E-03
Kaynak tüketimi, fosil yakıt	MJ	394.35	780,52	1,13E-03
Kaynak tüketimi, mineral, ve metaller	kg Sb eq	6.10E-05	9,97E-05	3,26E-10
İklim değişikliği – fosil yakıt	kg CO ₂ eq	30.17	72,61	6,58E-05
İklim değişikliği – biyogenik	kg CO ₂ eq	8.25E-02	2,21E-01	2,55E-07
İklim değişikliği – arazi kullanımı	kg CO ₂ eq	1.87E-01	5,27E-01	1,14E-07
İnsan sağlığı, kanserojen olmayan - organikler	CTUh	4.95E-09	8,63E-09	1,95E-14
İnsan sağlığı, kanserojen olmayan - inorganikler	CTUh	2.72E-08	4,02E-08	3,48E-13
İnsan sağlığı, kanserojen olmayan - metaller	CTUh	2.39E-07	5,78E-07	3,54E-12
İnsan sağlığı, kanserojenler - organikler	CTUh	2.38E-09	1,91E-09	7,84E-14
İnsan sağlığı, kanserojenler - metaller	CTUh	6.99E-09	1,17E-08	1,99E-13
Ekotoksisite, tatlı su - organikler	CTUe	5.64	1,50	2,00E-05
Ekotoksisite, tatlı su - inorganikler	CTUe	44.05	75,40	1,09E-04
Ekotoksisite, tatlı su - metaller	CTUe	294.60	686,84	1,07E-03

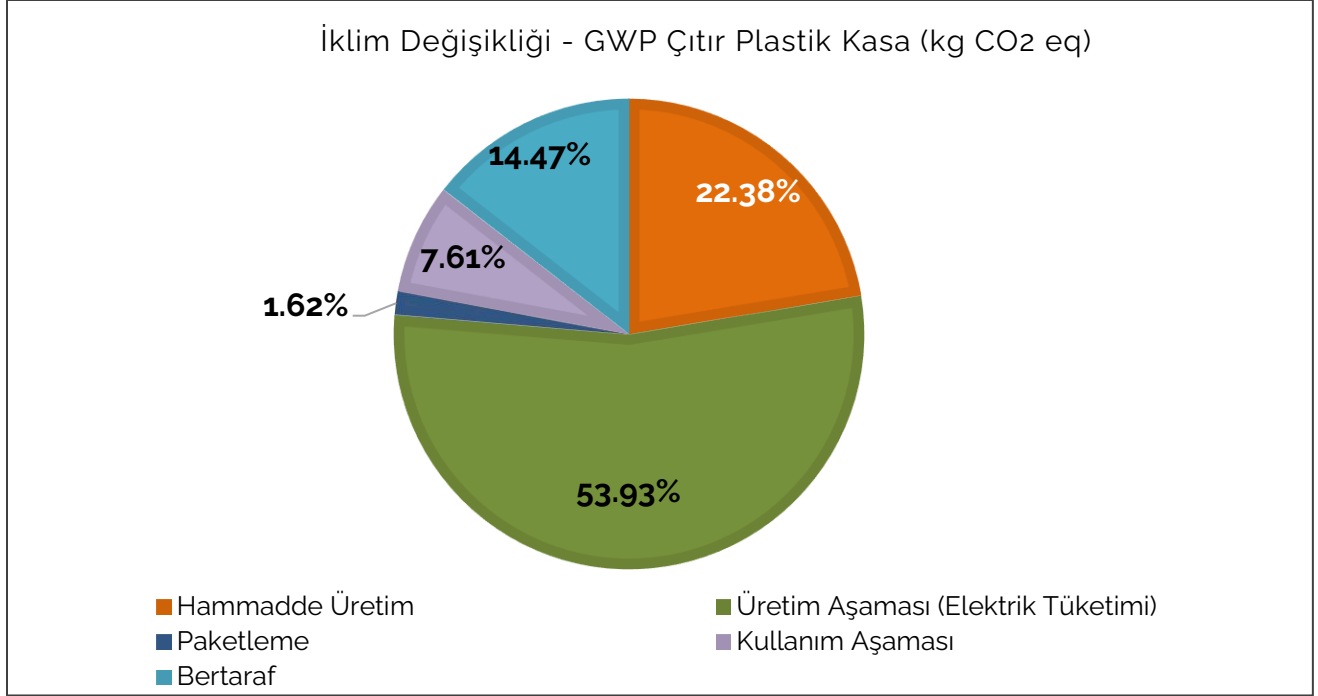
Tablo 8 Çıtır plastik kasa etki kategorileri sonuçları II

Çevresel Etki Kategorileri	Paketleme	Müşteriye Nakliye ve Kullanım Aşaması	Bertaraf	Toplam
İklim Değişikliği (GWP)	2,20	10,35	19,68	136,02
Ozon Tabakası İncelmesi (ODP)	1,26E-07	1,77E-05	1,01E-07	2,16E-05
İyonlaştırıcı radyasyon	0,09	4,64	0,04	5,54
Fotokimyasal Sis (POCP)	0,01	0,07	0,01	0,38
Partikül Madde (PM)	1,13E-07	6,71E-07	6,11E-08	3,86E-06
İnsan sağlığı, kanserojen olmayan	2,50E-08	1,26E-07	3,88E-08	1,08E-06
İnsan sağlığı, kanserojenler	4,09E-09	4,61E-09	8,58E-10	3,25E-08
Asidifikasyon	1,04E-02	1,26E-01	4,75E-03	8,03E-01
Ötrofikasyon, tatlı su	8,59E-05	9,63E-05	1,34E-04	1,13E-02
Ötrofikasyon, denizsel	2,19E-03	1,56E-02	3,20E-02	1,42E-01
Ötrofikasyon, karasal	0,0246	0,1721	0,0134	1,2326
Ekotoksiklik, tatlı su	30,75	565,67	128,80	1833,25
Arazi kullanımı	239,41	134,66	17,86	517,75
Su kullanımı	1,65	0,17	0,30	39,42
Kaynak tüketimi, fosil yakıt	56,64	1069,43	9,45	2310,40
Kaynak tüketimi, mineral, ve metaller	1,34E-05	1,39E-05	1,88E-06	1,90E-04
İklim değişikliği – fosil yakıt	2,19	10,34	2,15	117,46
İklim değişikliği – biyogenik	5,24E-03	7,52E-03	1,75E+01	1,78E+01
İklim değişikliği – arazi kullanımı	4,08E-03	3,38E-03	6,04E-04	7,22E-01
İnsan sağlığı, kanserojen olmayan - organikler	1,45E-09	5,45E-09	2,62E-08	4,67E-08
İnsan sağlığı, kanserojen olmayan - inorganikler	8,09E-09	4,58E-08	3,89E-09	1,25E-07
İnsan sağlığı, kanserojen olmayan - metaller	1,64E-08	7,58E-08	1,06E-08	9,20E-07
İnsan sağlığı, kanserojenler - organikler	3,34E-09	1,75E-09	1,17E-10	9,50E-09
İnsan sağlığı, kanserojenler - metaller	7,51E-10	2,86E-09	7,41E-10	2,30E-08
Ekotoksikite, tatlı su - organikler	1,225	69,57	0,56	78,50
Ekotoksikite, tatlı su - inorganikler	4,05	181,44	59,07	364,02
Ekotoksikite, tatlı su - metaller	25,47	314,65	69,17	1390,74



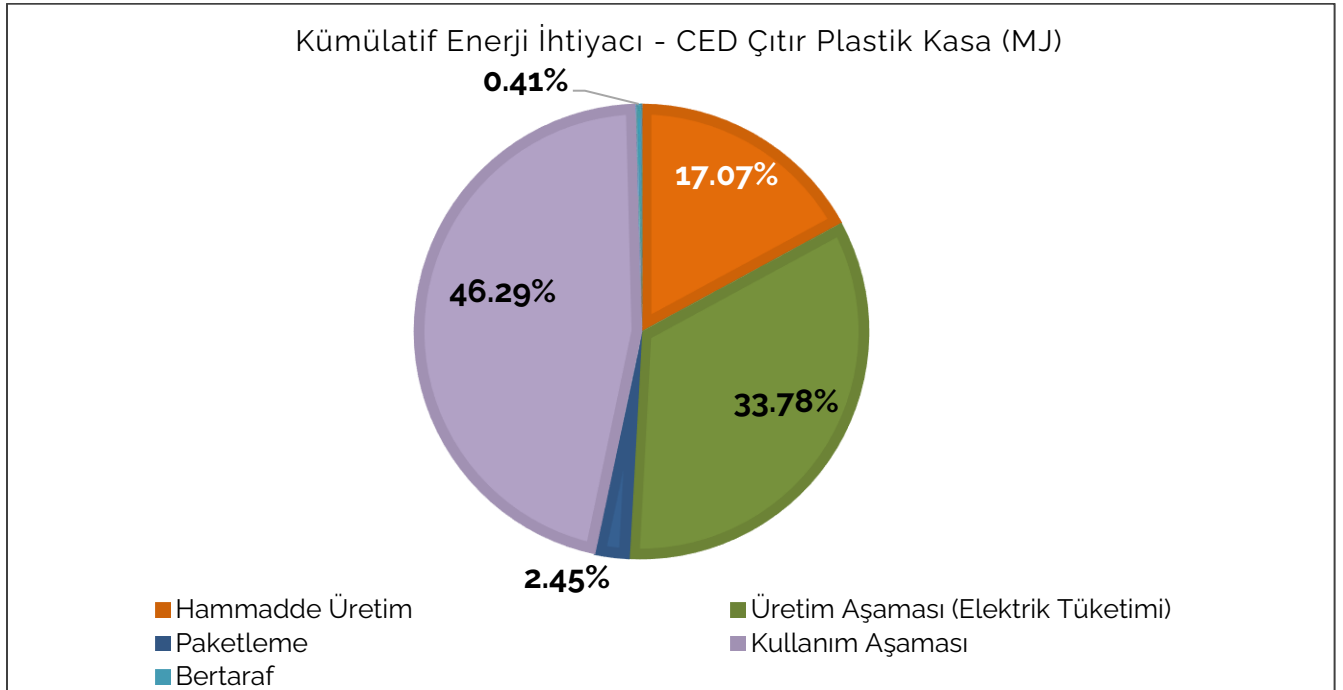
Şekil 5 Çıtır plastik kasanın yaşam döngüsü aşamalarının çevresel etki kategori dağılımı

Çıtır plastik kasa için İklim Değişikliği (GWP) ve Kümülatif Enerji İhtiyacı (CED) etki kategorilerinin yaşam döngüsü aşamaları yüzde grafikleri Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmiştir. Grafikler incelendiğinde; Çıtır plastik kasa GWP çevresel etki değerlerinin üretim aşamasındaki elektrik tüketiminden kaynaklı %53,93 ve ham madde üretiminden kaynaklı %22,38 olduğu görülmektedir. CED çevresel etki kategorisinde ise %46,29 ile kullanım aşaması; ve %33,78 ile üretim aşaması elektrik tüketimi etkileri ön plana çıkmaktadır. Ayrıca, çıtır plastik kasa için GWP ve CED etki kategorilerinin yüzdesel ayrıntılı ağaç grafikleri EK-B1:'de sunulmuştur.



Şekil 6 Çıtır plastik kasa için İklim Değişikliği- GWP (kg CO₂ eq)

*Üretim aşaması (su tüketimi) GWP etkisi %0.0000487 olduğundan grafikte gösterilmemiştir.



Şekil 7 Çıtır plastik kasa için Kümülatif Enerji İhtiyacı- CED (MJ)

*Üretim aşaması (su tüketimi) CED etkisi %0.0000491 olduğundan grafikte gösterilmemiştir.

7.2. 6417A Katlanır Plastik Kasa

Raporun bu bölümünde, Benoplast tarafından üretilen 6417A Katlanır Plastik Kasa'nın LCA çevresel etki kategorileri sonuçlarına yer verilmiştir.

Katlanır plastik kasanın çevresel etki kategorileri sonuçlarının; ham madde üretim aşaması ile ürün gruplarının üretim aşamalarındaki elektrik ve su tüketimleri Tablo 9'da; paketlenme, kullanım aşaması, bertaraf ve toplam değerleri Tablo 10'da gösterilmiştir. Ek olarak, Şekil 9'da, her bir etki kategorisine göre LCA aşamalarının göreceli çevresel etkilerinin yüzdeleri gösterilmektedir. Tüm etki kategorileri için baskın olan yaşam döngüsünün ham madde üretim aşaması olduğu görülmektedir.

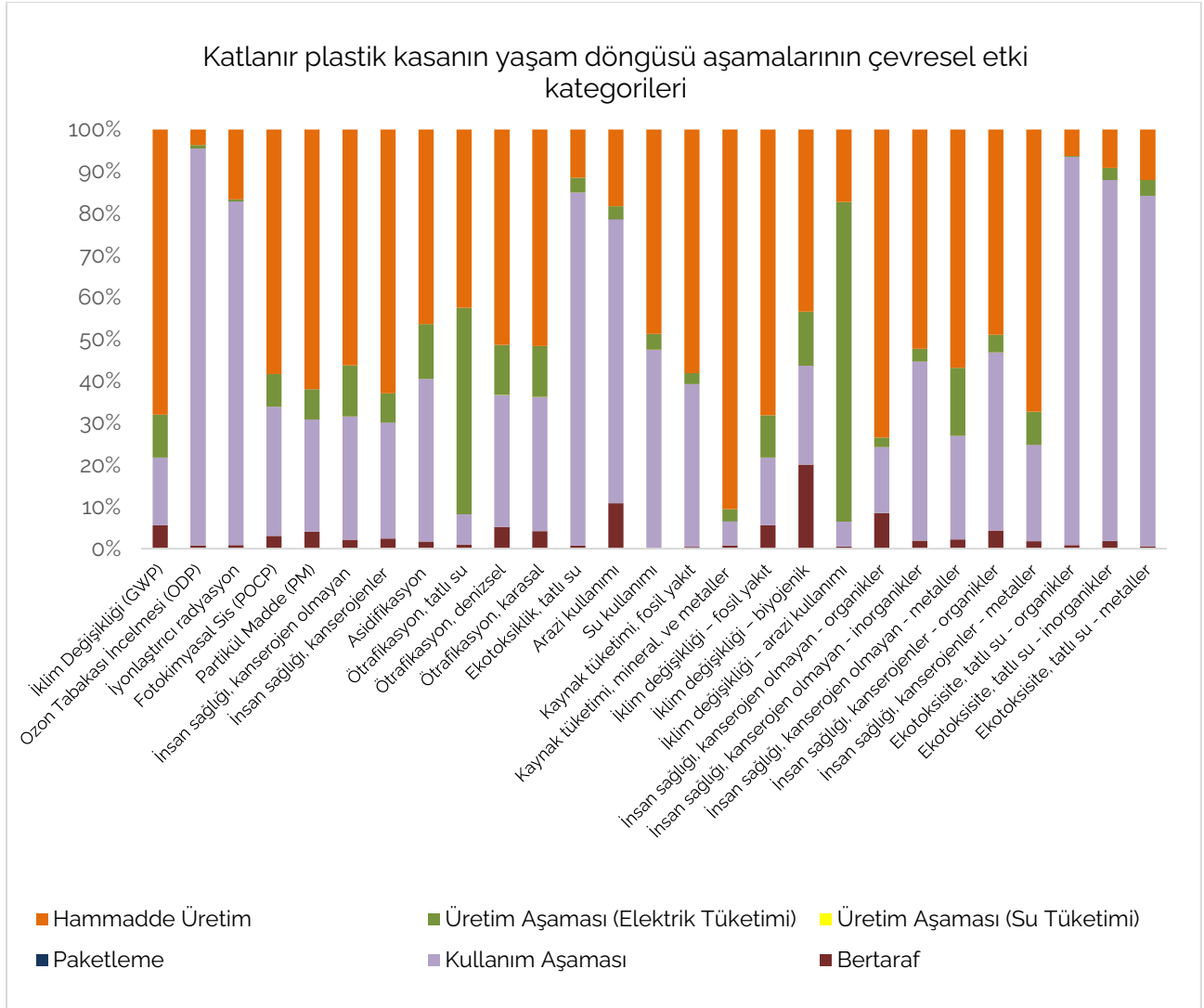
Öne çıkan bir diğer yaşam döngüsü ürünlerin kullanım aşamasındaki çevresel etkilerden kaynaklıdır. Kullanım aşamasındaki nakliye ve su kullanımından kaynaklı çevresel etkilerin ozon tabakası incilmesi, iyonlaştırıcı radyasyon, ekotoksiklik ve arazi kullanımı kategorilerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Buna ek olarak, ötrofikasyon (tatlı su) ve iklim değişikliği (arazi kullanımı) çevresel etki kategorilerinde üretim aşamasındaki elektrik tüketiminin baskın olduğu görülmektedir.

Tablo 9 Katlanır plastik kasa etki kategorileri sonuçları I

Çevresel Etki Kategorileri	Birim	Ham madde Üretim	Üretim Aşaması (Elektrik Tüketimi)	Üretim Aşaması (Su Tüketimi)
İklim Değişikliği (GWP)	kg CO ₂ eq	3.24	0.48	6.62E-07
Ozon Tabakası İncelmesi (ODP)	kg CFC11 eq	5.06E-08	1.12E-08	4.40E-14
İyonlaştırıcı radyasyon	kBq U-235 eq	0.07	0.00	7.97E-08
Fotokimyasal Sis (POCP)	kg NMVOC eq	0.01	0.00	2.19E-09
Partikül Madde (PM)	disease inc.	1.16E-07	1.35E-08	3.38E-14
İnsan sağlığı, kanserojen olmayan	CTUh	1.90E-08	4.10E-09	3.90E-14
İnsan sağlığı, kanserojenler	CTUh	8.09E-10	8.95E-11	2.77E-15
Asidifikasyon	mol H ⁺ eq	1.11E-02	3.14E-03	3.67E-09
Ötrofikasyon, tatlı su	kg P eq	4.59E-05	5.31E-05	5.13E-11
Ötrofikasyon, denizsel	kg N eq	1.86E-03	4.30E-04	5.94E-10
Ötrofikasyon, karasal	mol N eq	0.0203	0.0048	6.72E-09
Ekotoksiklik, tatlı su	CTUe	16.31	5.04	1.20E-05
Arazi kullanımı	Pt	2.65	0.44	2.56E-06
Su kullanımı	m ³ depriv.	2.30	0.18	8.60E-05
Kaynak tüketimi, fosil yakıt	MJ	115.68	5.15	1.13E-05
Kaynak tüketimi, mineral, ve metaller	kg Sb eq	2.09E-05	6.58E-07	3.26E-12
İklim değişikliği – fosil yakıt	kg CO ₂ eq	3.23	0.48	6.58E-07
İklim değişikliği – biyogenik	kg CO ₂ eq	4.94E-03	1.46E-03	2.55E-09
İklim değişikliği – arazi kullanımı	kg CO ₂ eq	7.91E-04	3.48E-03	1.14E-09
İnsan sağlığı, kanserojen olmayan - organikler	CTUh	1.90E-09	5.70E-11	1.95E-16
İnsan sağlığı, kanserojen olmayan - inorganikler	CTUh	4.66E-09	2.65E-10	3.48E-15
İnsan sağlığı, kanserojen olmayan - metaller	CTUh	1.34E-08	3.81E-09	3.54E-14
İnsan sağlığı, kanserojenler - organikler	CTUh	1.51E-10	1.26E-11	7.84E-16
İnsan sağlığı, kanserojenler - metaller	CTUh	6.58E-10	7.69E-11	1.99E-15
Ekotoksikite, tatlı su - organikler	CTUe	0.34	0.01	2.00E-07
Ekotoksikite, tatlı su - inorganikler	CTUe	1.56	0.50	1.09E-06
Ekotoksikite, tatlı su - metaller	CTUe	14.40	4.53	1.07E-05

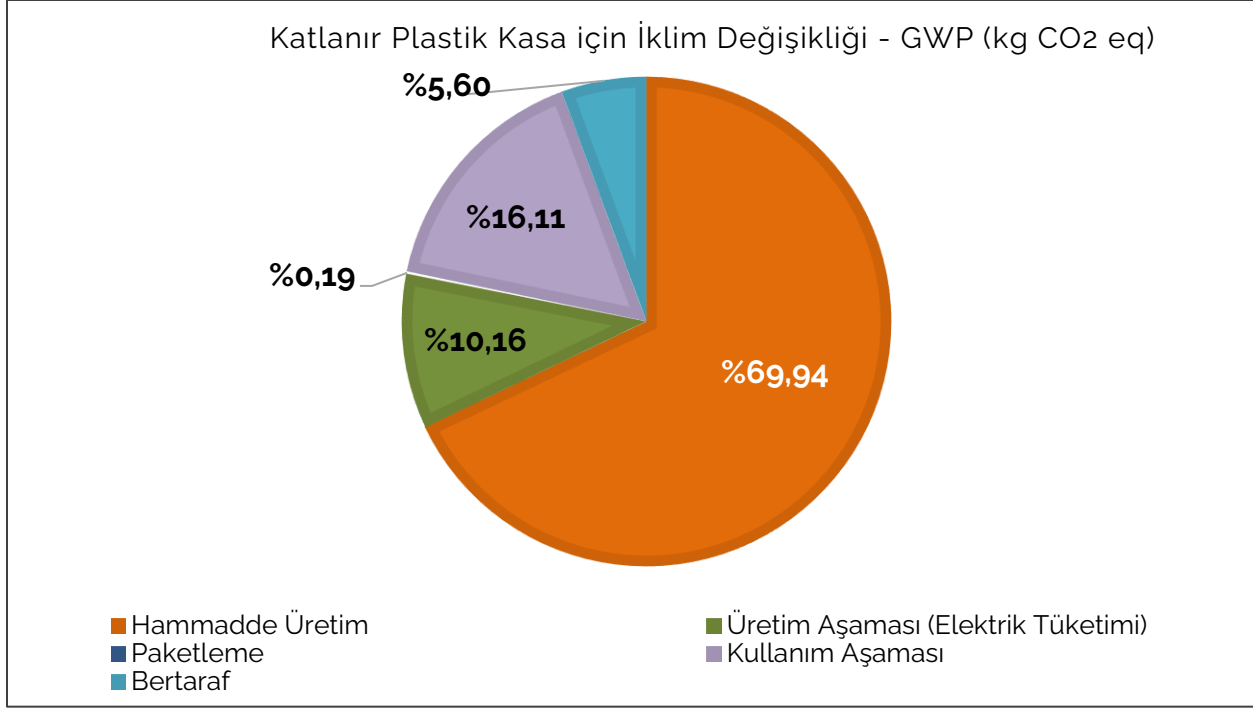
Tablo 10 Katlanır plastik kasa etki kategorileri sonuçları II

Çevresel Etki Kategorileri	Paketleme	Kullanım Aşaması	Bertaraf	Beşikten mezara (bertaraf hariç)	Toplam
İklim Değişikliği (GWP)	8,81E-03	0,77	0,27	4,49	4,75
Ozon Tabakası İncelmesi (ODP)	2,51E-10	1,29E-06	1,08E-08	1,35E-06	1,36E-06
İyonlaştırıcı radyasyon	3,08E-04	0,34	0,00	0,41	0,41
Fotokimyasal Sis (POCP)	3,55E-05	0,01	0,00	0,02	0,02
Partikül Madde (PM)	3,39E-10	5,00E-08	7,55E-09	1,79E-07	1,87E-07
İnsan sağlığı, kanserojen olmayan	7,14E-11	9,96E-09	7,04E-10	3,31E-08	3,38E-08
İnsan sağlığı, kanserojenler	4,17E-12	3,57E-10	3,06E-11	1,26E-09	1,29E-09
Asidifikasyon	3,79E-05	9,32E-03	4,11E-04	2,36E-02	2,40E-02
Ötrofikasyon, tatlı su	2,86E-07	7,79E-06	1,07E-06	1,07E-04	1,08E-04
Ötrofikasyon, denizsel	7,01E-06	1,14E-03	1,87E-04	3,43E-03	3,61E-03
Ötrofikasyon, karasal	7,74E-05	0,0126	0,0016	0,0377	0,0394
Ekotoksiklik, tatlı su	1,02E-01	119,73	1,05	141,08	142,12
Arazi kullanımı	1,02E-01	9,80	1,57	12,89	14,46
Su kullanımı	6,85E-03	2,24	0,01	4,71	4,72
Kaynak tüketimi, fosil yakıt	2,46E-01	77,32	0,86	198,15	199,01
Kaynak tüketimi, mineral, ve metaller	4,75E-08	1,33E-06	1,80E-07	2,29E-05	2,31E-05
İklim değişikliği – fosil yakıt	8,79E-03	0,76	0,26	4,47	4,74
İklim değişikliği – biyojenik	1,98E-05	2,68E-03	2,28E-03	9,08E-03	1,14E-02
İklim değişikliği – arazi kullanımı	8,59E-06	2,72E-04	2,23E-05	4,54E-03	4,56E-03
İnsan sağlığı, kanserojen olmayan - organikler	4,53E-12	4,07E-10	2,19E-10	2,36E-09	2,58E-09
İnsan sağlığı, kanserojen olmayan - inorganikler	1,36E-11	3,81E-09	1,71E-10	8,74E-09	8,91E-09
İnsan sağlığı, kanserojen olmayan - metaller	5,55E-11	5,84E-09	5,18E-10	2,31E-08	2,36E-08
İnsan sağlığı, kanserojenler - organikler	2,01E-12	1,31E-10	1,33E-11	2,95E-10	3,08E-10
İnsan sağlığı, kanserojenler - metaller	2,16E-12	2,25E-10	1,73E-11	9,60E-10	9,78E-10
Ekotoksikite, tatlı su - organikler	1,33E-03	5,02	0,04	5,37	5,41
Ekotoksikite, tatlı su - inorganikler	1,33E-02	14,70	0,32	16,76	17,08
Ekotoksikite, tatlı su - metaller	8,74E-02	100,01	0,68	118,95	119,63



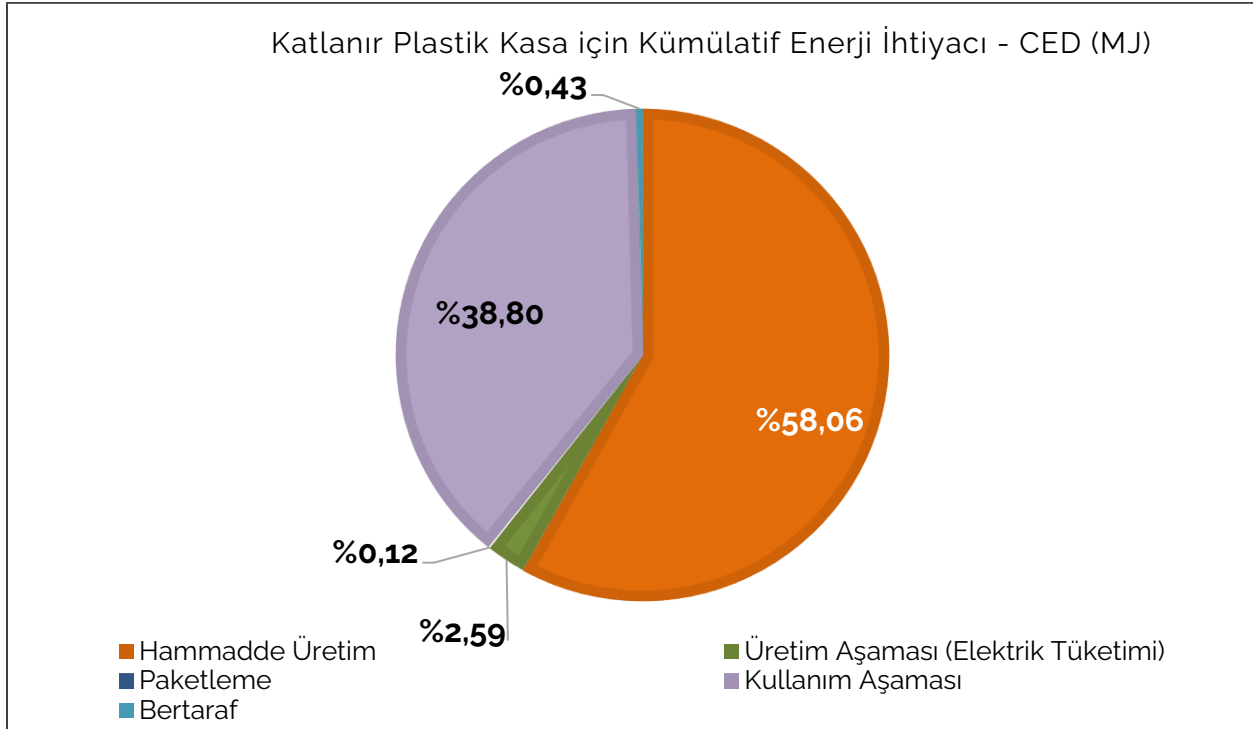
Şekil 8 Katlanır plastik kasanın yaşam döngüsü aşamalarının çevresel etki kategori dağılımı

Kritik etki kategorilerinden olan İklim Değişikliği (GWP) ve Kümülatif Enerji İhtiyacı (CED) parametreleri sırasıyla Şekil 9 ve Şekil 10'da verilmiştir. Grafikler incelendiğinde; katlanır plastik kasa GWP değerlerinde ham madde üretiminin %69,94 ve kullanım aşamasının %16,11 olduğu görülmektedir. CED etki kategorisinde ise %58,06 ile ham madde üretimi ve %38,80 ile kullanım aşaması etkileri ön plana çıkmaktadır. Ayrıca, katlanır plastik kasa için GWP ve CED etki kategorilerinin yüzde ayrıntılı ağaç grafikleri EK-B2:'de verilmiştir.



Şekil 9 Katlanır plastik kasa için İklim Değişikliği- GWP (kg CO₂ eq)

*Üretim aşaması (su tüketimi) GWP etkisi 0.0000139 olduğundan grafikte gösterilmemiştir.



Şekil 10 Katlanır plastik kasa için Kümülatif Enerji İhtiyacı- CED (MJ)

*Üretim aşaması (su tüketimi) CED etkisi 0.0000057 olduğundan grafikte gösterilmemiştir.

8. Yorumlama

Bu bölümde, 6. ve 7. bölümlerde yer alan çıtır ve katlanır plastik kasa için LCA sonuçlarının yorumlamaları verilmektedir.

Yapılan literatür taramasında, polipropilen ham maddesi üretiminin yaşam döngüsü aşamaları içinde en çok olumsuz çevresel etkiye sebep olduğu tespit edilmiştir. Mannheim ve Simenfalvi'nin yaptığı çalışmaya göre, polipropilen ürünlerin 100 yıllık toplam yaşam döngüsü boyunca iklim değişikliği kategorisine etkisi üretim, kullanım ve bertaraf için sırasıyla %60, %5 ve %35'tir⁷. Bununla birlikte, %35'lik çevresel etkiye sahip bertaraf aşaması, polipropilenin ikincil ham madde olarak kullanımı ile azaltılma potansiyeline sahiptir.

Bu LCA çalışmasında, çıtır plastik kasanın ana ham maddesinin tamamı ikincil ham madde kullanımı ile sağlanmaktadır. Galve ve diğ. (2022) yaptığı çalışmada, geri dönüştürülmüş polipropilenin, saf polipropilene kıyasla karbon ayak izini %42,8'e kadar azaltabildiği sonucunu elde ettiler⁸. Yapılan bu LCA çalışmasında, çıtır plastik kasa için ikincil ham madde kullanımı ile çevresel etki kategori sonuçları bahsi geçen literatür çalışması ile paralel sonuçlara ulaşılmıştır.

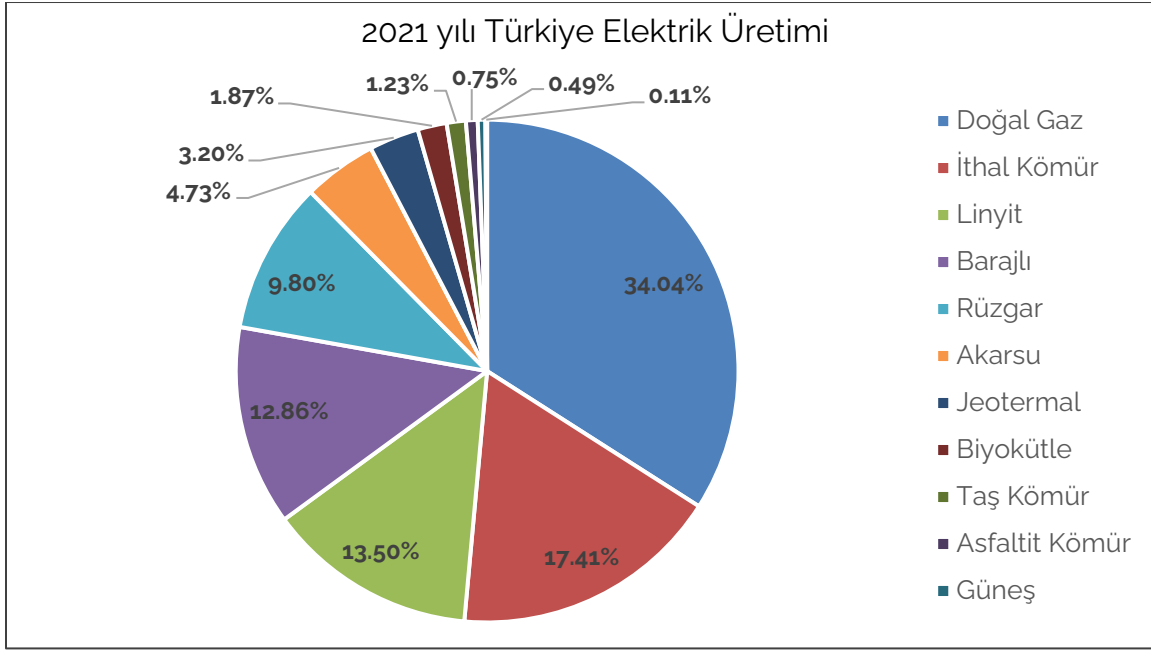
Fonksiyonel birim olarak seçilen 3,5 m³ hacmi taşıyabilen/depolayabilen kasa , 100 çıtır ve 1 katlanır plastik kasaya denk geldiğinden; ham madde kullanım miktarı sırasıyla 55,25 kg ve 1,56 kg'dır. Bu yüzden çıtır plastik kasanın katlanır plastik kasaya kıyasla çevresel etkileri fazladır.

Çıtır plastik kasanın çevresel etki kategorilerini değiştiren önemli ölçütlerden bir diğeri ise üretim aşamasında kullanılan elektriğin yaşam döngüsü aşamasından kaynaklanmaktadır. Türkiye'nin elektriği, Şekil 11'de gösterildiği gibi esas olarak fosil yakıt kaynaklarından üretilmektedir. Türkiye'de elektrik üretiminin kaynaklara göre

⁷ Mannheim, V., & Simenfalvi, Z. (2020). Total life cycle of polypropylene products: Reducing environmental impacts in the manufacturing phase. *Polymers*, 12(9), 1901

⁸ Galve, J. E., Elduque, D., Pina, C., & Javierre, C. (2022). Life cycle assessment of a plastic part injected with recycled polypropylene: a comparison with alternative virgin materials. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 9(3), 919-932.

dağılımına bakıldığında, üretimin yarısından fazlasının doğalgaz ve kömürden kaynaklı olduğu görülmektedir.



Şekil 11 2021 yılı Türkiye elektrik üretimi ⁹

Katlanır plastik kasalar kullanım aşamasında her kullanımdan sonra tesiste yıkanıp müşteriye gönderilmektedir. Bu aşamada gerçekleşen nakliye harcanan dizelden kaynaklı çevresel etkilerin birçok kategoride yüksek olduğu görülmektedir.

Çıtır plastik kasalar bertaraf aşamasında %45 oranında düzenli depolama sahasına gönderilmektedir. Bu nedenle çıtır plastik kasada, iklim değişikliği - biyojenik etki kategorisinde bertaraf aşamasının diğer yaşam döngüsü aşamalarına göre baskın olduğu gözükmemektedir. Düzenli depolama sahaları biyogaz ekstraksiyon sistemleri, çöp gazlarının çıkarılması, arıtılması ve yakılması için kurulduğundan, çöp sahalarından atmosfere verilen biyojenik gaz emisyonunun çoğu, yüzey ortamında, kontrolsüz biyojenik emisyon olarak da bilinen, dağınık bir biçimde meydana gelir ¹⁰.

⁹ Türkiye'nin 2021 yılı Elektrik Üretimi. 15.04.2022 tarihinde <https://www.epias.com.tr> adresinden erişildi.

¹⁰ Lima, R., Nolasco, D., Meneses, W., Salazar, J., Hernández, P., (2002). Global Biogenic Emission of Carbon Dioxide from Landfills 20.05.2022 tarihinde <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2002AGUFM.B51A0703L/abstract> adresinden erişildi.

Katlanır plastik kasalarda öngörülen %90 geri dönüşüm oranı¹¹ bertaraf aşaması etkilerinin çıtır plastik kasaya kıyasla (çıtır plastik kasanın %55 oranında geri dönüştürüldüğü varsayılmıştır) daha az olmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte, kullanım evresinde dikkate alınan müşteriye nakliye ve yıkama suyu tüketimleri; katlanır plastik kasanın kullanım evresinin tüm yaşam döngüsü içerisindeki oranını çıtır plastik kasaya göre daha fazla etkilemektedir.

9. Karşılaştırma

Çıtır ve katlanır plastik kasa için yaşam döngüsü etki değerlendirmesi (LCIA) karşılaştırmaları bu bölümde verilmektedir. Ürün grupları için elde edilen sonuçlar, çevresel etki kategorilerinde ham madde üretimi aşamasının her iki ürün grubu için de diğer aşamalara kıyasla öne çıktığını göstermektedir. Diğer öne çıkan kategoriler çıtır plastik kasa için ürünlerin üretim aşamasındaki elektrik kullanımı olurken, katlanır plastik kasa için kullanım aşaması olmaktadır.

Bu karşılaştırmalı LCA çalışmasında, ömrü boyunca toplamda 100 kez kullanılacağı varsayılan katlanır plastik kasanın çıtır plastik kasaya kıyasla tüm çevresel etkileri daha az olduğu görülmüştür. Katlanır plastik kasa çıtır plastik kasaya göre, GWP kategorisinde yaklaşık 27 kat, CED kategorisinde ise 12 kat daha az olumsuz etkiye sebep olmaktadır.

Ürün grupları için ön plana çıkan H-PPC, LDPE ham maddeleri, elektrik ve kullanım kaynaklı GWP ve CED çevresel etki kategorisi yüzde dağılımları Tablo 11 ve Tablo 12'de, ağaç grafikleri ise EK-B1: ve EK-B2:'de verilmiştir.

Tablo 11 Ürün grupları için İklim Değişikliği (GWP) (kg CO₂ eq.) etki kategorisi yüzde dağılımları

Ürün Grupları	İklim Değişikliği (GWP) (kg CO ₂ eq.)				
	H-PPC	LDPE	Elektrik	Kullanım*	Diğer*
B-6418 Çıtır Plastik Kasa	%19,3	%6,1	%63,1	%8,89	%2,61
6417A Katlanır Plastik Kasa	%68,66	%0,83	%10,8	%16,8	%2,91

¹¹ Mannheim, V., & Simenfalvi, Z. (2020). Total life cycle of polypropylene products: Reducing environmental impacts in the manufacturing phase. *Polymers*, 12(9), 1901.

Tablo 12 Ürün grupları için Kümülatif Enerji İhtiyacı (CED) (MJ) etki kategorisi yüzde dağılımları

Ürün Grupları	Kümülatif Enerji İhtiyacı (CED) (MJ)				
	H-PPC	LDPE	Elektrik	Kullanım*	Diğer*
B-6418 Çıtır Plastik Kasa	%12,2	%3,45	%33,9	%46,5	%3,95
6417A Katlanır Plastik Kasa	%56,4	%0,58	%2,6	%38,3	%2,12

*Katlanır plastik kasa için diğer etkiler boya, aksesuar, üretim aşaması su kullanımı ve paketlenme etkileri kaynaklıdır. Çıtır plastik kasa için diğer etkiler nem giderici katkı maddesi, üretim aşaması su kullanımı ve paketlenme etkileri kaynaklıdır.

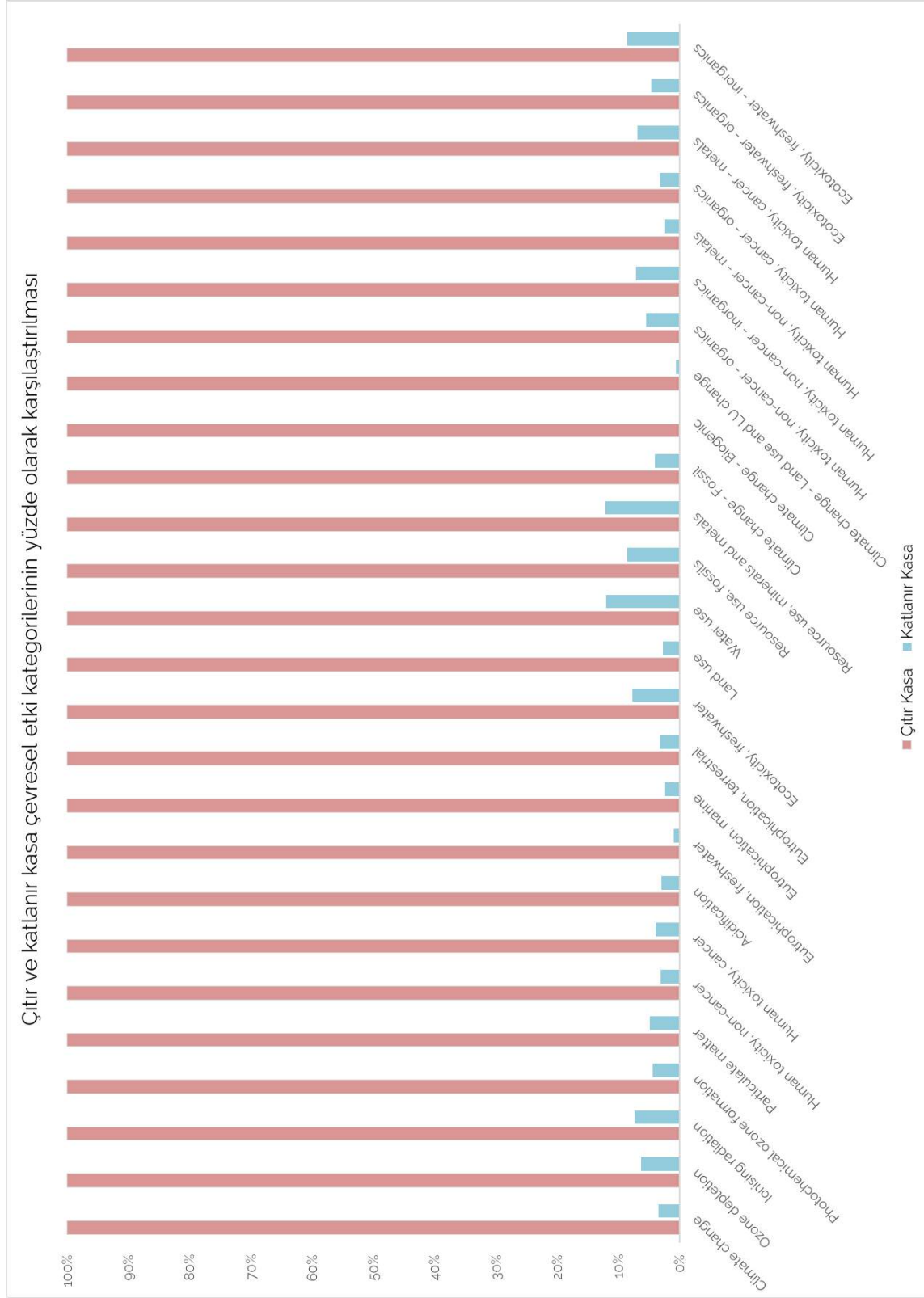
Ham madde üretim, bertaraf ve toplam çevresel etki kategori sonuçları çıtır ve katlanır plastik kasa için Tablo 13'te verilmiştir.

Tablo 13 Çıtır ve katlanır plastik kasa çevresel etki kategorileri sonuçları

Çevresel Etki Kategorileri	Birim	Çıtır Plastik Kasa	Katlanır Plastik Kasa	Çıtır Plastik Kasa	Katlanır Plastik Kasa	Çıtır Plastik Kasa	Katlanır Plastik Kasa
		Ham madde Üretim		Bertaraf		Toplam	
İklim Değişikliği (GWP)	kg CO ₂ eq	30.44	3,24	19.68	0.27	136.02	4.75
Ozon Tabakası İncelmesi (ODP)	kg CFC ₁₁ eq	1.90E-06	5,06E-08	1.01E-07	1,08E-08	2.16E-05	1,36E-06
İyonlaştırıcı radyasyon	kBq U-235 eq	0.50	0,07	0.04	3,33E-03	5.54	0.41
Fotokimyasal Sis (POCP)	kg NMVOC eq	0.09	0,01	0.01	5,12E-04	0.38	0.02
Partikül Madde (PM)	disease inc.	9.73E-07	1,16E-07	6.11E-08	7,55E-09	3,86E-06	1,87E-07
İnsan sağlığı, kanserojen olmayan	CTUh	2.69E-07	1,90E-08	3,88E-08	7,04E-10	1,08E-06	3,38E-08
İnsan sağlığı, kanserojenler	CTUh	9,37E-09	8,09E-10	8,58E-10	3,06E-11	3,25E-08	1,29E-09
Asidifikasyon	mol H ⁺ eq	0.19	0,01	0.00	0,00	0.80	2,40E-02
Ötrofikasyon, tatlı su	kg P eq	2.89E-03	4,59E-05	1,34E-04	1,07E-06	1,13E-02	1,08E-04
Ötrofikasyon, denizsel	kg N eq	0.0269	0,0019	0.0320	0,0002	0.1417	3,61E-03
Ötrofikasyon, karasal	mol N eq	0.298	0,020	0.013	0,002	1.233	0,0394
Ekotoksiklik, tatlı su	CTUe	344.29	16,31	128.80	1,05	1833.25	142,12
Arazi kullanımı	Pt	58.46	2,65	17.86	1,57	517.75	14,46
Su kullanımı	m ³ depriv.	10.77	2,30	0.30	0,01	39.42	4,72
Kaynak tüketimi, fosil yakıt	MJ	394.35	115,68	9.45	0,86	2310.40	199,01

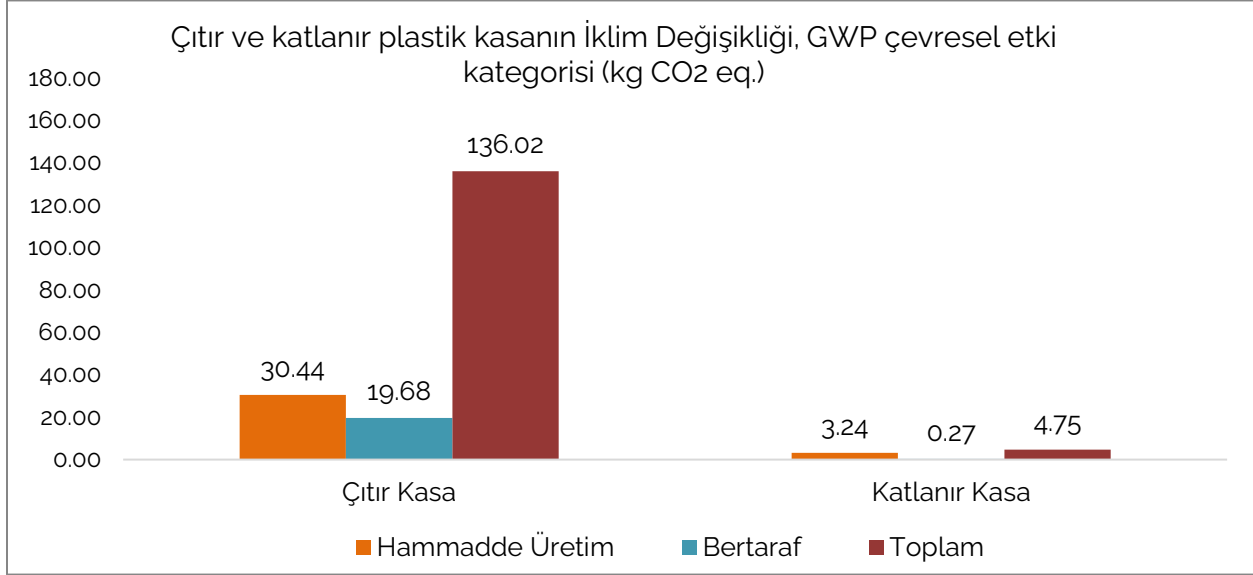
Kaynak tüketimi, mineral, ve metaller	kg Sb eq	6.10E-05	2,09E-05	1.88E-06	1,80E-07	1,90E-04	2,31E-05
İklim değişikliği – fosil yakıt	kg CO ₂ eq	30.17	3,23	2.15	0,26	117.46	4,74
İklim değişikliği – biyogenik	kg CO ₂ eq	0.082	0,005	17.527	0,002	17.843	1,14E-02
İklim değişikliği – arazi kullanımı	kg CO ₂ eq	0.187	0,001	6.04E-04	2.23E-05	7.22E-01	4,56E-03
İnsan sağlığı, kanserojen olmayan - organikler	CTUh	4.95E-09	1,90E-09	2.62E-08	2,19E-10	4.67E-08	2,58E-09
İnsan sağlığı, kanserojen olmayan - inorganikler	CTUh	2.72E-08	4,66E-09	3.89E-09	1,71E-10	1.25E-07	8,91E-09
İnsan sağlığı, kanserojen olmayan - metaller	CTUh	2.39E-07	1,34E-08	1.06E-08	5,18E-10	9.20E-07	2,36E-08
İnsan sağlığı, kanserojenler - organikler	CTUh	2.38E-09	1,51E-10	1.17E-10	1,33E-11	9.50E-09	3,08E-10
İnsan sağlığı, kanserojenler - metaller	CTUh	6.99E-09	6,58E-10	7.41E-10	1,73E-11	2.30E-08	9,78E-10
Ekotoksisite, tatlı su - organikler	CTUe	5.64	0,34	0.56	0,04	78.50	5,41
Ekotoksisite, tatlı su - inorganikler	CTUe	44.05	1,56	59.07	0,32	364.02	17,08
Ekotoksisite, tatlı su - metaller	CTUe	294.60	14,40	69.17	0,68	1390.74	119,63

Şekil 12'de bu LCA analizinde değerlendirilen çevresel etkiler için çıtır ve katlanır plastik kasa çevresel etki kategorilerinin yüzde olarak karşılaştırılması sunulmuştur. Tüm kategorilerde çıtır plastik kasanın çevresel etkilerinin katlanır plastik kasaya kıyasla yüksek olduğu görülmektedir.

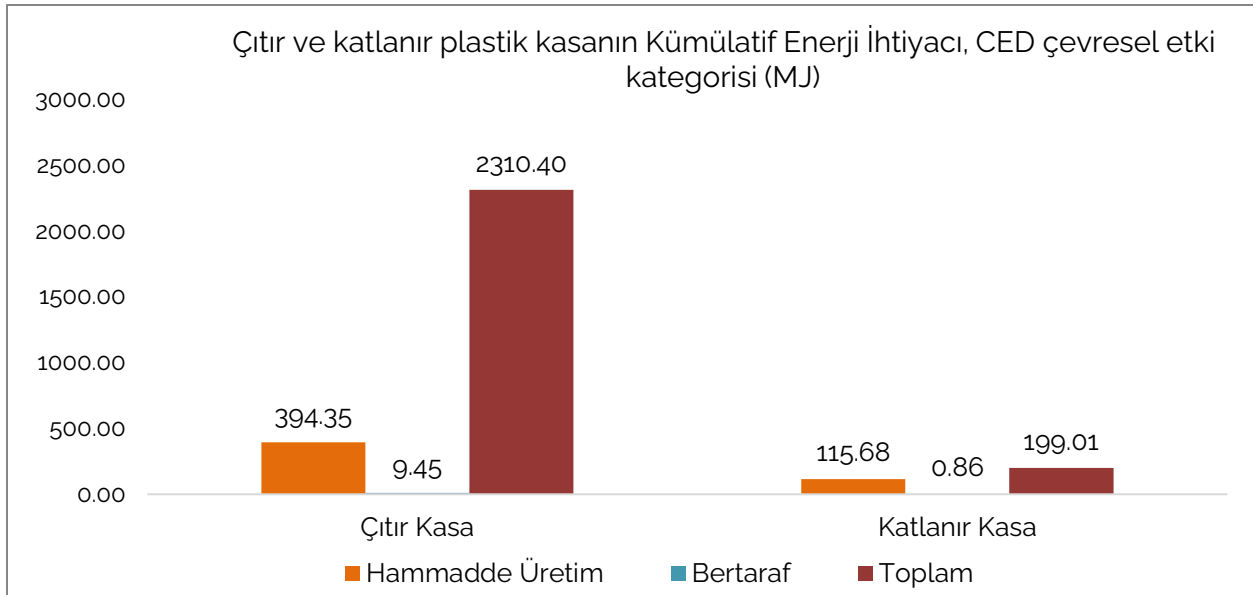


Şekil 12 Çıtır ve katlanır plastik kasa çevresel etki kategorilerinin yüzde olarak karşılaştırılması

Şekil 13 ve Şekil 14'te, çıtır ve katlanır plastik kasaların GWP ve CED etki kategorileri için karşılaştırmalı ham madde üretim, bertaraf ve toplam değerleri gösterilmiştir. Taşıma kapasitesine göre ortak fonksiyonel birim dikkate alınarak yapılan karşılaştırmalı LCA çalışması çevresel etki sonuçlarında; yaşam döngüsü evrelerinde katlanır plastik kasanın çıtır plastik kasaya göre daha az olumsuz etkisi olduğu görülmüştür.

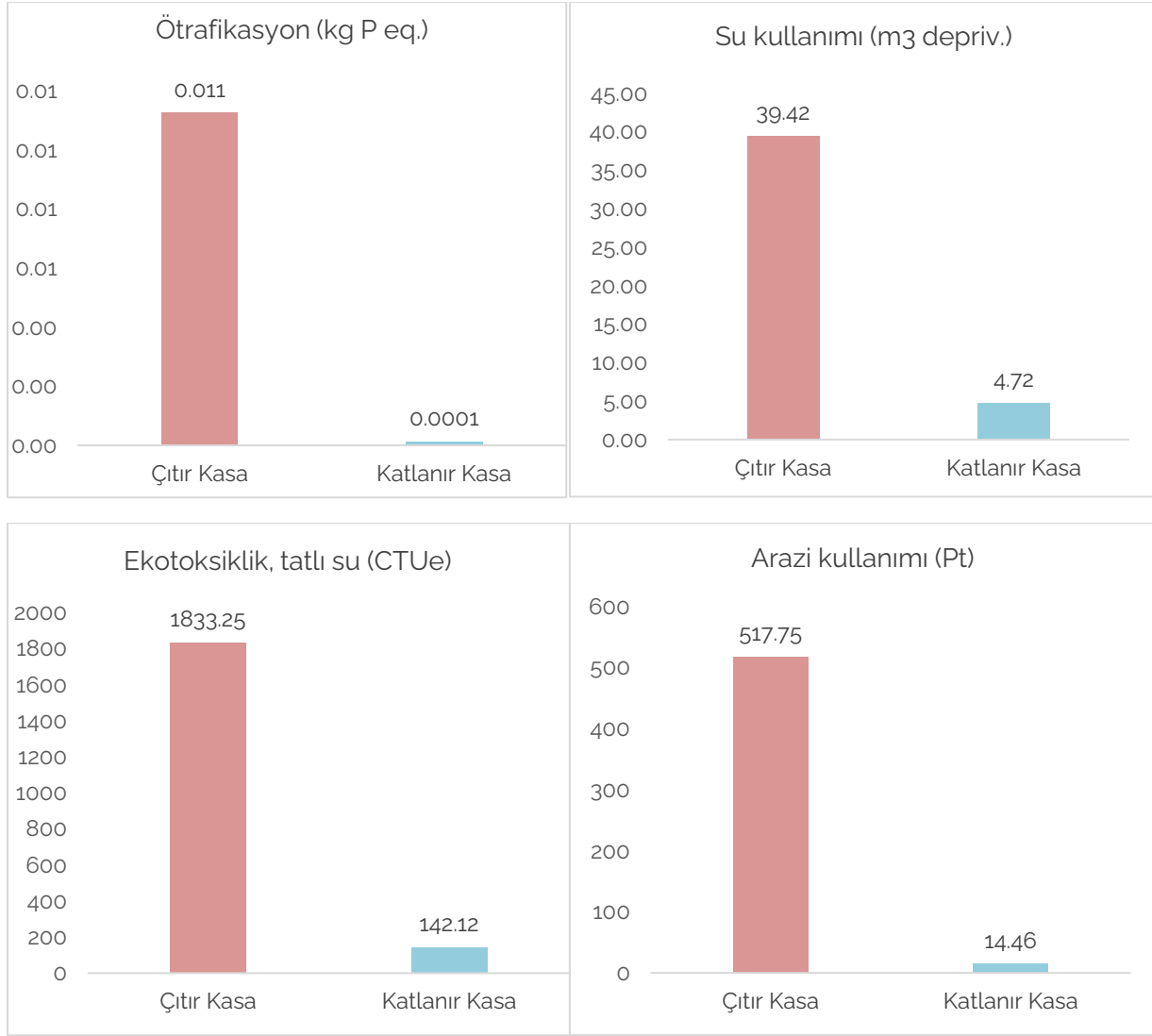


Şekil 13 Çıtır ve katlanır plastik kasanın İklim Değişikliği, GWP çevresel etki kategorisi (kg CO₂ eq.)



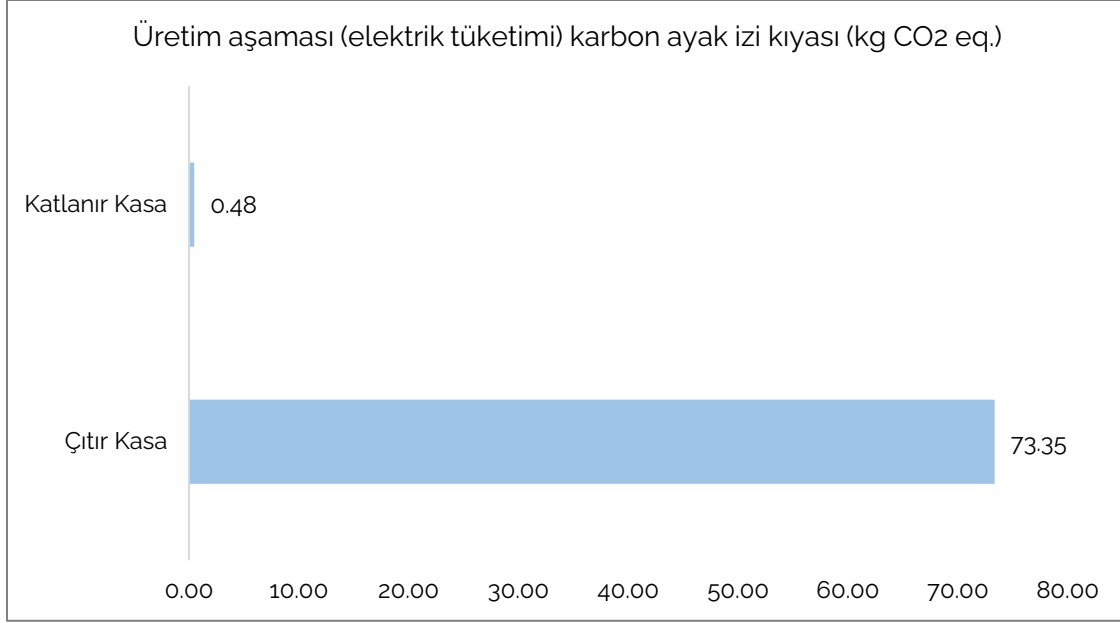
Şekil 14 Çıtır ve katlanır plastik kasanın Kümülatif Enerji İhtiyacı, CED çevresel etki kategorisi (MJ)

Diğer kritik çevresel etki kategorilerinde ötrofikasyon, su kullanımı, ekotoksiklik ve arazi kullanımı karşılaştırmalı LCA sonuçları Şekil 15'te verilmiştir.



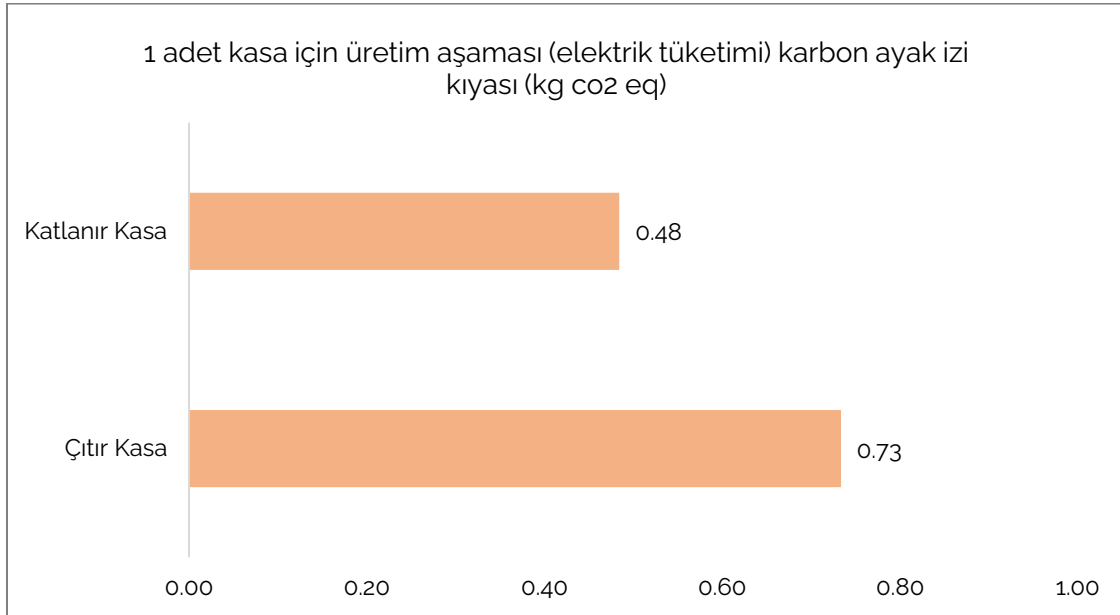
Şekil 15 Çıtır ve katlanır plastik kasa için ötrofikasyon, su kullanımı, ekotoksiklik ve arazi kullanımı çevresel etki kategori sonuç karşılaştırmaları

Üretim aşamasında operasyonel tüketim elektrik kullanımıdır. Ortak fonksiyonel birim bazdaki (çıtır plastik kasa için 100, katlanır plastik kasa için 1 kasaya denk gelen) kasaların operasyonel karbon ayak izi sonuçları Şekil 16'da verilmiştir.



Şekil 16 Üretim aşaması (elektrik tüketimi) karbon ayak izi kıyası (kg CO₂ eq.)

Bununla birlikte okuyucuya operasyonel karbon ayak izi açısından ürün adeti bazlı bir perspektif sunabilmek için, karbon ayak izi hesabı Şekil 17'de gösterilmiştir. Çıtır plastik kasa, katlanır plastik kasanın yaklaşık 1,5 katı karbon ayak izine sebep olmaktadır.



Şekil 17 Bir adet plastik kasa için üretim aşaması (elektrik tüketimi) karbon ayak izi kıyası (kg CO₂ eq.)

10. Sonuçlar ve Öneriler

Bu karşılaştırmalı LCA çalışmasında Benoplast'ın Türkiye'deki Yalova Fabrikası'nda üretilen B-6418 çıtır plastik kasa ve 6417-A katlanır plastik kasa için beşikten mezara yaklaşımı ile çevresel etkiler ortaya koyulmuştur.

Önceki bölümlerde ortaya konulan çevresel etki kategorilerinde yapılan hesaplamalar ve ürünlerin kıyaslaması ile bu bölümde sonuçlar ve ileriye dönük öneriler ortaya konulmuştur. İkincil ham madde kullanımı, kasaların kullanım ömrünün uzunluğu ile yaşam sonu senaryosu, kullanılan enerjinin kaynağı ve proseslerdeki enerji verimliliği öne çıkan konu başlıklarındandır.

Plastik kasaların kullanım ömrünün sona ermesiyle ilişkili çevresel etki, büyük ölçüde yaşam ömrü sonu (end-of-life) senaryosuna bağlıdır. Avrupa'da plastik atıkların bertaraf edilmesinde en çok kullanılan yöntem enerji geri kazanımı (yakma) ve geri dönüşümdür. Üretilen tüm plastik atıkların yaklaşık %25'i düzenli depolama sahalarında bertaraf edilmektedir. Avrupa Birliği 'Yeşil Mutabakat' (EU Green Deal) ile 2030 yılına kadar plastik ambalaj atıklarında %55 geri dönüşüm hedefi belirlemiştir¹². Türkiye'nin plastik ambalaj geri kazanım hedefi ise 2026 yılına kadar %55, 2026-2030 arası sonrası için %65, 2031 ve sonrası için %70 olarak belirlenmiştir¹³.

Plastik kasaların ayrı toplanma oranlarının artırılması ile plastik geri dönüşüm sürecindeki kısıtlamalar giderilebilmektedir. Benoplast tarafından üretilen katlanır plastik kasalar, kullanım ömürleri sonunda alt kuruluş Trento tarafından toplanılarak geri dönüşüm tesislerine gönderileceği için yüksek plastik geri dönüşüm oranlarına sahip ürünlerdir. Bu LCA çalışmasında, üretimine yeni başlanan katlanır plastik kasalar, literatür araştırması da tamamlandıktan sonra bertaraf seçeneği %90 geri dönüşüm oranı ile oluşturulmuştur.

¹² 28.05.2022 tarihinde <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20181212STO21610/plastic-waste-and-recycling-in-the-eu-facts-and-figures> adresinden erişildi.

¹³ Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği (2021). Resmi Gazete (Sayı: 31523). Erişim adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2021/06/20210626-18.htm>

Tüm plastik atıklarının düzenli depolama alanlarında bertaraf edilme oranlarını düşürmek ve geri dönüşüm oranlarını artırmak; ikincil plastik kullanımının artışı ile hem ham madde üretiminden hem de bertaraf aşamasından kaynaklı çevresel etkilerin azalmasını sağlamaktadır. Bertaraf yaşam döngüsü aşaması sonuçları incelendiğinde; faydalı ömrü tamamlandığında %45'i düzenli depolama sahalarına gönderilen çıtır plastik kasanın sebep olduğu GWP değeri geri dönüşüm ile azaltılabilir. Kuruluş tarafından üretilen çıtır plastik kasaların kullanım sonrası geri dönüşümünün takibinin yapılması ve/veya kuruluş geri dönüşüm tesisinde ikincil ham madde üretiminde kullanılması çıtır plastik kasanın yaşam döngüsü değerlendirmesi açısından olumsuz çevresel etkileri azaltacaktır. Bununla birlikte, katlanır plastik kasanın gelecek yıllarda hem üretim hem toplanma oranlarının artırılması ile kısmi ikincil ham madde kullanımına geçilmesi çevresel etkilere olumlu olarak yansıtacaktır.

Bununla birlikte karşılaştırmalı LCA çalışmasının sonuçları; plastik kasanın uzun ömürlü ve çok kullanımlı olmasının her ne kadar yaşam döngüsü analizinin kullanım evresindeki etkilerini artırsa da, ham madde girdisi ile bertarafa giden atığın azalmasını sağladığından toplam yaşam döngüsü çevresel etkileri açısından daha avantajlı olduğunu göstermiştir.

Alternatif enerji kaynakları ve enerji verimliliğinin, plastik ham madde üretim sürecindeki elektrik tüketiminden kaynaklı çevresel etkilerin azaltılmasında son derece faydalı olacağı öngörülmektedir. Bu nedenle, Benoplast'ın ürün gruplarının genel yaşam döngüsü çevresel etkilerini azaltabilecek, enerji verimliliği daha yüksek süreç döngüleri sağlayan plastik tedarikçileri ile çalışılması tavsiye edilmektedir.

Elektriğe dayalı enerji tüketiminin LCIA sonuçları üzerinde olumsuz çevresel etkileri olduğu tespit edilmiştir. Bu duruma şebekeden alınan elektriğin üretiminde %50'den fazla oranda fosil yakıt kullanımı sebep olmaktadır. Bu etkileri azaltmak için kuruluş tüketimini karşılayacak elektrik enerjisini yenilenebilir kaynaklardan üretebilir. Ayrıca kuruluşun, elektrikle ilgili üretim aşaması etkilerini dengelemeye yardımcı olan uluslararası yenilenebilir enerji sertifikaları (I-REC) alması, bu etkilerin azaltılması için kısa vadeli bir çözüm sunabilir.

Yapılan LCA çalışmasının çıktıları tedarik zinciri boyunca çevresel etkiler açısından yapılacak iyileştirmelerin alternatifleriyle birlikte kıyaslandığı ve senaryo bazlı analizlerinin yapıldığı çalışmaların yürütülmesi açısından yol göstermektedir. Bununla birlikte yapılan iyileştirme çalışmalarının iş sürekliliği, ürün kalitesi ve müşteri memnuniyetini gözeterek değerlendirilmesi önem arz etmektedir.

11. Sözlük

Veri Tabanları

Ecoinvent

Ecoinvent veri tabanı, Yaşam Döngüsü Envanteri (LCI) için çeşitli sürdürülebilirlik analizleri yapmakta kullanılır. Ecoinvent, kullanıcıların ürün ve hizmetlerinin çevresel etkilerini daha iyi anlamalarını sağlar ve çeşitli endüstrileri kapsayan dünya çapında bir veri tabanıdır. Güncel olarak, insan faaliyetlerini veya süreçleri simüle eden, 'veri kümeleri' olarak bilinen yaklaşık 16000 faaliyete sahiptir. Ecoinvent veri kümeleri, çevreden çekilen doğal kaynaklar, suya, toprağa ve havaya salınan emisyonlar ve diğer süreçlerden talep edilen ürünler (elektrik) gibi modelledikleri endüstriyel veya tarımsal süreçler hakkında bilgiler içerir. Ecoinvent, büyük ölçüde endüstrinin en büyük, en tutarlı ve şeffaf veri tabanı olarak kabul edilir.

Bir Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA) yürütürken tüm tedarik zincirine erişim sağlanması esastır. Bu tür verileri toplama ve analizde kullanma süreci oldukça zor iken, Ecoinvent gibi veri tabanları, LCA yürüten kuruluşların arka plan verileri (tedarik zinciri verileri) için veri kümelerini kullanırken ön plan verilerine (sistemin girdileri ve çıktıları) odaklanmasına olanak sağlar. Sonuç olarak, LCA yürüten kuruluşlar, tedarik zincirinin özelliklerini araştırmak için çok fazla zaman harcamak zorunda kalmadan sistemin ve tedarik zincirinin birincil noktalarına odaklanabilmektedir.

Metotlar

EF Metodu

Çevresel Ayak İzi (EF), herhangi bir kişinin, şirketin veya hizmetin yaşam döngüsü boyunca çevresel etkisini değerlendirmeyi amaçlayan bir Avrupa Komisyonu

programıdır. EF, bir aktivitenin sadece bir tanesine odaklanmak yerine birden fazla etkisini dikkate almaya çalışan istatistikleri ifade eder ¹⁴.

2003 yılından bu yana, Küresel Ayak İzi Ağı, BM veri kaynaklarını kullanarak 200'den fazla ülke için gezegenin ekolojik ayak izini ölçmektedir. Her yıl, hesaplamalar en son yılın BM rakamlarını içerecek şekilde revize edilmektedir. 2006'dan beri hesaplama tekniklerini detaylandıran bir ekolojik ayak izi kılavuzu seti yürürlükte. En son sürüm, değiştirilmiş olan 2009 standartlarıdır.

SimaPro veri tabanında bulunan EF metodu, yalnızca EF uyumlu veri kümeleriyle değil, SimaPro'nun tüm veri kitaplıklarıyla uyumlu halde çeşitli değişikliklere sahiptir. Uygulama, EF metodunun 3.0 sürümüne dayanmaktadır.

Tahsis Edilme Süreci

Bir sürecin veya bir ürünün sistem girdi ve çıktılarının, ürün sistemi ile bir veya daha fazla diğer ürün sistemi arasında bölünmesidir.

Fonksiyonel Birim

Bir ürün sisteminin fonksiyonel birimi, sistemin karşıladığı performansın nicel bir ifadesidir.

İncelenen tüm ürün sistemleri için fonksiyonel birim, karşılaştırmalı bir Yaşam Döngüsü Değerlendirmesinde aynı olmalıdır. Fonksiyonel birim, ilgili pazar ve mecburi ürün özellikleri belirlendiğinde, pazarda olması gereken ürün özellikleri açısından tanımlanmakta ve sayısal olarak ifade edilebilmektedir [10].

Beşikten Beşiğe

Beşikten beşiğe, ham maddelerin ömrünü tamamlama aşmasında katılmadığı, ancak yeniden kullanılabilirliği veya geri dönüştürülebilirliği ve bu nedenle kapalı yaşam

¹⁴ EF Method. 19.04.2022 tarihinde [https://gabi.sphera.com/international/support/gabi/gabi-lcia-documentation/environmental-footprint-eflcd-recommendation/#:-:text=The%20Environmental%20Footprint%20\(EF\)%20is,service%20throughout%20its%20life%20cycle](https://gabi.sphera.com/international/support/gabi/gabi-lcia-documentation/environmental-footprint-eflcd-recommendation/#:-:text=The%20Environmental%20Footprint%20(EF)%20is,service%20throughout%20its%20life%20cycle) adresinden erişildi.

döngüsüne ve döngüsel ekonomi düşüncesine katkıda bulunduğu bir LCA yaklaşımıdır.

Beşikten Mezara

Beşikten mezara, ham maddelerin toplanması, bu malzemelerin işlenmesi, ürünün üretilmesi, dağıtılması, kullanılması, bakımı ve onarımı, satılması ve geri dönüştürülmesi dahil olmak üzere bir ürünün yaşam döngüsünün tüm aşamalarıyla ilişkili doğal etkilerin değerlendirilmesini sağlayan bir yaklaşımdır.

Beşikten Kapiya ¹⁵

Beşikten kapiya, bir ürünün yaşam döngüsünü çıkarma noktasından (beşik) üretim noktasına (fabrika kapısı) kadarki (yani, tüketiciye taşınmadan önce) değerlendirme yöntemidir. Bu durumda ürünün kullanım ve bertaraf aşamaları atlanır. Yaşam Döngüsü Envanteri, beşikten kapiya stratejisinin en önemli uygulamalarından biridir.

Kapıdan Kapiya ¹⁶

Yaşam döngüsünde tanımlanmış bir noktadan (örneğin, gelen ham maddeler bir üretim hattını geçtiğinde) yaşam döngüsünde tanımlanmış başka bir noktaya (örneğin, nihai bir ürün son müşteriye teslim edildiğinde) kadarki süreci ifade eder.

Yaşam Döngüsü

Ham madde alımından doğal kaynak üretimine ve nihai bertarafa kadar, bir ürün sisteminin sıralı ve birbiriyle ilişkili aşamalarının birim operasyonları perspektifidir. Yaşam döngüsü, atmosferde, karada ve suda üretilen atıkların yanı sıra tüm kaynaklar ve enerji girdileri dahil olduğu bir döngü sistemidir.

Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA) ¹⁷

Bir ürün veya hizmetin tüm yaşam döngüsü (oluşturma, dağıtım, kullanım ve yaşam sonu aşamaları) üzerindeki olası çevresel etkileri, Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi

¹⁵ Cradle-to-gate. 20.04.2022 tarihinde https://en.wikipedia.org/wiki/Life-cycle_assessment#Cradle-to-gate adresinden erişildi.

¹⁶ Gate-to-gate. 13.04.2022 tarihinde https://www.nikkakyo.org/sites/default/files/ICCA_LCA_Executive_Guide_en.pdf adresinden erişildi.

¹⁷ 12.04.2022 tarihinde <https://consequential-lca.org/clca/the-functional-unit/define-the-functional-unit/> adresinden erişildi.

sırasında analiz edilir. LCA aynı zamanda, yukarı yönlü (örneğin, tedarikçiler) ve aşağı yönlü (örneğin, katı atık senaryosu) üretimi, kullanım aşamasını ve bertaraf işlemlerini içerir.

Yaşam Döngüsü Envanteri (LCI)

Yaşam döngüsü envanteri (LCI), yaşam döngüsü analizinin (LCA) veri toplama bileşenidir. Ham maddeler veya malzemeler, suya/havaya/toprağa özel madde emisyonları ve türe göre enerjiler de dahil olmak üzere ürün sistemine giren ve çıkan tüm akışların titiz bir şekilde izlenmesi gerekir.

Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi (LCIA)

Yaşam döngüsü değerlendirmesinde bu aşamanın amacı, bir ürün sistemi için yaşam döngüsü boyunca olası çevresel sonuçların boyutunu ve ilişkisini kavramak ve analiz etmektir.

Yaşam Döngüsü Yorumlaması ¹⁸

Yorumlama, analiz edilen verilerin çalışma boyunca yapılan ve belgelenen varsayımlar ve belirsizlikler dikkate alınarak tüm aşamaların sonuçlarının birlikte değerlendirildiği ve analiz edildiği bir LCA'nın son aşamasıdır. Yorumlama sürecinde, potansiyel olarak önemli konular; hedef ve kapsam tanımı, envanter analizi ve etki değerlendirmesidir. Belirlenen sorunların her biri için önem, eksiksizlik, kesinlik ve tutarlılık kontrol edilerek belirlenir.

¹⁸ Ecoinvent. 15.04.2022 tarihinde <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-database/#:-:text=The%20ecoinvent%20database%20is%20a,of%20their%20products%20and%20services>. adresinden erişildi.

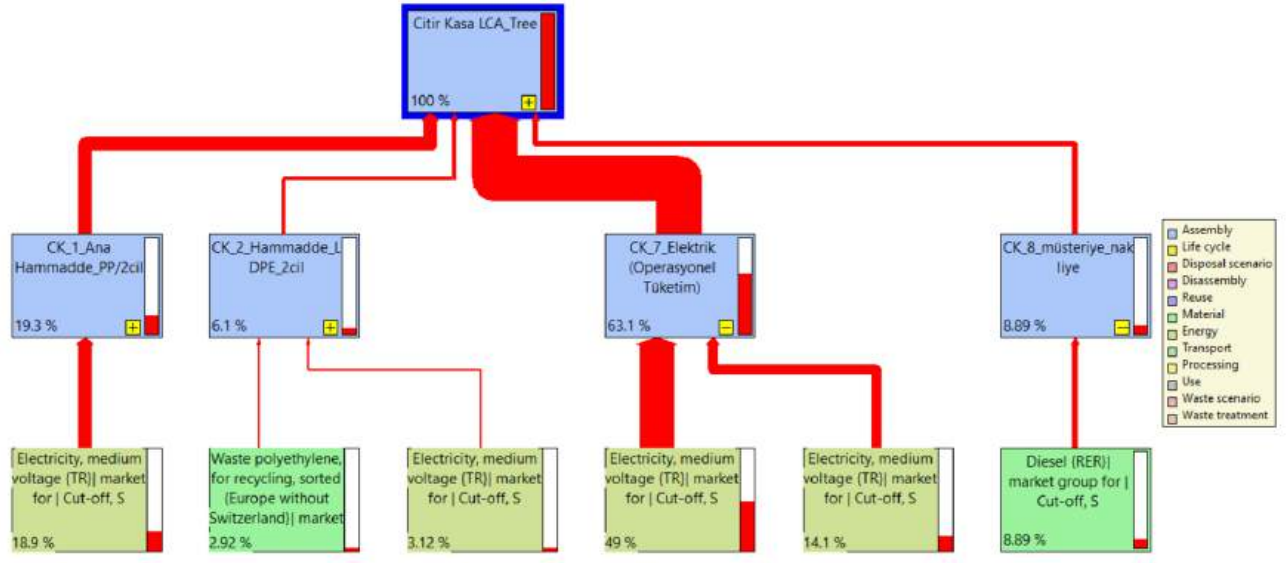
13.EKLER

EK-A:

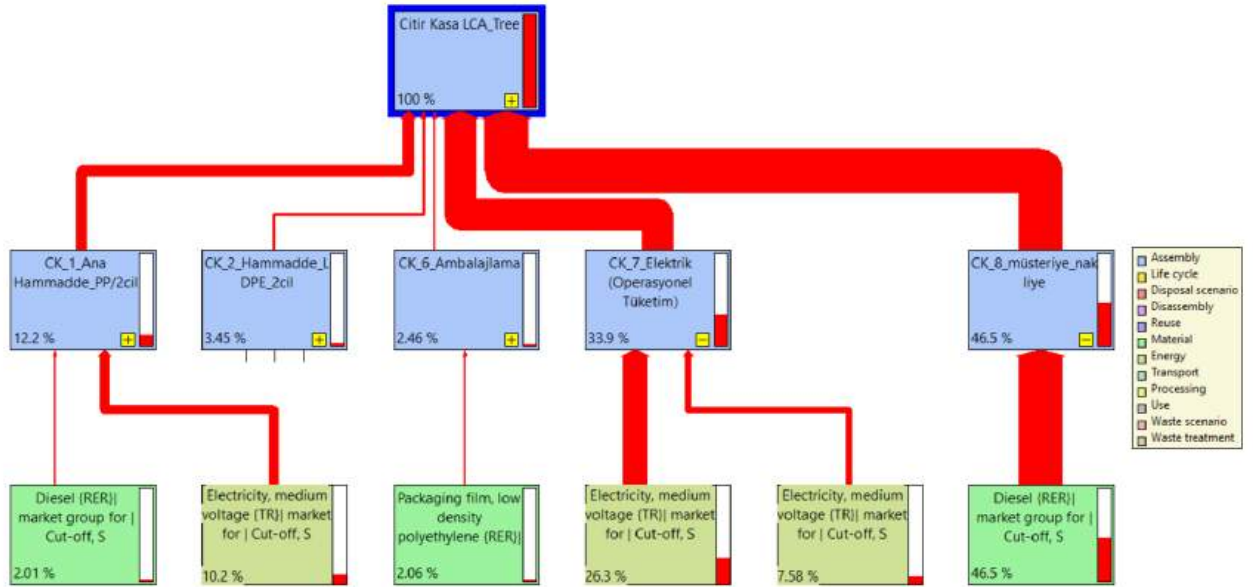
Modellemede Kullanılan Veritabanı	Veritabanı	Veritabanı Zaman Çerçevesi	Verilerin Analizde Kullanım Aşaması
Polypropylene, granulate [RER] production Cut-off, S	Ecoinvent 3.8	Start date: 01/01/2011 End date: 31/12/2021	Üretim
Polyethylene, linear low density, granulate [GLO] market for Cut-off, S	Ecoinvent 3.8	Start date: 01/01/2011 End date: 31/12/2021	Üretim
Polyethylene, low density, granulate [RER] production Cut-off, S	Ecoinvent 3.8	Start date: 01/01/2011 End date: 31/12/2021	Üretim
Calcium carbonate, precipitated [RER] calcium carbonate production, precipitated Cut-off, S	Ecoinvent 3.8	Start date: 01/01/2015 End date: 31/12/2021	Üretim
Coating powder [RER] production Cut-off, S	Ecoinvent 3.8	Start date: 01/01/1996 End date: 31/12/2021	Üretim
Polyoxymethylene (POM)/EU-27	Industry Data 2.0	-	Üretim
Tap water [RER] market group for Cut-off, S	Ecoinvent 3.8	Start date: 01/01/2015 End date: 31/12/2021	Üretim
Electricity, medium voltage [TR] market for Cut-off, S	Ecoinvent 3.8	Start date: 01/01/2014 End date: 31/12/2021	Üretim/Nakliye
Diesel [RER] market group for Cut-off, S	Ecoinvent 3.8	Start date: 01/01/2015 End date: 31/12/2021	Nakliye
Packaging film, low density polyethylene [RER] production Cut-off, S	Ecoinvent 3.8	Start date: 01/01/1993 End date: 31/12/2021	Paketleme
Folding boxboard carton [RER] market for folding boxboard carton Cut-off, S	Ecoinvent 3.8	Start date: 01/01/2018 End date: 31/12/2021	Paketleme

EUR-flat pallet (RER) market for EUR-flat pallet Cut-off, S	Ecoinvent 3.8	Start date: 01/01/2019 End date: 31/12/2021	Paketleme
Water, deionised (Europe without Switzerland) market for water, deionised Cut-off, S	Ecoinvent 3.8	Start date: 01/01/2011 End date: 31/12/2021	Kullanım

EK-B1:

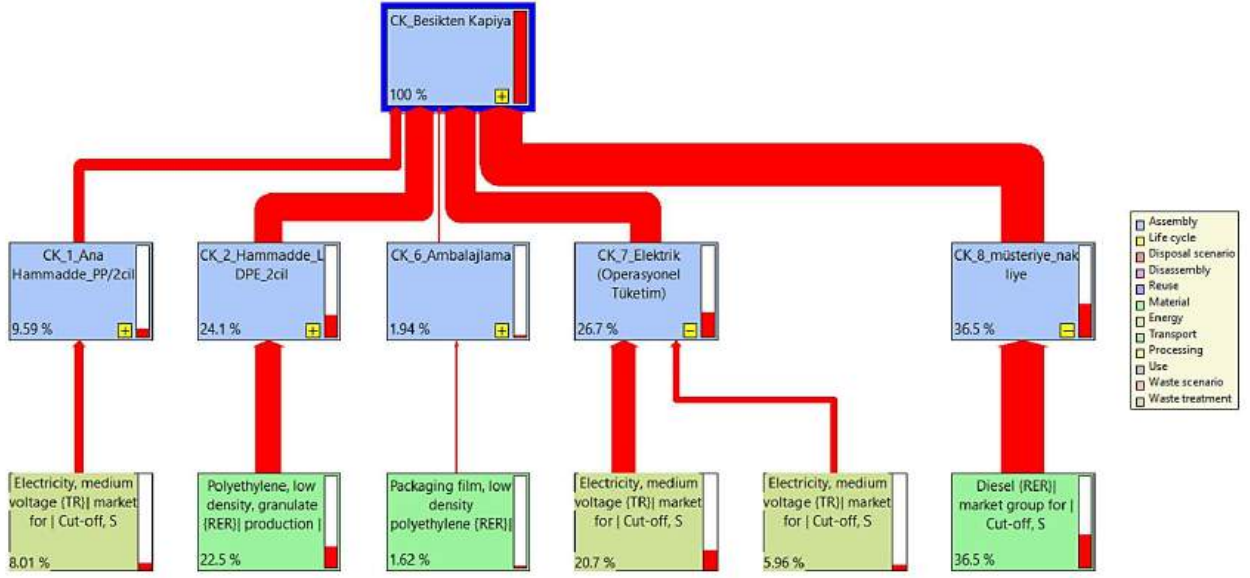


Şekil 18 Çtırır plastik kasa GWP değerleri için ağaç akış diyagramı

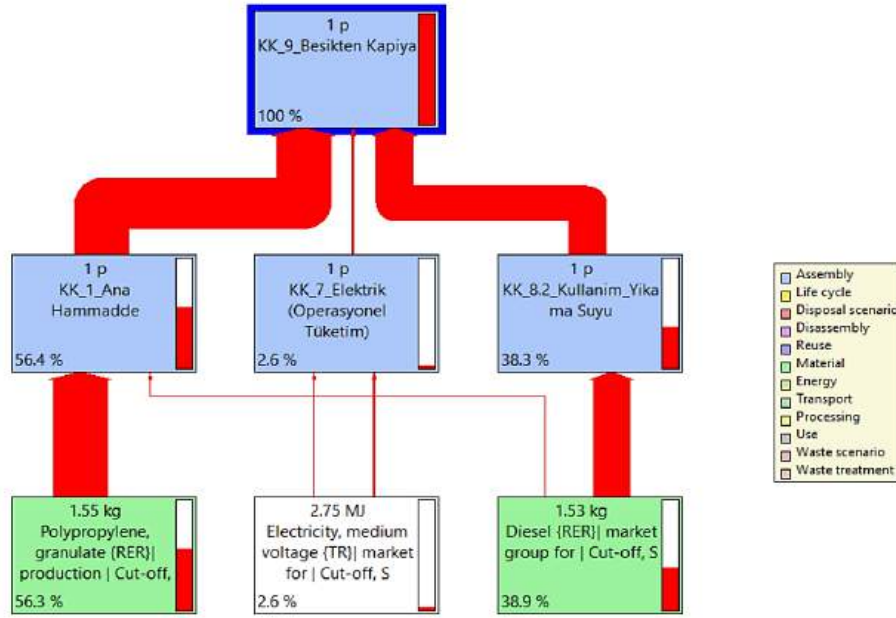


Şekil 19 Katlanır plastik kasa GWP değerleri için ağaç akış diyagramı

EK-B2:



Şekil 20 Çıtır plastik kasa CED değerleri için ağaç akış diyagramı



Şekil 21 Katlanır plastik kasa CED değerleri için ağaç akış diyagramı

Ek C: Çevresel Etki Kategorilerinin Tanımı

Asitleşme Potansiyeli ¹⁹

Hava kirleticilerinin asitlere dönüşmesi toprak ve akarsuların da asitlenmesine sebep olur. Bu durum, yağmur ve sislerdeki pH değerini 4 ve altındaki değerlere düşürür. Kükürt dioksit ve nitrojen oksit ile bunların ilgili asitleri (H_2SO_4 ve HNO_3) katkı maddeleri üretir. Bu asit üretimi ekosistemler için zararlıdır.

Asitleşmenin hem doğrudan hem de dolaylı olumsuz sonuçları vardır. Yıpranan veya yontulan metaller, besinlerin topraktan sızması veya topraktaki metallerin çözünürlüğünün artması bu olumsuz sonuçlara örnektir.

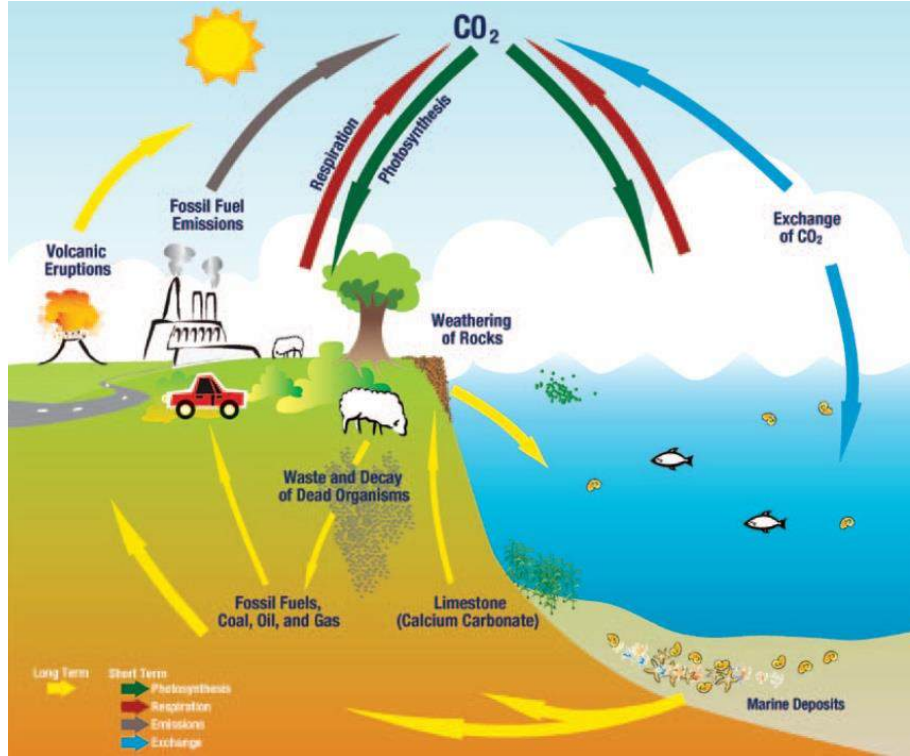
Fosil yakıtların yanması, kükürt dioksit ve azot oksitin atmosfere salınmasıyla sonuçlanır, burada yoğunlaşmış su çözülür ve yağmur olarak düşer. Asitleşme Potansiyeli, topraktaki metal çözünürlüğünün artması gibi sebeplerin ekosisteme zarar vermesi sonucu oluşan yağış ve sisin pH değerindeki düşüşü ölçer. Asitleşme potansiyeli genellikle kükürt dioksit eşdeğerlerinin kütlesi olarak değerlendirilir ve bölgesel bir etkiye sahiptir. Asit yağmuru terimi, bu mekanizmanın şiddetli belirtilerini ifade eder.

İklim Değişikliği (Küresel Isınma Potansiyeli) (GWP) ²⁰

Küresel ısınma, insan faaliyetleri, özellikle de fosil yakıtların yanması nedeniyle, Dünya atmosferindeki ısı tutucu sera gazı seviyelerini artıran, sanayi öncesi dönemden beri Dünya'nın iklim sisteminin uzun vadeli ısınmasıdır. Genellikle Dünya'nın küresel yüzey sıcaklığındaki ortalama artış olarak ölçülür. İnsan faaliyetlerinin, ortalama sıcaklığı, sanayi öncesi dönemden bu yana yaklaşık 1 °C yükselttiği tahmin edilmektedir; bu da 10 yılda 0,2 °C'ye tekabül etmektedir.

¹⁹ Ecoinvent. 14.04.2022 tarihinde <https://ecochain.com/knowledge/what-is-ecoinvent/> adresinden erişildi.

²⁰ EF Method. 14.04.2022 tarihinde <https://lpeic.org/what-is-an-environmental-foot-print-ecological-footprint/> adresinden erişildi.



Şekil 22 Küresel Isınma Potansiyeli (GWP) ²¹

Atmosferdeki herhangi bir sera gazı tarafından emilen ısı, küresel ısınma potansiyeli (GWP) olarak adlandırılır. GWP, karbondioksit eşdeğerini (CO₂e, CO₂eq veya CO₂-e) belirlemek için kullanılır. Herhangi bir gaz için, dünyayı o gazın kütlesi kadar ısıtacak olan CO₂ kütlesidir. Sonuç olarak, çeşitli gazların iklim etkilerini değerlendirmek için tutarlı bir ölçek sağlar.

Ozon Tabakasının İncelmesi ²²

Ozon tabakasının incelmesi, Dünya yüzeyinde insan sağlığına zarar veren UV radyasyon seviyelerinin artmasına neden olur. UV radyasyonu ayrıca karasal ve sucul ekosistemleri etkileyerek büyümeyi, besin zincirlerini ve biyokimyasal döngüleri olumsuz yönde etkiler.

²¹ <https://www.constantinealexander.net/2012/03/ocean-acidification-pushes-coral-reefs-into-decline.html> adresinden erişildi.

²² Life Cycle Assessment. 15.04.2022 tarihinde <https://sphaera.com/glossary/what-is-a-life-cycle-assessment-lca/> adresinden erişildi.

Ötrofikasyon, Tatlı Su ²³

Ötrofikasyon, göller gibi su ekosistemlerinde fosfor, azot ve diğer bitki besin maddelerinin konsantrasyonundaki kademeli artışı ifade eder. Besinlere ayrılabilen organik madde miktarı arttıkça, bu ekosistemin üretkenliği de artar. Yüksek konsantrasyonlarda alg patlaması ve mikroskobik organizmalar sıklıkla su yüzeyinde oluşur ve su altı yaşamı için gerekli olan ışık penetrasyonunu ve oksijen emilimini engeller. Ötrofik sular genellikle bulanıktır ve ötrofik olmayan sulara göre balık ve kuşlar gibi daha az sayıda büyük hayvanı besleyebilir.

Fotokimyasal Ozon Oluşturma Potansiyeli (POCP) ²⁴

Fotokimyasal Ozon Oluşturma Potansiyeli (POCP) ölçeği, uçucu organik bileşiklerin (VOC) yer seviyesinde ozon üretme kabiliyetini ölçer. POCP değerleri genellikle atmosferdeki VOC bozunma kimyasının kapsamlı temsillerini içeren atmosferik sınır tabakası modelleri kullanılarak tahmin edilir. Metan olmayan VOC eşdeğerlerinin kütlesi, [kg NMVOCeq/FU] "Fotokimyasal Oksidan Oluşturma Potansiyeli" kullanılarak orta nokta seviyesinde belirlenir.

Ekotoksisite, Tatlı Su ²⁵

Doğal veya insan yapımı bileşiklerin biyota üzerindeki zararlı etkilerinin incelenmesi ekotoksikoloji olarak bilinir. Ekotoksikoloji sayesinde hayvanları ve bitkileri etkileyen kirleticilerin seviyeleri ve türleri belirlenebilir. Ekotoksikoloji, su departmanı tarafından sudaki kirleticilerin veya kirletici karışımlarının balık, omurgasızlar ve algler gibi su ekosisteminde yaşayan türler üzerindeki olası etkisini tahmin etmek için kullanılır. Sudaki ekotoksisite potansiyeli (ekotoksisite karakterizasyon faktörü), karşılaştırılabilir toksik birimlerle (CTUe) ifade edilir.

²³ Life Cycle Interpretation. 15.04.2022 tarihinde <https://orbit.dtu.dk/en/publications/life-cycle-interpretation> adresinden erişildi.

²⁴ 12.04.2022 tarihinde

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1352231017303254#:~:text=The%20Photochemical%20Ozone%20Creation%20Potential,of%20atmospheric%20VOC%20degradation%20chemistry> adresinden erişildi.

²⁵ 14.04.2022 tarihinde <https://www.water.wa.gov.au/water-topics/waterways/assessing-waterway-health/ecotoxicity> adresinden erişildi.

Kaynak Kullanımı, Mineraller ve Metaller ²⁶

Van Oers ve diğerleri (2002) tarafından yayınlanan Abiyotik Kaynak Tüketimi, "nihai rezervler" versiyonu, orta noktada kaynak tükenmesi için önerilir. Bu durum, Guinée ve diğerlerinin (2002) metodolojilerine dayanmaktadır. Enerji taşıyıcıları için ekstraksiyon kg başına kg antimon eşdeğeri veya MJ başına kg antimon eşdeğeri olarak tanımlanan Abiyotik Tüketim Potansiyeli (ADP), karakterizasyon faktörlerini (CF'ler) belirlemek için kullanılır.

Kaynak Kullanımı, Enerji Taşıyıcılar ²⁶

Enerji taşıyıcılarının benzer aktivitelerine dayanarak, Van Oers ve diğerleri (2002), fosil yakıtlar için ayrı bir etki kategorisi oluşturmayı savunmaktadır. Fosil yakıtlarda CF'ler MJ/MJ olarak belirtilir, yani CF tüm fosil kaynaklar için 1'e eşittir.

İnsan Toksisite Potansiyeli (kanserojen olan ve olmayan)

Salınan bir kimyasalın birim kütlesi başına toplam insan popülasyonunun hastalık oranında beklenen artış, insan toksisite sonuçları için karakterizasyon faktörü (insan toksisite potansiyeli) olan karşılaştırmalı toksik birimlerle (CTUh) ifade edilir.

²⁶ 21.04.2022 tarihinde

https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/JRC_DRAFT_EFLCIA_resources_water_landuse.pdf adresinden erişildi.

Tüm hakları saklıdır. Bu yayının hiçbir bölümü, somutlaştırılmış kısa alıntılar dışında, eleştirel incelemelerde ve telif hakkı yasasının izin verdiği diğer ticari olmayan kullanımlar hariç yayıncının önceden yazılı izni olmaksızın, fotokopi, kayıt, diğer elektronik veya mekanik yöntemler dahil olmak üzere herhangi bir biçimde veya herhangi bir yol ile çoğaltılamaz, dağıtılamaz veya iletilemez.



ENEXION TÜRKİYE

Adres: Akasyalı Sokak No: 5/21

4. Levent 34330 İstanbul

Telefon: +90 212 280 0705

Faks: +90 (212) 280 0704

Website: www.enexion.com.tr

ENEXION GmbH

Adres: Am Kronberger Hang 2 a 65824 Schwalbach

am Taunus Frankfurt Germany

Telefon: +49 (0) 6173 93 59 0

Website: www.enexion.de