



T.C.

BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİYEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ANABİLİM DALI

ENDÜSTRİYEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

**KOZMETİK SEKTÖRÜNDE KULLANILAN AMBALAJLARIN YAŞAM
DÖNGÜSÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SEHER SARI

TEZ DANIŞMANI

DOÇ. DR. ŞENAY BALBAY

BİLECİK, 2025

10759622

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİYEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ANABİLİM DALI
ENDÜSTRİYEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

**KOZMETİK SEKTÖRÜNDE KULLANILAN AMBALAJLARIN YAŞAM
DÖNGÜSÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SEHER SARI

TEZ DANIŞMANI
DOÇ. DR. ŞENAY BALBAY

BİLECİK, 2025

10759622

BEYAN

Kozmetik Sektöründe Kullanılan Ambalajların Yaşam Döngüsünün Değerlendirilmesi başlıklı yüksek lisans tezinin hazırlık ve yazım aşamasında bilimsel araştırma ve etik kurallarına uyduğumu, [Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Faaliyetlerinde Üretken Yapay Zekâ Kullanımına Dair Etik Rehberine](#) uygun olarak tez/dönem projemi hazırladığımı, başkalarının eserlerinden yararlandığım bölümlerde bilimsel etik kurallarına uygun olarak atıfta bulunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, çalışmamın herhangi bir kısmının başka bir tez/dönem projesi olarak sunulmadığını, aksinin tespit edilmesi durumunda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Seher Sarı

.././20..

İmza:

ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasının hazırlanmasında bana rehberlik eden, değerli bilgi ve tecrübeleriyle her aşamada yol gösteren, sabır ve anlayışını esirgemeyen danışmanım Sayın Doç. Dr. Şenay BALBAY'a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her döneminde yanımda olan, sabır ve sevgileriyle beni destekleyen AİLEME sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Seher Sarı

2025

ÖZET

KOZMETİK SEKTÖRÜNDE KULLANILAN AMBALAJLARIN YAŞAM DÖNGÜSÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ

Termoplastiklerin yaygın kullanıldığı alanlardan biri kozmetik sektörüdür. Kozmetik sektöründe özellikle ürünlerin ambalajlanmasında yoğun olarak tercih edilmektedir. Ambalaj üretim süreçleri yüksek enerji tüketimi nedeniyle çevresel sürdürülebilirlik üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Çalışmada şampuan şişesinin ISO 14040 ve ISO 14044 standartlarına göre beşikten mezara yaşam döngüsü analizi yapılarak çevre ve insanlar üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Kapsam 2 ve kapsam 3 dahilinde hammadde ve yardımcı malzemelerin üretimi ve taşınması kullanılan enerji, üretim süreci (şişe kalıbı dahil, kapak kalıbı hariç), geri dönüşüm, şişelerin müşteriye taşınması, çıkan atıkların taşınması ve bertarafı, ürünlerin ömrünü tamamladıktan sonra bertarafı sisteme dahil edilmiştir. Bir adet şampuan şişesinin çevresel etkilerini değerlendirmek amacıyla IDEMAT2025 data seti kullanılarak karbon ayak izi, ekolojik maliyeti, kümülatif enerji ihtiyacı, ReCiPe2016 ve TRACI 2.2 metodlarıyla etki kategorileri analiz edilmiştir.

Bir adet şampuan şişesinin karbon ayak izi değeri 15,13 kg CO₂ eşd. ve ekolojik maliyeti 3,8 Euro olarak belirlenmiştir. Şampuan şişesinin çevresel ayak izi 9,7. 10⁻⁴ Pt'dır. ReCiPe 2016 metoduna göre şampuan şişesinin fosil kaynaklı enerji tüketimi nedeniyle iklim değişikliğinin insan sağlığını olumsuz etkilediği ve ince partikül madde oluşumunun yoğun olduğu tespit edilmiştir. TRACI 2.2 metoduna göre kimyasal çevresel etkileri analiz edildiğinde ekotoksisite etkisinin 23,60 CTUe, ozon tabakasının incelmeye etkisi 23,23 CFC-11 eq ve küresel ısınma etkisinin 3,24 kg CO₂ eşd., fosil yakıt tüketiminin 6,14 MJ olduğu gözlenmiştir.

Sonuç olarak, ürünün tüm yaşam döngüsü boyunca çevre ve insanlar üzerindeki etkileri kapsamlı bir şekilde değerlendirilerek çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli göstergeler ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kozmetik, Ambalaj, Plastik, Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi

ABSTRACT

EVALUATION OF THE LIFE CYCLE OF PACKAGING USED IN THE COSMETICS INDUSTRY

One of the common application areas of thermoplastics is the cosmetics industry, where they are particularly preferred for product packaging. Packaging production processes have a significant impact on environmental sustainability due to their high energy consumption. In this study, a cradle-to-grave life cycle analysis of a shampoo bottle was conducted in accordance with ISO 14040 and ISO 14044 standards to examine its effects on the environment and human health.

Within the scope of Scope 2 and Scope 3, the system boundaries included the production and transportation of raw materials and auxiliary materials, the energy used, the production process (including the bottle mold but excluding the cap mold), recycling, transportation of bottles to customers, transportation and disposal of waste, and end-of-life disposal of the products.

To assess the environmental impacts of a single shampoo bottle, the IDEMAT2025 dataset was used to analyze the carbon footprint, ecological cost, cumulative energy demand, and impact categories according to the ReCiPe 2016 and TRACI 2.2 methods. The carbon footprint of one shampoo bottle was determined to be 15,13 kg CO₂ eq., and its ecological cost was calculated as €3,8. The environmental footprint of the shampoo bottle was found to be $9,7 \times 10^{-4}$ Pt.

According to the ReCiPe 2016 method, it was determined that fossil fuel-based energy consumption contributed to climate change, adversely affecting human health, and that fine particulate matter formation was significant. Based on the TRACI 2.2 method, when the chemical environmental impacts were analyzed, the ecotoxicity impact was found to be 23,60 CTUe, the ozone depletion potential was 23,23 CFC-11 eq., the global warming potential was 3,24 kg CO₂ eq., and fossil fuel consumption was 6,14 MJ.

Keyword: Cosmetic, Package, Plastic, Life Cycle Assessment

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖN SÖZ.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTACT	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ.....	x
1.GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı.....	1
2.GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Plastik Ambalaj Endüstrisi ve Pazar Analizi.....	3
2.2. Plastik Ambalaj Üretimi	5
2.2.1. Üretim Yöntemleri.....	6
2.2.1.1. Eriyik Ekstrüzyon ve Üfleli Film Ekstrüzyonu	6
2.2.1.2. Ko-ekstrüzyon.....	7
2.2.1.3. Termofom ve Vakum Şekillendirme	7
2.2.1.4. Enjeksiyon Kalıplama.....	8
2.2.1.5. Çözücü ve Çözelti Döküm, Kaplama Teknolojileri.....	9
2.2.2. İşlevsellik ve Performans Özellikleri.....	9
2.2.2.1. Bariyer ve Mekanik Özellikler	9
2.2.2.2. Aktif ve Akıllı Paketleme	9
2.2.2.3. Dekorasyon ve Kullanım Kolaylığı.....	10
2.2.2.4. Sürdürülebilirlik ve Biyobozunurluk	10
2.3. Plastik Ambalajların Kozmetik Sektöründe Kullanımı.....	10

2.3.1. Birincil ve İkincil Ambalajlama	10
2.3.1.1. Birincil Ambalaj	11
2.3.1.2. İkincil Ambalaj	11
2.3.2. Kozmetik Sektöründe Kullanılan Plastik Türleri.....	12
2.3.2.1. Polimerler	12
2.3.2.2. Plastik Türleri.....	15
2.4 Sürdürülebilirlik Odağında Kozmetik Plastik Ambalajları.....	20
2.5. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi	21
2.5.1. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesinin Ana Aşamaları.....	22
2.5.1.1. Amaç ve Kapsamın Tanımı.....	22
2.5.1.2. Yaşam Döngüsü Envanter Analizi.....	23
2.5.1.3. Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi	23
2.5.1.4. Yorumlama	24
2.5.2. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi ISO Standartları	24
3. LİTERATÜR.....	25
4. MATERYAL VE METOD	30
4.1. Amaç ve Kapsamın Tanımı	30
4.2. Envanter Analizi.....	31
4.3. Etki Değerlendirmesi.....	34
4.4. Yorumlama.....	36
4.5. Senaryo Geliştirme	36
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	37
5.1. Bulgular	37
5.1.1. Karbon Ayak İzi.....	37
5.1.2. Ekolojik Maliyet.....	37
5.1.3. Çevresel Ayak İzi (EF3.1).....	38

5.1.4. ReCiPe 2016 Çevresel Etkileri.....	39
5.1.5. Kimyasal Çevresel Etkileri.....	40
5.1.6. Kümülatif Enerji İhtiyacı.....	40
5.2. Senaryolar	41
5.2.1. Senaryo 1 Yenilenebilir Enerji Kullanımı	41
5.2.2. Senaryo 2 Farklı Tür Hammadde Kullanımı.....	42
5.2.3. Senaryo 3 Geri Dönüştürülmüş ve Biyoplastik Kullanımı.....	42
5.2.4.Senaryo 4 Lojistik	42
5.3. Tartışma	42
6. SONUÇLAR	45
KAYNAKÇA	46

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 4.1. Bir Adet Şampuan Şişesinin YDA İçin Envanter Analizi.....	32
Tablo 4. 2. ReCiPe2016 Metodunun Sunduğu Çevresel Etkiler	34

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Malzeme Tipine Göre Pazar Analizi.....	4
Şekil 2.2. Türkiye'deki Paketleme Ürünlerinin İçeriklerinin Dağılımı.....	4
Şekil 2.3. Eriyik Ekstrüzyon Sistemi	6
Şekil 2.4. Üfleli Film Ekstrüzyonu	7
Şekil 2.5. Ko- Ekstrüzyon Sistemi	7
Şekil 2.6. Termoforming Üretim Süreci.....	8
Şekil 2.7. Vakum Şekillendirme.....	8
Şekil 2.8. Enjeksiyon Kalıplama.....	9
Şekil 2.9. Birincil Ve İkincil Ambalaj Kullanımına Dair Örnek	10
Şekil 2.10. Polimerlerin Genel Yapısı	13
Şekil 2.11. Termoplastik Polimerler.....	14
Şekil 2.12. Termoset Polimerler.....	14
Şekil 2.13. Elastomer Polimerler	15
Şekil 2.14. Örnek Bir Kozmetik Ürününe Ait Plastik Türleri.....	15
Şekil 2.15. Polipropilen Formül Yapısı	16
Şekil 2.16. PET'in Farklı Geri Dönüşüm Metodları.....	17
Şekil 2.17. PET Polimerizasyon Yapısı.....	17
Şekil 2.18. PVC Polimerizasyon Yapısı	18
Şekil 2.19. ABS Yapısı	19
Şekil 2.20. Üç Yaygın Polietilenin Moleküler Zincir Özellikleri.....	19
Şekil 2.21. YDD Akış Şeması	22
Şekil 4.1. Şampuan Şişesi Üretim Akış Şeması	30
Şekil 4.2. Şampuan Şişesi Örneği	31
Şekil 5.1. Bir Adet Şampuan Şişesinin Karbon Ayak İzi	37

Şekil 5.2. Bir Adet Şampuan Şişesinin Ekolojik Maliyeti	38
Şekil 5.3. Bir Adet Şampuan Şişesinin Çevresel Ayak İzi	39
Şekil 5.4. Bir Adet Şampuan Şişesinin ReCiPe2016 Metoduna Göre Çevresel Etkileri	39
Şekil 5.6. Bir Adet Şampuan Şişesinin Üretimi Sürecinde İhtiyaç Duyulan Kümülatif Enerji Türleri.....	41
Şekil 5.7. GES ve RES Enerji Kullanımlarının Ekolojik Maliyet Üzerine Etkileri.....	41
Şekil 5.8. GES ve RES Enerji Kullanımının Karbon Ayak Kullanımı Üzerine Etkisi	42

KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

ABS: Akrilonitril Bütadien Stiren

bio-PE: Biyo-Bazlı Polietilen

CAGR: Bileşik Yıllık Büyüme Oranı

CO₂: Karbondioksit

DALY: Engelliliğe Ayarlanmış Yaşam Yılı

FSC/PEFC: Orman Yönetim Konseyi/Orman Sertifikasyon Programlarının Onaylanması

GES: Güneş Enerjisi Santrali

HDPE: Yüksek Yoğunluklu Polietilen

LDPE: Düşük Yoğunluklu Polietilen

PBS: Polibütilen Süksinat

PE: Polietilen

PET: Polietilen Tereftalat

PP: Polipropilen

PS: Polistiren

RES: Rüzgar Enerjisi Santrali

SKA: Sürdürülebilir Kalkınma Amacı

TRACI: Kimyasal ve Diğer Çevresel Etkilerin Azaltılması ve Değerlendirilmesi Aracı

YDD: Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi

1.GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Amacı

Termoplastiklerin kozmetik sektöründe, özellikle ürün ambalajlamasında yaygın olarak kullanılması, yüksek enerji tüketimine sahip ambalaj üretim süreçleri nedeniyle çevresel sürdürülebilirlik açısından küresel bir sorun teşkil etmektedir. Küresel kozmetik ambalaj pazarının büyüklüğü 2024 yılında 55,38 milyar ABD doları olarak tahmin edilmekte olup, bu rakamın 2032 yılına kadar 79,99 milyar ABD dolarına ulaşması beklenmektedir. Ancak sektör, plastik atık üretimi, kirlilik ve biyolojik olarak parçalanmayan malzemelere olan bağımlılık gibi önemli çevresel sorunlarla karşı karşıyadır. Bu durum, biyolojik olarak parçalanabilir ve geri dönüştürülebilir ambalaj çözümlerine yönelmeyi kaçınılmaz hale getirmektedir. Özellikle, toplam plastik atıklarının yalnızca yaklaşık %9'unun etkin şekilde geri dönüştürülebilmesi, kozmetik ürünlerinde ekolojik tasarım ve sürdürülebilirlik analizlerinin, ürünün tüm yaşam döngüsünü kapsaması gerekliliği kritik bir gereklilik haline gelmiştir.

Bu çalışma, kozmetik sektöründe birincil ambalaj grubunda yer alan şampuan şişelerinin (ana gövdesi yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) ve kapağı polipropilen (PP)) çevresel ve insan sağlığı üzerindeki etkilerini kapsamlı biçimde değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

Tez, şampuan şişelerinin çevresel performansını değerlendirmek amacıyla ISO 14040 ve ISO 14044 standartlarına uygun olarak "beşikten mezara" yaşam döngüsü analizi (YDA) metodolojisini benimsemiştir. Analizlerde IDEMAT2025 veri seti kullanılmış; ürünün karbon ayak izi, ekolojik maliyeti, kümülatif enerji talebi ve çeşitli etki kategorileri ReCiPe2016 ve TRACI 2.2 metodolojileri aracılığıyla detaylı şekilde incelenmiştir. Sistem sınırları; hammadde ve yardımcı malzemelerin üretimi ile taşınması, enerji kullanımı, üretim süreci (şişe ve kapak kalıbı dahil), geri dönüşüm, ürünlerin müşteriye ulaştırılması, oluşan atıkların taşınması ve bertarafı ile kullanım ömrü sonrasındaki bertaraf aşamalarını kapsamaktadır. Fonksiyonel birim olarak, 61 gram ağırlığında 400 ml hacmine sahip bir adet şampuan şişesi seçilmiştir.

Çalışmada ayrıca, ekolojik maliyet ve karbon ayak izini azaltmaya yönelik farklı senaryolar (yenilenebilir enerji kullanımı, alternatif hammadde seçimi, geri dönüştürülmüş ve biyoplastik kullanımı, lojistik süreçlerin optimize edilmesi) değerlendirilmiştir. Ancak, bu senaryoların ekolojik maliyet ve karbon ayak izi üzerinde sınırlı etkiler yarattığı gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak, bu tez kozmetik ambalajları için sürdürülebilir çözüm arayışlarına ve çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli göstergelerin ortaya konmasına katkı sağlamaktadır. Ürünlerin tüm yaşam döngüsü boyunca evre ve insan sağlığı üzerindeki etkilerini bütüncül bir yaklaşımla değerlendiren çalışma, politika yapıcılar, araştırmacılar ve sektör paydaşları için değerli bilgiler sunmaktadır.

2.GENEL BİLGİLER

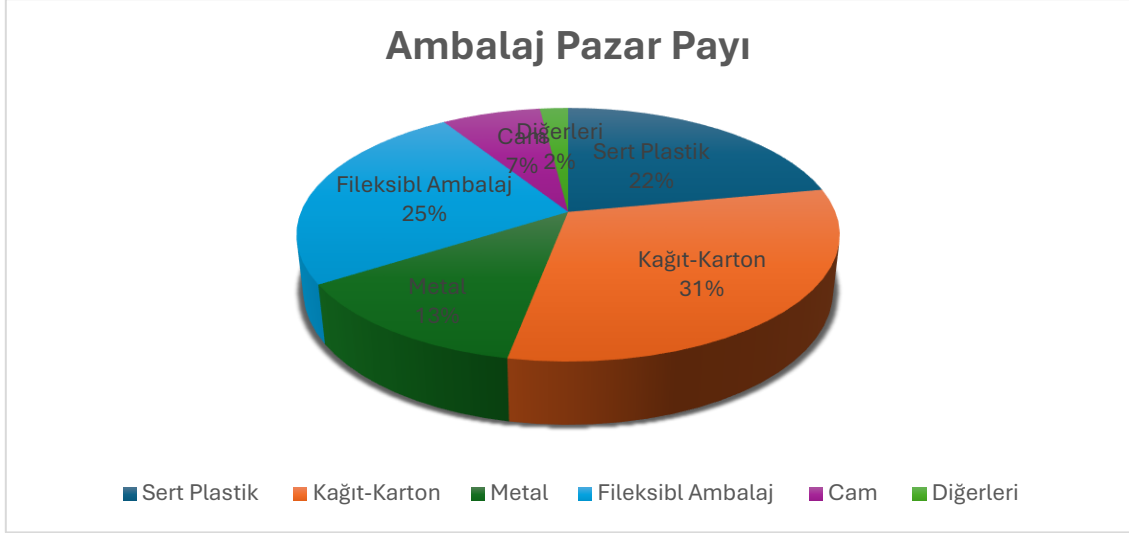
2.1. Plastik Ambalaj Endüstrisi ve Pazar Analizi

Küresel ekonominin hayati bir bileşeni olan plastik ambalaj endüstrisi, 2025 - 2035 yılları arasında %4,7'lik bileşik yıllık büyüme oranı (CAGR) ile 47,6 milyar ABD dolarına ulaşması beklenmektedir (Future Market Insights Inc, 2020), (Grand View Research, 2024).

Sektör özellikle kozmetik, gıda ve içecek endüstrileri, sağlık hizmetleri ve e-ticaret gibi çeşitli uygulamalarda artan talep doğrultusunda ilerlemektedir. Lojistik ve ulaştırma sektörleri toplam talebin %36'sını oluşturarak arz ihtiyacına önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Bu durum büyük ölçüde kentleşme ve gelişmekte olan pazarlardaki değişen tüketici yaşam tarzlarından kaynaklanmaktadır (Future Market Insights Inc, 2020), (Eco Recycling Today, 2025), (European Bioplastics 2025).

Küresel kozmetik ambalaj pazarının büyüklüğü 2024 yılında 55,38 milyar ABD doları olarak tahmin edilmiştir. Pazarın, 2025 yılında 57,55 milyar ABD dolarından 2032 yılına kadar 79,99 milyar ABD dolarına çıkması ve tahmin döneminde %4,82'lik bir bileşik yıllık büyüme oranı (CAGR) sergilemesi öngörülmektedir. Asya Pasifik, 2024 yılında %42,09'luk pazar payıyla kozmetik ambalaj pazarına hakim olmuştur. Ayrıca, ABD'deki kozmetik ambalaj pazarının, kozmetik sektöründeki birinci sınıf ve yenilikçi ambalajlara olan artan talep sayesinde önemli ölçüde büyüyerek 2032 yılına kadar tahmini 15,54 milyar ABD doları değerine ulaşması öngörülmektedir. Genç nüfusun artmasına bağlı olarak yenilikçi ambalaj tasarımları ve değişen ambalaj trendleri nedeniyle kozmetik ürünlerine talep artışının kozmetik ambalaj sektörünü canlandırması beklenmektedir (Fortune Business Insights, 2024).

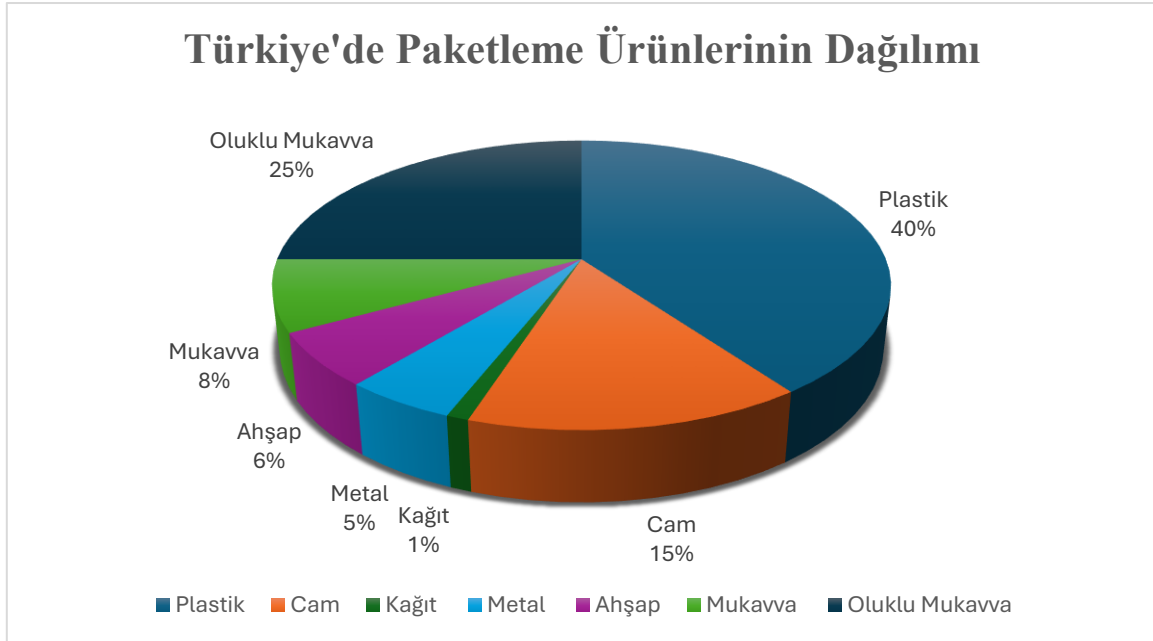
Şekil 2.1. incelendiğinde, kullanım oranı en yüksek ambalaj türlerinin kâğıt-karton ve plastik ambalajlar olduğu görülmektedir (Keskin ve Koçoğlu, 2022).



Şekil 2.1. Malzeme Tipine Göre Pazar Analizi

Kaynak: (Keskin ve Koçoğlu, 2022)

Türk Plastik Sanayicileri Araştırma, Geliştirme ve Eğitim Vakfı'nın 2019 yılında hazırladığı rapora göre ambalaj endüstrisinde kullanılan malzemenin %40'ı plastik hammaddelerden üretildiği görülmektedir (PAGEV, 2019) (Şekil 2.1.).



Şekil 2.2. Türkiye'deki Paketleme Ürünlerinin İçeriklerinin Dağılımı

Kaynak: (PAGEV,2019)

Ancak sektör, plastik atık, kirlilik ve biyolojik olarak parçalanmayan malzemelere bağımlılık gibi çevresel etkileriyle ilgili endişeler nedeniyle biyolojik olarak parçalanabilir ve geri dönüştürülebilir ambalaj çözümleri konusunda sürdürülebilir alternatiflere yönelmeyle

birlikte çevresel etkilerin araştırılması konusunda ciddi bir incelemeyle karşı karşıyadır (Fortune Business Insights, 2024), (Deskera, 2024).

Avrupa Komisyonu 2030'dan itibaren yalnızca geri dönüştürülebilir ambalajlara izin verileceğini belirtmiştir (Avrupa Komisyonu,2022).

Plastik ambalajların avantajları arasında maliyet tasarrufu, dayanıklılık ve ürün kalitesinin korunması yer almaktadır. Plastik atıkların çevresel etkileri, yaban hayatın üzerindeki tehditler, kimyasal sızıntılardan kaynaklanan sağlık riskleri ve atık yönetimindeki zorluklar gibi dezavantajları önemli zorluklar ortaya çıkardığından dolayı etkili çözümlere acil ihtiyaç olduğunu göstermektedir (Market Research Future, 2024), (GM Insights, 2024).

Plastik ambalajların büyük çoğunluğu düzgün bir şekilde tekrar değerlendirilememekte ve toplam plastik atıklarının yalnızca yaklaşık %9'unun etkili bir şekilde geri dönüşümü sağlanabilmektedir (L'Haridon vd, 2023).

Hükümetler plastik kirliliğiyle mücadele için daha sıkı düzenlemeler yürürlüğe koymakta, tüketici tercihleri sürdürülebilirliğe doğru kaymakta, sektör yenilik yapma ve uyum sağlama baskısı altında kaldığından ekonomik faydaları ile çevresel sorumlulukları arasında dengeli bir yaklaşıma ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir.

2.2. Plastik Ambalaj Üretimi

Petrol rafinasyonu proseslerinin yan ürünü olan naftaya çeşitli işlemler uygulanması sonucu plastik hammaddeleri üretilmektedir (Saçak, 2016).

Plastik hammaddelerin ısıyla şekil almalarından dolayı dökme, presleme veya şekillendirme yöntemiyle plaka, tüp, şişe, kutu gibi birçok ürüne dönüştürülebilmektedir (Ciner, 2023)

Ambalajlama işlemi ürünlerin, güneş, nem, fiziksel ve kimyasal dış etkilerden korunması, taze tutulması amacıyla gerçekleştirilir. Bu işlem sayesinde ürünler, üretim aşamasından başlayarak, taşıma, dağıtım, depolama ve kullanım aşamasında bir bütün olarak kolay bir şekilde işlenmektedirler (Keskin ve Koçoğlu, 2022).

Akışkan ve kalıplanabilir yapısı, kimyasal inertliği (tamamen geçirimsiz olmasa da), maliyet etkinliği, hafifliği, şeffaflık, renk, ısı yalıtımı, ısı direnci ve bariyer özelliklerindeki çeşitliliği nedeniyle ambalajlamada yaygın olarak kullanılır (Coles vd, 2011).

Plastiğin ambalaj olarak kullanılmasının en büyük dezavantajı plastik ambalajların ömrünün kısa olmasıdır ve bu da esas olarak fosil kaynaklardan elde edilen önemli miktarda birincil hammadde tüketimine yol açmaktadır (Gritsch vd, 2024).

Ambalajlama amacıyla kullanılan plastik malzemeler termoplastik özelliktedir ve belirli oranlarda orijinal plastik hammaddeler ile karıştırılarak geri dönüştürülmektedir (Saçak, 2016).

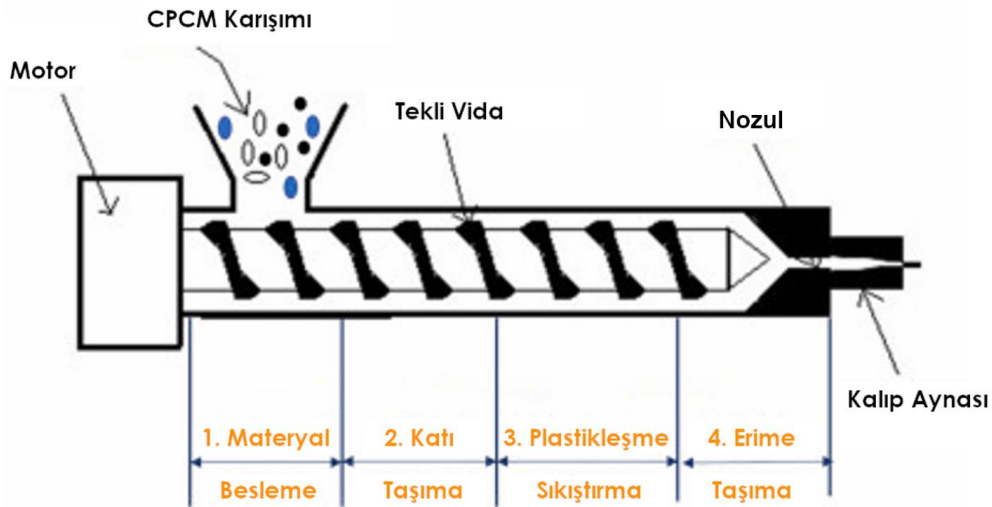
2.2.1. Üretim Yöntemleri

2.2.1.1. Eriyik Ekstrüzyon ve Üfleli Film Ekstrüzyonu

Temel endüstriyel işlemlerden biri olan eriyik ekstrüzyonda (veya malzeme ekstrüzyonu) polimerler eritilir ve kalıplardan geçirilerek filmler veya profiller oluşturulur (Şekil 2.3).

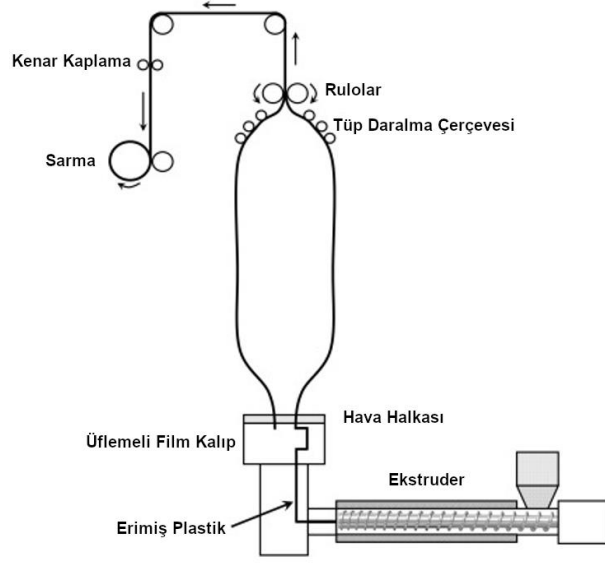
Özel bir yöntem olan üfleli film ekstrüzyonu sisteminde erimiş polimeri ince bir filme dönüştüren bir film kabarcığına şişirir (Şekil 2.4).

Çok katmanlı sistemler, bariyer filmler ve esnek ambalajlar için ideal olan eş zamanlı bir şekilde ekstrüde edilebilirler (Saçak, 2016).



Şekil 2.3. Eriyik Ekstrüzyon Sistemi

Kaynak: (Jiang Vd, 2022)

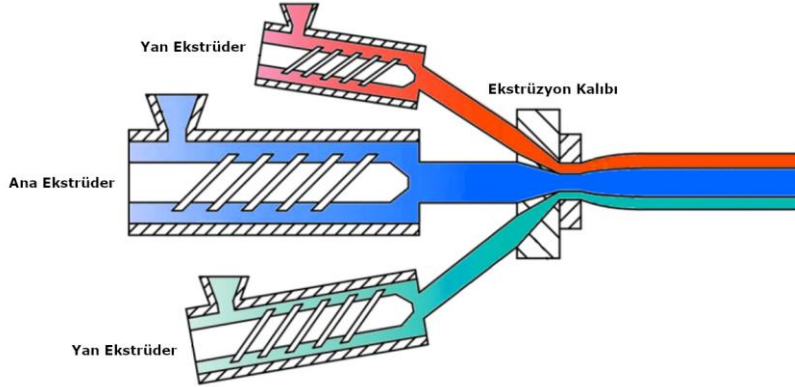


Şekil 2.4. Üflemler Film Ekstrüzyonu

Kaynak: (Massey, 2003)

2.2.1.2. Ko-ekstrüzyon

Ko-ekstrüzyon, kontrollü kalınlık ve belirli özelliklere sahip çok katmanlı filmler oluşturmak için birden fazla polimer akışını birleştirir. Aynı zamanda mekanik mukavemet, nem/oksijen bariyeri ve optik berraklığı iyileştirir (Saçak, 2016). (Şekil 2.5)

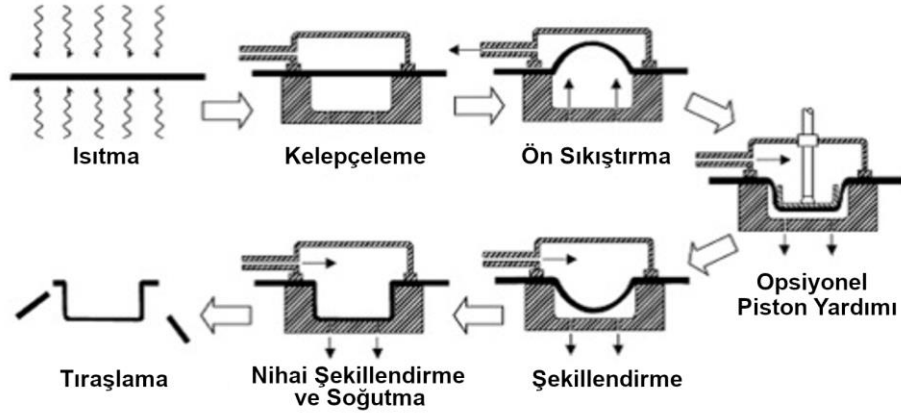


Şekil 2.5. Ko- Ekstrüzyonu Sistemi

Kaynak: (Bausano,2025)

2.2.1.3. Termoform ve Vakum Şekillendirme

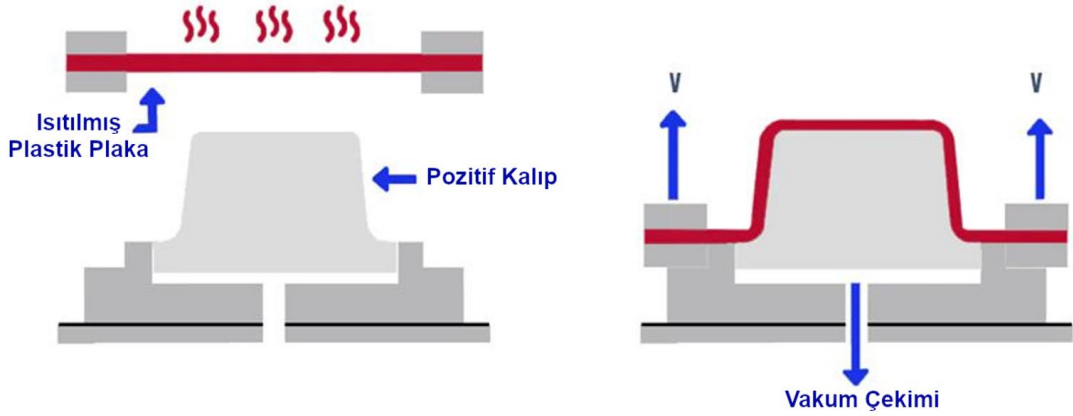
Termoform, tepsi, kapaklı kap ve film oluşturmak için plastik levhaların kalıplar üzerinde ısıtılarak şekil verilmesi yöntemidir. Bardak ve kap gibi sert ambalajlarda yaygın olarak kullanılır (Cristofoli vd, 2023) (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Termoforming Üretim Süreci

Kaynak: (Sin vd, 2019)

Vakum şekillendirme yöntemi, ısıtılmış plastiği kalıplar üzerinde şekillendirmek için vakum basıncı uygulanır. Düzensiz veya özel şekilli ambalajlar için kullanışlıdır (Saçak, 2016) (Şekil 2.7).



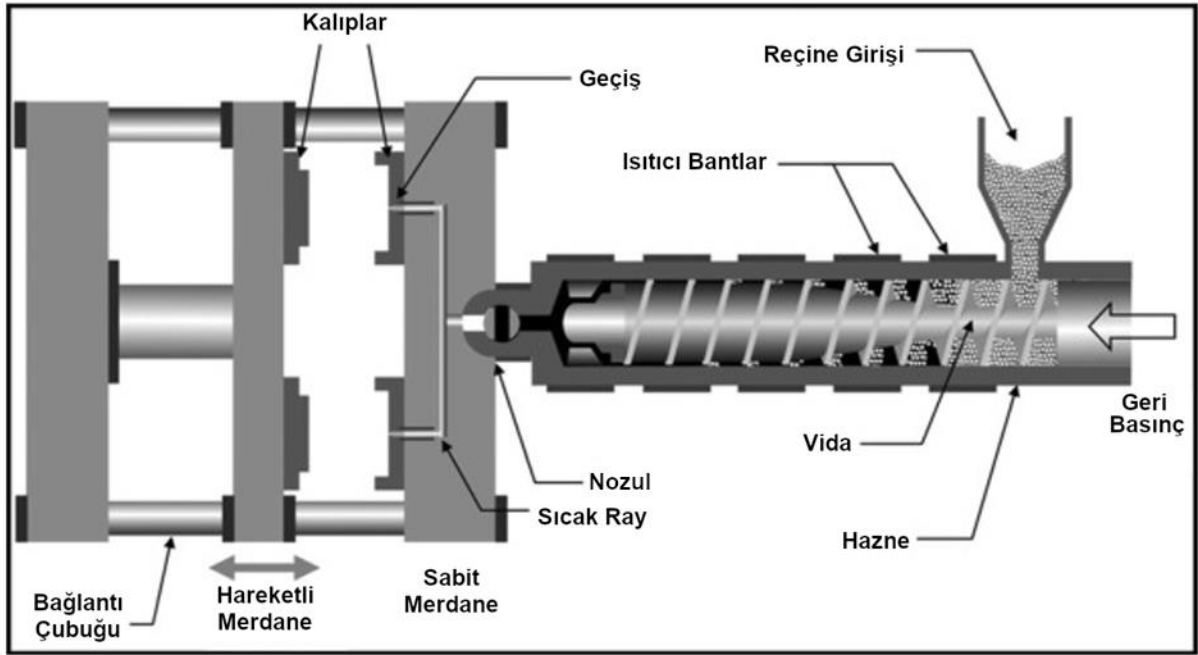
Şekil

Şekil 2.7. Vakum Şekillendirme

Kaynak: (Wayken Rapid Manufacturing, 2022)

2.2.1.4.Enjeksiyon Kalıplama

Enjeksiyon kalıplama, kalıp boşluklarına enjekte edilen erimiş polimer kullanılarak son derece hassas bileşenler (kapak, kapak, tepsi) üretilir (Saçak, 2016) (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Enjeksiyon Kalıplama

Kaynak: (do Val Siqueira vd, 2021)

2.2.1.5.Çözücü ve Çözümlü Döküm, Kaplama Teknolojileri

Çözücü döküm, biyopolimerleri (örneğin PLA (Polilaktik Asit), nişasta) çözücülerde çözerek filmlere döker ve çözücüyü buharlaştırır; biyolojik olarak parçalanabilir ve biyo bazlı filmler için yaygın olarak kullanılır (Cristofoli vd, 2023).

Kaplama yöntemleri genellikle aktif/akıllı ambalajlar için hassas katmanlama ve işlevsel aktif kaplamalar sunan kaplamalar ve film oluşturma teknikleridir (Rzayeva vd, 2023).

2.2.2. İşlevsellik ve Performans Özellikleri

2.2.2.1. Bariyer ve Mekanik Özellikler

Çok katmanlı filmler, ko-ekstrüzyon veya laminasyon yoluyla katmanların özelleştirilmesine olanak tanır. Mekanik mukavemeti ve iyi optik özellikleri korurken nem, oksijen, UV veya aroma bariyeri sağlar.

2.2.2.2. Aktif ve Akıllı Paketleme

Kaplama teknikleri ve kapsülleme (örneğin antimikrobiyal veya antioksidanların yerleştirilmesi), raf ömrünü uzatmak veya tazeliği izlemek için aktif işlevsellik (örneğin, ajanların gecikmeli salınımı, nemle tetiklenen koku veya antimikrobiyal ajanlar) sağlayabilir. Kapsülleme taşıyıcıları arasında nanokiller, siklodekstrinler veya nanofiberler bulunur.

2.2.2.3. Dekorasyon ve Kullanım Kolaylığı

Kalıp içi etiketleme, dekorasyonu ambalajla birleştirerek aşınmaya dayanıklı tasarımlar oluşturur ve ayrı yapışkanlı etiketleri ortadan kaldırarak geri dönüşümü kolaylaştırır.

2.2.2.4. Sürdürülebilirlik ve Biyobozunurluk

Yenilenebilir kaynaklardan elde edilen PLA gibi biyopolimerler, çözücü döküm, eriyik ekstrüzyon veya termoform yoluyla işlenerek kompostlanabilir ve/veya geri dönüştürülebilir ambalaj alternatifleri sunar (Alcion,2020).

2.3. Plastik Ambalajların Kozmetik Sektöründe Kullanımı

Kozmetik endüstrisinde plastik ambalaj kullanımı, artan çevresel endişeler ve değişen tüketici tercihleri arasında kritik bir konu olarak ortaya çıkmıştır. Plastik ambalajlar dünya çapında toplam plastik kullanımının yaklaşık %40'ını oluşturduğundan, yaygın olarak benimsenmesi, güzellik ürünlerinin seri üretimini, uygun fiyatlı olmasını ve erişilebilirliğini kolaylaştırmıştır (Omira vd, 2025).

2.3.1. Birincil ve İkincil Ambalajlama

Kozmetik ambalajlarda birincil ve ikincil ambalaj, kozmetik ürünleri muhafaza etmek ve korumak, güvenliğini, bütünlüğünü ve tüketicilerin ilgisini çekmesini sağlamak için kullanılan malzeme katmanlarını ifade eder (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Birincil Ve İkincil Ambalaj Kullanımına Dair Örnek

Kaynak: (Praxiz 2024)

Kozmetik ambalaj sektörü, yalnızca çeşitli malzemeleri ve yenilikçi tasarımlarıyla değil, aynı zamanda tüketici talebi ve düzenleyici baskılara yanıt olarak sürdürülebilirliğe doğru devam eden dönüşümüyle de dikkat çekmektedir (Cosmopacks, 2023).

Kozmetik ambalajları çok yönlü işlevselliğe sahiptir. Ürünleri kirlenmeden ve çevresel etkenlerden korur, etkinliğini koruyarak görsel çekiciliğini artırır ve böylece satın alma kararlarını büyük ölçüde etkileyebilir (Eurovetropac, 2025).

Çevresel kaygılar, tüketicilerin sürdürülebilir ürünlere olan artan ilgisiyle uyumlu olarak sektörü çevre dostu malzemeler ve uygulamalar benimsemeye yöneltmiştir.

2.3.1.1. Birincil Ambalaj

Birincil ambalaj, bir kozmetik ürününü içerecek onunla doğrudan temas halinde olan ilk ambalajı ifade eder. Bu katman, ürünün güvenliğini, bütünlüğünü ve tüketiciler için çekiciliğini sağlamak amacıyla önemlidir. Yaygın birincil ambalaj türleri arasında, her biri farklı kozmetik ürünlerinin özel ihtiyaçlarını karşılamak üzere tasarlanmış cam şişeler, plastik tüpler, kavanozlar ve blister ambalajlar bulunur (Morel vd, 2024).

Kozmetiklerde birincil ambalajlamada kullanılan malzemelerin çevresel etkenlere karşı dayanıklı koruma sağlamasının yanı sıra estetik açıdan da hoş görünmesi gerekmektedir. Genellikle üst düzey ürünlerde kullanılan cam şişeler ve kavanozlar, kirlenmeye karşı mükemmel koruma sağlar ve ürünün bütünlüğünü korur (Morel vd, 2024).

Çok yönlü ve hafif olan plastik kaplar, kozmetik ambalajlarında yaygın olarak kullanılır. Çeşitli şekil ve boyutlarda mevcut oldukları için çok çeşitli ürünler için uygundur (Morel vd, 2024).

Alüminyum tüpler gibi metal kaplar, hava geçirmez sızdırmazlık gerektiren, dayanıklılık ve ışık ve oksijene karşı koruma sağlayan ürünler için kullanılır (Morel vd, 2024).

2.3.1.2. İkincil Ambalaj

İkincil ambalaj, kozmetik ürünlerinin bir veya birkaç birincil ambalaj ünitesini saran dış ambalajı ifade eder. Bu ambalaj, ürünleri nakliye ve depolama sırasında koruyarak tüketiciye ulaşana kadar bütünlüklerini garanti altına almak amacıyla kullanılır. Ürünle doğrudan temas halinde olan ve anında koruma sağlayan birincil ambalajdan farklıdır (Morel vd, 2024).

İkincil ambalajın bazı yaygın bileşenleri arasında kutular, takviyeler, kağıtlar, torbalar ve dolgu malzemeleri yer almaktadır. Bu malzemelerin seçimi, ambalajın genel etkinliğini ve verimliliğini önemli ölçüde etkilemektedir.

Katlanır kartonlar, kozmetik sektöründe kullanılan en popüler ikincil ambalaj çözümleri arasındadır. Özellikle saç bakımı, kişisel bakım, parfüm ve güzellik ürünlerinin ambalajlanmasında tercih edilirler. Hafif tasarımları, nakliye maliyetlerini düşürmeye yardımcı

olarak üreticiler için uygun maliyetli bir seçenek haline getirir (Morel vd, 2024). Ayrıca, katlanır kartonlar çok yönlülükleri ve özelleştirme kolaylıklarıyla dikkat çekmektedir ve markaların ürün çekiciliğini artırmalarına olanak tanımaktadırlar (Adragos Pharma, 2024).

Katlanır kartonların aksine, sert kutular daha kalın malzemeden üretilir ve daha kaliteli bir his sağlar. Ancak, diğer ikincil ambalaj seçeneklerine kıyasla daha pahalı olma eğilimindedirler. Sert kutular genellikle üst düzey kozmetik ürünleri için kullanılır ve hem koruyucu hem de pazarlama işlevi görür (Adragos Pharma, 2024).

İkincil ambalajın yapısal özelliklerine ek olarak, kapaklar da ürün bütünlüğünün korunmasında önemli bir rol oynar. Örneğin, disk üst kapaklar ve dişli kapaklar, oksijen maruziyetini en aza indirerek ürünün raf ömrünü uzatmak için kozmetik ambalajlarında yaygın olarak kullanılır (Morel vd, 2024).

İkincil ambalaj seçerken, maliyet etkinliği ile kalite arasında denge kurmak kritik öneme sahiptir. Üreticiler genellikle yüksek standartları korurken birim başına maliyetleri düşürmek için daha büyük miktarlarda üretim yapmayı hedefler. Bu yaklaşım, markaların ambalaj çözümlerinin kalitesinden ödün vermeden rekabetçi kalmalarını sağlar (Omira vd, 2025).

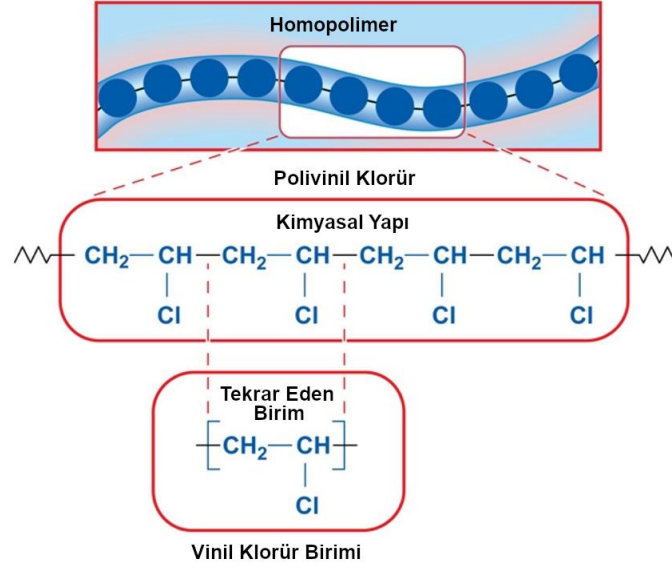
2.3.2. Kozmetik Sektöründe Kullanılan Plastik Türleri

2.3.2.1. Polimerler

Polimer, birçok farklı tekrarlanan monomerlerin kovalent bağlarla bağlı halkalardan veya zincirlerden oluşan büyük moleküler yapıya sahip bir malzemedir (AlMaadeed,2020)

Kopolimerler, aynı zincir içinde iki veya daha fazla farklı monomer türünden oluşan polimerik malzemelerdir. İki monomer türünden oluşuyorsa bipolimer, üç farklı monomer grubundan oluşuyorsa terpolimer olarak sınıflandırılabilirler (Şekil 2.10) (Cheremisinoff, 2001).

Polimerler, üç ana sınıfa ayrılan çok yönlü malzemelerdir: termoplastikler, termosetler ve elastomerler. Her kategori, farklı termal davranışları ve yapısal özellikleriyle tanımlanır ve bu özellikler, çeşitli sektörlerdeki uygulamalarını etkiler (Saçak, 2016).



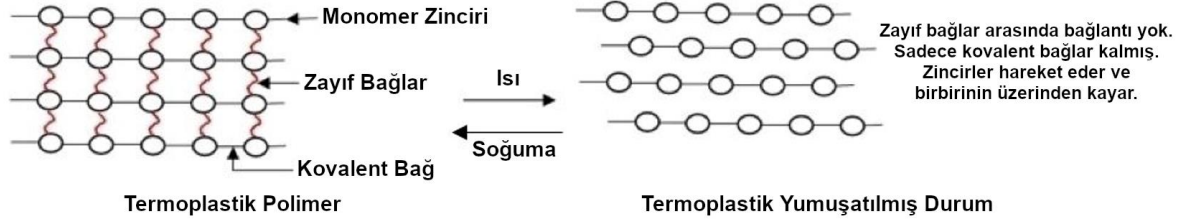
Şekil 2.10. Polimerlerin Genel Yapısı

Kaynak: (Britannica 2025)

Termoplastik polimerler, ısıtıldıklarında yumuşama kabiliyetleriyle karakterize edilirler (Şekil 2.11) ve herhangi bir kimyasal değişikliğe uğramadan defalarca yeniden şekillendirilebilirler. Genellikle sünek bir davranış sergileyen polimerler, amorf veya kristal formlarda bulunurlar. Ancak diğer polimer türlerine kıyasla daha düşük mukavemete sahip olabilirler. Termoplastiklerin moleküler yapısı, öncelikle doğrusal olarak bağlanmış ancak aynı zamanda ikincil Van Der Waals kuvvetleri aracılığıyla etkileşime giren uzun zincirli moleküllerden oluşur.

Moleküler zincirler esas olarak doğrusaldır ve ikincil Van der Waals kuvvetleriyle birbirlerine bağlanırlar; bu da ekstrüzyon, enjeksiyon kalıplama ve şişirme kalıplama gibi çeşitli işlemler kullanılarak kalıplanmalarına olanak tanır (Saçak, 2016).

Yaygın örnekler arasında, çok yönlülükleri ve uygun maliyetli olmaları nedeniyle ambalajlama, tüketim malları ve çeşitli endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılan polietilen (PE), polipropilen (PP), polistiren (PS), polivinil klorür (PVC) ve polietilen tereftalat (PET)'dir (Saçak, 2016). Termoplastiklerin yaşam döngülerinin sonunda toplandıktan sonra geri dönüştürülebilir olmaları, onları avantajlı hale getirmektedir.



Şekil 2.11. Termoplastik Polimerler

Kaynak: (Dura Materials, 2021)

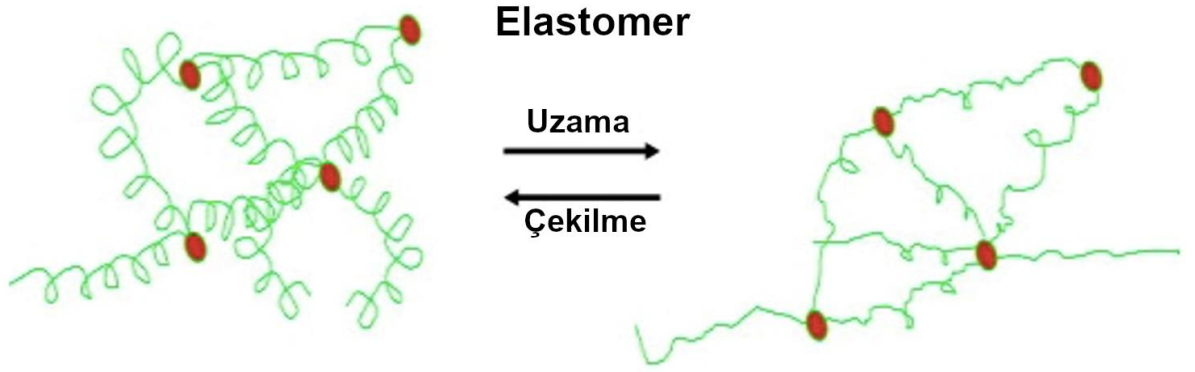
Termoset polimerler her zaman amorf yapıdadır. Güçlü ve sert özellikte olmaları onları dayanıklı ama genellikle kırılğan yapar. Kimyasal bir reaksiyonla kürlendikten sonra termosetler, yapısal bütünlük sağlayarak oluşturdukları kovalent çapraz bağlar nedeniyle yeniden şekillendirilemezler (Şekil 2.12). Termoset örnekleri arasında, hafif ve sağlam özellikleriyle bilinen izosiyanatlar, doymamış polyesterler ve epoksiler gibi çeşitli reçine sınıfları bulunur (Saçak, 2016).



Şekil 2.12. Termoset Polimerler

Kaynak: (Dura Materials, 2021)

Amorf yapıya sahip olan elastomerler kalıcı hasara yol açmadan önemli elastik deformasyona uğrama kapasiteleriyle öne çıkarlar. Bu polimerler genellikle esneklik ve dayanıklılık gerektiren uygulamalarda kullanılır ve cam geçiş sıcaklıklarının (T_g) üzerinde etkili bir şekilde çalışırlar (Şekil 2.13). Bunlar homopolimerler veya rastgele kopolimerler olarak sentezlenebilir ve genellikle mekanik özelliklerini artıran çift sert ve yumuşak faz gösteren malzemelerdir. Yüksek elastikiyetleri ve dayanıklılıkları nedeniyle lastiklerden contalara kadar çok çeşitli ürünlerde kullanım alanı bulmaktadır. Elastomerik malzemelerin dikkat çeken türleri arasında poliolefin karışımları (TPO), elastomerik alaşımlar (TPV), termoplastik poliüretanlar (TPU) ve termoplastik kopoliesterler (COPE) bulunur (Saçak, 2016).



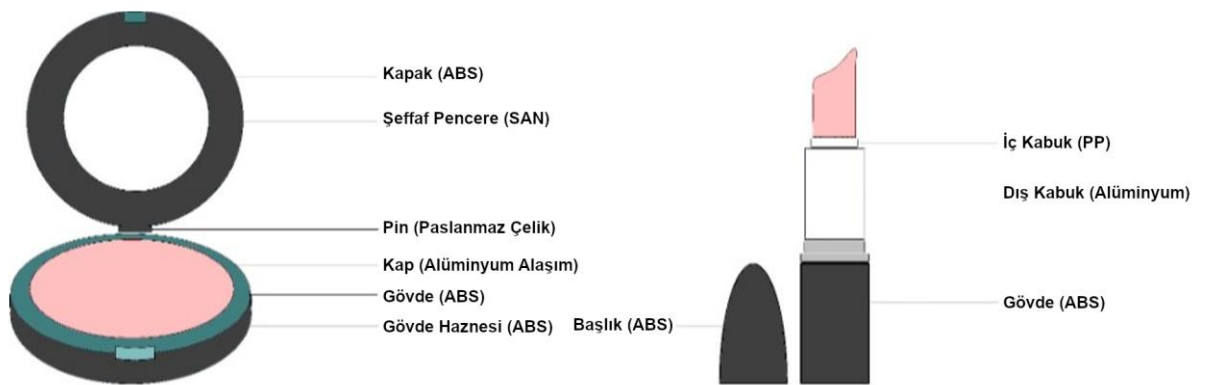
Şekil 2.13. Elastomer Polimerler

Kaynak: (Dura Materials, 2021)

2.3.2.2. Plastik Türleri

Kozmetik endüstrisinde plastik kullanımı, ürün ambalajlarının kritik bir bileşenidir ve hem işlevselliği hem de çevresel sürdürülebilirliği önemli ölçüde etkiler. Yaygın olarak kullanılan plastikler arasında polietilen tereftalat (PET), yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), polipropilen (PP), polivinil klorür (PVC) ve akrilonitril bütadien stiren (ABS) (Şekil 2.14) bulunur (Saçak, 2016), (Morel vd, 2024).

Avrupa ambalaj pazarında ağırlıkça en çok tüketilen plastikler PE (yüzde 50'den fazlası), PP, PET, PS (genişletilmiş polistiren veya EPS dahil) ve PVC'dir (Coles vd, 2011).

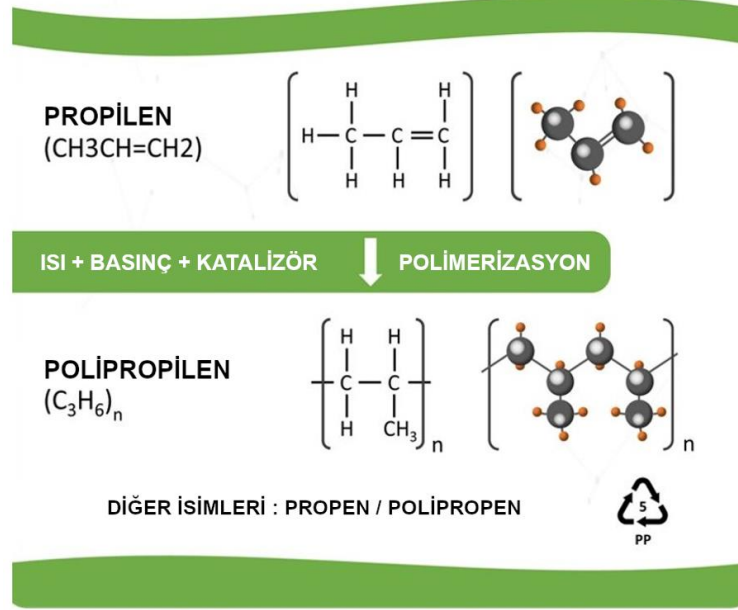


Şekil 2.14. Örnek Bir Kozmetik Ürününe Ait Plastik Türleri

Kaynak: (Haines vd, 2024)

Polipropilen (PP)

Polipropilen (PP), kozmetik ambalajlarında sıklıkla kullanılan plastik türlerinden biridir (Şekil 2.15). Hafif ve dayanıklı yapısıyla bilinen PP, çok çeşitli ürünlerle uyumludur ve bu sayede çeşitli kozmetik ürünlerinde kullanım alanını artırmaktadır. Kimyasal bozulmaya karşı dirençli olmaları, reaktif bileşenler içerebilen kozmetik ürünleri formülasyonlarında özellikle ayrı bir yer edinmelerini sağlamıştır (Saçak, 2016), (Morel vd, 2024).



Şekil 2.15. Polipropilen Formül Yapısı

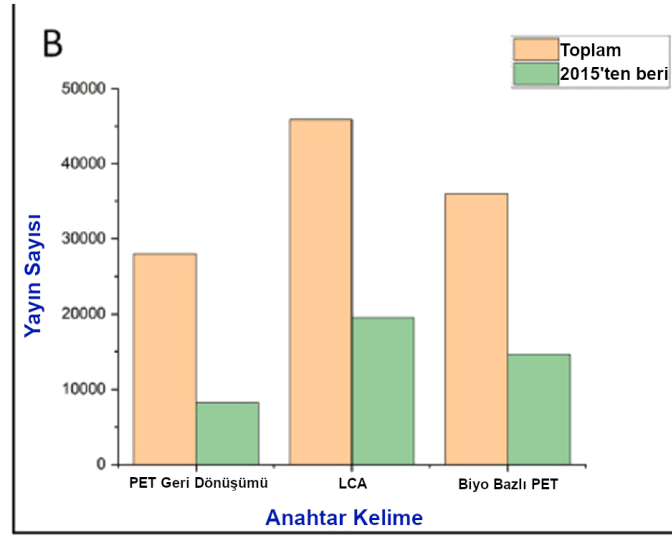
Kaynak: (National Tank Outlet, 2023)

Polietilen Tereftalat (PET)

Polietilen tereftalat (PET), dünya çapında en yaygın olarak geri dönüştürülen plastik olarak kabul edilmektedir (Şekil 2.16). Mükemmel mekanik, optik ve elektriksel özelliklerinin yanı sıra yüksek boyutsal kararlılığa ve iyi kimyasal dirence sahiptir. PET, şeffaflığı, dayanıklılığı ve gaz ve neme karşı mükemmel bariyer özellikleriyle öne çıkar ve bu da onu çeşitli kozmetik kapları için ideal hale getirir (Joseph vd, 2024), (Galstyan vd, 2024).

PET'in artan kullanımı, PET ürünlerinin uygunsuz şekilde bertaraf edilmesinin önemli çevresel hasara yol açmasıyla atık yönetiminde küresel bir krize de yol açmıştır. PET'in geri dönüşümü, çöplüklerde veya okyanuslarda son bulan plastik atık miktarını önemli ölçüde azaltabileceği için bu krizin hafifletilmesinde çok önemlidir. PET geri dönüşümü, kullanılmış PET ürünlerinin toplanmasını, bunların yeni malzemelere işlenmesini ve ardından yeni ürünler

üretmek için kullanılmasını içerir. Ancak, önemine rağmen, PET'in geri dönüşümü, küresel ölçekte etkinliğini engelleyen çok sayıda zorlukla karşı karşıyadır (Joseph vd, 2024).

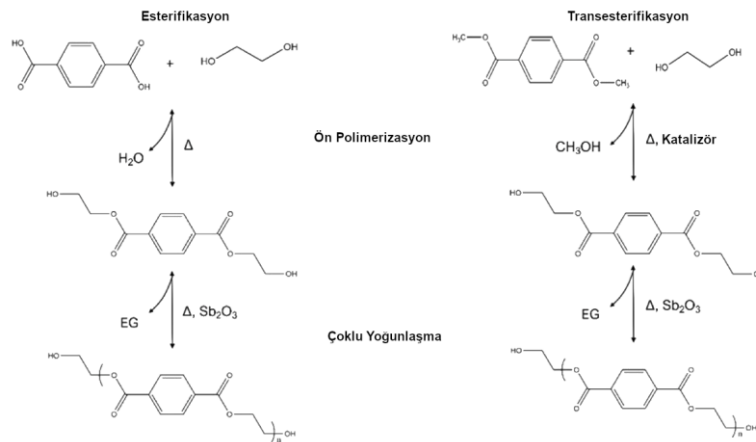


Şekil 2.16. PET'in Farklı Geri Dönüşüm Metodları

Kaynak: (Joseph vd, 2024)

Çok yönlülüğü, enjeksiyon kalıplama ve üfleme kalıplama dahil olmak üzere birden fazla üretim sürecine olanak tanır ve bu da güzellik endüstrisindeki uygulamalarını daha da genişletir (Saçak, 2016), (Morel vd, 2024).

PET malzemesinin sentezi, ön polimerizasyonu ve ardından polikondensasyonu temel alan bir işlemdir. Ön polimerizasyon, saflaştırılmış tereftalik asit (PTA) ve etilen glikol (EG) kullanılarak esterleştirme veya dimetil ester (DMT) ve EG kullanılarak transesterleştirme yoluyla gerçekleştirilebilir (Şekil 2.17) (Galstyan vd, 2024).

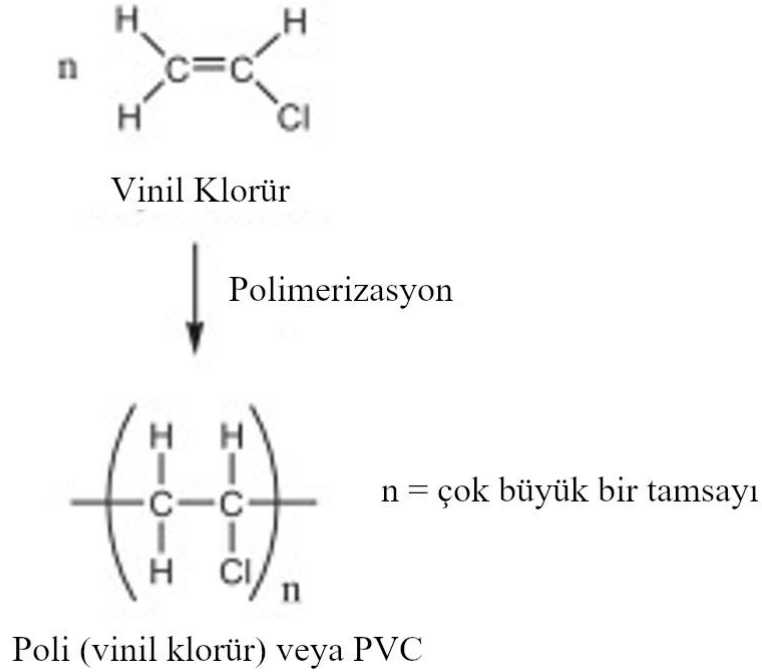


Şekil 2.17. PET Polimerizasyon Yapısı

Kaynak: (Galstyan vd, 2024)

Polivinil Klorür (PVC)

"Plastik #3" olarak sınıflandırılan polivinil klorür (PVC), kozmetik sektöründe çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır (Şekil 2.18). PVC hem sert hem de esnek formlarda üretilebilir ve esnek formlar, kozmetik ürünlerinin dış kirleticilerden korunmasında yaygın olarak kullanılır. Ancak PVC, yüksek klor içeriği ve toksik olabilen plastikleştiricilerin kullanımı nedeniyle çevresel endişelere yol açmaktadır. Güzellik ambalajlarında uygulamaları olmasına rağmen, genel kullanımı daha sürdürülebilir seçenekler uygulamalarında azalmaktadır (Haines vd, 2024).



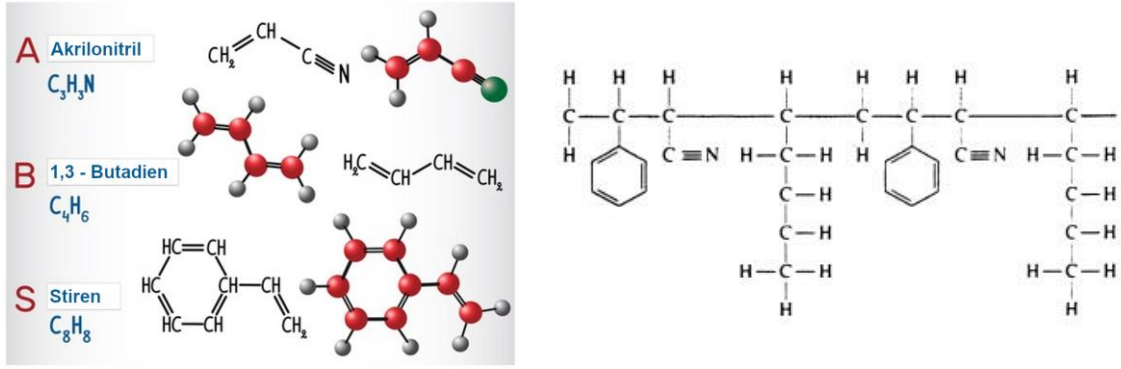
Şekil 2.18. PVC Polimerizasyon Yapısı

Kaynak: (Yousif ve Hasan, 2015)

Akrilonitril Bütadien Stiren (ABS)

Akrilonitril bütadien stiren (ABS), dayanıklılığı ve cam benzeri görünümlü olması nedeniyle kozmetik ambalajları için ideal bir seçimdir. Berraklığı, tüketicilerin içindeki ürünü görmesini sağlarken, sağlamlığı ambalajın elleçleme ve nakliyeyle dayanıklı olmasını sağlar. ABS, hem profesyonel makyaj setlerinde hem de günlük tüketici kozmetiklerinde sıklıkla kullanılır (Morel vd, 2024), (Haines vd, 2024).

Akrilonitril, bütadien ve stiren monomerlerin bir araya gelerek oluşan ABS, mühendislik termoplastiği sınıfındadır (Şekil 2.19).



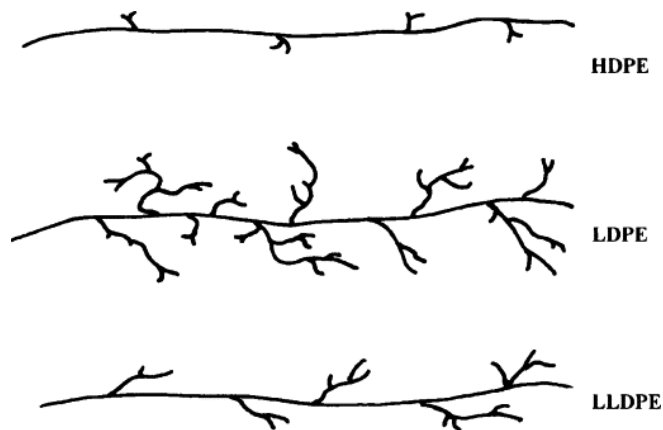
Şekil 2.19. ABS Yapısı

Kaynak: (SpecialChem, 2025)

Yüksek Yoğunluklu Polietilen (HDPE) ve Düşük Yoğunluklu Polietilen (LDPE)

Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) ve düşük yoğunluklu polietilen (LDPE), esneklikleri ve dayanıklılıklarıyla dikkat çeker. Şampuan şişeleri ve nemlendirici tüpleri gibi saç ve cilt bakım ürünlerinin ambalajlanması için uygundur. Bu iki plastik arasındaki temel fark, esnekliklerini ve sertliklerini etkileyen yoğunluklarından kaynaklanmaktadır. Her iki malzeme de genellikle beyaz kaplarda üretilir, ancak markalaşma ihtiyaçlarını karşılamak için çeşitli renkler kullanılarak üretilmektedir (Saçak, 2016), (Morel vd, 2024), (Haines vd, 2024)

Polietilen, etilen polimerizasyonunun bir ürünüdür. Üretim sürecine ve buna bağlı kimyasal yapı ve özelliklere bağlı olarak birçok PE türü üretilir. Başlıca türleri; düşük yoğunluklu polietilen (LDPE), yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), doğrusal düşük yoğunluklu polietilen (LLDPE) (Şekil 2.20).



Şekil 2.20. Üç Yaygın Polietilenin Moleküler Zincir Özellikleri

Kaynak: (Cramford ve Throne, 2001)

2.4 Sürdürülebilirlik Odağında Kozmetik Plastik Ambalajları

Güzellik sektöründe her yıl yaklaşık 120 milyar birim plastik üretilmekte ve bu atıkların büyük bir kısmı nehirleri ve okyanusları kirleterek deniz canlılarını ve ekosistemleri için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Kozmetiklerden çıkan plastik atıklar arasında, genellikle tek kullanımdan sonra atılan kaplar, tüpler ve pompalar yer almaktadır ve bu durum, devam eden kirlilik krizini daha da kötüleştirmektedir (Morel vd, 2024).

Sektörde sürdürülebilir uygulamalara giderek daha fazla vurgu yapılmakta ve birçok marka ambalajlarında geri dönüştürülebilir plastik malzemeler kullanılmaktadır. Örneğin, PET'in kullanımını geri dönüştürülebilirliğiyle öne çıkarmaktadır ve bu da plastik atıkları ve sera gazı emisyonlarını önemli ölçüde azaltabilen dögüsel ekonomi uygulamalarına katkıda bulunmaktadır (Ibrahim vd, 2022).

Tüketicileri sürdürülebilir ambalajların çevresel faydaları konusunda eğitmek ve onları uygun yeniden kullanım ve geri dönüşüm uygulamaları konusunda teşvik etmek hayati önem taşımaktadır (Kolling vd, 2022).

Bazı çalışmalar, yeniden doldurulabilir ambalajlı kozmetik satın alma niyetini etkileyen güdüleri ve engelleri ele almaktadır (Kazançoğlu vd, 2024).

Sosyal etki teorisi, sürdürülebilir tüketim davranışını teşvik etmek ve yaymak için bir temel olarak kullanılabilir (Gani vd, 2023)

Tüketiciler kozmetik pazarında yeşil satın almaya doğru bir eğilim göstermektedir ve bu eğilimi güçlendirmek için sürdürülebilirlik analizlerinin tüm ürün yaşam döngüsünü içermesi gerekmektedir (Rocca vd, 2022).

Bu nedenle, kozmetik ürünlerinin ekolojik tasarımı için stratejik yaşam döngüsü değerlendirmesine ihtiyaç vardır (L'Haridon vd, 2023).

Bir ürünün yaşamının farklı aşamaları birbirine bağlıdır ve birçok çalışma kozmetik ürünlerinin çevresel etkisine dikkat çekmektedir (Civancık-Uslu vd, 2019), (Ren vd, 2022).

Kozmetik ürünler üzerinde yapılan uygulamalı analizler, kritik aşamaların ham madde edinme süreci ve birincil paketleme süreci olduğunu göstermektedir (Rocca vd, 2023).

Diğer çalışmalar, yeniden kullanımını ve geri dönüşümü artırma, nakliyyeyi azaltma ve daha düşük çevresel etkiye sahip malzemeler kullanma gibi stratejiler önermektedir (Ren vd, 2022).

Şirketlerin %39'unun kullanılan paketleme malzemelerini beyan etmediği çocuk kozmetikleri için sürdürülebilir paketleme, şeffaflık ve sektör çapında iş birliği önerilmektedir (Vrabič-Brodnjak ve Jestratijević, 2022).

Kozmetik şirketlerinin yeşil aklama uygulamalarını azaltması ve güveni artırmak için güvenilir etkili kişilere ve sektör uzmanlarına güvenmesi gerekmektedir (Kazançoğlu vd, 2024).

Sürdürülebilir Ürünler için Eko Tasarım Yönetmeliği (ESPR) ve Avrupa Birliği Ambalaj ve Ambalaj Atıkları Yönetmeliği (PPWR) gibi temel düzenlemeler, kozmetik markalarının uyumluluk stratejilerinin şekillenmesinde kilit rol oynuyor. ESPR, üreticilerin ürünlerinin çevresel etkisini, özellikle de ambalaj malzemelerini göz önünde bulundurmalarını zorunlu kılmaktadır (İbrahim vd, 2022).

Plastik kullanımının azaltılması, Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA) 12'yi destekleyen mükemmel özellikleri nedeniyle kozmetik ambalajlara alternatif olarak biyopolimerlerin kullanımını teşvik etmektedir (Cubas vd, 2022).

Biyolojik olarak parçalanabilir ve biyobazlı polimerler, yakma gibi uygulamaları azaltmak için uygun atık yönetimi amacıyla önerilen çözümlerdir. Kullanım sonrası aşamada toplanmaları ve ürün kalıntılarıyla kirlenmeleri nedeniyle yeniden kullanım veya geri dönüşümde bazı zorluklar ortaya çıkmaktadır (Cinelli vd. 2019). Dolayısıyla bu makalelerden ortaya çıkan boşluk, ürünleri korumak ve döngüsel tedarik zinciri içinde ambalajın sürdürülebilirliğini artırmak için daha sürdürülebilir kozmetik ambalaj çözümleri araştırmaktadır.

2.5. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi

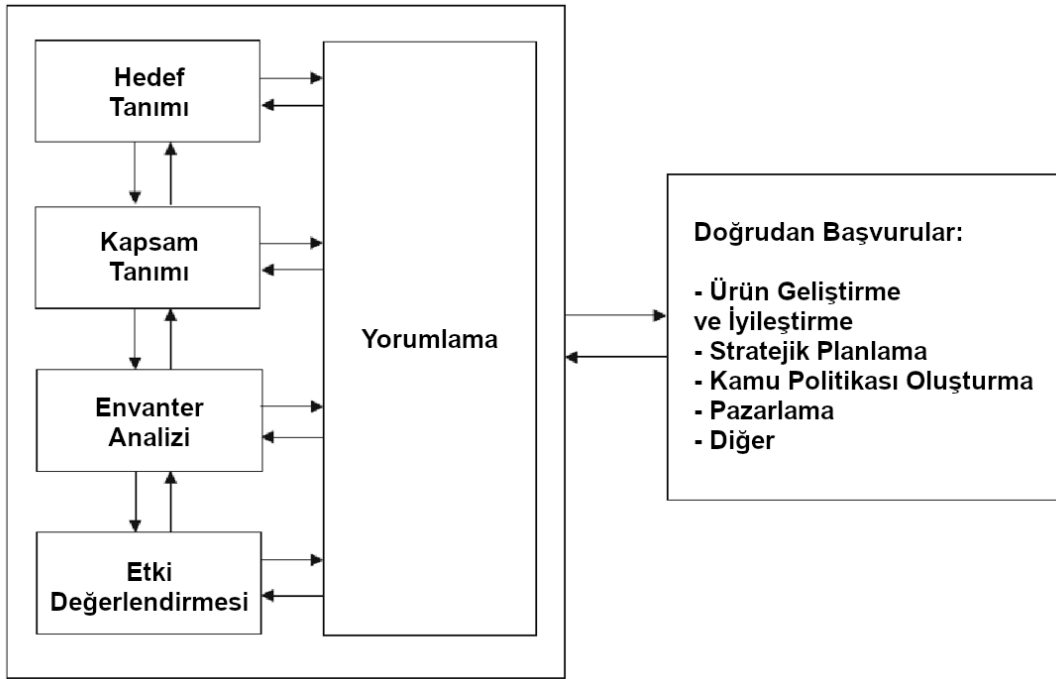
Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi, bir sürecin, ürünün veya hizmet biriminin kaynak çıkarılmasından atık yönetimine kadar tüm yaşam döngüsü boyunca çevresel performansını ölçen bir değerlendirme yöntemidir (Shahzad vd, 2014).

YDD çerçevesi dört ana aşamadan oluşur: Hedef ve Kapsam Tanımı, Yaşam Döngüsü Envanter Analizi, Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi ve Yorumlama. Her aşama, bir ürün veya hizmetin çevresel sonuçlarını sistematik olarak değerlendirmeye ve ekolojik zarara katkıda bulunan "kritik noktaların" belirlenmesine yardımcı olur. Ayrıca, YDD metodolojileri, ekonomik ve sosyal etkilerin daha geniş kapsamlı değerlendirmelerini kapsayacak şekilde gelişmiş ve sürdürülebilirlik uygulamalarında paydaş katılımını ve sorumlu inovasyon ilkelerini

vurgulayan Yaşam Döngüsü Sürdürülebilirlik Analizi'ne (LCSA) dönüşmüştür (Hjellvik ve Kirkels, 2025).

2.5.1. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesinin Ana Aşamaları

YDD metodolojisi dört ana aşama etrafında yapılandırılmıştır: Hedef ve Kapsam Tanımı, Yaşam Döngüsü Envanter Analizi, Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi ve Yorumlama. Her aşama, incelenen ürün sisteminin kapsamlı bir değerlendirmesini sağlamada belirli bir amaca hizmet etmektedir (Şekil 2.21).



Şekil 2.21. YDD Akış Şeması

Kaynak: (TSE, 19 Haziran 2007)

2.5.1.1. Amaç ve Kapsamın Tanımı

Bu ilk aşama, tüm değerlendirmenin çerçevesini oluşturur. Çalışmanın amaçlanan uygulamasının tanımlanmasını, yürütülmesinin nedenlerinin belirlenmesini, hedef kitlenin belirlenmesini ve sonuçların herhangi bir kamuya açık karşılaştırmalı iddiada kullanılıp kullanılmayacağını açıklığa kavuşturulmasını içerir (Da Luz vd, 2018).

İyi tanımlanmış bir hedef ve kapsam, sonraki adımlara rehberlik etmeye yardımcı olur ve çalışmanın parametrelerinin paydaşlara açıkça iletilmesini sağlar.

Yaşam döngüsü değerlendirmesi belirtildiği gibi hedef tanımlanması YDD çalışmalarını ilk adımı olarak tanımlanır. İlk adımda amaç, kapsam ve fonksiyonel birim ile sistem sınırları

belirlenir. Bu aşama çalışmanın kimin için ve neden yapıldığına cevap vermelidir. Kapsam yeterince açıkça anlatılmalı ve çalışmanın derinliği, detayları amaçla uyumlu olmalıdır (Ceylan, 2014). Ürünlerin geliştirdiği fonksiyonların nicel ölçüsü fonksiyonel birim olarak tanımlanır.

Sistem sınırları ise sistemdeki birim süreçleri tanımlar. Yaşam döngüsü değerlendirmesi, fiziksel sistemlerin anahtar öğelerini tanımlayan modeller gibi ürün sistemlerini tanımlayarak yürütülür (Ceylan, 2014).

2.5.1.2. Yaşam Döngüsü Envanter Analizi

Yaşam Döngüsü Envanteri Analizi (YDEA), ürün sistemine giren ve çıkan malzeme ve enerji akışlarının niceliksel olarak belirlenmesini içerir. Bu aşama, ürünün yaşam döngüsü boyunca kaynak kullanımı, emisyonlar ve diğer çevresel salınımlar hakkında veri toplanmasını kapsar.

Her bir birim süreciyle ilgili tüm temel akışları bir araya getirir ve bu da daha ileri etki değerlendirmesinin temelini oluşturur (İsmail vd, 2016).

Bu aşamada, lojistik türü, coğrafi bölge, kullanılan enerji kaynakları ile ilgili girdi verilerinin (enerji, su hammadde, elektrik, doğalgaz gibi) detaylandırılması, varsa eksik verilerin literatür araştırması yapılarak tamamlanmaktadır. Elde edilen tüm verileri fonksiyonel birime (örneğin 1 kg ürün) dönüştürülerek hesaplamalar yapılmaktadır (Şahin, 2024).

2.5.1.3. Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi

Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi (YDED) aşaması, envanter analizi sırasında tespit edilen olası çevresel etkileri değerlendirir. Bu, kaynak kullanımı, insan sağlığı ve ekolojik sonuçlar gibi çeşitli etki kategorilerinin dikkatlice değerlendirilmesini gerektiren etkilerin öneminin belirlenmesini içerir. YDED için süreç tabanlı modelleme, girdi-çıkış analizi ve hibrit yaklaşımlar dahil olmak üzere çeşitli yöntemler kullanılabilir (İsmail vd, 2016).

Bu aşamada envanter analizinde elde edilen veriler kullanılarak ilgili veritabanları ve/veya belirlenen hesaplama yöntemiyle etki potansiyelleri ve karakterizasyonu yapılmaktadır. Başlıca etki değerlendirme parametreleri şunlardır: Küresel ısınma potansiyeli, asidifikasyon ve ötrofikasyon potansiyeli, ozon tabakasının incilmesi, insana toksisite potansiyeli, deniz canlılarına ekotoksikite potansiyeli, fotokimyasal oksidasyon oluşumu potansiyeli.

YDD çalışmalarında, ürün veya hizmetin üretimi, tüketimi ve bertarafı gibi beşikten mezara tüm aşamalarında ortaya çıkan çevresel etki ve kirliliklerin ISO 14040/44 standartlarına uygun şekilde hesaplanabilmesi için birtakım yazılım paketleri içeren programlar, veri tabanları

ve bunların içerisinde yer alan hesaplama metotları kullanılmaktadır. Bu yazılım programları arasında literatür çalışmalarında en sık rastlanılanları SimaPro, GaBi, Umberto ve OpenLCA'dır. Bunlardan SimaPro ve GaBi, kapalı kaynak kodlu kullanıma ve akademik kullanıma dair fiyatlandırmaya sahip olup genel olarak en yaygın kullanılanlarıdır (Iswara vd, 2020).

2.5.1.4. Yorumlama

Yorumlama aşaması, YDEA ve YDED aşamalarından elde edilen bulguların sentezlenmesini içerir. Önemli sorunların belirlenmesini, çalışmanın bütünlüğünün ve tutarlılığının değerlendirilmesini ve sonuçlara dayanarak sonuç ve önerilerde bulunulmasını içerir.

Bu aşama, sonuçların etkili bir şekilde iletilmesini ve karar alma süreçlerine ilişkin çıkarımların iyi anlaşılmasını sağlamak açısından kritik öneme sahiptir (İsmal vd, 2016).

2.5.2. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi ISO Standartları

ISO standartları, mal ve hizmetlerin kalitesini ve güvenliğini iyileştirmeye ve ülkeler ve şirketler arasında alışverişi kolaylaştırmaya yardımcı olan uluslararası standartlardır. Çevrenin korunmasının önemi; üretilen veya tüketilen ürünlerle ilişkili olası etkiler konusunda farkındalığın artması, bu etkileri daha iyi anlamak ve ele almak için yöntemlerin geliştirilmesine olan ilgiyi de arttırmıştır. (Şahin, 2024)

YDD ile ürünlerin yaşam döngüleri boyunca çevresel etkilerini, kaynak verimliliğini ve atık oluşum miktarını ölçülmesi sağlanmakta ve performanslarının iyileştirme fırsatları belirlenmektedir. Birçok sektörde kullanılan YDD çalışmalarının standardize etmek amaçlı Uluslararası Standart Organizasyonu tarafından ISO 14040 ve ISO 14044 yayınlanmıştır.

3. LİTERATÜR

Civancık-Uslu vd (2019) tarafından yapılan çalışmada, kozmetik ambalajlarının çevresel performansını iyileştirmek için Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) ve eko-tasarım stratejileri incelenmiştir. Döngüsel ekonomi prensipleriyle çevresel ve ekonomik faydalar sağlamayı amaçlamışlardır. Çalışmada işlenmemiş plastik (HDPE), mineral dolgu maddesi içeren ve tüketici sonrası geri dönüştürülmüş plastik (PCR-HDPE) içeren kozmetik tüpleri kullanılmıştır. Mineral dolgulu tüpün, işlenmemiş plastiğe göre çevresel etkilerinin %12 oranında azaldığı tespit edilmiştir. PCR-HDPE içeren tüpün işlenmemiş plastiğe göre çevresel etkilerinin %41 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Çalışma, eko-tasarımın ve geri dönüştürülmüş malzeme kullanımının çevresel performansı büyük ölçüde iyileştirdiğini ve maliyet tasarrufu potansiyeli taşıdığını belirtmektedir.

Gatt ve Refalo (2022), tarafından gerçekleştirilen çalışmada, plastik kozmetik ürün ambalajlarının çevresel etkileri, yaşam döngüsü değerlendirme (YDD) yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışmanın amacı, yeniden kullanılabilir, geri dönüştürülebilir ve demateryalize edilmiş ambalaj tasarımlarının çevresel performansını karşılaştırmalı olarak değerlendirmektir. Malta menşeli bir kompakt allık kutusu referans alınarak, “beşikten mezara” yaklaşımıyla hammadde temininden üretim, kullanım ve bertarafa kadar olan süreçlerdeki insan sağlığına etkiler ve ekosistem hasarları gibi çevresel göstergeler incelenmiştir. Farklı senaryolarda yeniden kullanım sayısı, malzeme azaltımı oranı ve geri dönüşüm oranları değiştirilmiş; bu versiyonlar arasında %7 ve %17 oranında demateryalizasyon, pan kullanımının kaldırılması ve klipsli menteşe gibi tasarım değişiklikleri gibi varyasyonlar değerlendirilmiştir. Bulgular, yeniden kullanımın çevresel etkileri azaltmada demateryalizasyondan ortalama %171 oranında daha etkili olduğunu göstermiştir. Ayrıca, yalnızca geri dönüştürülebilir olan tek kullanımlık ambalajların, %100 geri dönüşüm oranı sağlandığında önemli ölçüde çevresel kazanç sağladığı ancak geri dönüşüm oranı düştükçe bu kazançların kaybolduğu belirtilmiştir.

Vassallo ve Refalo (2024) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, kozmetik ambalajlarının sürdürülebilirliğine yönelik çeşitli girişimlerin çevresel etkileri, yaşam döngüsü değerlendirme (YDD) yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışmanın temel amacı, demateryalizasyon, geri dönüştürülmüş içerik kullanımı, yenilenebilir enerji payı, enerji tasarrufu önlemleri ve yaşam sonu geri dönüşüm oranları gibi faktörlerin karbon ayak izi üzerindeki etkisini karşılaştırmalı olarak değerlendirmektir. Toly Group tarafından üretilen plastik kozmetik kompaktı örnek ürün olarak ele alınmış; ABS, PP, PET ve PLA gibi hem fosil

bazlı hem de biyobazlı polimerler değerlendirilmiştir. Analiz kapsamında yedi farklı senaryo tanımlanmıştır. Uygulanan en kapsamlı senaryoda tüm sürdürülebilirlik önlemlerinin aynı anda uygulanması, karbon ayak izini önemli ölçüde azaltmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, demateryalizasyon (%70'e kadar malzeme azaltımı) tek başına en yüksek çevresel faydayı sağlamış; bunu %100 geri dönüştürülmüş içerik ve yenilenebilir enerji kullanımı izlemiştir. Tüm malzemeler arasında polipropilen (PP), en düşük çevresel etkiye sahip malzeme olarak öne çıkmıştır. Buna karşılık, ABS, yüksek karbon ayak izi nedeniyle en olumsuz sonuçları vermiştir. Geri dönüşüm oranının %100 olması, özellikle düşük yoğunluklu malzemelerde toplam etkiyi azaltmakla birlikte, diğer stratejilere göre daha sınırlı fayda sağlamıştır.

Özdemir (2024) tarafından yürütülen çalışmada, %85 selüloz ve %15 polimer içeren etiket atıklarının piroliz sürecine ilişkin karbon ayak izi hesaplamaları yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD) yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Mevcut senaryoda, yüksek elektrik tüketimi nedeniyle deniz akvatik ekotoksosite potansiyelinin yanı sıra karbon ayak izi de önemli seviyelerde bulunmuştur. Alternatif senaryoda ise, gaz motorlarından kaynaklanan CO₂ emisyonları sebebiyle küresel ısınma potansiyelinde artış gözlenmiştir. Karbon ayak izi açısından değerlendirildiğinde, mevcut senaryonun toplam sera gazı emisyonu 2,78E+00 kg CO₂-eşd, alternatif senaryonun ise 3,05E+00 kg CO₂-eşd olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar, alternatif senaryonun enerji geri kazanım avantajına rağmen karbon ayak izinde yaklaşık %9,7 oranında artış yarattığını ortaya koymuştur. Çalışma, pirolizin atık yönetiminde sürdürülebilir bir çözüm olabileceğini ancak enerji kaynağı ve proses optimizasyonunun karbon ayak izi üzerinde belirleyici olduğunu vurgulamaktadır.

Aksoy (2023) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, şarj edilebilir bataryalı göğüs pompasının toplam karbon ayak izi 78,19 kg CO₂-eşd alkalın pilli göğüs pompasının ise 78,48 kg CO₂-eşd olarak hesaplanmıştır. Her iki ürün için de toplam karbon ayak izinin %97–98 gibi çok büyük bir kısmının hammaddelerden, özellikle entegre devre kartı ve motordan kaynaklandığı belirlenmiştir. Üretim ve taşıma süreçlerinin toplam etkiye katkısının ise %1'in altında kaldığı görülmüştür. Yapılan senaryo analizinde, ham petrolden üretilen plastikler yerine biyo-bazlı plastik kullanılması durumunda karbon ayak izinde belirgin bir azalma olduğu saptanmıştır. Bu kapsamda, alkalın pilli göğüs pompasında karbon ayak izi 78,47 kg CO₂-eşd değerinden 76,38 kg CO₂-eşd değerine, şarj edilebilir bataryalı göğüs pompasında ise 78,19 kg CO₂-eq değerinden 76,69 kg CO₂-eşd değerine düşmüştür. Elde edilen sonuçlar, biyo-bazlı plastik kullanımının toplam karbon ayak izinde yaklaşık %2,2–2,7 oranında bir azalma sağladığını göstermektedir.

Çeşme (2024) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, dögüsel ekonomi çerçevesinde PET/Metalize PET/PE ve PP/Metalize PP/PP esnek ambalajlarının yaşam döngüsü sürdürülebilirliğini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Plastik atıkların geri dönüşüm zorluklarına çözüm bulmak ve çevresel etkileri azaltmak için farklı senaryolar karşılaştırılmıştır. Farklı oranlarda (0,10,25,50,75) geri dönüştürülmüş hammaddelerin kullanıldığı senaryolarda %75 oranında geri dönüştürülmüş hammadde kullanımının çevresel etkileri en aza indirdiği tespit edilmiştir.

Sah vd (2022) tarafından yapılan çalışmada kozmetik amaçlı kullanılan malzemelerin özellikleri üzerinde çalışılmıştır. Sonuç olarak kozmetik ambalajının hem iyi bir görünüme hem de içerikle uyumluluğa sahip olması gerektiği belirtilmiştir. Kullanım sonrası ambalajın geri dönüşümünün düşük olması nedeniyle, sürdürülebilir ve biyolojik olarak parçalanabilen malzemelerin kullanımı önemli bir zorluk ve fırsat sunmaktadır. Tüketicilerin çevre bilincinin artmasıyla, doğal ve çevre dostu ambalajlara olan talep yükselmektedir. Gelecekte, inovatif biyo-bazlı ve kompostlanabilir malzemelerin geliştirilmesi, çevreye en az zararı veren, uygun maliyetli ve güvenli ambalaj çözümleri sunma potansiyeli taşımaktadır.

Jeswani vd. (2021) tarafından yapılan bu çalışmada karışık plastik atıkların piroliz yoluyla kimyasal geri dönüşümünün yaşam döngüsü çevresel etkilerini mekanik geri dönüşüm ve enerji geri kazanımıyla karşılaştırmaktadır. Piroliz, 1 ton plastik atık başına 739 kg CO₂ eşdeğeri emisyon üretirken, enerji geri kazanımı yakma 1,716-1,919 kg CO₂ eşdeğeri ile çok daha yüksek emisyonu neden olmaktadır. Bu, pirolizin enerji geri kazanımına kıyasla %50-57 daha düşük karbon ayak izi anlamına gelir. Çalışma, sonuçların enerji karışımı ve geri dönüşüm verimliliği gibi faktörlere duyarlı olduğunu vurgulamaktadır.

Boutros vd. (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Lübnan bağlamında karbonatlı içeceklerde kullanılan 500 mL polietilen tereftalat (PET) şişeler ile 250 mL iadeli cam şişelerin çevresel etkileri Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) yöntemiyle karşılaştırılmıştır. Başlangıç senaryosunda, 500 mL PET şişelerin iadeli cam şişelere kıyasla daha düşük çevresel etkilere sahip olduğu tespit edilmiştir. Ancak Lübnan'daki atık yönetim koşullarını daha iyi yansıtmak amacıyla PET şişelerin atık senaryosuna yakma dahil edildiğinde, 250 mL iadeli cam şişelerin çevresel etkilerinin daha düşük olduğu ve doğru atık yönetimi politikalarının öneminin vurgulandığı belirtilmiştir. PET şişelerin çevresel etkilerine en büyük katkının (%43-%96 oranında çeşitli kategorilerde) PET ön kalıp tüplerinin üretiminden kaynaklandığı, iadeli cam şişelerde ise en büyük etkinin (%97,44 yenilenemeyen enerji ve küresel ısınma kategorilerinde) cam şişelerin üretiminden kaynaklandığı ifade edilmiştir. Çalışmada, atık

senaryosunun ve cam şişelerin yeniden doldurulma sayısının (örneğin, 30, 40 ve 50 yeniden doldurma durumlarında cam şişelerin küresel ısınmaya etkisinin PET şişelerden daha düşük hale gelebileceği) sonuçları önemli ölçüde etkileyebileceği ve doğru atık yönetimi uygulamalarının kritik bir öneme sahip olduğu vurgulanmıştır.

Ceballos vd. (2024) tarafından yapılan çalışmada, taze deniz ürünlerinin dağıtımını için kullanılan tek kullanımlık genişletilmiş polistiren (EPS) kutular ile yüksek yoğunluklu polietilenden (HDPE) yapılmış yeniden kullanılabilir plastik kasaların (RPC) çevresel etkileri, İspanya bağlamında beşik-mezardan yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD) yöntemiyle karşılaştırılmıştır. Her iki ambalaj seçeneği için de yerel ticarete (RPC'ler için $5,02 \cdot 10^7$ kg CO₂ eşdeğeri ve EPS kutular için $4,87 \cdot 10^7$ kg CO₂ eşdeğeri) ve bölgesel ticarete (RPC'ler için $1,20 \cdot 10^8$ kg CO₂ eşdeğeri ve EPS kutular için $1,19 \cdot 10^8$ kg CO₂ eşdeğeri) değerleri elde edilmiştir. Ancak ulusal dağıtımda, RPC'lerin yaklaşık %12 daha yüksek bir çevresel etki gösterdiği ($6,04 \cdot 10^8$ kg CO₂ eşdeğeri) tespit edilmiş olup, bu durumun paket ağırlığı ve yükün önemini vurguladığı belirtilmiştir.

L'Haridon, vd. (2023) tarafından yapılan çalışma, kozmetik ürünler için çevresel sürdürülebilirliği artırmak amacıyla Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) tabanlı bir eko-tasarım aracı olan Sürdürülebilir Ürün Optimizasyon Aracı (SPOT) metodolojisini ve uygulanmasını sunmaktadır. Bu çalışma, bitmiş bir kozmetik ürünün beşik-mezardan yaşam döngüsünü (formül, ambalaj, üretim ve dağıtım olmak üzere üç alt sisteme ayrılmıştır) değerlendirerek çevresel etkileri ölçmektedir. SPOT metodolojisi, gezegensel sınırlar konseptine dayalı olarak birden fazla çevresel göstereyi (iklim değişikliği dahil) tek bir "çevresel ayak izine" ve kolayca yorumlanabilir bir derecelendirme sistemine (0'dan 10'a kadar) dönüştürerek bilimsel sağlamlık ile kullanım kolaylığı arasında bir denge kurmayı hedefler. Araştırma, durulanan bir saç kremini durulanmayan hale getirerek %81'lik bir çevresel ayak izi azalması ve bir deodorantın ambalaj ağırlığını azaltarak %14'lük bir azalma gibi vaka çalışmalarıyla SPOT'un eko-tasarım stratejilerine nasıl rehberlik ettiğini göstermektedir. Çalışma, eko-tasarım araçlarının başarılı bir şekilde uygulanması için üst yönetimin desteği, kilit performans göstergelerinin entegrasyonu ve kullanıcı desteği gibi stratejik ve yönetsel tedbirlerin önemini vurgulamaktadır.

Okada vd. (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, şampuan şişeleri için üç farklı modelin çevresel etkileri Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) yöntemiyle karşılaştırılmıştır. Sadece pompa şişelerinin kullanıldığı şişe modeli, pompa şişesi ve esnek dolum paketlerinin kullanıldığı dolum modeli ve yenilikçi eko-tasarım ürünü olan "değiştirme

tipi" kabın kullanıldığı değiştirme modeli üzerinde çalışma gerçekleştirilmiştir. Dolum modelinin çevresel etkiyi şişe modeline kıyasla %20, değiştirme modelinin ise %25 oranında azalttığını göstermiştir. Bu azalma, plastik tkretimindeki kesinti sayesinde yağ, karbondioksit (CO₂) ve kükürt oksit (SO_x) salımının azalmasına bağlanmıştır.

Ncube ve Borodin tarafından gerçekleştirilen çalışmada, polietilen tereftalat (PET) şişelerin yaşam döngüsü çevresel etkileri, özellikle hava emisyonları ve atık yönetimi seçenekleri (geri dönüşüm, depolama ve yakma) açısından Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) kullanılarak incelenmiştir. Çalışma, hammadde temininden üretime, kullanımdan bertarafa kadar tüm yaşam döngüsünü kapsayarak PET şişelerin çevresel yüklerini belirlemeyi amaçlamıştır. Üretim aşamasının önemli miktarda enerji (1 kg PET başına 83,8 MJ) ve emisyon (2330 g/kg CO₂) gerektirdiği belirtilirken, kullanım aşamasında doğrudan emisyon veya enerji tkretimi olmadığı varsayılmıştır. Çalışma, geri dönüşümün, depolama ve yakmaya kıyasla çevresel açıdan daha tercih edilebilir bir atık bertaraf yöntemi olduğunu ortaya koymuştur. 1 kg PET şişe için küresel ısınma potansiyeli değerleri incelendiğinde, geri dönüşüm için 3,33 kg CO₂ eşdeğeri, depolama için 47 kg CO₂ eşdeğeri ve yakma için 4,3 kg CO₂ eşdeğeri olarak hesaplanmıştır. Geri dönüşümün, daha düşük enerji tkretimi ve sera gazı emisyonları (zellikle metan emisyonlarının önlenmesi) sağladığı, bunun da doğal kaynakların korunmasına, kirliliğin azaltılmasına ve enerji tasarrufuna katkıda bulunduğu vurgulanmıştır. Sonuç olarak, daha yeşil bir plastik endüstrisi için geri dönüştürülebilir ürünlerin artırılması ve kamuoyunun geri dönüşüm alışkanlıkları konusunda eğitilmesi önerilmiştir.

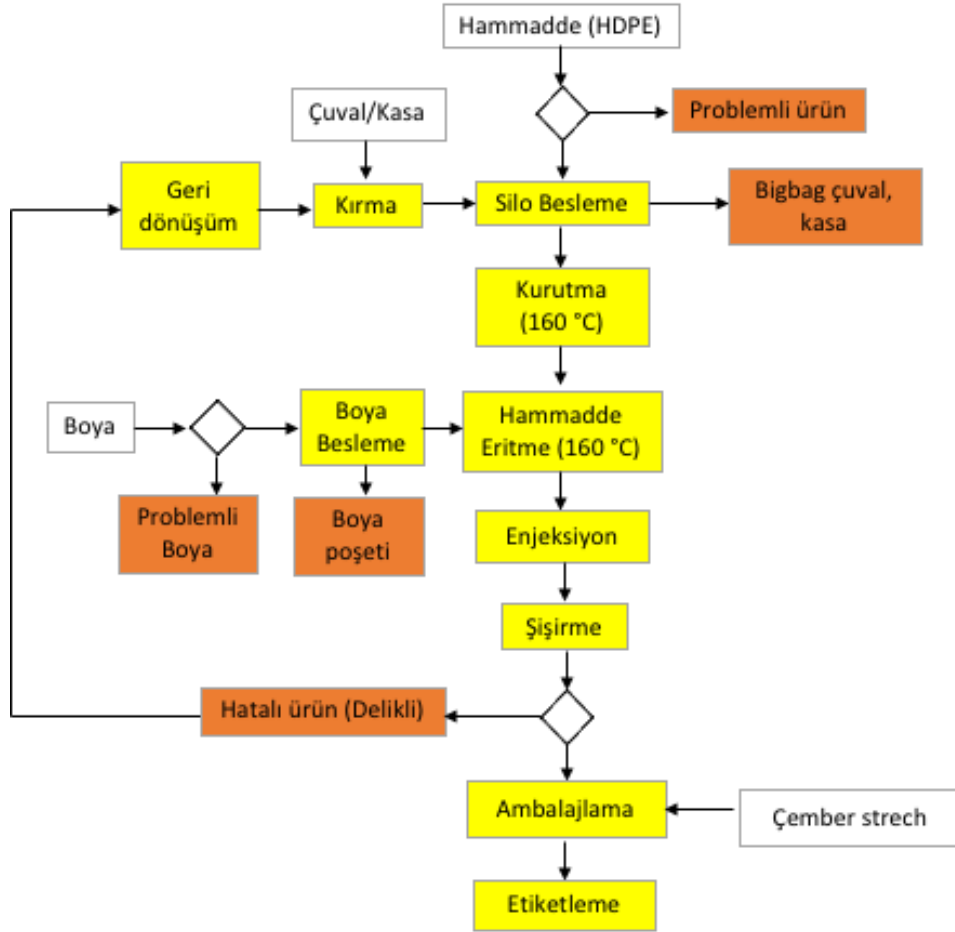
Go vd. (2024) tarafından yapılan çalışma, polietilen tereftalat (PET) şişe sisteminin çevresel etkilerini değerlendirmek amaçıyla Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) alışmalarının bir meta-analizini sunmaktadır. PRISMA yönergelerine uygun olarak incelenen 14 Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) konulu araştırma makalesi (2010–2022) zerinden küresel ısınma potansiyeli (GWP) göstergesi kullanılmıştır. Çalışma, 1 kg PET şişe başına ortalama 5,1 kg CO₂ eşdeğeri emisyon olduğunu ortaya koymuştur. Küresel ısınmaya en çok katkıda bulunan aşamalar malzeme üretimi, şişe üretimi ve dağıtım ve taşıma olarak belirlenmiştir.

4. MATERYAL VE METOD

4.1. Amaç ve Kapsamın Tanımı

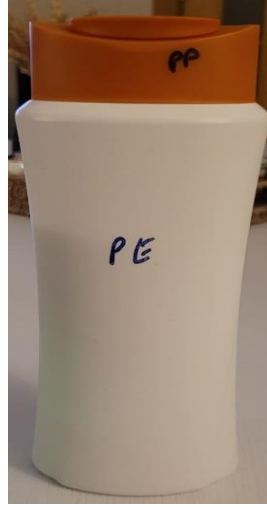
Bu çalışmada kozmetik sektöründe kullanılan ve birincil ambalaj sınıfında yer alan şampuan şişelerinin çevresel ve insanlar üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Firmada HDPE termoplastiği kullanılarak şampuan şişesi üretimi akış şeması Şekil 4.1’de verilmiştir. Şampuan şişesi üretimi ana aşamaları sırasıyla hammadde kurutma, hammadde eritme, enjeksiyon, şişirme ve ambalajlamadır. Çalışmanın sistem sınırları olarak beşikten mezara yaklaşımı kullanılmıştır. Şekil 4.1’de sistemin tüm girdi ve çıktıları detaylı olarak sunulmuştur. Kapsam 2 ve kapsam 3 dahilinde hammadde ve yardımcı malzemelerin üretimi ve taşınması kullanılan enerji, üretim süreci (şişe kalıbı dahil, kapak kalıbı hariç), geri dönüşüm, şişelerin müşteriye taşınması, çıkan atıkların taşınması ve bertarafı, ürünlerin ömrünü tamamladıktan sonra bertarafı sisteme dahil edilmiştir. Şişenin kapak üretimi enjeksiyon sistemi ile gerçekleştirilmiştir. Analizlere kapak üretimi de dahil edilmiştir.



Şekil 4.1. Şampuan Şişesi Üretim Akış Şeması

Fonksiyonel birim olarak 61 g ağırlığa sahip 400 ml'lik 1 adet şampuan şişesi seçilmiştir (Şekil 4.2). Şampuan şişesinin ana gövdesi HDPE'den ve kapak kısmı ise PP plastiğinden üretilmiştir.



Şekil 4.2. Şampuan Şişesi Örneği

4.2. Envanter Analizi

Bir adet şampuan şişesinin sırasıyla detaylı üretim aşamaları (Şekil 4.1);

- 1- Yurtdışından tedarik edilen HDPE hammaddesinin kontrolü sağlanır.
- 2- Kalite kontrolden geçen hammadde silolarda belirli oranlarda geri dönüştürülmüş HDPE ile harmanlanır.
- 3- Karışım bünyesinde bulunabilecek nemi gidermek için 160 °C'de kurutulur.
- 4- Ayrı bir yerde HDPE taşıyıcılı masterbatch kontrolü sağlanır ve boya besleme ünitesine gönderilir.
- 5- Enjeksiyon sistemi hunisi içersinde masterbatch ile karıştırılır.
- 6- Enjeksiyon sisteminde hammadde karışımı eritme vidalarında 160 °C'de eritilir.
- 7- Enjeksiyon sisteminde eritilen hammadde karışımı enjeksiyon bölümünde şekillendirilir.
- 8- Şekil alan erimiş hammadde şişirme kısmında içersine hava üflenerek şampuan şişesi şeklini alır.
- 9- Üretilen şişeler kalite kontrolden geçirilir ve hatalı ürünler tekrar üretimde kullanılmak üzere geri dönüşüme gönderilir.
- 10- Problemsiz şişeler ambalajlanarak müşteriye gönderilir.

Microsoft Excel ortamında IDEMAT2025 database kullanılarak ReCiPe2016 ve TRACI metodları kullanılarak ISO 14040:2006 ve ISO 14044:2006 standart gereklilikleri referans alınarak yaşam döngüsü analizi gerçekleştirilmiştir. HDPE hammaddesi kullanarak şampuan şişesi üreten Türkiye’de yerleşik bir firmadan sağlanan veriler doğrultusunda gizlilik gereği tez çalışmasında kullanılan veriler simule edilmiştir. Analizlerde kullanılan veriler Tablo 4.1’de verilmiştir. YDA girdiler, proseste enerji tüketimi, üretim, taşıma, atıkların bertarafı ve kullanım ömrünü tamamlamış ürünün bertarafı olmak üzere gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4.1. Bir Adet Şampuan Şişesinin YDA İçin Envanter Analizi

<i>Aşamalar</i>	<i>Girdiler/Çıktılar</i>	<i>Miktar</i>	<i>Idemat2025 Database</i>
<i>Girdiler (kg)</i>	Şişe (HDPE)	0,041	PE (Yüksek Yoğunluklu Polietilen)
	Şişe masterbatch (HDPE)	0,000088	PE (Yüksek Yoğunluklu Polietilen)
	Kapak (PP)	0,010	PP (Polipropilen)
	Kapak masterbatch (PP)	0,00084	PP (Polipropilen)
	Palet -Tahta	4,66E-04	Kara Kavak FSC/PEFC 440 (kg/m ³)
	Strech film	1,02E-05	50 mikron Polipropilen Film
	Kağıt Karton	3,74E-04	Avrupa’da Karton (Katı) Ve Geri Dönüştürülmüş Kağıt (Test Astarı Ve Oluklu)
	Çember	1,01E-05	PS (Genel Amaçlı Polistiren)
<i>Proses- Enerji Tüketimi</i>	Elektrik (kWh)-HDPE (Mj)	0,1396	Elektrik (Türkiye Üretimi)
	Elektrik (kWh)-PP (Mj)	0,01979	Elektrik (Türkiye Üretimi)
	GES, -%68,8 (Mj)	0,10945	Monokristal Silikon Güneş Paneli (m ² başına 1100 kWh ışınım(MJ))
<i>Üretim</i>	Şişe üretimi	0,046978	Sadece Makine ile Üflemlerli Kalıp
	Kapak üretimi	0,014012	Sadece Makine İle Enjeksiyon Kalıplama

	Şişe Kalıbı hazırlanması	,.04696078	Şişe Kalıbı
<i>Taşıma (km)</i>	HDPE (Karayolu-Yurtdışı)	5424	Kamyon+Konteyner, 28 ton (min ağırlık/hacim oranı 0,41 ton/m ³)
	PP (Denizyolu-Yurtdışı)	8550	Konteyner Gemisi (min ağırlık/hacim oranı 0,41 ton/m ³)
	PP (Karayolu-Yurtiçi)	358	Kamyon+Konteyner, 28 ton (min ağırlık/hacim oranı 0,41 ton/m ³)
	Masterbatch (Karayolu-Yurtiçi)	736	Kamyon+Konteyner, 28 ton (min ağırlık/hacim oranı 0,41 ton/m ³)
	Müşteri (Karayolu-Yurtiçi)	553	Kamyon+Konteyner, 28 ton (min ağırlık/hacim oranı 0,41 ton/m ³)
	Tahta Palet Atığı (kg) (Karayolu-Yurtiçi)	7	Kamyon+Konteyner, 28 ton (min ağırlık/hacim oranı 0,41 ton/m ³)
	Hammadde çuval atığı(kg) (Karayolu-Yurtiçi)	1,7	Kamyon+Konteyner, 28 ton (min ağırlık/hacim oranı 0,41 ton/m ³)
	Hammadde çuval atığı(kg) (Karayolu-Yurtiçi)	1,7	Kamyon+Konteyner, 28 ton (min ağırlık/hacim oranı 0,41 ton/m ³)
	Masterbatch poşeti atığı (kg) (Karayolu-Yurtiçi)	1,7	Kamyon+Konteyner, 28 ton (min ağırlık/hacim oranı 0,41 ton/m ³)
	<i>Atıklar (kg)</i>	Tahta Palet Atığı (kg)	5,0996E-05
Hammadde çuval atığı(kg)		7,686E-06	50 mikron Polipropilen Film (Belediye Atık Yakam Tesisinde Bertaraf Edilmesi)
Hammadde çuval atığı(kg)		7,686E-06	50 mikron Düşük Yoğunluklu Polietilen Filmin Belediye Atık Yakam Tesisinde Bertaraf Edilmesi

<i>Kullanım Ömrü Sonu</i>	Boya poşeti atığı (kg)	2,562E-06	50 mikron Polipropilen Filmin Belediye Atık Yakam Tesisinde Bertaraf Edilmesi
	Şampuan şişesi (HDPE)	0,041088	Polietilenin Elektrik Santralinde Yakılması
	Şişe Kapağı (PP)	0,01084	Polipropilenin Elektrik Santralinde Yakılması

4.3. Etki Değerlendirmesi

IDEMAT2025 database kullanılarak 1 adet şampuan şişesinin karbon ayak izi ve ekolojik maliyeti belirlenmiştir. Yaşam döngüsü analiz çalışmalarında ReCiPe2016 ve TRACI 2.2 metodları kullanılmıştır. ReCiPe2016 metodu çevresel etkiler konusunda daha detaylı bilgi sunmaktadır.

ReCiPe2016 metodunun ele aldığı çevresel etkiler Tablo 4.2’de sunulmuştur.

Tablo 4.2. ReCiPe2016 Metodunun Sunduğu Çevresel Etkiler

<i>Çevresel Etki</i>	<i>Alt Kategori</i>
<i>Küresel Isınma</i>	İnsan Sağlığı (DALY)
<i>Küresel Isınma</i>	Karasal Ekosistemler (Tür*Yıl)
<i>Küresel Isınma</i>	Tatlı Su Ekosistemler (Tür*Yıl)
<i>Stratosferik Ozon Katmanı</i>	Ozon Tabakasının İncelmesi (DALY)
<i>İyonlaştırıcı Radyasyon</i>	Radyasyon (DALY)
<i>Ozon Oluşumu</i>	İnsan Sağlığı (DALY)
<i>Ozon Oluşumu</i>	Karasal Ekosistemler (Tür*Yıl)
<i>İnce Partikül Madde Oluşumu</i>	Toz Oluşumu (DALY)
<i>Asidifikasyon</i>	Karasal (Tür*Yıl)
<i>Ötrofikasyon</i>	Tatlı Su (Tür*Yıl)

<i>Ötrofikasyon</i>	Deniz (Tür*Yıl)
<i>Ekotoksosite</i>	Karasal (Tür*Yıl)
<i>Ekotoksosite</i>	Tatlı Su ((Tür*Yıl)
<i>Ekotoksosite</i>	Deniz (Tür*Yıl)
<i>Toksosite</i>	Kanserojenik (İnsanlar için)
<i>Toksosite</i>	Kanserojenik Olmayan (İnsanlar için)
<i>Su Tüketimi</i>	İnsan Sağlığı (DALY)
<i>Su Tüketimi</i>	Karasal (Tür*Yıl)
<i>Su Tüketimi</i>	Sucul (Tür*Yıl)
<i>Karasal Kullanım</i>	(Tür*Yıl)
<i>Maden Kaynağı Kıtılığı</i>	USD2013
<i>Fosil Kaynak Kıtılığı</i>	USD2013

TRACI 2.2 metodunda ele alınan çevresel etkiler; Ozon Tabakasının İncelmesi (kg CFC-11 eq), Küresel Isınma (kg CO₂ eq), Sis Oluşumu (kg O₃ eq), Asidifikasyon (kg SO₂ eq), Ötrofikasyon (kg N eq), Kanserojenler (CTUh), Kanserojen Olmayanlar (CTUh), Solunum Etkileri (kg PM_{2.5} eq), Ekotoksitite (CTUe), Fosil Yakıtların Tükenmesi (MJ'lük ek maliyet).

ReCiPe2016 metodu, üç esas kategori (insan sağlığı, ekosistem kalitesi ve kaynak kıtlığı) ve 17 orta nokta kategorisi ile birçok ürün yaşam döngüsünün küresel doğasına uygun olarak küresel ölçekte temsili karakterizasyon faktörleri sağlamaya odaklanmaktadır (Huijbregts vd, 2017).

TRACI 2.2 metodu ise kimyasalların ve diğer çevresel etkilerin azaltılması ve değerlendirilmesi aracı olarak kullanılmaktadır. Karakterizasyon faktörleri, girdilerin ve salımların belirli etki kategorileri üzerindeki potansiyel etkilerini ortak eşdeğerlik birimlerinde nicelleştirmektedir (EPA, 2024).

ReCiPe2016 metodu 13 farklı çevresel kategoriyi alt kategorileri ile birlikte analiz eder. TRACI metodu ise 10 farklı çevresel kategori için analizleri gerçekleştirmektedir. Her iki

yöntem ile emisyonların ve kaynak tüketiminin insanlar ve canlılar üzerindeki çevresel sorunlarını orta nokta (midpoint) seviyesinde değerlendirerek hesaplanmıştır.

4.4. Yorumlama

Çalışmada 1 adet şampuan şişesinin beşikten mezara yaşam döngüsü analizi gerçekleştirilerek şişenin ürün karbon ayak izi hesaplanmıştır. Şişenin üretim ve kullanım sonu bertarafı da ele alınarak ekolojik maliyeti ortaya konmuştur. Yaygın kullanılan ve geniş bir çevresel etki alanı sunan ReCiPe2016 metodu ile detaylı ekolojik etkisi belirlenmiştir. TRACI 2.2 metodu yardımıyla kimyasal olarak çevresel etkisi belirlenmiştir.

4.5. Senaryo Geliştirme

Çalışmada 1 adet şampuan şişenin karbon ayak izi, ekolojik maliyeti, çevresel etkileri, kimyasal çevresel etkileri azaltabilmek amacıyla farklı senaryolar geliştirilmiştir. Senaryo 1 (yenilenebilir enerji kullanımı), Senaryo 2 (farklı tür hammadde kullanımı), Senaryo 3 (geri dönüştürülmüş ve biyoplastik kullanımı), Senaryo 4 (lojistik) olarak belirlenmiştir.

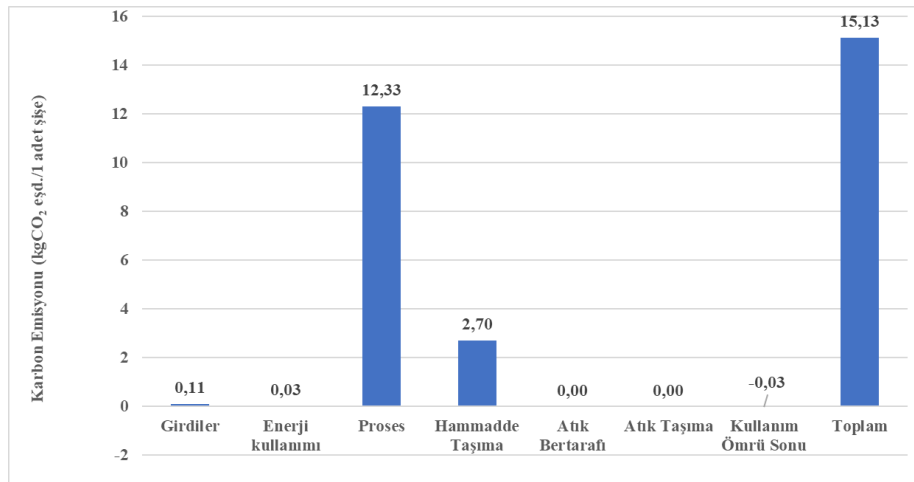
5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. Bulgular

Çalışmada kozmetik sektöründe yaygın kullanılan ürünlerden biri olan şampuanların doldurulduğu 1 adet şişe için yaşam döngüsü analizi yapılmıştır.

5.1.1. Karbon Ayak İzi

Yapılan çalışmada fonksiyonel birim olarak belirlenen bir adet şampuan şişesinin ürün karbon ayak izi değeri Şekil 5.1’de verilmiştir. Bir adet şişe üretiminin toplam karbon ayak izi 15,13 kg CO₂-eşd. olarak hesaplanmıştır. Emisyonların en yüksek oranda olduğu aşama, 12,33 kg CO₂-eşd. değeriyle üretim prosesidir. Bu durum, üretim sürecinde kullanılan enerji yoğun işlemlerden (enjeksiyon, ısıtma, kalıplama, soğutma vb.) kaynaklanmaktadır. Proses aşaması toplam emisyonun yaklaşık %82’sini oluşturmaktadır. İkinci en büyük katkı, 2,70 kg CO₂-eşd. değeriyle hammadde taşıma aşamasından gelmektedir. Bu etki, hammaddenin uzak bölgelerden temin edilmesi ve fosil yakıt temelli taşımacılığın yoğun kullanımından kaynaklıdır.

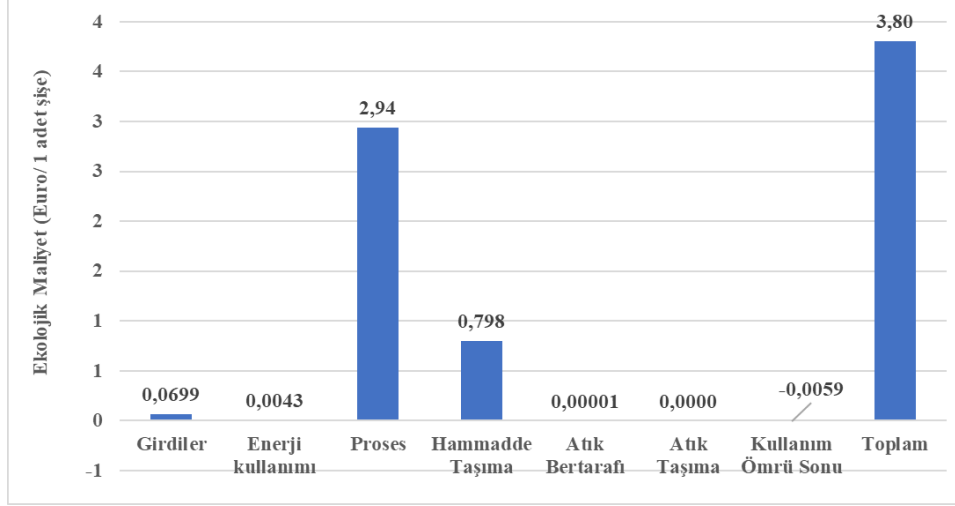


Şekil 5.1. Bir Adet Şampuan Şişesinin Karbon Ayak İzi

5.1.2. Ekolojik Maliyet

Şampuan şişesinin üretim sürecinin ekolojiye maliyet etkisi Şekil 5.2’de gösterilmiştir. Yaşam döngüsü değerlendirmesi kapsamında gerçekleştirilen ekolojik maliyet analizi sonucunda, bir adet şişe üretiminin toplam çevresel maliyeti 3,80 Euro olarak hesaplanmıştır. Bu değer, üretim sürecinde ortaya çıkan çevresel etkilerin parasal karşılığını temsil etmektedir. Analiz sonuçlarına göre, en yüksek maliyet kalemi 2,94 Euro ile üretim prosesi aşamasında oluşmuştur. Bu aşama, toplam ekolojik maliyetin yaklaşık %77’sini oluşturarak sistem

üzerindeki baskının en önemli kaynağı olmuştur. Üretim sürecindeki enerji tüketimi, ısıtma-soğutma işlemleri ve proses kaynaklı emisyonlar bu maliyeti belirleyen başlıca faktörlerdir.

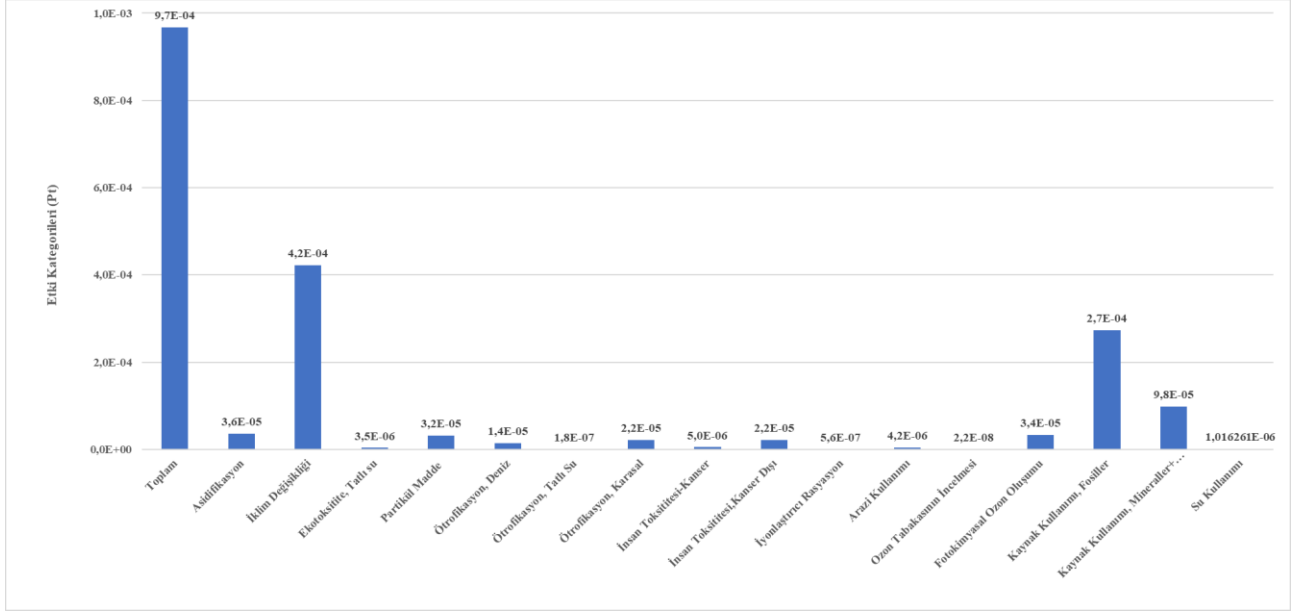


Şekil 5.2. Bir Adet Şampuan Şişesinin Ekolojik Maliyeti

5.1.3. Çevresel Ayak İzi (EF3.1)

Bir adet şampuan şişesinin çevresel ayak izi Şekil 5.3’de sunulmuştur. Yaşam döngüsü değerlendirmesi kapsamında yapılan analiz sonuçlarına göre, bir adet şişe üretiminin toplam çevresel etkisi $9,7E-04$ Pt olarak hesaplanmıştır. Bu değer, farklı çevresel etkilerin (iklim değişikliği, ekotoksisite, asidifikasyon vb.) normalize edilerek tek bir çevresel performans göstergesi haline getirilmesiyle elde edilmiştir.

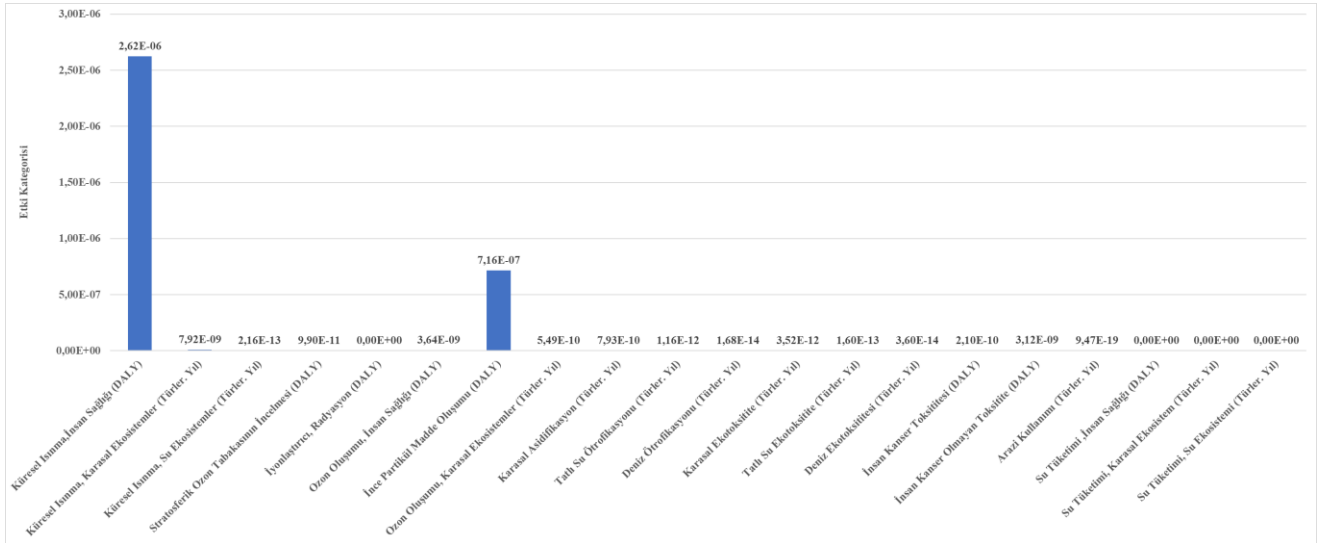
Grafikte görüldüğü üzere, sistem üzerindeki en baskın etkiler iklim değişikliği ($4,2E-04$ Pt), karasal ekotoksisite ($2,7E-04$ Pt) ve mineral kaynak kullanımına bağlı etkiler ($9,8E-05$ Pt) olarak öne çıkmaktadır. Bu üç kategori, toplam çevresel yükün yaklaşık %85’ini oluşturmaktadır.



Şekil 5.3. Bir Adet Şampuan Şişesinin Çevresel Ayak İzi

5.1.4. ReCiPe 2016 Çevresel Etkileri

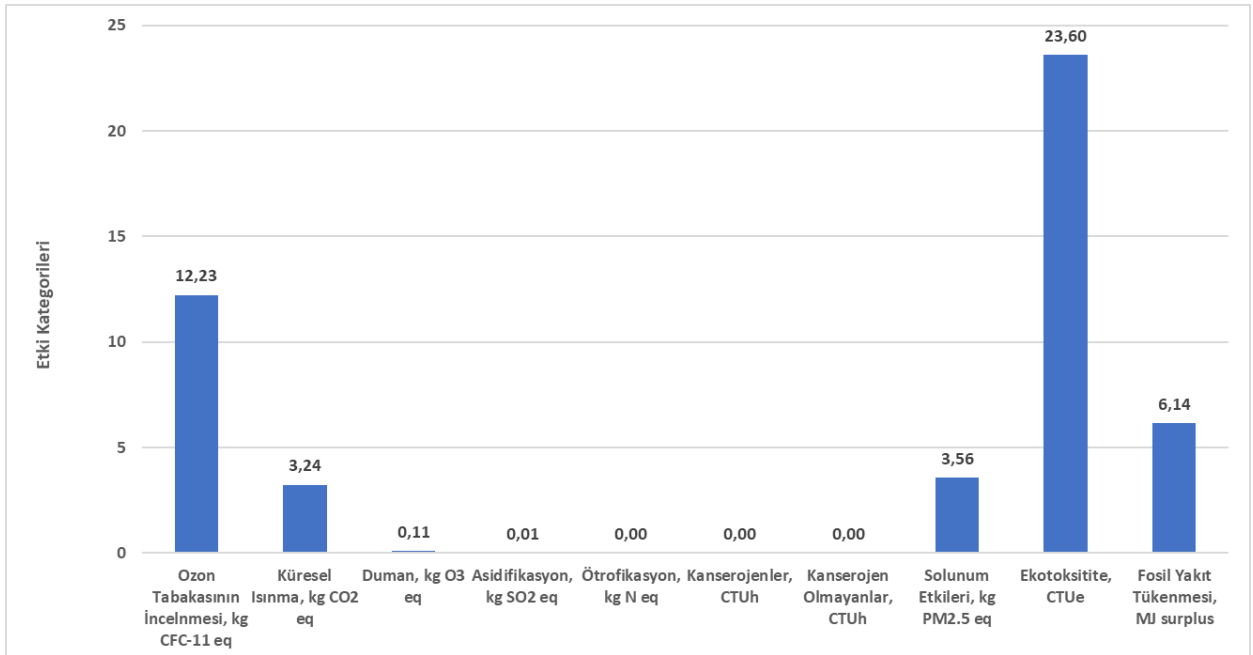
Yaşam döngüsü analizlerinde ReCiPe 2016 metoduna göre etki kategorileri Şekil 5.4’de verilmiştir. ReCiPe 2016 Endpoint yaklaşımı kullanılarak gerçekleştirilen analiz sonucunda, bir adet şişe üretiminin çevresel etkilerinin büyük çoğunluğunun insan sağlığı (DALY) kategorisinde yoğunlaştığı görülmüştür. Toplam etki 2,62E-06 DALY olarak hesaplanmıştır. Bu değer, üretim süreci boyunca meydana gelen emisyonların ve enerji tüketiminin insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini (örneğin partikül madde oluşumu, toksik gazlar, ozon tabakası incelməsi vb.) temsil etmektedir.



Şekil 5.4. Bir Adet Şampuan Şişesinin ReCiPe2016 Metoduna Göre Çevresel Etkileri

5.1.5. Kimyasal Çevresel Etkileri

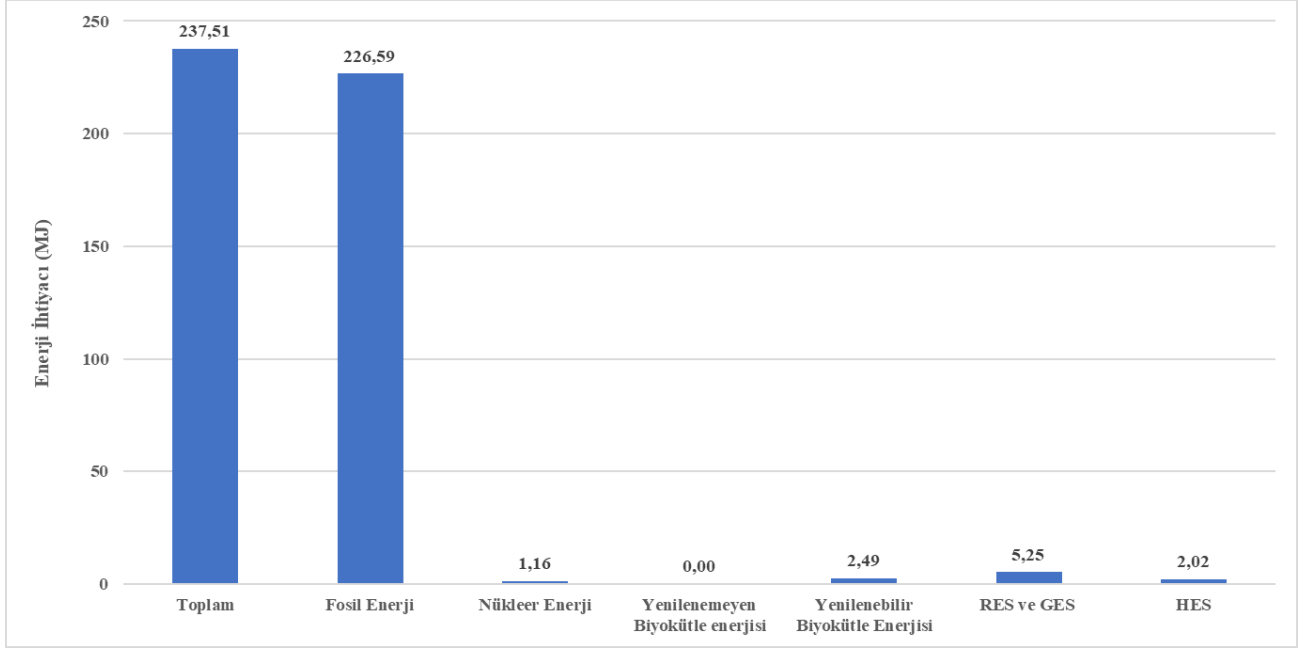
Yaşam döngüsü analizlerinde TRACI 2.2 metodu metoduna göre etki kategorileri Şekil 5.5’de sunulmuştur. TRACI 2.2 etki değerlendirme yöntemi kullanılarak yapılan analiz sonucuna göre, bir adet şişe üretiminin çevresel etkileri içerisinde ekotoksisite (23,60 CTUe), ozon tabakasının incelmesi (12,23 kg CFC-11 eq) ve fosil yakıt tükenmesi (6,14 MJ surplus) kategorileri en yüksek etkiye sahip alanlar olarak öne çıkmaktadır.



Şekil 5.5. Bir Adet Şampuan Şişesinin TRACI Metoduna Göre Çevresel Etkileri

5.1.6. Kümülatif Enerji İhtiyacı

Bir adet şampuan şişesinin üretimi sürecinde ihtiyaç duyulan kümülatif enerji miktarı sonuçları Şekil 5.6’da gösterilmiştir. Yaşam döngüsü değerlendirmesi kapsamında yapılan kümülatif enerji talebi analizi sonuçlarına göre, bir adet şişe üretiminin toplam enerji ihtiyacı 237,51 MJ olarak hesaplanmıştır. Bu değer büyük bölümü, 226,59 MJ ile fosil yakıt kaynaklı enerjiden karşılanmaktadır. Bu sonuç, üretim sürecinin yüksek oranda fosil enerjiye bağımlı olduğunu ve karbon yoğun bir enerji profiline sahip bulunduğunu göstermektedir.



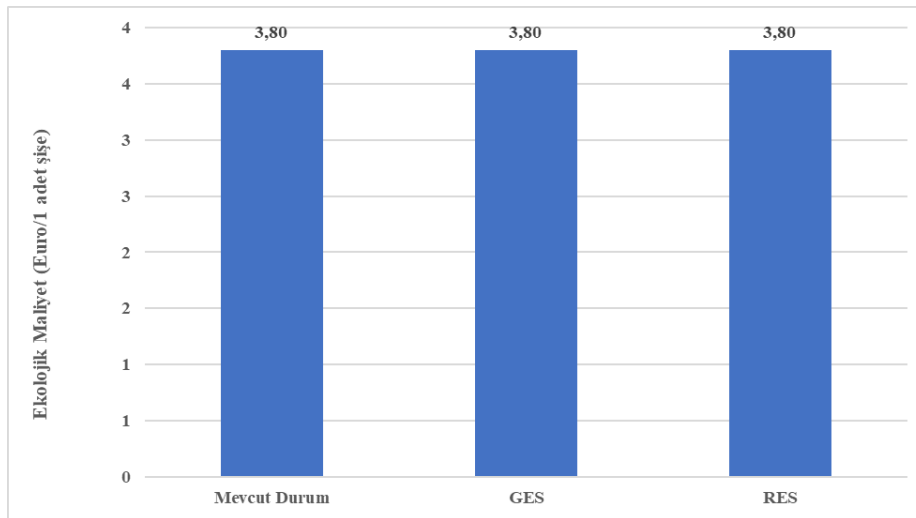
Şekil 5.6. Bir Adet Şampuan Şişesinin Üretimi Sürecinde İhtiyaç Duyulan Kümülatif Enerji Türleri

5.2. Senaryolar

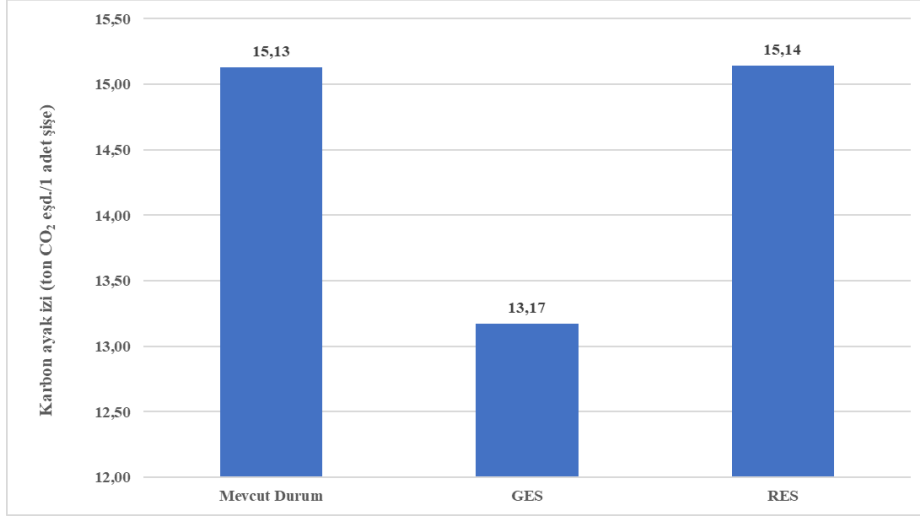
Çalışmada 1 adet şampuan şişenin karbon ayak izi, ekolojik maliyeti, çevresel etkileri, kimyasal çevresel etkileri azaltabilmek amacıyla farklı senaryolar geliştirilmiştir. Geliştirilen senaryolar ekolojik maliyet ve karbon ayak izi azaltımına yönelik değerlendirilmiştir.

5.2.1. Senaryo 1 Yenilenebilir Enerji Kullanımı

Bir adet şampuan şişesi üretiminde farklı enerji kaynaklarının kullanımına bağlı olarak ekolojik maliyet ve karbon ayak izi değişimleri Şekil 5.7 ve 5.8’ verilmiştir.



Şekil 5.7. GES ve RES Enerji Kullanımlarının Ekolojik Maliyet Üzerine Etkileri



Şekil 5.8. GES ve RES Enerji Kullanımının Karbon Ayak Kullanımı Üzerine Etkisi

5.2.2. Senaryo 2 Farklı Tür Hammadde Kullanımı

Şampuan şişesinin gövdesinde HDPE yerine PP ve kapak kısmında PP yerine HDPE kullanıldığında ekolojik maliyet ve karbon ayak izi değerlerinin değişmediği tespit edilmiştir.

5.2.3. Senaryo 3 Geri Dönüştürülmüş ve Biyoplastik Kullanımı

Şampuan şişesinin üretiminde PBS (Polibütilen süksinat,biyolojik olarak parçalanabilir), bio-PE (biyolojik olarak parçalanmaz), bio-PE (biyolojik olarak parçalanmaz, kimyasal olarak geri dönüştürülmüş) ve bio-PE (kimyasal olarak geri dönüştürülmüş) gibi farklı hammaddelerin kullanılması durumunda ekolojik maliyet ve karbon ayak izi değerlerinin değişmediği gözlenmiştir.

5.2.4.Senaryo 4 Lojistik

Şampuan şişesinin üretiminde kullanılan hammaddelerin Türkiye içersinde lojistiğinin demiryolu ile gerçekleştirilmesi durumunda ekolojik maliyet ve karbon ayak izi değerlerinin değişmediği belirlenmiştir.

5.3. Tartışma

Çalışmada günlük hayatta ve kozmetik sektöründe yaygın kullanılan ürünlerden biri olan şampuanların doldurulduğu bir adet şampuan şişesinin yaşam döngüsü analizi gerçekleştirilerek çevreye ve insanlara olan etkileri incelenmiştir.

Bir adet şampuan şişesinin ürün karbon ayak izi değeri 15,13 kg CO₂ eşd. olarak belirlenmiştir. Açığa çıkan emisyonun 12,33 kg CO₂ eşd. üretim sürecinden ve 2,7 kgCO₂ eşd. hammadde taşınmasından kaynaklandığı tespit edilmiştir (Şekil 5.1).

Bir adet şampuan şişesinin ekolojik maliyeti 3,8 Euro olduğu gözlenmiştir. Bu maliyetin 2,94 Euro değeri üretim sürecinden ve 0,798 Euro değeri ise hammaddelerin taşınmasından kaynaklandığı belirlenmiştir (Şekil 5.2).

Ürün Çevresel Ayak İzi ile uyumlu ve ürünlerin sürdürülebilirliğini çeşitli çevresel ve sosyal boyutları ile birlikte ele alan yöntemdir. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi'nde, çeşitli çevresel etki kategorileri ve bunların benzersiz ölçüm birimleri göz önüne alındığında, bir ürünün genel çevresel etkisini anlamak zordur. Tek Puan göstergesi, her bir etki kategorisini tek bir toplam puanda birleştirerek bunu basitleştirir ve çevresel etkilerin yorumlanmasını ve iletilmesini kolaylaştırır. Normalizasyon faktörleri, benzer büyüklük mertebesinde değerler elde etmek ve tüm farklı birimleri, boyutsuz bir birim olan Tek Puan - Puan (Pt) birimine dönüştürmek için uygulanır

Bir adet şampuan şişesinin çevresel ayak izi $9,7 \cdot 10^{-4}$ Pt'dır ve $4,2 \cdot 10^{-4}$ Pt değeri iklim değişikliği ve $2,7 \cdot 10^{-4}$ Pt değeri ise fosil kaynak kullanımı etkisinden kaynakladığı belirlenmiştir (Şekil 5.3).

Yaşam döngüsü analizlerinde geniş bir kapsamda etki kategorileri değerlendirilebildiği için ReCiPe 2016 metodu yaygın olarak tercih edilmektedir. Bir adet şampuan şişesinin çevresel ve sosyal etkileri analiz edildiğinde şampuan şişesinin üretiminde fosil kaynaklı enerji tüketimi nedeniyle iklim değişikliğinin insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilerinin gözlemlendiği ve ince partikül madde oluşumunun yoğun olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.4).

Yaşam döngüsü analizlerinde TRACI 2.2 metodu ise kimyasalların ve diğer çevresel etkilerin azaltılması ve değerlendirilmesi amacıyla tercih edilmektedir. Bir adet şampuan şişesinin kimyasal çevresel etkileri analiz edildiğinde ekotoksikite etkisinin 23,60 CTUe, ozon tabakasının incelmeye etkisi 23,23 CFC-11 eq ve küresel ısınma etkisinin 3,24 kg CO₂ eşd., fosil yakıt tüketiminin 6,14 MJ olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.5).

Kümülatif enerji talebi, bir ürün veya hizmetin yaşam döngüsü boyunca tüketilen birincil enerji miktarıdır. Bir adet şampuan şişesinin üretimi sürecinde ihtiyaç duyulan kümülatif enerji miktarı 237,51 MJ'dur. Bu enerjinin 226,59 MJ değeri fosil kaynaklardan sağlanmıştır. 5,25 MJ'ü ise RES ve GES'lerden tedarik edilmiştir (Şekil 5.6).

Çalışmada bir adet şampuan şişenin karbon ayak izi, ekolojik maliyeti, çevresel etkileri, kimyasal çevresel etkileri azaltabilmek amacıyla farklı senaryolar geliştirilmiştir. Geliştirilen senaryolar ekolojik maliyet ve karbon ayak izi azaltımına yönelik değerlendirilmiştir.

Bir adet şampuan şişesi üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarından GES ve RES kullanıldığında ekolojik maliyetin değişmediği gözlenmiştir. Karbon ayak izi değerinin RES kullanıldığında herhangi bir değişiklik olmadığı, ancak GES kullanılması durumunda 15,13 kg CO₂ eşd'den 13,17 kg CO₂ eşd. düşeceği belirlenmiştir (Şekil 5.7).

Şampuan şişesinin gövdesinde HDPE yerine PP ve kapak kısmında PP yerine HDPE kullanıldığında ekolojik maliyet ve karbon ayak izi değerlerinin değişmediği tespit edilmiştir.

Şampuan şişesinin üretiminde PBS (Polibütlen süksinat, biyolojik olarak parçalanabilir), bio-PE (biyolojik olarak parçalanmaz), bio-PE (biyolojik olarak parçalanmaz, kimyasal olarak geri dönüştürülmüş) ve bio-PE (kimyasal olarak geri dönüştürülmüş) gibi farklı hammaddelerin kullanılması durumunda ekolojik maliyet ve karbon ayak izi değerlerinin değişmediği gözlenmiştir.

Şampuan şişesinin üretiminde kullanılan hammaddelerin Türkiye içerisinde lojistiğinin demiryolu ile gerçekleştirilmesi durumunda ekolojik maliyet ve karbon ayak izi değerlerinin değişmediği belirlenmiştir.

6. SONUÇLAR

Çalışmada kozmetik ambalajlarında yaygın kullanılan termoplastik hammaddesinden üretilen şampuan şişesinin yaşam döngüsü analizi yapılarak ekolojik maliyeti, karbon ayak izi, çevresel etkileri incelenmiştir. Bir adet şampuan şişesinin çevresel etkilerini değerlendirmek amacıyla IDEMAT2025 data seti kullanılarak karbon ayak izi, ekolojik maliyeti, kümülatif enerji talebi, ReCiPe2016 ve TRACI 2.2 metodlarıyla etki kategorileri analiz edilmiştir.

Bir adet şampuan şişesinin karbon ayak izi değeri 15,13 kg CO₂ eşd. ve ekolojik maliyeti 3.8 Euro olarak belirlenmiştir. Şampuan şişesinin çevresel ayak izi 9,7. 10⁻⁴ Pt'dır. ReCiPe 2016 metoduna göre şampuan şişesinin fosil kaynaklı enerji tüketimi nedeniyle iklim değişikliğinin insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilediği ve ince partikül madde oluşumunun yoğun olduğu tespit edilmiştir. TRACI 2.2 metoduna göre kimyasal çevresel etkileri analiz edildiğinde ekotoksisite etkisinin 23,60 CTUe, ozon tabakasının incelmeye etkisi 23,23 CFC-11 eq ve küresel ısınma etkisinin 3,24 kg CO₂ eşd., fosil yakıt tüketiminin 6,14 MJ olduğu gözlenmiştir. Ürünün tüm yaşam döngüsü boyunca çevre ve insanlar üzerindeki etkileri kapsamlı bir şekilde değerlendirilerek çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli göstergeler ortaya konmuştur.

Ekolojik maliyeti ve karbon ayak izi değerini düşürmek için farklı senaryo çalışmaları gerçekleştirilmiştir. GES ve RES yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, biyobozunabilir veya geri dönüştürülmüş hammaddelerin kullanılması ve Türkiye içerisinde hammadde taşımacılığında demiryolunun tercih edilmesinin ekolojik maliyet ve karbon ayak izi üzerinde önemli düzeyde etkisinin olmadığı gözlenmiştir. Bundan dolayı özellikle farklı hammadde kaynağı ve lojistik tercihlerinin araştırılması zorunludur.

Sonuç olarak, bu tez kozmetik ambalajları için sürdürülebilir çözüm arayışlarına ve çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli göstergelerin ortaya konmasına katkı sağlamaktadır. Ürünlerin tüm yaşam döngüsü boyunca çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkilerini bütüncül bir yaklaşımla değerlendiren çalışma, politika yapıcılar, araştırmacılar ve sektör paydaşları için değerli bilgiler sunmaktadır.

KAYNAKÇA

- Adragos Pharma (2024). *Primary Packaging: The Key to Product Protection in Pharmaceuticals*
[Erişim:23.07.2025,<http://adragos-pharma.com/primary-packaging-the-key-to-product-protection-in-pharmaceuticals/>]
- Aksoy İ. (2023). *Life Cycle Assessment Of Maternity Products: A bioengineering approach/Anne-Bebek Ürünlerinin Yaşam Döngüsü Analizi*. (Yüksek Lisans Tezi). İzmir Ekonomi Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İzmir.
- Alcion (2020). *Types of packaging and its characteristics. How to know which is most appropriate for a product?*
[Erişim:22.07.2025,<https://www.alcion.com/en/types-of-packaging-and-its-characteristics/?utm>]
- AlMaadeed, M. A. A., Ponnamma, D., & Carignano, M. A. (Eds.). (2020). *Polymer science and innovative applications: materials, techniques, and future developments*. Elsevier.
- Bausano (2025). Plastic Co-extrusion Process?
[Erişim:22.07.2025,<https://www.bausano.com/en/press-and-news/plastic-co-extrusion-process-what-is-it-and-examples>]
- Boutros, M., Saba, S., & Manneh, R. (2021). Life cycle assessment of two packaging materials for carbonated beverages (polyethylene terephthalate vs. glass): Case study for the lebanese context and importance of the end-of-life scenarios. *Journal of Cleaner Production*, 314.
- Britannica(2025).*Synthetic polymers*.
[Erişim: 23.07.2025, <https://www.britannica.com/science/polymer/Synthetic-polymers>]
- Business Research Insights (2024). *Plastik Ambalaj Pazarı Boyutu, Payı - 2033'e Kadar Tahmin*.
[Erişim:20.07.2025,<https://www.businessresearchinsights.com/market-reports/plastic-packaging-market-122814>]
- Ceballos-Santos, S., de Sousa, D. B., García, P. G., Laso, J., Margallo, M., & Aldaco, R. (2024). Exploring the environmental impacts of plastic packaging: A comprehensive life cycle analysis for seafood distribution crates. *Science of the Total Environment*, 951.
- Ceylan A. (2014). *Bakır boru üretiminin yaşam döngüsü değerlendirmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Cheremisinoff, N. P. (2001). Condensed encyclopedia of polymer engineering terms. *Butterworth-Heinemann*.
- Cinelli, P., Coltelli, M. B., Signori, F., Morganti, P., & Lazzeri, A. (2019). Cosmetic packaging to save the environment: Future perspectives. *Cosmetics*, 6(2), 26.
- Ciner, M. N., Özbaş, E. E., Özcan, H. K., Öngen, A., Güneysu, S., & Aydın, S. (2023). Plastik Atık ve Plastik Ayak İzi. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 6(2), 86-92.
- Civancik-Uslu, D., Puig, R., Voigt, S., Walter, D., & Fullana-i-Palmer, P. (2019). Improving the production chain with LCA and eco-design: application to cosmetic packaging. *Resources, Conservation and Recycling*, 151.
- Coles, R., & Kirwan, M. J. (2011). Food and beverage packaging technology. *John Wiley & Sons*.s. 157-211
- Crawford, R. J., & Throne, J. L. (2001). Rotational molding technology. *William Andrew*.
- Cristofoli, N. L., Lima, A. R., Tchoukouang, R. D., Quintino, A. C., & Vieira, M. C. (2023). Advances in the food packaging production from agri-food waste and by-products: market trends for a sustainable development. *Sustainability*, 15(7).

- Cosmopacks (2023). *A Full Guide To Primary and Secondary Packaging*.
[Erişim:23.07.2025,<https://www.cosmopacks.com/primary-and-secondary-packaging/>]
- Cubas, A. L. V., Bianchet, R. T., Reis, I. M. A. S. D., & Gouveia, I. C. (2022). Plastics and microplastic in the cosmetic industry: aggregating sustainable actions aimed at alignment and interaction with UN sustainable development goals. *Polymers*, 14(21).
- da Luz, L. M., de Francisco, A. C., Piekarski, C. M., & Salvador, R. (2018). Integrating life cycle assessment in the product development process: A methodological approach. *Journal of Cleaner Production*, 193, 28-42.
- D'Adamo, I., Gastaldi, M., Giacalone, R., & Kazancoglu, Y. (2024). A strategic and social analytics model for sustainable packaging in the cosmetic industry. *Supply Chain Analytics*, 8.
- Deskera (2024). *Plastik Üretim Endüstrisi Analizi, Trendleri ve Tahminleri*.
[Erişim: 20.07.2025, <https://www.deskera.com/blog/plastic-manufacturing-industry-analysis-trends-and-forecasts/>]
- do Val Siqueira, L., Arias, C. I. L. F., Maniglia, B. C., & Tadini, C. C. (2021). Starch-based biodegradable plastics: methods of production, challenges and future perspectives. *Current Opinion in Food Science*, 38, 122-130.
- Dura Materials (2021). *What are the 3 types of polymers&their difference?*.
[Erişim: 20.07.2025, <https://www.futuremarketinsights.com/reports/protective-packaging-market>]
- Ecochain Help Center (2025). *Explained: Single Score*.
[Erişim: 22.07.2025, <https://helpcenter.ecochain.com/en/articles/10054313-explained-single-score>]
- Eco Recycling Today (2025). *Endüstriler Arası Plastik Uygulamaları*.
[Erişim: 20.07.2025, <https://www.recyclingtoday.org/blogs/news/plastics-applications-across-industries>]
- Environmental Defense Fund (2024). *Ambalaj atığı 101:Sorun - Tedarik Zinciri Çözümleri Merkezi*.
[Erişim:20.07.2025,<https://supplychain.edf.org/resources/sustainability-101-packaging-waste-the-problem/>]
- EPA United States Environmental Protection Agency (2025). *Tool for Reduction and Assessment of Chemicals and Other Environmental Impacts (TRACI)*.
[Erişim: 23.07.2025, <https://www.recyclingtoday.org/blogs/news/plastics-applications-across-industries>]
- European Commission (2022). *Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on Packaging and Packaging Waste, Amending Regulation (EU) 2019/1020 and Directive (EU) 2019/904, and Repealing Directive 94/62/EC*. EC: COM
- European Bioplastics (2025). *Uygulamalar / Sektörler*.
[Erişim:20.07.2025, <https://www.european-bioplastics.org/market/applications-sectors>]
- Eurovetrocap (2025). *Primary and secondary cosmetic packaging: professional and sustainable solutions*.
[Erişim:23.07.2025,<https://www.eurovetrocap.com/en/primary-and-secondary-cosmetic-packaging-professional-and-sustainable-solutions/>]
- Fortune Business Insights (2024). *Esnek Plastik Ambalaj Pazarı Boyutu, Pay Raporu, 2032*.
[Erişim: 20.07.2025, <https://www.fortunebusinessinsights.com/esnek-plastik-ambalaj-pazarı-108075>]
- Fortune Business Insights (2024). *Cosmetic Packaging Market*.
[Erişim: 20.07.2025, <https://www.fortunebusinessinsights.com/cosmetic-packaging-market-102130>]

- Future Market Insights Inc (2025). *Koruyucu Ambalaj Pazarı Boyutu ve Tahmini 2025-2035*. [Erişim:20.07.2025,<https://www.futuremarketinsights.com/reports/protective-packaging-market>]
- Galstyan, V., D'Angelo, P., Tarabella, G., Vurro, D., & Djenizian, T. (2024). High versatility of polyethylene terephthalate (PET) waste for the development of batteries, biosensing and gas sensing devices. *Chemosphere*, 359.
- Gani, M. O., Roy, H., Rahman, M. S., Faroque, A. R., Gupta, V., & Prova, H. T. (2023). Effect of social media influence on consumer's purchase intention of organic beauty products: the role of customer's engagement and generativity. *International Journal of Spa and Wellness*, 6(1), 54-77.
- Gatt, I. J., & Refalo, P. (2022). Reusability and recyclability of plastic cosmetic packaging: A life cycle assessment. *Resources, Conservation & Recycling Advances*, 15.
- Go, Y. J., Kang, D. H., Park, H. J., Lee, J. H., & Shim, J. K. (2024). Meta-Analysis of Life Cycle Assessment Studies for Polyethylene Terephthalate Water Bottle System. *Sustainability*, 16(2), 535.
- Gritsch, L., Breslmayer, G., Rainer, R., Stipanovic, H., Tischberger-Aldrian, A., & Lederer, J. (2024). Critical properties of plastic packaging waste for recycling: A case study on non-beverage plastic bottles in an urban MSW system in Austria. *Waste Management*, 185, 10-24.
- GM Insights (2024). *Plastik Ambalaj Pazarı Boyutu ve Payı, Büyüme Analizi 2034*. [Erişim: 20.07.2025, <https://www.gminsights.com/industry-analysis/plastic-packaging-market>]
- Grand View Research (2024). *Plastik Ambalaj Pazarı Boyutu, Payı ve Büyüme Raporu, 2030*. [Erişim:20.07.2025,<https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/plastic-packaging-market>]
- Hjellvik, S., & Kirkels, A. F. (2025). Embracing LCA: Understanding and facilitating adoption in manufacturing firms. *Cleaner Production Letter*,9.
- Huijbregts, M. A., Steinmann, Z. J., Elshout, P. M., Stam, G., Verones, F., Vieira, M., ... & Van Zelm, R. (2017). ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. *The international journal of life cycle assessment*, 22(2), 138-147.
- Ibrahim, I. D., Hamam, Y., Sadiku, E. R., Ndambuki, J. M., Kupolati, W. K., Jamiru, T., ... & Snyman, J. (2022). Need for sustainable packaging: an overview. *Polymers*, 14(20), 4430.
- Islam, S., Ponnambalam, S. G., & Lam, H. L. (2016). Review on life cycle inventory: methods, examples and applications. *Journal of cleaner production*, 136, 266-278.
- Iswara, A. P., Farahdiba, A. U., Nadhifatin, E. N., Pirade, F., Andhikaputra, G., Muflihah, I., & Boedisantoso, R. (2020). A comparative study of life cycle impact assessment using different software programs. *In IOP conference series: earth and environmental science* 506 (1).
- Jeswani, H., Krüger, C., Russ, M., Horlacher, M., Antony, F., Hann, S., & Azapagic, A. (2021). Life cycle environmental impacts of chemical recycling via pyrolysis of mixed plastic waste in comparison with mechanical recycling and energy recovery. *Science of the Total Environment*, 769, 144483.
- Jiang, Z., Palacios, A., Zou, B., Zhao, Y., Deng, W., Zhang, X., & Ding, Y. (2022). A review on the fabrication methods for structurally stabilised composite phase change materials and their impacts on the properties of materials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 159.

- Joseph, T. M., Azat, S., Ahmadi, Z., Jazani, O. M., Esmaceli, A., Kianfar, E., ... & Thomas, S. (2024). Polyethylene terephthalate (PET) recycling: A review. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 9.
- Kazançoğlu, İ., Köse, Ş. G., & Arslan, A. (2024). Drivers and barriers influencing consumers intention to purchase cosmetics with refillable packaging. *Packaging Technology and Science*, 37(6), 551-569.
- Keskin, B., & Koçoğlu, Ş. (2022). Ambalaj Sektörünün Sürdürülebilirliği ve Petrol Bazlı Plastik: Plastik Ambalaj Sektörünün Petrole Olan Bağımlılığının Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (35).
- Kolling, C., Ribeiro, J. L. D., & de Medeiros, J. F. (2022). Performance of the cosmetics industry from the perspective of Corporate Social Responsibility and Design for Sustainability. *Sustainable production and consumption*, 30, 171-185. 252-258.
- L'Haridon, J., Patouillard, L., Pedneault, J., Boulay, A. M., Witte, F., Vargas-Gonzalez, M., ... & Gilbert, L. (2023). SPOT: a strategic life-cycle-assessment-based methodology and tool for cosmetic product eco-design. *Sustainability*, 15(19).
- Market Research Future (2024). *Plastik Ambalaj Pazarı Boyutu, Payı ve Trendleri Raporu 2032*.
[Erişim:20.07.2025, <https://www.marketresearchfuture.com/reports/plastic-packaging-market-1688>]
- Massey, L. K. (2003). *Permeability properties of plastics and elastomers: a guide to packaging and barrier materials*. Cambridge University Press.
- Morel, S., Mura, G., Gallarate, M., & Sapino, S. (2024). Cosmetic packaging: European regulatory aspects and sustainability. *Cosmetics*, 11(4), 110.
- National Tank Outlet (2023). *What is Polypropylene?*.
[Erişim:22.07.2025,https://www.ntotank.com/blog/what-is-polypropylene?srsltid=AfmBOoojZ5uk5XjyaBtK7Mnd0DAsFByOvY89eUVRDcl_wQ_Yqi3oMsFL]
- Ncube, A., & Borodin, Y. (2012) Life Cycle Assessment of polyethylene terephthalate bottle. In *2012 7th International Forum on Strategic Technology (IFOST)* 1-6.
- Okada, T., Shibata, M., Sakata, Y., & Itsubo, N. (2021). Life cycle assessment (LCA) of the innovative eco-designed container for shampoo. *Cleaner and Responsible Consumption*, 3.
- Omira, A., Grira, S., Mourad, A. H. I., & Alkhedher, M. (2025). The new generation of cosmetics packaging: A paradigm shift. *Global Transition*, 7, 223-246.
- Özdemir N. D. (2024). *Life Cycle Assessment In Case Of Pyrolysis Of Paper And Plastic Wastes / Kağıt Ve Plastik Atıkların Pirolizinde Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Boğaziçi Üniversitesi, Çevre Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Praxiz (2024). *Primary vs. Secondary Packaging: Understanding the Difference*.
[Erişim 23.07.2025, <https://www.praxispackaging.com/news/2024/01/primary-vs-secondary-packaging-understanding-the-difference/>]
- Rocca, R., Acerbi, F., Fumagalli, L., & Taisch, M. (2022). Sustainability paradigm in the cosmetics industry: State of the art. *Cleaner Waste Systems*, 3.
- Rzayeva, A., Coffigniez, F., Zeynalov, N., Gontard, N., & Guillard, V. (2023). Integrating the latest biological advances in the key steps of a food packaging life cycle. *Frontiers in Nutrition*, 10.
- Ren, Z., Zhang, D., & Gao, Z. (2022). Sustainable design strategy of cosmetic packaging in China based on life cycle assessment. *Sustainability*, 14(13), 8155.
- Saçak, M. (2016). *Polimer Teknolojisi*. Gazi Kitabevi.

- Shahzad, K., Kollmann, R., Maier, S., & Narodoslowsky, M. (2014). SPIONWEB—ecological process evaluation with the sustainable process index (SPI). In *Computer Aided Chemical Engineering*. Vol. 33, 487-492.
- Sin, L. T., & Tuen, B. S. (2019). *Polylactic acid: a practical guide for the processing, manufacturing, and applications of PLA*. William Andrew.
- SpecialChem, (2025). *Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS): How to select the right grade?* [Erişim:22.07.2025,<https://www.specialchem.com/plastics/guide/acrylonitrile-butadiene-styrene-abs-plastic>]
- şahin N.S. (2024). *Et Entegre Tesislerinde Çevresel Etkilerin Yaşam Döngüsü Analizi ile Değerlendirilmesi ve Sürdürülebilirliğinin İyileştirilmesi*. (Doktora Tezi). İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- Towards Packaging (2024). *Sert Plastik Ambalaj Pazarı %6,4'lük Bileşik Yıllık Büyüme Oranıyla 614,65 Milyar ABD Dolarına Ulaştı*. [Erişim:20.07.2025,<https://www.towardspackaging.com/insights/rigid-plastic-packaging-market>]
- TSE, Türk Standartları Enstitüsü. Çevre Yönetimi- Hayat Boyu Değerlendirme- İlkeler ve Çerçeve. Türkiye: Türk Standartları Enstitüsü, Kabul 19 Haziran 2007, TS EN ISO 14040.
- Türk Plastik Sanayicileri Araştırma, Geliştirme ve Eğitim Vakfı (2019). *Türkiye Plastik Sektör İzleme Raporu*. [Erişim:20.07.2025,<https://www.fortunebusinessinsights.com/cosmetic-packaging-market-102130>]
- Wayken Rapid Manufacturing (2022). *Vacuum Fıming: What Is It And How It Works*. [Erişim: 21.07.2025,<https://waykenrm.com/blogs/vacuum-forming/>]
- Vassallo, N., & Refalo, P. (2024). Life cycle assessment of various initiatives towards sustainable plastic packaging. *Procedia CIRP*, 122, 372-377.
- Vrabič-Brodnjak, U., & Jestratijević, I. (2024). The future of baby cosmetics packaging and sustainable development: A look at sustainable materials and packaging innovations—A systematic review. *Sustainable Development*, 32(3), 2208-2222.
- Yousif, E., & Hasan, A. (2015). Photostabilization of poly (vinyl chloride)—Still on the run. *Journal of taibah university for science*, 9(4), 421-448.