

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ İLE METAL-AKRİLİK TEŞHİR
STANDI ÜRETİMİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

HÜSEYİN OK

KOCAELİ 2025

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ İLE METAL-AKRİLİK TEŞHİR
STANDI ÜRETİMİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

HÜSEYİN OK

Doç. Dr. Mihriban CİVAN
Danışman, Kocaeli Üniv.

.....

Doç. Dr. Murat EYVAZ
İkinci Danışman, Gebze Teknik Üniv.

.....

Prof. Dr. Esra Can DOĞAN
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

.....

Doç. Dr. Simge ÇANKAYA
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

.....

Prof. Dr. Burcu ONAT
Jüri Üyesi, İstanbul Üniv.-Cerrahpaşa

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 28.01.2025

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez/proje çalışmada,

- Bu tezin/projenin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu,
- Çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı,
- Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi,
- Bu çalışmanın Kocaeli Üniversitesi'nin abone olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun olduğunu,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Tezin/Projenin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez/proje çalışması olarak sunmadığımı,

beyan ederim.

☒ Bu tez/proje çalışmasının herhangi bir aşaması hiçbir kurum/kuruluş tarafından maddi/alt yapı desteği ile desteklenmemiştir.

☐ Bu tez/proje çalışması kapsamında üretilen veri ve bilgiler tarafından no'lu proje kapsamında maddi/alt yapı desteği alınarak gerçekleştirilmiştir.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

.....

(İmza)

Hüseyin OK

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/projemin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullarla kullanıma açma izninin Kocaeli Üniversitesi'ne verdiğimi beyan ederim. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet hakları bende kalacak, tezimin/projemin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki makale, kitap, tebliğ, lisans, patent gibi çalışmalarda kullanımı, danışmanımın isim hakkı saklı kalmak koşuluyla ve her iki tarafın bilgisi dâhilinde bana ait olacaktır.

Tezin/projenin kendi özgün çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin/projenin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim kurulu tarafından yayınlanan **“Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge”** kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/ Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

☐ Enstitü yönetim kurulu kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.

☐ Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.

☒ Tezim/projem ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

.....
(İmza)

Hüseyin OK

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Yüksek lisans danışmanım Doç. Dr. Mihriban CİVAN'a teşekkürlerimi sunuyorum. Ayrıca, hayatım boyunca desteğini ve bilgisini her zaman cömertçe paylaşarak bu çalışmanın gerçekleşmesine çalışmam süresince bilgi ve tecrübeleriyle bana rehberlik eden kıymetli hocam Doç. Dr. Murat EYVAZ'a gönülden minnettarım. Tez sürecim boyunca her konuda yanımda olan, desteklerini esirgemeyen iş yerindeki müdürlerime ve çalışma arkadaşlarıma ve her zaman yanımda olan sevgili aileme sonsuz teşekkür ederim.

Ocak – 2025

Hüseyin OK



İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI.....	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
TABLolar DİZİNİ.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği	2
2. LİTERATÜR.....	4
2.1. Yaşam Döngüsü Analizi (YDA).....	4
2.2. Yaşam Döngüsü Analizinin Metodolojisi.....	6
2.2.1. YDA'nın Amacı ve Kapsamı.....	6
2.2.2. Hedefin Tanımı, YDA'nın Kapsamının Belirlenmesi ve YDA'nın Etkilenmesi	7
2.2.3. Çalışmanın Hedefinin Belirlenmesi	7
2.2.4. Prosesin Kapsamının Belirlenmesi	7
2.3. Yaşam Döngüsü Envanteri	8
2.4. Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirme Aşaması	8
2.5. Yaşam Döngüsü Yorumlama Aşaması	11
2.6. Literatürde YDA ile İlgili Bazı Çalışmalar.....	11
3. MATERYAL VE METOT	16
3.1. Hedef ve Kapsamın Belirlenmesi	16
3.1.1. Fonksiyonel Birim	16
3.2. Tesisin Genel İş Akım Şeması.....	16
3.3. Açık Hava ve Endüstriyel Reklamcılık İşletmesi Hakkında Genel Bilgiler.....	18
3.4. Sistem Sınırları	25
3.5. Envanter Analizi	25
3.6. Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirme Yöntemleri	39
3.7. Yaşam Döngüsü Değerlendirme Çalışmalarında Kullanılan Veri Tabanları	41
3.8. Yaşam Döngüsü Analizinde Kullanılan Yazılımlar: SimaPro ve OpenLCA	43
4. TARTIŞMA VE SONUÇ	48
4.1. Sergileme Dolabı İçin OpenLCA ve SimaPro Üzerindeki İnceleme Sonuçları	48
4.1.1. Abiyotik Bozunma Kategorisi	54
4.1.2. Asidifikasyon Kategorisi	59
4.1.3. Ötrofikasyon Kategorisi.....	62
4.1.4. Küresel Isınma Potansiyeli Kategorisi.....	65
4.1.5. Deniz Ekotoksikite Kategorisi	69
4.1.6. Ozon Tabakası İncelmesi Kategorisi	73

4.1.7. İnsan Toksisitesi Kategorisi.....	76
4.1.8. Karasal Ekotoksisite Kategorisi.....	78
4.1.9. Tatlısu Ekotoksisitesi Kategorisi	81
4.1.10. Fotokimyasal Oksidasyon Kategorisi	83
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	87
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER.....	94
ÖZGEÇMİŞ.....	95



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Yaşam Döngüsü Analizi (YDA) Aşamaları.....	5
Şekil 2.2.	YDA Metodolojileri (TS EN ISO 14040: 2006)	5
Şekil 2.3.	YDA Sistem Sınırları Şematik Gösterimi.....	7
Şekil 3.1.	Sergileme Dolabı Üretim-Proses Akış Şeması.....	18
Şekil 3.2.	Makine Bölüm Vaziyet Planı.....	19
Şekil 3.3.	İmalat Bölümü Vaziyet Planı.....	19
Şekil 3.4.	Boyahane Bölüm Vaziyet Planı.....	20
Şekil 3.5.	Metal Üretim Genel İş Akım Şeması	21
Şekil 3.6.	Akrilik Lazer Bölüm Vaziyet Planı	22
Şekil 3.7.	Marangozhane Bölümü Vaziyet Planı	22
Şekil 3.8.	CNC Bölüm Vaziyet Planı.....	23
Şekil 3.9.	Montaj Sevkiyat Bölümü Vaziyet Planı	24
Şekil 3.10.	Montaj Bölümü Genel İş Akış Şeması ve Proses Anlatımı	24
Şekil 3.11.	Sistem Sınırları	25
Şekil 3.12.	Metal Üretimde Proseslerinde Harcanan Elektrik Miktarı (kWh)	28
Şekil 3.13.	Bir Adet Sergileme Dolabının Montaj Aşamasındaki Tüketilen Malzemelerin Yüzdelik Dağılımı	34
Şekil 3.14.	Bir Adet Sergileme Dolabının Montaj Aşamasındaki Tüketilen Elektriğin Yüzdelik Dağılımı.....	38
Şekil 3.15.	SimaPro Sistem Veri Girişi Arayüzü	44
Şekil 3.16.	OpenLCA Sistem Veri Girişi Arayüzü	46
Şekil 3.17.	YDA öğretiminde kullanılan yazılımlar ve veri tabanları	47
Şekil 4.1.	Sergileme Dolabı Normalizasyon Sonuçları OpenLCA	50
Şekil 4.2.	Sergileme Dolabı Normalizasyon Sonuçları SimaPro	51
Şekil 4.3.	Bir Adet Sergileme Dolabının Çevresel Etkilerinin OpenLCA ve SimaPro Yazılımlarındaki Değerleri	53
Şekil 4.4.	Abiyotik Bozunma Kategorisi	55
Şekil 4.5.	Abiyotik Bozunma (fosil kaynaklı) Kategorisi	57
Şekil 4.6.	Abiyotik Bozunma Kategorisi	58
Şekil 4.7.	Asidifikasyon Kategorisi	60
Şekil 4.8.	Asidifikasyon Kategorisi	61
Şekil 4.9.	Ötrofikasyon Kategorisi	63
Şekil 4.10.	Ötrofikasyon Kategorisi	64
Şekil 4.11.	Küresel Isınma Potansiyeli Kategorisi	65
Şekil 4.12.	Küresel Isınma Potansiyeli Kategorisi	67
Şekil 4.13.	Deniz Ekotoksosite Kategorisi	70
Şekil 4.14.	Deniz Ekotoksosite Kategorisi	71
Şekil 4.15.	Ozon Tabakası İncelmesi Kategorisi	74
Şekil 4.16.	Ozon Tabakası İncelmesi Kategorisi	75
Şekil 4.17.	İnsan Toksisitesi Kategorisi.....	76
Şekil 4.18.	İnsan Toksisitesi Kategorisi.....	77
Şekil 4.19.	Karasal Ekotoksosite Kategorisi	79
Şekil 4.20.	Karasal Ekotoksosite Kategorisi	80
Şekil 4.21.	Tatlısu Ekotoksosite Kategorisi.....	81

Şekil 4.22.	Tatlısu Ekotoksosite Kategorisi.....	83
Şekil 4.23.	Fotokimyasal Oksidasyon Kategorisi.....	84
Şekil 4.24.	Fotokimyasal Oksidasyon Kategorisi.....	85



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2.1.	Yaşam Döngüsü Etki Kategorileri	9
Tablo 3.1.	Tesis Bacaları.....	20
Tablo 3.2.	Metal Üretimde Kullanılan Malzemeler.....	26
Tablo 3.3.	Metal Üretimde Proseslerinde Harcanan Elektrik Miktarı (kWh)	27
Tablo 3.4.	Metal Üretimde Oluşan Tehlikesiz Atık Miktarları (kg)	29
Tablo 3.5.	Metal Bölümüne Ait Emisyon Raporu Değerleri	30
Tablo 3.6.	Metal Bölümüne Ait Özet Emisyon Değerleri	30
Tablo 3.7.	Montaj Bölümüne Ait Ürün Girdileri	31
Tablo 3.8.	Plastik Grubu	34
Tablo 3.9.	Vida Grubu	35
Tablo 3.10.	Torna Parçaları.....	35
Tablo 3.11.	Torna Parçaları	35
Tablo 3.12.	Plaka Grubu	36
Tablo 3.13.	Montaj Bölümüne Ait Atık Miktarları (kg)	36
Tablo 3.14.	Montaj Proseslerinde Harcanan Elektrik Miktarı (kWh)	37
Tablo 4.1.	Hammadde Girdileri ve Çıktıları.....	48
Tablo 4.2.	OpenLCA-Fonksiyonel Birimi Bir adet Olan Sergileme Dolabının Etki Kategorileri Sonuçları	49
Tablo 4.3.	SimaPro-Fonksiyonel Birimi Bir Adet Olan Sergileme Dolabının Etki Kategorileri Sonuçları	51
Tablo 4.4.	Fonksiyonel Birimi Bir Adet Olan Sergileme Dolabının Etki Kategorileri Sonuçları Kıyaslaması	52

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

ABS	:Akrilonitril-Bütadien-Stiren
ATP	:Abiyotik Tükenme Potansiyeli
C2G	:Cradle to Gate (Beşikten kapıya)
CFC	:Kloroflorokarbon
CH ₃ Br	:Metilbromid
CH ₄	:Metan
CO	:Karbon Monoksit
CO ₂	:Karbondioksit
ELCD	:European Life Cycle Database
EPD	:Çevresel Ürün Beyanı
G ₂ G	:Gate to Gate (Kapıdan kapıya)
H ₂ CO ₃	:Karbonik Asit
HCl	:Hidroklorik Asit
HCO ₃ ⁻	:Bikarbonat
HDPE	:Yüksek Yoğunluklu Polietilen
HF	:Hidroflorik Asit
HFCF	:Hidrokloroflorokarbon
ILCD	:International Life Cycle Data
KIP	:Küresel Isınma Potansiyeli
LC ₅₀ / kg	:Balıklara Zarar Veren Toksik Maddelerin Ölümcül Konsantrasyonu
LCDN	:Life Cycle Data Network
LDPE	:Düşük Yoğunluklu Polietilen
NH ₄	:Amonyum
NH ₄	:Nitratlar
NO	:Nitrojen Oksit
NO ₂	:Azot Dioksit
NO ₄	:Nitrojen Dioksit
NO _x	:Nitrojen Oksitler
ODP	:Ozon Tabakası İncelmesi
OTİM	:Ozon Tabakasını İncelten Maddeler
PEF	:Ürün Çevresel Ayak İzi
PET	:Polietilen Tereftalat
PO ₄	:Fosfat
PP	:Polipropilen
PVC	:Polivinil Klorür
SO _x	:Sülfür Oksitler
VOC	:Uçucu Organik Bileşik
YDA	:Yaşam Döngüsü Analizi
YDEA	:Yaşam Döngüsü Etki Analizi
YDED	:Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi
YDSD	:Yaşam Döngüsü Sürdürülebilirlik Değerlendirmesi
YDVA	:Yaşam Döngüsü Veri Ağı

YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ İLE METAL-AKRİLİK TEŞHİR STANDI ÜRETİMİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Sergileme dolabı üretim sektörü, üretim sürecinin her aşamasında yüksek kaynak ve enerji tüketimi nedeniyle çevresel sürdürülebilirlik üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu çalışmada, sergileme dolabı üretiminde ortaya çıkan çevresel etkileri değerlendirmek amacıyla SimaPro ve OpenLCA yazılımları kullanılarak kapsamlı bir Yaşam Döngüsü Analizi (YDA) yapılmıştır. Hammaddelerin çıkarılmasından üretime, taşımaya, kullanım ve bertaraf aşamalarına kadar tüm süreçler incelenmiş; enerji tüketimi, sera gazı emisyonları, atık üretimi ve sektörün genel çevresel etkisi ölçülmüştür.

SimaPro ve OpenLCA yazılımları üzerinden yapılan karşılaştırmalı analiz, yazılımlar arasındaki metodolojik farkları ve bu farklılıkların sonuçlar üzerindeki etkisini detaylı bir şekilde ortaya koyarak çevresel etkilerin azaltılabileceği alanlara ışık tutmaktadır. Örneğin, OpenLCA'da deniz ekotoksitesitesi yaklaşık 4.831 kg 1,4-DB eşdeğeri olarak hesaplanırken, SimaPro'da bu değer oldukça düşük, 173,1 kg 1,4-DB eşdeğeri olarak bulunmuştur. Bu fark, yazılımların kullandığı karakterizasyon faktörleri ve veri tabanlarındaki farklılıklardan kaynaklanmaktadır. OpenLCA'da, elektrik kullanımı ve plastik malzemelerin deniz ekotoksitesitesine en büyük katkıyı sağladığı, ayrıca titanyum dioksit bazlı toz kaplamaların da etkili olduğu gözlenmiştir. Küresel ısınma potansiyelinde ise SimaPro yaklaşık 120 kg CO₂ eşdeğeri raporlarken, OpenLCA bu değeri %50 daha yüksek, 177,7 kg CO₂ eşdeğeri olarak göstermektedir. Her iki yazılım da ambalaj ve taşıma süreçlerinin deniz ekotoksitesitesi üzerinde olumsuz bir etkisi olduğunu göstermektedir.

Bu araştırmanın bulguları, çevresel sürdürülebilirliği artırmak için hangi YDA yazılımının daha uygun olduğuna dair bir rehber sunarken, vitrin üretim sektöründe sürdürülebilir uygulamaların nasıl geliştirilebileceğine dair temel bir çerçeve sağlamaktadır. Enerji kullanımının optimize edilmesi ve malzeme seçiminin gözden geçirilmesi gibi öneriler, sektörde daha düşük bir karbon ayak izi ve çevresel etki sağlayabilir.

Anahtar Kelimeler: Çevresel Etki, OpenLCA, Sergileme Dolabı Üretimi, SimaPro, Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi.

EVALUATION OF THE ENVIRONMENTAL IMPACTS OF METAL-ACRYLIC DISPLAY STAND PRODUCTION USING LIFE CYCLE ASSESSMENT

ABSTRACT

Display cabinet production industry holds significant influence over environmental sustainability due to its high resource and energy demands throughout the production cycle. This research performs a thorough Life Cycle Assessment on the production of display cabinets by utilizing SimaPro and OpenLCA software to assess the environmental effects involved. Examining every phase - from extracting raw materials to production, transportation, use, and disposal - allows us to measure energy consumption, greenhouse gas emissions, waste production, and the overall environmental impact of the industry.

A comparative analysis in SimaPro and OpenLCA enables a nuanced view of software-based methodological differences, revealing key areas where process adjustments can notably reduce environmental impacts. In OpenLCA, marine ecotoxicity was calculated at approximately 4,831 kg 1,4-DB eq, while SimaPro reported a significantly lower figure of 173.1 kg 1,4-DB eq, showing a discrepancy of 28-fold. This variance is attributed to differing characterization factors and data models within each software. In OpenLCA, electricity use, and plastic materials were identified as primary contributors to marine ecotoxicity, with titanium dioxide-based powder coatings also having a notable impact. For global warming potential, SimaPro reported approximately 120 kg CO₂ eq, while OpenLCA indicated a value of 177.7 kg CO₂ eq, about 50% higher. This discrepancy stems from differences in each software's characterization factors and modeling methods. Both analyses showed that packaging and transportation processes exacerbate marine ecotoxicity.

The findings of this study guide selecting appropriate LCA software and a foundational framework for implementing sustainable practices in the display cabinet production industry. Practical recommendations, such as optimizing energy usage and refining material choice, could contribute to a reduced carbon footprint and lower environmental impacts in this sector.

Keywords: Environmental Impact, OpenLCA, Display Cabinet Production, SimaPro, Life Cycle Assessment.

1. GİRİŞ

İnsan, yaşamını sürdürebilmek için beslenme, barınma ve giyinme gibi en temel gereksinimlerini karşılamak adına doğanın sunduğu kaynaklardan yararlanır. Doğanın kendi ritmi içinde bu kaynaklar kendini yenileyebilirken, ölçsüz ve bilinçsiz tüketim ne yazık ki bu dengeyi bozar ve doğanın onarılması güç olan zararlarla baş başa kalmasına yol açar. (Öztürk, 2012). Özellikle hızla artan sanayileşme ve nüfusla birlikte, endüstriyel ve evsel atıklar ile sera gazı emisyonları çevre kirliliğini artırmış, iklim değışikliklerine yol açmış, biyolojik çeşitliliği azaltmış ve doğal kaynakların tükenmesine sebep olmuştur. Bu durum, doğanın kendini yenileme kapasitesini yetersiz bırakırken, doğal kaynakların oluşum hızından daha hızlı tüketilmesi çevresel sorunların artmasına ve hem insanlar hem de diğer canlılar için ciddi bir tehdit oluşturmaya yol açmıştır (Çakır, 2017).

Beşerî faaliyetler sonucunda ortaya çıkan küresel iklim değışikliği, günümüzde dünyanın en büyük sorunlarından biri olarak kabul edilmekte ve önümüzdeki yıllarda ekosistemi olumsuz etkilemeye devam edeceği öngörülmektedir. Bu durumla mücadele edebilmek adına, sera gazı konsantrasyonlarını azaltmak ve iklim değışikliğine uyum sağlamak amacıyla kamu ve özel sektör tarafından uluslararası, ulusal ve yerel düzeyde çeşitli girişimler hayata geçirilmektedir. Ancak bu çabaların başarıya ulaşabilmesi için mevcut en iyi bilimsel verilere dayanarak hızlı, etkili ve kapsamlı bir yanıt geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Doğal kaynakların yenilenme hızı ile tüketim oranı arasında bir denge sağlanması gerekliliği, sürdürülebilirlik fikrinin temelini oluşturmuştur. Ekonomik büyüme hedeflenirken, kalkınmanın sürdürülebilirliği ancak sürdürülebilir üretim teknikleri ile mümkün olabilir (Çakır, 2017). Bu noktada, sürdürülebilirliğin özellikle çevresel boyutunda büyük bir öneme sahip olan yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDA), süreçlerin, ürünlerin veya hizmetlerin doğal kaynaklardan üretiminden nihai bertarafına kadar geçen tüm aşamalarındaki çevresel etkileri belirlemek için kullanılan etkin bir yöntemdir (Çankaya, 2018). Bu yaklaşım, çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasında kritik bir rol oynar ve geleceğe yönelik daha bilinçli adımlar atılmasını mümkün kılar. Yaşam Döngüsü Analizi (YDA), çevresel bakımdan üretim, tüketim, kullanım ve atık oluşumu safhalarını içine alan zincirin bütün süreçlerini kapsayan bir kavramdır. Başka

bir deyişle YDA bütüncül ve sistematik bir kavram olup, ürünün üretiminden bertarafına kadar tüm paydaşları arasındaki etkileşimini zorunlu kılar ve farklı proseslerin olduğu üretim/imalat sektöründe malzemelerin girdilerine dayalı çevresel etkileri ölçmek için yaygın olarak kullanılan kapsamlı bir yöntemdir (Öztürk, 2012).

YDA etki analizi sonuçları küresel iklim değişikliği etki potansiyelinden su ayak izine kadar farklı kategorilerde çeşitlilik göstermektedir. Ayrıca bu analiz sonucunda elde edilen veriler genel çevresel etki değerlendirmesinin niceliksel sonuçlarını da kapsar. Etki analizi için kullanılabilecek SimaPro, OpenLCA, Gabi, Umberto, gibi birçok ticari veya açık kaynak kodu kullanan yazılım türü vardır. Bu çalışmada farklı yazılım programında, biri ücretsiz açık kaynak modeli diğeri ise ücretli olan SimaPro yazılım programında, seçilen bir ürünün aynı verilerle farklı (Küresel iklim değişikliğine etkisi, ötrofikasyon, asidifikasyon vb.) çevresel parametreler üzerindeki performanslarının izlenilmesine dayanıp ve bunların yorumlanarak iki farklı yazılımdan çıkan sonuçların kıyaslanması yapılması planlanmaktadır. Bilgimiz daha önce çok fazla veri girdisi olan açık hava reklamcılık sektöründe kullanılan teşhir kabininin iki farklı yazılım programı kullanılarak yaşam döngüsü analizi çalışması ve iki modelin kıyaslanması literatürde ilk defa uygulanacaktır. Bu çalışmanın yoğun veri girişine ihtiyaç duymasından dolayı çok kapsamlı değerlendirilmesi özgünlüğünü oluştururken metal, akrilik ve ahşap sergileme dolabı üretimi alanında faaliyet gösteren hem yurtiçi hem de yurtdışı bazlı firmalara da yaşam döngüsü analizi çalışmalarında kullanılacak olan yazılım programının tercihini sağlaması konusunda destek olması için önemlidir. Türkiye'deki yaşam döngüsü değerlendirme çalışmalarına katma değer kazandırmak amacıyla farklı yazılımlar kullanılarak aynı ürünün çevresel performanslarını kıyaslayan araştırmaların artırılması da sürdürülebilirlik çalışmalarına önemli bir katkı sağlanması beklenmektedir (Iswara ve diğ., 2023).

1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği

Doğal kaynakların bilinçsiz kullanımı yanında devasa boyutlara ulaşan atıklar hassas olan doğanın dengesini bozmaya başlamıştır. Bu sebeple üreticilerin süreç geliştirme ve ürününü satış sonrasında toplama, geri dönüşüm ya da ürünün yok edilmesi konusunda sorumluluk sahibi olmaları gerekmektedir. Bu etkenlere bağlı olarak da sürdürülebilirlik kavramının önemi gün geçtikçe daha da önem arz etmektedir. Sürdürülebilirlik, bir yaşam

döngüsü ile konuya temas edilmesini sağlar. Yaşam döngüsü yaklaşımı, çevresel açıdan üretim, tüketim, kullanım ve atık yönetimi gibi süreçleri içine alan bir zincirin tüm aşamalarını kapsar. Bu kapsamlı ve mantığa dayalı sistem, bir ürünün ömrü süresince çeşitli paydaşlar arasındaki iş birliğini haiz eder. Bununla birlikte, yaşam döngüsü analizi (YDA), farklı üretim ve imalat süreçlerinde kullanılan malzemelerin girdilerine bağlı çevresel etkileri değerlendirmek için yaygın olarak tercih edilen detaylı bir yöntemdir. YDA sonuçlarının etki analizi kategorilerine göre küresel iklim değişikliği etki potansiyelinden su ayak izine kadar çeşitlilik göstermektedir. Bunun yanı sıra, bu analizle elde edilen veriler, genel çevresel etkinin nicel değerlendirme sonuçlarını da içermektedir. Etki analizi için kullanılabilecek SimaPro, OpenLCA, Gabi, Umberto, gibi birçok yazılım türü vardır. Bu çalışmada farklı yazılım programında, biri ücretsiz açık kaynak modeli diğeri ise ücretli olan SimaPro yazılım programında, seçilen bir ürünün aynı verilerle farklı (Küresel iklim değişikliğine etkisi, ötrofikasyon, asidifikasyon vb.) çevresel parametreler üzerindeki performanslarının izlenilmesine dayanarak ve bunların yorumlanarak iki farklı yazılımdan çıkan sonuçların kıyaslanması yapılmıştır. Bu çalışmayı diğer yaşam döngüsü analizi çalışmalarından ayıran en önemli unsurlardan biri daha önce açık hava reklamcılık sektöründe iki farklı yazılım programı kullanılarak yaşam döngüsü analizi çalışması olmaması ve çok fazla veri girdisinin yer almasıdır. Bu çalışmanın yoğun veri girişine haiz olması nedeniyle çok kapsamlı olmasının özgünlüğüne ek olarak metal, akrilik ve ahşap teşhir stant üretimi alanında faaliyet gösteren hem yurtiçi hem de yurtdışı bazı firmalara da yaşam döngüsü analizi çalışmalarında kullanılacak olan yazılım programının tercihinin sağlanması konusunda yardımcı olması için önemlidir. Ayrıca kaynak kullanımının ve çevresel izlerin kapsamlı çevresel sonuçlarını en aza indirmek için fırsatları sistematik olarak tanımlar ve değerlendirir. Türkiye'deki yaşam döngüsü değerlendirme çalışmalarına katma değer kazandırmak amacıyla farklı yazılımlar kullanılarak aynı ürünün çevresel performanslarını kıyaslayan araştırmaların artırılması önemli bir rol oynamaktadır.

2. LİTERATÜR

2.1. Yaşam Döngüsü Analizi (YDA)

Yaşam döngüsü analizi (YDA) ürün veya hizmetlerin hammadde eldesinden, üretim, sevkiyat, kullanım, yeniden kullanım, geri dönüşüm ve bertarafına kadar geçen bütün süreçleri içine alan bir uygulamadır (Demirel ve diğ., 2019).

YDA bu süreçlerde meydana gelen çevresel faktörleri saptamak, raporlamak ve yönetmek amacıyla kullanılmaktadır. Tüm bu çevresel faktörlerin belirlenmesinde enerji dahil olmak üzere hammadde eldesinden, bertarafa kadar havaya, suya ve toprağa salınan tüm kirleticiler dikkate alınmaktadır.

Bu etkiler; kaynak tüketimi, küresel iklim değişikliği, ozon tabakasının incilmesi, ötrofikasyon ve bunun gibi faktörlerdir (Demirel ve diğ., 2019).

Aynı zamanda bu yaşam döngüsü analizi yaklaşımı ile üretilen bir ürünün çevreye olan zararını minimuma indirmek adına çevreye en az zarar veren ürünlerin tercih edilmesine katkıda bulunmaktadır.

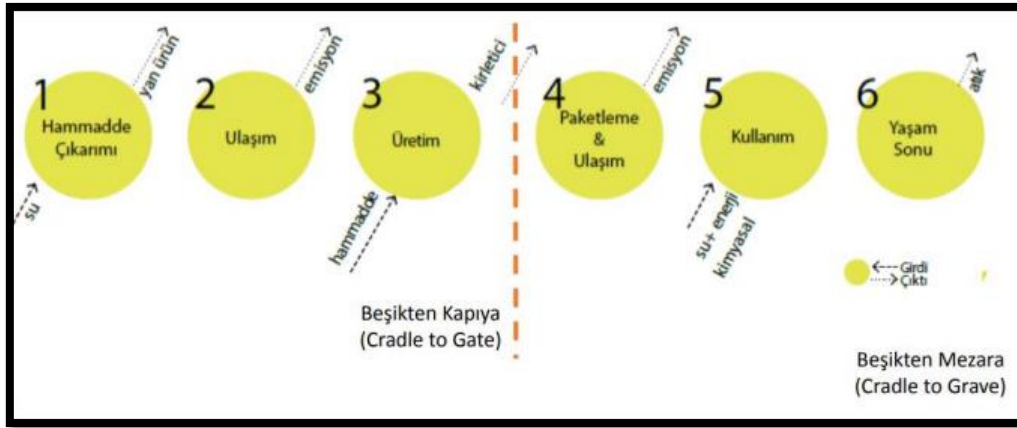
YDA yaklaşımları, birçok şekilde yapılabilir. Bunlardan en çok kullanılan yaklaşımlar aşağıdaki gibi verilmiştir: (Demirbaş, 2023)

-Beşikten mezara, bir yaşam döngüsünün bütün aşamalarını kapsayan tam bir yaşam döngüsü değerlendirmesidir.

-Beşikten kapıya, yalnızca hammadde çıkarma, üretim/imalat, paketlenme ve sevkiyat aşamalarıyla oluşan bir çalışmadır. Sadece fabrika içinde meydana gelen faaliyetleri kapsar. Dağıtım, tüketici kullanımı vb. süreçler ile ilgilenmemektedir.

-Kapıdan kapıya, bütün üretim sürecinde yalnızca bir katma değerli sürece bakan kısmı bir YDA yöntemidir.

Kapıdan kapıya modülleri daha sonradan beşikten kapıya değerlendirmesi yapmak için uygun üretim zincirlerine bağlanabilir. Şekil 2.1’de YDA aşamaları görülmektedir (Demirbaş, 2023).

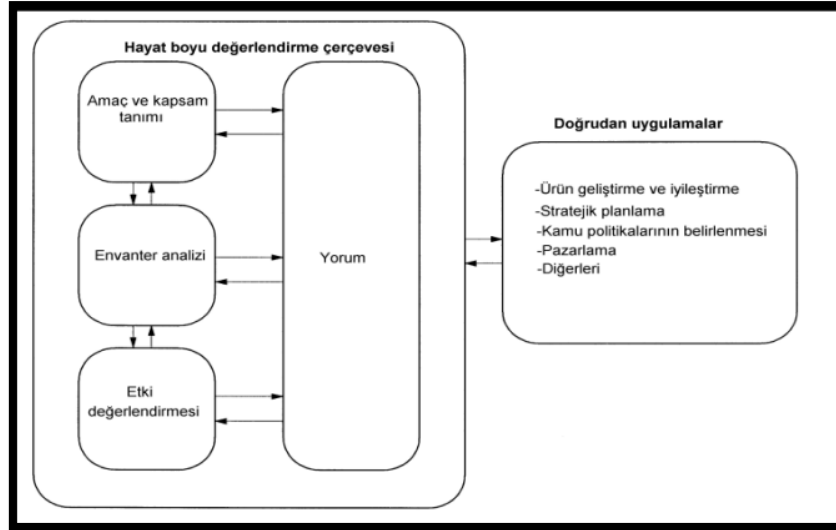


Şekil 2.1. Yaşam Döngüsü Analizi (YDA) Aşamaları (Demirbaş, 2023)

Yaşam döngüsü analizi (YDA) dört metodolojiden oluşur. Bu aşamalar arasındaki ilişki Şekil 2.2.’de gösterilmiştir. Bunlar aşağıdaki gibidir:

- Amaç ve kapsam,
- Envanter analizi,
- Etki değerlendirmesi,
- Yorumlama (TS EN ISO 14040: 2006)

Şekil 2.2’de YDA Metodolojileri gösterildiği gibidir.



Şekil 2.2. YDA Metodolojileri (TS EN ISO 14040: 2006)

1. Amaç-Kapsam: Bu bölümde çalışmanın amacı, kapsamı, sınırları ve detaylandırma düzeyi tanımlanmaktadır.

2. Envanter Analizi: Bu bölümde çalışılan sistemin kapsamı dahilinde meydana gelebilecek enerji, su, ham madde kullanımı ve tüm bunlara ilişkin çevresel emisyonlar saptanır.

3.Etki Analizi: Envanter analizi safhasında belirlenen enerji, su, ham madde kullanımı ile çevresel emisyonların insan sağlığı ve çevresel etkiler üzerindeki olası etkileri incelenir.

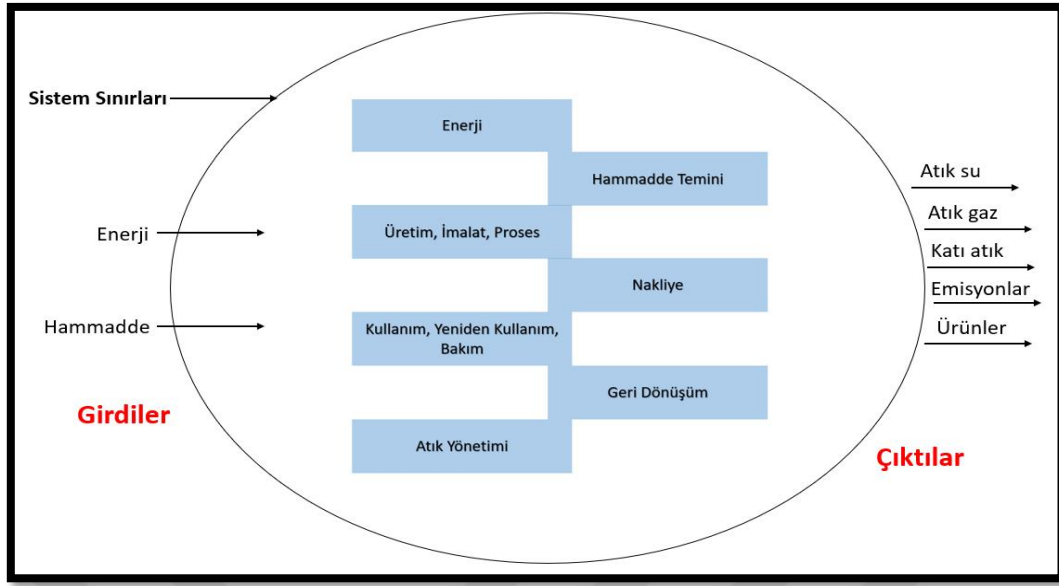
4.Yorumlama: Envanter ve etki analizi aşamalarının sonuçları incelenerek karşılaştırılanlar arasından seçilecek ürün, süreç ya da hizmet belirlenir. Bu seçim sırasında yapılan tahminler ve belirsizlikler YDA kapsamında açıkça belirtilir (Demirer, 2018).

2.2. Yaşam Döngüsü Analizinin Metodolojisi

2.2.1. YDA'nın Amacı ve Kapsamı

Yaşam döngüsü analizinde, planlanan çalışmanın kapsamı, amacı ve bu uygulamanın gerçekleştirilme nedenleri açık ve anlaşılır bir biçimde ortaya konulmalıdır. Bu analiz, belirli bir ürünün veya süreçlerin çevresel etkilerini değerlendirirken, aynı zamanda karşılaştırmalı incelemeler ve geliştirme süreçleri için önemli veriler sağlar. Çalışmanın başarısı için, analizin hangi bağlamda gerçekleştirileceği, hangi yöntemlerin kullanılacağı ve elde edilmesi beklenen sonuçların kimler için fayda sağlayacağı net bir şekilde tanımlanmalıdır.

Bu bağlamda, yaşam döngüsü analizinin amaçlarına çeşitli örnekler verilebilir. Örneğin, üretilen ürünlerin pazarlanmasını desteklemek amacıyla, benzer işlevlere sahip iki veya daha fazla ürünün çevresel etkiler açısından karşılaştırılması yapılabilir. Bunun yanı sıra, mevcut bir ürünün çevresel performansını iyileştirmek veya tamamen yeni bir ürün tasarımı sürdürülebilirlik esaslarını dikkate almak için gelişim fırsatları belirlenebilir. Ayrıca, ürünlerin yaşam döngüsü boyunca ortaya çıkan çevresel etkilerin hangi aşamalarda daha yoğun olduğu tespit edilerek, iyileştirme çalışmalarının hangi noktalarda yapılabileceği belirlenebilir. Böylece, ürünlerin üretim, kullanım ve bertaraf süreçlerinde çevreye olan etkilerinin en aza indirilmesi sağlanabilir (Demirer, 2018).



Şekil 2.3. YDA Sistem Sınırları Şematik Gösterimi

2.2.2. Hedefin Tanımı, YDA'nın Kapsamının Belirlenmesi ve YDA'nın Etkilenmesi

Yaşam döngüsünde analizinin amacını ve kapsamını belirlemekte, bu iş için ihtiyaç duyulacak zamana ve ne kadar kaynağa gereksinim olacağını yapabilmek için detaylı bir şekilde inceleme yapmak gerekir ve bu da tüm sürece ışık tutacaktır. Hedefin ve kapsamın belirlenmesinde verilecek bütün kararlar çalışmanın akıbetini etkileyecektir (Demirer, 2018).

2.2.3. Çalışmanın Hedefinin Belirtilmesi

Bu bölümde YDA çalışmalarının birincil hedefi insan sağlığına ve çevreye minimum etkisi olacak ürün, süreç veya hizmeti saptamaktır. Ayrıca YDA çalışmaları bu aşamada da önemli bir rol oynamaktadır. Çalışmanın kalitesine bağlı olarak amaçlar değişkenlik gösterebilmektedir (Demirer, 2018).

2.2.4. Prosesin Kapsamının Belirlenmesi

Çalışmanın süreçleri aşağıdaki gibidir:

- * Hammadde temini,
- * Üretim,

- * Kullanım/yeniden kullanım/bakım,
- * Geri dönüşüm/atık yönetimi, şeklindedir.

Hammadde Temini: Hammadde temini yaşam döngüsünün en temel yapıtaşlarından, çünkü bir ürün, proses ya da çalışmanın yaşam döngüsü hammadde ve enerji temini ile başlar. Proseste kullanılacak bir malzeme hammadde teminine örnek olarak verilebilir.

Üretim: Bu aşamada, hammaddeler ürün ya da paketlemeye sevk edilir. Daha sonrasında bu ürün/ürünler tüketiciye gönderilir.

Yeniden kullanım/ Bakım: Bu bölümde tüketiciye/tüketicilere ulaştırılan ürünleri kullandıkları, yeniden kullandıkları ve bakım yaptıkları aşamaları kapsar. Tüketiciye teslim edilen bu ürün/ürünler daha sonrasında kullanımlarına ilişkin tüm etkinlikler bu aşamaya dahil edilir. Ürünün kullanımına bağlı olarak oluşan enerji gereksinimlerini ve meydana gelen atık ve emisyonları da içine alan bir süreçtir.

Atık Yönetimi: Bu aşamada bir ürün ya da malzemenin kullanımının tamamen sonlanması sonucunda ortaya çıkan enerji gereksinimlerini, oluşan atıkları ya da emisyonları kapsar. Bu aşama tüm sistemin bir alt aşaması gibi tanımlanabilir (Demirer, 2018).

2.3. Yaşam Döngüsü Envanteri

Yaşam döngüsü envanteri aşaması, yaşam döngüsü değerlendirmesinde kilit noktalardan biridir. Bu aşamada, ürün/ürünlerin bütün yaşam döngüsü süreçlerindeki girdi ve çıktıları tanımlanmakta; enerji, hammadde akışları, emisyonlar ve diğer atıklar tespit edilmektedir. Yaşam döngüsü envanter aşaması; prosese ait akış diyagramların oluşturulması, veri toplanması, tercih edilen fonksiyonel birime ait verilerin toplanması, enerji ve malzeme dengesinin geliştirilmesi olmak üzere dört evreden oluşmaktadır. Bu durum sanayi ortamında çok daha karmaşık bir yapıya sahip olabilir, çünkü prosesler çok fazla olmaktadır.

2.4. Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirme Aşaması

Yaşam döngüsü etki değerlendirmesi birbirini takip eden dört adım olan; sınıflandırma, karakterizasyon, normalleştirme ve ağırlıklandırmadan oluşmaktadır. Sınıflandırma

aşamasında, bütün maddeler çevre üzerindeki etkilerine göre sınıflara ayrılmaktadır. Bir neden-sonuç yolu ve çevresel müdahale (örneğin, belirli bir kimyasalın emisyonu) ile potansiyel etkileri arasındaki nedensel ilişkiyi gösterir. Karakterizasyonda, her bir etki, çevresel etkiye göreceli katkılarını yansıtan ve maddenin konsantrasyonuna özgü bir sonuç sağlayan belirli bir faktör kullanılarak ölçülür. Normalleştirmede, niceliksel bir etki belirli bir referans değerle karşılaştırılır; bu nedenle, tüm etkiler aynı değere sahiptir ve birbirleriyle karşılaştırılabilir. Ağırlıklandırma, etki kategorilerinin her birinin normalleştirilmiş sonuçlarının, etki kategorisinin göreceli önemini ifade eden bir ağırlıklandırma faktörü ile çarpılması ile bulunur. Ağırlıklı sonuçların tümü aynı birime sahiptir ve bir ürünün veya senaryonun çevresel etkisi için tek bir puan oluşturmak üzere toplanabilir (Iswara ve diğ., 2023). Aşağıda Tablo 2.1’de yaşam döngüsü etki kategorileri detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

Tablo 2.1. Yaşam Döngüsü Etki Kategorileri

Etki Kategorisi	Sınıflandırma	Karakterizasyon Faktörü (Hamedani vd., 2019)	Etki kategorisinin açıklaması
Küresel Isınma	CO ₂ , NO ₂ , CH ₄ , Kloroflorokarbonlar (CFSc), Hidrokloroflorokarbonlar (HFCFs), Metilbromid (CH ₃ Br)	Küresel ısınma potansiyeli /kgCO ₂ eq]	Küresel ısınma potansiyeli, CO ₂ , CH ₄ ve N ₂ O ve bazı türdeki CFC’lerin CO ₂ eşdeğeri cinsinden ve bu gazların tüketiminden kaynaklanan bir birim gazın göstermiş olduğu sera gazı emisyonu olarak küresel ısınmaya etki eden potansiyel katkıdır. Küresel ısınmanın etkisi iklim değişikliğidir. İklim değişikliği, insan faaliyetlerinden kaynaklanan sera etkisinin neden olduğu küresel sıcaklık değişikliği olarak tanımlanabilir (Lolo vd.,2023 ve Çankaya, 2018)
Stratosferik Ozon Tüketimi	Kloroflorokarbonlar (CFSc), Hidrokloroflorokarbonlar (HFCFs), Halonlar Metilbromid (CH ₃ Br)	Ozon tüketimi potansiyeli/ kgCFC11eq	Stratosferdeki ozon, insanlar üzerinde deri kanseri ve katarakt riskini artırabilen son derece zararlı olan radyasyondan korunmada kritik bir rol oynar. Aynı zamanda, ozonun bitkiler ve deniz canlıları üzerinde de etkisi olduğu da bilinmektedir. Stratosferik ozon tabakasının incelmeye yol açan maddeler genellikle kloroflorokarbonlar (CFC’ler) olarak adlandırılır ve genellikle soğutucularda, köpük kırıcı maddelerde, çözücülerde ve yangın söndürme sistemlerinde kullanılır (Lolo vd.,2023).

Tablo 2.1. (Devam) Yaşam Döngüsü Etki Kategorileri

Asidifikasyon	Sülfüroksitler (SOx) Nitrojen oksitler (NOx) Hidroklorik asit (HCl) Hidroflorik asit (HF) Amonyum (NH ₄)	Asidifikasyon potansiyeli/ kgSO ₂ eq	SO ₂ , NO _x , ve NH ₃ gibi kirlетici parametreleri, ekosistemlere, yüzey sularına, toprağa ve biyolojik organizmalara zarar vererek asidifikasyona neden olmaktadır. Bu bileşikler çevrede birikim yaparak asidifikasyon etkisine sebep olur ve genellikle kg SO ₂ -eşdeğeri ile ölçülmektedir. Asidifikasyon etkisi genellikle bölgesel olarak kabul edilmekte ve ölçülmektedir. Asidifikasyona neden olan kirlетicilerin başlıca kaynağı, nakliye ve enerji sektörleridir. Bu sektörlerin faaliyetleri, çam ormanları gibi karasal ekosistemler üzerinde asidifikasyon etkilerine neden olurken, asit göllerinde sucul ekosistemleri etkilemektedir (Çankaya, 2018).
Ötrofikasyon	Fosfat (PO ₄) Nitrojenoksit (NO) Nitrojendioksit (NO ₂) Nitratlar (NH ₄)	Ötrofikasyon potansiyeli/kgPO ₄ eq	Ötrofikasyon, su ekosistemlerindeki plankton ve alglerin çoğalmasıyla birlikte besin maddelerinin artışı ifade eden bir durumdur. Bu durum, özellikle azot ve fosfor gibi temel bileşenlerin sucul ortamlarda artmasıyla gerçekleşir. Ötrofikasyon potansiyeli genellikle kg PO ₄ -eşdeğeri ölçü birimi kullanılarak değerlendirilir (Çankaya, 2018).

Fotokimyasal Sis	Metan olmayan hidrokarbon	Ozon tüketimi potansiyeli/kgC ₂ H ₄ eq	Atmosferde nitrojen oksitler ve uçucu organik maddeler bulunduğunda, güneş ışığının etkisiyle ozon oluşumu meydana gelir. Düşük miktarlarda ozon üretimi, mahsullerde zarara ve özellikle astım gibi çeşitli solunum rahatsızlıklarına neden olabilir (Salihoğlu vd., 2018).
Karasal Zehirlilik	Kemirgenlere olan öldürücü konsantrasyonu raporlanmış zehirli kimyasallar	LC ₅₀ / kg Triethylene glycol into soil-eq (Çankaya, 2018)	Ekotoksik maddelerin konsantrasyonlarının artması, canlı türlerinin etkilenmesini tanımlar. Kimyasal durum, doğrudan emisyon noktalarına dayalı potansiyel toksik materyal emisyonlarının bir ölçüsü olarak tanımlanır ve genellikle kg 1,4-diklorobenzen (kg 1,4-DCB) birimi ile gösterilir.
Sucul Zehirlilik	Balıklara zarar veren toksik maddelerin ölümcül konsantrasyonu rapor edilmiş zehirli kimyasallardır.	LC ₅₀ / kg Triethylene glycol into watereq (Çankaya, 2018)	Ekotoksikite, çevresel zararlı etkileri olan çeşitli bileşikler içerir. Ötrofikasyon gibi, karasal ve sucul ekosistemlere olumsuz etkileri gözlemlenmektedir. Ağır metaller ve belirli organik bileşikler, ekotoksitenin üzerinde belirgin etkilere sahiptir. (Çankaya, 2018)

Tablo 2.1. (Devam) Yaşam Döngüsü Etki Kategorileri

Arazi Kullanımı	Havaya, suya ve toprağa yapılan toplam salımlar	Arazi durumu/m ² Organic arable land- eq y (Çankaya,2018)	Küresel biyoçeşitliliğin azalmasının temel olayı arazi kullanımıdır. Bir ürünün yaşam döngüsü içinde, arazi kullanımının etkileri, özellikle ormancılık ve tarıma dayalı ürünlerde, genellikle toplam çevresel yüklerin önemli bir kısmını temsil eder. Arazi dönüşümü ve arazi işgali üzerine odaklanılır (Chaudhary vd., 2016).
İnsan toksisitesi	İnsan sağlığına etki eden kategoridir.	kg 1,4-DB eq (Lolo vd.,2023)	İnsanların zararlı maddelere maruziyet duyması, sağlık problemlerine yol açabilir. Bu maruziyet genellikle besin zinciri aracılığıyla, hava, su veya toprak yoluyla gerçekleşebilir (Demirbaş, 2023).

2.5. Yaşam Döngüsü Yorumlama Aşaması

ISO standartları tarafından belirlenen bu aşama, yaşam döngüsünün önceki evrelerinde elde edilen verilerin kapsamlı bir analizini içerir. Bu analiz, sonuçların belirlenmesini, çalışmadaki kısıtların tanımlanmasını, önerilerin oluşturulmasını ve YDA çalışması sonuçlarının detaylı bir biçimde raporlanmasını içerir. İkincil tanım ise, YDA'dan çıkan sonuçların, çalışmanın başlangıcındaki amaç ve kapsam bölümü ile uyumlu olarak, anlaşılır, eksiksiz ve tutarlı olarak sunulmasını içerir (TS EN ISO 14040: 2006).

2.6. Literatürde YDA ile İlgili Bazı Çalışmalar

Türkiye’de ve Dünya genelinde tez konusuna benzer çalışmaların özetleri aşağıda sunulmaktadır.

Öztürk (2012) yaptığı çalışmada otomotiv endüstrisinin yan sanayilerinde, alüminyum alaşımından üretilen turbo emiş borusu ve plastik matrisli kompozit malzemeden üretilen tamponun yaşam döngüsü analizi yapılmıştır. Turbo emiş borusu ve tampon için yapılan karakterizasyon ve zarar etki analizi sonucunda, her iki ürünün üretim aşamasında çevresel zarar etkisinin en fazla olduğu belirlenmiştir. SimaPro 7.3.2 yazılımında, IMPACT 2002+ metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Ferrara ve diğ. (2021) yaptıkları çalışmada cam ve pet mineralli su şişelerinin yaşam döngüsü değerlendirmesini incelemişlerdir. Bu çalışma içme suyu için iki alternatif

ambalaj sisteminin karşılaştırmalı bir YDA çalışması sunmaktadır. Bunlar yeniden kullanılabilir cam şişeler ve polietilen tereftalat (PET) şişeler. Sonuçlar, birçok etki kategorisinde PET şişenin doğal su için en sürdürülebilir alternatif olduğunu göstermiştir; ancak gazlı su durumunda, iki ambalaj sisteminin çevresel etkileri benzerdir ve en çevre dostu çözüm, etki kategorisine bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Analizin en önemli bulguları şunlardır: (1) tek bir cam şişenin kaç kez yeniden kullanıldığı; (2) dağıtım mesafesi. Bu değişkenler, hangi ambalajın en sürdürülebilir olduğunu belirleyebilir. Bu nedenle, her spesifik durum için bir yaşam döngüsü değerlendirmesi yaklaşımı gerekmektedir.

Rasul ve diğ. (2019) yaptığı çalışmada Avustralya'nın Sydney şehrindeki bir bina için çatı yeşillendirme sistemlerinin çevresel etkilerini Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDA) yöntemi kullanarak analiz etmişlerdir. Simülasyon için SimaPro yazılımı kullanılmıştır. Çatı yeşillendirme sistemi ile yeşil olmayan çatı sistemleri karşılaştırılarak abiyotik tükenme, küresel ısınma potansiyeli (KIP), ozon tabakası incelmeleri (ODP), insan toksisitesi, tatlı su ekotoksitesitesi, deniz suyu ekotoksitesitesi, karasal ekotoksitesite, fotokimyasal oksidasyon, asitleşme ve ötrofikasyon gibi temel kirleticilerin ham madde tüketimi ve işletim süreçlerinden kaynaklanan çevresel etkileri değerlendirilmiştir. Sonuçlar, yeşil çatıların çevreye yeşil olmayan çatılara kıyasla yaklaşık üç kat daha olumlu etki sağladığını göstermektedir. Emisyon azaltımlarının çoğunun %35 ile %83 arasında olduğu bulunmuş; ancak ozon tabakası incelmesinin, herhangi bir yeşil çatı sistemi kurulduğunda neredeyse tamamen ortadan kalktığı tespit edilmiştir. Hem ekstansif hem de yoğun yeşil çatıların çevresel etkilerinin karşılaştırılabilir olduğu; ancak yoğun yeşil çatıların biraz daha iyi performans gösterdiği ve kentsel yaşam sistemleri için önerildiği sonucuna varılmıştır.

Asman ve diğ. (2023) yaptığı çalışmada plastik atıkların mobilyaya dönüştürülmesinin yaşam döngüsü değerlendirmesini (YDA) OpenLCA yazılımı kullanılarak gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışma, geri dönüştürülmüş yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) malzemeden üretilen ekolojik mobilyaların çevresel etkilerini OpenLCA yazılımı kullanarak değerlendirmektedir. Çalışmanın kapsamı, ekolojik mobilya üretiminde geri dönüşüm ve üretim aşamalarını kapsayan beşikten kapıya sınırını temel olarak, bir kg fonksiyonel birim üzerinden yapılmıştır. Birincil veriler (plastik atık

miktarı, elektrik tüketimi, emisyon ve su kullanımı) yerel bir geri dönüşüm merkezi olan EZplast Plastic'ten, Avrupa Yaşam Döngüsü Veritabanı'ndan ve önceki bir çalışmadan elde edilen elektrik verilerinden toplanmıştır. Ayrıca, Ecoinvent YDEA veri tabanında yer alan CML Baseline etki yöntemi kullanılarak plastik atıkların farklı etki kategorilerindeki performansı belirlenmiştir. Dokuz çevresel etki kategorisi incelenmiştir. Sonuçlar, ekolojik mobilya üretiminde kullanılan elektrik ve HDPE'nin, tüm etki kategorilerinde %78 ila %90 arasında önemli çevresel yüklemelere neden olduğunu göstermektedir.

Zeug ve diğ. (2022) yaptığı çalışmada bütünsel ve entegre Yaşam Döngüsü Sürdürülebilirlik Değerlendirmesi (YDSD) uygulaması olan: Almanya'nın Orta Bölgesi'nde laminat kaplama ahşap üretimi üzerine bir vaka çalışması gerçekleştirmişlerdir. 91 gösterge içeren, açık YDA yazılımında uygulanan ve Ecoinvent ile SoCa veri tabanlarını kullanan bütünsel ve entegre yaşam döngüsü sürdürülebilirlik değerlendirme yöntemi geliştirmişlerdir. Bu yöntem, 17 Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi'nden 15'ini ele almaktadır. Laminat kaplama ahşap ile sıcak şekillendirilmiş çelik kirişlerin bütünsel sürdürülebilirliğini değerlendirerek ilk kez yeteneklerini sergilemişlerdir. Sonuçlar, yenilenebilir biyobazlı inşaat malzemelerinin, fosil bazlı ürünlere kıyasla, çevreyi daha az zorlayarak, topluma daha az olumsuz etki yaparak ve ekonomik olarak daha verimli olarak neredeyse tüm göstergelerde daha iyi bir bütünsel sürdürülebilirliğe sahip olabileceğini göstermiştir. Ancak, laminat kaplama ahşaptaki fenolik reçine gibi fosil bazlı bileşenler, olumsuz etkilere önemli etkide bulunmakta olup, bu bileşenlerin azaltılması ve yerine yenilenebilir alternatiflerin konulması gerekmekte olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Silva ve diğ. (2019) yaptığı çalışmada farklı YDA yazılımlarının kullanılması ile aynı ürün sistemi için elde edilen farklı YDA sonuçlarını nasıl etkilediğini sunmaktadırlar. Çalışma, SimaPro, Gabi, Umberto ve openLCA olmak üzere dört YDA yazılım aracını analiz etmeye odaklanmaktadır ve Brezilya'da parça tahtası üretimi için standart bir vaka çalışması tasarlamışlardır. Ürün sistemi, kapıdan kapıya (G2G) ve beşikten kapıya (C2G) yaklaşımlar açısından modellenmiş ve ILCD orta nokta yöntemi yaşam döngüsü etki değerlendirme (YDED) yöntemi olarak kullanılmıştır. Karakterize edilmiş ve normalize edilmiş etkiler, beş farklı etki kategorisi için maksimum/minimum görece sapma açısından hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır. Mevcut yazılım araçlarının analizi,

fotokimyasal ozon oluşumu ve tatlı su ekotoksitesitesi kategorilerinin yüksek görece etkileri nedeniyle öne çıktığını göstermiştir. Ancak, tüm yazılım araçları için G2G etkilerinin, C2G etkilerinden daha az etkilendiği gözlenmiştir; bu da arka plan veri kümeleri için etkilerin nedenlerinde farklılıklar olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, Karakterizasyon Faktörleri (CF'ler) üzerine bir analiz gerçekleştirilmiş ve şu sonuçlar ortaya konmuştur: i) bazı yazılımlarda eksik CF'ler, ii) bazı yazılımlarda ek CF'ler, iii) aynı akışlar için farklı CF'ler. Bu bulgular doğrultusunda bir neden-sonuç analizi yapılmış ve iki temel neden tanımlanmıştır: arka plan veri kümeleri için ithalat süreci ve yazılım araçlarındaki YDED yöntemlerinin uygulanmasına yönelik kuralların eksikliği olduğu sonucuna varılmıştır. Bu temel nedenlerle başa çıkmak için bir yol haritası önerilmiş ve YDED yöntemlerinin Global YDA Veri Ağı'nda bir düğüm olarak eklenmesi gerektiği, dolayısıyla tüm yazılım araçlarının veri tabanlarını buradan güncellemeleri gerektiği tavsiye edilmiştir. Bu, YDA sonuçlarındaki tutarsızlıkların en azından azaltılmasına yardımcı olabileceği kanısına varılmıştır.

Hanun ve diğ. (2019) yaptığı çalışmada plastik torbanın yaşam döngüsü analizini gerçekleştirmişlerdir. FTIR analizi ve OpenLCA yazılımı, sonuçları analiz etmek için uygulanmıştır. Bu çalışmanın sonuçları, yerel sanayiler tarafından üretilen plastik torbaların çevre dostu olmadığını, üretim sürecinin doğal çevreyi ve insan sağlığını tehdit edebileceğini göstermiştir. Ayrıca, bulgulara dayanarak olası iyileştirmeler için bazı önerilerde bulunulmuştur.

Emami ve diğ. (2019) yaptığı bu çalışmada en yaygın kullanılan iki yaşam döngüsü değerlendirmesi veritabanı-yazılım kombinasyonu olan ecoinvent ile SimaPro yazılımı ve GaBi'nin, konut inşaatının gömülü çevresel etkilerine dair tahminleri karşılaştırılmıştır. Finlandiya'da bulunan bir beton elemanlı çok katlı konut binası ve bir müstakil ahşap ev olmak üzere iki farklı türde konutun etkileri, tüm bina sistemlerini yüksek bir ayrıntı seviyesiyle kapsayacak şekilde değerlendirilmiştir. ReCiPe Midpoint yöntemi temel alınarak, on beş etki kategorisi tahmin edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, kullanılan aracın seçiminin sonuçları önemli ölçüde etkilediğini sonucuna varılmıştır. Tüm bina için fark, iklim değişikliği gibi en yaygın değerlendirilen kategoride bile yaklaşık %15 civarında anlamlı ve iki durum için farklı yönlere eğilim gösterdiği sonucuna varılmıştır. Diğer kategorilerde ise tahminler tamamen farklı olduğu

görülmüştür; çoğu kategoride %40 veya daha fazla ve bazı kategorilerde binlerce yüzdeye kadar farklar gözlemlenmiştir. Bina sektöründe kullanılan Yaşam Döngüsü Analizi (YDA) araçlarının güvenilirliğinin artırılması konusunda acil ve kapsamlı çalışmaların yürütülmesi gerekmektedir. Bu tür çalışmaların hayata geçirilmesi, politika yapıcıların karar alma süreçlerinde güvenilir ve sağlam bilgilerle yönlendirilmesini sağlayacaktır. Güvenilir YDA verileri sayesinde çevresel etkiler daha doğru bir şekilde ölçülebilecek ve sürdürülebilir politikalar oluşturmak adına kritik bir temel sağlanabilecektir.

Saputra ve arkadaşları (2023) tarafından gerçekleştirilen araştırmada, farklı plastik bidonların çevreye olan etkilerinin belirlenmesi ve Politeknik ATK Yogyakarta'daki öğrenciler tarafından hangi bidonların kullanılmasının daha uygun olacağı konusu ele alınmıştır.

Çalışmada, farklı plastik türleri arasında polipropilen (PP), polietilen tereftalat (PET), düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) ve yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) olmak üzere dört farklı plastik bidon analiz edilmiştir. Bu karşılaştırma sürecinde, kapıdan kapıya yaklaşımı benimsenerek yaşam döngüsü analizi (YDA) uygulanmıştır. Analiz, OpenLCA 1.10.3 yazılımı ve ücretsiz Avrupa referans Yaşam Döngüsü Veritabanı (ELCD) 3.2 Greendelta v2.18 kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Araştırma sonuçlarına göre, CML-IA temel yöntemi kullanılarak yapılan değerlendirmede, LDPE plastik bidonunun diğer plastik bidon türlerine kıyasla tüm çevresel etki kategorilerinde üstün performans sergilediği tespit edilmiştir. Özellikle asitlenme, ötrofikasyon, tatlı su sucul ekotoksikite, küresel ısınma ve insan toksisitesi gibi çevresel etki kategorilerinde LDPE bidonunun çevre dostu bir seçenek olduğu ortaya konmuştur.

Bu sonuçlar, sürdürülebilir plastik tüketimi ve çevre üzerindeki etkilerin azaltılması açısından LDPE bidonlarının kullanımının teşvik edilmesi gerektiğini göstermektedir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Hedef ve Kapsamın Belirlenmesi

Bu tez çalışmasında, bir sergileme dolabının yaşam döngüsü analizi, iki farklı yazılım kullanılarak gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Analiz sürecinde, ücretsiz ve açık kaynaklı OpenLCA ile ücretli olan SimaPro yazılımları kullanılmıştır. Çalışmanın amacı, aynı verilere dayalı olarak seçilen ürünün küresel iklim değişikliği, ötrofikasyon, asidifikasyon gibi çevresel parametreler üzerindeki etkilerini değerlendirmek ve bu iki yazılımın sunduğu sonuçları karşılaştırarak yorumlamaktır.

Çalışmada ele alınan sergileme dolabının kabul edilen 25 yıllık kullanım ömrü boyunca ortaya çıkan çevresel etkiler detaylı bir şekilde incelenmiştir. 25 yıl sonunda, dolabın kullanım ömrünü tamamlamasının ardından geri dönüşüm ve enerji geri kazanımı senaryoları değerlendirilmiştir. Özellikle, ürünün ömrü sonunda plastik atıkların enerji üretimi için yakılması gibi senaryolar analiz edilerek, bu süreçlerin çevresel etkileri de hesaplanmıştır.

Bu çalışma, yoğun veri girişi ve kapsamlı analiz içermesi nedeniyle özgün bir özellik taşımaktadır. Ayrıca, metal, akrilik ve ahşap malzemelerle üretilen teşhir stantları alanında faaliyet gösteren yurtiçi ve yurtdışındaki firmalar için yaşam döngüsü analizi yazılımı seçiminde rehberlik edebilir. Çalışma, çevresel etkilerin azaltılmasına yönelik fırsatları sistematik olarak tanımlar ve değerlendirir. Sonuç olarak, kaynak kullanımı ve çevresel izlerin en aza indirgenmesi için potansiyel çözümler önerilmektedir.

3.1.1. Fonksiyonel Birim

Bu çalışmada üretilen teşhir stantlarından fonksiyonel birim olarak bir adet sergileme dolabı seçilmiştir. Seçilen bir adet sergileme dolabı için kullanılan malzemeler hem montajı esnasında hem de metal imalatında gerçekleşen proseslerde, sarf edilen elektrik enerjisi, sevkiyatı için tüketilen yakıt vb. gibi tüm girdi ve çıktılar değerlendirilecektir.

3.2. Tesisin Genel İş Akım Şeması

Ürün veya kurumsal marka tanıtımını artırmak için çeşitli yöntemler ve araçlar kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasında fuarlar için yapılan stantlar, sergileme dolabı gibi

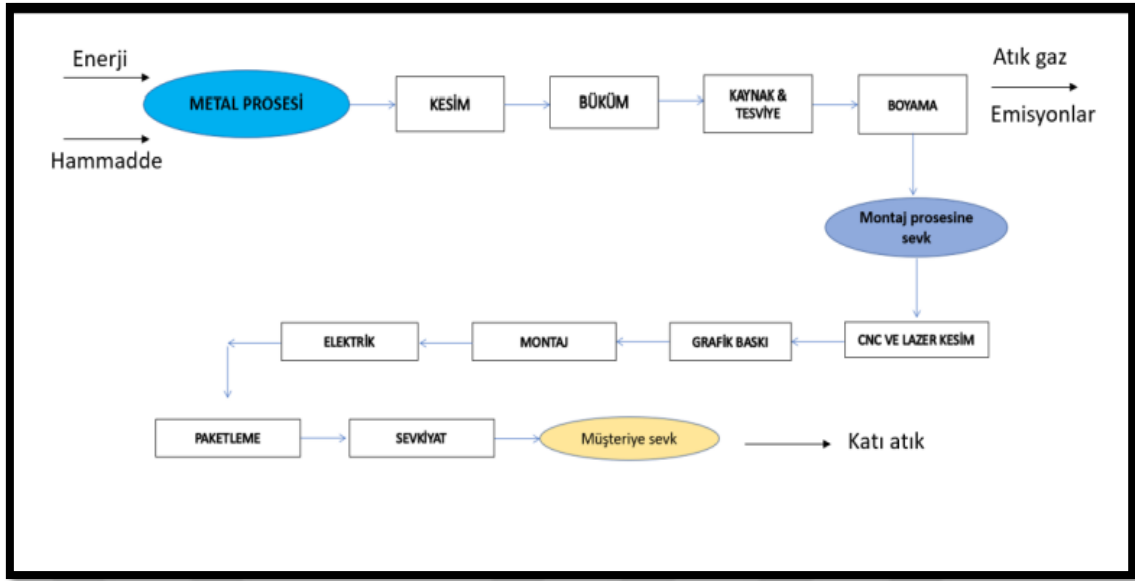
ürünler, raflar, dolaplar ile etkinlik, podyum ve sahne uygulamaları bulunmaktadır (Kırcova ve diğ., 2019).

Bu tez çalışmasında incelenen sergileme dolabı üretiminde öncelikle üretimin de ilk prosesi olan kesim işlemiyle başlanır. Kesilecek malzemeler metal ise metal lazer makinesinde hazırlanan kesim programına göre otomatik olarak kesimi yapılır. Kesimi yapılacak malzemeler plastik levha grubundaysa akrilik lazer ve CNC Router makinelerinde kesimi yapılır. Kesim sonrası metal saclar CNC büküm makinesinde hazırlanan büküm programına göre bükülür. Akrilik grubu malzemeler de yine akrilik işleme bölümünde bükümü ve yapıştırması yapılırken, kesimi ve bükümü yapılan metal malzemeler birleştirme için kaynak ve tesviye bölümüne alınmak koşuluyla kaynak ve tesviye işlemleri yapılır.

Daha sonrasında kaynağı ve tesviyesi yapılmış yarı mamuller elektrostatik toz boya hattına gelerek projede istenilen renk koduna göre boyanır. Ardından boyanmış yarı mamuller montaj hattına gelerek projesine uygun şekilde birleştirmeleri yapılır. Bu aşamada sadece metal değil plastik grubu malzemedan üretilen yarı mamuller de montaj hattında diğer parçalarla birleştirilir.

Bu aşamadan sonra montaj operasyonu devam ederken sergileme dolabı üzerindeki ışıklı alanlar için LED döşeme ve kablolama işlemleri de elektrik sorumluları tarafından montaja paralel olarak yapılır. Bu işlem yapıldıktan sonra sergileme dolabı üzerindeki görsel kısımlarının da baskıları yapılarak montaj sonrası ürün üzerinde belirtilen yerlere uygulaması yapılır. Aynı zamanda bu işlemler yapıldığında eş zamanlı olarak da tüm proses geçişlerinde ara kontroller mutlaka yapılır.

Montajı bitmiş ürünün son kontrolleri yapılarak uygun olanlar ambalajlamaya ve sevkiyat bölümüne teslim edilir. Ambalajlama bölümü ürün güvenliğini maksimum seviyede tutacak şekilde belirlenen ambalaj şekline göre ürünü paketler, gerekli etiketlemeleri yapar ve sevkiyat ekibine teslim eder. Son olarak da karar verilen sevk şekline göre ürünün müşteriye sevkiyatı gerçekleştirilir. Aşağıda Şekil 3.1. Sergileme Dolabı Üretim-Proses Akış Şeması gösterildiği gibidir.



Şekil 3.1. Sergileme Dolabı Üretim-Proses Akış Şeması

3.3. Açık Hava ve Endüstriyel Reklamcılık İşletmesi Hakkında Genel Bilgiler

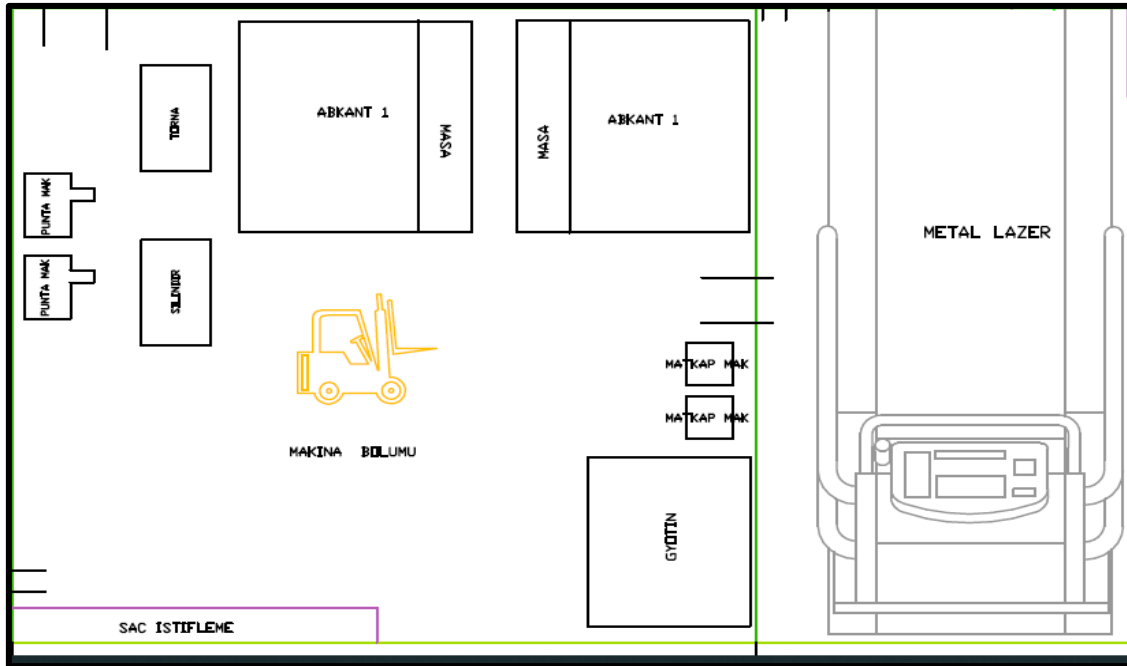
Bu çalışmaya konu olan işletme İstanbul İli, Pendik İlçesinde “Açık Hava ve Endüstriyel Reklamcılık Ürünleri” üretimi konusunda faaliyet göstermektedir.

* Makine Bölümü

Makine bölümü, işletmenin toplamda 383 m²’lik bir alanını kapsamaktadır ve bu bölüm, çeşitli üretim süreçlerinin gerçekleştirildiği önemli bir yer olarak tasarlanmıştır. Bu bölümde yurt içi tedarikçileri aracılığıyla sağlanan malzemeler, üretimde yapılacak işlerin özelliklerine ve taleplerine göre hazırlanır.

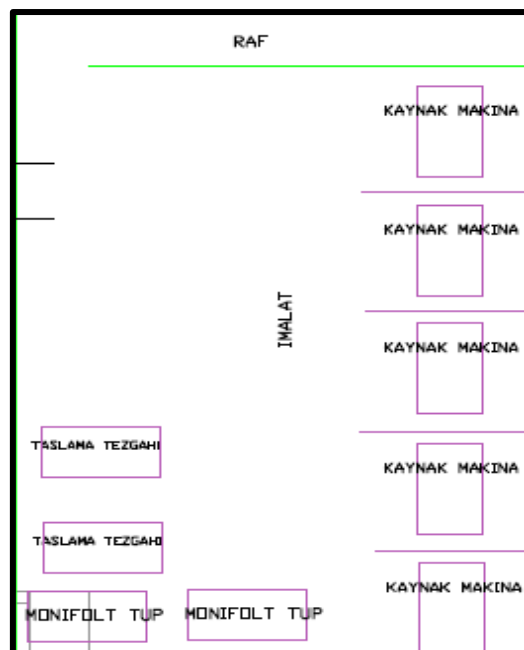
Malzemelerin işlenmesine başlamadan önce, ön hazırlık aşamasında profil, sac, alüminyum ve benzeri malzemeler, istenen ölçü ve formlarda kesilir. Bu işlem, üretimin sorunsuz ilerlemesi açısından kritik bir adımdır. Daha sonraki aşamada, proje tasarımı doğrultusunda, malzemelere gereken şekillerin verilmesi amacıyla büküm işlemleri gerçekleştirilir. Bu süreçler, üretimin kalitesini ve verimliliğini artırmak için modern ekipmanlar ve hassas tekniklerle yürütülmektedir.

Aşağıda makine bölümü vaziyet planı Şekil 3.2’de gösterildiği gibidir.



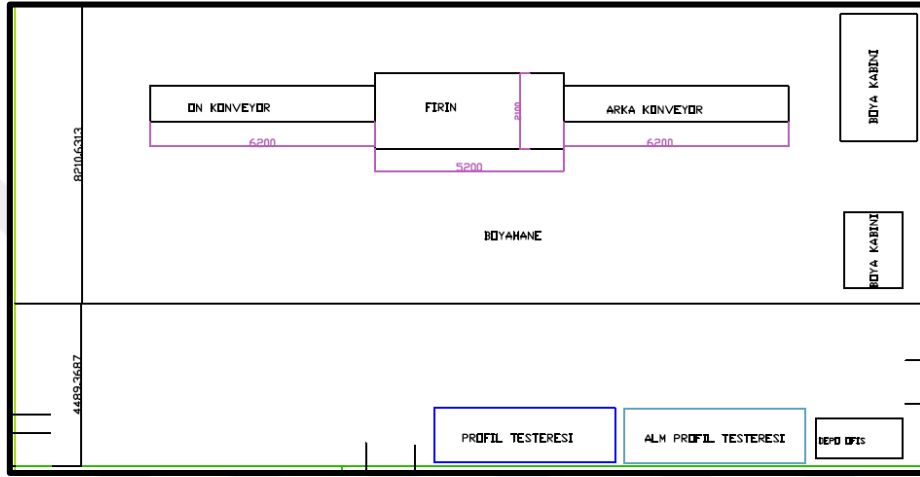
* İmalat Bölümü

İmalat bölümü işletmede 125 m² alanda yer almaktadır. Bu bölümde alüminyum malzemelerin kaynak ve taşlama işlemleri yapılmaktadır. Kaynak işlemi tamamlanan malzemeler boyahane bölümüne sevk edilmektedir. Aşağıda imalat bölümü vaziyet planı Şekil 3.3'te gösterildiği gibidir.



* Boyahane Bölümü

Boyahane bölümü işletmede 330 m² alanda yer almaktadır. Bu bölümde malzemelerin iş emrine göre boyama işlemi yapılmaktadır. Boyama işlemi sonrası ürünler montaja ve sevkiyata hazır hale getirilmektedir. Boya fırını doğalgazla çalışmakta olup ısı gücü 116 kW (0,116MW)'dır. Aşağıda boyahane bölümü vaziyet planı Şekil 3.4'te gösterildiği gibidir.



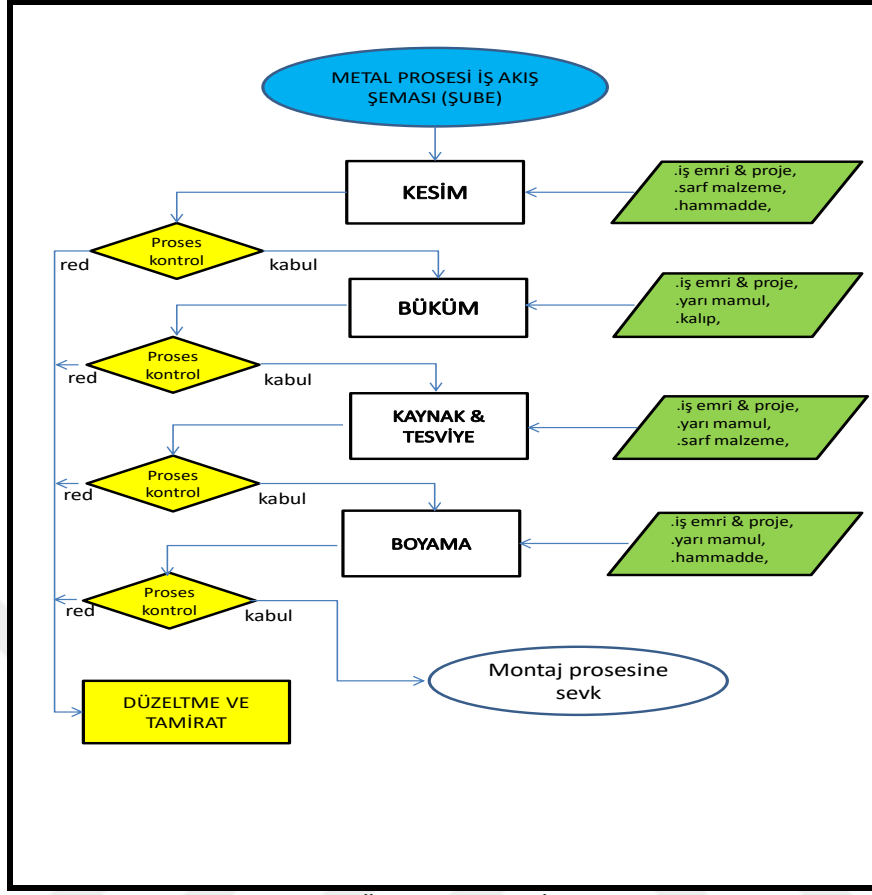
Şekil 3.4. Boyahane Bölüm Vaziyet Planı

Emisyon Bacaları: Bu bölümde dört adet baca bulunmakta olup Brülör Bacasının ısı gücü 0,116 MW'dır. Aşağıda Tablo 3.1'de tesis bacaları gösterildiği gibidir.

Tablo 3.1. Tesis Bacaları

Baca Kodu	Baca Adı	Bağlı Olduğu Proses
B3	Boya Fırını Brülör Bacası	Boya Fırını
B4	Boya Kabini Bacası-1	Boya Kabini 1
B5	Boya Fırını Bacası	Boya Fırını
B6	Boya Kabini Bacası-2	Boya Kabini 2

Atıksu Deşarjı: Bu üniteye atıksu çıkışı söz konusu değildir. Şekil 3.5 metal üretim genel iş akım şeması aşağıdaki gibi gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Metal Üretim Genel İş Akım Şeması

Çeşitli Sergileme Dolapları Üretimi Ünitesi İş Akım Şeması Açıklaması:

Hammadde: Yurt içinden temin edilen profil, sac, alüminyum, paslanmaz kaynak teli, boya, tiner vb. malzemeler üretimde yapılacak işin emrine göre hazırlanır.

Kesim: Ön üretimi yapmak üzere profil- sac, alüminyum malzemelerin istenen formda kesimi sağlanır.

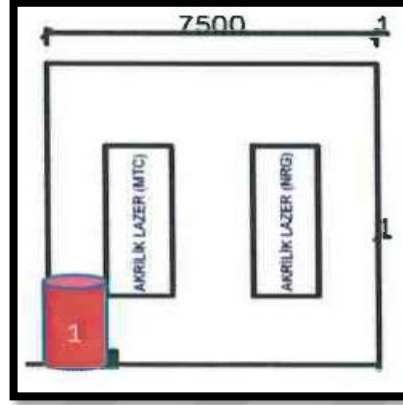
Büküm: Kesilen parçalar proje tasarımına göre şekillendirilir.

Kaynak: Kesilen ve şekillendirilen parçaların birleştirme işlemi yapılır.

Boya: Birleştirilen parçalar elektrostatik toz boyada renklendirilir.

* Akrilik Lazer Bölümü

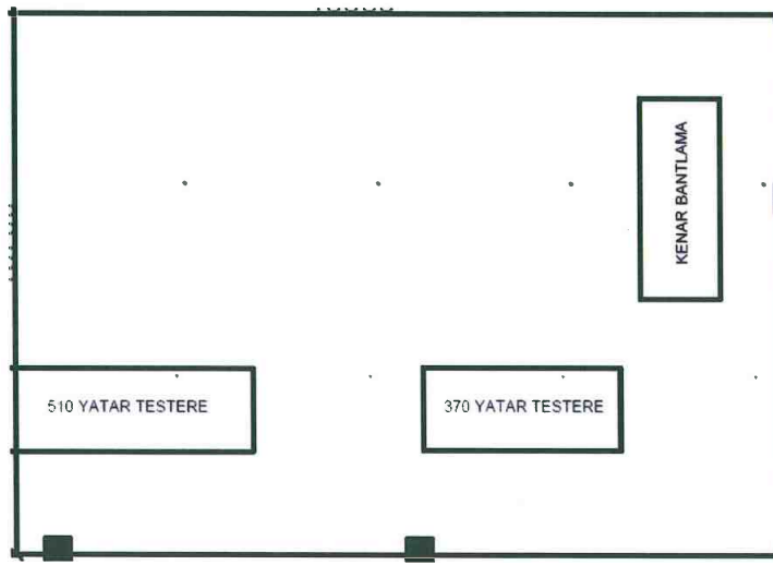
Akrilik bölümü işletmede 60 m² alanda yer almaktadır. Bu bölümde akrilik malzemelerin lazer kesimi yapılmaktadır. Lazer kesim sonrası ürünlerin montaj işlemi yapılarak sevkisyata hazır hale getirilmektedir. Aşağıda akrilik lazer bölümü vaziyet planı Şekil 3.6'da gösterildiği gibidir.



Şekil 3.6. Akrilik Lazer Bölüm Vaziyet Planı

* Marangozhane Bölümü

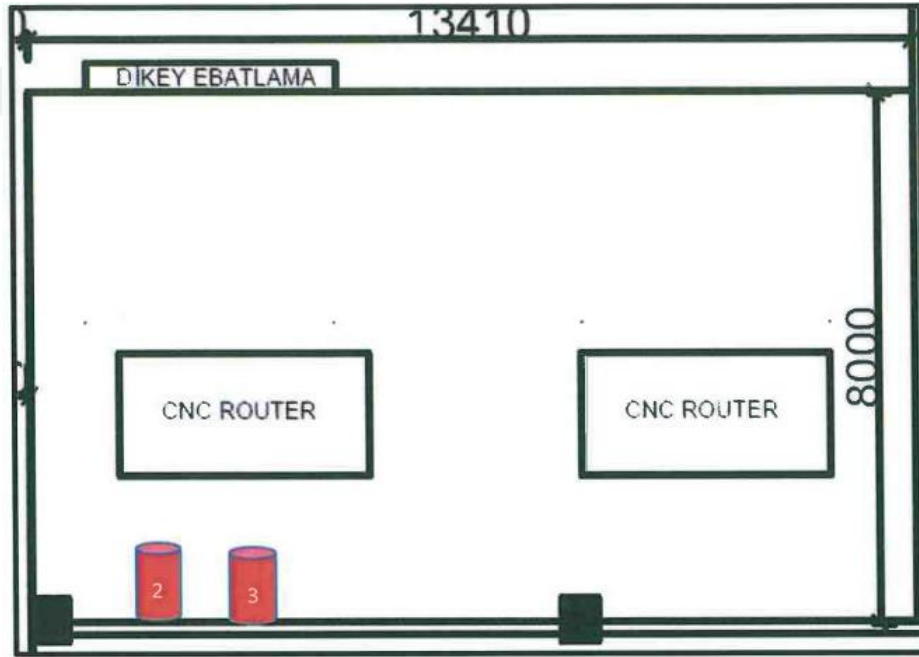
Marangoz işletmede 260 m² alanda yer almaktadır. Bu bölümde ahşap malzemelerin kesimi, ebatlaması şekillendirmesi işleri yapılmaktadır. Ahşap işleri yapılan ürünler montaja ve sevkisyata hazır hale getirilmektedir. Aşağıda marangozhane bölümü vaziyet planı Şekil 3.7'de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.7. Marangozhane Bölümü Vaziyet Planı

* CNC Bölümü

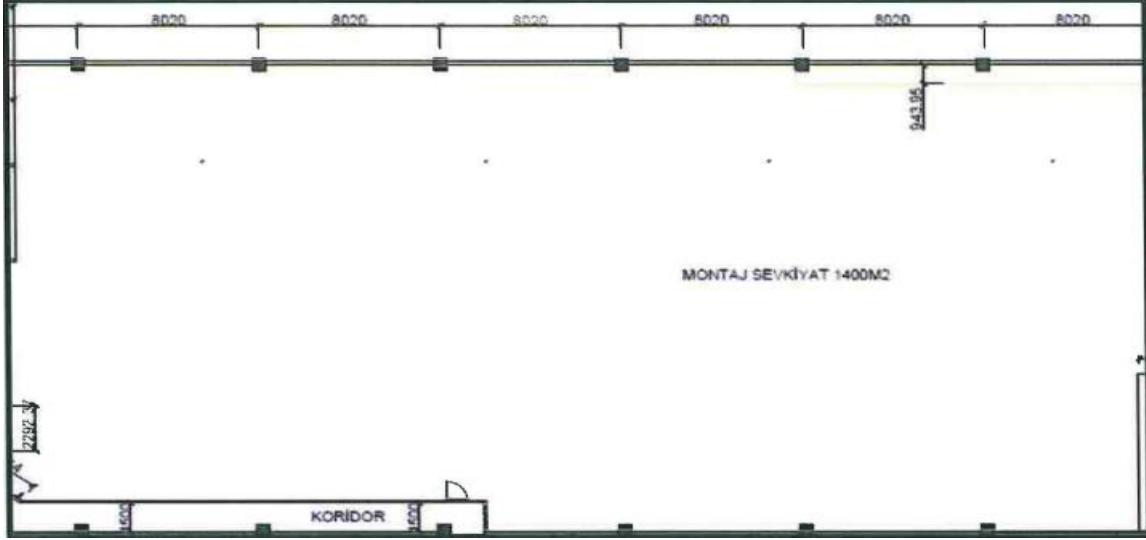
CNC bölümü işletmede 107 m² alanda yer almaktadır. Bu bölümde malzemelerin CNC işleri yapılmaktadır. CNC işleri yapılmaktadır. CNC bölümünde ağırlıklı olarak ahşap kesimi yapılmakta olup iş yoğunluğu olduğu zamanlarda metal bölümünden gelen metal parçaların da kesimi yapılması planlanmaktadır. CNC kesim sonrası ürünler montaja ve sevkiyata hazır hale getirilmektedir. CNC sonrası ürünler montaja ve sevkiyata hazır hale getirilmektedir. Aşağıda CNC bölümü vaziyet planı Şekil 3.8’de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.8. CNC Bölüm Vaziyet Planı

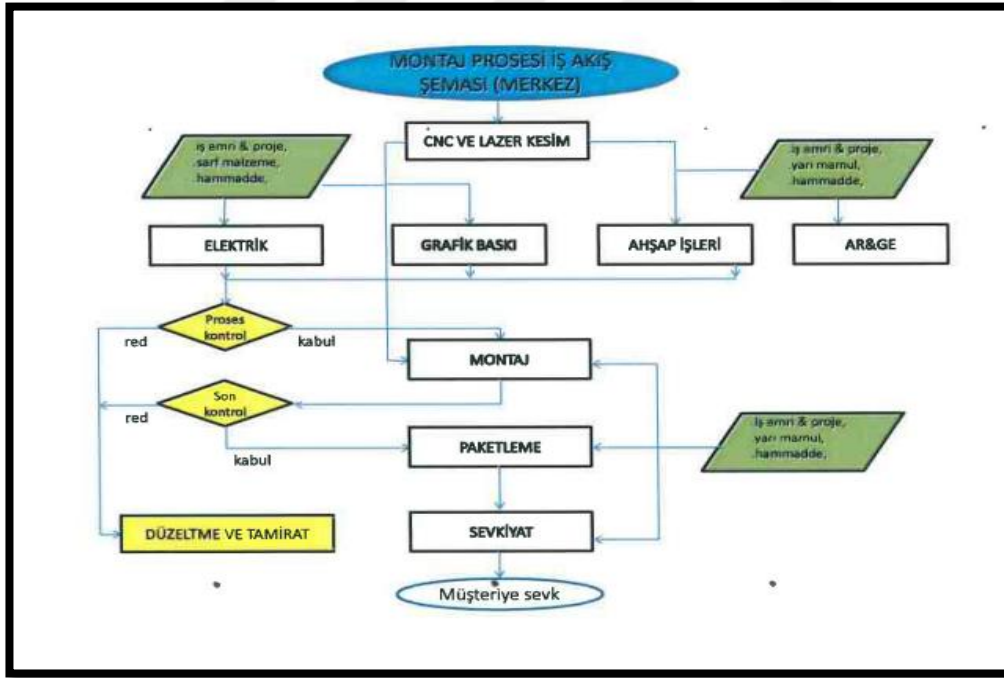
* Montaj Sevkiyat Bölümü

Montaj sevkiyat bölümü işletmede 1400 m² alanda yer almaktadır. Bu bölümde üretimi tamamlanan ürünlerin montajı yapılarak sevkiyata hazır hale getirilmektedir. Aşağıda montaj sevkiyat bölümü vaziyet planı Şekil 3.9’da gösterildiği gibidir.



Şekil 3.9. Montaj Sevkiyat Bölümü Vaziyet Planı

Aşağıda montaj bölümü genel iş akış şeması ve proses anlatımı Şekil 3.10'da gösterildiği gibidir.



Şekil 3.10. Montaj Bölümü Genel İş Akış Şeması ve Proses Anlatımı

Çeşitli Sergileme Dolapları Üretimi Ünitesi İş Akım Şeması Açıklaması:

Hammadde: Yurt içinden temin malzemeler üretimde yapılacak işin emrine göre hazırlanır.

Kesim: Ön üretimi yapmak üzere malzemelerin istenen formda kesimi sağlanır.

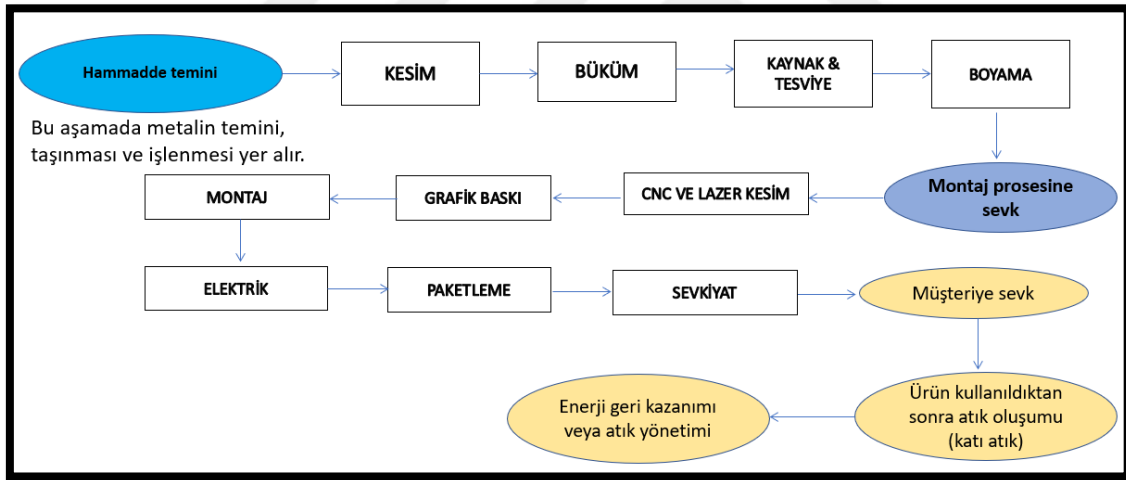
Ahşap: Kesilen parçaların birleştirilmesi ve montajın yapılması

Montaj: Renklendirilen malzemelerin iç montajı yapılarak nihai ürün elde edilir.

3.4. Sistem Sınırları

Sistem sınırları açık hava ve endüstriyel reklamcılık ürün üreten firmasında kullanılan kimyasal malzemelerin sarfiyatını, tesise taşınmasını, tüm proseslerde kullanılan elektrik enerjisinin tüketimini kapsar.

Sistem sınırları, beşikten mezara olarak seçilmiştir. Beşikten mezara yaklaşımında seçilen sistem sınırları, hammadde temininden başlayarak, malzemelerin üretim, nakliye, kullanım ve atık bertaraf aşamalarından kaynaklanan tüm çevresel etkileri değerlendirilmektedir. Aşağıda sistem sınırları Şekil 3.11’de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.11. Sistem Sınırları

3.5. Envanter Analizi

Sistem sınırları içindeki tüm girdiler ve çıktılar envantere dahil edilir. Bir adet sergileme dolabı için veriler alınmıştır. Bu veriler aşağıdaki gibidir.

* Metal Bölümü Girdileri

Sergileme dolabı üretiminin yaşam döngüsü analizi yapılabilmesi için öncelikle açık hava ve endüstriyel reklamcılık sektöründe faaliyet gösteren tesisten birincil veriler firma izni doğrultusunda alınmıştır. Sistem sınırları içerisinde gerçekleşen faaliyetler sektörün de içinde bulunduğu karmaşık yapıdan dolayı yoğun veri girişine haizdir. Bu çalışmada bir adet sergileme dolabı için sarf edilen hammaddeler, kimyasallar ve tüm prosesler için gerekli olan elektrik enerjisi sarfiyatları detaylı bir şekilde incelenmiş ve itina ile kayıt altına alınmıştır. Tesis imalat (metal bölümü) ve merkez (montaj bölümü) olmak üzere iki binadan oluştuğu için sergileme dolabı girdilerini iki ayrı bölüme ayırabiliriz; metal ve montaj bölümü olarak. Bir adet sergileme dolabı üretimi için metal bölümdeki girdiler aşağıdaki Tablo 3.2’de gösterildiği gibidir.

Bu tabloda, bir adet sergileme dolabının metal bileşenlerinde kullanılan malzemelerin miktarları kilogram (kg) cinsinden verilmiştir. Her bir satın alınan ürünün taşımadan kaynaklı karbon emisyon değerlerini hesaplayabilmek içinse satın alınan ürünlerin mesafelerinin km cinsinden değerlerini ve bir adet sergileme dolabı için her ürünün tüketilen miktarının kg cinsinden çarpılması sonucu kg*km değerleri toplamı verilmiştir.

Satın alınan ürünlerin mesafeleri ve bir adet sergileme dolabı için tüketilen malzemelerin birbiri ile çarpılması sonucu (kg*km) satın alınan ürünlerin taşımadan kaynaklı değeri 1261,87 kg*km olarak bulunmuştur. Aynı zamanda metal bölümünde bir adet sergileme dolabı üretimi için gerekli ürün miktarı da toplam 56,87 kg olarak not edilmiştir. Aşağıda metal üretimde kullanılan malzemeler Tablo 3.2’de gösterildiği gibidir.

Tablo 3.2. Metal Üretimde Kullanılan Malzemeler

<i>Ürün adı</i>	<i>Ürün için Tüketilen Miktar</i>	<i>Birim</i>	<i>Ürün Mesafesi (km)</i>	<i>Taşıma (kg*km)</i>
<i>ALÜMİNYUM LEVHA 1,5MM 1500x3000</i>	2,0196	kg	33	66,6468
<i>ALÜMİNYUM LEVHA 2MM 1500X3000</i>	0,2448	kg	33	8,0784
<i>ALÜMİNYUM LEVHA 1MM 1500X3000</i>	3,4272	kg	33	113,0976
<i>ALÜMİNYUM LED PROFİLİ 17X8 BOY:3050</i>	0,24225	kg	28	6,783
<i>MAT TOZ BOYA RAL 9003 BEYAZ</i>	0,15	kg	23	3,45

Tablo 3.2. (Devam) Metal Üretimde Kullanılan Malzemeler

Ürün adı	Ürün için Tüketilen Miktar	Birim	Ürün Mesafesi (km)	Taşıma (kg*km)
MAT TOZ BOYA RAL 9005 SİYAH	0,05	kg	23	1,15
TOZ BOYA MAT 7047 GRİ	0,5	kg	23	11,5
TOZ BOYA MAT RAL 7047 TEXTURE	1,5	kg	23	34,5
DKP LEVHA 0,7MM 1500X3000	9,1501	kg	21	192,1521
DKP LEVHA 1,5MM 1200X2400	13,9031	kg	21	291,9651
DKP LEVHA 1,0MM 1500X3000	10,2457	kg	21	215,1597
HRP LEVHA 3,0MM 1250X2500	9,5667	kg	21	200,9007
DEMİR KUTU PROFİL 30X40X1,2 BOY 6000	0,867	kg	21	18,207
DEMİR KUTU PROFİL 20X40X1,2 BOY 6000	1,872	kg	21	39,312
DEMİR KUTU PROFİL 30X30X1,2 BOY 6000	2,808	kg	21	58,968
Toplam	56,54645	kg	Toplam	1261,8704

Metal bölümünde alüminyum-demir plakalar-profiller ve kimyasal malzeme olarak da toz boyalar kullanılmaktadır. Metal bölümünde; kesim, büküm, kaynak-tesviye ve boyama işlemleri gerçekleştirilerek sergileme dolabının ana iskeleti meydana getirilir. Ek olarak, üretim faaliyeti sırasında fire olan metal ve alüminyum (atıklar) parçaları geri dönüşüme gönderilir. Aşağıda metal üretimde proseslerinde harcanan elektrik miktarları Tablo 3.3'te gösterildiği gibidir.

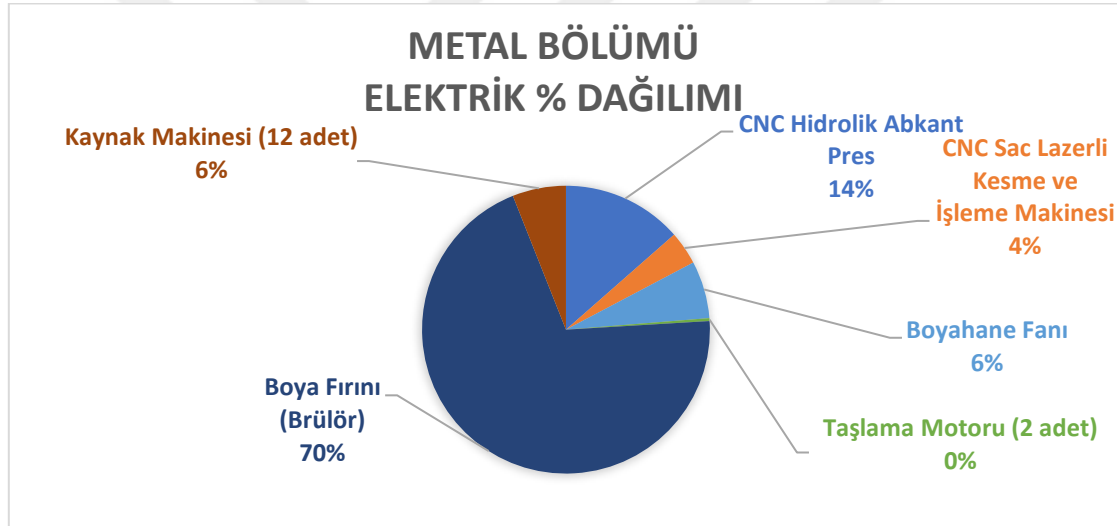
Tablo 3.3. Metal Üretimde Proseslerinde Harcanan Elektrik Miktarı (kWh)

Makineler	Makine Gücü	Birim	Ortalama Çalışma Süreleri	Birim	Günlük Tüketilen Elektrik Sarfıyatı	Birim
CNC Hidrolik Abkant Pres	11	kW	0,42	Saat	4,62	kWh
CNC Sac Lazerli Kesme ve İşleme Makinesi	3,2	kW	0,4	Saat	1,28	kWh

Tablo 3.4. (Devam) Metal Üretimde Proseslerinde Harcanan Elektrik Miktarı (kWh)

<i>Makineler</i>	<i>Makine Gücü</i>	<i>Birim</i>	<i>Ortalama Çalışma Süreleri</i>	<i>Birim</i>	<i>Günlük Tüketilen Elektrik Sarfıyatı</i>	<i>Birim</i>
<i>Boyahane Fanı</i>	11	kW	0,2	Saat	2,2	kWh
<i>Taşılama Motoru (2 adet)</i>	0,35	kW	0,32	Saat	0,112	kWh
<i>Boya Fırını (Brülör)</i>	79,61	kW	0,3	Saat	23,883	kWh
<i>Kaynak Makinesi (12 adet)</i>	15,8	kW	0,13	Saat	2,054	kWh
1 ADET BW İÇİN TOPLAM ENERJİ SARFIYATI			1,77	Saat	34,149	kWh

Aşağıda metal bölümü elektrik % dağılımları Şekil 3.12’de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.12. Metal Üretimde Proseslerinde Harcanan Elektrik Miktarı (kWh)

Bu tabloda bir adet sergileme dolabı için farklı proseslerden kaynaklanan elektrik tüketimlerinin, bu proseslerin ortalama çalışma sürelerinin saat cinsinden makine-proses güçlerinin kW cinsinden çarpılması ile kWh değerleri bulunmuştur ve bu toplam değer de 34,149 kWh olarak bulunmuştur. Metal bölümünde atık oluşumu olarak tehlikeli ve tehlikesiz olmak üzere iki şekilde olmaktadır. Öncelikle alüminyum-demir plaka-profillerden meydana gelen fireler mevcuttur. Bu fireler, firma tarafından belirlenen kalite parametreleri çerçevesinde ve her bir farklı sergileme dolabı üretimine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Aşağıda metal üretimde oluşan tehlikesiz atık miktarları Tablo 3.4’te gösterildiği gibidir.

Tablo 3.4. Metal Üretimde Oluşan Tehlikesiz Atık Miktarları (kg)

<i>Ürün Adı</i>	Atık Miktarları	Biri m	Ürün için Tüketilen Miktar	Biri m	Fire Oranı %
<i>ALÜMİNYUM LEVHA 1,5MM 1500x3000</i>	0,048	kg	2,0196	kg	0,02389
<i>ALÜMİNYUM LEVHA 2MM 1500X3000</i>	0,0058	kg	0,2448	kg	0,02389
<i>ALÜMİNYUM LEVHA 1MM 1500X3000</i>	0,082	kg	3,4272	kg	0,02389
<i>ALÜMİNYUM LED PROFİLİ 17X8 BOY:3050</i>	0,0052	kg	0,24225	kg	2,15
<i>DKP LEVHA 0,7MM 1500X3000</i>	0,219	kg	9,1501	kg	0,02389
<i>DKP LEVHA 1,5MM 1200X2400</i>	1,098	kg	13,9031	kg	0,079
<i>DKP LEVHA 1,0MM 1500X3000</i>	0,245	kg	10,2457	kg	0,02389
<i>HRP LEVHA 3,0MM 1250X2500</i>	0,319	kg	9,5667	kg	0,03336
<i>DEMİR KUTU PROFİL 30X40X1,2 BOY 6000</i>	0,0186	kg	0,867	kg	2,15
<i>DEMİR KUTU PROFİL 20X40X1,2 BOY 6000</i>	0,04	kg	1,872	kg	2,15
<i>DEMİR KUTU PROFİL 30X30X1,2 BOY 6000</i>	0,06	kg	2,808	kg	2,15
	2,1406	kg	54,34645	kg	

Bu tabloya göre bir adet sergileme dolabı için metal bölümde alüminyum ve demir plaka-profillerden meydana gelen atık miktarları toplam olarak 2,1406 kg olarak hesaplanmıştır. Metal bölümünde tehlikeli atık oluşumu, tehlikeli maddeler içeren öğütme parçalarından ve kontamine bez üstübu olmak üzere iki farklı atık şeklinde çıkmaktadır. Bu bilgilere ise çalışmadaki firmanın atık beyan bilgileri kullanılarak ulaşılmıştır ve bu değer ise 0,0101 kg olarak bulunmuştur. Kimyasal malzemelerden (boya-tiner) kaynaklanan bir atık söz konusu değildir ve bu çalışmaya dahil edilmemiştir, çünkü sergileme dolabı üretiminde boyamadan kaynaklı bir hata olmadığı kabul edilmiştir. Bu nedenden dolayı da yağ-boya sökücü gibi kimyasal malzeme kullanımı olmamış olup buna bağlı olarak da sulu süspansiyon atığı oluşmamıştır.

Metal bölümünde toplamda altı adet baca bulunmaktadır. Bunlardan beş tanesi proses, bir tanesi ise yakma bacasıdır. Tüm bunlar göz önünde bulundurulduğunda bir adet sergileme dolabı üretiminde emisyon çıkışları gözlenmektedir. Bu bilgilere de firmaya ait emisyon raporundan ulaşılmıştır. Aşağıda metal bölümüne ait emisyon raporu değerleri Tablo 3.5'te gösterildiği gibidir.

Tablo 3.5. Metal Bölümüne Ait Emisyon Raporu Değerleri

Sıra No	Emisyon Kaynağı Kod/Ad	Parametre (kg/saat)						
		CO		NO ₂	NO	SO ₂	Toz	VOC (C Cins.)
		Yakma	Proses					
1	B1	-	-	-	-	-	0,0886	0,0370
2	B2	-	-	-	-	-	0,0102	0,0035
3	B3	0,0016	-	0,0382	0,0238	0	0,0021	-
4	B4	-	-	-	-	-	0,0116	0,0134
5	B5	-	-	-	-	-	0,0696	0,1219
6	B6	-	-	-	-	-	0,0078	0,0161
Toplam Değer		0,0016	0	0,0382	0,0238	0	0,1899	0,1919
SINIR DEĞERLER								
SKHKKY Ek-3.d (Baca Başına)		5	50	-	20	60	10	10
SKHKKY Ek-2 Baca (Tesis Toplamı)		500		40	-	60	10	30
SKHKKY Ek-2 Baca Dışı		5		4	-	6	1	3

Bu tablodan her bir bacanın bir adet sergileme dolap üretimi için çalışma sürelerinin saat cinsinden ve çıkan emisyonların ise kg/saat cinsinden değerleri çarpılarak bir adet sergileme dolabı için emisyon değerleri hesaplanmıştır. Aşağıda metal bölümüne ait özet emisyon değerleri Tablo 3.6'da gösterildiği gibidir.

Tablo 3.6. Metal Bölümüne Ait Özet Emisyon Değerleri

Emisyonlar	Miktar (kg)
Toplam Toz, dust	0,2122
Toplam VOC, uçucu organik bileşik	0,05686
Toplam CO	$4,8 \times 10^{-4}$
Toplam NO	$7,14 \times 10^{-3}$
Toplam NO₂	0,01146

Metal bölümünde her bir işlem için tüm ara kontroller de yapıldıktan sonra sergileme dolabının tamamlanması için montaj bölümüne sevki gerçekleştirilir. Bu bölümde ise üretim için gerekli malzemeler ve prosesler planlanıp sistematik bir şekilde gerçekleştirilir.

* Montaj Bölümü Girdileri

Bir adet sergileme dolabı için montaj bölümündeki girdiler Tablo 3.7’de gösterildiği gibidir.

Tablo 3.7. Montaj Bölümüne Ait Ürün Girdileri

ÇAKMA SOMUN M8 FLANŞLI (KOVAN)	0,02	kg	9 km	0,18 kg*km
MATKAP UÇLU VİDA M3,9X13 YSB	0,136	kg	9 km	1,224 kg*km
ÇAKMA SOMUN M4 FLANŞSIZ	0,0187	kg	9 km	0,1683 kg*km
VİDA M4X12 YSB	0,0275	kg	42 km	1,155 kg*km
Ø12x(Ø7-4)x3MM N35 HAVŞALI MIKNATIS	0,025	kg	316 km	7,9 kg*km
KAPAK PİSTONU (KIRMIZI)	0,0085	kg	42 km	0,357 kg*km
VİDA M3,9X9,5 YSB	3,5	kg	42 km	147 kg*km
ETİKETLİK 30 MM BEYAZ (L=3250MM)	0,234	kg	40 km	9,36 kg*km
LED KANALI 8X15 ÖGE PİPSAN LZ1508 BOY: 6000	0,08505	kg	24 km	2,0412 kg*km
MOD-20(GURBETÇİLER HEADER ALT KANAL PROFİL) 2.7 METRE BEYAZ	0,0378	kg	8,6 km	0,32508 kg*km
MOD-19(GURBETÇİLER HEADER ÜST KANAL PROFİL) 2.7 METRE BEYAZ	0,0002	kg	8,6 km	0,00172 kg*km
MOD 35-FCB-DAVUT PAKET TUTUCU	0,0075	kg	8,6 km	0,0645 kg*km
Ø10x(Ø6-3)x3MM N35 HAVŞALI MIKNATIS	0,36	kg	8,6 km	3,096 kg*km
AKRİLİK PROFİL KAPAĞI BUZLU BEYAZ 16X6 BOY: 3050	0,000425	kg	24 km	0,0102 kg*km
TORNA PARÇA ÇAP 15 KALINLIK 5 BEYAZ POLYAMİD	0,005	kg	7 km	0,035 kg*km
TORNA PARÇA DIŞ ÇAP 14 DERİNLİK 8,5 BEYAZ POLYAMİD	0,00425	kg	7 km	0,02975 kg*km
VİDA M3X10 YHB	0,0068	kg	9 km	0,0612 kg*km
FİBERLİ SOMUN M4	0,0125	kg	42 km	0,525 kg*km

Tablo 3.9. (Devam) Montaj Bölümüne Ait Ürün Girdileri

<i>FİBERLİ SOMUN M6</i>	0,00025	kg	42 km	0,0105 kg*km
<i>KASET VİDASI M2,2X13 YSB</i>	0,2	kg	9 km	1,8 kg*km
<i>01978 TORNA PARÇA ÇAP 12 BOY 43,2</i>	0,1	kg	7 km	0,7 kg*km
<i>TORNA PARÇA TRANSMİSYON ÇELİĞİ BOY 34 ÇAP 10</i>	0,1	kg	7 km	0,7 kg*km
<i>TORNA PARÇA TRANSMİSYON ÇELİĞİ BOY 34 ÇAP 10(M4 DİŞLİ)</i>	0,025	kg	7 km	0,175 kg*km
<i>VİDA M4X25 YSB</i>	0,00025	kg	9 km	0,00225 kg*km
<i>SOMUN M3</i>	0,0119	kg	9 km	0,1071 kg*km
<i>VİDA M2,9X10 YHB</i>	0,01	kg	9 km	0,09 kg*km
<i>VİDA M3X25 YHB</i>	0,2	kg	9 km	1,8 kg*km
<i>ÖGE 2 NEWTON İTİCİ KAFA (C3970+C3724+YAY)</i>	0,24	kg	24 km	5,76 kg*km
<i>ÖGE 2 NEWTON YAY</i>	0,72	kg	24 km	17,28 kg*km
<i>ÖGE GRI ALT RAY C3304 L:160 MM</i>	0,96	kg	24 km	23,04 kg*km
<i>ÖGE ŞEFFAF SEPERATÖR 02C3102 L:230 MM</i>	0,04465	kg	24 km	1,0716 kg*km
<i>Led Flexi 12V 12W/m 96 Led/m Cool White</i>	4,52	kg	22 km	99,44 kg*km
<i>MEANWEL LED TRAFOSU 12,5A LRS 150 12</i>	0,28	kg	22 km	6,16 kg*km
<i>TOPRAKLI FİŞLİ KABLO 3X0,75 MM SİYAH İNGİLİZ 5 M</i>	0,002	kg	22 km	0,044 kg*km
<i>VAGO KLEMENS 2Lİ</i>	0,009	kg	22 km	0,198 kg*km
<i>VAGO KLEMENS 3LÜ</i>	0,01	kg	22 km	0,22 kg*km
<i>VAGO KLEMENS 5Lİ</i>	0,0196	kg	22 km	0,4312 kg*km
<i>KALAYLI NYAF KABLO 0.34 MM KIRMIZI</i>	0,0392	kg	22 km	0,8624 kg*km
<i>KALAYLI NYAF KABLO 0.34 MM SİYAH</i>	0,02	kg	22 km	0,44 kg*km
<i>DİŞİ L SİYAH JAK SOKET 60CM</i>	0,0125	kg	22 km	0,275 kg*km
<i>ERKEK JAK SOKET</i>	0,008125	kg	22 km	0,17875 kg*km
<i>2x0,22 Kırmızı Siyah Kablolu (Küçük Beyaz Soketli) Dişi - 20 cm</i>	1,1375	kg	22 km	25,025 kg*km
<i>2x0,22 Kırmızı Siyah Kablolu (Küçük Beyaz Soketli) Erkek - 70 cm</i>	0,091	kg	22 km	2,002 kg*km
<i>2x0,50 mm KIRMIZI-SİYAH KORDON KABLO</i>	0,0254	kg	22 km	0,5588 kg*km
<i>KORDON KABLO 2x0,75 MM SİYAH KIRMIZI</i>	0,0003	kg	22 km	0,0066 kg*km
<i>TOPRAKLAMA PABUCU YÜZÜK YK 502</i>	0,1575	kg	22 km	3,465 kg*km
<i>1x0,75 Sarı-Yeşil N2GF AF Kablo</i>	0,0000105	kg	22 km	0,000231 kg*km
<i>YÜZÜK TURUNCU (KABLO ÇAPI 0,50)</i>	0,00216	kg	22 km	0,04752 kg*km
<i>YÜZÜK KIRMIZI (KABLO ÇAPI 0,75)</i>	2,52	kg	22 km	55,44 kg*km
<i>KABLO KANALI 10X8 BEYAZ</i>	0,21	kg	22 km	4,62 kg*km
<i>FOREX 8MM BEYAZ 1500X3000</i>	0,55692	kg	24 km	13,36608 kg*km

Tablo 3.9. (Devam) Montaj Bölümüne Ait Ürün Girdileri

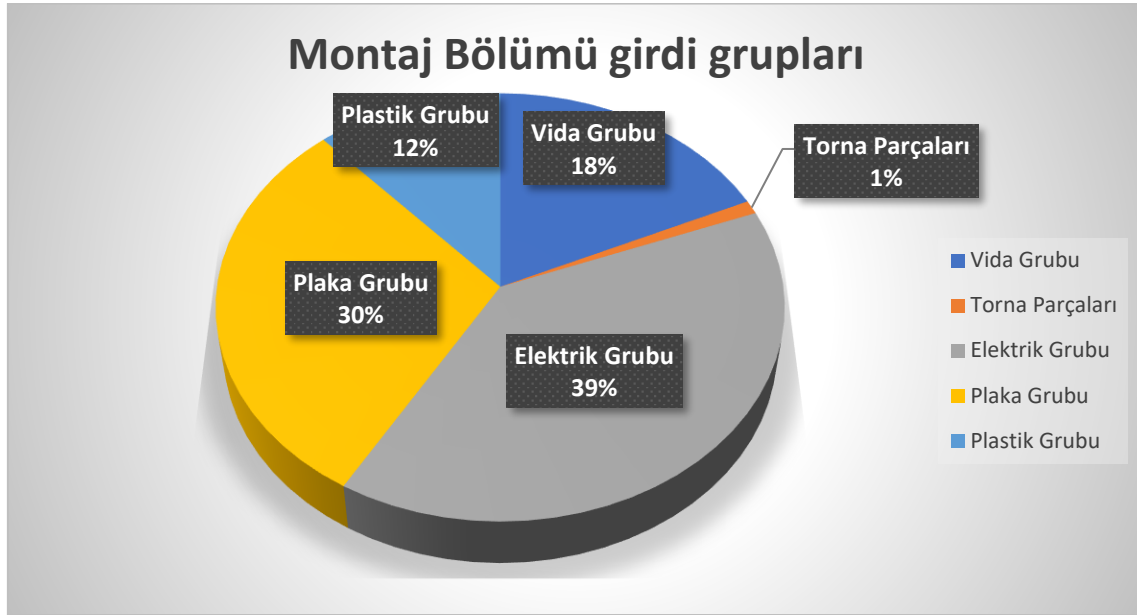
<i>1,5MM 2050X3050 PETG ŞEFFAF</i>	0,066 96	kg	24 km	1,60704 kg*km
<i>AKRİLİK 4 MM 7745 GRİ IŞIK GEÇİRMEZ 2050X3050</i>	1,785 6	kg	24 km	42,8544 kg*km
<i>AKRİLİK 3MM 2667 ALGLAS BUZLU 2000x3000</i>	0,428 4	kg	24 km	10,2816 kg*km
<i>AKRİLİK 2MM ŞEFFAF 2000X3000</i>	0,471 24	kg	24 km	11,30976 kg*km
<i>1MM 1250X2050 PETG ŞEFFAF</i>	0,762 5	kg	24 km	18,3 kg*km
<i>1MM 1250X2050 ANTİREFLEKTE PET</i>	0,732	kg	24 km	17,568 kg*km
<i>15MM POLİETİLEN BEYAZ 1000X2000</i>	0,214 2	kg	24 km	5,1408 kg*km
<i>AKRİLİK 8MM 2771 GRİ 1350X2000</i>	1,542	kg	24 km	37,008 kg*km
<i>ANTIŞOK 3MM BEYAZ 1500X3000</i>	0,321 4	kg	24 km	7,7136 kg*km
Toplam	23,04 6	kg	Toplam	590,63 kg*km

Bu tablodaki veriler bir adet sergileme dolabı için montaj bölümünde tüketilen malzemelerin miktarları kg cinsinden yazılmıştır. Her bir satın alınan ürünün taşımadan kaynaklı karbon emisyon değerlerini hesaplayabilmek içinse satın alınan ürünlerin mesafelerinin km cinsinden değerlerini ve bir adet sergileme dolabı için her ürünün tüketilen miktarının kg cinsinden çarpılması sonucu kg*km değerleri toplamı verilmiştir. Metal bölümünde olduğu gibi satın alınan ürünlerin mesafeleri ve bir adet sergileme dolabı için tüketilen malzemelerin birbiri ile çarpılması sonucu (kg*km) satın alınan ürünlerin taşımadan kaynaklı nakliye verisi değeri 590,63 kg*km olarak bulunmuştur.

Metal bölümüne göre satın alınan ürünler montaj bölümünde daha fazla olduğu için işlem kolaylığı açısından ürün grupları halinde %'lik olarak ayrılmıştır. Şekil 3.13'te görüleceği üzere montaj bölümünde satın alınan ürünler;

- ✓ Plastik grubu
- ✓ Vida grubu
- ✓ Torna parçaları
- ✓ Elektrik Grubu
- ✓ Plaka Grubu

Plaka Grubu, olmak üzere beş farklı gruba ayrılmıştır. İşlem kolaylığı açısından her farklı sergileme dolabı üretimi için böyle bir yaklaşımın göz önünde bulundurulması avantaj sağlayacaktır. Bir adet sergileme dolabının montaj aşamasındaki tüketilen malzemelerin yüzdelik dağılımı Şekil 3.13'te gösterildiği gibidir.



Şekil 3.13. Bir Adet Sergileme Dolabının Montaj Aşamasındaki Tüketilen Malzemelerin Yüzdelik Dağılımı

Montaj bölümünde; metal bölümünde iskeleti oluşturulan sergileme dolabının aksesuarları, elektriksel donanımı gibi teknik çözümleri ve müşteriye sevkiyatı gibi bir dizi işlemler gerçekleştirilmektedir. Aşağıda Tablo 3.8, Tablo 3.9, Tablo 3.10, Tablo 3.11 ve Tablo 3.12’de montaj bölümüne ait plastik-vida-elektrik-plaka grupları ve torna parçaları ile beraber ayrı bir şekilde listelendiği görülmektedir.

Tablo 3.8. Plastik Grubu

PLASTİK GRUBU
ÖGE 2 NEWTON İTİCİ KAFA (C3970+C3724+YAY)
ÖGE GRI ALT RAY C3304 L:160 MM
ÖGE ŞEFFAF SEPERATÖR 02C3102 L:230 MM

Tablo 3.9. Vida Grubu

VİDA GRUBU
<i>VİDA M3X10 YHB</i>
<i>FİBERLİ SOMUN M4</i>
<i>FİBERLİ SOMUN M6</i>
<i>KASET VİDASI M2,2X13 YSB</i>
<i>VİDA M4X25 YSB</i>
<i>SOMUN M3</i>
<i>VİDA M2,9X10 YHB</i>
<i>VİDA M3X25 YHB</i>

Tablo 3.10. Torna Parçaları

TORNA PARÇALARI
<i>01978 TORNA PARÇA ÇAP 12 BOY 43,2</i>
<i>TORNA PARÇA TRANSMİSYON ÇELİĞİ BOY 34 ÇAP 10</i>
<i>TORNA PARÇA TRANSMİSYON ÇELİĞİ BOY 34 ÇAP 10(M4 DİŞLİ)</i>
<i>ÖGE 2 NEWTON YAY</i>

Tablo 3.11. Torna Parçaları

ELEKTRİK GRUBU
<i>Led Flexi 12V 12W/m 96 Led/m Cool White</i>
<i>MEANWEL LED TRAFOSU 12,5A LRS 150 12</i>
<i>TOPRAKLI FİŞLİ KABLO 3X0,75 MM SİYAH İNGİLİZ 5 M</i>
<i>VAGO KLEMENS 2Lİ</i>
<i>VAGO KLEMENS 3LÜ</i>
<i>VAGO KLEMENS 5Lİ</i>
<i>KALAYLI NYAF KABLO 0.34 MM KIRMIZI</i>
<i>KALAYLI NYAF KABLO 0.34 MM SİYAH</i>
<i>DİŞİ L SİYAH JAK SOKET 60CM</i>
<i>ERKEK JAK SOKET</i>
<i>2x0,22 Kırmızı Siyah Kablolu (Küçük Beyaz Soketli) Dişi - 20 cm</i>
<i>2x0,22 Kırmızı Siyah Kablolu (Küçük Beyaz Soketli) Erkek - 70 cm</i>
<i>2x0,50 mm KIRMIZI-SİYAH KORDON KABLO</i>
<i>KORDON KABLO 2x0,75 MM SİYAH KIRMIZI</i>
<i>TOPRAKLAMA PABUCU YÜZÜK YK 502</i>
<i>1x0,75 Sarı-Yeşil N2GFAF Kablo</i>
<i>YÜZÜK TURUNCU (KABLO ÇAPI 0,50)</i>
<i>YÜZÜK KIRMIZI (KABLO ÇAPI 0,75)</i>
<i>KABLO KANALI 10X8 BEYAZ</i>

Tablo 3.12. Plaka Grubu

PLAKA GRUBU
<i>FOREX 8MM BEYAZ 1500X3000</i>
<i>1,5MM 2050X3050 PETG ŞEFFAF</i>
<i>AKRİLİK 4 MM 7745 GRİ IŞIK GEÇİRMEZ 2050X3050</i>
<i>AKRİLİK 3MM 2667 ALGLAS BUZLU 2000x3000</i>
<i>AKRİLİK 2MM ŞEFFAF 2000X3000</i>
<i>1MM 1250X2050 PETG ŞEFFAF</i>
<i>1MM 1250X2050 ANTİREFLEKTE PET</i>
<i>15MM POLİETİLEN BEYAZ 1000X2000</i>
<i>AKRİLİK 8MM 2771 GRİ 1350X2000</i>
<i>ANTİŞOK 3MM BEYAZ 1500X3000</i>

Metal bölümünde olduğu gibi üretim faaliyeti sırasında montaj bölümünde plastik plakalardan kaynaklanan (PET-PETG vs.) atıklar oluşmaktadır ve bunlar da geri dönüşüme gönderilir. Montaj bölümünde oluşan atıklar (fireler) Tablo 3.13’te gösterildiği gibidir.

Tablo 3.13. Montaj Bölümüne Ait Atık Miktarları (kg)

ÜRÜNLER	ATIK MİKTARLARI	BİRİM	Fire Oranı %
<i>FOREX 8MM BEYAZ 1500X3000</i>	0,011	kg	2
<i>1,5MM 2050X3050 PETG ŞEFFAF</i>	0,001	kg	1,6
<i>AKRİLİK 4 MM 7745 GRİ IŞIK GEÇİRMEZ 2050X3050</i>	0,029	kg	1,6
<i>AKRİLİK 3MM 2667 ALGLAS BUZLU 2000x3000</i>	0,0069	kg	1,6
<i>AKRİLİK 2MM ŞEFFAF 2000X3000</i>	0,0075	kg	1,6
<i>1MM 1250X2050 PETG ŞEFFAF</i>	0,0208	kg	2,73
<i>1MM 1250X2050 ANTİREFLEKTE PET</i>	0,02	kg	2,73
<i>15MM POLİETİLEN BEYAZ 1000X2000</i>	0,006	kg	3
<i>AKRİLİK 8MM 2771 GRİ 1350X2000</i>	0,04	kg	2,59
<i>ANTİŞOK 3MM BEYAZ 1500X3000</i>	0,0064	kg	2
TOPLAM	0,1486	kg	

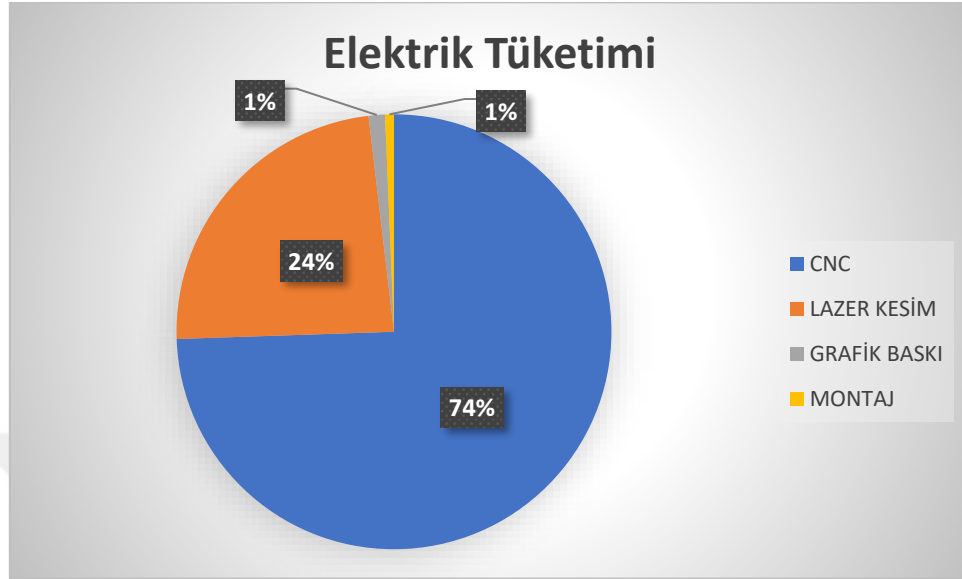
Yukarıdaki tabloya göre bir adet sergileme dolabı için sarf edilen plastik plakalardan kaynaklanan toplam atık miktarı yaklaşık olarak 0,149 kg olarak hesaplanmıştır. Bir sonraki girdi ise elektrik enerjisidir. Montaj bölümünde bir adet sergileme dolabı için sarf edilen elektrik enerjisi miktarı aşağıdaki Tablo 3.14'te proseslerine göre detaylı bir şekilde verilmiştir.

Tablo 3.14. Montaj Proseslerinde Harcanan Elektrik Miktarı (kWh)

<i>Makineler</i>	<i>Makine Gücü</i>	<i>Birim</i>	<i>Ortalama Çalışma Süreleri</i>	<i>Birim</i>	<i>Günlük Tüketilen Elektrik Sarfıyatı</i>	<i>Birim</i>
<i>Sei Laser</i>	5	kW	9	Saat	45	kWh
<i>Router 1</i>	25	kW	9	Saat	225	kWh
<i>Router2</i>	1,8	kW	1	Saat	1,8	kWh
<i>Hidrolik/Pnömatik</i>	4	kW	2	Saat	8	kWh
<i>Kompresör</i>	7,5	kW	9	Saat	67,5	kWh
<i>Toz Filtresi (%70)</i>	8,6	kW	9	Saat	54,18	kWh
<i>Diğer Makine</i>	1,1	kW	9	Saat	9,9	kWh
<i>Gönye Kesme</i>	1,3	kW	0,5	Saat	0,65	kWh
<i>Şarjlı Matkaplar (9 Adet)</i>	0,45	kW	3	Saat	1,35	kWh
<i>Sütunlu Matkap Tezgahı</i>	0,25	kW	3	Saat	0,75	kWh
<i>UV Dijital Baskı Makinesi</i>	0,178	kW	3	Saat	0,534	kWh
<i>Dijital Baskı Makinesi</i>	1,45	kW	3	Saat	4,35	kWh
			TOPLAM		419,014	kWh

Metal bölümünden farklı olarak montaj bölümünde veriye ulaşmak çok daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Burada şöyle bir yaklaşım kabul edilmiştir: Tesiste günlük ortalama 20 adet sergileme dolabı üretildiği kabulü yapılmıştır. Ardından bir adet sergileme dolabı için kullanılan makine-teçhizat ve ekipmanların günlük elektrik tüketim verileri bulunmuştur. Ortalama çalışma süreleri ise günlük olarak 20 adet sergileme dolabı üretimi için geçerlidir. Makine güçleri ortalama çalışma süreleri ile çarpıldığında montaj bölümünde 20 adet sergileme dolabı için tüketilen elektrik miktarı 419,014 kWh olarak hesaplanmıştır. Buradan yola çıkılarak bir adet sergileme dolabı için sarf edilen elektrik miktarı ise 20,95 kWh olarak bulunmuştur. Yukarıdaki tabloya göre montaj bölümündeki

elektrik sarfiyatının pasta diyagramı aşağıdaki Şekil 3.14'teki gibidir ve elektriğin en fazla CNC bölümünden sarf edildiği ortaya çıkmıştır.



Şekil 3.14. Bir Adet Sergileme Dolabının Montaj Aşamasındaki Tüketilen Elektriğin Yüzdelik Dağılımı

Toplamda bir adet sergileme dolabı için sarf edilen elektrik miktarı;

Metal Bölümü: 34,149 kWh

Montaj Bölümü: 20,95 kWh

Toplam: 55,099 kWh olarak bulunmuş ve bölümlere göre elektriksel tüketim diyagramı da aşağıdaki gibidir.

Bir adet sergileme dolabı üretimi için sarf edilen elektrik miktarı %62 oranında metal bölümünden kaynaklanmaktadır. Çünkü metal bölümünde sergileme dolabının iskeletinin oluşturulmasında kullanılan prosesler ve makineler daha fazla güce sahip ve işin büyük bir kısmını oluşturuyor. Boyanan alüminyum ve demir plakaların boya kabinlerinde kurutulması ve uygun kaliteye getirilmesi için boya fırınında yoğun bir enerji harcaması olmaktadır. Genel olarak kesim ve büküm işlemleri de bu şekilde olduğu için metal bölümünde montaj bölümüne nazaran daha yoğun bir elektrik sarfiyatı söz konusudur. Tüm bunlara ek olarak montaj bölümünde herhangi bir emisyon çıkışı veya tehlikeli atık oluşumu gözlenmemiştir.

3.6. Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirme Yöntemleri

Yaşam döngüsü analizinde amaçlara yönelik çeşitli modelleme programları kullanılmaktadır. Çalışma alanına bağlı olarak tercih edilen modeller, üzerinde çalışılacak adımların tanımlı olup olmaması, içerdiği süreçlerin ayrıntıları, çevresel etkiler ve diğer birçok faktörden etkilenir (Şanal, 2020). Literatürde sıklıkla kullanılan yaşam döngüsü etki değerlendirme metotlarından bazıları aşağıda özetlenmektedir.

CML 2001: Leiden Üniversitesi Çevre Bilimleri Enstitüsü tarafından geliştirilen CML 2001, çeşitli hesaplama yöntemlerini içeren bir analiz aracıdır. Bu yöntem hem temel hem de temel olmayan (baseline ve nonbaseline) hesaplamalar gerçekleştirebilir ve nonbaseline hesaplamalar, daha kapsamlı bir etki analizi için kullanılmaktadır. Ayrıca, 20, 100, 500 yıl ve sürekli olarak sonsuz zaman dilimlerinde etki analizi yapma yeteneğine sahiptir (Guinée ve diğ., 2002).

Eco-indicator: Eco-indicator 95'in gelişmiş bir versiyonudur ve çevresel zararı vurgulayan bir yaklaşımı benimser. Bu metodoloji, çevre üzerindeki etkileri değerlendirir ve belirli bir yöneme dayanmaktadır (Goedkoop ve diğ., 2001).

Eco-Scarcity 2006: Eco-Scarcity 2006, çevresel yasalar ve politik faktörleri analiz eden ve eko-faktör yaklaşımını benimseyen bir modeldir. Bu model, ISO 14044 standardına uygun olarak, çeşitli yöntemlerle doğal kaynakların tükenmesini ve tüketim sınırlarının ötesine geçen kaynak kullanımını değerlendirir (Tezcan, 2015).

EDIP 2003: EDIP 2003, Danimarka Teknik Üniversitesi tarafından geliştirilmiş bir yöntem olup, yerel etki kategorilerine odaklanır (Tezcan, 2015).

ILCD 2011: ILCD 2011, Uluslararası Referans Yaşam Döngüsü Veri Sistemi'nin kısaltmasıdır. Bu sistem, kalite güvencesine sahip yaşam döngüsü verileri, yöntemleri ve değerlendirmeleri kapsar. İnceleme, iki ana alan olan Endpoint ve Midpoint üzerinden gerçekleştirilir (Tezcan, 2015).

ReCiPe: Çeşitli yaşam döngüsü envanteri sonuçlarını belirli kategori numaralarına indirgemek için tasarlanmış bir modeldir. Çevresel döngü modelini temel alarak, birbirine bağlı döngüleri analiz eder (Tezcan, 2015).

TRACI 2.1: Kimyasal ve diğer çevresel etkileri azaltmak ve değerlendirmek için kullanılan bir araçtır. İnsan sağlığına olan etkileri, kanserojen olup olmama gibi konuları analiz edebilir (Tezcan, 2015).

USEtox: Kimyasalların çevresel etkilerini değerlendirmek amacıyla özel olarak tasarlanmıştır. (Tezcan, 2015).

Bu çalışmada OpenLCA yazılımında 1.11.0 CML Baseline yöntemi ve SimaPro 7.2.4 yazılımında CML 2 baseline 2000 V2.05 yöntemi kullanılarak bir adet sergileme dolabının çevresel etkileri incelenmiştir.

CML 2000 ile diğer yöntemler arasındaki en belirgin fark, Koşullu (Consequential) modelin varyasyon katsayılarının artışıdır. Varyasyon katsayısı, belirli bir değişkenin ne kadar değişken olduğunu gösterir. Yüksek bir varyasyon katsayısı, verilerin daha fazla dağıldığını ve sonuçların daha değişken olduğunu gösterir (Hélias ve diğ., 2020).

CML 2000 yöntemi, mineral ve fosil kaynakların tükenmesini tek bir etki olarak değerlendirirken, diğer yöntemler bu iki tür kaynağı ayrı ayrı ele alıyor. Bu birleşim, sonuçların varyasyon katsayılarını artırıyor çünkü kaynakların tükenmesi ile ilgili daha geniş bir etki alanı oluşturuyor (Hélias ve diğ., 2020).

CML 2000 yöntemi, iyonlaştırıcı radyasyonu hesaba katmazken, diğer yöntemler bu etkiyi dahil ediyor. İyonlaştırıcı radyasyon, çevreye ve insan sağlığına olan etkileri nedeniyle önemli bir faktördür. CML 2000’de bu etkinin yokluğu, modelin daha istikrarlı ve tutarlı sonuçlar üretmesine neden oluyor (Hélias ve diğ., 2020).

Diğer yöntemler, mineral ve fosil kaynakların tükenmesi gibi etkiler için literatüre dayalı normalizasyon referansları kullanıyor. Ancak bu referanslar, Koşullu sistem modeliyle iyi bir uyum göstermediğinden, sonuçların varyasyon katsayılarını artırıyor. Normalizasyon, belirli bir etkinin, toplam etki içindeki oranını daha anlaşılır hale getirmek için kullanılır. Literatürdeki uyumsuzluk, modelin hesaplamalarının daha belirsiz olmasına yol açar (Hélias ve diğ., 2020).

CML 2000 yöntemi, belirli etkilerin yokluğundan dolayı daha tutarlı sonuçlar elde eder. Yani, bu yöntem kullanıldığında, varyasyon katsayıları daha düşük çıkıyor. Bunun

nedeni, belirli etkilerin tek bir çatı altında toplanması ve böylece daha net bir değerlendirme sağlamasıdır (Hélias ve diğ., 2020).

3.7. Yaşam Döngüsü Değerlendirme Çalışmalarında Kullanılan Veri Tabanları

Yaşam döngüsü değerlendirme yazılımlarında kullanılan veri tabanları bazı proselere göre değişkenlik göstermektedir. OpenLCA'da ücretsiz olan agribalyse v3.01, elcd 3.2 greendelta v2.18 veri tabanları ile hesaplamalar yapılırken, SimaPro 7.2.4'de Ecoinvent veritabanı kullanılmıştır. OpenLCA yazılımında Ecoinvent ücretli bir veritabanı olduğu için bu çalışmada ücretsiz veri tabanları ile sonuçlar mukayese edilmiştir. Agribalyse, Fransız Çevre ve Enerji Yönetim Ajansı (ADEME) tarafından geliştirilmiş ve sunulan, gıda ürünlerine odaklanan bir veri tabanıdır (<https://www.OpenLCA.org/agribalyse-3-1-1-now-available-for-OpenLCA/>).

European Life Cycle Database (ELCD), Avrupa Komisyonu'nun Ortak Araştırma Merkezi'ne bağlı olarak, Avrupa Yaşam Döngüsü Değerlendirme Platformu tarafından geliştirilmiş bir veri tabanıdır. 2006 yılında ilk kez yayınlanan bu veri tabanının ana amacı, Avrupa pazarına odaklanarak yapılan Yaşam Döngüsü Analizleri (YDA) için gerekli olan ücretsiz arka plan verilerini sağlamaktır (<https://www.OpenLCA.org/agribalyse-3-1-1-now-available-for-OpenLCA/>).

ELCD'deki tüm veriler, yaşam döngüsü veri ağının giriş seviyesi gereksinimlerine uygun olarak sunulur. Veriler, veriyi sağlayan kurumlar tarafından onaylanır. Giriş seviyesi gereksinimleri, dört ana noktada kaliteyi garanti eder:

- * Veri kalitesi: Sağlanan verilerin doğruluğu ve geçerliliği.
- * Dokümantasyonun kapsamı: Veri setinin yeterli bilgi içerip içermediği.
- * Metodolojik tutarlılık: Verinin bilimsel yöntemlere uygun olup olmadığı.
- * Uyumluluk: Verinin giriş seviyesi standartlarına uygunluğu.

ELCD'deki Yaşam Döngüsü Envanteri (YDE) veri setlerine herkes ücretsiz olarak erişebilir. Verilerin bir elektronik tablo (spreadsheet) formatında indirilmesi için bir kullanıcı hesabı açmak gerekmez. Ayrıca, ILCD (International Life Cycle Data) formatında da veri setleri mevcuttur. Bu format, YDA için gereken tüm bilgileri içerecek şekilde tasarlanmıştır (URL-3).

Veri seti seçiminde kullanıcı, bir süreci seçtiğinde, o sürecin temel açıklamasını içeren bir sayfayla karşılaşır. Bu sayfa, aşağıdaki önemli bilgileri sunar:

- Yer: Veri setinin hangi coğrafi bölgeyle ilgili olduğu.
- Referans yılı: Verinin hangi yıla ait olduğu.
- Sona erme tarihi: Verinin geçerlilik süresi.
- Referans akışı: Süreçle ilgili temel akış verileri.

Bu bilgiler, kullanıcının veri setinin kendi çalışmaları için uygun olup olmadığına karar vermesine yardımcı olur.

ELCD, toplamda 503 süreç veri seti sunar. Bu veri setlerinden 190'ı, tam anlamıyla LCDN Giriş seviyesi uyumlu veri setleridir. Kalan veri setleri ise kısmen uyumludur (URL-3).

Bir veri setinin tam uyumlu sayılabilmesi için dört ana kategoride uygun olması gerekir:

- Nomenklatür: Verinin doğru ve tutarlı şekilde adlandırılması.
- Metodoloji: Bilimsel yöntemlere uygunluk.
- İnceleme: Bağımsız bir inceleme sürecinden geçmiş olması.
- Dokümantasyon: Yeterli bilgi ve açıklama içermesi.

Ecoinvent, geniş bir süreç yelpazesine sahiptir. Bu, kullanıcılara geniş bir veri kaynağı sunarken, doğru veri setini bulmayı da bazen zorlaştırabilir. Aradığınız sürece uygun sonuçları bulana kadar birkaç farklı terim denemeniz gerekebilir (Howe ve diğ., 2017).

* SimaPro'daki Ecoinvent Veri tabanının Temel Özellikleri:

Kapsamlı Veri: Ecoinvent, enerji, tarım, ulaşım, malzemeler, kimyasallar ve atık yönetimi gibi çeşitli sektörleri kapsayan geniş veri setleri sunar. Bu, kullanıcıların birden fazla endüstride değerlendirme yapmalarına olanak tanır.

Küresel Kapsam: Veritabanı, geniş bir coğrafi konum yelpazesinden veri içerir, bu da onu küresel değerlendirmeler veya belirli bölge odaklı çalışmalar için uygun hale getirir.

Yöntemsel Tutarlılık: Ecoinvent, verilerin tutarlı olmasını ve standartlaştırılmış YDA metodolojilerini izlemesini sağlar, bu da farklı çalışmalar arasındaki sonuçları karşılaştırmayı kolaylaştırır.

SimaPro ile Entegrasyon: SimaPro içinde, Ecoinvent verileri tamamen entegre edilmiştir; bu da kullanıcıların YDA modellerini oluştururken Ecoinvent veri setlerine kolayca erişmelerini ve bunları kullanmalarını sağlar. Bu entegrasyon, sonuçların yorumlanmasını ve iletilmesini de kolaylaştırır.

Güncellemeler ve Sürümler: Ecoinvent, yeni veriler, metodolojiler ve üretim süreçlerindeki değişiklikleri yansıtacak şekilde veri tabanını düzenli olarak günceller. SimaPro kullanıcıları genellikle bu güncellemelere erişebilir, bu da değerlendirmelerinin en güncel bilgilere dayandığını garanti eder (Howe ve diğ., 2017).

3.8. Yaşam Döngüsü Analizinde Kullanılan Yazılımlar: SimaPro ve OpenLCA

*** SimaPro**

Kurumsal yaşam döngüsü analizi, ürünlerin çevresel performansını artırır ve yaşam döngüsü yönetiminde araçların geliştirilmesine ve kullanılabilirliğine olanak tanır. 1990 yılında kurulan SimaPro, ana endüstriler, danışmanlık hizmetleri ve üniversiteler tarafından tercih edilmektedir. SimaPro, elli ülkede satılmakta olup çok sayıda lisanslı kullanıcıya sahiptir.

SimaPro, en fazla yayına sahip yazılım olup (511 makale), son 10 yıldaki ortalama büyüme oranı yılda % 26,3 olmuştur. (Silva ve diğ., 2019). SimaPro, piyasada 15 yılı aşkın süredir bulunan, en popüler ve yaygın olarak kullanılan yazılım programlarından biridir ve yüksek lisans fiyatlandırmasına sahiptir. Birçok avantaja sahiptir; örneğin, daha esnek olması, birçok veritabanı ile entegre olması, diğer araçlarla kolayca bağlantı kurabilmesi, kullanıcı dostu olması ve şeffaf sonuçlar üretmesi gibi.

- * Herhangi bir aşamada modelin etki değerlendirme hesaplarını gerçekleştirebilme yeteneği,
- * Uygun bir bakış açısıyla tüm sonuçları aktarabilme özelliği,
- * Kullanıcıların programı kendi başına öğrenme ve ISO 14040 standardını izleme yeteneği,
- * Ürün ağacı yönetimi yeteneği,
- * Tüm sonuçlar için detaylı alternatifler yaratma yeteneği,

- * Atık yönetimi ve geri dönüşüm senaryolarının analizini gerçekleştirebilme yeteneği, gibi çokça özelliği olan ve en çok tercih edilen yazılım programıdır (Ekinci, 2019).

SimaPro, sürdürülebilirlik uzmanlığınızı etkili bir şekilde uygulamanıza yardımcı olarak bilinçli ve bilim temelli karar verme süreçlerinizi kolaylaştırır. Yazılım, ürün yaşam döngülerini iyileştirmeye ve şirketinizin olumlu etkisini artırmaya odaklanarak sürdürülebilirlik alanında uzmanlığınızı pekiştiren bir yazılımdır. Yazılım, şeffaflığı teşvik eder ve kara kutu süreçlerinden kaçınarak bilime dayalı bir bilgi kaynağı olma amacını taşır. Ürün ve hizmetlerin sürdürülebilirlik performans verilerini toplama, analiz etme ve izleme konusunda kapsamlı bir çözüm sunar (URL-1). SimaPro sistem veri girişi arayüzü Şekil 3.15’te gösterildiği gibidir.

The screenshot displays the SimaPro software interface for data input. It features a menu bar (File, Edit, Calculate, Tools, Window, Help) and a toolbar with icons for file operations, calculation, and data management. The main window is divided into several sections:

- Products:** A table for known outputs to the technosphere, including Name, Amount, Unit, Quantity, Allocation %, Waste type, Category, and Comment. An example entry is Methanol, at plant/GLO U.
- Inputs:** A section for known inputs from nature (resources) and from the technosphere (materials/fuels). It includes sub-compartment, Amount, Unit, Distribution, SD^2 or 2*SD Min, Max, and Comment. Examples include Water, cooling, unspecified natural origin/m3 and Natural gas, high pressure, at consumer/RER U.
- Outputs:** A section for emissions to air, including Name, Sub-compartment, Amount, Unit, Distribution, SD^2 or 2*SD Min, Max, and Comment. Examples include Heat, waste, low. pop., and Nitrogen oxides, low. pop.

Şekil 3.15. SimaPro Sistem Veri Girişi Arayüzü (Hitchcock ve diğ., 2011)

- * OpenLCA

Greendelta tarafından 2006 yılında geliştirilen OpenLCA, yaşam döngüsü analizi ve sürdürülebilirlik çalışmaları için tasarlanmıştır. OpenLCA, kullanıcılarına farklı veri

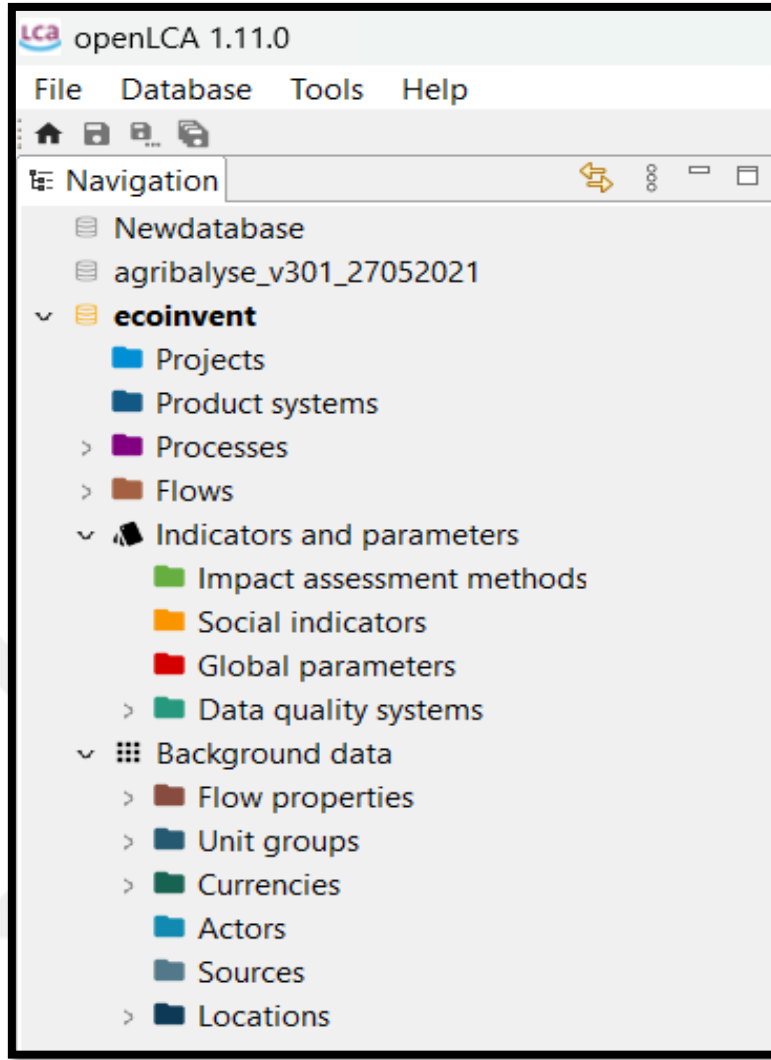
tabanlarıyla çalışma imkânı sunan bir yazılımdır. OpenLCA'nın avantajlı özelliklerinden biri, süreç ağlarının ve grafiksel modellemenin hem otomatik hem de manuel olarak oluşturulabilmesidir. Program, veri tabanına odaklanmış bir yapıyla öne çıkar. Analiz edilecek ürün veya süreçle ilgili verilerin girişi için özel bir veri tabanı oluşturulur. Bu veri tabanında proje, ürün sistemi, süreçler, akışlar ve parametreler gibi alt kategoriler bulunmaktadır (Demirbaş, 2023).

Bu araştırmada kullanılan OpenLCA 1.11.0 yazılımı, Greendelta'nın 2021 yılına ait yazılım çözümlerinden birisidir. OpenLCA yazılımı, kamuya açık ve ücretsiz olarak erişilebilen bir yazılım olarak sunulmaktadır. Bu yazılım, ürün ve hizmetlerin çevresel yönlerini düzenli ve tutarlı bir şekilde analiz edilmesine yardımcı olabilir. OpenLCA yazılımındaki süreçler ve özellikler genel olarak aşağıdaki gibidir:

Akışlar (Flows): Bir ürünün üretim sürecinde bulunan tüm ürünlerin, malzemelerin ve enerjinin giriş ve çıkışlarını temsil eder. OpenLCA'da bulunan akış türleri şu şekildedir:

- (a) elementer akışlar, üretim sürecine giren veya çıkan çevresel malzemeler veya enerji;
- (b) ürün akışları, ürün işleme sırasında değişen malzemeler veya enerji;
- (c) atık akışları, ürün sürecinden çıkan malzeme veya enerji gibi.

Veritabanı (Database): Bu çalışmada, Ecoinvent veritabanı, yaşam döngüsü envanter verilerini sağlamak için kullanılmıştır. Yaşam döngüsü etki değerlendirmesi için ise CML-IA Baseline yöntemi tercih edilmiştir. Her iki veri seti de OpenLCA Nexus üzerinden ücretsiz olarak erişilebilmektedir. OpenLCA'da veri girişi arayüzü Şekil 3.16'da gösterilmektedir.

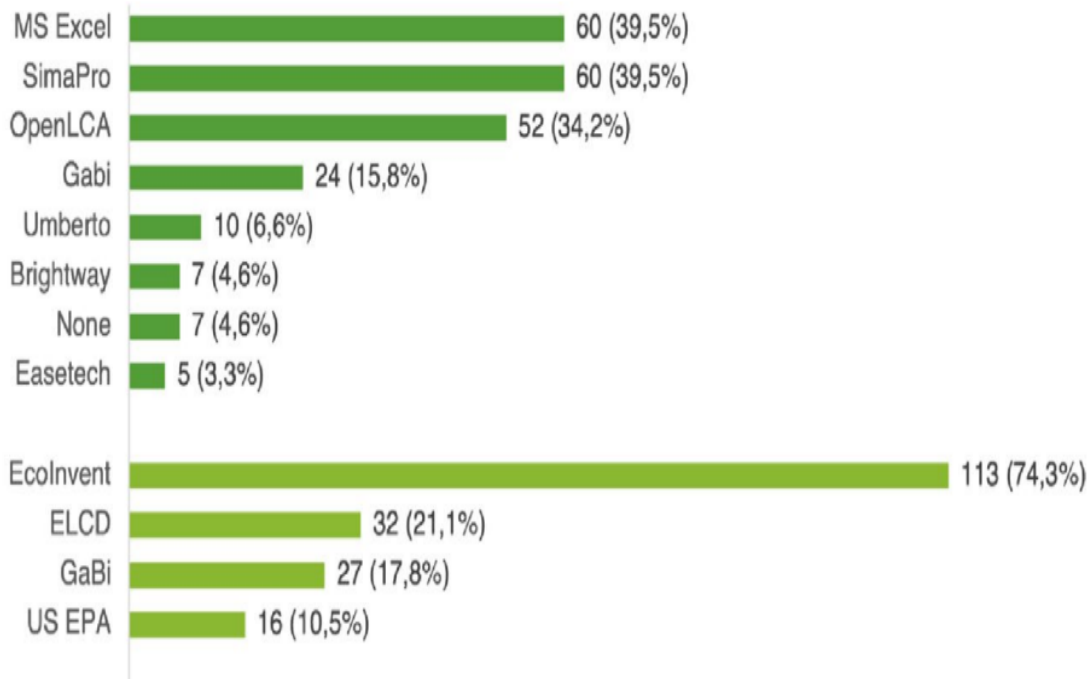


Şekil 3.16. OpenLCA Sistem Veri Girişi Arayüzü (URL-2)

Her iki yazılım programı da uzmanlar tarafından önerilmektedir, çünkü her ikisi de kullanıcı dostudur ve özgün veri tabanlarıyla desteklenmektedir. Bu programlar, yaşam döngüsü değerlendirmesi, sosyal yaşam döngüsü değerlendirmesi, yaşam döngüsü maliyetlendirmesi, karbon ve su ayak izi, ürün çevresel ayak izi (PEF) ve çevresel ürün beyanları (EPD) gibi alanlarda kullanılmaktadır. (Iswara ve diğ., 2019).

Viere ve diğ. (2024) yükseköğretimde yaşam döngüsü değerlendirmesi öğretiminin küresel durumu için yaptıkları anket tüm kıtaları kapsamakla birlikte, katılımcıların çoğu Avrupa'da ve özellikle Almanya'da çalışmaktadır. Katılımcıların neredeyse %75'i ecoinvent veri tabanını kullanırken, %21'i ELCD veri tabanını ve %18'i GaBi veri tabanlarını kullanmakta olduğu sonuçlarına ulaşmışlardır. Bu anket sonuçlarına göre en

sık kullanılan yazılım çözümleri MS Excel ve SimaPro (%40) ile OpenLCA (%34) olmuştur. Şekil 3.17'deki grafikte görüleceği üzere daha az sayıda katılımcı GaBi (%16), Umberto (%7), Brightway (%5) ve Easetech (%3) kullanmakta olduğu gözlenilmiştir. Katılımcılara belirli yazılım ve veritabanı çözümlerini kullanma nedenleri sorulduğunda, %80'i işlevselliği ana kriter olarak belirtirken, bunu erişilebilirlik (%68), maliyet (%66), kullanılabilirlik (%66), halihazırda mevcut bir lisans (%63), aşinalık (%60), performans (%51) ve diğer kriterler (%21) takip ettiği görülmüştür (Viere ve diğ., 2024).



Şekil 3.17. YDA öğretiminde kullanılan yazılımlar ve veri tabanları

(N=152; birden fazla yanıt mümkün, yazılımlar koyu renkte, veri tabanları açık renkte)

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

4.1. Sergileme Dolabı İçin OpenLCA ve SimaPro Üzerindeki İnceleme Sonuçları

Sergileme dolabı üretimi için gerekli olan hammadde ve malzeme bilgileri firma tarafından birincil veri yani direkt olarak fabrika aksiyonlarından temin edilmiştir. Metal bölümünde kullanılan alüminyum plaka-profil, demir plaka-profil ve bu malzemelerin boyanması için gerekli olan toz boyaların tümünün kimyasal içeriğini gösteren malzeme güvenlik ve bilgi formlarından; montaj bölümündeki gerekli olan plastik malzemeler, aksesuarlar, tedarik edilen hammaddelerin temininden (taşımacılık sonucu) kaynaklı emisyonları ve bir adet sergileme dolabının nakliyesi için ortaya çıkan emisyonlar, girdiler bölümüne not edilmiştir. Detaylı incelemeler yapılarak tüm hammadde girdileri, miktarların birimleri de dikkate alınarak bir adet sergileme dolabı için kayıt altına alınmıştır.

Fonksiyonel birimi bir adet olan sergileme dolabı için hammadde girdileri ve çıktılar aşağıda Tablo 4.1'deki gibi gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Hammadde Girdileri ve Çıktıları

Girdiler	Miktar	Birim
2,4-D bütiletil ester	0,075	kg
Akrilonitril bütadien-stiren granül (ABS)	10	kg
Alüminyum plaka	5,93	kg
Baryum sülfat	0,0125	kg
Baryum sülfat	0,0375	kg
Karton kutu	2	kg
Di-n-bütül tin diasetat	0,075	kg
Elektrik karışımı	55,099	kWh
Etil asetat	0,075	kg
Hidrazin, 2-hidroksietil-	0,075	kg
Demir plaka	48,4	kg
Polietilen teraftalat (PET) granül	16	kg
Polistiren granül (GPPS)	0,2	kg
Polivinilklorid (B-PVC)	0,75	kg
Polivinilklorid (S-PVC)	7,43	kg
Titanyum dioksit, >80% TiO ₂	0,0375	kg
(kg*km) dolap için tedarik edilen malzemelerin taşımacılığı	2794,7	kg*km
(kg*km) nakliye edilen dolabın taşımacılığı	493440,4	kg*km

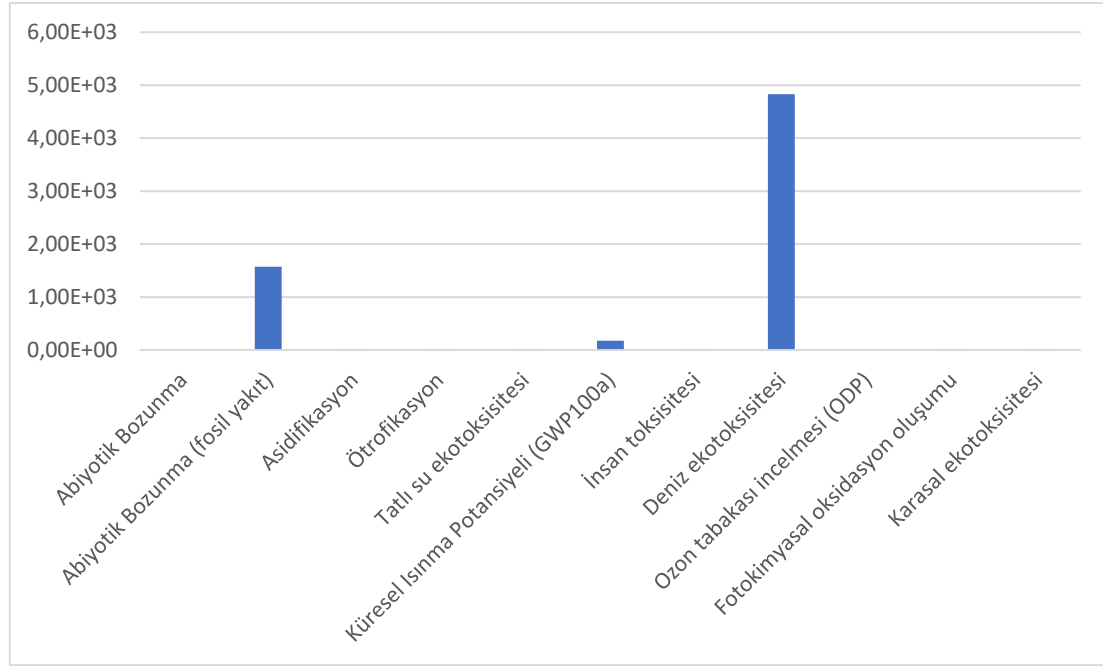
Tablo 4.1. (Devam) Hammadde Girdileri ve Çıktıları

Çıktılar	Miktar	Birim
Karbon monoksit	0,00048	kg
Toz	0,2122	kg
Tehlikeli atık	0,0101	kg
Kağıt atıkların depolanması	0,2	kg
Nitrojen oksit	0,01860	kg
Atık (metal)	2,14	kg
Atık (plastik)	0,1486	kg
Uçucu organik bileşik (VOC)	0,05686	kg
Atık demir metallerin yakılması	46,17	kg
Atık plastiklerin yakılması	33,43	kg
Sergileme Dolabı	1	adet

Çıktılar kısmına bakıldığında, bir adet sergileme dolabının üretilmesi sonucu metal bölümündeki bacalarda oluşan emisyonların hepsi, üretim sonucu atık oluşumu ve müşterinin sergileme dolabını kullanımı sonrasındaki senaryolarına kadar olan tüm süreçler çıktılar bölümüne eklenmiştir. OpenLCA ve SimaPro üzerinde yapılan incelemeler sonucu bir adet sergileme dolabı üretimi için çıkan sonuçlar aşağıda Tablo 4.2’de ve Şekil 4.1’de gösterildiği gibidir.

Tablo 4.2. OpenLCA-Fonksiyonel Birimi Bir adet Olan Sergileme Dolabının Etki Kategorileri Sonuçları

Etki Kategorisi	Birim	Etki Değerlendirme Sonuçları
Abiyotik Bozunma	kg Sb eq	5,75391E-09
Abiyotik Bozunma (fosil yakıt)	MJ	1573,703987
Asidifikasyon	kg SO ₂ eq	0,44085881
Ötrofikasyon	kg PO ₄ --- eq	0,038761437
Tatlı su ekotoksitesitesi	kg 1,4-DB eq	0,187564098
Küresel Isınma Potansiyeli (GWP100a)	kg CO ₂ eq	177,7131361
İnsan toksisitesi	kg 1,4-DB eq	11,17875319
Deniz ekotoksitesitesi	kg 1,4-DB eq	4831,686979
Ozon tabakası incilmesi (ODP)	kg CFC-11 eq	6,48888E-06
Fotokimyasal oksidasyon oluşumu	kg C ₂ H ₄ eq	0,040650068
Karasal ekotoksitesitesi	kg 1,4-DB eq	0,087141456



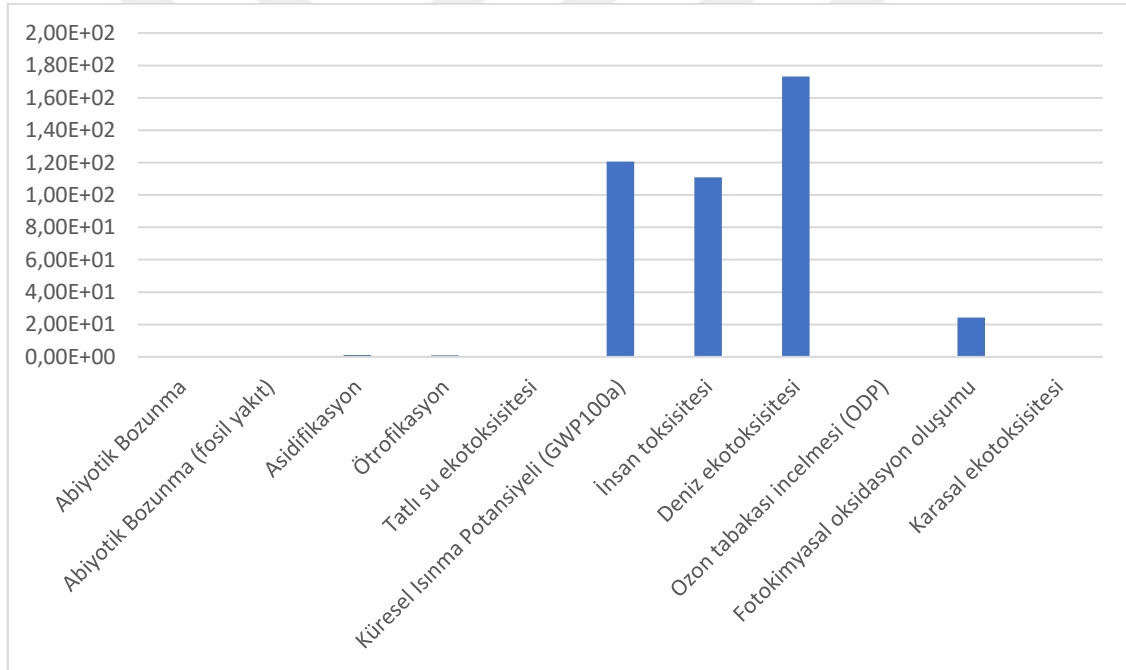
Şekil 4.1. Sergileme Dolabı Normalizasyon Sonuçları OpenLCA

Yukarıdaki tabloda incelenen etki kategorileri CML-IA baseline yöntemine göre değerlendirilmiştir (y eksenini etki kategorilerinin sayısal değerleridir). Yapılan değerlendirmeler sonucunda OpenLCA’da bir adet sergileme dolabı için en çok olumsuz etkilenen etki kategorisi deniz ekotoksitesitesi olarak bulunmuştur. Benzer şekilde Hanun ve diğ. (2019) yaptıkları plastik bir çantanın yaşam döngüsü değerlendirmesi çalışmasında tüm kategoriler arasında en çok olumsuz etkilenen etki kategorisinin deniz ekotoksitesitesi olduğu sonucuna varmışlardır. Bunun da sebebinin enerji sarfiyatında fosil yakıt gibi yenilenemez enerji kaynağının kullanılması ve kirleticilerin suya salınması olarak açıklamışlardır (Hanun ve diğ., 2019). Şekil 4.1 incelendiğinde abiyotik bozunma (fosil yakıt bazlı) kategorisinin en fazla etkilenen ikinci kategori olduğu sonucuna varılmıştır ve benzer şekilde Hanun ve diğ. (2019) deniz ekotoksitesitesinin ardından fosil bazlı abiyotik bozunma (kaynak tüketimi) kategorisi en fazla etkilenen ikinci kategori olduğunu gözlemlemişlerdir. Rasul ve diğ. (2019) yaptığı çalışmada; Sydney şehrindeki bir bina için çatı yeşillendirme sistemlerinin çevresel etkilerinin yaşam döngüsü analizinde tüm etki kategorileri arasında en fazla olumsuz etkilenen kategorinin de deniz ekotoksitesite kategorisi olduğunu açıklamışlardır.

Fonksiyonel birimi bir adet olan sergileme dolabının SimaPro sonuçları Tablo 4.3 ve Şekil 4.2’de aşağıda gösterildikleri gibidir.

Tablo 4.3. SimaPro-Fonksiyonel Birimi Bir Adet Olan Sergileme Dolabının Etki Kategorileri Sonuçları

Etki Kategorisi	Birim	Etki Değerlendirme Sonuçları
Abiyotik Bozunma	kg Sb eq	5,62E-08
Abiyotik Bozunma (fosil yakıt)	MJ	5,62E-08
Asidifikasyon	kg SO ₂ eq	1,081220
Ötrofikasyon	kg PO ₄ --- eq	0,92325539
Tatlı su ekotoksitesitesi	kg 1,4-DB eq	0,00
Küresel Isınma Potansiyeli (GWP100a)	kg CO ₂ eq	120,6197
İnsan toksisitesi	kg 1,4-DB eq	110,8161
Deniz ekotoksitesitesi	kg 1,4-DB eq	173,0866
Ozon tabakası incilmesi (ODP)	kg CFC-11 eq	0,00
Fotokimyasal oksidasyon oluşumu	kg C ₂ H ₄ eq	24,3849
Karasal ekotoksitesitesi	kg 1,4-DB eq	0,00



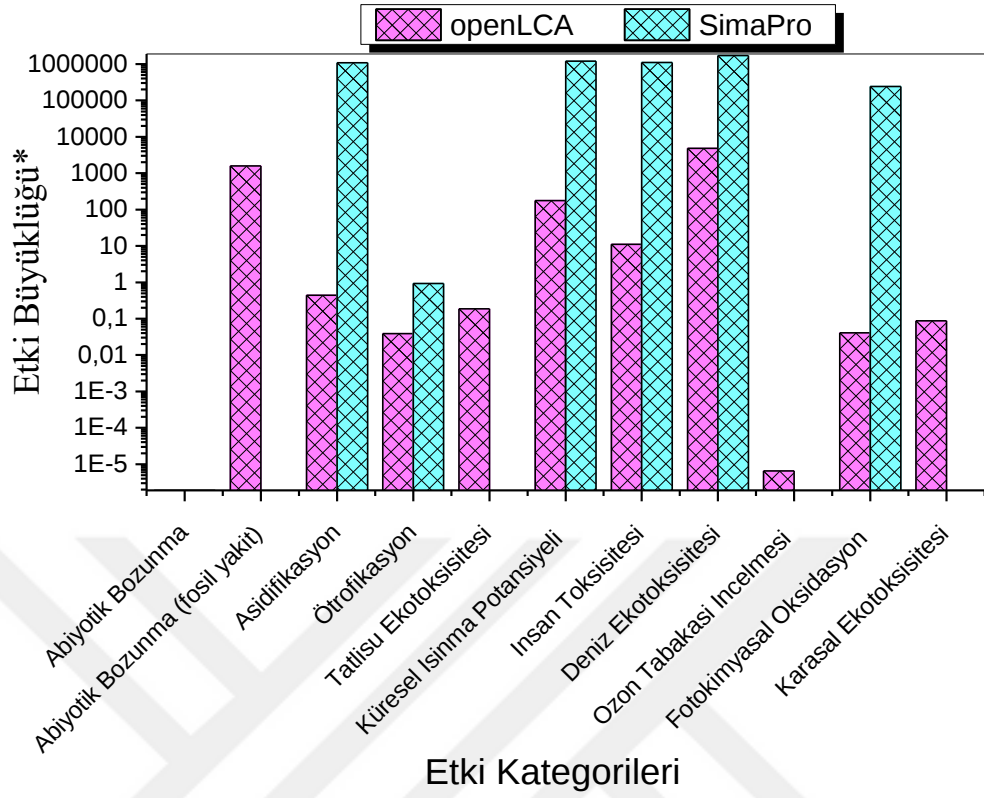
Şekil 4.2. Sergileme Dolabı Normalizasyon Sonuçları SimaPro

Yukarıdaki tabloda incelenen etki kategorileri OpenLCA'daki (versiyon 1.11.0) en yakın yöntem olan CML 2 baseline 2000 V2.05 yöntemine göre değerlendirilmiştir (y eksenini etki kategorilerinin sayısal değerleridir). Yapılan bu incelemeler sonucunda SimaPro' da bir adet sergileme dolabı için en fazla etkilenen etki kategorisi OpenLCA' da da olduğu gibi deniz ekotoksitesitesi olarak bulunmuştur. Küresel ısınma potansiyeli kategorisi en fazla etkilenen ikinci kategori olduğu gözlenirken, insan toksisitesi kategorisi bir adet

sergileme dolabı üretiminde en fazla etkilenen üçüncü kategori olduğu görülmüştür. SimaPro yazılımında da olduğu gibi Hanun ve diğ. (2019) çalışmasında da deniz ekotoksitesinden sonra küresel ısınma potansiyeli ve insan toksisitesi fazla etki yapmıştır. Arteaga ve diğ. (2015) arkadaşlarının yaptığı Şili’deki kömür bazlı elektrik enerjisinin yaşam döngüsü değerlendirmesi çalışmasında da deniz ekotoksiste kategorisi en çok negatif etkilenen kategori olduğunu gözlemlemişlerdir. Aşağıda fonksiyonel birimi bir adet olan sergileme dolabının SimaPro ve OpenLCA’daki sonuçları Tablo 4.4 ve Şekil 4.3’te gösterilmiştir.

Tablo 4.4. Fonksiyonel Birimi Bir Adet Olan Sergileme Dolabının Etki Kategorileri Sonuçları Kıyaslaması

Etki Kategorisi	Birim	OpenLCA	SimaPro	Etki Yöntemi OpenLCA	Etki Yöntemi SimaPro
Abiyotik Bozunma	kg Sb eq	5,75E-09	5,62E-08	CML-IA baseline	CML 2 baseline 2.05
Abiyotik Bozunma (fosil yakıt)	MJ	1573,703987	-	CML-IA baseline	CML 2 baseline 2.05
Asidifikasyon	kg SO ₂ eq	0,44085881	1,081220	CML-IA baseline	CML 2 baseline 2.05
Ötrofikasyon	kg PO ₄ --- eq	0,038761437	0,92325539	CML-IA baseline	CML 2 baseline 2.05
Tatlısu Ekotoksitesitesi	kg 1,4-DB eq	0,187564098	0,00	CML-IA baseline	CML 2 baseline 2.05
Küresel Isınma Potansiyeli	kg CO ₂ eq	177,7131361	120,6197	CML-IA baseline	CML 2 baseline 2.05
İnsan Toksisitesi	kg 1,4-DB eq	11,17875319	110,8161	CML-IA baseline	CML 2 baseline 2.05
Deniz Ekotoksitesitesi	kg 1,4-DB eq	4831,686979	173,0866	CML-IA baseline	CML 2 baseline 2.05
Ozon Tabakası İncelmesi	kg CFC-11 eq	6,49E-06	0,00	CML-IA baseline	CML 2 baseline 2.05
Fotokimyasal Oksidasyon	kg C ₂ H ₄ eq	0,040650068	24,3849	CML-IA baseline	CML 2 baseline 2.05
Karasal Ekotoksitesitesi	kg 1,4-DB eq	0,087141456	0,00	CML-IA baseline	CML 2 baseline 2.05



Şekil 4.3. Bir Adet Sergileme Dolabının Çevresel Etkilerinin OpenLCA ve SimaPro Yazılımlarındaki Değerleri

(* y eksenindeki değerler, etki kategorileri arasındaki büyük değer farklarını kompanze ederek aynı grafikte gösterebilmek amacıyla logaritmik ölçekte verilmiştir. Etki kategorilerinin gerçek sayısal değerleri Tablo 4.4'te gösterilmektedir.)

Her iki yazılımda da yapılan hesaplamalarda kullanılan yöntemlerinin aynı olması özen gösterilmiştir; ancak bu kullanılan versiyonların ve veri tabanların farklılığından dolayı pek mümkün olmadığı için birbirine en yakın olan yöntemler seçilmiştir. OpenLCA 'da kullanılan yöntem CML-IA baseline olurken, SimaPro' da ise bu CML 2 baseline 2000 V2.05 yöntemi olmuştur. Bu sonuçlar ışığında OpenLCA yazılımında bir adet sergileme dolabının üretiminde en çok etkilenen etki kategorisi yaklaşık 4831 kg 1,4-DB eq sayısal değeri ile deniz ekotoksitesitesi kategorisi olurken benzer yöntem ile Simapro'da yine aynı kategori 173,0866 kg 1,4-DB eq sayısal değeriyle en yüksek etki derecesine sahip olmuştur. Ardından fosil yakıt kaynaklı abiyotik bozunma kategorisi 1573,7 MJ değeriyle OpenLCA yazılımında en yüksek etki derecesine sahip ikinci kategori olarak bulunmuştur. Küresel ısınma potansiyeli kategorisi SimaPro yazılımında yaklaşık 120 kg CO₂ eq sayısal değeriyle en çok etkilenen ikinci etki kategorisi olarak

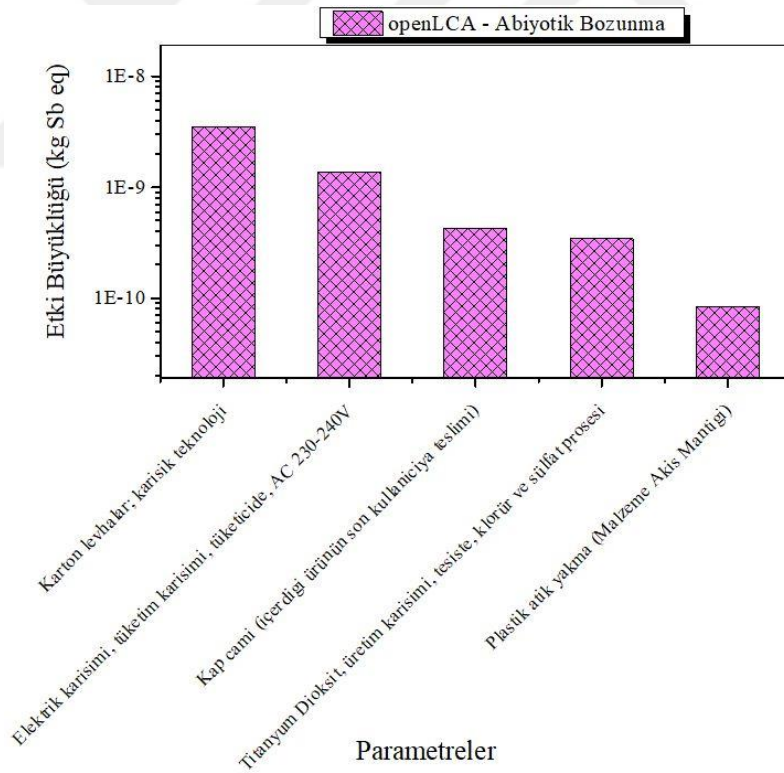
not edilmiştir. Rasul ve diğ. (2019) yaptıkları çalışmada SimaPro yazılımı kullanılarak Sydney şehrindeki bir bina için çatı yeşillendirme sistemlerinin çevresel etkilerinin yaşam döngüsü analizi incelenmiş olup ve küresel ısınma potansiyeli etki kategorisi tüm etki kategorilerinin içinden en fazla negatif tesir eden ikinci çevresel kategorisi olduğu sonucuna ulaşmışlardır (Rasul ve diğ., 2019). Abiyotik bozunma kategorisi ise SimaPro yazılımında 5,62E-08 olarak hesaplanmıştır ve genel olarak OpenLCA ile SimaPro yazılımları arasındaki tüm etki kategorilerinde sayısal değerlerde farklılıklar olduğu gözlenmiştir. OpenLCA'da küresel ısınma potansiyeli 177,7 kg CO₂ eq değeriyle en çok etkilenen üçüncü etki kategorisi arasına girerken bu kategori SimaPro'da en fazla etkilenen ikinci kategori olarak bulunmuştur. İnsan toksisitesi OpenLCA yazılımında yaklaşık 11,18 kg 1,4-DB eq olarak hesaplanırken bu değer SimaPro yazılımında 110,8161 olarak bulunmuştur. Bazı etki kategorilerindeki sayısal değerlerin OpenLCA'da fazla, bazılarında ise SimaPro'da fazla olduğunu gözlemlemekteyiz. Aşağıdaki bölümde tüm alt etki kategorilerinin iki farklı yazılımda çıkan sonuçları gösterilmektedir. Bu alt etki kategoriler OpenLCA'da CML-IA baseline yöntemine göre; abiyotik bozunma, abiyotik bozunma (fosil bazlı), asidifikasyon, ötrofikasyon, tatlısu ekotoksitesitesi, küresel ısınma potansiyeli, insan toksisitesi, deniz ekotoksitesitesi, ozon tabakası incelmeleri, fotokimyasal oksidasyon, karasal ekotoksitesite olmak üzere 11 kategoriye ayrılmaktadır. SimaPro'da CML 2 baseline 2000 V2.05 yöntemine göre incelenen bu kategoriler; abiyotik bozunma, asidifikasyon, ötrofikasyon, tatlısu ekotoksitesitesi, küresel ısınma potansiyeli, insan toksisitesi, deniz ekotoksitesitesi, ozon tabakası incelmeleri, fotokimyasal oksidasyon, karasal ekotoksitesite olmak üzere 10 kategoriye ayrılmaktadır.

4.1.1. Abiyotik Bozunma Kategorisi

OpenLCA ve SimaPro yazılımlarında abiyotik bozunma kategorisi sonuçları aşağıdaki tablolarda belirtilmiştir. Abiyotik bozunma kategorisinin birimi kg Sb eq 'dur. Abiyotik tükenme potansiyeli (ATP), yenilenemeyen hammaddelerin- fosil yakıtlar- vb. çıkarılması ve bu tarz kaynakların tüketimiyle ilgili olan bir kavramdır (Zhu, 2004). OpenLCA abiyotik bozunma kategorisi incelendiğinde bir adet sergileme dolabı üretimine bu ürünün paketlenmesi için kullanılan karton vs. malzemelerinin abiyotik bozunmaya en çok etki eden parametre olduğu görülmüştür. Paketleme amacıyla üretilen karton/kâğıt vb. materyallerinin üretilip ardından kullanılması abiyotik bozunmaya en

çok olumsuz şekilde etki eden faktör olduğu gözlemlenmiştir. Ardından bir adet sergileme dolabı üretiminde sarf edilen elektriğin en çok etki eden ikinci parametre olduğu görülmüştür. Olumsuz çevresel etkilere neden olan etkenler arasında sırasıyla; taşıma ve elektrik tüketimi etkin faktörler arasında olmuştur (Şanal, 2020). Bunun nedeni ise Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerin elektrik karışımının büyük bir çoğunluğunun hala fosil yakıt bazlı olmasıdır. Doğal kaynakların tükenmesi, esas olarak ürün üretiminde kullanılan yenilenemez enerjinin fazla olması nedeniyle oluşmaktadır (Ndizeye ve diğ., 2021).

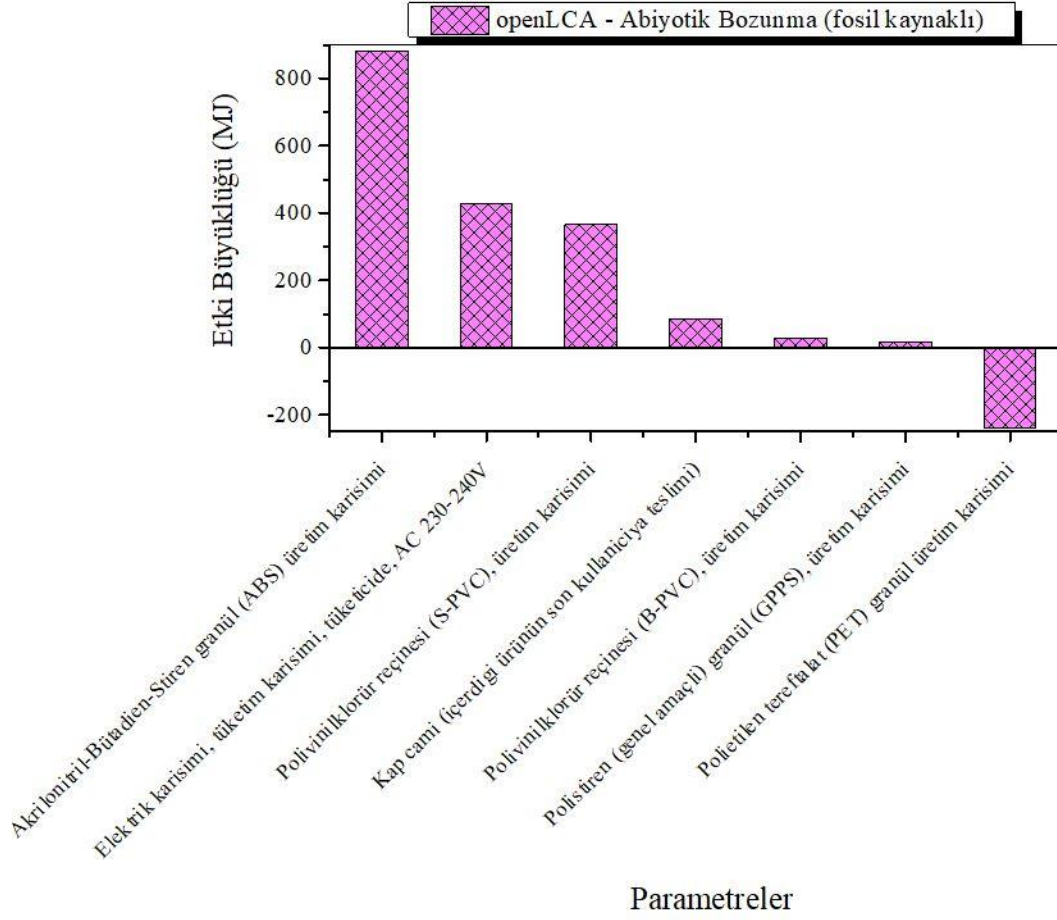
Bir adet sergileme dolabının üretiminde hammadde girdisi olan titanyum dioksit bileşeni toz boya malzemesinin bünyesinde yer almaktadır. Bu bileşiğinde abiyotik bozunmaya en fazla etki eden üçüncü parametre olduğu görülmüştür. Aşağıda OpenLCA'da abiyotik bozunma kategorisine etki eden parametreler Şekil 4.4'te gösterildiği gibidir.



Şekil 4.4. Abiyotik Bozunma Kategorisi

(* y eksenindeki değerler, etki kategorileri arasındaki büyük değer farklarını kompanze ederek aynı grafikte gösterebilmek amacıyla logaritmik ölçekte verilmiştir.)

Abiyotik bozunma (fosil bazlı) kategorisine ise bir adet sergileme dolabı üretiminde gerekli olan pusher (itici) malzemesinin hammaddesi olan ABS (Akrilonitril-Bütadien-Stiren) polimerinin üretimi ve hammadde olarak kullanılması en çok etki eden parametre olduğu görülmüştür. Ardından elektrik karışımı ise abiyotik bozunmaya (fosil bazlı) en fazla tesir eden ikinci parametre olduğu gözlenmiştir. Asman ve diğ. (2023) Malezya’da yaptıkları plastik atıklardan mobilya üretimindeki yaşam döngüsü değerlendirmesi çalışmasında küresel ısınma potansiyeli, asidifikasyon, ozon tabakası incilmesi, abiyotik bozunma ve fotokimyasal oksidasyon kategorilerine en fazla olumsuzluk veren parametrenin elektrik enerjisi olduğu bulgusunu paylaşmışlardır. Tesiste makineler tarafından parçalama ve kalıplama sırasında tüketilen elektrik, değerlendirilen çevresel etkilerin en geniş ve önemli kümelerini sağlamıştır. Etki kategorileri arasında elektriğin, abiyotik bozunmaya %78 oranında katkıda bulunduğu gözlemlenmiştir (Asman ve diğ., 2023). Bu oranın da yüksek olmasının temel sebebinin kaynak kullanımında elektrik karışımının büyük çoğunluğunun yenilemeyen enerjilerden sağlanıyor olmasıdır. Ardından bir adet sergileme dolabın üretiminde kullanılan plastik materyallerin etki dereceleri fosil bazlı abiyotik bozunmaya olumsuz etkiler göstermiştir. Sergileme dolabı üretiminde kullanılan PET plastiğinin abiyotik bozunma kategorisi üzerinde negatif bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, sergileme dolabının kullanım ömrünün sona ermesiyle birlikte son kullanıcı veya müşteri tarafından atık/hurda olarak değerlendirilmesi ve enerji kazanımı sürecine dahil edilmesidir. PET plastiği, yanma sırasında yüksek enerji verimi sağlayan bir malzeme olduğundan, bu durum fosil bazlı abiyotik bozunma kategorisinde negatif bir etki olarak modellenabilir (Shen ve diğ., 2010). Aşağıda OpenLCA’da fosil bazlı abiyotik bozunma kategorisine etki eden parametreler Şekil 4.5’te gösterildiği gibidir.

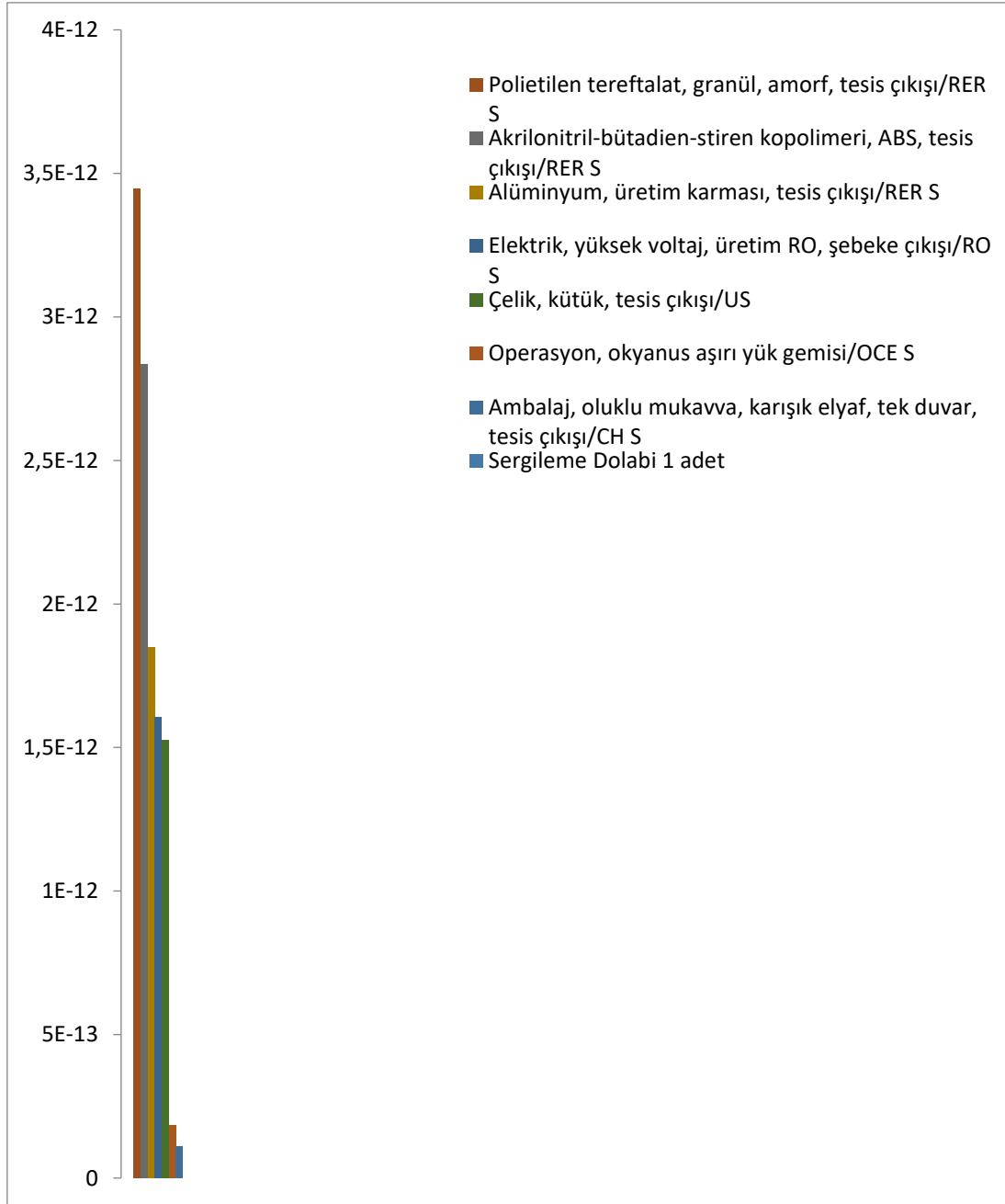


Şekil 4.5. Abiyotik Bozunma (fosil kaynaklı) Kategorisi

(* y eksenindeki değerler, etki kategorileri arasındaki büyük değer farklarını kompanze ederek aynı grafikte gösterebilmek amacıyla logaritmik ölçekte verilmiştir.)

Aşağıda Şekil 4.6’da ise abiyotik bozunma kategorisinin SimaPro yazılımındaki sonuçlarını göstermektedir.

Aşağıdaki görsel incelendiğinde (y eksenini etki kategorilerinin sayısal değerleridir) SimaPro’da bir adet sergileme dolabı için elzem olan plastik rafların (pusher-itici) hammaddesi olan ABS polimerinin üretimi ve bu dolabın yapısında kullanılması, yine aynı şekilde dolabın bünyesinde gerekli olan plastik materyallerin abiyotik bozunma kategorisine en fazla negatif tesir ettiği sonucuna varılmıştır. Plastikler, petrolün hem bir hammadde hem de enerji kaynağı olarak kullanılmasından dolayı abiyotik kaynak tüketimine etkilerinin yüksek olmasına sebebiyet vermektedir (Cordellaa ve diğ., 2016).



Şekil 4.6. Abiyotik Bozunma Kategorisi

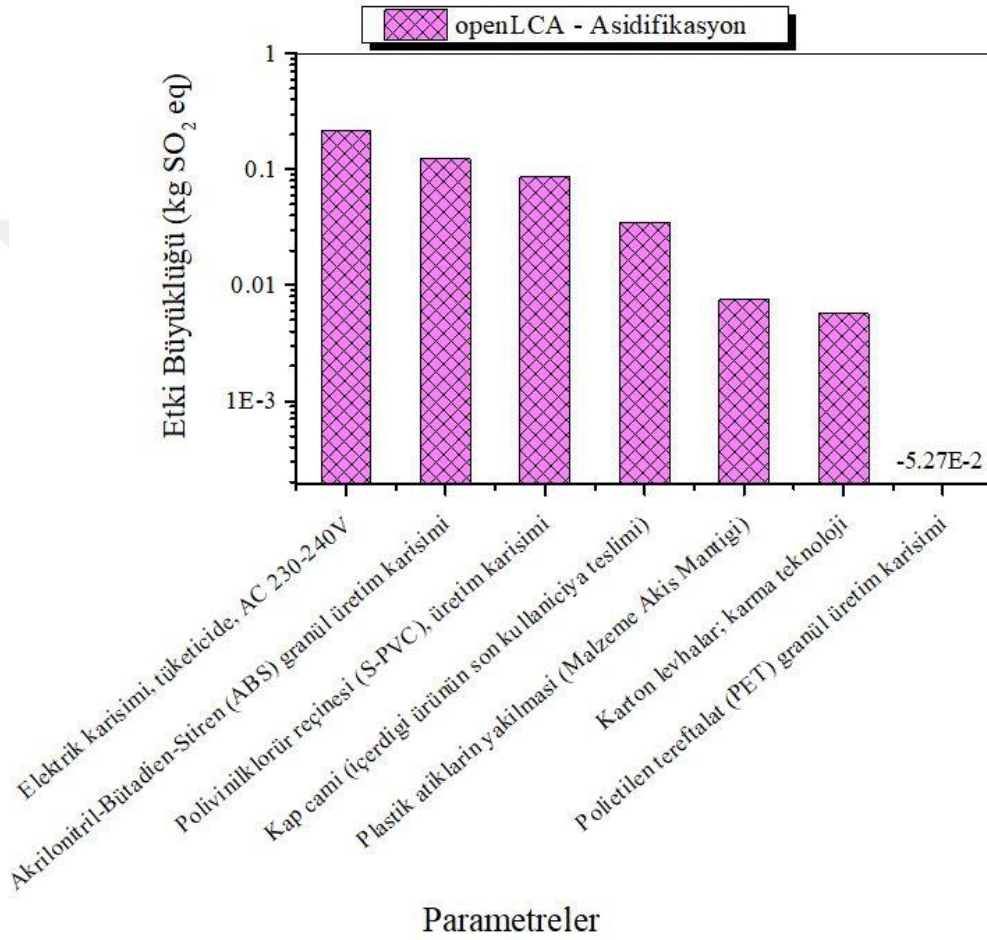
Ardından bir adet sergileme dolabının üretilmesinde kullanılan alüminyum plaka/materyallerinin üretimi ve dolabın iskeletinde kullanılması da abiyotik bozunmaya en çok tesir eden üçüncü parametre olurken, bu dolabın üretimi için tüketilen elektriğin abiyotik bozunma kategorisine en fazla etki eden dördüncü parametre olduğu gözlenmiştir. Tüm bunlar göz önünde bulundurulduğunda bütün parametrelerin ortak özelliği kullanılan hammaddelerin fosil bazlı olmasıdır.

Ambalajlama aşaması, fosil yakıt kaynaklarının tüketimi, küresel ısınma potansiyeli, ve toksik etkiler gibi çevresel etki kategorilerine en önemli katkıyı sağlar ve diğer etki kategorilerinde de ortalamanın üzerinde bir paya sahiptir. Kömür, doğal gaz ve ham petrol gibi fosil yakıtlardan plastik üretimi, abiyotik bozunma üzerinde dikkate değer bir etkiye sahiptir. Bu fosil yakıtların çıkarılması ve işlenmesi sırasında oluşan sera gazı emisyonları ve plastik sektöründeki yüksek enerji gereksinimleri, küresel ısınma potansiyeli üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Ayrıca, plastiklerin biyolojik olarak parçalanamaması ve küresel ölçekte yaygın olan plastik kirliliği, karasal ekotoksitesitesi üzerinde ciddi bir etki yaratmaktadır (Duman, 2023).

4.1.2. Asidifikasyon Kategorisi

Toprağın ve suyun asidifikasyon potansiyeli, asit birikimi olarak ifade edilebilir ve çevresel koşullara bağlı olarak asitlik derecesinde değişikliklere sebebiyet verebilir. Bu durum, bitki ve hayvan yaşamını genellikle olumsuz yönde etkileyebilir (Zhu, 2004). Birimi kg SO₂ eq 'dur. OpenLCA asidifikasyon değerlendirmesine göre bu kategoriye en fazla olumsuz etki eden parametrenin bir adet sergileme dolabının üretimi için sarf edilen elektrik enerjisinden kaynaklandığı gözlenmiştir. Asman ve diğ. (2023) Malezya'da yaptığı plastik atıklardan mobilya üretimindeki yaşam döngüsü değerlendirmesi çalışmasında elektrik tüketiminin asidifikasyon kategorisi üzerine yaklaşık %85 oranında etki ettiği sonucuna varmışlardır. Asidifikasyonu oluşturan temel kirleticiler NO_x, HCl, NH₃ ve SO₂ 'dir. Sonuçlara göre, asitleşmenin büyük bir kısmının da ürün tedariki için yapılan taşımacılık sırasında üretilen azot dioksit ve kükürt dioksitten kaynaklanmaktadır. Dizel yakıtın yanmasından kaynaklanan emisyonlar, su ile reaksiyona girdiğinde asit üretir. Bu olay, yağmur suyunun SO_x ve NO_x kirleticileriyle reaksiyona girip asit yağmurlarına yol açmasıyla sıkça meydana gelir. Bu durum, CO₂'nin su ile reaksiyona girerek bikarbonat (HCO₃⁻) ve karbonik asit (H₂CO₃) konsantrasyonunu artırmasına neden olur (Subawi ve diğ., 2021). Elektrikten salınan kükürt dioksit, azot monoksit, azot dioksit, amonyak ve kükürt trioksit gibi gazlar da asitleşmeye katkıda bulunmaktadır (Saputra ve diğ., 2023). Şanal (2020) profil boru üretimi çalışması incelendiğinde, model sonuçları profil boru üretiminde enerji tüketimi esnasında oluşan SO₂ emisyonları kirliliğe sebep olduğunu saptamıştır. Bu sebeple elektrik tüketimi faktörü asidifikasyon etki kategorisinde yüksek yüzde oranlarına sahip olmuştur. Ardından sergileme dolabında

raflarda kullanılan ABS plastik malzemesinin üretiminden ve raflarda pusher (itici) olarak kullanılması asidifikasyona en çok etki eden ikinci faktör olduğu görülmüştür. Aşağıda OpenLCA'da asidifikasyon kategorisine etki eden parametreler Şekil 4.7'de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.7. Asidifikasyon Kategorisi

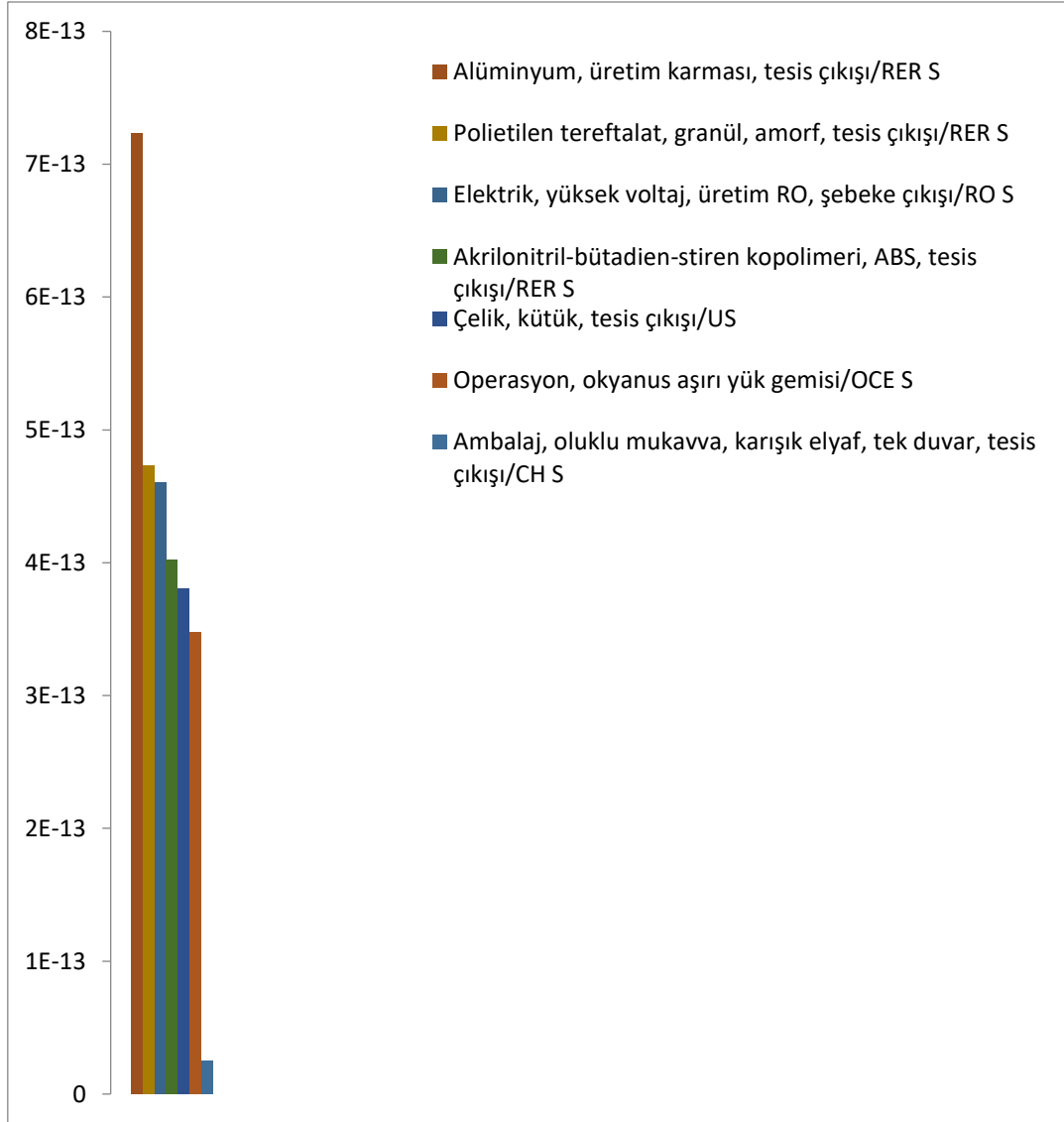
(* y eksenindeki değerler, etki kategorileri arasındaki büyük değer farklarını kompanze ederek aynı grafikte gösterebilmek amacıyla logaritmik ölçekte verilmiştir.)

Ardından bir adet sergileme dolabın üretiminde kullanılan plastik materyallerin etki dereceleri fosil bazlı abiyotik bozunmaya olumsuz etkiler göstermiştir. Müşteriye ulaştıktan sonra sergileme dolabının kullanım ömrü sonunda atık oluşumu ve bu üründe kullanılan hammaddelerinin geri kazanımı için yapılan işlemlerin (yakma vs.) en çok tesir eden beşinci parametre olduğu gözlenmiştir. Ürünlerin veya ürün parçalarının yeniden

kullanılması, yeni birimlerin üretimiyle ilişkili çevresel etkileri doğrudan önleyebilir (Cordellaa ve diğ., 2016).

Aşağıda Şekil 4.8’de ise asidifikasyon kategorisinin SimaPro yazılımındaki sonuçlarını göstermektedir.

SimaPro



Şekil 4.8. Asidifikasyon Kategorisi

Yukarıdaki Şekil 4.8’e göre sergileme dolabının üretimi sırasında asidifikasyon (asitlenme) etkisine en fazla katkı sağlayan faktör, kullanılan alüminyumun üretim süreci ile ilişkili olarak tespit edilmiştir. Bu durum, metal üretim süreçlerinin çevresel etkileriyle doğrudan bağlantılıdır (y eksenli etki kategorilerinin sayısal değerleridir).

Hawkins ve ekibinin (2012) yaptığı araştırmada, elektrikli ve içten yanmalı motorlu araçların üretim sürecinde oluşan asitlenme potansiyelinin büyük ölçüde motor yapımında kullanılan metallerle ilgili olduğu ortaya konmuştur. Özellikle nikel, bakır ve alüminyum gibi metallerin üretimi, bu etkiye önemli ölçüde katkı sağlamaktadır. İçten yanmalı motorlu araçlarda ise asitlenme etkisinin %70'inden fazlasının egzoz katalizörlerinde kullanılan platin grubu metallerden kaynaklandığı belirtilmiştir.

Bu noktada, birincil (bakır) alüminyum yerine geri dönüştürülmüş alüminyum kullanımı, çevresel etkileri önemli ölçüde azaltabilir. Geri dönüştürülmüş alüminyumun üretimi, ham alüminyum üretimine kıyasla yaklaşık %90 daha az enerji gerektirir ve bu da asidifikasyon, iklim değişikliği ve ötrofikasyon gibi kategorilerde olumlu bir etki yaratabilir (Cordella ve diğ., 2016). Aynı yaklaşım, çelik gibi diğer metallere de uygulanabilir, böylece çevresel yük daha da hafifletilebilir.

Ardından sergileme dolabının metal prosesinde tüketilen doğalgazın asidifikasyona en çok olumsuz etki eden ikinci parametre olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Benzer şekilde sergileme dolabı üretimi için kullanılan plastik materyaller en çok tesir eden üçüncü faktör olduğu gözlenmiştir. Sonrasında OpenLCA'da olduğu gibi SimaPro sonuçlarına göre asidifikasyona bu dolabın üretimi süresince sarf edilen elektrik enerjisi ve raflarda pusher (itici) plastiği olarak adlandırılan ABS materyalinin hem üretimi hem de hammadde olarak kullanılması olumsuz olarak tesir ettiği görülmüştür. Son olarak bu dolabın üretilmesinde kullanılan demir/çelik plakaların kullanılması ve nakliyesinde kullanılan gemi yolunun asidifikasyona olumsuz bir şekilde etki ettiği gözlenmiştir.

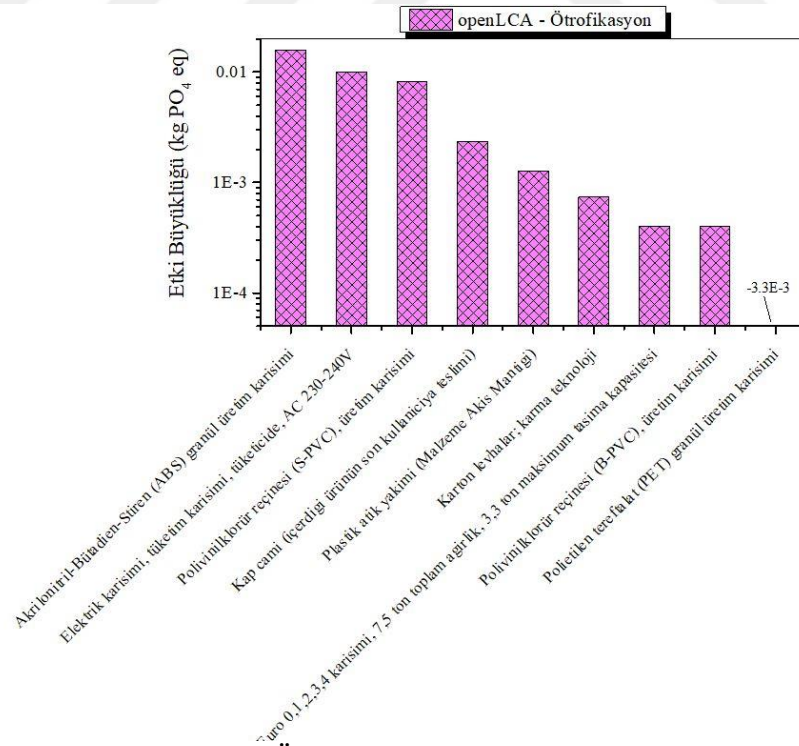
4.1.3. Ötrofikasyon Kategorisi

Ötrofikasyon Potansiyeli, sucul sistemlerdeki mikrobiyolojik büyümeyi teşvik eden, oksijen tüketimine yol açan kirleticileri kapsar. Azot ve fosfor, ötrofikasyona katkıda bulunan iki temel besin maddesidir. Bu maddeler, tür bileşiminde değişikliklere ve biyolojik üretkenliğin artmasına neden olabilirler (Demirbaş, 2023). OpenLCA ötrofikasyon değerlendirmesine göre bu kategoriye en fazla olumsuz etki eden parametrenin bir adet sergileme dolabının raflarında kullanılan pusher (itici) malzemesi için kullanılan ABS polimerinin üretimi ve bu malzemenin kullanılmasından kaynaklandığı görülmüştür. Plastik materyallerin üretimi aşamasında yoğun bir şekilde

su kullanımı mevcut olduğu için bu ürün grubunun üretimi su tüketimi gibi etki kriterlerini açıklamaktadır. Bu süreç, ötrofikasyon, tatlısu akuatik ekotoksisite ve deniz akuatik ekotoksisite göstermekte ve bu durum, plastik materyallerinin yıkanması sırasında kullanılan tatlı su nedeniyle çevre üzerindeki olumsuz etkilerin göstergeleridir. Bu süreç, biyobozunur olup olmadığına bakılmaksızın çeşitli besin maddeleri içeren kirli atık suyun salınmasına yol açmaktadır (Ndizeye ve diğ. 2021).

Ardından fonksiyonel birimi bir adet olan sergileme dolabı üretiminde sarf edilen elektrik enerjisinden kaynaklandığı gözlenmiştir. Enjeksiyon kalıplama sürecinde çevresel etki kategorilerini en çok etkileyen faktör, işlem sırasında tüketilen elektrik enerjisidir. Diğer yandan, kâğıt bazlı karton kutular ötrofikasyon kategorisinde önemli bir etkiye sahiptir (Duman, 2023). Sonrasında sergileme dolabında tüketilen plastik materyallerin üretiminden ve bu hammaddelerin kullanılmasından kaynaklandığı görülmüştür. Aşağıda OpenLCA'da ötrofikasyon kategorisine etki eden parametreler Şekil 4.9'da gösterildiği gibidir.

OpenLCA

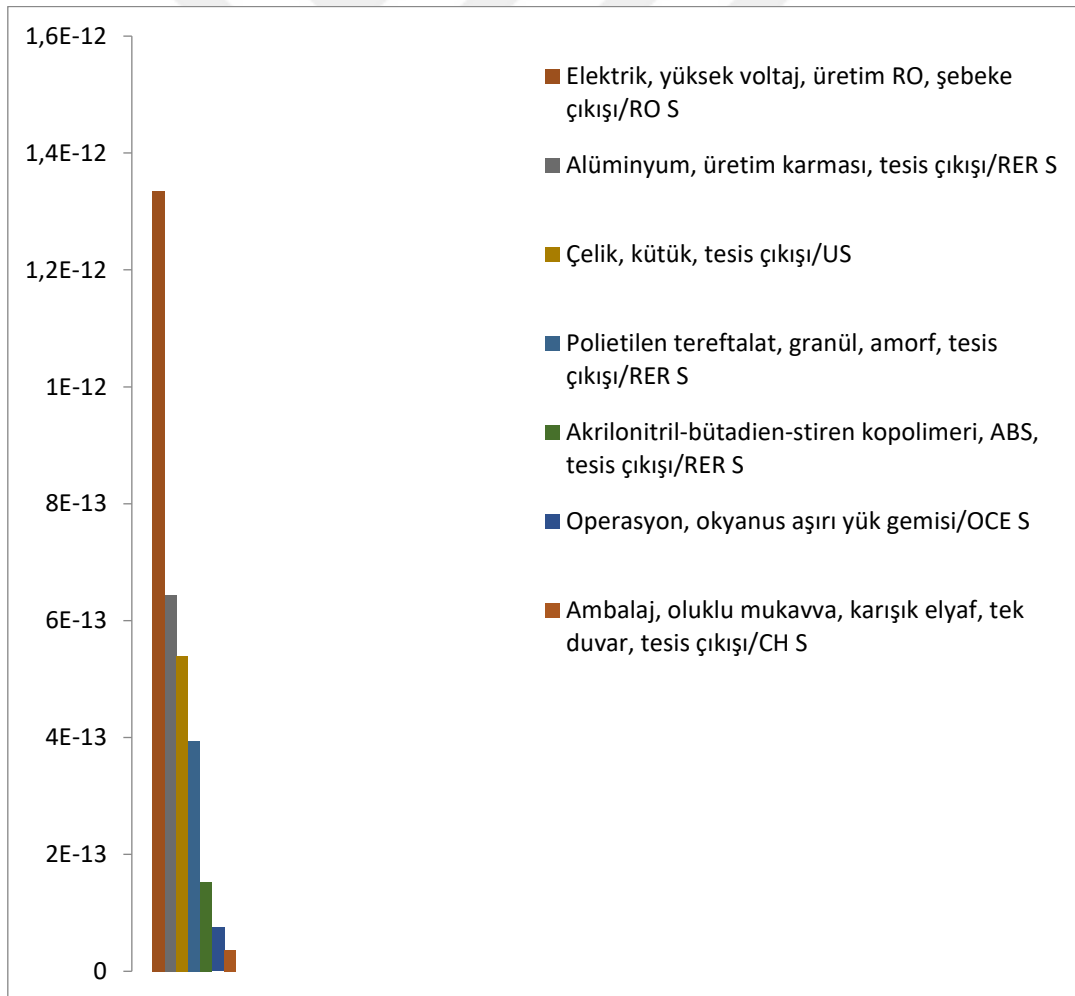


Şekil 4.9. Ötrofikasyon Kategorisi

(* y eksenindeki değerler, etki kategorileri arasındaki büyük değer farklarını kompanze ederek aynı grafikte gösterebilmek amacıyla logaritmik ölçekte verilmiştir.)

Müşteriye ulaştıktan sonra bir adet sergileme dolabının kullanım ömrü sonunda atık oluşumu ve bu üründe kullanılan hammaddelerinin geri kazanımı için yapılan işlemlerin (yakma vs.) en çok tesir eden beşinci parametre olduğu tablodan da görülmektedir. Duman (2023) yaptığı çalışmada ötrofikasyon etkisi, karton kutu üretimi sırasında oluşan ve depolama sahasına gönderilen çamurun neden olduğu kirletici etkilerden kaynaklandığı sonucuna ulaşmıştır. Paketlemede kullanılan kâğıt-karton vs. materyallerin üretimi ve kullanımı sonrası oluşan etki derecesi altıncı parametre olduğu gözlenmiştir. Bir adet sergileme dolabı için gerekli olan hammaddelerin tedarik edilmesinden kaynaklı araçlardan meydana gelen emisyonlar ötrofikasyona tesir eden bir diğer parametredir.

Aşağıda Şekil 4.10'da ise ötrofikasyon kategorisinin SimaPro yazılımındaki sonuçlarını göstermektedir (y eksenini etki kategorilerinin sayısal değerleridir).

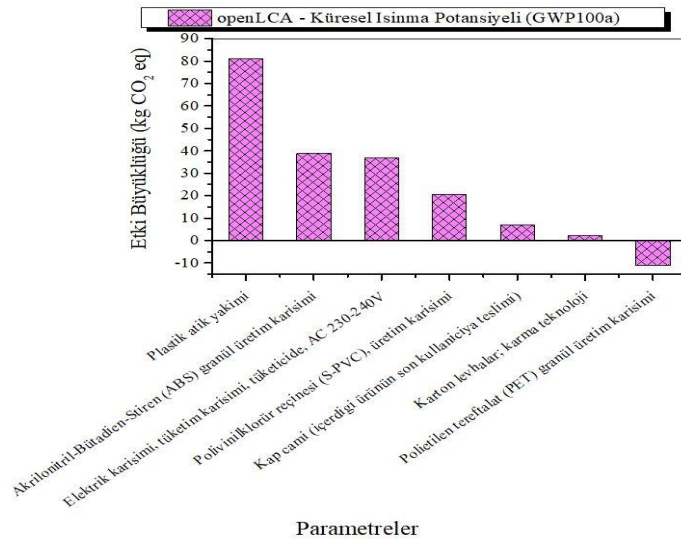


Şekil 4.10. Ötrofikasyon Kategorisi

SimaPro yazılımında ötrofikasyon kategorisi analiz edildiğinde bir adet sergileme dolabının üretimi için tüketilen elektrik enerjisinin en fazla olumsuz etki ettiği sonucuna ulaşılmıştır. Bir adet sergileme dolabı üretimi için kullanılan alüminyum materyalinin üretilmesi ve kullanılması ise ötrofikasyon kategorisine ikinci olarak tesir eden etmen arasına girerken, aynı şekilde bu dolap için sarf edilen demir/çelik plaka ve hammaddeler üçüncü olarak en fazla etki eden parametre olduğu gözlenmiştir. Ardından sergileme dolabında gerekli olan rafların hammaddesi olan ABS polimerinin üretimi ve sergileme dolabının yapısında kullanılması, yine aynı şekilde dolabın bünyesinde olan gerekli plastik materyaller ötrofikasyon kategorisine negatif tesir ettiği sonucuna varılmıştır. Ardından sergileme dolabının nakliyesi için gemi yoluyla Dubai'ye gönderilmesi ötrofikasyona olumsuz etki eden faktörler arasında yer almaktadır. Ercan ve diğ. (2016) bir akıllı telefonun yaşam döngüsü analizini Ecoinvent yöntemiyle değerlendirmişlerdir ve bu çalışma sonucunda elde edilen bulgulara ötrofikasyon kategorisine akıllı telefonun üretim aşamalarında kullanılan hammaddelerin daha çok olumsuz etki ettiği sonucuna varmışlardır. Aşağıda OpenLCA'da küresel ısınma potansiyeli kategorisine etki eden parametreler Şekil 4.11'de gösterildiği gibidir.

4.1.4. Küresel Isınma Potansiyeli Kategorisi

OpenLCA



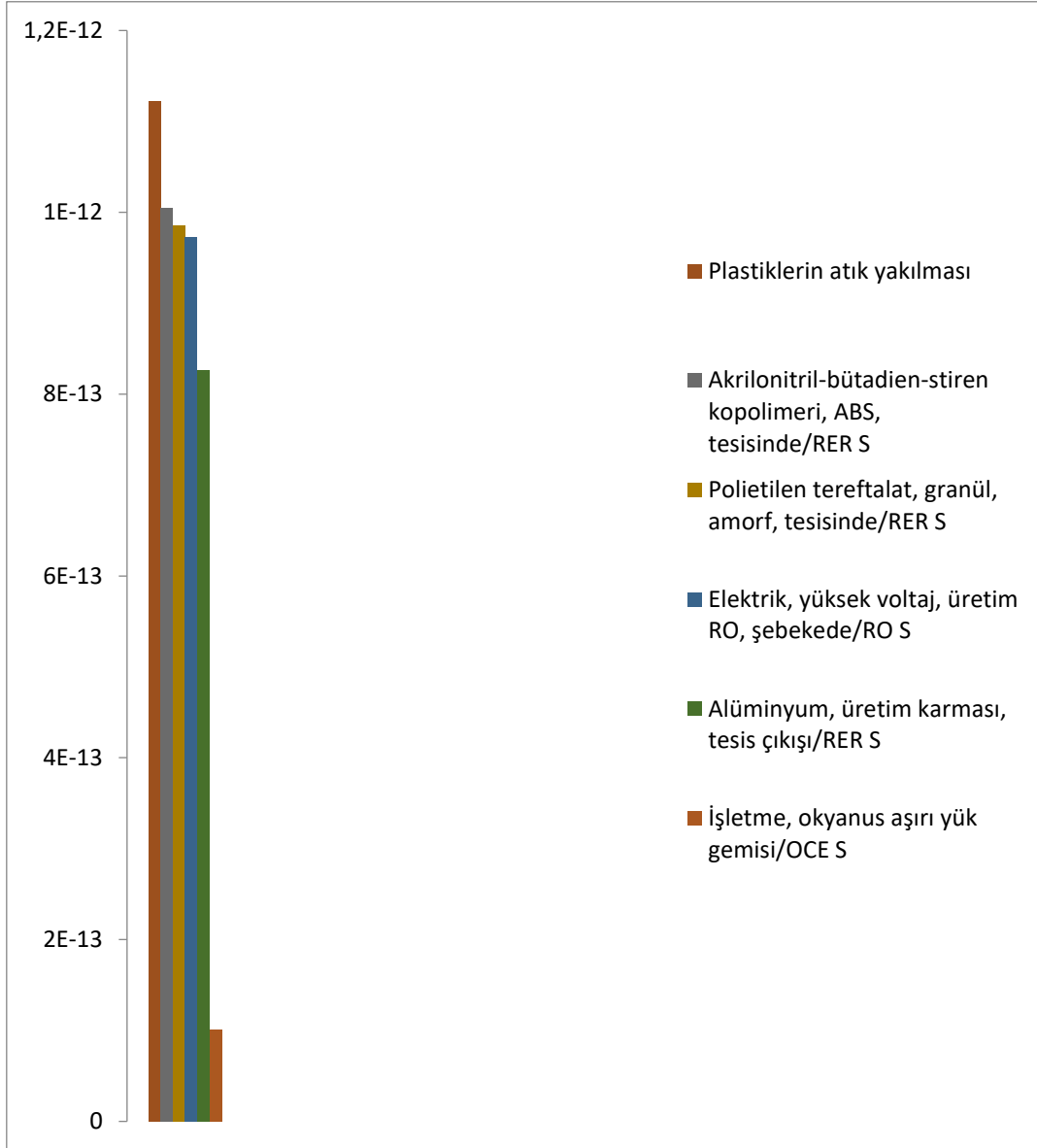
Şekil 4.11. OpenLCA Küresel Isınma Potansiyeli Kategorisi

(* y eksenindeki değerler, etki kategorileri arasındaki büyük değer farklarını kompanze ederek aynı grafikte gösterebilmek amacıyla logaritmik ölçekte verilmiştir.)

Fonksiyonel birimi bir adet olan sergileme dolabı için yapılan incelemeler sonucunda küresel ısınma potansiyeli değeri 177,35 kgCO₂eq olarak hesaplanmıştır. Bu etki kategorisi aslında iklim değişikliği olarak da adlandırılmaktadır ve insan faaliyetleri sonucunda oluşan sera gazlarının dünya sıcaklığını küresel anlamda değiştirmesi sonucu oluşmaktadır (Lolo ve diğ., 2023). Bu kategoriyi incelediğimiz zaman 81,039 kgCO₂eq değerle en çok etkinin sergileme dolabının kullanım ömrünün tamamlanmasından sonraki plastik materyallerin enerji kazanımı için yakılmasından kaynaklandığı ortaya çıkmıştır. Ardından sergileme dolabında pusher malzemesi (itme plastiği) için üretilen akrilonitril-bütadien-stiren (ABS) plastik malzemesinden kaynaklandığı saptanmıştır ve bunun da değeri 38,85 kgCO₂eq olarak bulunmuştur. Üçüncü olarak bir adet sergileme dolabının üretilmesi için tesiste sarf edilen elektrik enerjisi miktarı 55,099 kWh olarak hesaplanmıştı ve elektrik tüketiminin küresel ısınma potansiyeline etkisi 36,723 kgCO₂eq ve yaklaşık %21 oranla en çok etki eden üçüncü alt kategori olarak bulunmuştur. Asman ve diğ. (2023) yaptığı eko-mobilya üretimi çalışmasında tüketilen elektriğin en büyük çevresel yükü oluşturduğunu bulmuşlardır. Etki kategorileri incelendiğinde, elektriğin küresel ısınma potansiyeline (KIP) %81, asitleşmeye %90, ozon tabakasının incelmeye %81, abiyotik tükenmeye %78 ve fotokimyasal oksidasyona %85 oranında katkıda bulunduğu gözlemlenmiştir. Elektrik grubu her bir etki kategorisinde zirveye ulaşarak (%78 ile %90 arası), ısı ve su gruplarını geride bırakmıştır. Enerji kullanımı, tüm yaşam döngüsü etki kategorilerinde çevresel etkilere katkıda bulunmaktadır. Aynı şekilde sergileme dolabı için sarf edilen plastikler arasında PET-PVC malzemelerden kaynaklanan etkiler mevcuttur. Bunların küresel ısınma potansiyeline etkileri ise sırasıyla 20,63 ve 11,125 kg CO₂eq olarak hesaplanmıştır.

Dolabın ana bileşenleri, demir ve alüminyum gibi geri dönüştürülebilir malzemelerden oluştuğundan, bu bileşenler geri dönüşüm yoluyla yeniden kullanılabilir. Ancak plastik malzemeler, özellikle ABS (Akrilonitril-Bütadien-Stiren) ve PET, enerji geri kazanımı amacıyla yakılmak zorundadır. Bu nedenle, kullanım ömrünü tamamladıktan sonra hurda haline gelen sergileme dolabının plastik bileşenlerinin yakılarak enerji eldesinde kullanılması, küresel ısınma potansiyeli üzerinde en olumsuz etkiye sahip parametre olarak belirlenmiştir. Plastiklerin yakılması sürecinde CO₂ emisyonları oluşsa da bu yöntem, fosil yakıt tüketimine olan bağımlılığı azaltmaktadır. Ayrıca, yakma işlemi sırasında üretilen enerji, sistemin çevresel etkilerini azaltmak amacıyla temiz enerji

kaynaklarıyla dengelenebilir (Migdal ve diğ., 2014). Aşağıda Şekil 4.12’de ise küresel ısınma potansiyeli kategorisinin SimaPro yazılımındaki sonuçlarını göstermektedir (y eksenini etki kategorilerinin sayısal değerleridir).



Şekil 4.12. Küresel Isınma Potansiyeli Kategorisi

Bu grafikte, sergileme dolabının çevresel etkileri analiz edilirken, farklı aşamalarda küresel ısınmaya en fazla hangi faktörlerin neden olduğu incelenmiştir. Veri seti olarak plastik atıkların yakılması, belediye katı atıkları ve ısı, elektrik ve malzemeye tahsis verileri (waste incineration of plastic, municipal solid waste, allocation to heat, electricity,

and material) kullanılmıştır. Bu veri setinin tercih edilme sebebi, yakma işleminden elde edilen enerji ve malzeme geri kazanımını içermesidir.

Analiz, dolabın kullanım ömrünün sona ermesinin ardından ortaya çıkan çevresel etkileri değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. En büyük çevresel etki, dolabın kullanım ömrünü tamamlamasının ardından plastik materyallerin enerji üretimi amacıyla yakılmasından kaynaklanmaktadır. Bu süreçte, geri dönüştürülemeyen plastik bileşenler enerjiye dönüştürülmekte ve bu işlem sonucunda karbon salımı gerçekleşerek küresel ısınma potansiyeli artmaktadır. Plastik atıkların yakılması, özellikle küresel ısınma potansiyeli açısından önemli çevresel etkiler meydana getirmektedir. Bu süreç, karbondioksit ve diğer sera gazlarının atmosfere salınımına neden olarak küresel ısınma üzerinde ciddi bir etkiye sahiptir. Nitekim yapılan araştırmalar, atık plastiklerin yakılmasının yalnızca CO₂ değil, aynı zamanda metan (CH₄) ve azot oksitler (NO_x) gibi güçlü sera gazlarının da atmosfere salınmasına neden olarak iklim değişikliği üzerindeki etkilerini artırdığını göstermektedir (Hopewell ve diğ., 2009). Bu bağlamda, plastik atıkların alternatif yönetim stratejileriyle değerlendirilmesi, küresel ısınma potansiyelinin azaltılmasında kritik bir rol oynayabilir.

Ancak plastiklerin yakılması, ekotoksisite gibi diğer çevresel etki kategorilerinde nispeten düşük bir etkiye sahiptir. Bunun nedeni, bu süreçlerin ekosistemler üzerinde doğrudan toksik etkiler oluşturmaması ve dolayısıyla ekotoksisite kategorisindeki etkisinin sınırlı olmasıdır.

Sonuç olarak, plastiklerin yakılmasının yüksek çevresel etkileri özellikle küresel ısınma kategorisinde belirgin bir şekilde gözlemlenirken, geri dönüşüm senaryosunun daha düşük çevresel etkiler sunduğu ve ekotoksisite gibi kategorilerde çok sınırlı bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Bu nedenle, ekotoksisite kategorisinin analizde yer alması, çalışmanın metodolojik bir tercihi olarak değerlendirilmektedir (Wilson ve diğ., 2015). Bir diğer önemli etki kaynağı ise dolapta kullanılan özel plastik malzemelerden, özellikle ABS (Akrilonitril Bütadien-Stiren) üretiminden kaynaklanmaktadır. ABS, dolabın dayanıklılığını artıran ve işlevselliğini sağlayan kritik bir bileşen olmasına rağmen, üretim süreci çevresel etkileri artırmaktadır.

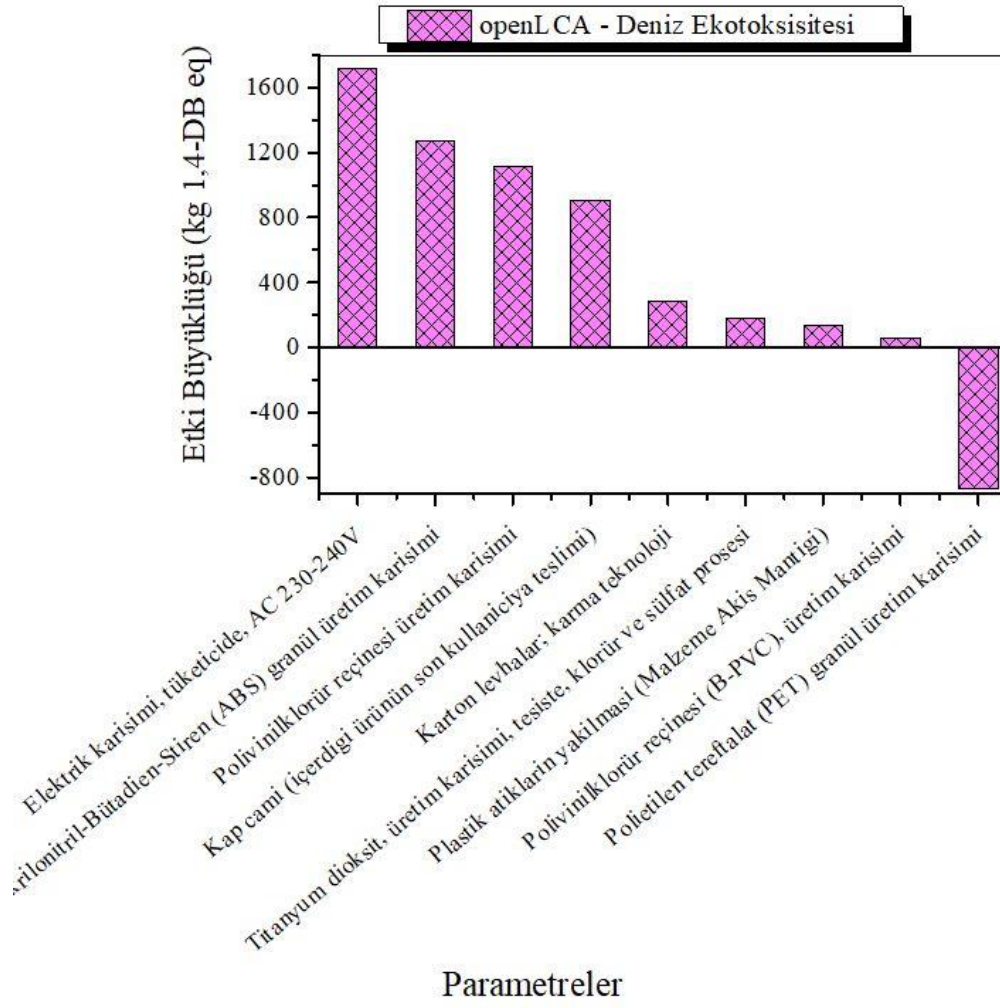
Bununla birlikte, dolabın yapısında kullanılan alüminyumun küresel ısınma potansiyeline etkisinin plastik ve diğer malzemelere kıyasla daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Alüminyumun üretim süreci enerji yoğun olmasına rağmen, geri dönüşüm oranının yüksek olması sayesinde çevresel etkileri önemli ölçüde azaltılmaktadır. Özellikle alüminyum geri dönüşümünün, birincil üretime kıyasla %95'e kadar enerji tasarrufu sağladığı belirtilmektedir (Liu ve diğ., 2012). Bu durum, alüminyumun kullanım ömrü sonunda geri dönüştürülerek yeniden kullanılmasının çevresel etkileri azaltma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, alüminyum bileşenlerinin geri dönüşüm süreçlerine entegre edilmesi, genel çevresel performansı iyileştirebilecek stratejik bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir.

Buna ek olarak, dolabın üretimi sırasında tüketilen elektrik enerjisinin de önemli bir çevresel etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Aygenç (2019), iki farklı yaşam döngüsü analizi (YDA) aracı kullanarak gerçekleştirdiği bir çalışmada, LEED sertifikalı bir yeşil binanın yaşam döngüsü değerlendirmesi kapsamında SimaPro yazılımında elektrik tüketiminin küresel iklim değişikliği potansiyeline en büyük etki eden faktör olduğunu tespit etmiştir. Bu durum, gelişmekte olan ülkelerde daha temiz enerji kaynaklarının kullanımına duyulan ihtiyacı vurgulamaktadır (Asman ve diğ., 2023). Elektrik enerjisinin üretimi genellikle fosil yakıt kullanımına bağlı olduğundan, bu süreç küresel ısınma potansiyeline önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Çoğu zaman göz ardı edilen elektrik tüketiminin çevresel etkisi, bu tür analizlerde en büyük yükü oluşturabilmektedir.

Benzer şekilde, bir sergileme dolabının Dubai'ye denizyolu ile taşınması sonucunda ortaya çıkan emisyonlar da küresel ısınmaya olumsuz etki etmiştir. Son olarak, dolabın paketlenmesinde kullanılan materyallerin de küresel ısınma potansiyeline negatif etki yaptığı belirlenmiştir. Ercan ve diğ. (2016), bir akıllı telefonun yaşam döngüsü analizi üzerine yaptığı çalışmada, üretim aşamasının küresel ısınma potansiyeli kategorisine en fazla etki eden süreç olduğunu ortaya koymuştur.

4.1.5. Deniz Ekotoksosite Kategorisi

Aşağıda OpenLCA'da deniz ekotoksosite kategorisine etki eden parametreler Şekil 4.13'te gösterildiği gibidir.



Şekil 4.13. Deniz Ekotoksiste Kategorisi

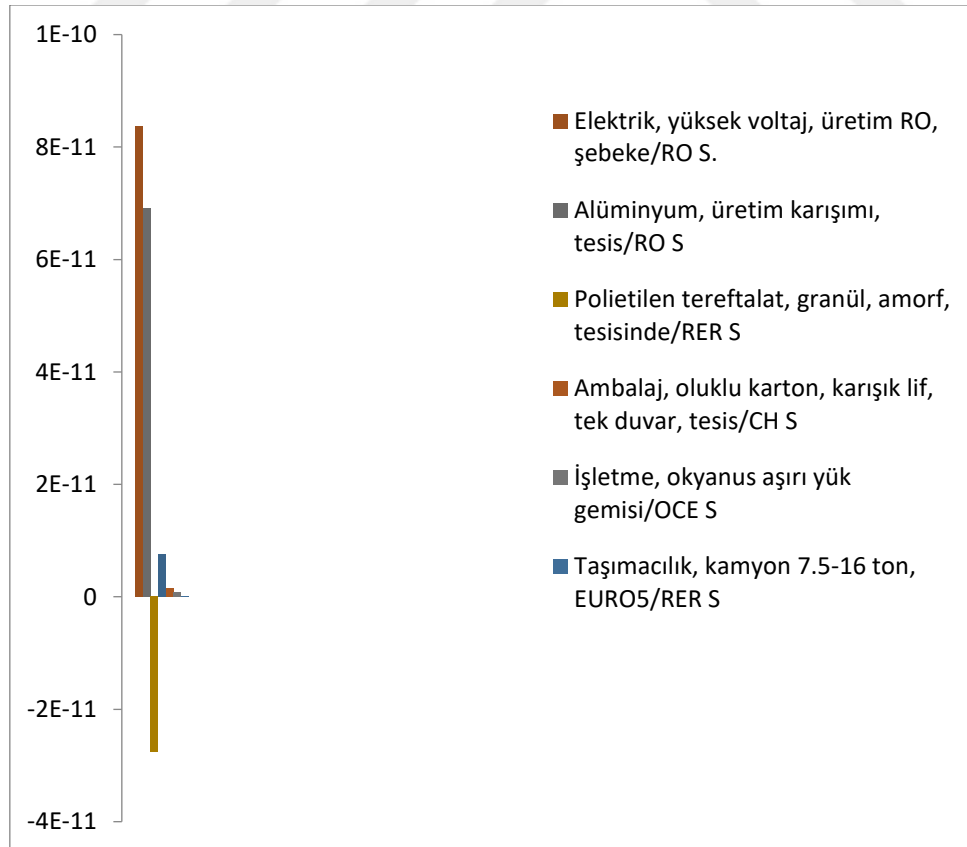
(* y eksenindeki değerler, etki kategorileri arasındaki büyük değer farklarını kompanze ederek aynı grafikte gösterebilmek amacıyla logaritmik ölçekte verilmiştir.)

Su ekosistemlerindeki ekotoksiste, canlı türlerinin maruz kaldığı ekotoksik maddelerin konsantrasyonlarındaki artışla ilişkilidir. Kimyasal durum, potansiyel toksik materyal emisyonlarını belirleme amacıyla doğrudan emisyon noktalarına dayanarak değerlendirilir ve bu ölçüm, kg 1,4 diklorobenzen (kg 1,4-DB) birimi ile ifade edilir. Ağır metal salımları, pestisit ve herbisit kullanımlarıyla bağlantılıdır (Uysal ve diğ., 2022). Deniz ekotoksiste kategorisine bir adet sergileme dolabı için sarf edilen elektrik tüketimi negatif tesir ettiği gözlemlenmiştir. 1,72E kg 1,4-DB eq değeri ile elektrik tüketimi deniz ekotoksisteye en çok etki eden parametredir. Bu durum enerji sarfiyatında yenilenemeyen enerji kaynaklarının kullanımı ve suya salınan kirleticilerden kaynaklanıyor olabilir (Hanun ve diğ., 2019). Ardından 1,27E3 ve 1,11E3 1,4-DB eq

değerleri ile sergileme dolabında kullanılan plastik malzemelerin etkisinin fazla olduğu hesaplanmıştır. Paketlemenin deniz ekotoksitesine olumsuz etki ettiği gözlenmiştir. Toz boyanın yapısında bulunan titanyum dioksit bileşiğinin varlığı deniz ekotoksitesine en fazla etki eden altıncı parametre olduğu görülmüştür. Sergileme dolabının müşteri tarafından kullanım ömrünün tükenmesi sonucu meydana gelen hammaddelerin geri kazanımı için tüketilen enerjinin deniz ekotoksitesi için olumsuz etkisi olmuştur.

PET'in kullanım sonrası geri dönüşümü veya enerji geri kazanımı potansiyeli, bu tür plastiklerin çevresel etkilerini azaltabilir. Malzemenin yakılması veya yeniden işlenmesi gibi geri kazanım süreçleri, sucul ekosistemlere zarar verebilecek kimyasal maddelerin salınımını azaltarak deniz ekotoksite kategorisindeki olumsuz etkileri azaltıcı yönde etkileyebilir (Mannheim, 2021).

Aşağıda Şekil 4.14'te ise deniz ekotoksite kategorisinin SimaPro yazılımındaki sonuçlarını göstermektedir (y eksenini etki kategorilerinin sayısal değerleridir).



Şekil 4.14. Deniz Ekotoksite Kategorisi

SimaPro'daki deniz ekotoksitesitesi kategorisi incelendiği zaman bir adet sergileme dolabının üretimi esnasında sarf edilen elektrik enerjisinin etkisi en fazla olduğu görülmüştür. Asman ve diğ. (2023) eko-mobilya üretim sürecinin en büyük dezavantajlarından biri, önemli miktarda elektrik tüketimi olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Bu da fosil yakıtlarla üretilen elektrik kullanımına (Avrupa enerji karması) bağlıdır. Kullanılan alüminyum plakaların üretimi ve sergileme dolabı yapısında kullanılması deniz ekotoksitesitesine olumsuz etki göstermiştir. Karışık malzemelerden (çoğunlukla ahşap esaslı paneller, metaller ve plastikler) yapılan mobilyalarda, malzemelerin üretim ve temin sürecinin katkısı genellikle ahşap mobilyalara kıyasla daha yüksektir. Sonuç olarak, ahşap mobilya ürünlerinde diğer yaşam döngüsü aşamalarının göreceli önemi artmaktadır. Metaller, özellikle birincil alüminyum, enerji yoğun malzemeler olduğundan ağırlık başına daha yüksek etkilere sahiptir. Birincil alüminyumun malzemelerin toplam etkisine olan katkısı, ürünlerdeki göreceli kütle içeriğinden daha fazla orandadır (Cordellaa ve diğ., 2016). Dolabın yapısında kullanılan plastik materyallerin de bu kategoriye negatif tesir ettiği bulunmuştur. Kullanılan veri seti ise "Polietilen tereftalat, granül, amorf, tesisinde/RER S" olarak seçilmiştir. Bu veri seti, son tüketici (yani son kullanıcıdan gelen atık) polietilen tereftalat (PET) plastiklerinin Avrupa'daki geri dönüşüm sonrası granül haline getirilme sürecini kapsamaktadır. RER S kodlaması, bu süreçlerin Avrupa Birliği'ne bağlı ülkelerde uygulanan geri dönüşüm metodolojilerine uygun olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda, PET'in granül formunda geri dönüşümünün çevresel avantajlarını değerlendirmek amacıyla kullanılan uygun bir veri seti olduğu kabul edilmektedir (Briassoulis ve diğ., 2004).

Rafların yapısında kullanılan ABS polimerinin bu etki kategorisine en fazla etki eden dördüncü parametre olduğu sonucuna ulaşılmıştır. OpenLCA'da olduğu gibi SimaPro'da da paketlemenin deniz ekotoksitesitesine olumsuz etki ettiği gözlenmiştir. Hem sergileme dolabının Dubai'ye denizyolu ile taşınması hem de sergileme dolabı üretimi için gerekli olan hammaddelerin tedariki amacıyla gerçekleştirilen taşıma süreçleri, atmosfere salınan emisyonlar nedeniyle bu kategori üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir.

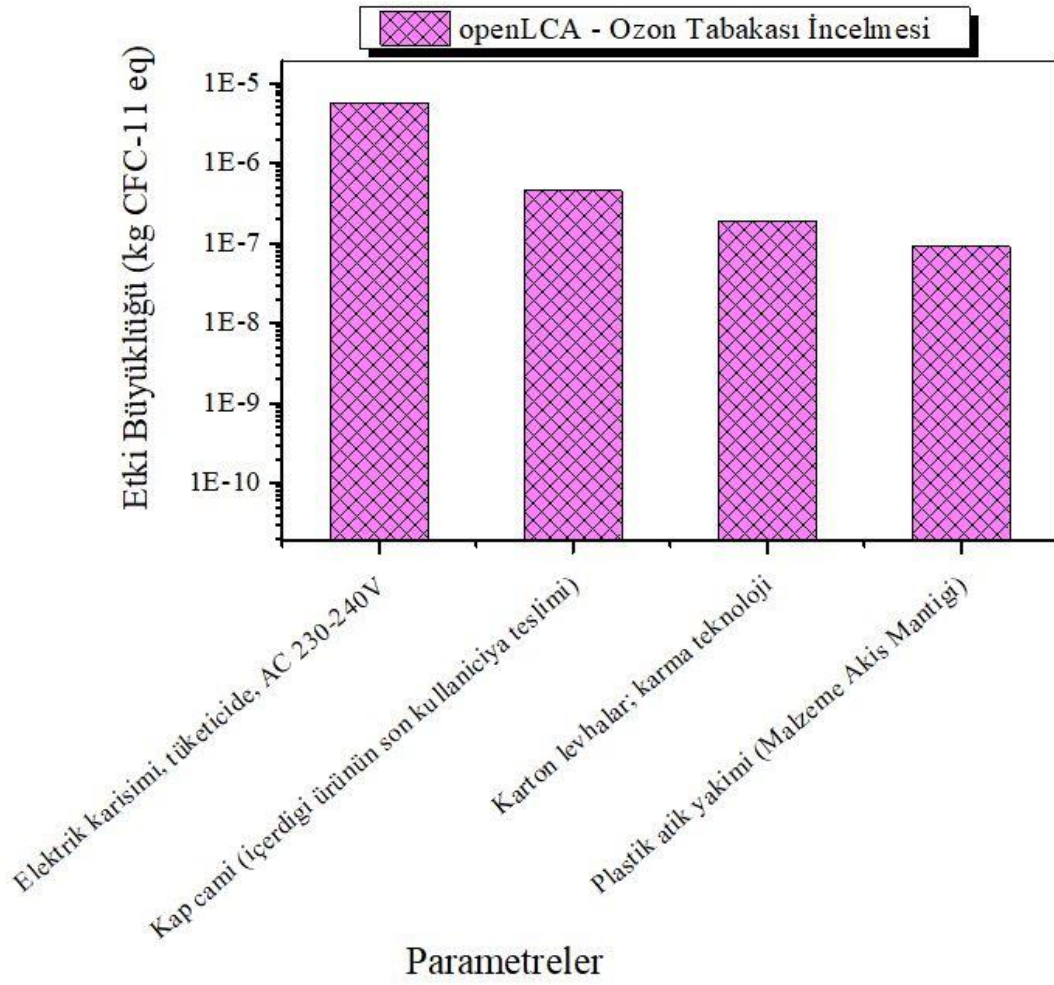
PET'in su ekosistemlerine verdiği zarar, genellikle mikroplastiklerin sucul organizmalar tarafından tüketilmesiyle ortaya çıkmaktadır. Bu mikroplastikler, sucul canlıların sağlığını olumsuz etkileyebilir; çünkü vücutlarında birikerek besin zincirine dahil olurlar.

Ancak bazı çevresel analizlerde, özellikle PET'in üretim ve geri dönüşüm süreçleri dikkate alındığında, çevresel etkisinin nispeten daha düşük olduğu ve hatta negatif bir etki yaratabileceği görülmektedir. Bunun nedeni, PET üretimi sırasında kullanılan enerji miktarının, geri dönüşüm süreciyle birlikte azalan emisyonlar sayesinde dengelenmesidir. Dolayısıyla, PET'in geri dönüşüm süreci, üretim aşamasındaki çevresel yükü azaltarak genel çevresel etkiyi olumlu yönde değiştirebilir (Mannheim, 2021).

4.1.6. Ozon Tabakası İncelmesi Kategorisi

Ozon tabakasının incelmesi, insanların atmosfere saldığı Ozon Tabakasını İncelten Maddeler (OTİM) ile ilişkilendirilebilir. Günlük uygulamalar ve üretim süreçlerinde kullanılan kimyasal maddelerdir (örneğin, Kloroflorokarbonlar (CFC), Hidrokloroflorokarbon (HCFC), Halonlar, Metil bromür (MeBr), Metil Kloroform, Karbon Tetraklorür ve Hidrobromoflorokarbonlar (HBFC)). Yaşam döngüsü analizi çalışmalarında, CFC-11 eşdeğeri cinsinden ifade edilmektedir (Cündübey, 2018).

Bu kategoride sergileme dolabı üretimi için harcanan elektrik enerjisi en fazla olumsuzluk veren parametre olduğu gözlenmiştir. Lolo ve diğ. (2023) yaptıkları tofu endüstrisindeki yaşam döngüsü çalışmasında da elektrik enerji sarfiyatının ozon tabakası incelmesi kategorisine etkisinin en yüksek olduğu sonucuna varmışlardır (Lolo ve diğ., 2023). Aynı zamanda elektrikten salınan kükürt dioksit, azot monoksit, azot dioksit, amonyak ve kükürt trioksit gibi gazlar da asitleşmeye katkıda bulunduğu gibi fotokimyasal oksidasyon oluşumu kategorisine de olumsuz etki ettiği söylenebilir (Saputra ve diğ., 2023). Sergileme dolabının sevkiyatı için paketleme aşaması olan ambalajlama ozon tabakası incelmesi kategorisine negatif etki yaratmıştır. Benzer şekilde sergileme dolabının müşteri tarafından kullanım ömrünün bitmesi sonucu ortaya çıkan hammaddelerin geri kazanımı için tüketilen enerjinin ozon tabakası incelmesine de olumsuz etkisi olmuştur. Aşağıda OpenLCA'da ozon tabakası incelmesi kategorisine etki eden parametreler Şekil 4.15'te gösterildiği gibidir.



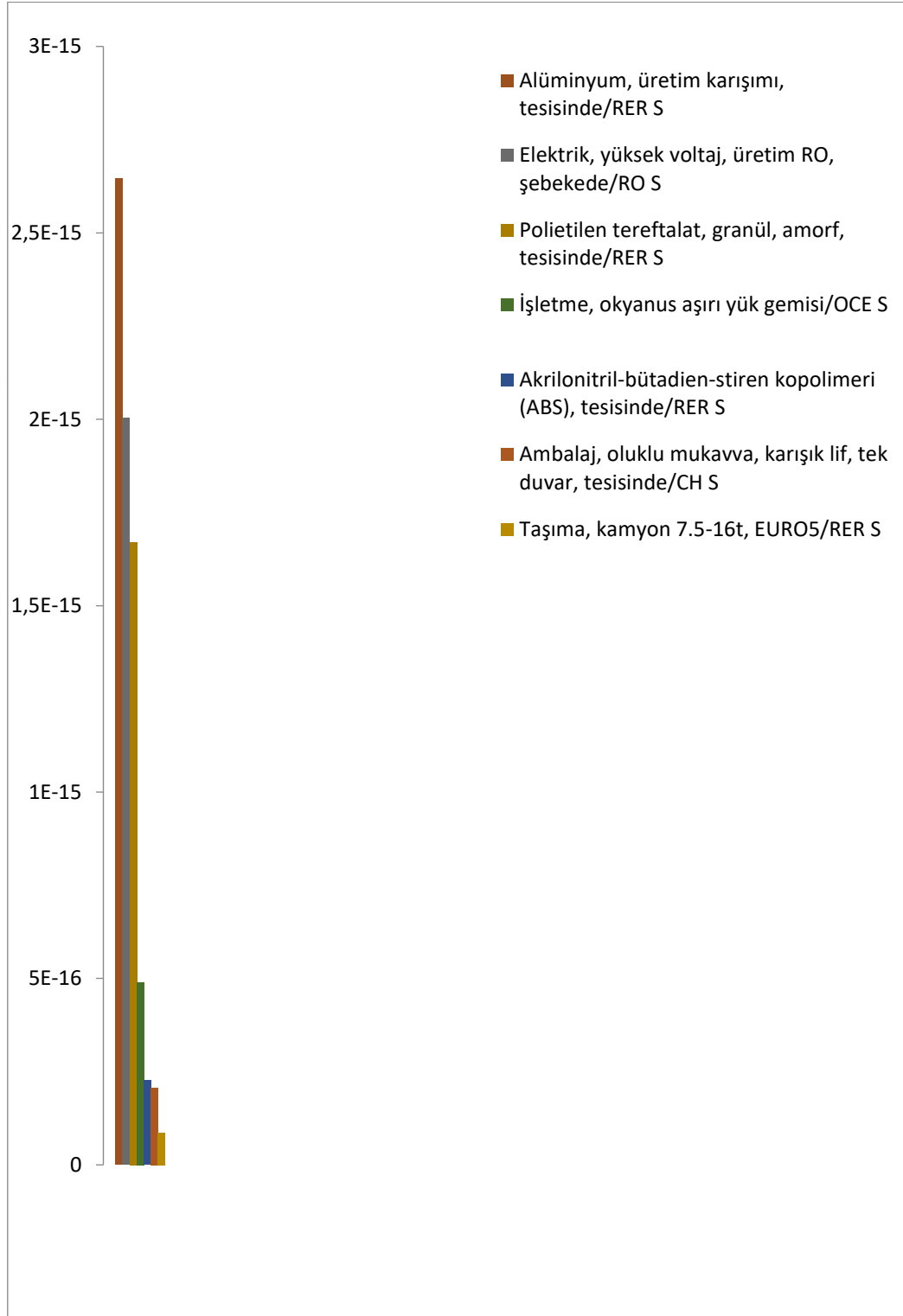
Şekil 4.15. Ozon Tabakası İncelmesi Kategorisi

(* y eksenindeki değerler, etki kategorileri arasındaki büyük değer farklarını kompanze ederek aynı grafikte gösterebilmek amacıyla logaritmik ölçekte verilmiştir.)

Aşağıda Şekil 4.16’da ise ozon tabakası incelmesi kategorisinin SimaPro yazılımındaki sonuçlarını göstermektedir.

Ozon tabakası incelmesi kategorisi SimaPro kısmı incelendiği zaman, sergileme dolabı için elzem olan alüminyum plaka/levhaların üretimi ve yapısında kullanılması en fazla etki eden parametre olduğu gözlemlenilmiştir. Bir adet sergileme dolabı için sarf edilen elektrik enerjisi yaklaşık olarak 55 kWh olarak hesaplanmıştır. Elektrik karışımının büyük bir çoğunluğunun kaynağı bulunulan konumda fosil bazlı yakıtlardan kaynaklandığı için elektrik tüketimi ozon tabakası incelmesine negatif etki etmiştir. Ercan ve diğ. (2016) akıllı telefon üretim aşamasında kullanılan hammaddelerin (elektrik, plastik vb.) ozon

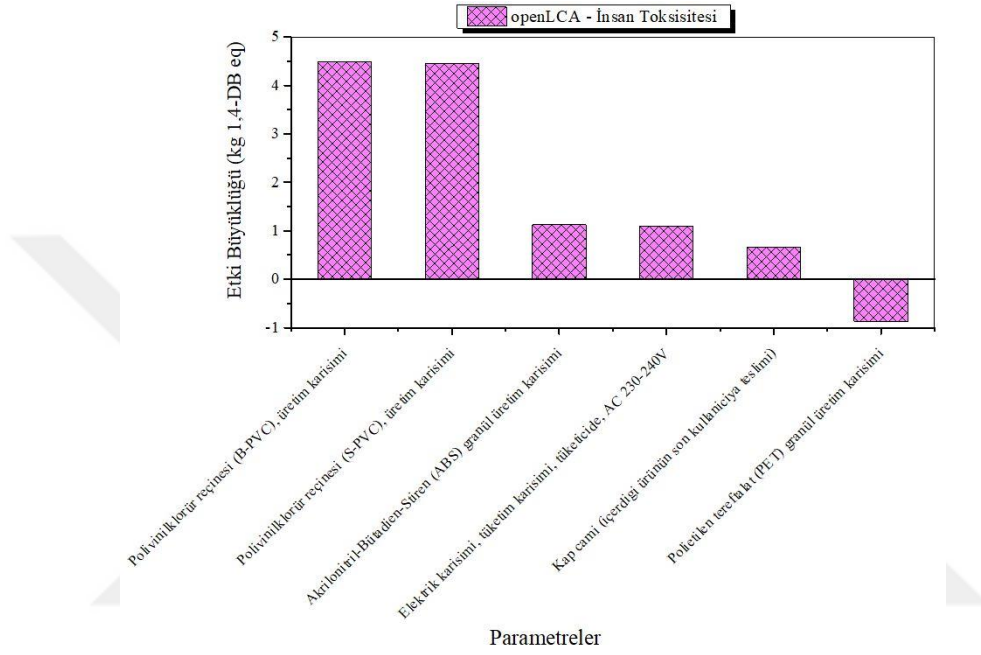
tabakası incelmesi kategorisine etkisinin yaklaşık %40 oranında olduğu sonucuna ulaşmışlardır (y eksenı etki kategorilerinin sayısal değeri dir).



Şekil 4.16. Ozon Tabakası İncelmesi Kategorisi

4.1.7. İnsan Toksisitesi Kategorisi

Hava, su ve toprakta salınan toksik maddelerin etkisiyle insan, tatlı su ekosistemleri, kara ve deniz ekosistemleri üzerindeki etkileri ifade eder (Cündübey, 2018). Aşağıda OpenLCA’da insan toksisitesi kategorisine etki eden parametreler Şekil 4.17’de gösterildiği gibidir.



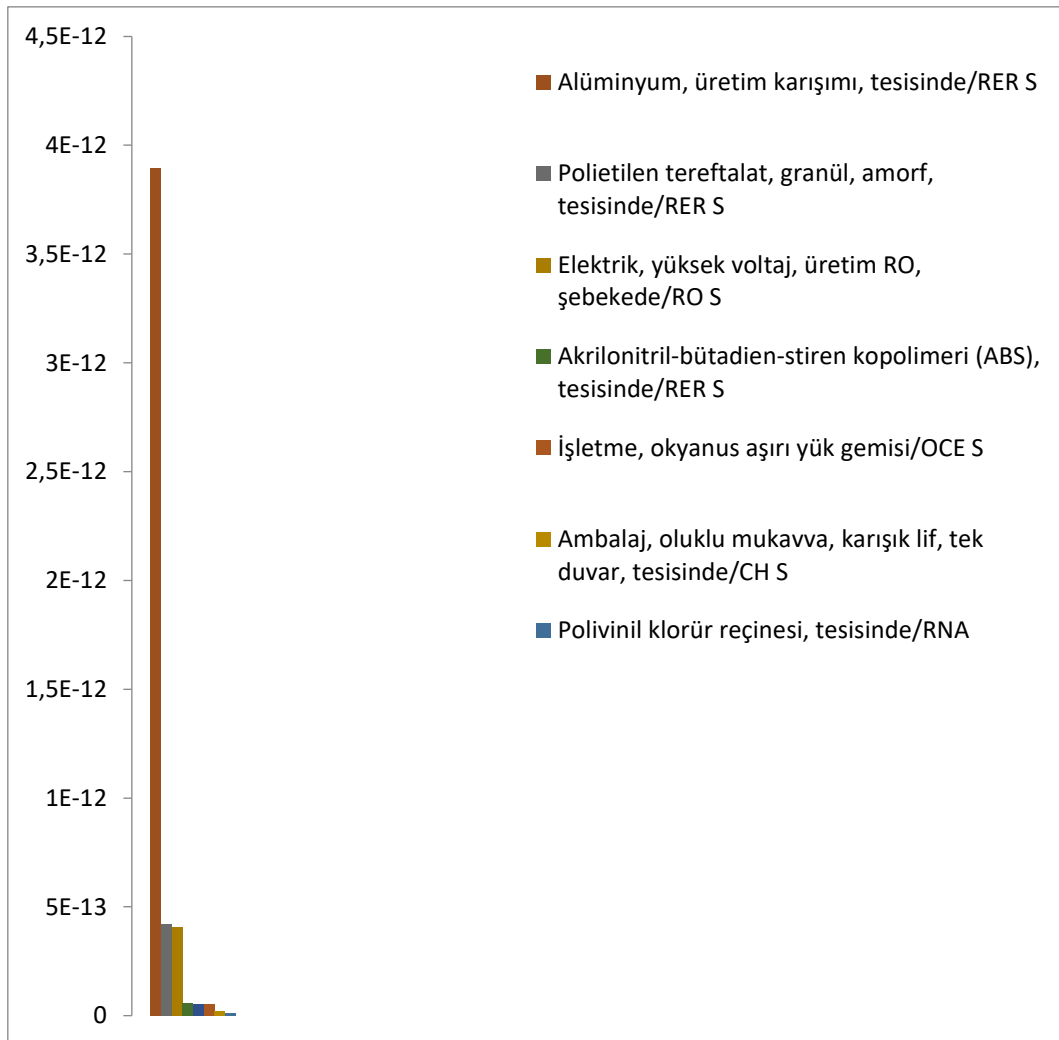
Şekil 4.17. İnsan Toksisitesi Kategorisi

(* y eksenindeki değerler, etki kategorileri arasındaki büyük değer farklarını kompanze ederek aynı grafikte gösterebilmek amacıyla logaritmik ölçekte verilmiştir.)

Bu kategoriye bakıldığında insan toksisitesine en çok etki eden iki parametrenin sergileme dolabı üretimi için gerekli olan PVC plastik materyallerinin olduğu görülmüştür ve bunların etki değerleri ise sırasıyla 4,479-4,448 kg 1,4-DB eq’dur. Ardından pusher malzemesinin hammaddesi olan ABS polimerinin hem üretiminden hem de dolabın raflarında kullanılmasından dolayı insan toksisitesine negatif etki ettiği görülmüştür. Elektrik tüketimi ise en çok etki eden dördüncü parametre olarak kayıtlara geçmiştir. Silva ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada SimaPro, OpenLCA, Umberto ve GaBi dört çeşit yazılım kullanılarak ağaç yongalarının ve reçinenin preslenmesiyle oluşturulan ve mobilya yapımında kullanılan bir levhanın yaşam döngüsü değerlendirmesi incelenmiştir ve yedi etki kategori sonuçlarını kıyaslamışlardır. SimaPro,

OpenLCA, Umberto ve GaBi yazılımları içinde seçilen üç farklı yöntem (Impact 2002, ReCiPe ve TRACI2) ama aynı veritabanı kullanılarak, incelenen asidifikasyon, iklim değişikliği, ekotoksisite, insan toksisitesi ve kimyasal oksidasyon etki kategorilerindeki sonuçlarda %20’den daha büyük farklılıklar olduğu gözlemlenmiştir. Bunun da sebebinin karakterizasyon faktörlerinde gözlemlendiğini, çünkü bazı faktörler bir yazılım aracında bulunurken, aynı faktör diğer araçta mevcut olmadığı sonuçlarına varmışlardır (Silva ve diğ., 2019). Aşağıda Şekil 4.18’de ise insan toksisitesi kategorisinin SimaPro yazılımındaki sonuçlarını göstermektedir (y eksenini etki büyüklüğüdür).

SimaPro



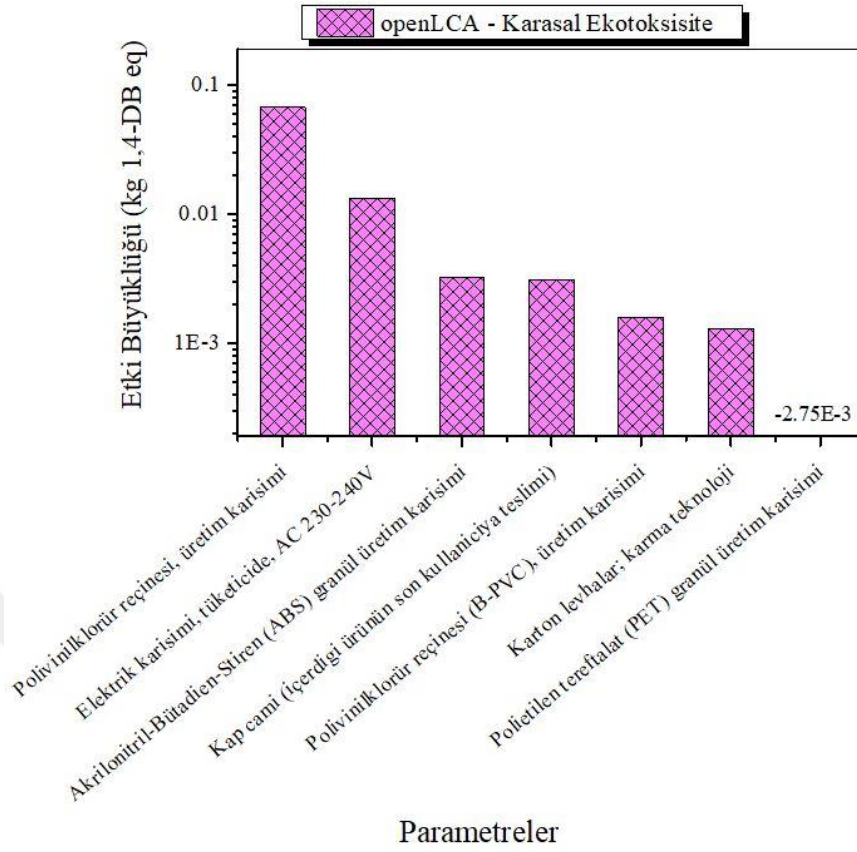
Şekil 4.18. İnsan Toksisitesi Kategorisi

SimaPro insan toksisitesi kategorisinde sergileme dolabının imalatı için ihtiyaç olan alüminyum plaka/levhaların hem üretimi hem de dolabın büyük bir kısmında kullanılması

bu kategoriye önemli derecede etki etmiştir. Emami ve diğ. (2019) iki farklı YDA veri tabanı-yazılım kombinasyonu kullanarak iki konut binasının yaşam döngüsü değerlendirmesi çalışmasında bina yapımında kullanılan çelik vb. metal grubunun insan toksisitesi etki kategorisine en çok etki eden materyal olduğu sonucuna varmışlardır (Emami ve diğ., 2019). Hawkins ve diğ. (2012) elektrikli araçların üretim aşamasındaki insan toksisite kategorisine etkilerinin büyük ölçüde ek bakır ve nikel gibi metallerin gereksinimlerinden kaynaklanmakta olduğu sonucuna varmışlardır. Bu metallerin üretim zincirinden kaynaklanan toksik emisyonların, büyük ölçüde sülfirik maden atıklarının bertaraf edilmesi sırasında ortaya çıkmakta olduğunu ve bunların üretim süreçlerinde gerçekleşen aksiyonların insan toksisitesinin yaklaşık %75'ini oluşturmakta olduğunu gözlemlemişlerdir. Ardından bir adet sergileme dolabının yapısında kullanılan plastik materyalinin (polietilen tereftalat (PET)) kullanılması yapısında bulunan fosil bazlı kimyasal bileşiklerden ötürü bu kategoriye etkisi yüksek çıkmıştır. Bir adet sergileme dolabının üretimi için sarf edilen elektrik enerjisi de insan toksisitesi kategorisine olumsuz etki etmiştir. Diğer etki kategorilerinde de olduğu gibi pusher hammaddesi olarak kullanılan ABS polimerinin insan toksisitesine de olumsuz katkısı olmaktadır. Ardından Dubai'ye nakledilen bir adet sergileme dolabının denizyolu ile taşınması ise en fazla tesir eden beşinci parametre olduğu sonucuna varılmıştır. Paketlemenin de bu kategoriye tesir ettiği gözlemlenirken, sergileme dolabının yapısında sarf edilen plastik materyali (PVC) diğer parametrelere kıyasla daha az olumsuz etki ettiği görülmektedir.

4.1.8. Karasal Ekotoksisite Kategorisi

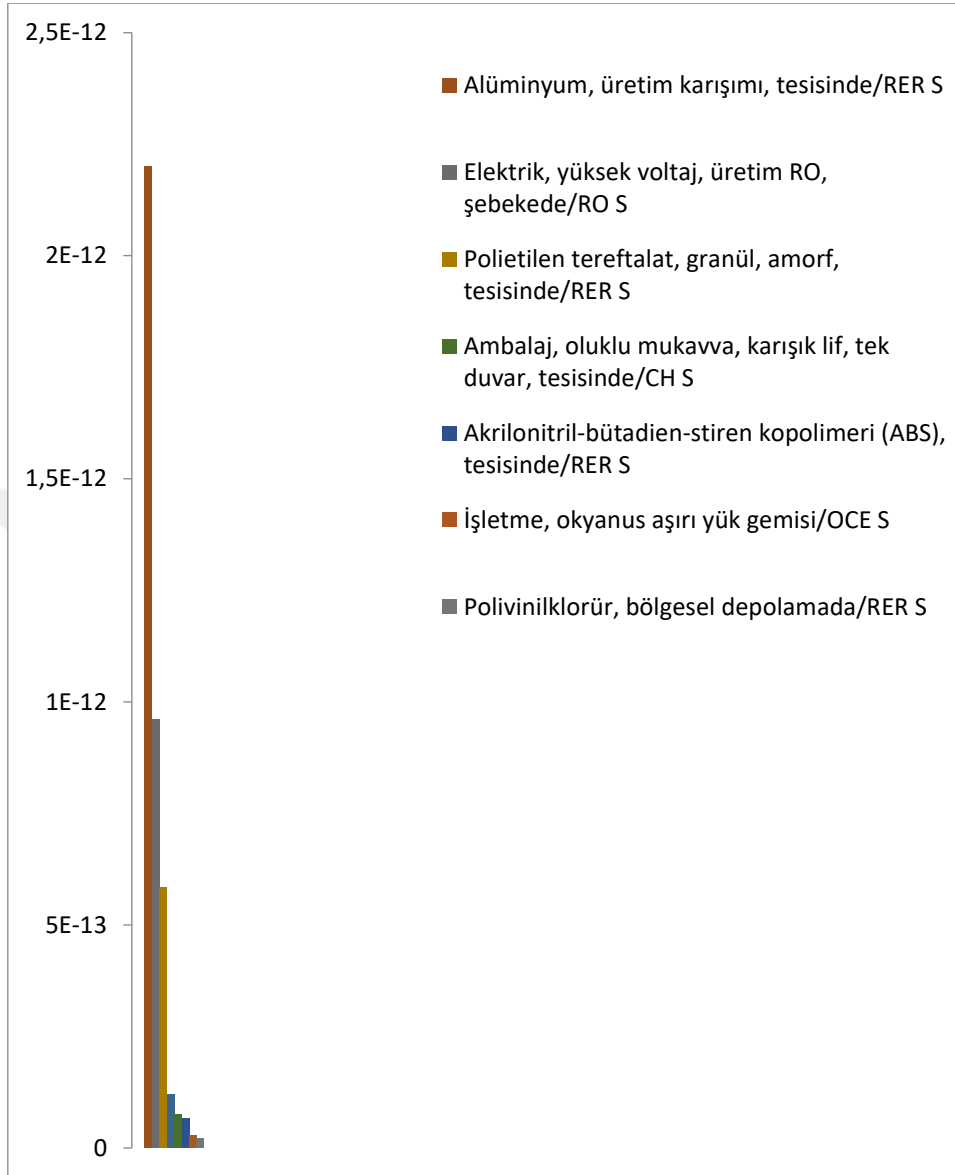
İnsan faaliyetlerinin sonucunda ortaya çıkan kimyasal salımlar, organizmalara zarar vererek ekosistemlerin işlevini ve yapısını etkilemesi durumunda, bu durum ekotoksisiteye katkıda bulunur. Eğer emisyonlardan kaynaklanan çevresel tehlikeli maddelerin konsantrasyonları yeterince yüksekse, toksik etkiler maddeler serbest bırakıldığı anda ortaya çıkabilir. Bu tip toksik etkiye akut ekotoksisite denir ve genellikle maruz kalan organizmaların ölümüne yol açabilir (Ün, 2009). Aşağıda OpenLCA'da karasal ekotoksisitesi kategorisine etki eden parametreler Şekil 4.19'da gösterildiği gibidir.



Şekil 4.19. Karasal Ekotoksosite Kategorisi

(* y eksenindeki değerler, etki kategorileri arasındaki büyük değer farklarını kompanze ederek aynı grafikte gösterebilmek amacıyla logaritmik ölçekte verilmiştir.)

Karasal ekotoksosite kategorisine en çok etki eden iki parametreden biri sergileme dolabı üretimi için kullanılan PVC plastik materyali diğeri ise üretim için sarf edilen elektrik enerjisidir. Tablodan da anlaşılacağı üzere plastik materyalin etki değeri 0,067 kg 1,4-DB eq iken, elektrik sarfıyatının etki değeri 0,013 kg 1,4-DB eq olarak hesaplanmıştır. Emami ve diğ. (2019) bina üretimi için gerekli olan enerjinin karasal ekotoksosite etki kategorisine en çok tesir eden parametre olduğunu saptamışlardır. Diğer etki kategorilerinde de olduğu gibi pusher hammaddesi olarak kullanılan ABS polimerinin de karasal ekotoksitesine etkisi olmaktadır. Benzer şekilde paketlemeden ve sergileme dolabının yapısında kullanılan plastik materyallerden ötürü karasal ekotoksosite kategorisi olumsuz etkilenmiştir. Aşağıda Şekil 4.20’de ise karasal ekotoksosite kategorisinin SimaPro yazılımındaki sonuçlarını göstermektedir (y eksen i etki büyüklüğüdür).

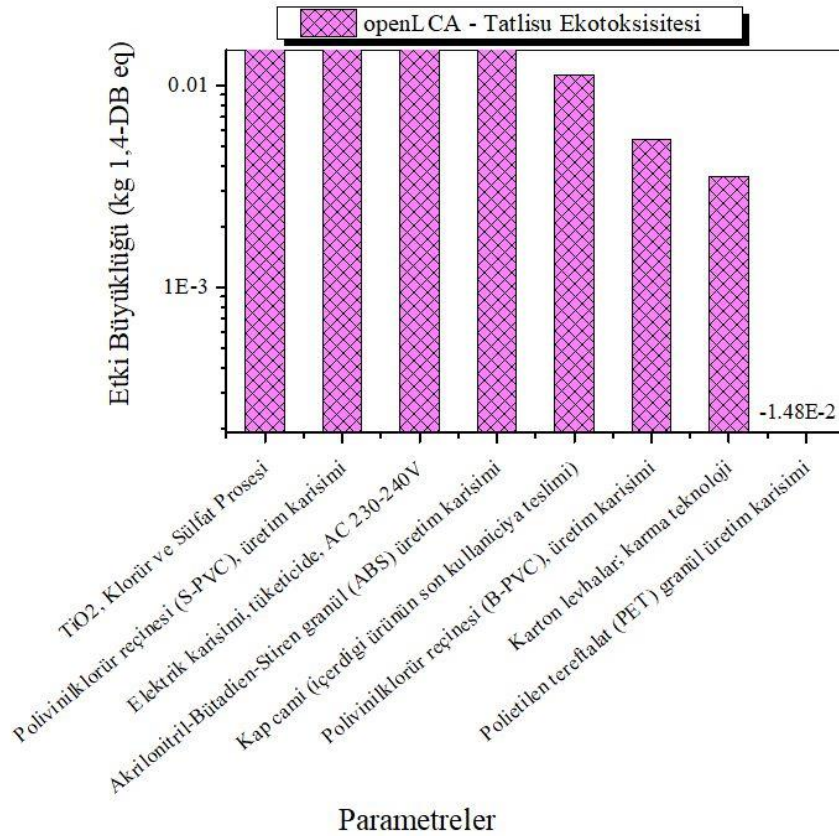


Şekil 4.20. Karasal Ekotoksosite Kategorisi

SimaPro’da karasal ekotoksosite kategorisine en çok etki eden iki parametreden biri sergileme dolabı üretimi için kullanılan alüminyum plaka/levhaların üretimi ve bünyesinde kullanımı diğeri ise sergileme dolabı üretimi için sarf edilen elektrik enerjisidir. Elektrik tüketimi, fosil yakıtların yanması sırasında karbon dioksit (CO₂), kükürt dioksit (SO₂), azot oksitleri ve uçucu cıva emisyonları gibi kategorilerin çoğuna (%50–77) katkıda bulunan birincil nedendir. Enerji kullanımının tüm yaşam döngüsü etki kategorilerinde çevresel etkilere katkıda bulunduğunu göstermektedir (Azman ve diğ., 2021). Şekil 4.20’ de anlaşılabacağı üzere üçüncü parametrenin ise dolabın üretiminde

kullanılan PET plastik materyalinin etkisi olduğu görülmektedir. Paketlemenin de bir önceki bazı etki kategorilerinde olduğu gibi karasal ekotoksitesine negatif etki yaptığı sonucuna varılmıştır. Benzer şekilde olduğu gibi pusher hammaddesi olarak kullanılan ABS polimerinin de karasal ekotoksitesine etkisi olmaktadır. Sergileme dolabının nakliyesi için Dubai'ye denizyolu ile taşınmasından kaynaklı emisyonların etki değeri de diğer parametrelere nazaran daha az tesir etmiştir. Son olarak sergileme dolabının yapısında kullanılan plastik materyallerden ötürü karasal ekotoksiste kategorisi olumsuz bir şekilde etkilenmiştir. Aşağıda OpenLCA'da tatlısu ekotoksitesine etki eden parametreler Şekil 4.21'de gösterildiği gibidir.

4.1.9. Tatlısu Ekotoksitesine Kategorisi



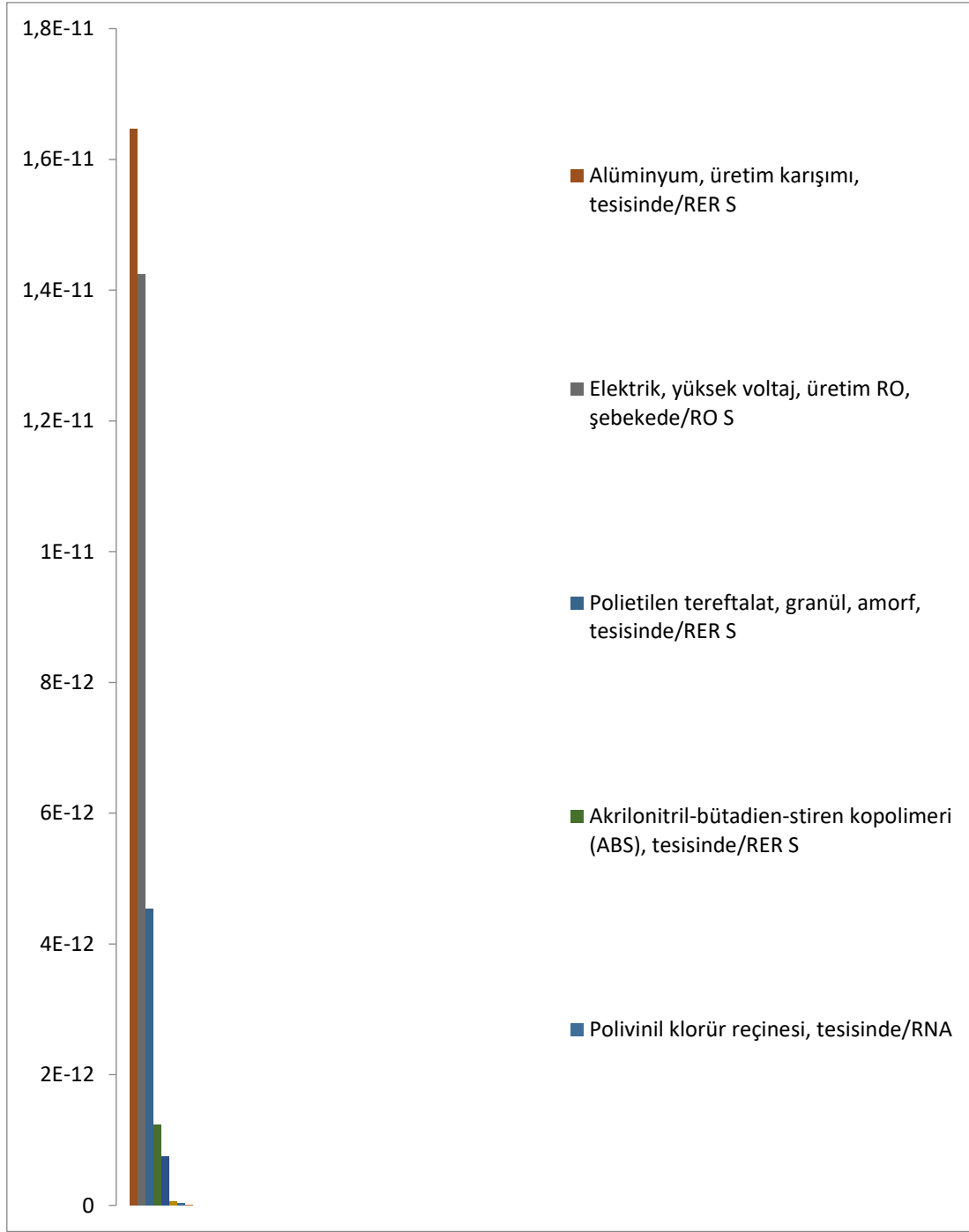
Şekil 4.21. Tatlısu Ekotoksiste Kategorisi

(* y eksenindeki değerler, etki kategorileri arasındaki büyük değer farklarını kompanze ederek aynı grafikte gösterebilmek amacıyla logaritmik ölçekte verilmiştir.)

Bu kategoriye en çok etki eden parametre metal bölümündeki boya işleminden kaynaklanmaktadır. Boya içeriğinde bulunan titanyum dioksit bileşiği tatlısu ekotoksisteye

en çok olumsuz etki eden parametre olduğu tespit edilmiştir ve etki değeri ise 0,062 kg 1,4-DB eq olarak hesaplanmıştır. Ardından sergileme dolabı üretimi için gerekli olan PVC plastik materyalin 0,047 kg 1,4-DB eq'lik değerle tatlı su ekotoksitesine en çok etki eden ikinci parametre olduğu görülmüştür. Elektrik sarfıyatı ise birçok etki kategorisinde olduğu gibi tatlı su ekotoksitesine de etki etmiştir ve kullanılan plastik malzemenin ardından 0,045 kg 1,4-DB eq'lik etki değeri ile üçüncü sıraya gelmiştir. Pusher malzemesi olarak kullanılan materyalin hammaddesi olan ABS polimerinin hem üretimi hem de sergileme dolabı yapısında kullanılması tatlısu ekotoksitesine negatif tesir etmiştir. Paketlemeden ve sergileme dolabı yapısında kullanılan plastik materyaller de aynı şekilde bu kategoriye olumsuz bir şekilde etki etmiştir. Aşağıda Şekil 4.22'de ise tatlısu ekotoksiste kategorisinin SimaPro yazılımındaki sonuçlarını göstermektedir.

Bu kategoriye en çok etki eden parametre metal bölümünde kullanılan alüminyum plaka/levhaların üretimi ve dolabın yapısında kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Ardından dolabın üretimi için tüketilen elektrik enerjisi tatlısu ekotoksisteye en çok olumsuz etki eden ikinci parametre olduğu tespit edilmiştir ve değeri de yaklaşık olarak $1,4E-11$ kg 1,4-DB eq olarak hesaplanmıştır. Sonrasında en çok etki eden parametreler ise sergileme dolabı üretimi için gerekli olan demir plaka/levhaların ve PET plastik materyalin dolabın yapısında kullanılması tatlısu ekotoksitesine negatif etki ettiği gözlenmiştir. Pusher (itici plastik) malzemesi olarak kullanılan materyalin hammaddesi olan ABS polimerinin hem üretimi hem de sergileme dolabı yapısında kullanılması tatlısu ekotoksitesine olumsuz etki etmiştir. Sergileme dolabının yapısında kullanılan plastik (PVC) materyallerinin de aynı şekilde bu kategoriye olumsuz etki ettiği görülmüştür. Ercan ve diğ. (2016) bir akıllı telefonun yaşam döngüsü analizi çalışmasında tatlısu ekotoksiste kategorisinin yaklaşık %80'inin telefonun üretim aşamasındaki aksiyonlardan etkilendiği sonucuna varmışlardır (y eksen etki büyüklüğüdür).

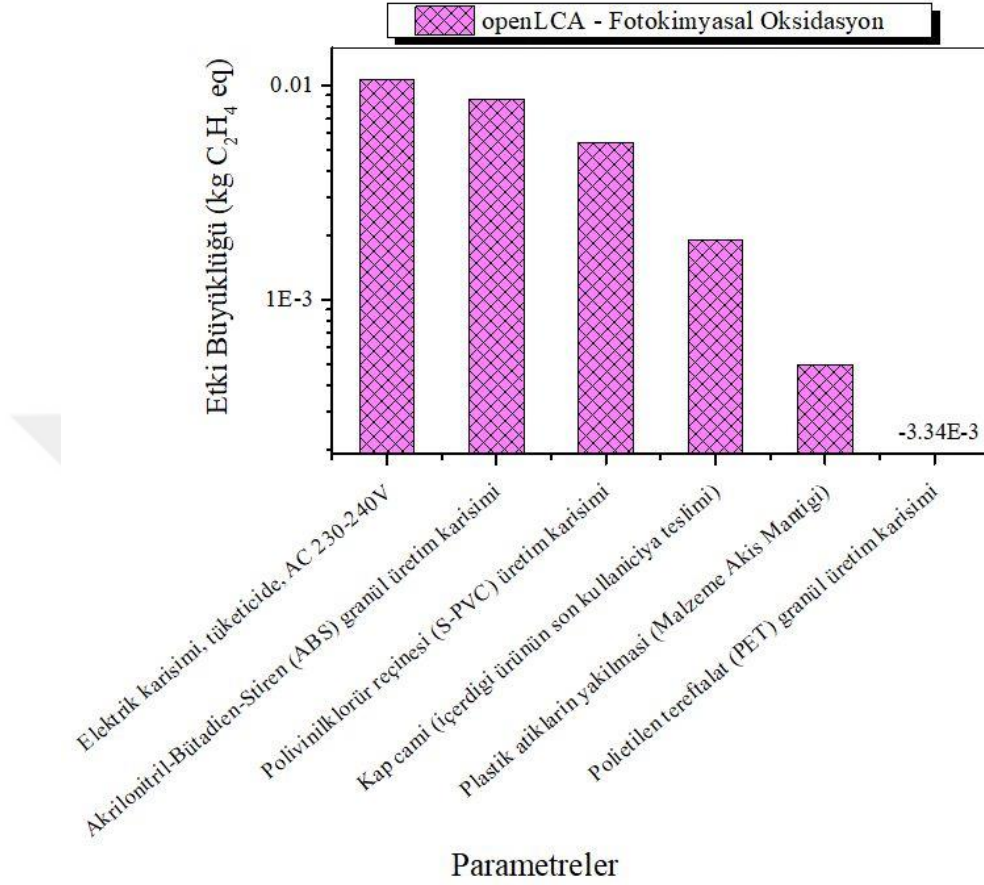


Şekil 4.22. Tatlısu Ekotoksosite Kategorisi

4.1.10. Fotokimyasal Oksidasyon Kategorisi

Azot oksitler ve Uçucu Organik Bileşiklerin (VOC) UV ışığı altında reaksiyona girmesiyle oluşan reaktif madde emisyonu ve sisin tarımsal ürünlere, insan sağlığına ve ekosistemlere zarar verme potansiyelini ifade eden etki kategorisidir. Yaşam döngüsü analizi çalışmalarında fotokimyasal oksidasyon, kg C₂H₄ eşdeğeri olarak gösterilmektedir

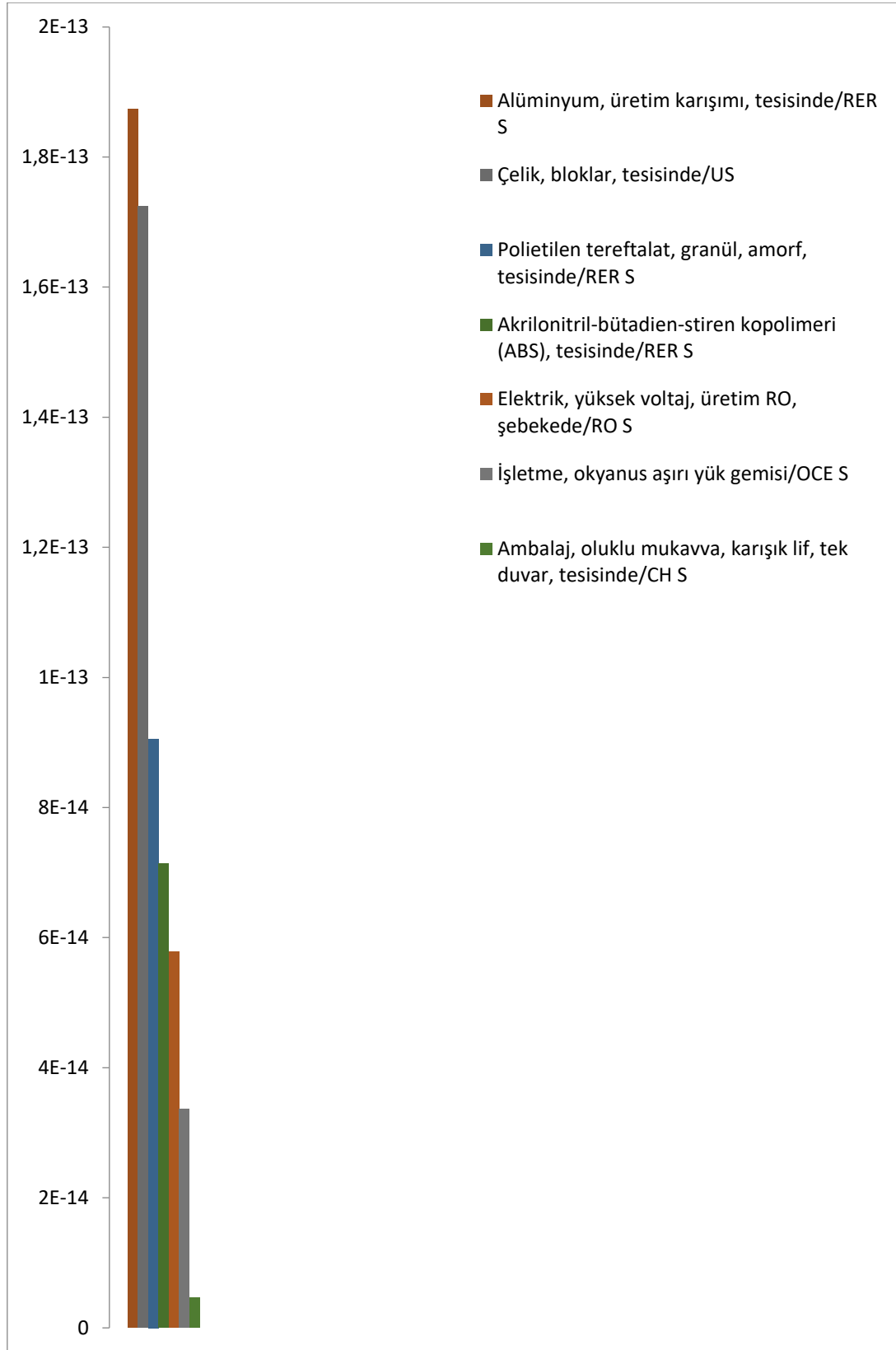
(Cündübey, 2018). Aşağıda OpenLCA’da fotokimyasal oksidasyon kategorisine etki eden parametreler Şekil 4.23’te gösterildiği gibidir.



Şekil 4.23. Fotokimyasal Oksidasyon Kategorisi

(* y eksenindeki değerler, etki kategorileri arasındaki büyük değer farklarını kompanze ederek aynı grafikte gösterebilmek amacıyla logaritmik ölçekte verilmiştir.)

Bu kategoriye en fazla olumsuz etki eden parametrenin sergileme dolabı üretimi için sarf edilen elektrik enerjisi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ardından 0.011 kg C₂H₄ eq’lık değerle ABS polimerinin dolabın yapısında kullanılması dolayısıyla gelmiştir. Sergileme dolabının bünyesinde kullanılan plastik (PVC) materyalinin etki derecesi üçüncü sırada yer almaktadır. Son olarak bu kategoriye sergileme dolabının raf ömrünün müşteriden sonra tükenmesi sonucu atık geri kazanımı için harcanan enerji ve aynı şekilde dolabın yapısında bulunan PET plastik materyalinin kullanılması sonucu negatif etki ettiği görülmüştür. Aşağıda Şekil 4.24’te ise fotokimyasal oksidasyon kategorisinin SimaPro yazılımındaki sonuçlarını göstermektedir.



Şekil 4.24. Fotokimyasal Oksidasyon Kategorisi

Bu kategoriye en fazla olumsuz etki eden parametrelerin sergileme dolabı üretimi için sarf edilen alüminyum ve demir plaka/levhaların sergileme dolabın bünyesinde kullanılması sonucu olduğu görülmüştür. Plastik materyal olarak kullanılan PET maddesinin sergileme dolabın bünyesinde kullanılması fotokimyasal oksidasyon kategorisine de negatif etki etmiştir. ABS polimerinin dolabın raflarında kullanılması dolayısıyla diğer kategorilerde olduğu gibi fotokimyasal oksidasyon kategorisine olumsuz etki yaptığı görülmüştür. Bir adet sergileme dolabının üretilmesi için gerekli olan elektrik enerjisi hemen hemen her etki kategorisinde olduğu gibi bu kategoride de olumsuz etki etmiştir. Son olarak bu kategoriye sergileme dolabının Dubai'ye nakledilmesi sonucu denizyolu taşımacılığı ve dolabın paketlenmesinden kaynaklı emisyonların olumsuz etki ettiği görülmüştür. Azot oksit salımları bu etki için en büyük neden olarak öne çıkmaktadır. Bu salınımlar çoğunlukla yanma faaliyetlerinden kaynaklanmakla birlikte, madencilik faaliyetlerinde yapılan patlamalar da buna katkı sağlamaktadır (Hawkins ve diğ., 2012).

Iswara ve diğ. (2019) yaptıkları yaşam döngüsü karşılaştırma çalışmasında ise OpenLCA ve SimaPro yazılımlarındaki veritabanı sürümlerinin farklı olduğunu ve bunun da sonuçların farklı şekilde çıkmasına neden olduğunu fark etmişlerdir. Ayrıca, analiz yöntemi aynı olmasına rağmen, dönüşüm ve karakterizasyon faktörlerinin farklı olabileceği ihtimali gibi; ancak yazılım programlarının hesaplamaları kapalı bir sistemde gerçekleştirildiği için bunu henüz belirleyemediler. Aynı giriş değişkenleriyle farklı yazılım programları tarafından üretilen sonuçlardaki farklılıklar, sonuçların yorumlanmasını etkileyebilir. Örneğin, SimaPro'dan elde edilen "Küresel Isınma" etki değeri, OpenLCA'dan elde edilen değere kıyasla neredeyse %60 daha yüksek çıkmıştır. Bir şirket, "Küresel Isınma" etkisini karbon ayak izi düzenlemesi ve teknik yaklaşımla ele almak isterse, karar SimaPro sonucu üzerine inşa edilirse çevresel maliyet muhtemelen 2-3 kat daha yüksek olacaktır. SimaPro, küresel ısınmayı en yüksek etki olarak sunuyor; bu nedenle, öncelikli programın küresel ısınmaya katkıda bulunan faktörlere yönelik olması gerekir. Ancak, aynı üretim sistemi ve veri değişkenleri için OpenLCA, en yüksek etki olarak ozon tabakası incelmesini öne çıkardı ve öncelikli programın ozon tabakası incelmesini azaltmaya yönelik olması gerektiğini belirtti (Iswara ve diğ., 2019).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, sergileme dolabı üretim sürecinin çevresel etkilerini değerlendirmek amacıyla yaşam döngüsü analizi (YDA) yöntemi kullanılmıştır. Yaşam döngüsü analizi, bir ürün ya da sürecin çevresel yüklerini detaylandırmak, çevresel etkileri sınıflandırarak her bir etki kategorisinin boyutunu belirlemek için önemli bir araçtır. Bu çalışma kapsamında, bir Açık hava Endüstriyel Reklamcılık firmasına ait, fonksiyonel birimi bir adet olan sergileme dolabının “beşikten mezara” yaklaşımli yaşam döngüsü analizi iki farklı yazılım olan OpenLCA ve SimaPro kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu analizler sonucunda, sergileme dolabının çevresel etkilerinin en aza indirgenmesi amacıyla uygun yazılımın seçimi ve çevresel etkilerin minimize edilmesine yönelik önerilerin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Çalışmada ele alınan sergileme dolabının kabul edilen 25 yıllık kullanım ömrü boyunca ortaya çıkan çevresel etkiler detaylı bir şekilde incelenmiştir. 25 yıl sonunda, dolabın kullanım ömrünü tamamlamasının ardından geri dönüşüm ve enerji geri kazanımı senaryoları değerlendirilmiştir. Özellikle, ürünün ömrü sonunda plastik atıkların enerji üretimi için yakılması gibi senaryolar analiz edilerek, bu süreçlerin çevresel etkileri de hesaplanmıştır.,

Analizde kullanılan veriler yalnızca gerçek zamanlı üretim süreçlerinden elde edilmiş olup, tahmine dayalı veya varsayıma bağlı bilgilerden kaçınılmıştır. Yapılan analizlerin ardından, her iki yazılımda da incelenen etki kategorileri içinde deniz ekotoksitesitesi öne çıkmıştır. OpenLCA yazılımında deniz ekotoksitesitesi yaklaşık 4831 kg 1,4-DB eq olarak ölçülürken, SimaPro’da ise bu değer 173,0866 kg 1,4-DB eq olarak hesaplanmıştır. OpenLCA sonuçları, SimaPro ‘ya göre yaklaşık 28 kat daha yüksek bir değer göstermiştir. Bu farklılığın sebebi, yazılımlar arasındaki karakterizasyon faktörleri ve veri işleme modellerinin farklılığından kaynaklanmaktadır. OpenLCA’da, deniz ekotoksitesitesine en fazla katkıyı sağlayan faktörler arasında elektrik tüketimi ve plastik malzemeler yer alırken, titanyum dioksit içeren toz boyanın etkisinin de önemli olduğu belirlenmiştir.

Küresel ısınma potansiyeli kategorisinde ise SimaPro’da yaklaşık 120 kg CO₂ eq olarak hesaplanan değer, OpenLCA’da 177,7 kg CO₂ eq olarak ölçülmüş ve OpenLCA’nın bu etkiyi SimaPro ‘ya göre %50 daha fazla gösterdiği tespit edilmiştir. Bu farkın, yazılımların kullandığı karakterizasyon faktörleri ve modelleme yöntemlerinden

kaynaklandığı gözlemlenmiştir. Her iki yazılımda da paketleme ve nakliye süreçlerinin deniz ekotoksitesine olumsuz etkileri olduğu görülmüştür.

Öneriler ve Geleceğe Yönelik Çalışmalar

- * Yazılım Seçimi: OpenLCA, ücretsiz bir açık kaynak yazılım olması sebebiyle çevresel analizlerde maliyet avantajı sağlarken, daha kapsamlı veri ihtiyaçları için Ecoinvent gibi ücretli veri tabanlarına erişimi gerektirebilir. SimaPro ise, lisans ücreti karşılığında Ecoinvent veri tabanını barındırması ve daha geniş bir veri erişimi sağlaması açısından tercih edilebilir.
- * Enerji Tüketiminin Azaltılması: Deniz ekotoksitesine olan etkisi göz önünde bulundurularak, üretim sürecindeki elektrik tüketiminin optimize edilmesi önerilir. Daha verimli enerji yönetimi, dolabın çevresel etkilerini azaltmada önemli bir adım olacaktır.
- * Malzeme Seçimi ve Paketleme Alternatifleri: Plastik malzemelerin çevresel etkileri göz önünde bulundurularak, alternatif çevre dostu malzemelere yönelmek faydalı olabilir. Ayrıca, paketleme materyalleri ve paketleme yöntemlerinde sürdürülebilir alternatifler kullanılması deniz ekotoksitesini azaltacaktır.
- * Geri Dönüşüm Uygulamaları: Dolabın kullanım ömrünün sona ermesi durumunda geri kazanım sürecinde kullanılan enerji ve malzemelerin çevresel etkilerinin azaltılması için, daha verimli geri dönüşüm teknolojilerinin tercih edilmesi önerilmektedir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda, farklı malzemelerin çevresel etkilerini karşılaştırmak, dolap tasarımında çevresel açıdan daha sürdürülebilir seçenekler sunmak için detaylı analizlerin yapılması faydalı olacaktır. Bu tür çalışmalar, tesislerin çevre dostu üretim süreçlerine katkı sağlayarak sürdürülebilirlik hedeflerine daha yakın olmalarını sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Asman, N.S.A., Raymond, M.B., Mohamad, H.M., Bolong, N. (2023). Life Cycle Assessment of Plastic Waste Into Furniture Using Open LCA software. *Civil Engineering Program, Faculty of Engineering, Universiti Malaysia*, 10(2), 88-94.
- Aygenç, M. (2019). Life Cycle Assessment (LCA) of a LEED-Certified Green Building Using Two Different LCA Tools, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 12624583.
- Azman, M.A.H.M., Sobri, S.A., Norizan, M.N., Ahmad, M.N., Ismail, W.O.A.S.W., Hambali, K.A., Hairi, M.H., Andi, H., Hermawan, M.M., Teo, P.T., Taharin, M.R., Noor, N.A.M. (2021). Life Cycle Assessment (LCA) of Particleboard: Investigation of the Environmental Parameters. *Advanced Material Research Cluster, Faculty of Bioengineering and Technology, Universiti Malaysia*, 13(13), 1-18. DOI: 10.3390/polym13132043.
- Briassoulis, D., Aristopoulou, A., Bonora, M., Verlodt, I. (2004). Degradation Characterisation of Agricultural Low-density Polyethylene Films, *Department of Agricultural Engineering, Agricultural University of Athen*, 88(2), 131-143. DOI:10.1016/j.biosystemseng.2004.02.010.
- Chaudhary, A., Verones, F., de Baan, L., Pfister, S., Hellweg, S. (2016). *Land Stress: Potential Species Loss from Land Use (Global; PSSRg)*. LC-Impact, Institute of Environmental Engineering, ETH Zurich, Switzerland; Industrial Ecology Programme, NTNU, Norway.
- Cordella, M. Hidalgo, C. (2016). Analysis of Key Environmental Areas in the Design and Labeling of Furniture Products: Application of a Screening Approach Based on a Literature Review of LCA Studies. *Sustainable Production and Consumption*, 8, 64-77. DOI:10.1016/j.spc.2016.07.002.
- Cündübey, F.S. (2018). Denim Kumaş Üretiminde Su ve Enerji Kullanımının Değerlendirilerek Üç Farklı Denim Kumaşının Çevresel Etkilerinin YDA ile Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 514175.
- Çankaya, S. (2018). Çimento Üretiminde Çevresel Sürdürülebilirlik İçin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 526793.
- Çakır, Z. (2017). Bursa Organize Sanayi Bölgesi Su Üretim Tesisinin Çevresel Performansının Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Yöntemiyle İyileştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 470563.
- Demirbaş, T. (2023). Et ve Et Ürünleri Endüstrisinde Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 826738.

- Demirel, Y.E., Öztürk, P.H., Öztürk, E., Kitiş, M. (2019). Yaşam Döngüsü Analizi ve Endüstriyel Uygulama Örnekleri. *12. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi*, Ankara, Türkiye, 5-7 Ekim, Ankara, 640-656.
- Duman, İ. (2023). Evaluating Environmental Impacts of Hard Surface Cleaners Through Life Cycle Assessment by Addressing Ecolabel Criteria. Master's Thesis, Middle East Technical University, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 118220.
- Ekinci, G. (2019). PV Sistemlerinin Yaşam Döngüsü, Enerji ve Ekserji Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 262790.
- Emami, N., Heinonen, J., Marteinsson, B., Säynäjoki, A., Junnonen, J.M., Laine, J., Junnila, S. (2019). A Life Cycle Assessment of Two Residential Buildings Using Two Different LCA Database-Software Combinations: Recognizing Uniformities and Inconsistencies. *Buildings*, 9(1), 1-20. DOI:10.3390/buildings9010020.
- Ercan, M., Malmudin, J., Bergmark, P. (2016). Life Cycle Assessment of a Smartphone. *4th International Conference on ICT for Sustainability*, 124-133. DOI:10.2991/ict4s-16.2016.15.
- Ferrara, C., Feo, G.D. Picone, V. (2021). LCA of Glass Versus PET Mineral Water Bottles: An Italian Case Study. *Recycling*, 6(3), 1-13. DOI:10.3390/recycling6030050.
- Goedkoop, M. Spriensma, R. (2001). *The Eco-indicator 99: A Damage-Oriented Method for Life Cycle Impact Assessment*. Methodology Report. PRé Consultants.
- Guinée, J.B., Gorée, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., de Koning, A., van der Voet, E. (2002). *Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards*. Kluwer Academic Publishers.
- Hamedani, S.R., Kuppens, T., Malina, R., Bocci, E., Colantoni, A., Villarini, M. (2019). Life Cycle Assessment and Environmental Valuation of Biochar Production: Two Case Studies. *Energies*, 12(11), 2166; <https://doi.org/10.3390/en12112166>
- Hanun, R.S.F., Sharizal, A.S., Mazlan, M., Ter, T.P., Andi, H., Zaidi, M.A., Bashree, M., Najmi, M. (2019). Life-Cycle Assessment (LCA) of Plastic Bag: Current Status of Product Impact. *Advanced Material Research Cluster, Faculty of Bioengineering and Technology, Universiti Malaysia Kelantan, Malaysia*, 28(18), 94-101.
- Hawkins, T.R., Singh, B., Majeau-Bettez, G., Strømman, A.H. (2012). Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Conventional and Electric Vehicles. *Journal of Industrial Ecology*, 17(1), 53-64. DOI:10.1111/j.1530-9290.2012.00532.x.
- Hélias, A., Esnouf, A., Finkbeiner, M. (2020). Consistent Normalization Approach for Life Cycle Assessment Based on Inventory Databases. *Science of the Total Environment*, 703, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.134583.

- Hitchcock, D., Savelski, M.J., Slater, C.S. (2011). Life Cycle Analysis of Solvent Reduction in Pharmaceutical Synthesis Using Continuous Adsorption for Palladium Removal. *Journal of Environmental Science and Health*, 48(13), 1602-1608. DOI: 10.1080/10934529.2013.815080.
- Howe, J., Pepke, E., Fernholz, K. (2017). A Review of Life Cycle Assessment Tools. Dovetail Partners, Inc.
- Hopewell, J., Dvorak, R., Kosior, E., (2009). Plastics Recycling: Challenges and Opportunities. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 364(1526), 2115-2126. DOI: 10.1098/rstb.2008.0311.
- Iswara, A.P., Farahdiba, A.U., Nadhifatin, E.N., Pirade, F., Andhikaputra, G., Mufliah, I., Boedisantoso, R. (2020). A Comparative Study of Life Cycle Impact Assessment Using Different Software Programs. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 506, 1-7. DOI:10.1088/1755-1315/506/1/012002.
- International Organization for Standardization. (2006). ISO 14040: Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and framework. *ISO*.
- International Organization for Standardization. (2006). ISO 14064-1: Greenhouse Gases — Part 1: Specification with Guidance at the Organization Level for Quantification and Reporting of Greenhouse Gas Emissions and Removals. *ISO*.
- Kırcova, İ., Tosun, N.B., Cesur, D.K., Köse, Ş.G. (2019). *Türkiye Endüstriyel Reklam Ürünleri Sektörü Genel Değerlendirme*. İstanbul Ticaret Odası, Türkiye.
- Liu, G., Müller, D.B. (2012). Addressing Sustainability in the Aluminum Industry: a Critical Review of Life Cycle Assessments. *Journal of Cleaner Production*, 35, 108-117. DOI: 10.1016/2012.05.030.
- Lolo, E.U., Krismani, A.Y., Sudaryantingsih, C., Gunawan, R.I., Pambudi, Y.S., Widiyanto, N., Ngaling, A.D. (2023). Analysis of Material and Energy Effects of Tofu Industry on Environmental Quality Using OpenLCA 1.103 Software (Case Study: Sari Murni Tofu Factory, Kampung Krajan, Mojosongo, Surakarta, Central Java, Indonesia), *East Asian Journal of Multidisciplinary Research*, 2(3), 1233-1250. DOI:10.55927/eajmr.v2i3.3480.
- Mannheim, V. (2021). Life Cycle Assessment Model of Plastic Products: Comparing Environmental Impacts for Different Scenarios in the Production Stage. *Polymers*, 13(5), 1-20. DOI:10.3390/polym13050777.
- Migdal, A.R., Kijenski, J., Kawalec, A., Kedziora, A., Rejewski, P. (2014). Energy Recovery From Waste Plastics. *Industrial Chemistry Research Institute Chemik Journal*, 68(12), 1056-1073.

- Ndizeye, Y., Dongjie, N., Umuhoza, M., Head, S., Mulwa, F., Collins, M. (2021). Integrated LCA and OpenLCA-CML Baseline Analysis on Environmental Impact Associated with the Plastic Packaging Waste Management System of Rubavu City, Rwanda. *International Journal of Scientific Advances*, 2(2), 152-160. DOI:51542/IJSCIA.V212.13.
- Öztürk, Y. (2012). Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Tampon ve Turbo Emiş Borusunun Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi. Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray, 124510.
- Rasul, M.G., Arutla, L.K.R. (2019). Environmental Impact Assessment of green Roofs Using Life Cycle Assessment. School of Engineering and Technology, Central Queensland University, Rockhampton, Queensland, Australia, *Energy Reports*, 6, 503-508. DOI:10.1016/j.egyr.2019.09.015.
- Salihoğlu, G., Poroy, Z., Salihoğlu, N.K. (2018). Kentsel Atık Yönetiminde Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi: Bursa Analizi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(6), 692-699.
- Saputra, A., Satwikanitya, P., Ajie, B., & Pramitaningrum, E. (2023). Comparative Life Cycle Assessment of Plastic Jerry Cans: A Case Study Production in Plastic Workshop of Politeknik ATK Yogyakarta. *AIP Conference Proceedings*, 2540(1), DOI: 10.5505/pajes.2018.33603.
- Shen, L., Worrell, E., Patel, M.K., (2010). Environmental Impact Assessment of Man-Made Cellulose Fibres. *Resources Conservation and Recycling*, 55(2), 260-274. DOI: 10.1016/j.resconrec.2010.10.001.
- Silva, D.A.L., Nunes, A.O., Moris, V.A.S., Piekarski, C.M., Rodrigues, T.O. (2017). How important is the LCA Software Tool You Choose? Comparative Results From GaBi, OpenLCA, SimaPro, and Umberto. *Center for Science and Technology Management, Department of Production Engineering, Ponta Grossa, PR, Brazil*, 1-7. DOI: 10.1016/j.spc.2019.07.005.
- Silva, D.A.L., Nunes, A.O., Piekarski, C.M., Moris, V.A.S., de Souza, L.S.M., Rodrigues, T.O. (2019). Why Using Different Life Cycle Assessment Software Tools Can Generate Different Results for the Same Product System? A Cause–Effect Analysis of the Problem. *Sustainable Production and Consumption*, 20, 304-315. DOI:10.1016/j.spc.2019.07.005.
- Subawi, H., Sedawati, A. (2021). Implementation of Greenhouse Gas Reduction in the Unmanned Vehicles Industry Using LCA Method. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 27(2), 1-11. DOI:10.5614/j.tl.2021.27.2.1.
- Şanal, İ. (2020). Profil Boru Üretiminin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 627592.

Tezcan, C. S. (2015). Yaşam Döngüsü Analizinin Süt Sığırları Yetiştiriciliğinde Kullanım Olanakları ve Bir Uygulama Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 426008.

URL-1: <https://simapro.com.tr/what-is-simapro/> (Ziyaret tarihi: 10 Mart 2025).

URL-2: www.openlca.org/ (Ziyaret tarihi: 10 Mart 2025).

URL-3: <https://www.OpenLCA.org/agribalyse-3-1-1-now-available-for-OpenLCA/> (Ziyaret tarihi: 10 Mart 2025).

URL-4: <https://support.Ecoinvent.org/releases-overview/> (Ziyaret tarihi: 10 Mart 2025).

URL-5: <https://rec.org.tr/2017/02/02/yasam-dongusu-analizi/> (Ziyaret tarihi: 18 Mart 2025).

Uysal, İ.G., Güneş, N.Ç., Koca, N. (2022). Farklı Peynir Çeşitlerinin Yaşam Döngüsü Analizi. *Gıda Dergisi*, 47(6), 941-961. DOI: 10.15237/gida.GD22062.

Ün, Y. (2009). Life Cycle Assessment of Wastewater Treatment Plants. Master's Thesis, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Viere, T., Lehmann, J., Miao, Z.C., Harding, K., Strothmann, P., Wright, W.S.L., Chitaka, T.Y., Sonnemann, G. (2024). Global State of the Art of Teaching Life Cycle Assessment in Higher Education. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 29(7), 1290-1302. DOI:10.1007/s11367-024-02319-5.

Wilson, D.C., Velis, C. (2015). Waste Management – Still a Global Challenge in the 21st Century: An Evidence-Based Call for Action. *Waste Management & Research*, 33(12), 1049-1051. DOI: 10.1177/0734242X15616055.

Zeug, W., Bezama, A., Thrän, D. (2022). Application of Holistic and Integrated LCSA: Case Study on Laminated Veneer Lumber Production in Central Germany. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 27(12), 1252-1375. DOI:10.1007/s11367-022-02098-x.

Zhu, T. (2004). Life Cycle Assessment in Designing Greener Semiconductor. *Department of Chemical and Environmental Engineering, University of Arizona, USA*.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- Ok, H.,** Eyvaz M., Civan, M. (2024). Assessing the Environmental Footprint of an Industrial Product: A Comparative Study of Two LCA Software Tools, *3rd International Conference on Recent Academic Studies*, All Sciences Academy, Konya, 03-04 December 2024.
- Ok, H.,** Eyvaz M., Civan, M. (2024). Environmental Impacts of the Display Cabinet Manufacturing Industry and Proposed Solutions for Mitigation, *2nd International Conference on Trends in Advanced Research*, All Sciences Academy, Konya, 22-23 November 2024.
- Ok, H.,** Eyvaz M., Civan, M. (2024). Life Cycle Assessment of Display Cabinet Production. *3rd International Conference on Contemporary Academic Research*, All Sciences Academy, Konya, 10-11 November 2024.

ÖZGEÇMİŞ

Hüseyin OK, ilk, orta ve lise öğrenimini İstanbul’da tamamladı. 2021 yılında Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü’nde lisans programını bitirdi. 2021-2022 güz döneminde Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında başladığı yüksek lisans programında akademik çalışmalarına devam etmektedir.

