



**İSTANBUL MEDENİYET
ÜNİVERSİTESİ**

**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM
ENSTİTÜSÜ**

**ÇEVRE VE ENERJİ SİSTEMLERİ
MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KENDİNDEN YAPIŞKANLI ETİKET ÜRETİMİNİN
YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

Kadriye Özge BİLGİÇ

Ocak-2020



**İSTANBUL MEDENİYET
ÜNİVERSİTESİ**

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM
ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE VE ENERJİ SİSTEMLERİ
MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KENDİNDEN YAPIŞKANLI ETİKET ÜRETİMİNİN
YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

Kadriye Özge BİLGİÇ

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Özgür Aktaş

Ocak-2020

ONAY

İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Çevre ve Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans öğrencisi olan Kadriye Özge Bilgiç'in hazırladığı ve jüri önünde savunduğu "Kendinden Yapışkanlı Etiket Üretimin Yaşam Döngüsü Analizi İle Değerlendirilmesi" başlıklı tez başarılı kabul edilmiştir.

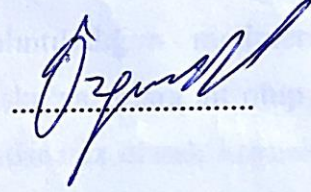
JÜRİ ÜYELERİ

İMZA

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Özgür AKTAŞ

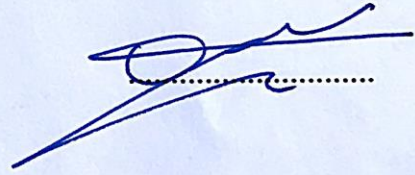
Kurumu: İstanbul Medeniyet Üniversitesi



Üyeler:

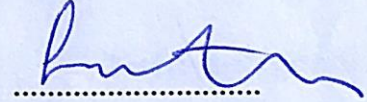
Dr. Öğr. Üyesi Orhan GÖKYAY

Kurumu: Marmara Üniversitesi



Dr. Öğr. Üyesi Senem TEKSOY BAŞARAN

Kurumu: İstanbul Medeniyet Üniversitesi



Tez Savunma Tarihi: 20/01/2020

ETİK İLKELERE UYGUNLUK BEYANI

İstanbul Medeniyet Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü bünyesinde hazırladığım bu Yüksek Lisans tezinin bizzat tarafımdan ve kendi sözcüklerimle yazılmış orijinal bir çalışma olduğunu ve bu tezde;

1. Çeşitli yazarların çalışmalarından faydalandığımda bu çalışmaların ilgili bölümlerini doğru ve net biçimde göstererek yazarlara açık biçimde atıfta bulunduğumu;
2. Yazdığım metinlerin tamamı ya da sadece bir kısmı, daha önce herhangi bir yerde yayımlanmışsa bunu da açıkça ifade ederek gösterdiğimi;
3. Alıntılanan başkalarına ait tüm verileri (tablo, grafik, şekil vb. de dâhil olmak üzere) atıflarla belirttiğimi;
4. Başka yazarların kendi kelimeleriyle alıntıladığım metinlerini kaynak göstererek atıfta bulunduğum gibi, yine başka yazarlara ait olup fakat kendi sözcüklerimle ifade ettiğim hususları da istisnasız olarak kaynak göstererek belirttiğimi,

beyan ve bu etik ilkeleri ihlal etmiş olmam halinde bütün sonuçlarına katlanacağımı kabul ederim.

Ocak, 2020

Kadriye Özge BİLGİÇ

İÇİNDEKİLER

ONAY	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
ETİK İLKELERE UYGUNLUK BEYANI.....	I
İÇİNDEKİLER	III
KISALTMALAR LİSTESİ.....	VI
TABLolar LİSTESİ.....	VIII
ŞEKİLLER LİSTESİ	IX
ÖZET.....	XI
ABSTRACT	XII
1. GİRİŞ	1
2. ETİKET	3
2.1. Kendinden Yapışkanlı Etiketin Yapısı	4
2.1.1. Üst Tabaka.....	4
2.1.2. Yapışkan Tabaka.....	5
2.1.3. Silikon Tabaka	5
2.1.4. Taşıyıcı Arka Tabaka.....	5
2.2. Kendinden Yapışkanlı Etiketin Üretimi	6
2.2.1. Flekso Baskı Tekniği	7
2.2.2. Ofset Baskı Tekniği	8
2.2.3. Serigraf Baskı Tekniği	8
2.3. Etiket Üretim Sanayi Atıkları.....	9
3. YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ.....	10
3.1. Yaşam Döngüsü Analizinin Tarihçesi ve ISO Standartları	11
3.2. Yaşam Döngüsü Analizi Uygulaması	13
3.2.1. Amaç ve Kapsam	14

3.2.2. Envanter Analizi	15
3.2.3. Etki Değerlendirmesi	15
3.2.4. Yorumlama	19
3.3. Yaşam Döngüsü Analizinde Kullanılan Yazılım Programları	19
4. YÖNTEM.....	21
4.1. İşletmeye Ait Veriler	21
4.2. Çalışmada Kullanılan OpenLCA Programı.....	22
4.2.1. OpenLCA Akışları ve Uygulama Adımları	26
4.2.2. Çalışmada Kullanılan Etki Kategorisi Hesaplama Metodu – CML 2001	26
4.2.3 CML 2001 Etki Kategorisi Grupları.....	30
4.3. Hesaplamalar ve Kabuller	32
4.4. Uygulama ve Sonuçlar	42
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	47
5.1. Abiyotik Kaynakların Tüketimi.....	51
5.2. Asidifikasyon	53
5.3. Ötrofikasyon	55
5.4. Tatlısu Sucul Ekotoksitesitesi.....	57
5.5. Tatlı Su Sediman Ekotoksitesitesi	59
5.6. Küresel Isınma	62
5.7. İnsan Sağlığı	63
5.8. İyonize Radyasyon.....	66
5.9. Arazi Rekabeti	66
5.10. Koku.....	67
5.11. Deniz Suyu Ekotoksitesitesi	68
5.12. Deniz Suyu Sediman Ekotoksitesitesi	71
5.13. Ozon Tabakasının İncelmesi.....	73

5.14. Fotokimyasal Oksidasyon.....	74
5.15. Karasal Ekotoksisite	77
5.16. Yenilenebilir Enerji Kaynağı Kullanılmasının Etkileri	87
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	92
KAYNAKLAR	95
ÖZGEÇMİŞ	99

KISALTMALAR LİSTESİ

AETP: Abiyotik Element Tükenme Potansiyeli

AFTP: Abiyotik Fosil Tükenme Potansiyeli

AP: Asidifikasyon Potansiyeli

ATP: Abiyotik Tükenme Potansiyeli

CFC11: Trichlorofluoromethane - Tri Klor Flor Metan

CH₄: Methane – Metan

CML: Leiden Üniversitesi Çevre Bilimleri Enstitüsü

CO: Karbon Monoksit

CO₂: Carbondioxide - Karbon Di Oksit

CO₂-Eq: Carbondioxide Equivalent - CO₂-Eş Karbondioksit Eşdeğeri

DALYS: Disability Adjusted Life Year – İyonize Radyasyon Birimi

DB: Dichlorobenzene – Diklorobenzen

DSETP: Deniz Suyu Sucul Ekotoksitesitesi Potansiyeli

DSSTP: Deniz Suyu Sucul Ekotoksitesitesi Potansiyeli

EBIR: Equal Benefit Incremental Reactivity – Eşit Düzeyli Artış Tepkimesi

EPA: Environmental Protection Agency - Çevre Koruma Ajansı

Eq: Equivalent -Eş değer

FOOP: Fotokimyasal Ozon Oluşturma Potansiyeli

FOP: Fotokimyasal Oksidasyon Potansiyeli

GABİ: Graphic Analytical Business IntelligenceGrafik Analitik İş Zekası

GBF Güvenlik Bilgi Formu

HFC: Hydrofluorocarbon – Hidroflorokarbon

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change. Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli

ISO: International Standarts Organization – Uluslararası Standartlar Organizasyonu

İTP: İnsan Toksisitesi Potansiyeli

KETP: Karasal Ekotoksisite Potansiyeli

KIP: Küresel Isınma Potansiyeli

kWh: Kilowatt Saat

LC₅₀: Lethal Concentration – Ölümcül Doz %50

LCA: Life Cycle Assesment - Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi / Analizi

MIR: Maximum Incremental Reactivity – Maksimum Artış Tepkimesi

MOIR: Maximum Ozone Incremental Reactivity – Maksimum Ozon Artışı Tepkimesi

MSETP: Marine Sediment Ecotoxicity – Deniz Sediman Ekotoksisite Potansiyeli

N₂O: Nitrous Oxide - Di Azot Monoksit

NMVO: Non-Methane Volatile Organic Compunds- Metan Dışı Uçucu Organik Bileşikler

NO_x: Nitrogen Oxides - Azot Oksitler (Genel Grup, NO₂, NO₃ gibi)

OTİP: Ozon Tabakasını İnceltme Potansiyeli

ÖP: Ötrofikasyon Potansiyeli

PS: Photochemical Smog - Fotokimyasal Sis / Yoğunluk

Sb: Antimon

SimaPro: Ürünlerin Entegre Çevresel Değerlendirme Sistemi

SETAC: Society of Environmental Toxicology and Chemistry- Çevre ve Kimya Toksikoloji Derneği

SO₂: Sulphure Dioxide – Kükürt Di Oksit

SO_x: Sülfür Oksitler

TSETP: Tatlısu Sucul Ekotoksisitesi Potansiyeli

TSSETP: Tatlısu Sediman Ekotoksisitesi Potansiyeli

TÜİK: Türkiye İstatistik Kurumu

USEPA: U.S Environmental Protection Agency -Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı

VOC: Uçucu Organik Bileşenler

YDA: Yaşam Döngüsü Analizi

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1. Farklı YDA Hesaplama Yöntemlerinin İnceledikleri Etki Başlıkları, (Acero ve diğ., 2015)	18
Tablo 2. İşletmeye Ait Yıllık Üretim Kapasitesi.....	21
Tablo 3. İşletmeye Ait Yıllık Tüketim Kapasitesi	22
Tablo 4. CML (baseline) Metodu Etki Kategorileri, (Acero ve diğ. 2015).....	27
Tablo 5. CML (non baseline) Metodu Etki Kategorileri, (Acero ve diğ. 2015).....	28
Tablo 6. İşletmeye Ait Yıllık Atık Verileri	33
Tablo 7. Kendinden Yapışkanlı Etikete Ait Veriler, PP Etiket	34
Tablo 8. Kendinden Yapışkanlı Etikete Ait Veriler, Kağıt Etiket.....	34
Tablo 9. Çözücü Solüsyona Ait Veriler	35
Tablo 10. Sabitleyici-Fikser Solüsyona Ait Veriler	36
Tablo 11. İşletmeye Ait Girdiler	39
Tablo 12. Etiket Yaşam Döngüsü Etki Kategorileri Hesaplama Sonuçları	48
Tablo 13. Literatür Örnek Sonuçları-Abiyotik Kaynaklar	51
Tablo 14. Literatür Örnek Sonuçları-Asidifikasyon.....	55
Tablo 15. Literatür Örnek Sonuçları- Ötrofikasyon	56
Tablo 16. Literatür Örnek Sonuçları-Küresel Isınma Potansiyeli	63
Tablo 17. Literatür Örnek Sonuçları-Arazi Rekabeti	67
Tablo 18. Literatür Örnek Sonuçları-Ozon Tabakasının İncelmesi	73
Tablo 19. Literatür Örnek Sonuçları- Karasal Ekotoksosite (PAH, Ksilen, NMVOC ort.).....	77
Tablo 20. Etki Kategorisi Sonuçları-Flekso Baskı	81
Tablo 21. Etiket Yaşam Döngüsü Etki Kategorileri Hesaplama Sonuçları-Elektrik Kullanımının Karşılaştırılması	89

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Kendinden Yapışkanlı Etiketin Yapısı, (Ünsal, 2009:20)	4
Şekil 2. Flekso Baskı Sistemi, (Ünsal, 2009: 46)	7
Şekil 3. Ofset Baskı Sistemi, (Bekiroğlu, 2007:46).....	8
Şekil 4. Serigrafi Baskı Sistemi, (Bekiroğlu, 2007:18)	8
Şekil 5. Yaşam Döngüsü Kullanım Alanları ve Kullanım Sıklığı, (Balpetek F.G, 2012)	10
Şekil 6. Yaşam Döngüsü Analizi Aşamaları, (EPA 1993)	11
Şekil 7. Yaşam Döngüsü Analizi Çerçevesi, (USEPA, 2006).....	14
Şekil 8. OpenLCA 1.8 Versiyonu Başlangıç Ekranı	23
Şekil 9. OpenLCA Veri Tabanı Arama Sayfası.....	24
Şekil 10. Veri Tabanı ve Çalışma Metodu Yüklenmiş Başlangıç Ara Yüzü.....	24
Şekil 11. OpenLCA Etiket İle İlgili Veri Tabanı Araması	25
Şekil 12. Etiket Üretimi İş Akış Şeması	41
Şekil 13. Akış Oluşumu	42
Şekil 14. İşlem Oluşumu.....	43
Şekil 15. Girdi Verilerinin İşlenmesi	43
Şekil 16. Yeni Ürün Sistemi Oluşturma	44
Şekil 17. Yeni Ürün Sistemi Model Grafiği	45
Şekil 18. Hesaplama Metodunun Seçilmesi	45
Şekil 19. YDA Program Algoritması, (Semtrio)	46
Şekil 20. Abiyotik Kaynakların Tüketimi (element, ekonomik rezerv) Grafik Sonucu	52
Şekil 21. Abiyotik Kaynakların Tüketimi (element, kaynak tabanı) Grafik Sonucu.	53
Şekil 22. Asidifikasyon Sonuç Grafiği	54
Şekil 23. Ötrofikasyon Sonuç Grafiği.....	56
Şekil 25. Tatlı Su Sucul Ekotoksitesitesi 20yıl Sonuç Grafiği	58
Şekil 26. Tatlı Su Sucul Ekotoksitesitesi 500yıl Sonuç Grafiği	59
Şekil 27. Tatlısu Sediman Ekotoksitesitesi 20yıl Sonuç Grafiği	59
Şekil 28. Tatlısu Sediman Ekotoksitesitesi 100yıl Sonuç Grafiği	60
Şekil 29. Tatlı Su Sediman Ekotoksitesitesi 500yıl Sonuç Grafiği	60

Şekil 30. Tatlı Su Sucul Ekotoksitesitesi Sonsuz Sonuç Grafiği	61
Şekil 31. Tatlı Su Sucul Ekotoksitesitesi (PAH, Xylene, NMVOC ort.) Sonuç Grafiği	61
Şekil 32. Küresel Isınma Sonuç Grafiği	62
Şekil 33. İnsan Sağlığı (PAH, Ksilen, NMVOC ort.) Sonuç Grafiği	64
Şekil 34. İnsan Sağlığı 100yıl Sonuç Grafiği.....	64
Şekil 35. İnsan Sağlığı 20yıl Sonuç Grafiği.....	65
Şekil 36. İnsan Sağlığı 500yıl Sonuç Grafiği.....	65
Şekil 37. Arazi Rekabeti Sonuç Grafiği.....	66
Şekil 38. Kötü Kokulu Hava Sonuç Grafiği	68
Şekil 39. Deniz Suyu Sucul Ekotoksitesitesi (PAH, Ksilen, NMVOC ort.) Sonuç Grafiği	69
Şekil 40. Deniz Suyu Sucul Ekotoksitesitesi 100yıl Sonuç Grafiği	69
Şekil 41. Deniz Suyu Sucul Ekotoksitesitesi 20yıl Sonuç Grafiği	70
Şekil 42. Deniz Suyu Sucul Ekotoksitesitesi 500yıl Sonuç Grafiği	70
Şekil 43. Deniz Suyu Sediman Ekotoksitesitesi 100yıl Sonuç Grafiği	71
Şekil 44. Deniz Suyu Sediman Ekotoksitesitesi 20yıl Sonuç Grafiği	71
Şekil 45. Deniz Suyu Sediman Ekotoksitesitesi 500yıl Sonuç Grafiği	72
Şekil 46. Deniz Suyu Sediman Ekotoksitesitesi Sonsuz Sonuç Grafiği.....	72
Şekil 47. Ozon Tabakasının İncelmesi Sonuç Grafiği	74
Şekil 48. Fotokimyasal Oksidasyon (MIR, yüksek NOx) Sonuç Grafiği.....	75
Şekil 49. Fotokimyasal Oksidasyon (EBIR, düşük NOx) Sonuç Grafiği.....	75
Şekil 50. Fotokimyasal Oksidasyon (düşük NOx) Sonuç Grafiği	76
Şekil 51. Fotokimyasal Oksidasyon (MOIR, yüksek NOx) Sonuç Grafiği.....	76
Şekil 52. Karasal Ekotoksitesite (PAH, Ksilen, NMVOC ort.) Sonuç Grafiği	78
Şekil 53. Karasal Ekotoksitesite 100yıl Sonuç Grafiği.....	78
Şekil 54. Karasal Ekotoksitesite 20yıl Sonuç Grafiği.....	79
Şekil 55. Karasal Ekotoksitesite 500yıl Sonuç Grafiği.....	79

ÖZET

Sanayi devriminin başlamasıyla hız kazanan makineleşme süreci ile dünyada artan nüfusun talebini karşılamak için fabrikasyon üretim de hız kazanmıştır. Ortaya çıkan arzları karşılamak için birçok farklı dalda sektör oluşmuştur. Değişen ve gelişen bu ihtiyaçlar doğrudan etkilediği sektörlerin yanında bu sektörlerle katkı sağlayan diğer sanayi dallarının gelişmesine de olanak vermiştir. Etiket, matbaa ve ambalaj sektörleri bu grupta yer almaktadır. Uzun yıllar önce ofset baskı ile üretime başlayan etiket sektöründe değişen dünya ile birlikte serigraf baskı, flekso baskı, dijital baskı yöntemleri de gelişmiş, farklı renk ve tasarımlarda baskılar başlamıştır. Artan üretim ve tüketim talepleri doğrultusunda tekstil, gıda, kozmetik ürünlerinin tüketilmesi sonucunda bu ürün atıkları dışında etiket atıkları da oluşmaktadır. Etiket sektöründe temel atıklar kağıt ve plastik olmakla birlikte prosesten kaynaklı solüsyon, boya, vernik gibi kimyasal atıkları da oluşmaktadır.

Yaşam döngüsü analizi (YDA), beşikten mezara kadar tüm yaşam döngüsü dikkate alınarak, belli bir işlevi yerine getirmek için gerekli faaliyetlerin sebep olduğu çevresel ve kaynak etkilerinin değerlendirilmesini içerir. Yaşam döngüsü analizinin tipik sonucu çevresel etkinin profilidir. Etiket sektörünün oluşturduğu atıklar, kullandığı enerji vb. girdiler değerlendirilerek çevreye olan etkileri ve bu etkiler sonucunda ortaya çıkabilecek proses iyileştirmeleri incelenmiştir. Hammadde girdileri gerçek bir etiket fabrikasından alınmış olup geniş kapsam ve ücretsiz veri tabanına sahip OpenLCA programı ile değerlendirme yapılmıştır. Bu çalışmada, değerlendirme aşamasında hesaplama yöntemi olarak çok sayıda farklı etki kategorisine sahip olması sebebiyle CML 2001 non baseline metodu seçilmiştir. Her etki kategorisi tek tek değerlendirilerek literatürdeki sonuçlar ile karşılaştırılmış, zararlı çevresel etkilerini azaltmak için önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Etiket üretimi, Yaşam Döngüsü Analizi, (YDA), Çevresel Etki, OpenLCA, CML2001

ABSTRACT

As well as the mechanization period which has accelerated with the beginning of the industrial revolution, fabrication production has also accelerated in order to meet the demand of the increasing population in the world. The sector has been formed in many different branches to meet all the kind of demands. These changing and developing needs have directly contributed to the development of other industries that contribute to these sectors as well as the sectors which are directly affected by them. Label, printing and packaging sectors are in this group. In the label industry, which has started production with offset printing many years ago, serigraph printing, flexo printing and digital printing methods have been developed in accordance with world demand and the printing of different colors and designs have also been developed in the meantime. In accordance with the increasing production and consumption demands and as a result of the consumption of textile, food and cosmetic products, label wastes have also occurred besides these product wastes. In the label production sector, the main wastes are paper and plastic, but we can count also chemical wastes such as solutions, paints and varnishes from the process.

Life cycle assessment (LCA) involves assessing the environmental and resource impacts caused by the activities necessary to perform a particular function, taking into account the entire life cycle from cradle to grave. Typical results of life cycle analysis represent the profile of environmental impact. The inputs that can be the wastes, energy consumption, etc. of the label sector were evaluated and their impacts on the environment as well as the process improvements that may arise as a result of these effects were examined. Raw material inputs were obtained from an actual label factory and evaluated with the OpenLCA program, which has an extensive and free database. CML 2001 non-baseline method was chosen as the calculation method in the evaluation phase since it involves many different effect categories. Each impact category was evaluated individually and compared with the results in the literature, and recommendations were made to reduce harmful environmental impacts.

Keywords: Label production, Life Cycle Assesment, (LCA), Environmental Impact, OpenLCA, CML2001

1. GİRİŞ

Dünyada yaşanan hızlı nüfus artışına bağlı olarak sanayi sektöründe de üretim artmış, artan nüfusa paralel olarak da tüketim ürünleri çeşitlenmiştir. Pazara sunulan ürün grupları çeşitlendikçe rekabetin artmasına bağlı olarak ürünlerin görselliği de önem kazanmaktadır. Sanayi sektörü çeşitlenen bu ürün gruplarına ait ambalaj, etiket vb. nihai ambalaj çeşitlerini geliştirerek ürünün görsel estetiğini arttırmak adına farklı hammaddelerden farklı renk ve kalitede tasarımlar yapmaktadır. Tüm bu çeşitlilik ve üretim miktarları arttıkça doğaya atılan atık miktarı da artmaktadır. Ömrünü tamamlayan tüm tüketim maddeleri atık olarak değerlendirilmekte ve atık döngüsünü yaşamaya başlamaktadır. Bu döngüde kimi atıklar doğada uzun yıllar yok olmazken kimlerinin geri dönüşüm veya geri kazanıma tekrar katılması sağlanmaktadır.

Hızlı ve kontrolsüz artan üretim sonucunda çevre kirliliği de artmaktadır. Çeşitlenen atık gruplarına bağlı olarak atıkların yönetim planı da değişmektedir. Atık yönetimi değerlendirilirken ürünün, ambalajının, etiketinin hammaddesi gibi doğaya etkisi olan tüm etki sınıfları incelenmektedir. Çevre boyutlarının önem kazanması ve bazı standartlar ve yasal kuruluşların yaptırımları ile birlikte üretim sektörü de bu çevre boyutlarının değerlendirilmesi ve çevreye olan etkisinin azaltılması konusunda çalışmalara yönelmektedir. Sosyal sorumluluk projesi olarak başlayan bu çalışmalar üretici firmaları markalaşma yönünde de geliştirmektedir. Bu sebeplerle piyasaya ürün süren firmalar meydana getirdikleri tüketim maddesini bir bütün olarak değerlendirip çevreye olan zararını incelemekte, minimize çalışmalarına yönelmektedir. Bu kapsamda “Yaşam Döngüsü Analizi (YDA)” yöntemi kullanılarak ürünün hammadde tedarikinden, lojistiğine, doğal kaynak kullanımına, üretimine, sevkiyatına ve nihai atık olarak bertarafına kadar olan tüm süreçlerde çevreye olan etkisi incelenmektedir. Yaşam döngüsü analizi sonucunda oluşan raporda ürünün küresel ısınmaya ekolojik sisteme etkisi, doğal kaynak kullanımına

olan etkisi göz önüne serilerek çevre boyutlarının etkisinin azaltılmasında izlenecek olan yol haritası belirlenmektedir.

Tüm bu süreçler değerlendirildiğinde her ürünün ambalaj ve etiketi olduğu düşünülürse ürün ve ambalaj dışında etiketin de ayrıca doğaya atık olarak salındığı söylenebilir. Çeşitli ürün gruplarına ait çok sayıda etiket çeşidi de bulunmaktadır. Etiket üretiminin yapıldığı makine, kullanılan ürünün hammaddesi, etiket kağıdının hammaddesi, etiketin baskı çeşidi gibi birçok faktör etiketin üretim aşamasında rol oynamakta, ortaya çıkan ürünün doğaya olan etkisini belirlemektedir. Etiket sektöründe genellikle PP, PE ve kağıt hammaddeler kullanılmakla birlikte yapıştırıcı, boya, lak vb. kimyasalların da kullanılmasıyla çevre boyutu yüksek bir ürün meydana gelmektedir. Bu sebeple bu çalışmada kendinden yapışkanlı ve baskılı bir etiketin üretilmesi ve bu ürünün yaşam döngüsü analizi yapılarak çevreye olan etkileri incelenecektir. Yaşam döngüsü analizi çeşitli yazılım programları ile yapılmaktadır ancak bu konuda literatürde oldukça az çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada İstanbul ili Esenyurt ilçesinde bulunan bir etiket ve matbaa firmasının üretim bilgileri referans alınmış ve değerlendirme OpenLCA yazılım programı ile gerçekleştirilmiştir.

2. ETİKET

Etiket: Ambalaja eşlik eden etiket, üretilen bir mal veya hizmetin planlanması, stoklanması, kullanımı aşamalarında ve sonrasında amacına uygun olarak ihtiyaç duyabilecek bilgileri üzerinde bulunduran yapışkanlı, yapışkansı, değişik ölçü ve malzemelerdeki ürünler olarak adlandırılır (Meyers and Lubliner, 2003:273).

Etiket, ambalajla direk ilişkilendirilen ve ambalajın boyutuna göre ölçülendirilen ve tasarlanan ürüne ait bir pazarlama ürünüdür. Pazar koşullarında yarışmak adına etiket ürün üzerindeki görsel estetiği arttıran bir unsur olarak kabul edilmektedir. Raftaki ürünün tüketici tarafından fark edilmesi ve seçilmesi adına etiketler için sürekli olarak yeni tasarımlar yapılmaktadır. Etiketler görselliğin yanında ürün hakkında bilgi vermekte, hammadde içeriklerini ve üretici firma bilgilerini de içermektedir. Geniş bir kesime hitap eden etiket ve matbaa sektörü özellikle gıda, kozmetik ve temizlik ambalajları olmak üzere tekstil, gıda, elektronik gibi farklı sektörlerde de hizmet etmektedir.

Etiketler kullanım amaçlarına göre farklı hammaddelerden üretilirler. Bunlar:

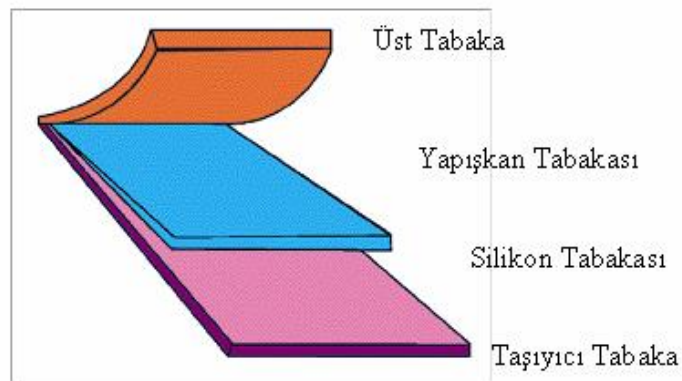
1. Kağıt-Karton Etiket: Genellikle tekstil sektöründe kullanılan kağıt-karton etiketler ürüne ait içerik, kullanım bilgileri, üretici firma detayları vb. bilgilerin bulunduğu etiketlerdir.
2. Kendinden Yapışkanlı Etiket: Etiket ve matbaa sektöründe çeşitlenen etiket piyasasının büyük çoğunluğunu oluşturur. Uygulanabilirliğinin kolay olması sebebiyle gıda, kozmetik, tekstil, gibi çok farklı sektörlerde kullanılmaktadır. Letterpres, serigrafi veya flekso makineleri ile değişik baskı teknikleri ile üretilen kendinden yapışkanlı etiketler kendi bünyesinde bulunan sentetik yapıştırıcılar ile ürün üzerine yapıştırılmaktadır.
3. Kumaş Etiket: Kumaş üzerine yüksek baskı tekniği ile uygulanan bir etiket çeşitidir. Kumaş etiketler sadece tekstil sektöründe kullanılmaktadır.
4. Dokuma Etiket: İpliklerin farklı teknikler ile örülmesi prensibiyle elde edilen etiketlerdir. Çoğunlukla tekstil sektöründeki firmalar marka tanıtım amaçlı ile tercih etmektedir.

5. Jakron Deri Etiket: Deri görümlü jakron malzeme üzerine uygulanan etiket türüdür. Serigrafi baskı sistemi ile üretilmektedir. Yine tekstil sektöründe marka tanıtım amacıyla kullanılmaktadır.

2.1. Kendinden Yapışkanlı Etiketin Yapısı

Zaman içerisinde değişen ve gelişen endüstri günümüzde kullanılan kendinden yapışkanlı rulo etiket çeşitlerini doğurmuştur. Bu çeşitlilik içerisinde kendinden yapışkanlı rulo etiketleri oluşturan materyallerde kendi içinde yapılarına ve etkileşimlerine göre gruplandırılmalıdır (Bekiroğlu, 2007:1).

Kendinden yapışkanlı rulo etiketlerin yapısı üst tabaka, yapışkan tabaka, silikon tabaka ve taşıyıcı arka tabaka olmak üzere dört katmandan oluşmaktadır. Kendinden yapışkanlı bu dört katman; üretim, yapıştırma yönetimleri, son kullanım gibi amaçlara göre yapısal olarak farklı materyallerden oluşabilmektedir. Tüketici ihtiyaçlarının teknolojinin gelişimiyle birlikte artmasına bağlı olarak kendinden yapışkanlı etiketleri oluşturan materyal ve üretim yöntemleri değişik sistemlere çözüm bulmak zorunda kalmıştır. Kağıt kullanımı ile başlayan etiket üretim süreci gereksinimler nedeniyle sentetik filmlerin de etiket materyali olarak gelişmesini sağlamıştır (Ünsal, 2009:20).



Şekil 1. Kendinden Yapışkanlı Etiketin Yapısı, (Ünsal, 2009:20)

2.1.1. Üst Tabaka

Uygulama alanına yapıştırılacak olan tabakadır. Uygulama alanı üst tabakanın hammadde seçimini belirleyecek olan kriterdir. Renklendirme ve baskılama işlemi

bu tabakaya uygulanmaktadır. Üst tabaka uygulama alanına göre kağıt veya sentetik malzemelerden seçilebilir (Ünsal, 2009: 20-21).

Üst tabaka malzemeleri olarak mat, yarı saydam, yarı parlak ve kendi kendine ışıyan filmler, etiket üretiminde kullanılan güncel filmlerdir. Kaplamalı ve kaplamasız kâğıtlar, PVC, PE, PP, PET gibi plastik filmler ve diğer bazı özel malzemelerden oluşan baskıya uygun her türlü malzeme üst yüzey olabilir.

2.1.2. Yapışkan Tabaka

Üst tabakaya sıvanmış olan yapışkan tabakası ürüne temas ederek, üst tabakanın amaca uygun olarak yapışmayı gerçekleştirmesini sağlamaktadır. Kauçuk, akrilik, hotmelt (ısıtılarak eritilen) ya da özel amaçlar için birleştirilmiş alternatif yapışkanlar üretilmektedir. Yapışkan seçiminde temel kriter yapışmanın, sabit, yarı sabit ya da kalıcı olmasına bağlı olarak seçilen kullanım amacıdır. Ürün yapısı kullanılacak yapışkanın yapısını belirlemektedir. Yapışkanlar, üst materyale sıvanmış halde üst materyalde kalmaları gerekirken aynı zamanda silikon tabakası ve taşıyıcı tabaka ile reaksiyona girmemeleri gerekmektedir (Ünsal, 2009: 21).

2.1.3. Silikon Tabaka

Silikon taşıyıcı tabakaya sıvanmış halde bulunmaktadır. Taşıyıcı tabaka ile yapışkanın reaksiyona girmesini polimerik yapısı dolayısıyla engellemektedirler. Silikonların aynı zamanda bariyer görevi de bulunmaktadır. Yapışkanı, toz gibi dış etkenlerden korumayı da sağlamak amacıyla kullanılmaktadırlar. Etiketleme işlemi esnasında silikonlar yapışkan tabakayı kolaylıkla bırakmalıdır (Ünsal, 2009: 21).

2.1.4. Taşıyıcı Arka Tabaka

Kendinden yapışkanlı etiketler, ürüne uygulanana kadar korunmalıdır. Taşıyıcı tabakalar kendinden yapışkanlı etiketleri, taşınma ve depolanma sırasında yapışkanlarını dış etkenlere karşı korumaktadır. Taşıyıcı tabakalar kağıt olabildiği gibi çeşitli sentetik materyaller de olabilmektedirler. Bu tabaka malzemeleri gerilme direncine, basınca dayanıklılığına, kalınlıklarına ve kullanım amaçlarına göre çeşitlenirler. Etiketlin kullanılacağı alan, uygulanacak baskı, kesim ve yapıştırma teknikleri hangi taşıyıcının kullanılması gerektiğini belirlemede etkin rol oynar.

Taşıyıcı tabakalar üzerlerine sıvanan silikon tabakası, yapışkanın taşıyıcı tabakaya yapışmasını engellemektedir. Taşıyıcı tabakanın silikonlu komplike yapısı nedeniyle geri dönüşümü zor olmaktadır. Silikon taşıyıcı tabaka toksik olmayıp katı atık olarak imha edilebilmektedirler. Taşıyıcı tabaka, matris ve laminasyon atıkları çimento fırınları gibi yüksek ısı gerektiren sektörlerde katı yakıt olarak değerlendirilebilmektedirler (Ünsal, 2009: 20-21).

Taşıyıcı tabakanın önemi yapışkanlı tabakanın zarar görmeden üzerinden sökülmesini sağlamaktır. Uygulama alanına göre kullanılan taşıyıcı tabakalar şunlardır:

1. Pergamin Kağıt: Uzun liflerden üretilmiş dayanıklı yarı transparan bir malzemedir. Rulo etiketlerde dayanıklı olması, ışık geçirmesi ve sert olması, kesim kalıplarına dayanması nedeni ile tercih edilir. Genellikle 60 ile 100 gr/m² arasında kullanılır. Kalın olanları bilgisayar kullanımı içindir (Bekiroğlu, 2007:43).
2. Kraft Kağıt: Beyaz kağıt esaslı malzemelerdir. 50 ile 100 gr/m² arasında kullanılır. Kraft malzeme daha çok tabaka kullanımları içindir. Kalın ve pürüzlü olduğundan tabaka baskılar için daha uygundur. Pergamin'e göre daha yumuşak bir malzemedir. Tabaka baskılar için arkası yarım kesim yapılmış olarak da satılır (Bekiroğlu, 2007:44).
3. Filmler: Özel uygulamalar gerektiren ürünlerde transparan taşıyıcılar kullanılır. Genellikle film malzemelerin taşıyıcısı olarak kullanılır (Bekiroğlu, 2007:44).

2.2. Kendinden Yapışkanlı Etiketin Üretimi

Kendinden yapışkanlı etiket üretimin en önemli kriter etiketin uygulanacağı alandır. Uygulama alanına göre etiket üretiminde kullanılacak materyal belirlenir. Daha sonra etiketin grafik tasarımı (renk, baskı sayısı ve etiket genişliği) değerlendirilerek uygulanacak baskı tekniğine karar verilir. Kendinden yapışkanlı etiket üretiminde birçok farklı baskı tekniği kullanılmaktadır. Bu üretim tekniklerinden en yaygın kullanılanı flekso baskı, ofset baskı, serigrafi baskıdır.

2.2.1. Flekso Baskı Tekniği

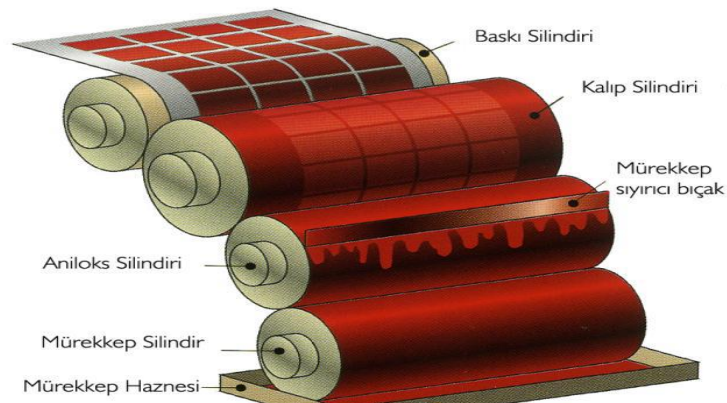
Flekso baskı tekniği yüksek tirajlı basımlarda kullanılan, verim oranı yüksek ve ekonomik bir baskı tekniğidir. Matbaa ve etiket sektöründe yaygın olarak kullanılan flekso baskıda solvent bazlı viskozitesi düşük mürekkepler kullanılır.

Flekso baskının başarılı olmasının temelinde, ışığa hassas foto polimer klişe kullanımı için filmden pozlandırma yapma imkânı yatmaktadır. Böylece kopyalamada daha az zaman kaybı olmakta, neticede daha iyi baskı kalitesi sağlanmaktadır. Kalite unsuru için diğer önemli bir faktör, mürekkep transferi için kullanılan tramlı (oniloş) merdanedir. Flekso baskı uygulama alanları özellikle her türlü plastik film ve metal folyo üzerine ambalaj baskısı ve gazete baskısıdır (Özdemir, 2003), (Kuşku, 1997).

Kendinden yapışkanlı etiket üretiminde dar ebatlı flekso baskı makineleri tercih edilir. Bunlar 250 mm, 340 mm, 400 mm, 500 mm'dir. Daha geniş ebatlı flekso baskı makineleri ise esnek ambalaj üretiminde tercih edilir. Bu makineler rotatif makineler olup hızları yüksektir. 6 renk, 8 renk ve daha fazla renk üniteleri olabilir (Ünsal, 2009: 46).

Yaygın kullanım alanı sebebiyle sıkça tercih edilen flekso baskı uygulaması için çeşitli makineler günümüzden bugüne geliştirilerek kullanılmıştır. Bu baskı tekniğinde en çok kullanılan makineler Gallus ve Gallus R200 makineleridir. Çoklu renkli baskı sebebiyle bu makineler flekso baskı tekniği ile örtüşmektedir.

Flekso baskı tekniğinin üretim elemanları ve çalışma mekanizması Şekil 2'de gösterilmektedir.

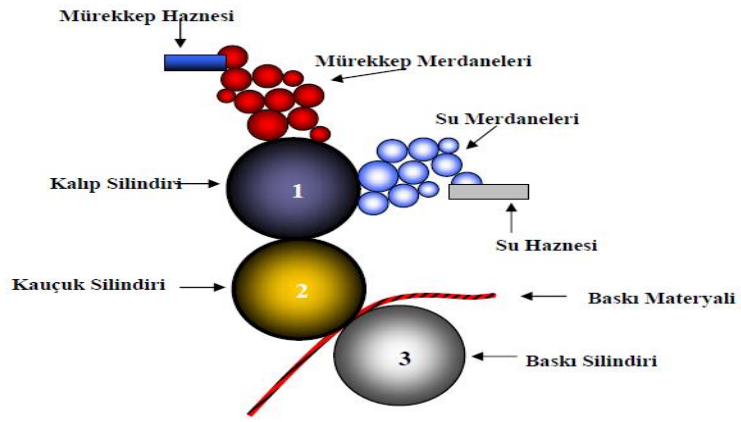


Şekil 2. Flekso Baskı Sistemi, (Ünsal, 2009: 46)

2.2.2. Ofset Baskı Tekniği

Ofset baskı tekniği en eski baskı tekniklerinden biri olmakla birlikte günümüzde yaygın olarak kullanılan bir baskı tekniğidir.

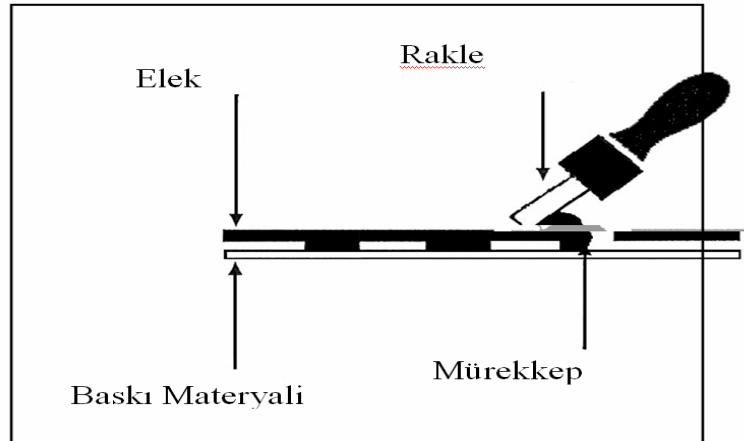
Su ile yağ bazlı ofset baskı mürekkeplerinin kimyasal yapıları dolayısıyla birbirini kabul etmemesi ile düz bir yüzeyde mürekkepli ve m rekkepsiz alanlar elde edilmesi ofset baskının temelini oluşturur (Bekiroğlu, 2007:46). şekil 3'te ofset baskının çalışma prensibi gösterilmektedir.



şekil 3. Ofset Baskı Sistemi, (Bekiroğlu, 2007:46)

2.2.3. Serigraf Baskı Tekniği

Serigrafi baskı tekniği, tasarımı tamamlanmış bir grafik, resim, motif veya şeklin kağıt, karton, cam, plastik, metal gibi yüzeylere şekil 4'de gösterildiği üzere serigrafik mürekkebinin dökülerek basınç ile aktarılması işlemidir.



şekil 4. Serigraf Baskı Sistemi, (Bekiroğlu, 2007:18)

Kendinden yapışkanlı etiket üretiminde kullanılan serigraf baskı sisteminde üretim amacına uygun mürekkeplerle çok çeşitli baskı materyaline baskı yapmak mümkün olmaktadır. Parlak-mat termoplastik mürekkep, polipropilen mürekkebi, floresan serigrafi mürekkebi gibi pek çok mürekkep ve fırınlama sistemi yardımıyla farklı materyallere başarılı baskılar gerçekleştirilebilmektedir (Bekiroğlu, 2007:18).

2.3. Etiket Üretim Sanayi Atıkları

Üretim sektöründe etiket ve matbaa sanayi olarak yer alan etiket üretim fabrikaları tüm üretim aşamaları değerlendirildiğinde çeşitli tehlikeli ve tehlikesiz atıklar oluşturmaktadır.

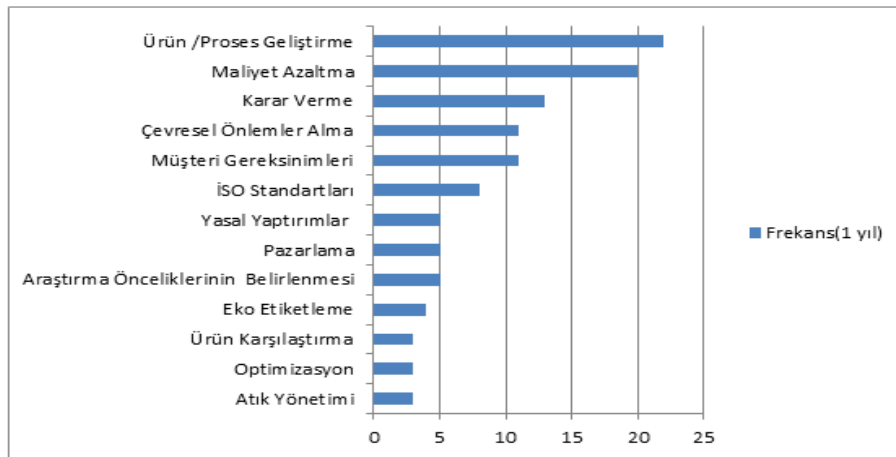
Taşıyıcı tabaka olarak kullanılan plastikler ve kağıtlar son ürün artığı olarak genellikle oluşmakta ve kimyasal ile temasın dolayı geri dönüşüme gönderilememektedir. Bu atıklar çoğunlukla düzenli depolama işlemine tabi tutulmak üzere lisanslı atık tesislerine gönderilir.

Sıvı atık olarak çeşitli kimyasallı atıklar oluşmaktadır. Boyalar, boya incelticiler, banyo solüsyonları vb. kimyasalları neredeyse tüm aşamalarda kullanıldığı için kalan ürün sonları, bozuk ürünler veya yanlış hazırlanan kimyasallar tehlikeli atık olarak lisanslı bertaraf tesislerine gönderilmektedir. Bu atıkların genellikle yakma yolu ile bertaraf edildiği bilinmektedir.

Emisyon oluşumu konusunda da her fabrika gibi etiket üretim fabrikaları da atmosfere zararlı gazlar salmaktadır. Ancak süreç boyunca yakma işlemi gerçekleşmediği için diğer sanayi sektörleri kadar çevreye zarar verdiği söylenemez. Ancak yaşam döngüsü kapsamında düşünüldüğünde her sanayie olduğu gibi hammadde ve ürün tedarikinde nakliye işlemleri, elektrik kullanımı gibi olağan yakma süreçlerinin olması beklenmektedir.

3. YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ

Son yıllarda artan nüfus artışı ile birlikte üretim sektörü de hız kazanmıştır. Sanayi devriminden beri kazanılan teknoloji artan nüfusun taleplerini karşılamak üzere hızla gelişmektedir. İnsanoğlunun kullandığı tüketim ürünleri üretim sektörünün yardımıyla hem çeşitlenmekte hem de miktar olarak hızla yükseliş göstermektedir. Hızlı ve kontrolsüz tüketim yaşanan tüm toplumlarda çevre kirliliği doğal bir sorun olarak baş göstermektedir. Üretim yapılırken kullanılan doğal kaynaklar, üretim aşamasındaki tüketimler ve ürünlerin tüketici tarafından kullanıldıktan sonra doğada yaşadığı süreç kontrol edilmediğinden dünya çevre kirliliği ile karşı karşıya kalmıştır. Özellikle son yıllarda çevre kuruluşları ve bazı ülkelerin önderliğinde çevre kirliliğinin boyutlarına dikkat çekilmektedir. Çevre kirliliğinin sebepleri ve kontrol önlemleri incelenerek gelecek nesil için bazı çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Tüm bu çalışmalara dünya çapında firmalar başta olmak üzere üretim firmalarının birçoğu katkı sağlamak için kendi kuruluşlarında uygulayabilecekleri önlemleri gözden geçirmektedir. Birçok farklı yolla çevre kirliliğinin azaltılmasına katkı sağlamaya çalışan üretim sektörü bu aşamada yaşam döngüsü analizine de başvurmuştur. Yaşam döngüsü analizi ile ürettikleri ürünün hammadde eldesinden son ürün olarak bertarafına kadar olan süreci incelemekte ve karşı önlemler geliştirebilmektedir. Yaşam döngüsü analizi sadece ürünler için uygulanmamakta, tüm hizmet ve ürün sektöründe maliyet, atık yönetimi, çevre kirliliği önlemleri vb. konularda uygulanabilirliği ile karşımıza çıkmaktadır. Şekil 5'te yaşam döngüsü kullanım alanları ve kullanım sıklığına ait dağılım gösterilmektedir (Balpetek F.G, 2012, s.3).

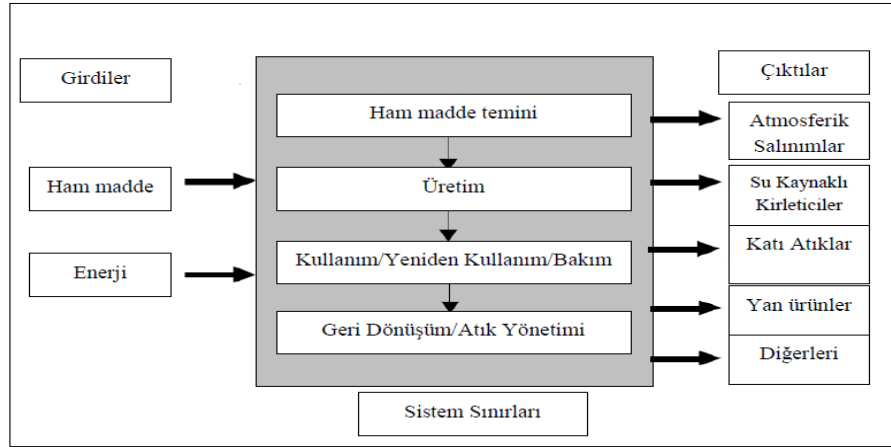


Şekil 5. Yaşam Döngüsü Kullanım Alanları ve Kullanım Sıklığı, (Balpetek F.G, 2012)

Yaşam döngüsü analizi, beşikten mezara kadar tüm yaşam döngüsü dikkate alınarak, belli bir işlevi yerine getirmek için gerekli faaliyetlerin sebep olduğu çevresel ve kaynak etkilerinin değerlendirilmesini içerir. Yaşam döngüsü analizinin tipik sonucu çevresel etkinin profilidir. Yaşam döngüsü analizi bütünleşmiş ürün politikasının ve AB atık yönetim sistemi optimizasyonunun belkemiğidir. Yaşam döngüsü analizinin çerçevesi ve usulleri ISO (Uluslararası Standart Organizasyonu) tarafından belirlenmiştir (Christensen, 2011).

3.1. Yaşam Döngüsü Analizinin Tarihçesi ve ISO Standartları

Yaşam döngüsü analizinin ortaya çıkışı 1960'ın başlarına dayanmaktadır. Ham madde kaynaklarının sınırlı olması ve enerji kaynaklarındaki sorunlar enerji kullanımının kümülatif olarak hesaplanmasına yöneltmiştir. Bu konudaki ilk yayınlardan biri 1963 yılında Dünya Enerji Kongresinde yayınlanmıştır. Daha sonraki yıllarda küresel modelleme çalışmaları; The limits to Growth (Meadows vd 1972) ve A Blueprint for Survival (Goldsmith vd 1972) yayınlanmıştır (EPA 1993).



Şekil 6. Yaşam Döngüsü Analizi Aşamaları, (EPA 1993)

Yaşam döngüsü analizi çalışması yapılırken sistemin sınırları belirlenmelidir. EPA'nın 1993 yılında yayınladığı kılavuzda da görüldüğü sisteme giren hammadde ve enerji (elektrik, yakıt, su vb.) girdileri ile üretim süreci değerlendirilir ve çıktıların kümülatif sonuçlarına ulaşılır. Bu çıktılar atmosferik salınımla, katı atıklar, su kaynaklı kirlenmeler vb. şekilde çevreye zararlı etki değeri bulunan parametrelerdir.

Temel düşünce 1960'ların sonunda enerji ve hammadde kullanımındaki sınırlamaların artmasıyla başladı. Bu konuda yapılan çalışmalar enerji tüketimi ve gelecekte kaynak elde edilmesi ve kullanılmasına yönelik projeksiyonlarla ilgiliydi. Yaşam döngüsü analizi, 1960'lı yılların sonunda küçük bir grup insan tarafından kullanılan bir atık belirleme sisteminden geliştirilmiş olup, Uluslararası Standart Organizasyonu (ISO) tarafından yönetilen Çevre Yönetim Sistemi (ÇYS) içine, ISO 14040 serisi olarak yerleştirilmiştir (Özerler ve Demirer, 2001; Çokaygil, 2005).

Etkin olarak YDA metodolojisi geliştirme çabaları 1970'lerde Amerika Birleşik Devletleri'nde başladı. Çok yakın geçmişte Çevre ve Kimya Toksikoloji Derneği (SETAC) ve Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (USEPA) yaşam döngüsü envanter analizi ve etkili değerlendirilmesini idare etmek için, bir iskelet üzerindeki yapısını geliştirmek ve desteklemek için tasarlanmış çalışmalara ve projelere destek olmuşlardır. Benzer çabalar yine SETAC ve Avrupa'daki diğer uluslararası örgütler (ISO gibi) ve Dünya genelindeki YDA uygulayıcıları tarafından üstlenilmiştir. Bu çabalar sonucunda, kapsamlı YDA iskeleti oluşturulmuş ve iyi tanımlanmış envanter metodolojisinde başarılı olunmuştur (Alpaydın, 2014:16).

Yaşam döngüsü analizi yapılırken ISO Standartlarını takip etmek analizin daha doğru yürütülmesini sağlamakla birlikte işlemler için de kolaylık sağlamaktadır. ISO'nun yayınladığı bu standartlar 4 kılavuzdan oluşmakta olup yayınlanma sırasına göre analiz çalışması sırasında kullanıncaya izleyeceği yolu da göstermektedir. Bu kılavuzlar:

1. ISO 14040: 2006 Çevre Yönetimi – Yaşam Döngüsü Analizi – Prensipler ve Çerçeve: Bu standartta ürün değil sistem anlatılmıştır. Yaşam döngüsü analizinin girdi ve çıktılarının belirlenmesi, amaç ve kapsama hizmet etmesi ile sonuçların yorumlanması aşamalarını sistemin temel prensipleri içinde uygulanamsı amacıyla bu kılavuz yayınlamış, sonraki adımlarda gerekli olacak parametreler tanımlanmıştır. ISO 14040 standartında anlatılan yaşam döngüsü analizi uygulaması bir sonraki standartlarda detaylandırılarak seri halinde yayınlanmıştır.
2. ISO 14041: 1998 Çevre Yönetimi – Yaşam Döngüsü Analizi – Hedef ve Kapsam Tanımı ve Envanter Analizi: Bu standartta yaşam döngüsü analizinin

hangi amaç ve kapsama hizmet ettiği belirlenmesi ve analizin gerçekleştirilerek envanter derlemesinin yapılmasına ve raporlanmasına dair gerekli şartları içermektedir.

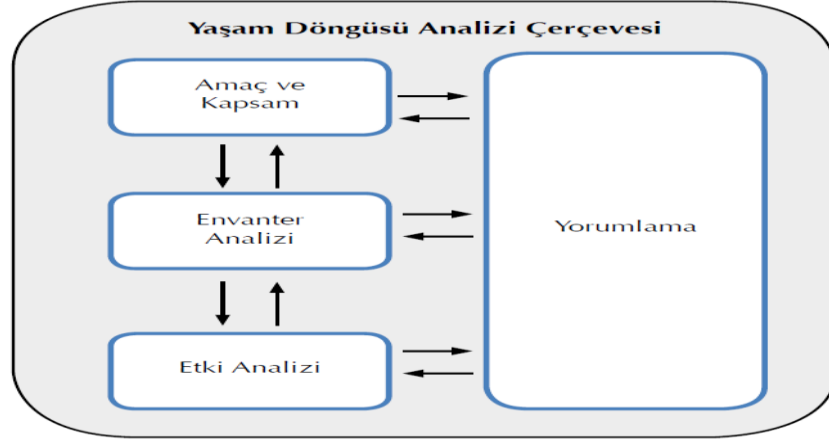
3. ISO 14042: 2000 Çevre Yönetimi – Yaşam Döngüsü Analizi – Yaşam Döngüsü Etki Analizi: Bir önceki standarttan çıkan envanter verilerinin değerlendirilmesine ait esasları içeren standarttır. Ürün veya hizmetin etkilediği çevresel boyutları belirlemekte kullanılır. (Örn: iklim değişikliği, ozon tabakasına etkisi, karbon salınımı, ekolojik etkiler vb.)
4. ISO 14043: 2000 Çevre Yönetimi – Yaşam Döngüsü Analizi – Yaşam Döngüsü Yorumlama: Bu standardın amacı; etki analizinden bulunan sonuçların, bütünlük, hassasiyet ve uygunluk açısından kontrolünün yapılmasında, yorumlanmasında, bu sonuçlara dayalı önerilerin sunulmasında ve raporun hazırlanmasında uyulması gerekli hususları açıklamaktır. “Bütünlük kontrolü”nde, gerekli tüm verilerin elde edildiği ve kullanıldığına, “hassasiyet analizi”nde tahminlerdeki, metottaki ve verideki değişkenliğin sonuçları nasıl etkilediğine, “uygunluk kontrolünde” ise veri temininin, modellerin, tahminlerin ve metodun yaşam döngüsü boyunca veya farklı ürünlerin yaşam döngüleri boyunca uygulanıp uygulanmadığına dair kontroller yapmaktadır (Çokaygil ve Banar, 2009).
5. ISO 14044: 2006 Çevre Yönetimi – Yaşam Döngüsü Analizi – Gereklilikler ve Kılavuz: Bu standart ISO 14040’a ilave olarak, LCA’nın amaç ve kapsam tarifinin derlenmesi ve hazırlanması ile yaşam döngüsü analizlerinin yapılması, yorumlanması ve rapor edilmesi için gerekli işlemleri ve şartları kapsar (ISO 14044: 2006).

3.2. Yaşam Döngüsü Analizi Uygulaması

Yaşam döngüsü analizi uluslararası standartlara uygunluğun sağlanması ve dünya çapında anlaşılması için ISO standartlarının takip edilmesiyle uygulanmaktadır. Bu standartlar göz önüne alındığında yaşam döngüsü analizinin temel anlamıyla 4 adımsa gerçekleştirildiği söylenebilir. Bu adımlar:

1. Amaç ve Kapsam

2. Envanter Analizi
3. Etki Değerlendirmesi
4. Yorumlama



Şekil 7. Yaşam Döngüsü Analizi Çerçevesi, (USEPA, 2006)

3.2.1. Amaç ve Kapsam

Yaşam döngüsü analizinin ilk aşaması olan amaç ve kapsam basamağında çalışmanın detayları, hizmet edeceği amaç, kapsamı ve sistem sınırları belirlenir. Amaç ve kapsamda, çalışmanın neden gerçekleştirildiği ve hangi sınırlamalarla devam edeceği değerlendirilirken bu aşama bir sonraki basamağında nasıl işleyeceğine yön veren basamaktır. İzlenmesi gereken aşamalar şöyle sıralanabilir:

1. Amaç: Yaşam döngüsü analizinin hangi amaçla kullanıldığı tanımlanır.
2. Kapsam: Çalışmanın kapsamı, zamansal, coğrafi ve teknolojik kapsam ve araştırmanın amacına uygunluğu dikkate alınarak oluşturulmaktadır. Son olarak, analizin nesnesi olan ürünler (veya ürün) fonksiyon, işlevsel birim ve referans akışlar açısından tanımlanmaktadır (Guinée, 2002).
3. Fonksiyonel (İşlevsel) Birim: Yaşam döngüsü analizinde çalışılacak olan fonksiyonel birimin tanımlanması aşamasıdır. Bu bir ürün veya hizmet olabilir. Fonksiyonel birim ölçülebilir olmalıdır.
4. Sistem Sınırları: Analiz kapsamına hangi yaşam döngüsü evrelerinin alınacağını belirtir. Bir prosesin çoklu işlevinin ya da çıktısının olduğu durumlarda, çevresel yüklerin bu çıktılar arasında nasıl dağıtılacağını belirten dağıtım işlevinin de tanımlanması gerekmektedir. Yaşam döngüsü

aşamalarında proseslerde ve verilerde yapılan ihmallerin tümü, açık ve net olarak belirtilmelidir (Kılıç, 2010).

5. Veri Kalitesi: Bir yaşam döngüsü analizi çalışmasında oldukça önemlidir ve sonuçları doğrudan etkilediği için veri seçimine dikkat edilmesi gerekir. Çalışmalarda amaç ve kapsam tanımına bağlı olarak verilerin toplanmasında kesinlik, bütünlük, temsil edilebilirlik, tutarlılık, tekrarlanabilirlik ölçütlerinin dikkate alınması veri kalitesinin artmasına katkıda bulunabilir (Polat, 2013).

3.2.2. Envanter Analizi

Bu aşamada çalışmanın kapsamı doğrultusunda incelenecek olan sürecin hammadde kullanımı, emisyon salınımı, katı atık oluşumu ve diğer çevresel etkileri belirlenmektedir.

Envanter analizi, yaşam döngüsünün ikinci aşamasını oluşturmakta olup aşağıdaki kısımları içermektedir (Çokaygil, 2005):

- Veri toplama
- Sistem sınırlarının incelenmesi
- Hesaplama
- Verinin geçerliliği
- Çalışmakta olan sistemle ilgili veri
- Paylaştırma

Bu aşama yaşam döngüsü analizin en çok zaman alan aynı zamanda da kümülatif sonuç veren aşamasıdır. Belirlenen çevresel etki kategorilerine göre sayısal sonuçlar elde edilir. Sayısal hesaplamalar aşamasında bazı yazılım programları kullanılmaktadır.

3.2.3. Etki Değerlendirmesi

Yaşam döngüsü analizinde envanter analizi yapıldıktan sonra elde edilen verilerin çevresel etkileri incelenmektedir. Çevresel etki kategorisinde birçok farklı parametre bulunmaktadır. Bu parametrelerden en çok kullanılanları şöyledir:

Küresel Isınma Potansiyeli (KIP): Küresel ısınma, ekosistem ve insan sağlığı ile maddi refah üzerinde olumsuz etkilere neden olabilir. İklim değişikliği, sera gazlarının havaya olan emisyonlarıyla ilgilidir. Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından geliştirilen karakterizasyon modeli, karakterizasyon faktörlerinin geliştirilmesi için seçilmiştir. Küresel ısınma potansiyeli için faktörler, 100 yıl boyunca, kg CO₂ olarak ifade edilir. Bu göstergenin coğrafi kapsamı küresel ölçektir (Garrett ve Collins, 2009).

Asidifikasyon Potansiyeli (AP): Asitleşen maddeler, toprak, yeraltı suları, yüzey suları, organizmalar, ekosistemler ve malzemeler (binalar) üzerinde geniş bir etki yelpazesine neden olmaktadır. Asidifikasyon potansiyeli, kg SO₂ eşdeğeri ile ifade edilir. Zaman aralığı sonsuzdur ve coğrafi ölçek yerel ölçek ile kıta ölçeği arasında değişmektedir (Garrett ve Collins, 2009).

Ötrofikasyon Potansiyeli (ÖP): Ötrofikasyon (aynı zamanda nütrifikasyon potansiyeli olarak da adlandırılır), yüksek seviyedeki makro nütrientlerden kaynaklanan emisyonların havaya, suya ve toprağa olan tüm etkileri kapsamaktadır. Ötrofikasyon potansiyeli kg fosfat eşdeğer olarak ifade edilir. Zaman aralığı sonsuzdur ve coğrafi ölçek yerel ölçek ile kıta ölçeği arasında değişmektedir (Garrett ve Collins, 2009).

Ozon Tabakasını İnceltme Potansiyeli (OTİP): Ozon tabakası inceltme potansiyeli, bir referans moleküle göre (genelde CFC-11, CFC13) belli bir molekülün salınmasına bağlı küresel ozon kaybını temsil etmektedir (Solomon ve diğ., 1992).

Abiyotik Element Tükenme Ve Abiyotik Fosil Tükenme Potansiyelleri (AETP Ve AFTP): "Abiyotik kaynaklar", demir cevheri, ham petrol ve rüzgâr enerjisi gibi canlı olmayan olarak kabul edilen doğal kaynaklardır (enerji kaynakları dahil) (Guinée, 2002). Abiyotik element tükenme potansiyeli için referans birim kg antimon (Sb) eşdeğer, abiyotik fosil tükenme potansiyeli için referans birim megajuldür (MJ).

İnsan Toksisitesi Potansiyeli (İTP): İnsan ekotoksitesitesi potansiyeli, çevreye salınan bir kimyasal birimin potansiyel zararını ifade etmek için getirilen nicel bir toksik eşdeğerlik potansiyelidir (McKone ve Hertwich, 2001). İnsan toksisitesi "1-4, Diklorobenzen eşdeğeri" ile ölçülmektedir (Budavari ve diğ., 2011).

Tatlısu Ekotoksitesite Potansiyeli (TSETP): Bu kategori göstergesi, toksik maddelerin hava, su ve toprak emisyonlarının tatlı su ekosistemleri üzerindeki etkisini ifade eder. Tatlısu ekotoksitesite “kg 1-4, Diklorobenzen” eşdeğeri ile ölçülmektedir (Budavari ve diğ., 2011).

Deniz Suyu Ekotoksitesite Potansiyeli (DSETP): Bu etki kategorisi, deniz sucul ekosistemleri üzerindeki zehirli maddelerin etkilerini kapsar (Guinée, 2002). Deniz suyu ekotoksitesite “kg 1-4, Diklorobenzen” eşdeğeri ile ölçülmektedir (Budavari ve diğ., 2011).

Karasal Ekotoksitesite Potansiyeli (KETP): Karasal ekotoksitesite, karasal ekosistemler üzerindeki toksik maddelerin etkileri anlamına gelir (Guinée, 2002). Karasal ekotoksitesite 1-4, Diklorobenzen eşdeğeri ile ölçülmektedir.

Fotokimyasal Ozon Oluşturma Potansiyeli (FOOP): FOOP, belirli bir senaryoda atmosfer içindeki karmaşık bir dizi kimyasal tepkimenin bilgisayar modellemesi yoluyla uçucu organik bileşik (VOC) emisyonundan ozon üretimini açıklar. Modelin FOOP'sini hesaplamak için büyük miktarda girdi verileri gereklidir (Stranddorf ve diğ., 2005).

Etki kategorileri incelenirken kullanılmak üzere bazı metotlar geliştirilmiştir. Bu metotlar inceledikleri etki alanlarına göre çeşitlilik göstermektedir. Çevresel etki kategorilerinin normalizasyonunda kullanılan bazı hesaplama yöntemleri de CML, CML 2001, Eco-indicator 99, BRE Ecopoints, IMPACT+ 2002 ve LUCAS'tır (Budavari ve diğ., 2011). Bu metotlar ve inceledikleri etki alanları Tablo 1’de detaylı açıklanmıştır.

Tablo 1. Farklı YDA Hesaplama Yöntemlerinin İnceledikleri Etki Başlıkları, (Acero ve diğ., 2015)

Yöntemler	Asidifikasyon	Mavi/Yeşil Su Kullanımı	İklim Değişikliği	Kümülatif Enerji Gereksinimi	Kaynak Tüketimi	Eko-Zehirlilik	Ötrofikasyon	İnsan Sağlığı	İyonize Radyasyon	Arazi Kullanımı	Koku	Ozon Tabakası İncelmesi	Parçacık Madde	Fotokimyasal Oksidatifler
CML 2001 (baseline)	✓	-	✓	-	✓	✓	✓	✓	-	-	-	✓	-	✓
CML 2001 (nonbaseline)	✓	-	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓
Eco-indicator 99 [E]	✓	-	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓
Eco-indicator 99 [H]	✓	-	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓
Eco-indicator 99 [I]	✓	-	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓
Eco-Scarcity 2006	-	-	-	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EDIP 2003	✓	-	✓	-	-	✓	✓	✓	-	-	-	✓	-	✓
EPA Defaultmethods	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	-	✓	✓	✓
ILCD 2011 Endpoint	✓	-	✓	-	-	-	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓
ILCD 2011 Midpoint	✓	-	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓
ReCiPeEndpoint [E]	✓	-	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓
ReCiPeEndpoint [H]	✓	-	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓
ReCiPeEndpoint [I]	✓	-	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓
ReCiPeMidpoint [E]	✓	-	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓
ReCiPeMidpoint [H]	✓	-	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓
ReCiPeMidpoint [I]	✓	-	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓
TRACI 2.1	✓	-	✓	-	✓	✓	✓	✓	-	-	-	✓	✓	✓
USEtox	-	-	-	-	-	✓	-	✓	-	-	-	-	-	-

3.2.4. Yorumlama

Yaşam döngüsü analizi çalışması kümülatif olarak tamamlandıktan sonra ortaya çıkan veriler bu aşamada değerlendirilir. Veriler ışığında çevresel etkisi en yüksek olan parametre gözlemlenebileceği gibi etkilerin azaltılması için uygulanacak yöntemler de belirlenmektedir. Sürekli iyileştirmenin hedeflendiği yaşam döngüsü analizi çalışmasında tüm sonuçlar bir bütünsellik içerisinde değerlendirilerek kontrol önlemleri planlanır ve raporlanır.

3.3. Yaşam Döngüsü Analizinde Kullanılan Yazılım Programları

Günümüzde yaşam döngüsü analizi çalışmasında kullanılan birçok ticari yazılım bulunmaktadır. Bu yazılım programları ile yaşam döngüsü analizinin envanter analizi ve etki değerlendirmesi basamakları için kümülatif veriler elde edilmektedir. En çok kullanılan yazılım programları ve detayları şöyledir:

- SimoPro : Yaşam döngüsü yönetimi aracı olarak “SimaPro (System for Integrated Environmental Assessment of Products)”, çevre tasarım yazılımı olarak “ECO – it” ve etki değerlendirme yöntemi olarak “Eco-indicator” bulunmaktadır. “SimaPro” modeli; ürünlerin ve servislerin çevresel performanslarının değerlendirilmesini sağlamaktadır. ISO 14040 standart serilerini izleyen, sistematik ve kolay anlaşılır bir yol ile karmaşık yaşam döngülerinin modellenmesi ve analiz edilmesi kolaylaşmaktadır.
- GaBi : Yeni teknolojileri ve özellikleri ile “GaBi”, ürünlerin yaşam döngüsü düzeyinde sürdürülebilir bilgi yönetimi ve değerlendirmesi için kullanılan evrensel bir araç olmaktadır. Çevresel, üretim, geri dönüşüm ve ayrıştırma gibi başlıklar altında döngüleri oluşturabilir. “Data on Demand” özelliği ile mevcut veri tabanında olmayan özellikleri merkezi sistemden istenmesi halinde kullanılabilir hale getirmektedir.
- Envaince : Çalışmalarda çok fazla kullanılmamış olsa da, Hibrit YDA desteğini sunabilen tek programdır, diğer programlardan ayıran başlıca özellikleri; bulut bilişim gücünü kullanması, verilere her yerden erişebilme olanağı ve tek bir bilgisayara bağımlı olmama özelliğidir.

- Quantis : Karbon ayak izi, su ayak izi, ekosistem kalitesi, doğal kaynaklar ve insan sağlığı gibi etki basamaklarında hesap yapabilen Quantis, alanında öncü firmalar tarafından kullanılmaktadır. Öne çıkan özellikleri;
 - Yaşam döngüsü maliyeti hesaplama,
 - Sosyal yaşam döngüsü değerlendirmesi yapabilme,
 - Eko-etiket çalışması yapabilme,
 - Çevreye göre tasarım döngüsü oluşturabilmesidir.
- Open LCA : Ücretsiz olması, sürekli güncellenebilir bir açık kaynak yapısına sahip olması, piyasadaki tüm veritabanları ile uyumlu olması, veri setlerinin nexus sitesi üzerinden indirilip, anında programa entegre edilerek kullanılabilmesi ilgi çekici olmuştur. Diğer üstün özellikleri;
 - Uzak veri tabanı ile çalışabilmesi,
 - Girdi ve çıktıları uzaktan alıp gönderebilmesi,
 - Uzak veri tabanı ile birden fazla kullanıcı ile aynı anda kullanılabilmesi,
 - Platform bağımsız, Linux, Mac, Windows tabanlı çalışabilmesi,
 - Forum sayesinde soru ve sorunlara kısa sürede yanıt alınabilmesi,
 - Detaylı eğitim sunumlarına sahip olması,
 - Diğer YDA programlarından veri tabanı alabilmesi,
 - Yeni veritabanlarına en kısa sürede uyum sağlaması,
 - Diğer programlardan çok daha hızlı çalışması,
 - Açık kaynak olduğu için istendiği gibi şekillendirilebilmesi,
 - Ürün sistemi grafiği çıkarabilmesi,
 - Envanter sonuçlarını gösterebilmesi,
 - Farklı ürünleri karşılaştırabilmesi,
 - Coğrafi etki hesaplama yapabilmesi,
 - Merkezi Nexus sitesinden ücretsiz ve ücretli veritabanları ve etki kategorilerinin indirilebilmesi,
 - Farklı dillere çevrilerek kullanıcı sayısının kolayca artırılabilmesidir.

4. YÖNTEM

Bu tez kapsamında İstanbul ili Esenyurt ilçesinde yer alan etiket ve matbaa sektörünün ülkemizde öncü bir firmasına ait veriler kullanılarak kendinden yapışkanlı etiket üretiminin yaşam döngüsü analizi ile değerlendirilmesi yapılmıştır. Daha önceki bölümlerde anlatıldığı üzere etiket sektöründe birden çok baskı yöntemi bulunması sebebiyle bu çalışmada sektörde en çok kullanılan baskı yöntemlerinden referans olarak “flekso baskı tekniği” ile üretilen bir etiket üretimi ile alınmış, elde edilen çevresel etki sonuçları değerlendirilmiştir. Ayrıca çevresel etki sonuçlarında önemli bir etki kaynağı olan elektrik kullanımının güneş enerjisinden elde edilme durumunda oluşturacağı çevresel etki değerlerindeki değişimler de karşılaştırılmıştır.

4.1. İşletmeye Ait Veriler

Çalışmada, yapışkanlı ve baskılı etiketler çevresel açıdan değerlendirilebilmek ve üretim safhalarının daha verimli hale getirilmesi için yaşam döngüsü ile değerlendirilmiştir.

Çalışmada veri temini yapılan fabrika İstanbul ili, Esenyurt ilçesinde yer alan toplam 6750 m² kapalı alanda “Baskılı Kendinden Yapışkanlı Kağıt Etiket, Baskılı Kendinden Yapışkanlı Plastik Film Etiket, Baskılı Karton Kutu ve Karton İşleri” konularında 53 çalışanı ile 2001 yılından beri faaliyet göstermektedir. Bahsi geçen işletmeye ait 2018 yılı üretim kapasitesi Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. İşletmeye Ait Yıllık Üretim Kapasitesi

Ürün Adı	Miktar	Birim
Baskılı Kendinden Yapışkanlı Kağıt Etiket	4.207.000	Metrekare
Baskılı Kendinden Yapışkanlı Film Etiket	5.780.000	Metrekare
Baskılı Kağıt ve Karton Etiket	370.000	Metrekare
Baskılı Karton Kutu	432.000	Metrekare

Şirket etiket üretim hattında iki adet Gallus EM 410S flekso (plastik film etiket) baskı makinesi, bir adet Gallus R200 letterpress (termal karton ve kuşe kağıt etiket)

baskı makinesi, bir adet IWASAKI ofset (metalize ve kağıt etiket) baskı makinesi, bir adet HP dijital (kağıt etiket) baskı makinesi, bir adet PVC, PET HCI sleeve shrink kaynak makinesi bir adet HCI sleeve shrink kalite kontrol makinesi, bir adet HCI sleeve shrink tabakalama makinesi, iki adet Rotoflex kalite kontrol ve dilimleme makinesi, bir adet flekso pozlama makinesi, bir adet letterpress klişe pozlama yıkama makinesi, bir adet flekso detaks ve yıkama makinesi vardır. Bu makineler doğrultusunda üretim kapasitesi de dikkate alındığında işletmeye ait tüketim kapasitesi yıllık miktarları ile Tablo 3’te incelenmiştir.

Tablo 3. İşletmeye Ait Yıllık Tüketim Kapasitesi

Tüketim Maddeleri	Miktar	Birim
Kendinden Yapışkanlı Etiket Kağıdı	3.350.000	Metrekare
Kendinden Yapışkanlı Metalize Etiket Kağıdı	857.000	Metrekare
Kendinden Yapışkanlı Etiketlik Plastik Film	5.780.000	Metrekare
Termal Karton	185.000	Metrekare
Kuşe Kağıt	185.000	Metrekare
Fotoğraf Filmi (Klişe Kağıdı)	100	Metrekare
Baskı Mürekkebi	29.642	Kilogram
Lak (Vernik)	48.550	Kilogram
Etıl Asetat	7.500	Kilogram
Fikser Solüsyon	500	Kilogram
Çözücü Banyo Solüsyonu	4.500	Kilogram

4.2. Çalışmada Kullanılan OpenLCA Programı

Günümüzde yaşam döngüsü analizi (YDA) birçok farklı ticari yazılım ile yapılmaktadır. Kümülatif olarak veri elde edilen bu yazılım programları içerdikleri veri tabanı, etki kategorisi yöntemi gibi faktörlere bağlı olarak çeşitlenmektedir. En yaygın kullanılan programlar; SimaPro, Gabi, OpenLCA, Umberto ‘dur. Tüm bu programlar ISO 14040 kılavuzu doğrultusunda geliştirilmiş olup standartların gereksinimini karşılamaya yönelik geliştirilmiştir.

Bu çalışmada geniş ve ücretsiz veri tabanına sahip olması sebebiyle OpenLCA programı ile değerlendirme yapılmıştır. OpenLCA, 2006 yılında Green Delta tarafından geliştirilen ve birçok farklı sektöre ait ücretsiz veri tabanı sunan ticari bir yaşam döngüsü değerlendirme ve ayak izi hesaplama yazılımıdır. Yazılım güçlü bir özellik olarak uzantılara ve değişikliklere izin verir. Sürdürülebilirlik değerlendirmesinde, bazen rekabet eden ve sıklıkla çelişen sayısız araç ve yöntem bulunmaktadır. OpenLCA yazılım çerçevesi bu nedenle bu gerçeğe ayak uyduracak şekilde tasarlanmıştır.

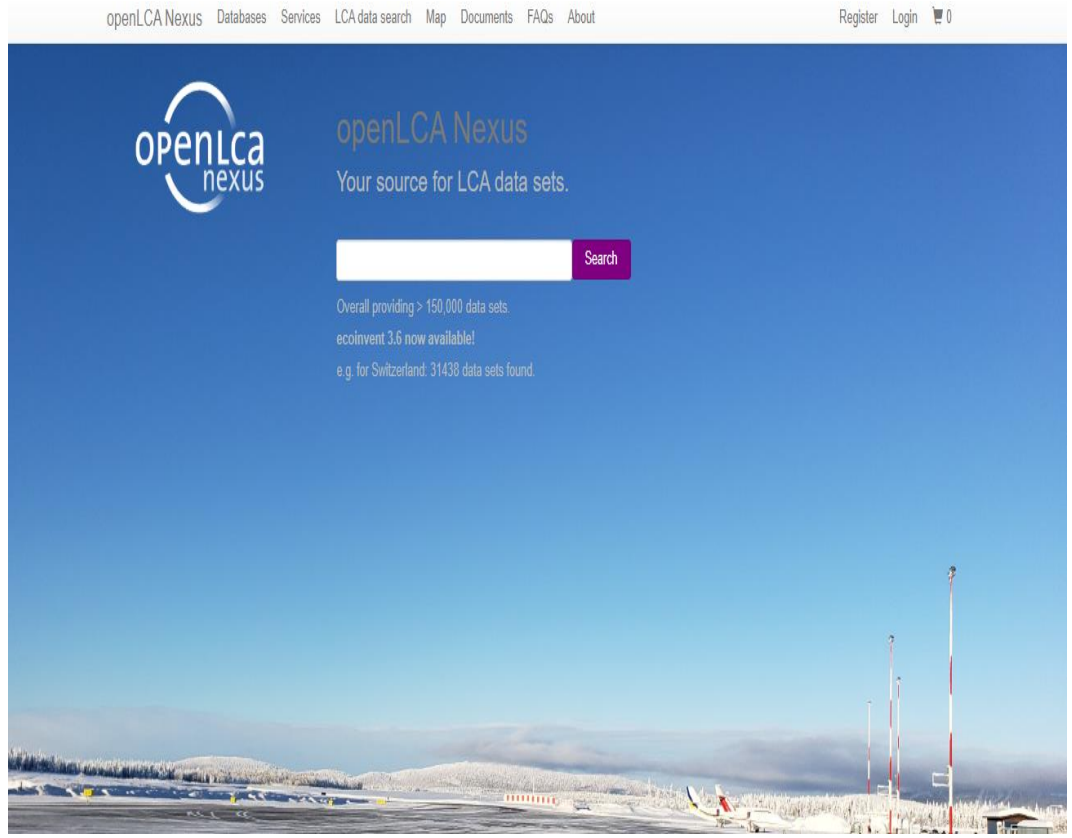
OpenLCA programı kapsamında, çevresel yaşam döngüsü analizleri, kritik incelemeler, veri toplama ve veri tabanı hazırlamaları, sosyal yaşam döngüsü analizi işlemleri, yaşam döngüsü maliyeti hesaplamaları vardır.

OpenLCA, içerik olarak aşağıda yer alan şekillerde açıklanmıştır. Başlangıç ekranından sonra açılan yazılım programına web sitesinden (<https://nexus.openlca.org/>) sektöre özel temin edilen veri tabanı ve hesaplama yöntemi eklenerek çalışılacak ara yüz düzenlenir.

OpenLCA programının açılış ekranı Şekil 8'deki gibidir. Ekranda program bilgileri ve versiyon bilgileri yer almaktadır.



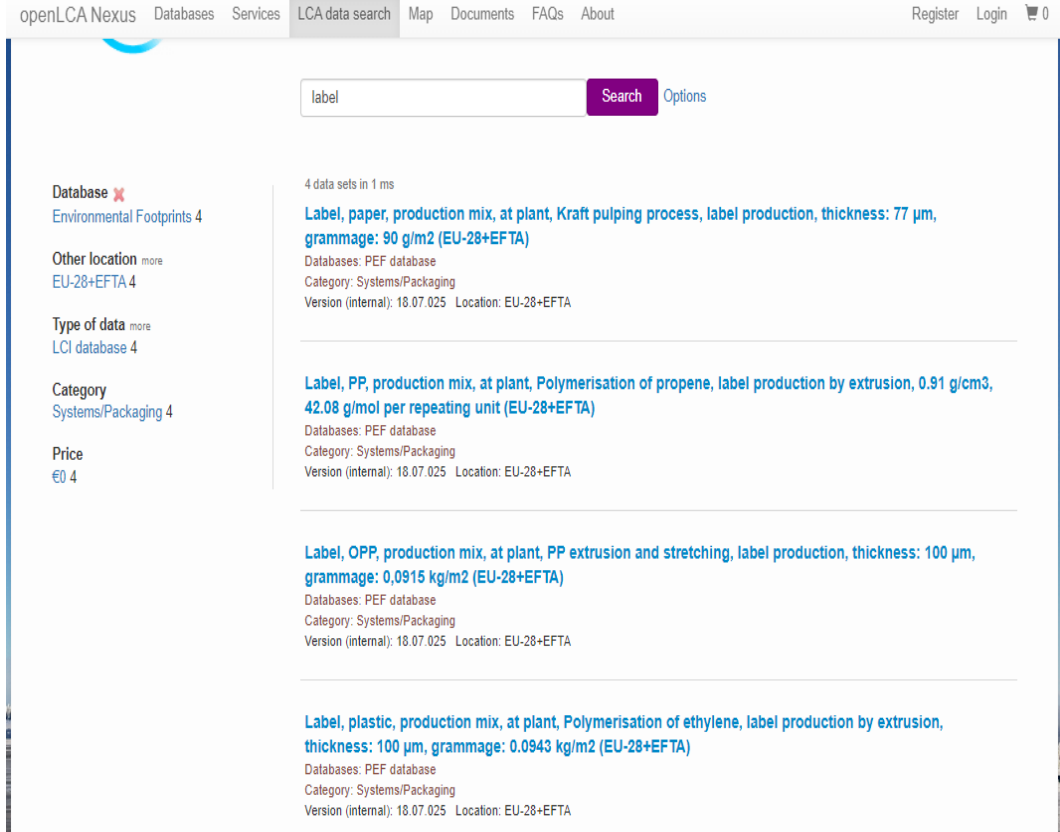
Şekil 8. OpenLCA 1.8 Versiyonu Başlangıç Ekranı



Şekil 9. OpenLCA Veri Tabanı Arama Sayfası



Şekil 10. Veri Tabanı ve Çalışma Metodu Yüklenmiş Başlangıç Ara Yüzü



Şekil 11. OpenLCA Etiket İle İlgili Veri Tabanı Araması

Bu çalışmada etiket üretim sektörü üzerine çalışma yapıldığı için veri tabanında “label production (etiket üretimi)” olarak arama yapılarak (Şekil 11) en uygun olan “Environmental Footprints (PEF)” veri tabanı tercih edilmiş, programa yüklenerek çalışma ara yüzü hazırlanmıştır.

Çalışmada beşikten fabrika (üretim) kapısına kadar olan döngünün çevreye olan etkisi incelenmiştir. Bu tür bir çalışma için gerekli olan verilerde kullanılan etiket üretim bilgileri veri tabanından temin edilmiştir. Ancak veri tabanında “Kendinden yapışkanlı etiket” veri tabanı bulunmadığı için yapışkanlı etiketin (baskısız) hammadde girdileri ayrıca hesaplanmıştır. Fabrika içerisindeki üretim faaliyetleri de eklenerek aşağıdaki veriler hesaplanmıştır:

- Yapışkanlı etiketin üretimi için gerekli taşıyıcı tabaka (PP film), yapışkan tabaka (akrilik reçine), taşıyıcı arka tabaka
- Etiket baskı öncesi hazırlık işlemi olan klişe süreci için gerekli fotoğraf filmi kağıdı, sabitleyici-fikser banyo solüsyonu

- Etiket baskı işlemi için kullanılan mürekkep, vernik (lak), boya inceltici (etil asetat),
- Üretim işleminde kullanılan enerji ve su tüketim verileri,
- Üretim sonucunda oluşan katı atık verileri.

4.2.1. OpenLCA Akışları ve Uygulama Adımları

OpenLCA programında temel akışlar, ürün akışı ve atık akışı olmak üzere üç tür akış mevcuttur.

- Temel akış, işleme tabi tutulmadan sisteme giren yada çıkan, hammadde veya enerji akışını içerir.
- Ürün akışı, sisteme giren yada çıkıp başka bir işleme giren ürünlerdir.
- Atık akışı, sistemden çıkan atıklardır.

Verilerin sisteme tanıtılması için:

- İlk önce akışlar (flows) bölümünde “LABEL” isimli yeni akış oluşturulur. Akış oluşturulurken türü ürün olarak belirlenir. Burada hesaplamada kullanılacak olan ürün çıktısı fonksiyonel olarak tanımlanır. Etiket üzerine çalışma yapıldığı için son ürün 1 m² etiket olarak seçilmiştir.
- İşlemler (processes) bölümünde “LABEL” akışı seçilerek yeni işlem oluşturulur. Bu bölüme 1 m² etiket ürünü çıktısı için hesaplanan girdiler birimlerine uygun olarak tanımlanır. Atıklar imalat sonucu olduğu için sisteme negatif (-) ağırlık olarak girilir.
- Ürün Sistemleri (Product System) bölümünde “LABEL” işlemi eçilerek “LABEL PRODUCTION” isimli yeni sistem oluşturulur. Sistem oluşturulduğunda model grafiği kontrol edilerek hesaplama metodu belirlenerek işlem başlatılır ve sonuç verileri elde edilir.

4.2.2. Çalışmada Kullanılan Etki Kategorisi Hesaplama Metodu – CML 2001

Çalışmada, hesaplama metodu olarak yaygın olarak kullanılan ve en fazla alanda etki kategorisinin inceleyen CML 2001 (non baseline) metodu kullanılmıştır. CML 2001, 2001 yılında Hollanda’da bulunan Leiden Üniversitesi tarafından geliştirilmiştir.

Hesapladığı etki kategorisi ve içeriklerine göre temel ve temel olmayan olarak iki çeşittir. CML 2001 (baseline) incelenen etki kategorileri Tablo 4’te açıklanmıştır.

Tablo 4. CML (baseline) Metodu Etki Kategorileri, (Acero ve diğ. 2015)

Etki Kategorisi Grubu	Etki Kategorisinin Adı
Asidifikasyon	Potansiyel Asidifikasyon AP– Avrupa Ortalaması
Küresel Isınma Etkisi	Küresel Isınma Potansiyeli- KIP100
Abiyotik Kaynakların Tüketimi	Abiyotik Element Tükenme Potansiyeli--AETP
	Abiyotik Fosil Tükenme Potansiyeli-AFTP
Ekotoksosite	Tatlısu Ekotoksitesitesi Potansiyeli-TSETP
	Deniz Suyu Ekotoksitesitesi Potansiyeli-DSETP
	Karasal Ekotoksosite Potansiyeli-KETP
Ötrofikasyon	Ötrofikasyon Potansiyeli -ÖP- Genel
İnsan Toksisitesi	İnsan Toksisitesi Potansiyeli- İTP
Ozon Tabakasına Etkisi	Ozon Tabakasını İnceltme Potansiyeli-OTİP kararlı hal
Fotokimyasal Oksidasyon	Fotokimyasal Oksidasyon Potansiyeli FOP- Yüksek NO _x

CML 2001’de (non baseline) incelenen etki kategorileri Tablo 5’te açıklanmıştır. Tabloda bazı değerlerin yanında yer alan 20, 100, 500 gibi sayılar hesaplama metodunun kaç yıllık öngörü ile yapıldığını ifade eder. Örneği KIP20 ifadesi çevresel etkisi hesaplanan maddenin 20 yıl içerisinde küresel ısınmaya olan etkisini ifade ederken KIP500 ifadesi 500 yıl içerisindeki etkisini ifade etmek için kullanılır.

Tablo 5. CML (non baseline) Metodu Etki Kategorileri, (Acero ve diğ. 2015)

Etki Kategorisi Grubu		Etki Kategorisinin Adı
Asidifikasyon		Potansiyel Asidifikasyon AP– Avrupa Ortalaması
Küresel Isınma Etkisi		Küresel Isınma Potansiyeli- KIP100 (NMVOC ort. dahil)
		Küresel Isınma Potansiyeli- KIP20
		Küresel Isınma Potansiyeli- KIP500
		Küresel Isınma Potansiyeli – Alt Limit KIP100
		Küresel Isınma Potansiyeli – Üst Limit KIP100
Abiyotik Tüketimi	Kaynakların	Abiyotik Element Tükenme Potansiyeli--AETP
Abiyotik Tüketimi	Kaynakların	Abiyotik Fosil Tükenme Potansiyeli- AFTP
Ekotoksisite		Tatlısu Sucul Ekotoksisite Potansiyeli- TSETP (Genişletilmiş)
		Tatlısu Sucul Ekotoksisitesi Potansiyeli- TSETP100
		Tatlısu Sucul Ekotoksisitesi Potansiyeli- TSETP20
		Tatlısu Sucul Ekotoksisitesi Potansiyeli- TSETP500
		Tatlısu Sediman Ekotoksisitesi Potansiyeli- TSSTP
		Tatlısu Sediman Ekotoksisitesi Potansiyeli- TSSTP100
		Tatlısu Sediman Ekotoksisitesi Potansiyeli- TSSTP20
		Tatlısu Sediman Ekotoksisitesi Potansiyeli- TSSTP500
		Deniz Sucul Ekotoksisitesi Potansiyeli- DSETP (Genişletilmiş)

	Deniz Sucul Ekotoksisitesi Potansiyeli- DSETP100
	Deniz Sucul Ekotoksisitesi Potansiyeli- DSETP20
	Deniz Sucul Ekotoksisitesi Potansiyeli- DSETP500
	Deniz Sediman Ekotoksisitesi Potansiyeli- DSSETP
	Deniz Sediman Ekotoksisitesi Potansiyeli- DSSETP100
	Deniz Sediman Ekotoksisite Potansiyeli- DSSETP20
	Deniz Sediman Ekotoksisitesi Potansiyeli- DSSETP500
	Karasal Ekotoksisite Potansiyeli- KETP (Genişletilmiş)
	Karasal Ekotoksisite Potansiyeli- KETP100
	Karasal Ekotoksisite Potansiyeli- KETP20
	Karasal Ekotoksisite Potansiyeli- KETP500
Ötrofikasyon	Ötrofikasyon ÖP– Avrupa Ortalaması
İnsan Toksisitesi	İnsan Toksisitesi Potansiyeli – İTP(Genişletilmiş)
	İnsan Toksisitesi Potansiyeli – İTP100
	İnsan Toksisitesi Potansiyeli – İTP20
	İnsan Toksisitesi Potansiyeli – İTP500
İyonize Radyasyon	Radyasyon Potansiyeli
Arazi Kullanımı	Arazi Kullanımı – Arazi Rekabeti
Koku	Koku
Ozon Tabakasına Etkisi	Ozon Tabakasını İnceltme Potansiyeli- OTİP Kararlı Hal (NMVOC ortalaması dahil)
	Ozon Tabakasını İnceltme Potansiyeli- OTİP10

	Ozon Tabakasını İnceltme Potansiyeli- OTİP15
	Ozon Tabakasını İnceltme Potansiyeli- OTİP20
	Ozon Tabakasını İnceltme Potansiyeli- OTİP25
	Ozon Tabakasını İnceltme Potansiyeli- OTİP30
	Ozon Tabakasını İnceltme Potansiyeli- OTİP40
	Ozon Tabakasını İnceltme Potansiyeli- OTİP5
Fotokimyasal Oksidasyon	Fotokimyasal Oksidasyon Potansiyeli- EBİR (Düşük NO _x)
	Fotokimyasal Oksidasyon Potansiyeli – Yüksek NO _x (NMVOC Ortalaması Dahil)
	Fotokimyasal Oksidasyon Potansiyeli- Yüksek NO _x (NO _x , NMVOC ortalaması)
	Fotokimyasal Oksidasyon Potansiyeli- Düşük NO _x
	Fotokimyasal Oksidasyon Potansiyeli- MIR (Çok Yüksek NO _x)
	Fotokimyasal Oksidasyon Potansiyeli- MOIR (Yüksek NO _x)

4.2.3 CML 2001 Etki Kategorisi Grupları

CML hesaplama metoduna göre, etki grupları iki alt başlıkta incelenmektedir.

- Sınıflandırma ve Karakterizasyon
- Normalizasyon

4.2.3.1 Sınıflandırma ve Karakterizasyon

Sınıflandırma bölümü, yaşam döngüsü etki analizi sonuçlarını düzenler ve birbirine bağlar, eğer bir kirletici iki farklı özelliğe sahipse bunları iki etki kategorisine de ekler.

Karakterizasyon, farklı gruplarda yer alan kimyasalları, benzer birimlere dönüştürerek, çevreye olan etkilerinin hesaplanmasını kolaylaştırır.

Abiyotik Kaynakların Tüketimi: CML etki kategorisi insan refahına, insan sağlığına ve ekosistem sağlığına odaklı olduğu için, üretim faaliyetlerinin girdileri olarak, ekosistemden aldıkları elementlerin incelendiği bölümdür. Cansız kaynaklar elementlerdir, kg-eşdeğeri olarak hesaplanırlar. Global boyutta incelenir.

Küresel Isınma: Değişen bir iklim doğal olarak ekosistem sağlığını, insan sağlığını refahını etkileyecektir. İklim değişikliğinin nedeni sera gazlarıdır. Karakterizasyon modeli, hükümetler arası iklim değişikliği paneli "IPCC" ile modellenmiştir. KIP 100 olarak adlandırılır. Birimi kg CO₂/kg emisyonudur. Global boyutta incelenir.

Stratosferik Ozon Tüketimi: Ozon tabakasının incelenmesi, güneşten UV-B dalga boylarının yüzeye daha çok gelmesine neden olmaktadır. Bunların zararlı olacağı alanlar, insan sağlığı ile sınırlı değildir, UV-B dalga boyları, hayvan sağlığı, karasal ve sucul ekosistemler, biyokimyasal döngüleri de etkilerler. Birimi kg CFC-11 eşdeğeri emisyonudur. Global boyutta incelenir. Zamanı sonsuzdur.

İnsan Sağlığı: İnsanların bulunduğu çevredeki zehirli maddelerin varlığını inceler. Karakterizasyon faktörleri "İnsan Zehirlenme Potansiyeli (HTP)" olarak alınır. Birimi kg 1,4-diklorobenzen eşdeğeri/kg emisyonudur. Zamanı sonsuzdur. Yerel ya da küresel boyutlarda incelenebilir. LC₅₀ (Ölümcül doz %50) olarak işlenir.

Tatlı Su Ekotoksitesi: Bu kategori, tatlı su kaynaklarını inceler. Sudaki ekotoksitesite birimi kg 1,4-diklorobenzen eşdeğeri/kg emisyonudur. Zamanı sonsuzdur. Global, kıtasal, bölgesel ya da yerel boyutta incelenebilir. LC₅₀ (Ölümcül doz %50) olarak işlenir.

Deniz Ekotoksitesi: Tatlı su ile benzerdir. LC₅₀ (Ölümcül doz %50) olarak işlenir.

Karasal Ekotoksitesite: Kemirgenlere öldürücü etki yapan kimyasallardır. LC₅₀ (Ölümcül doz %50) olarak işlenir.

Foto-oksidatiflerin Oluşması: Yaz sisi oluşturan etmenlerdir. Genel olarak bitkilere ve insanlara zararlıdır. Birimi kg etilen-eşdeğerleri emisyonudur.

Asidifikasyon: Asitli bileşiklerin, toprak, yer altı suyu, yüzey suyu, organizma, ekosistem ve binalara olan zararını inceler. Havaya olan emisyonları "RAINS 10" modeli ile tanımlanır. Birimi kg SO₂ eşdeğeri emisyondur. Zamanı ölçülemeyen sonsuzluktur, bölgesi yerel ve kıtalar arası olarak değişir. Nitrik asit, toprak, su ve hava; sülfürik asit, su; sülfür trioksit; hava, hidrojen klorür, su, toprak; hidrojen florür, su, toprak; fosforik asit, su, toprak; hidrojen sülfid, toprak için incelenir. Nitrojen oksit ve nitrojen monoksit de hava için incelenir.

Ötrofikasyon: Ötrofikasyon besin maddesi artması demektir. Toprağa çok fazla gübre atılması, tatlı su ya da denize çok fazla kontrolsüz olarak atık bırakılması sonucu oluşur. Birimi kg PO₄ eşdeğeri emisyondur. Zamanı ölçülemeyen sonsuzluktur. Bölgesi yerel ve kıtalar arasında olarak hesaplanabilir.

4.2.3.2 Normalizasyon

Ülkeler ve dünya çapında alınan örneklerin, analizler sonucu arasındaki farkların Dünya 1990, Avrupa 1995, Hollanda 1997 için referans olarak hesaplanmasıdır. Normalizasyon verileri Hollanda için 1997/1998, Batı Avrupa için 1995 ve Dünya için 1990-1995 yılları için mevcuttur.

4.3. Hesaplamalar ve Kabuller

Etiket üretim sektöründe birçok farklı baskı tekniği bulunması sebebiyle bu tekniğe uygun farklı üretim süreçleri gelişmiştir. Uygulanacak olan üretim yöntemine göre etiket hammadde çeşitleri ve miktarları, enerji ve su kullanımı, oluşacak atık ürün miktarları da farklılaşmaktadır.

İşletme, yasal yükümlülük gereği her yılın sonunda üretim ve ofis faaliyetleri sonucunda oluşan tüm atıklarını Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na ait çevrimiçi sistemden beyan etmektedir. Beyanı yapılan atıkların kontrolü ilgili bakanlık tarafından yapılmaktadır. İşletmeye ait 2018 yılına ait atık verileri Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6. İşletmeye Ait Yıllık Atık Verileri

Atık Adı	Atık Kodu	Atık Miktarı	Birimi
Organik çözücüler ya da diğer tehlikeli maddeler içeren atık boya ve vernikler	08 01 11	1228	Kilogram
Çözücü banyo solüsyonları	09 01 03	1115	Kilogram
Sabitleyici banyo solüsyonları	09 01 04	115	Kilogram
Gümüş veya da gümüş bileşenleri içeren fotoğraf filmi ve kâğıdı	09 01 07	15	Kilogram
Tehlikeli maddeler içeren ya da bunlardan oluşan ıskarta organik kimyasallar	16 05 08	100	Kilogram
Kağıt ve karton	20 01 01	23200	Kilogram

Tablo 6’da yer alan 6 haneli atık kodları Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’nın 2015 yılında yayınlamış olduğu Atık Yönetimi Yönetmeliği Ek-4 listesinden alınmıştır. Bu kodların açıklamaları tablodaki atık adı sütununda açıklanmıştır.

Çalışmada ofset ve flekso baskı tekniğinde etiket üretimi yapıldığı değerlendirilmiş olup, baskı öncesi hazırlık işlemi olan grafik tasarım işlemi herhangi bir kimyasal kullanılmaması, sadece bilgisayar çizim işlemi olması ve girdi-çıkı verisinin bulunmaması sebebiyle dikkate alınmamış olup daha önce tasarımı yapılmış tek renk baskılı bir etiketin tekrar üretildiği kabul edilmiştir. Farklı baskı tekniklerinin çevresel etkilerinin karşılaştırılması hedeflenmektedir.

Atık çıktıları, enerji ve su kullanımı tüm tesise ait genel veriler birim ürün başına oranlanarak bulunmuş olup tüm işlemlerde dengeli dağıldığı varsayılmıştır. Tablo 2’de yer alan verilere göre tesisin toplam üretim kapasitesi:

$$\text{Tesis Toplam Üretim Kapasitesi} = (4.207.000 \text{ m}^2/\text{yıl}) + (5.780.000 \text{ m}^2/\text{yıl}) + (370.000 \text{ m}^2/\text{yıl}) + (432.000 \text{ m}^2/\text{yıl}) = \mathbf{10.789.000 \text{ m}^2/\text{yıl}} \text{ ‘dır.}$$

Flekso baskı tekniğinde taşıyıcı baskı kağıdı olarak PP, PET, PE ürünlerin tercih edilmesi sebebiyle çalışmada da PP film taşıyıcı tabakalı ürün referans alınmıştır. Yapıştırıcı ürün olarak yaygın kullanılan reçine tercih edilmiş olup baskı altı kağıdı malzeme türü pergamin kağıdı olarak seçilmiştir. Pergamin kağıdı, matbaa sanayinde sülfite kağıdı olarak da tanımlanmaktadır. Bu sebeple kullanılan yazılım programına bu girdi eklenmiştir. Kendinden yapışkanlı etikete ait ağırlık detayları etiketin GBF (Güvenlik Bilgi Formu)’den alınmış olup Tablo 7’de detaylar verilmiştir.

Tablo 7. Kendinden Yapışkanlı Etikete Ait Veriler, PP Etiket

Malzeme	Cinsi	g/m ² Etiket Başına
Taşıyıcı Tabaka	Polipropilen Film	59
Baskı Altı Kağıdı	Pergamin Kağıdı	72
Yapıştırıcı	Akrilik Reçine	46,9

Ofset baskı tekniğinde ise uygulama yüzeyi kağıt-karton olması sebebiyle taşıyıcı baskı kağıdı olarak sektörde sıkça kullanılan kraft kağıdı tercih edilmiştir. Ofset baskıda da flekso tekniğinde olduğu gibi yapıştırıcı ürün olarak reçine ve baskı altı kağıdı malzeme türü pergamin kağıdı olarak seçilmiştir. Kendinden yapışkanlı etikete ait ağırlık detayları etiketin GBF (Güvenlik Bilgi Formu)’den alınmış olup Tablo 8’de detaylar verilmiştir. Etiket hammadde girdileri dışındaki enerji, kimyasal vb. ihtiyaçların tesiste üniform dağıldığı kabul edilip hesaplamalar ofset ve flekso baskısı için ortak yapılmıştır.

Tablo 8. Kendinden Yapışkanlı Etikete Ait Veriler, Kağıt Etiket

Malzeme	Cinsi	g/m ² Etiket Başına
Taşıyıcı Tabaka	Kraft Kağıdı	80
Baskı Altı Kağıdı	Pergamin Kağıdı	72
Yapıştırıcı	Akrilik Reçine	46,9

Etiket sektöründe baskı işlemine başlanmadan evvel baskı öncesi hazırlık işlemi gerekmektedir. Grafik tasarımdan sonra kalıbın hazırlanması için fotopolimerik klişe makinesinde klişe hazırlanır. Fotopolimer maddeler bir destek üzerine ince bir

katman biçiminde sürülür. Fotopolimerlerin üzerine ışık gönderildiğinde çeşitli fotokimyasal değişimler meydana gelir. Işık yardımıyla fotopolimer üzerine görüntü düşürülür. Fotopolimer baskı kalıbının ışık gören yerleri sertleşir, ışık görmeyen yerleri ise yumuşak kalır. Yıkama işleminden sonra yumuşak kalan yerler çözücü solüsyon ile çözülür ve baskı kalıbı yüzeyinden ayrılır. Böylece baskı kalıbının yüzeyinde yükseklik farkları oluşturulur. Yıkama işleminde kullanılan banyo solüsyonu içerisinde; su yoğunlukta olmak üzere hidrokinon, pentetik asit, potasyum karbonat, sodyum borat kimyasalları vardır. Girdi verisinin hesaplanabilmesi için solüsyonda bulunan tüm sıvılar ağırlıkça güvenlik bilgi formunda yer alan ağırlıkça yüzdelere göre hesaplanmış, programa girdi olarak işlenmiştir. Solüsyonun özgül ağırlığı 1,289 gram/cm³'tür.

Tablo 9. Çözücü Solüsyona Ait Veriler

İçerik	Ağırlık (%)	g/m² Etiket Başına
Su	80	0,333
Hidrokinon	5	0,02085
Pentetik Asit	5	0,02085
Potasyum Karbonat	5	0,02085
Sodyum Borat	5	0,02085

$$\text{Ürün Başına Tüketilen Çözücü Solüsyon Miktarı} = ((4.500 \text{ kg/yıl}) / (10.789.000 \text{ m}^2/\text{yıl})) * (1000 \text{ gram/kg}) = \mathbf{0,417 \text{ gram/m}^2}$$

Ürün başına tüketilen çözücü solüsyona ait içeriklerin dağılımı:

$$\text{Su: } (0,417 \text{ gram/m}^2) * (80/100) = \mathbf{0,333 \text{ gram/m}^2}$$

$$\text{Hidrokinon: } (0,417 \text{ gram/m}^2) * (5/100) = \mathbf{0,02085 \text{ gram/m}^2}$$

$$\text{Potasyum Karbonat: } (0,417 \text{ gram/m}^2) * (5/100) = \mathbf{0,02085 \text{ gram/m}^2}$$

$$\text{Pentetik Asit: } (0,417 \text{ gram/m}^2) * (5/100) = \mathbf{0,02085 \text{ gram/m}^2}$$

$$\text{Sodyum Borat: } (0,417 \text{ gram/m}^2) * (5/100) = \mathbf{0,02085 \text{ gram/m}^2}$$

Temizleme işleminden çıkan kalıp sabitleyici solüsyon ile yıkanarak baskı makinesi için hazır hale getirilir. Bu aşamada fikser solüsyonlar kullanılır. Fikser olarak adlandırılan kalıp temizleme sütünün içerisinde fosforik asit birleşeni vardır ve pH değeri 2'dir. Klişe işlemi sırasında kalıp için fotoğraf film kağıdı kullanılmaktadır. Sadece kalıp aşamasında fotoğraf filmi kullanıldığı için her kalıp için ortalama tüketim miktarı 1 m²'dir. Birim ürün başına çok küçük miktarda girdi ve çıktı oluşturacağından kalıp kağıdı hesaplamalara katılmamıştır. Sabitleme işleminde kullanılan fikser solüsyonu içerisinde; su yoğunlukta olmak üzere sodyum sülfite ve asetik asit kimyasalları vardır. Girdi verisinin hesaplanabilmesi için solüsyonda bulunan tüm sıvılar ağırlıkça güvenlik bilgi formunda yer alan ağırlıkça yüzdelere göre hesaplanmış, programa girdi olarak işlenmiştir. Solüsyonun özgül ağırlığı 1,22 gram/cm³'tür. Fikser ve çözücü solüsyonların içeriğinde en fazla miktarda bulunan su miktarı toplanarak programa distile su olarak tanımlanmıştır.

Tablo 10. Sabitleyici-Fikser Solüsyona Ait Veriler

İçerik	Ağırlık (%)	g/m² Etiket Başına
Su	72	0,033
Sodyum Sülfite	25	0,0115
Asetik Asit	3	0,00138

$$\text{Ürün Başına Tüketilen Fikser Solüsyon Miktarı} = ((500 \text{ kg/yıl}) / (10.789.000 \text{ m}^2/\text{yıl})) * (1000 \text{ gram/kg}) = \mathbf{0,046 \text{ gram/m}^2}$$

Ürün başına tüketilen çözücü solüsyona ait içeriklerin dağılımı:

$$\text{Su: } (0,046 \text{ gram/m}^2) * (72/100) = \mathbf{0,033 \text{ gram/m}^2}$$

$$\text{Sodyum Sülfite: } (0,046 \text{ gram/m}^2) * (25/100) = \mathbf{0,0115 \text{ gram/m}^2}$$

$$\text{Asetik Asit: } (0,046 \text{ gram/m}^2) * (3/100) = \mathbf{0,00138 \text{ gram/m}^2}$$

$$\text{Ürün Başına Kullanılan Toplam Distile Su Miktarı} = (\text{Fikser Solüsyon}) + (\text{Çözücü Solüsyon}) = 0,033 + 0,333 = \mathbf{0,366 \text{ gram/m}^2}$$

Baskı işleminde mürekkepler yardımıyla boyama gerçekleştirilmekte olup ürünler lak (vernik) yardımıyla parlatılmakta ve raf ömrü uzatılmaktadır. Ofset ve flekso

baskının mürekkep çeşitleri farklı olup hesaplanan mürekkep miktarı OpenLCA programına “ofset baskı mürekkebi” ve “flekso baskı mürekkebi” olarak ayrı ayrı tanımlanmıştır. Boya hazırlama işleminde boya incelici olarak etil asetat kullanılmaktadır. Tesisin hammadde ihtiyacından verilere göre etil asetat, lak ve mürekkep ihtiyacı m² etiket başına hesaplanmıştır. Kullanılan YDA programına lak (vernük) verisi kimyasalın içeriğı olan akrilik vernük olarak tanımlanmıştır. Hesaplama verileri Tablo 3’ten alınmıştır.

$$\begin{aligned}\text{Ürün Başına Tüketilen Mürekkep Miktarı} &= ((29.642 \text{ kg/yıl}) / (10.789.000 \text{ m}^2/\text{yıl})) \\ &\quad * (1000 \text{ gram/kg}) = \mathbf{2,74 \text{ gram/m}^2}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Ürün Başına Tüketilen Lak Miktarı} &= ((48.550 \text{ kg/yıl}) / (10.789.000 \text{ m}^2/\text{yıl})) * (1000 \\ &\quad \text{gram/kg}) = \mathbf{4,50 \text{ gram/m}^2}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Ürün Başına Tüketilen Etil Asetat Miktarı} &= ((7.500 \text{ kg/yıl}) / (10.789.000 \\ &\quad \text{m}^2/\text{yıl})) * (1000 \text{ gram/kg}) = \mathbf{0,695 \text{ gram/m}^2}\end{aligned}$$

İşletmenin deşarj kalite kontrol ruhsatında yer alan bilgiye göre endüstriyel atık su debisi 0,1 m³/gün’dür (100 litre/gün), evsel su tüketiminin ise tesis yetkililerinden alına bilgiler doğrultusunda aylık ortalama 10 m³/gün olduğı bilinmektedir. Ancak daha hassas hesaplama yapılabilmesi için evsel su tüketim verisi TÜİK’ten alınan bilgilere göre hesaplanmıştır. İstanbul’da 2018 yılında kişı başı su tüketimi 189 litredir.

$$\begin{aligned}\text{Günlük Toplam Kullanılan Evsel Su Miktarı} &= (53 \text{ kişı}) * (189 \text{ Litre*kişı-gün}) = \\ &\quad \mathbf{10.017 \text{ litre/gün}}\end{aligned}$$

Elektrik tüketiminin aylık ortalama 300.000 kWh olduğı bilgisi tesis yetkililerinden alınmıştır. Elektrik girdisinin çevresel etki üzerindeki katkısını görmek amacıyla şebeke elektriğı ve güneş enerjisinden elde edilen elektrik (solar) baskı yöntemleri için ayrı ayrı ayrı sisteme girilmiştir

Arazi hesabı yapılırken fabrikanın 2001 yılından beri işletildiğı ve üretim kapasitesi ve bina yeterliliğı değıerlendirildiğinde ortalama 50 yıl işletimde kalacağı kabul edilmiştir. Hesaplamalar kapalı alan üzerinden yapılmıştır.

Su, enerji ve arazi kullanımının tüm ürünler için eşit olduğu kabul edilip 1 m² ürün başına hesaplanmıştır.

$$\text{Günlük Toplam Üretim Miktarı} = (10.789.000 \text{ m}^2/\text{yıl}) / (300 \text{ gün/yıl}) = \mathbf{35.963,33 \text{ m}^2/\text{gün}}$$

$$\text{Ürün Başına Kullanılan Su Miktarı} = (100+10.584 \text{ litre/gün}) / (35.963,33 \text{ m}^2/\text{gün}) = \mathbf{0,297 \text{ litre/m}^2}$$

$$\text{Ürün Başına Tüketilen Enerji Miktarı} = ((300.000 \text{ kwh/ay}) / (35.963,33 \text{ m}^2/\text{gün})) * (1 \text{ ay}) / (25 \text{ gün}) = \mathbf{0,333 \text{ kWh/m}^2}$$

$$\text{Ürün Başına Kullanılan Arazi Miktarı} = (6750 \text{ m}^2 \text{ arazi} / 50 \text{ yıl}) / (10.789.000 \text{ m}^2 \text{ ürün/yıl}) = \mathbf{1,25 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ arazi/ m}^2 \text{ ürün' dür.}}$$

Not: Yıllık çalışma günü kapasite raporuna göre 300 gün kabul edilmiştir. 1 ay 25 gün olarak hesaplanmıştır.

Tüm hammadde verilerinin yanında proses boyunca oluşan atık miktarları da değerlendirilmiştir. Tablo 6'da yer alan yıllık atık miktarları 1 m² etiket ürüne oranlanarak hesaplanmıştır. Bu üretim prosesinde oluşan tüm atıklar kimyasal ve tehlikeli atıklar olması sebebiyle kullanılan YDA programına kimyasal atık-toksik (chemical waste-toxic) kategorisinde sistemden uzaklaştırılan ürün olarak tek bir girdi girilmiştir. Atık kağıt verisi ayrı hesaplanmış, tek bir girdi olarak eklenmiştir.

$$\text{Ürün Başına Oluşan Atık Mürekkep ve Lak Miktarı} = ((1.228 \text{ kg/yıl}) / (10.789.000 \text{ m}^2/\text{yıl})) * (1000 \text{ gram/kg}) = \mathbf{0,114 \text{ gram/m}^2}$$

$$\text{Ürün Başına Oluşan Atık Etil Asetat Miktarı} = ((100 \text{ kg/yıl}) / (10.789.000 \text{ m}^2/\text{yıl})) * (1000 \text{ gram/kg}) = \mathbf{0,010 \text{ gram/m}^2}$$

$$\text{Ürün Başına Oluşan Atık Çözücü Solüsyon Miktarı} = ((1.115 \text{ kg/yıl}) / (10.789.000 \text{ m}^2/\text{yıl})) * (1000 \text{ gram/kg}) = \mathbf{0,103 \text{ gram/m}^2}$$

$$\text{Ürün Başına Oluşan Atık Fikser Solüsyon Miktarı} = ((115 \text{ kg/yıl}) / (10.789.000 \text{ m}^2/\text{yıl})) * (1000 \text{ gram/kg}) = \mathbf{0,011 \text{ gram/m}^2}$$

$$\text{Ürün Başına Oluşan Atık Kimyasal Miktarı} = (0,114+0,010+0,103+0,011) = \mathbf{0,238 \text{ gram/m}^2}$$

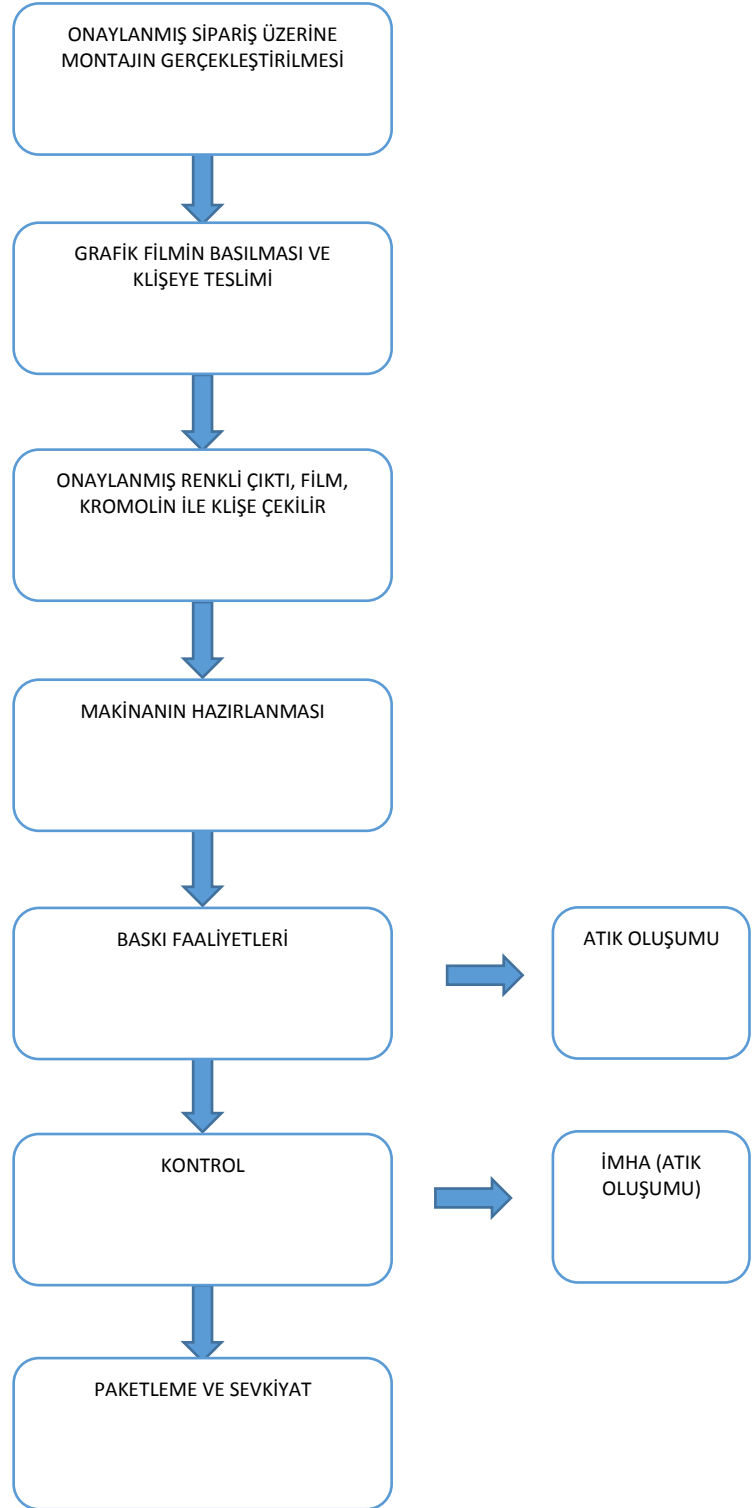
$$\begin{aligned} \text{Ürün Başına Oluşan Atık Kağıt Miktarı} &= ((23.200 \text{ kg/yıl}) / (10.789.000 \text{ m}^2/\text{yıl})) \\ &\quad *(1000 \text{ gram/kg}) = \mathbf{2,150 \text{ gram/m}^2} \end{aligned}$$

Yaşam döngüsü analizinin hesaplamaları için OpenLCA programı ile çalışılmış olup bu programda kullanılacak olan girdi (input) verileri hesaplanmıştır. Yapılan değerlendirmenin etkin bir biçimde incelenebilmesi için 1 m²'lik etiket üretimi değerlendirilmiştir. İşletmeye ait üretim ve tüketim kapasiteleri verileri dikkate alınarak tüm girdiler 1 m² ürün için oranlanarak Tablo 11'de verilmiştir. Tüm girdilerin dahil olduğu etiket üretimine ait iş akış prosesleri Şekil 12'de yer alan diyagramda özetlenmiştir.

Tablo 11. İşletmeye Ait Girdiler

Girdi	Miktar	m² Etiket Başına Birim
PP Film (Flekso Baskı)	59	Gram
Kraft Kağıdı (Ofset Baskı)	80	Gram
Akrilik Reçine	46,9	Gram
Pergamin Kağıdı (Sülfite Kağıdı)	72	Gram
Baskı Mürekkebi	2,74	Gram
Lak (Akrilik Vernik)	4,50	Gram
Boya İnceltici (Etil Asetat)	0,695	Gram
Hidrokinon (Çözücü Solüsyon)	0,02085	Gram
Potasyum Karbonat (Çözücü Solüsyon)	0,02085	Gram
Sodyum Borat (Çözücü Solüsyon)	0,02085	Gram
Pentetik Asit (Çözücü Solüsyon)	0,02085	Gram
Sodyum Sülfite (Fikser Solüsyon)	0,0115	Gram
Asetik Asit (Çözücü Solüsyon)	0,00138	Gram
Distile Su (Toplam Solüsyon)	0,366	Gram
Su Tüketimi (Endüstriyel+Evsel)	0,297	Litre
Elektrik Tüketimi	0,333	kWh

Arazi Kullanımı	1,25x10 ⁻⁵	Metrekare
Atık Mürekkep ve Vernik	0,114	Gram
Atık Baskı Altı Kağıdı	2,150	Gram
Atık Etil Asetat	0,010	Gram
Atık Sabitleyici Solüsyon	0,011	Gram
Atık Çözücü Solüsyon	0,103	Gram

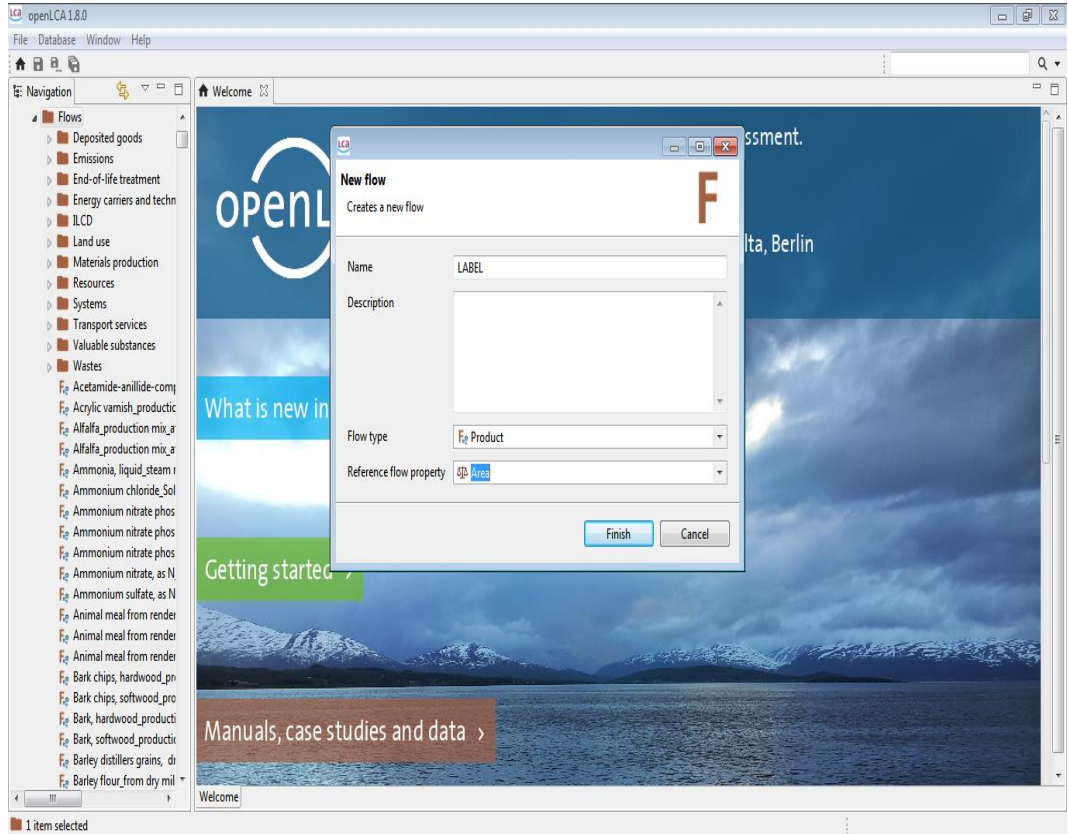


Şekil 12. Etiket Üretimi İş Akış Şeması

4.4. Uygulama ve Sonuçlar

Çalışmada kullanılan program üzerinde aşağıdaki sırala ile işlemler tamamlanmış olup çalışma sonuçları elde edilmiştir.

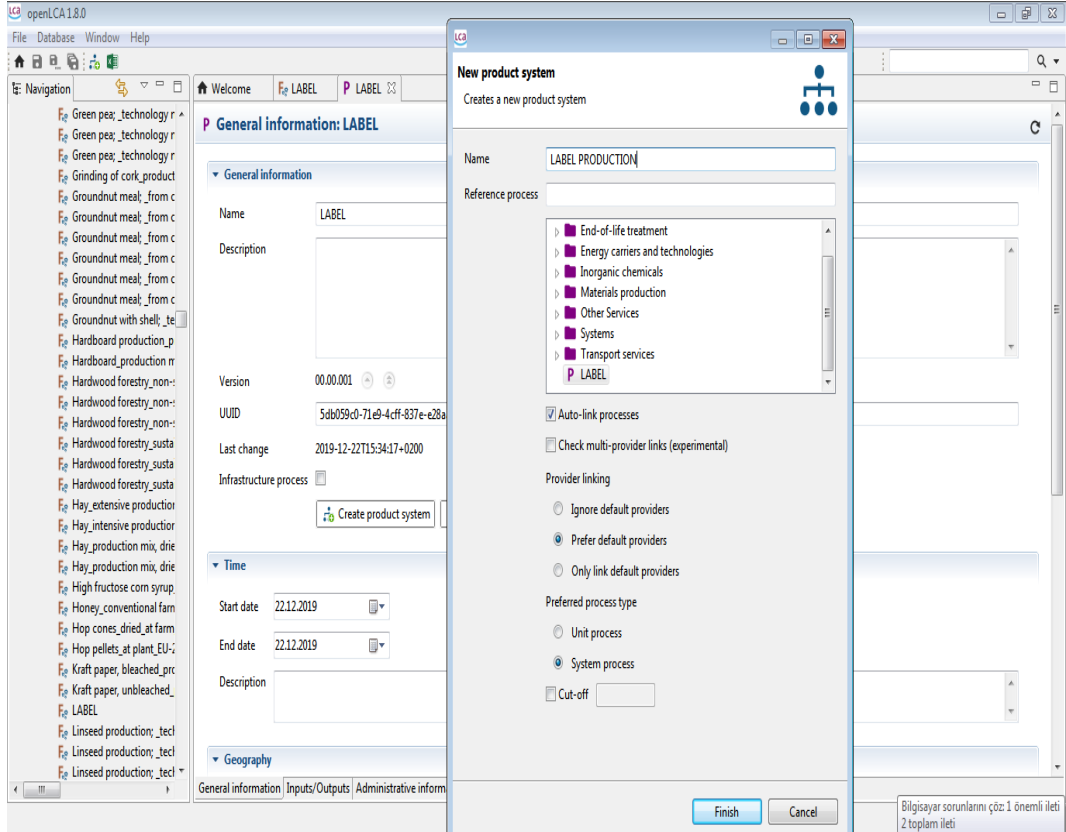
1. Akış Oluşumu: Veri tabanında “LABEL” isimli yeni akış oluşturulmuş, akış türü ürün (product) , birimi alan (area) seçilmiştir.



Şekil 13. Akış Oluşumu

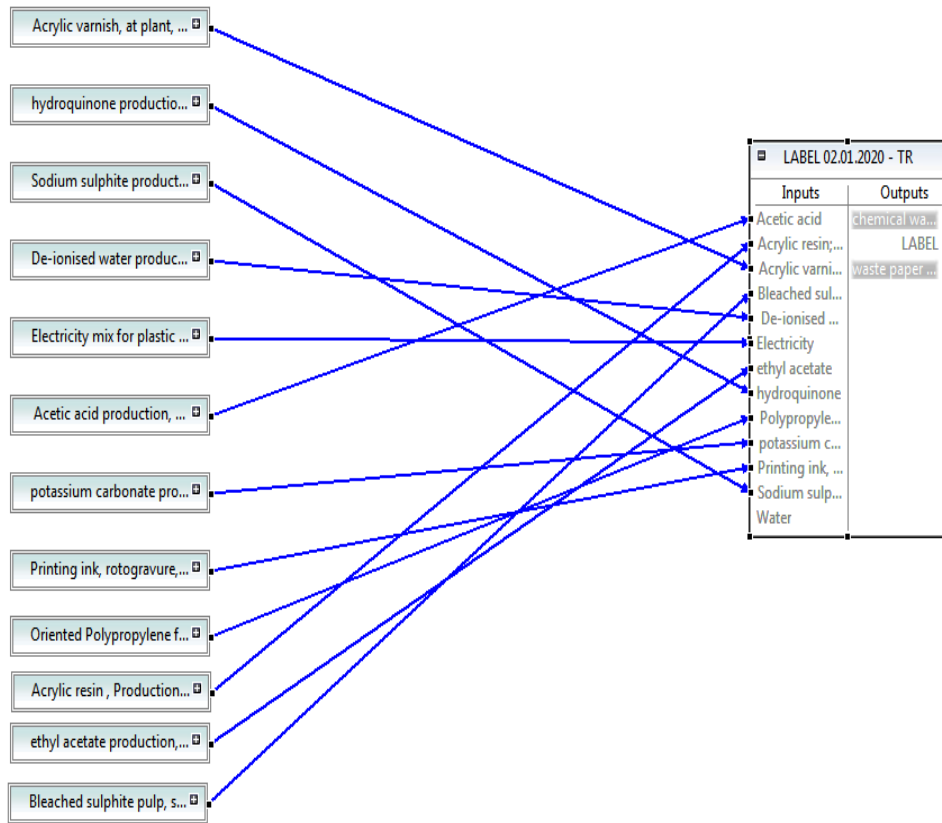
2. İşlem Oluşumu: Oluşturulan yeni akış ekranında yeni işlem oluşturma (new process) butonuna basılarak “LABEL” akışı işaretlenir ve “LABEL” isimli yeni işlem oluşturulur. Oluşturulan yeni akış girdi/çıktı (input/output) sekmesine gidilerek tüm girdiler birimlerine uygun olarak eklenir. Atıklar imalat sonucu olduğu için sisteme negatif (-) ağırlık olarak girilir. Ayrıca bu adımda lokasyon bilgisi olarak ülke konumu eklenmiş, Türkiye seçilmiştir.

3. Ürün Sistemi Oluşumu: Tüm verileri girilen yeni işlem kaydedilerek genel bilgi (general information) sekmesinde bulunan yeni ürün sistemi oluştur (create product system) butonuna basılır. Açılan ekranda “LABEL” işlemi seçilerek “LABEL PRODUCTION” ismi verilen yeni ürün sistemi oluşturulur.

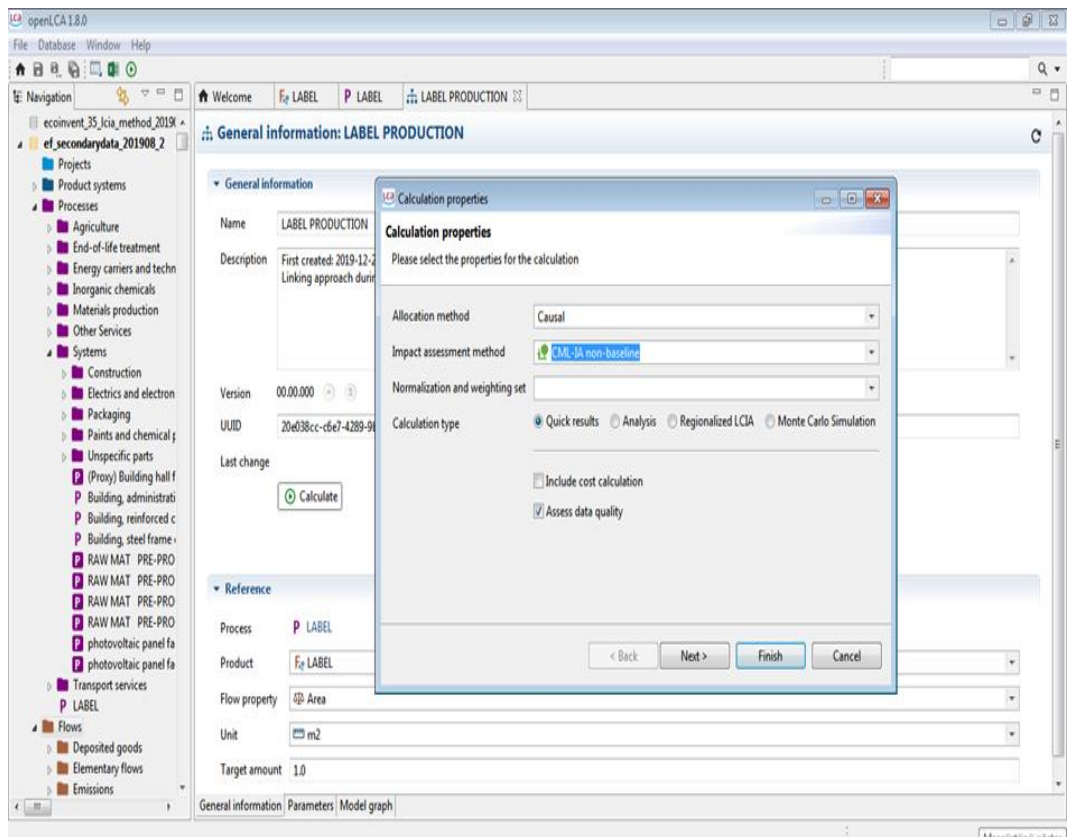


Şekil 16. Yeni Ürün Sistemi Oluşturma

4. Hesaplama: Oluşan “LABEL PRODUCTION” isimli yeni ürün sisteminde model grafiği oluşur ve hesaplama işlemi için son adım tamamlanmış olur. Genel bilgi (general information) sekmesinde bulunan hesapla (calculate) butonuna basılarak hesaplama butonu seçilir. Bu çalışma için hesaplama metodu CML 2001 non baseline olarak seçilmiştir. Sonuçlar sekmesinde her etki parametresi için ayrı ayrı hesaplanmış olarak elde edilir.

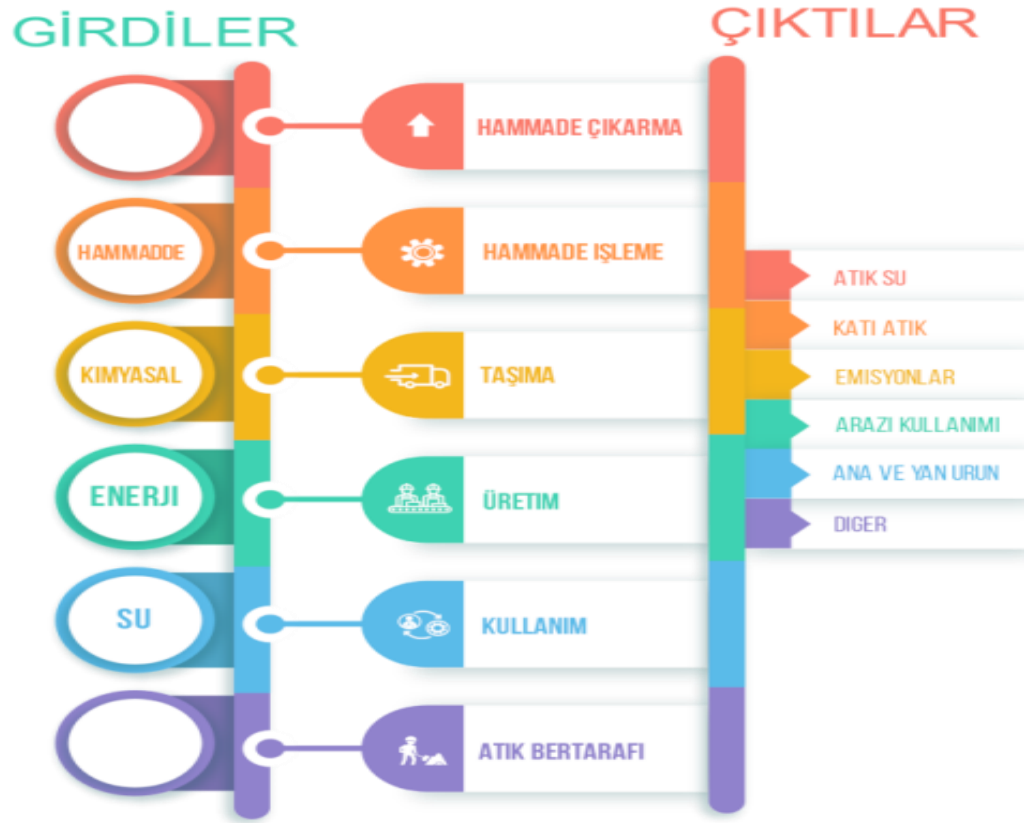


Şekil 17. Yeni Ürün Sistemi Model Grafiği



Şekil 18. Hesaplama Metodunun Seçilmesi

5. Sonuç Eldesi: Sonuçlar hesaplandıktan sonra hem grafik hem de sayısal veriler elde edilir. Tüm sonuçlar Tablo 12’de listelenmiş olarak programdan alınmıştır.. Yaşam döngüsü analizi programlarının çalışma algoritması Şekil 19’da açıklanmıştır.



Şekil 19. YDA Program Algoritması, (Semtrio)

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Open LCA programının çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar her bir kategori için Tablo 12’de listelenmiş olarak programdan alınmıştır. Sonuçlar iki ayrı üretim tekniği olan flekso ve ofset baskı tekniğine ait iki ayrı çalışma sayfasında hesaplanmış, sonuç verileri ayrı ayrı elde edilmiştir. Çalışmada baskı tekniklerinin çevresel etkilerinin karşılaştırılması hedeflenmiş olup, iki üretim tekniğinin de çevresel etkileri elde edilmiştir. Ayrıca üretim sürecinde yüksek bir etkiye sahip olan elektrik kullanımının yenilenebilir enerjiden elde edilmesi durumunda çevresel faktörlerin nasıl etkileneceği de sayısal sonuç olarak elde edilmiş ve değerlendirilmiştir. Bu durum için de değerlendirme yapılmıştır.

Tablo 11’de yer alan girdi verileri işletmeden alınan bilgiler doğrultusunda elde edilmiş olup, mevcut veriler ile baskı tekniği değiştiğinde elektik kullanımı, su tüketimi, atık oluşum miktarları gibi girdilerin teknik işlemler doğrultusunda değişimi hesaplanamamıştır. İşletme genelinde ofset, flekso, letterpres ve dijital baskı gibi tüm baskı çeşitleri uygulandığından kullanılan hammadde verileri baskı tekniğine göre sınıflandırılamamış olup, tüm işlem sonuçlarının toplam değerleri çalışmada kullanılmıştır. Tablo 11’de de görüldüğü üzere iki baskı yönteminin farklılığı olarak sadece baskı mürekkebi ve etiketin hammadde girdisi ölçümlenmiştir. Bu veriler doğrultusunda, diğer girdilerin ölçümlenememesi ve aynı olması nedeniyle Tablo 12’de görüldüğü üzere baskı yönteminin değişmesine rağmen çevresel etki değerlerinde değişiklik görülememekte, sonuçların çok yakın olduğu izlenmektedir. Bu sebeple, çalışmada verileri hesaplanan flekso baskı işleminin şehir şebekesinden sağlanan elektrik enerjisine bağlı hesaplanan sonuçları referans alınarak her bir etki kategorisinde tek tek irdelenmiştir. Bu sonuçlar, her bir etki kategorisi için kendi konu başlığında incelenmiş olup literatürdeki ürün yaşam döngüsüne ait benzer çalışmalar ile karşılaştırılarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

OpenLCA programı, etki kategorilerine göre, üretim sürecinde hangi faaliyetin çevreye ve etki kategorisine etkisinin yüksek olduğunu aşağıdaki grafiklerde olduğu gibi göstermektedir. Bu grafikler ilgili etki kategorisine katkı sağlayan girdi verilerinin değerlerini içermektedir.

Tablo 12. Etiket Yaşam Döngüsü Etki Kategorileri Hesaplama Sonuçları

Etki Kategorisi	Birim	Etki m² Etiket Başına (Flekso Baskı)	Etki m² Etiket Başına (Ofset Baskı)
Abiyotik Kaynakların Tüketimi (element, ekonomik rezerv)	Kg Sb eq	5,12563E-07	5,12102E-07
Abiyotik Kaynakların Tüketimi (element, kaynak tabanı)	Kg Sb eq	3,20903E-07	3,20633E-07
Asidifikasyon	Kg SO ₂ eq	1,58365E-06	1,5771E-06
Ötrofikasyon	Kg PO ₄ eq	2,72328E-06	2,71203E-06
Tatlı Su Sucul Ekotoksitesitesi 100yıl	Kg 1,4-DB eq	3,98226E-09	3,9832E-09
Tatlı Su Sucul Ekotoksitesitesi 20yıl	Kg 1,4-DB eq	3,57751E-09	3,57841E-09
Tatlı Su Sucul Ekotoksitesitesi 500yıl	Kg 1,4-DB eq	4,18623E-09	4,18713E-09
Tatlı Su Sediman Ekotoksitesitesi 100yıl	Kg 1,4-DB eq	1,29162E-08	1,29184E-08
Tatlı Su Sediman Ekotoksitesitesi 20yıl	Kg 1,4-DB eq	1,14342E-08	1,14363E-08
Tatlı Su Sediman Ekotoksitesitesi 500yıl	Kg 1,4-DB eq	1,34392E-08	1,34413E-08
Tatlı Su Sediman Ekotoksitesitesi (sonsuz)	Kg 1,4-DB eq	3,59759E-08	3,59734E-08
Tatlı Su Sucul Ekotoksitesitesi (PAH, Ksilen, NMVOC ort.)	Kg 1,4-DB eq	1,29791E-08	1,29782E-08
Küresel Isınma Potansiyeli	Kg CO ₂ eq	0,187501647	0,187438667
İnsan Sağlığı (PAH, Ksilen, NMVOC ort. Dahil)	Kg 1,4-DB eq	1,03595E-05	1,0362E-05

İnsan Sağlığı 100yıl	Kg 1,4-DB eq	7,71581E-08	7,72165E-08
İnsan Sağlığı 20yıl	Kg 1,4-DB eq	2,31344E-08	2,31633E-08
İnsan Sağlığı 500yıl	Kg 1,4-DB eq	3,2215E-07	3,22294E-07
İyonize Radyasyon	DALYs	0	0
Arazi Rekabeti	m ² yıl	3,656552188	3,659283393
Kötü Kokulu Hava	m ³ hava	4,88664E-07	4,86651E-07
Deniz Suyu Sucul Ekotoksisitesi (PAH, Ksilen, NMVOC ort.)	Kg 1,4-DB eq	0,015497457	0,015538263
Deniz Suyu Sucul Ekotoksisitesi 100yıl	Kg 1,4-DB eq	0,000149469	0,000149849
Deniz Suyu Sucul Ekotoksisitesi 20yıl	Kg 1,4-DB eq	2,4795E-05	2,48581E-05
Deniz Suyu Sucul Ekotoksisitesi 500yıl	Kg 1,4-DB eq	0,000806394	0,00080845
Deniz Suyu Sediman Ekotoksisitesi 100yıl	Kg 1,4-DB eq	0,000207954	0,000208485
Deniz Suyu Sediman Ekotoksisitesi 20yıl	Kg 1,4-DB eq	5,50872E-05	5,52276E-05
Deniz Suyu Sediman Ekotoksisitesi 500yıl	Kg 1,4-DB eq	0,000865872	0,000868086
Deniz Suyu Sediman Ekotoksisitesi (sonsuz)	Kg 1,4-DB eq	0,015435365	0,015476036
Ozon Tabakasının İncelmesi	Kg CFC-11 eq	2,19363E-10	2,21318E-10
Fotokimyasal Oksidasyon (MIR, çok yüksek NO _x)	Kg C ₂ H ₄ eq	1,10993E-09	1,11357E-09
Fotokimyasal Oksidasyon (EBIR, düşük NO _x)	Kg C ₂ H ₄ eq	1,95892E-09	1,96535E-09
Fotokimyasal Oksidasyon (düşük NO _x)	Kg C ₂ H ₄ eq	3,2477E-09	3,25849E-09
Fotokimyasal Oksidasyon	Kg C ₂ H ₄ eq	2,21727E-09	2,22457E-09

(MOIR, yüksek NO _x)			
Karasal Ekotoksisite (PAH, Ksilen, NMVOC ort.)	Kg 1,4-DB eq	1,08237E-05	1,08215E-05
Karasal Ekotoksisite 100yıl	Kg 1,4-DB eq	6,24198E-08	6,2407E-08
Karasal Ekotoksisite 20yıl	Kg 1,4-DB eq	1,25211E-08	1,25185E-08
Karasal Ekotoksisite 500yıl	Kg 1,4-DB eq	3,07684E-07	3,07621E-07

5.1. Abiyotik Kaynakların Tüketimi

Cansız kaynakların tüketimi sonucu, fosil yakıtlar, mineraller, elementler, kil, turf vb. cansız kaynakların tüketimini ifade eder. Sayısal hesaplama kilogram Antimon (Sb) eşdeğeri olarak yapılır. Değerlendirme yapılırken tükenmeye neden olan kaynağın çevresel etkisi göz önüne alınır. Cansız Kaynakların tüketimi farklı şekillerde değerlendirilebilir. Kaynakların kullanılması, dünyadaki faydalı rezervlerde azalma veya bu doğal kaynakların ekonomi için sahip olduğu rezervlerin azalması gibi yönüyle incelenir. CML 2001 etki analizinde de doğal kaynakların tükenmesi ve doğal kaynakların ekonomi için sahip olduğu rezervlerin tükenmesi ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu iki parametrenin sayısal sonuçlarını içeren Şekil 20 ve Şekil 21’de yer alan grafiklerden anlaşılacağı üzere doğal kaynakların tükenmesine etkisi olan en yüksek girdi elektrik kullanımıdır. Elektrik kullanımının hemen ardından akrilik reçine ve akrilik vernik gibi polimerik yapıya sahip ham maddelerin geldiği görülmektedir. Abiyotik kaynakların tükenmesine ait literatürdeki bazı çalışmaların sonuçları ve bu çalışmada elde edilen sonuçlar Tablo 13’te sıralanmıştır.

Tablo 13. Literatür Örnek Sonuçları-Abiyotik Kaynaklar

Proses/Sektör	Abiyotik Kaynakların Tükenmesi (element, ekonomik rezerv)	Abiyotik Kaynakların Tükenmesi (element, kaynak tabanı)
Baskılı Devre Kartı Üretimi (Özkan, 2017:35)	$1,72 \times 10^{-3} \text{ kg Sb/m}^2$	-
Pamuklu Ev Tekstil Ürünü Üretimi (Aydın, 2016:61)	$5,14 \times 10^{-5} \text{ kg Sb/kg}$	-
Pamuklu Ev Tekstil Boyama Prosesi (Aydın, 2016:65)	$1,58 \times 10^{-5} \text{ kg Sb/kg}$	-
Süt Üretimi (Tezcan, 2015:60)	$1,18 \times 10^{-2} \text{ kg Sb/lt}$	$1,38 \times 10^{-2} \text{ kg Sb/lt}$
Etiket Üretimi (Bilgiç, 2020:45)	$4,86 \times 10^{-7} \text{ kg Sb/m}^2$	$3,034 \times 10^{-7} \text{ kg Sb/m}^2$

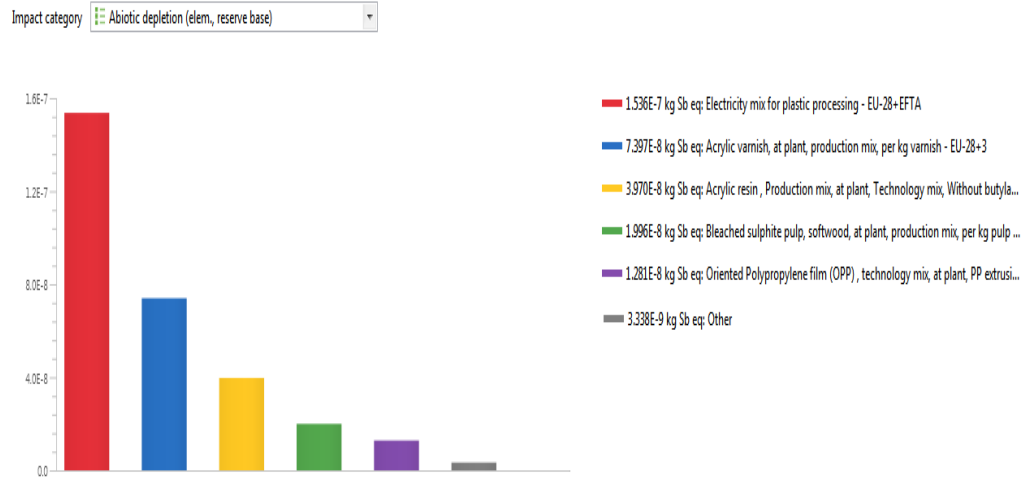
Tabloda yer alan çalışmaların genellikle CML 2001 baseline metodu ile hesaplanması sonucunda abiyotik kaynakların tükenmesi (element, kaynak tabanı) sonuçları bazı çalışmalarda görülememiştir ancak abiyotik kaynakların tükenmesi (element, ekonomik rezerv) sonuç değerleri tabloya eklenerek karşılaştırılmıştır.

Tablo 13'te yer alan sonuçlar incelendiğinde etiket üretim sektöründe 1 m² etiket üretimi sonucunda abiyotik kaynakların (element, ekonomik rezerv) tükenmesine olan etkisinin ($4,86 \times 10^{-7}$ kg Sb) ürün başına karşılaştırılan diğer sektörlerle göre oldukça az olduğu söylenebilir. Bu veriye en yakın sonuç $1,58 \times 10^{-5}$ kg Sb/kg değeri ile pamuklu ev tekstil boyama prosesine aittir. Abiyotik kaynakların tükenmesine etkisi en yüksek olan sektör ise $1,18 \times 10^{-2}$ kg Sb/lt ile süt üretim endüstrisidir. Bu sanayi sektörleri içerisinde etiket üretiminin hammadde kaynaklarının çevresel etkisinin daha az olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Abiyotik kaynakların (element, kaynak tabanı) tükenmesi olan etki kategorisinde ise hesaplama sonucu etiket üretimi sektöründe $3,034 \times 10^{-7}$ kg Sb/m² iken literatürden elde edilen süt üretim endüstrisinde $1,38 \times 10^{-2}$ kg Sb/lt'dir. Bu iki verinin kıyaslanmasıyla ürün başına çevresel etki değerinin yine etiket üretim sektöründe daha az olduğu görülmektedir. Değerlendirmeler ürün başına yapılmış olduğundan karşılaştırmalar birim bazlı (kg, lt, m²) değil ürün başına olan çevresel etki değerleri üzerinden yapılmıştır.

Tüm kimyasal kullanımlarına karşın doğal kaynaklar değerlendirildiğinde elektrik kullanımının doğal kaynakların hem kaynak rezervinin hem de ekonomik rezervinin tükenmesine etkisinin yüksek olması beklenen bir sonuçtur. Üretim sektöründe elektrik tüketiminin genel olarak yüksek oranlarda olduğu düşünülürse etiket üretim fabrikasında da kullanılan yüksek güçlü makineler yüksek tüketime sebebiyet vermektedir. Sanayinin gelişmesiyle birlikte düşük elektrik tüketimi sağlayan matbaa makineleri de gelişmektedir. Tesis genelinde kullanılan eski tip makinelerin neden olduğu yüksek elektrik tüketimi ve çevreye olan etkisi gelişen teknolojik makinelerin (dijital baskı makineleri gibi) tercih edilmesi ile birlikte azaltılabilir. Ayrıca bir başka yöntem olarak elektrik enerjisinin yenilenebilir kaynaklardan kaynaklanması durumunda üzere etki sonuçlarında azalma olması beklenmektedir.

Grafik sıralamasında ikinci sırada yer alan akrilik reçine (yapıştırıcı) kullanımı da yüksek oranda cansız kaynakların tüketimini etkilemektedir. Matbaa sektöründe

bağlayıcılık özelliğinin yüksek olması sebebiyle yapıştırıcı ürün olarak reçine kullanımı yaygındır. Kimyasal yapılı bu polimerik birleşiklerin çevreye yüksek oranda zararlı olduğu görülmektedir. Çok çeşitli reçine bulunmasına karşı matbaa sektöründe yapışkanlık özelliğinin yüksek olması sebebiyle akrilik reçine tercih edilmektedir. Ancak gelişen kimya sanayi ile birlikte çevre dostu bileşiklerin de gelişmeye başladığı bilinmektedir. Hem alkid hem akrilik reçine birleşiminde oluşan ve çok düşük oranda VOC oluşturan hibrit reçineler alternatif ürün olarak değerlendirilebilir.



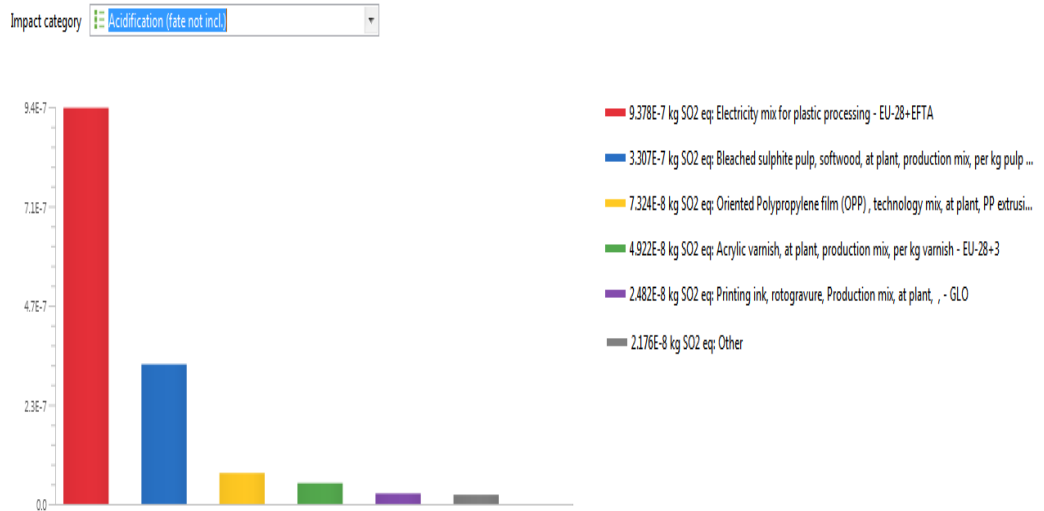
Şekil 21. Abiyotik Kaynakların Tüketimi (element, kaynak tabanı) Grafik Sonucu

5.2. Asidifikasyon

İkinci ana parametre olan asidifikasyon, pH'ın azalmasına ve potansiyel olarak toksik elementlerin artmasına neden olan asitlerin birikmesinden kaynaklanır. Asidifikasyon etkisinin hesaplamasında grafikten de görüldüğü gibi etkinin çoğunluğu elektrik tüketiminden kaynaklanmaktadır. Sanayinin her alanında üretim yapılabilmesi için yüksek elektrik kullanımları gerçekleşmektedir. Etiket sektöründe de üretimin devam edebilmesi için yüksek güçlü baskı ve işlem makineleri kullanılmaktadır. Asidifikasyonun genel olarak karasal ve sucul hayattaki asit dengesini bozduğu bilinmekle birlikte etiket üretimi işleminde elektrik üretim kaynağı olan fosil yakıtların tüketilmesinin etkisine bağlı olarak çevresel zarar olduğu görülmektedir. İşlem birimi asidifikasyonun başlıca kirleticilerinden olan kg

SO₂ eşdeğeri cinsinden hesaplanır. Atmosferde az miktarda bulunan kükürt dioksit gazı petrol rafinerilerinde ve elektrik santrallerinde kömürün veya diğer kaynakların yakılması sonucunda oluşur. Programda ölçülen elektrik kullanımı verisi şebeke elektriği ülkemizde de enerji eldesi 2018 yılında % 37,3'ü kömürden, % 29,8'i doğal gazdan, % 19,8'i hidrolik enerjiden, % 6,6'sı rüzgârdan, % 2,6'sı güneşten, % 2,5'i jeotermal enerjiden ve % 1,4'ü diğer kaynaklardan elde edilmiştir. Elektrik kullanımının çevresel etkisinin azaltılabilmesi için yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji elde edilmesi üzerindeki etkisi artmalıdır. Böyle bir etki tüm sanayi firmalarında oluşabilecek çevresel etki zararlarını azaltacaktır.

Elektrik kullanımının etkisinden sonra kağıt, PP film, vernik ve mürekkep gibi diğer hammadde girdileri Şekil 22'deki grafikte yer almaktadır. Her hammadde beşikten mezara kullanım ile değerlendirildiği için YDA sonuçlarında aslında bu hammaddelerin üretim prosesleri de değerlendirilmiş olmaktadır. Özellikle kağıt endüstrisinde yüksek dereceli yakma fırınları kullanılması ve elektrik tüketiminde olduğu gibi fosil yakıtların yakılması sebebiyle SO₂ emisyonu ile ikinci sırada olması beklenen bir sonuçtur. Ancak matbaa sektöründe kağıt tüketimin azaltılması mümkün olmayacağından kağıt endüstrisinde üretim prosesinde iyileştirmeler yapılarak bu çevresel etkinin düşürülmesi beklenebilir. Diğer girdiler için de durum aynı olmakla birlikte hammadde miktarları sebebiyle çevresel etkileri sayısal olarak farklılık göstermektedir.



Şekil 22. Asidifikasyon Sonuç Grafiği

Hesaplama sonuçları Tablo 14’de yer alan literatür örnekleri ile karşılaştırıldığında ürün başına oluşan asidifikasyon etkisinin diğer sektörlere göre $4,86 \times 10^{-7}$ kg SO₂/m² sonucu ile oldukça az olduğu görülmektedir. Özellikle doğal kaynakların daha fazla kullanıldığı tekstil üretim endüstrisi gibi sektörlerde bu değerlerin daha yüksek olduğu görülmektedir. Ürün başına değerlendirme yapıldığında etiket üretimi sektörünün asidifikasyon etkisine en yakın değer $1,18 \times 10^{-2}$ kg SO₂/lt ile süt üretim endüstrisindedir.

Tablo 14. Literatür Örnek Sonuçları-Asidifikasyon

Proses/Sektör	Asidifikasyon
Baskılı Devre Kartı Üretimi (Özkan, 2017:35)	$1,83 \times 10^{-1}$ kg SO ₂ /m ²
Pamuklu Ev Tekstil Ürünü Üretimi (Aydın, 2016:61)	0,1182235 kg SO ₂ /kg
Pamuklu Ev Tekstil Boyama Prosesi (Aydın, 2016:65)	0,0295 kg SO ₂ /kg
Süt Üretimi (Tezcan, 2015:60)	$1,18 \times 10^{-2}$ kg SO ₂ /lt
Etiket Üretimi (Bilgiç, 2020:45)	$4,86 \times 10^{-7}$ kg SO ₂ m ²

5.3. Ötrofikasyon

Toprağa veya suya besin parametrelerinin eklenmesinden kaynaklanır, bu da hızlı biyokütle artışı ile birlikte canlı formlarına zarar verir. Bu çalışmada ötrofikasyon sonucunun asidifikasyon parametresi ile benzer dağılım gösterdiği görülmektedir. Yine fosil kaynakların tüketimi ve doğaya (deniz, göl vb. sucul yaşama) salındığı düşünülürse en yüksek etkinin elektrik tüketiminden gelmesi sonucu olağan olarak beklenmektedir. Kirliliğe neden olan temel kaynaklar besin maddeleri olduğu için birimi kg PO₄ olarak hesaplanır.



Şekil 23. Ötrofikasyon Sonuç Grafiği

Etiket üretiminde 1 m² ürün için 2,47x10⁻⁶ kg PO₄ eşdeğeri olarak hesaplanan toplam ötrofikasyon değerinin Tablo 15’te yer alan literatür örnekleri ile karşılaştırıldığında sanayi sektörleri arasında çevresel etkisinin diğer sektörlerle kıyasla az olduğu söylenebilir. En yüksek çevresel etkinin kg ürün başına 0,088 kg PO₄ değeri ile yüksek miktarda su kullanımı ve atık su oluşumuna sahip pamuklu ev tekstil boyama prosesine ait olduğu görülmüştür. Etiket üretiminde su kullanımının az olmasına bağlı olarak oluşacak atık su miktarının da az olması, oluşan ötrofikasyon etkisinin de az olmasına neden olmaktadır.

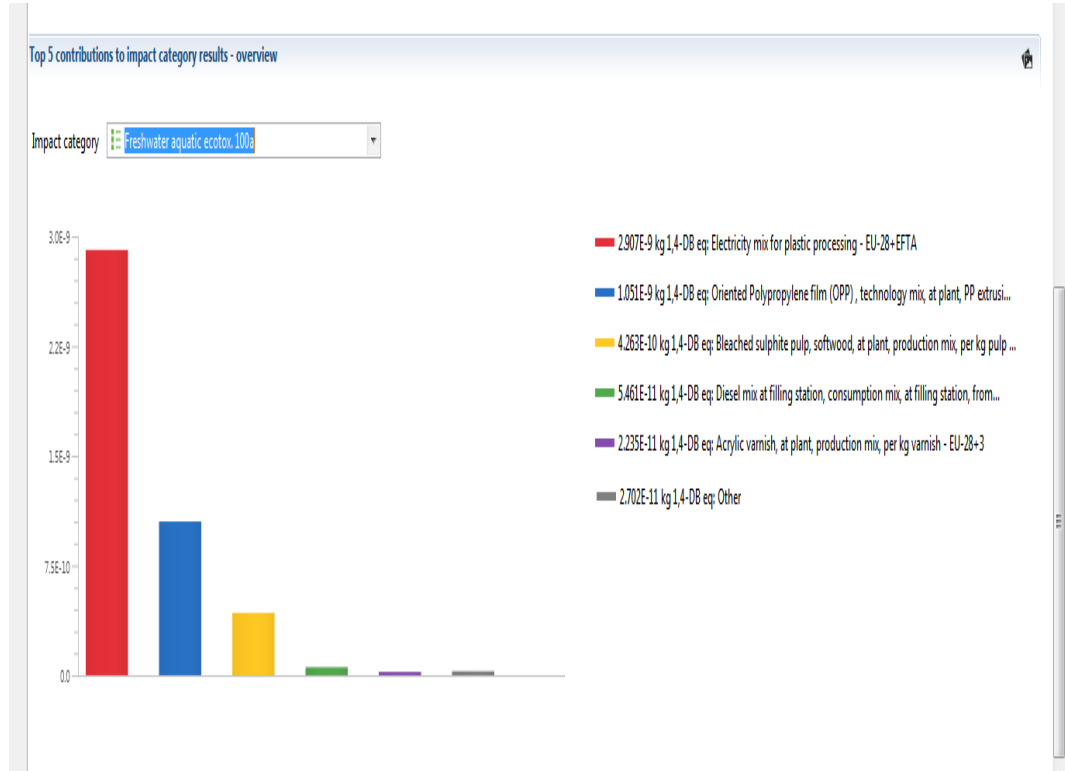
Tablo 15. Literatür Örnek Sonuçları- Ötrofikasyon

Proses/Sektör	Ötrofikasyon
Baskılı Devre Kartı Üretimi (Özkan, 2017:35)	2,77x10 ⁻¹ kg PO ₄ /m ²
Pamuklu Ev Tekstil Ürünü Üretimi (Aydın, 2016:61)	0,0669456 kg PO ₄ /kg
Pamuklu Ev Tekstil Boyama Prosesi (Aydın, 2016:65)	0,088 kg PO ₄ /kg
Süt Üretimi (Tezcan, 2015:60)	5,93x10 ⁻³ kg PO ₄ /lt
Etiket Üretimi (Bilgiç, 2020:45)	2,47x10 ⁻⁶ kg PO ₄ /m ²

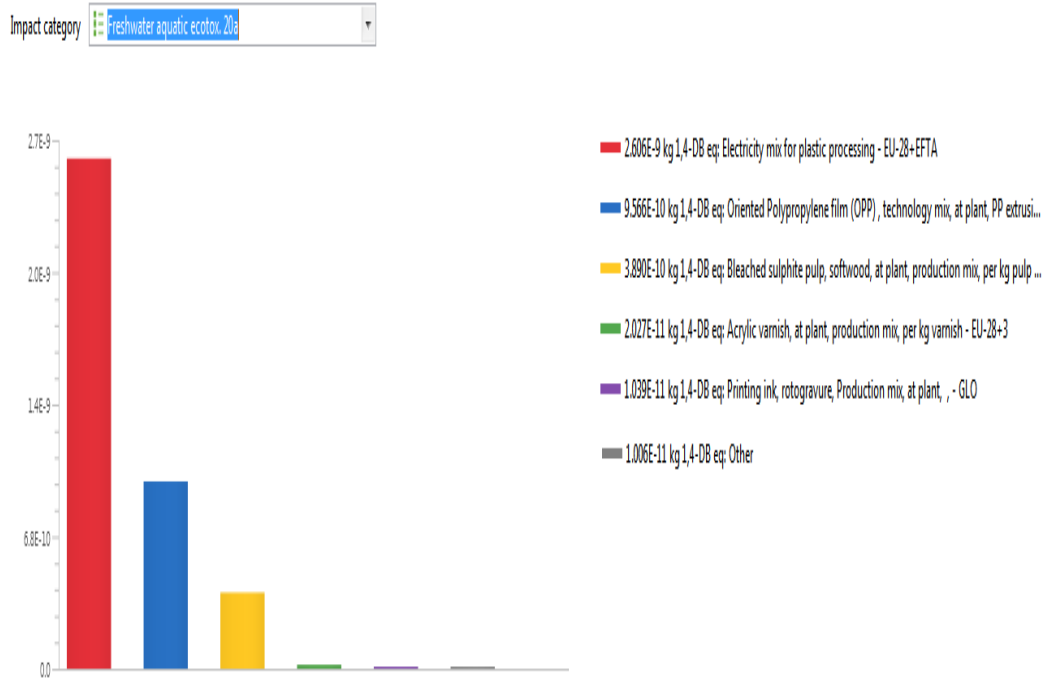
5.4. Tatlısu Sucul Ekotoksitesitesi

20yıl, 100yıl ve 500yıl birimleri etki kategorisinin hesaplama zamanını içermektedir. Örneğin 20yıl, 20 yıllık çevresel etkisini içerirken 500yıl 500 yıllık çevresel etki değerini içermektedir.

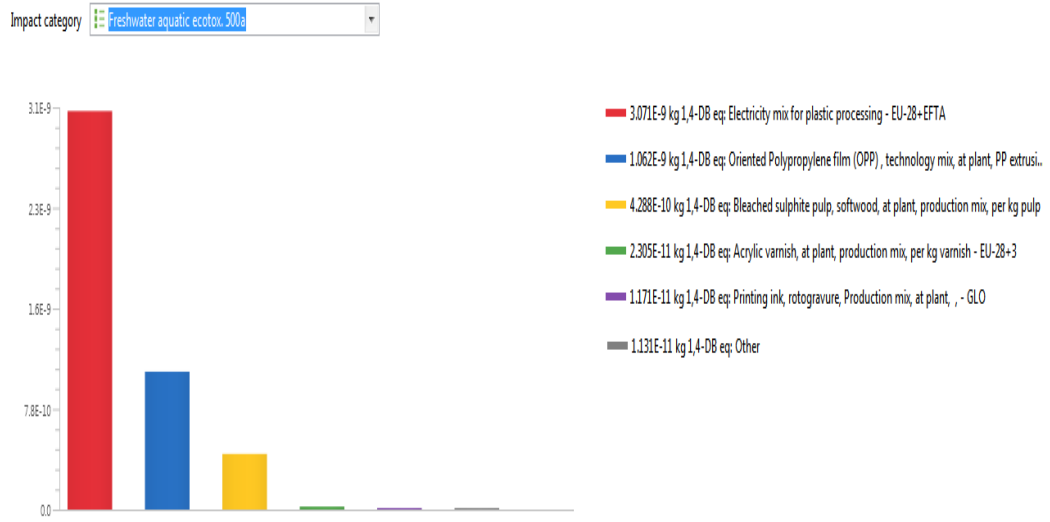
Ekotoksitesite genel olarak bir bileşiğin veya kimyasalın organizma üzerindeki etkisi olarak değerlendirilebilir, biyo testler ile değerlendirilebilir. 3 farklı yöntemde de en yüksek sonucun elektrik kullanımına bağlı olduğu görülmektedir. Şebeke elektriğinin başlıca kaynağı olan fosil yakıtların kullanımına bağlı elektrik tüketimi başlangıcından son evresine kadar olan süreçte sucul yaşamı olumsuz etkilediği görülmektedir. Elektrik kullanımından kaynaklı baryum, vanadyum gibi kirleticiler bu etki kategorisine katkıda bulunurlar. Şekil 24'teki grafik sütununda hemen arkasından plastik film kullanımının geldiği görülmektedir. En hassas hesaplama yönetiminin tatlı su ekotoksitesitesi 500yıl olduğu, daha uzun zaman diliminde olan etki değerlendirildiği için en yüksek sonucun bu parametrede ortaya çıktığı görülmektedir. Karakterizasyon faktörlerini ifade etmek için kg emisyon başına 1,4-Diklorobenzen (DB)-eşdeğer ölçüsü kullanılır. Zamanı sonsuzdur. Fosil yakıtların kullanımının azaltılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının tercih edilmesi ile birlikte tüm çevresel etkilerde zararlı etkiler azalacaktır. Tatlı su sucul ekosistemine ait son hesaplama parametresinin PAH, Ksilen, NMVOC ortalaması dahil edilerek hesaplandığı görülmektedir. Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar, Ksilen, Metan Haricindeki Uçucu Organik Bileşikler (NMVOC) gibi kirleticilerin havaya emisyon bıraktığı gözlemlenmekte ve bu emisyonun değerinin başlıca sebebi olarak da etiket üretiminde kullanılan elektrik tüketimine bağlı fosil yakıtların yakılması düşünülmektedir. Diğer işlemlerin etkisi bu kirletici üzerinde oldukça azdır. Birimi yine kg emisyon başına 1,4-Diklorobenzen (DB)-eşdeğer ölçüsü kullanılır. Şekil 24'te grafik verileri sunulmuştur.



Şekil 24. Tatlı Su Sucul Ekotoksitesi 100yıl Sonuç Grafiği



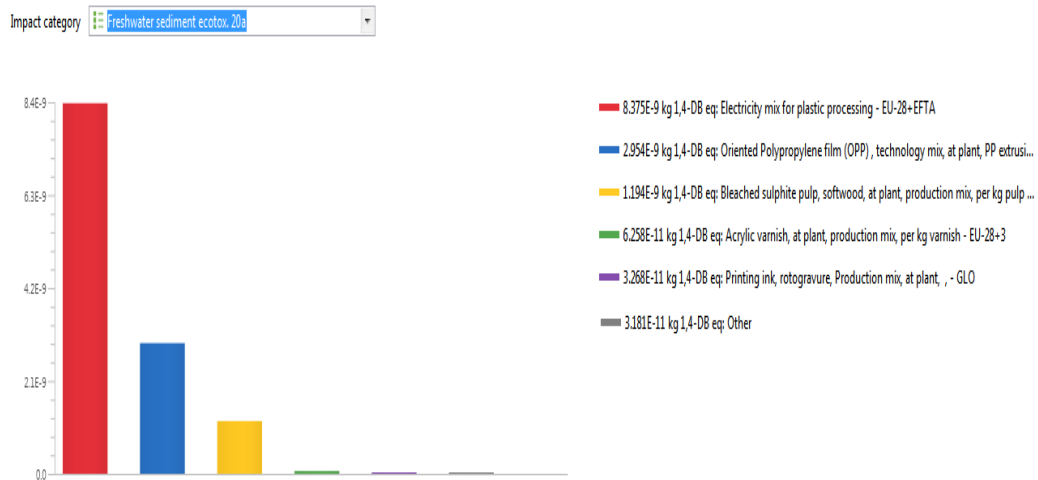
Şekil 24. Tatlı Su Sucul Ekotoksitesi 20yıl Sonuç Grafiği



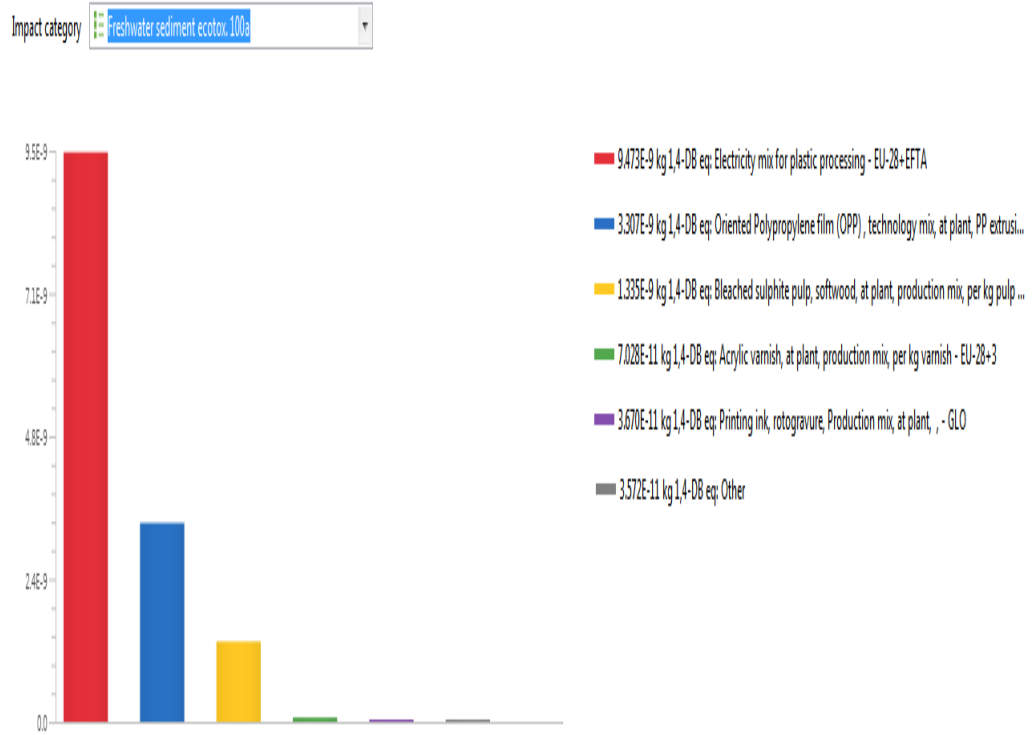
Şekil 25. Tatlı Su Sucul Ekotoksitesitesi 500yıl Sonuç Grafiği

5.5. Tatlı Su Sediman Ekotoksitesitesi

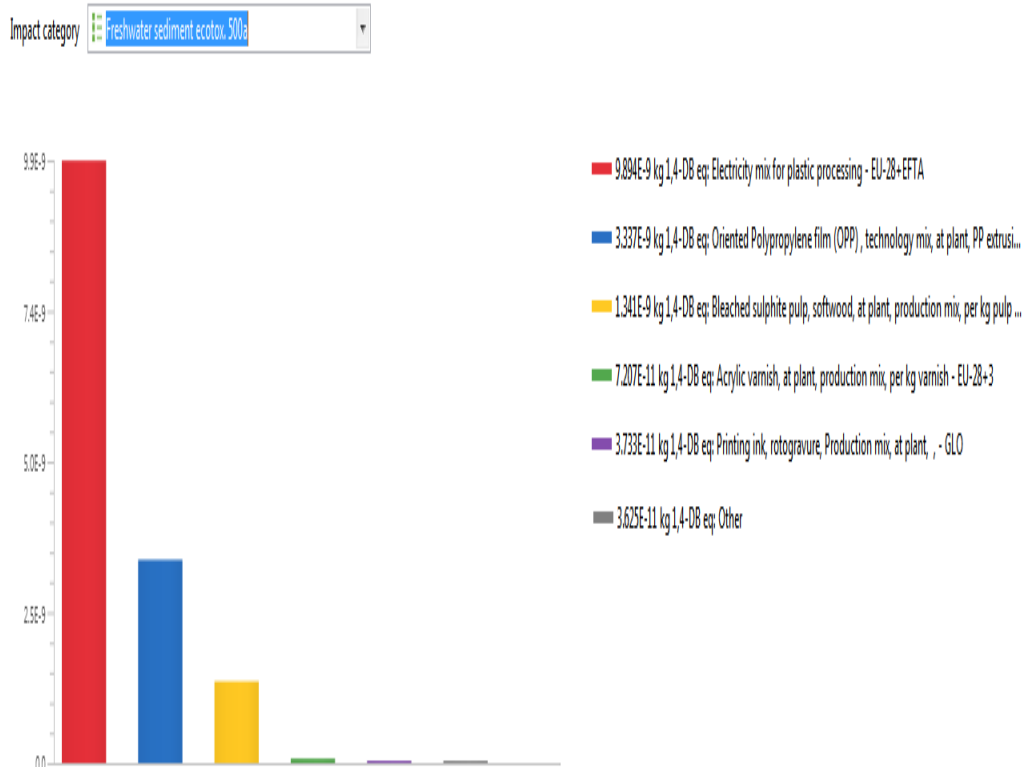
Hesaplama sonuçlarının sucul ekotoksitesiteye benzediği ve yine en hassas hesaplama yönteminin sonsuz metodunda olduğu sonuçlarda görülmektedir. Yine en yüksek çevresel etkiye sahip olan parametrenin elektrik tüketimine bağlı olduğu ortaya çıkmaktadır. Birimi kg emisyon başına 1,4-Diklorobenzen (DB)-eşdeğer ölçüsü kullanılır. Zamanı sonsuzdur. Sediman üzerinde ekotoksitesiteye sebebiyet verecek ana kaynağın fosil yakıtlardan kaynaklı vanadyum, baryum gibi elementlerdir. Temiz enerji kullanımı ile önlenebilecek veya etkisi azaltılabilecek bir etki kategorisidir.



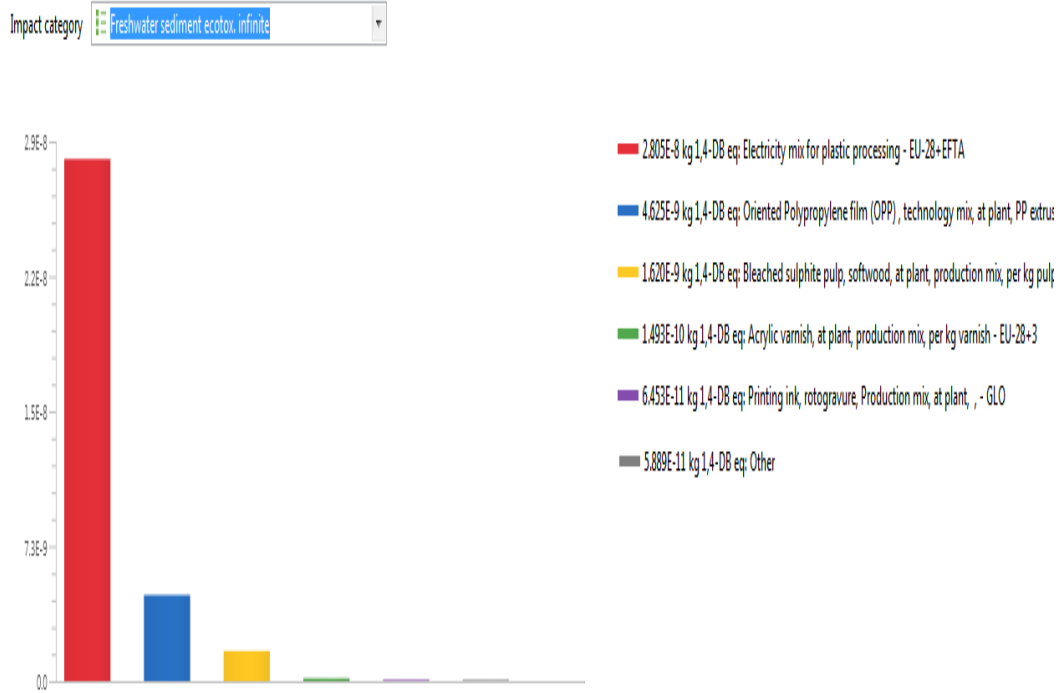
Şekil 26. Tatlısu Sediman Ekotoksitesitesi 20yıl Sonuç Grafiği



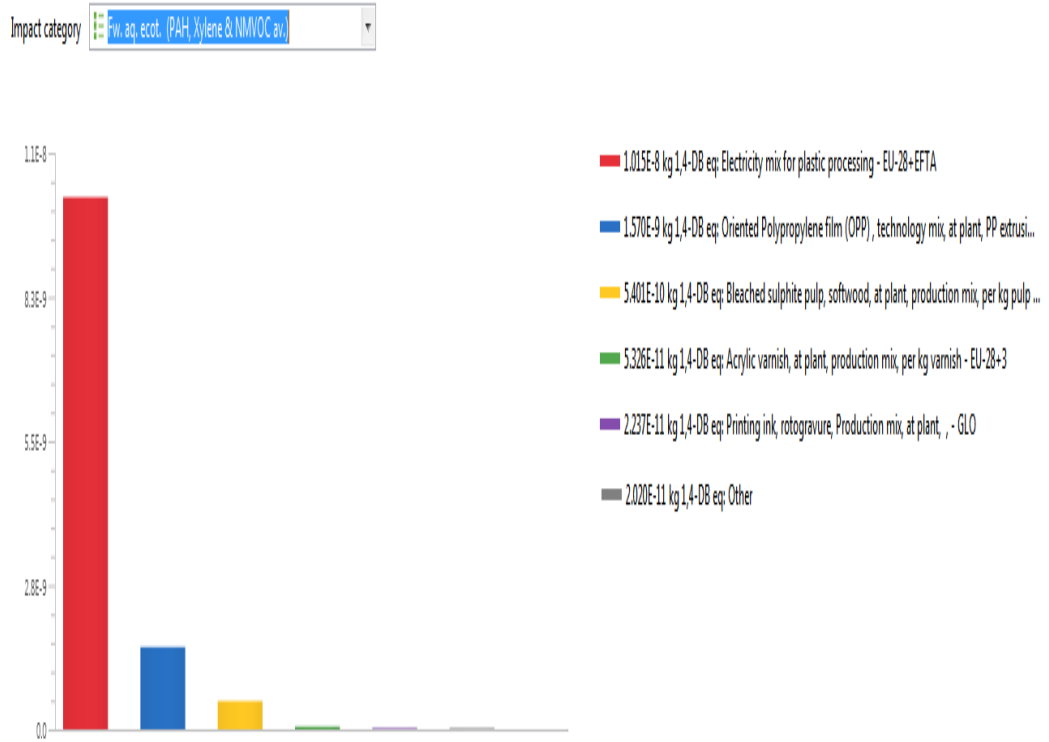
Şekil 27. Tatlısu Sediman Ekotoksitesitesi 100yıl Sonuç Grafiği



Şekil 28. Tatlı Su Sediman Ekotoksitesitesi 500yıl Sonuç Grafiği



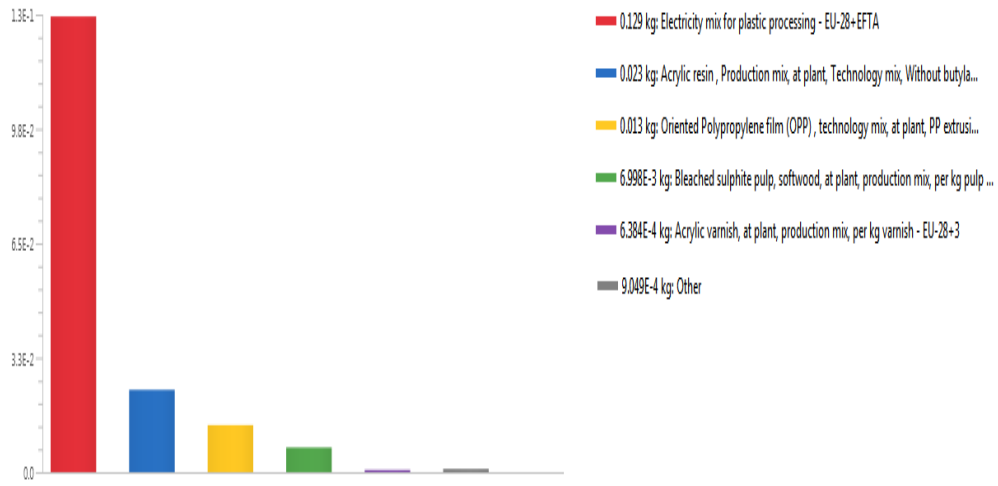
Şekil 29. Tatlı Su Sucul Ekotoksitesitesi Sonsuz Sonuç Grafiği



Şekil 30. Tatlı Su Sucul Ekotoksitesitesi (PAH, Xylene, NMVOC ort.) Sonuç Grafiği

5.6. Küresel Isınma

Küresel ısınmaya olan çevresel etki hesaplamasında daha önceki analiz sonuçları da değerlendirildiğinde en yüksek beklenen sonuç elektrik kullanımına bağlı parametreler olması beklenmektedir. Bu hesaplamada sera gazları etkisi değerlendirildiği düşünülürse tüm hammadde üretiminin etkisinin olması sonucu beklenebilir. Sıralamada önceliğin elektrik tüketiminde olması çevresel etkinin azaltılması için alınacak önlem yine elektrik kaynağı olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasına eğilmektedir. Hesaplama sonucu kg CO₂ eşdeğeridir.



Şekil 31. Küresel Isınma Sonuç Grafiği

$1,63 \times 10^{-8}$ kg CO₂/m² olarak hesaplanan küresel ısınma potansiyel etki değeri Tablo 16’te yer alan literatür örnekleri ile karşılaştırıldığında bu sonuçlara yakın bulunamamıştır. Bu fark etiket sanayi sektöründe sera gazı oluşturacak proseslerin ve kimyasal kullanımının az olması sebebiyle açıklanabilir. Üretim boyunca herhangi bir yakma prosesi ya da emisyon oluşturacak proses kullanılmamaktadır. Ancak baskılı devre kartı üretiminde 1 m² ürün başına 25,8 kg CO₂ küresel ısınma potansiyeli sonucu, yüksek miktarda kimyasal hammadde girdisi olarak kullanılan asit tüketiminden kaynaklanmaktadır.

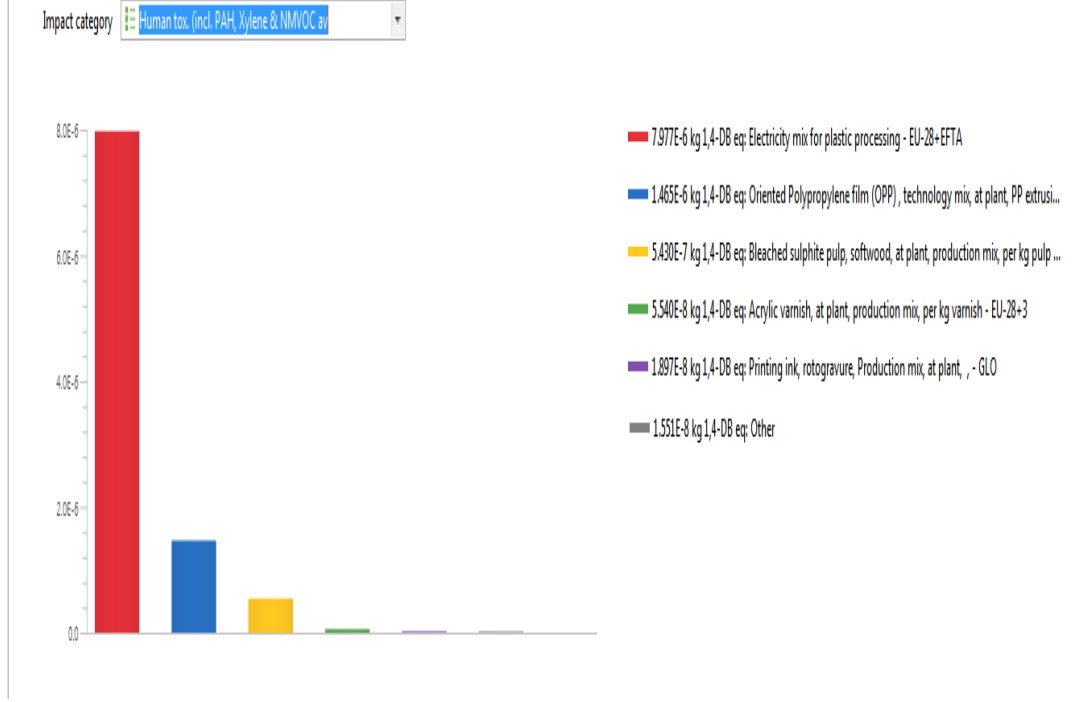
Tablo 16. Literatür Örnek Sonuçları-Küresel Isınma Potansiyeli

Proses/Sektör	Küresel Isınma Potansiyeli
Baskılı Devre Kartı Üretimi (Özkan, 2017:35)	25,8 kg CO ₂ /m ²
Pamuklu Ev Tekstil Ürünü Üretimi (Aydın, 2016:61)	24,01 kg CO ₂ /kg
Pamuklu Ev Tekstil Boyama Prosesi (Aydın, 2016:65)	4,35 kg CO ₂ /kg
Süt Üretimi (Tezcan, 2015:60)	2,16 kg CO ₂ /lt
Etiket Üretimi (Bilgiç, 2020:45)	1,63x10 ⁻⁸ kg CO ₂ / m ²

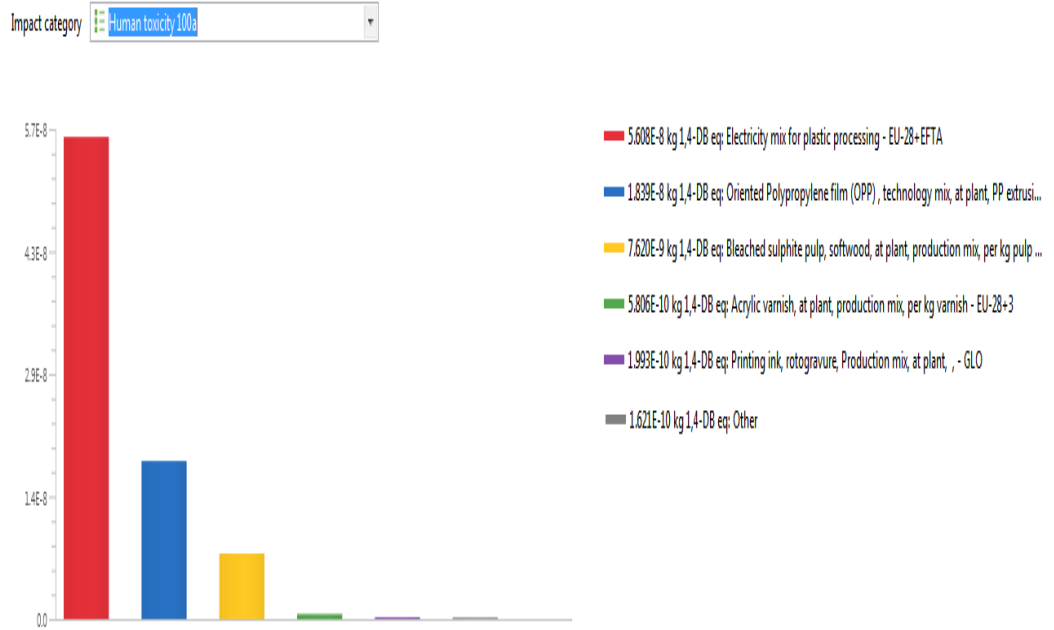
5.7. İnsan Sağlığı

Hesaplanan sonuç parametresinde toksik maddelerin insan çevresine olan etkilerini değerlendirmiştir. Sonsuz bir zaman diliminde toksik maddelerin maruziyetini hesaplanmaktadır. Her toksik maddenin hesaplanması için kg 1,4-diklorobenzen (DB) eşdeğeri birimi kullanılmaktadır. Çalışmada elde edilen sonuç incelendiğinde parametrenin birkaç farklı metot ile değerlendirildiği ve en yüksek sonucun insan sağlığına zararlı maddeler arasında gösterilebilecek PAH, Ksilen ve metan olmayan uçucu organik bileşiklerin dahil edildiği hesaplama yönteminde olduğu görülmüştür. Hesaplama en yüksek kirletici etkiye sahip olan yine şebeke elektriğinde önemli yer tutan fosil yakıtlardan elde edilen elektrik tüketimi olmasına karşın çok düşük miktarda girdi değerine sahip ve ana hammadde kaynaklarından olan polipropilen film, grafik sıralamasında 2. sırada yer almaktadır. Bu kategoride diğer hammadde girdilerinin de varlığı etkindir. Temiz enerji kaynağı kullanımına ek olarak bu sanayi sektöründe de emisyon azaltımına yönelik önlemler alınmalıdır. Atmosfere, toprağa ve suya salınan, insan sağlığına etki edecek kirletici yükleri azaltılmalıdır. Bu sonuçta toksik madde olarak emisyon kaynağı olan CO₂, NO_x, SO_x yanında toprak ve suya etkisi olan kirletici parametre olarak alüminyum, arsenik, kadmiyum gibi ağır metaller görülmektedir. Literatürde insan sağlığı etki kategorisi sonuçlarına süt üretim endüstrisinde 1 lt ürün başına 7,75x10⁻² kg 1,4-DB eşdeğerinde rastlanmıştır (Tezcan, 2015:60). Bu sektör ile karşılaştırıldığında etiket üretiminde oluşan 8,30x10⁻⁸ kg 1,4-DB etki değeri oldukça düşük görülmüştür. Süt üretiminde yoğun

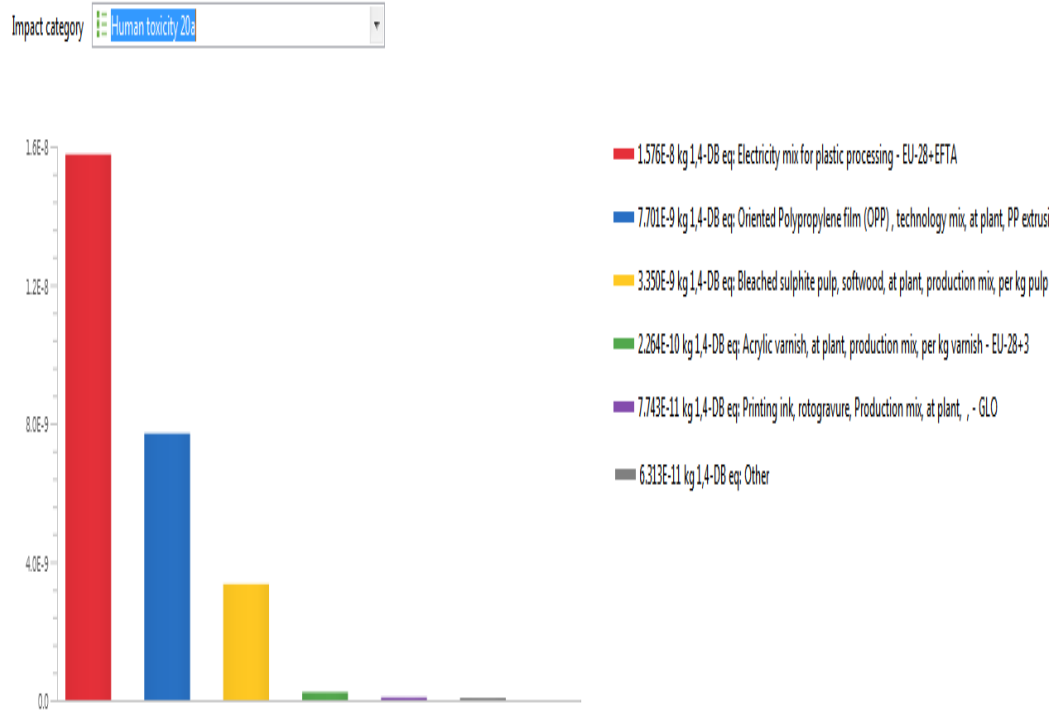
su kaynağı kullanımı, karbon emisyon oluşumu ve yüksek miktardaki asıl hammadde girdisi olan hayvan yetiştiriciliğinde yem olarak kullanılan silajlık tahıl üretimi bu etki kategorisinin çevresel zararının yüksek olmasına sebebiyet vermektedir.



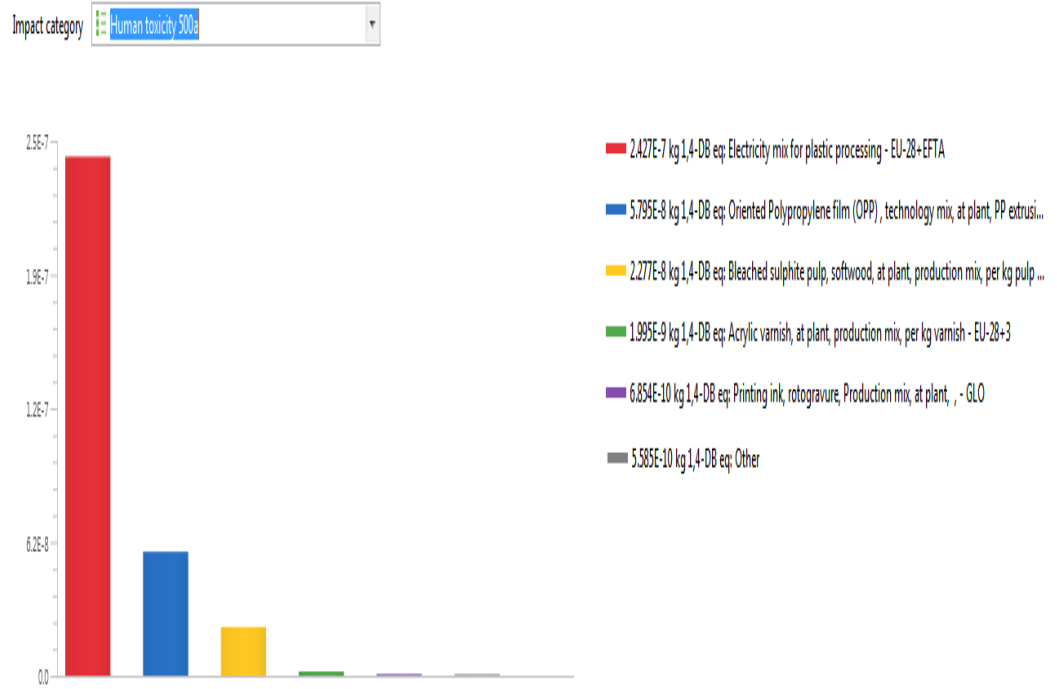
Şekil 32. İnsan Sağlığı (PAH, Ksilen, NMVOC ort.) Sonuç Grafiği



Şekil 33. İnsan Sağlığı 100yıl Sonuç Grafiği



Şekil 34. İnsan Sağlığı 20yıl Sonuç Grafiği



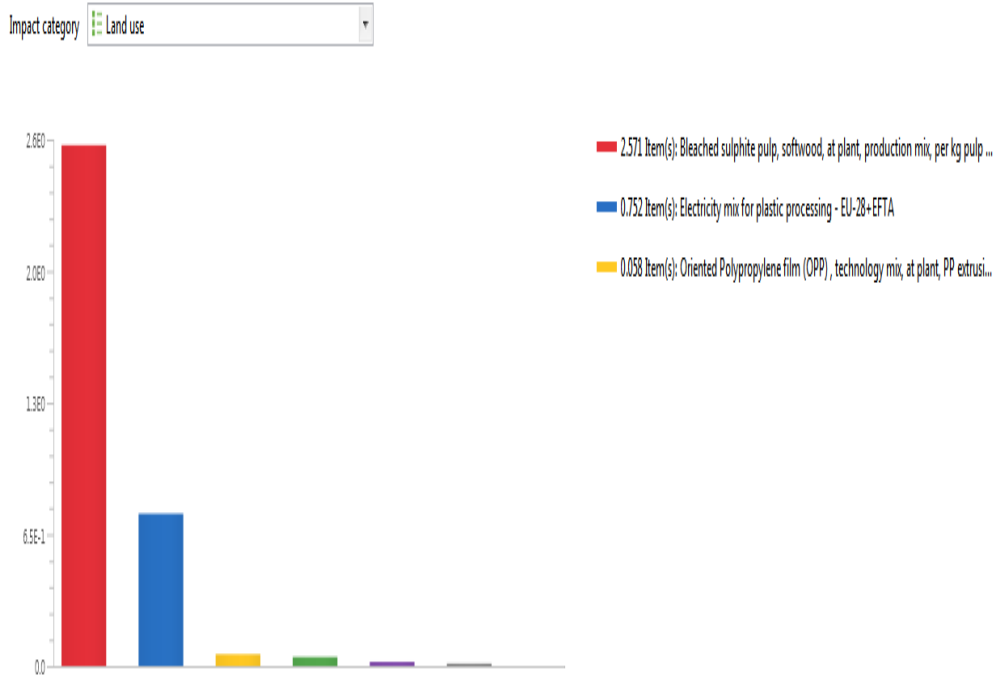
Şekil 35. İnsan Sağlığı 500yıl Sonuç Grafiği

5.8. İyonize Radyasyon

Radyasyon etkisi atom veya moleküllerden elektron kopararak iyon haline dönüşebilmesi için gereken radyasyon olarak tanımlanmaktadır. Çalışmanın giriş verileri incelendiğinde radyasyon etkisi meydana getirecek bir parametre bulunmaması sebebiyle sonucun 0 çıkması beklenen bir durumdur.

5.9. Arazi Rekabeti

Girdi verisi olarak girilen işletme alanı büyüklüğü arazi rekabetine direkt etki eden parametredir. Birimi m² olarak hesaplanmıştır. Hesaplama aşamasında artan arazi kullanımına bağlı olarak biyolojik çeşitliliğin azalması gibi çevreye olan olumsuz etkileri değerlendirilmiştir. En çok arazi kullanımının kağıt endüstrisinde olması çıkan grafik sonuçlarından okunmaktadır. Kağıt endüstrisi için hammadde kaynağının da araç olduğu düşünülürse çevresel etkinin bu kategoride en yüksek olması sonucu beklenmektedir. Etiket üretiminin bu çevresel etkisinin azaltılabilmesi için taşıma kağıdı olarak alternatif hammaddeler geliştirilmesi gerekmektedir ancak mevcut üretim proseslerinde böyle bir yenilik görülememiştir.



Şekil 36. Arazi Rekabeti Sonuç Grafiği

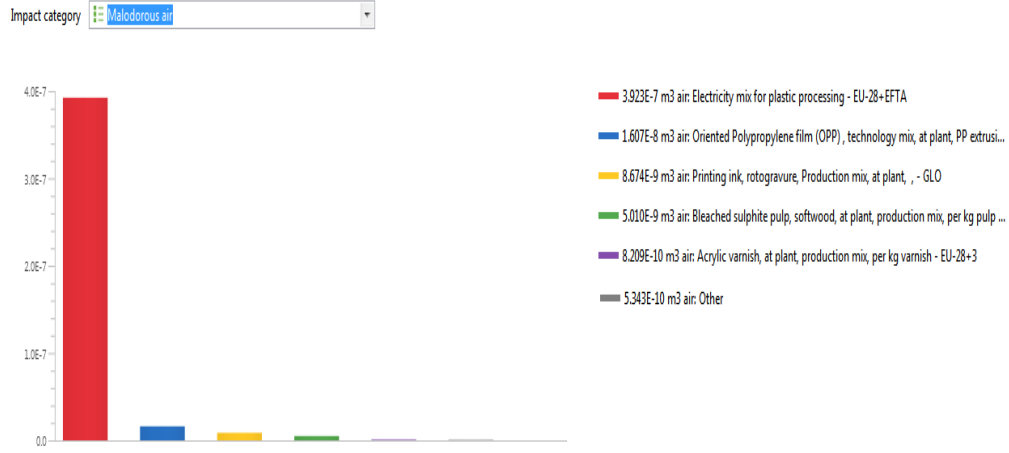
0,0443832 m² olarak hesaplanan arazi rekabeti kategorisi Tablo 17’de yer alan literatürdeki bazı sonuçlar ile değerlendirildiğinde yüksek alan ihtiyacı ve tahribatı oluşan süt üretim sektörüne göre oldukça az ancak plastik manşon üretimine kıyasla fazla olduğu görülmüştür. Bu kıyaslamada, referans alınan fabrika kullanım alanının da etkili olduğu söylenebilir. Etiket üretim sanayinin arazi rekabeti, temel hammaddesinin kağıt olmasından dolayı ürün başına 0,0443832 m²yıl değeri ile plastik manşon üretim sanayinin arazi rekabeti olan, ürün başına 0,000734 m²yıl değerinden fazladır. Yine etiket üretim sanayinin arazi rekabeti, süt üretim sanayinin arazi rekabetinden, süt üretim sektöründeki hayvan yetiştiriciliğinden kaynaklanan yüksek miktarda arazi kullanımı sebebiyle oldukça azdır.

Tablo 17. Literatür Örnek Sonuçları-Arazi Rekabeti

Proses/Sektör	Arazi Rekabeti
Plastik Manşon Üretimi (Üstün, 2013:61)	0,000734 m ² yıl/g
Süt Üretimi (Tezcan, 2015:60)	2,14 m ² yıl/lt
Etiket Üretimi (Bilgiç, 2020:45)	0,0443832 m ² yıl/ m ²

5.10. Koku

Kötü kokulu hava oluşumu değerlendirilirken atmosfere salınan koku potansiyeline sahip gazların etkisi hesaplanmaktadır. Birimi m³ hava olarak verilmektedir. Etiket üretim işleminde en yüksek etkiye sahip girdinin elektrik kullanımı, sonraki etki miktarlarının PP film gibi inorganik polimerlerden kaynaklandığı görülmektedir. Organik polimerlerde asitler, fosil kaynaklarda ise SO₂, CO₂, CO₂ gibi emisyon kaynakları etkilidir. Bu etki elektrostatik filtre kullanılarak emisyon kaynaklarının kontrolü sağlanarak azaltılabileceği gibi asıl çözüm bu gazların oluşmasını önlemektir. Hesaplama sonucunun birimi m³ hava’dır.

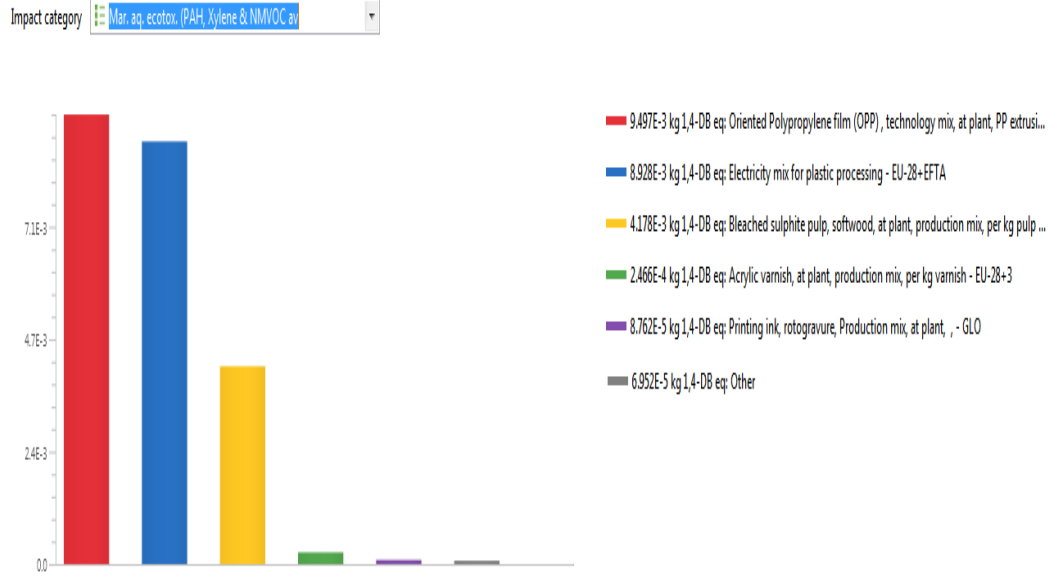


Şekil 37. Kötü Kokulu Hava Sonuç Grafiği

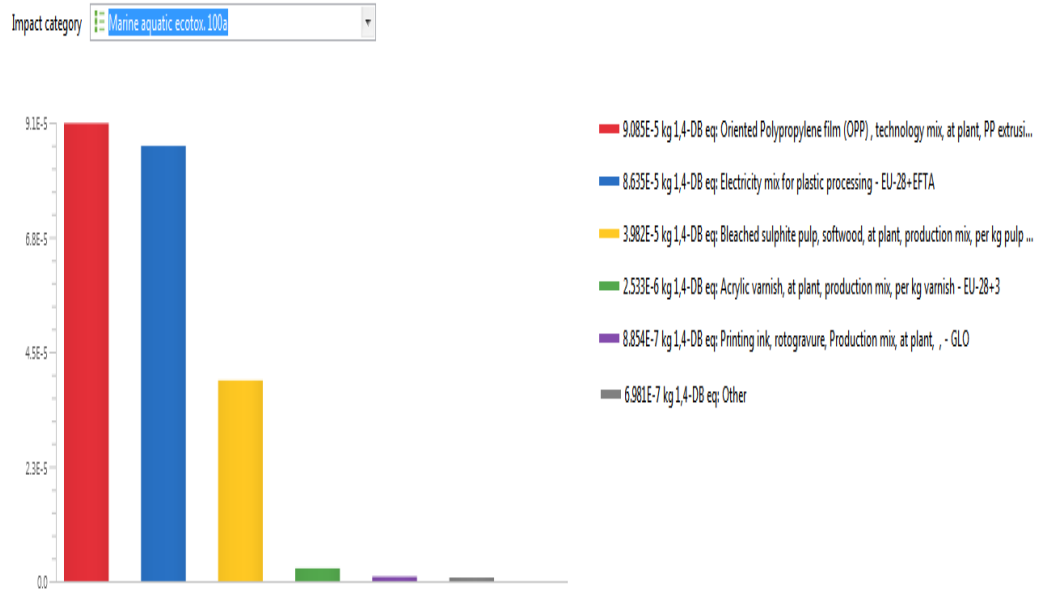
5.11. Deniz Suyu Ekotoksitesitesi

100yıl, 20yıl ve 500yıl ve PAH, Ksilen, NMVOC ortalaması dahil edilerek IPCC'nin yayınlamış olduğu farklı hesaplama yöntemleri ile hesaplanmıştır. En yüksek sonucun PP film tüketimine bağlı olduğu görülmektedir. PP film kullanımının hemen ardından elektrik kullanımının geldiği görülmektedir. En hassas hesaplama yönetiminin deniz suyu ekotoksitesitesi 500yıl olduğu, en yüksek sonucun PAH, Ksilen, NMVOC ortalamasının dahil edildiği kategoride ortaya çıktığı görülmektedir. Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar, Ksilen, Metan Haricindeki Uçucu Organik Bileşikler (NMVOC) gibi kirleticilerin havaya emisyon bıraktığı ve etiket üretimi tüm süreçleri ile değerlendirildiğinde de meydana gelmesi olağan olarak beklenmektedir. PP film üretim sürecinde plastik üretim prosesi gerçekleştiğinde bu aşamada PAH kullanımı mümkündür. Polivinil klorid gibi PAH çeşitleri plastiklerin yapımında kullanılmaktadır. Aynı zamanda birim ürün başına tüketilen su miktarı da oldukça yüksektir. En yüksek etki bu üretimden gelirken yine fosil yakıtların tamamlanmamış yanma ürünü olarak PAH oluşmaktadır. Bu kategorinin etkisini azaltmak için PP film yerine alternatif ürün değerlendirmesi yapılmalıdır. Bu aşamada biyopolimer ürünler alternatif olarak değerlendirilmelidir. Daha pahalı olmasına karşın hem üretim hem de atık olma sürecinde çevreye zararlı etkisi çok daha az olacaktır. Birim olarak kg emisyon başına 1,4-Diklorobenzen

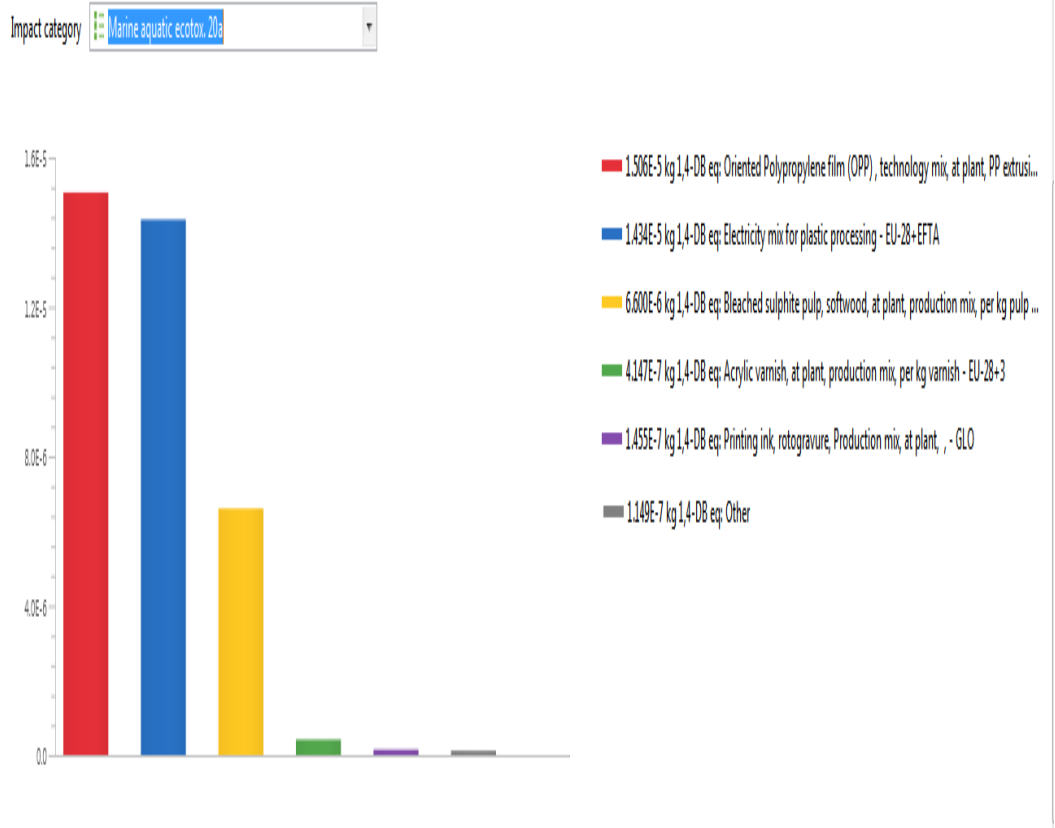
(DB)-eşdeğer ölçüsü kullanılır. Zamanı sonsuzdur. Diğer işlemlerin etkisi bu kirletici üzerinde yok denecek kadar azdır.



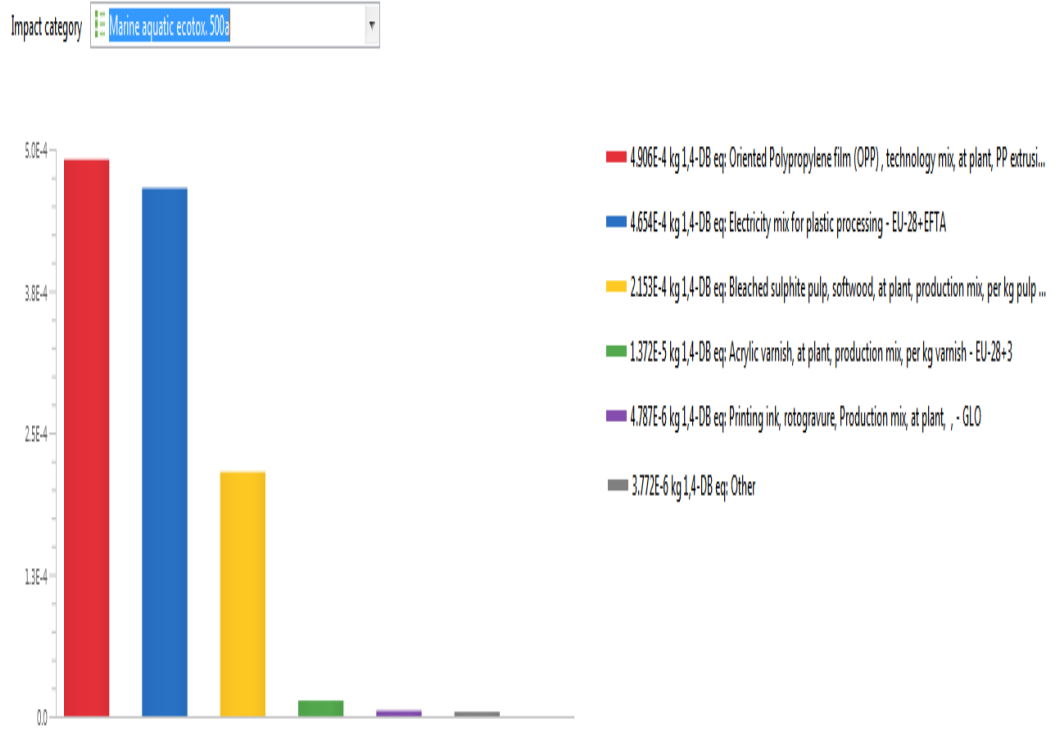
Şekil 38. Deniz Suyu Sucul Ekotoksitesitesi (PAH, Ksilen, NMVOC ort.) Sonuç Grafiği



Şekil 39. Deniz Suyu Sucul Ekotoksitesitesi 100yıl Sonuç Grafiği



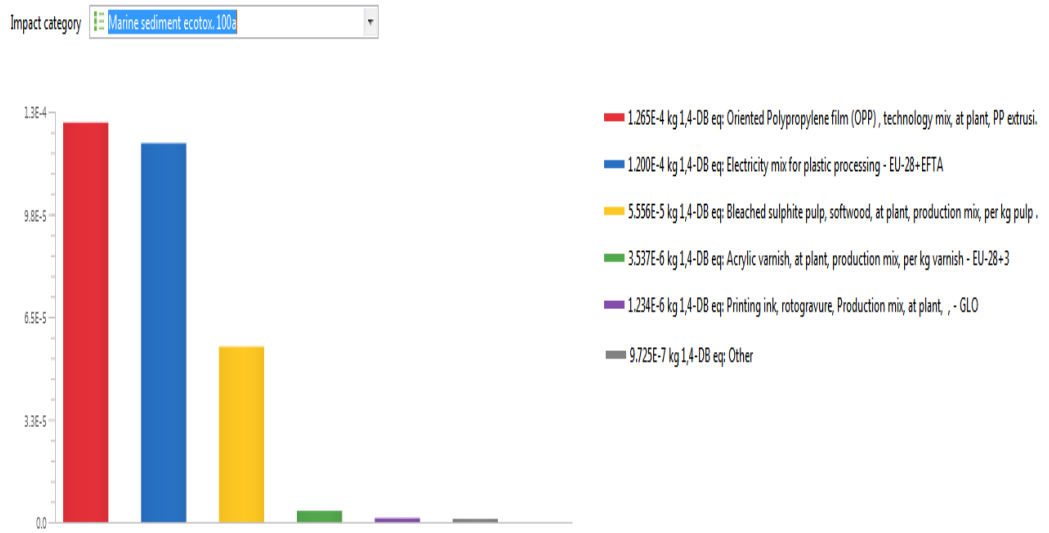
Şekil 40. Deniz Suyu Sucul Ekotoksitesitesi 20yıl Sonuç Grafiği



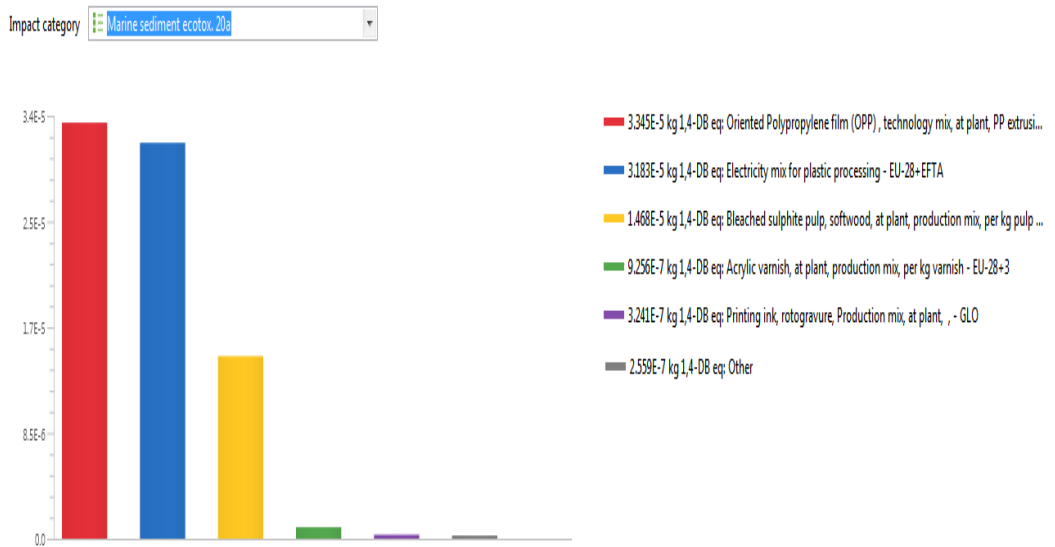
Şekil 41. Deniz Suyu Sucul Ekotoksitesitesi 500yıl Sonuç Grafiği

5.12. Deniz Suyu Sediman Ekotoksitesitesi

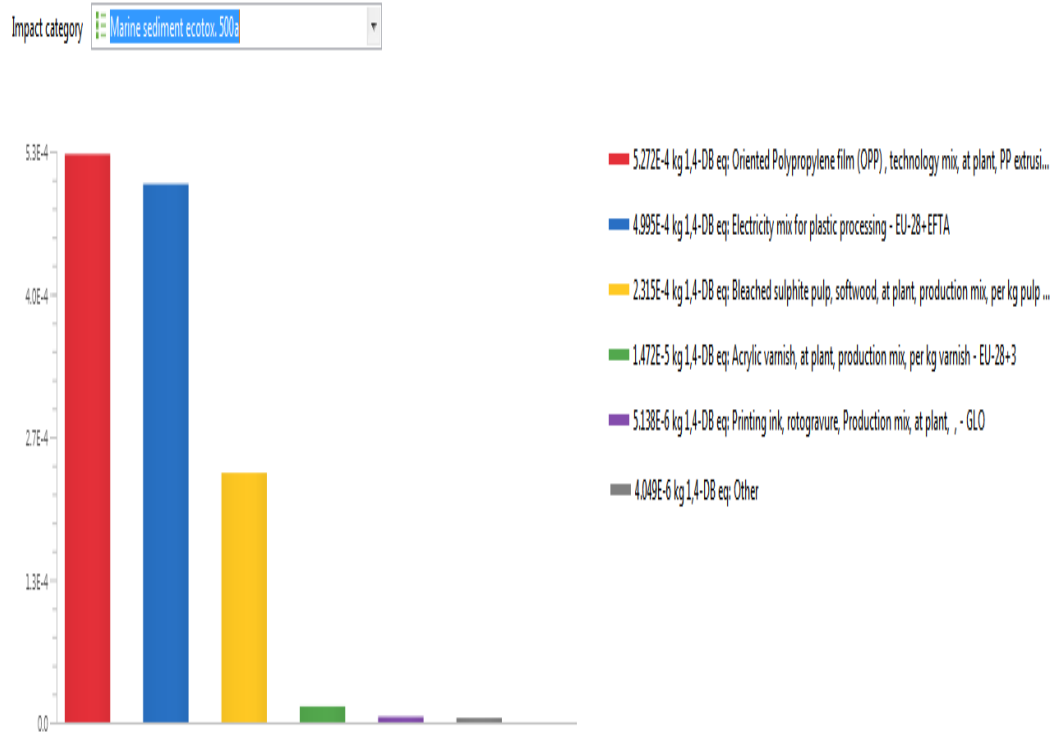
Hesaplama sonuçlarının sucul ekotoksisiteye benzediği ve yine en hassas hesaplama yönteminin sonsuz metodunda olduğu sonuçlarda görülmektedir. Yine en yüksek çevresel etkiye sahip olan parametrenin zararlı kimyasalların yoğunlukla kullanıldığı PP film tüketimi ve fosil yakıtların kullanımı ile bağlantılı olan elektrik tüketimine bağlı olduğu ortaya çıkmaktadır. Birimi kg emisyon başına 1,4-Diklorobenzen (DB) eşdeğer ölçüsü kullanılır. Zamanı sonsuzdur.



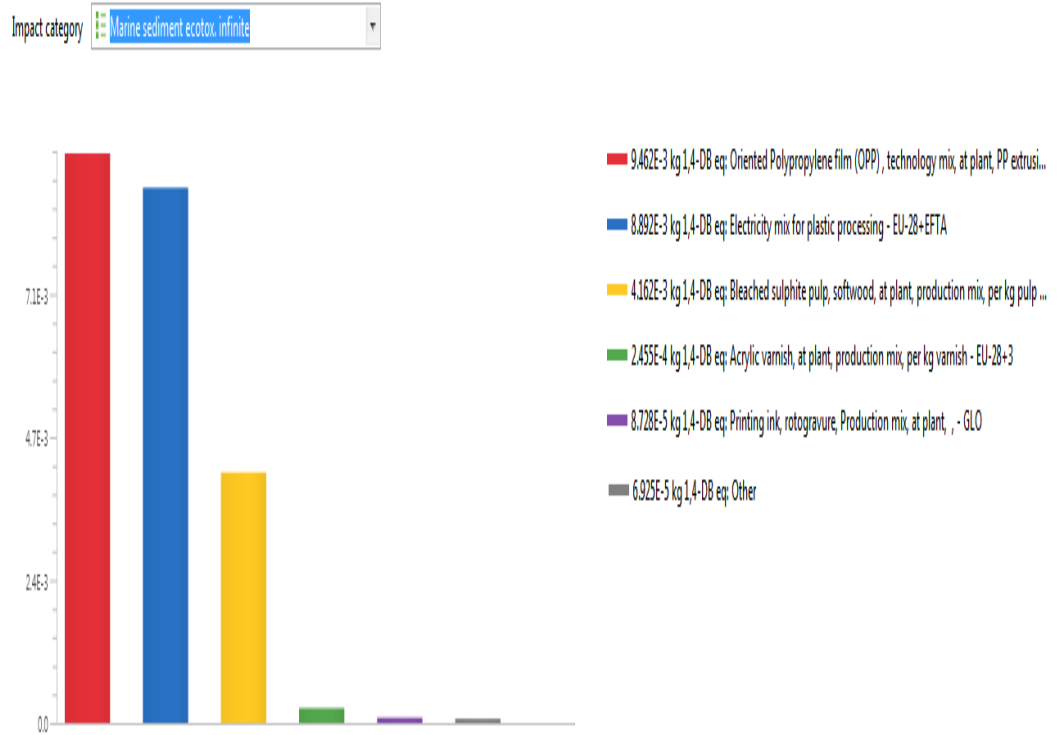
Şekil 42. Deniz Suyu Sediman Ekotoksitesitesi 100yıl Sonuç Grafiği



Şekil 43. Deniz Suyu Sediman Ekotoksitesitesi 20yıl Sonuç Grafiği



Şekil 44. Deniz Suyu Sediman Ekotoksisitesi 500yıl Sonuç Grafiği



Şekil 45. Deniz Suyu Sediman Ekotoksisitesi Sonsuz Sonuç Grafiği

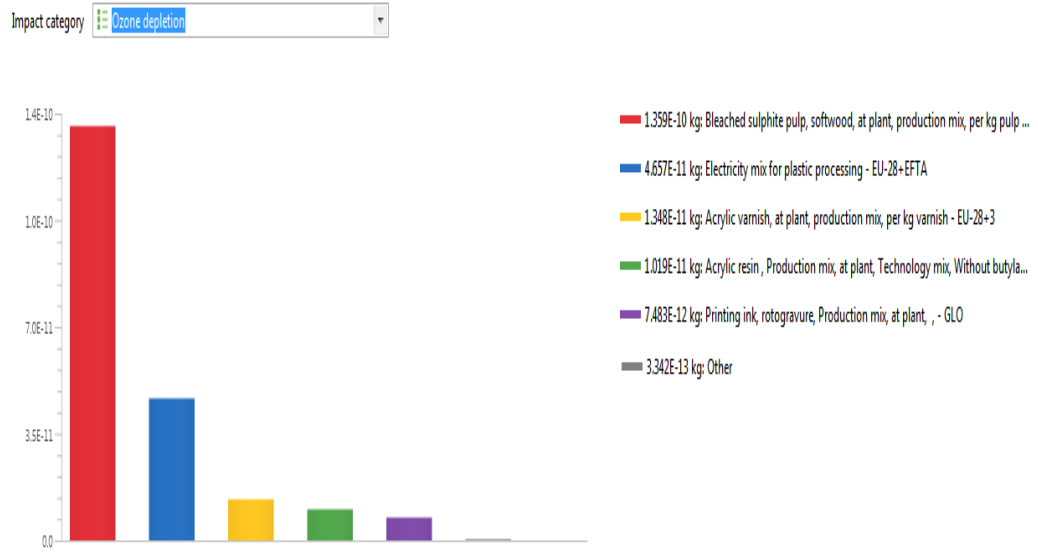
5.13. Ozon Tabakasının İncelmesi

Bir sonraki parametre olan ozon tabakasının incelmesi etkisinin hesaplamasında en yüksek etkinin kağıt kullanımına ait olduğu görülmektedir. Sülfite kağıt (pergamin) üretiminin temel hammadde girdisi olan ağaç, O₂ kaynaklarının azalmasının yanında endüstri kaynaklı sera gazlarının etkisinin daha fazla hissedilmesine sebep olmaktadır. Hemen arkasından elektrik tüketimi ve diğer polimerik kimyasalların kullanımı grafikte yer almaktadır. Bu kategoride önemli bir azalma sağlayabilmek için kağıt sanayinde özellikle geri dönüştürülmüş kağıtlar ile üretim yapılması ciddi bir etki sağlayacaktır. Bu sayede birim başına kullanılan su tüketimi azalacak, hammadde girdisi olan ağaç miktarı önemli oranda azalarak zararlı gazların etkisi minimize edilecektir.

$7,83 \times 10^{-18}$ kg CFC-11 eşdeğeri olarak hesaplanan ozon tabakası incelme potansiyeli etkisi Tablo 18’de yer alan literatürdeki diğer sektörlere kıyasla daha az olmakla birlikte diğer etki gruplarında olduğu gibi değerler arasında fazla kat fark bulunmamaktadır. Etiket üretim sektörünün ürün başına $7,83 \times 10^{-18}$ kg CFC-11 olan ozon tabakası incelme potansiyeli değeri, plastik manşon üretiminde yine ürün başına $8,74 \times 10^{-12}$ kg CFC-11 olan ozon tabakası incelme potansiyeli değeri ile en yakındır. Bu yakınlık, manşon üretiminde kullanılan kauçuk kaynaklı polimerler sebebiyle kullanılan bitkisel ürün tüketimi ile kağıt endüstrisindeki ağaç tüketimi arasındaki benzerlik ile açıklanabilir.

Tablo 18. Literatür Örnek Sonuçları-Ozon Tabakasının İncelmesi

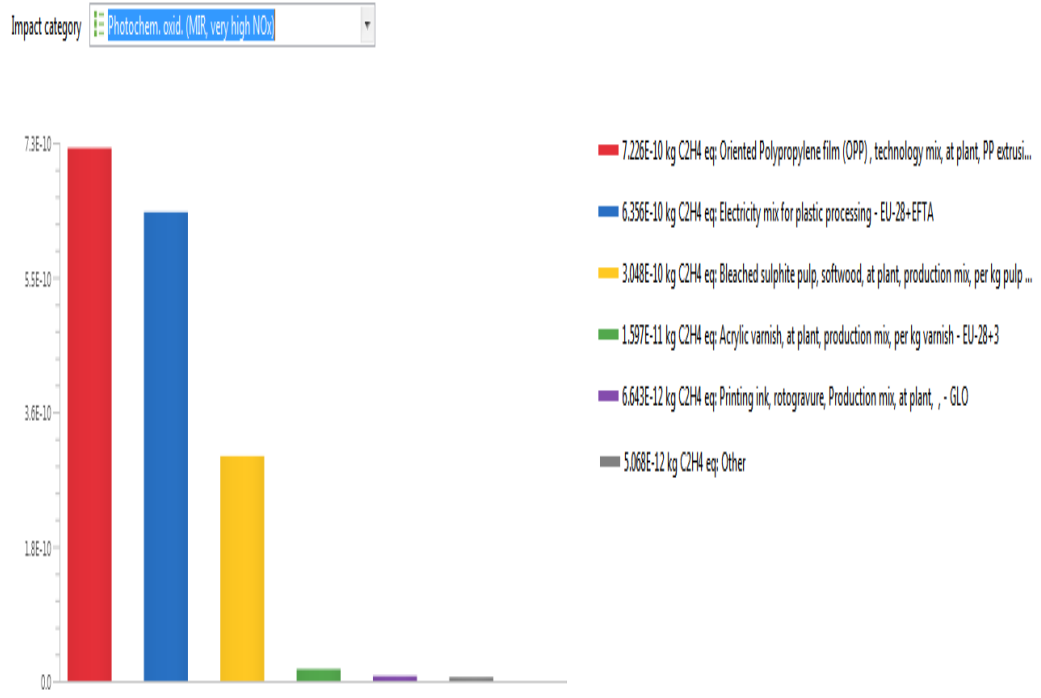
Proses/Sektör	Ozon Tabakasının İncelmesi
Plastik Manşon Üretimi (Üstün, 2013:61)	$8,74 \times 10^{-12}$ kg CFC-11/kg
Pamuklu Ev Tekstil Ürünü Üretimi (Aydın, 2016:61)	$1,59 \times 10^{-6}$ kg CFC-11/kg
Baskılı Devre Kartı Üretimi (Özkan, 2017:35)	$2,82 \times 10^{-6}$ kg CFC-11/m ²
Etiket Üretimi (Bilgiç, 2020:45)	$7,83 \times 10^{-18}$ kg CFC-11/m ²



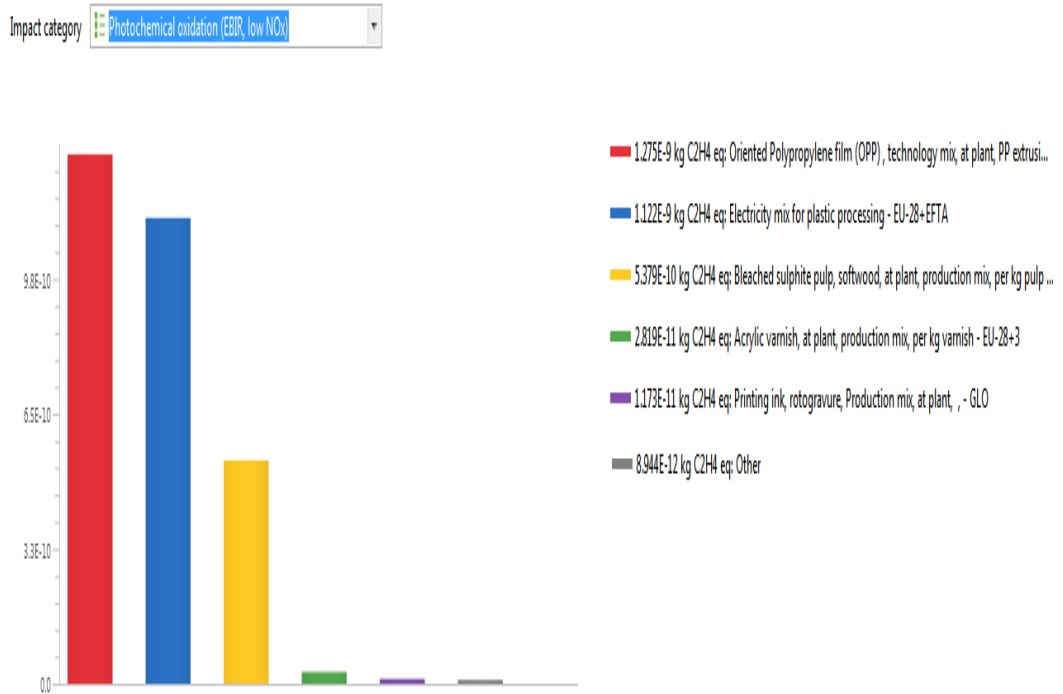
Şekil 46. Ozon Tabakasının İncelmesi Sonuç Grafiği

5.14. Fotokimyasal Oksidasyon

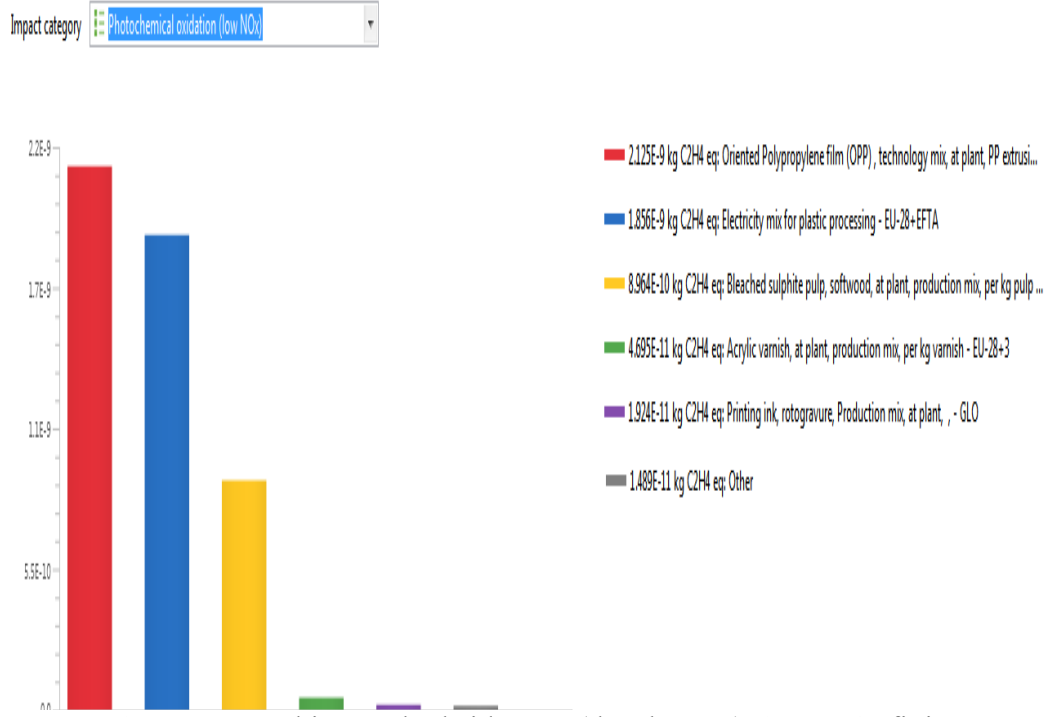
Bu etki kategorisi hidrojen (tamamen ikame edilmiş) ve çift bağlar (doymamış) içeren uçucu organik bileşikler (VOC) olarak fotokimyasal ozon oluşumuna katkıda bulunma potansiyeline sahip olan maddeleri tanımlanır (M.Hauschild ve diğ., 1998). Fotokimyasal oksidasyonu etkileyen emisyonlar eksik yanma ürünleri gibi tamamıyla indirgenememiş maddelerdir. Bu sebeple NO_x oluşumu bu kategori için etkilidir. Yaşam döngüsü değerlendirmesi çalışmalarında fotokimyasal oksidasyon $\text{kg C}_2\text{H}_4$ eşdeğeri cinsinden ifade edilmektedir. Fotokimyasal oksidasyon MIR (Maximum Arttırımlı Reaktivite), EBIR (Eşit Fayda Arttırımlı Reaktivite), MOIR (Maksimum Ozon Arttırımlı Reaktivite), NO_x parametreleri hesaplanmıştır. Girdi verilerinde plastik ürünlerin tüketimine bağlı işlem olan PP film hammadde bu kategoride en yüksek etkiye sahiptir. Hemen arkasında elektrik tüketimine bağlı etkilerin olduğu görülmektedir.



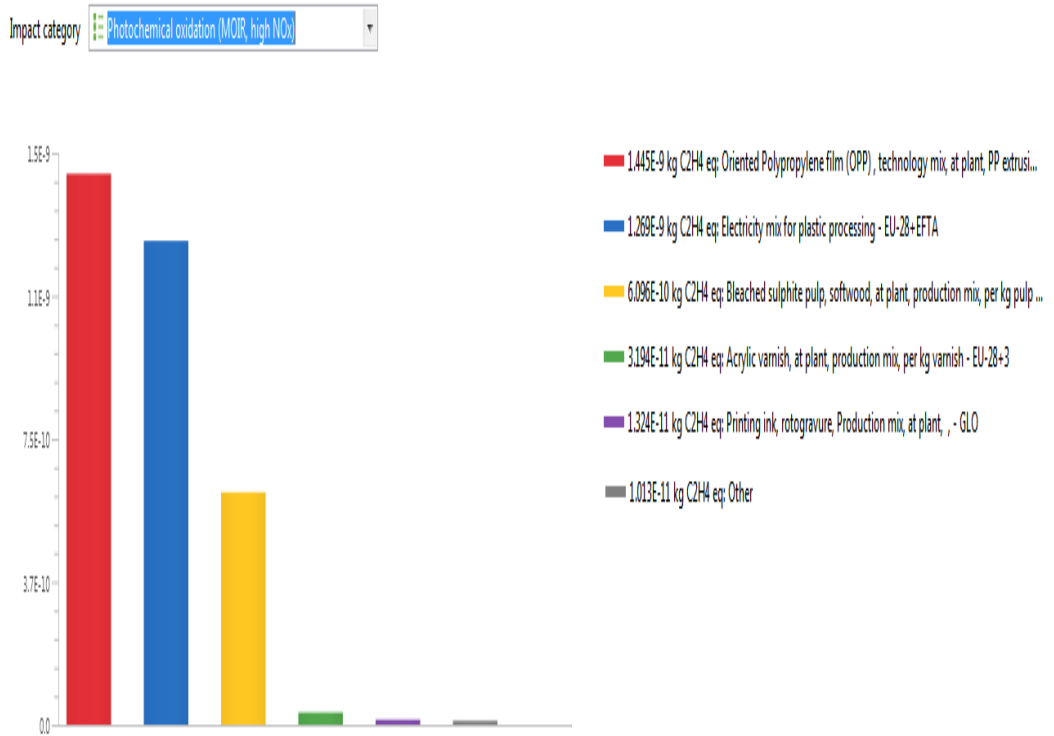
Şekil 47. Fotokimyasal Oksidasyon (MIR, yüksek NOx) Sonuç Grafiği



Şekil 48. Fotokimyasal Oksidasyon (EBIR, düşük NOx) Sonuç Grafiği



Şekil 49. Fotokimyasal Oksidasyon (düşük NOx) Sonuç Grafiği



Şekil 50. Fotokimyasal Oksidasyon (MOIR, yüksek NOx) Sonuç Grafiği

5.15. Karasal Ekotoksosite

100yıl, 20yıl ve 500yıl ve PAH, Ksilen, NMVOC ortalaması dahil edilerek IPCC'nin yayınlamış olduğu farklı hesaplama yöntemleri ile hesaplanmıştır. En yüksek sonucun karasal kaynak tüketimine etkisi olan elektrik kullanımına bağlı olduğu görülmektedir. En hassas hesaplama yönetiminin PAH, Ksilen, NMVOC ortalamasının dahil edildiği kategoride ortaya çıktığı görülmektedir. Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar, Ksilen, Metan Haricindeki Uçucu Organik Bileşikler (NMVOC) gibi kirleticilerin etkisi etiket üretimi tüm süreçleri ile değerlendirildiğinde de meydana gelmesi olağan olarak beklenmektedir. Birim olarak kg 1,4-Diklorobenzen (DB)-eşdeğer ölçüsü kullanılır. Zamanı sonsuzdur.

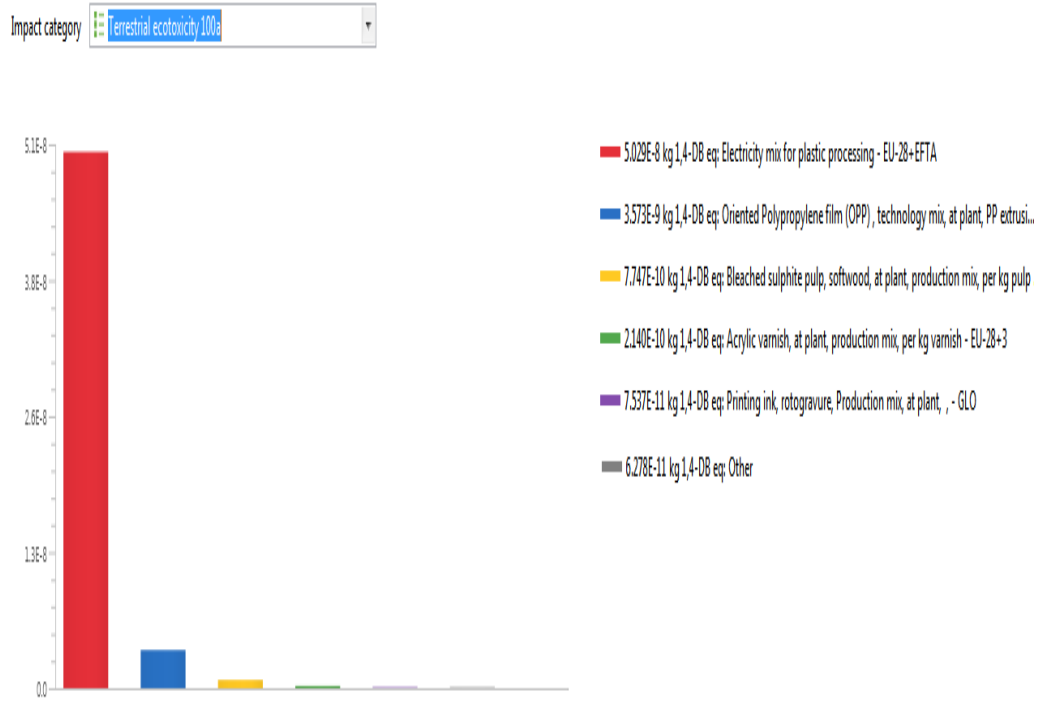
1 m² etiket için hesaplanan 9,53x10⁻⁶ kg 1,4-DB karasal ekotoksosite (PAH, Ksilen, NMVOC ort.) değeri Tablo 19'da verilen literatürdeki diğer sektörlere ait sonuçlar ile karşılaştırıldığında bu sonuçlara yakın bulunmuştur. Yine de baskılı devre kartı üretimi ve süt üretim endüstrisine kıyasla etiket üretim sanayinin karasal ekotoksosite etkisinin az olduğu söylenebilir.

Tablo 19. Literatür Örnek Sonuçları- Karasal Ekotoksosite (PAH, Ksilen, NMVOC ort.)

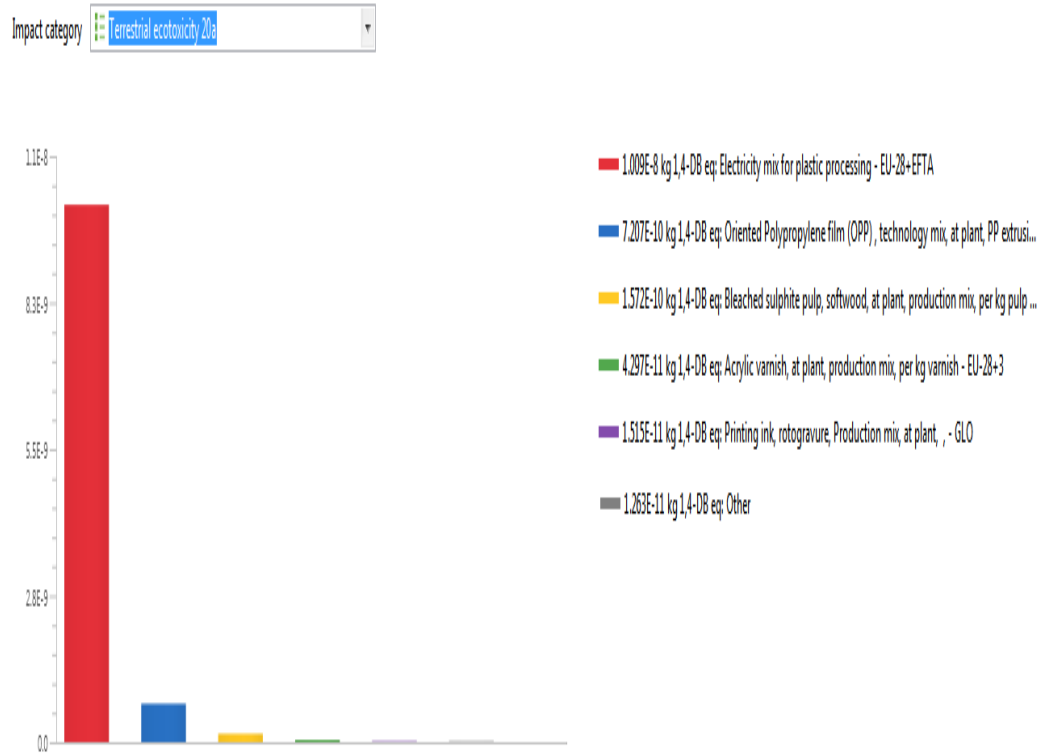
Proses/Sektör	Karasal Ekotoksosite (PAH, Ksilen, NMVOC ort.)
Baskılı Devre Kartı Üretimi (Özkan, 2017:35)	5,07x10 ⁻¹ kg 1,4 DB/ m ²
Süt Üretimi (Tezcan, 2015:60)	9,16x10 ⁻³ kg 1,4 DB/ lt
Etiket Üretimi (Bilgiç, 2020:45)	9,53x10 ⁻⁶ kg 1,4 DB/m ²



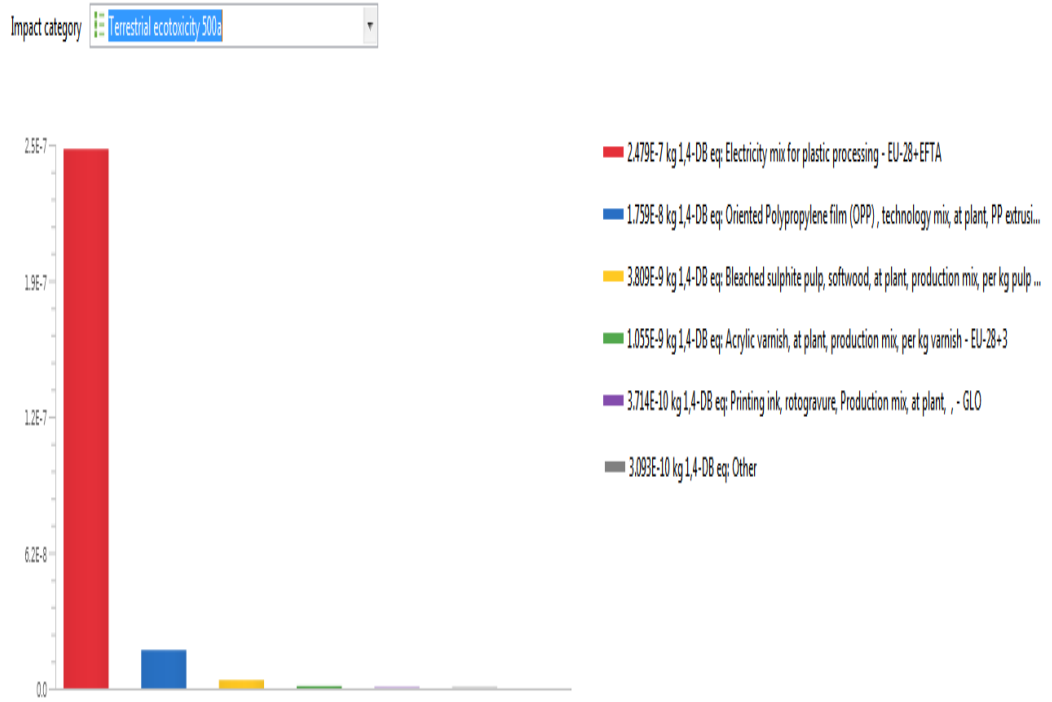
Şekil 51. Karasal Ekotoksisite (PAH, Ksilen, NMVOC ort.) Sonuç Grafiği



Şekil 52. Karasal Ekotoksisite 100yıl Sonuç Grafiği



Şekil 53. Karasal Ekotoksosite 20yıl Sonuç Grafiği



Şekil 54. Karasal Ekotoksosite 500yıl Sonuç Grafiği

Veriler doğrultusunda programdan alınan “flekso baskı” üretim tekniği ile elde edilen kendinden yapışkanlı 1 m² etikete ait tüm etki kategorileri grafikler halinde açıklanmıştır. Ofset ve flekso baskı teknikleri ayrı ayrı incelendiğinde ise çevresel etki değerlerinin birbirine çok yakın olduğu, baskı tekniğinin sonuçları etkilemediği gözlemlenmektedir. Her iki baskı tekniği açısından kullanılan malzeme olarak farklılıkları flekso baskıda PP kullanılırken, ofset baskıda Kraft kağıt kullanılması ve bu malzemelerin gramajları ile baskı mürekkebi çeşidinin farklı olmasıdır. Flekso baskıda “flekso baskı mürekkebi” kullanılırken, ofset baskıda “ofset baskı mürekkebi” kullanılmaktadır. Bu nedenle Tablo 12’de görüldüğü gibi önemli bir farklılık görülmemiştir. Tablo 20’de flekso baskı için her bir etki kategorisinde etkiler verilmektedir. Tablo incelendiğinde etiket üretiminin küresel ısınma, ozon tabakasının delinmesi, radyasyon yayılımı gibi kategorilerde çevreye zararlı etkisinin olmadığı, ancak diğer kategorilerde başta elektrik tüketimine bağlı fosil yakıt kullanımı olmak üzere kimyasal yapılı bileşiklerin özellikle plastiklerin tüketimine bağlı zararlı etkileri diğer kategorilerde gözlemlenmiştir. Birçok parametrede elektrik kullanımının etkisi görülmekte, çözüm önerisi olarak düşünülen yenilenebilir enerji kullanımı durumunda çevresel etki değerlerinin nasıl değişeceği bir sonraki bölümde incelenmiştir.

Tablo 20. Etki Kategorisi Sonuçları-Flekso Baskı

İşlem		Asetik Asit	Akrilik Reçine	Akrilik Vernik	Pergamin Kağıdı
Etki Kategorisi	Birim				
Abiyotik Kaynakların Tüketimi (element, ekonomik rezerv)	kg Sb eq	2,24E-12	1,06E-07	9,19E-08	3,33E-08
Abiyotik Kaynakların Tüketimi (element, kaynak tabanı)	kg Sb eq	1,34E-12	3,97E-08	7,4E-08	2E-08
Asidifikasyon	kg SO ₂ eq	4,68E-12	1,4E-08	4,92E-08	3,31E-07
Ötrofikasyon	kg PO ₄ --- eq	8,05E-12	2,41E-08	8,46E-08	5,69E-07
Tatlı Su Sucul Ekotoksitesitesi 100yıl	kg 1,4-DB eq	1,24E-14	2,55E-12	2,24E-11	4,26E-10
Tatlı Su Sucul Ekotoksitesitesi 20yıl	kg 1,4-DB eq	1,13E-14	2,3E-12	2,03E-11	3,89E-10
Tatlı Su Sucul Ekotoksitesitesi 500yıl	kg 1,4-DB eq	1,26E-14	2,65E-12	2,31E-11	4,29E-10
Tatlı Su Sediman Ekotoksitesitesi 100yıl	kg 1,4-DB eq	3,94E-14	8,13E-12	7,03E-11	1,33E-09
Tatlı Su Sediman Ekotoksitesitesi 20yıl	kg 1,4-DB eq	3,51E-14	7,21E-12	6,26E-11	1,19E-09
Tatlı Su Sediman Ekotoksitesitesi 500yıl	kg 1,4-DB eq	3,98E-14	8,39E-12	7,21E-11	1,34E-09
Tatlı Su Sediman Ekotoksitesitesi (sonsuz)	kg 1,4-DB eq	6,12E-14	2E-11	1,49E-10	1,62E-09
Tatlı Su Sucul Ekotoksitesitesi (PAH, Ksilen, NMVOC ort.)	kg 1,4-DB eq	2,1E-14	7,18E-12	5,33E-11	5,4E-10
Küresel Isınma Potansiyeli	kg CO ₂ eq	1,63E-08	0,02339	0,000638	0,006998
İnsan Sağlığı (PAH, Ksilen,NMVOC ort. Dahil)	kg 1,4-DB eq	1,85E-11	6,29E-09	5,54E-08	5,43E-07

İnsan Sağlığı 100yıl	kg 1,4-DB eq	2,15E-13	5,65E-11	5,81E-10	7,62E-09
İnsan Sağlığı 20yıl	kg 1,4-DB eq	8,75E-14	2,02E-11	2,26E-10	3,35E-09
İnsan Sağlığı 500yıl	kg 1,4-DB eq	7,03E-13	2,11E-10	1,99E-09	2,28E-08
Arazi Rekabeti	m ² yıl	5,58E-08	0,000629	0,002809	2,571438
Kötü Kokulu Hava	m ³ hava	2,66E-13	2,37E-10	8,21E-10	5,01E-09
Deniz Suyu Sucul Ekotoksitesitesi (PAH, Ksilen,NMVOC ort.)	kg 1,4-DB eq	1,04E-07	1,77E-05	0,000247	0,004178
Deniz Suyu Sucul Ekotoksitesitesi 100yıl	kg 1,4-DB eq	1,02E-09	1,73E-07	2,53E-06	3,98E-05
Deniz Suyu Sucul Ekotoksitesitesi 20yıl	kg 1,4-DB eq	1,69E-10	2,86E-08	4,15E-07	6,6E-06
Deniz Suyu Sucul Ekotoksitesitesi 500yıl	kg 1,4-DB eq	5,52E-09	9,35E-07	1,37E-05	0,000215
Deniz Suyu Sediman Ekotoksitesitesi 100yıl	kg 1,4-DB eq	1,42E-09	2,41E-07	3,54E-06	5,56E-05
Deniz Suyu Sediman Ekotoksitesitesi 20yıl	kg 1,4-DB eq	3,75E-10	6,36E-08	9,26E-07	1,47E-05
Deniz Suyu Sedimn Ekotoksitesitesi 500yıl	kg 1,4-DB eq	5,93E-09	1E-06	1,47E-05	0,000231
Deniz Suyu Sediman Ekotoksitesitesi (sonsuz)	kg 1,4-DB eq	1,03E-07	1,76E-05	0,000245	0,004162
Ozon Tabakasının İncelmesi	kg CFC-11 eq	7,6E-15	1,37E-12	1,6E-11	3,05E-10
Fotokimyasal Oksidasyon (MİR, çok yüksek NO _x)	kg C ₂ H ₄ eq	1,34E-14	2,41E-12	2,82E-11	5,38E-10
Fotokimyasal Oksidasyon (EBİR, düşük NO _x)	kg C ₂ H ₄ eq	2,23E-14	4,01E-12	4,7E-11	8,96E-10

Fotokimyasal Oksidasyon (düşük NO _x)	kg C ₂ H ₄ eq	1,52E-14	2,73E-12	3,19E-11	6,1E-10
Fotokimyasal Oksidasyon (MOIR, yüksek NO _x)	kg C ₂ H ₄ eq	1,03E-11	5,57E-09	3,71E-08	1,34E-07
Karasal Ekotoksisite (PAH, Ksilen,NMVOC ort.)	kg 1,4-DB eq	5,93E-14	3,21E-11	2,14E-10	7,75E-10
Karasal Ekotoksisite 100yıl	kg 1,4-DB eq	1,19E-14	6,45E-12	4,3E-11	1,57E-10
Karasal Ekotoksisite 20yıl	kg 1,4-DB eq	2,92E-13	1,58E-10	1,05E-09	3,81E-09
Karasal Ekotoksisite 500yıl	kg 1,4-DB eq	2,24E-12	1,06E-07	9,19E-08	3,33E-08

Etki Kategorisi Sonuçları-Flekso Baskı -Devamı

İşlem		Distile Su	Elektrik	Etil Asetat	Hidrokinon
Etki Kategorisi	Birim				
Abiyotik Kaynakların Tüketimi (element, ekonomik rezerv)	kg Sb eq	3,35E-13	2,3E-07	1,71E-09	1,09E-10
Abiyotik Kaynakların Tüketimi (element, kaynak tabanı)	kg Sb eq	1,89E-13	1,54E-07	1,03E-09	6,52E-11
Asidifikasyon	kg SO ₂ eq	1,41E-12	9,38E-07	6,65E-09	5,53E-10
Ötrofikasyon	kg PO ₄ --- eq	2,42E-12	1,61E-06	1,14E-08	9,52E-10
Tatlı Su Sucul Ekotoksitesitesi 100yıl	kg 1,4-DB eq	5,06E-16	2,91E-09	7,99E-12	3,48E-13
Tatlı Su Sucul Ekotoksitesitesi 20yıl	kg 1,4-DB eq	4,52E-16	2,61E-09	7,25E-12	3,15E-13
Tatlı Su Sucul Ekotoksitesitesi 500yıl	kg 1,4-DB eq	5,43E-16	3,07E-09	8,07E-12	3,56E-13
Tatlı Su Sediman Ekotoksitesitesi 100yıl	kg 1,4-DB eq	1,64E-15	9,47E-09	2,58E-11	1,12E-12
Tatlı Su Sediman Ekotoksitesitesi 20yıl	kg 1,4-DB eq	1,44E-15	8,38E-09	2,3E-11	9,97E-13
Tatlı Su Sediman Ekotoksitesitesi 500yıl	kg 1,4-DB eq	1,73E-15	9,89E-09	2,6E-11	1,14E-12
Tatlı Su Sediman Ekotoksitesitesi (sonsuz)	kg 1,4-DB eq	5,88E-15	2,81E-08	3,52E-11	2E-12
Tatlı Su Sucul Ekotoksitesitesi (PAH, Ksilen, NMVOC ort.)	kg 1,4-DB eq	2,16E-15	1,02E-08	1,17E-11	6,93E-13
Küresel Isınma Potansiyeli	kg CO ₂ eq	1,90E-08	0,129439	0,000133	5,28E-07
İnsan Sağlığı (PAH, Ksilen,NMVOC ort. Dahil)	kg 1,4-DB eq	1,87E-12	7,98E-06	8,14E-09	5,43E-10

İnsan Sağlığı 100yıl	kg 1,4-DB eq	1,4E-14	5,61E-08	9,54E-11	5,46E-12
İnsan Sağlığı 20yıl	kg 1,4-DB eq	4,36E-15	1,58E-08	3,92E-11	2,1E-12
İnsan Sağlığı 500yıl	kg 1,4-DB eq	5,82E-14	2,43E-07	3,1E-10	1,92E-11
Arazi Rekabeti	m ² yıl	9,66E-08	0,752013	0,000286	1,98E-05
Kötü Kokulu Hava	m ³ hava	6,78E-14	3,92E-07	2,38E-10	4,72E-11
Deniz Suyu Sucul Ekotoksitesitesi (PAH, Ksilen,NMVOC ort.)	kg 1,4-DB eq	2,76E-09	0,008928	4,8E-05	2,23E-06
Deniz Suyu Sucul Ekotoksitesitesi 100yıl	kg 1,4-DB eq	2,86E-11	8,63E-05	4,86E-07	2,31E-08
Deniz Suyu Sucul Ekotoksitesitesi 20yıl	kg 1,4-DB eq	4,68E-12	1,43E-05	7,99E-08	3,78E-09
Deniz Suyu Sucul Ekotoksitesitesi 500yıl	kg 1,4-DB eq	1,55E-10	0,000465	2,62E-06	1,25E-07
Deniz Suyu Sediman Ekotoksitesitesi 100yıl	kg 1,4-DB eq	3,98E-11	0,00012	6,76E-07	3,22E-08
Deniz Suyu Sediman Ekotoksitesitesi 20yıl	kg 1,4-DB eq	1,04E-11	3,18E-05	1,78E-07	8,43E-09
Deniz Suyu Sedimn Ekotoksitesitesi 500yıl	kg 1,4-DB eq	1,66E-10	0,000499	2,82E-06	1,34E-07
Deniz Suyu Sediman Ekotoksitesitesi (sonsuz)	kg 1,4-DB eq	2,75E-09	0,008892	4,78E-05	2,22E-06
Ozon Tabakasının İncelmesi	kg CFC-11 eq	1,6E-16	6,36E-10	3,46E-12	1,46E-13
Fotokimyasal Oksidasyon (MIR, çok yüksek NOx)	kg C ₂ H ₄ eq	2,82E-16	1,12E-09	6,11E-12	2,58E-13
Fotokimyasal Oksidasyon (EBIR, düşük NOx)	kg C ₂ H ₄ eq	4,67E-16	1,86E-09	1,02E-11	4,29E-13
Fotokimyasal Oksidasyon (düşük NOx)	kg C ₂ H ₄ eq	3,19E-16	1,27E-09	6,92E-12	2,92E-13

Fotokimyasal Oksidasyon (MOIR, yüksek NO _x)	kg C ₂ H ₄ eq	1,99E-12	8,72E-06	4,41E-09	4,13E-10
Karasal Ekotoksisite (PAH, Ksilen,NMVOC ort.)	kg 1,4-DB eq	1,15E-14	5,03E-08	2,55E-11	2,38E-12
Karasal Ekotoksisite 100yıl	kg 1,4-DB eq	2,3E-15	1,01E-08	5,15E-12	4,79E-13
Karasal Ekotoksisite 20yıl	kg 1,4-DB eq	5,65E-14	2,48E-07	1,25E-10	1,17E-11

5.16. Yenilenebilir Enerji Kaynağı Kullanılmasının Etkileri

Birçok parametrede yüksek etki değerine sahip olan “elektrik” kullanımının yenilenebilir enerjiden elde edilmesi durumunda sonuçlara nasıl etki edeceği program yardımıyla hesaplanmış, Tablo 21’de listelenmiştir. OpenLCA, programında yenilenebilir enerji kaynağı olarak güneş enerjisi kullanılmıştır. Bunun nedeni işletmenin lokasyon açısından güneş enerjisi kullanımına müsait olması, rüzgar ve biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının saha içerisinde uygulanmasının mümkün olmamasıdır.

Şehir şebekesi yerine yenilenebilir enerjiden elde edilen elektriğin kullanımı durumunda çevresel etki değerlerinde önemli ölçüde azalma olduğu görülmüştür. Bu azalmalar tabloda yer alan sütunda oransal olarak karşılaştırılmıştır.

Tablo 21’de yer alan sonuçlar incelendiğinde, çevresel etki kategorilerinden “kötü kokulu hava” ve “karasal ekotoksisite” parametrelerinde %90 ve üzerinde azalma olduğu görülmektedir. Bu etkinin azalma sebebi, solar enerjide şehir şebekesine bağlı elektrik kullanımında olduğu gibi yakma proseslerinin bulunmamasıdır.

Güneş enerjisi doğal yenilenebilir enerji kaynağı olması ve kirlenme oluşturmaması nedeniyle temiz bir enerji kaynağıdır. Enerji üretiminde kullanılan, yenilenebilir olmayan kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtlar, dünya enerji ihtiyacının karşılanmasında önemli bir rol oynamasına rağmen sınırlı, sürdürülemez ve hava kirliliğini olumsuz etkileyen enerji kaynaklarıdır. Bu yenilenebilir olmayan enerji kaynaklarının doğaya saldırdığı gazlar insan sağlığını tehdit eder ve küresel ısınmaya sebep olur. Bu gazlardan bazıları; solunum yolu rahatsızlığı ve kalp hastalığına sebep olan kükürt dioksit (SO_2), akciğer rahatsızlıkları ve astıma sebep olan azot oksit (NO) ve küresel ısınmanın en büyük sebebi olan karbon dioksit (CO_2)’dir. Yenilenebilir bir kaynak olan güneş enerjisi, bu zararlı gazların atmosfere salınmasına fırsat vermeden elektrik enerjisi elde etmeyi mümkün kılmaktadır. Bu sebeple birçok çevresel etki kategorisini etkileyen zararlı gazların salınımı önlenmekte, çevresel kirlilik yüklerinin azaldığı görülmektedir. Zararlı gazların atmosfere salınmaması ile birlikte küresel ısınmanın azaltılmasında da aktif rol oynar.

Solar enerjinin, fosil ve yenilenebilir olmayan enerji kaynaklarına kıyasla daha az su kullanması ile birlikte su kirliliğine etkisinin daha az olması da bu farkın oluşmasına, sucul ekotoksistelerde çevresel etkinin azalmasına sebep olmaktadır. Özellikle karasal ekotoksistelerde değerlerinde %90 oranlarında azalma olduğu görülmektedir. Şehir şebekesi elektriğine önemli ölçüde katkı sağlayan fosil yakıtların yakılmasına bağlı oluşan zararlı gazlar güneş enerjisi kullanımı durumunda azalacak böylece asidifikasyon değerinde düşüş gözlenecektir. Asidifikasyon etkisinin azalmasına bağlı olarak da asit yağmurlarının azalması, topraktaki metallerin çözülmesi gibi durumların meydana gelme olasılığı azalarak karasal ekotoksistelerin etkisi de azalacaktır.

Tablo 21. Etiket Yaşam Döngüsü Etki Kategorileri Hesaplama Sonuçları-Elektrik Kullanımının Karşılaştırılması

Etki Kategorisi	Birim	Etki m² Etiket Başına (Flekso Baskı)	Etki m² Etiket Başına (Flekso Baskı-Yenilenebilir Enerji)	Çevresel Etki Azalma Oranı (%)
Abiyotik Kaynakların Tüketimi (element, ekonomik rezerv)	Kg Sb eq	5,12563E-07	2.55727E-07	50.1%
Abiyotik Kaynakların Tüketimi (element, kaynak tabanı)	Kg Sb eq	3,20903E-07	1.49356E-07	53.5%
Asidifikasyon	Kg SO ₂ eq	1,58365E-06	5.31506E-07	66.4%
Ötrofikasyon	Kg PO ₄ eq	2,72328E-06	9.13991E-07	66.4%
Tatlı Su Sucul Ekotoksitesitesi 100yıl	Kg 1,4-DB eq	3,98226E-09	1.54477E-09	61.2%
Tatlı Su Sucul Ekotoksitesitesi 20yıl	Kg 1,4-DB eq	3,57751E-09	1.40663E-09	60.7%
Tatlı Su Sucul Ekotoksitesitesi 500yıl	Kg 1,4-DB eq	4,18623E-09	1.5632E-09	62.7%
Tatlı Su Sediman Ekotoksitesitesi 100yıl	Kg 1,4-DB eq	1,29162E-08	4.85631E-09	62.4%
Tatlı Su Sediman Ekotoksitesitesi 20yıl	Kg 1,4-DB eq	1,14342E-08	4.33809E-09	62.1%
Tatlı Su Sediman Ekotoksitesitesi 500yıl	Kg 1,4-DB eq	1,34392E-08	4.90356E-09	63.5%
Tatlı Su Sediman Ekotoksitesitesi (sonsuz)	Kg 1,4-DB eq	3,59759E-08	6.93953E-09	80.7%
Tatlı Su Sucul Ekotoksitesitesi (PAH, Ksilen, NMVOC ort.)	Kg 1,4-DB eq	1,29791E-08	2.36578E-09	81.8%
Küresel Isınma Potansiyeli	Kg CO ₂ eq	0,187501647	0.045540961	75.7%

İnsan Sağlığı (PAH, Ksilen, NMVOC ort. Dahil)	Kg 1,4-DB eq	1,03595E-05	2.25309E-06	78.3%
İnsan Sağlığı 100yıl	Kg 1,4-DB eq	7,71581E-08	2.82478E-08	63.4%
İnsan Sağlığı 20yıl	Kg 1,4-DB eq	2,31344E-08	1.19189E-08	48.5%
İnsan Sağlığı 500yıl	Kg 1,4-DB eq	3,2215E-07	8.89036E-08	72.4%
Arazi Rekabeti	m ² yıl	3,656552188	2.815001808	23.0%
Kötü Kokulu Hava	m ³ hava	4,88664E-07	3.39416E-08	93.1%
Deniz Suyu Sucul Ekotoksitesitesi (PAH, Ksilen, NMVOC ort.)	Kg 1,4-DB eq	0,015497457	0.014280958	7.8%
Deniz Suyu Sucul Ekotoksitesitesi 100yıl	Kg 1,4-DB eq	0,000149469	0.000136699	8.5%
Deniz Suyu Sucul Ekotoksitesitesi 20yıl	Kg 1,4-DB eq	2,4795E-05	2.26528E-05	8.6%
Deniz Suyu Sucul Ekotoksitesitesi 500yıl	Kg 1,4-DB eq	0,000806394	0.000738517	8.4%
Deniz Suyu Sediman Ekotoksitesitesi 100yıl	Kg 1,4-DB eq	0,000207954	0.000190484	8.4%
Deniz Suyu Sediman Ekotoksitesitesi 20yıl	Kg 1,4-DB eq	5,50872E-05	5.03379E-05	8.6%
Deniz Suyu Sediman Ekotoksitesitesi 500yıl	Kg 1,4-DB eq	0,000865872	0.000793705	8.3%
Deniz Suyu Sediman Ekotoksitesitesi (sonsuz)	Kg 1,4-DB eq	0,015435365	0.014227012	7.8%
Ozon Tabakasının İncelmesi	Kg CFC-11 eq	2,19363E-10	1.65455E-10	24.6%
Fotokimyasal Oksidasyon (MIR, çok yüksek NO _x)	Kg C ₂ H ₄ eq	1,10993E-09	1.06972E-09	3.6%
Fotokimyasal Oksidasyon (EBIR, düşük NO _x)	Kg C ₂ H ₄ eq	1,95892E-09	1.88776E-09	3.6%

Fotokimyasal Oksidasyon (düşük NO _x)	Kg C ₂ H ₄ eq	3,2477E-09	3.14508E-09	3.2%
Fotokimyasal Oksidasyon (MOIR, yüksek NO _x)	Kg C ₂ H ₄ eq	2,21727E-09	2.13927E-09	3.5%
Karasal Ekotoksisite (PAH, Ksilen, NMVOC ort.)	Kg 1,4-DB eq	1,08237E-05	9.77953E-07	91.0%
Karasal Ekotoksisite 100yıl	Kg 1,4-DB eq	6,24198E-08	5.64847E-09	91.0%
Karasal Ekotoksisite 20yıl	Kg 1,4-DB eq	1,25211E-08	1.13864E-09	90.9%
Karasal Ekotoksisite 500yıl	Kg 1,4-DB eq	3,07684E-07	2.78107E-08	91.0%

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yaşam döngüsü analizi atık yönetimi, maliyet analizi, ürün geliştirme alanları gibi birçok alanda uygulanabilir bir yöntem olması sebebiyle oldukça geniş bir kullanım ağına sahiptir. Özellikle sanayi sektörlerinde çevresel etkilerin belirlenmesi ve etkilerinin azaltılması ürünler üzerine yaşam döngüsü değerlendirmeleri yapılmaktadır. Bu değerlendirmeler çalışılan alana ait temel verileri gerektiren ve diğer gereksinimlerini kendi veri tabanından sağlayan yazılım programları ile yapılmaktadır. Analizlerin doğru bir biçimde yapılabilmesi için şeffaf, ulaşılabilir ve güvenilir bir veri tabanı olması oldukça önemlidir. Çalışmada, çevresel konularda sıklıkla karar verme destek mekanizması olarak kullanılan yaşam döngüsü analizi hakkında bilgi almayı amaçlamak adına OpenLCA YDA programı kullanılmıştır. Tez çalışmasında ülkemiz için oldukça yeni bir teknik olan yaşam döngüsü analizi kullanımının yaygınlaştırılması amaçlanmıştır. Bulunan sonuçlar çevre mühendisliği için oldukça önemli olup üretilen ürünün çevresel etkilerini açık bir şekilde ortaya konmuştur.

Çalışma kapsamında analizi gerçekleştirilen kendinden yapışkanlı ve baskılı bir etiketin 1 m² üretilmesi için gerekli hammadde girdileri baskı yöntemleri ve elektrik enerjisi kaynakları arasındaki farkı görebilmek için flekso baskı tekniği ve ofset baskı tekniği için ve elektrik enerjisinin şehir şebekesinden ve güneş enerjisinden elde edildiği durumlar ayrı ayrı hesaplanmış olup program yardımıyla çevresel etki sonuçları hesaplanmıştır. Baskı tetkiklerinde etiketin yapısındaki hammadde çeşitlerindeki farklılıklar ve baskı mürekkebinin değişmesine rağmen sonuçların birbirine çok yakın olduğu, baskı yönteminin çevresel etki kategorilerine etkisinin olmadığı görülmüştür. Bu değerlendirmeye farklı baskı yöntemlerinin işlemlerine ait girdi verilerinin ölçümlenememesi neden olmuştur.

Baskı tekniklerindeki değişikliğe rağmen çevresel etki değerlerinin çok yakın bulunmasına karşın enerji kaynağının değişmesi ile sonuçların tümünde önemli bir ölçüde azalma olduğu görölmektedir. İncelenen çevresel etki kategorilerinin çoğunda yüksek bir çevresel etkiye sebebiyet veren elektrik tüketiminin güneş enerjisinden elde edilen elektrik kullanılması durumunda her kategoride farklı ölçütlerde olmakla birlikte etki kategorilerinin tamamında yüksek oranlarda düşüş sağlamıştır. Birçok sanayide olduğu gibi etiket üretim sanayinde de yüksek miktarda enerji tüketiminin önlenmesi için ya verimli makineler tercih edilerek enerji tasarrufu sağlanmalı yada sonuçlarda da göröldüğü üzere yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektrik enerjisi kullanılarak çevresel etkiler önemli ölçüde azaltılabilir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımıyla atmosfere salınan emisyon miktarlarında azalma yaşanacak ve çevreye olan zararlılık seviyesi her etki kategorisinde azalacaktır.

Etiket üretim sektöründe kimyasal kullanımın, su tüketiminin ve tesis yakıt kullanımının fazla olmaması sebebiyle çevresel etkilerinin çok yüksek olmadığı görölmüştür. Ayrıca etiket fabrikasında herhangi bir yanma prosesi bulunmaması da emisyon oluşmasının az olmasına bağlı olarak birçok etki kategorisinde çevresel etkinin düşük değerlerde elde edilmesine neden olmaktadır. Literatürde etiket üretimine dair yaşam döngüsü değerlendirmesi bulunmadığından elde edilen sonuçlar farklı sektörler ile karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır.

Çevresel etki kategorilerinde sanayi tesislerinin genelinde karşılaşılan yüksek enerji ihtiyacının etkili bir girdi kaynağı olduğu söylenebilir. En yüksekte en düşük çevresel yüke göre girdileri sıralayacak olursak en başta elektrik tüketimi ve sonrasında sırasıyla pergamin kağıt tüketimi, PP film kullanımı, akrilik reçine kullanımı, akrilik vernik olarak sıralanabilir. Tüm sonuçlar göz önüne alındığında ve literatürdeki diğer örnekler ile karşılaştırıldığında ürün başına hesaplanan arazi rekabetinin yüksek miktarda kağıt tüketimine bağlı olarak $0,0443832 \text{ m}^2/\text{yıl}$ değerinde diğer sektörlere en yakın, küresel ısınma etkisinin ise $1,63 \times 10^{-8} \text{ kg CO}_2$ değeri ile diğer sektörlere en uzak değer olduğu söylenebilir. Üretim prosesi boyunca kimyasal madde tüketiminin yüksek olmaması sebebiyle kimyasal verilerinin çevresel kategoriler üzerindeki etkisi düşüktür. Yaşam döngüsü analizinde birçok kategori için şebeke elektriğinin en önemli etkiye neden olduğu görölmüştür. Bu

nedenle işletmede elektriğin şebekeden temin edilmek yerine işletme içerisine kurulacak güneş panellerinden elde edilmesi durumu üzerine çalışılmıştır. Tüm kategorilerde % 8 ile % 93 arasında değişen oranlarda çevresel etkinin azaldığı görülmüştür. Özellikle karasal ekotoksiste, insan sağlığı ve küresel ısınma kategorilerinde en büyük azalma oranları görülmüştür. Bu tür endüstriyel işletmelerde güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının tercih edilmesi çevresel etkilerinin azaltılması açısından önerilebilir.

Etiket üretimi; hammadde temini, üretimi ve kullanım sonrası bertarafı gibi süreçler içerisinde doğrudan ya da dolaylı bir şekilde çevre ile etkileşim içerisindedir. Hammadde temini süresince; doğal kaynaklar ve enerji tüketimi, biyo çeşitliliğin azalmasına, üretim aşamasında; enerji tüketimine, hava, su ve toprak kirliliğinin oluşmasına (asidifikasyon, ötrofikasyon, küresel ısınma, insan sağlığı vs.), bertaraf süresince; düzenli depolama ile bertarafında arazi kullanımda azalma ve çevreye zararlı atıklar bırakmasına neden olmaktadır. Çalışma boyunca LCA karar verici değil karar vermeyi destekleyici bir mekanizma olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle LCA üretim veya prosesle ilgili her aşamada çevreye duyarlı yöntemin uygulanmasında karar vermeye destek mekanizması olarak büyük rol oynamaktadır. Bu amaçla programdan elde edilen çevresel etki sonuçları tek tek değerlendirilerek proses iyileştirici önerilerde bulunarak literatüre katkı sağlanmaya çalışılmıştır. Bu şekilde etiket üretiminden oluşan çevresel etkilerin azalması sağlanabilir.

KAYNAKLAR

Acero A.P., Rodriguez C., Citroth A., (2015), *Impact Assessment Methods in Life Cycle Assessment and Their Impact Categories*

Alpaydın, Ö., 2014, *Gaziantep İli İçin Entegre Katı Atık Yönetiminde Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Uygulanması*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Aydın S., 2016, *Pamuklu Ev Tekstil Ürünlerinin Üretim Süreçleri Ve Nihai Ürünlerin Yaşam Döngüsünün Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Balpetek, F. 2012, *Sürdürülebilir Kalkınma İçin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi ve Tekstil Sanayi.Derleme*, Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İzmir

Banar, M., Çokaygil Z., 2009, *Seramik Yer Karolarının Çevresel Etkilerinin Yaşam Döngüsü Analizi Yöntemiyle Değerlendirilmesi*, Türkiye Katı Atık Sempozyumu Turkey, İstanbul

Bekiroğlu B. Ö., (2007). *Kendinden Yapışkanlı Rulo Etiket Üretim Aşamalarının İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Budavari, Z., Szalay, Z., Brown, N., Malmqvist, T., Peuportier, B., Zabalza, I., and Wibke, T. (2011)., *Indicators and weighting systems, including normalisation of environmental profiles*

Christensen T., 2011, *Solid Waste Technology & Management*, 1. Basım, Blackwell Yayıncılık, ISBN:978-1-405-17517-3, United Kingdom

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, (2015), *Atık Yönetimi Yönetmeliği Ek-4*, s:14-31, Türkiye

Çokaygil, Z., (2005), *Atık Yönetimi Planlamasında Yaşam Döngüsü Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, “www.enerji.gov.tr”

EPA Environmental Protection Agency, (1993)

Garrett, P., and Collins, M. (2009), *Life cycle assessment of product stewardship options for mercurycontaining lamps in New Zealand: final report*. Wellington, New Zealand

Goldsmith E., (1974), *A Blueprint For Survival*, Harmondsworth:Penguin

Guinée, Jeroen B., (2002), *Handbook on life cycle assessment operational guide to the ISO standards*, The international journal of life cycle assessment 7.5: 311-313

Güvenlik Bilgi Formu, 3M, *3M™ Clear Polyester Label with Adhesive*

Güvenlik Bilgi Formu, PhotoSystems Inc., *Dentsply Rinn® Rapid Process Fixer*

Güvenlik Bilgi Formu, Primera Technology, *Pressure Sensitive Label Stock*

Güvenlik Bilgi Formu, Tetenal Ag & Co. Kg, *Eukobrom Liquid B/W Paper Developer*

Güvenlik Bilgi Formu, UPM Raflacat Inc., *Pressure Sensitive Label Stock*

Hertwich EG, Mateles SF, Pease WS, McKone TE, (2001):, *Human toxicity potentials for life cycle analysis and toxics release inventory risk screening*. *Environ Toxicol Chem*20, syf 928–939

ISO, Environmental Management- Life Cycle Assessment- Principles and Framework, International Organization for Standardization, ISO 14040:2006(E), Genova, Switzerland. ISO, Environmental Management- Life Cycle Assessment- Requirement and Guidelines, International Organization for Standardization, ISO 14044:2006(E), Genova, İsviçre

Keskin Ş., (2002). *Tekstil Sektörüne Yönelik Karton Etiket Üretimi*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Kılıç, E., (2010), *Deri Endüstrisi Arıtma Çamurlarından Kromun Oksidatif Yöntemle Geri Kazanılması ve Çevresel Yaşam Döngüsü Analizi ile Değerlendirilmesi*, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir

Kuşku, N., (1997), *"Termoplastik Malzemeler Üzerine Uygulanan Flekso Baskı Sisteminin İncelenmesi"*, İstanbul

M.Hauschild, H.Wenzel, (1998), *Environmental Assessment of Products. Scientific Background. vol.2. Chapman &Hall*, İngiltere

Meyers, H.M. and Lubliner, M.J., (2003). *Başarılı Ambalaj Başarılı Pazarlama*, Rota Yayınları: İstanbul

Meadows, Donatella,H., Meadows, D.,L., Randers, J. & Behrens III, W., W., (1972). *Limits to Growth*, Universe Books, USA

Özdemir, Ö.; (2003), *"Kendinden Yapışkanlı Etiketlerde Amaca Uygun Etiket Seçiminin İncelenmesi"*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Özerler D., Yetiş Ü., Demirer G. N., 2006, *Life Cycle Assessment of Municipal Solid Waste Management Methods: Ankara Case Study*, *Environment International* , 32, 3, 405-411, İstanbul

Özkan E., (2017). *Baskılı Devre Kartı (Bdk) Üretiminde Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Polat M., Ö., (2013), *Bitümlü Sıcak Karışımların Çevresel Yaşam Döngüsü Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Gebze İleri teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli

Semtrio, <https://www.semtrio.com/yasam-dongusu-analizi-lca>

Solomon, S., Mills, M., Heidt, L. E., Pollock, W. H., and Tuck, A. F., (1992), *On the evaluation of ozone depletion potentials. Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 825-842

Stranddorf, H., Hoffmann, L., and Schmidt, A., (2004), *Impact categories, normalisation and weighting in LCA (Påvirkningskategorier, normalisering og vægtning i LCA—in Danish)*, Environmental News No. 77, The Danish Ministry of the Environment. Environmental Protection Agency, Copenhagen

Tezcan C., (2015). *Yaşam Döngüsü Analizi'nin Süt Sığırtı Yetiştiriciliğinde Kullanım Olanakları Ve Bir Uygulama Örneği*, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa

TÜİK, <https://biruni.tuik.gov.tr/ilgosterge/?locale=tr>

Ünsal E., (2009). *Flekso Baskı İle Etiket Üretimi Ve Diğer Üretim Teknikleri İle Karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Üstün S., (2013). *Plastik Ürün Endüstrisinin Yaşam Döngüsü Analizi Yöntemi İle Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Kadriye Özge BİLGİÇ

Uyruğu: T.C.

Doğum Tarihi ve Yeri: 20.03.1993, İstanbul

Elektronik Posta: ozgebilgic6526@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Yılı
Lisans	Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği	2015
Yüksek Lisans	İstanbul Rumeli Üniversitesi İş Sağlığı ve Güvenliği	2019
Yüksek Lisans	İstanbul Medeniyet Üniversitesi Çevre ve Enerji Sistemleri Mühendisliği	-

İŞ TECRÜBESİ

Tarih	Kurum	Görev
2020-	Gizil Enerji A.Ş	Entegre Yönetim Sistemleri Sorumlusu
2018-2019	Turaş Gaz Armatürleri A.Ş	Kalite Sistem Mühendisi
2016-2018	Dönüşüm OSGB	Çevre Görevlisi

YABANCI DİLLER

Orta düzeyde İngilizce