



**DOĞAL KAYNAK SUYU ŞİŞELEME TESİSİNDE
ÜRETİM SÜREÇLERİNİN, NİHAİ ÜRÜNLERİNİN
VE ATIKLARININ YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ**

Burak YILDIRIM

Prof. Dr. Ergün YILDIZ

Yüksek Lisans Tezi

Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı

2023

(Her hakkı saklıdır)

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**DOĞAL KAYNAK SUYU ŞİŞELEME TESİSİNDE ÜRETİM SÜREÇLERİNİN,
NİHAİ ÜRÜNLERİNİN VE ATIKLARININ YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ**

(Life Cycle Analysis of Production Processes, End Products and Waste in Natural Spring
Water Bottling Plant)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Burak YILDIRIM

Danışman: Prof. Dr. Ergün YILDIZ

Erzurum

Ocak, 2023

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Burak YILDIRIM tarafından hazırlanan “Doğal Kaynak Suyu Şişeleme Tesisinde Üretim Süreçlerinin, Nihai Ürünlerinin ve Atıklarının Yaşam Döngüsü Analizi” başlıklı çalışması 31/ 01 / 2023 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı:	Prof. Dr. Alper Erdem YILMAZ <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır
Jüri Üyesi:	Prof. Dr. Ergün YILDIZ <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır
Jüri Üyesi:	Dr. Öğr. Üyesi İbrahim CENGİZ <i>Bayburt Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır

Enstitü Yönetim Kurulunun
.../.../... tarih ve sayılı kararı.

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği’nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Satuk Buğra CEYHUN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, Şekil 17, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Yüksek Lisans Tezi olarak Prof. Dr. Ergün YILDIZ danışmanlığında sunulan “Doğal Kaynak Suyu Şişeleme Tesisinde Üretim Süreçlerinin, Nihai Ürünlerinin ve Atıklarının Yaşam Döngüsü Analizi” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	2	30
Kuramsal Temeller	27	30
Materyal ve Metot	4	35
Araştırma Bulguları ve Tartışma	1	20
Sonuçlar ve Öneriler	5	20
Tezin Geneli	15	25

Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5'den büyük olmaması gerekir.

Sunulan bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ettiğimizi beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Burak YILDIRIM	Prof. Dr. Ergün YILDIZ
25.1.2023	25.1.2023
İmza:	İmza:

* Tez ile ilgili YÖKTEZ’de yayınlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

☐ Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun/....../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

☐ Enstitü Yönetim Kurulunun/....../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım da beni akademik bilgi ve rehberliği ile destekleyen, kıymetli bilgi ve tecrübeleri ile bana yol gösteren ve yol açan danışman hocam sayın Prof. Dr. Ergün YILDIZ’a teşekkür eder ve saygılar sunarım.

Tez çalışmalarım da gerekli olan yaşam döngüsü analizi programını ve lisansını sağlayan Sphera Solutions şirketine teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım da bana her türlü bilgi ve desteği sağlayan Dumlupınar Su İnşaat Taahhüt Taşımacılık Enerji Hayvancılık Gıda Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi (ESER SU) sahiplerine teşekkür ederim.

Öğrenim hayatımda boyunca bana her zaman ve her konuda destek olan ve yol gösterip teşvik eden aileme sonsuz teşekkür ve minnetlerimi sunarım.

Burak YILDIRIM

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DOĞAL KAYNAK SUYU ŞİŞELEME TESİSİNDE ÜRETİM SÜREÇLERİNİN, NİHAİ ÜRÜNLERİNİN VE ATIKLARININ YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ

Burak YILDIRIM

Prof. Dr. Ergün YILDIZ

Amaç: Bu çalışma, Erzurum'da faaliyet gösteren bir doğal kaynak suyu şişeleme tesisinin çevreye etkilerini mevcut durumda ve çeşitli senaryolarda analiz ederek karşılaştırmak ve çevre performanslarını değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında, fabrikadan alınan veriler kullanılarak yaşam döngüsü analizi yapılmıştır.

Yöntem: Bu çalışmada, tesisten çevresel envanter bilgileri toplanıp CML 2001 – Jan. 2016 çevresel etki kategorizasyon metodolojisine göre yaşam döngüsü analizi yazılımıyla, tesisin küresel ısınma potansiyeli, abiyotik kaynak tükenme potansiyeli, asidifikasyon potansiyeli, ötrofikasyon potansiyeli, ozon tabakası bozulma potansiyeli ve insan toksisitesi potansiyeli etki kategorilerinde çevreye yaptığı etkiler hem mevcut durum hem de çeşitli senaryolar için hesaplanmıştır.

Bulgular: Bu çalışmada öncelikle sistemin mevcut durumu için yaşam döngüsü analizi yapılmış, ardından çeşitli senaryolar belirlenmiş ve etki analizleri açısından yaşam döngüsü analizleri karşılaştırılmıştır. Hammaddede alımı, nakliyesi, üretim aşamaları, kullanımı ve atık senaryolarını içeren sistem sınırı beşikten mezara olarak belirlenmiştir. Yapılan değerlendirmeye göre, etki kategorileri, Abiyotik Fosil Kaynak Tüketimi 2269,436 kWh, Asidifikasyon Potansiyeli 1,506 kg SO₂ eşdeğeri, Ötrofikasyon Potansiyeli 0,1124 kg Fosfat eşdeğeri, Tatlı Su Ekotoksitesite Potansiyeli 1,377 kg DCB eşdeğeri, Küresel Isınma Potansiyeli 409,563 kg CO₂ eşdeğeri, İnsan Toksisitesi Potansiyeli 23,365 kg DCB eşdeğeri, Deniz Toksisitesi Potansiyeli 42692,13 kg DCB eşdeğeri, Ozon Tabakasının Bozulma Potansiyeli 3,73E-11 kg CFC-11 eşdeğeri, Fotokimyasal Ozon Üretimi Potansiyeli 0,1125 kg Etilen eşdeğeri, Toprakta Ekotoksitesite Potansiyeli 2,444 kg DCB eşdeğeri olarak bulunmuştur.

Sonuç: Çalışma sonuçları, tesisin mevcut durumu ve senaryolar için çevresel etki kategorilerine göre incelenmiş ve karşılaştırmalar yapılmıştır. Sistemin elektrik ihtiyacını güneş paneli ve rüzgâr türbini enerjilerinden karşıladığında, pet preform ağırlığına göre hafif olanının seçilmesi durumunda çevresel performansının artacağı ve CO₂ emisyonlarının azaldığı görülmüştür. Geri dönüşüm senaryosunda ise elektrik kaynağının güneş panel veya rüzgâr türbin enerjisinden karşılanması ve tesis bünyesinde işletilmesi durumunda çevresel performansın arttığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Doğal Kaynak Suyu, Yaşam Döngüsü Analizi, Çevresel Etki Analizi, Sürdürülebilirlik, Çevresel Performans

Ocak 2023, 85 sayfa

ABSTRACT

MASTER THESIS LIFE CYCLE ANALYSIS OF PRODUCTION PROCESSES, END PRODUCTS AND WASTE IN NATURAL SPRING WATER BOTTLING PLANT

Burak YILDIRIM

Prof. Dr. Ergün YILDIZ

Purpose: This study aims to analyze and compare the environmental impacts of a natural resource water bottling plant currently operating in Erzurum, both in its current state and under various scenarios, in order to evaluate its environmental performance. The study utilized data collected from the factory to conduct a life cycle analysis.

Method: In this study, environmental inventory information was collected from the facility and using the CML 2001-Jan. 2016 environmental impact categorization methodology, the life cycle analysis software was used to calculate the facility's impact on global warming potential, abiotic depletion potential, acidification potential, eutrophication potential, ozone depletion potential and human toxicity potential, in terms of environmental effects, for both current state and various scenarios.

Findings: In this study, first of all, life cycle analysis was made for the current state of the system, then various scenarios were determined and life cycle analysis were compared in terms of impact analysis. The system boundary, which includes raw material purchase, transportation, production stages, use and waste scenarios, has been determined as cradle to grave. According to the evaluation, the impact categories Abiotic Fossil Depletion 2269,436 kWh, Acidification Potential 1.506 kg SO₂ equivalent, Eutrophication Potential 0.1124 kg Phosphate equivalent, Freshwater Aquatic Ecotoxicity Potential 1,377 kg DCB equivalent, Global Warming Potential 409,563 kg CO₂ equivalent, Human Toxicity Potential 23,365 kg DCB equivalent, Marine Aquatic Ecotoxicity Potential 42692.13 kg DCB equivalent, Ozone Layer Depletion Potential 3.73E-11 kg CFC-11 equivalent, Photochemical Ozone Creation Potential 0.1125 kg Ethylene equivalent, Terrestrial Ecotoxicity Potential 2,444 kg DCB equivalent were found.

Results: The study results were analyzed and comparisons were made according to the environmental impact categories for the current state of the facility and scenarios. It has been seen that when the system meets its electricity needs from solar panel and wind turbine energies, its environmental performance will increase and CO₂ emissions decrease if the lighter one is selected according to the weight of the pet preform. In the recycling scenario, it has been seen that environmental performance increases if the electricity source is met from solar panel or wind turbine energy and operated on site.

Keywords: Natural Resource Water, Life Cycle Analysis, Environmental Impact Analysis, Sustainability, Environmental Performance.

January 2023, 85 pages

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI	i
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
TABLolar DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ	xi
GİRİŞ	1
Çalışmanın Önemi	2
Çalışmanın Hedefi ve Kapsamı	5
KURAMSAL TEMELLER	6
Yaşam Döngüsü Kapsamında Yapılan Bazı Çalışmalar	6
Şişelenmiş Su Sektörünün Tarihçesi ve İstatistikleri	6
Yaşam Döngüsü Analizi	7
Yaşam Döngüsü Analizinin Metodolojisi	9
Yaşam Döngüsü Envanteri	13
Akış Şemasının Oluşturulması	14
Veri Toplama Planı Oluşturulması	14
Veri Toplama	14
Yaşam Döngüsü Etki Analizi	15
Yaşam Döngüsü Etki Analizinin Aşamaları	15
MATERYAL VE METOT	18
Tesis Tanıtımı	18
Yaşam Döngüsü Analiz Yazılımı GaBi 9.2'nin Tanıtımı	19
Yazılımın Kullanım Arayüzü	19

Yaşam Döngüsü Analiz Çalışması	24
Amaç ve Kapsam Belirlenmesi	24
Envanter Analizi	25
Etki Analizi	35
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	38
Tüm Projenin Çevresel Etkileri	38
Tesiste Her Kaynağın Ayrı Ayrı Çevresel Etkileri	38
Senaryolar	42
SONUÇLAR	68
KAYNAKÇA	70
ÖZGEÇMİŞ	72

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. YDA çalışmalarında sıklıkla kullanılan etki kategorileri (USEPA 2006).....	17
Tablo 2. Tesis Envanter Verileri.....	26
Tablo 3. Taşıma Faaliyetleri Envanter Verisi	27
Tablo 4. Projenin Tüm Çevresel Etkileri	38
Tablo 5. Sert Kapak Çevresel Etkileri	39
Tablo 6. Etiket, Plastik Ambalaj ve Streç Çevresel Etkileri	40
Tablo 7. Pet Preform Taşıyan Çevresel Etkileri	41
Tablo 8. Kapak, Etiket, Film ve Streç Taşıyan Tırların Çevresel Etkileri.....	41
Tablo 9. Şehir Şebekeli Sistem Harici Geri Dönüşüm Ünitesinin Çevresel Etkileri.....	60
Tablo 10. Şehir Şebekeli Sistem Dahili Geri Dönüşüm Ünitesinin Çevresel Etkileri.....	61
Tablo 11. Güneş Enerjili Sistemin Harici Geri Dönüşüm Ünitesinin Çevresel Etkileri.....	62
Tablo 12. Güneş Enerjili Sistemin Dahili Geri Dönüşüm Ünitesinin Çevresel Etkileri.....	62
Tablo 13. Rüzgâr Enerjili Sistem Harici Geri Dönüşüm Ünitesinin Çevresel Etkileri	63
Tablo 14. Rüzgâr Enerjili Sistemin Dahili Geri Dönüşüm Ünitesinin Çevresel Etkileri	63
Tablo 15. Sistemin Çevresel Etki Analiz Sonuçları ve Toplamı (Şehir Şebeke Enerjisi)	65
Tablo 16. Sistemin Çevresel Etki Analiz Sonuçları ve Toplamı (Güneş Panel Enerjisi)	66
Tablo 17. Sistemin Çevresel Etki Analiz Sonuçları ve Toplamı (Rüzgâr Türbin Enerjisi).....	67

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Genel Birim Prosesi (USEPA 2006)	14
Şekil 2. Tesis ve Kaynak	18
Şekil 3. GaBi Yazılımının Giriş Arayüzü	20
Şekil 4. Veri Tabanının Yazılıma Tanıtıldığı Bölüm	20
Şekil 5. Yeni Proje Oluşturulan Bölüm	21
Şekil 6. Yeni Proje Oluşturma Penceresi	21
Şekil 7. Plan Oluşturma Bölümü	22
Şekil 8. Proses Arama Bölümü	22
Şekil 9. Yeni Prosesin Türünü Seçme	23
Şekil 10. Yeni Prosesin Oluşturulacağı Pencere	23
Şekil 11. Yazılımda Senaryo Tanımlanan ve Analiz Sonuçlarının Alındığı Sekmeler.....	24
Şekil 12. Tesisin Su Kaynağı	27
Şekil 13. Suyun Tesise Girmeden Önce Dinlendirildiği Ham Su ve Arıtılmış Su Depoları.....	28
Şekil 14. Ultrafiltrasyon İşleminin Yapıldığı Sistem	28
Şekil 15. Ozonlama Tankı	29
Şekil 16. Hava Temizleyici ve Ozon Üretici	29
Şekil 17. Pet Preform Şişirme Makinesi	30
Şekil 18. Pet Şişe Dolum Makinesi	30
Şekil 19. Şişeleri Etiketleme Makinesi Giriş Bölümü.....	31
Şekil 20. Şişeleri Etiketleme Makinesi Çıkış Bölümü	31
Şekil 21. Şişelerin Paketleme Makinesine Girişi	32
Şekil 22. Şişelerin On İkili Sıralanıp Paketlendiği Bölüm.....	32
Şekil 23. Paketlenmiş Suların Isı Verilerek Kaplandığı Fırın	32
Şekil 24. Paketlenmiş ve Paletlenmiş Suların Streçle Sarıldığı Makine	33
Şekil 25. Tesisin Gabi Üzerinde Akış Şeması.....	34
Şekil 26. Abiyotik Fosil Kaynak Tüketimi [kWh]	42
Şekil 27. Asidifikasyon Potansiyeli [kg SO ₂ eş.]	42
Şekil 28. Ötrofikasyon Potansiyeli [kg Fosfat eş.]	43
Şekil 29. Tatlı Su Ekotoksitesitesi Potansiyeli [kg DCB eş.]	43
Şekil 30. Küresel Isınma Potansiyeli [kg CO ₂ eş.]	43
Şekil 31. İnsan Toksisitesi Potansiyeli [kg DCB eş.]	44
Şekil 32. Deniz Toksisitesi Potansiyeli [kg DCB eş.]	44
Şekil 33. Ozon Tabakasının Bozulma Potansiyeli [kg CFC-11 eş.]	44

Şekil 34. Fotokimyasal Ozon Üretimi Potansiyeli [kg Etilen eş.]	45
Şekil 35. Toprak Ekotoksitesitesi Potansiyeli [kg DCB eş.].....	45
Şekil 36. Abiyotik Fosil Kaynak Tüketimi [kWh]	47
Şekil 37. Asidifikasyon Potansiyeli [kg SO ₂ eş.]	47
Şekil 38. Ötrofikasyon Potansiyeli [kg Fosfat eş.].....	48
Şekil 39. Küresel Isınma Potansiyeli [kg CO ₂ eş.].....	48
Şekil 40. Tatlı Su Toksisitesi Potansiyeli [kg DCB eş.].....	49
Şekil 41. İnsan Toksisitesi Potansiyeli [kg DCB eş.].....	49
Şekil 42. Deniz Toksisitesi Potansiyeli [kg DCB eş.].....	50
Şekil 43. Ozon Tabakasının Bozulma Potansiyeli [kg CFC-11 eş.]	50
Şekil 44. Fotokimyasal Ozon Üretimi Potansiyeli [kg etilen eş.]	51
Şekil 44. Toprakta Ekotoksiste Potansiyeli [kg DCB eş.]	51
Şekil 45. Ürün Sevkiyat Araçları Abiyotik Fosil Kaynak Tüketimi [kWh].....	53
Şekil 46. Ürün Sevkiyat Araçları Asidifikasyon Potansiyeli [kg SO ₂ eş.].....	53
Şekil 47. Ürün Sevkiyat Araçları Ötrofikasyon Potansiyeli [kg Fosfat eş.]	54
Şekil 48. Ürün Sevkiyat Araçları Tatlı Su Ekotoksitesitesi Potansiyeli [kg DCB eş.]	54
Şekil 49. Ürün Sevkiyat Araçları Küresel Isınma Potansiyeli [kg CO ₂ eş.]	55
Şekil 50. Ürün Sevkiyat Araçları İnsan Toksisitesi Potansiyeli [kg DCB eş.]	55
Şekil 51. Ürün Sevkiyat Araçları Deniz Toksisitesi Potansiyeli [kg DCB eş.]	56
Şekil 52. Ürün Sevkiyat Araçları Ozon Tabakasının Bozulma Potansiyeli [kg CFC-11 eş.] ..	56
Şekil 53. Ürün Sevkiyat Araçları Fotokimyasal Ozon Üretimi Potansiyeli [kg Etilen eş.]	57
Şekil 54. Ürün Sevkiyat Araçları Toprakta Ekotoksiste Potansiyeli [kg DCB eş.]	57
Şekil 55. Tesisin Gabi Üzerinde Geri Dönüşümün Dahil Olduğu Akış Şeması	64

KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ

AP:	Asitlenme Potansiyeli
ADP:	Abiyotik Fosil Kaynak Tüketimi
CML:	Çevre Bilimleri Merkezi, Leiden Üniversitesi,
EP:	Ötrofikasyon Potansiyeli
ÖP:	Ötrofikasyon Potansiyeli
GaBi:	Ganzheitlichen Bilanzierung (Bütünsel dengeleme için Almanca)
GWP:	Küresel ısınma potansiyeli
KIP:	Küresel ısınma potansiyeli
ISO:	Uluslararası Standardizasyon Örgütü
LCA:	Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi
YDA:	Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi
YDE:	Yaşam Döngüsü Envanteri
LCIA:	Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi
YDEA:	Yaşam Döngüsü Etki Analizi
ODP:	Ozon Tabakasının İncelme Potansiyeli
OTP:	Ozon Tabakasının İncelme Potansiyeli
POCP:	Fotokimyasal Ozon Oluşturma Potansiyeli
FOÜP:	Fotokimyasal Ozon Üretme Potansiyeli
DCB:	1-4dikolorobenzen
HTP:	İnsan Toksisitesi Potansiyeli
İTP:	İnsan Toksisitesi Potansiyeli
DTP:	Deniz Toksisitesi Potansiyeli
MAETP:	Deniz Toksisitesi Potansiyeli
TSEP:	Tatlı Su Ekotoksisitesi Potansiyeli
FAETP:	Tatlı Su Ekotoksisitesi Potansiyeli
CFC:	Kloroflorokarbonlar

GİRİŞ

Çevre sorunları, küresel çapta giderek artan bir endişe kaynağı olmakta ve böyle de devam etmektedir. Bu sorunlar, dünya çapında iklim değişikliği ve çevre kirlenmesine neden olarak dünyayı, tüm canlılarını ve ekosistemlerini tehdit etmektedir. Dünyamızın bugün karşı karşıya olduğu beş ciddi çevre sorunundan bahsedildiğinde bunlar; küresel ısınma, asidifikasyon, ekotoksisite, ozon tabakasının incilmesi ve artan fosil kaynak tüketimidir

Küresel ısınma, atmosferdeki sera gazı konsantrasyonlarındaki artış ve bu sera gazlarının yayılması sonucu oluşan Dünya'nın ortalama yüzey sıcaklığındaki kademeli artıştan kaynaklanmaktadır. Bu gazlar, metan ve karbon dioksit gibi, Güneşten gelen ısıyı tutan ve gezegeni ısıtan gazlardır. Bu ısınma, deniz seviyelerinin yükselmesine, daha yoğun sıcak hava dalgalarına ve şiddetli hava olaylarına neden olmaktadır (Anonim-c 2020).

Toprak ve suyun asitlenmesi öncelikle hava kirliliğinin asitlere dönüşümü ile gerçekleşmektedir. Bu, yağmurun pH değerinin 5,6'dan 4 ve altına düşmesine neden olmaktadır. Bu pH düşüşüne sülfür dioksit, nitrojen oksit ve bunların ilgili asitleri (H_2SO_4 ve HNO_3) önemli katkılar sağlamaktadır. Böylece, ekosistemlere zarar verir ve en iyi bilinen etkisi ormanların yok olmasıdır. Asitlenmenin doğrudan ve dolaylı zararlı etkileri vardır (örneğin topraklardan besinlerin yıkanması veya topraklarda metallerin çözünabilirliğinin artması gibi). Ancak binalar ve bina malzemeleri de zarar görebilmektedir. Örnek olarak metaller ve doğal taşlar hızlı bir şekilde korozyona uğrar ve parçalanır (EC 2010).

Ekotoksisite, birçok kimyasal madde ya da madde gruplarının doğal ekosistemlerde canlıların sağlığını veya doğal dengelerini etkilemesi olayı olarak tanımlanmaktadır. Bu etkiler içerisinde canlıların büyüme ve gelişimi, üreme yetenekleri, beslenmeleri veya uyumları gibi birçok biyolojik fonksiyonlarının bozulması, popülasyonlarının azalması veya yok olması ve benzeri ekolojik etkiler de yer almaktadır. Ekotoksisite, birçok farklı kaynaktan ortaya çıkmaktadır. Bu kaynaklar; tarım, endüstriyel faaliyetler, enerji üretimi, atık depolama ve nükleer faaliyetler gibi antropojenik faaliyetlerdir. Ekotoksisite, üretimin, ürünlerinin, ürünlerinin kullanımının, kullanım sonrası bertaraf ve geri dönüşümlerinin kısa ve uzun vadede ekosistemlere vereceği zararların belirlenmesi açısından yaşam döngüsü analizleri için önemlidir (Guinée 2002).

Ozon tabakası, Dünya'yı çevreleyen ve Güneşin ultraviyole ışınlarını yansıtarak zararlı etkilerinden koruyan ince bir gaz tabakasıdır. Bu tabakanın incelmesi bazı kimyasalların, örneğin kloroflorokarbonların (CFC) ve benzeri gazların salınımı sonucu, daha fazla UV ışınımının yerkürenin yüzeyine ulaşmasına izin vermektedir. Bu insan toksisitesi açısından cilt kanserine ve diğer sağlık sorunlarına sebep olurken ayrıca iklim değişikliği ve hava kirliliği gibi önemli çevre sorunlarına da neden olmaktadır (Anonim-d 2019).

Fotokimyasal ozon üretimi, nitrojen oksitler ve uçucu organik bileşikler gibi maddelerin güneş ışığıyla etkileşimi sonucu atmosferin troposfer bölümünün altında gerçekleşen ozon oluşumunu ifade etmektedir. Stratosferdeki koruyucu etkisine rağmen troposfer seviyesindeki ozon, zararlı bir gaz olarak kabul edilmektedir. Ozonun yüksek konsantrasyonları insanlar için solunum sorunlarına ve daha yüksek konsantrasyonlarda ise insanlar için zehirli etkiye sahip olabilmektedir (Öztürk 2022).

Dünya, metaller ve yakıtlar gibi yenilenemeyen kaynakları sınırlı bir miktarda içermektedir. Van Oers vd. (2002), kaynak tükenmesini şöyle tarif etmektedirler: "Abiyotik kaynak tükenmesi, kaynakların kullanımının onların yenilenme hızının üzerinde olduğu için mevcut olan kaynakların kullanılabilirliğinin azalmasıdır." Burada hem yenilenen hem de yenilenemeyen kaynakların etkisi dikkate alınmaktadır. Madenler ve fosil yakıtların tükenmesi, yenilenemeyen kaynaklar kategorisinde yer alırken su, rüzgâr (abiyotik) ve ahşap (biyotik) gibi kaynakların çıkarılması yenilenebilir kaynaklar kategorisinde yer almaktadır (Van Oers vd. 2002).

Bu çalışmanın amacı, yaşam döngüsü analizi kullanarak belirli bir tesis üzerindeki bu beş ciddi sorunu belirlemek ve azaltmak için çeşitli senaryoların incelenmesi ve tartışılmasıdır.

Çalışmanın Önemi

Doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımı, literatürde çok sayıda kaynağın öncelikli olarak ele aldığı bir konu şeklinde karşımıza çıkmaktadır. Ancak çoğu sektörde hala yeterli ölçüde dikkate alınmadığı yapılan konu taramalarında görülmektedir. Su şişeleme sektörü de bu konuda hala dikkate alınmamış bir sektör olarak belirmektedir. Bu sebeple, su şişeleme tesislerinin yaşam döngüsü analizi yapılması önem arz etmektedir.

Yaşam döngüsü analizi (YDA), bir ürünün ya da hizmetin tüm hayat döngüsü boyunca oluşan çevresel etkilerinin incelenmesidir. YDA, ürün ya da hizmetin hammadde tedariki, üretim, dağıtım, kullanım ve atık yönetimi aşamalarını içermektedir. Bu aşamaların her biri için

oluşan çevresel etkiler değerlendirilir ve sonunda ürün ya da hizmetin tüm hayat döngüsü boyunca oluşan toplam çevresel etkiler belirlenmiş olur (Demirer 2011).

Doğal kaynak suyu şişeleme endüstrisi, dünyadaki milyonlarca insan için temiz ve güvenilir içme suyu erişimine kolaylık sağlamaktadır. Bununla birlikte, herhangi bir sanayi sektöründe olduğu gibi şişelenmiş suyun üretimi ve dağıtımı çevre üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Yaşam döngüsü analizi (YDA), hammaddelerin elde edilmesinden nihai ürünün elden çıkarılmasına ve o ürünün atık yönetimine kadar bir ürün veya hizmetin çevresel performansını değerlendirmek için kullanılabilecek güçlü bir araçtır. Yaşam döngüsü analizi doğal kaynak suyu şişeleme tesisinde su şişelerinin üretimi, taşınması ve bertarafı ile ilgili enerji tüketimi, sera gazı emisyonları, su kullanımı ve atık üretimi dahil olmak üzere endüstrinin çevresel performansının kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını sağlamaktadır. Bu bilgiler, endüstrinin en önemli çevresel etkilerini belirlemek ve iyileştirme alanlarını hedeflemek için çok önemlidir.

Yaşam döngüsü analizi ayrıca en verimli üretim süreçlerinin tanımlanmasına ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasına izin vermektedir. Ek olarak endüstrinin çevresel etkisini önemli ölçüde azaltabilecek geri dönüşüm ve atık yönetimi programlarının geliştirilmesine yardımcı olmaktadır. Ayrıca sürdürülebilirliğe ve kurumsal sosyal sorumluluğa olan bağlılıklarını göstermeye yardımcı olabileceğinden bir yaşam döngüsü analizi endüstriler için gerekli hale gelmektedir. Bu; tüketiciler, yatırımcılar ve diğer paydaşlarla güven oluşturma yanı sıra yönetmelikleri ve sertifikaları karşılamak için faydalı olmaktadır (Demirer 2011). Sonuç olarak bir doğal kaynak suyu şişeleme tesisinin yaşam döngüsü analizi, endüstrinin çevresel etkisini anlamada ve azaltmada hayati bir adım olmaktadır.

Ayrıca yaşam döngüsü analizi endüstrinin çevresel ayak izinin kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını sağlar ve en önemli çevresel etkilerin tanımlanmasına imkân tanımaktadır. Endüstrilerin, çevresel etkileri hakkında güncel bir görüşe sahip olmak ve yapılabilecek iyileştirmeleri belirlemek için YDA'yı düzenli olarak yürütmesi gerekmektedir. Doğal kaynak suyu şişeleme tesisleri için bir YDA yürütmek, veri toplama, veri analizi ve sonuçların yorumlanması dahil olmak üzere çeşitli aşamaları içermektedir.

Hammaddelerin elde edilmesi, ürün üretimi, nakliyesi ve bertarafı dahil olmak üzere ürün yaşam döngüsünün tüm yönleriyle ilgili bilgilerin toplanması açısından veri toplama aşaması kritiktir. Güvenilir sonuçlar elde etmek için bu bilgilerin doğru ve kapsamlı olması gerekmektedir. Veri analizi aşaması, ürünün yaşam döngüsünü modellemek ve her aşama ile ilişkili çevresel etkileri hesaplamak için özel yazılımların kullanılmasını da zorunlu kılmaktadır. YDA'nın sonuçları daha sonra çubuk ve şekil grafiği veya tablo gibi anlaşılması ve yorumlanması kolay bir biçimde sunulur.

Sonuçların yorumlanması, endüstrinin en önemli çevresel etkilerinin belirlenmesine izin verdiği için çok önemli bir aşamadır. Bu bilgiler daha sonra endüstrinin çevresel ayak izini azaltmaya yönelik stratejiler geliştirmek için kullanılmaktadır. Örneğin, YDA çevresel etkilerin çoğunun üretim aşamasıyla ilişkili olduğunu gösteriyorsa endüstri daha verimli üretim süreçlerinin uygulanmasına odaklanmalıdır. YDA'nın bir endüstrinin çevresel etkisine ilişkin değerli bilgiler sağlayabilecek güçlü bir araç olmasına rağmen sınırsız olmadığını belirtmek de faydalı olacağı belirtilmektedir. Bir YDA'nın sonuçları, yalnızca analizde kullanılan veriler kadar doğrudur ve metodolojinin karmaşıklığı sonuçların anlaşılmasını ve yorumlamasını zorlaştırabilmektedir. Sonuç olarak tesisinin YDA'sı, endüstrinin çevresel etkisini anlamada ve azaltmada kritik bir adım olmaktadır (USEPA 2006).

Ek olarak doğal kaynak suyu şişeleme endüstrisindeki şirketlerin yalnızca faaliyetlerinin çevresel etkilerini değil, aynı zamanda sosyal ve ekonomik etkilerini de dikkate almaları önemli görülmektedir. Bu, yerel topluluklar ve ekonomi üzerindeki etkiyi, suyun mevcudiyetini ve korunmasını ve sürdürülebilir kaynak sağlama uygulamalarını içermektedir.

Doğal kaynak suyu şişeleme endüstrisindeki şirketler, düzenli olarak YDA yürüterek ve faaliyetlerinin sosyal ve ekonomik etkilerini dikkate alarak genel sürdürülebilirliklerini ve kurumsal sorumluluklarını iyileştirmek için çalışabilmelidir. Bu, yalnızca endüstrinin çevresel etkisini azaltmaya yardımcı olmakla kalmaz aynı zamanda temiz ve güvenli içme suyuna erişimin sorumlu ve sürdürülebilir bir şekilde yapılmasını sağlamaya da yardımcı olmaktadır.

Su şişeleme tesislerinin yaşam döngüsü analizi, hammadde tedarikinden başlayarak su arıtma sürecinden, şişelerin üretimine, dağıtımına ve son olarak atık yönetimine kadar tüm aşamaları kapsamaktadır. Bu aşamalar için oluşan çevresel emisyonların belirlenmesi, su şişeleme tesislerinin çevresel etkilerini azaltmak için gerekli önlemlerin alınmasına yardım edecektir. Su şişeleme tesislerinin yaşam döngüsü analizi, sektörde sürdürülebilirlik ilkelerinin benimsenmesini sağlayabilecektir. Bu sayede sektör, çevresel etkilerini azaltmak için gerekli önlemleri alabilir ve böylece çevre ve insan sağlığına zararlı etkileri azaltma yolunda adım atabilir. Sektörde sürdürülebilirlik ilkelerinin benimsenmesine ve çevresel etkilerin azaltılabilmesine katkıda bulunması açısından bu çalışma son derece önemli olacaktır.

Çalışmanın Hedefi ve Kapsamı

Su şişelerinin üretimi ve dağıtımı çevreye ciddi bir etkiye sahip olmaktadır. Çeşitli endüstrilerin çevre performansı literatürde geniş bir şekilde yapılmıştır ancak doğal kaynak suyu şişeleme tesisinin Yaşam Döngüsü Analizi (YDA) henüz yapılmamıştır.

Bu çalışma halihazırda işleyen bir doğal kaynak suyu şişeleme fabrikasının çevreye etkilerinin önce mevcut duruma göre sonrasında ise çeşitli senaryolara göre analiz edip mevcut durum ve senaryo verilerinin karşılaştırılıp çevre performanslarını değerlendirmeyi hedeflemektedir.

Bu çalışmanın kapsamında Erzurum'da faal durumda olan bir doğal kaynak suyu şişeleme tesisinin yaşam döngüsü analizi ile çevresel emisyonlarının etkilerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın kapsamında ilgili veriler fabrikadan alınmış ve yaşam döngüsü analizi çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Sonraki bölümde çalışma konusu ile ilgili yapılan literatür tarama sonuçları sunulmuştur. Bu kısımda öncelikle şişelenmiş su sektörünün tarihçesi ve istatistikleri verilmiştir. Daha sonra çalışmada kullanılan temel yöntem olan yaşam döngüsü analizi ile ilgili genel bilgiler verilmiş ve fabrikanın tanıtımı yapılmıştır.

KURAMSAL TEMELLER

Yaşam Döngüsü Kapsamında Yapılan Bazı Çalışmalar

2008 yılında pet şişelerin yaşam döngüsü analizi için yapılan yüksek lisans tezinde petrol türevlerinden olan ve ambalajlı yiyecek ve içecek ürünlerinin satışı sürecinde kullanılan pet şişenin yaşam döngüsü değerlendirmesi çalışılmıştır. Çalışmada, 2006 yılında Türkiye'de pet şişe üretimi 176.000 ton olduğu ve bu üretim seviyesindeki doğal kaynak tüketimi hesaplandığında 6.800.000 ton ham petrol, 370 milyon m³ su ve 1135 GWh elektrik tüketildiği ortaya çıkmıştır. Bu üretimle meydana gelen emisyonlar hesaplandığında ise 431.000 ton hava kirleticisi, 3.800 ton atık su ve 8.000 ton katı atığın ortaya çıktığı belirtilmiştir (Doğan 2008).

2017 yılında yapılan çalışmada, Bursa Organize Sanayi Bölgesi içerisinde yer alan işletmelere gönderilen proses suyunun arıtma üniteleri ele alınmış ve Yaşam Döngüsü Analizi yöntemi ile çevresel değerlendirmesi yapılmıştır. 2012 ve 2016 yıllarında yapılan YDA çalışması, fiziksel arıtmanın düşük enerji tüketimi nedeniyle çevresel etkisinin en düşük olduğunu, biyolojik arıtma sisteminin iyonize radyasyonunun etki sınıfını doğrudan etkilediğini, ultrafiltrasyon sistemlerinde en büyük etkinin ozon incelmesi, tarımsal arazi kullanımı ve metal kayıpları üzerinde olduğunu, ters osmoz membran sistemlerinin diğer cihazlara kıyasla yüksek güç tüketimine sahip olduğu ve 2016 yılına göre fiziksel, biyolojik ve kimyasal arıtma ünitesinin çevresel etkilerinde azalma olduğunu göstermiştir (Ordu 2017).

2018 yılında bir çalışma, Türkiye'deki büyük ölçekli bir su arıtma tesisinin çevresel etkilerini değerlendirmeye yönelik yapılmıştır. Çevresel etkinin en önemli kaynağının elektrik kullanımı olduğu belirtilmiştir. Elektrik kullanımı bakımından Kağıthane Su Arıtma Tesisinin, Türkiye'deki ortalama enerji üretimi ile Avrupa'daki ortalama enerji üretimi arasında olası çevresel etki değerleri sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve Türkiye'de ortalama enerji üretiminden kaynaklanan küresel ısınma potansiyelinden daha yüksek ve diğer tüm etki kategorilerinde ise Avrupa'daki ortalama enerji üretiminden kaynaklanan küresel ısınma potansiyelinden daha yüksek olduğu ortaya konulmuştur (Akkurt 2018).

Şişelenmiş Su Sektörünün Tarihçesi ve İstatistikleri

19. yüzyılın ortasında Maine'de Ricker ailesi tarafından kurulan ve daha sonra Arkansas'ta Ozarka Spring Water Company tarafından devam ettirilen en eski modern su şişeleme şirketi, ABD'de kurulmuştur. Endüstri yavaş yavaş büyümüş ancak 20. yüzyılın

sonlarına doğru hızla gelişmeye başlamıştır. Şişeleme şirketleri, ürünlerini tanıtmak için 1950 yılında bir lobi grubu oluşturmuşlardır (Miller 2006).

Türkiye’de ise 1990’lı yıllardan itibaren özellikle büyükşehirlerde altyapı eksikliklerinden dolayı su sorunları ile karşı karşıya kalınmıştır. Bu sorunun kaynağı şebekeden yeterli suyun gelmemesi ve suyun sağlıklı olmasıdır. İstanbul’da sıklaşan su kesintileri nedeniyle belediyenin su istasyonları açmasına rağmen bu istasyonların denetlenmesinin güç olması nedeniyle 1997 yılında Sağlık Bakanlığı tarafından açık su satışı yasaklanmıştır ve ambalajlı su sektörünün faaliyetlerine başlamasına izin verilmiştir. Yasağın uygulanmasından sonra yasak öncesi kanallardan kayıtlı müşterilere damacana suyun ulaştırılması ve yaygınlaşması sağlanmıştır. Türkiye’nin 1997 senesinde tanıştığı bu şişelenmiş ürün; kullanımının kolay olması, ekonomikliği ve adrese teslim hizmetlerinin de veriliyor olması gibi sebeplerle pazarı çok büyütmüş durumdadır (Anonim-a 2023).

Sektörün istatistikî verileri şöyledir: 2020’de Türkiye’de su pazarı büyüklüğü önceki yıla göre %9,4’lük daralmayla 10,5 milyon metreküpe düşmüştür. Su tonaj olarak damacananın toplamının %56’sını, diğer ambalajlı suların ise %44’ünü oluşturmaktadır. 2020 yılında bu sektördeki ciro hemen hemen 7,4 milyar TL’ye ulaşmıştır. 2020 yılında TÜİK’e göre ihraç edilen şişelenmiş su 369.790 ton ve toplam ciro ise 51.361.783 dolardır. 2020’de yıllık kişi başına ortalama tüketimi 55 L PET & Cam, 71 L damacana olmak üzere toplam 126 L olarak gerçekleşmiştir. 2021 yılında su sektörünün genelinde genişlemenin gerçekleştiği görülmektedir. 2021 yılında Türkiye’de su pazarının hacmi %5,6’lık büyümeyle 11,1 milyon metreküp olmuş ve bu hacminin 6,2 milyonluk bölümü %4,1 büyümeyle damacana kanalından, 4,9 milyon metreküpü ise %7,5 büyümeyle diğer kanallardan gelmiştir. 2021 yılında sektördeki ciro yaklaşık 9,3 milyar TL olmuştur. 2021 yılında TÜİK’e göre ihraç edilen şişelenmiş su 385.453 ton ve toplam ciro ise 58.312.674 dolardır. 2021 yılında yıllık kişi başına ortalama tüketimi 58 L PET & Cam, 73 L damacana olmak üzere toplam 131 L olarak gerçekleşmiştir (Anonim b 2023).

Yaşam Döngüsü Analizi

Yaşam Döngüsü Analizi 1990’lı yılların başından bu yana karar verme süreçlerinde giderek daha çok başvurulan ve sürekli geliştirilen bir yöntemdir. Yaşam döngüsü analizi ürün sistemlerinin çevresel yönleri ve etkilerini analiz etmek için ISO 14040 ve 14044 uluslararası standartları tarafından tanımlanan bir yöntemdir. ISO 14040 (1997) uluslararası standardı giriş bölümünde yaşam döngüsü analizi şöyle açıklanmaktadır:

“YDA, hammadde alımından üretime, kullanıma ve imhaya kadar bir ürünün ömrü boyunca (yani beşikten mezara) çevresel boyutlarını ve potansiyel etkilerini inceler. Dikkate alınması gereken genel çevresel etki kategorileri, kaynak kullanımı, insan sağlığı ve ekolojik sonuçları içerir.”

YDA yaklaşımı, bir ürün veya hizmetin bütün yaşam döngülerini ve aralarındaki ilişkileri bütünsel olarak değerlendirmektedir. Bu sayede değerlendirilen ürün veya hizmetin "beşikten mezara" sürecinde oluşabilecek çeşitli çevresel etkileri kümülatif olarak sunulmaktadır. Yaşam döngüsü analizi yaklaşımı, alışlagelmiş çevresel etki değerlendirme araçlarının dikkate almadığı ham madde tedariki, nakliye ve nihai bertaraf gibi aşamaları da dikkate almaktadır. Yaşam döngüsü analizi, bir süreç veya ürünün yaşam döngüsü boyunca oluşabilecek olası çevre etkilerini kapsadığından değerlendirilen çevre etkilerini bütün boyutlarıyla yansıtmaktadır. Yaşam döngüsü analizi tarafından yapılabilecek kapsamlı değerlendirme, ilgili ürün veya süreçte yapılacak değişikliklerin çevresel etkisinin farklı senaryolar için karşılaştırmasını ve ilgili karar alma sürecine yansıtılmasını da sağlamaktadır (Klopffer 2014).

Yaşam döngüsü analiz metodolojisi, ürün veya hizmetin tedarik sürecini, kullanılacak olan enerji, su, diğer girdiler ve doğal kaynakların kullanımını ve kullanılırken ortaya çıkan çevresel emisyonların bir listesinin hazırlanmasını ve değerlendirmesini içermektedir. Yaşam döngüsü analizi metodolojisi dört aşamadan oluşur:

- **Hedef ve kapsam:** Araştırmanın hedefi, kapsamı, sınırları ve gelişim düzeyi tanımlanmaktadır.
- **Envanter analizi:** Bu adımda sistemdeki su, enerji, malzeme kullanımı ve ilgili çevre emisyonları belirlenmektedir.
- **Etki değerlendirmesi:** Envanter analiz basamağında belirlenen enerji, su, malzeme kullanımı ve çevre emisyonlarının insan sağlığı ve çevre değerleri üzerindeki potansiyel etkileri değerlendirilmektedir.
- **Yorumlama:** Envanter analizi ve etki analizi aşamaları sonuçları değerlendirilir ve mukayese edilenler arasından arzu edilen bir ürün, süreç veya hizmet seçilir. Bu seçimle ilgili kararlar ve belirsizlikler yaşam döngüsü analizinde açıkça belirtilmiştir.

Yaşam döngüsü analizi araştırması, yaşam döngüsünün aşamasına bağlı olarak beşikten mezara, beşikten kapıya, beşikten beşiğe ve kapıdan kapıya kategorize edilebilir.

- “Beşikten Mezara”, bir ürün veya sürecin tüm yaşam döngüsünü içine alan, hammadde temininden atık bertarafına kadar tüm süreçleri kapsayan analitik çalışmalar için kullanılan tanımdır.
- “Beşikten Kapıya” bir ürün veya sürecin hammadde tedarikinden fabrikadan ürün çıkışına kadar yaşam döngüsünün bir bölümünü kapsamaktadır.
- Beşikten mezara yaklaşımının son yaşam döngüsü olan ömrünün sonunda atıkların geri dönüştürülmesine gelince buna “Beşikten Beşiğe” yaklaşım denilmektedir.
- “Kapıdan Kapıya”, bir ürünün yaşam döngüsü veya sürecindeki tek bir aşamayı ele alan bir yaklaşımdır (Demirer 2011).

Yaşam Döngüsü Analizinin Metodolojisi

Amaç ve Kapsam Belirleme

Amaç ve kapsam, bir yaşam döngüsü analizinin ilk aşaması olup yapılacak işin amacını belirleme ve süreç boyunca oluşacak çevresel etkiler hakkında karar verme yöntemidir. Bu aşamada, karar verme sürecine katkı sağlaması beklenen bilgilerin türü, sonuçların doğruluğu, nasıl yorumlanması ve sunulması gerektiği gibi hususlara açıklık getirilerek sonuçların bu süreçte anlamlı ve yararlı olması sağlanmalıdır (Demirer 2011).

Amaç Tanımı ve Kapsam Belirlemenin Önemi

Yaşam döngüsü analizi süreci; bir süreç, ürün veya hizmetten oluşabilecek çevre etkilerini belirlemek için kullanılmaktadır. Bir yaşam döngüsü analizinin amacının ve kapsamının belirlenmesi, gereken zaman ve kaynakları gösterir, değerlendirme tamamlandığında sonuçların en anlamlı hale gelmesi için tüm analiz aşamalarına rehberlik etmektedir. Hedef tanımlama ve kapsam belirleme aşamalarında alınan her karar, işin nasıl yönetildiğini ve nihai sonucuyla ne kadar ilgili olduğunu etkilemektedir. Bir yaşam döngüsü değerlendirme çabasının başlangıcında alınan kararlar ve bu kararların yaşam döngüsü değerlendirme çabası üzerindeki etkisi bir sonraki bölümde tartışılmaktadır (USEPA 2006).

Proje Hedefi Belirlenmesi

Bir ürünün, sürecin veya hizmetin sahip olacağı küresel çevresel etkiyi belirlemek için yaşam döngüsü analizinin çok yönlü bir araç olduğundan yukarıda bahsedilmiştir. Çalışmaların temel amacı, insan sağlığı ve çevre üzerinde en az etkiye sahip olan bir ürün, süreç veya hizmetin seçilmesidir. Ayrıca yaşam döngüsü analizi çalışmaları, yeni ürün, süreç veya hizmetlerin geliştirilmesi için önemli bir rehber olabilmektedir. Projenin yapısına bağlı olarak yaşam döngüsü analizi gerçekleştirmenin başka amaçları olabilir. Diğer olası hedefler listelenmiştir (USEPA 2006).

Çevresel Değerlendirmeler İçin Destek Sağlanır: Yaşam döngüsü değerlendirmelerinin sonuçları, süreçlerin, ürünlerin veya hizmetlerin zaman içindeki çevresel yüklerini ve etkilerini anlamada önemli olmaktadır. Üretim esnasında veya diğer aşamalarda kullanılan alternatif süreçlerden veya malzemelerden kaynaklanan olumlu/olumsuz çevresel etkiler, yaşam döngüsü analizi yöntemleri kullanılarak nitel ve nicel bakımdan anlaşılabilmekte ve yönetilebilmektedir. Aynı amaca hizmet eden alternatif ürün, süreç ve hizmetlerle de benzer karşılaştırmalar yapılabilir.

Temel Bilgi Tanımı Oluşturulabilir: Yaşam döngüsü analizinin en mühim uygulamalarından biri, bir ürünün ya da ürün grubunun üretimi, kullanımı, geliştirilmesi ve bertaraf süreçleri hakkında bilinen veya planlanan bir uygulama için temel bilgilerin belirlenmesidir. Bu temel bilgiler, enerji ve kaynak gereksinimlerini ve bir ürün veya sürecin potansiyel çevresel etkisini içerebilmektedir. Kıyaslama bilgileri, mevcut süreçleri iyileştirmek ve/veya karşılaştırmak için bir temel olarak kullanılabilir.

Bir Sistemdeki Her Adımın Katkısı Ayrı Ayrı Belirlenebilir: Bir yaşam döngüsü analizinin sonuçları, sistemdeki her adımın ayrı ayrı katkısı veya etkisi hakkında ayrıntılı veriler sağlamaktadır. Bu veriler, hangi adımların en fazla enerji veya kaynağı gerektirdiğini veya hangi adımların en fazla kirliliği ürettiğini göstererek geliştirme/iyileştirme araştırmalarına rehberlik etmektedir. Bu, özellikle kirliliğin önlenmesi, doğal kaynakların korunması ve endüstriyel verimliliğin artırılması gibi araştırmalarda karar vericileri bilgilendirmek için önem arz etmektedir.

Veri Boşluğu Tespiti: Belirli bir sistem için gerçekleştirilen yaşam döngüsü analizinin işlevi, hangi işlemlerde eksiklik olduğunu veya verilerin gerekli kalitede olup olmadığını gösterebilmektedir.

Mevzuat Desteği: Yaşam döngüsü analizi, politika yapıcılarının mevzuat tasarlarken ve politika oluştururken ilgili çevresel hususları dikkate almaları için bir çerçeve sağlamaktadır.

Ürün Belgelendirme Desteği: Ürün belgelendirme, genellikle sınırlı bir standartlar dizisine göre geliştirilmektedir. Bununla birlikte, uygun etki değerlendirme yöntemleri kullanıldığında, YDA birkaç ürünün ayrı ayrı veya birkaç kriterle ilişkili olmasına izin vermektedir.

Karar Vericilere Bilgi ve Eğitim Desteği: Yaşam döngüsü değerlendirmeleri, endüstri, hükümet ve tüketici taraflarına alternatif süreçler, malzemeler ve ürünler hakkında bilgi sağlamaktadır. Bu bilgiler ilgili karar alma süreçlerine yansıtılır ve daha fazla çevre dostu üretim ve tüketim politikalarının oluşturulmasına yardımcı olmaktadır.

Ürün ve Süreç Geliştirme: Yaşam döngüsü analizi, üreticilere kaynak gereklilikleri ve emisyonları azaltmak için yeni ürünleri, süreçleri ve faaliyetleri nasıl geliştirecekleri konusunda rehberlik edebilmektedir (USEPA 2006).

Çalışmanın Kapsamının Tanımı

Yaşam döngüsü analizi genellikle bir ürün veya sürecin yaşam döngüsünün şu aşamalarını kapsamaktadır:

- Hammaddeler ve teminleri,
- Üretim,
- Kullanım, tekrar kullanım, onarım
- Geri Dönüşüm ve atık yönetim planları

Bir yaşam döngüsü değerlendirme çalışmasına dahil edilecek adımlar belirlenirken çalışmanın amacı, sonuçların gerekli titizliği ve zamanlaması ve mevcut kaynaklar göz önünde bulundurulmalıdır (Demirer 2011).

Hammaddeler ve Teminleri

Ürün yaşam döngüsü, üretim için hammadde ve enerji temini ile başlar. Yenilenemeyen doğal kaynakların çıkarılması, ham madde tedarikinin örneğidir. Bu malzemelerin teslim noktasından işlenme noktasına kadar taşınmasını da içerecek şekilde bu aşamaya dahil edilebilir veya ayrı bir yaşam döngüsü olarak değerlendirilebilir.

Üretim

Üretim aşamasında, ürün veya ambalaj için hammadde temin edilmektedir. Ürün veya paket daha sonra tüketiciye teslim edilmektedir. Üretim aşaması üç farklı alt aşamadan oluşmaktadır: malzeme imalatı, ürün üretimi ve paketlenme/istifleme/dağıtım

Malzemelerin imalatı, ham maddeleri işlenmiş ürünlere dönüştüren faaliyetleri içermektedir. Ürün imalatı, bir ürünün üretildiği ve ambalaj veya paketlenme için hazırlandığı aşamadır. Ürünün paketlenmesi ve dağıtımını için gerekli tüm imalat ve nakliye faaliyetlerini içermektedir. Ürün perakende satış noktalarına veya doğrudan tüketicilere sevk edilmektedir. Kamyon veya gemi gibi ulaşımın çevresel etkisi de bu adımda dikkate alınabilmektedir.

Kullanım / Yeniden Kullanım / Bakım

Bu aşama, ürünün tüketici tarafından kullanıldığı, yeniden kullanıldığı ve geri dönüşümünün yapıldığı aşamaları içermektedir. Ürün tüketiciye ulaştıktan sonra kullanımı ile ilgili tüm faaliyetler bu aşamada yer almaktadır. Bunlar, ürün depolama ve tüketimi ile atık ve emisyonlarla ilişkili enerji gereksinimlerini içermektedir. Ürünü çalışır durumda tutmak için bakım, onarım veya servis gerekli olabilmektedir. Tüketiciler ürüne ihtiyaç duymadığında, geri dönüştürülür veya imha edilmektedir. Geri dönüşüm/atık yönetimi aşaması, ürün veya malzemenin kullanımından sonra oluşan enerji gereksinimlerini ve atık/emisyonları içermektedir.

Ürün, paketlenme veya başka herhangi bir aşama, bu yaşam döngüsü aşamalarından yalnızca birine atanabilmelidir. Her adım veya süreç, genel ürün sisteminin bir alt adımı olarak düşünülmelidir. Her adımı bir alt adım olarak düşünmek, sistem genelinde hazırlık kontrol listesi için veri sunmayı kolaylaştıracaktır. Alt faz sınırları, yaşam döngüsü envanter seviyesindeki yaşam döngüsü faz kategorileri olarak tanımlanır. Sistem sınırları belirlenirken çalışmanın sonucunu etkileyebilecek tüm adımların dahil edilmesi önemli olmakla birlikte, çalışmanın amaç ve kapsamı açısından gereksiz görülen diğer adımlar çalışmaya dahil edilmeyebilir.

Geri dönüşüm ve Atık Yönetimi

Geri dönüşüm ve atık yönetimi aşaması, ürün veya ham maddenin kullanımının sona ermesinden sonra oluşan enerji talebini ve emisyonlarını içermektedir.

Üretim, paketlenme veya diğer aşamalar, bu yaşam döngüsü aşamalarından yalnızca birinde sınıflandırılabilir. Her aşama veya süreç, genel üretim sisteminin bir alt aşaması olarak kabul edilebilir. Her adımı bir alt adım olarak görüntülemek, sistem genelindeki envanter için bilgi sağlamayı kolaylaştırmaktadır (Demirer 2011).

Yaşam Döngüsü Envanteri

Yaşam döngüsü envanteri, bir ürün veya faaliyetin hayatı boyunca hammadde, enerji, atıklar gibi girdileri ve çevresel etkilerini (örneğin, hava ve su kirliliği) ölçen ve analiz eden bir süreçtir. Bu süreç, ürün veya faaliyetin tüm yaşam döngüsü boyunca çevresel etkilerini belirlemek için kullanılmaktadır.

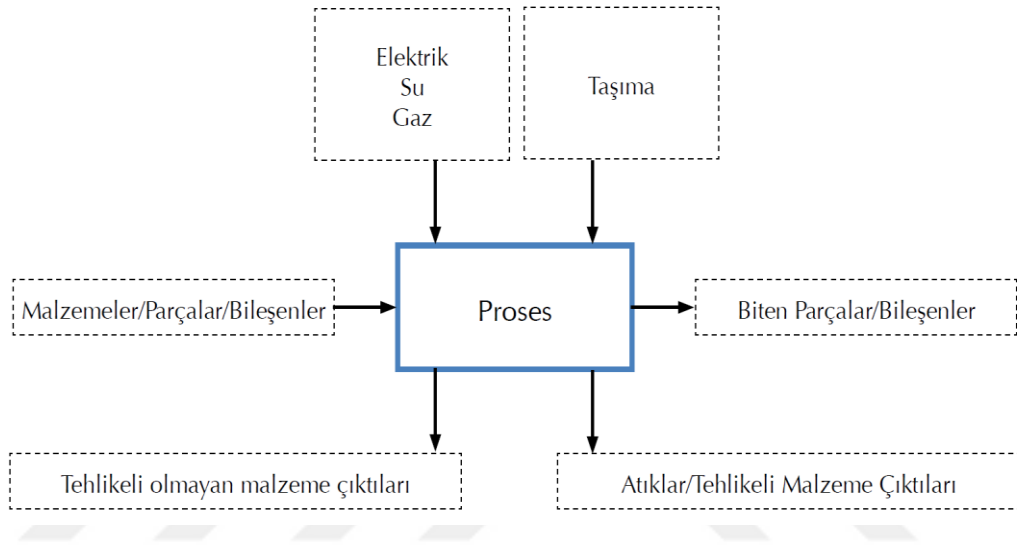
Yaşam döngüsü analizinin envanter aşamasında ilgili tüm bilgiler toplanır ve düzenlenir. Yaşam döngüsü envanteri olmadan karşılaştırılabilir çevresel etkileri veya bunların potansiyel değişikliklerini belirlemek mümkün olmayacaktır. Toplanan bilgilerin gizliliği ve doğruluk düzeyi, yaşam döngüsü analizi çalışmasının diğer etaplarının doğruluğunu ve sonuçlarını doğrudan etkilemektedir. Yaşam döngüsü envanterinin analizleri birkaç farklı şekilde kullanılabilir. Örnekler arasında ürün veya süreçlerin mukayese edilmesi ve malzeme seçiminde çevresel faktörlerin dikkate alınması yer almaktadır. Ek olarak envanter analizleri, hükümetlerin kaynak kullanımını ve çevresel emisyonlarla ilgili politikalarının oluşumuna ve mevzuat geliştirilmesine yardımcı olmaktadır. Envanter analizi sonucunda, tüketilen enerji ve malzeme ile çevreye salınan kirleticileri içeren bir liste yapılmalıdır. Bu liste yaşam döngüsü aşamasına, ortama veya sürece göre kategorize edilmelidir (USEPA 2006).

Yaşam döngüsü envanterinin üç adımı vardır:

- Değerlendirilecek sürecin akış diyagramı
- Veri toplama planının geliştirilmesi
- Veri toplama

Akış Şemasının Oluşturulması

Bir akış şeması, bir sürecin veya sistemin girdilerini ve çıktılarını gösteren bir şemadır. Sistem ya da sistem sınırları, her YDA çalışması için farklıdır. YDEA çalışmalarının sınırları, amaç ve uygulama aşamalarında belirlenmelidir. Bu sınır, akış şemasında sistem sınırları olarak kullanılmaktadır. Sistem içindeki süreçler de değerlendirilir ve aralarındaki ilişkiler analiz edilerek sistem için gerekli tüm girdi ve çıktıların bir yaşam döngüsü resmi elde edilmektedir. Belirli bir sistem sınırı içindeki çeşitli süreçlerin örnek bir akış diyagramı Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Genel Birim Prosesi (USEPA 2006)

Veri Toplama Planı Oluşturulması

Yaşam döngüsünün değerlendirmesi için gereken bilginin niteliği ve miktarı amaç ve kapsam aşamasında belirlenmelidir. Yaşam döngüsü değerlendirmesi için veri toplamaya başlamadan önce bir veri toplama planı oluşturmak, verilerin istenen düzeyde kaliteli ve doğruluğunun beklentileri karşılamasını sağlamaktadır.

Veri Toplama

Veri toplama aşaması araştırma, tesis ziyaretleri veya uzmanlar ile yapılan doğrudan görüşmelerin bir bileşiminden oluşabilir veya mevcut ticari bir yaşam döngüsü analizi yazılım paketi alınabilmektedir. Ancak veri kalitesi ve yerel/bölgesel koşullar dikkate alınmalıdır. Alternatif olarak veri toplamada gereken zaman ve kaynakları azaltmak için yöreye özgü olmayan veriler kullanılabilir. Ancak bu tür verilerin kaynağı ve varsayımları

bilinmemektedir, bu da şeffaflığı tehlikeye atabilmektedir. Yaşam döngüsü analizi çalışmasında çıktılar kamu ile paylaşılacaksa bu yöntem uygun olmayabilir.

Yaşam Döngüsü Etki Analizi

Yaşam Döngüsü Etki Analizi (YDEA) aşamasında, olası çevresel salınımların insan sağlığı ve çevre üzerindeki etkileri incelenmektedir. Bu analiz, insan sağlığı ve çevre dahil olmak üzere doğal kaynakların tüketimini de kapsamaktadır. YDEA, ürün/proses ve olası çevresel etkiler arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır. Eğer bir proses veya ürün sera gazları emisyonları yayıyorsa, atmosfer dahilindeki sera gazlarının artışı küresel ısınmaya neden olmaktadır. Eğer bir ürün veya proses doğal bir sucul ortama yüksek düzeyde besiyer madde deşarj ediyorsa bu sucul ortamda ötrofikasyona neden olmaktadır. YDEA, bu tür çevresel etkilerin sınıflandırılması ve kategorize edilmesi için sistematik bir yöntem sunmaktadır. Yaşam Döngüsü Etki Analizi aşamasında toplanan veriler kullanılarak, bir proses hakkında çok sayıda bilgi elde edilmektedir. Bu analizde, bilimsel karakterizasyon faktörleri kullanılarak farklı emisyonları içeren ve farklı çevre sorunlarına etki eden faaliyetler karşılaştırılabilmektedir (Klöpffer 2014).

Yaşam Döngüsü Etki Analizinin Aşamaları

- Etki kategorizasyonun belirlenmesi ve tanımlanması – İlgili çevresel etkilerin kategorilerinin tanımlanması (örneğin, küresel ısınma, asidifikasyon, karasal zehirlilik vb.)
- Sınıflandırma – YDE sonuçlarının etki kategorizasyonları ile eşleştirilmesi (örneğin, tüm CO₂ emisyonlarını, küresel ısınmaya katkılarını gösterecek şekilde sınıflandırma)
- Modelleme – Bilimsel karakterizasyon faktörleri kullanılarak her bir etki kategorizasyonunun modellenmesi (örneğin, karbondioksitin ve metanın küresel ısınmaya olası etkilerinin modellenmesi)
- Normalizasyon: Karşılaştırılabilir potansiyel etkileri açıklamak (örneğin, CO₂ ve CH₄ küresel ısınmaya olan etkilerini karşılaştırmak)
- Gruplandırma – Göstergelerin sınıflandırılması ve sıralanışı (örneğin, göstergelerin yerel, bölgesel ve küresel bazda sınıflandırılması)
- Ağırlıklandırma – En önemli potansiyel etkilerin vurgulanması

- YDEA sonuçlarının değerlendirilmesi ve raporlanması

ISO (Uluslararası Standardizasyon Örgütü), Yaşam Döngüsü Etki Analizi ISO 14002 (1998) adlı bir etki analizi standardı geliştirmiştir. Böylece, YDEA'nın ilk üç zorunlu adımı şu şekilde açıklanmaktadır: etki kategorisinin seçimi, sınıflandırma ve karakterizasyon. ISO standardında bu üçünün dışında veri değerlendirme adımı (adım 7) zorunlu olup diğer adımlar isteğe bağlı bırakılmıştır. Etki kategorileri insan sağlığı, çevresel emisyonlar ve doğal kaynakların tükenmesi olarak tanımlanabilir. Sınıflandırmanın amacı YDE sonuçlarını organize etmek ve ilgili etki kategorileri ile eşleştirmektir. Bu aşamalar veri toplama sürecinden sonra tekrar gözden geçirilir. Tablo 1’de sıklıkla kullanılan etki kategorileri verilmiştir.

Tablo 1. YDA çalışmalarında sıklıkla kullanılan etki kategorileri (USEPA 2006)

Etki Kategorisi Ölçek	Ölçek	YDE Veri Örnekleri	Genel Olası Karakterizasyon Faktörü	Karakterizasyon Faktörünün Açıklaması
Küresel Isınma	Küresel	CO ₂ , NO ₂ , CH ₄ CFS _c HFCF _s Metilbromid (CH ₃ Br)	Küresel ısınma potansiyelleri	Yaşam döngüsü envanter verisini karbondioksit eşdeğerine dönüştürülür. Not: Küresel ısınma potansiyelleri 50,100 veya 500 yıl olabilir
Stratosferik Ozon Tüketimi	Küresel	CFS _c HFCF _s Halonlar Metilbromid (CH ₃ Br)	Ozon tüketimi potansiyeli	Yaşam döngüsü envanter verisini trikloroflorometana (CFC-11) eşdeğerlerine dönüştürülür.
Asidifikasyon	Bölgesel Lokal	SO _x , NO _x Hidroklorik asit (HCL) Hidroflorik asitler (HF) Amonyak (NH ₄)	Asidifikasyon potansiyeli	Yaşam döngüsü envanter verisini hidrojen iyonu eşdeğerlerine dönüştürülür.
Ötrofikasyon	Lokal	Fosfat (PO ₄) Nitrojenoksit (NO) Nitrojendioksit (NO ₄) Nitratlar Amonyak (NH ₄)	Ötrofikasyon potansiyeli	Yaşam döngüsü envanter verisini fosfat eşdeğerlerine dönüştürülür
Fotokimyasal Ozon Üretimi	Lokal	Metan harici hidrokarbon (NMHC)	Fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli	Yaşam döngüsü envanter verisini metan eşdeğerlerine çevirir.
Karasal Zehirlilik Potansiyeli	Lokal	Zehirli kimyasallar	Karasal zehirlilik oluşturulma potansiyeli	Açığa çıkarma ve multimedya modelleme kullanır
Su Zehirliliği	Lokal	Zehirli kimyasallar	Su zehirliliği oluşturma potansiyeli	Açığa çıkarma ve multimedya modelleme kullanır
İnsan Sağlığı	Küresel Bölgesel Lokal	Havaya, suya ve toprağa yapılan toplam salımlar	İnsan sağlığı açısından tehlike oluşturma potansiyeli	Açığa çıkarma ve multimedya modelleme kullanır
Kaynak Tüketimi	Küresel Bölgesel Lokal	Kullanılan mineral miktarı Kullanılan fosil yakıt miktarı	Kaynak tüketimi potansiyeli	Açığa çıkarma ve multimedya modelleme kullanır
Su Kullanımı	Bölgesel Lokal	Su kullanımı ya da tüketimi	Su kıtlığı potansiyeli	Açığa çıkarma ve multimedya modelleme kullanır

YDEA sonuçlarının değerlendirilmesi ve raporlandırılması aşamasında seçilen her kategori için hesaplanan etki potansiyellerinin doğruluğu kanıtlanır. Verilerin doğruluğu ve hassasiyeti, YDEA çalışmasının amacı ve kapsamı bölümüne uyumlu olmak zorundadır. Raporlama sırasında analizlerde kullanılan metotlar detaylı olarak belirtilmeli, çalışılan sistem sınırlarıyla birlikte tarif edilmeli ve kullanılan tüm varsayımlar bildirilmelidir (USEPA 2006).

MATERYAL VE METOT

Bu bölümde çalışma konusu olan tesis ve o tesise yapılmış olan yaşam döngüsü analizinin yapıldığı yazılım tanıtılacak olup ayrıca yaşam döngüsü analizinin tesise uygulanışı anlatılmıştır.

Tesis Tanıtımı

Tesis Erzurum- Artvin Karayolu 32. kilometresinde olup Yakutiye ilçesine bağlı Karagöbek Mahallesi yakınında konumlanmıştır. Tesis toplam 8000 metre kareye sahip olup üretim yapılan fabrikanın alanı ise 4500 metrekaredir. Su kaynağı ise tesise yaklaşık 500 metre uzakta olup tesisin kuzeyinde kalmaktadır.



Şekil 2. Tesis ve Kaynak

Tesis 0,5 L, 1,5 L, 5 L ve 19 L şişelenmiş su üretimi yapan ham maddeye erişimi ve ürünlerinin dağıtımına kadar kendi yapmakta olan bir işletmedir. Tesisin doğal kaynak suyu debisi 5 L/s'dir ve kaynak yerin yaklaşık 1 metre altından çıkıp cazibe ile tesise ulaşmaktadır. Su tesise girmeden torba filtreden ve ultra filtre sisteminden geçirilmekte tesise girdiğinde ise kartuş filtreden geçmektedir. Su tesis içerisinde pompalar vasıtasıyla iletilerek üretim için dolum makinelerine gelmektedir. Tesis 0,5 L ve 1,5 L aynı üretim bandında çıkmakta ve ihtiyaca göre değişimli üretim yapmaktadır. Yine 5 L ve 19 L üretim bantları ihtiyaca göre

alıştırılmakta bir ay içerisinde sürekli çalıştırılan üretim bandı 0,5/1,5 L bandı olmaktadır. Tesis bir üretim bandında pet preformların şişirilme makineleri, dolum makineleri, etiketleme makineleri, koli haline getirildikleri paketleme makineleri, paletleri ince plastik ambalajla kaplayan kaplama makineleri ve bunların arasında üretilen suların iletimini sağlayan taşıma bantlarından oluşmaktadır. Tesisin şeması yaşam döngüsü analizinin yapıldığı yazılımdan örnekle ilerleyen bölümlerde gösterilmiştir.

Yaşam Döngüsü Analiz Yazılımı GaBi 9.2'nin Tanıtımı

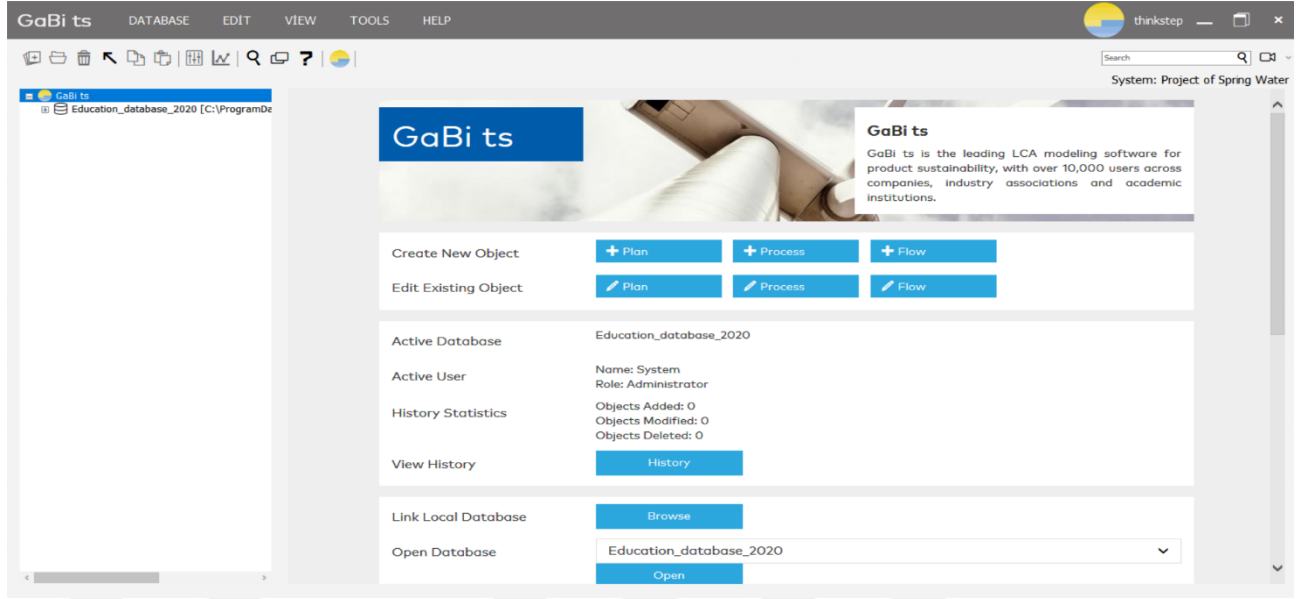
Söz konusu tesisin yaşam döngüsü analizi Amerika Birleşik Devletleri'nin Illinois eyaletinin Chicago ili 130 E. Randolph St., Suite 2900 adresli Sphera Solutions (GaBi 9.2 2022) yazılım şirketinin bir ürün veya hizmetin çevresel etkisini analiz etmek ve raporlamak için kullanılan yazılımı olan GaBi 9.2 yazılımının eğitim sürümü kullanılarak yapılmıştır. Programın eğitim lisansı için Sphera Solutions yazılım şirketiyle görüşüldü ve programın bilimsel amaçlarla kullanılacağı ifade edilerek lisansı alınıp çalışmada kullanılmıştır.

Program; retim, kullanım ve atık yönetimi süreçlerinin çevresel etkisini analiz etmek için bir Yaşam Döngüsü Analizi (YDA) programıdır. GaBi, kullanıcılara ürün ve hizmetlerin çevresel etkilerini belirlemek, karşılaştırmak ve azaltmak için gereken verileri sağlamaktadır. Ayrıca yazılım, üretim kararlarının çevresel etkilerini değerlendirmek, ürünler için evre etiketleri oluştırmak ve çevresel raporlar hazırlamak için kullanılabilir.

Yazılımın Kullanım Arayüzü

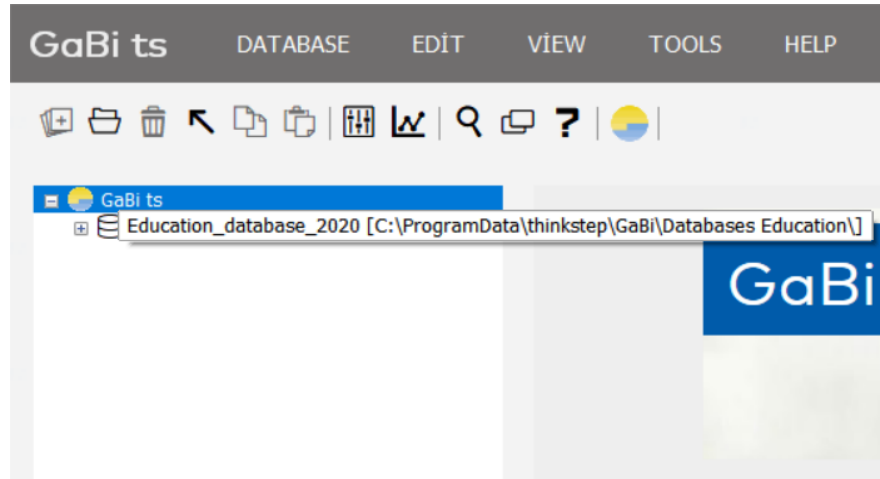
GaBi yazılımı çeşitli veri tabanlarını bünyesinde toplayarak analiz yapabilen ve yazılımın sahip olunan sürümüne göre de bu veri tabanlarının farklılık gösterdiği bir yaşam döngüsü analiz yazılımıdır. Veri tabanlarını kullanarak hem envanter analizini hem de etki analizini yapabilen ve sonuçları tablo veya grafik olarak da aktarabilen bir yazılımdır.

Yazılıma ilk girişte veri tabanının tanıtıldığı Şekil 3'teki arayüzle karşılaşırız.



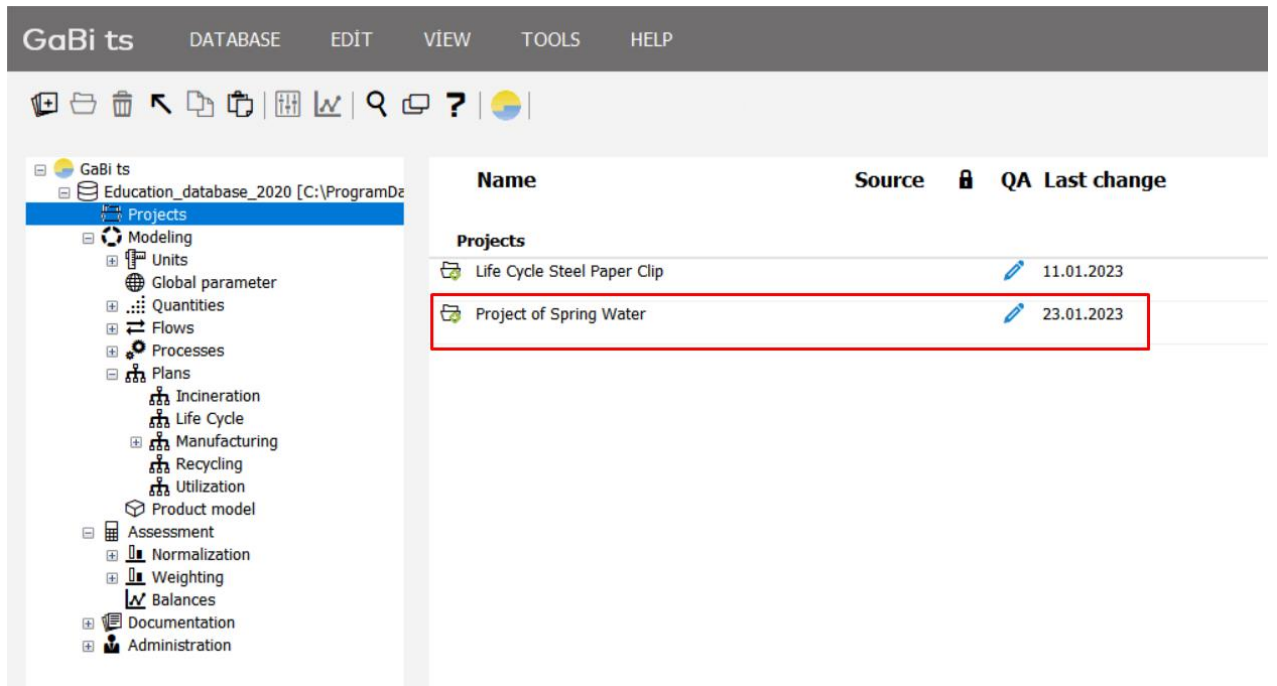
Şekil 3. GaBi Yazılımının Giriş Arayüzü

Burada Şekil 4'te görüldüğü üzere educational database yani eğitim için olan veri tabanını yazılıma tanıtılmaktadır. Bu veri tabanı 1 yıllık olup Sphera Solutions tarafından bilimsel amaçlar için kullanılacağı, ticari amaç güdülmeyeceği kanıtlanmak koşuluyla ücretsiz sağlanmaktadır.



Şekil 4. Veri Tabanının Yazılıma Tanıtıldığı Bölüm

Daha sonra Şekil 5'te görüldüğü gibi veri tabanının içerisine girilerek burada yaşam döngüsü analizi yapılacak olan proje oluşturulmaktadır.



Şekil 5. Yeni Proje Oluşturulan Bölüm

Bu bölümde yeni proje oluşturabilmek için “GaBi ts” yazısının altındaki sekmelerde bulunan kağıtlar içerisinde + işareti ile simgelenmiş olan sekmeye tıklanabileceği gibi, görünen boş alana sağ tıklanıp New Project yani Yeni Proje seçeneği seçilerek oluşturulabilmektedir.

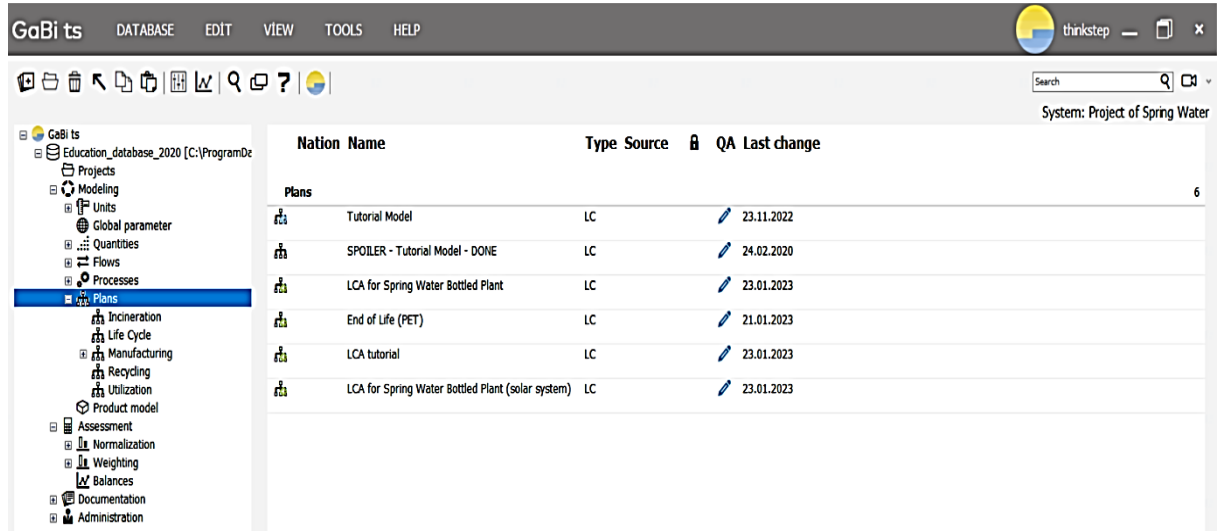


Şekil 6. Yeni Proje Oluşturma Penceresi

Yeni proje oluşturma seçeneğine basılınca Şekil 6'daki pencere açılmaktadır. Burada sadece New yazan yazı kutusuna proje adı girilir ve yanındaki butondan proje aktif edilip bu

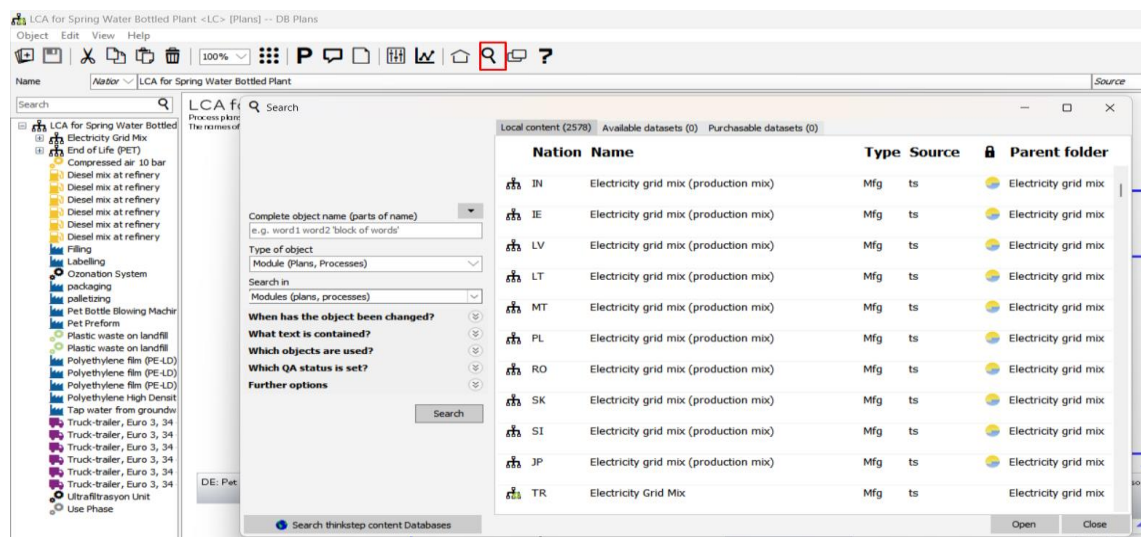
pencere kapatılmaktadır. Artık program içerisinde yapılacak veya oluşturulacak her proses ya da ürün bu proje içerisinde tutulacak olup böylelikle aynı program içerisinde birden fazla yaşam döngüsü analizi yapılabilmekte ve hiçbir proje diğerleriyle karışmamaktadır.

Bu işlemden sonra yeni planlar ve plan içerisinde prosesler oluşturmak için Şekil 7’de görülen plan sekmesine gidilmekte ve aynı proje oluşturur gibi bu sekme içerisinde yeni plan oluşturulmaktadır.



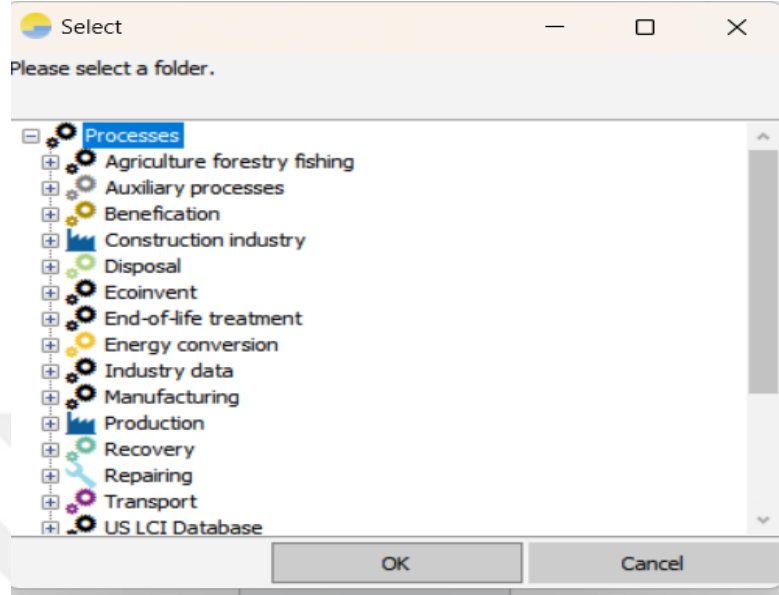
Şekil 7. Plan Oluşturma Bölümü

Daha sonra oluşturulan bu planın içerisine çift tıklanarak girilip burada var olan prosesler sürükleyip bırak yöntemi ile Şekil 8’de görülen arama penceresi içerisinde sisteme konulmaktadır.



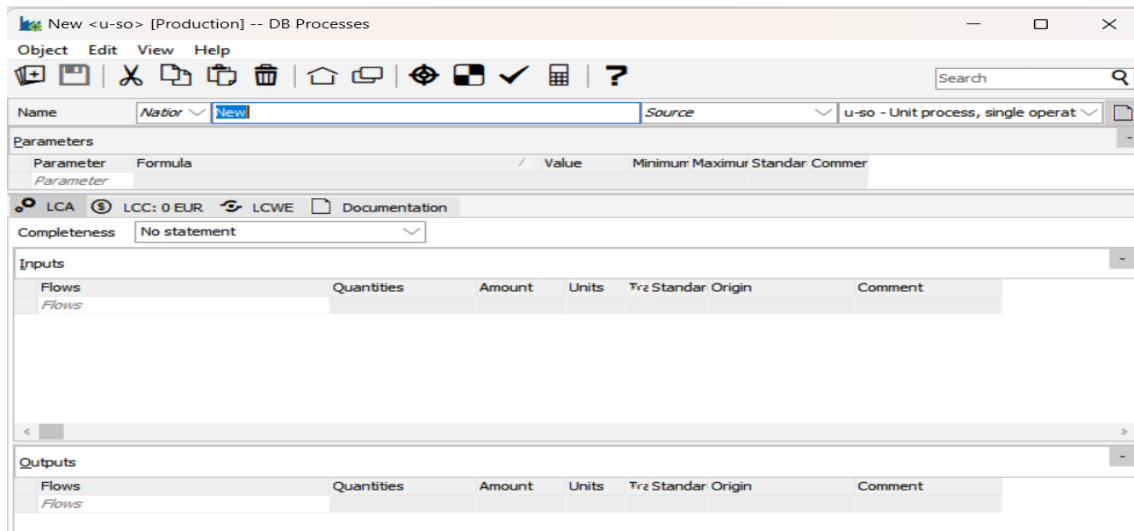
Şekil 8. Proses Arama Bölümü

Yazılım dahilinde çok fazla proses tanımlanmış olsa da dünyadaki her proses sistem içerisinde bulunmamaktadır. Bu durumda yeni proses, yeni plan ekler gibi sağ tıklanarak eklenebilmektedir. Yeni proses oluşturma sekmesine tıklanınca Şekil 9'daki pencere gelmektedir.



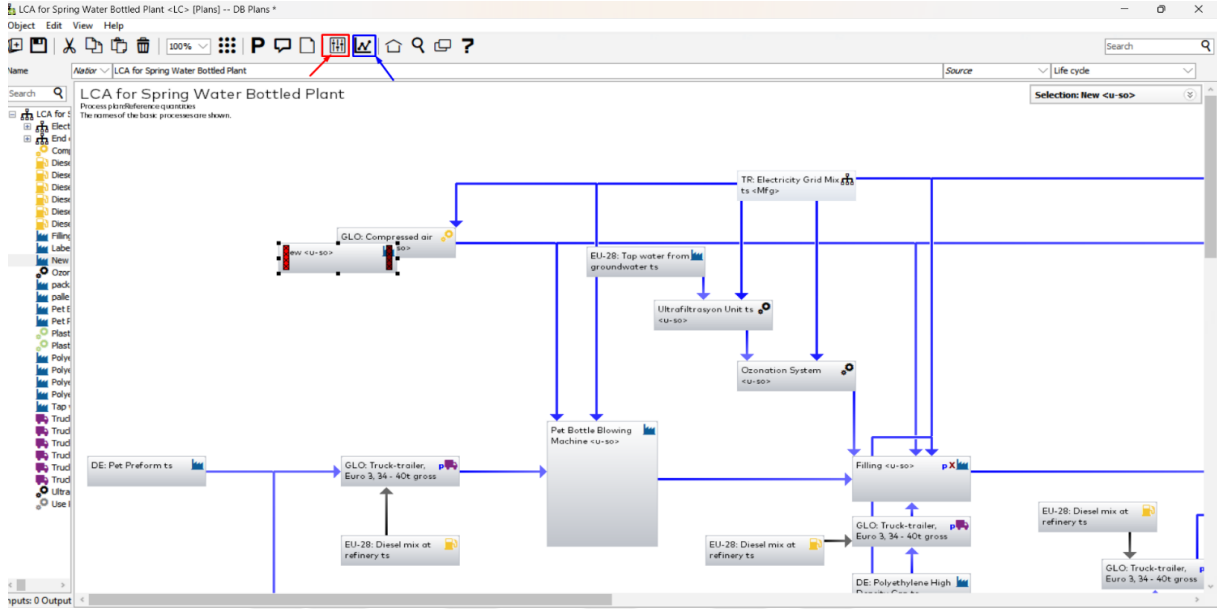
Şekil 9. Yeni Prosesin Türünü Seçme

Şekil 9'daki pencerede oluşturulacak prosesin ne tür bir proses olduğunun seçilmesi istenmektedir. Örneğin production sekmesi üretim yapan bir proses oluştururken, transport sekmesi taşıma alanında bir proses oluşturmaya izin vermektedir.



Şekil 10. Yeni Prosesin Oluşturulacağı Pencere

Şekil 10'da ise üretim için oluşturulacak yeni prosesin oluşturulma penceresi görülmektedir. Burada yapılması gereken Inputs yani girişler kısmına prosese giren ham madde ve enerji girişleri ve bunların miktarlarını girmektedir. Outputs kısmına ise prostesten çıkan ürün ve atık bilgileri girilmelidir.



Şekil 11. Yazılımda Senaryo Tanımlanan ve Analiz Sonuçlarının Alındığı Sekmeler

Şekil 11'de çalıştığımız tesisin akış diyagramının bir kısmı ile senaryo ve analiz sonuç sekmeleri görülmektedir. Kırmızı olan sekmede senaryo tanımlanması yapılırken mavi sekmede ise akış şeması ile programa tanıtılmış olan planın tüm analiz sonuçları alınabilmektedir.

Yaşam Döngüsü Analiz Çalışması

Bu bölümde söz konusu tesis için yapılan yaşam döngüsü analizi çalışması, yaşam döngüsü analizinin temel aşamalarına bölünerek alt başlıklarda sunulmuştur.

Amaç ve Kapsam Belirlenmesi

Çalışmanın amacı, tesisin çevresel etkilerini yaşam döngüsü boyunca değerlendirilmesidir. Çalışmanın kapsamı ise sistem sınırları, fonksiyonel birim, çevresel etki kategorileri ve çalışmadaki kısıtlama ve kabulleri içermektedir.

Fonksiyonel Birim: Fonksiyonel birim, bir ürün ya da hizmetin yapabildiği işlemi tanımlayan bir ölçümdür. YDA çalışmalarındaki fonksiyonel birim, ürünün ya da hizmetin yaptığı işlemi tanımlamak için kullanılmaktadır. Örneğin, söz konusu tesiste fonksiyonel birim 1 m³ şişelenmiş su olarak belirlenmiştir. Bu, tesis için maliyet, çevresel etki veya enerji tüketimi gibi kriterlerin karşılaştırılması için standart bir ölçüm sağlamaktadır. Bu sayede, farklı tesislerin şişelenmiş su üretim maliyetleri, çevresel etkileri veya verimlilikleri gibi kriterlerin karşılaştırılması mümkün olmaktadır. Bu nedenle, YDA çalışmalarında fonksiyonel birim, ürün ya da hizmetin yaptığı işlemi tanımlamak; maliyet, çevresel etki veya enerji gibi kriterleri karşılaştırmak için önem arz etmektedir.

Sistem Sınırları: Yaşam döngüsü analizi yaklaşımını kullanmak için, öncelikle değerlendirmeye hangi süreçlerin dahil edilmesi ve hangilerinin hariç tutulması gerektiği tanımlanarak sistem sınırları çizilmelidir. Çalışmanın sistem sınırları olarak ‘beşikten mezara’ yaklaşımı ile su temininden başlayarak üretimden kullanıma ve geri dönüşüm de dahil olmak üzere tüm aşamaları seçilmiştir.

Sistem Sınırlamaları ve Yapılan Kabuller: Tesis 1,5 L, 5 L ve 19 L üretimlerini hem eleman eksikliğinden hem makinelerin kısmi bozukluklarından hem de bunların az talep görmelerinden dolayı üretimlerini ihtiyaca göre yapmakta olup, sürekli üretim 0,5 litre pet şişe su olarak yapmaktadır. Bu nedenle çalışmada bu hacimdeki sular yok sayılmıştır.

Diğer bir kabul ise fabrikadan çıkan plastik ve kâğıt gibi atıkların bir geri dönüşüm firmasıyla anlaşılıp ve oraya nakledilip geri dönüşümü sağlandığı için bertaraf ettiği atık yok sayılmıştır ve ayrıca hesaplama katılmamıştır.

Bir diğeri ise geri dönüşüm oranının mevcut sistemde Türkiye’nin geri dönüşüm ortalaması olan %25 olduğu kabul edilmiştir ve senaryo harici hesaplamalarda bu değer kullanılmıştır (Anonim d 2021). Diğer senaryolardaki kabuller senaryolar dahilinde açıklanmıştır

Envanter Analizi

Veri toplama, envanter analizi ve değerlendirme sonrası hesaplamalar için yaşam döngüsü analizinin en önemli kısımlarındandır. Analizden en iyi şekilde yararlanmak için veri toplamının yaşam döngüsü değerlendirmesi gerekliliklerini ve standartlarını karşılaması

gerekmektedir. Proses girdileri, hammaddeler, elektrik ve üretim suyu gibi proses tarafından tüketilen enerji ve malzemeleri içermektedir. Çıktılar, ürün, hava kirliliği emisyonları, su kirliliği emisyonları, atık ısı gibi faktörlerdir. Bu çalışma için envanter verileri birincil veri olarak araştırma tesisinden alınmıştır. Bu veriler sistem basamakları içerisinde ayrı ayrı verilmiştir. Ham verinin bulunmadığı durumlarda ilgili literatürden ve çeşitli kataloglardan varsayımlar yapılmıştır (USEPA 2006).

Tesisin Envanter Detayları

Bu başlık altında her basamağın kendi içerisinde alınmış envanter verileri Tablo 2 ve Tablo 3'te toplu bir şekilde verilmiştir. Buradaki ve çalışma genelinde envanter verileri tesis bünyesinde toplanmış olup birkaç aylık ortalama şeklinde alınmıştır.

Tablo 2. Tesis Envanter Verileri

Pet Şişirme (Blowing)					
	Girişler			Çıkışlar	
Elektrik	41,7	kWh/m ³	Atık ısı	1,68	kWh/m ³
Pet Preform	18	kg	Pet şişe	22	kg/m ³
Sıkıştırılmış hava	17,4	Nm ³			
Dolum (Filling)					
	Girişler			Çıkışlar	
Elektrik	2,43	kWh/m ³	Atık su	150	L
Sert Kapak	10	kg/m ³	Dolu Pet şişe	1032	kg/m ³
Su	1000	L			
Etiketleme (Labelling)					
	Girişler			Çıkışlar	
Elektrik	3,2	kWh/m ³	Atık ısı	0,174	kWh/m ³
Etiket	6	kg/m ³	Etiketli Su	1038,2	kg/m ³
Yapıştırıcı	0,2	kg/m ³			
Paketleme (Packaging)					
	Girişler			Çıkışlar	
Elektrik	19	kWh/m ³	Atık ısı	6,48	kWh/m ³
Plastik Ambalaj	13,3	kg/m ³	12'li paket su	1051,5	kg/m ³
Paletleme (Palletizing)					
	Girişler			Çıkışlar	
Elektrik	0,0033	kWh/m ³	Paletli su	1091,4	kg/m ³
Plastik Streç	1,9	kg/m ³			
Palet	38	kg/m ³			

Tablo 3. Taşıma Faaliyetleri Envanter Verisi

Taşıma Faaliyetleri		
Tır	Mesafe	Yakıt
Preform	1340 km	0,379 L
Sert Kapak	1300 km	0,223 L
Etiket	1200 km	0,123 L
Plastik Ambalaj	1223 km	0,279 L
Plastik Streç	1223 km	0,0398 L
Ürün 1	300 km	5,6 L
Ürün 2	600 km	11,2 L
Ürün 3	900 km	16,8 L

Tesise Gelen Suyun Kaynağı

İlk basamak, su kaynağı yerin yaklaşık 1 metre altından doğal bir kaynak olarak saniyede 5 L/s debiyle çıkmakta olduğu kaynak bölümüdür. Su daha sonra kaynaktan şişeleme tesisine cazibe ile iletilmekte olup burada herhangi bir enerji kaynağı kullanılmamaktadır. Kaynağın çıkıp ilk geldiği nokta Şekil 12’de görülmektedir.



Şekil 12. Tesisin Su Kaynağı

Ham Su ve Arıtılmış Su depoları

Daha sonra filtre edilmemiş su ham su deposunda depolanıp dinlendirilmektedir ve daha sonra torba filtreden geçirilmektedir. Tesise girmeden içilmesinin güvenli olmasını sağlamak için ultra filtreden geçirilmekte arıtılmış su deposuna gönderilmektedir. Arıtılmış su deposundan gelen su kartuş filtreden geçirilmekte ve tesise böylece giriş yaptırılmaktadır. Suların dinlendirildiği depolar Şekil 13'te görülmektedir.



Şekil 13. Suyun Tesise Girmeden Önce Dinlendirildiği Ham Su ve Arıtılmış Su Depoları

Bu aşamalardan sadece ultra filtrasyonda arıtılmış su deposunu doldurmak için elektrik enerjisi harcanmakta ve bu enerji de sadece depo doldurulana kadar kullanılmaktadır ve elektrik tüketimi ise 0,947 kWh/m³ olarak alınmıştır. Ultrafiltrasyon ünitesi Şekil 14'te görülmektedir



Şekil 14. Ultrafiltrasyon İşleminin Yapıldığı Sistem



Şekil 15. Ozonlama Tankı

Bu aşamada su tesise girmeden önce dezenfekte ve yükseltgenme için ozonlama ünitesine girmekte bundan sonra test edilmektedir. Böylece tesise giren su şişelenmeye hazırdır. Bu cihazlar ise $0,0347 \text{ kWh/m}^3$ elektrik harcamaktadır. Suyun ozonla temas ettirildiği tank Şekil 15'te, hava temizleyici ve ozon üretici cihazlar ise Şekil 16'da görülmektedir.



Şekil 16. Hava Temizleyici ve Ozon Üretici

Pet Preform Şişirme Makinesi

Su tüm testleri geçtikten ve tüketim için güvenli kabul edildikten sonra şişelenmektedir. Şişeleme işlemi için ilk adımda pet preformları şişirip pet şişe haline getiren makine bulunmaktadır. Bu makine Çin menşei olup saatte 12000 şişe çıkarma kapasitesine sahiptir ve $41,7 \text{ kWh/m}^3$ elektrik enerjisi harcamaktadır. Ayrıca makine girdi olarak 18 kg pet preform ve $17,4 \text{ Nm}^3$ sıkıştırılmış hava kullanmaktadır. Preformları şişe haline getiren şişirme makinesi Şekil 17'de görülmektedir.



Şekil 17. Pet Preform Şişirme Makinesi

Pet Şişe Dolum Makinesi

Sıradaki ise bu şişirilmiş petlere suyu doldurup sert kapak kapatan makinedir ve 2,43 kWh/m³ elektrik enerjisi harcamaktadır. Ayrıca bu makine 10 kg sert kapak kullanmakta ve 0,347 Nm³ sıkıştırılmış hava kullanmaktadır. Dolumu yapıp, şişelere kapak takan makine Şekil 18’de görülmektedir.



Şekil 18. Pet Şişe Dolum Makinesi

Şişeleri Etiketleme Makinesi

Sıradaki makine ise bu dolumu yapılmış ve sert kapakla kapatılmış şişelerin etiketlendiği makinedir. Bu makine 3,472 kWh/m³ elektrik enerjisi harcamaktadır. Bunun dışında 4 kg etiket ve 0,5 kg etiket yapıştırıcısı kullanmaktadır. Bu makinenin giriş bölümü Şekil 19’da çıkış bölümü ise Şekil 20’de görülmektedir.



Şekil 19. Şişeleri Etiketleme Makinesi Giriş Bölümü



Şekil 20. Şişeleri Etiketleme Makinesi Çıkış Bölümü

Şişeleri Paketleme Makinesi

Daha sonra ise etiketlenmiş sular 12’li sıralar halinde plastikle kaplanıp paletlemeye hazır hale getirilmek için konveyörlü bir fırının içine girmektedir. Bu fırın ise 13,8 kWh/m³ elektrik enerjisi harcamaktadır. Ayrıca bu makine 12,5 kg plastik ambalaj kullanmaktadır. Şekil 21’de paketleme makinesinin giriş bölümü, Şekil 22’de şişelerin 12’li sıralandıkları bölge ve Şekil 23’te ise paketleme makinesinin son halkası olan fırın görülmektedir.



Şekil 21. Şişelerin Paketleme Makinesine Girişi



Şekil 22. Şişelerin On İki Sıralanıp Paketlendiği Bölüm



Şekil 23. Paketlenmiş Suların Isı Verilerek Kaplandığı Fırın

Daha sonra ise 12’li su paketleri bir çalışan tarafından palette 175 paket olacak şekilde yerleştirmekte ve paleti ince plastik streç ile saran makineye götürmektedir. Paletleri stre le saran makine 0,00343 kWh/m³ elektrik enerjisi ve 1,9 kg streç kullanmaktadır. Paletli suların ince plastik stre le sarıldığı makine Şekil 24’te görülmektedir.

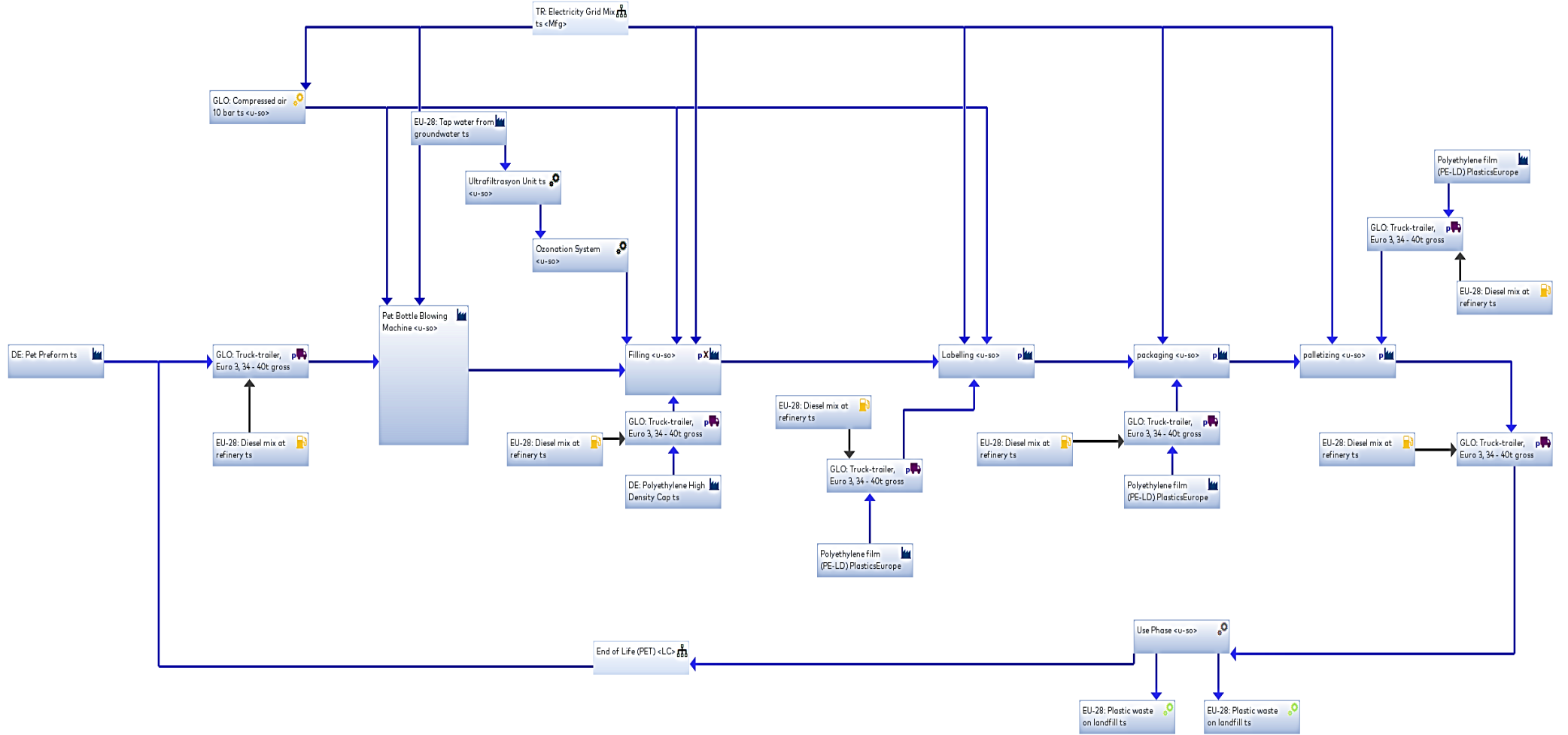


Şekil 24. Paketlenmiş ve Paletlenmiş Suların Streçle Sarıldığı Makine

Paketlenmiş su daha sonra marketler, benzin istasyonları, bayilere ve tüketicilere satıldıkları diğ r perakende satış mağazaları gibi çeşitli yerlere gönderilir. Bu gönderim genelde 27 ton tonajlı römorklu çekicilerle sağlanır. Şekil 25’te ise tesisin akış şeması GaBi yazılımı üzerinden gösterilmektedir.

LCA for Spring Water Bottled Plant

Process type: Reference quantities
The names of the basic processes are shown.



Şekil 25. Tesisin Gabi Üzerinde Akış Şeması

Etki Analizi

Yaşam döngüsü etki değerlendirmesi (YDEA) aşaması, envanter analizi sırasında belirlenen çevresel kaynakların ve emisyonların insan sağlığı ve çevre üzerindeki potansiyel etkilerinin bir değerlendirmesidir. Etki değerlendirmesi, ekolojik ve insan sağlığı etkilerini ve kaynakların tükenmesini ele almalıdır. Yaşam döngüsü etki değerlendirmesinin amacı, bir ürün veya süreç ile potansiyel çevresel etkileri arasında bir bağlantı kurmaktır (USEPA 2006).

Çalışmada Kullanılan Etki Analiz Metodolojisi

Bu çalışmada CML 2001- Jan. 2016 etki kategorizasyonu kullanılmıştır. CML 2001- Jan. 2016 etki kategorizasyon metodu, Leiden Üniversitesi tarafından ISO 14040 kapsamında oluşturulmuş bir metottur. Bu metot, bir ürünün ya da hizmetin hayat döngüsü boyunca oluşturduğu çevresel etkileri kategorize etmek için kullanılmaktadır. CML 2001- Jan. 2016 etki kategorizasyon metodu, alt başlıklar halindeki etki kategorilerini içermektedir (EC 2010).

Abiyotik Tükenme Potansiyeli

Abiyotik tükenme potansiyeli, metaller içeren madenler, ham petrol ve mineral hammaddeler gibi tüm doğal kaynakları (fosil enerji taşıyıcıları dahil) kapsamaktadır. Abiyotik kaynaklar, hayat kaynaklarından gelmeyen, yenilenemeyen hammaddelerin tümünü içermektedir. Bu etki kategorisi, yenilenemeyen hammaddelerin miktarını belirtmektedir. Yenilenemeyen, en az 500 yıllık bir zaman dilimini ifade etmektedir. Bu etki kategorisi genel olarak doğal elementlerin mevcudiyetini ve fosil enerji taşıyıcılarının mevcudiyetini değerlendirmektedir. Karakterizasyon faktörleri için referans madde antimondur.

Küresel Isınma Potansiyeli

Güneşten gelen kısa dalga radyasyonları, dünya yüzeyine temas eder ve kısmen emilmekte ve kısmen de infrared radyasyon olarak yansıtılmaktadır. Yansıyan kısım, troposferdeki çeşitli sera gazları tarafından emilmekte ve dünyaya geri yayılmaktadır. Bu, dünya yüzeyinde bir ısınma etkisi oluşmasına neden olmaktadır. Doğal mekanizmanın yanı sıra, insan faaliyetleriyle de sera etkisi artırılmaktadır. Antropojenik olarak oluştuğu veya arttığı düşünülen sera gazları arasında karbon dioksit, metan ve CFC'ler yer almaktadır. Küresel ısınma potansiyeli, karbon dioksit eşdeğerleri (CO₂-Eş.) olarak hesaplanmaktadır. Bu, bir emisyonun sera potansiyelinin CO₂'ye göre verildiği anlamına gelmektedir. Atmosferdeki

gazların varlık süresi hesaba katıldığından, değerlendirmenin zaman aralığı da belirtilmelidir. 100 yıllık bir dönem, yaygın olarak kabul edilmektedir.

Asidifikasyon Potansiyeli

Toprakların ve suların asitlenmesi, ağırlıklı olarak hava kirleticilerinin asitlere dönüşümü yoluyla gerçekleşmektedir. Bu, yağmur suyunun ve sisin pH değerinin 5,6'dan 4'e ve altına düşmesine neden olmaktadır. Kükürt dioksit, azot oksit ve bunların ilgili asitleri (H_2SO_4 ve HNO_3) bu asitleşmeye neden olmaktadır. Bu durum, ekosistemlere zarar vermektedir ve bundan dolayı ormanların yok olması en iyi bilinen etkilerden biri olmaktadır. Asitleşmenin doğrudan ve dolaylı zarar verici etkileri de vardır (besinlerin topraktan yıkanması veya metallerin toprakta çözünürlüğünün artması gibi). Aynı zamanda binalar ve yapı malzemeleri bile zarar görebilmektedir. Referans madde kükürt dioksittir.

Ötrofikasyon Potansiyeli

Ötrofikasyon, belirli bir yerde besin maddelerinin zenginleşmesi olayıdır. Ötrofikasyon su veya kara yüzeyinde olabilmektedir. Hava kirliliği, atık su ve tarımda gübreleme ötrofikasyonun nedenleri arasında sayılabilmektedir. Sudaki sonuç hızlandırılmış alg artışıdır, bu da daha derinlere güneş ışığının ulaşmasını engellemektedir. Bu, fotosentezin ve oksijen üretiminin azalmasına neden olmaktadır. Ayrıca alg ölümlerinin de parçalanması için oksijen gereklidir. Her iki etki de sudaki oksijen konsantrasyonunun azalmasına neden olur, bu da balıkların ölümüne ve anaerobik parçalanmaya (oksijen olmadan parçalanmaya) yol açabilir. Bu, hidrojen sülfür ve metan gibi maddelerin üretilmesine neden olabilir. Ötrofiye topraklarda, bitkilerin hastalıklara ve zararlılara duyarlılığın arttığı ve bitki istikrarının bozulabildiği görülmektedir. Gerekli olan azot miktarının üstünde bir azot seviyesi varsa, nitrat zenginleşmesine yol açmaktadır. Düşük seviyelerde nitrat toksikolojik açıdan zararsızdır. Bununla birlikte, nitratin bir reaksiyon ürünü olan nitrit, insanlar için toksik özellik göstermektedir. Ötrofikasyon potansiyeli fosfat eşdeğerlerinde ($PO_4\text{-Eş}$) hesaplanmaktadır.

Ozon Tabakasının Bozulma Potansiyeli

Ozon tabakasının konsantrasyonu az olsa da dünyada yaşam için önemlidir. Ozon, kısa dalga UV radyasyonunun büyük bir kısmını absorbe etmekte ve daha uzun dalga boylarında yaymaktadır. Bu nedenle, zararlı olan UV radyasyonunun sadece küçük bir kısmı dünyaya

ulaşmaktadır. İnsan kaynaklı emisyonlar ozon tabakasının incelmesine ve delinmesine sebep olabilmektedir. Ozon tabakasını delen maddeler iki ana grupta toplanabilir; kloroflorokarbonlar (CFC) ve azot oksitler (NO_x). Ozon tabakasının incelmelerinin bir etkisi, dünya yüzeyinin ısınmasıdır. Bunun haricinde insanların, hayvanların ve bitkilerin UVB ve UVA radyasyonuna duyarlılığı söz konusu olmaktadır. Ozon tükenme potansiyelinin hesaplanmasında, önce birçok ozon molekülünü yok edebilen antropojenik olarak salınan halojenli hidrokarbonlardan bahsedilmektedir. Ozon tükenme potansiyeli, ozonla ilgili farklı maddelerin potansiyelinin hesaplanmasından kaynaklanmaktadır. Burada referans, emisyonların sabit bir miktarının CFC-11'e dönüştürülmesi ile yapılmaktadır. Bu, toplam ozon azaltımının denge durumuna neden olmaktadır.

Fotokimyasal Ozon Oluşturma Potansiyeli

Stratosfer seviyesinde koruyucu bir rol oynamasına karşın yer seviyesinde ozon zararlı bir gaz olarak sınıflandırılmaktadır. Yüksek ozon konsantrasyonu aynı zamanda insanlar için toksik özellikler göstermektedir. Güneşten gelen radyasyon ile azot oksitlerin ve hidrokarbonların varlığı agresif reaksiyon ürünlerini üreten kompleks kimyasal reaksiyonlara neden olduğu bilinmektedir. Azot oksit ve hidrokarbon emisyonları, benzin veya çözücülerin eksik yanmalarından kaynaklanmaktadır. Sıcaklık yüksek olduğunda yüksek konsantrasyonlarda ozon ortaya çıkar; hava nispeten statik olduğunda ve yüksek konsantrasyonlarda hidrokarbon olduğunda nem oranı düşük olmaktadır. Günümüzde NO ve CO varlığının biriken ozonu NO_2 , CO_2 ve O_2 'ye düşürdüğü varsayılmaktadır.

Toksisite Potansiyelleri

Toksisite potansiyelleri (insan, deniz, tatlı su ve toprak) değerlendirmesi emisyonların ekosistemler üzerindeki olumsuz etkileri tahmin etmeyi amaçlar. Bir maddenin toksisitesi birden fazla parametreye bağlıdır ve kimyasal bileşimine, fiziksel özelliklerine, emisyon kaynağına ve özellikle çevreye salınması açısından konumuna göre karakterize edilmektedir. Zararlı maddeler atmosfere, su kaynaklarına veya toprağa yayılabilir. Potansiyel toksisite (insanlar, su ekosistemleri ve karasal ekosistemler için), referans madde 1,4-Diklorbenzen ($\text{C}_6\text{H}_4\text{Cl}_2$) oranına göre üretilir ve kg bazından 1,4-Diklorbenzene Eşdeğer birimler halinde verilir (kg DCB-Eş.). Toksik potansiyelin belirlenmesi, tek tek maddelerin maruz kalma süresinin ve çeşitli potansiyel etkilerin varlığı nedeniyle belirsizliklerle doludur. Bu nedenle model, etki ve maruz kalma değerlendirmelerinin karşılaştırılmasına dayanmaktadır (EC 2010).

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Tüm Projenin Çevresel Etkileri

Bu başlık altında sistem geneline uygulanmış yaşam döngüsü analizinin hem mevcut durum hem de oluşturulmuş senaryolar için sonuçları ele alınmıştır.

Tablo 4'te projenin tüm çevresel etkilerinin toplam verileri verilmiştir. Verilen sonuçlar çalışmanın fonksiyonel birimi 1 m³ paketlenmiş su içindir. Burada mevcut sistemden kasıt, elektrik enerjisini şehir şebekesinden sağlayan, geri dönüşüm yüzdesi %25 olarak kabul edilmiş ve geri dönüşüm ünitesinin sistem dahilinde olmadığı durumudur. Aynı zamanda kullanılan taşıma araçları 27 ton kapasiteli çekiciler olup bu çekiciler arasında ürün sevkiyatı yapan çekicilerin mesafesi 100 km olarak baz alınmıştır. Referans alınan bu sistemde kullanılan preformun ağırlığı 11 gramdır.

Tablo 4. Projenin Tüm Çevresel Etkileri

CML 2001- Jan. 2016	Tüm Tesisin Çevresel Etkileri	Birimler
Abiyotik Fosil Kaynak Tüketimi	2256,740	kWh
Asidifikasyon Potansiyeli	1,489	kg SO ₂ eş.
Ötrofikasyon Potansiyeli	0,108	kg fosfat eş.
Tatlı Su Ekotoksitesitesi Potansiyeli	1,359	kg DCB eş.
Küresel Isınma Potansiyeli	487,237	kg CO ₂ eş.
İnsan Toksisitesi Potansiyeli	23,273	kg DCB eş.
Deniz Toksisitesi Potansiyeli	42638,033	kg DCB eş.
Ozon Tabakasının Bozulma Potansiyeli	3,7E-11	kg CFC-11 eş.
Fotokimyasal Ozon Üretimi Potansiyeli	0,108	kg etilen eş.
Toprakta Ekotoksitesite Potansiyeli	2,437	kg DCB eş.

Tesiste Her Kaynağın Ayrı Ayrı Çevresel Etkileri

Tesise giriş yapan temel kaynaklar arasında pet preform, elektrik, su, kapak, etiket ve paketleme için kullanılan plastik ambalajlar vardır. Suyun herhangi bir çevresel etkisi olmadığı için bu aşamada yok sayılmıştır. Suya uygulanan ultrafiltrasyon ve ozonlama sisteminin çevresel etkileri ise 1 m³ şişelenmiş su olan fonksiyonel birimi için diğer çevresel etkiler yok denecek kadar az olduğundan o etkiler yok sayılıp sadece tükettikleri elektrik açısından çevresel etkiler dikkate alınmıştır ve o etkiler de elektriğin toplam çevresel etkileri arasında toplam olarak verilmiştir.

Pet preform, elektrik tüketimi ve ürünlerin dağıtımını yapan tırların dağıtım mesafeleri ve geri dönüşümün tesis dahilinde yapılıp yapılmayacağı konuları sistem için senaryolaştırıldığından bu başlık altında yazılmayıp sonraki başlıkta incelenecektir.

Pet Şişirme Makinesi

Pet preformların önce fırınında ısıtıp sonra basınçlı hava kullanarak şişiren bu makine ve konveyörleri sistemin en çok elektrik tüketen elemanlarıdır. Bu işlemde makine kaynak olarak pet preform, elektrik ve basınçlı hava kaynağı kullanılmaktadır. Basınçlı hava kaynağının ve şişirme makinesinin elektrik giderleri toplam elektrik içerisinde toplanmış, pet preform ise yine kendi başlığında hesaba alınacağı için şimdilik bir değerlendirme söz konusu olmamıştır.

Su Dolum Makinesi

Bu makine kaynak olarak pet şişe, sert kapak ve su kullanılmaktadır. Kullanılan bu kaynaklardan pet şişe, pet preform başlığı altında değerlendirilecektir. Diğer kaynak olan sert kapağın çevresel etkileri Tablo 5’te verilmiştir.

Tablo 5. Sert Kapak Çevresel Etkileri

CML 2001- Jan. 2016	Sert Kapak	Birimler
Abiyotik Fosil Kaynak Tüketimi	188	kWh
Asidifikasyon Potansiyeli	0,0272	kg SO ₂ eş.
Ötrofikasyon Potansiyeli	0,00326	kg fosfat eş.
Tatlı Su Ekotoksitesitesi Potansiyeli	0,222	kg DCB eş.
Küresel Isınma Potansiyeli	17,2	kg CO ₂ eş.
İnsan Toksisitesi Potansiyeli	0,868	kg DCB eş.
Deniz Toksisitesi Potansiyeli	852	kg DCB eş.
Ozon Tabakasının Bozulma Potansiyeli	6,85E-14	kg CFC-11 eş.
Fotokimyasal Ozon Üretimi Potansiyeli	0,00544	kg etilen eş.
Toprakta Ekotoksitesite Potansiyeli	0,0521	kg DCB eş.

Etiketleme, Paketleme ve Paletleme Makineleri

Bu makineler kaynak olarak etiket, plastik ambalaj, ince plastik streç ve elektrik kullanılmaktadırlar. Elektrik çevresel etkileri toplam olarak elektrik senaryoları bölümünde ele

alınmıştır. Etiket, plastik ambalaj ve ince plastik streç için çevresel etkiler toplam olarak Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6. Etiket, Plastik Ambalaj ve Streç Çevresel Etkileri

CML 2001- Jan. 2016	Etiket, Plastik Ambalaj ve Streç	Birimler
Abiyotik Fosil Kaynak Tüketimi	402	kWh
Asidifikasyon Potansiyeli	0,0648	kg SO ₂ eşdeğeri
Ötrofikasyon Potansiyeli	0,00771	kg Fosfat eşdeğeri
Tatlı Su Ekotoksitesitesi Potansiyeli	0,465	kg DCB eşdeğeri
Küresel Isınma Potansiyeli	35,6	kg CO ₂ eşdeğeri
İnsan Toksisitesi Potansiyeli	1,88	kg DCB eşdeğeri
Deniz Toksisitesi Potansiyeli	1,79E+03	kg DCB eşdeğeri
Ozon Tabakasının Bozulma Potansiyeli	1,01E-13	kg CFC-11 eşdeğeri
Fotokimyasal Ozon Üretimi Potansiyeli	0,0138	kg Etilen eşdeğeri
Toprak Ekotoksitesitesi Potansiyeli	0,0986	kg DCB eşdeğeri

Taşıma Faaliyetleri

Tesise kaynakları getiren ve ürünleri götüren iki tür taşıma faaliyeti mevcuttur. Ürünleri götüren taşıma faaliyeti bir sonraki bölüm olan senaryolar bölümünde ele alınmıştır. Bunun dışında kaynakları getiren taşıma faaliyetleri pet preform, kapak, etiket, kaplama plastik ambalajı ve streç getirme de yapılan taşımalarlardır.

İlk taşıma faaliyeti, pet preformun fabrikasından tesise ulaştırılması aşamasıdır. Tesisin kendi tırları vasıtasıyla yapılan bu taşıma faaliyeti gidiş geliş toplam 1340 km mesafede olup 18 ile 20 ton arasında bir yükü tek yönlü taşıma faaliyeti ile tesise ulaştırmaktadır. Yine bu taşıma faaliyetlerinin tamamını 1 m³ paketlenmiş su fonksiyonel birimi ile hesaplamalar yapılmıştır Tablo 9’da pet preformun taşıma faaliyeti sırasında tırın çevresel etkisi verilmiştir.

Tablo 7. Pet Preform Taşıyan Çevresel Etkileri

CML 2001- Jan. 2016	Preform Taşıyan Tır	Birimler
Abiyotik Fosil Kaynak Tüketimi	12,7	kWh
Asidifikasyon Potansiyeli	0,017762306	kg SO ₂ eş.
Ötrofikasyon Potansiyeli	0,004485753	kg fosfat eş.
Tatlı Su Ekotoksitesitesi Potansiyeli	0,017738667	kg DCB eş.
Küresel Isınma Potansiyeli	3,325939101	kg CO ₂ eş.
İnsan Toksisitesi Potansiyeli	0,091349541	kg DCB eş.
Deniz Toksisitesi Potansiyeli	54,10000771	kg DCB eş.
Ozon Tabakasının Bozulma Potansiyeli	5,49E-16	kg CFC-11 eş.
Fotokimyasal Ozon Üretimi Potansiyeli	0,007	kg etilen eş.
Toprakta Ekotoksitesite Potansiyeli	0,007594402	kg DCB eş.

Kalan tırlar kapak, etiket, plastik film ve streç taşıyan tırlardır. Hepsi yine tesisin kendi tırlarıyla getirilmekte ve bu maddelerin üretildiği yer İstanbul ve civarı olmakla tek yön 1300 km kadar yol yapmaktadırlar. Yine bu tırlarda fonksiyonel birimimiz olan 1 m³ şişelenmiş su üzerinden hesap yapılarak çevresel etkileri tespit edilmiştir. Bu tırların çevresel etkileri Tablo 10'da verilmiştir.

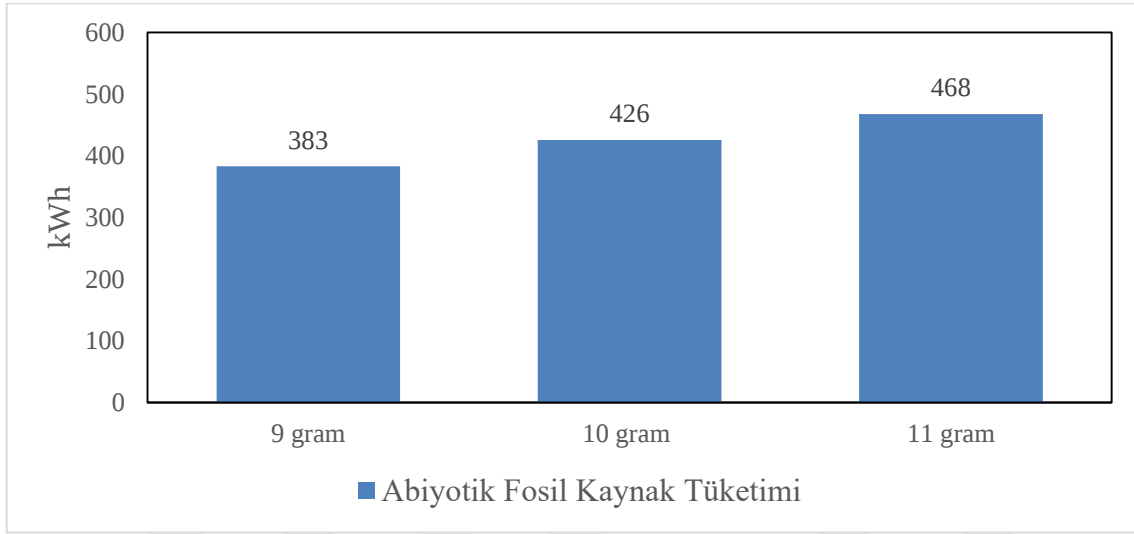
Tablo 8. Kapak, Etiket, Film ve Streç Taşıyan Tırların Çevresel Etkileri

CML 2001- Jan. 2016	Ambalaj Taşıyan Tır	Etiket Taşıyan Tır	Kapak Taşıyan Tır	Streç Taşıyan Tır	Birimler
Abiyotik Fosil Kaynak Tüketimi	8,73	0,944	1,05	0,000627838	kWh
Asidifikasyon Potansiyeli	0,01225	0,001325471	0,00147	8,8142E-07	kg SO ₂ eşdeğeri
Ötrofikasyon Potansiyeli	0,003092	0,000334692	0,0003723	2,226E-07	kg Fosfat eşdeğeri
Tatlı Su Ekotoksitesitesi Potansiyeli	0,0122267	0,001322886	0,00147321	8,79811E-07	kg DCB eşdeğeri
Küresel Isınma Potansiyeli	2,295	0,248185008	0,2755	0,000165069	kg CO ₂ eşdeğeri
İnsan Toksisitesi Potansiyeli	0,063	0,006815936	0,00757	4,5351E-06	kg DCB eşdeğeri
Deniz Toksisitesi Potansiyeli	37,40000532	4,040000575	4,490000639	0,002687265	kg DCB eşdeğeri
Ozon Tabakasının Bozulma Potansiyeli	3,79E-16	4,1E-17	4,55E-17	2,72568E-20	kg CFC-11 eşdeğeri
Fotokimyasal Ozon Üretimi Potansiyeli	0,005479	0,0005932	0,0006587	3,95E-07	kg Etilen eşdeğeri
Toprak Ekotoksitesitesi Potansiyeli	0,00524304	0,000567328	0,000630365	3,77091E-07	kg DCB eşdeğeri

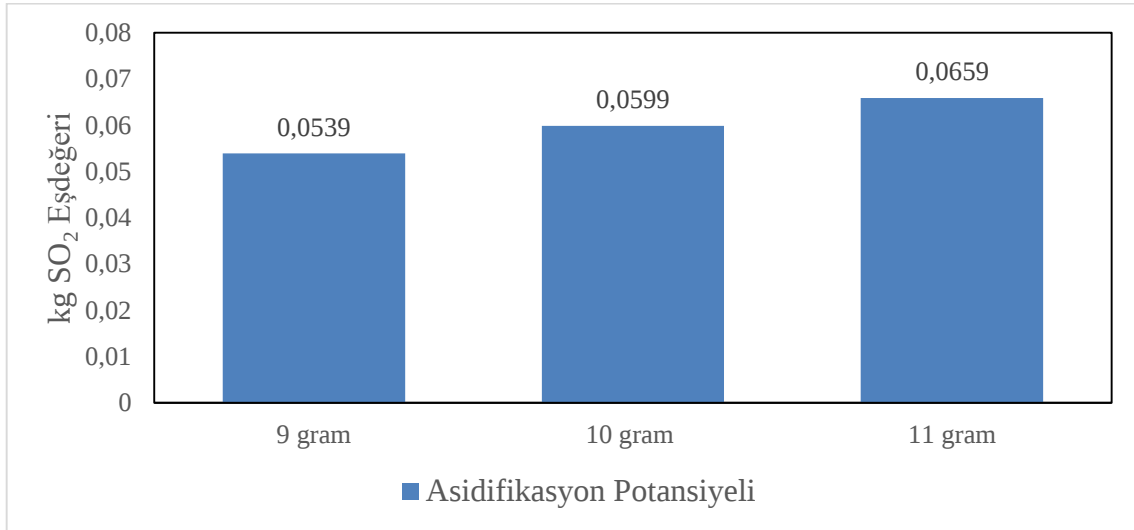
Senaryolar

Pet Preform Senaryoları

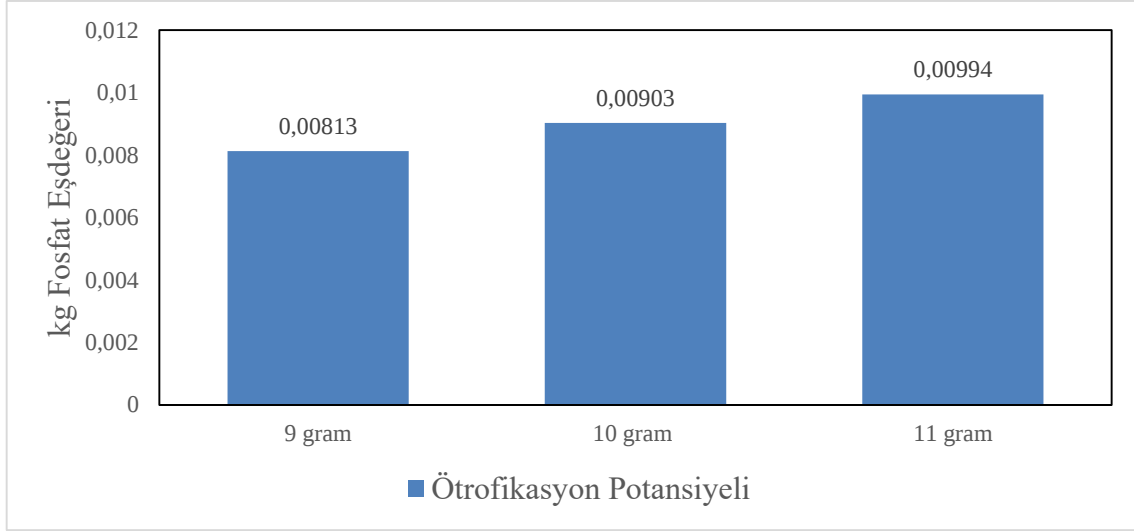
Tesiste halihazırda 11 gramlık pet preformlar kullanılmaktadır. Çalışmanın senaryolarının ilkinde bu 9 ve 10 gram olan preformlar ve halihazırda kullanılan 11 gram olan preform karşılaştırıldı. Çevresel etkileri yine CML 2001 + Jan.2016 etki analiz metodolojisine göre grafikler halinde incelenmiştir. Sonuçlar ile ilgili yorumlar tablolardan sonra yapılmıştır.



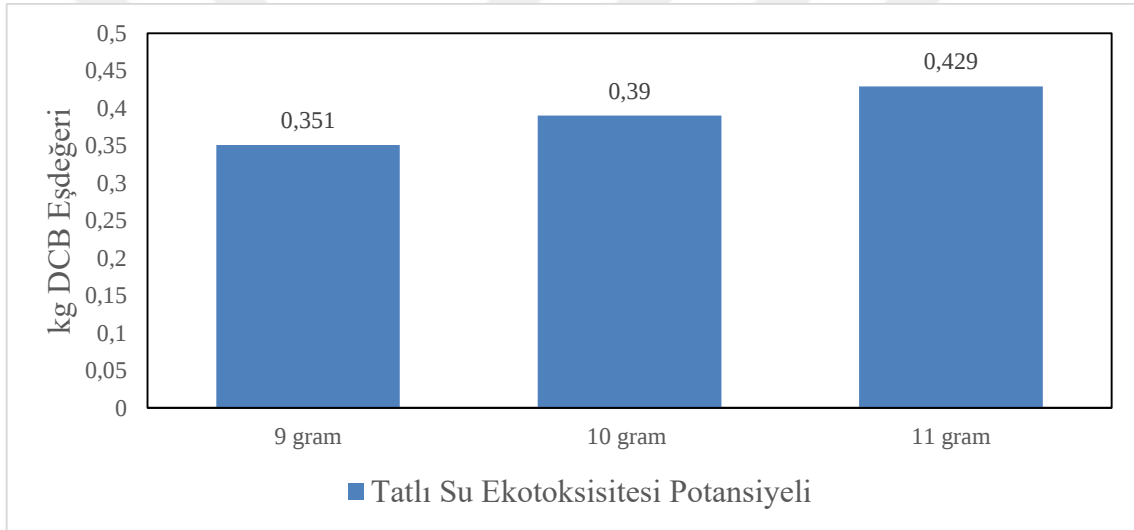
Şekil 26. Abiyotik Fosil Kaynak Tüketimi [kWh]



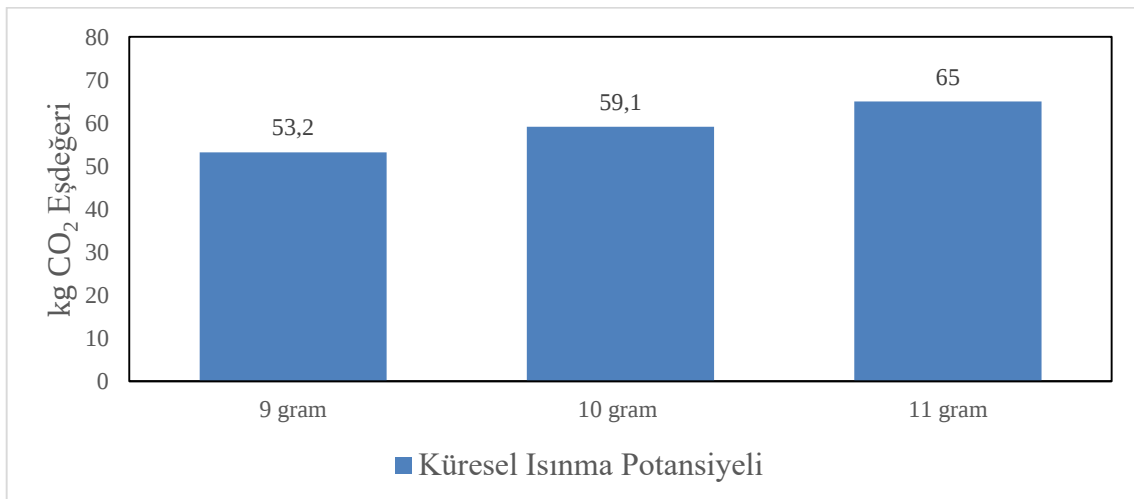
Şekil 27. Asidifikasyon Potansiyeli [kg SO₂ eş.]



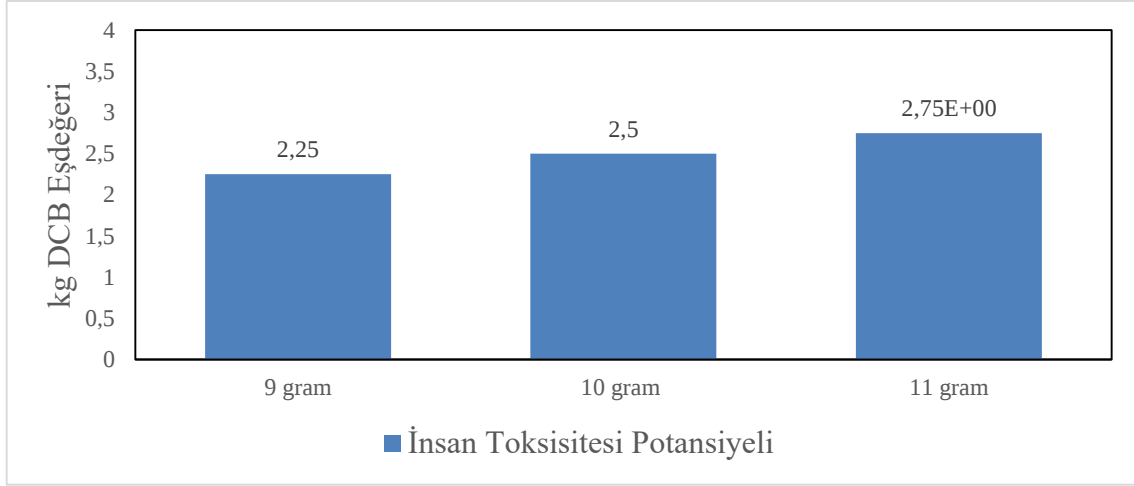
Şekil 28. Ötrofikasyon Potansiyeli [kg Fosfat eş.]



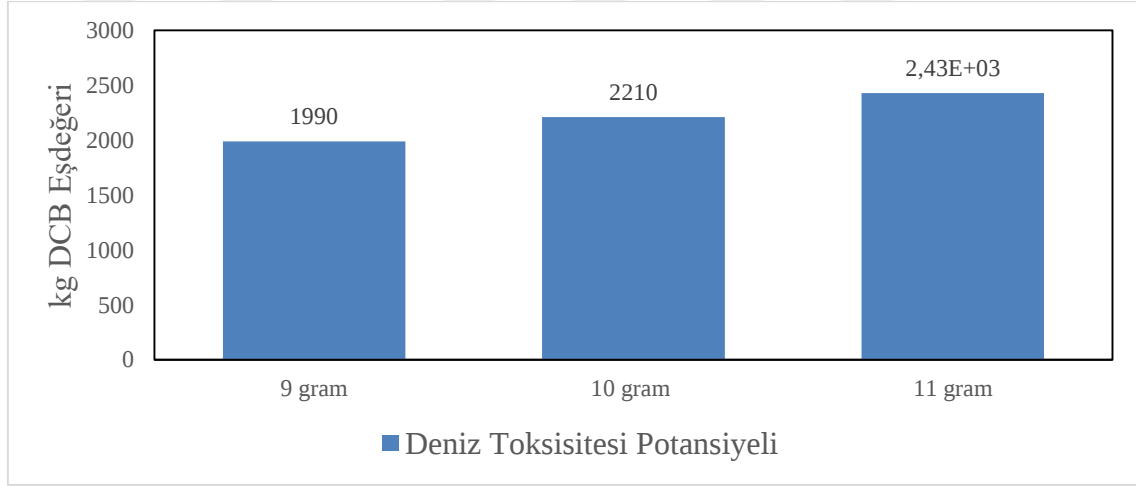
Şekil 29. Tatlı Su Ekotoksisitesi Potansiyeli [kg DCB eş.]



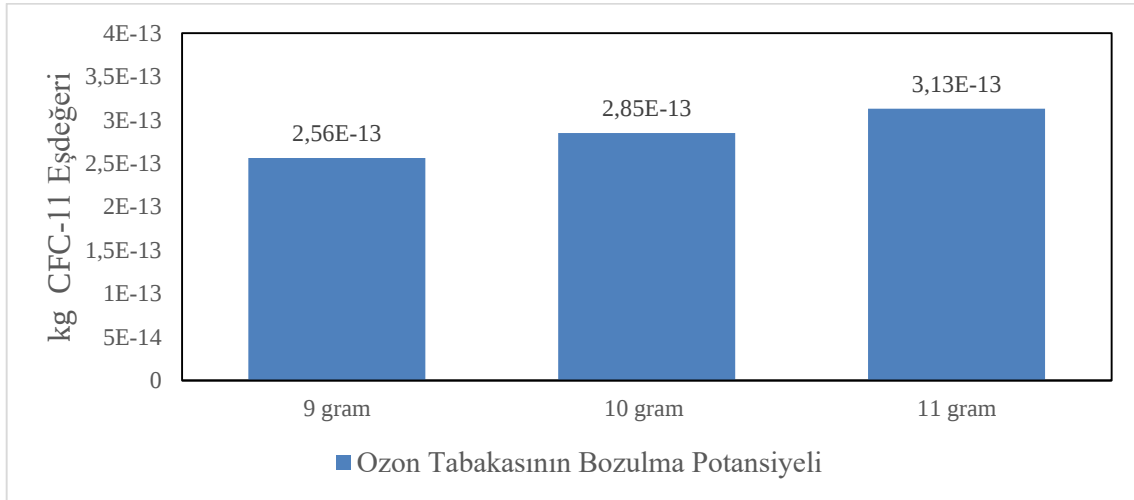
Şekil 30. Küresel Isınma Potansiyeli [kg CO₂ eş.]



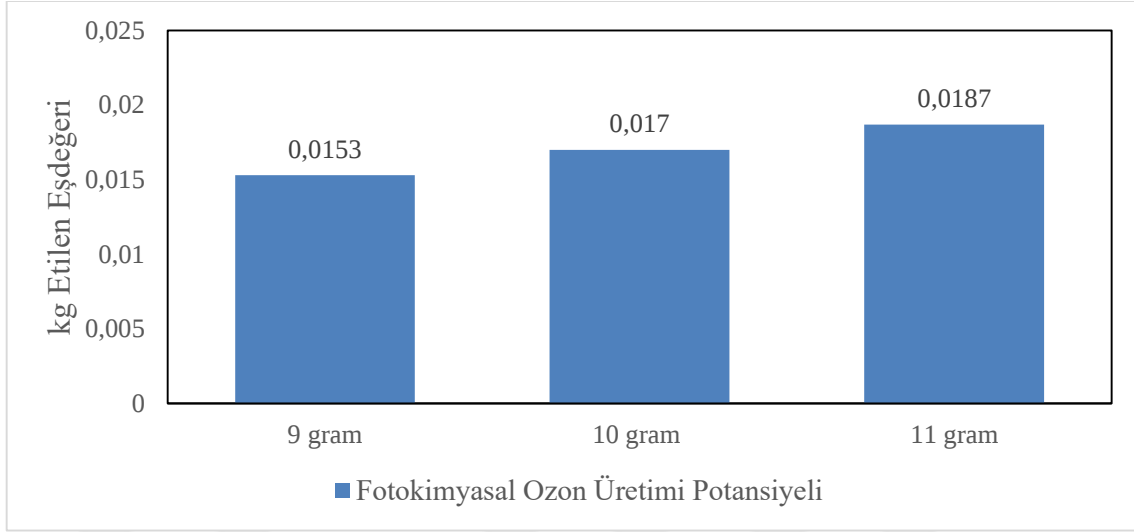
Şekil 31. İnsan Toksisitesi Potansiyeli [kg DCB eş.]



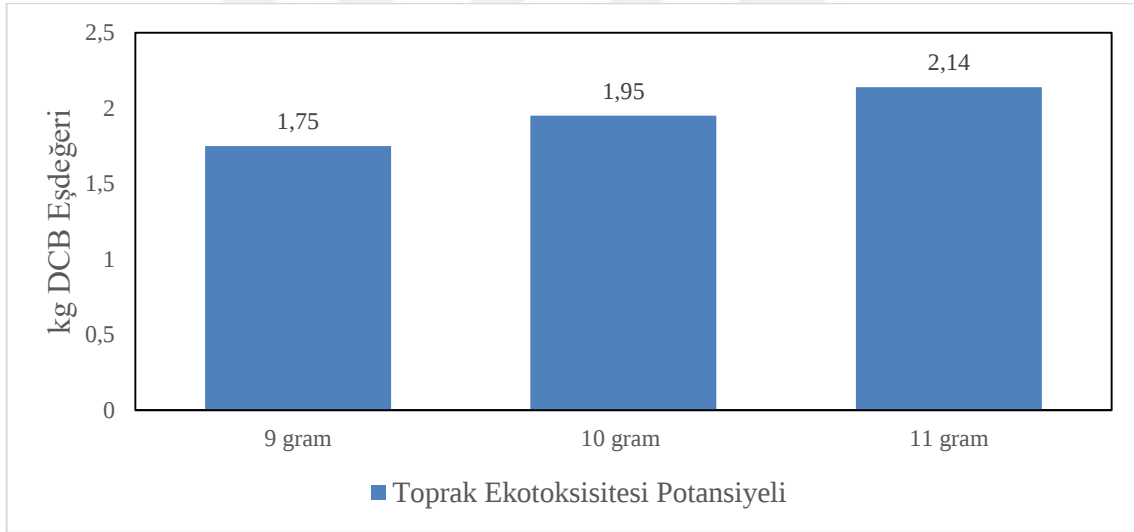
Şekil 32. Deniz Toksisitesi Potansiyeli [kg DCB eş.]



Şekil 33. Ozon Tabakasının Bozulma Potansiyeli [kg CFC-11 eş.]



Şekil 34. Fotokimyasal Ozon Üretimi Potansiyeli [kg Etilen eş.]



Şekil 35. Toprak Ekotoksitesi Potansiyeli [kg DCB eş.]

Şekil 26'dan Şekil 35'e kadar olan grafiklerde pet şişenin ham maddesi olan pet preformlar ağırlıkları açısından abiyotik fosil kaynak tüketimi, asidifikasyon potansiyeli, ötrofikasyon potansiyeli, küresel ısınma potansiyeli, tatlı su ekotoksitesi potansiyeli, insan toksisitesi potansiyeli, deniz toksisitesi potansiyeli, ozon tabakasının bozulma potansiyeli, fotokimyasal ozon üretimi potansiyeli, toprak ekotoksitesi potansiyeli etki kategorileri bakımından incelenmiştir. Tüm etki kategorileri açısından 9 gram ağırlığındaki pet preform daha yüksek çevresel performansa sahip olduğu için tercih sebebi olmuştur.

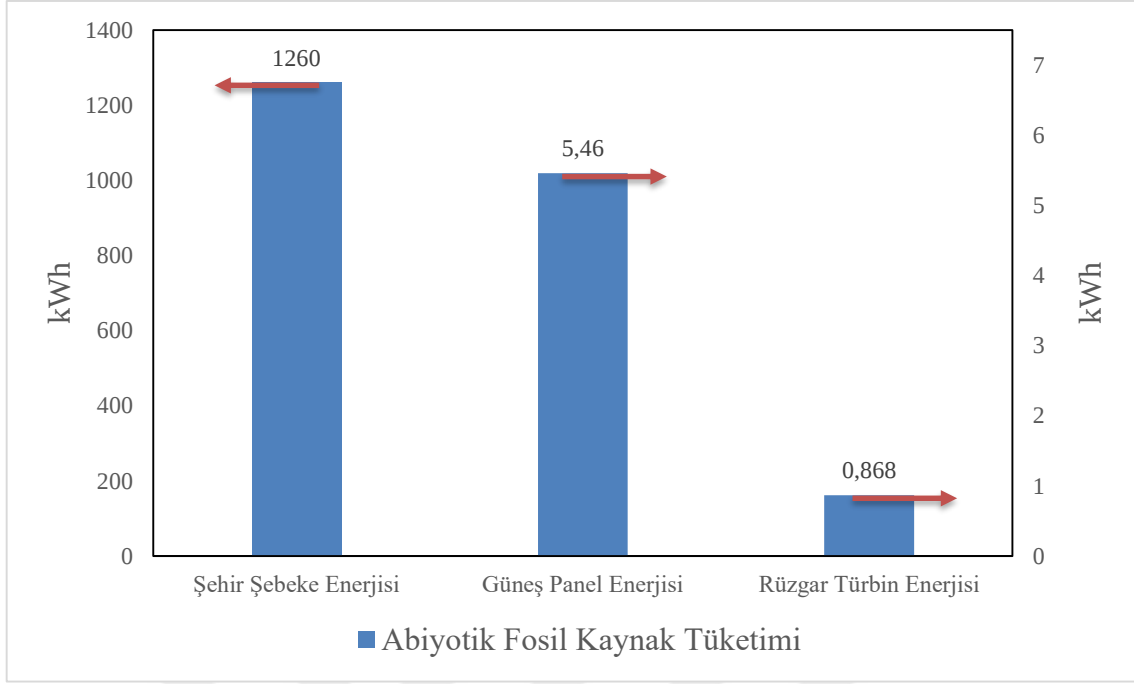
Elektrik Üzerine Kurulan Senaryo

Kentsel şebeke sistemlerinde, elektrik üretmek için genellikle kömür, petrol veya doğal gaz gibi fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Fosil yakıtların yanması atmosfere karbondioksit ve diğer zararlı emisyonları salınmaktadır. Bu nedenle, kentsel şebekeden üretilen elektriğin çevre üzerinde önemli bir etkisi vardır. Ayrıca fosil yakıtların elde edilmesi ve taşınması için gereken enerji ve malzeme tüketimi de önemli olmaktadır.

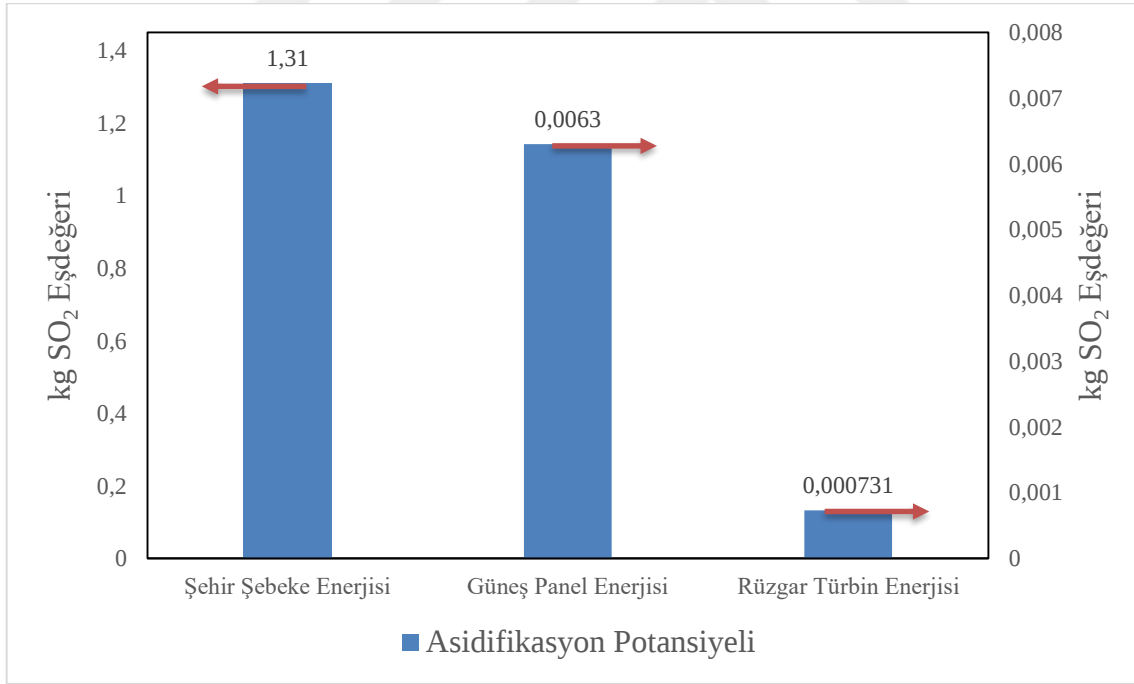
Güneş paneli enerjisi ise atmosfere neredeyse zararlı hiçbir madde salmayan doğal bir kaynak olduğu herkesçe tahmin edilebilmektedir. Güneş paneli sistemleri için üretim, kullanım ve atık yönetimi aşamalarında çevresel etki düşük olmaktadır. Güneş panellerinin üretiminde kullanılan malzemelerin çevresel etkisi, güneş panellerinin kullanım ömrü boyunca potansiyel çevresel etkileri ve atık yönetimi aşamasındaki çevresel etkileri gibi faktörler de etki analizi için önemli olmaktadır.

Rüzgâr türbini ise aynı güneş panelleri ile elektrik üretiminde olduğu gibi çevreye zararlı madde salınımları az olduğu, yenilenebilir bir enerji kaynağı olması açısından tahmin edilebilir bir durum olmaktadır. Yine güneş panelleri gibi üretiminde kullanılan malzemelerin çevresel etkisi, kullanım ömrü boyunca ve atık haline geldiğinde ise atık yönetimi açısından oluşacak çevresel etkileri de etki analizi için önemli olmaktadır. Bu üretim, kullanım ve atık yönetimi için oluşacak çevresel etkiler YDA yazılımı tarafından referans değerler üzerinden hesaplanmıştır.

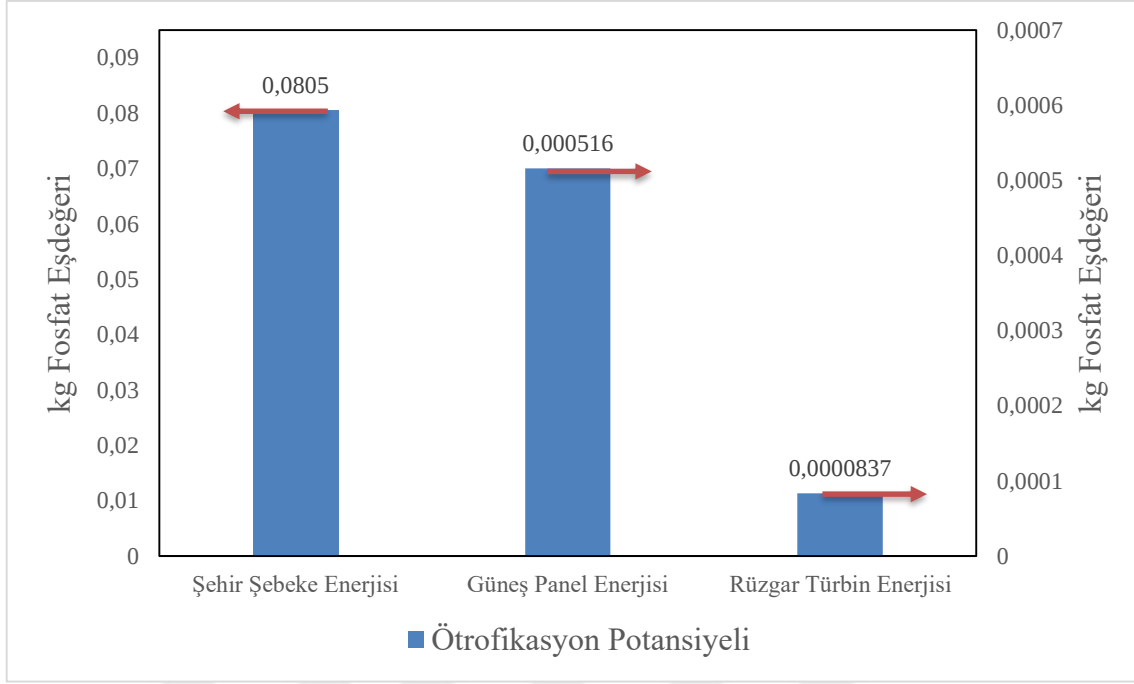
Yaşam döngüsü analizi kapsamında kentsel şebekelerin, güneş paneli enerjisinin ve rüzgâr türbini enerjisinin çevresel etkisi karşılaştırılıp daha düşük bir çevresel etki ve daha yüksek çevresel performans sağlayan senaryo grafikler sonrası yorumlarda belirtilmiştir. Güneş panellerinin ve rüzgâr türbinlerinin olası çevresel etkileri, üretim ve kullanım sırasındaki malzeme tüketimi ve atık yönetimi açısından dikkate alındığı anlaşılmaktadır.



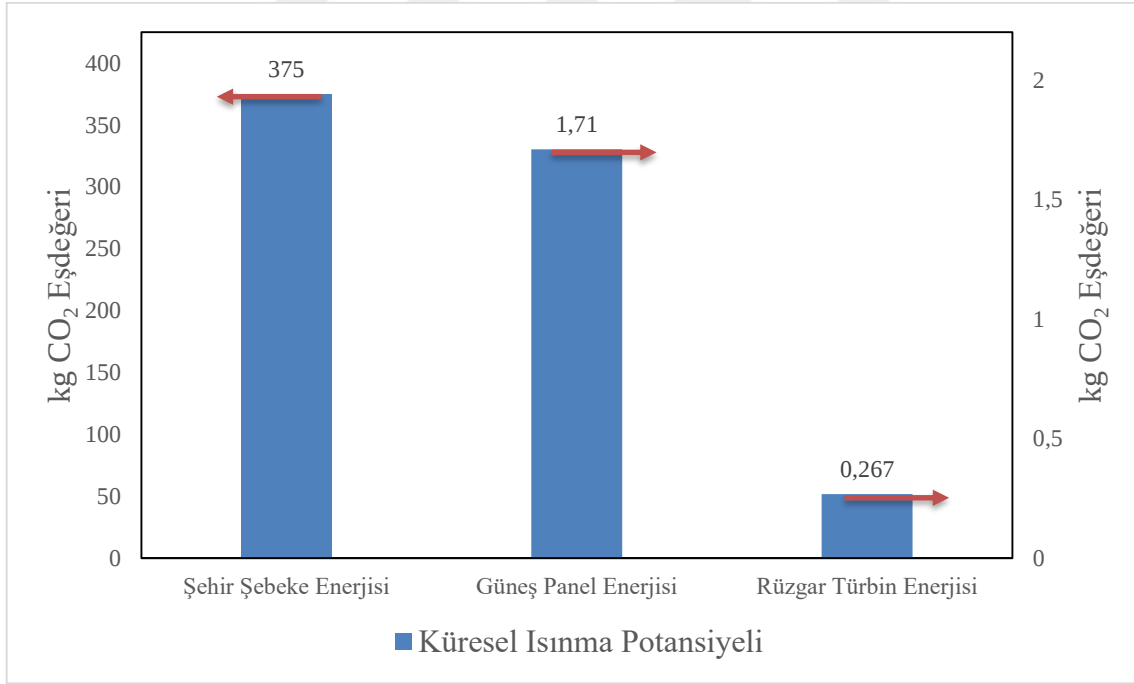
Şekil 36. Abiyotik Fosil Kaynak Tüketimi [kWh]



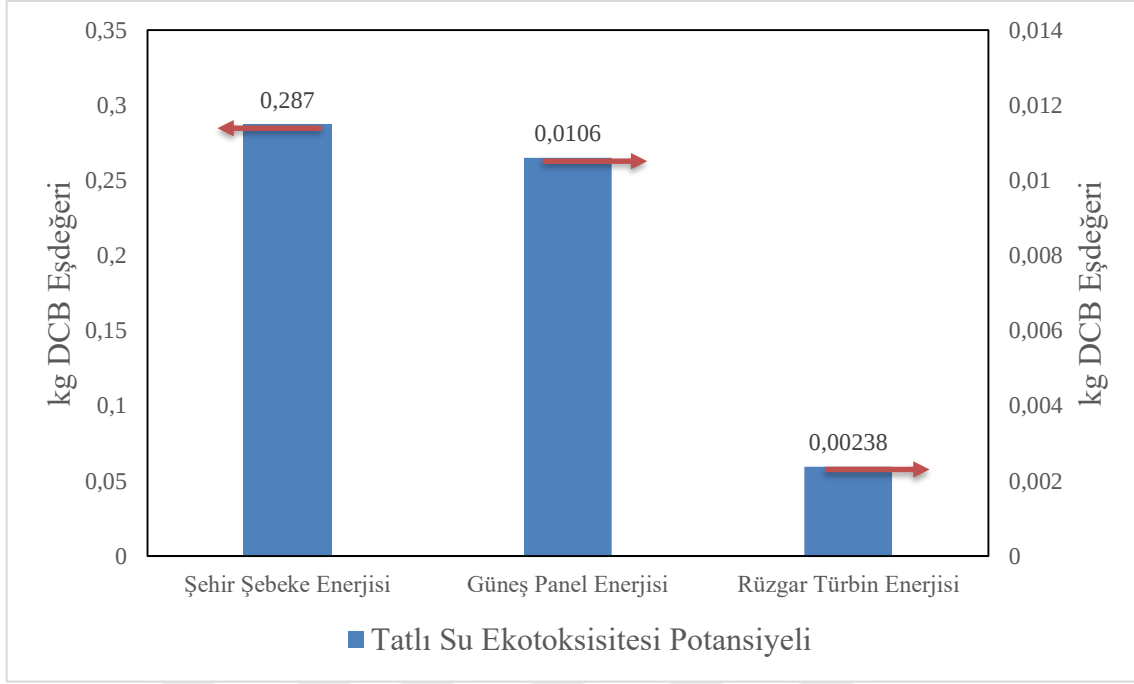
Şekil 37. Asidifikasyon Potansiyeli [kg SO₂ eş.]



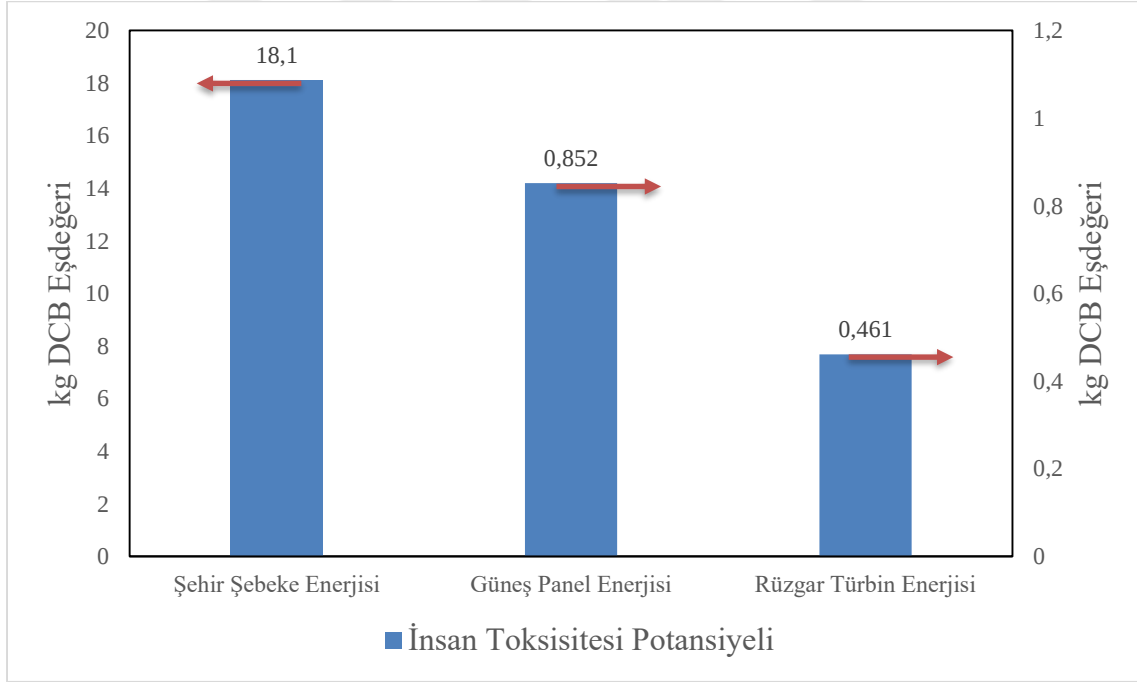
Şekil 38. Ötrofikasyon Potansiyeli [kg Fosfat eş.]



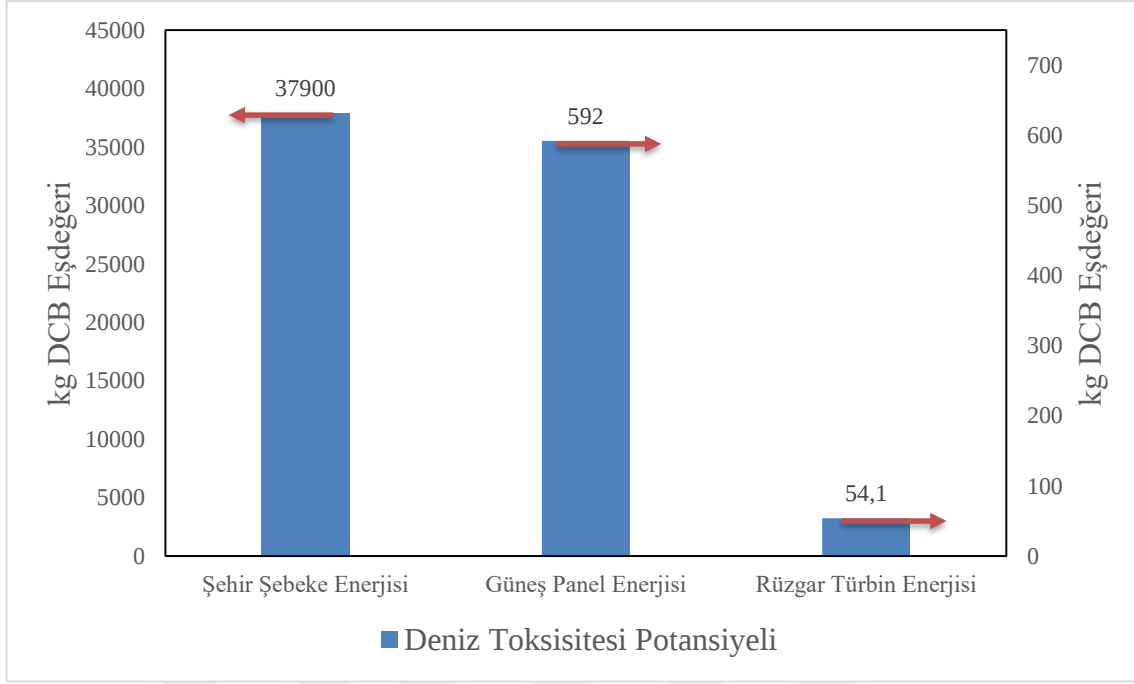
Şekil 39. Küresel Isınma Potansiyeli [kg CO₂ eş.]



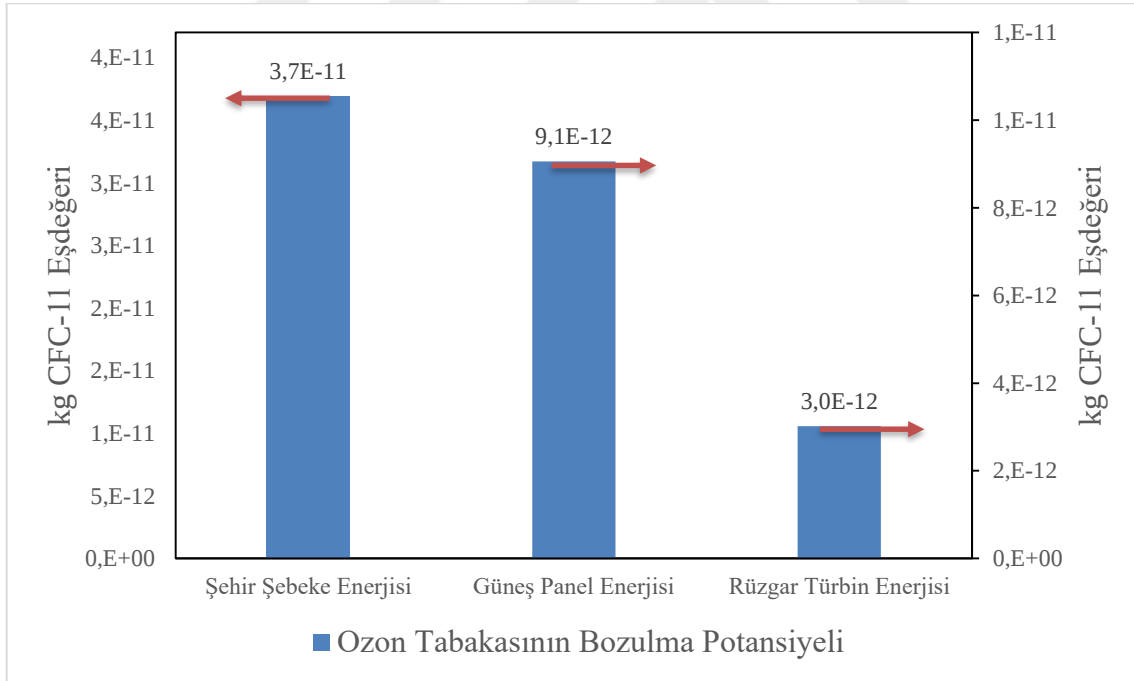
Şekil 40. Tatlı Su Toksisitesi Potansiyeli [kg DCB eş.]



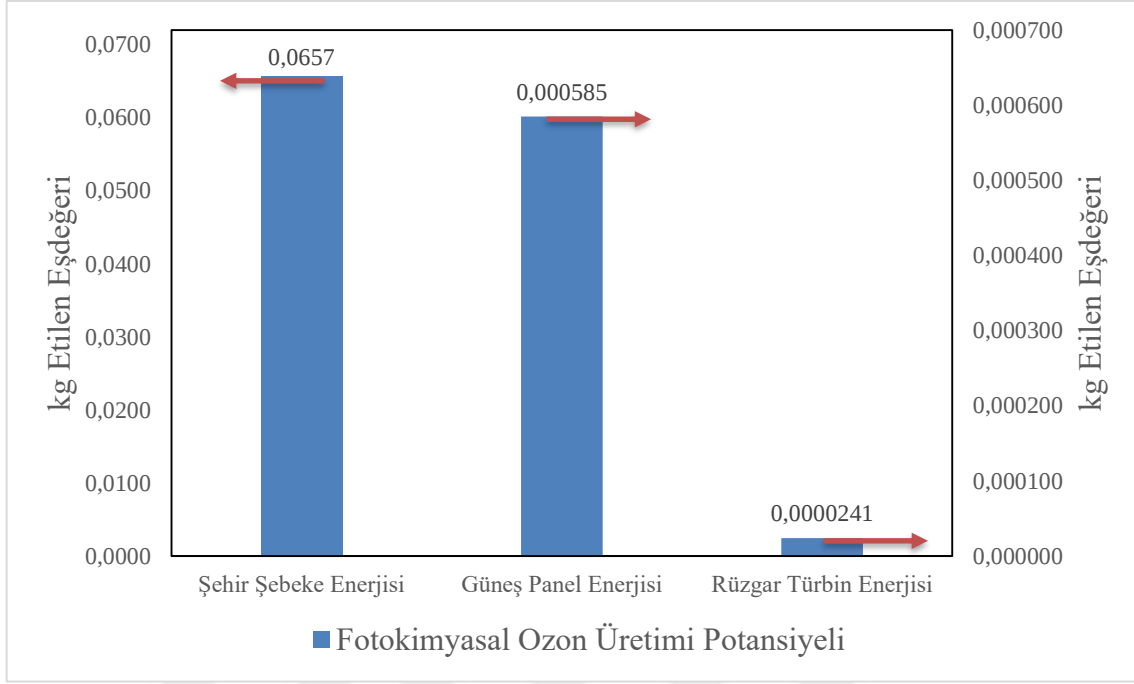
Şekil 41. İnsan Toksisitesi Potansiyeli [kg DCB eş.]



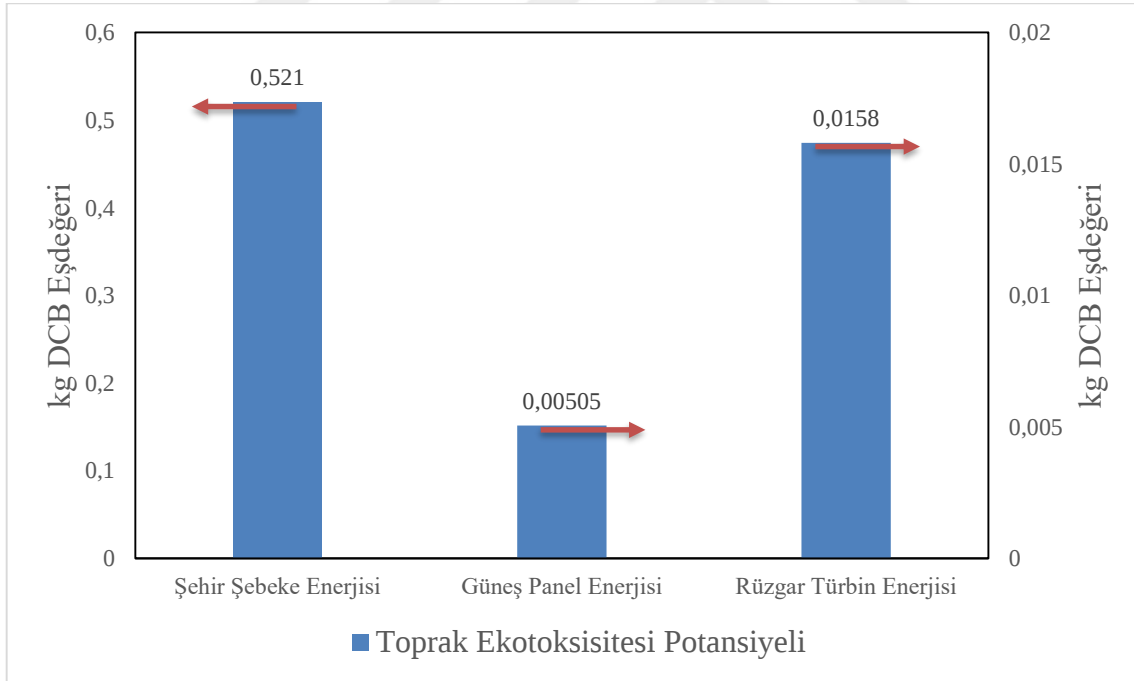
Şekil 42. Deniz Toksisitesi Potansiyeli [kg DCB eş.]



Şekil 43. Ozon Tabakasının Bozulma Potansiyeli [kg CFC-11 eş.]



Şekil 44. Fotokimyasal Ozon Üretimi Potansiyeli [kg Etilen eş.]



Şekil 44. Toprakta Ekotoksite Potansiyeli [kg DCB eş.]

Yukarıda Şekil 36'dan, Şekil 44'e kadar olan grafiklerde elektrik kaynaklarının sırasıyla abiyotik fosil kaynak tüketimi, asidifikasyon potansiyeli, ötrofikasyon potansiyeli, küresel ısınma potansiyeli, tatlı su ekotoksitesi potansiyeli, insan toksisitesi potansiyeli, deniz toksisitesi

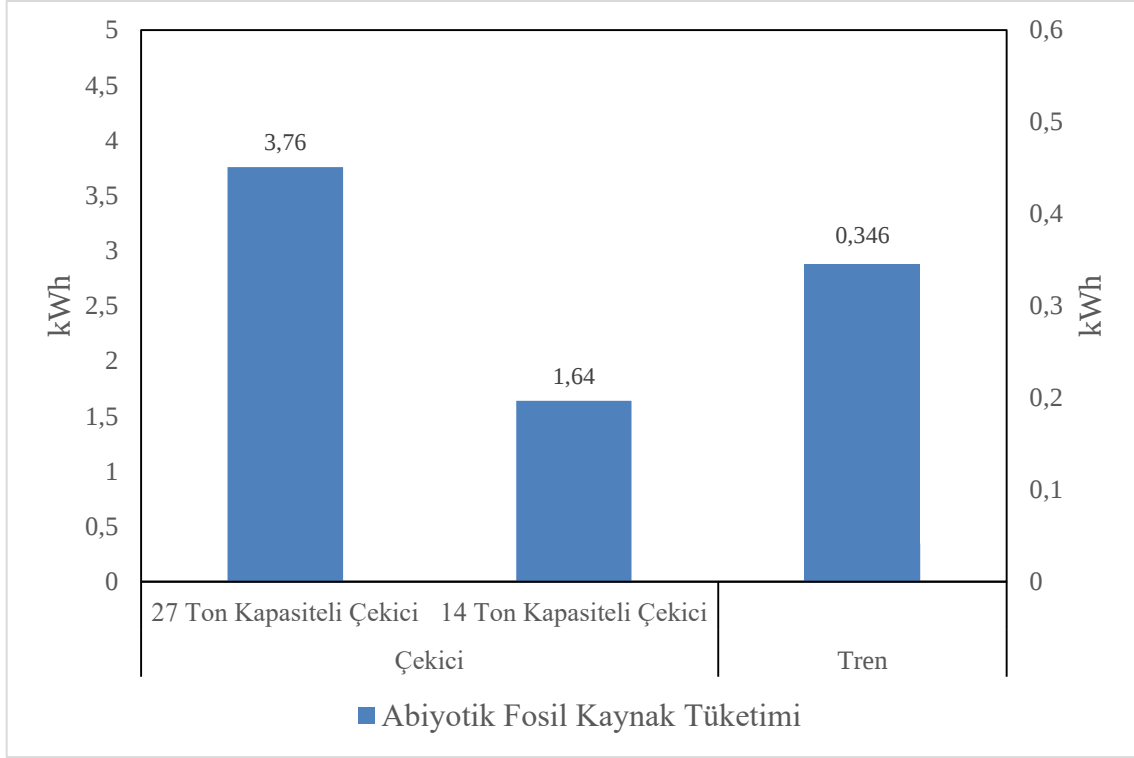
potansiyeli, ozon tabakasının bozulma potansiyeli, fotokimyasal ozon üretimi potansiyeli, toprak ekotoksitesi potansiyelleri incelenmiştir. Burada görülmektedir ki, her etki analizi kategorisinde elektrik kaynağı olarak rüzgâr türbini seçildiğinde diğer elektrik kaynaklarına göre daha yüksek çevresel performanslara sahip olunmaktadır. Şehir şebekesi kaynağında elektrik diğer kaynaklara daha fazla çevresel emisyonlar oluşturduğu için etki kategorilerini tek tek inceleme de güneş panel enerjisi ve rüzgâr türbin enerjisi karşılaştırılmaktadır.

Güneş panel enerjisi 5,46 kWh abiyotik fosil kaynağı tüketirken bu değer rüzgâr türbini için 0,868 kWh olmakta ve bu durumda rüzgâr türbin enerjisi, güneş panel enerjisinden %84,103 daha az fosil kaynak tüketmekte olduğunu göstermektedir. Asidifikasyon açısından ise güneş panel enerjisi 0,0063 kg SO₂ eşdeğeri kadar potansiyel oluşturmakta iken bu değer %88,397'lik düşüşle rüzgâr türbini için 0,000731 kg SO₂ eşdeğeri olmaktadır. Ötrefikasyonda ise güneş panel enerjisi için 0,000516 kg fosfat eşdeğeri olan değer rüzgâr türbin enerjisi için 0,0000837 kg fosfat eşdeğeri olup yaşanan %83,78'lik düşüş rüzgâr türbinini tercih sebebi haline getirmektedir. Küresel ısınma potansiyeli açısından da yine rüzgâr türbini enerjisi %84,39'luk bir farkla tercih sebebi olmaktadır. Kalan etki kategorilerinde ise rüzgâr enerjisi tatlı su ekotoksitesi açısından %77,55, insan toksitesi açısından %45,89, deniz toksitesi açısından %90,861, ozon tabakası bozulma potansiyeli bakımından %67,032, fotokimyasal ozon üretimi bakımından %95,85 oranlarında güneş enerjisinden daha yüksek çevresel performansa sahip olduğu görülmektedir. Ancak toprak ekotoksitesi bakımından ise güneş panel enerjisi 0,00505 kg DCB eşdeğerinde iken rüzgâr enerjisi 0,0158 kg DCB eşdeğeri kadar potansiyele sahip olduğu görülmektedir. Sadece bu etki kategorisi bakımından güneş enerjisi %68,038'lik farkla tercih sebebidir.

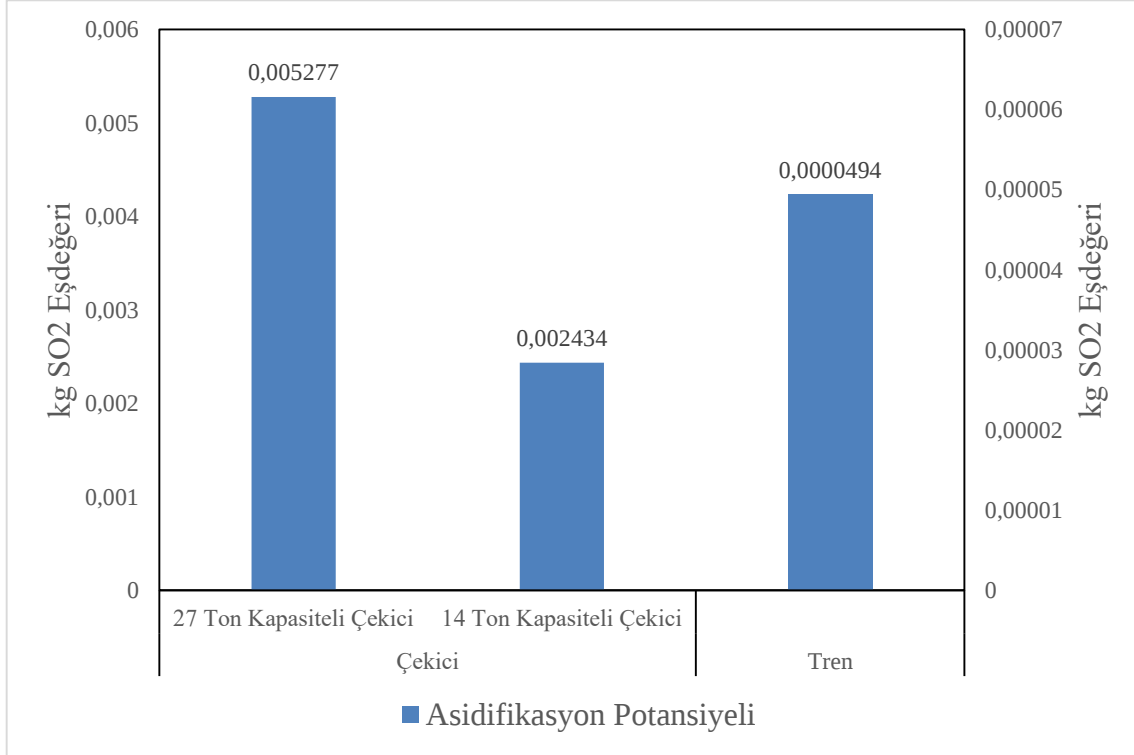
Ürün Sevkiyat Araçları Üzerine Kurulan Senaryolar

Tırlar, ticaret ve dağıtım faaliyetlerinde kullanılan temel araçlardır. Ancak, tırların çevre üzerindeki etkileri de oldukça büyüktür. Tırlar, yüksek miktarda karbondioksit (CO₂) ve diğer sera gazları emisyonlarını oluştururlar. Bu emisyonlar, iklim değişikliği ve hava kirliliğine de katkıda bulunmaktadır.

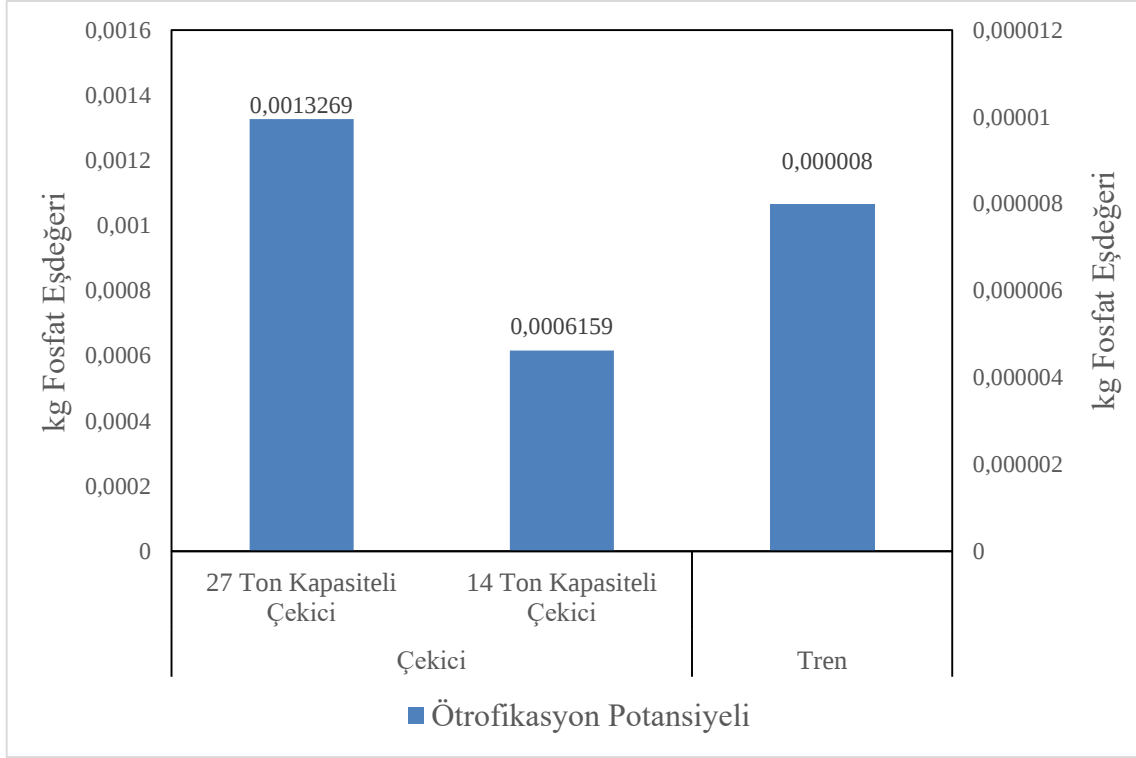
Çalışma da ürünlerin dağıtımı için kullanılan 27 ton kapasiteli çekicilerin yanı sıra çevreye olan etkilerini incelemek için 14 ton kapasiteli çekici ve tren gibi araçlarının 100 km mesafedeki noktalara sevkiyat senaryoları oluşturulmuştur. Sonuçlar grafikler halinde verilmiş ve genel yorum grafikler sonrasında yapılmıştır.



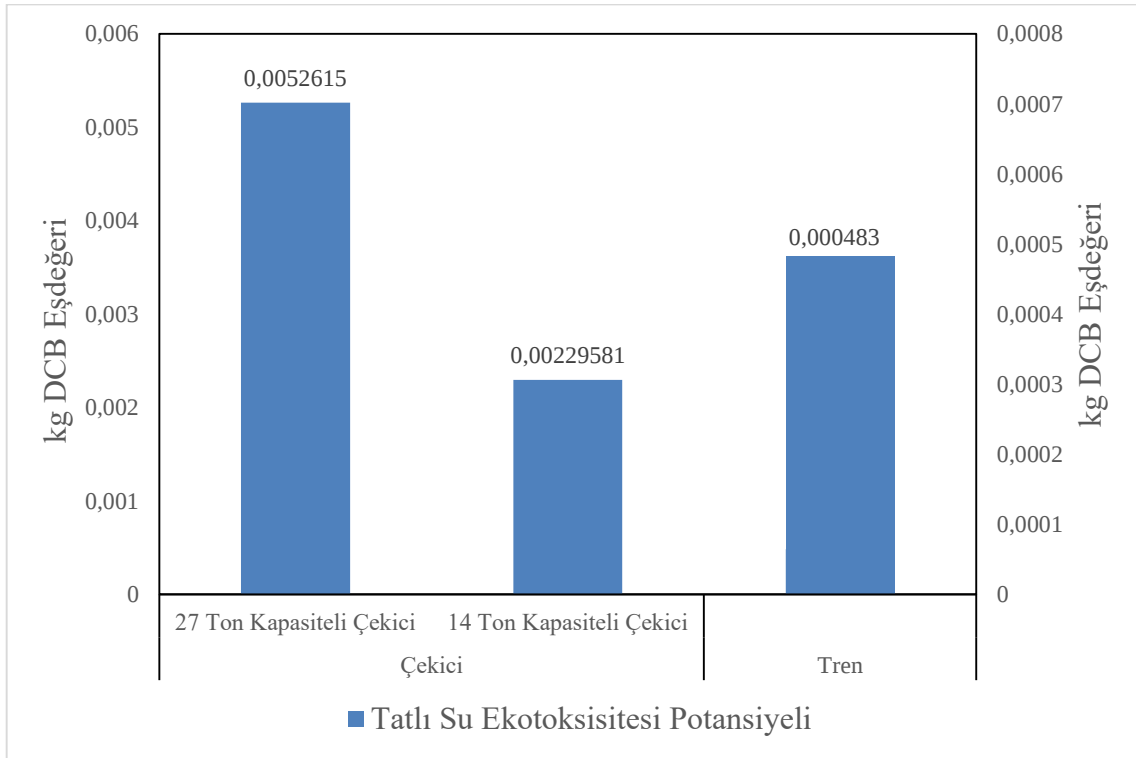
Şekil 45. Ürün Sevkiyat Araçları Abiyotik Fosil Kaynak Tüketimi [kWh]



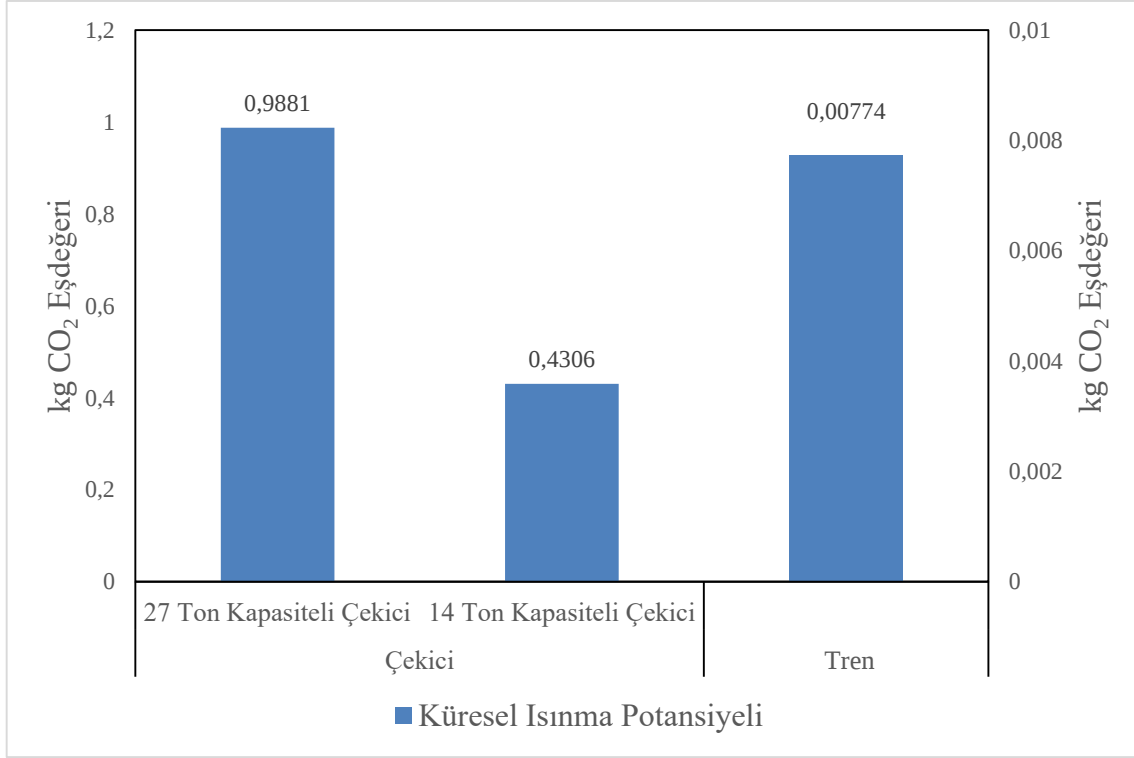
Şekil 46. Ürün Sevkiyat Araçları Asidifikasyon Potansiyeli [kg SO₂ eş.]



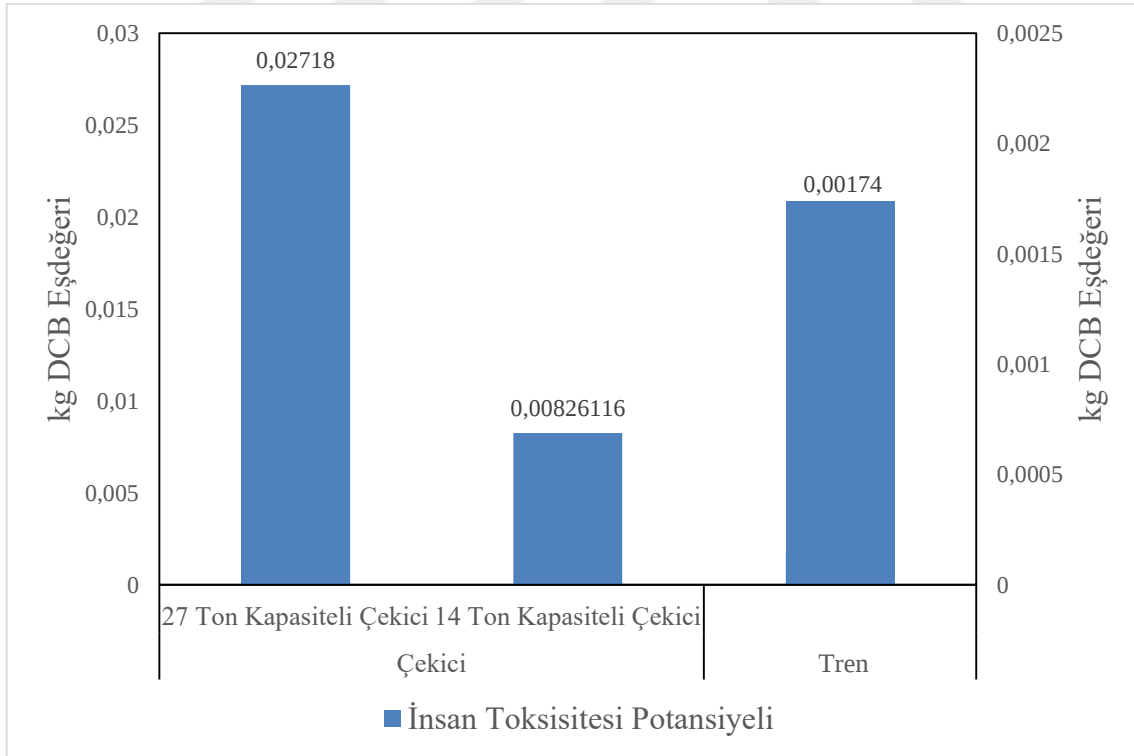
Şekil 47. Ürün Sevkiyat Araçları Ötrofikasyon Potansiyeli [kg Fosfat eş.]



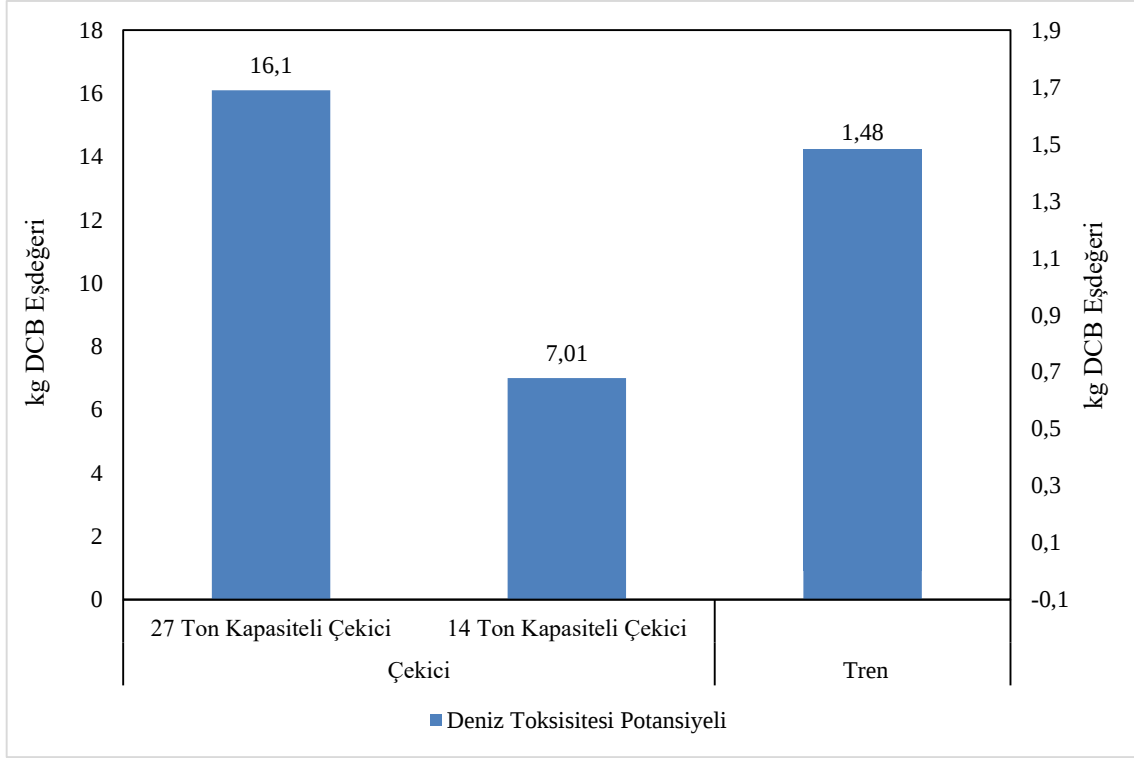
Şekil 48. Ürün Sevkiyat Araçları Tatlı Su Ekotoksitesitesi Potansiyeli [kg DCB eş.]



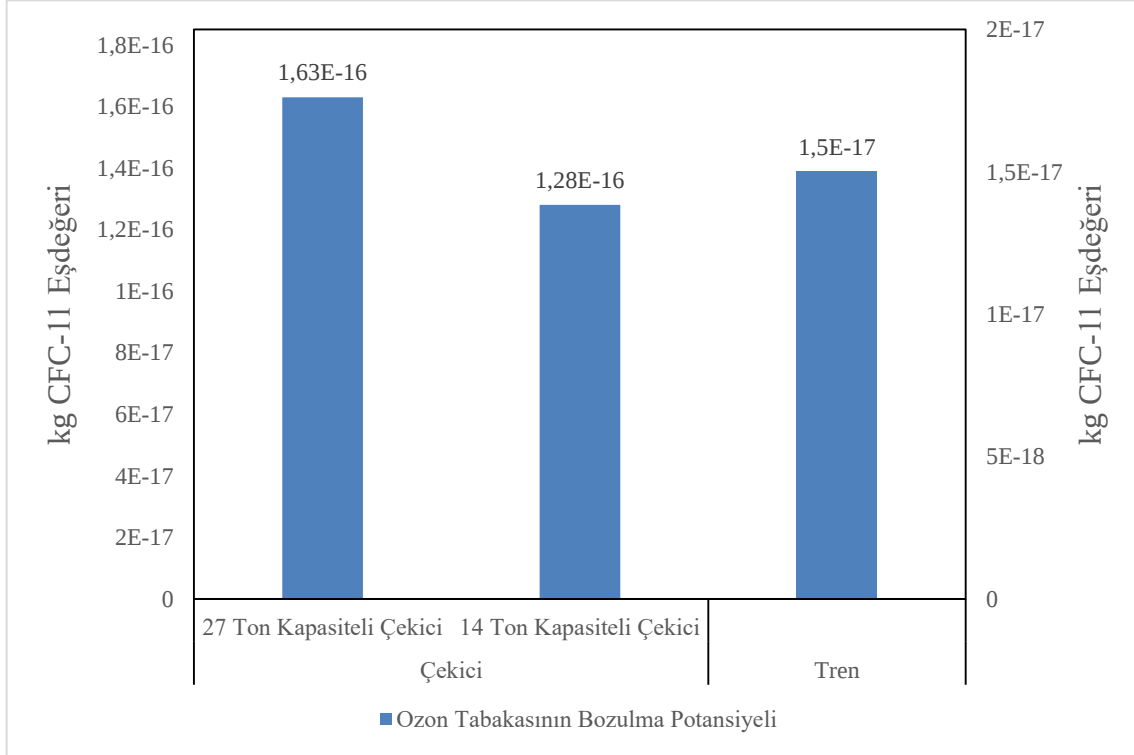
Şekil 49. Ürün Sevkiyat Araçları Küresel Isınma Potansiyeli [kg CO₂ eş.]



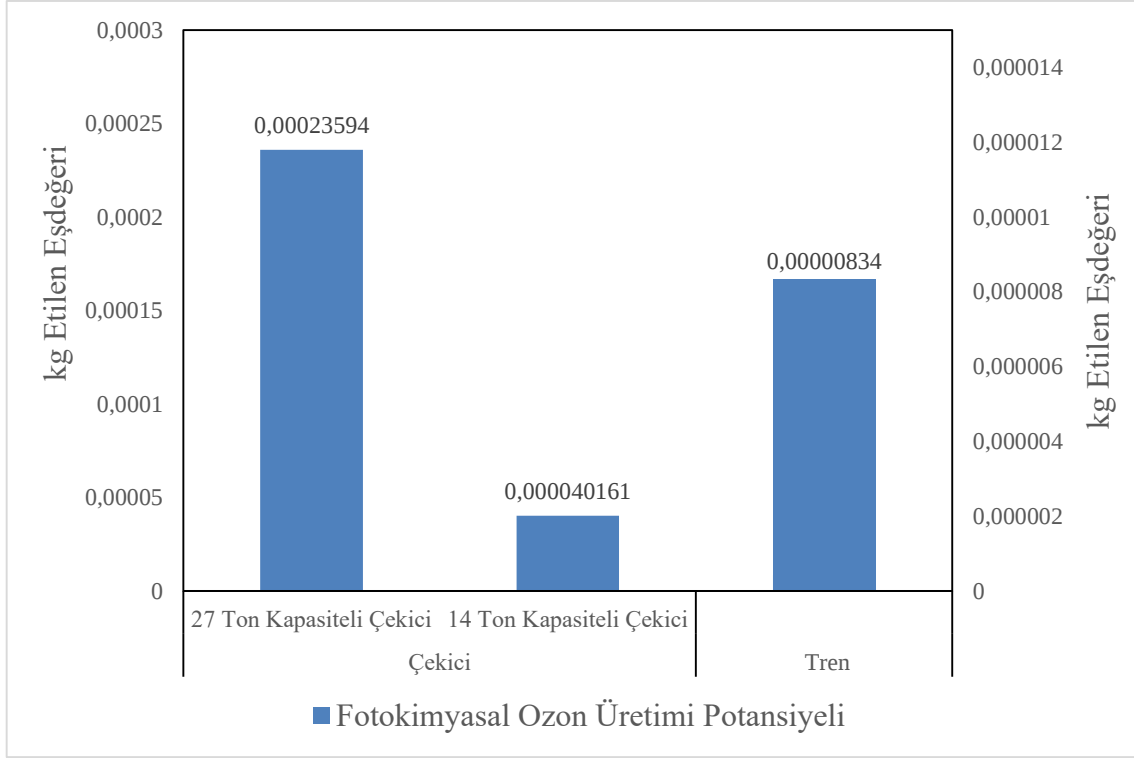
Şekil 50. Ürün Sevkiyat Araçları İnsan Toksisitesi Potansiyeli [kg DCB eş.]



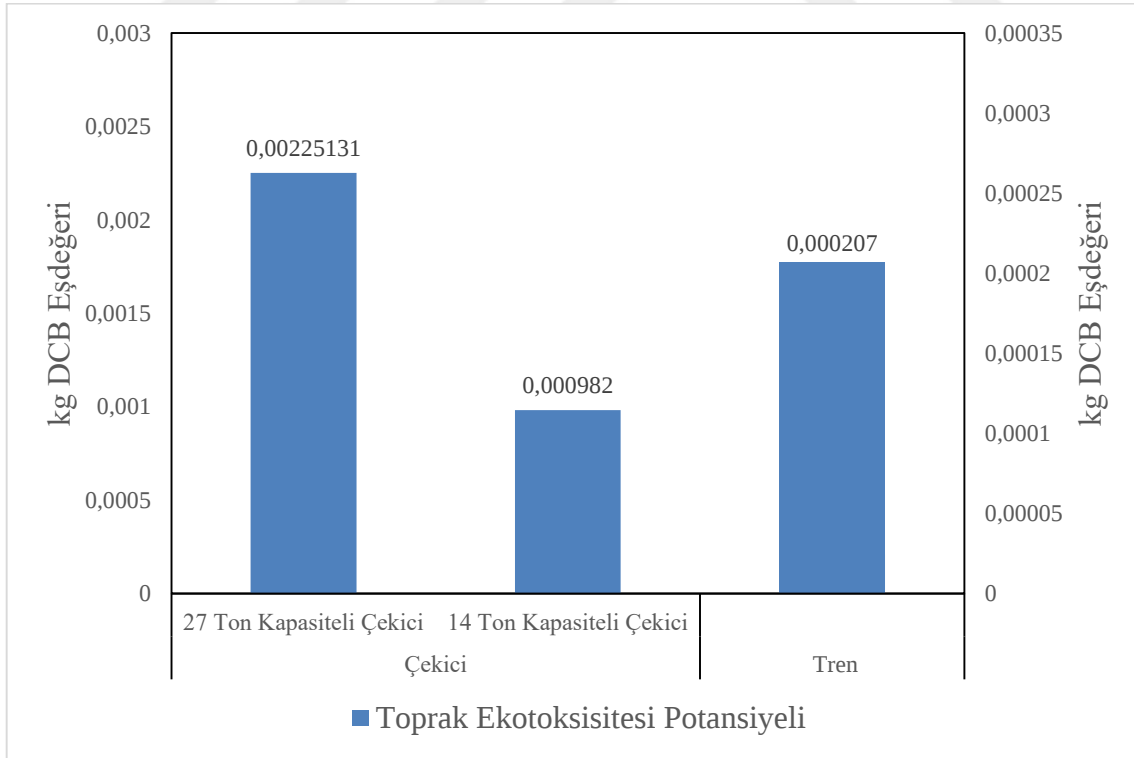
Şekil 51. Ürün Sevkiyat Araçları Deniz Toksisitesi Potansiyeli [kg DCB eş.]



Şekil 52. Ürün Sevkiyat Araçları Ozon Tabakasının Bozulma Potansiyeli [kg CFC-11 eş.]



Şekil 53. Ürün Sevkiyat Araçları Fotokimyasal Ozon Üretimi Potansiyeli [kg Etilen eş.]



Şekil 54. Ürün Sevkiyat Araçları Toprakta Ekotoksosite Potansiyeli [kg DCB eş.]

Burada grafikler iki eksenli verilmiş olup ikinci eksen çevresel etkisi az olan sevkiyat aracına göre ayarlanmıştır. Grafiklerden görüldüğü gibi çekiciler arasında karşılaştırmalar yapıldığında 27 ton kapasiteli çekici türü 14 ton kapasiteli çekici türüne göre daha çok çevresel emisyon yaymakta ve tren bu iki çekici türüne göre de çevresel performans açısından daha avantajlı olmaktadır.

Etki kategorileri ayrı ayrı incelendiğinde; Şekil 45'te de görüldüğü üzere abiyotik fosil kaynak tüketimi 27 ton kapasiteli çekici için 3,76 kWh iken 14 ton kapasiteli çekici için 1,64 kWh olmakta ve bu değer tren için ise 0,346 kWh'tir. Çevresel performans açısından en iyi olan tren, 14 ton kapasiteli çekiciye göre %78,902 daha az abiyotik fosil kaynak tüketmektedir. Şekil 46'da da görüldüğü üzere asidifikasyon potansiyeli açısından 0,005277 kg SO₂ eşdeğeri olup 14 ton kapasiteli çekici için 0,002434 kg SO₂ eşdeğeri olmakta ve bu değer tren için 0,0000494 kg SO₂ eşdeğeri olmaktadır. Burada ise tren, 14 ton kapasiteli çekiciye göre %97,97 daha az çevresel etkiye sahiptir. Şekil 47'de görüldüğü üzere 27 ton kapasiteli çekici için 0,0013269 kg fosfat eşdeğeri, 14 ton kapasiteli çekici için 0,0006159 kg fosfat eşdeğeri ve tren için ise 0,000008 kg fosfat eşdeğeri olmaktadır. Bu ise trenin 14 ton kapasiteli çekiciye göre %98,7 daha az çevresel etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Şekil 48'de tatlı su ekotoksitesitesi potansiyeli 0,0052615 kg DCB eşdeğeri, 14 ton kapasiteli çekici için 0,00229581 kg DCB eşdeğeri ve tren için ise 0,000483 kg DCB eşdeğeri görülmektedir ve bu trenin 14 ton kapasiteli çekiciye göre %78,962 oranında daha çevreci bir seçenek olduğunu göstermektedir. Şekil 49'da küresel ısınma potansiyeli 27 ton kapasiteli çekici için 0,9881 kg CO₂ eşdeğeri olmakta iken 14 ton kapasiteli çekici için 0,4306 kg CO₂ eşdeğeri olmakta ve bu değer tren için 0,00774 kg CO₂ eşdeğeri olmaktadır ve bu trenin 14 ton kapasiteli çekiciye göre %98,202 daha az küresel ısınma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Şekil 50'de insan toksisitesi potansiyeli görülmekte ve bu grafiğe göre 27 ton kapasiteli çekici için bu değer 0,02718 kg DCB eşdeğeri olurken 14 ton kapasiteli çekici için 0,00826116 kg DCB eşdeğeri olmakta ve tren için ise 0,00174 kg ECB eşdeğeri olmaktadır, böylece tren 14 ton kapasiteli çekiciye göre %78,934 oranında daha az insan toksisitesine sebebiyet vermektedir. Şekil 51'de deniz toksisitesi potansiyeli 27 ton kapasiteli çekici için 16,1 kg DCB eşdeğeri iken bu değer 14 ton kapasiteli çekici için 7,01 kg DCB eşdeğeri ve tren için ise 1,48 kg DCB eşdeğeri olmaktadır. Deniz toksisitesi açısından ise tren 14 ton kapasiteli çekiciye göre %78,887 oranında daha az potansiyele sahiptir. Şekil 52'de de araç türleri için ozon tabakası bozulma potansiyeli görülmektedir. 27 ton kapasiteli çekici için ozon tabakası bozulma potansiyeli 1,63E-16 kg CFC-11 eşdeğeri iken 14 ton kapasiteli çekici için 1,28E-16 kg CFC-11 eşdeğeri olmakta ve tren için ise bu değer 1,5E-17 kg CFC-11 eşdeğeri olmaktadır. Burada da yine tren çevresel performans açısından daha avantajlı olmakta ve bu avantaj 14 ton kapasiteli çekiciye göre %88,281 oranında olmaktadır. Şekil 53 fotokimyasal ozon üretimi

potansiyellerini göstermekte olup bunlar 27 ton kapasiteli çekici için 0,00023594 kg etilen eşdeğeri, 14 ton kapasiteli çekici için 0,000040161 kg etilen eşdeğeri ve tren için ise 0,00000834 kg etilen eşdeğerleridir. Fotokimyasal ozon üretimi bakımından ise tren 14 ton kapasiteli çekicilere göre %83 oranında daha az potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Son olarak Şekil 54'te toprak ekotoksitesitesi potansiyeli 27 ton kapasiteli çekici için 0,00225131 kg DCB eşdeğeri, 14 ton kapasiteli çekici için 0,000982 kg eşdeğeri ve tren için de 000207 kg DCB eşdeğerleri gösterilmektedir. Tren için toprak ekotoksitesitesi 14 ton kapasiteli çekiciye göre %78,92 daha az potansiyel içermekte olduğu anlaşılmaktadır.

Sonuç olarak tüm ekti kategorileri açısından baktığımızda tren, 14 ve 27 ton kapasiteli çekicilere göre çevresel performans açısından daha iyi bir seçenek olmaktadır. Trenin her bölgeden geçmediği gerçekliğiyle düşünülecek olursa bu taşıma faaliyetleri hibrit bir şekilde sürdürülmesi durumu söz konusu olabilmektedir. Bu durumda da mesafenin çoğunluğu tren ile alınacak olması durumu çevresel açıdan daha performanslı olacağı anlaşılabilmektedir.

Geri Dönüşüm Senaryosu

Bu başlık altında, %0, %25, %50, %75 ve %100 geri dönüşüm oranları, geri dönüşüm ünitesinin mevcut sisteme dahil olup olmaması ve elektrik enerjisinin şehir şebekesi, güneş panel ve rüzgâr türbin enerjileri tarafından karşılanması senaryolarına göre incelenmiştir.

Elektriğin Şehir Şebekesinden Sağlandığı Durumda Sistemin Çevresel Etkileri

Sistemin elektrik enerjisini şehir şebekesinden sağladığı ve geri dönüşüm ünitesinin sisteme dahil ya da hariç olduğu senaryolar karşılaştırılmaktadır. İlk önce sistem harici olan senaryo değerlendirilecektir.

Tablo 9. Şehir Şebekeli Sistem Harici Geri Dönüşüm Ünitesinin Çevresel Etkileri

Şehir Şebekesi	Geri Dönüşüm Oranı					Birimler
	0	25	50	75	100	
Abiyotik Fosil Kaynak Tüketimi	2388,736	2256,736	2122,736	1988,736	1854,745	kWh
Asidifikasyon Potansiyeli	1,510	1,489	1,467	1,446	1,424	kg SO ₂ Eş.
Ötrofikasyon Potansiyeli	0,110	0,108	0,105	0,103	0,100	kg Fosfat Eş.
Tatlı Su Ekotoksitesitesi Potansiyeli	1,511	1,359	1,204	1,049	0,894	kg DCB Eş.
Küresel Isınma Potansiyeli	498,937	487,237	475,437	463,537	451,638	kg CO ₂ Eş.
İnsan Toksisitesi Potansiyeli	23,883	23,273	22,643	22,018	21,393	kg DCB Eş.
Deniz Toksisitesi Potansiyeli	43228,033	42638,033	42048,033	41446,033	40848,076	kg DCB Eş.
Ozon Tabakasının Bozulma Potansiyeli	3,7E-11	3,7E-11	3,7E-11	3,7E-11	3,7E-11	kg CFC-11 Eş.
Fotokimyasal Ozon Üretimi Potansiyeli	0,112	0,108	0,103	0,098	0,094	kg Etilen Eş.
Toprak Ekotoksitesitesi Potansiyeli	2,469	2,437	2,404	2,371	2,338	kg DCB Eş.

Tablo 9 geri dönüşüm oranının tüm sistem açısından oluşturduğu etkilerin nasıl değiştiğini göstermektedir. Tahmin edilebileceği üzere geri dönüşüm oranı arttıkça sistemin toplam çevresel performansı her çevresel etki kategorisi açısından artmaktadır. Bu ise geri dönüşümün ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Burada düşüşler yine tahmin edilebileceği üzere sadece ham maddeler açısından olmakta, sisteme sağlanan enerjinin çevresel etkileri açısından bir düşüş yaşanmamaktadır. Burada en çok düşüşün yaşandığı çevresel etki kategorisi deniz toksisitesi potansiyeli olmaktadır. Plastiklerin, çevresel kirliliği en çok deniz ve okyanus ortamlarında oluşturduğu bilindiğine göre bu gayet makul bir sonuç olmaktadır. Diğer etki kategorileri açısından da önemli düşüşler yaşandığı görülmektedir. Bu ise geri dönüşümün ne kadar önemli olduğunu göstermektedir.

Tablo 10. Şehir Şebekeli Sistem Dahili Geri Dönüşüm Ünitesinin Çevresel Etkileri

Şehir Şebekesi	Geri Dönüşüm Oranı					Birimler
	0	25	50	75	100	
Abiyotik Fosil Kaynak Tüketimi	2388,736	2706,736	2910,236	3169,986	3331,308	kWh
Asidifikasyon Potansiyeli	1,510	1,959	2,290	2,679	2,966	kg SO ₂ Eş.
Ötrofikasyon Potansiyeli	0,110	0,137	0,156	0,179	0,195	kg Fosfat Eş.
Tatlı Su Ekotoksitesitesi Potansiyeli	1,511	1,469	1,397	1,338	1,255	kg DCB Eş.
Küresel Isınma Potansiyeli	498,937	623,237	713,437	820,537	897,888	kg CO ₂ Eş.
İnsan Toksisitesi Potansiyeli	23,883	29,773	34,018	39,081	42,721	kg DCB Eş.
Deniz Toksisitesi Potansiyeli	43228,033	56238,033	65848,033	77146,033	85473,076	kg DCB Eş.
Ozon Tabakasının Bozulma Potansiyeli	3,7E-11	5,1E-11	6,1E-11	7,2E-11	8,1E-11	kg CFC-11 Eş.
Fotokimyasal Ozon Üretimi Potansiyeli	0,112	0,131	0,144	0,160	0,171	kg Etilen Eş.
Toprak Ekotoksitesitesi Potansiyeli	2,469	2,627	2,737	2,870	2,962	kg DCB Eş.

Tablo 10’de ise geri dönüşüm ünitesinin sistem dahilinde olduğu ve elektrik ihtiyacının şehir şebekesinden sağlandığı senaryoda, geri dönüşüm oranlarına göre tüm sistemin çevresel etkileri gösterilmektedir. Burada her ne kadar geri dönüşüm oranı arttığında çevresel etkilerin düşeceği ve çevresel performansın artacağı tahmin edilebilse dahi, bu tahminin aksine geri dönüşüm için harcanacak enerji ihtiyacı şehir şebekesinden karşılandığı ve şehir şebekesi de fosil kaynaklardan üretildiği için sistemin toplam çevresel etkilerini artırmaktadır. Bundan dolayı sistemin elektrik ihtiyacının şehir şebekesinden karşılanması durumunda geri dönüşüm ünitesinin sistem dahilinde oluşturulması ve böyle işletilmesi senaryosu, geri dönüşüm ünitesinin sistem harici olması senaryosundan daha fazla çevresel etki oluşturduğu görülmektedir. Bu yüzden sistemde şehir şebeke elektriği kullanılması durumunda geri dönüşüm ünitesinin mevcut sistem içerisine dahil edilmesi önerilmemektedir.

Elektriğin Güneş Paneli Enerjisinden Karşılandığı Durumda Sistemin Çevresel Etkileri

Bu başlık altında, sistemin elektrik enerjisini güneş paneli enerjisinden sağladığı ve geri dönüşüm ünitesinin sisteme dahil ya da hariç olduğu senaryolar karşılaştırılmaktadır. Tablo 11 ve 12’te görülmekte olduğu üzere sistem elektrik enerjisini güneş paneli enerjisi ile karşılaştırdığı durumda toplam çevresel etkilerin geri dönüşüm tesisinin sistem içerisinde veya dışarısında olmasına bağlı olmaksızın aynı olduğu görülmektedir. Türkiye’de plastik bazında geri dönüşüm oranının %25 olduğundan bahsedilmişti. Buradan yola çıkılarak geri dönüşüm ünitesi sistem harici geri dönüşüm oranının, geri dönüşüm ünitesi sistem dahili geri dönüşüm oranının daha yüksek olması durumunda geri ünitesinin sistem dahilinde olması önerilmektedir.

Tablo 11. Güneş Enerjili Sistemin Harici Geri Dönüşüm Ünitesinin Çevresel Etkileri

Güneş Paneli Enerjisi	Geri Dönüşüm Oranı					Birimler
	0	25	50	75	100	
Abiyotik Fosil Kaynak Tüketimi	1134,196	1002,196	868,196	734,196	600,205	kWh
Asidifikasyon Potansiyeli	0,206	0,185	0,164	0,142	0,120	kg SO ₂ Eş.
Ötrofikasyon Potansiyeli	0,030	0,028	0,025	0,023	0,020	kg Fosfat Eş.
Tatlı Su Ekotoksitesitesi Potansiyeli	1,235	1,083	0,928	0,773	0,618	kg DCB Eş.
Küresel Isınma Potansiyeli	125,647	113,947	102,147	90,247	78,348	kg CO ₂ Eş.
İnsan Toksisitesi Potansiyeli	6,635	6,025	5,395	4,770	4,145	kg DCB Eş.
Deniz Toksisitesi Potansiyeli	5920,033	5330,033	4740,033	4138,033	3540,076	kg DCB Eş.
Ozon Tabakasının Bozulma Potansiyeli	9,5E-12	9,5E-12	9,5E-12	9,4E-12	9,4E-12	kg CFC-11 Eş.
Fotokimyasal Ozon Üretimi Potansiyeli	0,047	0,042	0,038	0,033	0,029	kg Etilen Eş.
Toprak Ekotoksitesitesi Potansiyeli	1,953	1,921	1,888	1,855	1,822	kg DCB Eş.

Tablo 12. Güneş Enerjili Sistemin Dahili Geri Dönüşüm Ünitesinin Çevresel Etkileri

Güneş Paneli Enerjisi	Geri Dönüşüm Oranı					Birimler
	0	25	50	75	100	
Abiyotik Fosil Kaynak Tüketimi	1134,196	1002,196	868,196	734,196	600,205	kWh
Asidifikasyon Potansiyeli	0,206	0,185	0,164	0,142	0,120	kg SO ₂ Eş.
Ötrofikasyon Potansiyeli	0,030	0,028	0,025	0,023	0,020	kg Fosfat Eş.
Tatlı Su Ekotoksitesitesi Potansiyeli	1,235	1,083	0,928	0,773	0,618	kg DCB Eş.
Küresel Isınma Potansiyeli	125,647	113,947	102,147	90,247	78,348	kg CO ₂ Eş.
İnsan Toksisitesi Potansiyeli	6,635	6,025	5,395	4,770	4,145	kg DCB Eş.
Deniz Toksisitesi Potansiyeli	5920,033	5330,033	4740,033	4138,033	3540,076	kg DCB Eş.
Ozon Tabakasının Bozulma Potansiyeli	9,5E-12	9,5E-12	9,5E-12	9,4E-12	9,4E-12	kg CFC-11 Eş.
Fotokimyasal Ozon Üretimi Potansiyeli	0,047	0,042	0,038	0,033	0,029	kg Etilen Eş.
Toprak Ekotoksitesitesi Potansiyeli	1,953	1,921	1,888	1,855	1,822	kg DCB Eş.

Elektriğin Rüzgâr Türbini Enerjisinden Karşılandığı Durumda Sistemin Çevresel Etkileri

Bu başlık altında sistemin elektrik enerjisini rüzgâr türbini enerjisinden sağladığı ve geri dönüşüm ünitesinin sisteme dahil ya da hariç olduğu senaryolar karşılaştırılmaktadır. Sonuçlar güneş paneli kaynaklı elektrik ile geri dönüşüm senaryolarının sonuçlarına benzerlik gösterecek şekilde sistem elektrik enerjisini rüzgâr türbini enerjisi ile karşılaştırdığı durumda toplam çevresel etkilerin geri dönüşüm tesisinin sistem içerisinde veya dışarısında olmasına bağlı olmaksızın aynı olduğu görülmektedir. Ancak güneş panel enerjisine nazaran sistemin bazı etki kategoriler için çevresel performansının arttığı görülmektedir. Sonuçlar Tablo 13 ve 14'te gösterilmektedir.

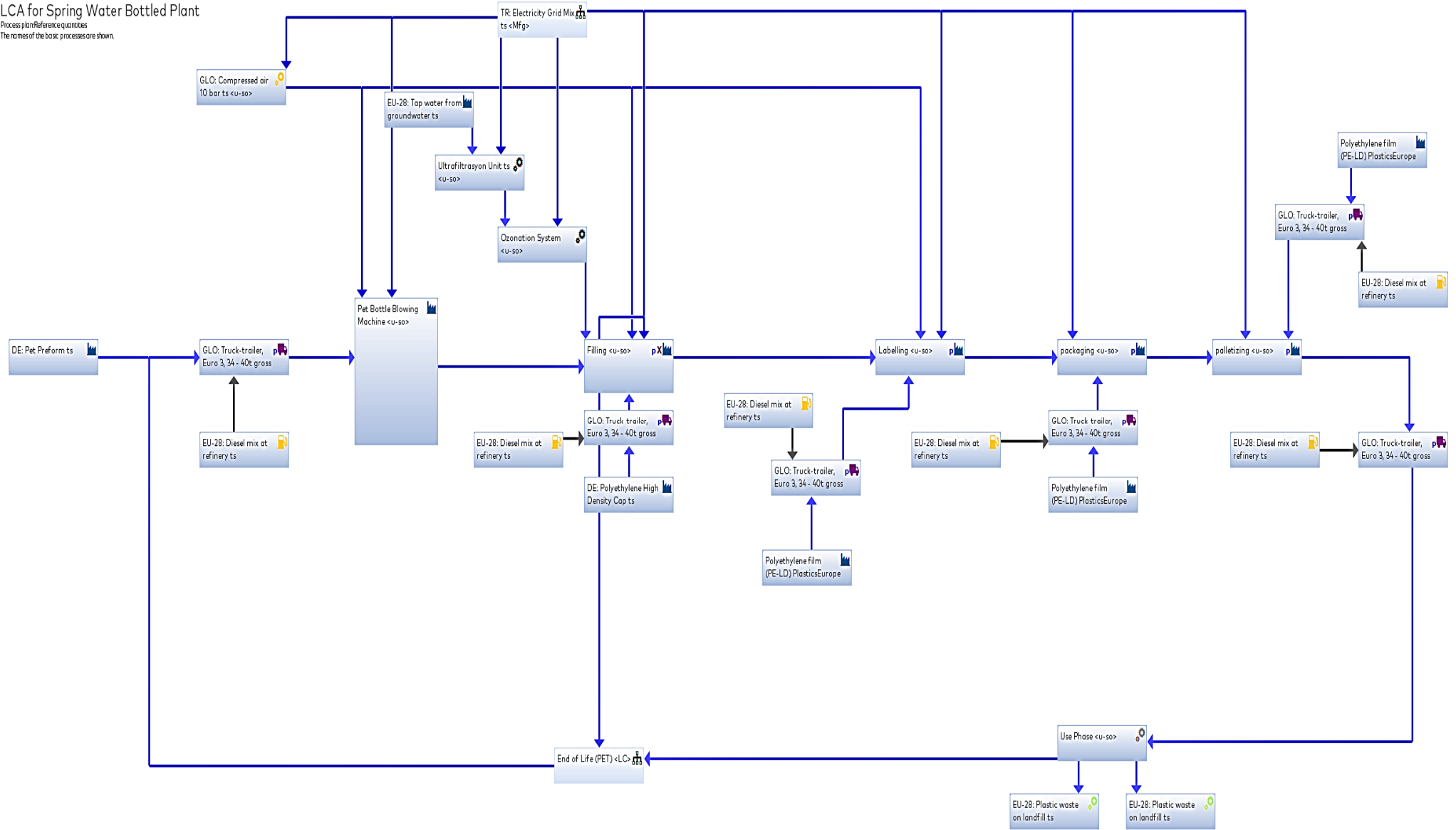
Tablo 13. Rüzgâr Enerjili Sistem Harici Geri Dönüşüm Ünitesinin Çevresel Etkileri

Rüzgâr Türbini Enerjisi	Geri Dönüşüm Oranı					Birimler
	0	25	50	75	100	
Abiyotik Fosil Kaynak Tüketimi	1129,604	997,604	863,604	729,604	595,613	kWh
Asidifikasyon Potansiyeli	0,201	0,180	0,158	0,136	0,115	kg SO ₂ Eş.
Ötrofikasyon Potansiyeli	0,030	0,028	0,025	0,022	0,020	kg Fosfat Eş.
Tatlı Su Ekotoksitesitesi Potansiyeli	1,226	1,074	0,919	0,764	0,609	kg DCB Eş.
Küresel Isınma Potansiyeli	124,204	112,504	100,704	88,804	76,905	kg CO ₂ Eş.
İnsan Toksisitesi Potansiyeli	6,244	5,634	5,004	4,379	3,754	kg DCB Eş.
Deniz Toksisitesi Potansiyeli	5382,133	4792,133	4202,133	3600,133	3002,176	kg DCB Eş.
Ozon Tabakasının Bozulma Potansiyeli	7,6E-13	7,3E-13	7,0E-13	6,6E-13	6,3E-13	kg CFC-11 Eş.
Fotokimyasal Ozon Üretimi Potansiyeli	0,046	0,042	0,037	0,033	0,028	kg Etilen Eş.
Toprak Ekotoksitesitesi Potansiyeli	1,964	1,932	1,899	1,866	1,833	kg DCB Eş.

Tablo 14. Rüzgâr Enerjili Sistemin Dahili Geri Dönüşüm Ünitesinin Çevresel Etkileri

Rüzgâr Türbini Enerjisi	Geri Dönüşüm Oranı					Birimler
	0	25	50	75	100	
Abiyotik Fosil Kaynak Tüketimi	1129,604	997,604	863,604	729,604	595,613	kWh
Asidifikasyon Potansiyeli	0,201	0,180	0,158	0,136	0,115	kg SO ₂ Eş.
Ötrofikasyon Potansiyeli	0,030	0,028	0,025	0,022	0,020	kg Fosfat Eş.
Tatlı Su Ekotoksitesitesi Potansiyeli	1,226	1,074	0,919	0,764	0,609	kg DCB Eş.
Küresel Isınma Potansiyeli	124,204	112,504	100,704	88,804	76,905	kg CO ₂ Eş.
İnsan Toksisitesi Potansiyeli	6,244	5,634	5,004	4,379	3,754	kg DCB Eş.
Deniz Toksisitesi Potansiyeli	5382,133	4792,133	4202,133	3600,133	3002,176	kg DCB Eş.
Ozon Tabakasının Bozulma Potansiyeli	7,6E-13	7,3E-13	7,0E-13	6,6E-13	6,3E-13	kg CFC-11 Eş.
Fotokimyasal Ozon Üretimi Potansiyeli	0,046	0,042	0,037	0,033	0,028	kg Etilen Eş.
Toprak Ekotoksitesitesi Potansiyeli	1,964	1,932	1,899	1,866	1,833	kg DCB Eş.

LCA for Spring Water Bottled Plant
Process plant reference quantities
The names of the basic processes are shown.



Şekil 55. Tesisin Gabi Üzerinde Geri Dönüşümün Dahil Olduğu Akış Şeması

Son olarak elektrik enerjisi şehir şebekesinden karşılandığı durumda tüm sistemin çevresel etkileri Tablo 15’de, elektrik enerjisi güneş enerjisinden karşılandığı durumda tüm sistemin çevresel etkileri Tablo 16’da, elektrik enerjisi rüzgar enerjisinden karşılandığı durumda tüm sistemin çevresel etkileri Tablo 17’de gösterilmektedir. Tablo 15, Tablo 16 ve Tablo 17’deki değerler geri dönüşüm ünitesinin sistem içerisinde olmadığı ve geri dönüşüm oranının %25 olduğu senaryolar içindir.

Tablo 15. Sistemin Çevresel Etki Analiz Sonuçları ve Toplamı (Şehir Şebeke Enerjisi)

CML 2001- Jan. 2016			Şehir Şebeke Enerjisi	Preform	Kapak	Etiket, Plastik Ambalaj ve Streç	Kaynak Suyu	Preform Taşıyan Tır	Kapak Taşıyan Tır	Streç Taşıyan Tır	Etiket Taşıyan Tır	Ambalaj Taşıyan Tır	Toplam	Birimler
Abiyotik Tüketimi	Fosil	Kaynak	1260	383	188	402	0,311	12,7	1,05	6,3E-04	0,944	8,73	2257	kWh
Asidifikasyon Potansiyeli			1,31	0,0539	0,0272	0,0648	0,00014	1,8E-02	1,5E-03	8,8E-07	0,00133	0,0123	1,489	kg SO ₂ Eş.
Ötrofikasyon Potansiyeli			0,0805	0,00813	0,00326	0,00771	0,000104	4,5E-03	3,7E-04	2,2E-07	0,00033	0,0031	0,108	kg Fosfat Eş.
Tatlı Su Potansiyeli	Su	Ekotoksitesi	0,287	0,351	0,222	0,465	0,00134	1,8E-02	1,5E-03	8,8E-07	1,32E-03	0,012	1,359	kg DCB Eş.
Küresel Isınma Potansiyeli			375	53,2	17,2	35,6	0,0919	3,3	2,8E-01	1,7E-04	0,2482	2,295	487,237	kg CO ₂ Eş.
İnsan Toksisitesi Potansiyeli			18,1	2,25	0,868	1,88	0,0065	9,1E-02	7,6E-03	4,5E-06	0,0068	0,063	23,27324	kg DCB Eş.
Deniz Toksisitesi Potansiyeli			37900	1990	852	1790	6	54,1	4,5	2,7E-03	4,04	37,4	42638,03	kg DCB Eş.
Ozon Tabakasının Bozulma Potansiyeli			3,7E-11	2,6E-13	6,9E-14	1,0E-13	7,8E-16	5,5E-16	4,6E-17	2,7E-20	4,1E-17	3,8E-16	3,73E-11	kg CFC- 11 Eş.
Fotokimyasal Ozon Üretimi Potansiyeli			0,0657	0,0153	0,00544	0,0138	1,22E-05	0,007	7,1E-04	4,2E-07	6,4E-04	0,0059	0,115	kg Etilen Eş.
Toprak Potansiyeli		Ekotoksitesi	0,521	1,750	0,052	0,099	0,001	7,6E-03	6,3E-04	3,8E-07	5,67E-04	0,00524	2,437	kg DCB Eş.

Tablo 16. Sistemin Çevresel Etki Analiz Sonuçları ve Toplamı (Güneş Panel Enerjisi)

CML 2001- Jan. 2016			Güneş Panel Enerjisi	Preform	Kapak	Etiket, Plastik Ambalaj ve Streç	Kaynak Suyu	Preform Taşıyan Tır	Kapak Taşıyan Tır	Streç Taşıyan Tır	Etiket Taşıyan Tır	Ambalaj Taşıyan Tır	Toplam	Birimler
Abiyotik Tüketimi	Fosil	Kaynak	5,46	383	188	402	0,311	12,7	1,05	0,000627838	0,944	8,73	1002,2	kWh
Asidifikasyon Potansiyeli			0,0063	0,0539	0,0272	0,0648	0,000135	0,0178	0,00147	8,8E-07	0,00133	0,012	0,185	kg SO ₂ Eş.
Ötrofikasyon Potansiyeli			0,000516	0,00813	0,00326	0,00771	0,000104	0,0045	0,0003723	2,2E-07	0,00033	0,003	0,028	kg Fosfat Eş.
Tatlı Su Potansiyeli	Su	Ekotoksitesi	0,0106	0,351	0,222	0,465	0,00134	0,0177	0,00147321	8,8E-07	0,00132	0,012	1,083	kg DCB Eş.
Küresel Isınma Potansiyeli			1,71	53,2	17,2	35,6	0,0919	3,3259	0,2755	1,7E-04	0,24819	2,295	113,947	kg CO ₂ Eş.
İnsan Toksisitesi Potansiyeli			0,852	2,25	0,868	1,88	0,0065	0,0913	0,00757	4,5E-06	0,00682	0,063	6,025	kg DCB Eş.
Deniz Toksisitesi Potansiyeli			592	1990	852	1790	6	54,1	4,5	0,0027	4,04	37,4	5330,033	kg DCB Eş.
Ozon Tabakasının Bozulma Potansiyeli			9,1E-12	2,6E-13	6,9E-14	1,0E-13	7,8E-16	5,5E-16	4,6E-17	2,7E-20	4,1E-17	3,79E-16	9,5E-12	kg CFC-11 Eş.
Fotokimyasal Potansiyeli	Ozon	Üretimi	5,9E-04	1,5E-02	5,4E-03	1,4E-02	1,2E-05	7,0E-03	7,1E-04	4,2E-07	6,4E-04	5,9E-03	0,049	kg Etilen Eş.
Toprak Potansiyeli		Ekotoksitesi	5,1E-03	1,75	5,2E-02	9,9E-02	1,2E-03	7,6E-03	6,3E-04	3,8E-07	5,7E-04	5,2E-03	1,921	kg DCB Eş.

Tablo 17. Sistemin Çevresel Etki Analiz Sonuçları ve Toplamı (Rüzgâr Türbin Enerjisi)

CML 2001- Jan. 2016			Rüzgâr Türbin Enerjisi	Preform	Kapak	Etiket, Plastik Ambalaj ve Streç	Kaynak Suyu	Preform Taşıyan Tır	Kapak Taşıyan Tır	Streç Taşıyan Tır	Etiket Taşıyan Tır	Ambalaj Taşıyan Tır	Toplam	Birimler
Abiyotik Tüketimi	Fosil	Kaynak	0,868	383	188	402	0,311	12,7	1,05	0,000627838	0,944	8,73	997,60	kWh
Asidifikasyon Potansiyeli			7,3E-04	0,0539	0,0272	0,0648	1,4E-04	1,8E-02	1,5E-03	8,8E-07	1,3E-03	1,2E-02	0,180	kg SO ₂ Eş.
Ötrofikasyon Potansiyeli			8,37E-05	0,00813	0,00326	0,00771	1,0E-04	4,5E-03	3,7E-04	2,2E-07	3,3E-04	3,1E-03	0,028	kg Fosfat Eş.
Tatlı Su Potansiyeli	Su	Ekotoksitesi	0,00238	0,351	0,222	0,465	1,3E-03	1,8E-02	1,5E-03	8,8E-07	1,3E-03	1,2E-02	1,074	kg DCB Eş.
Küresel Isınma Potansiyeli			0,267	53,2	17,2	35,6	9,2E-02	3,326	2,8E-01	1,7E-04	2,5E-01	2,295	112,5	kg CO ₂ Eş.
İnsan Toksisitesi Potansiyeli			4,61E-01	2,25	0,868	1,88	6,5E-03	0,0913	7,6E-03	4,5E-06	6,8E-03	0,063	5,634	kg DCB Eş.
Deniz Toksisitesi Potansiyeli			54,1	1990	852	1790	6	54,1	4,49	2,7E-03	4,04	37,4	4792,13	kg DCB Eş.
Ozon Tabakasının Bozulma Potansiyeli			3,02E-13	2,56E-13	6,85E-14	1,01E-13	7,82E-16	5,49E-16	4,55E-17	2,7E-20	4,1E-17	3,79E-16	7,3E-13	kg CFC- 11 Eş.
Fotokimyasal Potansiyeli	Ozon	Üretimi	2,4E-05	1,5E-02	5,4E-03	1,4E-02	1,2E-05	7,0E-03	7,1E-04	4,2E-07	6,4E-04	5,9E-03	0,049	kg Etilen Eş.
Toprak Potansiyeli		Ekotoksitesi	1,6E-02	1,75	5,2E-02	9,9E-02	1,2E-03	7,6E-03	6,3E-04	3,8E-07	5,7E-04	5,2E-03	1,932	kg DCB Eş.

SONUÇLAR

Ülkemizde hala çoğu sektörde yaşam döngüsü analizi yapılmamış ve bu konunun önemi anlaşılmamış olduğu literatür taramalarından görülmektedir. Yaşam döngüsü analizi hem çevresel hem de ekonomik olarak tesislerin, kurumların, işletme ve fabrikaların performansını artıracak, hem de kanun koyucuların ve karar vericilerin önemli standartlar oluşturmalarında, bunları yenilemelerinde ve uygulamalarında önemli ölçülerde kolaylıklar sağlamaktadır.

Bu çalışmada, bir doğal kaynak suyu şişeleme tesisinin, hammadde temininden başlayarak üretiminin tüm süreçleri, kullanım aşaması ve atık oluşumuyla birlikte geri dönüşümü de dahil olmak üzere beşikten mezara yaklaşımlı bir yaşam döngüsü analizi yapılmıştır. Çalışmada kullanılan veriler envanter analizi çalışması dahilinde, çalışmanın yapıldığı tesiste kayda alınmıştır. Çalışmanın yapıldığı GaBi 9.2 yazılımının eğitim sürümü Sphera Solutions ile gerekli yazışmalar sağlanarak ve yazılımın bilimsel amaçla kullanılmak istendiği kanıtlanarak lisansı alınmış olup envanter analizinde toplanan veriler bu yazılımında çevresel etki kategorizasyonlarından olan CML 2001 – Jan. 2016 ile analiz edilmiş ve sonuçlar tüm tesis boyunca ve tesisin her bir adımından ayrı ayrı alınmıştır. Ayrıca oluşturulan senaryolar ile tesisin çevresel performansını artırmaya yönelik hedefler karşılaştırma sonuçları ve grafikler sonrasında verilmiştir.

İlk önce çalışma için gerekli olan fonksiyonel birim belirlenmiştir. Çalışmada fonksiyonel birim 1 m³ şişelenmiş su olarak saptanmıştır. Bu fonksiyonel birim, analiz hesaplamalarında ve karşılaştırmalarda alınan sonuçların birimsel bazda mantıklı olması için gereklidir. Bu aşamadan sonra ise sistem sınırları belirlenmiştir. Sistem sınırları hammaddelerin tesise girişinden başlayarak ürünlerin kullanımı ve oransal bazda geri dönüşümünü de dahil edecek şekilde de seçilmiştir. Daha sonra tesisin akış şeması yazılımda oluşturulmuş ve akış şeması içerisinde olan tüm enerji ve hammadde girişleri ile tüm çıkış ve kaçaklar da yazılıma girilmiştir.

İlerleyen aşamalarda fonksiyonel birim, sistem sınırları ve girdi çıktılarına göre bir etki kategorizasyon modeli seçilmiş ve gerekli tüm çevresel etki kategorilerine göre emisyonlar hesaplanıp çalışma içerisinde verilmiştir. Bu etki kategorilerine göre tüm sistem ve senaryolar karşılaştırılmıştır.

Buna göre tüm sistemde en çok emisyon oluşturan kaynak olarak karşımıza elektrik çıkmaktadır. Elektrik şehir şebekesi kaynaklı ise, 375 kg CO₂ eşdeğer küresel ısınma potansiyeline sahipken, güneş paneli kaynaklı elektrikte bu değer 1,71 kg CO₂ eşdeğer ve rüzgâr türbini kaynaklı elektrikte ise bu değer 0,267 kg CO₂ eşdeğeri olmaktadır. Bu üç elektrik kaynağı tüm etki

kategorilerinde karşılaştırıldığında rüzgâr türbini kaynaklı elektrik çevresel performans açısından daha iyi olduğu anlaşılmaktadır.

Pet preformların karşılaştırması yapılmış ve çevresel etki potansiyellerini belirlemek için ağırlık bazında değerlendirilmiştir. Bu çevresel etki kategorilerinden biri olan küresel ısınma potansiyelinde, 9 gramlık preform 53,2 kg CO₂ eşdeğer, 10 gramlık 59,1 kg CO₂ eşdeğer ve 11 gramlık ise 65 kg CO₂ eşdeğer sonuçlarını vermiştir. Bu sonuçlarda ve diğer tüm etki kategorilerinde 9 gramlık preformun çevresel açıdan en performanslı ürün olduğu anlaşılmıştır.

Ürünleri taşıyacak olan araçlar için kurulan senaryoda ise 27 ton kapasiteli çekici, 14 ton kapasiteli çekici ve tren, çevresel etki potansiyellerini belirlemek adına, birbirleriyle karşılaştırılmışlardır. Bu karşılaştırmalara göre ürün sevkiyatı için tren seçilmesi durumunda tüm etki kategorilerinde çevresel performans artırılmış olacağı görülmüştür. Örneğin, küresel ısınma potansiyeli 27 ton kapasiteli çekici için 0,9881 kg CO₂ eşdeğeri, 14 ton kapasiteli çekici için 0,4306 kg CO₂ eşdeğeri ve tren için 0,00774 kg CO₂ eşdeğeri olmaktadır ve bu trenin 14 ton kapasiteli çekiciye göre %98,202 daha az küresel ısınma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

Son senaryoda, geri dönüşüm ünitesinin mevcut su işleme tesisinde faaliyet görmesi halinde emisyonların değişimi araştırılmıştır. Mevcut ve geri dönüşüm ünitesinin tesis bünyesinde olduğu her iki durumda da geri dönüşümün yüzdeleri sıfırdan yüze, her adımda artırılarak, %0, %25, %50, %75 ve %100 olacak şekilde seçilip, üç farklı elektrik kaynağına göre ayrı ayrı çevresel emisyonları hesaplanmıştır. Bu durumda, şehir şebekesi için geri dönüşüm ünitesinin tesise entegre edilemeden devam edilmesi ve geri dönüşüm oranlarının artırılması durumları için çevresel performansın daha iyi olduğu görülmüştür. Bunun en büyük nedeni geri dönüşüm ünitesinin mevcut tesis içinde olduğu durumda şehir şebekesinden geri dönüşüm için elektrik enerjisi çekecek olmasıdır.

Güneş panel enerjisi ve rüzgâr türbini kaynaklı elektrik enerjileri kullanıldığında ise geri dönüşüm ünitesinin mevcut tesise eklenmesi durumunda elektrik kaynaklı emisyonlarda bir değişiklik olmadığı ancak geri dönüşüm oranı arttıkça plastik kaynaklı emisyonlar azaldığı için tüm sistemin de emisyonlarının azaldığı görülmüştür. Güneş panel enerjisi ile rüzgâr türbin enerjisi bu konuda karşılaştırıldığında ise rüzgâr türbin kaynaklı sistemde diğerine göre bazı emisyonlar için düşüşler yaşandığı görülmüştür.

KAYNAKÇA

- Akkurt Ş.H., İskender G.F., 2018 Büyük Ölçekli Su Arıtma Tesisinin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi, Y.Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi
- Anonim-a, Ambalajlı Suyun Tarihçesi, Ambalajlı Su Üreticileri Derneği
<https://suder.org.tr/ambalajli-su/ambalajli-suyun-tarihcesi> (25.01.2023)
- Anonim-b, Sektör Hakkında- Genel Yapı ve Rakamsal Büyüklük, Ambalajlı Su Üreticileri Derneği,
<https://suder.org.tr/ambalajli-su/istatistik> (25.01.2023)
- Anonim-c, 2020. İklim Değişikliği ve Politikaları Uygulama ve Araştırma Merkezi. Boğaziçi Üniversitesi, <http://climatechange.boun.edu.tr/kuresel-isinma-mi-kuresel-iklim-degisikligi-mi/> (22.01.2023)
- Anonim-d, 2019. Ozon Tabakası, İklim Değişikliği ve Politikaları Uygulama ve Araştırma Merkezi. Boğaziçi Üniversitesi, <http://climatechange.boun.edu.tr/ozon-tabakasi/> (22.01.2023)
- Anonim-e, 2021. Türkiye’de Plastik Geri Dönüşümü ve Atık İthalatı Raporu, Tmmob Kimya Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi Plastik ve Kauçuk Komisyonu, İstanbul,
https://www.kmo.org.tr/resimler/ekler/d5e10e038d7b224_ek.pdf (24.01.2023).
- Demirer N. G., 2011. Sürdürülebilir Üretim ve Tüketim Yayınları – I Yaşam Döngüsü Analizi, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 44s, Ankara Türkiye.
- Dogan S.K., 2008, Life Cycle Assessment of Pet Bottle, Y.Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi.
- EC., 2010. International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - Framework and Requirements for Life Cycle Impact Assessment Models and Indicators, 159p, Luxembourg.
- GaBi 9.2, 2022. <https://sphaera.com/life-cycle-assessment-lca-software/>.
- Guinée, J. B. (Ed.). 2002. Handbook On Life Cycle Assessment: Operational Guide to The ISO Standards (Vol. 7). Springer Science & Business Media, 691 p, Leiden.
- ISO 14040, 1997. International Standards Organization. Environmental Management- Life Cycle Assessment - Principles and Framework ISO 14040, Geneva.
- ISO 14002, 1998. International Standards Organization. Environmental Management- Life Cycle Assessment - Environmental Management Systems, Geneva.

- Klöpffer, W., GRAHL B., 2014. Life Cycle Assessments (LCA) A Guide to Best Practice. Weinheim 391p, Germany
- Miller M., 2006, Bottled Water: Why Is It so Big?, Honors Thesis, Texas State University
- Tükenmez E., 2019, Farklı beton malzemelerin yaşam döngüsü analizi (YDA) ve bir yeşil binada uygulanması, Y.Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi
- Schwarz, N., Re-use and recycling of household appliances, Austrian Research Centers, A2444 Seibersdorf, Austria, R'99 Congress (Recovery, Recycling, Re-integration) (1999)
- Ordu M., Salihoğlu G., 2017, Çevresel Etkinin Zaman İçerisindeki Değişiminin Yaşam Döngüsü Analiziyle Değerlendirilmesi: Bursa Organize Sanayi Bölgesi Su Üretim Tesisi Örneği, Y.Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uludağ Üniversitesi
- Öztürk M., 2022. Şehir İçi Bölgelerde Kötü Ozon Oluşumu ve Etkileri, Independent Türkçe, <https://indyturk.com/node/536801/> (25.01.2023)
- U.S. Environmental Protection Agency, 2006. Life Cycle Assessment: Principles and Practice, National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development
- Van Oers, L., De Koning, A., Guinée J.B., Huppes G., 2002, Abiotic resource depletion in LCA, Improving characterization factors for abiotic resource depletion as recommended in the new Dutch LCA Handbook, Public Works and Water Management (V&W), 75 p, Leiden, Netherlands

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı:	Burak YILDIRIM
Doğum tarihi:	
Doğum Yeri:	
Uyruğu:	
Adres:	
Tel:	
E-posta:	
Eğitim	
Lise:	Yakutiye Mesleki ve Teknik Lisesi
Lisans:	Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği
Yabancı Dil Bilgisi	
İngilizce:	İyi