BİR ORİJİNAL EKİPMAN ÜRETİCİSİNDE (OEM) ATIKSU VE KİMYASAL GERİ KAZANIM SİSTEMİ GELİŞTİRME SENARYOLARININ YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ KULLANILARAK KARŞILAŞTIRILMASI

Gülçin DENİZ

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİR ORİJİNAL EKİPMAN ÜRETİCİSİNDE (OEM) ATIKSU VE KİMYASAL GERİ KAZANIM SİSTEMİ GELİŞTİRME SENARYOLARININ YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ KULLANILARAK KARŞILAŞTIRILMASI

Gülçin DENİZ
0000-0002-9724-7717

Prof. Dr. Nezih Kâmil SALİHOĞLU
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2022
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BİR ORİJİNAL EKİPMAN ÜRETİCİSİNDE (OEM) ATIKSU VE KİMYASAL GERİ KAZANIM SİSTEMİ GELİŞTİRME SENARYOLARININ YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ KULLANILARAK KARŞILAŞTIRILMASI

Gülçin DENİZ

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Nezih Kamil SALİHOĞLU

Sanayi devrimi ile başlayan teknolojik gelişmeler, artan makinelere gereken enerjiyi sağlamak adına arayışlar ile devam etmiştir. Kömürün buhar enerjisi üretimi için kullanılmaya başlanmasından, fosil yakıtların alternatif olması ile devam eden gelişmeler, günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişin ve nükleer enerji gerekliliklerinin tartışılmasını ortaya çıkarmıştır. Dünya nüfusunun hızla yükselmesi sanayi ve teknolojinin giderek daha da artan enerji gereksinimi geri dönüşü zor olan çevresel etkileri beraberinde getirmiştir. Bu gidişin felaketle sonuçlanabileceğinin farkına varılması çevrenin korunmasını öncelikli amaçlayarak küresel iklim değişikliğinin önlenmesi için çalışmaların yapılmasını sağlamıştır. Bu çalışmada, örnek bir çevresel etki analiz metodu olan Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) bir otomotiv kaplama tesisinde kurgulanan iki farklı senaryo ile elde edilen veriler analiz edilmiştir. SimaPro 8.5.0.0 yazılımı ve ReCiPe etki analiz metodu kullanılarak $1m^2$ sıkma somunu kaplanması prosesinin hangi çevresel etkileri oluşturduğu kapsamlı bir biçimde hesaplanmıştır. Karşılaştırma sonuçlarına göre elde edilen bulgular ile, Senaryo 1 646mPt sonucu ile Senaryo 2 639mPt sonucuna göre daha olumsuz çevresel etkilerinin olduğu belirlenmiştir. Tüm etki kategorilerinde Senaryo 1'in çevre üzerinde Senaryo 2'den daha yüksek etkisinin olduğu bulguları elde edilmiştir. Gerçekleştirilen bu çalışma, fosfat kaplama prosesinden kaynaklanan tüm çevresel etki kategorilerinde en yüksek katkının elektrik tüketimi olduğunu göstermiştir. Tüm bu elde edilen sonuçların ışığında YDD'nin çevresel etkileri sayısallaştırmak için etkili ve faydalı bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilirlik, Yaşam Döngüsü Analizi, Kaplama, SimaPro 8.5.0.0, Otomotiv Endüstrisi, ISO 14040
2022, xiii + 81 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

COMPARISON OF WASTEWATER AND CHEMICAL RECOVERY SYSTEM DEVELOPMENT SCENARIOS USING A LIFE CYCLE ASSESSMENT IN AN ORIGINAL EQUIPMENT MANUFACTURER (OEM)

Gülçin DENİZ

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Nezih Kamil SALİHOĞLU

Technological developments, which started with the industrial revolution, continued with searches in order to provide the necessary energy to the increasing machines. The ongoing developments, from the use of coal for steam energy production to the alternative of fossil fuels, have led to the discussion of the transition to renewable energy sources and nuclear energy requirements. The rapid increase in the world population has brought with it the environmental effects that are difficult to return, the increasing energy requirement of industry and technology. The realization that this trend could result in disaster has led to efforts to prevent global climate change by aiming to protect the environment as a priority. In this study, Life Cycle Assessment (LCA), an exemplary environmental impact analysis method, was analyzed using two different scenarios in an automotive coating facility. By using SimaPro 8.5.0.0 software and ReCiPe impact analysis method, the environmental effects of the $1m^2$ cap nut coating process have been comprehensively calculated. With the findings obtained according to the comparison results, it has been determined that Scenario 1 646mPt result and Scenario 2 have more negative environmental effects than 639mPt result. It has been found that Scenario 1 has a higher impact on the environment than Scenario 2 in all impact categories. This study showed that electricity consumption was the highest contributor in all environmental impact categories resulting from phosphate coating process. In the light of all these results, it was concluded that LCA is an effective and useful method to quantify environmental impacts.

Key words: Sustainability, Life Cycle Analyze, Coating, SimaPro 8.5.0.0, Automotive Industry, ISO 14040
2022, xiii + 81 pages.

ÖNSÖZ ve/veya TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans eğitimi boyunca öncelikle manevi desteğini esirgemeyen ailem başta olmak üzere engin bilgi ve birikimlerini esirgemeyen saygı değer hocalarımdan danışmanım Prof. Dr. Nezih Kâmil SALİHOĞLU'na, sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Ailemizin değerli üyesi ve gelecekte bu tezin kendisine yol göstereceğini ümit ettiğim, çalışmalarıma yaşından büyük olgunluk ile desteğini esirgemeyen oğlum Ada Bartu DENİZ' e en içten teşekkürlerimi sunuyorum.

İş hayatında görev yapmakta olduğum Doğu Pres Otomotiv A.Ş.'ye ve iş arkadaşlarıma teşekkür ediyorum.

Gülçin DENİZ
25/05/2022

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....vi
ABSTRACT.....vii
ÖNSÖZ ve/veya TEŞEKKÜR.....viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....xii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....xiii
1. GİRİŞ.....1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI.....6
2.1.Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Tanımı.....6
2.2.Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Ortaya Çıkışı.....8
2.3.Sürdürülebilirlik ve Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Üzerine Genel Bir Bakış.....9
2.4.Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Otomotiv Endüstrisi Uygulamaları.....13
2.5.Çinko Fosfat Kaplama Prosesi.....19
2.6.Kaplama Prosesi Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi.....23
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....26
3.1.Literatür Araştırması Metodolojisi.....26
3.2.ISO 14040 Standardı Metodolojisi.....27
3.3.Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....30
3.4.Fonksiyonel Birim.....31
3.5.Sistem Sınırları.....32
3.6.Kapsam Dışı Tutulan Veriler.....36
3.7.Envanter Analizi.....40
3.7.1.Veri Toplama.....40
3.7.1.1.Veri Toplama İçin Kullanılan Donanım ve Ekipmanlar.....40
3.7.2.DI Su Üretimi Prosesi.....43
3.7.3.Hava Üfleyici (Blower) Prosesi.....45
3.7.4.Fosfat Kaplama Prosesi.....47
4. BULGULAR 53
4.1.Çinko Fosfat Kaplama Prosesinin Çevresel Etkileri.....54
4.1.1.Sıkma Somunu Ürünü "Tree" Akım Şeması.....55
4.1.2.Sıkma Somunu Ürünü Kaplama Prosesi Yaşam Döngüsü Analizi.....58
4.2.Senaryo 1 ve Senaryo 2 Çevresel Etki Karşılaştırması.....67
4.2.1.Süreç Katkı Kıyaslanması ile Çevresel Etki Birim Bazlı Kıyaslanması.....67
4.2.2.Çevresel Etki Kategorilerine Göre Kıyaslanması.....69
5. TARTIŞMA ve SONUÇ.....72
KAYNAKLAR 77
ÖZGEÇMİŞ 81

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
A	Amper
CH_4	Metan
CO	Karbonmonoksit
CO_2	Karbondioksit
FEP	Florluetilenpropilen
Fe^{2+}	Demir İyonu
$FeZn_2(PO_4)_2$	Çinkofosfat Bileşiği
ft^2	Fitkare
gr	Gram
H_2	Hidrojen
HC	Heksakloretan
H_2PO_4	Dihidrojenfosfat
H_2S	Hidrojensülfür
H_3PO_4	Fosforik Asit
H_2O	Su
I	Akım
kg	Kilogram
km	Kilometre
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattsaat
L	Litre
m^2	Metrekare
m^3	Metreküp
MJ	Milijoule
Mn^{2+}	Mangan İyonu
mPt	Milipoint
MWh	Megawattsaat
NMC	Nikel Manganez Kobalt Piller
NO_x,	Azotoksitler
P	Güç
PAH	Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar
pH	Power of Hydrogene
ppm	milyonda bir birim
Pt	Point
PTFE	Politetrafloroetilen
SO_2	Kükürtdioksit
SO_x	Kükürtoksitler
V	Volt
Zn^{2+}	Çinko İyonu
$Zn_3(PO_4)_2$	Çinko Fosfat
%	Yüzde
ºC	Santigrat derece
µm	Mikrometre
µS	Mikrosiemens

Kısaltmalar	Açıklama
AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
APOS, S	Allocation at the Point of Substitution
Ark.	Arkadaşları
A.Ş.	Anonim Şirketi
BMW	Bayerische Motoren Werke AG
BEV	Akülü Elektrikli Araçlar
COPs	Birleşmiş Milletler Taraflar Konferansı
DI	Deiyonize
diğ.	Diğerleri
FCA	Fiat Group Automobiles S.p.A
FU	Fonksiyonel Birim
GLO	Global
h	Saat
HEV	Hibrit Elektrikli Araçlar
ILCD	Uluslararası Yaşam Döngüsü Verileri El Kitabı
ISO	Uluslararası Standardizasyon Örgütü
KÇPA	Kaynak ve Çevresel Profil Analizi
LCA	Life Cycle Assetment
MDG	Bin Yıllık Kalkınma Hedefleri
örn.	Örneğin
PHEV	Plug-in Hibrit Elektrikli Araçlar
PLC	Programmable Logic Controller
PM	Partiküler maddeler
PM10	≤10µm çaplı partiküller
RoW	Rest of the World
sa	Saat
TR	Türkiye
VOC	Volatile Organic Compounds
WCED	Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu
YDA	Yaşam Döngüsü Analizi
YDD	Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi
yy	Yüzyıl

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1.Yaşam döngüsü değerlendirmesi genel çerçeve…….…….7
Şekil 2.2.Fosfat kaplama süreci iş akışı şeması……20
Şekil 3.1.ILCD el kitabında tanımlanan YDD için çevresel etki kategorileri…….....29
Şekil 3.2.Otomotiv dizel motor enjeksiyon sistemi sıkma somunu örnek görselleri…...30
Şekil 3.3.Sıkma somunu çinko fosfat kaplama prosesi YDD iş akım şeması…….…….33
Şekil 3.4.Kaplama tesisi otomasyon ekranı görseli...……..…….37
Şekil 3.5.Yanma kirliliği bileşenleri ……. 38
Şekil 3.6.Debimetre …….....40
Şekil 3.7.Su sayaçları…… .41
Şekil 3.8.Ampermetre ……. 42
Şekil 3.9.Terazi……42
Şekil 3.10.DI su üretimi ünitesi ……..……..……..44
Şekil 3.11.Blower pompası …….....46
Şekil 3.12.Blower tesisatı ile tank içinde havalı karıştırma ……..47
Şekil 3.13.Kimyasal oran tayini ekipmanları……...……...…….48
Şekil 3.14.Senaryo 1 pH ve İletkenlik Değişimi Grafiği 51
Şekil 3.15.Senaryo 2 pH ve İletkenlik Değişimi Grafiği……..51
Şekil 4.1.1m^2 sıkma somunu ürünü kaplaması Senaryo 1 “tree” akım şeması……..…..55
Şekil 4.2.1m^2 sıkma somunu ürünü kaplaması Senaryo 2 “tree” akım şeması……..….56
Şekil 4.3.1m^2 sıkma somunu ürünü kaplaması Senaryo 1 zarar sınıflarına göre değerlendirme grafiği…..……..59
Şekil 4.4.1m^2 sıkma somunu ürünü kaplaması Senaryo 2 zarar sınıflarına göre değerlendirme grafiği……..…… 60
Şekil 4.5.Süreç katkı kıyaslanması ile çevresel etki birim bazlı fark grafiği……..….68
Şekil 4.6.1m^2 sıkma somunu ürünü kaplaması Senaryo 1 çevresel etki kategorilerine göre değerlendirme grafiği …...……...…….70
Şekil 4.7.1m^2 sıkma somunu ürünü kaplaması Senaryo 1 çevresel etki kategorilerine göre değerlendirme grafiği…...…….71

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1.Bin yıl kalkınma hedefleri ve sürdürülebilir kalkınma hedefleri kıyaslanması çizelgesi……...10
Çizelge 3.1.Sıkma somunu çinko fosfat kaplama prosesi SimaPro 8.5.0.0 ve EcoInvent veri tabanından seçilen öğeler çizelgesi……35
Çizelge 3.2.Tesiste gerçekleştirilen emisyon ölçüm sonuçları…..……...……39
Çizelge 3.3.1m^2 sıkma somunu çinko fosfat kaplaması için dı su üretimi prosesi girdi ve çıktı miktar bilgileri…...……..…….…44
Çizelge 3.4.1m^2 sıkma somunu çinko fosfat kaplaması için hava üfleyici(blower) prosesi girdi ve çıktı miktar bilgileri……..…….……46
Çizelge 3.5.1m^2 sıkma somunu çinko fosfat kaplama prosesi girdi ve çıktı miktarları…… …….52
Çizelge 4.1.1m^2 sıkma somunu çinko fosfat kaplaması Senaryo 1 ve Senaryo 2 çevresel etki birim bazlı karşılaştırma çizelgesi…..……67

1. GİRİŞ

Fosil enerji kullanımının inşaat ve nakliye, demir ve çelikten ev eşyaları gibi tüketim malları, gıda üretimi ve işlenmesi, tekstil ve giyim gibi çeşitli endüstrilerde üretim kapasitesindeki artışı kolaylaştırdığı görüldü. Sanayileşmenin bu aşamaları aynı zamanda artan küresel karbondioksit (CO_2) konsantrasyonlarına ve atmosferdeki metan (CH_4) gazına da tekabül etmektedir ki bu da zamanla kutup buzunda tutulan havanın analiz edilmesiyle ölçülebilir. Artan bu değerlerin bir sonucu olarak, iklim değişikliği, habitat kaybı, biyolojik çeşitlilik kaybı ve atık ve kirliliğin etkileri gibi çevresel etkiler, iklim değişikliği yaşanması gündemin başındadır ve 21.yy' da günlük konuşmalarımızın ve endişelerimizin bir parçası olmuştur (Black, Borrion ve Mwabonje,2021).

Artan sanayileşme ve mobil teknolojilere olan bağımlılık enerji kaynaklarına olan talebi de hızla arttırmakta olup, dünya üzerinde elektrik üretimi büyük çoğunlukla hala fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Bu da elektrikle yapılan her türden işlem, buluş ve kullanım teknolojisi için fosil kaynak tüketiminin artması anlamına gelmektedir. Bu artış beraberinde iklim değişikliği ve çevre kirliliğinin de artması sonucunu beraberinde getirmektedir. Yapılan uluslararası zirveler ile tüm ülke yönetimleri küresel ısınmanın azaltılması için yeni hedeflerin ortaya konulması konusunda ortak karardadır. İnsan, endüstri ve tüketici odaklı faaliyetlerdeki çok sayıdaki gelişme ve artış, çevre ve çevre ile olan etkileşimlerimizin karmaşıklığı, bu faktörlerin çevre üzerindeki etkilerini ölçmenin yollarını bulmak adına makro düzeydeki modeller ve kavramsal düşünme biçimleri kullanılarak çeşitli yöntemlerin geliştirilmesine yol açmıştır. İklim değişikliği ve çevre üzerindeki baskılar, gelecek nesillerimize yaşanılabilir bir dünya bırakmak için önlem alınması geren temel zorluklardır.

Küreselleşmenin artması ile bu kaygıların tekil ülkelerce ele alınamayacağının farkına varılmıştır. Rio de Janeiro'da 1992'de gerçekleştirilen Dünya Zirvesinde Gündem 21 olarak adlandırılan sürdürülebilirlik aksiyon planı Birleşmiş Milletler, çok taraflı gruplar ve bireysel üye devletler için ortaya konulmuş ve kabul edilmiştir. Gündem 21 atmosferik korumayı içeren kalkınma için kaynakların korunması ve yönetimi; planlama ve arazi kaynaklarının yönetimi, kırılgan ekosistemlerin yönetimi; sürdürülebilir tarım ve

kalkınmanın teşviki, biyolojik çeşitliliğin korunması; çevreye duyarlı biyoteknolojinin yönetimi; okyanusların korunması; tatlı su kalitesinin koruması ve arzını; toksik kimyasalların, tehlikeli atıkların, katı atıkların ve kanalizasyon ve radyoaktif kirlilik ile ilgili sorunların yönetimini ele almıştır (Black ve diğerleri, 2021).

Sosyal ve Ekonomik boyutları da ele alan Gündem 21'in, politik taahhütlerin en üst düzeydeki ifadesi ve çevre ile kalkınma iş birliğinde küresel uzlaşma olarak nitelendirildiği belirtilmiştir. Programın başarılı bir biçimde uygulanması öncelikle ve esasen hükümetlerin sorumluluğunda olacağının belirtilmesi ile, bu sürece, halk ve hükümet-dışı diğer grup ve kuruluşların etkin bir biçimde katılım sağlanması gerekliliği vurgulanmıştır. Gündem 21, bir taraftan günümüzde sıklıkla yaşanan sorunları yok etmeye çalışırken, bir diğer yandan da dünyayı 21. yüzyılın problemlerine ve tehditlere karşı hazırlamayı hedeflemektedir. 2015 yılına kadar gerçekleştirilmesi gereken Birleşmiş Milletler Bin Yıl Kalkınma Hedefi sekiz ana başlıktan meydana gelmiştir (Bostancı, 2021).

Gündem 21 adı verilen rapor, Genel Kurul'un ilerlemenin periyodik olarak değerlendirilmesi yönündeki isteklerine yanıt olarak hazırlanmakta olup Birleşmiş Milletler Ekonomik ve Sosyal İşler Departmanı liderliğindeki kurumlar arası ve Bin Yıl Kalkınma Hedefi Göstergeleri Grubu Sekretarya uzmanları tarafından derlenen bir ana veri setine dayanmaktadır. Grup, uluslararası kuruluşların temsilcilerinden oluşmaktadır. Bir dizi ulusal istatistikçiler ve dışarıdan uzman danışmanlar da katkıda bulunmakta olup faaliyetleri, Bin Yıl Kalkınma Hedeflerine yönelik ilerlemenin izlenmesi için uygun bir veya daha fazla istatistiksel gösterge dizisinin hazırlanmasını içermektedir (MDG, 2015).

Gündem 21 in ortaya konulması sonrası, Birleşmiş Milletler Taraflar Konferansı (COPs) her yıl toplanmış ve Binyıl Kalkınma Hedeflerinin daha da geliştirilmesi ile Gündem 2030 açıklanmıştır. On yedi maddeye yükseltilen hedefler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri olarak nitelendirilmiştir. Üç önem arz eden işi başarmak adına 17 Küresel Hedef üzerinde uzlaşılmıştır. Aşırı yoksulluğu sonlandırmak; eşitsizlik ve adaletsizlik ile mücadele etmek, iklim değişikliğini gidermek ana hedefleri belirlenmiştir (Black ve diğerleri, 2021).

Yeni gündem paydaş ve özellikle toplum katılımının sağlanmasını ve bu konuda açık bir yapı kazanımını hedefler. Böylece daha önce geride kalmış, marjinal görülmüş toplum kesimlerinin de sisteme katılımının sağlamasını hedeflediği sonucuna varılabilir. Binyıl kalkınma hedeflerinde sağlık başlıklı konularının daha çeşitli olduğu, 2030 hedeflerinde ise iklim ve çevre konularının ağırlık kazandığı belirtilmiştir. Ekolojik çevrenin korunması yönündeki konuların ağırlık kazanmasına, özellikle küresel iklim değişikliğinin tahminlerden önce etkilerinin güçlü hissedilmesi neden olmuştur (Bostancı, 2021).

Sorumlu üretim ve tüketim maddesinin detayları çevre konularında tespit ve gereksinimlerinin ortaya konması için önemli ölçüm ve hesaplama stratejilerinin gereklilik ve önemini ortaya koymaktadır Bir ürün, sistem veya hizmetin üretiminin, ömrünün tamamlanması ve elden çıkarılması da dahil, beşikten mezara geniş boyutta veya daha dar bir kapsamda, çevresel boyutları ve potansiyel etkilerini değerlendirmek için kullanılan analiz yöntemine Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) denir. Yaşam döngüsü değerlendirmesi ile bir sürecin öncesi ve sonrası için çevreye olan etkileri matematiksel veriler ile ortaya konulabilir. Böylece anlamlı iyileştirmelerin önü açılır.

Bu çalışmada, otomotiv endüstrisinin vazgeçilmez kaplama çeşitlerinden biri olan çinko fosfat kaplama prosesinin gerçekleştirilmesi sırasında kullanılan hammadde, su, malzeme ve enerji tüketiminin iki farklı senaryo ile çevresel etki açısından değerlendirmesi yapılmaktadır. Bu amaçla, çalışmada farklı işletimlere sahip iki çinko fosfatlama prosesi senaryosu uygulanmıştır. Senaryolar arasındaki temel farklar, tank çıkışındaki askı süzülme süreleri, su tüketimleri, atık su oluşumu ve sodyum hidroksit miktarıdır. Bu çalışmada, iki farklı uygulamadan Senaryo 1 ve Senaryo 2 olarak bahsedilir.

Çalışmada, çinko fosfat kaplaması yapan bir tesisin farklı iki senaryo ile kaplama prosesi incelenmektedir. Sistem sınırları kaplamanın başlamasından, bitimine kadar geçirdiği işlemler süresini kapsamaktadır. Kaplama tesisi için su optimizasyon çalışması yapılmıştır. Su tüketimi her iki senaryo için de çevresel etki kategorileri içerisinde baskın kaynak değildir. Ancak, fabrikada tüm kaplama tanklarında proses için gerekli ana

hammadde sudur. Şebekeden elde edilen su, deiyonize (DI) su prosesinden geçirilerek gerekli tanklar için DI suya dönüştürülmektedir. Su kullanımının sonucunda atık su oluşumu ortaya çıkmaktadır. Oluşan atık sular organize sanayi atık su artıma tesisine deşarj edilmektedir. Elektrik ve doğalgaz sanayi şebekelerinden kullanılmaktadır. Tesiste bu enerji kaynakları için bir optimizasyon bulunmamaktadır.

Kaplama genel biçimde, reçetede belirlenmiş sürelerde belirtilen tanklara askılara yüklenen parçaların belirli sürelerde bekletilmesi ve kurutulması sonrasında askılardan boşaltılması ve ambalajlanmasını kapsamaktadır. Araştırmada kullanılan tüm veriler gerçek üretim tesisinden 2021-2022 bir yıllık süreç için alınmıştır. Envanter verilerinin analiz edilmesinde SimaPro 8.5.0.0 yazılımı kullanılmıştır. Veriler, çinko fosfat kaplama iş akışı şeması içerisinde ve bu iş akışına etki eden her bir işlem için girdi ve çıktılar değerlendirmeye alınarak toplanmıştır. Sıkma somunu ürünü çinko fosfat kaplama girdi verileri, DI su üretimi prosesi, hava üfleyici (blower) ünitesi enerji kimyasal, su vb. malzemelerin kullanımını içermektedir. Çalışmada tespit edilen sonuçlar, SimaPro yazılımı etki kategorisi başlığı altığında farklı çevresel etki kategorilerinde değerlendirilerek verilmiştir. Bu çevresel etki kategorileri, insan sağlığı; iklim değişikliği, insan toksisitesi, partiküler madde oluşumu (solunum inorganikleri), radyasyon, doğal çevre; ozon tabakası inceltme, iklim değişikliği, karasal asitleştirme, ötröfikasyon, doğal kaynaklar; fotokimyasal oksidasyon oluşumu (sisli duman), karasal ekotoksisite, temiz su ekotoksisite, deniz ekotoksisite, tarımsal arazı işgali, kentsel arazi işgali, doğal arazi dönüşümü, metal kaynak tüketimi, fosil kaynak için değerlendirmeler yapılmıştır.

Karşılaştırma sonuçlarına göre elde edilen bulgular ile, $1m^2$ sıkma somunu çinko fosfat kaplanmış ürününün çevresel etki kategorileri üzerinde Senaryo 1'in Senaryo 2'den daha olumsuz etkilerinin olduğu belirlenmiştir. Tüm etki kategorilerinde Senaryo 1'in çevre üzerinde Senaryo 2'den daha yüksek etkisi vardır. Sonuçlar, çinko fosfat kaplama prosesinden kaynaklanan hemen hemen tüm çevresel etki kategorilerinde hem Senaryo 1 hem de Senaryo 2 için en yüksek etkinin elektrik tüketimi nedeniyle olduğunu göstermiştir. Doğalgaz tüketimi ve elektrik üretimi, her iki Senaryo için tüm etki kategorileriyle ilgili en önemli katkıda bulunmuştur. Senaryo 1'in elektrik tüketiminin Senaryo 2'den daha yüksek çevresel etkiye sahip olduğu bulunmuştur. Senaryo 1'in atık

su oluşumunun Senaryo 2'ye göre daha yüksek çevresel etkiye sahip olduğu bulunmuştur. Senaryo 2'nin sodyum hidroksit kullanımının Senaryo 1'e göre daha yüksek çevresel etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak bir kaplama tesisinde yapılacak iyileştirmeler için YDD metodolojisinin bir araç olarak kullanılabileceği kanaati oluşmuştur. Elde edilen bulgular ile ortaya çıkan sonuç bu metodolojinin sürdürülebilirliğe katkı sağlayacağını göstermiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

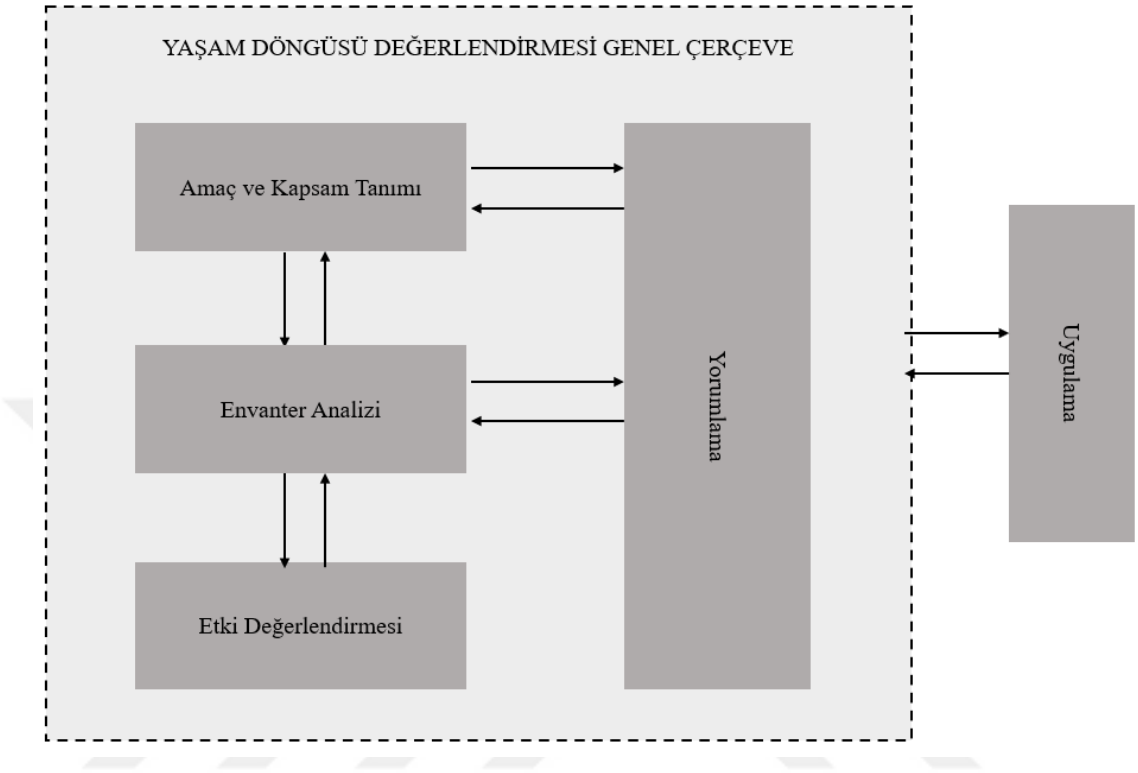
2.1. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Tanımı

Yaygın olarak YDD, çevresel etkilerin değerlendirilmesinde kullanılan tanınmış bir yöntemdir. Uluslararası Standardizasyon Örgütü (ISO) yaşam döngüsü değerlendirmesini bir ürünün hammadde alımından üretime, kullanıma, yaşam sonu yönetimine, geri dönüşüme ve nihai bertarafı dahil olmak üzere yaşam döngüsü boyunca, ortaya çıkan çevresel boyutlar ve potansiyel çevresel etkiler (kaynakların kullanımı ve çevresel sonuçlar, örneğin salınımlar) olarak tanımlar. Bir ürünün/sürecin getirdiği yükleri ve çevresel iyileştirme için alternatifleri değerlendirmek için etkili, sistematik ve nicel bir karar destek aracı olarak kabul edilir. Çevresel YDD 'nin yürütülmesine ilişkin ilke ve çerçeve, ISO tarafından kendi yönergelerinde sağlanmıştır: ISO-14040 çevre yönetimi; yaşam döngüsü değerlendirmesi genel çerçeve (Şekil 2.1).

Demirel, Öztürk, Öztürk ve Kitiş (2017), YDA' nın temel metodolojisi ve uygulama alanları kapsamında yaptıkları literatür derlemesi ile bilgiler vermişlerdir. Dört farklı endüstrideki YDA çalışmaları ve çıktılarının analizi ile sonuçlarını sunmuşlardır. Çalışmalarında YDA metodolojisinin ISO 14000 çevre standardında tanımlandığını ve bu standarda yardımcı diğerlerinin; prensipler ve çerçevenin, ISO 14040, amaç, kapsam ve envanter analizinin; ISO 14041, yaşam döngüsü etki analizinin; ISO14042, yaşam döngüsü etki yorumlamasının; ISO 14043 ve ihtiyaçlar ve yönergenin; ISO14044 ile tarif edildiğini belirtmişlerdir. YDA metodunu kullanarak iki veya daha fazla ürününün kıyaslanmasının ve pazarlanması için karşılaştırılmasının mümkün olabileceğini ifade etmişlerdir. Yeni ürün tasarımı için veya mevcut ürünün geliştirilmesi için bu sonuçların kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Bir YDD 'nin ilk adımı, çalışmayı yürütme nedenlerini tanımlama, ürünü, süreci veya faaliyeti tanımlama, değerlendirmenin gerçekleştirileceği bağlamı oluşturma ve sistem sınırları, işlevsel birim, varsayımlar, etki değerlendirme metodolojisi ve çevresel etki kategorileri vb. içeren hedef ve kapsam belirlemedir. İnşaat malzemelerinin YDD 'si

durumunda, sistem sınırları beşikten kapıya, beşikten sahaya/kullanım ve birim malzeme cinsine göre 1 ton veya 1 m^3 olabilir (Hossain ve Poon 2021).



Şekil 2.1. Yaşam döngüsü değerlendirmesi genel çerçeve (ISO 14040, 2006)

İkinci adım, veri toplama ve hesaplama prosedürlerini içeren yaşam döngüsü envanter analizidir. Nicelleştirme için uygulanan bu adım, ürün veya süreç sisteminin girdileri ve çıktılarıdır. Envanter analizi adımında veriler enerji girdileri, hammadde girdileri, diğer ürün ve yan ürünler, fiziksel girdi, atıklar, su, hava ve toprağa salınımlar, diğer çevresel hususlar ve yardımcı bilgiler olmalıdır. Sistem sınırları ve çalışmanın amacı dahilinde toplanmalıdır. Yaşam döngüsü etki değerlendirmesi adımı, potansiyel çevresel etkilerin büyüklüğünü ve önemini değerlendirmeyi amaçlar. Envanter analizinde tanımlanan bir ürün veya sistemin ISO 14044 'e göre üç zorunlu unsur ilişkilendirilmiştir: Etki kategorilerinin belirlenmesi, kategori göstergelerinin ve karakterizasyonu modellerinin seçimi ile, sonuçlarının seçilen etki kategorilerine atanması (sınıflandırma), kategori gösterge sonuçlarının hesaplanması (karakterizasyonu). Yorumlama envanter analizi ve etki değerlendirmesinin sonuçlarını değerlendiren YDD ’nin son adımıdır. İlk üç

adımlarının sonuçlarına dayalı olarak, önemli konuların belirlenmesi, dikkate alınan bir değerlendirme bütünlük, duyarlılık ve tutarlılık ve değerlendirmeden kaynaklanan sonuçlar, sınırlamalar ve öneriler kısımlarını kapsar (Hossain ve Poon 2021).

2.2. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Ortaya Çıkışı

1960' lı yılların sonlarında üretilen ve tüketilen mallar ile günlük faaliyetlerden kaynaklı çevre sorunları kamuoyunda daha fazla konuşulmaya başlanmıştır. Halkın artan endişeleri bu yıllarda hükümetleri sanayinin olumsuz çevresel etkilerinin belirlenmesini sağlayacak yöntemlerin araştırmaya itmiştir. Gelişmeler sonucu 1960'ların sonlarında bulunan YDD bir sisteme girdi ve çıktıları gösteren anlık bir görüntü elde edilmesini mümkün kılmaktadır.

Hammaddelerin ve enerji kaynaklarının sınırlamaları konusundaki endişeler, enerji kullanımını kümülatif olarak hesaba katmanın ve gelecekteki kaynak tedariklerini ve kullanımını tasarlamanın yollarını bulma konusundaki ilgileri ateşlemiştir. Harold Smith, 1963'te gerçekleşen Dünya Enerji Konferansı'nda, ürünlerin üretimi için toplu enerji gereksinimleri hesaplaması ile kimyasal ara ürünlerini içeren bu türdeki ilk çalışma olarak yayınlamıştır (Vigon ve diğ. 1994).

Meadows, Randers, ve Behrens (1972) küresel modelleme çalışmaları, The Limits the Growth'u, dünyanın değişen nüfusunun sınırlı hammadde ve enerji kaynakları talebi üzerindeki etkilerinin tahminlerini A Blueprint for Survival 'de yayınlamışlardır. Çalışmalarında fosil yakıtların hızla tükenmesi ve aşırı atık ısıdan kaynaklanan klimatolojik değişiklikler, endüstriyel süreçlerde enerji kullanımı ve çıktısının daha ayrıntılı hesaplamalarını sunmuşlardır.

Şimdiki YDD'nin temelleri 1969 yılında araştırmacılar tarafından Coca Cola firması için Amerika Birleşik Devletleri'nde gerçekleştirilen çalışma ile atılmıştır. Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa'daki diğer şirketler, 1970'lerin başında benzer nitelikte karşılaştırmalı yaşam döngüsü envanter analizleri yapmışlardır. Ürünlerin kaynak kullanımını ve çevresel salınımlarını nicelleştirme süreci, ABD'de Kaynak ve Çevresel

Profil Analizi (KÇPA) ve Avrupa'da Ekobalance ismi ile bilinir hale gelmiştir. 1970 ile 1975 yılları arasında 15 adet KÇPA hazırlanmıştır.1975 ile 1980'lerde önemini yitirir gibi olmuş ancak, katı atık 1988'de Dünya çapında bir sorun haline geldiğinde, YDD tekniği yeniden çevre sorunlarını analiz etmek için bir araç olarak ortaya çıkmıştır (Vigon ve diğ. 1994).

2.3. Sürdürülebilirlik ve Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Üzerine Genel Bir Bakış

Teknolojinin gelişmesi 18. ve 19. yüzyıllar döneminde gerçekleşen sanayi devrimleri ile başladı. İlk sanayi devrimi, kömürün buhar üretiminde kullanımı ile makineleşme ve fabrika üretiminin bu enerji kaynağından faydalanmaya başlamasıdır. Bunu, fosil yakıtların ve elektriğin kullanıldığı ikinci sanayi devrimi izledi. Geçen yıllar, üçüncü sanayi devriminin elektronik ve bilgi işlem sistemlerinin gelişmesi ile olduğunu gösterdi. Son yıllarda üretim otomasyonu ve dijitalleşmenin insan hayatındaki yerinin artması ile dördüncü sanayi devriminin yaşanmasının yanı sıra ortaya çıkan Covid-19 salgın hastalığı bu devrimin hızla yayılmasında önemli bir yere sahiptir ("The Fourth Industrial Revolution'', 2016).

Bir çıktısı olarak, iletişim teknolojilerindeki ilerlemenin, 21.yy'ın başından itibaren sağlık sektöründen eğitim sektörüne kadar büyük verilerin analiz edilmesinde veri madenciliğine dayanan bilgi toplumunun, kültürü biçimlendirilen temel belirleyici unsur olduğu görülmüştür. Bu dönem; dördüncü sanayi devrimi veya 'Bilgi Toplumu' olarak nitelendirilmiştir. Bir devrim niteliğinde karşımıza çıkan bu dönem, büyük veri analizlerini, bulut bilişimi teknolojisini, yapay zekâyı, nesnelerin internet iletişimini, giyilebilir teknolojilerin gelişimini, artırılmış gerçekliği, üç boyutlu baskı tekniklerini ve özelleştirilmiş mobil uygulama teknolojileri ile insan hayatını biçimlendirmektedir (Özdemir, 2017).

Artık günümüzde beşinci sanayi devrimi konuşulmaktadır. Cambridge sözlüğünde "sürdürülebilirlik" çevreye çok az zarar vererek veya hiç zarar vermeyerek ve uzun süre devam edebilme kalitesi şeklinde tanımlanır. 'Sürdürülebilir Kalkınma' kavramı ilk olarak Ekim 1987'de Oxford University Press aracılığıyla yayınlanan Bruntland raporunda

tanımlanmış ekonomik, sosyal ve çevresel kaygılar arasındaki bağlantı ihtiyacını kabul etmiştir. Siyasi gündeme sıkı bir şekilde çevre konularını yerleştirmiş olup kalkınma ve çevre kavramlarının önemli bir mesele olarak tartışılmasını amaçlamıştır. Sürdürülebilir Kalkınma, gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama yeteneğinden ödün vermeden bugünün "ihtiyaçlarını karşılayan kalkınma" olarak tanımlanmaktadır (WCED, 1987).

Çizelge 2.1. Bin yıl kalkınma hedefleri ve sürdürülebilir kalkınma hedefleri kıyaslanması çizelgesi

Bin Yıl Kalkınma Hedefleri (Gündem2021)	Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (Gündem 2030)
1. Aşırı yoksulluğun ve açlığın yok edilmesi.	1. Yoksulluğa Son
2. Evrensel ilköğretimin sağlanması.	2. Açlığa Son
3. Cinsiyet eşitliğinin teşvik edilmesi ve kadınların güçlendirilmesi.	3. Sağlık ve Kaliteli Yaşam
4. Çocuk ölüm oranının azaltılması.	4. Nitelikli Eğitim
5. Anne sağlığının iyileştirilmesi.	5. Toplumsal Cinsiyet Eşitliği
6. HIV/AIDS, sıtma ve diğer hastalıklarla mücadele edilmesi.	6. Temiz Su ve Sanitasyon
7. Çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması.	7. Erişilebilir ve Temiz Enerji
8. Kalkınmaya yönelik küresel iş birliğinin geliştirilmesi.	8. İnsana Yakışır İş ve Ekonomik Büyüme
	9. Sanayi, Yenilikçilik ve Altyapı
	10. Eşitsizliklerin Azaltılması
	11. Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar
	12. Sorumlu Üretim ve Tüketim
	13. İklim Eylemi
	14. Sudaki Yaşam
	15. Karasal Yaşam
	16. Barış, Adalet ve Güçlü Kurumlar
	17. Amaçlar İçin Ortaklıklar

Not:(*Black, Borrion & Mwabonje, 2021*)

Paydaş ve özellikle toplumun katılımı ile örnek bir yapı kazanmanın hedeflendiği çalışmalar. Daha önce fikrinin ve durumunun geride bırakıldığı, marjinal olarak kabul edilmiş toplum kesimlerinin de sisteme katılımını sağlamayı hedeflediği sonucuna varılabilir. Binyıl kalkınma hedefleri sağlık konularını daha çeşitli değerlendirirken, 2030 hedeflerinde iklim ve çevre konularının ağırlık kazandığı bilinmektedir. Çizelge 2.1'de Bin yıl kalkınma hedefleri ile sürdürülebilir kalkınma hedefleri kıyaslanması görülmektedir.

Sürdürülebilirlik çerçevesinde kalkınma ve gelişmeleri takip eden otomotiv endüstrisi lider üretici firmaları da çevre ve küresel iklim değişikliği konularında öncü davranmakta ve geliştirdikleri otomobillerin çevresel yükünü azaltmak için çalışmalar ortaya koymaktadır. Otomotiv parçalarının üretimini, kendileri ve tüm tedarik zincirini de kapsayacak biçimde değerlendirerek geleceğe yön vermeyi istemektedir. Bu amaçla farklı yönlendirmeler gerçekleştirirler. Bu istek ve yönlendirmeler üretim hattındaki çevresel etkilerinin parça başına ortaya konulması veya firmadaki genel çevresel yükün belirlenmesi olabilmektedir. İstenen çalışmaların yapılabilmesi YDD ile mümkün olmaktadır. YDD bir parçanın üretimi için gereken ham malzemenin çıkarması ile başlayarak, işlenmesi, imalatı, dağıtımı, kullanımı, yeniden kullanımı ve bertarafı (beşikten mezara) sürecinde potansiyel çevresel etkileri değerlendirmek için karşılaştırmalı bir araçtır. Ürünlerin, sistemlerin ve hizmetlerin çevresel performansını yaşamlarının çeşitli noktalarında iyileştirme fırsatlarının yanı sıra öncelik belirleme veya ilgili ürünlerin yeniden tasarımı için karar vericileri bilgilendirmenin etkili stratejik yöntemidir. Eko- etiket pazarlamasına uygun çevresel göstergelerin seçimine yardımcı olmak için de YDD metodolojisi bir araç olarak da kullanılabilir.

Houillon ve Jolliet (2005) makalelerinde atık su arıtma çamuru farklı senaryoları ile karşılaştırma yapmışlardır. Çalışmalarında, yaşam döngüsü tüm arıtma boyunca küresel ısınmaya katkıda bulunan enerji ve emisyonlara odaklanmışlar ve yan ürünler tarafından önlenen yüklerin, enerji tüketimi ve kirletici emisyonları açısından çok önemli olduğu sonucuna varmışlardır. Eliceche, Corvalán ve Martínez (2007) makalelerinde, bir yardımcı tesis prosesi sırasında proses optimizasyonu için çevresel yaşamın döngü etki değerlendirmesinin nicel bir amaç fonksiyonu olarak kullanılabilir modelinin mevcut olduğunu belirtmişlerdir. Bir etilen prosesi yardımcı tesisinin optimum çalışma koşullarını hesaplamak için bir metodoloji sunmuşlardır. Genel çevresel etkiyi, küresel ısınma, asitlenme, ötrofikasyon, fotokimyasal oksidasyon, ozon incelmesi, insan toksisitesi ve ekotoksisitenin toplamı olarak hesapladıklarını belirtmişlerdir. Sonuç olarak aynı anda elde edilen iyileştirmeler doğal gaz ve elektrik tüketimi ve işletme maliyetini de rapor edebilmişlerdir. Makalelerinde kamu politikasının, modern ürünlerin çevresel etkileri konusunda giderek daha katı hale geldiğini belirten Telenko, Seepersad ve

Webber (2008), bu sıkı incelemeye yanıt vermek için ürün tasarımcılarının, ürünlerin çevresel ayak izlerini azaltmak için yenilik yapmaları gerektiğini belirtmişlerdir. Çevre için tasarım kavramını, tasarımcıların çevresel etkiyi azaltmasına yardımcı olacak araçları, yöntemleri ve ilkeleri içeren bir ürün tasarım metodolojisi alanı olduğunu tanımlamışlar ve içindeki en güçlü ve iyi bilinen aracın YDD olduğunu belirtmişlerdir. Ancak, YDD' nin sınırları tam olarak belirlenmiş bir tasarım gerektirdiğini vurgulamışlardır. Jacquemin, Pontalier ve Sablayrolles (2012) çalışmalarında, YDD metodolojisinin ekoloji ve çevresel hususların süreç tasarımı ve optimizasyonu ile endüstriyel bağlamda entegrasyonda kullanımına odaklanmışlardır. İncelemelerinde, YDD 'nin süreçlerin çok amaçlı optimizasyonu için envanteri elde etmek ve sonuçları sisteme enjekte etmek amacı ile sıklıkla kullanıldığını belirtmişlerdir.

Oliveira, Messagie, Mertens, Laget, Coosemans, ve Van Mierlo (2015) makalelerinde şebeke için elektrik depolama sistemlerinin çevresel performansını bir yaşam döngüsü analizi ile değerlendirmişlerdir. Bir yaşam döngüsü değerlendirme metodolojisi kullanarak inşaat, sistemlerin her birinin kullanımını ve bertaraf/ ömrünün sonu, pompalı hidro ve basınçlı hava depolaması, mekanik depolama, gelişmiş kurşun asit, sodyum sülfür, lityum iyon ve nikel-sodyum-klorür ile pillerin elektrokimyasal depolama sistemlerini olarak ele alarak incelenmişlerdir. Elektrolizden hidrojen üretimi ve proton değişim membranlı yakıt hücresinden sonraki kullanımı da analiz etmişlerdir. Sistem fonksiyonel birimini, depolamadan şebekeye geri verilen bir kWh enerji olarak belirlemişlerdir. Değerlendirilen çevresel etkiler, iklim değişikliği, insan toksisitesi, partikül madde oluşumu ve fosil kaynaklarının tükenmesi olup, örneklendirmek için farklı elektrik depolama senaryoları kullanmışlardır. Performansın depolama sistemlerinin, kullanım aşamasındaki elektrik besleme için kullanılan stoklarına bağlı olduğunu yenilenebilir enerji kaynaklarının sahip olduğu depolama teknolojilerinin kullanım aşaması boyunca daha düşük etkilere sebep olduğunu gösterdiği sonucuna varmışlarıdır. 2011 karşılaştırmalı değerlendirme, Belçika elektrik kullanımında sodyum sülfür pilin, analiz edilen tüm etkiler için en iyi performans gösterdiğini pompalı hidro depolamanın ikinci sırada yer aldığını göstermişlerdir. Sonuçta kullanım ömrünün azlığı ve düşüklüğü sebebi ile pillerin mekaniklere nazaran daha yüksek çevresel etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Hoxha, Maierhofer, Saade ve Passer (2021) binaların çevresel etkilerinin ayrıntılı bir değerlendirmesinin, önemli miktarda veri zaman ve çaba gerektirdiğini belirttikleri çalışmalarında, teknik ve elektrikli ekipmanları sisteme dahil edilerek bir binanın çevresel etkilerinin ayrıntılı bir hesaplamasını sunmuşlardır. Çalışmanın yaşam döngüsü aşamaları için sistem sınırları, yapının malzeme, enerji ve su ve kullanım bileşenleri, üretim, inşaat, değiştirme, işletimi, bina teknik ve elektronik ekipman ömrünün sonu olarak kabul etmişlerdir. 50 yıllık referans bina hizmet ömrü göz önüne alındığında enerji ve küresel ısınma potansiyeli göstergelerini 1 m^2 fonksiyonel birim bazında hesaplamışlardır. Bir projenin erken tasarım aşamasında sistem sınırlarına dahil edilmeye değer ekipman teknik ve elektriksel çevre etkileri, ayrıntılı olarak hesaplanmalı ve güvenilir bir oran ile değerlendirilmesinin gerekli olduğu sonucuna varmışlardır.

Gürsel ve Meral (2012) çalışmalarında, ham madde ve enerji girdilerinin CEM-I çimento tipi üretimi sırasında kullanıldığı bir proseste beşikten-kapıya (cradle-to-gate) sistem sınırları ile açığa çıkan CO_2 emisyonları hesaplamıştır. Envanter analizini YDD'nin temel aşaması olarak kabul ederek gerçekleştirmişler ancak verilere ulaşım yetersizliği sebebiyle etkilerin değerlendirmesini yapmamışlardır. Ayrıca farklı oranlarda uçucu kül ve Portland çimentosunu karıştırarak elde ettikleri katkılı çimentolar için aynı yolu izlemişlerdir. Sonuç olarak enerji (MJ/ton) ve CO_2 emisyon miktarlarını (kg-CO_2/ton) bir ton çimento başına düşecek biçimde ifade etmişler, çimento sektörünün sürdürülebilirliğinin artırılması adına katkılı çimentolar için bulunan sonuçlara ve literatüre dayanarak, alternatif malzemelerin kullanılmasına ilişkin öneriler sunmuşlardır.

2.4. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Otomotiv Endüstrisi Uygulamaları

Yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD) metodolojisi, esas olarak ürünlere uygulanan çevresel etkileri sayısallaştırma için iyi kurulmuş analitik bir yöntemdir. Bununla birlikte literatür, süreçler için çevresel hususlar alanındaki bir analiz ve tasarım aracı olma potansiyeline de sahip en büyüklerinden biri olduğunu olduğunu önermektedir. İncelemelerde, uygulayıcıların envanteri elde etmek ve sonuçları optimizasyon modeline

enjekte etmek için YDD' yi kullandıklarını ve genellikle süreçlerin çok amaçlı bir optimizasyonu olarak YDD'nin kullanıldığı görülmektedir (Jacquemin ve diğ., 2012).

Kwak, Kim, Kim, Finamore ve Hazewinkel (2012) makalelerinde, endüstriyel ağır hizmet tipi arazi araçlarında iki belirgin farklı sistemin karşılaştırmalı yaşam döngüsü değerlendirmesini yapmışlardır. Çalışma aynı tip ancak farklı operasyonel üretkenlik seviyelerine sahip iki farklı makinenin çevresel etki performansı nasıl karşılaştırılır göstermektedir. İki makine hammaddenin çıkartılmasından ömrünün tamamlaması sonrası imhasına kadar tüm yaşam döngüsünü göz önünde bulundurularak analiz edilmiş ve yaşam döngüsü etki puanı açısından karşılaştırılmıştır. İki makine arasında adil bir karşılaştırma yapılabilmesi için aynı miktarda üretimden elde edilen etki temel alınmıştır. Çalışmanın sonucu, tasarım ve pazar desteği amaçları için farklı makine tiplerinin yaşam döngüsü değerlendirmesi ile sayısal olarak ölçülebileceğini belirtmişlerdir.

Rossi, Leone, Barni, ve Fontana (2022) çalışmalarında, ürünlerin YDA ve bu stratejinin uygulanmasının çevresel ve ekonomik açıdan faydalı olup olmadığını anlama amaçlı kavramsal bir çerçeve tanımlamayı amaçlamışlarıdır. Belirlenen ihtiyacı karşılamak için YDA analizinde kullanılmak üzere çevresel ve ekonomik verilere ait kategorileri içeren bir gösterge listesi tasarlamış ve ikiye bölmüşlerdir. Yaşam döngüsü perspektifi yaklaşımlarına dayanan bir hesaplama metodolojisi ile etkileri ve YDA analizi tarafından elde edilen verileri karşılaştırmışlardır. Değerlendirme yaklaşımı, ürün yaşam döngüleri tarafından sunulan olası avantaj ve dezavantajları vurgulamayı amaçlamaktadır. Sonuç olarak bu çerçevenin belirli bir endüstriyel duruma uygulanması, döngüsel ekonomi bakış açısına geçiş yapmak isteyen bir şirketin karar verme sürecine YDA' nin destek sağlamasının mümkün olduğunu belirtmişlerdir.

Mayyas, Omar, Hayajneh, ve Mayyas (2017) birkaç gelişmiş güç aktarma organı için yaşam döngüsü değerlendirmesini gerçekleştirdikleri makalelerinde; plug-in hibrit elektrikli araçlar (PHEV), akülü elektrikli araçlar (BEV) ve hibrit elektrikli araçlar (HEV) ile geleneksel benzinle çalışan içten yanmalı motora dayalı güce göre çalışan araçları kıyaslamışlardır. Hafif ağırlıklı bileşenler içeren araç tasarımının yaşam döngüsü değerlendirmesini çevre perspektifinden gerçekleştirerek araçların elektrik güçlerini ve

enerji harcamalarının karbondioksit emisyonu etkisini analiz etmişlerdir. Ana odakları, malzemedeki enerji sera gazı emisyonlarının çıkarma ve kaynaklar aşaması, üretim aşaması ve kullanım aşaması (işletme ve bakım) olmuştur. YDA emisyon sonuçlarına dayanarak, elektrik sektörünün emisyon oranlarını azaltan etkiye sahip olmasının elektriğin üretim politikasına bağlı olabildiği sonucuna varmışlardır. Örneğin Amerika Birleşik Devletleri gibi elektrik üretimi için yüksek salınıma sebep olana bir ülkede hafif içten yanmalı ticari araçların görece daha az emisyon kaynağı oluşturduğunu ancak yenilenebilir kaynaklardan elektrik üreten farklı ülkelerde bu durumun tam tersi olabildiğini belirtmişlerdir.

Peng, Ou, ve Yan (2018), enerji tüketimini ve sera gazı emisyonlarını analizi için bir elektrikli araç yaşam döngüsü analizi modeli geliştirdikleri makalelerinde, elektrikli araçların elektrik şebekesi karışımındaki ve araç enerji verimliliği performansındaki değişiklikleri dikkate alarak genişletilebilir yaşam döngüsü perspektifi sunmuşlardır. Elektrikli araçlar yaşam döngüsü değerlendirmesi ortak bir model platformu olarak kullanarak, durumu değerlendirmek için bir vaka çalışması yürütmüşlerdir. Ülkeye özel olarak Çin, ABD, Japonya, Kanada ve AB'deki gerçek dünyadaki sürüş koşulları altında, ortalama bir binek akülü elektrikli araç ve plug-in hibrit elektrikli araç yaşam döngüsü ve sera gazı emisyonları bir içten yanmalı motorlu araç ile karşılaştırmışlardır. Modelin, ortalama elektrik tüketimini ve emisyon performansını değerlendirmek ilave olarak büyük ölçekli olarak elektrikli araçların hem bölgesel hem de ulusal düzeyde sera gazı emisyon değerlendirmeleri için uygulanabilir ve esnek olduğunu göstermişlerdir. Vaka çalışmalarında, anda binek akülü elektrikli araçların dünya çapında benzine kıyasla sera gazı emisyonlarının azaltılmasında (%30 ila %80 arasında) olumlu bir performans gösterdiği sonucuna varmışlardır.

Babel, Oo, Shinde, Kamalamma, ve Haarstrick (2020) makalelerinde seçtikleri otomotiv endüstrisi tesislerinde su ve enerji kullanımının karşılaştırmasını yapmışlardır. Çalışmalarında su kaynakları ve enerjinin giderek azalması sebebi ile daha verimli kullanımı için endüstrilerin çaba gösterdiklerini belirtmişleridir. Atmosfere en fazla karbon emisyonu salan otomobil sektörü, ürünlerinin yaşam döngüsünün çeşitli aşamalarında yarattığı emisyonları azaltma baskısına maruz kaldıklarını belirtmişlerdir.

Çalışmalarında BMW, Daimler, FCA, Nissan ve Volkswagen isimli beş otomobil endüstrisi imalat tesisinin su ve enerji kullanımını analiz etmiş ve ölçmüşler, ek olarak, su ve enerji tüketimini azaltarak bu endüstrilerdeki CO_2 emisyonlarını azaltma potansiyelini araştırmışlardır. Ortalama olarak, bir araba üretmek için doğrudan 4,94 m^3 su ve 2,74 MWh enerji kullanıldığını belirttikleri makalelerinde Analiz edilen şirketler arasında BMW'nin, en yüksek oranda su verimliliğine sahip olduğunu ve tüketilen enerji birimine göre daha fazla gelir elde ettiği sonucuna varmışlardır. Diğer şirketlerin de birkaç kaynak verimli teknoloji istihdam ederek kendi verimlilik hedeflerine ulaştıklarını belirtmişlerdir. Analiz sonuçları, karbon emisyon salınımını önemli bir ölçüde azaltmak için su ve enerji kullanımının azaltılması gerekliliğini göstermektedir. BMW'nin CO_2 emisyon salınımını %15 azaltmak için su kullanımını %38 ve enerji tüketimini %31 oranında azaltması gerektiği sonucuna ulaşmışlardır. Nissan üretim tesisinin su ve enerji kullanımının azaltılması ile karbon emisyon salınımını azaltmada en yüksek potansiyele sahip olduğunu belirtmişlerdir. Kaynak kullanımını en aza indirerek ve yenilenebilir enerji kaynaklarına geçerek sanayinin emisyon salınımını geniş ölçüde iyileştirebileceği sonucuna varmışlardır.

Arrigoni, Arosio, Basso Peressut, Latorrata, ve Dotelli (2022) çalışmalarında hidrojen yakıt hücreli elektrikli araçların karbon emisyon azaltımı için ulaştırma sektörüne dahil olduklarını belirtmişlerdir. İçten yanmalı motorlara muadil yakıt hücreli araçların yaşam döngüsü değerlendirmesi ile kıyas çalışmaları sonuçlarının bu kararı desteklediğine ancak literatürde yakıt pillerinin dayanıklılık ve performans kayıplarının aracın yaşam döngüsü çevresel etkisine nadiren yer verildiğine değinmişlerdir. YDD 'lerin çoğunun araçlar için 120.000 ile 225.000 km arasında değişen hizmet ömrü boyunca sabit yakıt tüketimi (0,58 ile 1,15 kgH_2/100 km arasında) üzerinden değerlendirildiğini belirttikleri çalışmalarında, araçların yaşam döngüsü ve sera gazı emisyon etkisini performans kayıplarının etkisini de dahil ederek laboratuvara dayalı deneyler kullanarak değerlendirmişlerdir. YDD, aracın hizmet ömrü 150.000 km'ye sabitlendiğinde şunu göstermişlerdir: daha düşük performans kayıplarına sahip bir yakıt hücresi kullanılarak yani, Politetrafloroetilen (PTFE) yerine florlu etilen propilen (FEP) kaplı yakıt hücresi ile sera gazı emisyon tasarrufu aracın tüm yaşam döngüsü değerlendirildiğinde ihmal edilebilirdir. Sonuç olarak aracın hizmet ömrü yakıt hücresinin çalışabilirliğine bağlı olduğunda, florlu etilen

propilen tabanlı hidrojen yakıt hücreli elektrikli araçların sürülen km başına küresel ısınma potansiyeli ve hidrojen üretiminden kaynaklanan sera gazı emisyonları ile aracın ilk yakıt tüketiminin %7 ila 32 oranında azaldığını belirtmişlerdir.

Zahia, Abdelaziz ve Brahim (2020) otomotivde ağırlığın azaltılmasının hava kirliliğini azaltmak için çok önemli bir konu olduğunu belirttikleri makalelerinde, geleneksel bir çelik tampon ve polyester prototip arasındaki çevresel koşulların etki karşılaştırılmasını gerçek bir vaka çalışması yoluyla analiz etmişlerdir. Çalışmalarının ilk bölümünde bileşenlerin üretim aşaması boyunca kapıdan kapıya yaşam döngüsü değerlendirme metodolojisini kullanmışlardır. İkinci bölümde polyester prototip çalışmasının toz oluşumunu el almışlardır. SimaPro 7.1 yazılımını kullandıkları çalışmalarında sonuç olarak YDD'nin yeniden tasarlanmış bir otomotiv bileşenini çevresel bir bakış açısıyla doğrulamak için çok faydalı bir araç olabileceğini kanıtladıklarını belirtmişlerdir. Bu vaka çalışmasında; şirketin çevre dostu bileşenler tasarlaması için çeşitli önerilerde bulunmuşlar ve eko-tasarım şirketin prosedürlerine dahil edilmesi gerekliliğini vurgulamışlardır.

Dai, Kelly, Gaines ve Wang (2019) makalelerinde otomotiv sektöründe kullanım için üretilen lityum nikel manganez kobalt oksit pillerin, mevcut endüstriyel üretimini beşikten kapıya yaşam döngüsü değerlendirmesi ile sera gazı emisyonları, SO_x, NO_x, PM10 emisyonları ve bunlarla ilişkili su tüketimi çevresel etkilerini analiz etmişlerdir. Sonuçlar, aktif katot malzemesinin, alüminyumun ve hücre üretimi için enerji kullanımının NMC pillerinin enerji ve çevresel etkilerine katkıda bulunan ana etken olduğunu göstermektedir.

Makalelerinde alüminyum alaşımları, geleneksel malzemelere göre daha hafif olmaları, sebebi ile daha çevre dostu olarak kabul edilen çözümler olduğunu belirten Salonitis, Jolly, Pagone ve Papanikolaou (2019), bir motorun üretimi için gereken toplam enerjiyi tahmin etmek için (a) dökme demir ve (b) alüminyum alaşımları kullanan silindir bloğu için geniş bir literatür incelemesi yapmışlardır. Sonuç olarak alüminyum alaşımların düşük yakıt tüketimine katkıda bulunmasına rağmen, hammadde üretimi ve imalat

aşamaları ile ilgili enerji tüketiminin çok yüksek olması sebebi ile bunu telafi etmek için kat edilmesi gereken araç mesafesinin oldukça yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Öztürk (2012), çalışmasında alüminyum alaşımı hammaddesi ile üretilen turbo emiş borusu ve kompozit plastik matrisli bir malzemeden üretilen tamponun otomotiv endüstrisinin yan sanayisinde yaşam döngüsü analizi yapmıştır. Ağırlıklı olarak çevresel zarar etkisinin hem turbo emiş borusu hem tampon için üretim aşamasında olduğunu tespit edildiğini belirtmiştir. ISO 14040 Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Standardına uygun olan SimaPro 7.3.2 adlı yazılımda IMPACT 2002+ metodunu seçerek gerçekleştirdiği çalışmasında sonuç olarak; farklı miktarlarla atık senaryoları oluşturularak çevreye daha az zarar veren, turbo emiş borusu ve tampon için en iyi atık senaryosunu saptamıştır.

Tolomeo, De Feo, Adami ve Sesti Osséo (2020), çalışmalarında yaşam döngüsü değerlendirmesinin (YDD) otomotiv sektöründe lityum iyon pillere uygulanmasının eleştirel bir incelemesini yapmışlardır. Çalışmalarının amacı bu alanda şimdiye kadar gerçekleştirilen analizlerin ve elde edilen sonuçların kritik noktalarını belirtmektir. İlk olarak veri eldesinin kritik öneminden bahsetmekte olan yazarlar beşikten mezara değerlendirme kriterinin en çok seçilen sistem sınırı olmasına karşılık, envanter aşamasında bilimsel katkının önemini belirtmişlerdir.

Silva, de Oliveira, Filleti, de Oliveira, da Silva ve Ometto (2018), yaşam döngüsü değerlendirmesinin (YDD), ürünler ve süreçlerin çevresel boyutları ve etkilerini analiz etmek için iyi kurulmuş bir araç olduğunu belirttikleri çalışmalarında, Brezilya'da otomotiv kullanımı için üretilen egzoz valflerinin beşikten mezara yaşam döngüsü değerlendirmesini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında çevreye dayalı sıcak noktaları belirlemişler, çevresel yükleri azaltmak için ve üretim eko-verimliliğini artırmak için daha temiz üretim senaryoları geliştirmişlerdir.

Kılıç (2017) çalışmasında, SimaPro programını kullanarak EcoInvent veri tabanını seçerek araç koltuğu üretiminin çevresel etkilerini değerlendirmiştir. Küresel ısınmaya en yüksek katkının çelik alaşımı hammaddesinden geldiğini belirttiği çalışmasında çelik

alaşım hammaddesi yerine kompozit malzeme kullanıldığında etkinin %55'e yakın miktarda azalabileceği sonucuna varmıştır. Ürün kalitesini bozmadan fırının sıcaklığında gerçekleştirilen azaltma ile fonksiyonel birim başına yıllık 633,6 kg CO_2 eşdeğeri düşüş sağlanabileceğini ve kaynak prosesinin tüm süreçlerde enerji girdisi yüksek olması sebebi ile en yüksek çevresel etkiyi yarattığını tespit ettiğini belirtmiştir. Alternatif temiz üretim çalışmaları ile diğer süreçler için de çevresel yükün azaltılmasının sağlandığını belirtmiştir.

2.5. Çinko Fosfat Kaplama Prosesi

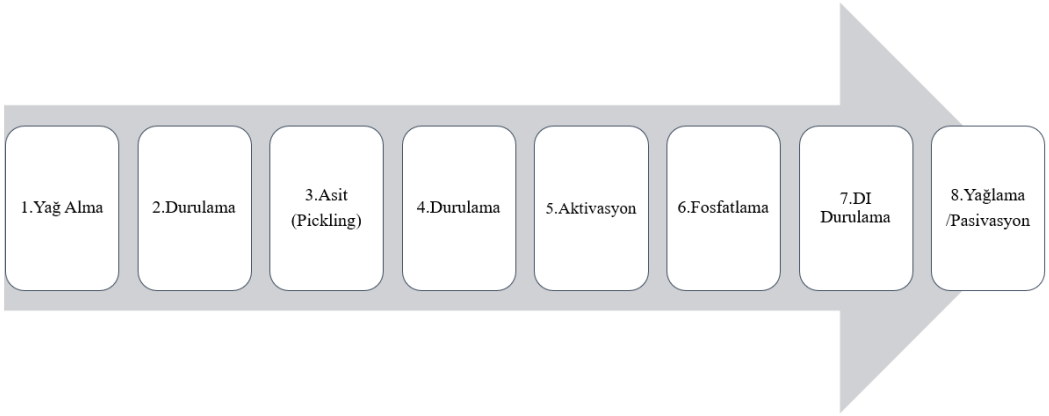
Boya öncesi çinko fosfat kaplaması, otomotiv endüstrisinde korozyon dayanımını ve sonraki üst kaplamaların yapışmasını artırmak için kullanılan yaygın ve önemli bir yöntemdir. Diğer yandan, üreticiler fiyat endişeleri nedeniyle alüminyuma geçemediklerinden maliyet ve ağırlığı optimize etmek için alüminyum ile çelik için daha çok kombinasyona başvuruyorlar. Çinko fosfat kaplama, metalik bileşenlerin korozyonunun önlenmesi için alternatif bir yol olarak kullanılmaktadır. Mükemmel korozyon direnci ve aşınma sağlama yeteneği, iyi yağlama, yapışma ve düşük uygulama maliyeti nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır (Baloyi, Maledi ve Andrews, 2022).

Kaplama işlemi metal yüzeye sahip endüstrilerde fosfatlama kimyasalları kullanılarak uygulanan en yaygın işlemdir. Yüzeyleri zamanla çevre koşulları nedeni ile korozyon ve aşınmalara karşı korumak için uygulanan bir işlemdir. Fosfatlama kimyasalları kullanarak yeni bir malzeme katmanı oluşturulur ve malzemeler için yeni özelliklerin oluşması sağlanır. Kaplama, ana metalin yüzeyinin kendisini korozyona dayanıklı filmin bir parçası haline getirmesine neden olan bir topokimyasal reaksiyonun sonucudur (Sezginer, 2020).

Çinko fosfat kaplaması, metal bileşenlerin yüzeyinde biriken organik yapıların, reaksiyonla oluşturulduğu kristal bir kaplamaya dönüşümdür. Çinko fosfat banyoları metal bileşenlere uygulandığında genellikle fosforik asit, metal fosfat iyonları, hızlandırıcılar ve çeşitli katkı maddelerinden oluşan banyo bileşimi demirli ve demirsiz metaller arasında değiştirilir (Baloyi, Maledi ve Andrews, 2022).

İstenen özelliklerde kaplamalar elde etmek ve yüzey gereksinimlerini karşılamak için geçmiş yıllarda çok çeşitli kaplama yöntemleri geliştirilmiştir. Çinko fosfat kaplamanın korozyon direnci üzerinde olumlu bir etkisi vardır. Genellikle yüzey bitirme işleminde ve ayrıca boyama işleminde bağlayıcı bir katman olarak kullanılır. Bu kaplama kimyasalı, korozyon üzerindeki yüksek performansı nedeniyle otomotiv, metal ve alüminyum gibi sektörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Wang, Liau ve Tsai, 2006).

Fosfatlama işlemi tek bir kimyasal işlem değil kademeli bir işlemdir. Katı-sıvı fazlarında gerçekleşir ve denge tamamlanıncaya kadar devam eder. Genel olarak, fosfatlama işlemi dört ana aşama içerir. Fosfat kaplama süreci, temizleme yağ alma, aktivasyon, fosfatlama ve son pasivasyon aşamalarını içermektedir (Sezginer, 2020). Şekil 2.2'de fosfat kaplama sürecine ait adımları gösteren iş akışı görülmektedir.



Şekil 2.2. Fosfat kaplama süreci iş akışı şeması

1.Adım Yağ Alma: Alkali yağ alma, ürünleri sonraki adımlara veya son işleme hazırlamaya yönelik bir süreçtir. Yüzeyden istenmeyen leke, kir, yağ, toz veya birikintilerin giderimi bu aşamada gerçekleştirilir. Alkali yağ alma aşaması için ürünlerin türüne, boyutuna ve özelliklerine bağlı olarak değişen birçok farklı seçenek vardır. En çok tercih edilen uygulamalar daldırma ve püskürtmedir. Daldırma işlemi bir tankta gerçekleşir, ekipman tüm yüzeyi temizlemek için kimyasal tanka daldırılır. Kimyasal püskürtme, nozullar ve sprey tüpleri ile uygulanır (Sezginer, 2020).

2.Adım ve 4. Adım Durulama: Durulama işlemi yüzeyde biriken fazla kimyasal maddelerin giderimini sağlar. Özellikle yağ alma ve asit banyosunun sonrasında sert su kullanılarak durulama işlemi yapılır. Sebebi kimyasal giderimin hızlı ve kolay sağlamasıdır. Genellikle cascade durulama denilen tanklara doldurulan sularda daimî bir akış sağlanarak iletilen suyun sürekli olarak tanktan boşaltılması ile gerçekleşen bu aşamada suyun iletkenlik ve pH değerlerinin takibi önemlidir. Ayrıca durulama ile bir sonraki adıma kimyasalın taşınması da önlenmiş olur.

3.Adım Asit (Pickling): Bu metal ürünün üzerinden pas, tortu giderimi sağlayan efektif bir aşamadır. Genelde fosforik asit, sülfürik asit, hidroklorik asitlerin tek başına veya kombinasyonları ile Pickling tankı hazırlanır. Fosforik asit; yağ, gres, toz, korozif tuzlar ve hafif pas giderimi ile tortu giderimi için zamanla test edilmiş en iyi metottur. Fosforik asit çözeltisi deterjan, ıslatıcı bileşenler ve organik çözücü solventler le kombin yapılarak yağ ve gres temizliği için daha da etkili bir sonuç sağlar. Ürün yüzeyinin asit ile temizlenmesi sonrasında temiz su ile durulama yapılması tavsiye edilir. Alkali temizleyiciler ve kuvvetli asitler durulamada tehlikeli bir kalıntı bırakır. Bunun yerine, fosforik asit yüzeyi nazikçe aşındırır ve sonraki kaplama için hem mekanik olarak alıcı bir yüzey sağlayan çok küçük bir demir fosfat tabakası üretmek için kimyasal olarak reaksiyona girer (Organic Coatings, 1968).

5.Adım Aktivasyon: Aktivasyon aşaması, birim alan başına artan miktarda fosfat kristali için uygulanır. Bu işlem, fosfatlama işlemi olarak adlandırılan bir sonraki işlemde yüzeyi düzgün bir film tabakası ile kaplamak için kullanılır (Sezgin, 2020).

6.Adım Fosfatlama: Uygun şekilde temizlenen ve aktive edilen yüzeyler daha sonra fosfatlama aşamasına tabi tutulur. Bileşenlerin doğru seçimi ve fosfatlama banyosunun çalışma koşulları ve gereksinimleri, işlenecek malzemenin özelliklerine ve nihai kullanımına göre yapılır. Fosfatlama işlemi katı-sıvı ara yüzeyinde adım adım ilerler ve denge tamamlanana kadar devam eder. 30ºC ile 99ºC arasındaki sıcaklıklarda gerçekleştirilmelidir (Narayanan,2005).

Fosfatlama reaksiyonlarının ana bileşenleri:

- Fosforik Asit (H_3PO_4)
- Metallerin iyonları, katyonları: $Zn^{2+,}$ Fe^{2+}, Mn^{2+}
- Hızlandırıcı veya oksitleyici bir reaktif (nitrat, nitrit, peroksit)

Fosfatlamanın ana prensibi, fosforik asit çözeltilerine daldırıldıktan sonra metal yüzeyin bir fosfat tabakası ile kaplanmasıdır. Çinko fosfat kaplama reaksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanabilir (Sezginer, 2020):

$$3Zn^{+2} + 2H_2PO_4 + 4H_2O = Zn_3(PO_4)_2.4H_2O + 4H \quad (2.1)$$

ya da

$$2Zn^{+2} + Fe^{2-} + 2H_2PO_4 + 4H_2O = FeZn_2(PO_4)_2.4H_2O + 4H \quad (2.2)$$

7.Adım DI Durulama: Amacın yüzeydeki asit ve alkali kimyasalın yüzeyden uzaklaştırılması olduğu bu süreç ile bir sonraki banyoya kimyasal geçişi de engellenmektedir. İletkenlik değerinin önemli olduğu bu banyolarda; sürekli su ilavesi yapılarak iletkenliğin belirli seviyelerde tutulması hedeflenir. İletkenlik değerinin; DI (Deiyonize) su ile dolu durulama banyolarında maksimum 100µS (Mikrosimens) olması istenir. Bu nedenle bu banyolarda kullanılan DI su kalitesi takip edilerek kullanılmaktadır. Buradaki amaç boya öncesi malzeme yüzeyindeki iletkenliğin düşürülmesidir (Teknik Yazılar, 2016).

8.Adım Yağlama/Pasivasyon: Bu aşamada kullanılan yağlar ve pasivasyon kimyasalları ile ürünün fosfat kaplanması sonrasında koruyucu bir son katman film tabakasının oluşturulması sağlanır. Bu aşamanın sonrasında sıcak hava ile kurutma işlemi yapılarak paraların kuru olarak prosesi tamamlanması sağlanır. Kurutma sırasında yağın yakılmadan kurutulması önemli olduğundan, seçilecek kurutma sıcaklığının yağa uygun olması önemlidir.

2.6. Kaplama Prosesi Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi

Bir ürün veya sürecin çevresel etkilerini adım adım değerlendirmek veya hesaplamak için birçok yaklaşım vardır. Yaklaşım yönteminin seçimi, üretim süreçlerinde veya hizmetlerde ve ayrıca çalışmanın amacında değişken olabilir. Yaşam döngüsü değerlendirmesinin üretim başında kullanımı ve çıktıların sonucunda alınacak önlemlerin belirlenmesi önemlidir. Endüstriler, son yıllarda, dikkatlerini, üretme sistemlerin kaynak verimliliğini artırmaya başarıyla odaklamıştır. Ömrünü tamamlamış ürünleri yeniden kullanmak ve geri dönüştürmek, ürünleri, süreçleri ve tedarik zincirlerini daha iyi hale getirmek için yeniden tasarlamak endüstrilere net çevresel faydalar sunar. Bununla birlikte, modern sanayi toplumunda tüketimi ele almak, çevreye olan etkisini azaltmada hayati önem taşımaktadır.

Fosfat kaplama tesislerinin çevresel etkilerini ve yüklerini belirlemek ve karşılaştırmak için çeşitli yaşam döngüsü değerlendirmesi veri tabanları kullanılabilir. Ne yazık ki, yapılan literatür araştırmalarında bugüne dek direkt bir çinko fosfat kaplama tesisinde gerçekleştirilmiş yaşam döngüsü değerlendirmesine rastlanmamıştır. Veri tabanlarına ilgili bilgilerin girilebilmesi için sistemin sınırları belirlenmelidir. Bu çalışmada sistem sınırı kapıdan kapıya olarak belirlenmiştir. Fosfat kaplama prosesi girdi ve çıktıları değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Yaşam döngüsü değerlendirmesi doğru bir şekilde uygulanırsa, kaynak kullanımını ve prosesi sorgulayabileceğimiz bir yapı haline gelebilir ve üretime destek sağlar. Üretim prosesleri için analitik bir karar alma mekanizması olarak kullanılabilir.

Envanter analizleri, ürün sistemiyle ilgili girdi ve çıktıların sayılarla ifade edilebilmesi için; veri toplanmasını ve hesaplama usullerinin belirlenmesini gerekli kılar. Bu girdi ve çıktılar, kullanılan kaynakları ve ayrıca sistem dolayısıyla hava, su ve toprağa verilen salıntı ve atıkları içine alır. YDD 'nin kapsam ve amacına bağlı olan bu verilere dayanarak bazı yorumlar yapılabilir. Bu veriler, ayrıca YDD etki değerlendirmesinde bir girdi olarak da değerlendirilebilir. Envantere dahil etmek üzere sistem sınırları içinde kalan her işlem birimi için sayılarla ifade edilebilen ve edilemeyen veriler toplanır (Öztürk, 2012).

Hedef ve kapsam belirlenmesi aşamasında EcoInvent veri tabanı bilgilerinin seçilmesi uygun görülmüştür. 'EcoInvent' veri tabanı bilgisi; atık yönetimi YDD bilgisi de dahil olmak üzere enerji, taşıma, hammadde ve malzemeleri kapsamaktadır. Çevresel etki kategorileri; insan sağlığı, emisyon oluşumu ve kaynak kullanımı gibi farklı bölümleri tanımlamaktadır. Emisyon oluşumu su, hava ve toprak emisyonu kategorileri "alıcı bölüm" olarak tanımlanmakta olup doğrudan kirletici emisyonları için kullanılmaktadır. Kategori etkisi; değerlendirme yöntemini, alt kategori ise bir çevresel konuyu açıklamaktadır. YDD ile prosesi optimize ederek ve en uygun maliyetle üretmek için hesaplamalar ve değerlendirmeler yapılabilir.

'Pre Consultants' kurumu tarafından geliştirilen SimaPro yazılımı bir YDD aracı olarak kullanılmaktadır. Ürünlerin ve servisler için çevresel performansların değerlendirilmesini sağlar, ISO 14040 standardını izleyerek sistematik ve kolay anlaşılır bir yol sunar. Ayrıca karmaşık yaşam döngülerinin modellenmesini ve analizini kolaylaştıran bir yöntemdir. 'SimaPro' ilk olarak 1990 yılında oluşturulmuş olup ana endüstriler, danışmanlık hizmetleri ve üniversiteler tarafından kullanılmaktadır. SimaPro yazılımının özellikleri:
-Kendi kendine öğrenilebilmeyi sağlayan kullanıcı dostu oluşu ve ISO 14040 standardını izlemesi,
-Her aşamada modelin doğrudan etki değerlendirme hesaplamaları yapabilmeye imkân tanıması,
-Farklı analizleri örneğin 'Monte Carlo' gibi yapabilmeye imkân sunması,
-Uygun bir pencere içinde tüm sonuçları sunabilme,
-Analizde önemli noktaların belirlenmesi için ağaç yöntemini kullanma,
-Kapsamlı seçenekler ile tüm sonuçların oluşturulabilmesi,
-Geri dönüşüm senaryoları ve atık yönetimi senaryo analizinin yapılması (Öztürk, 2012)

Bu çalışmada karşılaştırma için iki farklı senaryo ile kaplama üretimi gerçekleştirilmiştir. Birinci Senaryoda çinko fosfat kaplama prosesi standart olarak ve ikinci senaryoda kimyasal tankları arasındaki sıvı taşınmasına engel olacak olan süzülme süreleri ilavesi ile gerçekleştirilen üretim verileri ile oluşan çevresel parametreler ürün başına kıyaslanmıştır. Literatür taraması ile YDD değerlendirmesine ait farklı kategorilere rastlanmıştır. Katsayıları ile ön pana çıkan ve daha kolay kullanım vaat eden SimaPro

modeli tercih edilmiştir. Bu YDD 'de ürünün çevresel etkileri 1 m^2 fonksiyonel birime göre beyan edilmiş ve arka plan verileri ile hesaplamalar için SimaPro 8.5.0.0 yazılım programı kullanılmıştır. Sistem sınırı, yalnızca kaplama gerçekleştirilmesi sürecini içermektedir. Kapıdan kapıya sistem sınırı tercih edilmiştir.

Bu çalışmanın gerçekleştirildiği kaplama tesisi tamamıyla otomatik bir tesis olarak kurulması sebebi ile iş gücü (işçilik) çalışmalara dahil edilmemiştir. Tesiste doğalgaz ile çalışan bir adet kazan, sadece proses suyunu ısıtmaktadır. Emisyon ve doğalgaz olarak verilerde bu kazana ait sonuçlar yer almakta olup, işçilik çalışmalarda yer almadığı için ortam ısıtma için kullanılan kombi çalışmalara dahil edilmemiştir. Tesiste gerçekleştirilen, havalandırma bacası ve sanayi kazan bacası emisyon ölçümlerinde, elde edilen hava emisyonu kaynaklı kirlilikleri parametreleri birim ürün başına hesaplanarak SimaPro yazılımına veriler girilmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Literatür Araştırması Metodolojisi

Çalışmada öncelikle literatür taraması metotları çerçevesinde araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Ankara Üniversitesi Açık Ders Malzemeleri. (2022) çalışmasında adı geçen verilerin elde edilmesi ve bu verilerin öneminin tartışılması, verilerin konuyla ya da ilgilenilen problemle ilişkisinin kurulması ve literatür taraması ile toplanan ve bilginin sınıflandırılması aşamalarına uygun olarak oluşturulmuştur. Literatür taramasına başlanmadan önce araştırma konusu ile ilgili anahtar kelimeler seçilmiştir. Sonrasında ilgili veri tabanına ulaşılmaya çalışılmıştır. Literatür taramasına bibliyografik türdeki eserler gözden geçirilerek başlanmıştır. Bu amaçla konuya ilişkin bütün tez, kitap ve makaleler ile bunların kaynaklar, referanslar ve kaynakça bölümleri ve internet kullanılmıştır. Taramaların sonucunda ulaşılan bilgiler ile;

- Önceden yazılan konuya ilişkin ya doğrudan ya da dolaylı bilgiler
- Konunun önceden işlenen ve işlenmeyen-eksik bırakılan yönleri
- Konu ile alakalı problemin hangi boyutta olduğu
- Daha eski dönenmelerdeki araştırmalarda kullanılan farklı yöntemler
- Evvelden benzer araştırmalarda çıkartılan sonuçlar ve ulaşılan bulgular
- Daha önceden yapılan öneriler
- Önceki araştırmalar için kullanılan kaynaklar gibi önemli noktalar tespit edilmiştir.

Ayrıca literatür çalışması sırasında;
Araştırmaya tabi tutulan problem ile doğrudan ilgili veya bu problemin etrafında örgütlenen,
İlgisiz çalışmaların kapsam dışında bırakıldığı ve araştırmaya konu alınan problem ile ilgili çalışmaları içeren,
Magazin, dergi, gazete gibi akademik olmayan belgelerden değil, akademik yayın ve kaynaklardan oluşan,
İnternet gibi farklı kaynak türlerinden yararlanan ancak yararlanılan kaynakların büyük çoğunluğunun internet kaynağı olmadığı,

Sadece listeleme ve özetlemeden değil, literatürde yer alan görüşlerin ve bulguların güçlü ve zayıf yönlerini göstererek değerlendirebilen,
Konuyla ilgili bilinen ve bilinmeyenlerin neler olduğunu özetleyen bir sentez oluşturabilen,
İlgili literatürdeki üzerinde uzlaşmaya varılmamış alanları gösterebilen,
Kaynaklardan ve okunan metinlerden çok fazla alıntı yapmayan, araştırmacının kendi kelimeleriyle özetlediği ve yorumladığı,
Önemli soruları, konuyla ilgili daha fazla araştırma gerektiren özellikte ortaya koyabilen, bir çalışma ortaya konulmuştur.
Yapılacak araştırma ile, araştırılan konu ile alakalı mevcut bilgilerin zenginleştireceğinin görülebildiği konulara özen gösterilmiştir.
Literatür çalışmasının ardından çalışmanın veri toplamaya yönelik kısmına geçebilmek için Bursa ilinde hizmet veren bir kaplama tesisi ile anlaşmaya varılmıştır.

3.2. ISO 14040 Standardı Metodolojisi

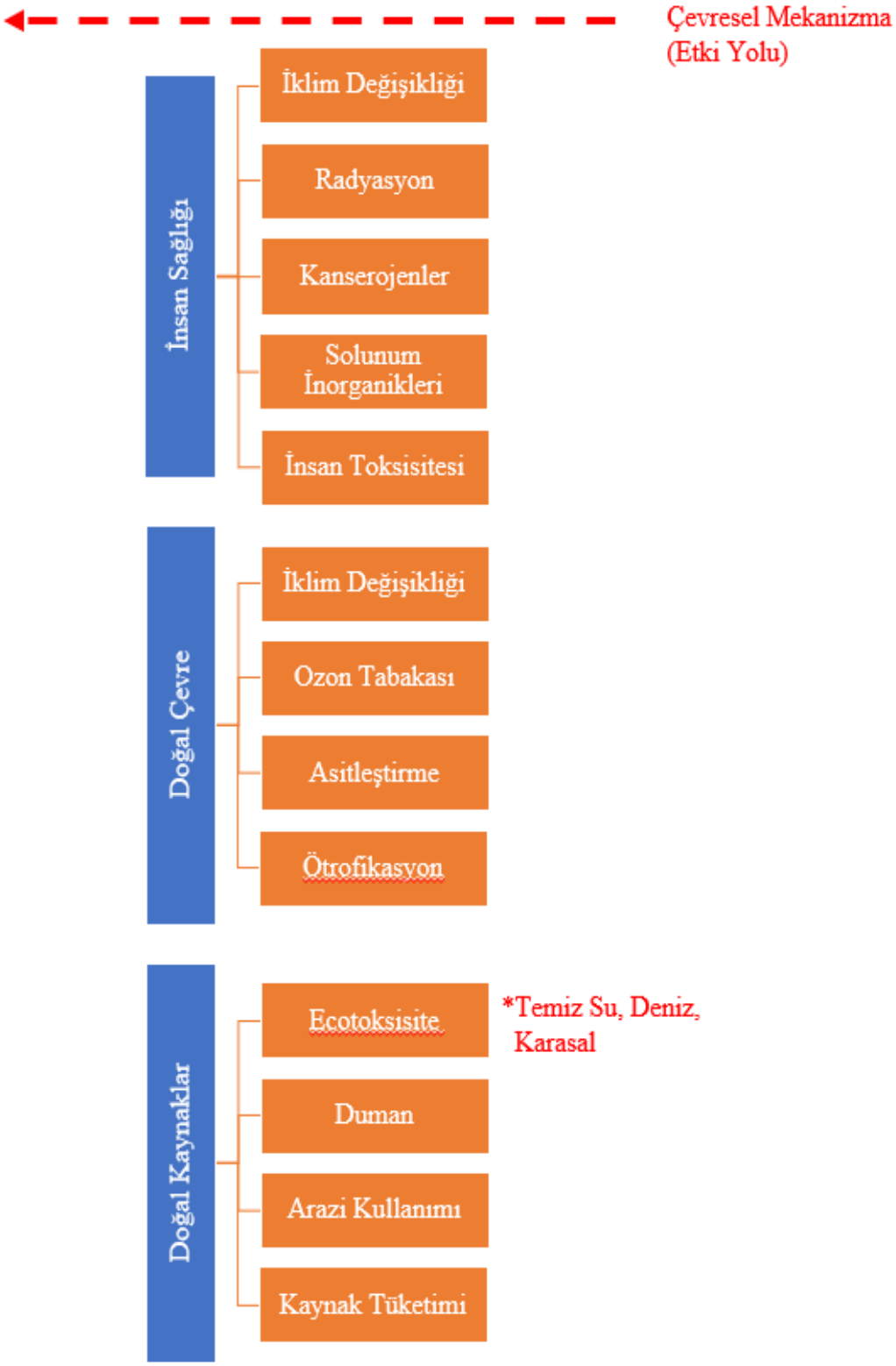
Tam, Zhou, Illankoon ve Le (2022) çalışmalarında ISO 14040 standart serisinin yaşam döngüsü değerlendirmesi için, bir sistematik çerçeve sunduğunu belirtmişlerdir. ISO 14040 standart serisinin (yani, ISO 14040 ve ISO 14044), ilk olarak Uluslararası Organizasyon tarafından yayınlandığını ve 1997 yılında Standardizasyon (ISO) için bu yöntemleri uyumlaştırmış ve YDD uygulaması için prosedürler ve genel bir metodolojik çerçeve oluşturduğunu belirtmişlerdir.

Black ve diğerleri (2021) değerlendirmelerinde ISO 14040 uluslararası standardının, YDD' yi yürütmek ve raporlamak için gereken ilkeler, çerçeve ve yönergeleri tarif ettiğini belirtmişlerdir. Avrupa Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Platformunun, bu standartlar üzerine inşa edilen Uluslararası Yaşam Döngüsü Verileri olarak adlandırılan bir dizi kapsamlı belge (ILCD El Kitabı) ürettiğini tarif etmişlerdir.

Black ve diğerleri (2021) değerlendirmelerinde ayrıca Artık YDD sürdürülebilir ürün ve süreç tasarımında karar verme, yönetimi ve çevresel uygulamaların iyileştirilmesindeki ilerlemeyi izlemek için önemli bir destek aracına dönüşmüştür. YDD' nin başlangıcında,

bugüne göre nispeten daha basit bir teknik seçim yapmak için kullanılırken, örn: paketleme ile ilgili olarak bir malzemeyi diğerine tercih etmek. Zaman içinde, iklim değişikliğine karşı mücadelede YDD düşüncesinde fosil temelli ikameler ve biyoyakıt ve biyokimyasal içeren malzemelerin faydaları gibi daha kapsayıcı sorulara doğru bir kayma olmuştur. Hammaddelerin çıkarılmasından kullanım ömrü sonu bertarafına kadar bir ürünün üretiminde insan faaliyetlerinin çevre üzerindeki etkilerini ölçmek için, YDD mevcut tek mantıksal metodoloji olmaya devam etmektedir. YDD, tarımsal sistemler ve uygulamalar, endüstriyel uygulamalar dahil olmak üzere birçok ürün ve hizmete uygulanabilmektedir. Diğerlerinin yanı sıra süreçler ve atık yönetimi ve bir dizi etki kategorisini değerlendirmek için de kullanılabilir olduğunun altını çizmişlerdir.

ISO 14040 Standardı ile tariflenen YDD, bir dizi çevresel etkinin nicel değerlendirmesine izin veren gelişmiş bir araç haline gelmiştir. Çevresel etkileri ve değerlendirme metodolojilerinin daha iyi anlaşılması için zaman içerisinde etkilerin nicelleştirilmesine izin veren bir dizi metodoloji geliştirilmiştir. Çevresel etki kategorileri metodolojiler kendi içerisinde benzerdir ve bunların alaka düzeyi, ILCD El Kitabı'n da tarif edilmektedir. Şekil 3.1 ILCD el kitabında tanımlandığı şekliyle YDD için Çevresel Etki Kategorilerini göstermektedir. Çevresel Etki, YDD kapsamındaki teknosfer ve ekosfer arasındaki müdahalelerin neden olduğu doğal çevre, insan sağlığı veya doğal kaynakların tükenmesi üzerindeki potansiyel etki (örn. emisyonlar, kaynak çıkarma, arazi kullanımı)' yi tanımlamaktadır. Etki kategorilerinin seçimi, örn. İklim değişikliği ile ilgili müdahalelerin dikkate alındığı Karbon ayak izi çalışmaları durumunda, analiz edilen sistemle (örn. ürün) ilgili tüm ilgili çevresel konuları kapsaması gerekmektedir. İlgili etkilerin başlangıçta hariç tutulması, durumunda açıkça belgelenmesi ve sonuçların yorumlanmasında dikkate alınması gerekmektedir. Bu da çalışmanın sonuçlarını ve tavsiyelerini potansiyel olarak sınırlamaktadır. Amaçlanan uygulamaya bağlı olarak, başlangıçta sınırlı bir çevresel etki kategorisi seçimiyle (örneğin Karbon ayak izi çalışmalarında "İklim değişikliği" veya Birincil enerji tüketimi odaklı yaşam döngüsü çalışmalarında "Enerji kaynaklarının tükenmesi") hedef tanımı sırasında önceden öngörülmelidir (ILCD El Kitabı, 2010).



Şekil 3.1. ILCD el kitabında tanımlanan YDD için çevresel etki kategorileri (ILCD El Kitabı, 2010)

3.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı, bir otomotiv endüstrisi kaplama tesisinde kaplanan sıkma somunu (Şekil 3.2) ürününün iki farklı senaryo ile çinko fosfat kaplama prosesi yaşam döngüsü çevresel etkilerini değerlendirmektir. Çalışma, kaplama endüstrisinde çevreye duyarlı yeni çözümler sağlayabilir. Buna ek olarak, çevreye büyük etkisi olan su tüketiminin, kaplama havuzu kullanım ömürlerini uzatarak azaltılmasında da kilit rol oynayabilir. İlave olarak bu çalışmada, dünya genelinde karar destek sistemi olarak kullanılan YDD' nin ülkemizdeki kaplama endüstrisinde tanıtılmasının temellerinin atılması hedeflenmiştir.



Şekil 3.2. Otomotiv dizel motor enjeksiyon sistemi sıkma somunu örnek görselleri (Anonim, 2022)

Bir otomotiv dizel motor enjeksiyon sisteminde yer alan Sıkma Somunu (Cap nut) örnekleri ve monte edildiği yer Şekil 3.2'de görülmektedir. Bu parçanın monte edildiği alandaki korozyon dayanımı önemlidir be sebeple çinko fosfat kaplama yapılmaktadır. Firmanın ürettiği sıkma somununa ait görseller veya teknik çizimler ticari sır niteliği taşıması sebebi ile bu çalışmada paylaşılamamıştır. Ancak firmanın müşteri portföyünde bulunmayan benzer farklı motor markalarına ait satış sonrası servis için üretilmiş sıkma somunu görselleri kaplanan parçaya örnek oluşturabilmesi için verilmiştir. Gerçekte üretimi yapılan sıkma somunu ürününe ait veriler 3.4. Fonksiyonel Birim bölümünde anlatılmıştır.

Analiz aşamasında kullanılan tüm girdi ve çıktı verileri, günde iki vardiya çalışan üretim tesisinden elde edilmiştir. Bursa/Türkiye'de bulunan kaplama tesisinde gerçekleştirilen çalışma 2021-2022 yılları arasındaki bir yıllık verilere göre yapılmıştır. Çinko fosfat kaplama, ana çevresel etki olarak kabul edilir. EcoInvent veri tabanı ile YDD gerçekleştirmek için SimaPro yazılımı kullanılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar yüzey işleme literatürü ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışma, çinko fosfat kaplama sürecinin çevresel etkilerini analiz etmek için bir kılavuz olarak kullanılabilir.

3.4. Fonksiyonel Birim

Çalışmanın kapsamı, bir fabrikada sıkma somunu ürünü çinko fosfatlama prosesi olarak tanımlanmıştır. Kaplama, DI su üretimi, blower prosesi ile hava temini ve kimyasal maddeler, atık su oluşumu, elektrik tüketimi ile ilgili bilgileri içerir. Filtre değişimlerinden atık filtreler, çinko fosfat kimyasallarının tankta çökmesi ile atık çamur oluşur. Atıklar, geçici atık alanında toplanmakta ve lisanslı tehlikeli atık yakma tesisine gönderilmektedir. Kaplama havuzunun deşarjı ile atık su oluşur. Fabrikada atık su arıtma sistemi bulunmamaktadır, atık sular direkt olarak organize sanayi bölgesi atık su arıtma tesisine gönderilmektedir. Çalışmanın sonuçlarının doğru bir şekilde analiz edilebilmesi için ilk aşamada üretim sisteminin işlevi net olarak belirlenmelidir. İşlevsel birim, süreç veya üretim sistemi ile doğrudan ilgili olduğu için değişken olabilir.

Tsoy, Prado, Wypkema, Quist, ve Mourad, (2019), çalışmalarında 30 yıllık cam ömrü boyunca 1 m^2 kaplamasız/kaplamalı sera camı altında yetiştirilen domateslerin yıllık verimini bir YDD çalışmasına aktarmışlardır. Kaplamanın ürün sistemini üçe ayırdıkları çalışmalarında ana süreçler: sera camı üretimi, camın seralar ve kullanılmış camın geri dönüşüm için hazırlanması ve bu süreçlere genel bir bakış sunmuşlardır.

Stone ve Tolle, (1998), makalelerinde kimyasal ajanlara dayanıklı kaplamaların YDD sini gerçekleştirdiklerini belirtmişlerdir. Kullanılan fonksiyonel birimin (FU), 1.000 ft^2 boyalı yüzey olduğunu, çünkü herhangi bir boya türü için önemli gereksinimim belirli bir alan üzerinde iyi bir yüzey elde etmek için gerekli olan malzeme miktarı olduğunun altını çizmişlerdir.
Literatürdeki benzer çalışmalarda kaplanmış yüzeyler hakkında yapılan araştırmaların sonucu olarak, bu çalışmada fonksiyonel birim (FU)1 m^2'lık Sıkma Somunu ürünü seçilmiştir. Kimyasal maddeler, proses suyu, atık filtreler, doğalgaz ve enerji tüketimine ait tüm girdi ve çıktı verileri bu çerçevede 1 m^2'lık Sıkma Somunu ürünü için hesaplanmıştır.

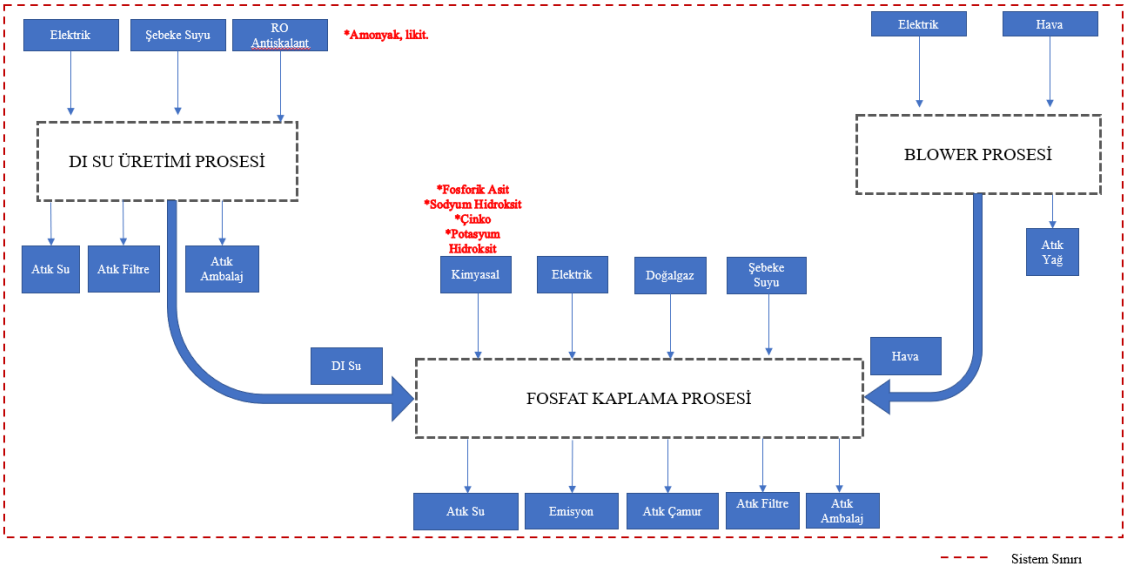
3.5. Sistem Sınırları

ILCD El Kitabı, (2010) sistem sınırlarını, yaşam döngüsünün hangi bölümlerinin ve hangi süreçlerin analiz edilen sisteme ait olduğunu, yani işlevsel birimi tarafından tanımlanan işlevini sağlamak için gerekli olduğunu tanımladığını belirtmektedir. Analiz edilen sistemi teknosferin geri kalanından ayırır ve sistem sınırları aynı zamanda analiz edilen sistem ile ekosfer arasındaki sınırı da tanımlar. Yani, temel akışların doğa ile değişiminin hangi sınır boyunca gerçekleştiğini tanımlamaktadır. Sistem sınırının kesin olarak tanımlanmasının önemi; tüm adı geçen veya sonuçlanan süreçlerin modellenen sisteme fiilen dahil edilmesini ve çevre üzerindeki tüm ilgili potansiyel etkilerin uygun şekilde kapsanmasını sağlamasıdır.

Sistem sınırı, girdileri ve çıktıları göstererek çalışmanın kapsamını gösterir. Sistem sınırları dahilinde oluşturulan çinko fosfat kaplama prosesi yaşam döngüsü değerlendirmesi iş akım şeması Şekil 3.3'te sunulmuştur. Bu çalışmada bir fabrikada

çinko fosfat kaplama aşamasında çevresel etki değerlendirmesi yapılmıştır. Bu çalışmada çinko fosfat kaplama üretimi gerçekleştirilirken kapıdan kapıya yaklaşımı izlenmiştir. Girdiler, kaplanan ürün kalitesine göre tanımlanmıştır. 1m^2 sıkma somunu kaplama ürünü için kimyasal miktarları, DI su üretimi, şebeke suyu, elektrik sarfiyatı, hava tüketimi, atık oluşumu ve atık su miktarları hesaplanmıştır. 1.senaryo ile normal üretim aşamasındaki oluşum hesaplanmıştır. 2. senaryo ile askılardaki süzülme süreleri devreye alınarak hesaplamalar yapılmış ve iki senaryodaki farklılıklar değerlendirilmiştir.

DI Su Üretimi Prosesi: Çinko Fosfat Kaplamaya başlamadan önce, tanklar su ile doldurularak kimyasal maddeleri ilave edilmekte ve kimyasal üreticinin belirtmiş olduğu çalışma aralığına ulaşıp ulaşmadığı analiz edilerek kontrol edilmekte ve tanklar optimize edilmektedir. Kimyasal kurulumu olarak adlandırılan bu aşamada DI (Deionize Su) kullanılmaktadır. Şebeke suyundan beslenen DI Su elektrik girdisi ve bir takım filtrasyon işlemleri gerçekleştirerek suyun aktivasyon, fosfatlama, yağlama ve DI durulama tankları için uygun değerlere getirilmesini sağlamaktadır.



Şekil 3.3 Sıkma somunu çinko fosfat kaplama prosesi YDD iş akım şeması

Hava Üfleyici (Blower) Prosesi: Çinko Fosfat Kaplamanın gerçekleşebilmesi için tankların içerisine hava basılarak çözeltilerin sürekli karışması gerekmektedir. Havalı karıştırmanın gerekli olduğu tanklar aktivasyon tankı, DI durulama, sert su durulama ve yağlama/pasivasyon tanklarıdır. Özellikle aktivasyon banyosunun hava ile sürekli karıştırılması kaplamanın yüzey kalitesi için önem arz etmektedir. Karışımın durması durumunda aktivasyon kimyasalı tankın içerisinde çökerek etkinliğini kaybedebilir. Kaplama prosesi tesisinin sadece tankların hava gereksinimini karşılayan bir blower prosesi mevcuttur. Hava ve elektrik girdisi ile sürekli hava üretimi gerçekleştirilen bu prosesin, çıktısı yılda bir defa gerçekleştirilen bakım sırasında oluşan yağlama yağlarıdır. İlgili yağ lisanslı bertaraf firmasına gönderilmektedir.

Fosfat Kaplama Prosesi: Çinko fosfat kaplama prosesi hazırlanan kimyasal maddeler ile tanklar doldurulduktan, blower ile havalı karıştırma devreye alındıktan ve kimyasal analizler tamamlandıktan ve optimizasyon sağlanması ile başlayabilmektedir. Tankların işleme başlaması ile kaplama aşamasına geçilebilir. Bu aşamada, askıya asılan parçalar yer alan 8 tanka sırası ile daldırılmaktadır. Reçete olarak adlandırılan işlem adımları kaplama makinasının PLC ekranından online bağlantı ile seçilerek robotun askıyı yüklemesi ve tanklara daldırmaya başlaması ile sürece start verilir. Askı sırası ile yağ alma, sert su durulama, asit (pickling), sert su durulama, aktivasyon, fosfatlama, DI durulama ve yağlama/pasivasyon tanklarında reçetesinde belirlenen sürelerde bekletilerek kaplama gerçekleştirilmiş olur.

Çizelge 3.1, SimaPro veri tabanından seçilen sistem sınırlarında yer alan tüm girdileri ve çıktıları göstermektedir. Kimyasallar, malzemeler ve enerji türleri, SimaPro yazılımı EcoInvent veri tabanından en uygun öğeler seçilerek veri girişleri yapılmıştır.

Çizelge 3.1. Sıkma somunu çinko fosfat kaplama prosesi SimaPro 8.5.0.0 ve EcoInvent veri tabanından seçilen öğeler çizelgesi

Girdiler/Çıktılar	**SimaPro 8.5.0.0 ve EcoInvent Veri Tabanı Öğeler**
Hava	Air
Elektrik (Yüksek voltaj {TR}| üretim karışımı)	Electricity, high voltage {TR}| production mix | APOS, S
Atık Yağ (Nihai bertaraf için inert atık)	Inert waste, for final disposal {GLO} | market for | APOS, S
Şebeke Suyu (Su, proses, içme suyu)	Water, process, drinking
Antiskalant (Amonyum hidroksit)	Ammonia, liquid {RoW}|ammonia production, partial oxidation, liquid | APOS, S
Doğalgaz (Isınma, merkezi veya küçük ölçekli, doğal gaz pazarı)	Heat, central or small-scale, natural gas {RoW}| market for heat, central or small-scale, natural gas | APOS, S
Potasyum Hidroksit	Potassium hydroxide {GLO}| market for | APOS, S
Sodyum Hidroksit (%50 sulu çözelti, end. pazar)	Sodium hydroxide, without water, in 50% solution state {GLO}| market for | APOS, S
Çinko	Zinc
Fosforik Asit (%85 sulu çözelti, end.pazar)	Phosphoric acid, industrial grade, without water, in 85% solution state {GLO}| market for | APOS, S
Atık Su (Ortalama atık su pazarı)	Wastewater, average {GLO}| market for | APOS, S
Atık Filtre (Nihai bertaraf için plastik atık)	Waste plastic, consumer electronics {RoW}| market for waste plastic, consumer electronics | APOS, S
Atık Ambalaj (Karışık plastiklerin geri dönüştürülmesi)	Mixed plastics (waste treatment) {GLO}| recycling of mixed plastics | APOS, S
Atık Çamur (Nihai bertaraf için inert atık)	Inert waste, for final disposal {GLO}| market for | APOS, S
CO	Carbon monoxide
NO	Nitrogen oxides
NO_2	Nitrogen dioxide
SO_2	Sulphur dioxide
Toz (Askıda tanımsız katılar)	Suspended solids, unspecified
VOC (Uçucu organik bileşikler)	VOC, volatile organic compounds

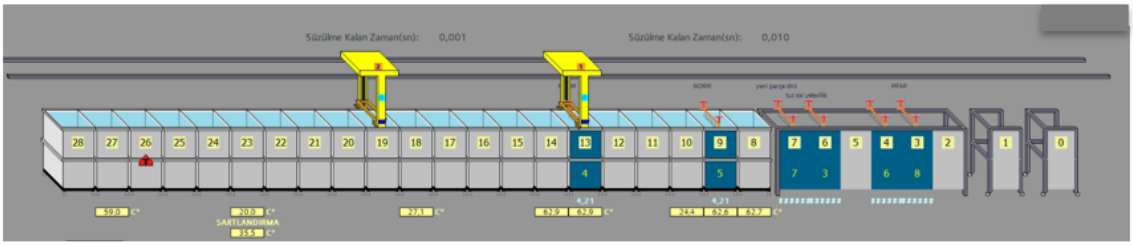
3.6. Kapsam Dışı Tutulan Veriler

Bu çalışmada, işçilik sistem sınırlarına dahil edilmemiştir. İşçiliğin kapsam dışı olarak nitelendirilmesinin temel sebebi verilerin elde edildiği kaplama tesisinin tamamen otomatik bir çalışma temelinde kurulu olmasıdır. Tesiste küçük parçalar tamburlu sistemle kaplanmaktadır. Bunun için parçalar load cell tartımlı bir bölümde tartılarak istenen miktarda bir tambura boşaltılır. Büyük boyutlu kaplanacak parçalar askılı sistemlerde el ile askı kancalarına asılır. Bu kısımdan sonra kaplama üretimi aşaması başlamakta olup, sonrasında herhangi bir işçilik bulunmamaktadır. Yüklemeden sonra tambur veya askı sıralı dizilmiş banyolara daldırılarak sıcak yağ alma, yıkama, durulama, aktivasyon, kaplama, kurutma gibi işlemlerden otomatik olarak geçirilir.

Tamburun çalışması sırasında, parçaların sağlıklı yıkanabilmesi, kaplanabilmesi ve kurutulabilmesi için dönme ve askılı çalışmada ise dikey veya yatay mekanik hareketlerin yaptırılması gereklidir. Tesisin kapasitesi 5 askı/saat, toplam istasyon sayısı 28 ve toplam tank sayısı 18 olup, toplam tank hacmi $8m^3$' tür. Tesis monte edilecek fabrika alanına göre I şeklinde, yükleme ve boşaltma aynı taraftan yapılacak biçimde tasarlanmıştır. Bu işlemlerin ardışık işlemler ile standart süre, ısı, adım ve hızlarda yapılması elektriksel ve donanımsal alt yapı ile mümkün kılınmıştır.

Kaplama tesisi aynı kalitede, işgücü, enerji ve zaman kaybı olmadan seri kaplama yapabilmek için otomasyon sistemine sahiptir. Bunun için kimyasal işlem adımları belirlenmiş olan kaplama prosesinin verimli ve kaliteli işleyebilmesi için banyolarının ve taşıyıcı robot mekanizmalarının tasarımı ve üretimi yapılmıştır. Üretilen her banyonun ihtiyacına göre rezistans, seviye, pH, iletkenlik sensör, dozlama, sirkülasyon pompası, filtre, redresör, vb. saha kontrol ürünlerinin montajı yapılmıştır. Mekanik montajları biten elektrik-elektronik ürünlerinin istenilen şekilde çalışması için yapılan donanım ve yazılım bileşenine kaplama tesisi otomasyonu denilmektedir. Bu sayede kaplama tesisi otomasyon yazılımları ile ciddi standartlara ve özelliklere sahiptir. Bu çalışmada verilerin alındığı kaplama tesisindeki otomasyon ekranından bir görsel Şekil 3.4'te sunulmuştur. Şekilde görülen sarı renkli mekanizmalar robotları, gri ve mavi renkle renklendirilmiş kısımlar tank ve istasyonları gösterir. Askı ve tamburlar kırmızı renk ile tank veya

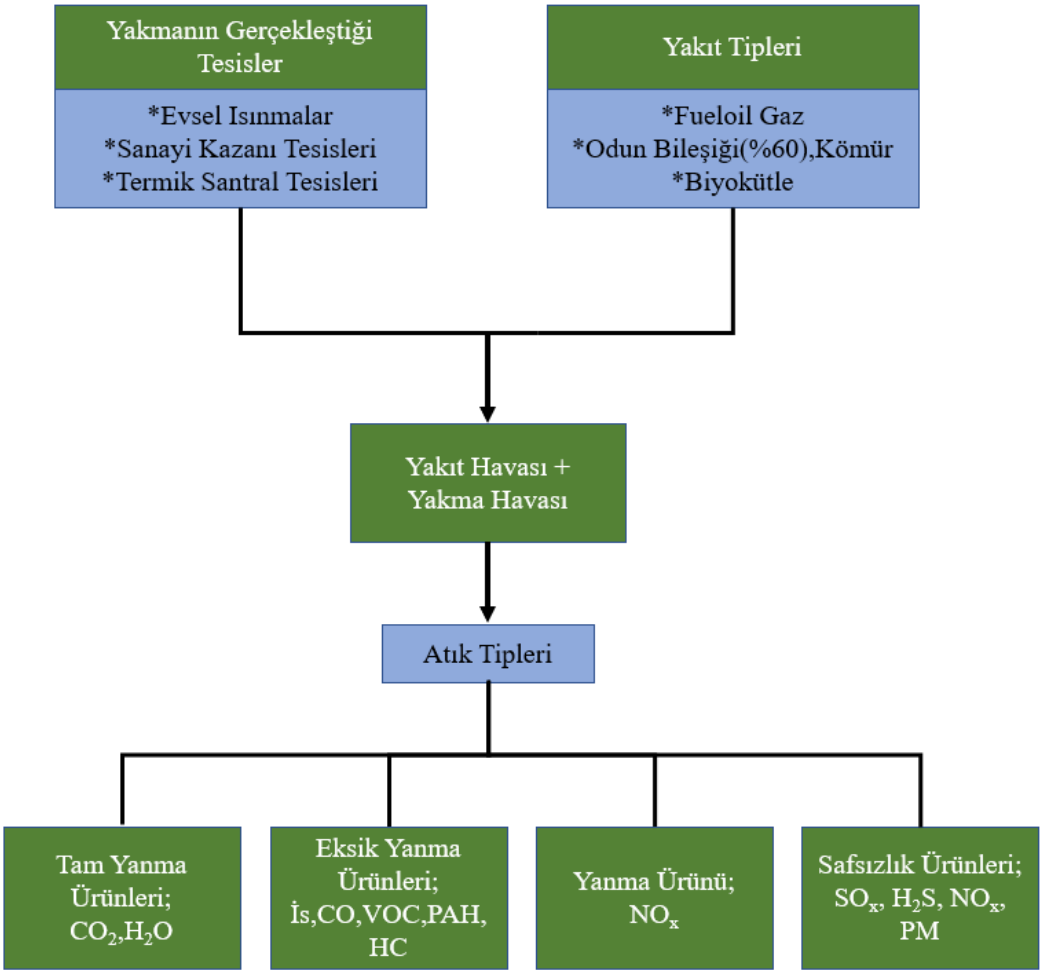
istasyonlarda görülür. Uzaktan bağlantı ve kontrol imkânı da bulunan tesisin, tank sıcaklık, seviye ve pH değerleri istenen değerde olmadığında tesis durur ve hata raporunda gerekçeler uyarı olarak görülür.



Şekil 3.4. Kaplama tesisi otomasyon ekranı görseli

Ghali, Ghaddar ve Salam, (2005) çalışmalarında çevresel sorunlar meydana geldiklerinde yalnızca oksijeni soluyarak yaşamını sürdüren insan ve canlıları değil, fotosentez ile yaşamını sürdüren ve besin kaynağı olarak tükettiğimiz bitkiler ve ağaçları ve de çok geniş alandaki tarım arsalarını da olumsuz olarak etkilediğini belirtmişlerdir. Tarım alanlarında yetiştirilen ürünlerin üzerinde, bacalardan çıkan partiküllerin, gazların ve diğer etmenlerin etkisi ile ciddi anlamda olumsuz tesirler meydana geldiğini. SO_2 ve NO_x gazları asit yağmurlarının meydana gelmesinde en önemli miktarda etkili olan havada bulunan en önemli gazlar olduğunu belirtmişlerdir. Kükürt ve Azot oksitler bacalardan salındıktan aritmetik ortalama olarak iki gün ile yedi gün içerisinde rüzgârın etkisi ile havaya karışabildiğini aktarmışlardır. Bu geçen zaman süresi, yedi gün içerisinde gazlar ve diğer asılı partiküllerin havadaki su partikülleri ve elementler ile tepkimeye girerek sülfürik asit ve nitrik asidi oluşturuyor olduğunu belirtmişlerdir.

Yanma ile oluşan kirliliğin bileşenlerine Şekil 3.5'te değinilmiştir. Şekil 3.5'te görülenden elde edilen sonuçlara göre atık tipleri yanma sonucu oluştuklarında tam yanma, oksidasyon, yanma olayı ve bu yanma olayının sonucundaki saf olmayan partiküllerin emisyonlarından meydana gelmektedir. Hava kirliliği ile alakalı durum değerlendirildiğinde ise eksik yanma ürünlerinin temel kısımlarının dikkate alınması gerektiği görülmektedir.



Şekil 3.5. Yanma kirliliği bileşenleri (Ghali ve ark., 2005)

Tesiste doğalgaz ile çalışan bir adet sanayi kazanı, sadece kaplamanın gerçekleştirileceği proses suyunu ısıtmaktadır. Bu çalışmada ilgili bacadan Kazan Bacası olarak bahsedilecektir. Kazan bacasında yakıt olarak doğalgaz tüketilmektedir. Emisyon ve doğalgaz olarak verilerde bu kazana ait sonuçlar yer almakta olup ölçümlere ait sonuçlar Çizelge 3.2'de görülmektedir. İşçilik çalışmalarda yer almadığı için ortam ısıtma için kullanılan kombi (evsel ısınmalar) çalışmalara dahil edilmemiştir. Kombi emisyon sonuç değerleri anlatılan gerekçe nedeni ile bu çalışma kapsamında sistem dışında bırakılmıştır. Bacalarda oluşan emisyon değerleri yetkili laboratuvarlar tarafından ölçülür. Bu ölçümdeki ilgili parametrelere ait sonuçları Çizelge 3.2'de tesiste gerçekleştirilen emisyon ölçüm sonuçları çizelgesi ile sunulmuştur.

Çizelge 3.2. Tesiste gerçekleştirilen emisyon ölçüm sonuçları

Kaynak Adı	PARAMETRE (kg/h)					
	CO	NO	NO_2	SO_2	Toz	VOC
Kazan Bacası	<0,0003*	0,0018	0,0027	<0,0007*	0,0002	-
Kaplama Tankları Bacası	-	-	-	-	0,0068	<0,0089*
* Konsantrasyon değerleri cihazın algılamış olduğu dedeksiyon limitinin (1ppm) altında olduğu için ölçüm değerleri 1ppm'e karşılık gelen değer olarak yazılmıştır.						

Tesiste gerçekleştirilen, havalandırma bacası ve sanayi kazan bacası emisyon ölçümlerinde, elde edilen hava emisyonu kaynaklı kirlilikleri parametreleri birim ürün başına hesaplanarak SimaPro yazılımına veriler girilmiştir.

Tesiste herhangi bir kompresör kurulu değildir. Otomatik seviye ayarlarını gerçekleştiren pompaların ihtiyaç duyduğu hava kaplama tesisine komşu aynı şirketler grubuna ait metal işleme yapan ve ana bina olarak adlandırılan farklı bir üretim tesisinden borular ile aktarılmakta olup, bu çalışmada ilgili gerekçeler sebebi ile kompresör kapsam dışında bırakılmıştır.

Tesiste günlük iki vardiya çalışılmakta olup, gece vardiyasında kaplama yapılmadığı için ısıtma sistemleri, blower ve diğer ekipmanlarla beraber tesis kapatılmaktadır. Bu gerekçeler ile tesisin gece vardiyasında üretim olmadığından girdi ve tüketim yoktur.

3.6. Envanter Analizi

3.6.1. Veri Toplama

Günde, iki vardiya çalışan prosese ait veriler için yıllık ortalama tüketimler alınmış ve/veya saatlik ölçümler gerçekleştirilmiştir. Tüm veriler için kabuller yapılırken toplam kaplanan parçanın yüzey alanı, bir vardiyadaki kaplanan $1m^2$ Sıkma Somunu ($1m^2$ alan fonksiyonel birim) üzerinden hesaplanarak ürün bazından yaşam döngüsü değerlendirmesi yapılmıştır. Birimler SimaPro 8.5.0.0 yazılımına bir vardiyadaki işlenen bir m^2 ürün alan başına düşen kaplama verileri elde edilerek girilmiştir. Sonuçta iki farklı senaryo için 1 m^2 birim alan başına çevresel etkiler değerlendirilmiştir.

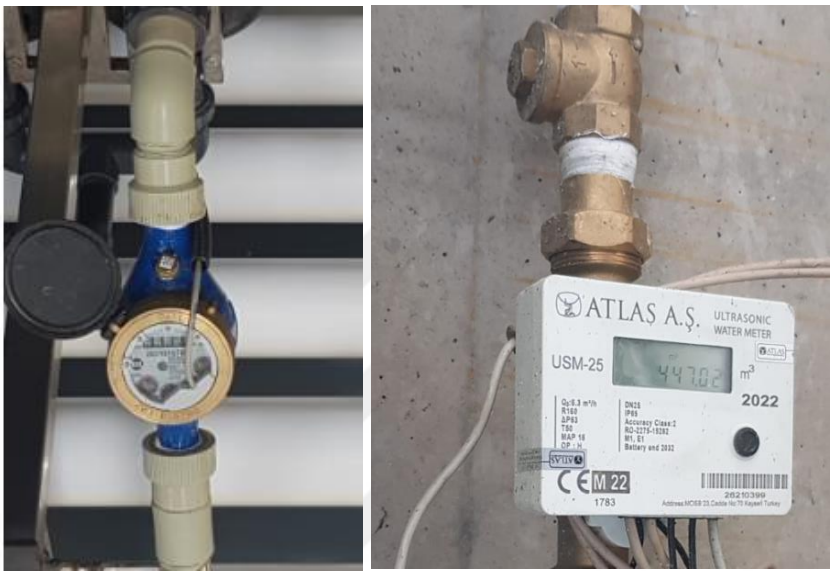
3.6.1.1. Veri Toplama için Kullanılan Donanım ve Ekipmanlar

Atık su sarfiyatı verilerinin elde edilmesi için tankların içerisindeki su miktarı verileri ölçülmüştür. Tankların boşaltımı sırasında yapılan ölçümler için Siemens SITRANS F M MAG 6000 debi ölçerleri kullanılmıştır. Kullanılan debi ölçere ait görsel Şekil 3.6'da verilmiştir. Atık su oluşumuna ait veriler m^3 birimi cinsinde ölçülmüştür.



Şekil 3.6. Debimetre

Şebeke suyu sarfiyatı verilerinin elde edilmesi için tesiste yer alan su sayaçları kullanılmıştır. İki adet su sayacı yer almaktadır. Birisi ana şebeke suyu girişindeki sayaç olup diğeri DI ünitede bağlı bulunan su sayacıdır. Bu su sayaçların görselleri Şekil 3.7'de verilmiştir. DI su ünitesinde bağlı bulunan sayaç DS TRP MID, şebeke suyu sayaç markası Atlas A.Ş. USM-25 markadır. Su tüketimine ait veriler m^3 birimi cinsinden ölçülmüştür.



Şekil 3.7. Su sayaçları

Elektrik tüketimleri ölçümü için saatlik veriler ampermetre ile ölçülerek, tüketimler hesap edilmiştir. Bu çalışmada yapılan tüm elektrik tüketimi ölçümlerinde kullanılan ampermetre görseli Şekil 3.8'de verilmiştir.

Amper, elektrik akımının bir ölçüm birimi olup "A" olarak gösterilir. Kilowat, elektrik enerjisi için bir ölçü birimidir. Watt, küçük elektrik enerjisini kilowatt, yüksek elektrik enerjisi için ölçmek için kullanılır. Bir kilowat, bir watt'ın 1000 katı güce sahiptir. Tüm modern ekipman ve aletler kilowat cinsinden kalibre edilmiştir. Amper'i kilowat'a dönüştürmek için P gücü, amper cinsinden I akımının volt cinsinden V voltajının 1000'e bölünmesi ile bulunur ("Amps to Kilowatts Converter", 2022).



Şekil 3.8. Ampermetre

$$P\ (kW) = V \times I / 1000 \qquad (3.1)$$

Formülde;

P: Güç kW

V: Gerilim (Volt)

I: Akım (Amper) cinsindendir.

Tüm elektriksel tüketimler için saatlik olarak kW birimine dönüşüm sağlanmıştır.



Şekil 3.9. Terazi

Tüm kimyasal madde tüketimleri, atık çamur, atık yağ ve atık filtre miktarları ağırlık birimi ile ölçülmüş ve kilogram olarak girdiler yapılmıştır. Ölçümler için tesiste bulunan Şekil 3.9'da görseli verilen terazi kullanılmıştır.

Tesisteki tankların karıştırılması amacı ile hava basılması için kullanılan blower prosesi ünitesidir. Bu kısımdaki pompa gücüne göre hava kapasitesi tasarlı öngörü verilerden aynen alınmıştır.

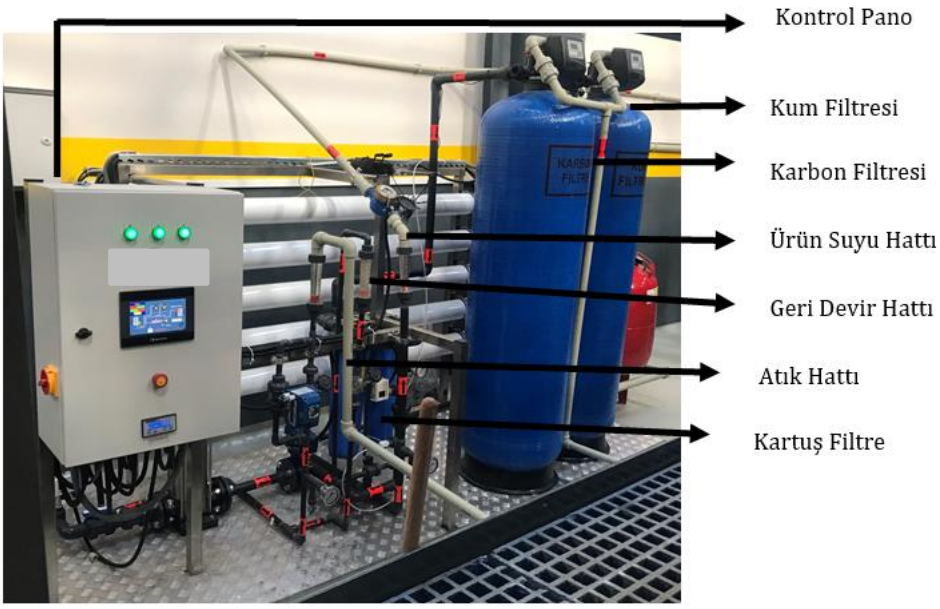
Doğalgaz tüketimi için kaplama tesisinin içinde kurulu bulunduğu organize sanayi bölgesi faturaları baz alınmıştır. Kaplama tesisi kazanı ile ısınma amaçlı kullanılan kombinin ayrılmış olması sebebi ile sadece tank ısıtmasında kullanılan kazana ait harcama verileri elde edilmiştir.

Kaplama tesisi kaynaklı emisyon verileri için yetkili laboratuvarlar tarafından ölçülen ve raporlanana emisyon verileri kullanılmıştır. Birimi kilogram olarak raporda yer alan veriler aynen alınmıştır.

3.6.2. DI Su Üretimi Prosesi

Sıkma somunu çinko fosfat kaplama prosesine girdi oluşturan ana proseslerden birisi DI su ünitesi olup, her iki senaryo için bu kısımda kullanılan malzemeler, şebeke suyu tüketimi ve atık miktarları ve ayrıca ölçülen enerji tüketimi verileri Çizelge 3.3'te gösterilmiştir.

DI su ünitesinde sistem tasarımı gereğince ters yıkama işlemi ve anlık atık su oluşumu mevcuttur. Bu tesisin anlık üretim debisi 2000L/sa için 800L/sa anlık atık su oluşumu bulunmaktadır. Ters yıkama işlemi günlük olarak otomatik olarak gerçekleşmektedir. On beş dakika süren bu işlem sırasında 1000L/gün kum filtre ve 1000L/gün karbon filtre ters yıkama atık suları kayda alınmıştır. Tesiste yer alan DI su üretimi ünitesine ait görsel Şekil 3.10'da verilmiştir. Belirli frekanslar ile değişimleri yapılan filtreler görselde yer almaktadır. Buna ilave olarak geri devir ve atık su hattı, ürün suyu olarak isimlendirilen DI su hattı görselde işaretlenmiştir.



Şekil 3.10. DI su üretimi ünitesi

Çizelge 3.3. 1m^2 sıkma somunu çinko fosfat kaplaması için DI su üretimi prosesi girdi ve çıktı miktar bilgileri

		Birim	Miktar
Senaryo 1	**Girdiler**		
	Şebeke Suyu	m^3	0,02158362100
	Elektrik	kWh	0,11264559400
	Antiskalant	kg	0,00000435665
	Çıktılar		
	Atık Su	m^3	0,01245277500
	Atık Filtre	kg	0,00012198600
	Atık Ambalaj	kg	0,00003485320
Senaryo 2	**Girdiler**		
	Şebeke Suyu	m^3	0,01123430700
	Elektrik	kWh	0,11264559400
	Antiskalant	kg	0,00000217833
	Çıktılar		
	Atık Su	m^3	0,00949582800
	Atık Filtre	kg	0,00012198600
	Atık Ambalaj	kg	0,00001742660

Kalite kaygıları sebebi ile Deiyonize Su tesiste üretilmektedir. Şebeke suyu olarak giriş suyu için sistem sınırları ve tasarım parametrelerine göre SimaPro 8.5.0.0 veri tabanı içerisinde DI Su Üretimi Prosesi oluşturulmuştur. Su hazırlama sistemi ön arıtma ve ters ozmos ünitelerinden oluşmaktadır. Sistem, tüm sistemler için elektrik tüketim verileri, gerekli su miktarı verileri ile SimaPro veri tabanına girişleri yapılmıştır. Her iki senaryo için de durulamada deiyonize su kullanılmaktadır. Su kalite kriterleri sebebiyle şebeke suyu doğrudan kaplama durulamada kullanılamaz. Kaplama tesisinde gerekli niteliklere sahip deiyonize suyun temini için şebeke suyunu dönüştüren su hazırlama sistemi bulunmaktadır. Proseste deiyonize su şebeke suyu dönüştürme işlemi tamamlandıktan sonra elde edilir ve buna DI Su denir. Su hazırlama sistemi, ön arıtma ve ters ozmos ünitelerini içerir. Şebeke suyuna Antiskalant adı verilen bir kimyasal ürün dozajlanır. Kimyasal maddeye ait girdiler için güvenlik bilgi formlarında yer alan kimyasal içerik miktar bilgisi ve tanımları dikkate alınmıştır. Kullanım miktarına göre içerik bilgisinden oranlanarak ana kimyasalın etkisi değerlendirmeye alınmıştır. Dozajlamada kullanılan bu kimyasal maddeye ait miktarlar ve oluşan atık plastik ambalajlar sisteme dahil edilmiştir. Kimyasala bulaşmış plastik ambalajlar temizlenerek yeniden kullanılmak üzere lisanslı geri dönüşüm firmalarına gönderilir. Ön arıtma ünitesinde multimedya filtreler ve aktif karbon filtre kullanılmaktadır. Bu filtrelerin belirli periyotlar ile bakım işlemleri ve değişimleri yapılmaktadır. Kartuş filtreler 4/yıl ve diğer filtrelerin 1/yıl yapılan değişimden çıkan atık filtreler bertaraf edilir. Bertaraf için lisanslı atık toplama firmalarına gönderimi sağlanır. Oluşan atıklar ölçülerek ağırlık birimince kayda alınır.

3.7.3. Hava Üfleyici (Blower) Prosesi

Kaplama prosesinde parçaların üzerinde homojen dağılımlı bir kaplama eldesinin sağlanması tankların içerisinde bulunan sıvı maddelerin doğru bir teknik ile karıştırılması ile sağlanabilir. Bu sebeple tesisin sadece tank karıştırılmasında hava temini için kullanılan bir adet Blower pompası bulunmaktadır. Blower pompasının çalışma prensibi elektrik enerjisini kullanarak ortamdan aldığı hava ile basınçlı hava oluşturmaktır. İletim için borular vasıtası ile pompadan elde edilen hava tankların içerisine iletilerek havalı karıştırma gerçekleştirilmiş olur. Şekil 3.11'de örnek blower pompası görülmektedir.

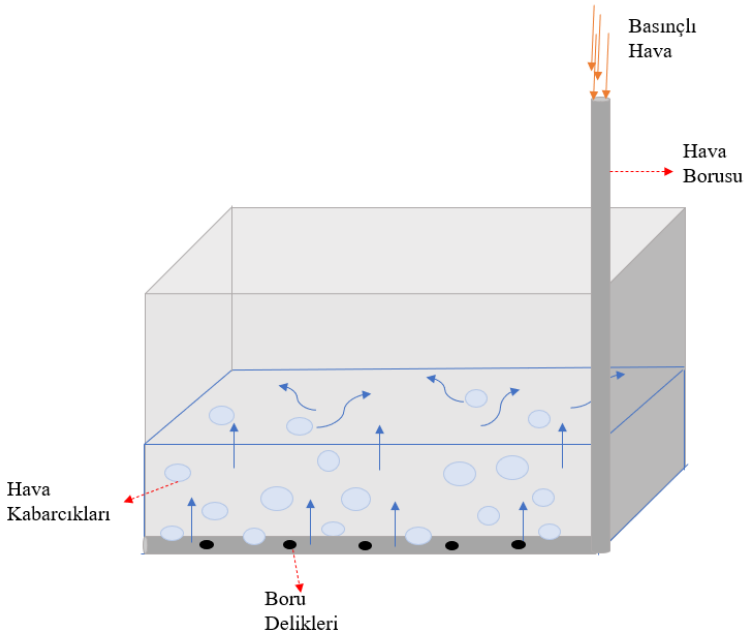


Şekil 3.11. Blower pompası

Blower çalışma prensibi basitçe, içerisinde yer alan fanın dönerek emiş kısmındaki havayı içerisine vakumlaması ve ortamdaki havayı hapsettikten sonra çıkış noktasına doğru havayı itmesidir. Havayı taşımak veya vakumlamak için kullanılmaktadırlar. Emiş ile alınan havanın basıncı çarkların dönüş hareketi ile bir dizi vorteks haraket sonucu çark hızı artmakta, hareket ederken çarkın içerisinde bulunan kanallar santrifüj hareketiyle havayı ileriye itmekte ve helisel bir hareket ortaya çıkmaktadır. Elektriksel gücün kullanıldığı bu hareket sonucunda gaz kanalları boyunca hava sürekli olarak sıkışır ve basıncı arttırır. Basınçlanan hava, akışkan blower çıkış kanalından itilir ve borular ve borudaki delikler yardımı ile tesisata aktarılır. Şekil 3.12 bir tank içerisinde hava yardımı ile gerçekleştirilen tank içi sıvı karıştırılmasını göstermektedir.

Çizelge 3.4. 1m^2 sıkma somunu çinko fosfat kaplaması için hava üfleyici (blower) prosesi girdi ve çıktı miktar bilgileri

		Birim	Miktar
Senaryo 1 ve Senaryo 2	**Girdiler**		
	Hava	kg	31,8611023500
	Elektrik	kWh	0,36609818200
	Çıktılar		
	Hava	kg	31,8611023500
	Atık Yağ	kg	0,00000968145



Şekil 3.12. Blower tesisatı ile tank içinde havalı karıştırma

Blower prosesinin en önemli girdisi elektrik enerjisidir. Ortam havasını kullanır. Yıllık veya 3 aylık periyodik bakımı sırasında motor yağları ile bakım sırasında bir kısım atık yağ oluşur. Karıştırma prosesi sürekli uygulanmakta olup bu çalışmada gerçekleştirilen iki farklı senaryo için blower prosesine ait girdilerde değişiklik oluşmamaktadır. Atık miktarı ve ölçülen enerji tüketimi ile kullanılan hava verileri Çizelge 3.4'te verilmiştir.

3.7.4. Fosfat Kaplama Prosesi

Hava ve deiyonize su üretimi işlemleri tamamlandıktan sonra kaplama aşamasına geçilmesi uygundur. Tanklar su ve gerekli kimyasal maddeler ile doldurulur. Blower ünitesinden gelen hava tankların karıştırılması için tesise aktarılır tüm vanalar açılır. Tesisin ısıtılmasında kullanılan kazan ile ısıtma işlemleri yapılır, kazan doğalgaz ile çalışmaktadır. Tesisteki robot mekanizmaları ve diğer ekipmanlar 380V sanayi elektriği ile çalışmaktadır. Tankların sıcaklıkları kaplama makinasında bulunan bir ekran üzerinden takip edilir. Tüm ısıtma işlemleri tamamlanması sonrasında tanklardan alınan numuneler ile kimyasal maddelerin uygun konsantrasyonda bulunup bulunmadığının kontrolleri yapılır. Kimyasal maddeler tanklara otomatik olarak dozajlanır. Kimyasal

maddeye ait girdiler için güvenlik bilgi formlarında yer alan kimyasal içerik miktar bilgisi ve tanımları dikkate alınmıştır. Kullanım miktarına göre içerik bilgisinden oranlanarak ana kimyasalın etkisi değerlendirmeye alınmıştır. Kontroller sırasında kullanılan ekipmanlar Şekil 3.13'te verilmiştir.



Şekil 3.13. Kimyasal oran tayini ekipmanları

Tesis laboratuvarında yer alan pH ve iletkenlik ölçer Hagh Lange markadır. Günlük doğrulamaları yapılarak kullanılmaktadır. Analizlerde kullanılan bir diğer ekipman dijital Titrette marka bürettir. Her iki ekipmanın da yıllık olarak yapılan kalibrasyonlar ile doğruluğu ikinci taraflar laboratuvarlar tarafından onaylıdır. Analizlerin sonuçlarının istenen seviyelerde çıkması ile kaplama işlemine başlanır. Malzemeler askılara yüklenir. Askılar kaplama makinasına verilen komut ile otomatik olarak sırası ile seçilen programda kayıtlı tanklara daldırılarak, ayarlı süre kadar bekletilir. Sıvı işlemlerin en sonuncusu olan yağlama/pasivasyon tank adımı sonrasında kurutma yapılır ve kaplama tamamlanmış olur. Malzemeler askılardan boşaltılarak ambalajlanır ve sevk edilir. Kimyasal maddeler ve su hazırlama sisteminde kullanılan kimyasal da plastik ambalajlardadır. Kullanımı sonucunda ambalaj atıklar oluşmaktadır. Kimyasala bulaşmış plastik ambalajlar temizlenerek yeniden kullanılmak üzere lisanslı geri dönüşüm firmalarına gönderilir. Çinko Fosfat kaplama sırasında dipte atık çamur oluşur, tankın

temizlenmesi belirli periyotlar ile yapıldığında biriken atık çamur, filtre pres işleminden geçirilerek atık sahasında depolanır. Atık çamur tehlikeli atıktır. Tesiste yağ alma tanklarında torba filtre ile tank içerisindeki sıvının sürekli olarak süzülerek katı partiküllerinden ve metal partiküllerinden arındırılması sağlanır. Bu filtreler 1/ay ile belirli zamanda değiştirilerek yenilenir. Filtreler tehlikeli atıktır. Tehlikeli atıklar tehlikeli atık yakma tesisine aktarılır ve orada işlenir. Atık su kaynağı tanklardan deşarj edilen kimyasal bulaşmış sulardır. Tesiste atık su arıtma sistemi bulunmamaktadır, atık sular direkt olarak sanayi bölgesi atık su arıtma tesisine gönderilmektedir. Atık su arıtma sisteminin çevresel etkileri sistem sınırına dahil değildir.

Bu çalışmada iki farklı senaryonun kıyaslanması ile elde edilen veriler SimaPro ile analiz edilerek çevresel etkileri değerlendirilmiştir. Birinci senaryo kaplama tankları arasında robotun askıları taşıması aşamasında bekleme yapmadan diğer tanka daldırılması ile elde edilen su kullanımı ve YDA yapılarak veriler elde edilmiştir. İkinci senaryo ile durulama tanklarının öncesinde yer alan tankların çıkışına süzülme süreleri eklenmiştir. Sıcak yağ alma tankı çıkışında yirmi saniye, asit (Pickling) tankının çıkışında beş saniye, çinko fosfat kaplama tankının sonuna beş saniye süzülme süresi eklenmiştir. Süzülme süreleri eklenmesi ile durulama tanklarındaki suların daha uzun süre kullanımı hedeflenmiştir. Atık su miktarı, atık miktarı, ölçülen enerji tüketimi ile kullanılan hava verileri, emisyon analiz değerleri Çizelge 3.5'te verilmiştir.

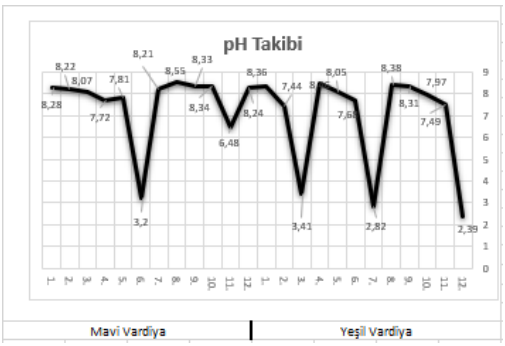
İki senaryo arasındaki temel fark durulama tanklarındaki suyun değiştirilmesi ile oluşan atık su miktarı farklılıkları ile DI su üretimi prosesindeki farklardır. Kullanılan temel kimyasal maddeler aynıdır. Süzülme sürelerinin sürece dahil edilmesine ek olarak tanktaki suyun pH değeri ölçülerek düşme eğilimi gösterdiği anlarda sodyum hidroksit kimyasal maddesi tanka manuel eklenmiştir. Bu alınan önlemin sebebi kaplama tamamlanana dek metali korumak ve metal yüzeyindeki pas oluşumu riskini önlemek böylece kalite hatalarının meydana gelmesinin önüne geçmektir. Tüketilen sodyum hidroksit miktarı Senaryo 2'de yer alan verilere eklenmiştir.

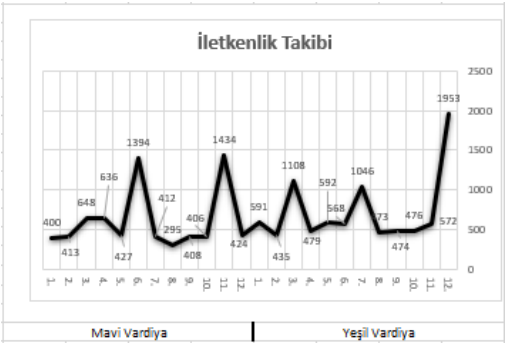
Durulama tanklarındaki suların iletkenlik ve pH değerlerinin vardiya boyunca takipleri yapılır. Bu takibin sebebi pH ve iletkenlik değerlerinin istenen seviyelerde olmasının

sağlanmasıdır. Bu çalışmada gerçekleştirilen farklı senaryolar ile ölçülen iletkenlik ve pH sonuçları örnek bir tank seçilerek takip edilerek grafiğe aktarılmıştır. Diğer iki durulama tanklarında da aynı kabul üzerinden değişimler yapılmıştır. Takibin yapıldığı durulama tankı fosforik asit kimyasalının içeriğinde yer aldığı asit banyosunun sonrasında bulunan sert su durulama tankıdır. Kaplanacak parçaların yüzeyi asit tankındaki işlem sonrasında fazla asidin uzaklaştırılması için sert su ile dolu olan durulama tankına otuz saniye işlem süresince daldırılır. Asit tankı çıkışında süzülme yapılmadığında parça üzerinde kalan tüm kimyasal asit sert su tankına aktarılarak, suyun parametrelerinin hızla değişmesine sebep olur. Bu da ilgili tanktaki suyun vardiyada iki defa değiştirilmesini gerektirir.

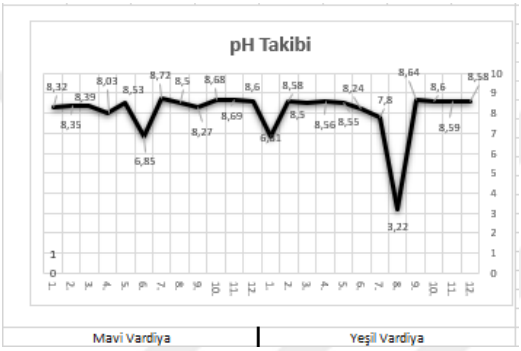
Süzülme süresi boyunca bekleyen parçalardaki kimyasal asit kendi tankına damlayarak, sonrasında durulama tankına daldırıldığında durulama tankında günde bir defa değişim yapılmıştır. Takip ile elde edilen pH ve iletkenlik değişimleri Şekil 3.14 ve Şekil 3.15'te grafikler ile verilmiştir. pH değerlerinin yedinin altına düştüğü ve iletkenlik değerinin 1000µS 'in üzerine çıktığı durumlar kalite riski içermekte olup, tankların boşaltılması ve yenilenerek temiz su ile doldurulmuştur. Bu çalışmada atık su ve kullanım suyu tüketiminin farklı senaryolar uygulanarak azaltılması hedeflenmiştir. Mavi ve Yeşil olarak isimlendirilen iki vardiyada takip yapılmıştır. Sekiz saate denk düşen bir vardiyada on iki kez ölçüm yapılmıştır. Ölçümler kaydedilmiştir, pH ve iletkenlik sonuçlarının istenmeyen mertebelere gelmesi durumunda suların değiştirilmesi sağlanmıştır. Elde edilen su sarfiyat miktarları kayıt altına alınmış ve çevresel etkileri değerlendirilmiştir.

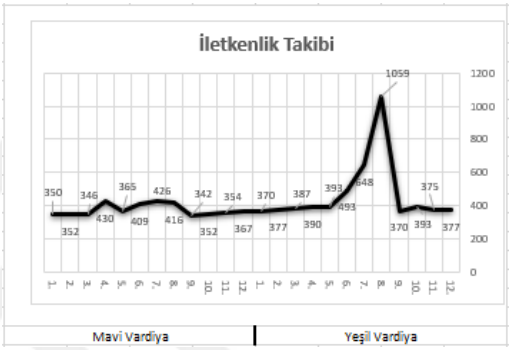
Senaryo 2 Şekil 3.15'te pH grafiği 7'nin altına düştüğünde tanka 30gr sodyum hidroksit (sıvı) eklenmiştir. İki kez yapılan bu kimyasal ilavesinde harcanan kimyasal madde ve atık kabı sistem sınırlarına dahil edilmiştir. pH değerinin yanında tankta ölçülen iletkenliğin 1000µS 'in üzerine çıktığı ilk anda tanktaki su boşaltılmıştır. Bu da 1/gün frekansına denk gelir. Boşaltılan sular atık su olarak, kullanılan sert su şebeke suyu olarak tüketilmekte olup sistem sınırlarına dahildir. Farklı durulama tanklarında kullanılan DI su için de girdiler ve çıktılar miktarları ile hesaplanmıştır. Sistem sınırlarına dahil edilmiştir.





Şekil 3.14. Senaryo 1 pH ve iletkenlik değişimi grafiği





Şekil 3.15. Senaryo 2 pH ve iletkenlik değişimi grafiği

Çizelge 3.5. 1m^2 sıkma somunu çinko fosfat kaplama prosesi girdi ve çıktı miktarları

		Birim	Miktar
Senaryo 1	**Girdiler**		
	Potasyum Hidroksit	kg	0,00001481260
	Sodyum Hidroksit	kg	0,00023525900
	Çinko	kg	0,00004705180
	Fosforik Asit	kg	0,00203891300
	Elektrik	kWh	4,52694482600
	Doğalgaz	kWh	8,09769752400
	Şebeke Suyu	kg	60,8913568000
	Hava (Blower)	kg	31,8611023500
	DI Su	m^3	0,00913084600
	Çıktılar		
	Atık Su	m^3	0,09677539220
	Atık Filtre	kg	0,00151030600
	Atık Ambalaj	kg	0,00015315300
	Atık Çamur	kg	0,00014522200
	CO	kg	0,00002112100
	NO	kg	0,00012672600
	NO_2	kg	0,00019008900
	SO_2	kg	0,00004928240
	Toz	kg	0,00049282400
	VOC	kg	0,00006336310
Senaryo 2	**Girdiler**		
	Potasyum Hidroksit	kg	0,00001481260
	Sodyum Hidroksit	kg	0,00111530300
	Çinko	kg	0,00004705180
	Fosforik Asit	kg	0,00203891300
	Elektrik	kWh	4,52694482600
	Doğalgaz	kWh	8,09769752400
	Şebeke Suyu	kg	10,2008393000
	Hava (Blower)	kg	31,8611023500
	DI Su	m^3	0,00173847800
	Çıktılar		
	Atık Su	m^3	0,03127867000
	Atık Filtre	kg	0,00151030600
	Atık Ambalaj	kg	0,00015315300
	Atık Çamur	kg	0,00014522200
	CO	kg	0,00002112100
	NO	kg	0,00012672600
	NO_2	kg	0,00019008900
	SO_2	kg	0,00004928240
	Toz	kg	0,00049282400
	VOC	kg	0,00006336310

Örnek olması açısından yapılan takip süzülme sürelerinin belirlenmesi ve tankların boşaltılma zamanları ile miktarların tayini açısından önemlidir. Bu temsili deneme çalışmada uygulanacak çalışmalar için su tüketiminin miktarını belirlenmesinde ve yol göstermesi açısından önemlidir.

Tesiste yer alan bacalardan oluşan emisyon kaynakları da sistem sınırlarına dahil edilmiştir. Baca emisyonları lisanslı ölçüm laboratuvarlarına yaptırılmıştır. Emisyon ve kirletici cinsleri belirlenerek kg birimi üzerinden SimaPro programına veri girişleri yapılarak analize katkı sağlanmıştır.

4. BULGULAR

Bu çalışma, $1m^2$'lik kaplanmış sıkma somunu ürünün fonksiyonel birimine göre kapsamlı araştırma için kaplama proses adımları hakkında gerekli bilgileri içermektedir. Bu çalışma, farklı iki senaryo ile yapılan çinko fosfat kaplamanın yaşam döngüsü değerlendirmesi için ayrıntılı süreç bilgilerini, kimyasal kullanımını, enerji ve malzeme tüketimi ile atık miktarlarını kapsar.

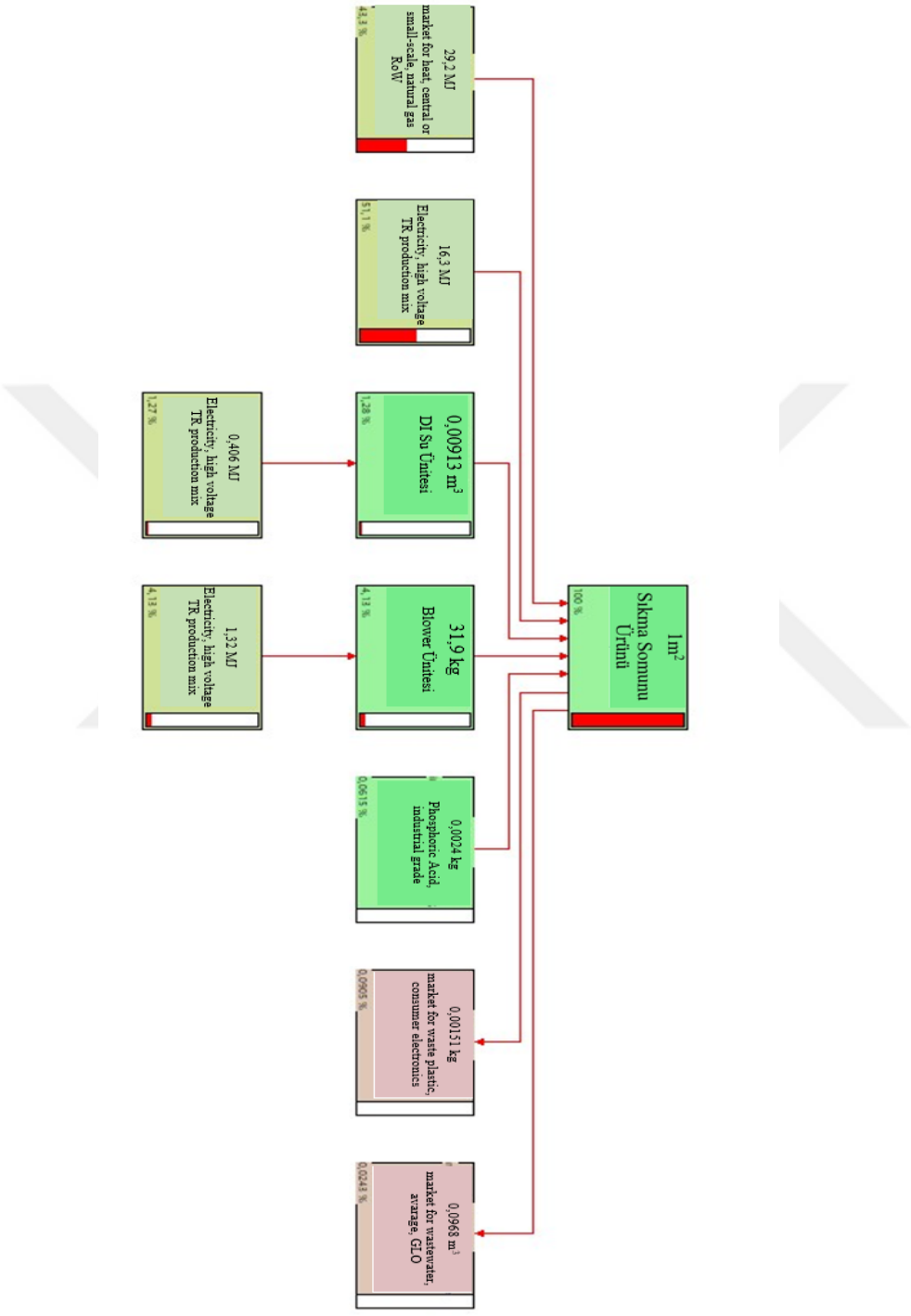
4.1. Çinko Fosfat Kaplama Prosesinin Çevresel Etkileri

Çevresel etkilere neden olan kimyasallar, malzemeler, elektrik, su girdileri ile atık su, emisyon, atık malzemeler bu çalışmada ele alınmıştır. Kaplama tesisindeki çinko fosfat kaplama prosesinin $1m^2$ sıkma somunu birim ürün başına yaşam döngüsü envanteri için veriler toplanarak çevresel etkiler üzerinde büyük etkisi olan ana nedenlerin tanımlanması ve mevcut nedenlere çevre dostu çözümler bulunmasının önü açılmıştır. SimaPro yazılımı ile yaşam döngüsü değerlendirilmesi iki farklı senaryo için gerçekleştirilmiştir. İki farklı senaryo ile su kullanım miktarı azaltılarak yapılan deney ve ölçüm sonuçları değerlendirilmiştir.

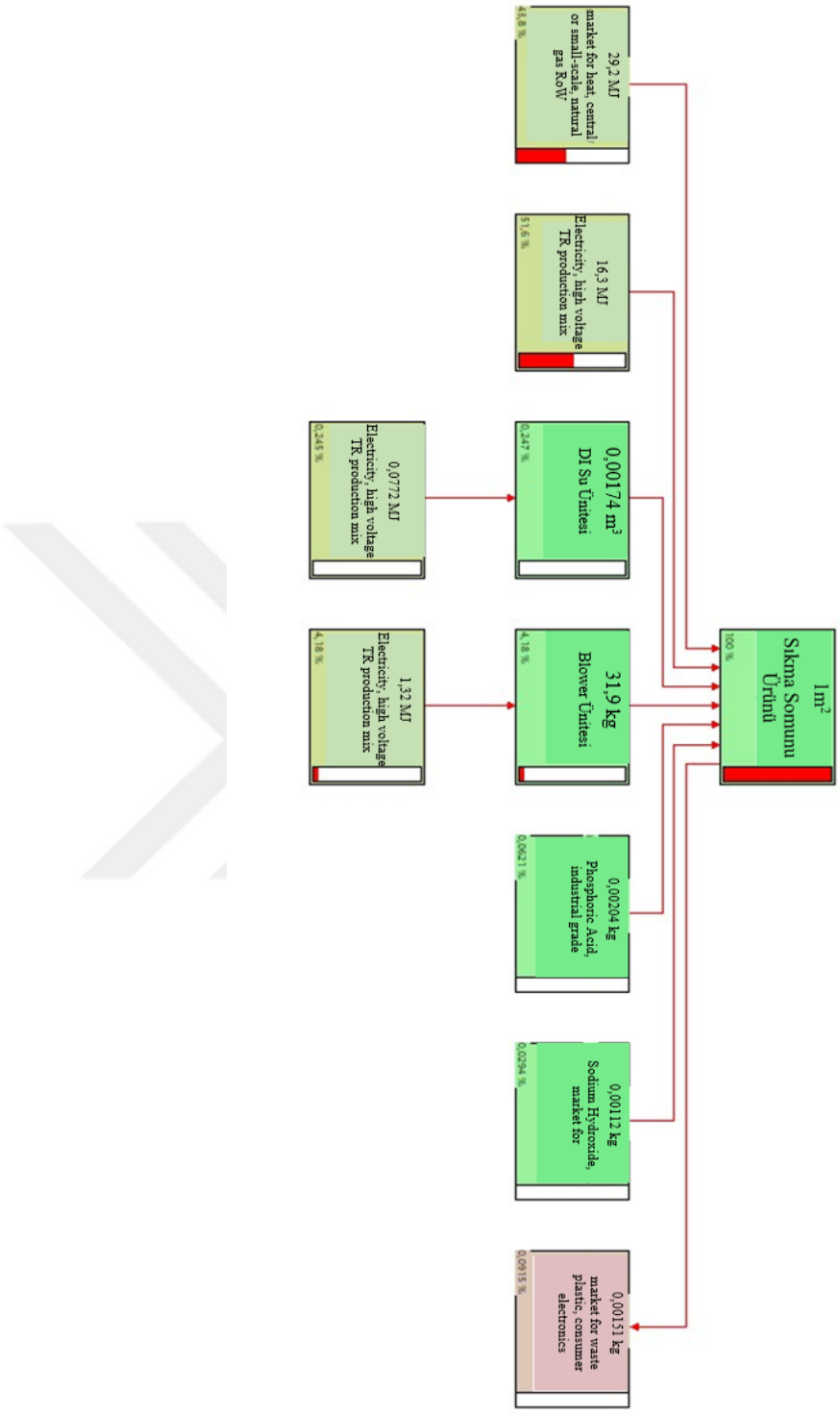
Sistemin çıktıları arasında yer alan CO, NO_x, NO_2, Toz, VOC ve SO_2 sonuçları için; bacalardan yapılan emisyon ölçümü neticelerinin birim ürün başına göre hesaplaması yapılarak hazırlanan veriler SimaPro yazılımına girilmiştir. SimaPro programında gerçekleştirilen analizin sonuçlarında grafiklerde ve akım şemalarında bu girdilerin çevresel etkilerinin düşük olması nedeni ile görülebilir değildir.

Bu çalışmada çinko fosfat kaplama prosesinin $1m^2$ sıkma somunu birim ürün başına yaşam döngüsü değerlendirmesi sonucunda elde edilen bulgularda en yüksek çevresel etkiye sebep olan ve sonuçları ile ön plana çıkan bulgular sunulmuştur. Bu bulgular Senaryo 1 için Şekil 4.1'de görülen elektrik, doğalgaz ve su tüketimleri, atık su oluşumu, fosforik asit ve ham madde tüketimi, atık filtreler ile hava üfleme (blower) ünitesinin çevresel etkileridir. Senaryo 2'de ise farklı olarak sodyum hidroksit tüketimi ön plana çıkmış ve atık su ise Şekil 4.2'de verildiği gibi görünür olmaktan uzaklaşmıştır.

4.1.1. Sıkma Somunu Ürünü “Tree” Akım Şeması



Şekil 4.1. 1m^2 sıkma somunu ürünü kaplaması Senaryo 1 “tree” akım şeması



Şekil 4.2. 1m^2 sıkma somunu ürünü kaplaması Senaryo 2 “tree” akım şeması

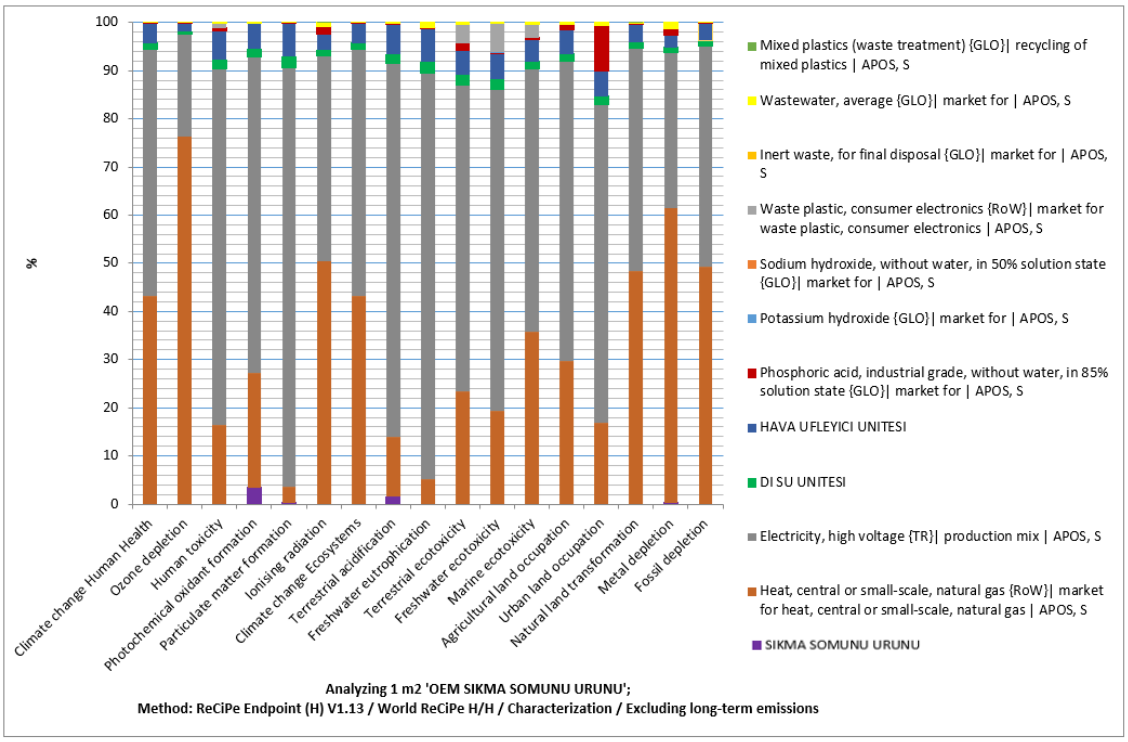
Şekil 4.1'de $1m^2$ Sıkma Somunu ürünü kaplaması Senaryo 1 ve Şekil 4.2'de $1m^2$ Sıkma Somunu ürünü kaplaması Senaryo 2; %100 çevresel etki değerindeki "($1m^2$) sıkma somunun kaplanmış ürününün yaşam döngüsü analizi" DI su ünitesi, hava üfleyici ünitesinin çevresel etki değerinin sıkma somunu ürününe yaşam döngüsü süreçlerinin birleştirilmesinden oluşmaktadır. Şekil 4.1'de Senaryo 1 ile yapılan çalışmada %1,28 DI su ünitesi ve %4,18 hava üfleyici(blower) ünitesi çevresel etki değeri görülmektedir. Şekil 4.2'de Senaryo 2 ile yapılan çalışmada %0,247 DI su ünitesi ve %4.18 hava üfleyici (blower) ünitesi çevresel etki değeri görülmektedir. Yaşam döngüsü oluşturularak "tree" akım şemasında görülen aşamalar seçilerek grup analizleri yapılmıştır, grafiklerin analiz sonuçları ve detaylı açıklamaları "4.1.2. Sıkma Somunu Kaplama Ürünü Yaşam Döngüsü Analizi" bölümünde belirtilmiştir.

Bu çalışmada karşılaştırma için iki farklı senaryo ile kaplama üretimi gerçekleştirilmiştir. Birinci Senaryoda çinko fosfat kaplama prosesi standart olarak gerçekleştirilmiş ve senaryo 1 ile elde edilen veriler SimaPro yazılımına yüklenmesi sonucu elde edilen "tree" analiz şeması Şekil 4.1'de sunulmuştur. İkinci senaryoda kimyasal tankları arasındaki sıvı taşınmasına engel olacak olan süzülme süreleri ilavesi yapılarak gerçekleştirilen sonuç Şekil 4.2'de sunulmuştur. Bu çalışmada iki farklı senaryo ile elde edilen veriler SimaPro ile analiz edilerek çevresel etkileri değerlendirilmiştir. Birinci senaryo kaplama tankları arasında robotun askıları taşıması aşamasında bekleme yapmadan diğer tanka daldırılması ile elde edilen su kullanımı ve yaşam döngüsü analizi yapılarak veriler elde edilmiştir. İkinci senaryo ile durulama tanklarının öncesinde yer alan tankların çıkışına süzülme süreleri eklenmiştir. Sıcak yağ alma tankı çıkışında yirmi saniye, asit (Pickling) tankının çıkışında beş saniye, çinko fosfat kaplama tankının sonuna beş saniye süzülme süresi eklenmiştir. Süzülme süreleri eklenmesi ile durulama tanklarındaki suların daha uzun süre kullanımı hedeflenmiştir. İki senaryo arasındaki temel fark durulama tanklarındaki suyun değiştirilmesi ile oluşan atık su miktarı farklılıkları ile DI su üretimi prosesindeki farklardır. Şekil 4.1'de Senaryo 1'de atık su çıktılarda %0,0243 değerinde çevresel etkiye sahiptir. Şekil 4.2'de bu değer 10^{-5} sonucunun altına gerilediği için çevresel etki alt sıralara gerilemiştir ve görünür değildir. DI su üretimi prosesinin elektrik tüketimi açısından katkısı Senaryo 1'de %1,27 iken Senaryo 2'de %0,245 olarak görülmektedir. Kullanılan temel kimyasal maddeler aynıdır. Senaryo 2'de süzülme

sürelerinin sürece dahil edilmesine ek olarak tanktaki suyun pH değeri ölçülerek düşme eğilimi gösterdiği anlarda sodyum hidroksit kimyasal maddesi tanka manuel eklenmiştir. Bu alınan önlemin sebebi kaplama tamamlanana dek metali korumak ve metal yüzeyindeki pas oluşumu riskini önlemek böylece kalite hatalarının meydana gelmesinin önüne geçmektir. Kullanılan sodyum hidroksit miktarı Senaryo 2'de yer alan verilere ilave edilmiştir. Senaryo 2'de sodyum hidroksit için %0,0294'lük bir çevresel etki görünürdür.

4.1.2. Sıkma Somunu Ürünü Kaplama Prosesi Yaşam Döngüsü Analizi

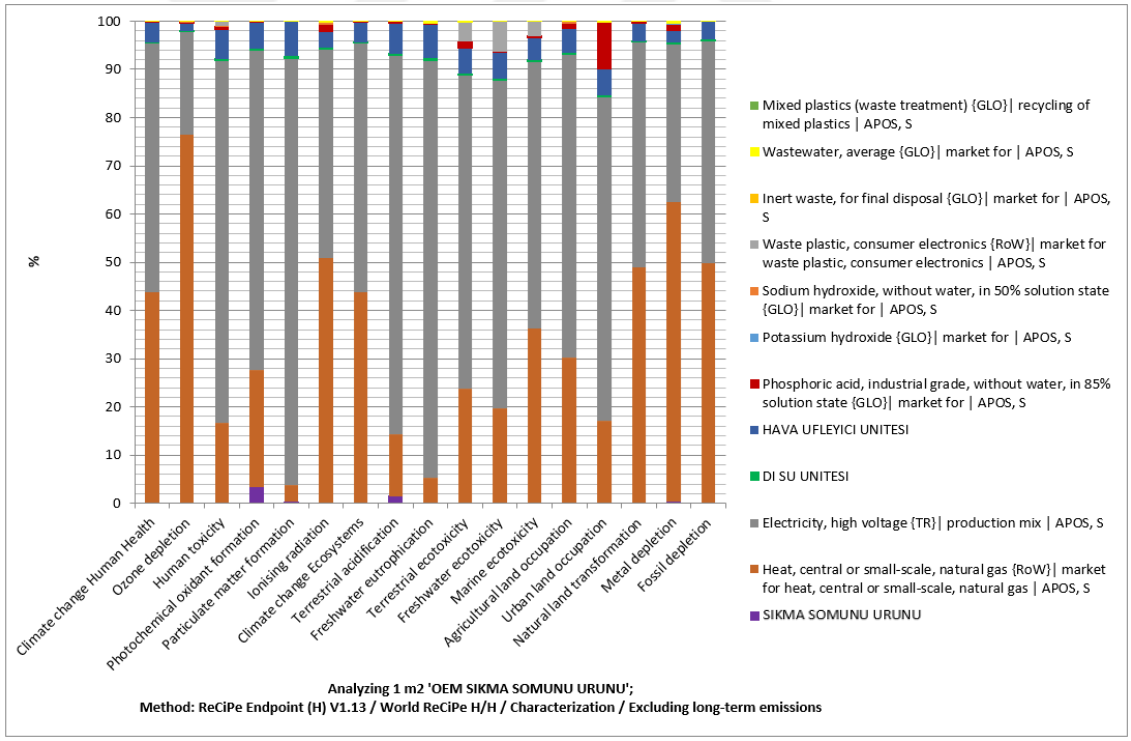
Senaryo 1 ve Senaryo 2 sonuçlarının daha çok elektrik ve doğalgaz tüketiminden kaynaklandığı görülmektedir. Doğalgaz ve elektrik tüketimi, sıkma somunu kaplama ürününde tüm etki kategorilerinde en büyük katkıya sahiptir. 1 m^2 sıkma somunu ürünü kaplanması sırasında, Senaryo 1 ve Senaryo 2 için 4,526944826 kWh elektrik ve 8,097697524 kWh doğalgaz tüketilir. Bu iki tüketim üründe Senaryo 1 ve Senaryo 2 için toplamda 45,5 MJ değerinde yer almaktadır. Kaplamada tüketilen kimyasal miktarları ve kimyasalın çevresel özellikleri etki kategorisi sonuçlarını doğrudan etkilemektedir. İnsan sağlığı iklim değişikliği etki kategorisinde Senaryo 1 için doğalgaz tüketiminin %43,3, elektrik tüketiminin %51,1, DI su ünitesi su üretimi prosesinin %1,28, hava üfleyici (blower) prosesinin toplam etkide %4,13 katkısı bulunmaktadır. Aynı etki kategorisi için kullanılan kimyasalların, fosforik asit %0,0615, sodyum hidroksit %0,0061, potasyum hidroksit %0,0007 katkısı bulunmaktadır.



Şekil 4.3. 1m^2 sıkma somunu ürünü kaplaması Senaryo 1 zarar sınıflarına göre değerlendirme grafiği

Filtre değişimleri kaynaklı atık filtrelerin %0,0905, fosfat banyosu atık çamurlarının %2,36x10^{-5}, atık suların %0,0243 katkısı bulunmaktadır. İnsan sağlığı iklim değişikliği etki kategorisinde Senaryo 2 için doğalgaz tüketiminin %43,8, elektrik tüketiminin %51,6, DI su ünitesi su üretimi prosesinin %0,24, hava üfleyici (blower) prosesinin toplam etkide %4,17 katkısı bulunmaktadır. Aynı etki kategorisi için kullanılan kimyasalların, fosforik asit %0,0621, sodyum hidroksit %0,0294, potasyum hidroksit %0,0007 katkısı bulunmaktadır. Filtre değişimleri kaynaklı atık filtrelerin %0,0915, fosfat banyosu atık çamurlarının %2,38x10^{-5}, atık suların %0,0079 katkısı bulunmaktadır. Doğal çevre ozon tabakası inceltme etki kategorisinde Senaryo 1 için doğalgaz tüketiminin %76,25, elektrik tüketiminin %21,28, DI su ünitesi su üretimi prosesinin %0,53, hava üfleyici (blower) prosesinin toplam etkide %1,72 katkısı bulunmaktadır. Aynı etki kategorisi için kullanılan kimyasalların, fosforik asit %0,1121, sodyum hidroksit %0,0572, potasyum hidroksit %0,0005 katkısı bulunmaktadır. Filtre değişimleri kaynaklı atık filtrelerin %0,0024, fosfat banyosu atık çamurlarının %9,09x10^{-5}, atık suların %0,0392 katkısı bulunmaktadır. Doğal çevre ozon tabakası inceltme etki

kategorisinde Senaryo 2 için doğalgaz tüketiminin %76,44, elektrik tüketiminin %21,33, DI su ünitesi su üretimi prosesinin %0,1, hava üfleyici (blower) prosesinin toplam etkide %1,72 katkısı bulunmaktadır. Aynı etki kategorisi için kullanılan kimyasalların, fosforik asit %0,1124, sodyum hidroksit %0,02718, potasyum hidroksit %0,0005 katkısı bulunmaktadır. Filtre değişimleri kaynaklı atık filtrelerin %0,0024, fosfat banyosu atık çamurlarının %9,11x10^{-5}, atık suların %0,0127 katkısı bulunmaktadır. İnsan sağlığı insan toksisitesi etki kategorisinde Senaryo 1 için doğalgaz tüketiminin %16,45, elektrik tüketiminin %73,85, DI su ünitesi su üretimi prosesinin %1,93, hava üfleyici (blower) prosesinin toplam etkide %5,97 katkısı bulunmaktadır. Aynı etki kategorisi için kullanılan kimyasalların, fosforik asit %0,6137, sodyum hidroksit %0,0262, potasyum hidroksit %0,0015 katkısı bulunmaktadır. Filtre değişimleri kaynaklı atık filtrelerin %0,9111, fosfat banyosu atık çamurlarının %8,11x10^{-5}, atık suların %0,2208 katkısı bulunmaktadır.



Şekil 4.4. 1m^2 sıkma somunu ürünü kaplaması Senaryo 2 zarar sınıflarına göre değerlendirme grafiği

İnsan sağlığı insan toksisitesi etki kategorisinde Senaryo 2 için doğalgaz tüketiminin %16,75, elektrik tüketiminin %75,07,DI su ünitesi su üretimi prosesinin %0,3754, hava üfleyici (blower) prosesinin toplam etkide %6,07 katkısı bulunmaktadır. Aynı etki kategorisi için kullanılan kimyasalların, fosforik asit %0,6238, sodyum hidroksit %0,1264, potasyum hidroksit %0,0015 katkısı bulunmaktadır. Filtre değişimleri kaynaklı atık filtrelerin %0,9262, fosfat banyosu atık çamurlarının $\%8{,}25x10^{-5}$, atık suların %0,0726 katkısı bulunmaktadır. Doğal kaynaklar fotokimyasal oksidasyon oluşumu (sisli duman) etki kategorisinde Senaryo 1 için sıkma somunu ürününün %3,4, doğalgaz tüketiminin %23,86, elektrik tüketiminin %65,52, DI su ünitesi su üretimi prosesinin %1,64, hava üfleyici (blower) prosesinin toplam etkide %5,29 katkısı bulunmaktadır. Aynı etki kategorisi için kullanılan kimyasalların, fosforik asit %0,1648, sodyum hidroksit %0,0094, potasyum hidroksit %0,0009 katkısı bulunmaktadır. Filtre değişimleri kaynaklı atık filtrelerin %0,0157, fosfat banyosu atık çamurlarının %0,0001, atık suların %0,0748 katkısı bulunmaktadır. Doğal kaynaklar fotokimyasal oksidasyon oluşumu (sisli duman) etki kategorisinde Senaryo 2 için sıkma somunu ürününün %3,4, doğalgaz tüketiminin %24,18, elektrik tüketiminin %66,4, DI su ünitesi su üretimi prosesinin %0,31, hava üfleyici (blower) prosesinin toplam etkide %5,37 katkısı bulunmaktadır. Aynı etki kategorisi için kullanılan kimyasalların, fosforik asit %0,167, sodyum hidroksit %0,0451, potasyum hidroksit %0,001 katkısı bulunmaktadır. Filtre değişimleri kaynaklı atık filtrelerin %0,0159, fosfat banyosu atık çamurlarının %0,0001, atık suların %0,0245 katkısı bulunmaktadır. İnsan sağlığı partiküler madde oluşumu (solunum inorganikleri) etki kategorisinde Senaryo 1 için sıkma somunu ürününün %0,33, doğalgaz tüketiminin %3,30, elektrik tüketiminin %87, DI su ünitesi su üretimi prosesinin %2,16, hava üfleyici (blower) prosesinin toplam etkide %7,04 katkısı bulunmaktadır. Aynı etki kategorisi için kullanılan kimyasalların, fosforik asit %0,0617, sodyum hidroksit %0,0035, potasyum hidroksit %0,0003 katkısı bulunmaktadır. Filtre değişimleri kaynaklı atık filtrelerin %0,0016, fosfat banyosu atık çamurlarının $\%1{,}67x10^{-5}$, atık suların %0,02 katkısı bulunmaktadır. İnsan sağlığı partiküler madde oluşumu (solunum inorganikleri) etki kategorisinde Senaryo 2 için sıkma somunu ürününün %0,34, doğalgaz tüketiminin %3,36, elektrik tüketiminin %88,6, DI su ünitesi su üretimi prosesinin %0,42, hava üfleyici (blower) prosesinin toplam etkide %7,16 katkısı bulunmaktadır. Aynı etki kategorisi için kullanılan kimyasalların, fosforik asit %0,0628, sodyum hidroksit

%0,0168, potasyum hidroksit %0,0003 katkısı bulunmaktadır. Filtre değişimleri kaynaklı atık filtrelerin %0,0016, fosfat banyosu atık çamurlarının %1,7x10^{-5}, atık suların %0,0066 katkısı bulunmaktadır. İnsan sağlığı radyasyon etki kategorisinde Senaryo 1 için doğalgaz tüketiminin %50,33, elektrik tüketiminin %42,69, DI su ünitesi su üretimi prosesinin %1,18, hava üfleyici (blower) prosesinin toplam etkide %3,45 katkısı bulunmaktadır. Aynı etki kategorisi için kullanılan kimyasalların, fosforik asit %1,29, sodyum hidroksit %0,0965, potasyum hidroksit %0,008 katkısı bulunmaktadır. Filtre değişimleri kaynaklı atık filtrelerin %0,009, fosfat banyosu atık çamurlarının %0,0007, atık suların %0,9224, kimyasal madde ambalajları geri kazanımının %0,0067 katkısı bulunmaktadır. İnsan sağlığı radyasyon etki kategorisinde Senaryo 2 için doğalgaz tüketiminin %50,95, elektrik tüketiminin %43,22, DI su ünitesi su üretimi prosesinin %0,2278, hava üfleyici (blower) prosesinin toplam etkide %3,49 katkısı bulunmaktadır. Aynı etki kategorisi için kullanılan kimyasalların, fosforik asit %1,30, sodyum hidroksit %0,4632, potasyum hidroksit %0,0081 katkısı bulunmaktadır. Filtre değişimleri kaynaklı atık filtrelerin %0,009, fosfat banyosu atık çamurlarının %0,0007, atık suların %0,3019, kimyasal madde ambalajları geri kazanımının %0,0068 katkısı bulunmaktadır. Doğal çevre iklim değişikliği etki kategorisinde Senaryo 1 için doğalgaz tüketiminin %43,3, elektrik tüketiminin %51, DI su ünitesi su üretimi prosesinin %1,28, hava üfleyici (blower) prosesinin toplam etkide %4,13 katkısı bulunmaktadır. Aynı etki kategorisi için kullanılan kimyasalların, fosforik asit %0,0615, sodyum hidroksit %0,0061, potasyum hidroksit %0,0007 katkısı bulunmaktadır. Filtre değişimleri kaynaklı atık filtrelerin %0,0905, fosfat banyosu atık çamurlarının %2,36x10^{-5}, atık suların %0,0243 katkısı bulunmaktadır. Doğal çevre iklim değişikliği etki kategorisinde Senaryo 2 için doğalgaz tüketiminin %43,8, elektrik tüketiminin %51,6, DI su ünitesi su üretimi prosesinin %0,24, hava üfleyici (blower) prosesinin toplam etkide %4,17 katkısı bulunmaktadır. Aynı etki kategorisi için kullanılan kimyasalların, fosforik asit %0,0621, sodyum hidroksit %0,0294, potasyum hidroksit %0,0007 katkısı bulunmaktadır. Filtre değişimleri kaynaklı atık filtrelerin %0,0915, fosfat banyosu atık çamurlarının %2,38x10^{-5}, atık suların %0,0079 katkısı bulunmaktadır. Doğal çevre karasal asitleştirme etki kategorisinde Senaryo 1 için sıkma somunu ürününün %1,51, doğalgaz tüketiminin %12,5, elektrik tüketiminin %77,4, DI su ünitesi su üretimi prosesinin %1,93, hava üfleyici (blower) prosesinin toplam etkide %6,26 katkısı bulunmaktadır. Aynı etki kategorisi için

kullanılan kimyasalların, fosforik asit %0,2575, sodyum hidroksit %0,0095, potasyum hidroksit %0,001 katkısı bulunmaktadır. Filtre değişimleri kaynaklı atık filtrelerin %0,0061, fosfat banyosu atık çamurlarının $\%5{,}31x10^{-5}$, atık suların %0,08 katkısı bulunmaktadır. Doğal çevre karasal asitleştirme etki kategorisinde Senaryo 2 için sıkma somunu ürününün %1,54, doğalgaz tüketiminin %12,7, elektrik tüketiminin %78,6, DI su ünitesi su üretimi prosesinin %0,375, hava üfleyici (blower) prosesinin toplam etkide %6,36 katkısı bulunmaktadır. Aynı etki kategorisi için kullanılan kimyasalların, fosforik asit %0,26, sodyum hidroksit %0,0458, potasyum hidroksit %0,001 katkısı bulunmaktadır. Filtre değişimleri kaynaklı atık filtrelerin %0,0062, fosfat banyosu atık çamurlarının $\%5{,}4x10^{-5}$, atık suların %0,0285 katkısı bulunmaktadır. Doğal çevre ötröfikasyon etki kategorisinde Senaryo 1 doğalgaz tüketiminin %5,14, elektrik tüketiminin %84,4, DI su ünitesi su üretimi prosesinin %2,24, hava üfleyici (blower) prosesinin toplam etkide %6,82 katkısı bulunmaktadır. Aynı etki kategorisi için kullanılan kimyasalların, fosforik asit %0,196, sodyum hidroksit %0,0088, potasyum hidroksit %0,0008 katkısı bulunmaktadır. Filtre değişimleri kaynaklı atık filtrelerin %0,0005, fosfat banyosu atık çamurlarının $\%7{,}88x10^{-6}$, atık suların %1,13 katkısı bulunmaktadır. Doğal çevre ötröfikasyon etki kategorisinde Senaryo 2 doğalgaz tüketiminin %5,28, elektrik tüketiminin %86,64, DI su ünitesi su üretimi prosesinin %0,439, hava üfleyici (blower) prosesinin toplam etkide %7,0 katkısı bulunmaktadır. Aynı etki kategorisi için kullanılan kimyasalların, fosforik asit %0,20, sodyum hidroksit %0,0429, potasyum hidroksit %0,0008 katkısı bulunmaktadır. Filtre değişimleri kaynaklı atık filtrelerin %0,0005, fosfat banyosu atık çamurlarının $\%8x10^{-6}$, atık suların %0,3764 katkısı bulunmaktadır. Doğal kaynaklar karasal ekotoksisite etki kategorisinde Senaryo 1 doğalgaz tüketiminin %23,34, elektrik tüketiminin %63,7, DI su ünitesi su üretimi prosesinin %1,96, hava üfleyici (blower) prosesinin toplam etkide %5,15 katkısı bulunmaktadır. Aynı etki kategorisi için kullanılan kimyasalların, fosforik asit %1,41, sodyum hidroksit %0,0165, potasyum hidroksit %0,0012 katkısı bulunmaktadır. Filtre değişimleri kaynaklı atık filtrelerin %3,88, fosfat banyosu atık çamurlarının %0,0002, atık suların %0,4977 katkısı bulunmaktadır. Doğal kaynaklar karasal ekotoksisite etki kategorisinde Senaryo 2 doğalgaz tüketiminin %23,78, elektrik tüketiminin %64,93, DI su ünitesi su üretimi prosesinin %0,38, hava üfleyici (blower) prosesinin toplam etkide %5,25 katkısı bulunmaktadır. Aynı etki kategorisi için kullanılan kimyasalların, fosforik

asit %1,44, sodyum hidroksit %0,0798, potasyum hidroksit %0,0013 katkısı bulunmaktadır. Filtre değişimleri kaynaklı atık filtrelerin %3,9556, fosfat banyosu atık çamurlarının %0,0002, atık suların %0,164 katkısı bulunmaktadır. Doğal kaynaklar temiz su ekotoksisite etki kategorisinde Senaryo 1 doğalgaz tüketiminin %19,29, elektrik tüketiminin %66,76, DI su ünitesi su üretimi prosesinin %2,17, hava üfleyici (blower) prosesinin toplam etkide %5,39 katkısı bulunmaktadır. Aynı etki kategorisi için kullanılan kimyasalların, fosforik asit %0,114, sodyum hidroksit %0,0037, potasyum hidroksit %0,0004 katkısı bulunmaktadır. Filtre değişimleri kaynaklı atık filtrelerin %6,11, fosfat banyosu atık çamurlarının %1,75x10^{-5}, atık suların %0,1354 katkısı bulunmaktadır. Doğal kaynaklar temiz su ekotoksisite etki kategorisinde Senaryo 2 doğalgaz tüketiminin %19,65, elektrik tüketiminin %68,01, DI su ünitesi su üretimi prosesinin %0,42, hava üfleyici (blower) prosesinin toplam etkide %5,50 katkısı bulunmaktadır. Aynı etki kategorisi için kullanılan kimyasalların, fosforik asit %0,1162, sodyum hidroksit %0,0178, potasyum hidroksit %0,0004 katkısı bulunmaktadır. Filtre değişimleri kaynaklı atık filtrelerin %6,22, fosfat banyosu atık çamurlarının %1,78x10^{-5}, atık suların %0,1008 katkısı bulunmaktadır. Doğal kaynaklar deniz ekotoksisite etki kategorisinde Senaryo 1 doğalgaz tüketiminin %35,74, elektrik tüketiminin %54,56, DI su ünitesi su üretimi prosesinin %1,62, hava üfleyici (blower) prosesinin toplam etkide %4,41 katkısı bulunmaktadır. Aynı etki kategorisi için kullanılan kimyasalların, fosforik asit %0,4452, sodyum hidroksit %0,0119, potasyum hidroksit %0,001 katkısı bulunmaktadır. Filtre değişimleri kaynaklı atık filtrelerin %2,9, fosfat banyosu atık çamurlarının %9x10^{-5}, atık suların %0,2911 katkısı bulunmaktadır. Doğal kaynaklar deniz ekotoksisite etki kategorisinde Senaryo 2 doğalgaz tüketiminin %36,28, elektrik tüketiminin %55,37, DI su ünitesi su üretimi prosesinin %0,31, hava üfleyici (blower) prosesinin toplam etkide %4,47 katkısı bulunmaktadır. Aynı etki kategorisi için kullanılan kimyasalların, fosforik asit %0,4518, sodyum hidroksit %0,0574, potasyum hidroksit %0,001 katkısı bulunmaktadır. Filtre değişimleri kaynaklı atık filtrelerin %2,94, fosfat banyosu atık çamurlarının %9,1x10^{-5}, atık suların %0,0955 katkısı bulunmaktadır. Doğal kaynaklar tarımsal arazı işgali etki kategorisinde Senaryo 1 doğalgaz tüketiminin %29,81, elektrik tüketiminin %62, DI su ünitesi su üretimi prosesinin %1,58, hava üfleyici (blower) prosesinin toplam etkide %5,02 katkısı bulunmaktadır. Aynı etki kategorisi için kullanılan kimyasalların, fosforik asit %1, sodyum hidroksit %0,0694,

potasyum hidroksit %0,0091 katkısı bulunmaktadır. Filtre değişimleri kaynaklı atık filtrelerin %0,006, fosfat banyosu atık çamurlarının %0,0007, atık suların %0,308 katkısı bulunmaktadır. Doğal kaynaklar tarımsal arazı işgali etki kategorisinde Senaryo 2 doğalgaz tüketiminin %30,18, elektrik tüketiminin %62,86, DI su ünitesi su üretimi prosesinin %0,30, hava üfleyici (blower) prosesinin toplam etkide %5,08 katkısı bulunmaktadır. Aynı etki kategorisi için kullanılan kimyasalların, fosforik asit %1,1, sodyum hidroksit %0,333, potasyum hidroksit %0,0093 katkısı bulunmaktadır. Filtre değişimleri kaynaklı atık filtrelerin %0,006, fosfat banyosu atık çamurlarının %0,0007, atık suların %0,1 katkısı bulunmaktadır. Doğal kaynaklar kentsel arazı işgali etki kategorisinde Senaryo 1 doğalgaz tüketiminin %16,78, elektrik tüketiminin %66,13, DI su ünitesi su üretimi prosesinin %1,72, hava üfleyici (blower) prosesinin toplam etkide %5,34 katkısı bulunmaktadır. Aynı etki kategorisi için kullanılan kimyasalların, fosforik asit %9,36, sodyum hidroksit %0,032, potasyum hidroksit %0,0043 katkısı bulunmaktadır. Filtre değişimleri kaynaklı atık filtrelerin %0,0112, fosfat banyosu atık çamurlarının %0,0016, atık suların %0,5879 katkısı bulunmaktadır. Doğal kaynaklar kentsel arazı işgali etki kategorisinde Senaryo 2 doğalgaz tüketiminin %17,07, elektrik tüketiminin %67,26, DI su ünitesi su üretimi prosesinin %0,3335, hava üfleyici (blower) prosesinin toplam etkide %5,4 katkısı bulunmaktadır. Aynı etki kategorisi için kullanılan kimyasalların, fosforik asit %9,5, sodyum hidroksit %0,1544, potasyum hidroksit %0,0044 katkısı bulunmaktadır. Filtre değişimleri kaynaklı atık filtrelerin %0,0114, fosfat banyosu atık çamurlarının %0,0017, atık suların %0,19 katkısı bulunmaktadır. Doğal kaynaklar doğal arazi dönüşümü etki kategorisinde Senaryo 1 doğalgaz tüketiminin %48,37, elektrik tüketiminin %46,31, DI su ünitesi su üretimi prosesinin %1,17, hava üfleyici (blower) prosesinin toplam etkide %3,74 katkısı bulunmaktadır. Aynı etki kategorisi için kullanılan kimyasalların, fosforik asit %0,2433, sodyum hidroksit %0,0097, potasyum hidroksit %0,0005 katkısı bulunmaktadır. Filtre değişimleri kaynaklı atık filtrelerin %0,0013, atık suların %0,01344, kimyasal madde ambalajları geri kazanımının $\%2{,}2 \times 10^{-5}$katkısı bulunmaktadır. Doğal kaynaklar doğal arazi dönüşümü etki kategorisinde Senaryo 2 doğalgaz tüketiminin %48,86, elektrik tüketiminin %46,78, DI su ünitesi su üretimi prosesinin %0,225, hava üfleyici (blower) prosesinin toplam etkide %3,78 katkısı bulunmaktadır. Aynı etki kategorisi için kullanılan kimyasalların, fosforik asit %0,2458, sodyum hidroksit %0,0467, potasyum hidroksit %0,0005 katkısı

bulunmaktadır. Filtre değişimleri kaynaklı atık filtrelerin %0,0014, atık suların %0,0439, kimyasal madde ambalajları geri kazanımının %2,2x10^{-5}katkısı bulunmaktadır. Doğal kaynaklar metal kaynak tüketimi etki kategorisinde Senaryo 1 sıkma somunu ürününün %0,27, doğalgaz tüketiminin %61,1, elektrik tüketiminin %32,3, DI su ünitesi su üretimi prosesinin %0,97, hava üfleyici (blower) prosesinin toplam etkide %2,61 katkısı bulunmaktadır. Aynı etki kategorisi için kullanılan kimyasalların, fosforik asit %1,1, sodyum hidroksit %0,0433, potasyum hidroksit %0,0042 katkısı bulunmaktadır. Filtre değişimleri kaynaklı atık filtrelerin %0,108, fosfat banyosu atık çamurlarının %0,0001, atık suların %1,3089 katkısı bulunmaktadır. Doğal kaynaklar metal kaynak tüketimi etki kategorisinde Senaryo 2 sıkma somunu ürününün %0,2791, doğalgaz tüketiminin %62,13, elektrik tüketiminin %32,88, DI su ünitesi su üretimi prosesinin %0,1885, hava üfleyici (blower) prosesinin toplam etkide %2,6593 katkısı bulunmaktadır. Aynı etki kategorisi için kullanılan kimyasalların, fosforik asit %1,2, sodyum hidroksit %0,2084, potasyum hidroksit %0,0042 katkısı bulunmaktadır. Filtre değişimleri kaynaklı atık filtrelerin %0,011, fosfat banyosu atık çamurlarının %0,0001, atık suların %0,4297 katkısı bulunmaktadır. Doğal kaynaklar fosil kaynak tüketimi etki kategorisinde Senaryo 1 doğalgaz tüketiminin %49,3, elektrik tüketiminin %45,7, DI su ünitesi su üretimi prosesinin %1,14, hava üfleyici (blower) prosesinin toplam etkide %3,69 katkısı bulunmaktadır. Aynı etki kategorisi için kullanılan kimyasalların, fosforik asit %0,0779, sodyum hidroksit %0,0049, potasyum hidroksit %0,0006 katkısı bulunmaktadır. Filtre değişimleri kaynaklı atık filtrelerin %0,0013, fosfat banyosu atık çamurlarının %4,20x10^{-5}, atık suların %0,0165 katkısı bulunmaktadır. Doğal kaynaklar fosil kaynak tüketimi etki kategorisinde Senaryo 2 doğalgaz tüketiminin %49,78, elektrik tüketiminin %46,15, DI su ünitesi su üretimi prosesinin %0,219, hava üfleyici (blower) prosesinin toplam etkide %3,73 katkısı bulunmaktadır. Aynı etki kategorisi için kullanılan kimyasalların, fosforik asit %0,0786, sodyum hidroksit %0,0236, potasyum hidroksit %0,0006 katkısı bulunmaktadır. Filtre değişimleri kaynaklı atık filtrelerin %0,0013, fosfat banyosu atık çamurlarının %4,24x10^{-5}, atık suların %0,0054 katkısı bulunmaktadır.

Senaryo 1 ve Senaryo 2, birçok farklı etki kategorisinde kıyaslama için kullanılabilir. Bundan sonraki adımda etki kategorilerine katkılarına göre karşılaştırmalar iki senaryo arasındaki sonuçlar baz alınarak yapılmıştır.

4.2. Senaryo 1 ve Senaryo 2 Çevresel Etki Karşılaştırması

Bu çalışmada iki farklı senaryodan elde edilen sonuçlar birbirleriyle ile karşılaştırılmıştır. İki senaryo arasındaki temel fark, su tüketimidir. Sıvı kostik tüketimi ve atık su oluşumu kategori sonuçlarını doğrudan etkiler. Tüm karşılaştırmalar her iki senaryo için 1 m^2 sıkma somunu ürünü çinko fosfat kaplaması olarak ortak fonksiyonel birime göre yapılmıştır.

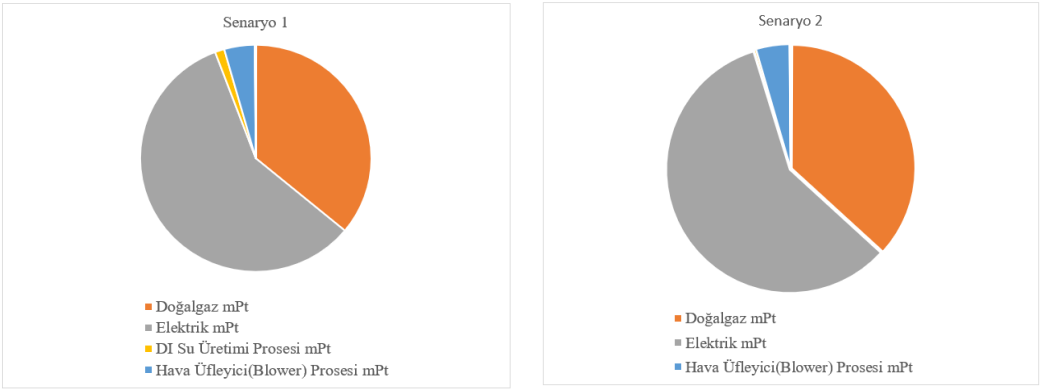
4.2.1. Süreç Katkı Kıyaslanması ile Çevresel Etki Birim Bazlı Kıyaslanması

Senaryo 1 ve Senaryo 2 çevresel etki sonuçları mPt (milipoint) birimi üzerinden kıyaslanmıştır. İki farklı senaryo verilenin SimaPro yazılımı ile analizi sonuçlarının kıyaslanması sonuçları Çizelge 4.1'de sunulmuştur. 1m^2 sıkma somunu ürünü çinko fosfat kaplaması süreç girdi ve çıktılarının mPt birimi bazlı çevresel etki sonuçları bu bölümde verilmiştir. Point (Pt) olarak ifade edilen çevresel etki belirteci olup mPt 0,001 Pt'ye karşılık gelir. Sıkma somunu ürünü hammaddesi, doğalgaz tüketimi, hava üfleyici(blower) prosesi, kullanılan kimyasallar fosforik asit ve potasyum hidroksit ile atık filtre Senaryo 1 ve Senaryo 2'de aynı etki sonuçlarında elde edilmiştir. Senaryo 1 ile Senaryo 2 arasındaki farklardan ilki DI Su üretimi prosesi etki sonucudur. Senaryo 1 ile elde edilen analiz sonucu 9,01772237370305 mPt, Senaryo 2'de 1,71693969614541 mPt olarak bulunmuştur. Senaryo 1, Senaryo 2'ye kıyasla DI su ünitesi prosesi süreç başına %81 daha yüksek çevresel yüke sahiptir. Senaryo 1 ile Senaryo 2 arasındaki ikinci fark atık su oluşumu etki sonucudur. Senaryo 1 ile elde edilen analiz sonucu 0,175812963421996 mPt, Senaryo 2'de 0,0568369276503198 mPt olarak bulunmuştur. Senaryo 1, Senaryo 2'ye kıyasla atık su oluşumu süreç başına %67,7 daha yüksek çevresel yüke sahiptir. Üçüncü fark sodyum hidroksit kimyasalının tüketimi etki sonucudur. Senaryo 1 ile elde edilen analiz sonucu 0,0340918345604994 mPt, Senaryo 2'de 0,161620704673694 mPt olarak bulunmuştur. Dördüncü ve son fark ise elektrik tüketimidir. Senaryo 1 ile elde edilen analiz sonucu 399,0265977 mPt, Senaryo 2'de 391,7567588 mPt olarak bulunmuştur. Senaryo 1'de Senaryo 2'ye kıyasla elektrik tüketimi süreç başına %1,8 daha yüksek çevresel yüke sahiptir. Senaryo 2, Senaryo 1'e kıyasla sodyum hidroksit kimyasal tüketimi süreç başına %78,9 daha yüksek çevresel

yüke sahiptir. Şekil 4.5'te bu sonuçlar ile elde edilen %fark grafikleri verilmiştir. Senaryo 2 sonuçları ile elde edilen grafikte DI su üretim prosesi mPt değeri %81 oranla azaldığı görülmüştür.

Çizelge 4.1. 1m^2 sıkma somunu çinko fosfat kaplaması Senaryo 1 ve Senaryo 2 çevresel etki birim bazlı karşılaştırma çizelgesi

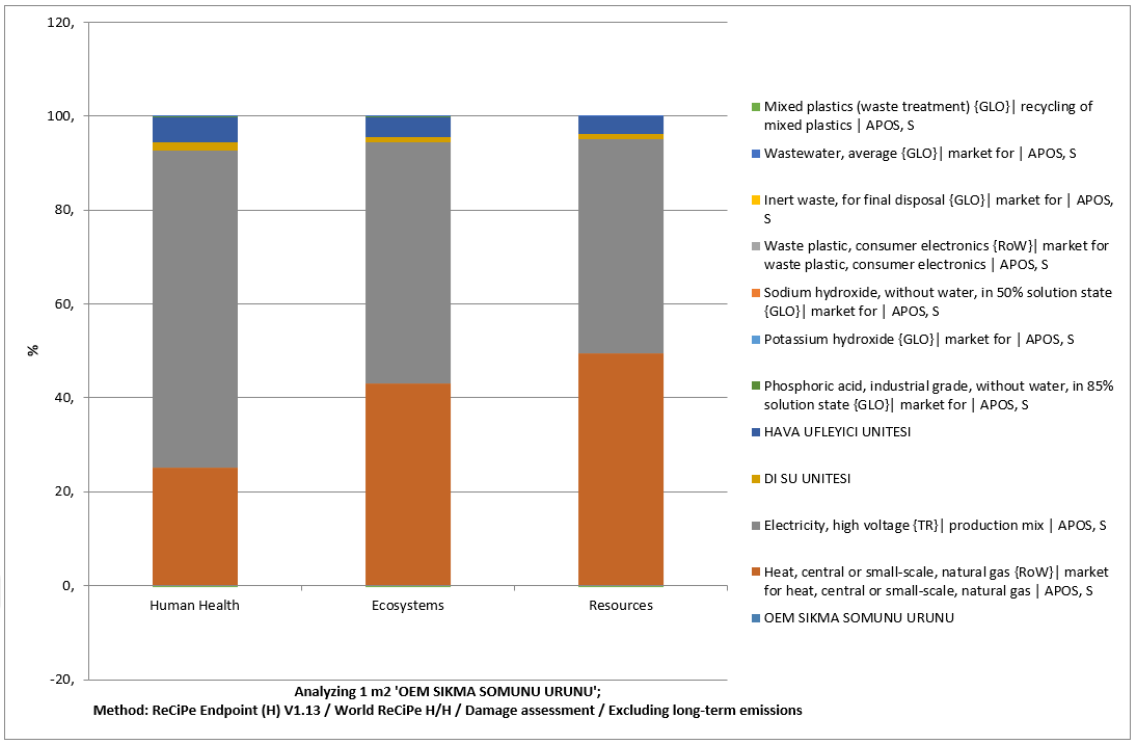
Süreç Katkısı	Birim	Senaryo 1	Senaryo 2	%Fark
Sıkma Somunu Ürünü(Hammaddesi)	mPt	0,464973940	0,464973940	0,0
Doğalgaz	mPt	246,0156975	246,0156975	0,0
Elektrik	mPt	399,0265977	391,7567588	1,8
DI Su Üretimi Prosesi	mPt	9,017722374	1,716939696	81,0
Hava Üfleyici(Blower) Prosesi	mPt	29,18339366	29,18339366	0,0
Fosforik Asit	mPt	0,515932908	0,515932908	0,0
Potasum Hidroksit	mPt	0,003616154	0,003616154	0,0
Sodyum Hidroksit	mPt	0,034091835	0,161620705	78,9
Atık Filtre	mPt	0,193054031	0,193054031	0,0
Atık Çamur	mPt	0,000206899	0,000206899	0,0
Atık Su	mPt	0,175812963	0,056836928	67,7
Atık Kimyasal Ambalaj Geri Kazanım	mPt	-0,056087733	-0,056087733	0,0
Toplam	mPt	646,4121309	639,1199011	
Veri Tabanı:		Ecoinvent 3		
Metot :		ReCiPe Endpoint (H) V1.13 / World ReCiPe H/H		



Şekil 4.5. Süreç katkı kıyaslanması ile çevresel etki birim bazlı fark grafiği

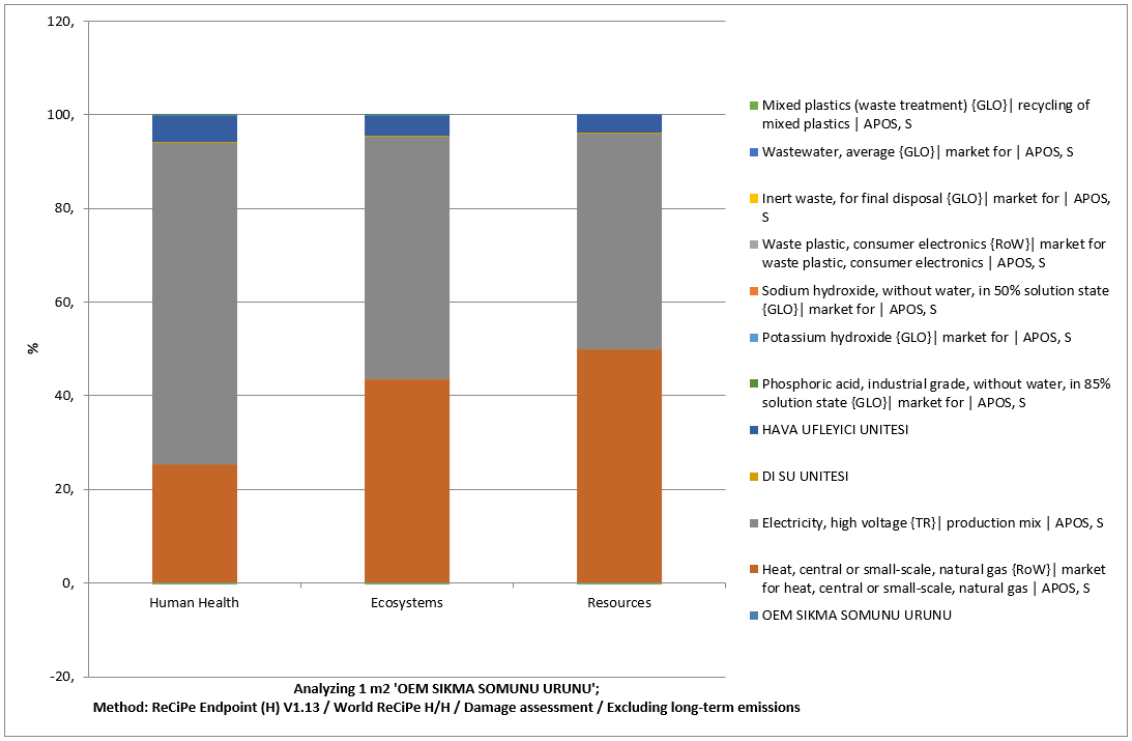
4.2.2. Çevresel Etki Kategorilerine Göre Kıyaslanması

Senaryo 1 ve Senaryo 2 çevresel etki kategorilerine göre hesaplanmış ve sonuçlar Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de yer alan grafikler ile sunulmuştur. İnsan sağlığı etki kategorisinde Senaryo 1 için sıkma somunu ürününün %0,1538, doğalgaz tüketiminin %24,95, elektrik tüketiminin %67,58, DI su ünitesi su üretimi prosesinin %0,53, hava üfleyici (blower) prosesinin toplam etkide %5,46 katkısı bulunmaktadır. Aynı çevresel etki kategorisi için kullanılan kimyasalların, fosforik asit %0,0668, sodyum hidroksit %0,0051, potasyum hidroksit %0,0005 katkısı bulunmaktadır. Filtre değişimleri kaynaklı atık filtrelerin %0,058, fosfat banyosu atık çamurlarının $\%2{,}1x10^{-5}$, atık suların %0,0242 katkısı bulunmaktadır. İnsan sağlığı etki kategorisinde Senaryo 2 için sıkma somunu ürününün %0,1559, doğalgaz tüketiminin %25,30, elektrik tüketiminin %68,51, DI su ünitesi su üretimi prosesinin %0,3261, hava üfleyici (blower) prosesinin toplam etkide %5,54 katkısı bulunmaktadır. Aynı etki kategorisi için kullanılan kimyasalların, fosforik asit %0,0677, sodyum hidroksit %0,0247, potasyum hidroksit %0,0005 katkısı bulunmaktadır. Filtre değişimleri kaynaklı atık filtrelerin %0,0588, fosfat banyosu atık çamurlarının $\%2{,}13x10^{-5}$, atık suların %0,0079 katkısı bulunmaktadır. Doğal çevre etki kategorisinde Senaryo 1 için sıkma somunu ürününün %0,0031, doğalgaz tüketiminin %43, elektrik tüketiminin %51,2, DI su ünitesi su üretimi prosesinin %1,28, hava üfleyici (blower) prosesinin toplam etkide %4,14 katkısı bulunmaktadır. Aynı etki kategorisi için kullanılan kimyasalların, fosforik asit %0,1209, sodyum hidroksit %0,0067, potasyum hidroksit %0,0007 katkısı bulunmaktadır. Filtre değişimleri kaynaklı atık filtrelerin %0,09, fosfat banyosu atık çamurlarının $\%9{,}19x10^{-6}$, atık suların %0,0313 katkısı bulunmaktadır. Doğal çevre etki kategorisinde Senaryo 2 için sıkma somunu ürününün %0,0031, doğalgaz tüketiminin %43,54, elektrik tüketiminin %51,76, DI su ünitesi su üretimi prosesinin %0,2474, hava üfleyici (blower) prosesinin toplam etkide %4,18 katkısı bulunmaktadır. Aynı etki kategorisi için kullanılan kimyasalların, fosforik asit %0,1222, sodyum hidroksit %0,032, potasyum hidroksit %0,0007 katkısı bulunmaktadır. Filtre değişimleri kaynaklı atık filtrelerin %0,0916, fosfat banyosu atık çamurlarının $\%9{,}29x10^{-6}$, atık suların %0,0102 katkısı bulunmaktadır.



Şekil 4.6. 1m^2 Sıkma somunu ürünü kaplaması Senaryo 1 çevresel etki kategorilerine göre değerlendirme grafiği

Kaynak kullanımı etki kategorisinde Senaryo 1 için sıkma somunu ürününün %0,0028, doğalgaz tüketiminin %49,4, elektrik tüketiminin %45,5, DI su ünitesi su üretimi prosesinin %1,13, hava üfleyici (blower) prosesinin toplam etkide %3,68 katkısı bulunmaktadır. Aynı etki kategorisi için kullanılan kimyasalların, fosforik asit %0,0891, sodyum hidroksit %0,0053, potasyum hidroksit %0,0006 katkısı bulunmaktadır. Filtre değişimleri kaynaklı atık filtrelerin %0,0014, fosfat banyosu atık çamurlarının %4,31x10^{-5}, atık suların %0,0296 katkısı bulunmaktadır. Kaynak kullanımı etki kategorisinde Senaryo 2 için sıkma somunu ürününün %0,0028, doğalgaz tüketiminin %49,9, elektrik tüketiminin %46, DI su ünitesi su üretimi prosesinin %0,2188, hava üfleyici (blower) prosesinin toplam etkide %3,72 katkısı bulunmaktadır. Aynı etki kategorisi için kullanılan kimyasalların, fosforik asit %0,09, sodyum hidroksit %0,0255, potasyum hidroksit %0,0006 katkısı bulunmaktadır. Filtre değişimleri kaynaklı atık filtrelerin %0,0014, fosfat banyosu atık çamurlarının %4,3x10^{-5}, atık suların %0,0097 katkısı bulunmaktadır.



Şekil 4.7. 1m^2 Sıkma somunu ürünü kaplaması Senaryo 2 çevresel etki kategorilerine göre değerlendirme grafiği

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Artan sanayileşme ve mobil teknolojilere olan bağımlılık enerji kaynaklarına olan talebi de hızla arttırmakta olup, dünya üzerinde elektrik üretimi büyük çoğunlukla hala fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Bu da elektrikle yapılan her türden işlem, buluş ve kullanım teknolojisi için fosil kaynak tüketiminin artması anlamına gelmektedir. Bu artış beraberinde iklim değişikliği ve çevre kirliliğinin de artması sonucunu beraberinde getirmektedir. Yapılan uluslararası zirveler ile tüm ülke yönetimleri küresel ısınmanın azaltılması için yeni hedeflerin ortaya konulması konusunda ortak karardadır. İnsan, endüstri ve tüketici odaklı faaliyetlerdeki çok sayıdaki gelişme ve artış, çevre ve çevre ile olan etkileşimlerimizin karmaşıklığı, bu faktörlerin çevre üzerindeki etkilerini ölçmenin yollarını bulmak adına makro düzeydeki modeller ve kavramsal düşünme biçimleri kullanılarak çeşitli yöntemlerin geliştirilmesine yol açmıştır.

Sorumlu üretim ve tüketim maddesinin detayları çevre konularında tespit ve gereksinimlerinin ortaya konması için önemli ölçüm ve hesaplama stratejilerinin gereklilik ve önemini ortaya koymaktadır Bir ürün, sistem veya hizmetin üretiminin, ömrünün tamamlanması ve elden çıkarılması da dahil, beşikten mezara geniş boyutta veya daha dar bir kapsamda, çevresel boyutları ve potansiyel etkilerini değerlendirmek için kullanılan analiz yöntemine Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) denir. Yaşam döngüsü değerlendirmesi ile bir sürecin öncesi ve sonrası için çevreye olan etkileri matematiksel veriler ile ortaya konulabilir. Böylece anlamlı iyileştirmelerin önü açılır. Literatür tarama sonuçlarına bakıldığında son on yıllık süreçte uygulaması oldukça önem kazanmış olan SimaPro yazılımı kullanılmıştır.

Bu çalışmada, otomotiv endüstrisinin vazgeçilmezi kaplama çeşitlerinden biri olan çinko fosfat kaplama prosesinin gerçekleştirilmesi sırasında kullanılan hammadde, su, malzeme ve enerji tüketiminin iki farklı senaryo ile çevresel etki açısından değerlendirmesi yapılmaktadır. Bu amaçla, çalışmada farklı işletimlere sahip iki çinko fosfatlama prosesi senaryosu uygulanmıştır. Senaryolar arasındaki temel farklar, tank çıkışındaki askı süzülme süreleri, su tüketimleri, atık su oluşumu ve sodyum hidroksit miktarıdır. Bu çalışmada, iki farklı uygulamadan Senaryo 1 ve Senaryo 2 olarak bahsedilir. Hedefi suyun

olmadığı bir günde neler yapılarak çözüm üretilebileceğinin değerlendirilmesidir. Bunun yanında konvansiyonel olarak suyun sürekli açık bırakıldığı sistemlerin yerine suyun azaltılarak uygulandığı sistemlere göre hangi çevresel çıktıların elde edilebileceğinin YDD ile değerlendirmesi yapılarak sonuçta neyin elde edileceği değerlendirilmiştir. Bu sonuçlara göre YDD ile prosesin optimize edilip edilemeyeceği ve en uygun maliyet ile üretim yapılmasının önünün açılıp açılamayacağı değerlendirilmiştir. İşlevsel olarak birbirinin aynı ancak tüketimler açısında farklı alternatifler sunan iki farklı çinko fosfat kaplama senaryosunun değerlendirmesini yapan bu çalışma ile aşağıdaki sonuç ve öneriler elde edilmiştir.

Senaryo 1 ve Senaryo 2 ile yapılan çinko fosfat kaplamanın farklı çevresel etki kategorilerinde farklı sonuçları olduğu görüldü. Bunun temel nedeni her iki senaryonun da farklı yapıda olmasıdır. Senaryolar arasında üç temel fark vardır. Birincisi, tanklardaki su değişim süresi nedeni ile su tüketimi ve atık su oluşumu oranıdır. Sonuçlardan da anlaşılacağı gibi, tanklara kullanılan suların DI su üretimi prosesi ile elde edilmesi sebebi ile su ve atık su oranı etki kategorilerinde kilit rol oynamaktadır. İkinci fark, Senaryo 1 ‘in konvansiyonel olarak durulama tanklarında suyun sürekli açık bırakıldığı yöntemi Senaryo 2’nin ise tankların arasındaki geçişlerde ürünlerden damlama ile tanklara kimyasal geçişine engel olacak damlama sürelerini içermemesidir. Bu geçişin eklenmesi ile tankların su değişim periyotları uzatılır. Kalite risklerinin önlenmesi için üçüncü fark olarak Senaryo 1’e göre Senaryo 2’de daha fazla sıvı sodyum hidroksit tüketimidir. Sıkma DI su ünitesinin devreye girme süresinin azalması sebebi ile elektrik tüketimi çevresel etkilerinin de Senaryo 2’de Senaryo 1’e göre daha düşük olduğu görülmüştür. Düşük seviyede olması sebebi ile hava emisyon oluşumu sonuçları etkilememiştir. Atık kimyasal ambalaj geri kazanımının da her iki senaryoda da emisyon değerinin düşmesine katkısının olduğu görülmüştür. İki senaryonun çevresel etki kategorilerindeki sonuçlarına bakıldığında sadece sodyum hidroksit sürecinin Senaryo 2’de Senaryo 1’e göre daha fazla etkiye sahip olduğu görülmektedir. Ancak bu katkının oldukça düşük seviyede olmasından dolayı toplamda etki kategorilerinin tümünde Senaryo 1’in Senaryo 2’e göre çevre üzerinde daha olumsuz bir etkiye sahip olduğu sonucu bulundu. Kullanım miktarının iki vardiyada toplam 60gr gibi oldukça düşük olması sebebi ile bu sonucun elde edildiği şeklinde yorumlandı.

Elektrik tüketiminin hem Senaryo 1 hem de Senaryo 2 için; ozon tabakası inceltme, metal kaynak tüketimi, doğal arazi dönüşümü, radyasyon, fosil kaynak tüketimi etki kategorisi haricindeki tüm etki kategorilerinde en yüksek çevresel etkiye sahip olduğu görüldü. Sıkma somunu ürünü hammaddesinin hem Senaryo 1 hem de Senaryo 2için, fotokimyasal oksidasyon oluşumu (sisli duman), metal kaynak tüketimi, karasal asitleştirme etki kategorileri için görülebilir düzeyde bir çevresel etkiye sahiptir. Hava üfleyici(blower) ünitesi hem Senaryo 1 hem Senaryo 2 için tüm çevresel etki kategorilerinde benzer nitelikte olduğu görüldü. Çinko fosfat kaplamanın temel ham maddesini oluşturan fosforik asit tüketiminin hem Senaryo 1 hem Senaryo 2 için kentsel arazi işgali etki kategorisinde en yüksek çevresel etkiye sahip olduğu bulundu. DI su üretimi prosesi su tüketimini göstermekte olan süreç olup konvansiyonel olarak suyun kullanıldığı Senaryo 1'de; su tüketiminin azaltıldığı Senaryo 2'ye göre tüm çevresel etki kategorilerinde daha yüksek bulundu. İkinci yüksek görülen çevresel etki olan atık su oluşumu da yine aynı şekilde Senaryo 1'de; su tüketiminin azaltıldığı Senaryo 2'ye göre tüm çevresel etki kategorilerinde daha yüksek bulundu. DI su ünitesinin daha az devreye girmesi sebebi ile elektrik tüketimi iki senaryo arasında kıyaslandığında Senaryo 1'de; su tüketiminin azaltıldığı Senaryo 2'ye göre tüm çevresel etki kategorilerinde daha yüksek bulundu.

DI su üretimi prosesi; çinko fosfat kaplamaya su teminini sağlayan önemli bir prosestir. Şebeke suyundan beslenen DI Su elektrik girdisi ve bir takım filtrasyon işlemleri gerçekleştirerek suyun kaplama için uygun iletkenlik değerlerine ulaşmasını sağlar. Demirel ve diğerleri (2017), YDA' nın temel metodolojisi ve uygulama alanları kapsamında yaptıkları literatür derlemesi ile YDA metodunu kullanarak iki veya daha fazla ürününün kıyaslanmasının ve pazarlanması için karşılaştırılmasının mümkün olabileceğini ifade etmişlerdir. Yeni ürün tasarımı için veya mevcut ürünün geliştirilmesi için bu sonuçların kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Houillon ve Jolliet (2005) makalelerinde atık su arıtma çamuru farklı senaryoları ile karşılaştırma yapmışlardır. Çalışmalarında, yaşam döngüsü tüm arıtma boyunca küresel ısınmaya katkıda bulunan enerji ve emisyonlara odaklanmışlar ve yan ürünler tarafından önlenen yüklerin, enerji tüketimi ve kirletici emisyonları açısından çok önemli olduğu sonucuna varmışlardır. Eliceche ve diğerleri (2007) makalelerinde, bir yardımcı tesis prosesi sırasında proses optimizasyonu için çevresel yaşamın döngü etki değerlendirmesinin nicel bir amaç

fonksiyonu olarak kullanılabilir modelinin mevcut olduğunu belirtmişlerdir. Jacquemin ve diğerleri (2012) çalışmalarında, YDD metodolojisinin ekoloji ve çevresel hususların süreç tasarımı ve optimizasyonu ile endüstriyel bağlamda entegrasyonda kullanımına odaklanmışlardır. İncelemelerinde, YDD 'nin süreçlerin çok amaçlı optimizasyonu için envanteri elde etmek ve sonuçları sisteme enjekte etmek amacı ile sıklıkla kullanıldığını belirtmişlerdir. Bu çalışmada bir kaplama tesisinde su kullanımının azaltılması hususunda iki farklı senaryo oluşturuldu. Oluşturulan senaryolar için literatürden elde edilen bulguların ışığında, YDD 'nin bir kıyaslama mekanizması ve analitik bir karar alma mekanizması olarak kullanımı sorgulandı. Yapılan deneyler ve elde edilen veriler SimaPro yazılımı ile analiz edilerek $1m^2$ sıkma somunu ürünü kaplaması fonksiyonel birimi için YDD 'si gerçekleştirildi.

Senaryo 1 ile yapılan çalışmada %1,28 DI su ünitesi ve Senaryo 2 ile yapılan çalışmada %0,247 DI su ünitesi çevresel etki değeri bulundu. Su tüketimi azaltım senaryosunun çevresel etkiyi düşürdüğü sonucuna varıldı. Senaryo 1'de atık su çıktılarda %0,0243 değerinde çevresel etkiye sahiptir. Senaryo 2'de atık su çıktısı 10^{-5} sayısal değerinin altına gerilediği için çevresel etkinin gözle görülür bir oranda azaldığı sonucuna varıldı. Atık su oluşumu tesisin bir organize sanayi bölgesinde kurulu olması ve deşarjın doğal alıcı ortama yapılmaması sebebi ile her iki senaryo için de düşük çevresel yük olarak hesap edildiği sonucuna varıldı. DI su üretimi prosesinin elektrik tüketimi açısından katkısı Senaryo 1'de %1,27 iken Senaryo 2'de %0,245 olarak görülmektedir. Bu durumun sonucu olarak süreç katkı kıyaslanması ile çevresel etki birim bazlı kıyaslanması yapıldığında elektrik tüketimi Senaryo 1'de 399mPt iken Senaryo 2'de 391,75mPt olarak bulundu. Senaryo 2'de elektrik tüketimi çevresel etkisi Senaryo 1'e göre %1,8 daha az sonucuna varıldı.

Yapılan çalışma ile elde edilen verilere göre en yüksek çevresel etki değerine sebep olan iki temel parametrenin elektrik ve doğalgaz tüketimi olduğu bulundu. Çevresel etkisi insan sağlığı etki kategorisinde elektrik tüketimi Senaryo 1 için %67,58, Senaryo 2 için %68,51; doğalgaz tüketimi Senaryo 1 için %24,95, Senaryo 2 için %25,30 olarak bulundu. Doğal çevre etki kategorisinde Senaryo 1 için, elektrik tüketiminin %51,2 ve doğalgaz tüketiminin %43, Senaryo 2 için elektrik tüketiminin %51 ve doğalgaz

tüketiminin %43,54, katkısının olduğu bulundu. Kaynak kullanımı etki kategorisinde Senaryo 1 için elektrik tüketiminin %45,5, doğalgaz tüketiminin %49,4, Senaryo 2 için elektrik tüketiminin %46 ve doğalgaz tüketiminin %49,9 katkısının olduğu bulundu. Süreç katkı kıyaslanması ile çevresel etki birim bazlı kıyaslanması yapıldığında elektrik tüketimi Senaryo 1'de 399mPt iken Senaryo 2'de 391,75mPt ve doğalgaz tüketimi Senaryo 1'de ve Senaryo 2'de 246mPt olarak bulundu. Toplam Senaryo 1'in birim bazlı çevresel etkisinin 646mPt ve Senaryo 2'nin 639mPt olduğu sonucu değerlendirmeye alındığında elektrik ve doğalgaz tüketiminin en yüksek yüke sahip olduğu çıkarımı yapıldı. Aynı miktar ve değere sahip olmasına rağmen doğalgazın %'sel etki değerine bakıldığında Senaryo 2'de daha yüksek bir etkiye neden olduğu sonucuna varılması bir hata olabilecekti. Bu nedenle emisyon hesaplanması çalışmalarında sadece oransal değil birim bazlı etkilerin değerlendirmeye alınmasının önemli olduğu ve yanılmanın önüne geçileceği sonucuna varıldı.

Tüm bu elde edilen sonuçların ışığında YDD 'nin çevresel etkileri nicelleştirme için etkili ve faydalı bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır. $1m^2$ sıkma somunu ürünü kaplamasının yapıldığı tesisin su ve atık su için farklı senaryolar ile çevresel anlamda iyileştirilmiş sonuçları elde edebileceği görülmüştür. Elde edilen bulgular ışığında YDD 'nin sürdürülebilirliğe katkı sağlayacağı sonucuna varılmıştır. Literatürdeki farklı enerji tüketimi çalışmaları kıyaslandığında rüzgâr türbinleri, güneş enerjisi santralleri gibi farklı enerji tüketim senaryolarının daha az çevresel yük etkisinin ortaya çıkarılabileceği görüldü. Sezginer, (2020), çalışmasında çinko fosfat kaplama kimyasalı üretimi YDD' sini gerçekleştirmiştir. Çalışmasında rüzgâr türbini, güneş enerjisi ve normal şebekeden tüketimleri kıyaslamasını yapmıştır. En yüksek çevresel yükün şebekeye dayalı elektrik eldesi ile ve en düşük yükün rüzgâr türbini olduğunun sonucuna varmıştır. Bu çalışmada elde edilen bulgularda elektrik tüketiminin çevresel etki açısından en yüksek yüke sahip olması sebebi ile yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesi ve enerjinin verimliliği için daha başka çalışmalar yapılmasının önü açıktır. Dolayısıyla yenilenebilir enerji kaynaklarının etkisinin yatırım öncesinde değerlendirilebileceği bir çalışma; YDD analitik bir karar verme mekanizması olarak kullanılabileceği için önerilmektedir. Buna ek olarak kaplama prosesleri ile ilgili YDD çalışmalarının yapılması çok sınırlı sayıda çalışma bulunabileceğinden tavsiye edilmektedir.

KAYNAKLAR

Amps to Kilowatts Converter. (2022).
Erişim Adresi: https://www.easyunitconverter.com/amps-to-kw

Ankara Üniversitesi. (2022). Ankara Üniversitesi Açık Ders Malzemeleri. Erişim Adresi:https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/141777/mod_resource/content/0/Literat%C3%BCr%20Taramas%C4%B1.pdf.

Anonim. (2022). Erişim Adresi: https://www.google.com/search?q=cap+nut+for+engine

Anonim. (2022). Sustainability | meaning in the *Cambridge English Dictionary*. (2022). Erişim Adresi: https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/sustainability .

Arrigoni, A., Arosio, V., Basso Peressut, A., Latorrata, S., & Dotelli, G. (2022). Greenhouse Gas Implications of Extending the Service Life of PEM Fuel Cells for Automotive Applications: A Life Cycle Assessment. *Clean Technologies*, 4(1), 132-148.

Babel, M. S., Oo, E., Shinde, V. R., Kamalamma, A. G., & Haarstrick, A. (2020). Comparative study of water and energy use in selected automobile manufacturing industries. *Journal of Cleaner Production*, 246, 118970.

Baloyi, T., Maledi, N., & Andrews, A. (2022). Corrosion performance of zinc phosphate coatings deposited on AA6061-HDG steel. *Materials Chemistry and Physics*, 126009.

Black, M. J., Borrion A. L. and Mwabonje O. (2021). Chapter 1: Theories and Tools for the Assessment of Environmental Impacts of Human Activities, in *Life Cycle Assessment: A Metric for the Circular Economy*, 2021, pp. 1-26 DOI: 10.1039/9781788016209-00001 eISBN: 978-1-78801-620-9

Bostancı, S. (2021). Yerel Gündem 21'den Yerel Gündem 2030'a Geçiş Ne Tür Yenilikler Getiriyor?. *JOEEP: Journal of Emerging Economies and Policy*, 6 (1), 114-123. Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/joeep/issue/60112/888002.

Ceylan Öztürk, Y. (2013). Otomotiv endüstrisinde kullanılan tampon ve turbo emiş borusunun yaşam döngüsü değerlendirmesi *(Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).*

Dai, Q., Kelly, J. C., Gaines, L., & Wang, M. (2019). Life cycle analysis of lithium-ion batteries for automotive applications. *Batteries*, 5(2), 48.

Demirel, Y. E., Öztürk, P. H., Öztürk, E., & Kitiş, M. (2017). Yaşam döngüsü analizi ve endüstriyel uygulama örnekleri. *12. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi*.

Eliceche, A. M., Corvalán, S. M., & Martínez, P. (2007). Environmental life cycle impact as a tool for process optimisation of a utility plant. *Computers & chemical engineering*, 31(5-6), 648-656.

Ghali, K., Ghaddar N., Salam M., 2005, Radiant domestic combustion stove system: Experimental and simulatedstudy of energyuseandthermalcomfort, *International Journal of Green Energy, 2, 287-306.*

Gürsel, A. P., & Meral, Ç. (2012). Türkiye'de Çimento Üretiminin Karşılaştırmalı Yaşam Döngüsü Analizi. *2. Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi*, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, 1-13.

Hossain, M. U., & Poon, C. S. (2021). Case Study–Construction Materials (Cement, Aggregates and Concrete Products). *In Life Cycle Assessment* (pp. 105-133).

Hoxha, E., Maierhofer, D., Saade, M. R. M., & Passer, A. (2021). Influence of technical and electrical equipment in life cycle assessments of buildings: case of a laboratory and research building. *The International Journal of Life Cycle Assessment,* 26(5), 852-863.

Houillon, G., & Jolliet, O. (2005). Life cycle assessment of processes for the treatment of wastewater urban sludge: energy and global warming analysis. *Journal of cleaner production,* 13(3), 287-299.

International reference life cycle data system (ILCD) handbook. (2010). European Commision.

ISO 14040-14044 *International Standard,* 2006.

Jacquemin, L., Pontalier, P. Y., & Sablayrolles, C. (2012). Life cycle assessment (LCA) applied to the process industry: a review. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 17(8), 1028-1041.

Kılıç, E. E. (2017). Bir araç koltuğunun yaşam döngüsü değerlendirmesi ile çevresel etkilerinin incelenmesi *(Master's thesis, Bursa Teknik Üniversitesi).*

Kwak, M., Kim, L., Kim, H. M., Finamore, P., & Hazewinkel, H. (2012, August). Comparative life cycle assessment of complex heavy-duty off-road equipment. *In International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference* (Vol. 45042, pp. 425-433). American Society of Mechanical Engineers.

Mayyas, A., Omar, M., Hayajneh, M., & Mayyas, A. R. (2017). Vehicle's lightweight design vs. electrification from life cycle assessment perspective. *Journal of Cleaner Production,* 167, 687-701.

Meadows, D. H., Randers, J., & Behrens III, W. W. (1972). The limits to growth: a report to the club of Rome (1972). *Google Scholar*, 91.

Oliveira, L., Messagie, M., Mertens, J., Laget, H., Coosemans, T., & Van Mierlo, J. (2015). Environmental performance of electricity storage systems for grid applications, a life cycle approach. *Energy conversion and management*, 101, 326-335.

Organic Coatings 1968, (1968). U.S. Goverment Printing Office.

Özdemir, N. (2017). Dördüncü Sanayi Devrimi ve Gelenek Kültürü. *Dokuzuncu Milletlerarası Türk Halk Kültürü Kongresi, Kültür ve Turizm Bakanlığı,* C. 1, s. 207-241.
Telenko, C., Seepersad, C. C., & Webber, M. E. (2008, January). A compilation of design for environment principles and guidelines. *International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference* (Vol. 43291, pp. 289-301).

Peng, T., Ou, X., & Yan, X. (2018). Development and application of an electric vehicles life-cycle energy consumption and greenhouse gas emissions analysis model. *Chemical Engineering Research and Design*, 131, 699-708.

Rossi, L., Leone, D., Barni, A., & Fontana, A. (2022). Assessing the Sustainability of Industrial Equipment Life Extension Strategies through a Life Cycle Approach: Methodology and Practical Guidelines. *Processes*, 10(2), 203.

Salonitis, K., Jolly, M., Pagone, E., & Papanikolaou, M. (2019). Life-cycle and energy assessment of automotive component manufacturing: the dilemma between aluminum and cast iron. *Energies*, 12(13), 2557.

Sankara Narayanan, T. S. N. (2005). Surface pretretament by phosphate conversion coatings-A review. *Reviews in Advanced Materials Science*, 9, 130-177.

Sezginer, H. İ. (2020). Environmental life cycle assessment of zinc phosphating chemicals *(Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).*

Silva, D. A. L., de Oliveira, J. A., Filleti, R. A. P., de Oliveira, J. F. G., da Silva, E. J., & Ometto, A. R. (2018). Life Cycle Assessment in automotive sector: A case study for engine valves towards cleaner production. *Journal of Cleaner Production*, 184, 286-300.

Stone, K. R., & Tolle, D. A. (1998). Life cycle assessment of chemical agent resistant coatings. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 3(1), 3-11.

Sucu, A. (2006). Ürün yaşam döngüsü analizi ve çevre etkileri göz önüne alınarak teknik ürün sistemlerinin geliştirilmesi.

Tam, V. W., Zhou, Y., Illankoon, C., & Le, K. N. (2022). A critical review on BIM and LCA integration using the ISO 14040 framework. *Building and Environment*, 213, 108865.

Teknik Yazılar. (2016). Erişim Adresi: http://teknikyaz.blogspot.com/2016/05/yuzey-islem.html

The Fourth Industrial Revolution: what it means and how to respond, World Economic Forum, Erişim Adresi: https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/

The Millennium Development Goals Report. (2015). *United Nations New York.* https://www.un.org/millenniumgoals/2015_MDG_Report/pdf/MDG%202015%20rev%20(July%201).pdf

Tolomeo, R., De Feo, G., Adami, R., & Sesti Osséo, L. (2020). Application of life cycle assessment to lithium ion batteries in the automotive sector. *Sustainability,* 12(11), 4628.

Tsoy, N., Prado, V., Wypkema, A., Quist, J., & Mourad, M. (2019). Anticipatory Life Cycle Assessment of sol-gel derived anti-reflective coating for greenhouse glass. *Journal of Cleaner Production,* 221, 365-376.

Vigon, B.W., Tolle, D.A., Cornaby, B.W., Latham, H.C., Harrison, C.L., Boguski, T.L., Hunt, R.G., Sellers, J.D. ve USEPA Risk Reduction Engineering Laboratory (1994). *Life−cycle assessment inventory guidelines and principles,* USA: Lewis Publishers,

Wang, C. M., Liau, H. C., & Tsai, W. T. (2006). Effects of temperature and applied potential on the microstructure and electrochemical behavior of manganese phosphate coating. *Surface and coatings Technology,* 201(6), 2994-3001.

World Commission on Environment and Development (1987). Our Common Future. *Oxford: Oxford University Press.* s. 27. ISBN 019282080X.

Zahia, K., Abdelaziz, T., & Brahim, S. (2020). Comparative Life Cycle Assessment of Two Types of Truck Bumper Produced in the Algerian Auto Industry. *Journal of Resources and Ecology*, 11(4), 378-387.