



**BİR ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİ  
ATIKSU GERİ KAZANIM TESİSİNİN  
YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ YÖNTEMİYLE  
ÇEVRESEL ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Seda ÇAPA**

**Eskişehir, 2019**

**BİR ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİ ATIKSU GERİ KAZANIM TESİSİNİN  
YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ YÖNTEMİYLE ÇEVRESEL  
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**Seda ÇAPA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. Aysun ÖZKAN**

**Eskişehir**

**Eskişehir Teknik Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Mart 2019**

## JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

**Seda ÇAPA'nın** “Bir Organize Sanayi Bölgesi Atıksu Geri Kazanım Tesisinin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Yöntemiyle Çevresel Etkilerinin İncelenmesi” başlıklı tezi 15/03/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek “Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği”nin ilgili maddeleri uyarınca, Çevre Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

<u>Unvanı Adı Soyadı</u>	<u>İmza</u>
Üye (Tez Danışmanı) : Doç. Dr. Aysun ÖZKAN	.....
Üye : Dr.Öğr.Üyesi Göktuğ GÜNKAYA	.....
Üye : Dr. Öğr.Üyesi Alp ÖZDEMİR	.....

**Prof.Dr. Ersin YÜCEL**  
**Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü**

## ÖZET

### BİR ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİ ATIKSU GERİ KAZANIM TESİSİNİN YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ YÖNTEMİYLE ÇEVRESEL ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Seda ÇAPA

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Teknolojileri

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mart 2019

Danışman: Doç.Dr. Aysun ÖZKAN

Endüstriyel alanların hızlı bir şekilde gelişimi ve yüksek miktarda tatlı su kaynağı kullanımı, atıksu deşarjı ile sonuçlanmaktadır. Bu çalışmada, Türkiye'deki bir atıksu geri kazanım tesisinin çevresel etkileri için Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA) çalışması gerçekleştirilmiş ve sonuçlar parasallaştırılmıştır. Sistem sınırı, ön arıtma ünitesi ile başlamakta ve biyolojik arıtma, çözülmüş hava flotasyonu (DAF), kimyasal arıtma, mekanik ve kum filtreleri, ultrafiltrasyon (UF) ünitesi, aktif karbon ünitesi, ters osmoz ünitesi ve ultraviyole (UV) ünitesi ile sonlanmaktadır. Fonksiyonel birim, 1 m<sup>3</sup> atıksuyun geri kazanılması olarak seçilmiştir. LCA analizi, SimaPro 8.5.0. yazılımında CML-IA (v.3.03) etki değerlendirme yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Çevresel etkiler; abiyotik kaynakların (element ve fosil yakıt bazlı) tükenme potansiyeli (ADP), asidifikasyon potansiyeli (AP), ötrofikasyon potansiyeli (EP), fotokimyasal sis (POP), tatlı su ekosistemine olan ekotoksosite potansiyeli (FAETP), küresel ısınma potansiyeli (GWP), ozon tabakasının tükenmesi potansiyeli (ODP), insanların üzerine olan toksik etki potansiyeli (HTP), deniz ekosistemine olan ekotoksosite potansiyeli (MAETP) ve kara ekosistemine olan ekotoksosite potansiyeli (TETP) etki kategorilerinde incelenmiştir. Sonuçlar, ileri arıtma teknolojilerinin çevresel yükleri önemli ölçüde artırmadığını ve böylece su sıkıntısı yaşanan alanlarda suyun yeniden kullanılmasıyla ilgili teknolojilerin yoğun olarak kullanılabilceğini göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Atıksu arıtımı, Atıksu geri kazanımı, İleri arıtım, Parasallaştırma, Yaşam döngüsü değerlendirme.

## ABSTRACT

### ENVIRONMENTAL IMPACT ANALYSIS OF ORGANIZED INDUSTRIAL ZONE WASTEWATER RECYCLING PLANT WITH LIFE CYCLE ASSESSMENT METHOD

Seda ÇAPA

Department of Environmental Engineering Program

Eskişehir Technical University, Graduate School of Sciences, March 2019

Supervisor: Doç.Dr. Aysun ÖZKAN

The rapid development of industrial sites has resulted in large freshwater use and wastewater discharge. In this study, Life Cycle assessment (LCA) was carried out for wastewater recovery plant located in Turkey and monetization studies were realized. System boundaries are included pretreatment unit, biological treatment, dissolved air flotation (DAF), chemical treatment units, mechanical and sand filters, ultrafiltration (UF) unit, activated carbon unit, reverse osmosis unit and ultraviolet (UV) unit. The functional unit was selected as recycling of 1 m<sup>3</sup> wastewater. Environmental impacts were evaluated using CML-IA (v.3.03) method built into SimaPro 8.5.0. software. The calculated impact indicators include element and fossil fuel based abiotic depletion potential (ADP), acidification potential (AP), eutrophication potential (EP), photochemical creative oxidant potential (POCP)fresh water aquatic ecotoxicity potential (FAETP), global warming potential (GWP, 100 years), Ozone Depletion Potential (ODP), human toxicity potential (HTP), marine aquatic toxicity potential (MAETP), and terrestrial ecotoxicity potential (TETP). These impact categories are chosen because of its relevance to wastewater treatment. Results of study have proved that advanced treatment technology does not increase environment load and thereby technologies of reuse of water can be applied to water-scarce area intensively.

**Keywords:** Wastewater treatment, Wastewater recycling, Advanced treatment, Monetization, Life cycle assesment.

## ÖNSÖZ

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, değerli bilgilerini benimle paylaşan, kendisine ne zaman danışsam bana kıymetli zamanını ayırıp sabırla ve büyük bir ilgiyle bana faydalı olabilmek için elinden gelenden fazlasını sunan her sorun yaşadığımda yanına çekinmeden gidebildiğim, güler yüzünü ve samimiyetini benden esirgemeyen kıymetli danışman hocam Doç. Dr. Aysun ÖZKAN'na ve çalışmamda önerileriyle beni yönlendiren Prof.Dr. Müfide BANAR ve Dr.Öğretim Üyesi Zerrin GÜNKAYA'ya teşekkürü bir borç biliyor ve şükranlarımı sunuyorum. Yine çalışmamda konu, kaynak ve yöntem açısından bana sürekli yardımda bulunan Dr.Öğretim Üyesi Alp ÖZDEMİR'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam sürecinde manevi desteğini esirgemeyen Asım Kibar Organize Sanayi Bölgesi Bölge Müdürü Sayın Sadiye DIŞBUDAK'a, yaşam döngüsü envanterinin oluşturulmasında gerekli bilgileri paylaşan Asım Kibar Organize Sanayi Bölgesi İmar ve Yapı İşleri Birim Yöneticisi Serkan DURAN'a ve Mekanik Birim ve Arıtma Tesisi Yöneticisi Hakkı Baran DEMİRLİ'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma sürecinde ve arkadaşlığımız süresince maddi ve manevi desteklerinden dolayı sevgili dostum Müge TAŞ'a,

Ve en önemlisi hayatım boyunca maddi ve manevi desteğini benden esirgemeyen, bana hep destek olan Annem Hülya ÇAPA'ya, Babam Coşkun ÇAPA'ya, Ablam Eda ÇAPA KIZILTAŞ'a sonsuz sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

SEDA ÇAPA

15/03/2019

## ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Seda ÇAPA

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

BAŞLIK SAYFASI .....	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	iii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ .....	vi
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xi
GÖRSELLER DİZİNİ .....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xiii
1. GİRİŞ .....	1
2. ATIKSULARIN GERİ KAZANIM TEKNİKLERİ VE KULLANIM ALANLARI .....	3
2.1. Dünyada ve Türkiye’de Geri Kazanım Suyu Kullanım Alanları .....	6
2.1.1. Dünyada geri kazanım kullanım alanları (İspanya ve İsrail Örneği)6	
2.1.2. Türkiye’de geri kazanım suyu kullanımı (Kocaeli Örneği) .....	8
3. YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ (LCA) VE PARASALLAŞTIRMA.....	11
3.1. Yaşam Döngüsü Analizi (LCA) .....	11
3.1.1. LCA alanında faaliyet gösteren uluslararası aktörler .....	12
3.1.2. Sistemin yapısı .....	13
3.1.2.1. <i>Hedef ve kapsamın belirlenmesi</i> .....	13
3.1.2.2. <i>Fonksiyonel birim (İşlevsel Birim)</i> .....	14
3.1.2.3. <i>Sistem sınırları</i> .....	14
3.1.2.4. <i>Veri kalitesi</i> .....	15
3.1.2.5. <i>Kritik gözden geçirme</i> .....	15



3.1.3. Envanter analizi /değerlendirmesi.....	16
3.1.4. Etki değerlendirme.....	17
3.1.2.6. Sınıflandırma.....	17
3.1.2.7. Karakterizasyon.....	17
3.1.2.8. Normalizasyon ve ağırlıklandırma.....	19
3.1.2.9. Yorum.....	19
3.2. Parasallaştırma.....	20
<b>4. KONUSYLA İLGİLİ LİTERATÜR ÇALIŞMALARI.....</b>	<b>27</b>
4.1. LCA İle İlgili Yapılan Çalışmalar.....	27
4.2. Parasallaştırma İle İlgili Yapılan Çalışmalar.....	34
<b>5. MATERYAL VE METOD.....</b>	<b>37</b>
5.1. Atıksu Geri Kazanımı ve LCA Uygulaması.....	37
5.1.1. Hedef ve kapsam tanımı.....	37
5.1.2. Yaşam döngüsü envanter analizi.....	51
5.1.3. Etki analizi.....	53
5.1.4. Yorum.....	54
5.2. Atıksu Geri Kazanım Tesisi Sistemi ve Parasallaştırma.....	54
5.2.1. Hedef ve kapsam tanımı.....	56
5.2.2. Maliyet bileşenlerinin belirlenmesi.....	56
5.2.3. Maliyet verilerine ait envanterin oluşturulması.....	57
<b>6. BULGULAR.....</b>	<b>58</b>
6.1. Atıksu arıtma tesisi LCA Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....	58
6.2. Atıksu geri kazanım tesisi LCA Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....	61
6.3. Atıksu geri kazanımının parasallaştırma sonuçları ve değerlendirilmesi.....	65
<b>7. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER.....</b>	<b>68</b>
<b>KAYNAKÇA.....</b>	<b>71</b>
<b>EKLER</b>	
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

<b>Çizelge 2.1.</b> Atıksu geri kazanımında uygulanan arıtma teknolojileri ve giderdikleri kirleticiler.....	<b>3</b>
<b>Çizelge 2.2.</b> Abonelik yapılan sanayi kuruluşları.....	<b>9</b>
<b>Çizelge 5.1.</b> 1 m <sup>3</sup> atıksu geri kazanımının yaşam döngüsü envanteri .....	<b>52</b>
<b>Çizelge 5.2.</b> Etki kategorilerinin ağırlıklandırma faktörleri .....	<b>55</b>
<b>Çizelge 5.3.</b> Yaşam döngüsü maliyet bileşenlerinin sınıflandırılması .....	<b>56</b>
<b>Çizelge 6.1.</b> 1 m <sup>3</sup> atıksu arıtma tesisi karakterizasyon ve normalizasyon sonuçları ...	<b>58</b>
<b>Çizelge 6.2.</b> 1 kg çamur arıtımı karakterizasyon ve normalizasyon sonuçları .....	<b>60</b>
<b>Çizelge 6.3.</b> 1 m <sup>3</sup> atıksu geri kazanımının karakterizasyon ve normalizasyon sonuçları .....	<b>62</b>
<b>Çizelge 6.4.</b> 1 m <sup>3</sup> geri kazanım suyunun karakterizasyon sonuçlarının proses bazında dağılımı.....	<b>62</b>
<b>Çizelge 6.5.</b> İçsel maliyet sonuçların dağılımı (%) .....	<b>66</b>
<b>Çizelge 6.6.</b> LCA sonuçlarına göre belirlenen parasallaştırma değerleri .....	<b>67</b>
<b>Çizelge 7.1.</b> Konuyla ilgili literatürlerin karşılaştırılması .....	<b>68</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. 2004 yılında İspanya’da atıksuların yeniden kullanım miktarı .....	6
Şekil 3.1. LCA aşamaları.....	11
Şekil 3.2. LCA envanter analizi.....	17
Şekil 5.1. Sistem sınırları.....	38
Şekil 5.2. Sistem akış şeması.....	41



## GÖRSELLER DİZİNİ

### Sayfa

<b>Görsel 2.1.</b> Ben Gurion Havaalanı geri kazanım tesisi .....	<b>8</b>
<b>Görsel 5.1.</b> Fiziksel arıtma ünitesi görüntüsü.....	<b>42</b>
<b>Görsel 5.2.</b> Biyolojik(MBBR) arıtma ünitesi görüntüsü .....	<b>43</b>
<b>Görsel 5.3.</b> DAF ünitesi görüntüsü .....	<b>43</b>
<b>Görsel 5.4.</b> Kimyasal Arıtma ünitesi görüntüsü(koagülasyon).....	<b>45</b>
<b>Görsel 5.5.</b> Kimyasal Arıtma ünitesi görüntüsü(flokülasyon) .....	<b>45</b>
<b>Görsel 5.6.</b> Çamur Arıtma ünitesi görüntüsü(dekantör).....	<b>46</b>
<b>Görsel 5.7.</b> Mekanik Fİltre ünitesi görüntüsü .....	<b>47</b>
<b>Görsel 5.8.</b> Kum Filtresi ünitesi görüntüsü .....	<b>47</b>
<b>Görsel 5.9.</b> UF ünitesi görüntüsü .....	<b>48</b>
<b>Görsel 5.10.</b> Aktif Karbon ünitesi görüntüsü .....	<b>49</b>
<b>Görsel 5.11.</b> Kartuş Filtre ünitesi görüntüsü .....	<b>49</b>
<b>Görsel 5.12.</b> Ters Osmoz(RO) ünitesi görüntüsü.....	<b>50</b>
<b>Görsel 5.13.</b> Ultraviyole (UV) ünitesi görüntüsü.....	<b>51</b>
<b>Görsel 6.1.</b> “1 m <sup>3</sup> ” atıksu geri kazanımı karakterizasyon sonuçları.....	<b>63</b>
<b>Görsel 6.2.</b> “1 m <sup>3</sup> ” atıksu geri kazanımı normalizasyon sonuçları .....	<b>63</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AAT	: Atıksu Arıtma Tesisi
AB	: Avrupa Birliği
ACF	: Aktif Karbon
ADP	: Abiyotik Kaynakların Tükenmesi Potansiyeli (Abiotic Depletion Potential)
AKM	: Askıda Katı Madde
AKOSB	: Asım Kibar Organize Sanayi Bölgesi
AP	: Asidifikasyon Potansiyel (Acidification Potential)
BAHY	: Biyoçeşitlilik Ayarlı Hektar Yılı
BOİ	: Biyolojik Oksijen İhtiyacı
BOSB	: Bursa Organize Sanayi Bölgesi
CC	: İklim Değişikliği (Climate Change)
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	: Asetilen
CH <sub>4</sub>	: Metan
CO	: Karbon Monoksit
CO <sub>2</sub>	: Karbon Dioksit
CFC	: Kloroflorokarbonlar
ED	: Elektrodializ
EEA	: Avrupa Çevre Ajansı (European Environment Agency)
EP	: Ötrofikasyon Potansiyeli (Eutrophication Potential)
EPA	: Avrupa Çevre Koruma Ajansı
EUAS	: Elektrik Üretim Anonim Şirketi
DAF	: Çözünmüş Hava Flotasyonu
FAETP	: Yüzey Sularına Olan Ekotoksisite Potansiyeli (Freshwater Aquatic Eco-toxicity Potential)
FD	: Tatlı Su Ötrofikasyonu (Freshwater Eutrophication)
FE	: Fosil Tükenmesi (Fossil Depletion)
FeCl <sub>3</sub>	: Demir III Klorür
GDP	: Gayri Safi Milli Hasıla
GEM	: Global Environmental Management Initiative
GW	: Gri Su

GW	: Küresel Isınma Potansiyeli (Global Warming Potential)
HCl	: Hidrojen Klorür
HTP	: İnsanlar Üzerine Olan Toksik Etki Potansiyeli (Human Toxicity Potential)
IPP	: Entegre Ürün Politikası
ISO	: Uluslararası Standart Organizasyonu (International Organization for Standardization)
İSU	: İzmit Su ve Kanalizasyon İdaresi
İZAYDAŞ	: İzmit Atık ve Artıkları Arıtma Yakma Ve Değerlendirme A.Ş.
KDV	: Katma Değer Vergisi
LCA	: Yaşam Döngüsü Analizi/Değerlendirilmesi
LCC	: Yaşam Döngüsü Maliyeti (Life Cycle Cost)
LCI	: Yaşam Döngüsü Envanter Analizi
LCIA	: Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi
LCCA	: Yaşam Döngüsü Maliyeti Analizi (Life Cycle Cost Analyses)
LCM	: Yaşam Döngüsü Yönetimi (Life Cycle Management)
N	: Azot
NaOCl	: Sodyum Hipoklorit(Klor)
NaOH	: Sodyum Hidroksit
NH <sub>3</sub>	: Amonyak
NO <sub>x</sub>	: Azot Oksitler
M <sup>3</sup>	: Metreküp
MBR	: Membran Bioreaktör
MBBR	: Akışkan yataklı bio reaktör
ME	: Deniz Ötrofikasyonu (Marine Eutrophication)
MD	: Metallerin Tükenmesi (Metal Depletion)
MF	: Mekanik Filtre
OD	: Ozon Tabakasının İncelmesi (Ozone Depletion)
ODP	: Ozon Tabakasının Tükenmesi Potansiyeli (Ozone Depletion Potential)
OSB	: Organize Sanayi Bölgeleri
OSBBS	: Organize Sanayi Bölgeleri Bilgi Portalı
PAH	: Poli-Aromatik Hidrokarbonlar

PO <sub>4</sub>	: Fosfat
POCP	: Fotokimyasal Oksidant Oluşturma Potansiyeli (Photo-chemical Creative Oxidant Potential)
POF	: Fotokimyasal Oksidant Oluşumu (Photochemical Oxidant Formation)
POP	: Fotokimyasal Sis Potansiyeli (Photochemical Oxidation Potential)
PPP	: Satın Alma Gucu Paritesi
REPA	: Kaynak ve Çevresel Profil Analizleri (Resource and Environmental Profile Analysis)
RO	: Ters osmoz
S	: Kükürt
SEK	: İsveç Kronu
SETAC	: Çevresel Toksikoloji ve Kimya
SKKY	: Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği
SMBS	: Sodyum Metabisülfid
SO <sub>2</sub>	: Sülfürdioksit
SWH	: Güneş Enerjili Su Isıtıcı
TA	: Karasal Asidifikasyon (Terrestrial Acidification)
TDS	: Toplam Çözünmüş Madde
TEP	: Kara Ekosistemine Olan Toksik Etki Potansiyeli (Terrestrial Ecotoxicity Potential)
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu Başkanlığı
TOSB	: Otomotiv Yan Sanayi İhtisas Organize Sanayi Bölgesi
TT	: Toplam Toksikite (Total Toxicity)
UF	: Ultrafiltrasyon
UNEP	: Birleşmiş Milletler Çevre Programı
UV	: Ultraviyole
WD	: Su Tükenmesi (Water Depletion)
WF	: Ağırlıklandırma faktörü
WTP	: Ödeme istekliliği (willingness-to-pay)
WWTP	: Atıksu Arıtma tesisi
QALY	: Kaliteye Ayarlanmış Yaşam Yılı

## 1. GİRİŞ

Günümüzde, hızlı nüfus artışı ve sanayileşme faaliyetleri sonucunda su kullanımını artmıştır. Bu nedenle, kaynaklarının sürdürülebilir bir şekilde kullanımı ve korunması oldukça önemlidir. Türkiye de yakın bir dönem içinde, su sorunu yaşamaya aday bir ülke olarak düşünülmektedir. Bunun sebebi ise, Türkiye'nin yağış düzensizlikleri ve sahip olduğu topoğrafyasındaki su kaynaklarının kontrol edilemeyişidir. 2030 yılında nüfusun 100 milyon olacağını öngörüldüğünde, kişi başına düşen kullanılabilir su miktarının yaklaşık 1000 m<sup>3</sup>/yıl olacağı belirlenmiştir. Atık suyun geri kazanımı su sıkıntısı problemi için bulunan çözümlerden birisidir. Böylece mevcut su kaynakları korunmakta ve su ihtiyacını karşılamak için yeni bir kaynak kullanılmamaktadır (Duman, 2017).

Türkiye İstatistik Kurumu'nun Organize Sanayi Bölgeleri (OSB) Su ve Atıksu İstatistikleri Anketi kapsamındaki kayıtlarına göre, 2016 yılında OSB'ler tarafından su şebekesi ile dağıtılmak üzere 175 milyon m<sup>3</sup> su çekildiği belirtilmiştir. Ayrıca, 2016 yılında OSB kanalizasyon şebekelerine 263 milyon m<sup>3</sup> atıksu deşarj edilmiş olup, OSB Atıksu Arıtma Tesis (AAT)'lerinde 229 milyon m<sup>3</sup> atıksuyun arıtıldığı belirtilmiştir (TÜİK, 2017).

Türkiye'de mevcut OSB sayısı 309 olup, bunlardan 87'sinin Marmara Bölgesi'nde olduğu bilinmektedir (OSBBS, 2018). OSB'deki AAT'lere gelen endüstriyel atıksular, OSB'nin tabi olduğu Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Kanala Deşarj limitlerini sağlamak amacıyla ön arıtma işlemi yapıldıktan sonra, evsel atıksular ise herhangi bir işleme tabi tutulmadan altyapı şebekesine verilmekte ve AAT'ye ulaşmaktadır. AAT'ye ulaşan suyun Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) hükümlerine göre, "SKKY Tablo 19: Karışık Endüstriyel Atıksuların Alıcı Ortama Deşarj Standartları (Küçük ve Büyük Organize Sanayi Bölgeleri ve Sektör Belirlemesi Yapılamayan Diğer Sanayiler)" yer alan sınırlar çerçevesinde arıtılması gerekmektedir (SKKY, 2004).

Ülkemizde, su temini ve atıksuların yeniden kullanımı, geri kazanılmış atıksuyun pazarlanması, maliyet analizi, atıksuyun geri kazanılması ve yeniden kullanılmasına yönelik tesislerin planlanmasında takip edilecek adımlar konusunda



henüz eksikler söz konusu olup, ülkemizde ve dünyada atıksuların geri kazanılması ve kullanılmasına yönelik çalışmalar devam etmektedir (Duman, 2017).

Bu noktadan hareketle bu tezde, bir organize sanayi bölgesi AAT'nin, çevreye olan etkilerini değerlendirmek amacı ile Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA) ve parasallaştırma (monetization) çalışmaları gerçekleştirilmiş ve geleneksel bir arıtma prosesi ile atıksu geri kazanım tesisinin sonuçları karşılaştırılmıştır.



## 2. ATIKSULARIN GERİ KAZANIM TEKNİKLERİ VE KULLANIM ALANLARI

Atıksuların geri kazanılması ve yeniden kullanılmasında atıksuyun parametrelerine dikkat edilmeli ve kullanım amacına göre belli standartlara getirilmesi gerekmektedir. Atık suyun yeniden kullanımı teorik olarak, her durumunda mümkün olabilmekle birlikte, uygulama ekonomik koşullarla doğru orantılıdır. Arıtılmış atık suyun geri kullanımı için seçilen teknoloji; arıtılmış atık suyun özelliklerine, geri kullanım amacına, işletme kolaylığı ve ekonomik koşullara bağlı olarak belirlenmelidir. Çizelge 2.1’de atıksu geri kazanımında uygulanan teknolojiler ve bu teknolojilerin giderdiği kirleticiler verilmiştir. Atıksuyun tekrar kullanılmasında günümüzde en yaygın kullanılan teknolojiler, sodyum hipoklorit, ultraviyole (UV) radyasyon ve O<sub>3</sub> gibi oksidanlar, sulak alanlar gibi biyolojik işlemler, orta filtrasyon ve membran prosesleri ve elektrokimyasal işlemlerdir. Geri kazanılan suyun en zararlı kirleticileri tuzluluk, patojenler ve ağır metallerdir (Başkan, 2006).

**Çizelge 2.1.** Atıksu geri kazanımında uygulanan arıtma teknolojileri ve giderdikleri kirleticiler

Arıtma Birimleri	Askıda Katı Madde	Kolloidal Maddeler	Parçacıklar Organik Madde	Çözülmüş Organik Madde	Azot	Fosfor	Eser Maddeler	Toplam Çözülmüş Madde	Bakteri	Protozoa	Virüs
İkincil Arıtma	X			X							
Nutrient Giderimi				X	X	X					
Filtrasyon	X								X	X	
Yüzey Filtrasyon	X		X						X	X	
Mikrofiltrasyon	X	X	X						X	X	
Ultrafiltrasyon	X	X	X						X	X	X
Flotasyon	X	X	X							X	X
Nanofiltrasyon			X	X			X	X	X	X	X
Ters Osmoz				X	X	X	X	X	X	X	X
Elektrodiyaliz		X						X			
Karbon Adsorpsiyonu				X			X				
İyon Değişirme					X		X	X			
İleri Oksidasyon			X	X			X		X	X	X
Dezenfeksiyon				X					X	X	X

Nüfus yoğunluğunun fazla olduğu yerlerde ve su kaynaklarının kısıtlı olduğu bölgelerde atıksu önemli bir su kaynağı olabilmektedir. Su kaynaklarını daha az ve verimli kullanmak için yeni uygulama ve yöntemlerin önemi vurgulanmakta ve bu uygulamaların başında, atıksuların arıtılarak yeniden kullanılması gelmektedir (Angelakis ve Snyder, 2015). Atıksuların geri kazanımının birçok yararı bulunmaktadır, bunlar:

- Sürdürülebilir bir su kaynağı sağlanmaktadır.
- Enerji tüketiminin azalmasına neden olur.
- Temiz su kaynaklarının az tüketilmesine neden olur.
- Yüzey sularının kalitesinin bozulmasını engeller.
- Su temini maliyetlerinin azalmasını sağlar (Demir vd, 2017).

Geri kazanılan atıksuların kullanım amaçları birden fazladır;

a) Kentsel ve Evsel Amaçlı Kullanım

Arıtılmış atıksuların geri kazanılarak kentsel ve evsel alanlarda çeşitli amaçlarla kullanıldığı ortaya konmuştur. Başlıca kullanım yerleri:

- Park ve eğlence alanları,
- Ticari amaçlı kullanım (araç yıkama tesisleri, çamaşırhane vb.)
- Yangınla mücadele ve yangından korunma,
- İşyeri, endüstri kuruluşları, okul bahçeleri, otoyol meydanları, binaların çevrelerindeki peyzaj alanları,
- Manzara amaçlı dekoratif alanlar (kent içindeki havuzlar, fiskiyeler, şelaleler, vb.)
- Toz kontrolü ve inşaatlarda beton yapımı,
- Ticari binalarda tuvalet suyu gibi geniş alanda kullanım

şeklindedir (Duman, 2017).

b) Çevresel Amaçlı Kullanım

Arıtılmış atıksular çevresel olarak sulak alanların ve akarsu akışlarının desteklenmesi amacıyla yeniden kullanılmaktadır. Ayrıca akarsu akışını ve sulak alanların desteklenmesinin yanı sıra bataklıklar, parklar, balıkçılık, su kültürü oluşturma gibi alanlarda da çevresel olarak kullanımı mümkündür (Başkan, 2006).

c) Endüstriyel Amaçlı Kullanım

Endüstriyel amaçlı arıtılmış suyun kullanımı gelişmiş ülkelerde daha yaygındır. Çelik, bira, elektronik sanayi gibi çoğu endüstri, atıksularını sistem içerisinde yeniden kullanarak hem su tasarrufu sağlamak hem de çıkış suyu standartlarını sağlama zorunluluğunu ortadan kaldırmış olmaktadır (Büyükkamacı, 2009).

Ayrıca, sanayilerde en büyük su ihtiyacını soğutma suları oluşturmaktadır. Arıtılmış suların soğutma suyu olarak kullanılabilmesi için mikrobiyolojik koşullar, korozyon ve çökelti oluşmaması gibi etkenler göz önünde bulundurulmalıdır. Bunun yanısıra her bir endüstrinin kullanacağı proses suyunun gerektirdiği parametreler farklılık göstermektedir (Büyükkamacı, 2009).

#### d) Yeraltı Suyu Besleme Amaçlı Kullanım

Gelişmiş ülkelerde uygulama alanı olarak toprağın arıtma özelliğinden faydalanılarak yeraltı suyu besleme amaçlı kullanım mevcuttur. Bu şekilde kullanımın amacı;

- Kıyı alanlarındaki akiferlere tuzlu su girişimini önlemek için bariyer oluşturmak,
- Akiferlerin su kapasitesinin artırılmasını sağlamak,
- Yeraltı su seviyesinin düşmesinin önüne geçilmesi,
- Geri kazanılmış suyun depolanmasını sağlamaktır.

Akifer beslemesi avantajlı gözükse de, içme suyu olarak kullanılmasında kirlenme olasılığı düşünülmeli, dikkatli ve detaylı çalışma yapılmalıdır (Büyükkamacı, 2009).

#### e) Hayvan Suyu İhtiyacını Karşılama Amacıyla Kullanımı

EPA tarafından hayvansal tüketim amacıyla kullanılacak sulara ilişkin kalite kriterleri belirlenmiştir. Fakat, hayvan suyu ihtiyacı için arıtılmış atıksuların yeniden kullanımına ilişkin düzenleme ülkemizde bulunmamaktadır (EPA, 2012).

#### f) Tarımsal Sulama Amacıyla Kullanım

Tarımsal sulama amacıyla arıtılmış atıksuların kullanımı özellikle kurak bölgelerde tercih edilen bir yöntemdir. Arıtılan atıksuların tarımsal amaçlı kullanılmasının birçok faydası bulunmaktadır. Bunlar; su kıtlığının önüne geçilmesi, kalitesi yüksek olan diğer kaynakların içme suyu amacıyla kullanılabilmesi, azot ve fosfor içeriğinin atıksularda yüksek olması nedeniyle arazide tarımsal gübre ihtiyacını da azaltılmasına olanak sağlanabilmesidir (Polat, 2013).

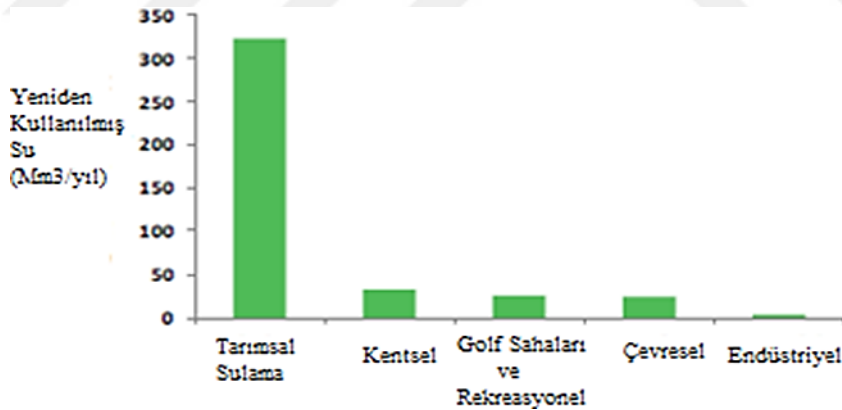
Arıtılmış atık suyun sulamaya elverişli olduğunun belirlenmesinde en önemli kriterler aşağıdaki gibidir;

- Çözünebilir tuzların toplam konsantrasyonu,
  - Sodyum ve diğer katyonların nisbi oranı (SAR),
  - Bor ve buna benzer toksik elementlerin konsantrasyonu,
  - Kalsiyum ve magnezyum,
  - Anyonlar (klor, sülfat, nitrat),
- Toplam katı madde, organik madde yükü, yağ ve gres gibi yüzen maddelerin miktarı, patojen mikroorganizmaların miktarıdır (Duman, 2017).

## 2.1. Dünyada ve Türkiye’de Geri Kazanım Suyu Kullanım Alanları

### 2.1.1. Dünyada geri kazanım kullanım alanları (İspanya ve İsrail Örneği)

Arıtılmış atıksuların yeniden kullanımına ilişkin uygulamalar İspanya’da 4 grupta toplanmaktadır; golf sahası sulaması, tarımsal sulama, kentsel ve çevresel (yeraltısuyu besleme) kullanımdır. Arıtılmış suların kullanım miktarı Şekil 2.1’de verilmektedir (Mudgal, vd. 2015).



Şekil 2.1. 2004 yılında İspanya’da atıksuların yeniden kullanım miktarı

Çevre Bakanlığı’nın verilerine göre, İspanya’da 2006 yılında yaklaşık 3.375 milyon m<sup>3</sup> arıtılmış atıksu üretilmiştir. 2009 yılında ise arıtılmış atıksuların yeniden kullanım miktarı yaklaşık 430 milyon m<sup>3</sup> olarak açıklanmıştır (Mudgal, vd., 2015).

İspanya Valensiya Bölgesindeki geri kazanım tesisinde 2015 yılında 419,73 milyon m<sup>3</sup> atıksu arıtılmış ve %34,73’ü yeniden kullanılmıştır. Bu miktarın %91,87’si tarımsal % 6,75’i ise kentsel amaçlı kullanılmıştır (Arahuetes, 2016). Bölge, Monte

Orgegia ve Rincón de León olmak üzere yılda 18 milyon m<sup>3</sup>'ün üzerinde atıksu arıtan iki adet tesise sahiptir.

Monte Orgegia tesisi 60.000 m<sup>3</sup>/gün kapasiteye sahip olup, aktif çamur ve anaerobik arıtım sağlamaktadır. Rincón de León tesisi ise 75.000 m<sup>3</sup>/gün kapasiteye sahip olup, bu tesiste tuz giderme ve tekrar kullanım için tesise giren akışlar farklı tuzluluk derecelerine göre alt bölümlere ayrılmıştır. Rincón de León tesisi koagülasyon + flokülasyon + filtrasyon (kum yatağı), ultrafiltrasyon (50.000 m<sup>3</sup> /gün) + UV dezenfeksiyonu (8.800 m<sup>3</sup>/gün) + ters ozmoz (25.700 m<sup>3</sup>/gün) ünitelerinden oluşmaktadır. Ters ozmoz ünitesi ile 2.800 µs/cm olan tuzluluk değeri 600 µs/cm'ye düşürülmektedir (Melgarejo vd. 2016).

Rincón de León tesisi çıkış sularının büyük kısmı tarımsal sulamada kalan kısmı ise kentsel amaçlı kullanılmakta olup, Monte Orgegia tesisi suları ise hemen hemen aynı oranda hem sulama hem de kentsel amaçlı kullanılmaktadır (Arahetes, 2016).

Arıtılmış atıksuların kullanım oranının İspanya'da yıllar geçtikçe artacağı öngörülmüş olup, model tahminlerine göre 2025 yılında geri kazanılacak su miktarının 1.200 Mm<sup>3</sup>/yıl olacağı belirtilmiştir (Mudgal vd., 2015).

İsrail'de ülkenin 2015 yılı verilerine göre, 508 milyon m<sup>3</sup> atıksuyun yaklaşık %98'i merkezi olarak toplanmakta olup, 80 arıtma tesisinde arıtılarak 400 milyon m<sup>3</sup>'lük miktarı sulamada kullanılmaktadır (Tarchitzky, 2015).

İsrail'de arıtılmış atıksuyun yeniden kullanımı için uygulanan prosesler aşağıdaki gibidir;

- Konvansiyonel Aktif Çamur (en çok tercih edilen proses),
- Ardışık Kesikli Reaktör,
- Membran Biyoreaktör,
- Havalandırılmalı Lagün,
- İkincil arıtma çıkış suyunda biyolojik oksijen ihtiyacı ve askıda katıları

gidermek için granüler medya uygulaması.

Ülkedeki çiftçiler için geri kazanılmış suyun kullanılması konusunda teşvik yapılmıştır. Örneğin; ülkede geri kazanılmış suyun maliyeti tatlı su kaynaklarına göre %30-50 daha ucuzdur ve arıtılmış atıksuyu kullanan her çiftçiye eski su dağıtımına göre %20 daha fazla tahsis yapılmıştır (Gohary vd. 2013).

İsrail'deki 2000-2005 yılları arasında Ben Gurion Havaalanında büyük bir çalışma başlatılmıştır. Tesisin dizayn debisi 5.250 m<sup>3</sup>/gün'dür (Görsel 2.1). Tesisin çıkış suyu BOİ değeri 1 mg/L, amonyak değeri 0,1 mg/L, askıda katı madde (AKM) 1 mg/L'den daha düşük olup, 1 NTU bulanıklık değerine sahiptir. Proses;

- Izgara ve kum ve yağ giderimini içeren ön arıtma prosesi,
- 1500 m<sup>3</sup>'lük iki bölmeli debiyi dengelemek amaçlı tank,
- Membranların korunması için 0,75 mm mikroelek,
- Fosfor giderimi için anaerobik tank, denitrifikasyon için anoksik tank ve BOİ giderimi ve nitrifikasyon için aerobik tank,
- 4 paralel membran bölmesinden oluşmaktadır.

Membranlardaki her bir bölme iki plaktan oluşmaktadır. Membranlar maksimum debiye 18-24 L/(m<sup>2</sup>.h) göre tasarlanmış olup, arıtılmış sudan katı maddenin arıtılmasını sağlamaktadır. Biyolojik arıtma prosesinde oluşan biyolojik çamur çıkışta ayrılmakta ve geri döndürülmektedir. Membran biyoreaktör prosesi bakteri ve diğer maddeleri tamamen giderdiği için çıkış suları doğrudan tarımsal amaçlı veya birçok endüstride kullanıma hazır hale gelmektedir. Kazanılan su havaalanının yeşil alan sulamasında ve soğutma kulelerinde kullanılmaktadır (Gohary vd. 2013).



**Görsel 2.1.** Ben Gurion Havaalanı geri kazanım tesisi

### 2.1.2. Türkiye'de geri kazanım suyu kullanımı (Kocaeli Örneği)

Türkiye'de, 2016 yılı TÜİK verilerine göre belediyeler tarafından 4,5 milyar m<sup>3</sup> atıksu deşarj edilmiştir. Deşarj edilen atıksuların 3,8 milyar m<sup>3</sup>'ü atıksu arıtma tesislerinde arıtılmıştır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yayımlanan 2016 yılı envanterine göre ise 844 adet AAT mevcuttur (Duman, 2017).

Türkiye’de atıksuların geri kazanımının faydaları, maliyet analizleri, teknik, ekonomik ve çevresel açıdan alternatiflerin değerlendirilmesi konularında fazla çalışma bulunmamaktadır (ÇŞB, 2015).

Avrasya üzerinde bilinen tüm ticaret yolların güzergâhında yer alan Kocaeli, lojistik bakımdan ciddi bir avantaja sahiptir ve yatırımcılar için cazibe merkezidir. İilde 13 adet organize sanayi bölgesi, 3 adet teknopark ve 2 adet serbest bölge bulunmaktadır. Bu OSB’lerden; TOSB Otomotiv Yan Sanayi İhtisas OSB, Kimyacılar OSB, Makine OSB, Plastikçiler OSB, Kömürçüler OSB ihtisaslaşmıştır. Kocaeli’nin ekonomik faaliyetlerinde sanayinin payı % 51’dir. Son 10 yıllık istatistiki verilere göre İlin Türkiye imalat sanayine sağladığı katkı % 13’tür. Kocaeli’nin sektörlerine bakıldığında; Türkiye’de 2016 yılı araç üretiminin % 37,7’sini, kimya sanayinin % 27’sini, metal sanayinin % 19’unu karşılamaktadır. Kocaeli’de 2010-2014 yılı arası kuraklık yaşanmış olup bu dönemde, İSU Genel Müdürlüğü Sapanca Gölünden içme suyu temini yapmıştır. Bu durumun yaşanması üzerine İSU Genel Müdürlüğü Kocaeli’nde içme suyu kaynaklarının korunması amacı ile atıksu arıtma tesislerinden çıkan arıtılmış atıksudan geri kazanım suyu elde ederek, Çizelge 2.2’de verilen sanayi tesislerinde kullanılabilir hale getirmiştir (http-1, 2019).

**Çizelge 2.2.** Abonelik yapılan sanayi kuruluşları

<b>Sanayi Kuruluşu</b>	<b>A.A.T Tesisi</b>
TÜPRAŞ	Körfez
Goodyear	Kullar
Pirelli	Kullar
Messer Aligaz	Kullar
Entek	Kullar
Federal Mogul	Plajyolu
Koruma Klor	Plajyolu
Shell Turcas	Plajyolu

İSU geri kazanım suyu, atıksu arıtma tesislerinde arıtılan atıksuların hızlı kum filtresi, ultraviyole ışınları ve klor dezenfeksiyonu proseslerinden geçirilerek elde edilmektedir. İSU Genel Müdürlüğü; ilk etapta 10 bin m<sup>3</sup>/gün Kullar ve 10 bin m<sup>3</sup>/gün Plajyolu Atıksu Arıtma Tesisleri’nde geri kazanım suyu ünitelerini devreye almış ve geri kazanım sularının kullanıcılara ulaştırılması için 14 km hat tesis etmiştir. Ayrıca



Türkiye'nin en büyük sanayi kuruluşu olan Tüpraş'ın su ihtiyacını karşılamak üzere Körfez Atıksu Arıtma Tesisi'nden de 45 bin m<sup>3</sup>/gün kapasiteli geri kazanım tesisi inşaatını tamamlamıştır (http-1, 2019).

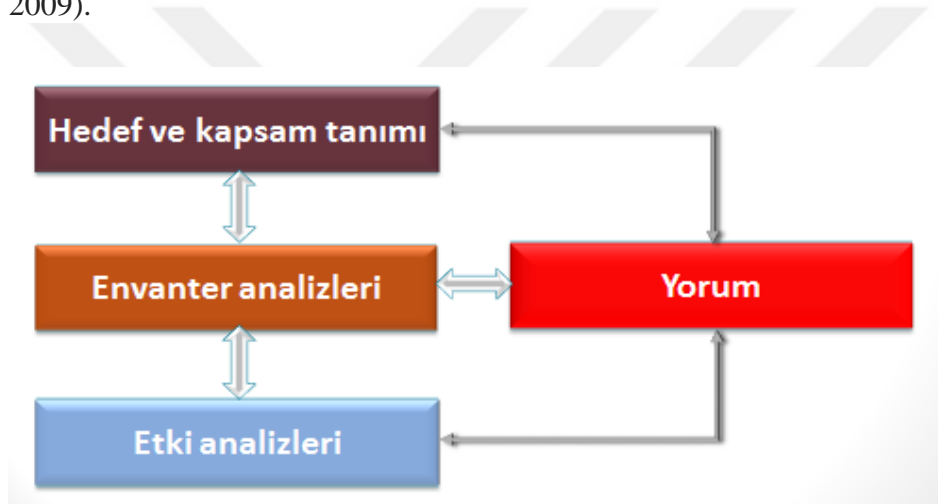
Kocaeli ilinde bulunan Organize Sanayi Bölgesi Atıksu Geri Kazanım Tesisi hamsuyu, Kocaeli ilinde bulunan Organize Sanayi bünyesinde bulunan mevcut arıtma tesisi çıkış suyu olarak tanımlanmıştır. Mekanik Filtre (MF), Multimedya (kum) Filtre, Ultrafiltrasyon (UF), Aktif Karbon Filtre (ACF) ve Ters Osmoz (RO) teknolojileri kullanılarak dizayn edilen atıksu geri kazanım tesisinin üretim kapasitesi günlük 3000 m<sup>3</sup> olup, detayları 5. Bölümde anlatılmıştır.



### 3. YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ (LCA) VE PARASALLAŞTIRMA

#### 3.1. Yaşam Döngüsü Analizi (LCA)

Yaşam döngüsü analizi (Life Cycle Assessment, LCA) bir ürün, proses ya da hizmet için kullanılan enerji, ham madde ve bundan dolayı oluşan atık ve emisyonların çevresel etkilerini ve bu süreçte doğal kaynakların tüketimini ve çevresel iyileştirme fırsatlarını değerlendiren bir yöntemdir. LCA genellikle analitik bir karar destek aracı olarak kullanılmaktadır. Şekil 3.1’de görüldüğü üzere, LCA; hedef ve kapsam tanımı, yaşam döngüsü envanteri (LCI), yaşam döngüsü etki değerlendirmesi (LCIA) ve yorumunu içeren dört adımda gerçekleştirilmektedir (ISO 14040 ve ISO 14044; Khasreen vd, 2009).



Şekil 3.1. LCA aşamaları

LCA, bir ürün ya da sürecin tüm yaşam döngüsü boyunca ortaya çıkabilecek çevresel etkilerini yansıtır ve değerlendirilen bu çevresel etkileri tüm boyutlarıyla ve kapsamlı olarak değerlendirir. Geleneksel çevresel etki değerlendirme araçlarında genellikle göz ardı edilen hammadde eldesi, sevkiyat ve nihai bertaraf gibi aşamalar da LCA yönteminde değerlendirmeye alınmaktadır (Özdemir, 2013).

Artan sanayi sayısı ve teknoloji kullanımıyla beraber her tür projenin maliyeti, verimliliği gibi parametrelerin yanı sıra doğal kaynakların kullanımı ve çevresel etkileri gibi bileşenler de araştırılmaya başlanmıştır. Yaşam Döngüsü Analizi, günümüzde geliştirilerek kullanılmaya devam etmektedir (Özdemir, 2013).

### 3.1.1. LCA alanında faaliyet gösteren uluslararası aktörler

Yetmişli yılların başından bu yana üzerinde çeşitli araştırmalar yapılan LCA daha önceki yıllarda Ürün Eko-denge Analizi (Product Ecobalance), Kaynak ve Çevre Profil Analizi (Resource and Environmental Profile Analysis) gibi isimlerle anılmıştır. SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry – Çevre Toksikoloji ve Kimya Örgütü) LCA'nın geliştirilmesinde rol almış ilk uluslararası kuruluşlardan birisidir. SETAC'ın hedefleri arasında LCA metodunun bilimsel olarak geliştirilmesinin yanısıra, araştırma sonuçlarının çevre yönetiminin çeşitli alanlarında uygulanmasına destek vermek yer almaktadır. SETAC'ın LCA konusundaki başlıca etkinlikleri (Guinée, 2002);

- LCA metodolojisinin geliştirilmesi konusunda Avrupa'da ve Kuzey Amerika'da düzenli olarak organize edilen bilimsel toplantılar,
- LCA uygulamalarından elde edilen örnek çalışmaların değerlendirildiği, her yıl Brüksel'de çeşitli endüstriyelerin katıldığı toplantılar,
- 1996'dan bu yana Avrupa'da ve Kuzey Amerika'da LCA'nın metodoloji ve uygulamalarına ilişkin araştırmalar yapan çalışma gruplarını koordine etmek şeklindedir.

ISO'nun (International Organization for Standardization – Uluslararası Standardizasyon Örgütü) 1994 yılından bu yana geliştirmekte olduğu 14040 standart serisi LCA'nın hem organizasyonel yapısı hem de teknik yapısı ile ilgilidir. LCA sonuçlarının kamuoyu ile paylaşılması ve kritik sonuçlarının değerlendirilmesi süreçleri LCA'nın organizasyonel boyutu kapsamında yapılan çalışmalar arasındadır (Guinée (2002).

UNEP (United Nations Environmental Programme – Birleşmiş Milletler Çevre Programı), LCA konusunda faaliyet gösteren diğer bir uluslararası kuruluştur. UNEP'in odaklandığı konu LCA'nın özellikle gelişmekte olan ülkelerde uygulanmasına yöneliktir. 1996'da yayınladığı LCA Kılavuzu UNEP'in LCA çalışmalarına en önemli katkılarından birisidir. UNEP'in konu hakkında bir diğer önemli yayını ise 1999'da LCA'nın Küresel Kullanımına Doğru başlıklı çalışmadır (Guinée 2002).

Sürdürülebilir kalkınma AB'nin (Avrupa Birliği) en temel amaçlarından birisidir. AB Ortak Araştırma Merkezi (Joint Research Center, JRC) sürdürülebilir kalkınma hedefini özel ve kamu sektörlerinde yaşam döngüsü analizinin yaygınlaştırılmasını desteklemektedir. JRC'nin bu kapsamda yürüttüğü çalışmalar arasında:

- Avrupa LCA platformu,
- Uluslararası LCA referans sistemi el kitabı,
- LCA bazlı izleme indikatörleri,
- Yaşam döngüsü bazlı atık politikaları kılavuzu,
- LCA bazlı arazi kullanım analizi,
- Karbon ayak izi gibi araçlar bulunmaktadır.

AB Komisyonu 2003 yılında, yaşam döngüsü yaklaşımlarının bilimsel bazlı karar verme süreçlerindeki önemini kavrayan Entegre Ürün Politikası (IPP) başlıklı bir tebliğ yayınlamıştır. Bunun yanı sıra, AB üyesi ülkeler çeşitli yayınlar yaparak ve pilot çalışmalar düzenleyerek yaşam döngüsü analizinin sektörler ve ilgili politik süreçlere entegre edilmesine yönelik bir çok çalışmalar yürütülmüştür ([http-2, 2019](#)).

IPP'ye ek olarak AB'nin 2005'te yayınladığı Doğal Kaynakların Sürdürülebilir Kullanımı, Çerçeve Atık Direktifi, Atıkların Önlenmesi ve Geri Kazanımı Stratejileri ve Sürdürülebilir Sanayi Politikası Eylem Planı yaşam döngüsü yaklaşımı kullanılarak oluşturulan en temel politikalar arasındadır ([http-2, 2019](#)).

### **3.1.2. Sistemin yapısı**

LCA sistemi, ISO 14040 standartlarına göre; hedef ve kapsam tanımı, yaşam döngüsü envanter analizi, yaşam döngüsü etki değerlendirmesi ve yorumlar olmak üzere dört aşamadan oluşmaktadır (Bishop, 2000).

#### **3.1.2.1. Hedef ve kapsamın belirlenmesi**

Yaşam döngüsü analizinin ilk aşaması hedef ve kapsam belirlenmesidir. Bu aşamada, çalışmanın amaçları, sınırları, hedef kitlesi ve çalışma sonrası beklentiler açık bir şekilde belirtilmelidir. Bir yaşam döngüsü değerlendirme analizi ham maddenin elde edilmesinden, üretim, kullanım, bakım onarım ve bertaraf seçeneklerinin değerlendirilmesi dahil bir çok aşamadan oluşmaktadır (Bishop, 2000).

Bir LCA çalışmasının hedef ve kapsam tanımı aşağıdaki bileşenleri içermektedir:

- Fonksiyonel birim
- Sistem sınırları

### **3.1.2.2. Fonksiyonel birim (İşlevsel Birim)**

Fonksiyonel birim, iki alternatif ürünün bağıl kavramlarla değerlendirilmesiyle oluşan referans bir tanımıdır. Ayrıca fonksiyonel birim, tüm girdilerin ve çıktıların ilişkili olduğu bir referans olduğundan en kritik basamaklardan birisidir (Üstün, 2013).

Çalışmanın sonucunu diğer çalışmalarla karşılaştırmanın kolaylığı, fonksiyonel birimin belirlenmesinde çok önemli bir faktördür. Bu nedenle bir LCA çalışmasında hesaplanan tüm çevresel etkilerin seçilen fonksiyonel birimle uyumlu olmasına dikkat edilmesi gerekmektedir. Aynı zamanda, LCA uygulayıcısı fonksiyonel birimi, etki değerlendirmesi metodolojilerini, veri gereksinimlerini, varsayımları, sınırlamaları, ilk veri kalitesi gerekliliklerini dikkate almalıdır. Fonksiyonel birim LCA çalışmasına göre değişiklik göstermektedir. Literatürde atıksuların yaşam döngüsü değerlendirmesi çalışmalarında en yaygın kullanılan fonksiyonel birimin “metre küp arıtılan su” olduğu görülmüştür ( Khasreen vd, 2009).

### **3.1.2.3. Sistem sınırları**

Sistem sınırları, çalışmada seçilen prosesleri (üretim, nakliye, atık vb.) ve LCA çalışmasındaki girdileri ve çıktıları tanımlamaktadır. LCA çalışmalarında sistem sınırları aşağıda tanımlanmıştır;

- Hammaddenin ve enerjinin eldesi,
- İmalat (malzemelerin fabrikaya nakliyesi, üretilmesi, ambalajlama, ürünlerin dağıtılması),
- Kullanım/yeniden kullanım/bakım onarım,
- Geri dönüşüm/yakma/depolama vb. atık yönetimi.

Sistem sınırları tanımlanırken, sisteme ait proses/ürün akış diyagramlarının kurulması ve açık bir şekilde tanımlanması gerekmektedir (Bishop, 2000).

Sistem sınırları, beşikten mezara (cradle to grave) veya kapıdan kapıya (gate to gate) yaklaşımlarını içerir. Beşikten mezara yaklaşımında seçilen sistem sınırları, hammaddenin eldesi ile başlayıp, malzemelerin üretilmesi, nakliyesi, kullanımı ve atık bertarafı aşamalarından çıkan tüm çevresel etkileri değerlendirilmektedir. Kapıdan kapıya yaklaşımında ise, sadece firma kendi bünyesinde oluşturduğu proseslerden veya hammaddenin eldesi ile başlayıp firmadan çıkışına kadarki çevresel etkileri değerlendirmektedir (Bishop, 2000).

#### **3.1.2.4. Veri kalitesi**

Veri kalitesi bir LCA çalışmasında sonuçları doğrudan etkilediği için çok önemlidir. Bu nedenle, veri seçimine dikkat edilmesi gerekmektedir. Verilerin toplanmasında kesinlik, temsil edilebilirlik, tutarlılık, bütünlük, tekrarlanabilirlik ölçütlerinin dikkate alınması veri kalitesinin artmasında büyük rol oynamaktadır (Polat, 2013). Veri kalitesi; veri yaşını, veri toplanan coğrafi alanı ve teknolojik veri karışımının niteliğini içermelidir

- Zamanla ilgili kapsam: Verinin yaşı (örn: beş yıl içinde) ve minimum zaman uzunluğu (örn: yıllık).
- Coğrafi kapsam: Çalışmanın hedefini sağlamak üzere birim işlemler için bilginin toplanması gereken coğrafi alan (yerel, bölgesel, ulusal, küreselgibi).
- Teknolojik kapsam: Teknolojik veri karışımının niteliği (gerçek işlemkarışımının, en iyi teknolojinin veya en kötü işletme biriminin ağırlıklı ortalaması) (Çokaygil, 2005).

#### **3.1.2.5. Kritik gözden geçirme**

TS EN ISO 14040'ta, yaşam döngüsü değerlendirmesi çalışması yapılırken kullanılan "metodoloji, veri toplama ve yorumlama aşamalarının gereklerinin karşılanıp karşılanmadığının, bu aşamaların ilke ve standartlarla uyumlu olup olmadığının doğrulandığı süreç" kritik gözden geçirme olarak ifade edilmektedir.

TS ISO 14040'ta 2 farklı kritik gözden geçirmeden bahsedilmektedir: İç veya dış uzman tarafından yapılan ve ilgili taraflardan oluşan bir heyet tarafından yapılandır

(Bayazıt, 2016). Ayrıca, kritik gözden geçirme prosesi, yaşam döngüsü analizinin kalitesinden emin olmak için kullanılır (Çokaygil, 2005).

### 3.1.3. Envanter analizi /değerlendirmesi

Yaşam döngüsü analizinin ikinci aşamasını envanter analizi/değerlendirmesi oluşturmaktadır. Envanter analizi/değerlendirmesi ürün/prosesler için gerekli olan enerji ve hammadde tüketimi ile, emisyonların hesaplanarak değerlendirildiği sistematik bir işlemdir. Envanter analizi/değerlendirmesi beş başlıktan oluşur (Bishop, 2000):

- Veri toplama
- Sistem sınırlarının incelenmesi
- Hesaplama
- Verinin geçerliliği
- Paylaştırma

**Veri toplama:** Bir ürünün girdi-çıktısı ile ilgili tüm verilerini ve hava, su ve toprak gibi tüm emisyonlarını içerir. Veri eksikliği, çalışmanın kapsamını ve hedeflerini değiştireceğinden veri bütünlüğü çok önemlidir. Aynı zamanda veri toplama yaşam döngüsü etki değerlendirme aşamasına girdi oluşturur (Khasreen vd., 2009).

**Sistem sınırlarının incelenmesi:** LCA çalışmasının hedef ve kapsam tanımının bileşeni olarak sistem sınırları kabul edilmektedir. Sistem sınırları dahilinde başlangıç verilerinin elde edilmesinden sonra, önemli sayılabilecek yaşam döngüsü aşamalarının bazı kısımlarına ya da alt bölümlerine ait belirli bölümlerin dahil edilip edilmemesine yönelik kararların alınmasıdır (Çokaygil, 2005).

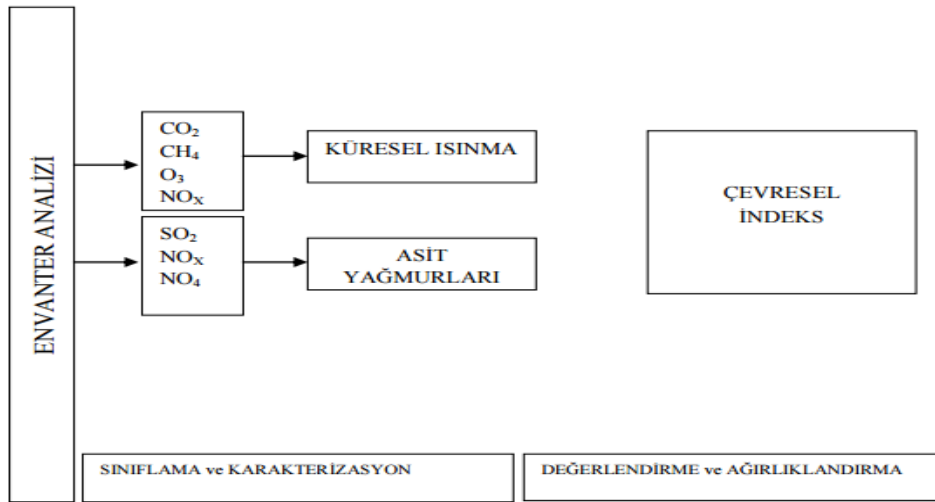
**Hesaplama prosedürü:** Yaşam döngüsü değerlendirmesinde paylaştırma yöntemleri için tanımlanan gereksinimler dışında, hesaplama için yasal gereksinimler bulunmamaktadır. Verilerin miktarına bağlı olarak özel bir amaç için bir tablo oluşturulması tavsiye edilmektedir (Çokaygil, 2005).

**Verilerin kullanılabilirliği ve doğruluğu:** Veri toplama sürecinde sürekli ve tekrarlı olarak her aşamada veri doğrulaması yapılmalıdır. Tüm veriler ile ilgili varsayımlara açıkça değinilmelidir (Khasreen vd., 2009).

**Paylaştırma:** Karmaşık bir sistemin yaşam döngüsü değerlendirmesi oluşturulurken tüm girdi, çıktı ve etkileri ele almak ancak çalışılan sisteme paylaştırma ile mümkün olabilmektedir (Çokaygil, 2005). Çalışmada paylaştırmadan kaçınıldığı durumlar söz konusu olabilmekte, bu durum sistem sınırlarına veya verilerin gerçekliğine bağlıdır. Sistem sınırları ne kadar geniş tutulursa paylaştırma ihtiyacı o kadar az olmaktadır (Khasreen vd., 2009).

### 3.1.4. Etki değerlendirme

Etki değerlendirme, envanter analizinde elde edilen sonuçlara dayanarak çevresel etkilerin sınıflandırılması ve nicel ve nitel olarak nitelendirilmesini içeren bir aşamadır. Etki değerlendirme Şekil 3.2’de görüldüğü gibi sınıflama, karakterizasyon, ağırlıklandırma (normalizasyon) ve yorum adımlarından oluşur (Taygun, 2005).



Şekil 3.2. LCA envanter analizi

### 3.1.2.6. Sınıflandırma

Sınıflandırma, çevresel proseslerin bilimsel analizlerine dayanan kalitatif bir basamaktır. Aynı zamanda yaşam döngüsü envanter girdi ve çıktı verilerinin kategorilere ayrılması olarak da ifade edilebilir. Örneğin, SO<sub>2</sub> ve NH<sub>3</sub> asidifikasyon kategorisinde, CO<sub>2</sub> ve CH<sub>4</sub> iklim değişikliği kategorisinde sınıflandırılmaktadır (Taygun, 2005).

### 3.1.2.7. Karakterizasyon

Karakterizasyon temel olarak ilgili çevresel proseslerin bilimsel analizlerine dayanan kantitatif bir basamaktır. Ayrıca, etkilerin tanımlandığı adım olarak



adlandırılabilir. Örneğin karbondioksit, karbonmonoksit, klor ve metan gibi gazlar sera etkisi ve küresel ısınma sınıfına girmektedir (Taygun, 2005).

- Doğal kaynakların tüketimi: İnsanlar her zaman düşük kaliteli kaynağı ileriye bırakarak en iyi kaynağı en önce tüketme eğiliminde olmuşlardır. Doğal kaynaklara verilen zararın sonuçlarından gelecek nesiller etkileneceğinden, kalan kaynakları kullanabilmek için daha fazla çaba harcıyacaklardır. Bu fazladan çaba “fazla enerji” (surplus energy) olarak açıklanmaktadır. Mineraller, maden cevheri miktarının azalması nedeniyle 1 kg cevher veya maden elde etmek için harcanan fazla enerji olup, MJ fazla enerji/kg olarak ele alınmaktadır. Fosil yakıtlar, düşük kaliteli kaynakların kullanımı sonucu, 1 kg veya 1 m<sup>3</sup> fosil yakıtı elde etmek için harcanan fazla enerji, MJ fazla enerji/kg olarak ele alınmaktadır (Çokaygil, 2005).
- Asidifikasyon: Fosil yakıtların yanması sonucu açığa çıkan gazların doğal alana (hava, su ve toprak) salınımı ile oluşmaktadır. Asidifikasyon etkisine neden olan temel kirleticiler SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, HCl ve NH<sub>3</sub>'tür. Asidifikasyon potansiyelinin eşdeğerliği; kg kirleticinin SO<sub>2</sub>'ye bağlı oluşturduğu H<sup>+</sup> iyonunun sayısı olarak hesaplanmaktadır (Baumann ve Tillman, 2004).
- Ötrofikasyon: Göl gibi herhangi bir büyük su ekosisteminde, başta karalardan gelenler olmak üzere, çeşitli nedenlerle besin maddelerinin büyük oranda artması sonucu, plankton ve alg varlığının aşırı şekilde çoğalması olarak tanımlanabilmektedir. Fosfor ve azot diğer kirleticilere göre ötrofikasyon etkisine daha çok neden olabilmekte ve LCA'ya göre ötrofikasyon etki kategorisi bazen nitrifikasyon olarak da adlandırılabilir. Ötrofikasyon potansiyeli PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> olarak ifade edilmektedir (Baumann ve Tillman, 2004).
- Küresel Isınma: Küresel ısınma, fosil kaynak tüketimi ve artan endüstriyel faaliyetler sonucu atmosfere yayılan gazların neden olduğu düşünülen sera etkisinin sonucunda kara, deniz ve havada ölçülen ortalama sıcaklıklarında görülen artış olarak tanımlanmaktadır. İklim değişikliğine sadece karbondioksit değil, kloroflorokarbonlar (CFC'ler), metan ve azot oksitler neden olabilmektedir. Bir kirleticinin iklim değişikliğine olan katkısı küresel ısınma potansiyeli (GWP) olarak ifade edilmektedir. Küresel ısınma potansiyeli CO<sub>2</sub> eşdeğeri ile ifade edilmektedir (Baumann ve Tillman, 2004).

- **Toksisite:** Toksisite kategorisi birçok kirleticiyi içermektedir. Örneğin; organik çözücüler, pestisitler ve ağır metaller toksik etkinin farklı çeşitlerini oluşturmaktadır. Bazı kirleticiler mutajenik hasar verirken, diğerleri nörolojik, karsinojenik gibi etkilere neden olabilmektedir. Toksik etki kategorisi (toksisite) genellikle insan toksisitesi ve eko-toksisite olarak ayrılmaktadır. Eko-toksisite ise, sucul ekotoksisite ve karasal ekotoksisite olarak ayrılmaktadır. Toksisite etkisi 1,4 Diklorobenzen (DB) eşdeğeri cinsinden hesaplanmaktadır (Çokaygil, 2005).
- **Fotokimyasal Sis:** Azot oksitler ve hidrokarbonlar güneş ışığının etkisiyle düşük atmosfer seviyelerinde foto-oksidantlara dönüşebilen ikincil kirleticilerdir. Bu maddeler, aynı zamanda solunum sistemi tahrişleri, bitki örtüsüne zarar verme gibi birçok sağlık etkilerine neden olmaktadır. Fotokimyasal oksidant oluşturma potansiyeli (POCP), Avrupa üzerinde kirleticilerin 5 günlük gezinmesine bağlı hesaplamalara dayanmaktadır. POCP birimi etilen ( $C_2H_4$ ) eşdeğeri olarak verilmektedir (Baumann ve Tillman, 2004).

#### **3.1.2.8. Normalizasyon ve ağırlıklandırma**

Normalizasyonda amaç, hangi etkinin toplam çevresel etki üzerinde daha çok paya sahip olduğunu belirlemektir ve bu aşama isteğe bağlı yapılmaktadır. Bu aşamada, karakterizasyon verileri çeşitli şekillerde belirlenebilen bir normal sabitine bölünmekte tüm etkiler birimsiz ifade edilerek karşılaştırma yapılabilmektedir (Ceylan, 2012).

Ağırlıklandırma/değerlendirme: Normalizasyon sonucunda elde edilen veriler hangi etkinin daha büyük olduğu konusunda bilgi vermektedir. Ağırlıklandırma faktörü uygulanarak etkilerin önemi ortaya koyulmakta olup, bu aşamada normalizasyon gibi isteğe bağlı uygulanan bir aşamadır (Ceylan, 2012).

#### **3.1.2.9. Yorum**

Yaşam döngüsü analizinde yorumlama aşaması, sonuçlara ulaşmak için bulguların analiz edildiği ve önerilerin ifade edildiği son aşamadır. Enerji, hammadde kullanımı ve atıkların azalması amacına yönelik ve tüm yaşam döngüsünü içine alan kısım bu aşamada yorumlanır. Buna bağlı olarak objektif bir bakış açısıyla çevreye olan etki değerlendirilir ve sistemden doğan çevresel yükleri azaltmak için gerekli iyileştirmeler bu aşamada belirlenir (Taygun, 2005).

### 3.2. Parasallaştırma

Parasallaştırma, sosyal ve biyofiziksel etki önlemlerinin para birimlerine dönüştürülmesi uygulamasına verilen isimdir. Parasallaştırma dışsallıklar kavramı ile ilgilidir. Dışsallıklar, bir ürünün/prosesin ekonomik faaliyetlerinden kaynaklanan ve hesaplanamayan maliyetler ve faydaların tümü olarak nitelendirilmektedir. Ekonomik açıdan “optimal” kaynak tahsisi olarak tanımlanan şeyi elde etmek için dışsallıklar içselleştirilmeli ve ilgili karar almada hesaba katılmalıdır. Ayrıca parasallaştırma, insan yaşamının mutlak değerinin bir ölçüsünü sağlamaya çalışmak yerine, bireylerin küçük bir değişiklik için ödemek istedikleri değeri ölçmek istemektedir. Yaygın karar destek aracı olan Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi'nde (LCA) parasal değerlendirme yaygın olarak uygulanmamaktadır. Birçok yazar, LCA'nın ağırlıklandırma aşamasında parasal değerlendirme kullanmanın avantajlarını tartışmıştır. Ağırlıklandırma aşaması, farklı (biyofiziksel) birimlerle ölçülen ve bu nedenle kıyaslanamayan (çevresel) etkiler arasındaki dengeleri çözmeyi amaçlar. Bu etkileri aynı birimde parasal değerlendirme kullanarak dönüştürme, doğrudan bir karşılaştırma yapılmasını sağlamaktadır. LCA'da parasallaştırma uygulamasındaki en büyük zorluk, LCA'daki etkilerin yüksek bir soyutlama seviyesine sahip olmasıdır. Bu, etkilerin iki nedenden dolayı belirli durumlarda genelleştirilemediği anlamına gelir. Birincisi, LCA “gerçek” etkiler yerine “potansiyel” den sorumludur. Farklı süreçlerden / faaliyetlerden ve bunların etkilerinden kaynaklanan emisyonlar, alan ve zaman içinde toplanır. Bu nedenle, potansiyel etkilerin parasal değerlemesi geniş çapta uygulanabilir parasal değerlerle sonuçlanmalıdır. İkincisi, LCA hem orta hem de son nokta etkilerini dikkate alır. Örneğin iklim değişikliği, ozon tabakasının incelmeye ve asitleşmesi vb. genellikle iyi tanımlanmış sebep-sonuç ilişkilerini temsil ederken, insan refahına zarar, ekosistem kalitesinde hasar belirli bir hedefi etkileyen karmaşık süreçleri temsil etmektedir. Parasal değerlemenin orta noktada veya son noktada uygulanması, belirli bir emisyon ile etkileri arasındaki bağlantıya odaklanmaya ya da bir uç noktanın karmaşıklığını benimsemeye neden olan yaklaşımlar gerektirebilir. Özet olarak, LCA kapsamında parasallaştırma uygulaması karmaşıktır (Pizzol vd. 2015).

LCA kapsamında parasallaştırmanın uygulanabilir hale getirilmesinde aşağıdaki başlıklara dikkat edilmesi gerekmektedir.

- LCA ile ilgili farklı parasal değerlendirme yöntemlerini değerlendirmek için kapsamlı bir kriter seti oluşturmak;
- Sistematik olarak gözden geçirmek, eleştirel bir şekilde analiz etmek ve mevcut parasal değerlendirme yöntemlerinin yanı sıra, fiziksel birimlerle ölçülen (LCA) sonuçları parasal birimlere dönüştürmek için bu yöntemlerin mevcut LCA uygulamalarını değerlendirmek;
- Parasal değerlemenin LCA kapsamında pratik kullanımı için önerilerde bulunmak (Pizzol vd. 2015).

Çevresel maliyetler, maliyeti yaratan unsurun doğru kullanılması koşuluyla gelire dönüşme potansiyeline sahiptirler. Örneğin atık maddelerin satılması bunun günümüzde en çok kullanım alanı bulan yöntemidir. Çevresel maliyetleri sistem içerisinde tespit etme, ayrıştırma ve sınıflandırma çalışmaları sırasında çevresel olmayan maliyet kalemlerinde alınabilecek tasarruf önlemleri de kolaylıkla tespit edilebilmektedir. Bu yönlendirme bir döngü yaratarak çevresel faktörlerin tüketici gündeminde daima ilk sıralarda yer almasını sağlar. Çevresel maliyetleri kontrol edebilen firmalar, kontrol edemeyen firmaların yapamadığı konulara kaynak ayırarak daha rekabetçi olabilir veya kriz dönemlerinde daha az eleman tasarrufu yapmak zorunda kalarak toplumsal yaşama olabilecek olumsuz etkiyi en aza indirmiş olurlar. Örneğin su bazlı solvent ile klor bazlı solvent boya endüstrisinde birbirini ikame etme özelliğine sahip hammaddelerdir. Her iki maddeyle üretilen boyalar birbirine eş değer teknik özellikler göstermekte ve tüketiciler tarafından fazla ayırım yapmadan kullanılabilirler. Bununla birlikte su bazlı solventin doğaya verdiği zarar klor bazlının yarattığı çevresel maliyetlerin yanında daha düşük kalmaktadır (Aygen, 2013). Standart maliyet muhasebesi söz konusu hammaddenin kullanımını salt verimlilik ve karlılık parametreleriyle değerlendirecek, buna karşılık yan etkileri ölçümlemekte yetersiz kalacaktır. Bilindiği üzere muhasebenin klasik yaklaşımında maliyetler fonksiyonel yönden beş ana başlık altında sınıflandırılmaktadırlar. Bunlar sırasıyla;

- Direkt malzeme ve işçilik,
- Üretimle ilgili genel ve tamamlayıcı giderler,
- Satış giderleri,
- Genel yönetim ve diğer genel giderler ile
- Araştırma geliştirme giderleri'dir (Aygen, 2013).

Bununla birlikte çevresel maliyet muhasebesi, fonksiyonun doğasına uygun olarak kendi maliyet kategorilerini yaratmıştır. Söz konusu sınıflandırma farklı ülke ve kurumlarda farklı şekillerde ele alınabilmektedir. Bu olgu ülkelerin genel muhasebe uygulamalarındaki farklılıklar ile değişik sanayi yapılarından kaynaklanmaktadır. Çevresel maliyetleri hem kendi içinde gruplayabilmek hem yukarıda adı geçen standart maliyet gruplarından ayırabilmek için yeni maliyet terminolojileri geliştirilmiştir. EPA ve Global Environmental Management Initiative (GEMI) çevresel maliyetleri gizlenmiş, şarta bağlı, yükümlülük içeren ve maddi niteliği düşük olarak dört kategoride incelemektedir (Hitchens vd, 1999). Buna karşılık Amerika Çevre Koruma Ajansı da (US EPA) çevresel maliyetleri dört kategoride sınıflandırmakta, fakat farklı isimler kullanmaktadır. Aşağıda US EPA'nın alternatif çevresel maliyetler sınıflandırmasının detayları verilmektedir. Bunlar;

**Konvansiyonel İşletme Maliyetleri (conventional costs):** Konvansiyonel işletme maliyetlerinin (yatırım malları, malzeme, işgücü, yan ve yardımcı malzemeler, enerji ve su benzeri altyapı maliyetleri, tasfiye ve hurda maliyetleri) çevresel yönetim muhasebesinin konusunu teşkil edecek sınıftan bir maliyet olup olmadığı her zaman tartışma konusu olmuştur. Yukarıda çevresel maliyetlerin genel özelliklerinde bahsedildiği üzere bazı maliyetler direkt olarak çevreyle ilgili olmasa bile azaltılması veya tasarruflu kullanılması durumunda ekolojik dengeye ve insan hayatının sürdürülebilirliğine olumlu katkıda bulunma potansiyeline sahiptir. Örneğin bir birim çeliğin üretilmesi için yüksek fırında daha az kömür yakılmasını sağlayacak bir teknolojinin kullanılması atmosfere salınan karbonmonoksit (CO) ve karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonlarının azalmasına yol açacaktır. Bu anlamda kömür, çeliğin üretim maliyeti içerisinde ele alınan bir hammadde maliyetidir ama kontrollü kullanımının iyileşme yaratma potansiyeli nedeniyle çevresel yönetim muhasebesi tarafından da takip ve analiz edilmelidir (Aygen, 2013).

**Gizlenmiş Çevresel Maliyetler:** Bunlar çevreyle ilgili maliyetler arasında en fazla gözden kaçırılan veya diğer maliyetler içerisinde unutulmuş kısmı teşkil eder. Organik ve inorganik yollardan büyümeye önem veren firmalarda çevresel kuruluş maliyetleri daima ciddi bir yük teşkil eder. Örneğin ülkemizde projenin ÇED (çevresel etki değerlendirme) raporu alabilmesi için gerekli planlama ve uygulama çalışmaları projenin hayata geçirilebilmesi için elzemdir ve zaman zaman yüksek seviyelere çıkabilmektedirler. Çevresel kuruluş maliyetlerinin normal koşullar altında niteliğine

göre araştırma ve geliştirme maliyetleri ya da kuruluş giderlerinde muhasebeleştirilmesi gerekir. Bununla birlikte uygulamada bu maliyetlerin bazen genel giderler bazen yatırıma dönük inşaat giderleri içerisinde takip edildiği görülmektedir (Aygen, 2013).

Kapanış ve tasfiye maliyetleri: Kapanış maliyetleri her zaman için yönetim muhasebesinin bir parçası olmayabilir. Eğer firmanın hayatı bitiyor, faaliyetlerine son verip hukuki kişiliğini ortadan kaldırıyor bu çevresel yönetim muhasebesinin ilgi alanına tam olarak girmeyebilir. Çevresel yönetim muhasebesi geleceğe yönelik kararlar bütünüyle ilgilendiği için bu anlamda firmanın tasfiye edildiği değil hayatının devam ettiği ama alt birimlerinden sadece (işletme, fabrika, şube, satış mağazası, depo, vs) birinin kapandığı durumdaki tasfiye maliyetlerini irdeler ve etüd eder Gönüllü katlanılan maliyetler: (geri dönüşüm, ilave çevre sigortası, çevre kirliliği önleme araştırma ve geliştirme, habitat ve sulak alan koruma, çevre örgütlerinin mali açıdan desteklenmesi, ekolojik denetim (audit), kamuoyu bilinçlendirme, ilave eğitim maliyetleri) Gönüllü katlanılan maliyetler yasal zorunluluğu olmamasına rağmen firmanın sosyal bilincine bağlı olarak hür iradesiyle aldığı uygulamaya dönük bazı kararların mali sonuçlarıdır. Yapısı itibariyle tespit edilmesi daha kolaydır, çünkü bilinçli alınmış bir kararın sonucunda oluşmaktadır. Geleceğe yönelik projeksiyonu kolaydır çünkü tamamen firma yönetiminin inisiyatifindedir. Öte yandan gönüllü katlanılan çevresel maliyetlerin en tipik özelliklerinden birisi de bunların mevsimsellik arz etmesidir. Eğer piyasa koşulları pozitif ve firmanın faaliyetlerinden elde ettiği fon tatminkar bir düzeydeyse gönüllü çevresel maliyetlerin artma eğilimine girdiği gözlenmektedir, durgunluk ve kriz dönemlerindeyse ilk vazgeçilen maliyet unsurlarından birisini teşkil ederler (Aygen, 2013).

Parasallaştırma konusunda, Avrupa modellerinin dört örneği EPS 2000, ExterneE projesi, Ecotax 2002 ve Stepwise 2006'dır. Japon model LIME, Avrupa dışı bir modelin bir örneğidir. Genel olarak, bilimsel topluluk içinde şu ana kadar her etki kategorisi veya hasar kategorisi için göreceli ağırlığın parasal terimlerle nasıl atanacağı konusunda fikir birliğine varılmamıştır. Kuşkusuz, değerın sübjektif tercihi nedeniyle, farklı etki / hasar kategorilerindeki etkiyi ağırlıklandırmak veya paraya çevirmek için kullanılan faktörlerle ilgili belirsizlik vardır. Bu nedenle, bir yaşam döngüsü modelinde çevresel dışsallıkları ölçmek için bir başka adım olarak parasallaştırma işlemi ile belirsizlik seviyesini makul derecede düşük tutma arasında bir denge vardır. Bunun dışında, çoğu parasal değerlendirme yönteminin karşı karşıya kaldığı bir başka zorluk da eksiklikleridir,

yani tüm ilgili çevresel etkilerden parasallaştırılmamaktadır. Diğer bir zorluk ise dışsallıkları, üretilen malların çevreyi daha fazla bozulmaya karşı korumaya yardımcı olacak şekilde içselleştirmek için “ekonomik bir araç” bulma ihtiyacında yatmaktadır. Ekonomik düşüncedeki son eğilimler göz önüne alındığında, özellikle sürdürülebilir kalkınmaya veya yeşile verilen önem ve çevresel düzenlemelerin kurulmasında piyasa mekanizmalarının kullanılması, çevresel dışsallıklar kavramı ekonomi ve kamu politikalarında giderek daha popüler hale gelmiştir. Özellikle enerji üretim alanında, bir ürünün, sürecin veya hizmetin fiyatlarının oluşturulmasında dış maliyetleri dikkate almanın önemi, çevresel ve ekonomik bilginler tarafından evrensel olarak kabul edilmiştir (Nguyen ve ark, 2016)

### **3.2.1. Çevresel dışsallıkları ölçmek için parasallaştırma yöntemleri**

#### ***Ürün Tasarımında Çevresel Öncelikler Stratejileri (EPS)***

EPS sistemi, ürün geliştirme konusundaki çevresel etkilerin ürün geliştirmedeki karşılaştırmasını kolaylaştırmak için geliştirilen en eski parasal değerlendirme modellerinden birisidir. Modelin en eski sürümü 1991-1992'de yapılmış olup, en son versiyonu 2000 yılında yayınlanmıştır. Sistem, envanter verilerini (örneğin emisyonlar, enerji tüketimi vb. ile ilgili veriler), karakterizasyon faktörlerini ve ağırlıklandırma faktörlerini (parasal birimlerle ifade edilen etki ağırlıkları) kullanarak ürünlerin dış maliyetlerini hesaplar. SimaPro yazılımında uygulandığı gibi EPS yönteminde ele alınan etki kategorileri; insan sağlığı, ekosistem üretim kapasitesi, abiyotik kaynaklar ve biyolojik çeşitlilik. Yöntem aynı zamanda “kültürel ve rekreasyonel değerleri” de dikkate alır, ancak bu yalnızca vaka çalışması temelinde ele alınır. Madde emisyonları (örneğin, CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, vb.) veya kaynakların çıkarılması (örneğin, fosil yakıtlar, mineraller ve ekilebilir arazi) gibi çevresel müdahaleler daha sonra koruma alanlarının her birine zarar verme potansiyellerine göre sınıflandırılır. Ayrıca, her bir müdahalenin değerlendirilmesinde, müdahalenin alanı ya da ilgilenen kişi sayısı, örneğin yoğunluğu ve sıklığı, zaman içindeki uzaması ve toplam akışı gibi ek faktörler de dikkate alınmaktadır (Nguyen ve ark, 2016).

#### ***Dış enerji maliyetleri (ExternE)***

ExternE, 1995 yılında başlayan ve farklı enerji taşıyıcılarının neden olduğu sosyo-çevresel zararların parasallaştırılmasını amaçlayan, Avrupa Komisyonu

tarafından finanse edilen bir projedir. Modelin en son güncellemesi 2005 yılında yayınlanmıştır. ExternE, etkilerden kaynaklanan emisyonların çevresel etkilere ve hasarlara kadar olan detaylı ve sistematik bir değerlendirmesi için etki yolu yaklaşımını uygulamaktadır. Bu amaçla, (1) sahaya ve teknolojiye bağlı emisyonları ölçmek, (2) yerel ve bölgesel dağılım modelleri kullanarak emisyon modelini dağıtmak ve (3) üç korunma konusu (halk sağlığı, inşa edilmiş çevre ve ekosistem hakkında üretim kapasitesi ) doz tepki fonksiyonu üzerindeki etkilerini ölçmek gereklidir. Son adımda, bu etkiler piyasa fiyatlarına göre değerlendirilir veya 'ödeme istekliliği' çalışmalarıyla değerlendirilir (Nguyen ve ark, 2016). .

### ***Ecotax***

EPS ve ExternE'in yanı sıra Ecotax, ağırlık faktörlerinin İsveç'teki çevresel vergi ve harçlara dayanarak elde edildiği bir başka Avrupa parasal değerlendirme yöntemidir. Bu bağlantı, bir vergi seviyesinin devlet hedeflerine göre en uygun şekilde ayarlanması durumunda, çevresel müdahale birimi başına düşen sosyal değeri yansıtması gerektiği teorisi ile açıklanmıştır. Yöntem 1998'de geliştirilmiş ve daha sonra güncellenmiştir. SimaPro yazılımında uygulandığı gibi, LCA'daki Hollanda kılavuzunun temel kümesini kullanarak, çeşitli etki kategorileri yapılmıştır. Vergilerin ve etki kategorilerinin birleştirilmesinde, küresel ısınma, karbon dioksit vergisi ve karbon dioksit eşdeğerleri için ağırlık faktörü gibi bazı durumlarda doğrudan bağlanırken, diğer durumlarda (örneğin, asitlendirme, ötrofikasyon, fotokimyasal oksidasyon, vb.) doğrudan bağlantı bir seçenek değildir ve yeniden hesaplama yapılması gerekmektedir. Ecotax yöntemi, çeşitli müdahaleler veya etki kategorileri üzerindeki vergi ve harçlar arasındaki en düşük (en az) ve en çok (en fazla) ağırlık grubunu önermektedir (Nguyen ve ark, 2016)

### ***Stepwise2006***

Son zamanlarda geliştirilen ve SimaPro yazılımına dahil edilen Stepwise2006 yöntemi, çok çeşitli çevresel etkilerin parasallaştırılmasındaki eksiklikleri azaltmayı ve böylece fayda-maliyet analizlerinin uygulanabilirliğini arttırmayı amaçlamıştır. Orta nokta düzeyinde (örneğin, küresel ısınma, asidifikasyon, ötrofikasyon, insan toksisitesi, ekotoksisite, yenilenemeyen enerji, vb.), karakterize edilen sonuçları hesaplamak için Stepwise 2006, IMPACT 2002 ve EDIP 2003 yöntemlerini birleştirir. Orta noktadaki



etkiler ayrıca üç etki kategorisine ayrılmıştır: İnsan sağlığı (QALY, Kaliteli Yaşam Yılı), Ekosistem kalitesi (BAHY, Biyoçeşitlilik temelinde Hektar Yılı) ve Kaynak verimliliği(QALY'in parasal değeri). Bütçe kısıtlamasından, yani ortalama yıllık gelirin, ortalama bir insanın ek bir yaşam yılı için ödeyebileceği maksimum olduğu gerçeğinden elde edilir. Ekosistem kalitesi için parasal değer, ekosistemleri korumak için feda etmeye hazır olduğumuz refahımızın bir bölümü olarak tanımlanmaktadır (Nguyen ve ark, 2016).

### ***Son Nokta Modellemeye (LIME) Dayalı Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirme Yöntemi***

LIME olarak bilinen LCIA yöntemi, endüstrinin güvenilir LCA'lar yürütmesine yardımcı olan bir veritabanı geliştirmek olan ulusal bir Japon projesidir. Yöntem, LCIA'nın üç ana basamağından (karakterizasyon, hasar değerlendirme ve ağırlıklandırma) uygun protokolleri seçerek Japon arka plan verilerini kullanarak etki değerlendirmesi için kullanılır. Karakterizasyon aşamasında, LIME 11 etki kategorisini dikkate almaktadır: kentsel hava kirliliği, tehlikeli kimyasallar, ötrofikasyon, küresel ısınma, ekotoksisite, asitlenme, ozon tabakasının tükenmesi fotokimyasal oksidasyon, arazi kullanımı, atık ve kaynak tüketimidir. LIME'nin nihai amacı hem dört korunaklı konuya ayrılan uç nokta seviyelerindeki hasarları değerlendirmektir. Bunlar; insan sağlığı, sosyal varlıklar, biyolojik çeşitlilik ve birincil üretim ve bu hasar kategorileri arasında ağırlık sağlanmasıdır (Nguyen ve ark, 2016).

## 4. KONUYLA İLGİLİ LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

### 4.1. LCA İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Vlasopoulos ve ark (2006) gerçekleştirdikleri çalışmada, petrol ve gaz ekstraksiyon işlemleri sırasında oluşan suların arıtılmasına uygun 20 teknolojinin çevresel etkisini araştırmak için LCA yapmışlardır. Söz konusu teknolojilerin fiziki ve operasyonel özellikleri ile ilgili veriler toplanmış ve bunların yaşam döngüsü çevresel etkileri 15 yıl boyunca tahmin edilmiştir. Toplamda, çevresel etkileri nedeniyle 618'den fazla teknoloji kombinasyonu incelenmiştir. Çalışmanın sonunda bu tür proses sularının temizlenmesi için; çözülmüş hava flotasyonu (DAF), filtreleme sistemleri ve ters ozmozun nispeten düşük çevresel etki gösterdiği anlaşılmıştır.

Ortiz ve ark (2007) yaptıkları çalışmada, atıksu arıtımı (13.200 nüfus eşdeğeri için tasarlanmış Konvansiyonel Aktivasyon Çamur Sistemi ) ve bu arıtılmış sulara (UF ve daldırılmalı Membran Biyolojik Reaktörler, MBR) suyun yeniden kullanılmasını mümkün kılan üçüncül arıtma yöntemi uygulanmıştır. Bu su arıtma teknolojilerinin çevresel değerlendirilmesi, geniş bir perspektifle ve en düşük çevresel yükü harekete geçiren teknolojiyi titiz ve objektif bir şekilde oluşturmak için Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA) tekniği ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada SimaPro 5.1 yazılımı LCA analiz aracı olarak kullanılmış ve üç farklı değerlendirme yöntemi (CML 2 temel 2000, Eco-Points 97 ve Eco-Indicator 99) uygulanmıştır. Sonuçlar, üçüncül arıtma teknolojilerinin çevresel yükleri önemli ölçüde artırmadığını ve böylece su sıkıntısı yaşanan alanlarında suyun yeniden kullanılmasıyla ilgili teknolojilerin yoğun olarak kullanılabileceği kanıtlanmıştır.

Vince ve ark (2008), LCA'yı kullanarak farklı içme suyu arıtım proseslerinin çevresel yükünü incelemiştir. Çalışmada ters ozmoz, , nanofiltrasyon, ultrafiltrasyon ve termal damıtma yöntemleri karşılaştırılmıştır. Sonuçlar işletme aşamasında elektrik tüketiminin çevresel etkilerin ana kaynağı olduğunu göstermiştir. Bu çevre üzerindeki etkileri azaltmak için alternatif prosesler ve yenilenebilir enerji kaynaklarının seçilebileceği sonucuna varılmıştır.

Bonton ve ark (2012)'nin çalışması, yüzey suyundan içme suyu üretim, küresel çevresel etkiye sahip olan çeşitli süreçleri, enerji tüketimini ve kimyasal dozlamayı içermektedir. Bu çalışmanın amacı iki su arıtma tesisinin karşılaştırmalı bir yaşam

döngüsü değerlendirmesini yapmaktır: bir gelişmiş konvansiyonel tesis ve nanofiltrasyon sistemi uygulanan tesis. Mevcut bir nanofiltrasyon tesisi, işletme ve inşaat aşamaları dahil olmak üzere, detaylı bir şekilde seçilmiş ve araştırılmıştır. Bu tesis, Quebec Eyaleti'nin kuzey kesiminde yer almaktadır ve 10 yıldan fazla bir süredir faaliyet göstermektedir. Karşılaştırmalı yaşam döngüsü değerlendirmesi, envanter ve etki değerlendirme aşamaları için SimaPro yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Çalışma, iki tesis için çok farklı etkiler ortaya koymuş, su arıtma kimyasalları ve enerji kaynağı seçiminin önemine dikkat çekmiştir.

Cristopher ve ark. (2012) bir güneş enerjili su ısıtıcısının (SWH) teknik ve çevresel performansını, yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA) yöntemi kullanılarak incelemiştir. Güneş enerjisiyle çalışan termal ısıtma işlemi sırasında emisyon üretmez ancak bileşenlerin ve sistemlerin imalatı ve montajı sırasında bazı küçük emisyonlar üretilmektedir. Bu çalışma SWH'nin üretim aşamalarını incelemekte olup, kaynak tüketimini ve atık akışlarını çevreye etkilerini araştırmaktadır. Sistem sınırı, çelik, cam, bakır, alüminyum, cam fiber ve poliüretan izolatörler gibi hammadde üretimini, güneş kolektörü ve ısı depolama tankı gibi SWH'nin çeşitli bölümlerinin imalatını ve son montaj işlemini içermektedir. Seçilen fonksiyonel birim 1 MW üretilen sıcak sudur. Çalışmada dikkate alınan çevresel etkiler, sera etkisi, ozon tüketimi, asidifikasyon, ötrofikasyon, ağır metaller, kanserojen maddeler, kış dumanı ve yaz sisidir. Sistemin yılda 1702 kWh sağlayabilir olduğu ve % 58,5 oranında güneş enerjisinden yararlanıldığı anlaşılmıştır.

Amores ve ark. (2013), bir Akdeniz kenti olan Tarragona'da kentsel su döngüsünün her aşamasının çevresel analizini yapmak için Yaşam Döngüsü Değerlendirme metodolojisini kullanmıştır. Bu aşamalar: herhangi bir kaynaktan su çıkarmak, içme suyu arıtımı, ara pompalama, dağıtım ağı, kanalizasyon toplama ve atıksu arıtma (senaryo I) şeklindedir. Bu çalışma aynı zamanda artan talepten ve sınırlı kaynaklardan kaynaklanan yüksek su kullanım seviyesini azaltan çevresel performansı iyileştirmek için olası senaryolar önermektedir: suyun kazanılması (senaryo II) ve tuz giderme tesisi (senaryo III). Envanter analizi yerel operasyon verileri kullanılarak yapılmıştır. Mevcut durumda (senaryo I) kentsel su döngüsü üzerindeki ana çevresel etkiler, dağıtım şebekesinin % 35,2'sinden, toplama pompalarının % 20,5'inden ve Küresel Isınma Potansiyeli etki kategorisi için atıksu arıtma tesisinin % 13,8'inden

kaynaklanmıştır. Bunun nedeni ise, bu aşamalar yüksek enerji tüketimine sahiptir. Geri Kazanılan sularda (senaryo II), net su tasarrufu nedeniyle tatlı su tüketiminde azalma haricinde, üçüncül arıtımın getirdiği çevresel yüklerin eklenmesi nedeniyle, göstergelerde önemli bir gelişme gözlenmemiştir. Tuz giderim tesisinde (senaryo III), tüm etki kategorilerinin Senaryo II'den yüksek olduğu gözlemlenmiştir. En iyi çevresel etkiye suyun geri kazanımının (senaryo II) sahip olduğu kanıtlanmıştır.

Tong ve ark.(2013) Çin'deki sanayi parklarının hızla gelişmesi, özellikle tatlı su kullanımı ve atıksu deşarjı gibi büyük kaynak tüketiminin artması üzerine bir çalışma başlatmıştır. Bu çalışmada, farklı senaryolarla arıtılmış atıksuların çevresel etkilerini karşılaştırmak için LCA çalışması yapılmıştır. Çalışmada dört senaryo seçilmiştir: atık suyun arıtılarak deşarj edilmesi, atık suların % 20 ile % 99'unun arıtılarak endüstriyel proses suyu olarak yeniden kullanılması ve son olarak arıtılan atıksuyun bahçe sulamasında kullanılması. Envanter verileri esas olarak Jiangsu Eyaletindeki bir sanayi parkının atıksu arıtımını ve yeniden kullanım sistemini yöneten bir tesiste elde edilmiştir. Çevresel etkiler GaBi versiyon 4.3 veri tabanına yerleştirilmiş CML2001 yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar, suyun tekrar kullanımının faydalı olduğunu ve yeniden kullanım oranının sistemin çevresel performansını önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir. Su yönetimindeki karar vericilerin, suyun yeniden kullanımı uygulamaları için hem su miktarını hem de kalitesiyle beraber çevresel etkilerini de dikkate almaları gerektiği konusuna dikkat çekilmiştir.

Zang ve ark (2015) yaptıkları bir çalışmada, bazı çevresel etki kategorilerinin kalitatif yorumunu sağlamak amacıyla biyolojik arıtma sistemi (aktif çamur) ile ilgili LCA çalışmalarını gözden geçirmiştir. Ötrofikasyon potansiyeli, küresel ısınma potansiyeli, toksisite ile ilgili etkiler, enerji dengesi, su kullanımı, arazi kullanımı etki kategorileri incelenmiştir. AAT'lerin her bir etki kategorisi için olası kaynakları, AAT sonuçlarını etkileyebilecek olan kritik yönler hakkında bilgi sağlamak için özetlenmiştir. Çalışma sonunda, atık su arıtma tesislerine ilişkin sahaya özgü LCA çalışmalarının yapılmasının önemli olduğu belirtilmiştir. LCA'nın atık su arıtma alanındaki uygulamalarının hala sınırlı olduğu kanısına varılmıştır ve günümüzde atıksu arıtma alanında LCA metodolojisinin uygulanmasının hala devam ettiği belirtilmiştir.

Biswas ve Yek (2016) tarafından yapılan çalışmada, yeraltı suyu arıtımı, yüzey suyu arıtımı ve deniz suyu arıtımının çevresel açıdan etkileri incelenmiştir. Yeraltı ve

yüzeş suyu arıtma tesisinde, suyu arıtmak için geleneksel bir arıtım teknolojisi kullanılırken deniz suyu arıtma tesisinde Elektrodializ (ED) işlemleri kullanılmıştır. Tüm veriler Simapro yazılımı kullanılarak yorumlanmıştır. Yeraltı suyu arıtımı, yüzeş suyu arıtımı ve deniz suyu arıtımından kaynaklı elektrik tüketiminin sırasıyla % 95, % 82 ve % 98 değerine sahip olduğu ve deniz suyu arıtımının en yüksek küresel ısınma etkisine neden olduğu sonucuna varılmıştır.

Opher ve Friedler (2016) yapmış oldukları bir çalışmada, dört senaryo içeren arıtma tesisinin çevresel etkilerini incelemek üzere Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi gerçekleştirmişlerdir. İlk senaryo, atıksuların atıksu arıtma tesisine (WWTP) taşınması ve arıtılması ve daha sonra bir akarsuya deşarj edilmesidir. Diğer üç senaryo ise, gri su (GW) arıtımı ve yeniden kullanımına yöneliktir. Elektrik, çoğu kategoride, çevresel etkinin en fazla olduğu kategori olarak hesaplanmıştır. Çalışmada insan toksisitesi ve tatlı su ve deniz ekotoksitesisi üzerinde de çevresel etkinin diğer kategorilere göre fazla olduğu anlaşılmıştır. Elektrikten kaynaklı çevresel etkilerin fazla olmasının yenilenebilir enerji kullanımının olmamasından kaynaklandığı düşünülmüş ve yenilenebilir enerji kaynak kullanımının yaygınlaşmasının çoğu etki kategorisinde çarpıcı bir iyileşme ile sonuçlanabileceği anlaşılmıştır. Ayrıca yapılan çalışmada, kentsel atıksu yönetiminde, gri su yönetiminin diğer merkezi sisteme göre çevresel olarak daha az etkilere sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Piao ve ark.(2016) bir çalışmada, yaşam döngüsü analizine (LCA) ve ekonomik etki analizine (EEA) dayalı, büyük bir şehirde çeşitli atıksu arıtma tesisi (AAT) işlemleri, entegre bir çamur yönetimi sistemi ve atık çamur bertaraf yöntemlerini değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak çevresel açıdan en iyi sonuçlar aerobik, anaerobik ve anoksik proseslerinin tümünü içeren azot ve fosfor giderim A<sub>2</sub>O işleminde gözlemlenmiştir. Bu prosesin en düşük ötrofikasyon potansiyeli (EP) ve küresel ısınma potansiyeline (GWP) sahip olduğu, ancak en yüksek asidifikasyon potansiyeli (AP) ve ), insan üzerine olan toksik etki potansiyeline (HTP) neden olduğu anlaşılmıştır. Çamur yönetimi için dört farklı senaryo oluşturulmuş olup, maliyet ve çevresel etkiler göz önüne alındığında yakma prosesinin avantajlı olduğu belirtilmiştir. Çamur yönetiminin basit entegrasyonu ile, çamur taşıma maliyetinin % 6,1 azaltılabilir olduğu anlaşılmıştır. Çamur bertaraf yöntemi olarak yakmanın en ekonomik olduğu görülmüş olup, bu

bertaraf yönteminin işletme ve yönetim maliyetini % 33 oranında düşürdüğü saptanmıştır.

Toja ve ark. (2016) bir çalışmada, İspanya'nın farklı iklim bölgelerinde (Atlantik ve Akdeniz) bulunan iki adet atıksu arıtma tesisinin çevresel değerlendirmesi için geleneksel yaklaşım olarak, organik yük ve besin maddelerinin giderim verimliliğinin yanı sıra enerji ve kimyasal tüketiminin önemini vurgulamışlardır. Bu çalışmanın sistem sınırları atıksu arıtma sistemindeki tüm süreçleri kapsamaktadır. Çamurla ilgili olarak, kompostlama işlemi ve uygulaması da sistem sınırları içerisinde incelenmiştir. Ayrıca çalışmada, kimyasal tüketim ve atık yönetimi kısmında ulaşım da dahil edilmiştir. Araştırmanın odaklandığı başlıca konulardan birisi, atıksu arıtımında ortaya çıkan doğrudan sera gazı emisyonlarıdır. Sera gazı emisyonları toplam küresel ısınma potansiyelinin (GWP) %62'sini oluşturmuştur. Elektrik kullanımından dolayı CO<sub>2</sub> emisyonlarının da önemli olduğu saptanmıştır. Ayrıca, inşaat aşamasının, değerlendirmeye tabi tutulan tüm etki kategorileri için neredeyse göz ardı edilebilir olduğu belirlenmiştir. Her iki senaryoda da, atık su arıtımı kış aylarında daha az çevre dostu görünmektedir. Bu gerçeğin başlıca nedenlerinin, daha yüksek elektrik tüketimi, daha yüksek atık üretimi ve aynı zamanda kışın kirleticilerin yoğunlaşması olduğu belirtilmiştir.

Pintilie ve ark. (2016) yapmış oldukları bir çalışmada İspanya'daki kentsel atıksuların arıtılmasından kaynaklanan çevresel etkilerin belirlenmesi için Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA) gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada, atıksu arıtma tesislerinde konvansiyonel arıtmadan sonra iki senaryo düşünülmüştür. Bunlar, a) direk alıcı ortama deşarj b) sanayi bölgesinde kullanılmak üzere atıksuyun yeniden kullanımı. İspanya'daki atıksuyun yeniden kullanılması ve geri kazanılan suyun temiz su kullanımı üzerindeki etkisi bu çalışmada değerlendirilmiş olup, sonuç olarak atıksuların yeniden kullanılmasının tatlı su kaynaklarının korunmasında da rol oynadığı belirlenmiştir.,Bu çalışmada atıksuyun yeniden kullanımının çevresel etkilere olumlu ölçüde katkıda bulunduğu kanıtlanmıştır.

Bai ve ark. (2017) Çin'deki tam ölçekli bir Atıksu Arıtma Tesisi, LCA analizinde genel bir yöntem olan CML ve Çin'e özgü bir yöntem olan e-Bakiye yöntemi kullanarak yaşam döngüsü değerlendirmesi çalışması başlatmıştır. Bu çalışmada 4 arıtma senaryosu (arıtımın olmaması, birincil arıtım, ikincil arıtım ve üçüncül arıtım)

karşılaştırılmıştır E-Bakiye yöntemiyle ilgili veritabanında toksisite bazlı etki kategorilerinin bulunmaması nedeniyle, CML yöntemine göre üçüncül arıtım senaryosunun daha düşük çevresel etkiye sahip olmuştur. Çevresel etkilerden kaynaklı olaylara çözüm bulabilmek için bölgede LCA yöntemlerinin kullanılmasının gerekli olduğu sonucuna varılmıştır.

Garfi ve ark.(2017) yaptıkları çalışmada, küçük yerleşim birimlerinde atıksu arıtımı için üç alternatifin çevresel etkisi değerlendirilmiştir. Çalışmada, geleneksel bir atıksu arıtma tesisi (yani aktif çamur sistemi) ile doğa tabanlı teknolojileri (yani hibrid oluşturulan sulak alan ve yüksek oranlı alg toplama sistemleri) karşılaştırılarak bir LCA gerçekleştirilmiş olup, ayrıca ekonomik bir değerlendirme de ele alınmıştır. Çalışmanın fonksiyonel birim 1 m<sup>3</sup> su olarak seçilmiştir. Sistem sınırları, sistemin kurulması ve işletilmesi için malzeme ve enerji kaynaklarının tümünü içermektedir. LCA, SimaPro® 8 yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, doğa tabanlı teknolojilerin çevre dostu olduğunu göstermiştir. Yüksek elektrik ve kimyasal madde tüketiminden dolayı en kötü sonuçlar geneleksel arıtmaya ait çıkmıştır. Ayrıca, yapılan sulak alanlar ve yüksek oranlı alg toplama sistemleri, çevresel etki açısından benzer sonuçlar vermesine rağmen, sulak alanların daha ucuz sistemler olduğunu anlaşılmıştır.

Polruang ve ark. (2018)'nin çalışmasında yaşam döngüsü değerlendirmesi yöntemi ile üç farklı güç(enerji) programı güç düzeni ve üç farklı atıksu yönetimi programı kullanılmış ve Tayland'ın başkenti Bangkok'taki yedi atıksu arıtma tesisinin (WWTP) çevresel etkileri araştırılmıştır. Atıksu yönetim programının ilki atıksuyun alıcı ortama direk deşarj edilmesi modeli olup, ikincisi geri kazanılan atıksuyun boru hattı ile taşınmasıyla bitki sulamasında kullanılması, en son program modeli ise geri kazanılan suyun kamyon ile taşınmasıyla bitki sulamasında kullanılması senaryosunu içermektedir. 3 farklı enerji elde etme programının ilki Tayland'ın mevcuttaki enerji üretimi olup bu enerji üretiminde kömür,petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıt kullanımına dayanmaktadır. İkinci program, Tayland'ın 5 yıl sonraki enerji üretimi olarak planlanmış ve bu enerji üretimi güneş, rüzgar vb. yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edileceği öngörülmüştür.En son program modeli ise Tayland'ın 20 yıl sonraki enerji üretimi olarak düşünülmüş ve nükleer enerji kullanımı planılmıştır. Planlanan senaryolarda fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltacak, yenilenebilir enerji kullanımı ve ülkenin doğalgaza bağıllığını azaltmak için nükleer enerjinin kullanımına yönelik

çalışmalar incelenmiştir. Atıksu yönetiminin abiyotik tükenme ve ötrofikasyon haricinde, tüm çevresel etkilere katkıda bulunduğu gözlemlenmiştir. Sonuçlar atıksu arıtımında en büyük çevresel etkinin ötrofikasyon olduğunu göstermiştir.

Saad ve ark.( 2018) bir çalışmada, büyük bir su arıtma tesisinin yaşam döngüsü boyunca çevresel sürdürülebilirliğinin önemini vurgulamışlardır. Bu çalışma, Türkiye'deki bir arıtma tesisinin çevresel etkilerini içermektedir. LCA çalışması için GaBi yazılımı kullanılmış ve fonksiyonel birim  $1 \text{ m}^3$  olarak seçilmiştir. Tesis, maksimum  $400.000 \text{ m}^3 / \text{gün}$  içme suyu debisi üretmekte ve yaklaşık  $2.600.000$  kişiye hizmet vermektedir. Tesiste  $1 \text{ m}^3$  su elde etmek için  $0,57 \text{ kWh}$  elektrik tüketimi olduğu belirlenmiştir. Toplam elektrik tüketiminin % 85'inin giriş ve çıkış pompalama istasyonlarından kaynaklandığı belirtilmiştir. Sonuçlar, çevresel etkilerin, enerji kaynaklarına bağlı olarak elektrik tüketiminden kaynaklandığını göstermekte olup, çevresel etkileri azaltmak için en iyi seçenek, rüzgar türbinleri gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması gerektiğini göstermiştir. % 60 verimliliğe sahip pompalar, % 90 verimlilikle değiştirildiğinde tüm etki kategorilerinde %15 ile % 24 arasında bir azalma elde edileceği öne sürülmüştür. Bu çalışma Türkiye ve diğer ülkeler için envanter kaynağı olmasından dolayı önem teşkil etmektedir.

Salihoğlu ve ark. (2018) yapmış oldukları çalışmada, Bursa Organize Sanayi Bölgesi'nde (BOSB) yer alan işletmelerin proses suyu ihtiyacını karşılayan su üretim tesisinin çevresel yükünün belirlenebilmesi için yaşam döngüsü değerlendirmesi yöntemi uygulamıştır. Su üretim tesisinde, Nilüfer deresi suları konvansiyonel ve ileri arıtma sistemleri ile proses suyu haline dönüştürülmektedir. Sistem sınırları beşikten kapağa olarak belirlenen yaşam döngüsü değerlendirmesinde, envanter analizinde tesis iç raporlarındaki veriler, SimaPro 8 yazılımı ve ReCiPe etki analizi metodu kullanılmıştır. Fonksiyonel birim olarak  $1 \text{ m}^3$  proses suyu seçilmiştir. Tesisi oluşturan tüm alt sistemlerin iklim değişikliği, stratosferik ozon tabakasındaki incelleme, ötrofikasyon, asidifikasyon, toksik emisyonlar gibi çevresel unsurlar üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Çalışma sonucunda su üretim tesisinin ileri arıtma sisteminde yer alan ters ozmos ünitelerinin, tesisteki üniteler içerisinde en yüksek çevresel yüke sahip olan üniteler oldukları belirlenmiştir. Bunun temel nedeninin, bu üniteler işletilirken ortaya çıkan yüksek orandaki elektrik tüketimi olduğu öngörülmüştür Çevresel yük oluşturan unsurlar sıralamasında ikinci sırayı ise tesiste kullanılan kimyasal maddeler almaktadır.



## 4.2. Parasallaştırma İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Ahlthorh ve Finnveden (2011) yaptığı çalışmada, Ecovalue08 adlı bir ağırlık seti geliştirmiş ve Ecotax02, Ecoindicator99 ve EPS2000 ağırlık setleri ile karşılaştırmıştır. Kullanılan etki kategorileri; ötrofikasyon, asidifikasyon, küresel ısınma, troposferik ozon oluşumu, insan sağlığı, abiyotik kaynakların tükenmesidir. Tüm etki kategorileri için aynı değerlendirme ilkesini kullanarak tutarlı bir dizi ağırlıklandırma faktörü geliştirmenin mümkün olduğu gösterilmiştir. Ağırlık düzeninin performansını test etmek için üç çalışma uygulanmış ve Ecotax02, Ecoindicator99 ve EPS2000 ağırlık setleri ile karşılaştırıldığında dahaiyi çalıştığı gözlemlenmiştir. EPS ile iklim değişikliğinden kaynaklı insan sağlığı etkileri en fazla etkilenen kategori olmuştur ve CO<sub>2</sub>, N O ve CH<sub>4</sub> emisyonlarının neden olduğu abiyotik kaynakların tükenmesinin (özellikle uranyum ve dizel kullanımı nedeniyle) en büyük ikinci etki olduğu belirlenmiştir. Ecoindicator ile en büyük etki, fosil yakıtların kullanılması olmuş ve bunlardan kaynaklanan emisyonların solunum hastalıkları şeklinde insan sağlığına etkileri olduğu saptanmıştır. Ayrıca gübre yayılımından kaynaklanan NH<sub>3</sub> emisyonları da insan sağlığı kategorisini etkilemiştir. Ecotax, ötrofikasyonu en büyük etki olarak tanımlamıştır ve çoğunlukla azot sızıntısından kaynaklandığı düşünülmüştür. En büyük ikinci etki ise tıpkı EPS'de olduğu gibi uranyum kullanımı nedeniyle abiyotik kaynakların tükenmesi olduğu anlaşılmıştır.

Li, Y ve ark. (2013) bir çalışmada, Çin'in Kunshan kentinde bir atıksu arıtma tesisinde CML Baseline 2000 yöntemi ile SimaPro 7.0 yazılımı kullanılarak yaşam döngüsü değerlendirilmesi yapılmış ve LCA sonuçları vergileştirilerek parasallaştırılmıştır. Bu Yaşam Döngüsü Değerlendirmesinin amacı, Atıksu arıtma tesisinin çevresel faydalarını ve dezavantajlarını karşılaştırmaktır. Atıksu arıtma tesislerinde farklı ileri işlem süreçleri kullanılmış ve İnşaat aşaması, işletme ve bakım, çamur depolama ve kimyasal malzemelerin atıksu arıtma tesislerine taşınması gibi kategoriler dikkate alınmıştır. Kunshan atıksu arıtma tesisinin LCA sonuçlarına göre enerji kaynağı olarak yenilenebilir enerji kaynağından biri olan rüzgar enerjisinin kullanılmasının çevresel etkileri azaltacağı öngörülmüştür.. Ayrıca, çevresel etkiler vergiler açısından değerlendirilmiş ve arıtma işleminin seçiminin önemi vurgulanmıştır.

Ferreira ve ark.(2014) yaptığı bir çalışmada, Portekiz'de ambalaj atığı geri dönüşüm sistemine dahil olan tüm ekonomik ve çevresel maliyetler hesaplanarak önemi

vurgulanmıştır Ekonomik ve çevresel değerlendirmeler, belediye atık yönetimi operasyonlarından sorumlu operatörlerden toplanan verilere dayanarak geliştirilmiştir. Çevresel etkiler bir Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi ile ölçülmüş ve daha sonra üç çevresel değerlendirme yöntemi(Ecovalue08, Eco-cost2012 ve Stepwise2006) ile parasal değerlere dönüştürülmüştür. Bu çalışmada, atık toplama ve atık bertaraf işlemlerinin, atıkları geri dönüşüme hazırlayan faaliyetlerden daha pahalı olduğu (özellikle çevre açısından) kanıtlanmıştır. Ayrıca “Kaçınılmış maliyet” bileşenlerinin Portekiz atık yönetimindeki verimliliği arttırmada, ekonomik maliyetlerini ve çevresel zararları azaltmada önemli bir rol üstlendiği belirlenmiştir.

Nguyen ve ark. (2016) bir çalışmada, yaşam döngüsü modelinde çevresel dışsallıkların nasıl değerlendirilebileceği konusunda kapsamlı bir literatür taraması yapmış ve parasallaştırma modellerine dayanarak elde edilen sonuçların tutarlılığını kontrol etmişlerdir. Çalışma için ana tüketici, elektrik enerjisi seçilmiştir. Dışsallıkların mevcut parasal değerlendirme yöntemleriyle nasıl ölçüleceğini göstermek için, üç Avrupa parasallaştırma modeli (EPS 2000, Ecotax ve Stepwise2006) kullanılarak elde edilen sonuçlar analiz edilip karşılaştırılmıştır. Tahıl üretiminin yan ürünü olan samanın, fosil yakıtlar yerine elektrik üretimindeki çevresel maliyetlerini ölçen envanter verileri kullanılmıştır. Orta nokta etkilerini hesaplamak için CML 2002 temel karakterizasyon yöntemi kullanılmıştır. Üç para kazanma yöntemini, EPS 2000, Stepwise 2006 ve Ecotax’ı karşılaştıran durum çalışmasının sonuçları, sadece tek bir ürünün tek puanının mutlak değerinin değil, aynı üründeki alternatifler arasındaki göreceli sıralamanın da olduğunu göstermektedir. EPS 2000 yönteminin uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar, elektrik için yenilenebilir kaynaklar kullanılmasının fiyat dezavantajlarını ortadan kaldırdığını ve bunların da kömür, petrol ve doğal gaz gibi geleneksel ürünlerden daha fazla tercih edilmelerini sağladığını göstermektedir. Bu çalışma, dışsallıklardan kaynaklanan pazar başarısızlığının vergi araçları yoluyla, özellikle de KDV ile içselleştirerek düzeltilebileceğini öne sürmektedir.

Volchko ve ark. (2017)yaptıkları çalışmada, İsveç'teki dört alternatif bakır geri kazanımı uygulamasını maliyet açısından değerlendirmiştir İlk alternatif olarak, rafine edilmek üzere bakırca zengin külün bir metal üretim şirketinde kullanılmasıdır. Diğer üç alternatif ise, metalurjik yöntemler kullanarak ileri prosesler sonucu ortaya çıkan metal tortunun satılmasını içermektedir. Tüm alternatifler geleneksel kazı ve imha

yöntemine göre değerlendirilmiş olup külden metal geri kazanımı, metal çamuru satışı ve kirlenmiş toprağın bertaraf edilmesine kadar tüm süreç incelenmiştir. Ayrıca atık depolama prosesi mevcut koşullar göz önüne alındığında, ekonomik potansiyeli, geleneksel kazı ve imha yöntemine göre düşük olduğu belirlenmiştir. Uzun vadeli bir yatırım projesi çerçevesinde işleme ekipmanlarına yapılan yatırım, tekrar kullanılabilir toprak kalıntısı üretimi ve pazardaki yüksek bakır fiyatları, metal geri kazanım teknolojisinin sosyal olarak karlı hale getirebileceği kanıtlanmıştır.

Eidelwein ve ark. (2018)'nin çalışmasında Ekonomik ve Çevresel Sonuçların Beyanını Detaylandırma Yöntemini (MESEER) geliştirilmiş ve bu yöntemin petrokimya şirketine uygulaması incelemiştir. Petrokimya tesisine yapılan pilot uygulamada, çevresel maliyetler şirketin tamamının ekonomik kârının % 12,5'ini oluşturduğu belirtilmiştir. Çevresel maliyetlerin çoğu, sera gazı emisyonlarına (% 60,32), ardından hava kirliliğine (% 39,16) neden olduğu belirlenmiştir. Çalışmada tesisin sürdürülebilirliğine odaklanan bir çevre yönetiminin stratejik önceliklerini açıkça belirlenmiş ve vurgulanmıştır. Fakat performans raporlarında dışsallıkların tamamen içselleştirilmesinde yeni iyileştirmeler yapılması gerekmekte olduğu belirlenmiştir.

Huysegoms ve ark. (2018) yapmış oldukları çalışmada, Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA) gerçekleştirmiş ve sonuçları Stepwise 2006 ve Ecovalue 08 olmak üzere iki farklı teknik kullanılarak parasallaştırılmıştır. Çalışmada, gaz tesisinden oluşan katran, poli-aromatik hidrokarbonlar (PAH) ve siyanürle kirlenmiş yeraltı suları ve toprak iyileştirme çalışması incelenmiş olup, iyileştirme seçenekleri parasallaştırma yöntemiyle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, LCA ile parasallaştırma yönteminin birbirinin tamamlayıcısı olduğu anlaşılmış, bu projenin daha detaylı şekilde uygulamasının önemi vurgulanmıştır.

## 5. MATERYAL VE METOD

Atıksu geri kazanım tesisleri ile ilgili olası çevresel problemlerin tanımlanabilmesi için tüm arıtma proseslerindeki (enerji, kimyasal vb.) yaşam döngüsünü içeren bütünsel bir sistem ele alınmalıdır. Bu nedenle, tez çalışmasında arıtma prosesi basamaklarını içeren tüm sistem dikkate alınmış ve mevcut atıksu arıtma tesisi işletmecileri, gelecekte yapılacak atıksu arıtma tesisi karar vericilerine örnek teşkil etmesi amacıyla LCA ve maliyet birlikte değerlendirilmiştir.

LCA, bu çalışmada dört adımda gerçekleştirilmiştir. İlk adımda, hedef ve kapsam tanımı ile çalışmanın amaçları ve hedeflenen çıktılara ulaşmak için gerekli ana bileşenler ortaya konularak atıksu geri kazanım tesisi sisteminin sınırları ve fonksiyonel birimi belirlenmiştir. İkinci adımda, yaşam döngüsü envanter analizi için (LCI) malzeme ve enerji akışının sayısal verilerinin toplanması ve değerlendirilmesi, sistem sınırları kapalı bir kutu olarak ele alınarak, sistem sınırına giren tüm kimyasallar, enerji bileşenleri ve çıkan kirletici bileşenleri fonksiyonel birim bazında hesaplanmıştır. Üçüncü adımda, yaşam döngüsü etki değerlendirmesi (LCIA) ile atık su geri kazanım sisteminin tüm bileşenlerinin çevresel etkileri etki kategorileri bazında lisanslı SimaPro 8.5.0 yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır. Dördüncü aşamada, etki değerlendirmesi sonuçları yorumlanmıştır.

Parasallaştırma (monetization) bölümü dört adımda gerçekleştirilmiştir. Öncelikle, atıksu geri kazanım tesisinin hedef ve kapsam tanımı yapılmıştır. İkinci adımda, maliyet prosesleri detaylı bir şekilde incelenerek maliyet faktörleri belirlenmiş ve kategorilere ayrılmıştır. Üçüncü adımda, maliyet verileri toplanarak envanter oluşturulmuştur. Dördüncü adımda, parasallaştırma modeli, LCA sonuçlarına göre yorumlanmıştır. Ayrıca, yapılan detaylı maliyet envanter analizinde yatırım maliyeti (kullanılacak ekipman maliyeti), inşaat maliyeti ve işletme maliyeti (kimyasal madde maliyeti, enerji kullanım maliyeti, işçilik maliyeti ve bakım-onarım maliyeti) hesaplanmıştır.

### 5.1. Atıksu Geri Kazanımı ve LCA Uygulaması

#### 5.1.1. Hedef ve kapsam tanımı

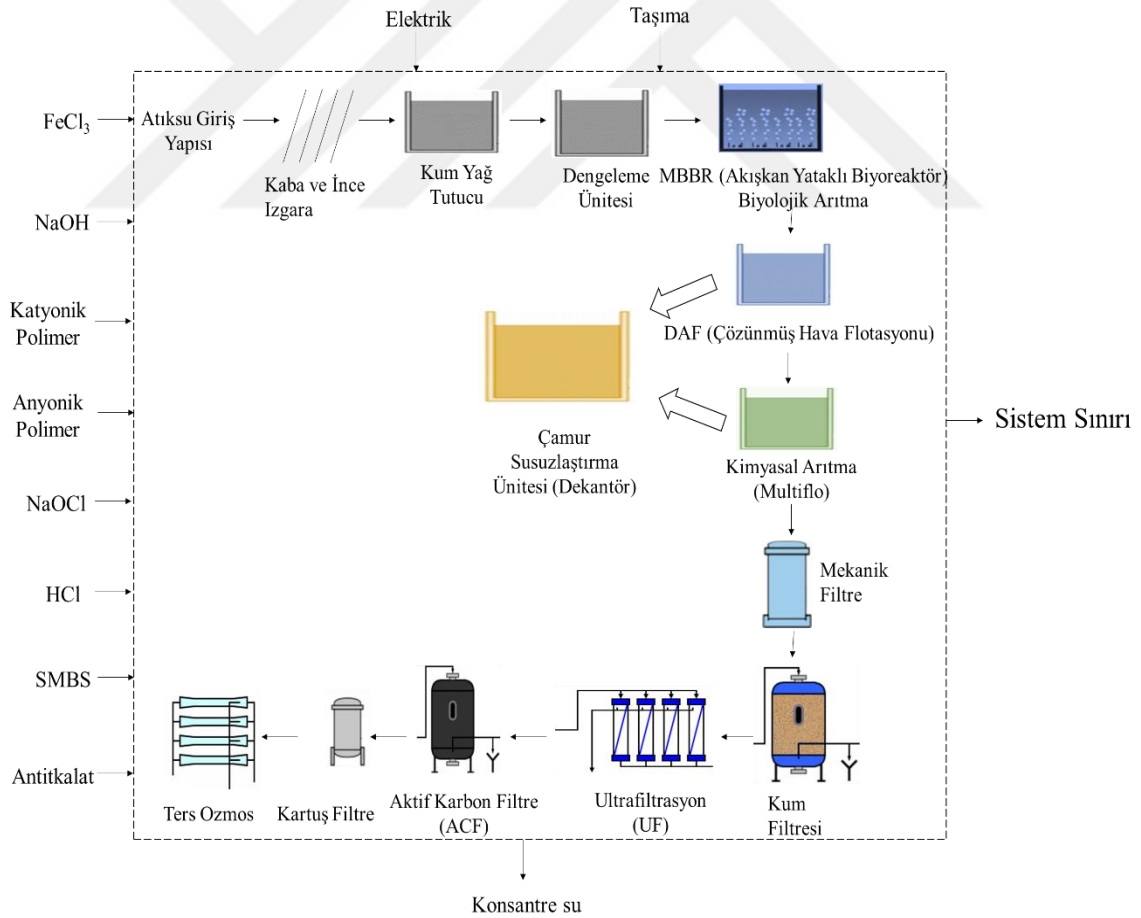
Çalışmada, Kocaeli ilinde faaliyette olan atıksu geri kazanım tesisinde kullanılan kimyasal madde, kullanılan enerji ve bertaraf aşaması da dahil olmak üzere çevresel etkilerin LCA yöntemiyle belirlenmesi amaçlanmıştır. Sistem sınırları, atıksu arıtma

tesisinde kullanılan kimyasalların tüketimini, tesise taşınmasını, tüm proseslerde kullanılan elektrik enerjisinin tüketimini ve atıksuyun arıtma tesisine girdikten sonra arıtılarak geri kazanılmasını ve alıcı ortama deşarj edilmesine kadarki tüm arıtım proseslerini kapsamaktadır.

Çalışmada fonksiyonel birim olarak 1 m<sup>3</sup> geri kazanılmış atıksu seçilmiştir.

Sistem sınırları (Şekil 5.1);

- Arıtma tesisinde kullanılan kimyasalların eldesi,
- Elektrik enerjisinin üretilmesi ve dağıtılması,
- Kimyasalların ve atıkların nakliyesi,
- Arıtma tesisindeki tüm yapım, bakım onarım ve işletme,
- Atık arıtımı ve bertarafı aşamalarını içerecek şekilde beşikten mezara (cradle to grave) yaklaşımı ile belirlenmiştir.



Şekil 5.1. Sistem sınırları

Çalışmada verileri kullanılan atıksu arıtma tesisi, konum olarak İzmit Körfezi'nin doğusunda Alikahya Beldesi/İzmit Belediyesi sınırları içerisinde kalmakta olup, alanın kuzey sınırı İZAYDAŞ (İzmit Atık ve Artıkları Arıtma Yakma Ve Değerlendirme A.Ş.) tesisine 1,2 km mesafede, Batı sınırı Sabancı İzmit Fabrikalarına 1,5 km mesafededir. Bölge içerisinde faaliyet gösteren 7 firma bulunmaktadır.

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği hükümlerine göre, tesis tarafından arıtılacak olan atıksu "S.K.K.Y. Tablo 19: Karışık Endüstriyel Atıksuların Alıcı Ortama Deşarj Standartları (Küçük Ve Büyük Organize Sanayi Bölgeleri Ve Sektör Belirlemesi Yapılamayan Diğer Sanayiler)" sınıfına girmektedir.

Çalışmada ele alınan AAT 4.000 m<sup>3</sup>/gün olarak tasarlanmış olup, tasarıma esas kirlilik değerlerinin %25 fazlasını karşılayabilmektedir. Ayrıca tesis dizaynı, herhangi bir ek yapıya gerek duyulmadan, ilave ekipmanlar ile tesis kapasitesini 6.000 m<sup>3</sup>/gün'e çıkabilmektedir. Bu sisteme paralel olarak atık su geri kazanım tesisi bulunmakta ve faal olarak çalışmaktadır. Atıksu Geri Kazanım Tesisi hamsuyu, arıtma bünyesinde bulunan mevcut kimyasal arıtma çıkış suyu olarak tanımlanmıştır. 3000 m<sup>3</sup>/gün kapasiteli geri kazanım tesisinde; arıtılmış atıksu, mekanik ve kum filtrelerden geçirilerek, ince katı partiküller ve askıda katı maddeler (AKM) giderilmektedir. Ultrafiltrasyon (UF) ünitesinde yine AKM giderilirken sudaki bulanıklığın da giderimi sağlanmaktadır. Aktif karbon (AC) ünitesinde koku oluşturan organik maddeler giderilmektedir. Son olarak ters osmoz (RO) ünitesinde toplam çözünmüş madde (TDS), sertlik ve kimyasal maddeler giderilmektedir. Geri kazanılmış su, Ultraviyole (UV) ışınları ile dezenfekte edilerek bölge içerisindeki fabrikalarda tekrar kullanılma hazırlanmaktadır. Geri kazanım sırasında oluşan kimyasal atıksular, nötralize edilerek, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ne uygun olarak deşarj edilmektedir.

Atık Su Arıtma Tesisi Bölümleri aşağıdaki gibidir;

#### 1. Ön Arıtma

- Kaba ızgara
- İnce ızgara
- Kum/ yağ tutucu
- Dengeleme tankı

#### 2. Biyolojik Arıtma

- MBBR (akışkan yataklı biyofilm reaktör)
- DAF( Çözünmüş Hava Tankı)

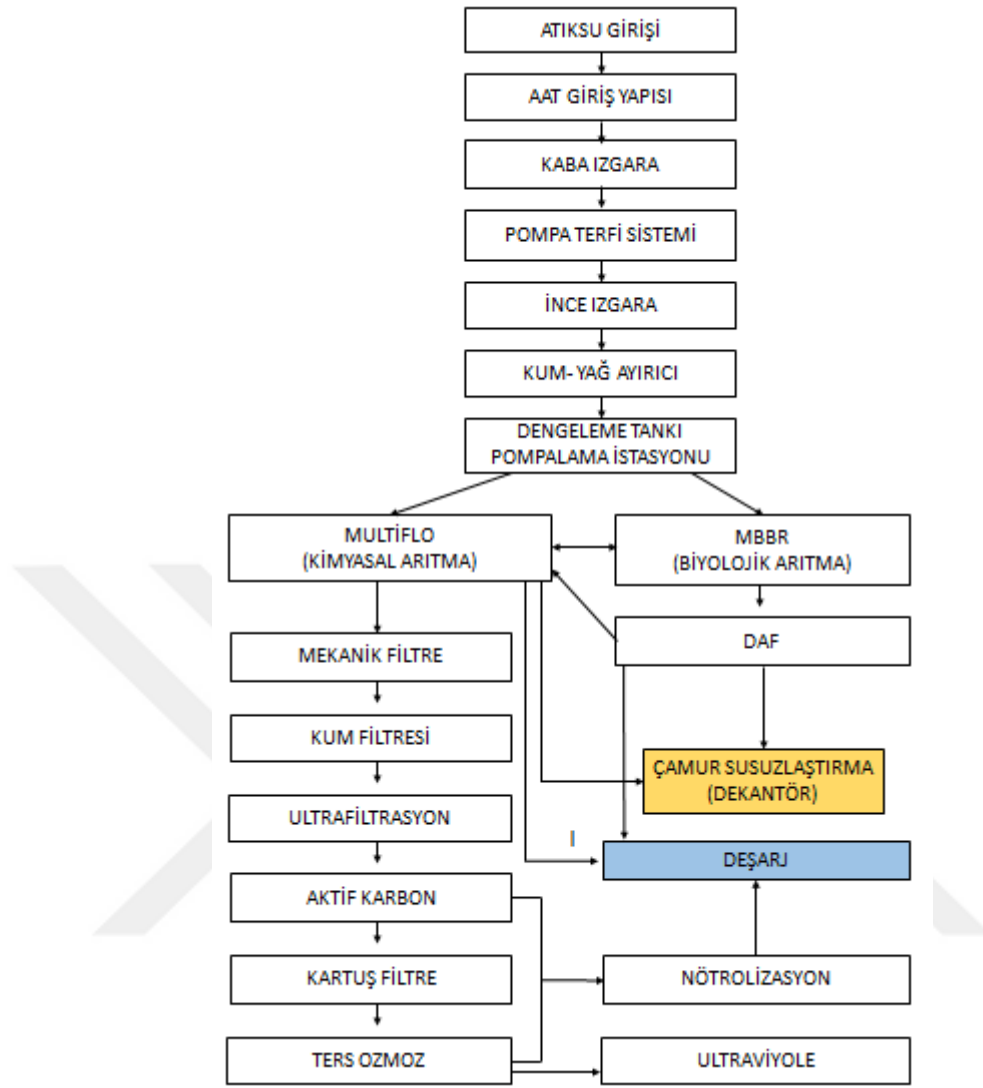
### 3. Kimyasal Arıtma

- Koagülasyon
- Flokülasyon
- Çöktürme

### 4. Çamur Susuzlaştırma Ünitesi(Dekantör)

Atıksu Geri Kazanım Tesisi aşağıdaki ünitelerden oluşmaktadır;

- Mekanik Filtreler (MF)
- Multimedya(Kum) Filtre (MMF)
- Ultrafiltrasyon (UF)
- Aktif Karbon Filtre (ACF)
- Kartuş Filtreler
- Ters Osmoz (RO)
- UV Dezenfeksiyon Ünitesi
- Kimyasal Dozlama Ünitesi
- Nötralizasyon
- Nötralizasyon Kum Filtresi



Şekil 5.2. Sistem akış şeması

### ***Fiziksel Arıtma (Ön Arıtma)***

Tesise gelen ortalama günlük debi 2000 m<sup>3</sup>/gün olup, mevsimsel değişikliklerde değerlerde artış veya azalış görülmektedir. Ön arıtma kapsamında kaba ızgara, ince ızgara, kum/yağ tutucu ve dengeleme tankı mevcuttur (Görsel 5.1).





**Görsel 5.1.** Fiziksel arıtma ünitesi görüntüsü

### ***Biyolojik Arıtma MBBR (Hareketli Yataklı Biyofilm Reaktör)***

Hareketli yataklı biyo-reaktör (MBBR) sistemi, biyolojik büyüme için çok geniş bir yüzey alanı oluşturmak amacıyla tasarlanmış binlerce özel biyo-kütle taşıyıcının kullanımıyla uygulanmaktadır (Görsel 5.2). MBBR sistemi mevcut tesislerde uygulanabildiğinden, ilave tank gereksinimi olmadan tesis kapasitesinin artırılmasını sağlamaktadır. Ayrıca, harekete reaktör içindeki havalandırma neden olmaktadır. Dolgu malzemesi sudan biraz daha az yoğunlukta ve 9-64 mm çapta polietilen veya polipropilen yapılmış bir malzemedir. Reaktördeki dolgu malzemesinin doluluk oranı uygulamaya bağlı olarak %10-65 arasında değişir. Sistem hem BOİ hem de azot, fosfor giderimi sağlamaktadır. Klasik sistemlerdeki gibi çamur geri devri olmamakta ve oluşan çamur miktarı diğer biyolojik arıtma sistemlerine göre daha az olmaktadır.

Havuz içerisine blower ile hava verilerek, medyalar üzerinde bulunan bakteriler aracılığıyla biyolojik arıtma gerçekleştirilmektedir. Üretilen fazla çamur dolgu malzemesi üzerinden kopar, çıkış ızgaralarından geçerek sonraki ünite olan DAF'a iletilmektedir.



**Görsel 5.2.** *Biyolojik(MBBR) arıtma ünitesi görüntüsü*

### ***DAF (Çözünmüş Hava Flotasyonu)***

DAF sistemi atıksuyun içindeki endüstriyel yağların ve partiküllerin ayrılmasında kullanılmaktadır (Görsel 5.3). Sistemde oluşturulan mikro baloncuklar bu maddelerin yüzeyine tutunmaktadır. Bu mikro baloncukların yüzdürme etkisiyle, partikül ve hava kabarcık kümeleri köpük formunu aldığı ve daha sonra sıyrılarak temizlendiği yüzeye doğru yüzmektedirler. Basınç, kompresörde üretilen basınçlı havanın basınç tankında biriktirilmesi ile oluşturulmaktadır. Su, tank içerisine yerleştirilen lamella seperatörlerden geçerken yüzmeye eğiliminde olan floklar lamellaların yüzeyine tutunmaktadır. Ağır olan partiküller dibe çökmektedir. Su yüzeyinde oluşan köpük formundaki partikül ve hava kabarcık kümeleri mekanik sıyrıcıyla yüzeyden sıyrılarak köpük çamur toplama haznesinde toplanmaktadır. Arıtılmış su, çıkış savağından savaklanarak kimyasal arıtma ünitesine pompalanmaktadır.



**Görsel 5.3.** *DAF ünitesi görüntüsü*

## ***Kimyasal Arıtma Ünitesi***

Özellikleri; Elektro-mekanik flokülasyon yeterli hız gradyanıyla karıştırıldığında mükemmel bir flok oluşturma kontrolü sağlamaktadır.

Yüksek işletme esnekliği sayesinde sistemi devreye almak ve kapatmak çok hızlıdır. (çamur battaniyesi oluşturmaya ve kontrol etmeye gerek yoktur).

Kompakt montaj; Lamelli çöktürmeyle elektro-mekanik flokülasyonun birlikte kullanılması montaj boyutunu ve inşaat maliyetlerini önemli ölçüde düşürmektedir.

- Koagülasyon kolloidal formların yüzeysel negatif yüklerinin nötralize edilerek destabilize olmaları için tasarlanmıştır. Kolloidal parçalar ve büyük organik moleküller absorpsiyon prosesinde tutulmaktadır.

- Koagülantın homojen bir şekilde dağılabilmesi için suyun kuvvetli bir şekilde karıştırılması gerekmektedir. Koagülant enjeksiyonu ve karışıma hızlı karıştırıcıyla koagülasyon tankında gerçekleşmektedir. Kimyasal dozajı ham su kalitesine göre jar testi ile belirlenmektedir.

- Suya flokülant eklenerek floklaşmanın hızlanması sağlanmaktadır. Bu faaliyette işleyen kimyasal mekanizmalar; adsorpsiyon, parçacıklar arası köprü (inter-particle bridging) ve yük nötralizasyonudur

- Flokülasyon kolay çökebilen büyük topaklaşmalar oluşturmak amacıyla tasarlanmıştır. Bu kısmın amacı koagülasyon safhasında oluşan küçük parçacıklar arası çarpışma olasılığını arttırmak ve böylece daha büyük floklar elde etmektir.

- Flokülasyon kısmında su hafifçe karıştırılarak daha önceden oluşmuş flokların kırılması önlenmektedir.

- Flokülasyon kinetiği, parçacıklar arası çarpışmaların olasılık fonksiyonudur. Proseste bu olasılık yüksektir bu sayede karıştırma prosesinin süresini en aza indirmekte ve gerekli tank boyutunu azaltmaktadır.

Bu ünite de koagülasyonu sağlamak amacı ile koagülant olarak demir III klorür ( $FeCl_3$ ) kullanılmakta olup, pH dengelemesi için koagülanttan sonra sodyum hidroksit ( $NaOH$ ) dozlaması yapılmaktadır (Görsel 5.4). Flokülasyonun sağlanabilmesi için sisteme en son anyonik polimer dozlaması yapılmaktadır (Görsel 5.5).



**Görsel 5.4.** Kimyasal Arıtma ünitesi görüntüsü(koagülasyon)



**Görsel 5.5.** Kimyasal Arıtma ünitesi görüntüsü(flokülasyon)

### ***Çamur Arıtma Ünitesi***

Dekantör santrifüj katı-sıvı veya katı-sıvı-sıvı karışımların birbirinden ayrılmasında kullanılmaktadır (Görsel 5.6). Makine; yüksek hızda dönen tambur ve tamburla aynı ekseninde farklı hızda dönen helezon, hız farkını ayarlayan tahrik grubu ile dönen elemanları taşıyan gövdeden meydana gelmektedir. Ayrılacak olan ürün dekantöre ait dönerli besleme haznesine besleme borusuyla girmektedir. Merkezkaç kuvvetinin etkisiyle hamur helezon besleme haznesinden tambura girer ve tambur yüzeyine doğru özgül ağırlıklar farkıyla katmanlaşmaktadır. Çöken çamur helezon vasıtasıyla konik kısımdan dışarıya taşınırken, ayrılan katı ve su tamburun silindir

bölümünün bitiminden seviyesi ayarlanabilir plakalardan boşalır. Çamur susuzlaştırmak için katyonik polimer kullanılmaktadır. Katyonik polimerin kullanılmasının amacı dekantöre giren çamurların birbirine tutunmasını sağlayarak daha iyi bir susuzlaştırma gerçekleştirmek ve daha kuru bir çamur çıkarmaktır.



**Görsel 5.6.** Çamur Arıtma ünitesi görüntüsü(dekantör)

### ***Mekanik Filtre Ünitesi***

Mekanik Filtreler, Ultrafiltrasyon Ön filtre olarak da adlandırılabilen kendi kendini temizleyebilen, temizlik sırasında sistemin akısını kesmeyen ve çok çeşitli uygulamalar için ideal çözüm olabilecek şekilde tasarlanmış, düşük maliyetli ve yüksek performanslı filtrelerdir (Görsel 5.7). Ultrafiltrasyon membranlarını kaba parçacıklardan korumak amacıyla sistemin girişine yerleştirilmiştir. Filtrelerin yapısı kaba filtre ve ince filtre elemanlarından oluşmaktadır. Ayrıca gövdeye akuple blöf vanası hidrolik piston vasıtası ile çalışmaktadır. Su, filtrenin giriş bölümünden girdikten sonra, önce kaba filtre elemanının dış yüzeyinden iç tarafına doğru filtre edilir ve sonra ince filtre elemanının iç yüzeyinden dış tarafına doğru filtre edilerek geçmekte ve çıkış borusundan sisteme gitmektedir. Bu işlem sırasında filtre elemanının iç yüzeyinde tutulan partiküller bir filtrasyon keki oluşturarak, bir müddet sonra basınç farkına sebep olmaktadır. Oluşan basınç farkı daha önceden set edilen değere ulaştığı zaman temizleme işlemine başlanmaktadır.



**Görsel 5.7.***Mekanik Filtre ünitesi görüntüsü*

### ***Kum Filtre Ünitesi***

Multimedya(kum) filtreler sudaki askıda katı maddelerin ve atıksu içindeki çökelebilen katıların giderilmesi amacı ile kullanılmaktadır (Görsel 5.8). Filtreleme yaklaşık 20 mikron a kadar gerçekleşmektedir. Multimedya filtrelerde iki tip medya kullanılmaktadır. Böylece büyük partiküller medyanın üst tarafında tutulurken, küçük partiküller filtrenin alt tarafına ulaşarak burada tutulmaktadır.



**Görsel 5.8.***Kum Filtresi ünitesi görüntüsü*

### ***Ultrafiltrasyon(UF) Ünitesi***

Bu teknoloji sayesinde, suda bulunan askıda katı maddeler, bulanıklık , %99 oranında renk pigmentleri ve en önemlisi sularda bulunması muhtemel bakteri ve virüslerin tamamı giderilmektedir (Görsel 5.9). Bu özelliği ise, kaynak suları veya içme suları arıtımında çok önemli bir avantaj sağlamakta, ayrıca dezenfeksiyon kimyasalları kullanarak suyun yapısını bozmaya gerek kalmamaktadır.



**Görsel 5.9. UF ünitesi görüntüsü**

### ***Aktif Karbon Ünitesi(ACF)***

Aktif karbon; koku, tat, renk giderimi yapılmaktadır. Aktif karbon filtreler ile suyun bulanıklık, fazla klor, zehirli gazlar giderilmektedir (Görsel 5.10.). Bu arıtım prosesinde temel işlem suyun kötü koku ve tadının alınmasıdır. Bu amaçla doğal aktif karbon mineralinden yararlanılmaktadır. Bir kömür türevi olarak nitelendirilen aktif karbon, adsorbsiyon yeteneği sayesinde sudaki eriyik gazlarla, karbonhidrat parçalanması sonucu açığa çıkan karbondioksit, S, N gibi zararlıları da sudan alabilmektedir.



**Görsel 5.10.** Aktif Karbon ünitesi görüntüsü

### ***Kartuş Filtre Ünitesi***

Kartuş filtre, suda istenmeyen maddeleri tutmaya yarayan, montajı ve kullanımı kolay su arıtma filtreleridir (Görsel 5.11). Filtre ve filtreye yuvalık eden filtre kabından oluşmaktadır. Genellikle tortu ve iri partikül arıtımında kullanılırlar.



**Görsel 5.11.** Kartuş Filtre ünitesi görüntüsü



### ***Ters Osmoz Ünitesi(RO)***

Ters Osmoz ünitesi ile suda iletkenlik, TDS, klorür, sertlik, v.b. daha istenmeyen pek çok parametre giderilebilmektedir (Görsel 5.12). Ters Osmoz ünitesi ile su içerisindeki anyon ve katyonlar sudan tamamıyla alınabilmektedir. Son zamanlarda gelişen teknoloji acı, tuzlu ve yoğun mineral konsantrasyonlu sulardan içme ve kullanma suyu elde etmeye yönelmiş, bunun için de basınçlı membran yöntemi denilen ve nispeten ekonomik yeni bir teknoloji geliştirilmiştir.



**Görsel 5.12.** *Ters Osmoz(RO) ünitesi görüntüsü*

### ***Ultraviyole Ünitesi(UV)***

Ultraviyole üniteleri, görünür ve görünmeyen ışınlar arasında kalan ışın tipi olan ultraviyole ışınları vasıtasıyla suda bulunan bakteri, mantar, virüs ve benzeri mikroorganizmaların DNA yapılarının parçalanarak etkisiz hale getirilmesi işlemini gerçekleştiren ünitelerdir (Görsel 5.13). Sistem içerisinde geçen sular bakteriyolojik açıdan % 99,99 oranında dezenfekte edilmiş olmaktadır. Suyu herhangi bir kimyasal ekmeden çalışması nedeniyle suyun tadında ve niteliklerinde herhangi bir değişikliğe yol açmamaktadır.



**Görsel 5.13.** *Ultraviyole (UV) ünitesi görüntüsü*

### **5.1.2. Yaşam döngüsü envanter analizi**

Çalışmada, atıksu geri kazanım tesisi ile ilgili yaşam döngüsü envanteri, veri toplama, varsayımlar ve hesaplama prosedüründen oluşmaktadır.

Yaşam döngüsü envanteri oluşturulurken, her bir bileşen için gerekli hesaplamalar fonksiyonel birim bazında yapılmış ve Kocaeli ilinde bulunan atıksu geri kazanım tesisinin her bir bileşeni için gerekli olan malzeme, enerji, kimyasal vb. sayısal ve teknik verilerin toplanması amacıyla, Kocaeli ilinde bulunan Asım Kibar Organize Sanayi bölgesi Atıksu Geri kazanım tesisindeki yöneticilerden gerekli bilgiler elde edilmiştir.

Tesiste kullanılan tüm kimyasalların karayolu taşınmasında kullanılan araçların, % 100 doluluk oranı ile taşıma yaptığı, kimyasal madde tesise ulaştırıldıktan sonra tedarikçi firmaya boş olarak dönüş yapacağı ve araçların motor standartlarının EURO 5 emisyon standartlarında olduğu varsayılmıştır. Taşıma verileri, 1 m<sup>3</sup> başına tüketilen kimyasal miktarlarının, tedarik edilen firma ile tesis arasındaki mesafe değerinin çarpılmasıyla 'kg.km' birimine sahip değerler hesaplanarak yazılıma veri girişleri yapılmıştır.

Prosesin tümünün işletilmesi için gerekli olan enerji tüketimi, kimyasal malzeme kullanımı ve malzemelerin taşınma/nakliyesi ile ilgili veriler fonksiyonel birim bazında hesaplanmış ve Çizelge 5.1'de verilmiştir. Tesiste sadece atıksu emisyonlarının (kimyasal oksijen ihtiyacı, askıda katı madde, toplam fosfor, toplam khejdahl azotu ve sülfat) oluştuğu kabul edilmiş olup, bunun için tesisin deşarj değerleri kullanılmıştır.

**Çizelge 5.1.** 1 m<sup>3</sup> atıksu geri kazanımının yaşam döngüsü envanteri

Proses Adı	Girdiler	Çıktılar
Atıksu Arıtımı	<i>Kullanılan Kimyasallar</i> FeCl <sub>3</sub> : 0,14 kg NaOH: 0,058 kg Katyonik polimer: 0,005 kg Anyonik polimer: 0,002 kg <i>Malzemelerin Taşınma Mesafeleri</i> FeCl <sub>3</sub> : 10 km NaOH: 10 km Katyonik polimer: 10 km Anyonik polimer: 275 km <i>Enerji tüketimi</i> Elektrik enerjisi: 0,73 kWh	Çamur miktarı: 0,83 kg
Çamur Arıtımı	<i>Kullanılan Kimyasallar</i> Katyonik polimer: 0,004 kg <i>Malzemelerin Taşınma Mesafeleri</i> Katyonik polimer: 10 km Arıtma çamuru bertarafı: 25 km <i>Enerji tüketimi</i> Elektrik enerjisi: 0,038 kWh	Atıksu Emisyonları Çıkan süzüntü suyu alıcı ortama deşarj edilmemekte, tesisin dengeleme tankına geri gönderilmektedir.
Geri Kazanım Tesisi	<i>Kullanılan Kimyasallar</i> HCl: 0,039 kg NaOH: 0,032 kg NaOCl:0,055 kg SMBS: 0,0009 kg Antiskalant: ihmal edilmiştir. <i>Malzemelerin Taşınma Mesafeleri</i> HCl: 62 km NaOH: 62 km NaOCl: 62 km SMBS: 62 km <i>Enerji tüketimi</i> Elektrik enerjisi: 1,28 kWh	Su emisyonları; AKM: 1 g COD: 11,25 g TP:0,25g TKN: 1,75 g Sülfat: 225 g

**• Atıksu geri kazanım tesisi kimyasal tüketimi bileşenleri**

Bu bölümde, kimyasal bileşenleri; fonksiyonel birimi 1 m<sup>3</sup>/gün olan arıtma tesisi, çamur arıtımı ve atıksu geri kazanım tesisinde kullanılan tüm kimyasallar için envanter

oluşturulmuş ve envanter bilgileri daha sonra lisanslı SimaPro 8.5.0 yazılımına girilmiştir.

- **Atıksu geri kazanım tesisi taşıma/nakliye bileşenleri**

Çalışmada 1 m<sup>3</sup> atıksu için gerekli olan malzemeler “kg” cinsinden, taşıma verileri ise taşınan malzemelerin ağırlık değeri ve alınan mesafe değerinin çarpılmasıyla bulunan “kgkm” birimi cinsinden hesaplanarak yazılımda kullanılmıştır.

- **Atıksu geri kazanım tesisi enerji bileşeni**

Kocaeli ilinde bulunan AKOSB arıtma tesisinde elektrik enerjileri kullanılmaktadır. Çalışmada, elektrik enerjisinin tüketimi ile ilgili veriler Günkaya ve ark. (2016) tarafından yapılan çalışmadan elde edilmiş olup, Türkiye'nin elektrik enerjisi üretim profilinin, kaynakların kullanımı açısından, %32,5 doğalgaz, %14 linyit, %2,9 taş kömürü,%17,4 ithal kömür, %24,2 hidrolik enerji, %6 rüzgar enerjisi, %2 jeotermal kaynaklı enerji ve %0,4 güneş enerjisi olduğu kabul edilmiştir (EUAS, 2017).

- **Atıksu geri kazanım tesisi atık arıtımı**

Arıtma tesisi ve atıksu geri kazanım tesisinde oluşan atıkların bertarafı lisanslı firma aracılığıyla yapılmaktadır.

### **5.1.3. Etki analizi**

Bu çalışmada kullanılan CML-IA (v.3.03) hesaplama yönteminde seçilen etki kategorileri;

- Abiyotik kaynakların (element ve fosil yakıt bazlı) tükenme potansiyeli (ADP<sub>e</sub> ve ADP<sub>ff</sub>),
- Asidifikasyon potansiyeli (AP),
- Ötrofikasyon potansiyeli (EP),
- Tatlı su ekosistemine olan ekotoksosite potansiyeli (FAETP),
- Küresel ısınma potansiyeli (GWP),
- Ozon Tabakasının Tükenmesi Potansiyeli (ODP),
- Fotokimyasal sis potansiyeli (POP)
- İnsanların üzerine olan toksik etki potansiyeli (HTP),
- Deniz ekosistemine olan ekotoksosite potansiyeli (MAETP) ve
- Kara ekosistemine olan ekotoksosite potansiyeli (TETP)

Etki analizi sonucu bulunan değerlendirme sonuçları Bulgular'da (Bölüm 6) verilmiştir.

#### **5.1.4. Yorum**

Çalışmanın yorum aşaması, etki analizi sonuçlarına ait bulguların değerlendirmesi olduğu için, Bulgular'da (Bölüm 6) verilmiştir.

### **5.2. Atıksu Geri Kazanım Tesisi Sistemi ve Parasallaştırma**

Parasallaştırma; parasal değerlendirme, sosyal ve biyofiziksel etki önlemlerinin para birimlerine dönüştürülmesi uygulamasıdır. Parasal değerlendirme, refah ekonomisinde dışsallıklar kavramı ile ilgilidir. Dışsallıklar, bir ürünün/prosesin ekonomik faaliyetlerinden kaynaklanan hesaplanamayan maliyetler ve faydalardır.

Karakterizasyon sonuçlarının ağırlıklandırılmasında Ecovalue08 yöntemi, kullanılmış olup, CML hesaplama yöntemi tarafından elde edilen etki kategorilerini değerlendirmiştir (Ahlroth ve Finnveden, 2011). Ecovalue08, özellikle İsveç koşullarına odaklanan, ödeme istekliliğine (WTP) dayanan küresel ölçekte bir ağırlıklandırma yöntemidir. Ecovalue08 önerilen para kazanılan son nokta etkisine yönelik orta noktaları bir araya getiren ağırlıklandırma faktörlerinin tümü, kaynakların tükenmesi ve çevresel kalite için belirlenen ödeme istekliliği (WTP) tahminlerine dayanmaktadır. Referans ve ağırlıklandırma faktörü (WF) birçok Avrupa değerlendirme çalışmasından elde edilmiştir (Huysegoms et al. 2018). Avrupa Birliği (AB) için verilen parasal WF'lerin Türkiye'ye aktarılması için, Ecovalue08'de toplanan ekonomik bilgiler kullanılarak çevresel malların ekonomik değerlerinin başka bir yerde ve zamanda tahmin edilmesine dayanan fayda transfer metodolojisi kullanılmıştır (Silalertruksa et al. 2012; Woon and Loo 2016). Bu tür hipotez ayarlamalarının yapılmasında, WTP'nin veya zararları önlemek için ödeme yapabilme becerisinin kişi başına düşen gelirle orantılı olmasına önem verilmektedir

Türkiye için parasallaştırılan ağırlık faktörleri(WF), AB için hazırlanan WF'lerin, Türkiye ile AB için kişi başına düşen gayri safi milli hasıla (GDP) ve kişi başına düşen satın alma gücü paritesindeki (PPP) gayri safi milli hasıla GDP(PPP)<sub>yüzde</sub> değerlerinin oranlanmasıyla hesaplanmıştır (Woon and Loo 2016). Hesaplanma denklemi aşağıda verilmiştir (5.1)

$$WF_{Türkiye} = \frac{WF_{EU} \times GDP(PPP)_{yüzde TR}}{GDP(PPP)_{yüzde EU}} \quad (5.1)$$

Burada, WF ; ağırlık faktörüdür,  $GDP(PPP)_{yüzde TR}$  ; Türkiye’de kişi başına düşen satın alma gücü paritesindeki gayri safi milli hasıla,  $GDP(PPP)_{yüzde EU}$  ; AB’de kişi başına düşen satın alma gücü paritesindeki gayri safi milli hasıla

Etki kategorilerinin ağırlıklandırma faktörleri çizelge 5.2’de verilmiştir.

**Çizelge 5.2.** Etki kategorilerinin ağırlıklandırma faktörleri

Etki Kategorileri (birim) <sup>1</sup>	Ağırlık Faktörü		Ağırlık faktörü
	Euro2008		Euro2018
	Avrupa <sup>2</sup>	Türkiye <sup>3</sup>	Türkiye <sup>4</sup>
ADP <sub>ff</sub> (MJ)	0,0004	0,000256	0,00576
GWP (kg CO <sub>2</sub> ed.)	0,01-0,2	0,00064 – 0,0128	0,29
HTP (kg 1,4-DB ed.)	0,0004-1,2	0,000026 – 0,0768	1,73
POP (kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ed.)	1,4-4	0,0896-0,256	5,76
AP (kg SO <sub>2</sub> ed.)	3	0,192	4,32
EP (kg PO <sub>4</sub> -3 ed.)	21,8	1,395	31,38

<sup>1</sup> ADPe ve TETP için uygun ağırlıklandırma faktörleri yoktur.

<sup>2</sup> Bazı faktörlerin min ve maksimum değerleri vardır (Ahlroth ve Finnveden (2011), Huysegoms ve ark. 2018).

<sup>3</sup> Türkiye için WF’ler, Avrupa Birliği’ne ilişkin dış çevre değerleri, kişi başına satın alma gücü paritesindeki (PPP) gayri safi yurtiçi hasıla (GDP) kullanılarak düzeltilerek hesaplanmaktadır.

<sup>4</sup> 2008 ve 2018 arasındaki tüketici fiyat endeksi değerleri arasındaki oranı kullanarak hesaplanmıştır (TÜİK, 2018)

Bu tez çalışmasında, atıksu geri kazanımı LCA sonuçları parasallaştırma (monetization) yöntemi kullanılarak yorumlanmıştır. Ayrıca, referans çalışmalardan yararlanılarak Ecovalue08 yöntemi incelenmiş ve bazı etki kategorileri (abiyotik kaynakların (fosil yakıt bazlı) tükenme potansiyeli (ADP<sub>ff</sub>), küresel ısınma potansiyeli (GWP), insanların üzerine olan toksik etki potansiyeli (HTP), fotokimyasal sis potansiyeli (POP), asidifikasyon potansiyeli (AP) ve ötrofikasyon potansiyeli (EP)) hesaplanmıştır. Sonuçlar (Bölüm 6) verilmiştir. Ayrıca atıksu geri kazanım tesisinin hedef ve kapsam tanımı içerisinde maliyet prosesleri (yatırım, inşaat ve işletme maliyetleri) detaylı bir şekilde incelenmiş ve maliyet envanteri oluşturulmuştur. Yatırım

maliyetleri Ek-3’de, İnşaat maliyetleri Ek-4’de ve İşletme maliyetleri EK-5’de detaylı olarak belirtilmiştir

### 5.2.1. Hedef ve kapsam tanımı

Bu bölümde, atıksu geri kazanımının yaşam döngüsü yaklaşımıyla ekonomik açıdan değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Proseste,

- yatırım maliyeti,
- inşaat maliyeti,
- işletme maliyeti incelenmiş olup, her bir bileşen için maliyet bileşenleri detaylı olarak belirlenmiştir.

### 5.2.2. Maliyet bileşenlerinin belirlenmesi

Atıksu geri kazanım sisteminin maliyet bileşenleri, içsel maliyetler ve dışsal maliyetler olmak üzere iki bölümde incelenmiştir.

İçsel maliyetler yatırım maliyeti (kullanılacak ekipman maliyeti), inşaat maliyeti ve işletme maliyeti (kimyasal madde maliyeti, enerji kullanım maliyeti, işçilik maliyeti ve bakım-onarım maliyeti) maliyetleridir. Dışsal maliyetler, yaşam döngüsü analizi sonucu incelenen etki kategori abiyotik kaynakların tükenmesi(fosil yakıt bazlı), asidifikasyon, küresel ısınma, , ötrafikasyon, fotokimyasal sis, ve insanların üzerine olan ekotoksosite potansiyeli olarak belirlenmiştir. Yaşam döngüsü maliyet bileşenlerinin sınıflandırılması Çizelge 5.3’te verilmiştir.

**Çizelge 5.3.** Yaşam döngüsü maliyet bileşenlerinin sınıflandırılması

Maliyet Başlıkları	Maliyet Bileşenleri	Alt Bileşen Maliyetleri
İçsel Maliyetler	Yatırım Maliyetleri	Kullanılan Ekipman Maliyeti
	İnşaat Maliyetleri	-
	İşletme Maliyetleri	Kimyasal Madde Maliyeti, Enerji Kullanım Maliyeti, İşçilik Maliyeti, Bakım onarım Maliyeti
Dışsal Maliyetler	Kirletici Maliyetler	Abiyotik Kaynakların Tükenmesi (fosil yakıt bazlı),Asidifikasyon, Küresel Isınma, Ötrafikasyon, Fotokimyasal sis, ve İnsanların üzerine olan Ekotoksosite potansiyeli

### **5.2.3. Maliyet verilerine ait envanterin oluşturulması**

Bu bölümde, “atıksu geri kazanım sistemi'nin” bileşenlerinin oluşturulmasında, kullanılan malzeme, enerji, ekipman vb. Sayısal ve maliyet verilerinin toplanması amacıyla, Kocaeli ilinde bulunan arıtma tesisinden detaylı bir şekilde bilgi alınarak hesaplanmıştır. İçsel maliyetlere ait alt bileşen maliyetleri ile ilgili yaşam döngüsü maliyet envanteri mevcut geleneksel arıtma tesisi ve atıksu geri kazanım tesisinden edinilen bilgilerle oluşturulmuştur.





## 6. BULGULAR

Bu bölümde, atıksu arıtma tesisi, çamur arıtımı ve atıksu geri kazanım tesisi etki değerlendirmesi sonuçlarına göre elementel bazda abiyotik kaynakların tükenmesi ( $ADP_e$ ), fosil yakıt bazlı abiyotik kaynakların tükenmesi ( $ADP_{ff}$ ), küresel ısınma potansiyeli (GWP), ozon tabakasının tükenmesi potansiyeli (ODP), insan üzerine olan toksik etki (HTP), tatlı su ekosistemine olan toksik etki (FAETP), deniz ekosistemine olan ekotoksikite potansiyeli (MAETP) kara ekosistemine olan toksik etki (TETP), fotokimyasal oksidasyon potansiyeli (POP), asidifikasyon potansiyeli (AP) ve ötrofikasyon potansiyeli (EP) etki kategorileri açısından aşağıda detaylıca incelenmiş ve yorumlanmıştır. Ayrıca parasallaştırma analiz sonuçları hesaplanmış ve detaylı bir şekilde yorumlanmıştır.

### 6.1. Atıksu arıtma tesisi LCA Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Atıksu arıtma tesisi ile ilgili oluşturulan yaşam döngüsü envanteri (çizelge 5.1), CML-IA (v.3.03) etki değerlendirme yöntemiyle hesaplanmıştır. Atıksu arıtımı ile ilgili yaşam döngüsü etki değerlendirmesinin karakterizasyon ve normalizasyon sonuçları Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1.  $1 m^3$  atıksu arıtma tesisi karakterizasyon ve normalizasyon sonuçları

Etki Kategorisi	Birimi	Karakterizasyon	Normalizasyon	Etki %’si
<b>ADP<sub>e</sub></b>	kg Sb ed.	5,03E-09	5,93E-17	0,00
<b>ADP<sub>ff</sub></b>	MJ	8,30E+00	2,64E-13	<b>15,03</b>
<b>GWP</b>	kg CO <sub>2</sub> ed.	8,37E-01	1,67E-13	<b>9,49</b>
<b>ODP</b>	kg CFC-11 ed	5,01E-07	5,61E-15	0,32
<b>HTP</b>	kg 1,4-DB* ed.	4,53E-02	5,84E-15	0,33
<b>FAETP</b>	kg 1,4-DB ed.	4,20E-03	8,10E-15	0,46
<b>MAETP</b>	kg 1,4-DB ed.	8,90E+01	7,63E-13	<b>43,46</b>
<b>TETP</b>	kg 1,4-DB ed.	2,26E-03	4,66E-14	2,66
<b>POP</b>	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ed.	1,38E-03	1,63E-13	<b>9,27</b>
<b>AP</b>	kg SO <sub>2</sub> ed.	8,30E-03	2,95E-13	<b>16,77</b>
<b>EP</b>	kg PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> ed.	5,11E-04	3,88E-14	2,21

\*1,4-DB: 1,4diklorobenzen

Sonuçlara göre, atıksu arıtma tesisinden kaynaklı çevresel etkilerin önemli bir kısmı fosil yakıt bazlı abiyotik kaynakların tükenmesi ( $ADP_{ff}$ ), küresel ısınma potansiyeli (GWP) deniz ekosistemine olan ekotoksisite potansiyelinden (MAETP) fotokimyasal oksidasyon potansiyeli (POP) ve asidifikasyon potansiyeli (AP) kaynaklandığı belirlenmiştir.

**$ADP_{ff}$  etkisi**, MJ olarak verilmektedir. 1 m<sup>3</sup> atıksuyun arıtılmasından kaynaklanan etki, 8,30E+00 MJ olarak hesaplanmıştır (Çizelge 6.1). Bu etkiye sebep olan başlıca etmen (5,90 MJ) elektrik tüketimidir. Bunun yanısıra söz konusu etkiye, atıksu arıtma prosesinde kullanılan Demir III klorür (1,07 MJ) kimyasal malzeme tüketiminde neden olduğu düşünülmektedir.

**GWP**, kg CO<sub>2</sub> ed. olarak verilmektedir. 1 m<sup>3</sup> atıksuyun arıtılmasından 8,37E-01 kg CO<sub>2</sub> ed. küresel ısınma potansiyel etkisi oluşturduğu hesaplanmıştır (Çizelge 6.1). Bu etkiye sebep olan başlıca etmenin 0,64 kg CO<sub>2</sub> ed elektrik tüketimi olduğu, ve bu etkinin karbondioksit ve metan emisyonlarından kaynaklandığı belirlenmiştir. Elektrik tüketiminin GWP'ye olan yüksek etkisinin sebebi, Türkiye'deki elektrik tüketimindeki fosil yakıt kullanımından kaynaklı düşünülmektedir.

**MAETP** kg DB ed. olarak ifade edilmektedir. 1 m<sup>3</sup> atıksuyun arıtılmasının 8,90E+01 kg 1,4-DB ed. olarak hesaplanmıştır (Çizelge 6.1). Deniz ekosistemine olan ekotoksisite etkisi sırasıyla, 44,57 kg 1,4-DB ed. Demir III Klorür kimyasal malzeme tüketiminden, 27,90 kg 1,4-DB ed. sodyum hidroksit kimyasalı tüketiminden ve 14,82 kg 1,4-DB ed. elektrik tüketiminden kaynaklanmakta olduğu belirlenmiştir.

**POP**, kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> ed olarak verilmektedir. 1 m<sup>3</sup> atıksuyun arıtılmasından kaynaklanan POCP, 1,38E-03 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> kg ed olarak hesaplanmıştır (Çizelge 6.1). Bu etkiye sebep olan başlıca etmenin 0,00128 kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> ed elektrik enerjisi tüketimi olduğu ve etki eden temel kirleticilerinin karbon monoksit, kükürt dioksit ve metan emisyonlarından kaynaklandığı belirlenmiştir.

**AP**, kg SO<sub>2</sub> ed. olarak verilmektedir. 1 m<sup>3</sup> atıksuyun arıtılmasından kaynaklanan AP, 8,30E-03 kg SO<sub>2</sub> ed. olarak hesaplanmıştır. Asidifikasyon potansiyeline etki eden etmenler sırasıyla, 0,0072 kg SO<sub>2</sub> ed. elektrik enerjisi tüketiminden, 0,0004 kg SO<sub>2</sub> ed. Demir III Klorür kimyasal malzeme tüketiminden, 0,0002 kg SO<sub>2</sub> ed. sodyum hidroksit kimyasalı tüketiminden ve 0,0003 kg SO<sub>2</sub> ed. çamur arıtımı prosesinden kaynaklandığı

belirlenmiştir. Ayrıca, asidifikasyon etkisine neden olan temel kirleticilerinin, kükürt dioksit ve azot oksitler olduğu saptanmıştır.

### Çamur Arıtımı LCA Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Çamur arıtımı ile ilgili oluşturulan yaşam döngüsü envanteri (Çizelge 5.1), CML-IA (v.3.03) etki değerlendirme yöntemiyle hesaplanmıştır. Atıksu arıtımı prosesinden kaynaklı çamurun arıtılmasının yaşam döngüsü etki değerlendirmesinin karakterizasyon ve normalizasyon sonuçları Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2. 1 kg çamur arıtımı karakterizasyon ve normalizasyon sonuçları

Etki Kategorisi	Birimi	Karakterizasyon	Normalizasyon	Etki %’si
<b>ADP<sub>e</sub></b>	kg Sb ed.	5,00E-10	5,89E-18	0,01
<b>ADP<sub>ff</sub></b>	MJ	4,87E-01	1,55E-14	<b>25,87</b>
<b>GWP</b>	kg CO <sub>2</sub> ed.	4,36E-02	8,68E-15	<b>14,51</b>
<b>ODP</b>	kg CFC-11 ed.	1,05E-09	1,18E-17	0,02
<b>HTP</b>	kg 1,4-DB* ed.	2,00E-03	2,58E-16	0,43
<b>FAETP</b>	kg 1,4-DB ed.	1,99E-04	3,84E-16	0,64
<b>MAETP</b>	kg 1,4-DB ed.	1,05E+00	9,01E-15	<b>15,07</b>
<b>TETP</b>	kg 1,4-DB ed.	3,39E-06	6,99E-17	0,12
<b>POP</b>	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ed.	7,12E-05	8,40E-15	<b>14,05</b>
<b>AP</b>	kg SO <sub>2</sub> ed.	4,36E-04	1,55E-14	<b>25,90</b>
<b>EP</b>	kg PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> ed.	2,66E-05	2,02E-15	3,37

\*1,4-DB: 1,4diklorobenzen

Analiz sonuçlarına göre, 1 kg çamur arıtımından kaynaklanan çevresel etkilerin önemli bir kısmı ADP<sub>ff</sub>, GWP, MAETP, POP ve AP’inden kaynaklandığı belirlenmiştir.

**ADP<sub>ff</sub> etkisi**, MJ olarak verilmektedir. 1 kg çamur arıtımından kaynaklanan etki, 4,87E-01 MJ olarak hesaplanmıştır (Çizelge 6.2). Bu etkiye sebep olan başlıca etmen 0,30 MJ elektrik tüketiminden oluşmakta ve bu etki kategorisindeki temel kirletici fosil yakıt(kömür) kullanımından kaynaklı elektrik tüketimi olduğu saptanmıştır. İkinci en büyük etmen çamur arıtımı prosesinde kullanılan katyonik polimer kimyasalından

meydana geldiği belirlenmiştir. Bu etki kategorisindeki temel kirletici ise bu kimyasalın üretiminde kullanılan doğalgaz kaynaklı elektrik tüketiminden olduğu anlaşılmıştır.

**GWP**, kg CO<sub>2</sub> ed. olarak verilmektedir. 1 kg çamur arıtımının 4,36E-02 kg CO<sub>2</sub> ed. GWP değeri oluşturduğu hesaplanmıştır (Çizelge 6.2). Bu etkiye sebep olan başlıca etmen 0,03 kg CO<sub>2</sub> ed. elektrik tüketimi olmuş, bu etki kategorisindeki temel kirleticilerin karbondioksit ve metan olduğu anlaşılmıştır. Türkiye'deki elektrik tüketiminde fosil yakıt kullanımından kaynaklı karbondioksit salınımı olduğu düşünülmüştür.

**MAETP** kg DB ed. olarak ifade edilmektedir. 1 kg çamur arıtımında 1,05E+00 kg 1,4-DB ed olarak hesaplanmıştır (Çizelge 6.2). Deniz ekosistemine olan ekotoksisite etkisi sırasıyla, 0,18 kg 1,4-DB ed katyonik polimer tüketiminden ve 0,77 kg 1,4-DB ed elektrik tüketiminden kaynaklanmakta olduğu belirlenmiştir.

**POP**, kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> ed olarak verilmektedir. 1 m<sup>3</sup> atıksuyun arıtılmasından kaynaklanan POCP, 7,12E-05 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> kg ed olarak hesaplanmıştır (Çizelge 6.2). Bu etkiye sebep olan başlıca etmeni 6,68E-05 kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> ed elektrik enerjisi tüketimi olmuş, bu etki eden temel kirleticilerinin karbon monoksit, kükürt dioksit ve metan emisyonlarından kaynaklandığı belirlenmiştir. Ayrıca, bu etkiye sebep olan ikinci etmen ise 3,96538E-06 kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> ed. çamur arıtımı prosesinde kullanılan katyonik polimer kimyasalından meydana geldiği belirlenmiştir.

**AP**, kg SO<sub>2</sub> ed. olarak verilmektedir. 1 m<sup>3</sup> atıksuyun arıtılmasından kaynaklanan AP, 4,36E-04 kg SO<sub>2</sub> ed. olarak hesaplanmıştır (Çizelge 6.2). Bu etkiye sebep olan başlıca etmeni 0,0004 kg SO<sub>2</sub> ed. elektrik enerjisi tüketimi olmuş, bu etki eden temel kirleticinin kükürt dioksit emisyonundan kaynaklandığı belirlenmiştir

## **6.2. Atıksu geri kazanım tesisi LCA Sonuçları ve Değerlendirilmesi**

Atıksu geri kazanımı ile ilgili oluşturulan yaşam döngüsü envanteri (çizelge 5.1), CML-IA (v.3.03) hesaplama yöntemiyle hesaplanmıştır. Atıksu geri kazanımı için oluşturulan, yaşam döngüsü etki değerlendirmesinin karakterizasyon ve normalizasyon sonuçları Çizelge 6.3'de verilmiştir.

**Çizelge 6.3.**  $1 m^3$  atıksu geri kazanımının karakterizasyon ve normalizasyon sonuçları

Etki Kategorisi	Birimi	Karakterizasyon	Normalizasyon	Etki %'si
ADP <sub>e</sub>	kg Sb ed.	7,24E-09	8,54E-17	0,00
ADP <sub>fr</sub>	MJ	2,16E+01	6,88E-13	<b>16,97</b>
GWP	kg CO <sub>2</sub> ed.	2,26E+00	4,49E-13	<b>11,09</b>
ODP	kg CFC-11 ed	6,74E-07	7,55E-15	0,19
HTP	kg 1,4-DB* ed.	1,13E-01	1,46E-14	0,36
FAETP	kg 1,4-DB ed.	1,10E-02	2,13E-14	0,53
MAETP	kg 1,4-DB ed.	1,52E+02	1,30E-12	<b>32,07</b>
TETP	kg 1,4-DB ed.	3,23E-03	6,66E-14	1,64
POP	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ed.	4,08E-03	4,82E-13	<b>11,89</b>
AP	kg SO <sub>2</sub> ed.	2,37E-02	8,42E-13	<b>20,77</b>
EP	kg PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> ed.	2,40E-03	1,82E-13	<b>4,49</b>

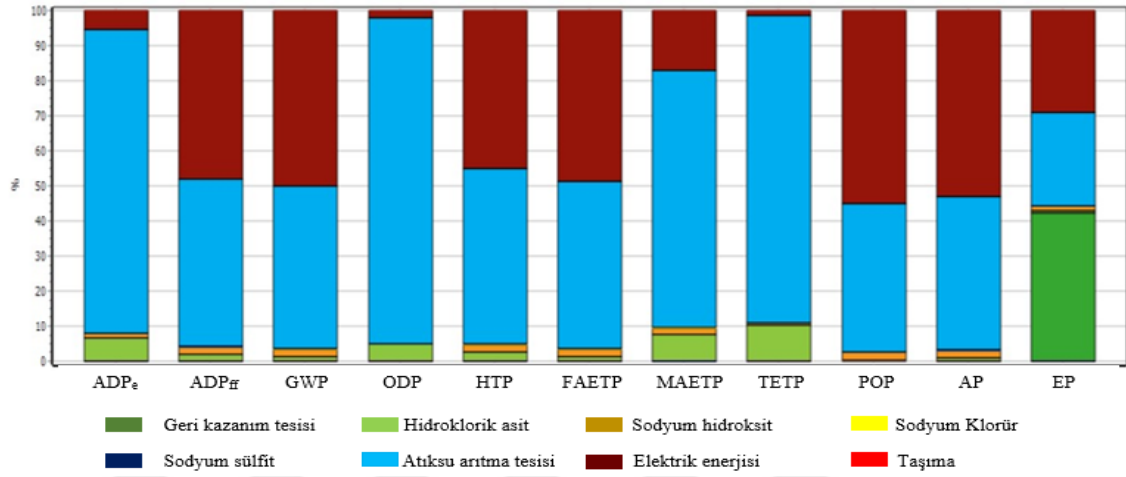
**\*1,4-DB: 1,4diklorobenzen**

Ayrıca, Çizelge 6.4’de Atıksu geri kazanımı için karakterizasyon sonuçlarının proses bazında ( kimyasal madde tüketimi, atıksu arıtma tesisi, elektrik enerjisi tüketimi ve taşıma) dağılımı verilmiştir.

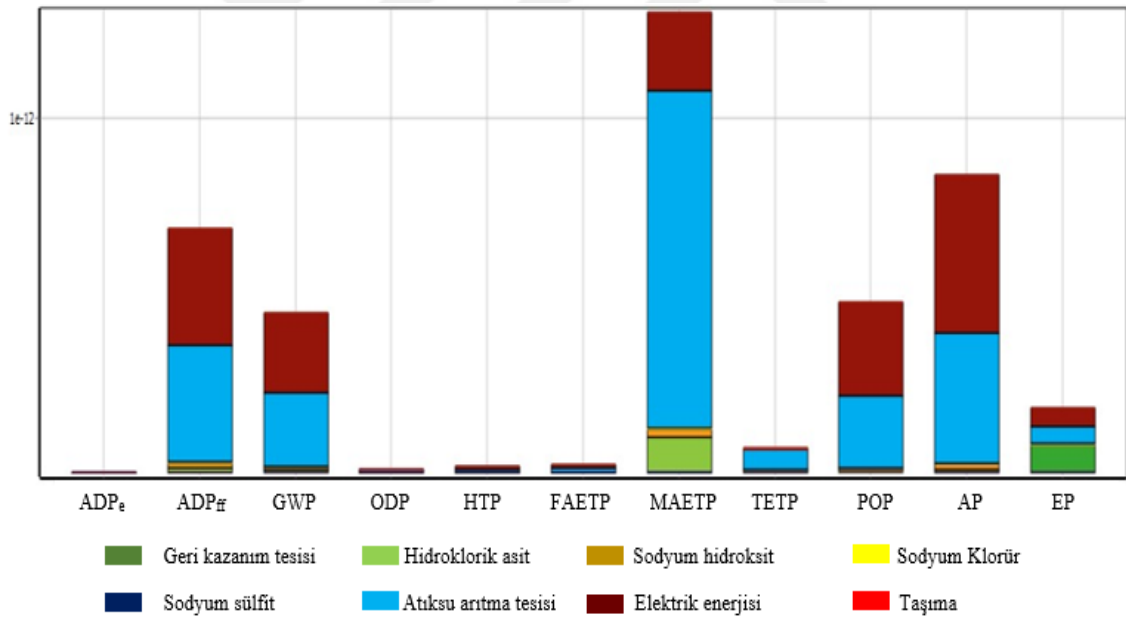
**Çizelge 6.4.**  $1 m^3$  geri kazanım suyunun karakterizasyon sonuçlarının proses bazında dağılımı

Etki kategorisi	Prosesler Bazında Dağılım (%)					
	Geri	Kimyasal	Atıksu	Elektrik	Taşıma/	Toplam
	Kazanım	Maddelerin	Arıtma	Enerjisi	Nakliye	
Tesisi	Tüketimi	Tesisi	Tüketimi			
ADPe	0	7,94	86,83	5,21	0,02	100
ADPff	0	4,15	47,94	47,84	0,08	100
GWP	0	3,69	46,32	49,93	0,06	100
ODP	0	5,10	92,98	1,88	0,04	100
HTP	0	5,10	49,97	44,89	0,05	100
FAETP	0	3,65	47,54	48,76	0,05	100
MAETP	0	9,48	73,37	17,13	0,02	100
TETP	0	11,02	87,53	1,43	0,01	100
POP	0	2,70	42,21	55,09	0,03	100
AP	0	3,24	43,72	53,03	0,03	100
EP	42,17	2,13	26,61	29,02	0,06	100

Atıksu geri kazanım prosesinin karakterizasyon ve normalizasyon grafikleri Görsel 6.3 ve Görsel 6.4 verilmiştir. Karakterizasyon grafikleri, tüm proseste ele alınan aşamaların % olarak her bir etki kategorisine olan katkılarını göstermektedir.



Görsel 6.1. "1 m<sup>3</sup>" atıksu geri kazanımı karakterizasyon sonuçları



Görsel 6.2. "1 m<sup>3</sup>" atıksu geri kazanımı normalizasyon sonuçları

Geri kazanım tesisi karakterizasyon sonuçlarının prosesler bazında dağılımı Çizelge 6.4'de verilmiştir. Geri kazanım tesisi bileşenleri, atıksu arıtma tesisine gelen suyun arıtılması (çamur arıtımında dahil), enerji tüketimi (elektrik enerjisi), kimyasal maddelerin tüketimi (hidroklorik asit, sodyum hidroksit, sodyum klorür ve sodyum metabisülfid), malzemelerin taşınması, atıksu geri kazanım tesisine gelen suyun

arıtılması ve şebeke suyunun kullanılmaması olarak öngörülmüştür. Bu çizelgede ki veriler her bir etki kategorisi için detaylı olarak incelenmiştir.

**ADP<sub>e</sub>** etki kategorisi, kg Sb eşdeğeri olarak ifade edilmektedir. 1 m<sup>3</sup> atıksuyun arıtılmasından meydana gelen abiyotik kaynakların tükenmesi 7,24E-09 kg Sb ed. Olarak hesaplanmıştır. Bu etkiye neden olan başlıca etmen (% 86,83 oranında) atıksu arıtma tesisinden kaynaklanan prosesdir. Kimyasal madde tüketiminden % 7,94 ve elektrik enerjisi tüketiminden de yaklaşık % 5,21'lik bir etki oluşmuştur.

**ADP<sub>fr</sub> etkisi**, MJ olarak verilmektedir. 1 m<sup>3</sup> atıksuyun geri kazanımından kaynaklanan etki, 21,63 MJ olarak hesaplanmıştır. Bu etkiye, en çok % 47,94 (10,37 MJ) ile atıksu arıtma prosesi ve % 47,84 (10,34 MJ) ile elektrik enerjisi tüketimi proseslerin neden olduğu belirlenmiştir.. Bu etki kategorisinde elektrik üretiminden kaynaklanan fosil yakıt (kömür) kullanımı olduğu saptanmıştır.

**GWP**, kg CO<sub>2</sub> ed. olarak verilmektedir. 1 m<sup>3</sup> atıksuyun geri kazanımından 2,26kg CO<sub>2</sub> ed. GWP değeri oluşturduğu hesaplanmıştır. Bu etki, ağırlıklı olarak elektrik tüketiminden %49,93 kaynaklanmakta olup ikinci en yüksek etki % 46,32 ile atıksu arıtımı prosesinden kaynaklanmaktadır. Küresel ısınma etki kategorisine etki eden temel kirleticinin karbondioksit (%92,97) olduğu anlaşılmıştır.

CML-IA (v3.03) değerlendirme yönteminde toksik etkiler olarak **HTP, FAETP, MAETP ve TETP** kg DB ed. olarak ifade edilmektedir. İnsanlar üzerine olan toksik etki ve tatlı su ekosistemine olan toksik etkiye başlıca atıksu arıtımı prosesi (%49,97 ve %47,54) ve elektrik tüketimi prosesi (%44,89 ve %48,76) neden olmaktadır. Deniz ekosistemine olan ekotoksisite etkisi başlıca % 73,37 oranında atıksu arıtma prosesinden kaynaklanmaktadır. Bunun yanı sıra % 17,13'lük etki elektrik tüketimi prosesinden, % 9,48'lik etki ise kimyasal madde tüketimi prosesinden meydana gelmektedir. Bu etkiye en fazla etkinin proste kullanılan hidroklorik asit (11,32 kg 1,4-DB eq) kimyasal malzemesinin neden olduğu düşünülmektedir. Kara ekosistemine olan ekotoksisite etkisi %87,53 oranla atıksu arıtma prosesinden ve %11,02 oranla kimyasal malzeme tüketiminden kaynaklı olduğu belirlenmiştir. Kimyasal malzeme tüketiminden kaynaklanan etkideki en büyük pay hidroklorik asit kimyasalına ait olduğu belirlenmiştir.

**POP**, kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> ed olarak verilmektedir. 1 m<sup>3</sup> atıksuyun geri kazanımından kaynaklanan POP, 4,08E-03 kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> ed olarak hesaplanmıştır. Fotokimyasal sis etkisine etki eden temel kirleticilerinin karbon monoksit, kükürt dioksit ve metan olduğu belirlenmiştir. Fotokimyasal sis etkisine, başlıca elektrik enerjisi tüketiminin %55,09 ve atıksu arıtma prosesinin %42,21 oranındaneden olduğu belirlenmiştir.

**AP**, kg SO<sub>2</sub> ed. olarak verilmektedir. 1 m<sup>3</sup> atıksuyun geri kazanımından kaynaklanan AP, 2,37E-02 kg SO<sub>2</sub> ed. olarak hesaplanmıştır. Asidifikasyon etkisine neden olan temel kirleticilerinin, kükürt dioksit, azot oksitler ve amonyak olduğu belirlenmiştir. Asidifikasyon etkisine, elektrik enerjisi tüketiminin %53,03 ile neden olduğu, atıksu arıtma prosesinden ise %43,72'lik bir etki oluşturdu belirlenmiştir.

**EP**, kg PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> ed. olarak ifade edilmektedir. Ötrofikasyon etkisi, 2,40E-03 kg PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> ed. olarak hesaplanmıştır. Bu etki kategorisine, geri kazanım tesisinin doğrudan %42'lük bir etki yarattığı hesaplanmıştır. Bu etkiye alıcı ortama deşarj edilen fosfor ve COD kirletici parametelerinin neden olduğu düşünölmektedir. Ötrofikasyon etkisine ayrıca, elektrik tüketiminin yaklaşık %29 ve atıksu arıtma prosesinin ise %26'lık bir etki oluştuğı belirlenmiştir. Kimyasal malzemelerin tüketiminin bu etki kategorisine olan etkisi yaklaşık %2,1 olarak belirlenmiştir. Kimyasal malzemelerin tüketimindeki en büyük etkiye ise hidroklorik asitin kullanımının neden olduğu düşünölmektedir.

Tüm incelenen etki kategorilerinde, (kimyasal madde tüketim prosesi ve arıtma çamurunun) taşıma prosesinin meydana getirdiğı etkinin %0,01-0,08 aralığında olduğu belirlenmiştir. Geri kazanımdan dolayı, şebekeden alınan su miktarında aylık ortalama %50 oranında azalma meydana gelmiştir. Geri kazanım tesisi kurulmadan önce ayda toplam 80000 m<sup>3</sup> şebeke suyu kullanırken, mevcutta ayda 40000 m<sup>3</sup> şebeke suyu kullanılmakta kalan kısım geri kazanılan sudan sağlanmaktadır. Böylelikle yılda 480000 m<sup>3</sup> sudan kaçınım sağlanmış ve böylelikle bu suyun kullanımdan gelen çevresel yüklerde %50 oranında azaltım sağlanabileceğı öngörölmüştür.

### **6.3. Atıksu geri kazanımının parasallaştırma sonuçları ve değerlendirilmesi**

Atıksu geri kazanımı için yapılan maliyet envanter analizinde içsel maliyetler; yatırım maliyeti (kullanılacak ekipman maliyeti), inşaat maliyeti ve işletme maliyetleri (kimyasal madde maliyeti, enerji kullanım maliyeti, işçilik maliyeti ve bakım-onarım



maliyetleri), dışsal maliyetler; çevresel (abiyotik kaynakların tüklenmesi(fosil yakıt bazlı), asidifikasyon, küresel ısınma, , ötrafikasyon, fotokimyasal sis, ve insanların üzerine olan ekotoksisite potansiyeli) etki kategorilerinin) maliyetler olarak hesaplanmıştır.

Ayrıca Çizelge 6.5’de atıksu arıtma tesis, çamur arıtımı prosesi ve geri kazanım tesisi için hesaplanmış içsel maliyetlerin yüzdesel (%) dağılımı gösterilmiştir.

**Çizelge 6.5. İçsel maliyet sonuçların dağılımı (%)**

<b>Maliyet Başlıkları</b>	<b>Maliyet Bileşenleri</b>	<b>Toplam Maliyet(Atıksu arıtma ünitesi ve geri kazanım tesisi dahil)</b>	<b>Toplam maliyet (1 m<sup>3</sup> suyun arıtımı)</b>	<b>İçsel maliyet sonuçlarının dağılımı (%)</b>
Yatırım maliyetleri	Kullanılan Ekipman Maliyeti	64.516 euro/yıl	0,04 euro/m <sup>3</sup>	8,70
İnşaat Maliyetleri		22.580 euro/yıl	0,02 euro/m <sup>3</sup>	4,35
İşletme Maliyetleri	Kimyasal Madde Maliyeti,	74.032 euro/yıl	0,05 euro/m <sup>3</sup>	
	Enerji Kullanım Maliyeti,	285.161euro/yıl	0,20 euro/m <sup>3</sup>	86,95
	İşçilik Maliyeti,	125.806 euro/yıl	0,09 euro/m <sup>3</sup>	
	Bakım onarım Maliyeti	78.548 euro/yıl	0,06 euro/m <sup>3</sup>	

LCA sonuçları, Çizelge 5.2’de hesaplanan Türkiye için parasallaştırılan ağırlık faktörleri kullanılarak yorumlanmış ve Çizelge 6.6’da verilmiştir.

**Çizelge 6.6.** LCA sonuçlarına göre belirlenen parasallaştırma değerleri

<b>Etki Kategorisi</b>	<b>Birimi</b>	<b>LCA sonuçları</b>	<b>Ağırlık Faktörü (Euro 2018)</b>	<b>Parasallaştırılan LCA sonuçları(Euro)</b>
ADP <sub>ff</sub>	MJ	2,16E+01	0,00576	1,24E-01
GWP	kg CO <sub>2</sub> ed.	2,26E+00	0,29	6,55E-01
HTP	kg 1,4-DB ed.	1,13E-01	1,73	1,95E-01
POP	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ed	4,08E-03	5,76	2,35E-02
AP	kg SO <sub>2</sub> ed.	2,73E-02	4,32	1,18E-01
EP	kg PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> ed.	2,40E-03	31,38	7,53E-02

Çevresel etkilerin parasallaştırılması tartışmalı bir konudur. Bunun nedeni, çevresel etkilerin parasallaştırma yöntemlerinin değerlendirilmesinin zorluğu ve dahil edilmesi gereken verilerin doğru belirlenememesidir. Fakat, birçok parasallaştırma yöntemi bulunmakta olup, bu yöntemler kendi içerisinde karşılaştırılabilmektedir.

Bu çalışmada, bireysel ödeme istekliliğine dayanan parasal tahminleri kullanarak bir ağırlık seti hazırlanmış ve LCA karakterizasyon sonuçlarına göre yorumlanmıştır. Hesaplanan ağırlık faktörlerinden içerisinde en fazla değere ötrafikasyon ve fotokimyasal sis etki kategorilerinin neden olduğu gözlemlenmiştir. Fakat LCA sonuçlarında bu etki değerlerinin yüksek olmaması parasallaştırıldığında diğer etki değerlerine göre düşük değerde kalmıştır. Küresel ısınma etki kategorisinde LCA sonuçlarının yüksek olması, bu etki kategorisinin ağırlık faktörü düşük olsa da parasallaştırıldığında en fazla etkiye neden olmaktadır. Bu sonuçlar göstermektedir ki, parasallaştırma LCA ile birlikte düşünülmeli ve değerlendirilmelidir.

## 7. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Günümüzde, hızlı nüfus artışı ve sanayileşme faaliyetleri sonucunda su kullanımını artmıştır. Bu nedenle, kaynaklarının sürdürülebilir bir şekilde kullanımı ve korunması oldukça önem kazanmıştır. Atıksu oluşumunun en aza indirilmesi, değerli maddelerin kazanılması ve suların tekrar kullanımı gündeme gelmiştir.

Bu çalışmada, bir organize sanayi bölgesinde bulunan atıksu geri kazanım tesisinin LCA ve parasallaştırma çalışmaları yapılmış ve elde edilen çevresel etki sonuçları Çizelge 7.1’de literatürle karşılaştırılmıştır. Amores ark. (2013) ve Saad ark. (2018) yapmış oldukları çalışmada, tek aşamada gerçekleşen içme suyu arıtımı prosesinin çevresel etkilerini incelemiştir. İki çalışmada da GWP etki kategorisi en yüksek değere sahip olduğu ve bu etki kategorilerinin başlıca sebebinin elektrik tüketimi olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışma ve Pintilie ark. (2016) yapmış olduğu çalışmada ise, birden fazla proses dahil edilmiş olup, atıksu geri kazanımının çevresel etkileri incelenmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, incelenen tüm etki kategorilerinde Pintilie ark. (2016) çalışmasına benzerlik gösterdiği belirlenmiştir. ADP<sub>ff</sub> ve GWP etki kategorisi en yüksek değere sahip olduğu ve bu etki kategorilerinin başlıca sebebinin elektrik tüketimi olduğu görülmüştür. Pintilie ark. (2016) yapmış olduğu çalışma Çin’de bu çalışma ise Türkiye’de gerçekleştirilmiştir bu nedenle kullanılan elektrik kaynakları birbirinden farklıdır. Sonuçların yüksek olmasının nedeninin, Türkiye’nin elektrik potansiyelinin fosil kaynaklı olmasından dolayıdır.

**Çizelge 7.1. Konuyla ilgili literatürlerin karşılaştırılması**

Etki Kategorileri	Birim	Atıksu geri kazanımı		İçme suyu arıtımı	
		Çapa ve ark. (2019)	Pintilie ve ark. (2016)	Saad ve ark. (2018)	Amores ve ark. (2013)
<b>ADP<sub>ff</sub></b>	MJ	2,16E+01	<b>5,44E+00</b>	-	5,52E+00
<b>GWP</b>	kg CO <sub>2</sub> ed.	2,26E+00	1,95E-01	3,42E-01	<b>1,88E-01</b>
<b>ODP</b>	kg CFC-11 ed	6,74E-07	2,87E-08	<b>1,20E-11</b>	1,57E-08
<b>HTP</b>	kg 1,4-DB ed.	1,13E-01	1,45E-01	1,54E-02	<b>2,88E-05</b>
<b>POP</b>	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ed	4,08E-03	<b>7,84E-04</b>	-	-
<b>AP</b>	kg SO <sub>2</sub> ed.	2,37E-02	1,67E-03	1,13E-03	<b>9,08E-04</b>
<b>EP</b>	kg PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> ed.	2,40E-03	<b>5,24E-05</b>	1,06E-04	9,43E-05

Çalışmanın sonucuna göre, atık suyun geri kazanılmasıyla doğal kaynak kullanımının önüne geçilmiş ve ileri arıtım aşamalarının çevresel yükünün geleneksel arıtım proseslerinden daha az etki değeri olduğu kanıtlanmıştır. Tesisteki tüm proseslerde en yüksek etki kategorisinin elektrik tüketimi sonucu gerçekleştiği anlaşılmıştır. Bu çevresel etkileri en aza indirmek için elektrik enerjisi tasarrufu çalışmaları yapılarak tesiste etkin bir enerji yönetimi oluşturulmalıdır. Tesiste yoğun enerji tüketen ekipmanların durumu saptanmalı, enerji verimliliği için uygulanabilecek yatırımlar yapılmalıdır. Bunun yanı sıra elektrik tüketiminden oluşan çevresel etkilerin azaltılabilmesi için yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimin hızlanması gerektiği ortaya konulmuştur.

Bu çalışmadaki elektrik enerjisinden kaynaklı etkiden sonra en fazla payın kimyasal maddelerin tüketim aşamasından gerçekleştiği anlaşılmıştır. Tüm arıtım sürecinde aynı amaçla kullanılacak çevre dostu kimyasalların tercih edilmesinin bu bileşenlerden kaynaklanan çevresel yükü azaltacağı düşünülmektedir.

Sonuç olarak atıksu geri kazanım prosesinin tamamen kapsayan atıksu arıtma tesisi prosesi (ön arıtma, biyolojik arıtma, kimyasal arıtma), çamur arıtımı prosesi ve geri kazanım tesisi (ileri arıtım) proseslerinden en fazla etkinin atıksu arıtma tesisi prosesinden kaynaklı olduğu anlaşılmıştır. İleri arıtım proseslerinin (geri kazanım tesisinin) çevresel etkileri artırmadığı kanıtlanmıştır. Atıksu geri kazanımı yapılarak tek kaynak gibi görünen doğal su kaynakları korunarak organize sanayi bölgelerinde sürdürülebilir çevre anlayışının hakim olduğu çevre yönetim sisteminin önemi vurgulanmıştır.

Çalışmada, LCA sonuçları etki kategorileri bazında literatür çalışmalarından yararlanılarak parasallaştırılmıştır. LCA sonuçlarının parasallaştırılması konusunda sınırlı sayıda çalışma olduğundan bu çalışma ayrı bir öneme sahiptir. Ayrıca, bu sonuçlar doğrultusunda LCA ile parasallaştırma yönteminin birbirinin tamamlayıcısı olduğu anlaşılmıştır. Atıksu geri kazanımı sırasında tüm prosesler için yatırım, inşaat ve işletme maliyetleri ayrıca göz önünde bulundurulmuştur. Böylece gelecekte karar vericilere maliyet açısından yol göstereceği düşünülmüştür.

Kocaeli ilinde bulunan Organize Sanayi Bölgesi içindeki firmalara geri kazanım tesisi sayesinde önemli miktarda su sağlanmaktadır. Firmaların atıksu geri kazanım suyunu kullanmalarıyla, bölgede şebeke suyu kullanımı yılda %50 oranında azalmıştır.

Araştırmada elde edilen sonuçlar doğrultusunda, mevcut atıksu arıtma tesisi işletmecilerine, gelecekte yapılacak atıksu arıtma tesisi karar vericilerine ve araştırmacılara örnek olabilecek bir çalışma ortaya konulmuştur. Ayrıca, genel ve yerel yöneticilerin çok iyi bir su politikası oluşturmasının yanı sıra kentsel atıksuların arıtımından sorumlu yerel yönetimlerin ve sanayicilerin de daha iyi su verimliliği, daha fazla geri kazanım ve su yönetimi konularına dikkat çekilmesi konularında bilinçlendirilmeleri gerekmektedir.



## KAYNAKÇA

- Ahlroth, S., & Finnveden, G. (2011). Ecovalue08–A new valuation set for environmental systems analysis tools. *Journal of Cleaner Production*, 19(17-18), 1994-2003.
- Arahuetes, A. (2016). Wastewater treatment and reuse in Alicante (Spain) . *Proceedings of the 8th International Conference on Waste Management and The Environment. Inter-university Institute of Geography, University of Alicante, Spain*
- Amores, M. J., Meneses, M., Pasqualino, J., Antón, A., & Castells, F. (2013). Environmental assessment of urban water cycle on Mediterranean conditions by LCA approach. *Journal of Cleaner Production*, 43, 84-92.
- Angelakis, A., Snyder, S., "Wastewater Treatment and Reuse: Past, Present, and Future", *Water*, 7, 4887–95, 2015
- Aygen, H.(2013). Sürdürülebilir Çevresel Muhasebe Ve Türk Bankacılık Sistemi Perspektifinden İncelenmesi. *Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Muhasebe Finansman Bilim Dalı, Doktora Tezi.*
- Bayazıt, A. Yapı Malzemelerinin Yaşam Dönemi Maliyetlerinin Çevresel Etki Maliyetleriyle Birlikte Değerlendirilmesi (*Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü*).
- Bauman, H., & Tillman, A. M. (2004). The Hitch Hiker's Guide to LCA
- Başkan, T. (2006). Arıtılmış Evsel Atıksuların Tarımda Sulama Amaçlı Yeniden Kullanılması (*Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü*).
- Bai, S., Wang, X., Huppel, G., Zhao, X., & Ren, N. (2017). Using site-specific life cycle assessment methodology to evaluate Chinese wastewater treatment scenarios: A comparative study of site-generic and site-specific methods. *Journal of cleaner production*, 144, 1-7.

- Biswas, W. K., & Yek, P. (2016). Improving the carbon footprint of water treatment with renewable energy: a Western Australian case study. *Renewables: wind, water, and solar*, 3(1), 14.
- Botas, J. A., Moreno, J., Espada, J. J., Serrano, D. P., & Dufour, J. (2017). Recycling of used lubricating oil: Evaluation of environmental and energy performance by LCA. *Resources, Conservation and Recycling*, 125, 315-323.
- Bonton, A., Bouchard, C., Barbeau, B., & Jedrzejak, S. (2012). Comparative life cycle assessment of water treatment plants. *Desalination*, 284, 42-54.
- BS ISO 15686-5:2008 (2008). Building and Construction Assests – Service Life Planning – Part 5: Life Cycle Costing.
- Büyükkamacı, N. (2009). Su Yönetiminin Etkin Bileşeni: Yeniden Kullanım. *İzmir Kent Sorunları Sempozyumu*, 363-377.
- Ceylan, N. (2012). Türkiye’de Konut Dış Duvar Sistemlerinde Gerçekleştirilen Isı Yalıtımı Uygulamalarının Üretim Ve Yapım Süreçlerinin Çevresel Değerlendirmesi (*Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü*).
- Çokaygil, Z. (2005). Atık Yönetimi Planlamasında Yaşam Döngüsü Analizi. *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 162s. Eskişehir.
- ÇŞB, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2011). Türkiye Çevre Durum Raporu.
- ÇŞB. (2015). Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Atıksu Arıtımı Eylem Planı, 2015-2023.
- ÇŞB. (2016). www.csb.gov.tr. Temmuz 2016 tarihinde Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü
- Demir, Ö., YILDIZ, M., Sercan, Ü., & Arzum, C. Ş. (2017). Atıksuların geri kazanılması ve yeniden kullanılması. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 2, 1-14.
- Duman, H. (2017). Arıtılmış Kentsel Atıksuların Sulamada Yeniden Kullanımı; Kayseri Atıksu Arıtma Tesisi Örneği. *Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Uzmanlık Tezi*.

- Eidelwein, F., Collatto, D. C., Rodrigues, L. H., Lacerda, D. P., & Piran, F. S. (2018). Internalization of environmental externalities: Development of a method for elaborating the statement of economic and environmental results. *Journal of cleaner production*, 170, 1316-1327.
- Eldh, P., & Johansson, J. (2006). Weighting in LCA based on ecotaxes-development of a mid-point method and experiences from case studies. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 11(1), 81-88.
- Elektrik Tüketim Anonim Şirketi (EUAS), (2016). Elektrik Tüketim Sektör Raporu, [http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FSekt%C3%B6r%20Raporu%2FEUAS-Sektor\\_Raporu2016.pdf](http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FSekt%C3%B6r%20Raporu%2FEUAS-Sektor_Raporu2016.pdf)
- European Commission (2002): Directorate general Taxation and custom union Tax policy, Excise duty tables. REF 1.014 April 2002
- EPA. (2012, September). Guidelines for Water Reuse, EPA/600/R/618. Types of Reuse Applications. *United States Environmental Protection Agency*.
- FAO. (2015). Food and Agriculture Organization of the United Nations, Water Uses.
- Ferreira, S., Cabral, M., da Cruz, N. F., & Marques, R. C. (2014). Economic and environmental impacts of the recycling system in Portugal. *Journal of cleaner production*, 79, 219-230.
- Garfi, M., Flores, L., & Ferrer, I. (2017). Life Cycle Assessment of wastewater treatment systems for small communities: Activated sludge, constructed wetlands and high rate algal ponds. *Journal of Cleaner Production*, 161, 211-219.
- Günkaya, Z., Özdemir, A., Özkan, A., & Banar, M. (2016). Environmental performance of electricity generation based on resources: a life cycle assessment case study in Turkey. *Sustainability*, 8(11), 1097.
- Gohary, F. E., Juhari, N., Chouckrallah, R., & DVH. (2013). Sustainable Water Integrated Management (SWIM) - Support Mechanism. *Documentation of Best Practices in Increased Efficiency in Wastewater Reuse in Egypt, Israel, Jordan, Morocco. European Union*.



- Guinée, J. B. (2002). Handbook on life cycle assessment operational guide to the ISO standards. *The international journal of life cycle assessment*, 7(5), 311-313.
- Hitchens, D. M., Clausen, J., & Fichter, K. (1999). Global Environment Management Initiative-GEMI. In *International Environmental Management Benchmarks* (pp. 253-254). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Huyssegoms, L., Rousseau, S., & Cappuyns, V. (2018). Friends or foes? Monetized life cycle assessment and cost-benefit analysis of the site remediation of a former gas plant. *Science of the Total Environment*, 619, 258-271.
- https1, 2019, <http://kosano.org.tr/rakamlarla-kocaeli/>, erişim tarihi: 08.01.2019
- http2, 2019, <http://lct.jrc.ec.europa.eu>, erişim tarihi: 08.01.2019
- Işın, Z. (2009). Ömür Devri Maliyeti Analizi Yaklaşımı ve Savunma Projelerine Uygulamaları. *Savunma Sanayi Müşteşarlığı Dergisi*, 39-43.
- Khasreen, M., Banfill, P. F., & Menzies, G. (2009). Life-cycle assessment and the environmental impact of buildings: a review. *Sustainability*, 1(3), 674-701.
- Koroneos, C. J., & Nanaki, E. A. (2012). Life cycle environmental impact assessment of a solar water heater. *Journal of Cleaner Production*, 37, 154-161.
- Li, Y., Luo, X., Huang, X., Wang, D., & Zhang, W. (2013). Life cycle assessment of a municipal wastewater treatment plant: a case study in Suzhou, China. *Journal of cleaner production*, 57, 221-227.
- Linares, R. V., Li, Z., Yangali-Quintanilla, V., Ghaffour, N., Amy, G., Leiknes, T., & Vrouwenvelder, J. S. (2016). Life cycle cost of a hybrid forward osmosis–low pressure reverse osmosis system for seawater desalination and wastewater recovery. *Water research*, 88, 225-234.
- Lorenzo-Toja, Y., Alfonsín, C., Amores, M. J., Aldea, X., Marin, D., Moreira, M. T., & Feijoo, G. (2016). Beyond the conventional life cycle inventory in wastewater treatment plants. *Science of the Total Environment*, 553, 71-82.
- Melgarejo, J., Prats, D., Molina, A., & Trapote, A. (2016). A case study of urban wastewater reclamation in Spain: comparison of water quality produced by using

- alternative processes and related costs. *Journal of Water Reuse and Desalination*, 6(1), 72-81.
- Mudgal, S., Van Long, L., Saïdi, N., Haines, R., McNeil, D., Jeffrey, P., . Knox, J. (2015). Optimising Water Reuse in the EU Final Report- Part I. European Commission.
- Nguyen, T. L. T., Laratte, B., Guillaume, B., & Hua, A. (2016). Quantifying environmental externalities with a view to internalizing them in the price of products, using different monetization models. *Resources, Conservation and Recycling*, 109, 13-23.
- Opher, T., & Friedler, E. (2016). Comparative LCA of decentralized wastewater treatment alternatives for non-potable urban reuse. *Journal of environmental management*, 182, 464-476.
- Ortiz, M., Raluy, R. G., & Serra, L. (2007). Life cycle assessment of water treatment technologies: wastewater and water-reuse in a small town. *Desalination*, 204(1-3), 121-131.
- OSB Bilgi Sitesi, (2018). <https://osbbs.sanayi.gov.tr>
- Özdemir , A.(2013) Türkiye'de demiryolu ulaşımının yaşam döngüsü analizi ve yaşam döngüsü maliyeti yöntemleri ile değerlendirilmesi. *Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*.
- Özeler, D., Yetiş, Ü., & Demirer, G. N. (2006). Life cycle assesment of municipal solid waste management methods: Ankara case study. *Environment international*, 32(3), 405-411.
- Pintilie, L., Torres, C. M., Teodosiu, C., & Castells, F. (2016). Urban wastewater reclamation for industrial reuse: An LCA case study. *Journal of cleaner production*, 139, 1-14.
- Piao, W., Kim, Y., Kim, H., Kim, M., & Kim, C. (2016). Life cycle assessment and economic efficiency analysis of integrated management of wastewater treatment plants. *Journal of Cleaner Production*, 113, 325-337.

- Pizzol, M., Weidema, B., Brandão, M., & Osset, P. (2015). Monetary valuation in life cycle assessment: a review. *Journal of Cleaner Production*, 86, 170-179.
- Polat, A. (2013). Su Kaynaklarının Sürdürülebilirliği İçin Arıtılan Atıksuların Yeniden Kullanımı. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, (1), 58-62.
- Polruang, S., Sirivithayapakorn, S., & Talang, R. P. N. (2018). A comparative life cycle assessment of municipal wastewater treatment plants in Thailand under variable power schemes and effluent management programs. *Journal of cleaner production*, 172, 635-648.
- Saad, A., Elginöz, N., Babuna, F. G., & Iskender, G. (2018). Life cycle assessment of a large water treatment plant in Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-12.
- Salihoğlu, G., ÇAKIR, Z., & Salihoğlu, N. K. Arıtma Tesislerinde Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi: Bursa Organize Sanayi Bölgesi Su Üretim Tesisi Örneği. *İklim Değişikliği ve Çevre*, 3(2), 64-78.
- Silalertruksa, T., Bonnet, S., & Gheewala, S. H. (2012). Life cycle costing and externalities of palm oil biodiesel in Thailand. *Journal of Cleaner Production*, 28, 225-232.
- Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY), (2004).
- Tarchitzky, J. (2015). ISO TC 282 International Water Reuse Workshop.
- Tuna Taygun, G. (2005). Yapı ürünlerinin yaşam döngüsü değerlendirmesine yönelik bir model önerisi (*Doctoral dissertation, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*).
- Tong, L., Liu, X., Liu, X., Yuan, Z., & Zhang, Q. (2013). Life cycle assessment of water reuse systems in an industrial park. *Journal of environmental management*, 129, 471-478.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), (2017). Organize Sanayi Bölgeleri Su, Atıksu ve Atık İstatistikleri, 2016,
- UNESCO. (2009). Global Distribution of Water. Cambridge Energy Research Associates.

- Üstün , S.(2013) Plastik ürün endüstrisi yaşam döngüsü analizi yöntemi ile değerlendirilmesi. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.*
- Vince, F., Aoustin, E., Bréant, P., & Marechal, F. (2008). LCA tool for the environmental evaluation of potable water production. *Desalination*, 220(1-3), 37-56.
- Vlasopoulos, N., Memon, F. A., Butler, D., & Murphy, R. (2006). Life cycle assessment of wastewater treatment technologies treating petroleum process waters. *Science of the Total Environment*, 367(1), 58-70.
- Volchko, Y., Norrman, J., Rosén, L., & Fedje, K. K. (2017). Cost-benefit analysis of copper recovery in remediation projects: a case study from Sweden. *Science of the total environment*, 605, 300-314.
- WWF (2014). Türkiye'nin Su Riskleri Raporu.
- Woodward, D. G. (1997). Life cycle costing—theory, information acquisition and application. *International journal of project management*, 15(6), 335-344.
- Woon, K. S., & Lo, I. M. (2016). An integrated life cycle costing and human health impact analysis of municipal solid waste management options in Hong Kong using modified eco-efficiency indicator. *Resources, Conservation and Recycling*, 107, 104-114.
- Zang, Y., Li, Y., Wang, C., Zhang, W., & Xiong, W. (2015). Towards more accurate life cycle assessment of biological wastewater treatment plants: a review. *Journal of Cleaner Production*, 107, 676-692.

## EKLER

### Tez Hazırlama Kontrol Listesi

Evet Hayır

Tez, "Tez Yazım Kılavuzu"na uygun olarak yazıldı.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dış kapak ve iç kapak sayfası eklerde belirtilen şekilde düzenlendi.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ön sayfalar i, ii, iii şeklinde Romen rakamları ile numaralandırıldı.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dizinler, "Tez Yazım Kılavuzu"na göre sıralandı ve metin içindeki yerleşime göre sayfa numaraları verildi.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Özet ve Abstract hazırlandı.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Onay sayfası "Tez Yazım Kılavuzu"na uygun olarak hazırlandı ve imzalatıldı.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Etik İlke ve Kurallara Uygunluk Beyannamesi sayfası imzalandı.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Simgeler, kısaltmalar, tablolar ve şekillerin tamamı kontrol edilerek ilgili dizinde gösterildi.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ana metinde harf karakteri, harf büyüklüğü ve satır aralıkları "Tez Yazım Kılavuzu"na uygun olacak şekilde düzenlendi.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Görsel öğeler, tablolar (çizelgeler), şekiller ve denklemler metin içine "Tez Yazım Kılavuzu"na uygun şekilde yerleştirildi.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kaynakça "Tez Yazım Kılavuzu"na göre düzenlendi.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kaynakların tamamına tez içerisinde atıfta bulunularak kaynakça bölümünde yer verildi.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Etik Kurul onayı gerekli ise teze eklendi. (Etik Kurul onayı gerekmiyorsa yandaki "HAYIR" kutucuğunun altına "YOK" yazılacak).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Anket, görüşme veya veri formları kullanıldıysa ilgili kurumlardan alınan izin yazıları ve formlar teze eklendi. (Bu formlar kullanılmadıysa yandaki "HAYIR" kutucuğunun altına "YOK" yazılacak).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ekler "Tez Yazım Kılavuzu"nda belirtildiği şekilde sunuldu. (Ek kullanılmadıysa yandaki "HAYIR" kutucuğunun altına "YOK" yazılacak).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Güzel Sanatlar Enstitüsüyle ilgili anasanat dallarında sergi, konser, gösterim vb. sunumları hazırlandı.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

"Bir Organize Sanayi Bölgesi Atıksu Geri Kazanım Tesisinin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Yöntemiyle Çevresel Etkilerinin İncelenmesi" başlıklı Tez, yukarıdaki listede yer alan konularla ilgili olarak tarafımızca kontrol edilmiş ve gerekleri yerine getirilmiştir.

15/03/2019

Seda ÇAPA

Doç. Dr. Aysun ÖZKAN

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : SEDA ÇAPA  
Yabancı Dil : İngilizce  
Doğum Yeri ve Yılı : Gölcük/1992  
E-Posta : sedaacapa@gmail.com

### Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2015, Anadolu Üniversitesi, Çevre Mühendisliği
- 2016, Çevre Mühendisliği, Çağdaş Endüstriyel Metal Geri Dönüşüm
- 2017, Çevre Mühendisliği, Asım Kibar Organize Sanayi Bölgesi, Atıksu arıtma tesisi

### Yayınları ve/veya Bilimsel/Sanatsal Faaliyetleri:

- **Çapa, S.,** Özdemir, A., Günkaya, Z., Özkan, A., Banar, M. 2018. Endüstriyel Atıksu Arıtımının Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi, International Symposium on Urban Water and Wastewater Management, 25-27 Ekim 2018, Denizli, Bildiriler Kitabı, 1235-1241.

### Mesleki Birlik/Dernek/Kuruluş Üyelikleri:

- 2017, Tmmob Çevre Mühendisleri Odası, Kocaeli