



**BURSA ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİ SU ÜRETİM  
TESİSİ'NİN ÇEVRESEL PERFORMANSININ YAŞAM  
DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ YÖNTEMİYLE  
İYİLEŞTİRİLMESİ**

**Zeynep ÇAKIR**



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BURSA ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİ SU ÜRETİM TESİSİ'NİN ÇEVRESEL  
PERFORMANSININ YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ  
YÖNTEMİYLE İYİLEŞTİRİLMESİ**

**Zeynep ÇAKIR**

Doç. Dr. Güray SALİHOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ÇEVRE TEKNOLOJİSİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2017

## TEZ ONAYI

Zeynep ÇAKIR tarafından hazırlanan “Bursa Organize Sanayi Bölgesi Su Üretim Tesisi'nin Çevresel Performansının Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Yöntemiyle İyileştirilmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Teknolojisi Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman :** Doç. Dr. Güray SALİHOĞLU

**Başkan :** Doç. Dr. Güray SALİHOĞLU  
Uludağ Üniversitesi. Mühendislik Fakültesi,  
Çevre Mühendisliği (Çevre Teknolojisi)  
Anabilim Dalı

**Üye :** Prof. Dr. Müfide BANAR  
Anadolu Üniversitesi. Mühendislik Fakültesi,  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

**Üye :** Doç. Dr. N. Kamil SALİHOĞLU  
Uludağ Üniversitesi. Mühendislik Fakültesi,  
Çevre Mühendisliği (Çevre Teknolojisi)  
Anabilim Dalı

İmza

İmza

İmza

**Yukarıdaki sonucu onaylarım**

**Prof. Dr. Ali BAYRAM**  
**Enstitü Müdürü**

14.10.2017

**U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

**22/01/2017**

**Zeynep ÇAKIR**



## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### BURSA ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİ SU ÜRETİM TESİSİ'NİN ÇEVRESEL PERFORMANSININ YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ YÖNTEMİYLE İYİLEŞTİRİLMESİ

**Zeynep ÇAKIR**

Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Çevre Teknolojisi Anabilim Dalı

**Danışman:** Doç. Dr. Güray SALİHOĞLU

Giderek artan su talebi, su kaynaklarının istenilen zaman ve bölgede arzu edilen miktar ve kalitede bulunmasının zorluğu etkin bir su yönetimini gerekli kılmaktadır. Ayrıca birçok sanayi/kamu işletmesi de faaliyetlerini devam ettirebilmek için ciddi miktarlarda suya ihtiyaç duymaktadırlar. Bu anlamda su kaynaklarının etkin yönetimi ve verimli kullanımı her zamankinden daha fazla önem arz etmektedir. Son yıllarda temiz su kaynakları, bilinçsiz kullanımlar ve kontrolsüz deşarjlar neticesinde oldukça azalmış ve ekosistemin devamlılığı için daha etkili yöntemlerin kullanımı zorunlu hale gelmiştir. Günümüzde tüm kamu ve özel sektör işletmelerinin faaliyetlerini çevresel anlamda gözden geçirmesi, baştan sona tüm süreçlerinde kullandıkları hammadde, enerji gibi girdilerinden ve çıktılardan kaynaklanabilecek muhtemel çevresel yüklerini gözden geçirmeleri, yüksek çevresel yükleri olan proses girdi ve çıktılarını daha az zararlı olanlarla ikame etmeleri gerekmektedir. Bursa Organize Sanayi Bölge Müdürlüğüne ait Su Üretim Tesisi'nde, aşırı kullanım ve çeşitli kirlilik parametreleri nedeniyle atıksu deresi haline dönüşen Nilüfer Deresi suları konvansiyonel ve ileri arıtma sistemleri ile proses suyu haline dönüştürülerek, Bursa Organize Sanayi Bölgesi'nde yer alan işletmelere sunulmaktadır. Bu çalışmada SimaPro 8.2.0 yazılımı ve ReCiPe etki analiz metodu ile, Su Üretim Tesisi'nde üretilen 1 m<sup>3</sup> proses suyunun hazırlanması aşamasında hangi çevresel yüklerin ortaya çıktığı kapsamlı bir şekilde ele alınmıştır. Gerçekleştirilen bu çalışma ile Su Üretim Tesisi'nin ileri arıtma sisteminde yer alan ters ozmos ünitelerinin en yüksek çevresel yüke sahip olduğu tespit edilmiştir. Ters ozmos ünitelerinin çevresel etkisinin tüm alt sistemler içinde en fazla paya sahip olması, bu sistemde yüksek oranda tüketilen elektrik enerjisinden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Sürdürülebilirlik, Proses Suyu, SimaPro 8, ReCiPe

**2017, viii + 86 sayfa.**

## **ABSTRACT**

MSc Thesis

### **IMPROVING ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF BURSA ORGANIZED INDUSTRIAL ZONE WATER PRODUCTION PLANT BY THE LIFE CYCLE ASSESSMENT METHOD**

**Zeynep ÇAKIR**

Uludağ University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Environmental Technology

**Supervisor:** Doç. Dr. Güray SALİHOĞLU

Increasing water demand and the difficulty of finding water resources in desired quantity and quality at the desired time and region require efficient water management. In addition, many industrial/public utilities also need water in significant quantities in order to continue their operations. In this sense, effective management and efficient use of water resources are more important than ever. In recent years, clean water resources have declined considerably due to unconscious use and uncontrolled discharges, and the use of more effective methods for ecosystem sustainability has become mandatory. Nowadays, all public and private sector enterprises have to substitute their environmental inputs with process inputs and outputs with less harmful ones, in order to environmentally monitor their activities and to observe the possible environmental burdens that may incur from inputs such as raw materials and energy used throughout. The Nilüfer River waters, which have become wastewater due to excessive use and various pollution parameters, are converted into process water by conventional and advanced treatment systems in the Bursa Organized Industrial Zone Directorate's Water Production Plant and presented to the enterprises located in Bursa Organized Industrial Zone. In this study, SimaPro 8.2.0 software and ReCiPe impact analysis method have been extensively reviewed to determine which environmental loads occurred during the preparation of 1 m<sup>3</sup> process water produced in the Water Production Plant. With this study, it was determined that the reverse osmosis units in the advanced treatment system of the Water Production Plant have the highest environmental load. The environmental impact of reverse osmosis units has the most share in all subsystems, resulting from the high energy consumption of electricity in this system.

**Key words:** Sustainability, Process Water, SimaPro 8, ReCiPe

**2017, viii + 86 pages.**

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

İnsan ve doğanın uyum sorunu uzun yıllardır tartışılmalı bir konudur. Önceleri insanların doğayı kendi yararlarına olacak şekilde değiştirebilecekleri ve çevrenin neredeyse sınırsız kaynaklar sunduğu görüşü hâkimdi. Sınırsız kaynak olarak görülen kaynaklardan biri de hayati önem taşıyan sudur. Su, insan ve doğal hayatın devamı için alternatif olmayan bir kaynaktır ve bu kaynağın en iyi şekilde korunarak etkin kullanımının sağlanması gerekmektedir. Bu çalışmada incelenen Su Üretim Tesisi, Bursa Organize Sanayi Bölgesi'nde gerçekleştirilen su yönetimi çalışmalarından biri olup, endüstriyel kullanım için gerekli olan suyun temiz içme suyu kaynaklarından ve yeraltı suyundan karşılanma oranını azaltmak için uygulanmaktadır. Çalışma kapsamında, Su Üretim Tesisi'nin çevresel performansı, yaşam döngüsü değerlendirmesi (Life Cycle Assessment) yöntemiyle belirlenmiştir. Bu bağlamda projede, yaşam döngüsü değerlendirmesi çalışmalarında en fazla kullanılan yazılımlardan birisi olan SimaPro 8.2.0 (PRe Consultants, Hollanda) yazılımı ve ReCiPe etki metodu kullanılmıştır. Yaşam döngüsü değerlendirmesi analizinde çevresel performans değerleri etki kategorileri bazında belirlenmiştir. Bu tez çalışmasının her aşamasında her türlü bilgi ve deneyimini paylaşan, yol gösteren, çalışmaya yön veren ve hoşgörüsünü esirgemeyen danışmanım Doç. Dr. Güray SALİHOĞLU'na (Uludağ Üniversitesi), hayatımın her anında bana güvenip, beni destekledikleri için aileme ve bu yoğun sürecin her aşamasını benimle birlikte yaşayan, tez dönemim boyunca moralimi üst düzeyde tutan, kendinden her fırsatta güç aldığım ve manevi desteğini her zaman yanımda hissettiğim eşim Bora Hüseyin ÇAKIR'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Zeynep ÇAKIR

22/01/2017

## İÇİNDEKİLER

|  | Sayfa |
|--|-------|
| ÖZET .....   | i     |
| ABSTRACT.....  | ii    |
| ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....   | iii   |
| SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ.....   | v     |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....   | vi    |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....  | viii  |
| 1. GİRİŞ .....   | 1     |
| 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....  | 4     |
| 2.1. Bursa Organize Sanayi Bölgesi Su Üretim Tesisi.....                                     | 4     |
| 2.1.1. Fiziksel arıtma faaliyeti.....  | 8     |
| 2.1.2. Biyolojik arıtma faaliyeti .....  | 9     |
| 2.1.3. Kimyasal arıtma faaliyeti .....   | 9     |
| 2.1.4. Çamur bertarafı faaliyeti .....   | 11    |
| 2.1.5. İleri arıtma faaliyeti.....   | 11    |
| 2.2. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi.....  | 15    |
| 2.3. Literatür Özetleri .....  | 18    |
| 3. MATERYAL VE YÖNTEM .....  | 32    |
| 3.1. Materyal .....  | 32    |
| 3.2. Yöntem.....   | 33    |
| 3.2.1. Hedef ve kapsam tanımı.....   | 33    |
| 3.2.2. Yaşam döngüsü envanter analizi.....   | 34    |
| 3.2.3. Yaşam döngüsü etki analizi .....  | 35    |
| 3.2.4. Yorumlama.....  | 36    |
| 4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....  | 37    |
| 4.1. BOSB Su Üretim Tesisi YDD Uygulaması Hedef ve Kapsam Tanımı .....                       | 37    |
| 4.1.1. Hedef.....  | 37    |
| 4.1.2. Kapsam.....   | 38    |
| 4.2. Yaşam Döngüsü Envanter Analizi .....  | 39    |
| 4.2.1. Veri toplama.....   | 39    |
| 4.2.2. Varsayımlar .....   | 52    |
| 4.2.3. Hesaplama Prosedürü.....  | 54    |
| 4.3. Yaşam Döngüsü Etki Analizi.....   | 54    |
| 4.4. Yorumlama.....  | 55    |
| 4.4.1. BOSB Su Üretim Tesisinin çevresel yükünün değerlendirilmesi .....                     | 55    |
| 4.4.2. Alt sistemlerin çevresel yüklerinin karşılaştırılması .....                           | 74    |
| 4.4.3. Alt sistemlerin çevresel yüklerinin su kalitesine bağlı olarak karşılaştırılması .... | 77    |
| 5. SONUÇ .....   | 81    |
| KAYNAKLAR .....  | 84    |
| ÖZGEÇMİŞ .....   | 86    |



## SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Kısaltmalar

### Açıklama

|                 |  |
|-----------------|--|
| BOSB            | Bursa Organize Sanayi Bölgesi                              |
| BTSO OSB        | Bursa Ticaret ve Sanayi Odası Organize Sanayi Bölgesi      |
| BUSKİ           | Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi                           |
| ISO             | International Standards Organization                       |
| LCA             | Life Cycle Assessment                                      |
| OSB             | Organize Sanayi Bölgesi                                    |
| Pre consultants | Product Ecology Consultants                                |
| RO              | Reverse Osmosis  |
| SimaPro         | System for Integrated Environmental Assessment of Products |
| UF              | Ultrafiltrasyon  |
| YDD             | Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi                              |
| YDE             | Yaşam Döngüsü Envanteri                                    |
| YDED            | Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi                         |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|   | <b>Sayfa</b> |
|---|--------------|
| Şekil 2.1. Bursa Organize Sanayi Bölgesinin imar planı .....  | 4            |
| Şekil 2.2. Bursa Organize Sanayi Bölgesi ağırlıklı sektörel dağılım .....   | 6            |
| Şekil 2.3. Bursa Organize Sanayi Bölgesi Su Üretim Tesisi .....   | 7            |
| Şekil 2.4. BOSB Su Üretim Tesisi akış diyagramı .....   | 14           |
| Şekil 4.1. Fiziksel arıtma alt sisteminin akış diyagramı.....   | 39           |
| Şekil 4.2. Biyolojik arıtma alt sisteminin akış diyagramı .....   | 40           |
| Şekil 4.3. Kimyasal arıtma alt sisteminin akış diyagramı .....  | 41           |
| Şekil 4.4. Ultrafiltrasyon alt sisteminin akış diyagramı .....  | 42           |
| Şekil 4.5. Ters ozmos alt sisteminin akış diyagramı.....  | 43           |
| Şekil 4.6. Konvansiyonel ve ileri arıtma sistemleri içinde her bir alt sistem elektrik tüketimlerinin yüzde (%) dağılımları ..... | 46           |
| Şekil 4.7. Sistem sınırları ve ortalama kimyasal verileri .....   | 47           |
| Şekil 4.8. Fiziksel arıtma alt sistemi akım şeması .....  | 55           |
| Şekil 4.9. Fiziksel arıtma alt sistemini oluşturan bileşenlerin çevresel yüklerinin karşılaştırılması .....                       | 56           |
| Şekil 4.10. Fiziksel arıtma alt sistemi son nokta etki kategorilerine göre değerlendirilmesi.....                                 | 56           |
| Şekil 4.11. Biyolojik arıtma alt sistemi akım şeması .....  | 57           |
| Şekil 4.12. Biyolojik arıtma alt sisteminin orta nokta kategorilerine göre değerlendirilmesi .....                                | 58           |
| Şekil 4.13. Biyolojik arıtma alt sistemini oluşturan bileşenlerin çevresel yüklerinin karşılaştırılması .....                     | 59           |
| Şekil 4.14. Biyolojik arıtma alt sistemi son nokta etki kategorilerine göre değerlendirilmesi.....                                | 60           |
| Şekil 4.15. Kimyasal arıtma alt sistemi akım şeması.....  | 61           |
| Şekil 4.16. Kimyasal arıtma alt sisteminin orta nokta kategorilerine göre değerlendirilmesi.....                                  | 62           |
| Şekil 4.17. Kimyasal arıtma alt sistemini oluşturan bileşenlerin çevresel yüklerinin karşılaştırılması .....                      | 63           |
| Şekil 4.18. Kimyasal arıtma alt sistemi son nokta etki kategorilerine göre değerlendirilmesi.....                                 | 64           |
| Şekil 4.19. Ultrafiltrasyon alt sisteminin akım şeması.....   | 65           |
| Şekil 4.20. Ultrafiltrasyon alt sisteminin orta nokta kategorilerine göre değerlendirilmesi .....                                 | 66           |
| Şekil 4.21. Ultrafiltrasyon alt sistemini oluşturan bileşenlerin çevresel yüklerinin karşılaştırılması .....                      | 67           |
| Şekil 4.22. Ultrafiltrasyon alt sisteminin son nokta kategorilerine göre değerlendirilmesi .....                                  | 68           |
| Şekil 4.23. Ters ozmos alt sistemi akış diyagramı .....   | 69           |
| Şekil 4.24. Ters ozmos alt sisteminin orta nokta kategorilerine göre değerlendirilmesi  | 71           |
| Şekil 4.25. Ters ozmos alt sistemini oluşturan bileşenlerin çevresel yüklerinin karşılaştırılması .....                           | 72           |
| Şekil 4.26. Ters ozmos alt sistemin son nokta kategorilerine göre değerlendirilmesi ....  | 73           |
| Şekil 4.27. Alt sistemlerin orta nokta kategorilerine göre karşılaştırılması.....   | 75           |
| Şekil 4.28. Alt sistemlerin son nokta kategorilerine göre karşılaştırılması.....  | 76           |

|   |    |
|---|----|
| Şekil 4.29. Alt sistemlerin normalizasyon işlemi sonucu son nokta kategorilerine göre karşılaştırılması .....   | 77 |
| Şekil 4.30. Kimyasal malzeme ve elektrik tüketimlerinin en yüksek olduğu durumda alt sistemlerin orta nokta etki kategorilerine göre etki analizi .....           | 78 |
| Şekil 4.31. Kimyasal malzeme ve elektrik tüketimlerinin en düşük olduğu durumda alt sistemlerin orta nokta etki kategorilerine göre etki analizi .....            | 79 |
| Şekil 4.32. Kimyasal malzeme ve elektrik tüketimlerinin en yüksek ve en düşük olduğu durumda alt sistemlerin son nokta etki kategorilerine göre etki analizi..... | 80 |



## ÇİZELGELER DİZİNİ

|   | <b>Sayfa</b> |
|---|--------------|
| Çizelge 2.1. Bursa Organize Sanayi Bölgesi sektörel dağılım .....   | 5            |
| Çizelge 2.2. Bursa Organize Sanayi Bölgesi su birim fiyatları.....  | 7            |
| Çizelge 4.1 Konvansiyonel arıtma alt sistemleri için kimyasal malzeme envanteri.....  | 44           |
| Çizelge 4.2. İleri arıtma alt sistemleri için kimyasal malzeme envanteri .....  | 44           |
| Çizelge 4.3. Konvansiyonel arıtma alt sistemleri için taşıma envanteri .....  | 45           |
| Çizelge 4.4. İleri arıtma alt sistemleri için taşıma envanteri.....   | 45           |
| Çizelge 4.5. Konvansiyonel arıtma alt sistemleri için elektrik enerjisi envanteri.....  | 46           |
| Çizelge 4.6. İleri arıtma alt sistemleri için elektrik enerjisi envanteri .....   | 46           |
| Çizelge 4.7. Konvansiyonel arıtma alt sistemlerinde en düşük birim tüketim için kimyasal malzeme envanteri .....                | 48           |
| Çizelge 4.8. İleri arıtma alt sistemlerinde en düşük birim tüketim için kimyasal malzeme envanteri.....                         | 49           |
| Çizelge 4.9. Konvansiyonel arıtma alt sistemlerinde en düşük birim tüketim için taşıma envanteri.....                           | 49           |
| Çizelge 4.10. İleri arıtma alt sistemlerinde en düşük birim tüketim için taşıma envanteri .....                                 | 49           |
| Çizelge 4.11. Konvansiyonel arıtma alt sistemlerinde en yüksek birim tüketim için kimyasal malzeme envanteri .....              | 50           |
| Çizelge 4.12. İleri arıtma alt sistemlerinde en yüksek birim tüketim için kimyasal malzeme envanteri .....                      | 50           |
| Çizelge 4.13. Konvansiyonel arıtma alt sistemlerinde en yüksek birim tüketim için taşıma envanteri .....                        | 51           |
| Çizelge 4.14. İleri arıtma alt sistemlerinde en yüksek birim tüketim için taşıma envanteri.....                                 | 51           |
| Çizelge 4.15. Konvansiyonel arıtma alt sistemleri için elektrik enerjisi envanteri.....   | 51           |
| Çizelge 4.16. İleri arıtma alt sistemleri için elektrik enerjisi envanteri .....  | 51           |
| Çizelge 4.17. Proses suyu üretim sürecinde oluşan çevresel emisyonlar .....   | 52           |
| Çizelge 4.18. Kimyasal malzemelerin temin edildiği firmalar ile Su Üretim Tesisi arasında mesafeler (Konvansiyonel arıtma)..... | 53           |
| Çizelge 4.19. Kimyasal malzemelerin temin edildiği firmalar ile Su Üretim Tesisi arasında mesafeler (İleri arıtma) .....        | 53           |

## 1. GİRİŞ

Hızla artan sanayileşme ve nüfus ile birlikte endüstriyel atıklar ve atıksular ve sera gazı emisyonlarının etkisiyle çevre kirliliği artmış, iklim değişiklikleri yaşanmaya, biyolojik çeşitlilik ve doğal kaynaklar tükenmeye başlamış, doğanın kendini yenileyebilme kabiliyeti yetersiz kalmaya başlamıştır. Doğal kaynakların oluşum süresinden daha hızlı tüketilmesi sonucunda çevresel krizler yaşanmış ve bu krizler hem insan hem de diğer canlıların yaşamını ve geleceğini tehdit eder hale gelmiştir (Toprak 2006, Akıncı 2010).

Çevresel etkilerin yıkıcı gücünün artması sonucunda, çevrenin ve doğal kaynakların korunmasının gerekliliği ve gerçekleştirilen her üretim faaliyetinin çevre üzerindeki olası etkilerinin önemi konusunda farkındalık artmıştır. Endüstriyel ürünlerin üretimi sırasında, doğayı tahrip etmeyi engellemek için havaya, suya, toprağa muhtemel tüm çevresel emisyonların en aza indirilmesi, üretim sürecinde kullanılan hammadde, enerji ve diğer kaynakların çevreye etkisi en az olacak şekilde seçilmesi, ürünün sadece üretimi değil kullanım, yeniden kullanım ve hatta atık safhalarını da içerecek şekilde tüm yaşamı boyunca en az atık oluşturacak şekilde tasarlanması ve üretilmesi son derece önem kazanmıştır (Akıncı 2010, Balpetek ve ark. 2012).

Doğal kaynakların kendini yenileme hızı ile bu kaynakların kullanımı arasında zorunlu bir uyumluluk olması gerekliliğinden yola çıkılarak sürdürülebilirlik düşüncesi doğmuş, ekonomik anlamda büyüme amaçlandığında kalkınmanın sürdürülebilirliği, sürdürülebilir üretim yöntemleri ile gerçekleştirilebileceği ortaya konmuştur. Resmi anlamda ilk olarak 1992 yılındaki Dublin konferansında dile getirildiği kabul edilen doğal su kaynakları ile ilgili çevresel sürdürülebilirliğin önemine atıfta bulunan konferans sonuç bildirgeleri aşağıdaki gibidir (Orhon ve ark. 2002, Meriç 2004):

- Hayatın, kalkınmanın ve çevrenin sürdürülebilirliğinde temel rol oynayan tatlı su kaynakları sonsuz ve bozulmaz değildir.
- Su yönetimi, tüm paydaşların katılımıyla gerçekleştirilmelidir.
- Su, tüm yararlı kullanımları ile ekonomik bir değere sahiptir ve ekonomik bir mal olarak değerlendirilmelidir (Orhon ve ark. 2002).

İşte bu sebeple, günümüz sanayilerinin faaliyet alanlarının kapsamı ve etkilediği çevresel alanlar göz önünde bulundurulduğunda sürdürülebilirlik kavramının ne denli önemli hale geldiği oldukça açıktır. Bir sosyal sorumluluk gereği olarak, küçük ya da büyük ölçekli olup olmadığına bakılmaksızın tüm sanayi faaliyetlerinin çevresel sürdürülebilirlik konusundaki hassasiyetleri ölçülmeli, yasalar çerçevesinde şeffaf bir şekilde denetlenmeye açık olmalıdır.

Genel olarak sürdürülebilirlik kavramı; gelecek nesillerin de doğadan faydalanma hakkını unutmadan, doğal kaynakların dengesini yok etmeden, faaliyetlerin devam etmesi anlamına gelmektedir. Başka bir ifadeyle, ekosistem kapsamında tüm elemanların (su kaynakları, bitki örtüsü vb.) bağlı buldukları ortamlarda sistemin işleyişinde istenmeyen değişiklikler oluşturulmadan, en iyi biçimde gelecek kuşaklara bırakılması prensibini içermektedir (Meriç 2004).

Sürdürülebilirlik gündeme geldiği zaman zarfından bu yana işletmeler faaliyetlerinin topluma ve doğaya olan etkilerini mercek altına almaya başlamıştır. Her türlü işletmenin faaliyetlerinin etkilerinin ne denli olduğu, tüm faaliyet alt bileşenlerinin çevresel etkilerinin en detaylı şekilde bilinmesi gerekliliği ve bu etkilerin daha iyi bir şekilde anlaşılıp daha aza indirgenmesi için yöntemler geliştirilmesi yaşam döngüsü değerlendirmesi kavramını ortaya çıkarmıştır. Yaşam döngüsü değerlendirmesi ürün, proses ve hizmetlerin imalat, kullanım atık, bertarafı ve geri dönüşüm aşamalarındaki çevresel boyutlarının ölçülebilmesini sağlayan matematiksel bir yöntemdir (Orhon ve ark. 2002, Akıncı 2010).

Susurluk havzasında yer alan Nilüfer Deresi'nden alınan suyu arıtarak Bursa Organize Sanayi Bölgesinde yer alan işletmelerin proses suyu ihtiyacını karşılayan bölge müdürlüğüne ait Su Üretim Tesisinin çevresel boyutlarının ölçülebilmesi için yaşam döngüsü değerlendirmesi metodu uygulanmıştır. Yaşam döngüsü envanter analizinde tesis iç raporlarındaki veriler kullanılarak yapılan bu yaşam döngüsü değerlendirmesinde SimaPro 8 yazılımı ve etki analizi metodu olarak da ReCiPe yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada, proses suyu hazırlanması sürecinde kullanılan tüm hammadde, enerji gibi alt bileşenlerin tüm çevresel etki faktörleri en detaylı şekilde belirlenmiş, kapsamlı sonuçlar

Çıkarılmış ve tesisin daha verimli, çevreye en az zararlı hale gelebilmesi için neler yapılması gerektiği yazılımın ortaya çıkardığı veriler ışığında ortaya koyulmuştur.



## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Bursa Organize Sanayi Bölgesi Su Üretim Tesisi

Türkiye'nin ilk organize sanayi bölgesi olan BTSO OSB, 1961 yılında Bursa Ticaret ve Sanayi Odası tarafından kurulmuş ve 1966 yılından itibaren hizmet vermektedir. 2012 yılında yapılan genel kurul ile Bursa Ticaret ve Sanayi Odası kuruluşu ile ayrılarak bölge katılımcıların oluşturduğu genel kurul aşamasına geçilmiş, BTSO Organize Sanayi Bölgesi olan ismi Bursa Organize Sanayi Bölgesi (BOSB) olarak değiştirilmiştir.

Bursa Organize Sanayi Bölgesi, Bursa'nın batısında yer almakta olup, Bursa-Mudanya yolu üzerindedir. İlk etapta 180 ha toplam alana sahip olan organize sanayi bölgesi, zamanla parsel talebinin artmasıyla genişlemiş ve toplam 670 ha alana ulaşmıştır. Mevcut alanın yaklaşık 385 ha'lık kısmı sanayi parsellerinden oluşmaktadır. Bursa Organize Sanayi Bölgesinin imar planı Şekil 2.1'de verilmiştir. İmar planı üzerinde sarı olarak verilen parseller sanayi parselleri olup, toplam 299 parselin 11 tanesi mevcut durumda boş parseldir. Organize sanayi bölgesi parsel bazında %96 doluluk oranına ulaşmıştır.



Şekil 2.1. Bursa Organize Sanayi Bölgesinin imar planı

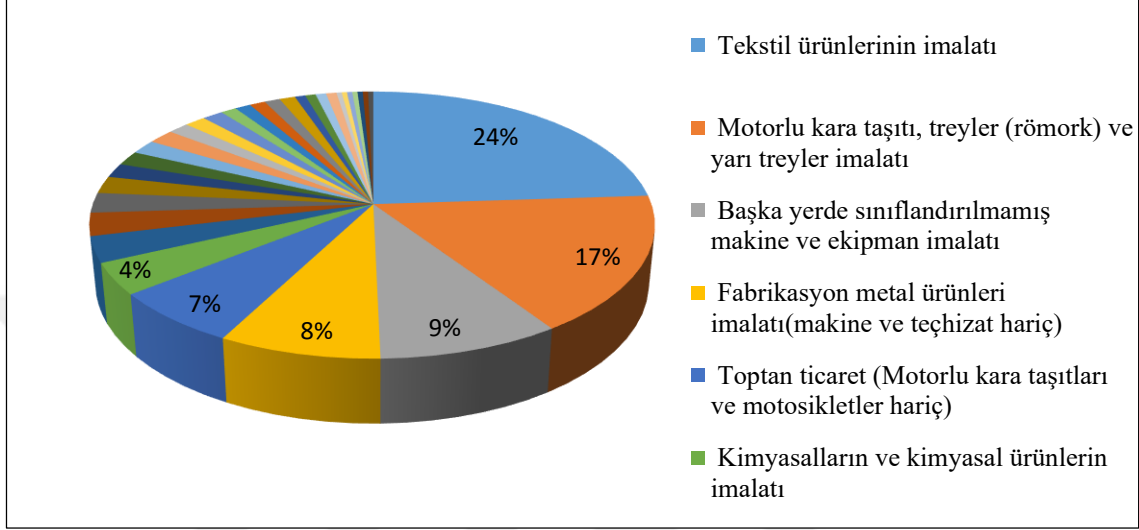
Bursa OSB'de toplam 299 sanayi parselinin 288'i faal durumdadır. Tekstil başta olmak üzere, otomotiv yan sanayi, metal, makine, gıda ve kimya gibi çok farklı sektörlerde üretim yapan firmalar bulunmaktadır. Bursa Organize Sanayi Bölgesi bünyesinde bulunan firmaların üretim konularına göre sayısı Çizelge 2.1'de verilmektedir.



**Çizelge 2.1.** Bursa Organize Sanayi Bölgesi sektörel dağılım

| <b>Bursa Organize Sanayi Bölgesi'nde Faaliyet Gösteren Sektörler</b>                  | <b>Firma Sayısı</b> |
|---|---------------------|
| Tekstil ürünlerinin imalatı   | 69                  |
| Motorlu kara taşıtı, treyler (römork) ve yarı treyler imalatı                         | 48                  |
| Başka yerde sınıflandırılmamış makine ve ekipman imalatı                              | 26                  |
| Fabrikasyon metal ürünleri imalatı(makine ve teçhizat hariç)                          | 23                  |
| Toptan ticaret (Motorlu kara taşıtları ve motosikletler hariç)                        | 19                  |
| Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı   | 11                  |
| Ana metal sanayi  | 9                   |
| Motorlu kara taşıtlarının ve motosikletlerin toptan ve perakende ticareti ile onanımı | 8                   |
| Kauçuk ve plastik ürünlerin imalatı   | 7                   |
| Finansal hizmet faaliyetleri (Sigorta ve emeklilik fonları hariç)                     | 6                   |
| Bina inşaatı  | 5                   |
| Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı                                       | 5                   |
| Elektrik, gaz, buhar ve havalandırma sistemi üretim ve dağıtımı                       | 5                   |
| Kağıt ve kağıt ürünlerinin imalatı  | 5                   |
| Elektrikli teçhizat imalatı   | 4                   |
| Mobilya imalatı   | 4                   |
| Perakende ticaret (Motorlu kara taşıtları ve motosikletler hariç)                     | 4                   |
| Bilgisayarların, elektronik ve optik ürünlerin imalatı                                | 3                   |
| Gıda ürünlerinin imalatı  | 3                   |
| Giyim eşyalarının imalatı   | 3                   |
| Taşımacılık için depolama ve destekleyici faaliyetler                                 | 3                   |
| Yiyecek ve içecek hizmeti faaliyetleri  | 3                   |
| Atığın toplanması, ıslahı ve bertarafı faaliyetleri; maddelerin geri kazanımı         | 2                   |
| Diğer imalatlar   | 2                   |
| İdare merkezi faaliyetleri, idari danışmanlık faaliyetleri                            | 2                   |
| Özel inşaat faaliyetleri  | 2                   |
| Ağaç, ağaç ürünleri ve mantar ürünleri imalatı  | 1                   |
| Finansal hizmetler ile sigorta faaliyetleri için yardımcı faaliyetler                 | 1                   |
| İnsan sağlığı hizmetleri  | 1                   |
| Kara taşımacılığı ve boru hattı taşımacılığı  | 1                   |
| Kayıtlı medyanın basılması ve çoğaltılması  | 1                   |
| Makine ve ekipmanların kurulumu ve onarımı  | 1                   |
| Üye olunan kuruluşların faaliyetleri  | 1                   |
| <b>TOPLAM FİRMA SAYISI</b>  | <b>288</b>          |

Bursa Organize Sanayi Bölgesi'nin ağırlıklı sektörel dağılımı Şekil 2.2'de görülmektedir. Buna göre, BOSB bünyesinde %24'lük pay ile en çok bulunan sektör tekstildir. Daha sonra %17'lik pay ile motorlu kara taşıtı üretimi, %9'luk pay ile makine ekipman üretimi gelmektedir.



**Şekil 2.2.** Bursa Organize Sanayi Bölgesi ağırlıklı sektörel dağılım

Bursa Organize Sanayi Bölgesi'nde faaliyet gösteren tesislere 1. ve 2. kalite su olmak üzere iki farklı kaynaktan su temin edilmektedir. 1. kalite olarak adlandırılan su, Bursa şehrine de su sağlayan Doğanlı Barajı'ndan BUSKİ tarafından temin edilen, Dobruca İçme Suyu Arıtma Tesisi'nde arıtılarak ayrı bir hat ile direkt olarak BOSB'ye verilen şehir şebeke suyudur. 2. Kalite olarak adlandırılan su ise Nilüfer Çayı'ndan alındıktan sonra Bursa OSB Su Üretim Tesisi'nde arıtılarak, üretim proseslerinde kullanılmak üzere ana su depolarına terfi edilmekte, ana depolardan Bursa OSB 2. kalite su şebekesine verilmektedir.

Su dağıtım sistemi 1. kalite su şebekesi, 2. kalite su şebekesi ve yeşil alan sulama şebekesi olmak üzere tamamen birbirinden ayrı üç şebekeden oluşmaktadır. 1. kalite su "İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik" kriterlerine uygun olması nedeniyle içme ve kullanma suyu olarak ve özel üretim alanlarında kullanılmaktadır. 2. kalite su ise ağırlıklı olarak bol su gerektiren üretim prosesi adımlarında kullanılmaktadır. Yeşil alan sulama suyu şebekesinde 2. kalite su kullanılmaktadır. Bursa Organize Sanayi

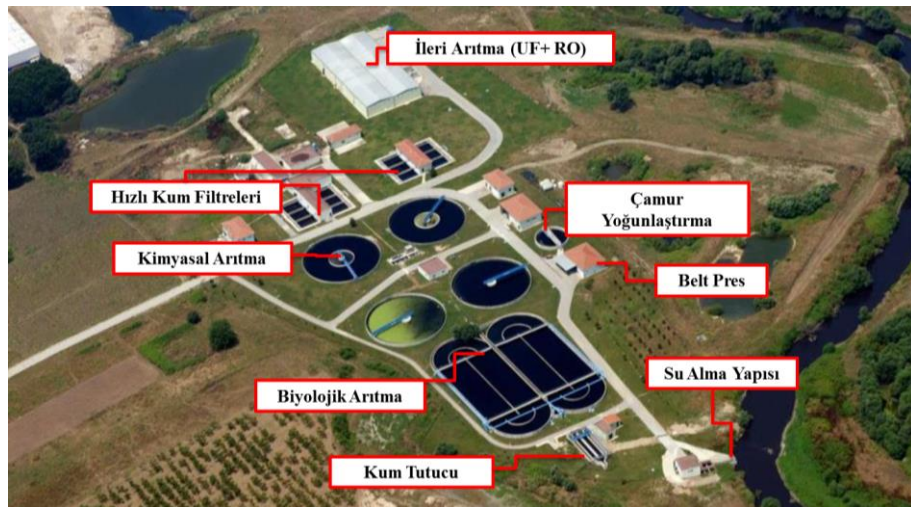
Bölgesi'nde yeşil alan sulama şebekesi dışındaki mevcut su altyapısı 1. ve 2. kalite su olmak üzere iki ayrı şebekeden oluşmaktadır.

Bursa Organize Sanayi Bölgesi'nde 1. ve 2. kalite su için ayrı fiyat tarifesi uygulanmaktadır. Bu nedenle üretim, yıkama, sulama işlerinde 2. kalite su kullanımı tercih edilmektedir. Organize sanayi bölgesindeki uygulanan su birim fiyatı bilgisi Çizelge 2.2 ile verilmiş olup, 1. kalite ve 2. kalite suyun birim fiyatları arasında büyük bir fark olduğu görülmektedir.

**Çizelge 2.2.** Bursa Organize Sanayi Bölgesi su birim fiyatları

| Su Kalitesi                       | Birim Fiyat (TL/m <sup>3</sup> ) |
|-----------------------------------|----------------------------------|
| 1. Kalite (insani tüketim amaçlı) | 5,59                             |
| 2. Kalite (proses ve sulama suyu) | 0,85                             |

Nilüfer Çayı'ndan temin edilen suyun arıtılarak 2. kalite su olarak OSB şebekesine verilmesini sağlayan Bursa Organize Sanayi Bölgesi Proses Suyu Üretim Tesisi Şekil 2.3 ile verilmektedir. Su Üretim Tesisi su alma yapısı, mekanik/fiziksel, biyolojik ve kimyasal arıtma ve kum filtresi ünitelerinden oluşan konvansiyonel arıtma ile ultrafiltrasyon ve ters ozmos ünitelerinden oluşan ileri arıtma bölümlerinden oluşmaktadır.



**Şekil 2.3.** Bursa Organize Sanayi Bölgesi Su Üretim Tesisi

Tesis su alma yapısı ile alınan su, öncelikle mekanik ve fiziksel arıtma işlemlerine tabi tutularak, atıksudaki katı partiküllerin giderimi yapılmaktadır. Atıksu içerisindeki organik kirliliğin giderilmesi için havalandırma havuzları ve çöktürme havuzlarından oluşan biyolojik arıtma kademesine geçen su daha sonra koagülasyon, flokülasyon ve çöktürme işlemlerinin uygulandığı kimyasal arıtma sistemine geçmektedir. Fiziksel, biyolojik ve kimyasal olarak arıtılan su hızlı kum filtrelerinden geçirilerek içerisindeki küçük partiküller de tutulmaktadır.

Hızlı kum filtrelerinden çıkan su, koagülasyon işlemine tabi tutulduktan sonra, otomatik temizlemeli 200µ geçirimli mekanik filtrelerden geçirilerek askıda katı maddelerin tutulması sağlanarak ultrafiltrasyon (UF) ünitesine verilmektedir. Ultrafiltrasyon sisteminden çıkan su ters ozmos (RO) membranlarına verilmeden önce, 5µ gözenek çapına sahip kartuş filtrelerde ön filtrasyonu sağlanarak, yüksek basınç pompaları ve ters ozmos membranları askıda katı maddelerden korunmaktadır. Ters ozmos ünitesi öncesinde dozlanan spesifik kimyasallar ile suda bulunan fazla klor elimine edilir ve ağır metallerin membran yüzeyine yapışıp, membranı tıkaması önlenmektedir. RO ünitelerinde tüm çözülmüş tuzlar, inorganik moleküller, ayrıca molekül ağırlığı yaklaşık 100 daltonun üzerindeki organik moleküller arıtılmaktadır.

### **2.1.1. Fiziksel arıtma faaliyeti**

Su alma ve terfi yapısı, arıtma tesisinin ilk birimi olarak inşa edilmiştir. Nilüfer Deresinden manuel ve otomatik temizlemeli ızgaralar ve kanal sistemi ile alınan ham su, dalgıç pompalar ile tesise terfi edilmektedir. Izgaralar ham su içindeki katı maddelerin pompa vb. teçhizata zarar vermemesi için sudan ayırmak ve böylece diğer arıtma ünitelerine gelecek yükü hafifletmek amacıyla kullanılmaktadır.

Terfi ettirilen su havalandırılmalı kum tutucu ünitesine gelerek kum ve çakıl gibi inert maddeler çöktürülmekte, yağlar ise yüzdürülerek sistemden uzaklaştırılmaktadır. Havalandırılmalı kum tutucu üzerinde yürür köprü tesis edilmiş olup, bu köprü üzerinde monteli dalgıç kum pompası ile tutulan kumlar köprü ve havuz yanındaki kanallar yardımıyla kum ayırıcıya ulaştırılır. Burada kum ve su birbirinden ayrılırken, ayrılan kum

kum arabalarıyla sistemden uzaklaştırılır. Sistemin havalandırması blower ve çubuk difüzör yardımıyla gerçekleştirilir. Havuz üzerinde biriken yağlar köprü üzerine monte edilmiş sıyrıcı paletler yardımıyla sıyrılarak, havuz kenarında bulunan yağ haznesinde biriktirilip uzaklaştırılacaktır.

### **2.1.2. Biyolojik arıtma faaliyeti**

Havalandırılmalı kum tutucu yapısından sonra kanaldan geçen su kendi cazibesi ile akarak organik kirliliğin giderilmesi amacıyla tasarlanmış havalandırma havuzuna alınmaktadır. Tasarımda birleşik karbon, azot ve fosfor giderimli işletme kullanılmıştır. Havalandırma havuzu giriş suyundaki amonyak azotu önce nitrite sonra nitratlara dönüştürülür. Havalandırma havuzunun anaerobik kısmına sürekli %100 oranında geri devir çamuru döndürülür. Anaerobik bölümdeki bakteriler giriş suyundaki karbon kaynaklarını kullanırlar ve oksijenmetre ile kontrol edilen blowerlar ile havalandırma havuzundaki oksijen miktarı kontrol edilmektedir. Denitrifikasyon işlemi karbondioksit ve azot gazlarının oluşması şeklinde sonuçlanmaktadır. Anoksik bölgede çökelmenin önlenmesi amacıyla dalgıç mikserler konulmuştur. Havalandırma havuzu çıkışında, sistemdeki aktif biyokütle zarar veremeyecek şekilde renk giderici organik polimer dozlanmaktadır. Biyolojik çökeltim havuzu dağıtım yapısıyla dere suyu biyolojik çökeltim havuzuna iletilmektedir. Dip sıyrıcı ile sıyrılan biyokütle ise geri devir havuzuna gelmektedir.

### **2.1.3. Kimyasal arıtma faaliyeti**

Biyolojik arıtma ünitelerinde yaklaşık %80 oranında organik madde giderimi gerçekleştirilmiş olan su bir sonraki ünite olan kimyasal arıtma ünitelerinde işlenmektedir. Kimyasal arıtmanın amacı, suda çözülmüş halde bulunan kirleticilerin kimyasal reaksiyonlarla çözünürlüğü düşük bileşiklere dönüştürülmesi ya da kolloidal ve askıdaki maddelerin yumaklar oluşturarak çökeltilmesi suretiyle giderilmesidir.

Bu amaçla biyolojik çökeltim havuzundan savaklanan su, koagülasyon flokülasyon ve çöktürme işlemlerinin gerçekleştiği kimyasal arıtma ünitelerine gelmektedir.

Koagülasyon ve flokülasyon esnasında kimyasalların suya tam karışımını sağlamak ve flok oluşturmak amacı ile karıştırma işlemleri uygulanır ve bu karıştırma temel olarak hızlı ve yavaş karıştırma olarak ikiye ayrılır. Kimyasal arıtmanın ilk ünitesi olan hızlı karıştırma ünitesindeki amaç, su içerisinde yumakları oluşturacak kimyasal maddenin homojen olarak karışmasını sağlamaktır. Bu işlem sonucu oluşan tanecikler çok küçük yumaklar halinde birleşirler. Hızlı karıştırma ünitesinde suya koagülant ve flokülant kimyasalları dozajı yapılmaktadır. Koagülant olarak %10 oranında  $Al_2O_3$  içeren poli alüminyum klorür hidroksit kimyasalı ile flokülant olarak ise anyonik polielektolit kimyasalı kullanılmaktadır.

Bu işlemden sonra su yavaş karıştırma ünitesine geçmekte ve hızlı karıştırma ünitesinde oluşan taneciklerin birleşerek daha kolay çöken yumaklar oluşturması sağlanmaktadır. Tesiste yavaş karıştırma ve çökeltim işlemleri, iç içe iki havuz yapısı şeklinde olan klariflokülatör havuzlarında gerçekleşmektedir. Hızlı karıştırma ünitesinin dağıtma yapısından gelen ham su klariflokülatör havuzunun orta bölmesinden havuza girmektedir. Buradan yumakların çöktürülmesi için çökeltme havuzuna geçmektedir. Çökeltme tankının dip kısmında biriken çamur, çamur yoğunlaştırma havuzuna sonra da beltpres ünitesine gönderilerek katı madde oranı artırılarak susuzlaştırıldıktan sonra uygun bir şekilde bertaraf edilmektedir. Kimyasal çöktürme tanklarından savaklanan suya bir sonraki proses olan hızlı kum filtrelerine girmeden önce % 15 aktif klorlu sodyum hipoklorit kimyasalı dozajı yapılmaktadır. Burada amaç, filtre yataklarında oluşacak mikrobiyal çoğalmanın önlenmesi, kalan askıda katı maddelerin filtre yataklarını tıkanmasının önlenmesidir. Aynı zamanda nispeten renk ve amonyum azotu giderimi de sağlanmaktadır.

Kimyasal çökeltim havuzunda çökelemeyen ince flokların sudan ayrılması amacıyla hızlı kum filtreleri tasarlanmıştır. Filtre yataklarından geçirilerek süzülen su, filtre haznesi tabanında yer alan toplama borusu ile alınarak filtrelenmiş su toplama kanalına buradan da suyun bir kısmı ileri arıtma tesisine geçerken diğer bir kısmı da tesis içerisindeki su deposuna alınmaktadır. Hızlı kum filtreleri geri yıkama suları geri kazanma tankında biriktirilerek burada çökelen çamur pompa yardımıyla yoğunlaştırma havuzuna gönderilmektedir.

#### **2.1.4. Çamur bertarafı faaliyeti**

Biyolojik ve kimyasal çökeltme havuzlarında çökelen çamurlar sıyırıcılar vasıtasıyla sıyırılarak çamur yoğunlaştırma havuzuna iletilmektedir. Yoğunlaştırma havuzunda bulunan sıyırıcı, karbon çelik, epoksi yüzey korumalı malzemeden yapılmıştır. Yoğunlaştırma havuzundan alınan çamur, beltpres pompaları ile beltprese alınırken, çamur yoğunluğunu arttırmak için katyonik polielektrolit ilavesi yapılmaktadır.

Çamur yoğunlaştırma havuzundan beltpres besleme pompaları yardımıyla alınan çamur beltprese basılmaktadır. Beltpresden süzülen sular geri devir binasına, çıkan çamur keki ise konveyör bant ile bir konteynerde biriktirilerek daha sonra katı atıklarla beraber yönetmelik uyarınca uzaklaştırılır.

#### **2.1.5. İleri arıtma faaliyeti**

İleri arıtma sistemi, 50.000 m<sup>3</sup>/gün debide konvansiyonel arıtma sistemi çıkış suyunu arıtarak istenen su kalitesinde 38.610 m<sup>3</sup>/gün su elde etmek amacıyla kurulmuştur.

İleri arıtma sistemi aşağıdaki ana ünitelerden oluşmaktadır.

- UF besleme havuzu ve pompa istasyonu
- Koagülant dozaj istasyonu
- Ön filtrasyon
- Ultrafiltrasyon
- RO besleme havuzu ve pompa istasyonu
- Ters osmoz sistemi
- UF ve RO atıksu havuzu
- İleri arıtma binası
- Online izleme sistemi
- Trafo sistemi

Konvansiyonel arıtma tesisinden gelen ham su, ultrafiltrasyon ünitelerine verilmeden önce, ultrafiltrasyon verimini arttırmak ve işletme koşullarının stabilitesini sağlamak için,

koagülasyon işlemine tabi tutulmaktadır. Koagülant kimyasalı olarak %17 oranında  $Al_2O_3$  içeren poli alüminyum klorür hidroksit kullanılmakta, koagülasyon işlemi hat üzerinde gerçekleştirilmektedir. Koagülasyon işleminden sonra konvansiyonel arıtma tesisi çıkış suyu 200 mikron elek aralığına sahip otomatik temizlemeli filtrelerden geçirilerek kaba partiküller tutulmaktadır. Filtrasyon sırasında elek üzerinde birikintiler oluşmakta ve bu birikintilerin temizlenmesi için geri yıkama sistemi, fark basınç ve zaman ayarlı olarak otomatik devreye girmektedir. Her ultrafiltrasyon hattı için bir adet olmak üzere toplam yedi adet otomatik filtre mevcuttur.

İleri arıtma tesisinde toplam 7 adet ultrafiltrasyon hattı mevcut olup, her hatta 76 adet ultrafiltrasyon modülü bulunmaktadır. Ultrafiltrasyon membranları hollow fiber membran tipi olup, membran malzemesi polietersulfon olarak belirtilmiştir. Ön filtrasyondan geçen su, ultrafiltrasyon sistemlerine gelerek 1000 daltonun üzerindeki katılar tutulmaktadır. Ultrafiltrasyon çoğu iyonların ve küçük molekül ağırlıklı organiklerin geçişine izin vererek daha büyük organikleri, kolloidleri, bakterileri ve virüsleri tutmaktadır. Verimi maksimize etmek için Dead-end prensibi kullanılmıştır. Bu prensiple çalışan sistemlerde, membrana giren tüm su ürün tarafına geçmektedir. Besleme suyundaki tüm katı partiküller ise membran yüzeyinde kalmaktadır. Bu birikintiler geri yıkama işlemleri ile besleme tarafından alınmaktadır. Kimyasal ters yıkama işlemlerinde, % 35'lik sülfürik asit, % 15 aktif klorlu sodyum hipoklorit ve % 47-48'lik sodyum hidroksit kimyasalları kullanılmaktadır.

Ultrafiltrasyon sisteminden çıkan permeat önce kartuş filtrelerden geçirilmektedir. 5 mikron gözenek çaplı kartuş filtreler RO sistemleri için istenilen ön filtrasyonu sağlayan en iyi sistemler olup yüksek basınç pompalarını ve membranları askıda katı maddelerden korumak için kullanılmaktadır.

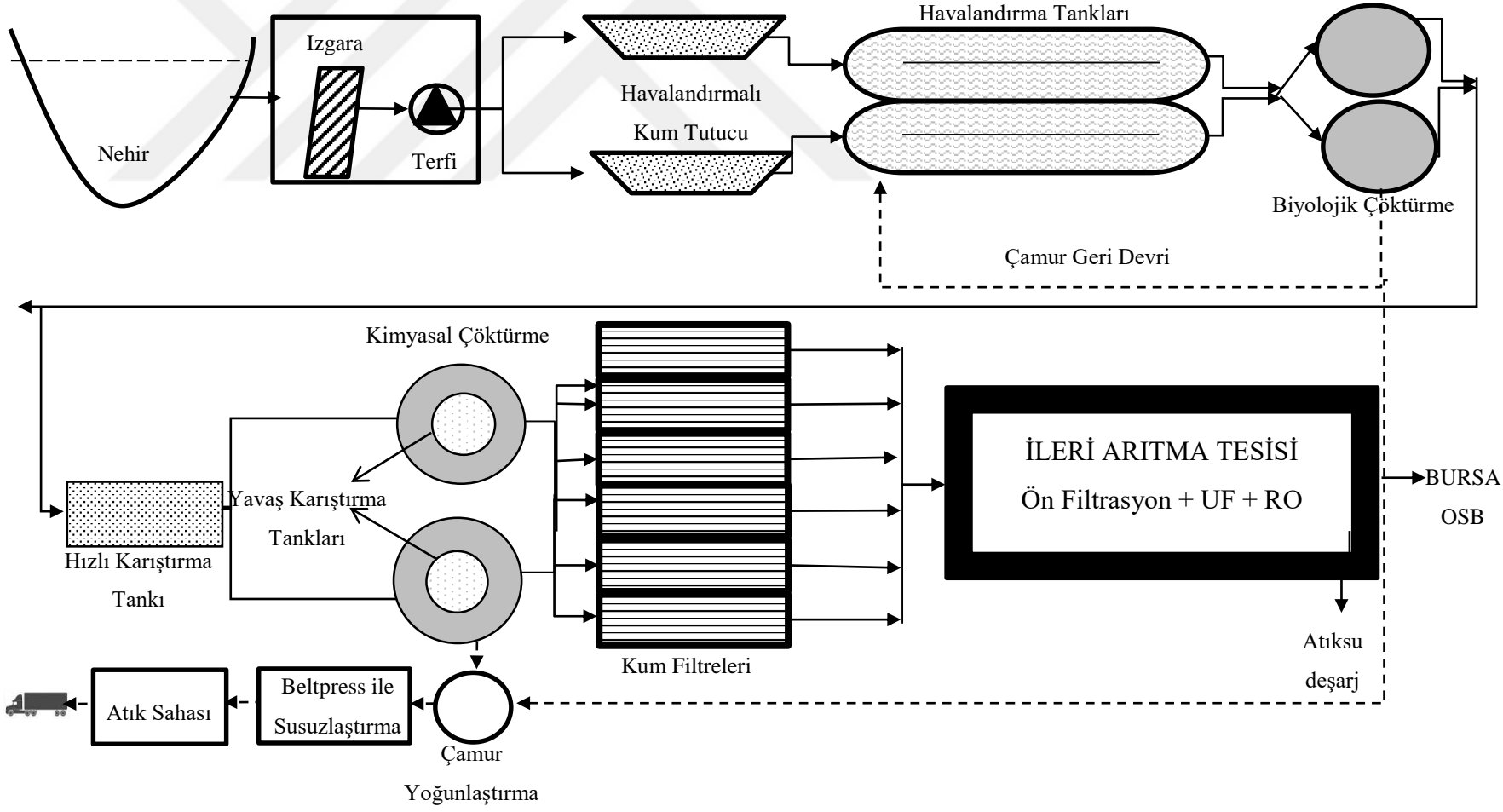
Kartuş filtrelerde filtrasyonu tamamlanan su, ters ozmos ünitelerine beslenmektedir. Tesiste her biri 246 ters ozmos modülüne sahip 7 adet ters ozmos hattı bulunmaktadır. Bakiye klorun sisteme zarar vermesini engellemek için sodyum metabisülfid dozajı yapılmaktadır. Kalsiyum, magnezyum ve bikarbonat iyonlarının reaksiyona girmemesi ve membran yüzeyinde çökeltilere sebep olmaması için antiscalant kimyasalı



kullanılmaktadır. Spiral sargılı membran modüllerinden oluşan ters ozmos sistemleri ortalama olarak % 99 oranında sudaki bütün iyonları gidermektedir. Çoğu organik bileşikleri, virüs, bakteri ve patojenleri tutmaktadır.

Yüksek basınç pompaları ile ters osmoz sistemi işletmesinde gerekli olan yüksek basınç sağlanmaktadır. Ters ozmos sistemi yüksek basınçlı SS304 borularla ve düşük basınçlı permeat kollektörleri ile donatılmıştır. Yüksek basınçlı çok kademeli pompa ile sistem basınçlandırılmaktadır. Tüm ters ozmos ekipmanları, enstrümanlar ve kartuş filtreler dahil olmak üzere epoksi kaplı karbon çelik bir şase üzerindedir.

Bursa Organize Sanayi Bölgesi Su Üretim Tesisi'ne ait akış diyagramı Şekil 2.4'de verilmiştir.



Şekil 2.4. BOSB Su Üretim Tesisi akış diyagramı

## 2.2. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi

Yaşam döngüsü değerlendirmesi, ürünlerin, entegre sistemlerin ve hizmetlerin çevreye olan etkilerini, süreçlerin girdi ve çıktılarını çevresel yük bağlamında tanımlayan sistematik ve analitik bir yöntemdir. Söz konusu çevresel etkiler iklim değişikliği, stratosferik ozon tabakasındaki incelme, ötrofikasyonu, asidifikasyon, toksik emisyonlar gibi doğal kaynak tüketimi bazlarında değerlendirilmektedir. Bu analitik yöntem neticesinde detaylı çıkarımlar yapılabilmekte, tüm girdi ve çıktılar çevresel ve ekonomik anlamda yorumlanabilmekte ve çevreye daha az zararlı ve daha ekonomik ikame girdiler denkleme dâhil edilebilmektedir. Analize konu olan girdilerin çevresel etkilerinin araştırılması aşaması, hammadde çıkarımı, lojistik, ana-yan üretimler, hizmetler, kullanım, atık, bertaraf, geri dönüşüm vs. tüm süreçleri kapsar nitelikte olabilmektedir. Tüm bu süreçleri analize dâhil etmek, ortaya çıkarılan ürün/hizmetlerin gerçek toplam çevresel etkilerini doğrudan anlamaya olanak sağlamaktadır (Orhon ve ark. 2002).

Yaşam döngüsü değerlendirmesi farklı faaliyet alanlarındaki birçok özel sektör, kamu kurumu ve benzeri işletmelerin yapmakta oldukları işlerde kullanabilecekleri, karşılaştıkları teknik ve yönetsel sorunlarda kılavuz olarak kullanabilecekleri etkin bir yöntemdir. Yöntemin, son yıllarda ortaya çıkan hammadde/tedarik problemlerinden sonra, büyük firmaların maliyet azaltmasında ve sosyal sorumluluk projeleri gereği çevreye daha az zararlı malzeme kullanım araştırmalarında kullanıldığı bilinmektedir. Ancak bahsedilen çalışmaların amaç ve içerik olarak günümüzde yapılan bilgisayar yazılımları destekli yaşam döngüsü değerlendirme çalışmalarına kıyasla oldukça dar kapsamlı olduğu kabul edilmektedir (Anonim 2006).

Yaşam döngüsü değerlendirmesi ile ilgili tanım ve standartlar 1990'lı yıllarda Avrupa ülkelerinde gelişmeye başlamış ve nihai olarak günümüzde hala yaşam döngüsü değerlendirme çalışmaları için bir kılavuz olarak kullanılan ISO 14000 Çevre Yönetim Sistemlerinin bir alt kümesi olan ISO 14040-14044 uluslararası standartlar serisi ile sonuçlanmıştır. Yaşam döngüsü değerlendirmesi temel olarak 4 aşamadan oluşmaktadır (Anonim 2006, Demirer 2011 ):

## 1. Hedef ve Kapsam Tanımı

Hedef ve kapsam bölümünde analize konu olan ürün, proses ve hizmetler için ulaşılmak istenen sonucun ne olduğunun ve bu sonuçların ne amaçla kullanılacağına belirlenmesi, çalışma sınırlarının seçilmesi, elde edilemeyen veriler için kabullerin yapılması vs. gerekmektedir. Ayrıca yapılan bu kabullerin belirtilmesi, analizin mümkün olduğunca şeffaf ve güvenilir olmasını ve yapılan başka analizlerle kıyaslandığında daha sağlıklı yorum yapılabilmesini sağlamaktadır. Karar verme sürecinde katkı sağlayacağına inanılan bilgilerin türleri, katkı sağlayacak sonuçların ne kadar kesin olması gerektiği, sonuçların anlamlı ve kullanılabilir olmasını sağlamak için nasıl yorumlanması ve sunulması gerektiği gibi hususlar bu aşamada netleştirilmelidir. Yaşam döngüsü değerlendirmesi çalışmasının başında alınması gereken kararlar ve bu kararların yaşam döngüsü değerlendirmesi çalışmasında yaratacağı etkiler temel olarak aşağıda belirtilmiştir (Demirer 2011):

- Projenin hedef(ler)inin tanımlanması
- Çevresel değerlendirmelerin desteklenmesi
- Bir proses için referans bilgilerin saptanması
- Bir sistemde her bir basamak veya prosese ait katkıların ayrı ayrı belirlenmesi

## 2. Yaşam Döngüsü Envanteri (YDE) Analizi

Yaşam döngüsü envanteri, analize konu tüm girdilerin, varsa onların da analize katkı sağlayacak çevresel etkileri bilinen alt girdilerinin, çevresel etki ve emisyon çıktılarının toplamından oluşmaktadır. Analize konu tüm girdiler, çalışmanın amaç ve kapsamı ile doğrudan ilintili olmalıdır. Bu girdilerden hangilerinin yaşam döngüsü envanteri çalışmasına dahil edileceğine karar verilirken, çalışmanın amacı, sonuçlarda gerekli olan hassasiyet ile var olan zaman ve kaynak göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca bu girdilerin detayları ve doğruluk düzeyi YDD çalışmasının diğer aşamalarının doğruluğunu ve sonuçların kullanılabilirliğini doğrudan etkiler (Demirer 2011).

Yaşam döngüsü envanterinin 4 aşaması vardır (Demirer 2011):

- I. Değerlendirilmekte olan sürecin akış diyagramının oluşturulması
- II. Veri toplama planının geliştirilmesi
- III. Verilerin toplanması
- IV. Değerlendirme ve raporlama

### 3. Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi (YDED)

Yaşam döngüsü etki değerlendirme aşamasında yaşam döngüsü envanteri verileri küresel ısınma potansiyeli, ekotoksikite, veya ötrofikasyon gibi çevresel etki kategorilerine ayrılır. Etki analizi, insan sağlığı ve çevresel değerlerin yanı sıra doğal kaynak tüketimini de ele alır. Yaşam döngüsü, etki analizi, ürün/proses ve bunun olası çevresel etkileri arasında bir bağlantı kurar. Bu aşamanın sonucunda çalışmanın amacına bağlı olarak ürünleri değerlendirmek veya seçenekleri karşılaştırmak için kullanılan ortak bir parametre elde edilir. Sonuçların yorumlanması ve iyileştirilmesi aşamasında elde edilen bulgular çalışmanın amaç ve kapsam tanımları göz önünde bulundurularak değerlendirilir (Demirer 2011).

Aşağıda yaşam döngüsü etki analizini oluşturan aşamalar verilmiştir (Demirer 2011):

- Etki kategorilerinin seçilmesi ve tanımlanması
- Sınıflandırma
- Karakterizasyon
- Normalizasyon
- Gruplandırma
- Ağırlıklandırma

### 4. Yorumlama ve İyileştirme

YDD'nin son aşaması olan yorumlamanın amacı ISO tarafından, önceki aşamalarda elde edilen bulguların değerlendirilmesi, sonuçların belirlenmesi, kısıtların tanımlanması,

önerilerin yapılması ve çalışmanın sonuçlarının şeffaf bir biçimde raporlanması, sonuçlarının amaç ve kapsam bölümü ile uyumlu olarak, kolay anlaşılabilir, eksiksiz ve tutarlı bir şekilde sunulması olarak tanımlanmıştır (Anonim 2006, Demirer 2011).

Yorum yapılacak konular belirlenirken kullanılan verilerin doğruluğu, tutarlılığı ve hassasiyeti de değerlendirilmelidir. Karar verme aşaması için önem taşıyan konuların vurgulanması, özellikle alternatiflerin değerlendirilmesi aşaması için oldukça faydalı olacaktır. Ayrıca kullanılan verilerin eksiksiz ve tutarlı olduğu ve hassasiyet analizlerinin yapıldığı kontrol edilmelidir. Son olarak sonuç ve önerilerin oluşturulması için analiz yapılan ürün, işlem veya hizmetin alternatifleri arasından çevreye ve insan sağlığına en az yükü getiren ve en az olumsuz etkiye sahip olanı belirlenir (Demirer 2011).

İlgili ISO standardına göre YDD sonuçları aşağıda özetlenen üç aşamada yorumlanır (Anonim 2006, Demirer 2011):

1. Önemli ve kritik sonuçların YDE ve YDEA aşamaları ile bağlantılı olarak tanımlanması,
2. Çalışmanın eksiksiz olarak gerçekleştirildiği, başlangıç hipotezleriyle sonuçların tutarlı olduğu ve hassasiyet analizlerinin gerekli görülen her aşamada yapıldığının, genel değerlendirme ile gösterilmesi,
3. Ana sonuçların ve önerilerin açık bir dille anlatılmasıdır.

### **2.3. Literatür Özetleri**

Rodríguez ve ark. (2015) İspanya'da bir farmasötik endüstrisinden kaynaklanan atıksuların arıtılmasında kullanılan hem homojen hem de heterojen fenton süreçlerinin değerlendirilmesi için yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD) uygulamıştır. Bu çalışmada potansiyel çevresel etkiler, ReCiPe sürüm 1.06 ve ICCP 2007 yöntemlerini kullanarak Gabi 6.0 yazılımı ile hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar; homojen fenton prosesinde üretilen çamurun geri kazanım sürecinin, kimyasalların ve ısı gereksinimlerinin en fazla olan, çevresel etkilere en çok katkıda bulunan adım olduğunu göstermiştir. Homojen ve heterojen fenton prosesleri arasındaki mukayese, heterojen

fenton proseslerinin farmasötik atık suyun arıtılmasında daha çevre dostu bir alternatif olduğunu ortaya koymuştur.

Pintilie ve ark. (2016) yaptığı çalışmanın amacı, Tarragona, İspanya'daki kentsel atıksu arıtma tesisinden kaynaklanan çevresel katkıların belirlenmesi ve ölçülebilmesi için yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD) metodolojisini kullanmıştır. Atıksu arıtma tesisi yaklaşık 150.000 nüfusa hizmet etmekte ve atıksu hattı, fiziksel ve biyolojik arıtma ile çamur işleme ünitelerinden oluşmaktadır. Atıksu arıtma tesisinde klasik arıtma işlemlerine tabi tutulduktan sonra iki senaryo göz önünde bulundurulmuştur: (a) doğal bir su akıntısına doğrudan deşarj ve (b) yakın sanayi bölgesinde suyun tekrar kullanılmasını sağlamak için üçüncül arıtmanın sağlanması. Bu çalışma, atıksuyun üçüncül arıtma ile işlenerek tekrar kullanımının çevresel etkilere önemli ölçüde olumlu katkıda bulunduğunu göstermiştir.

Zang ve ark. (2015) hazırladığı bu çalışmada, ötrofikasyonu potansiyeli, küresel ısınma potansiyeli, toksisiteye bağlı etkiler, enerji dengesi, su kullanımı gibi çevresel etki kategorilerinin niteliksel olarak yorumlanabilmesi için aktif çamur sistemi biyolojik arıtma ünitelerini içeren yaşam döngüsü değerlendirmesi çalışmaları gözden geçirilmiştir. Atıksu arıtma tesisleri hakkında bilgi sağlamak amacıyla, atıksu arıtma sistemlerinde yaşam döngüsü değerlendirilmesi sonuçlarını etkileyebilecek kritik hususlar çalışma içinde tabloda özetlenmiştir. Çalışma atıksu arıtma tesisleri hakkında bölgeye özgü yaşam döngüsü değerlendirmesi çalışmalarının yapılmasının önem taşıdığını ortaya koymaktadır.

Garfi ve ark (2016) bu çalışmada, yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD) metodolojisini kullanarak Barselona'da (İspanya) içme suyu tüketiminin neden olduğu çevresel etkileri değerlendirmiştir. Beş farklı senaryo karşılaştırılmıştır:

- a. Geleneksel içme suyu arıtımından musluk suyu,
- b. Su arıtma tesisindeki ters ozmos sistemi ile geleneksel içme suyu arıtımından musluk suyu,
- c. Eysel ters osmoz sistemi ile konvansiyonel içme suyu arıtımından musluk suyu,

- d. Plastik şişelerde maden suyu,
- e. Cam şişelerde maden suyu.

Fonksiyonel birim 1 m<sup>3</sup> sudur ve YDD çalışması, SimaPro® yazılımı ile CML 2 temel metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar; musluk suyu tüketiminin çevreye etkilerinin en az olmasından dolayı en uygun alternatif olduğunu, şişelenmiş suyun özellikle cam şişelerde şişe üretimi için gerekli olan daha yüksek hammadde ve enerji girdileri nedeniyle en kötü çevresel sonuçları sunduğunu göstermiştir.

Rodriguez ve ark. (2016) yaptığı bu çalışmada, Kuzeydoğu Kolombiya'da bulunan dört içme su arıtma tesisinin çevresel yüklerini, ISO 14040'da tanımlanan uluslararası talimatları izleyerek değerlendirmek için yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD) çevresel metodolojisi uygulanmıştır. İçme suyu işleminin farklı aşamaları toplama noktasından pompalama yoluyla dağıtım şebekesine kadar kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiştir. Fonksiyonel birim, tesiste üretilen 1 m<sup>3</sup> içme suyu olarak tanımlanmıştır. Veriler Ecoinvent v.3.01 veri tabanında analiz edilmiş ve LCA-Data Manager yazılımında modellenip ve işlenmiştir. Sonuçlar, PLA-CA ve PLA-PO tesislerinde flokülasyon prosesinin, toplam etkinin % 47-73'ü arasında bir puanın bulunduğu, çoğunlukla koagülant kimyasalına atfedilebilen en yüksek çevre yüküne sahip olduğunu göstermiştir. PLA-TON ve PLA-BOS'daki tesislerinde ise % 67 ila % 85 arasında değişen elektrik tüketim yüzdeleri ile en büyük etki kaynağı olarak tespit edilmiştir.

Tarnacki ve ark. (2012) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, farklı varsayımlara dayanan çeşitli senaryolarla enerji ihtiyacı oldukça yüksek olan iki adet tuzdan arındırma teknolojisi yaşam döngüsü değerlendirmesi ile karşılaştırılmıştır. İncelenen teknolojiler ters osmoz ve elektrik enerjisi talebinin harici termal enerji kaynağı kullanılarak azaltılması ve kimyasalların kullanılması ile yeni geliştirilen teknoloji Memstill'dir. Senaryolar, deniz suyu arıtma tesislerinin farklı bölgelerini simüle etmek, enerji talebinin ve enerji kaynağının, kimyasal kullanımın ve diğer bileşenlerin çevre üzerindeki etkisini göstermek için seçilmiştir. Yaşam döngüsü değerlendirme analiz aracı olarak GaBi yazılımı ve çevresel etki değerlendirme yöntemleri olarak ise Eco indicator 99, CML 2001 ve Ecopoint seçilmiştir. Sonuçlar, enerji talebinin tüm uygulanan çevresel etki



değerlendirme yöntemlerinde hâkim etkisini göstermektedir. Nakliye, malzeme ve hatta kimyasal madde kullanımı toplam puan üzerinde önemsiz bir etkiye sahip olduğu bu çalışmada ortaya konmuştur. Memstill teknolojisi atık ısı kullanımı, enerji kullanımıyla ilgili olumsuz çevresel etkilerin azaltılması için büyük bir fırsat sunmaktadır.

Manda ve ark. (2014) makalelerinde, içme suyu amaçlı kullanılan yüzey suyundan endokrin bozucu kimyasalları veya mikro-kirleticileri uzaklaştıran, enzimlerle kaplı bir membran sistemi analiz edilmiştir. Bir membran üreticisine ürün geliştirmede yardımcı olmak için beşikten mezara yaşam döngüsü değerlendirmesi yapılmıştır. Membran kaplamalı kovalent bağlama ile adsorpsiyon temelli iki membran sistem ile su arıtılması analiz edilmiş ve kömür ve odundan yapılan granüleştireilmiş aktif karbon ile mukayese edilmiştir. Kovalent bağlanmaya sahip membranın kömürden yapılan aktif karbona göre çok daha düşük çevresel etkilere sahip olduğu bulunmuştur. Yapılan hassasiyet analizi, operasyonel elektrik kullanımı, elektriğin kaynağı ve membran kaplama frekansının sonuçları önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. Senaryo analizi, filtrelenmiş suyun m<sup>3</sup> başına 0,2 kWh'den daha düşük operasyonel elektriği kullanan ve aylık enzim kaplama frekansı verilerine sahip kovalent bağlamalı bir membran sisteminin, elektrik kaynağı ne olursa olsun geleneksel aktif karbon sistemlerinden daha iyi performans gösterebileceğini göstermektedir. Bu bulgular membran parametrelerinin optimizasyonunu yönlendirmek için kullanılabilir. Bu çalışma, mikro kirletici uzaklaştırma için membran modifikasyonu ve çevre üzerindeki etkileri hakkında bilgi vermektedir.

Sharaai ve ark. (2010) Malezya'da her geçen yıl artan temiz içme suyu talebi ile gerçekleştirilen birçok içme suyu temini projesinin yapılmasının çevreyi büyük ölçüde etkilediği düşüncesinden yola çıkarak içme suyu üretimi sağlayan tesislerin potansiyel çevresel etkilerini araştırmıştır. Bu çalışmada, içme suyu temini projelerinin hem inşaat hem de işletme aşamalarındaki çevresel etkiler beşikten mezara yaşam döngüsü değerlendirmesi metodolojisi ve Eco-Indicator 99 etki analiz yöntemi ile ortaya konmuştur. Bu projelerin inşaat aşamalarında çimento, çelik ve beton gibi yapı malzemelerine, içme suyu üretimi için ise alüminyum, PAC, klorin ve kireç gibi kimyasal bileşiklerin kullanılmaktadır. Üretim aşaması ile inşaat aşaması arasındaki karşılaştırma sonucunda üretim aşamasının daha yüksek çevresel etkiye neden olduğunu açıkça

göstermektedir. PAC içme suyu üretiminde kullanılan pıhtılaştırıcı olup bu çalışma ile ekosistem kalitesine ve insan sağlığına zarar verdiği belirlenmiştir. Benzer şekilde yapı malzemesi olan çimento ve çelik malzemelerinin çevre kalitesinin bozulmasına ve insan sağlığına zarar vermesine katkıda bulunduğu saptanmıştır.

Vince ve ark. (2008) çalışmalarında içme suyu üretim projelerinde, içilebilir su üretiminin çevresel değerlendirilmesi yapmak amacıyla bir etki değerlendirme aracı geliştirilen yaşam döngüsü değerlendirmesi yöntemini kullanmışlardır. Gerçekleştirilen bu çalışmada yaşam döngüsü değerlendirme metodu, enerji ve çevre performanslarının hızlı ve kolay değerlendirilebildiği, içme suyu üretim süreçlerinin zayıf noktalarını ve en uygun arıtma alternatifini belirlebildiği için seçilmiştir. Bazı içme suyu temini senaryoları (yeraltı suyu arıtma, ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon, deniz suyu ters ozmos ve su transferi ile ilişkili termal damıtma) çalışmaları bu yöntem sonucunda çıkarılan çevresel etkileri göstermek için oluşturulmuştur. Alternatif (gelişmiş membran işlemleri ve tuzdan arındırma teknolojileri) ve konvansiyonel su arıtma süreçleri yaşam döngüsü değerlendirme metodu ile nesnel olarak karşılaştırılmak istenmiştir. Çevresel etkilerin temel kaynağı, tesis işletimi için ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinin üretimi olarak çalışma sonucunda belirlenmiştir. Koagülasyon ve remineralizasyon için kimyasal üretim ve kullanımı, çevresel yüke ikinci büyük katkıyı sağlamaktadır. Alternatif su kaynaklarına (gelişmiş membran işlemleri ve tuzdan arındırma teknolojisi) yönelik arıtma işlemleri konvansiyonel yeraltı suyu ve yüzey suyu arıtma proseslerine göre daha yüksek kimyasala ve enerji tüketimine sahip olduğu ortaya konmuştur. Bu nedenle, mevcut yaşam döngüsü değerlendirme çerçevesinde, bu alternatif arıtma prosesleri tatlısu kaynaklarına dayalı konvansiyonel arıtma yöntemlerinden daha yüksek çevresel etkiler yaratmaktadır. Çevresel etkilerin azaltılması amacıyla, yüksek verimli pompa sistemleri kurulumu, membran proses tasarımlarının optimizasyonu veya alternatif kimyasalların kullanımı gibi çeşitli öneriler sunulmuştur. İçme suyu pompalama ve içilebilir su dağıtımının yüksek elektrik tüketimi nedeniyle, içme suyu üretim tesisi ölçeğinde, enerji tüketimi, tesis etkilerinin toplam yüküne yüksek katkıda bulunmaktadır. Dolayısıyla yaşam döngüsünde elektrik tüketimi, tesisin çevresel performansının anlamlı bir göstergesi olarak ortaya çıkmaktadır. Bu bağlamda, tesis etkileri elektrik arzına büyük ölçüde bağlı olduğu anlaşılmaktadır. Sertifikalı yüksek kaliteli elektrikle sözleşme

yapılmak suretiyle hafifletilebileceği (Örneğin; yenilenebilir kaynaklardan gelen yeşil elektrik) bu çalışmanın önerileri arasında yer almaktadır.

Holloway ve ark. (2016) yaşam döngüsü değerlendirme aracı ve metodolojisini, tam ileri arıtma yaklaşımı (FAT) ve hibrid ultrafiltrasyon ozmotik membran biyoreaktörü (UFO-MBR) olmak üzere iki içilebilir yeniden kullanım arıtma yöntemlerini incelemek için kullanılmıştır. FAT prosesi, konvansiyonel atıksu arıtımını ardından gelen düşük basınçlı membran filtreleme, ters ozmos (RO) ve ultraviyole gelişmiş oksidasyon prosesleri (UV-AOP) birleştirmektedir. UFO-MBR prosesi ise, biyolojik arıtma proseslerini, entegre bir sistemde ileri ozmos (FO) membranlar ve ultrafiltrasyon (UF) membranları ile birleştirmektedir. Değerlendirmesi gerçekleştirilen son proses de ise; ters ozmos sistemi, FO prosesinde yeniden kullanım amaçlı ultra saf su ve konsantre bir çözelti (DS) üretmek için UFO-MBR işleminde FO ile birleştirilmiştir. Her bir sistemin enerji kullanımını ve çevresel etkilerini belirlemek için inşaat malzemesi, enerji talebi ve kimyasal kullanım verileri toplanmış ve hesaplanmıştır. Yaşam döngüsü değerlendirmesi sonuçları, FAT prosesinin enerji kullanımı ve çevresel etkilerinin UFO-MBR arıtma sisteminden daha düşük olduğunu göstermiştir. UFO-MBR arıtma sisteminin daha yüksek olan çevresel etkileri, gerekli olan geniş FO membran alanı ve yüksek RO enerji kullanımı ile ilişkilendirilmiştir. UFO-MBR arıtma sistemi, daha yüksek permeabilite FO membranları ve RO enerji geri kazanımını kullanarak değerlendirilmiştir. Bu proses optimizasyonu simülasyonu ardından, UFO-MBR çevresel etkileri FAT arıtma sisteminin çevresel etkilerine daha yakın geldiği ortaya konmuştur.

Opher ve Friedler (2016) yaptıkları çalışmada, belediyeye ait atıksuyun, günümüzde çok ihtiyaç duyulan geri kazanılmış su için güvenilir ve önemli bir kaynak olduğunu ve su ıslahı ve yeniden kullanımı mevcut su kaynaklarının korunması, genişletilmesi için çekici bir seçenek haline geldiğini vurgulamışlardır. Bu çalışmada, varsayımsal bir şehrin su atık su hizmet sistemi için dört alternatifin çevresel etkilerini karşılaştırmak için bir yaşam döngüsü değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Temel alternatif olarak, atıksuyun büyük bir atıksu arıtma tesisine taşınması ve arıtılması ve daha sonra bir akıma boşaltılması aşamalarını içeren atıksu arıtımı olan en yaygın merkezi yaklaşım belirlenmiştir. Diğer üç alternatif, atıksuyun kentsel sulama ve içilebilir olmayan suyun yeniden kullanılması

(tuvalet yıkaması) amaçlı olup arıtma aşamaları farklılık göstermektedir. Birinci seçenek, geri kazanılan atıksuyun bir kısmının şehirli tüketicilere geri kazandırılmasını içeren bir atık su arıtma tesisinde merkezi bir arıtmayı içermektedir. İkinci ve üçüncü alternatifler, merkezi olmayan arıtma sistemi ile gri su yeniden kullanımına dayalı yerel olarak gerçekleştirilen biri kümelenme seviyesinde (320 hane) ve bir tanesi bina seviyesinde (40 hane halkı) olarak uygulanmıştır.

Yaşam döngüsü etki değerlendirmesi sonuçları deniz suyu arıtımının marjinal su kaynağı olduğu İsrail'deki yerel koşullar altında geçerli merkezi yaklaşımın tutarlı bir dezavantajı olduğunu göstermektedir. Kaynak ayırma ve gri suyun küme düzeyinde yeniden kullanılması alternatifi, çevresel performansı, bina seviyesinde gri suyun tekrar kullanılmasından biraz daha iyi olsa da, en çok tercih edilen yöntem olduğu bildirilmiştir. Merkezi atıksu arıtımı ile atıksu arıtma tesisinin atıklarının kentsel olarak yeniden kullanımı, gri suyun merkezi olmayan arıtma ile arıtılması konusundan daha avantajlı olmadığı görülmüştür, çünkü geri dönüştürülmüş atık suyun tüketicilere geri verilmesi malzeme ve enerji kalemlerinde yüksek maliyet oluşmuştur. Elektrik, çoğunlukla içilebilir su üretim ve arzı ile ilgili olan, çoğu kategorideki etkilerin önemli bir parametresidir. Altyapının, metalin tükenmesi insan toksisitesi ve tatlı su ve deniz ekotoksitesisi üzerinde belirgin bir etkisi olduğu bulunmuştur. Büyük model parametrelerinde duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Elektrik elde dağılımı içerisindeki yenilenebilir enerji kaynaklarında daha büyük bir pay alanına geçiş, etki kategorilerinin çoğunda belirgin bir iyileşme ile sonuçlanacağı saptanmıştır. Test edilen koşullar altında, kentsel atıksu yönetimine merkezi olmayan bir yaklaşımın, ortak merkezi sisteme göre çevreye duyarlı olduğu sonucuna varılmıştır. Bu çalışma sonucunda yeni kentsel altyapının planlandığı veya eski altyapının değiştirilmesi gereken durumlarda bu tür seçeneklerin farklı koşullar altında araştırılması önerilmektedir (Opher ve Friedler 2016).

Ioannou-Ttofa ve ark. (2016) tarafından gerçekleştirilen bu çalışma bir membran biyoreaktörün çevresel analizini içermektedir. Amaç, tüketilen kaynakların envanterini nicel olarak tanımlamak ve inşaat, işletme ve kullanım ömrünün sona erdirilmesi sırasında üretilen emisyonları tahmin etmektir. Çevresel analiz, çevresel izleri ve incelenen teknolojinin çevresel anlamda önemli noktalarını kapsamlı bir perspektifle ve

titiz ve objektif bir şekilde belirlemek için yaşam döngüsü değerlendirmesi metodolojisi ile yapılmıştır. Çalışmada fonksiyonel birim olarak 1 m<sup>3</sup> kentsel atıksu seçilmiştir. Hammadde, ekipman, ulaşım, enerji kullanımı ile hava ve su kaynaklı emisyonlar, fonksiyonel birim ile ilişkilendirilerek miktarları belirlenmiştir. Yaşam döngüsü değerlendirmesi analiz aracı olarak SimaPro 8.0.3.14 ve iki etki değerlendirme yöntemi, yani IPCC 2013 sürüm 1.00 ve ReCiPe sürüm 1.10 kullanılmıştır. Membran biyoreaktör pilot ünitesinin çevresel anlamda kritik noktalar şunlar olarak tanımlanmıştır: (i) tüm sürecin sürdürülebilirliğini etkileyen en kritik parametre olan enerji talebi ve (ii) membran ünitelerinin malzemesi. Genel olarak, membran biyoreaktör teknolojisi, kentsel atıksu arıtımı için sürdürülebilir bir çözüm olarak bulunmuş; inşaat aşaması, işletme aşamasına kıyasla en az çevresel etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, bu membran biyoreaktör sisteminin çevresel etkilerini mümkün olduğunca en aza indirmek için elektrik elde dağılımının çeşitliliği ve membran ünitelerinin malzemesi gibi çeşitli alternatif senaryolar ve potansiyel iyileştirme alanları incelenmiştir. Enerji elde dağılımının, membran biyoreaktör pilot ünitesinin genel sürdürülebilirliğini önemli ölçüde etkileyebileceği ve inşaatın ve işletme aşamasının sistemin genel çevresel izine katkısı olduğu gösterilmiştir. Diğer bir deyişle, çevreye duyarlı bir enerji elde dağılımının kullanılmasıyla toplam sera gazı emisyonlarının % 95'e kadar azaltılması sağlanmıştır.

Ortiz ve ark. (2007) tarafından hazırlanan bu makale, atık su arıtma tesisi (13.200 nüfus eşdeğeri için tasarlanmış konvansiyonel aktif çamur sistemi) ve arıtılmış sulara suyun tekrar kullanılmasına izin verilen bazı üçüncül arıtma sistemlerinin (Ultrafiltrasyon ve dalmış ve harici Membran Biyolojik Reaktörler-MBR) küresel bir çevresel analizini içermektedir. Bu su arıtma teknolojilerinin çevresel değerlendirmesi yaşam döngüsü değerlendirmesi tekniği ile gerçekleştirilmiş olup, amaç en düşük çevre yükünü oluşturan teknolojiyi geniş bir perspektifle titiz ve nesnel bir şekilde ortaya koymaktır. Hollanda PRé Consultants tarafından geliştirilen SimaPro 5.1 yazılımı YDD analiz aracı olarak kullanılmış ve CML 2 temel 2000, Eco-Points 97 ve Eko Indicator 99 olmak üzere üç farklı etki değerlendirme yöntemi uygulanmıştır. Sonuçlar, üçüncül arıtmanın çevresel yükleri önemli ölçüde arttırmadığını, ancak arıtılmış su için yeni kullanımlar sağladığını, dolayısıyla suyun az olduğu alanlarda suyun yeniden kullanılması tekniklerinin yoğun kullanımını haklı kılmakta olduğunu göstermektedir.

Friedrich ve ark. (2009) tarafından gerçekleştirilen bu çalışma, çevresel yaşam döngüsü değerlendirmesini kullanarak içilebilir su üretmek için iki farklı yöntemin çevresel yüklerini araştırmakta ve karşılaştırmaktadır. İçme suyu üretimi için ilk yöntem, Umgeni Su tarafından Wiggins Waterworks'te kullanılmaktadır ve konvansiyonel (aktif çamur) prosesleri içermektedir. İkinci yöntem bir Güney Afrika membran teknolojisine dayanmakta ve şu anda ülke çapında üç pilot fabrikada kullanılmaktadır. Yaşam döngüsü konsepti, beşikten mezara kadar tüm yaşam döngüsü aşamalarını göz önüne alarak bir ürün, süreç veya etkinlikle ilişkili çevresel etkileri anlamaya araçlarını sunmaktadır. Bu tür çalışmaları yürütmek için kullanılan resmi metodolojiler geliştirilmiş ve bu projede Uluslararası Standartlar Organizasyonu (ISO) 14040 serisi standartlar tarafından onaylanan metodolojik çerçeve kullanılmıştır. Bu proje için GABI 3 yazılımı kullanılmıştır. İki Avrupa veri tabanından elde edilen verileri içerir: APME (Avrupa'da Plastik Üreticileri Derneği) ve BUWAL (İsviçre Çevre Koruma Ajansı Wald und Landschaft, Bundesamt fuer Umwelt) ve ayrıca Stuttgart, Üniversitesi'nden süreçler hakkında bazı veriler alınmıştır.

Yaşam döngüsü değerlendirmesi, çevresel yüke en fazla katkıda bulunan sürecin, atık su arıtımında kullanılan aktif çamur prosesi olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bununla birlikte, tüm sistemi göz önünde bulundururken ve içme suyu dağıtım şebekesindeki kayıplar da dahil olmak üzere, en fazla katkıda bulunan sürecin, dağıtımın kendisi olduğu gözlenmiştir. Ayrıca bu metodolojiyi kullanarak ve içme suyu üretiminde yer alan tüm süreçleri izleyerek, içme suyunun çevresel yüküne katkısının elektrik üretiminden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Bu sonuç, araştırılan her iki yöntem için de geçerlidir ve sonuç olarak, tavsiyeler, suyun çevresel performansını artırmak için enerji verimliliğini artırmaya odaklanmaktadır (Friedrich ve ark. 2009).

Slagstad ve Brattebø (2012), Trondheim şehrinde su ve atıksu sistemi üzerinde yapılan bir yaşam döngüsü değerlendirmesinin sonuçlarını sunmaktadır. Çalışmanın amacı, kentin su ve atık su sisteminin işletilmesindeki unsurların farklı çevresel etki kategorilerinin görece önemini ve su ve atıksu sisteminin farklı unsurlarının bu etkilere nasıl katkıda bulunduğunu açıklığa kavuşturmak için çevresel etki potansiyelini sistem genelinde incelemektir. Bu çalışmanın sonuçlarında, yeni bir karbon-nötr yerleşim

planlamasında kullanıldığından, iklim değişikliği etkileri özel ilgi konusu olmuştur. Değerlendirme için Ecoinvent veri tabanına sahip YDD programı Simapro 7.3.2 sürümü (Pre' Consultants 2011) kullanılmıştır. Ecoinvent, enerji arzı, kaynak çıkarma, malzeme temini, kimyasallar, metaller, tarım, atık yönetimi hizmetleri ve taşımacılık hizmetleri hakkında yaşam döngüsü envanteri verileri bulunmaktadır. Bu veriler, binalar, boru hatları, pompalar ve su depolama aygıtları için enerji ve malzeme kullanımı verileri ve somutlaşmış enerji hesaplamaları verileri ile birleştirilmiştir. Etki değerlendirmesi için Avrupa için normalizasyon değerleri olan orta nokta etki değerlendirme yöntemi ReCiPe (orta nokta (H) v1.06, Temmuz 2011) uygulanmıştır. ReCiPe 2008, Eko göstergesi 99 ve YDD ile ilgili CML el kitabı üzerine kurulmuştur ve orta nokta ve son nokta etkileri değerlendirmeleri ile ilgili modelleme ilkeleri ve seçimleriyle uyumlu bir etki değerlendirme metodudur. Tatlısu ötrofikasyonu, Enerji ve kimyasalların tüketiminden dolayı toplam çevresel etkiye en büyük katkıyla birlikte etki kategorisi olarak bulunmuştur. Trondheim yeni bir karbon-nötr kentsel yerleşim planlamasında bu çalışmanın sonuçları, mevcut su ve atıksu sisteminin iklim değişikliğine olan etkilerinin düşük olduğunu göstermektedir ve böyle bir yeni kentsel yerleşim yerine su sektörü dışında kalan sektörlerin de sera gazı emisyon azaltımı için incelenmesi gerekmektedir.

Ribera ve ark. (2014) araştırmalarında içme suyu arıtma tesislerinde nanofiltrasyon sistemi ile filtrelenecek su yüzdesini seçmek için yaşam döngüsü değerlendirmesi ve insan sağlığı riski değerlendirmesi kullanan kombine bir metodoloji kullanmışlardır. Burada sunulan metodolojik yaklaşım, yeni süreçlerin geleneksel uygulamalara uygulanmasını değerlendiren çevresel ve sosyal fayda kriterlerini dikkate almaktadır. Nanofiltrasyon(NF) prosesinin dahil edilmesi, içme suyu kalitesini iyileştirmekte, insan sağlığı risk kategorisindeki etkileri azaltmakta; bununla birlikte, enerji ve malzeme talebinin bir sonucu olarak çevresel etkileri artırmaktadır. Bu çalışmanın sonuçları, çeşitli çevre kategorilerindeki etkinin artması ile ilgili içme suyu tüketiminin ve içme suyu tüketiminin bir sonucu olarak insan sağlığı riskindeki azalmanın dengelenmesine yol açmaktadır. Çevresel açıdan bakıldığında, içme suyunun % 43'ünün üretimi için NF ve önerilen ön arıtma sisteminin dahil edilmesi, çevresel etkinin iklim değişikliği gibi elektrik üretimi ile ciddi biçimde ilişkili olan etki alanı kategorisindeki konvansiyonel tesis ile karşılaştırıldığında neredeyse iki katına çıktığı anlamına gelmektedir. Öte

yandan, trihalometan oluşum potansiyeline bağlı kanserojenik risk, NF yüzdesi kullanımındaki artışla birlikte azalmaktadır. Sonuçlar, içme suyunun % 100'ü NF tarafından üretildiğinde kanserojen risk endeksi için bir azalma olduğunu göstermektedir.

Klaversma ve ark. (2013) hazırladığı çalışmada, Amsterdam'ın ve çevresinin su çevrim şirketi Waternet, yatırım kararlarının çevresel etkilerini değerlendirmek ve farklı alternatiflerin doğrudan ve dolaylı olarak sera gazı emisyonlarının potansiyel azalmasını belirlemek için yaşam döngüsü değerlendirmesi yöntemini kullanmıştır. Bu yaklaşım, Waternet'in sürdürülebilirliği artırmak ve doğaya zararsız hale getirmek amacıyla Waternet'in Petrokimya Atölyesi'ndeki YDD kullanımına ve bu arada karşılaşılan sorunlara iyi bir genel bakış kazandıran üç örnek çalışmayı tartışmaktadır; fosfat giderme ve atıksudan geri kazanım, karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) ile içme suyunun pH'ını düzeltme ve içme suyu dağıtım boruları için malzeme.. Çevresel etki değerlendirmeleri, ReCiPe yöntemi ve İklim Değişikliği Küresel Isınma Potansiyeli Hükümetler Arası Panel (IPCC GWP) 100a yöntemi kullanılarak SimaPro 7'de gerçekleştirilmiştir. Malzeme ve işlem verileri için Ecoinvent 2.0 ve 2.2 veri tabanları kullanılmıştır. Açıklanan örneklerden, sadece fosfat giderme maddesinin iklim ayak izi üzerinde önemli bir etkisi olduğu sonucuna varılmıştır. Makale, YDD tekniğinin uygulamaları ve sınırlamaları üzerinde durmaktadır. En önemli kısıtlama, su tüketiminin etkileri ve atık bileşiklerin yüzey suyuna olası etkilerinin kullanılan yöntemler dahilinde değerlendirilmemesidir.

Le ve ark. (2013), Çin'deki endüstriyel parkların hızla gelişmesi, kaynak kullanımının ve kirletici emisyonların, özellikle de tatlı su kullanımının ve atık su deşarjının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Su geri kazanımının, temiz su tasarrufu ve kirletici emisyonları azaltma potansiyeli nedeniyle, hükümetlerin dikkatini çektiği görülmektedir. Bununla birlikte, suyun tekrar kullanımı genellikle kimyasal, malzeme ve enerji tüketen gelişmiş bir arıtım eklenmesi anlamına gelir. Suyun yeniden kullanımı, yaşam döngüsü açısından çevre için yararlı mıdır sorusunu cevaplamak için, karşılaştırmalı bir yaşam döngüsü değerlendirmesi ile farklı senaryolarda endüstriyel parklarda arıtılmış atık suyun tekrar kullanılmasının çevresel etkileri incelenmiştir. Dört senaryo değerlendirilmiştir; atık su arıtılır ve boşaltılır, atık suyun% 20 ve% 99'u endüstriyel işlem suyu olarak arıtılır ve tekrar kullanılır, arıtılmış atık su bahçecilik için kullanılır. Envanter verileri



çoğunlukla Jiangsu Eyaletindeki bir sanayi parkının atıksu arıtma ve yeniden kullanma sistemini yöneten bir tesisten elde edilmiştir. Çevresel etkiler, GaBi sürüm 4.3 veritabanında yer alan CML2001 yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar suyun tekrar kullanılmasının yararlı olduğunu ve yeniden kullanım oranı sistemin çevresel performansını önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir.

Beavis ve Lundie (2003)' nin yaptığı bu çalışmada "Atıksu Endüstrisinde En İyi Uygulama YDD" projesi, Sydney Water Corporation (SWC), NSW Kara ve Su Koruma Bölümü ve NSW Bayındırlık Bakanlığı temsilcileri ile UNSW'de Atık Yönetimi ve Kirlilik Kontrolü Çerçevesi tarafından yaptırılmıştır. Atık su arıtımındaki değişikliklerin bir uygulama sonrası incelemesi için iki durum çalışması araştırılmıştır. Örnek olay 1: SWC'deki birçok iç atık su tesisi için klor gazından hipoklorite dönüşüm ve UV dezenfeksiyonu tamamlanmıştır. Her bir seçeneğin operasyonel verilere ilişkin bir gözden geçirme, her teknolojinin bir YDD'sine dahil edilmiştir. Etkin dozaj koşulları altında, hipoklorit sistemi ile dezenfeksiyon minimum çevresel etkiye sahiptir. Örnek olay 2, anaerobikten aerobik çürütmeye dönüşüm ile ilgilidir. Aerobik çürütme, tesiste daha ileri düzeyde işlem görecektir. Bu çalışmada, biyolojik kökenli katı üretimi ve daha yüksek elektrik ihtiyacı ile sonuçlanmaktadır. Bu çalışma, biyolojik kökenli katı üretim ve uygulamasının çevresel etkilerini dikkate almaktadır. Geri akış kompozisyonu, enerji gereksinimleri ve biyolojik kökenli katı kalitesi dikkate alınarak genişletilmiş sistem sınırı temelinde, anaerobik çürütme, potansiyel olarak gübre üretimini dengelemek için 9 etki kategorisinin 6'sında en iyi performansı vermiştir.

Meneses ve ark. (2010) bu çalışmada, farklı dezenfeksiyon arıtma teknolojilerini (Klorlama + UV Dezenfeksiyonu, Ozonlama ve Ozonlama + Hidrojen Peroksit) değerlendirmek ve içilebilir nitelikte su kullanımı olmayan uygulamalarda kentsel atıksuyun yeniden kullanılmasının çevresel avantajlarını ve sakıncalarını değerlendirmek için yaşam döngüsü değerlendirmesi kullanılmıştır. Bunun için, tuzu arındırılmış su kaynakları, içilebilir su ve içilebilir nitelikte su kullanımı olmayan uygulamalar için 1 m<sup>3</sup> su üretiminin çevresel etkileri kıyaslanmıştır. Hesaplama, Akdeniz bölgesinde yer alan bir atıksu arıtma tesisinin mevcut işletme verileri kullanılmakla birlikte, sonuçlar benzer

teknolojiye sahip başka bir tesise uygulanabilmektedir. Ozonlama ve ozonlama + hidrojen peroksit dezenfeksiyon arıtma teknolojilerinin benzer çevresel profilleri mevcut olduğu bilinmektedir. Ancak, asitlenme (% 100 daha yüksek) ve fotokimyasal oksidasyon (% 5'ten az) hariç olmak üzere, göstergelerin çoğu UV dezenfeksiyonundan yaklaşık % 50 daha yüksektir. Geri kazanılmış suyun içilebilir olmayan uygulamalarda kullanımı (hem tarımsal hem de kentsel kullanımlar) çevresel ve ekonomik avantajlara sahip olduğu görülmüştür. Arıtılmış atıksuyun yeniden kullanımı, özellikle tuzu giderilmiş su yerine kullanıldığı zaman faydalı olduğu ortaya konmuştur. Bu çalışmanın sonucu olarak, tatlı su kıtlığı olduğu zaman içilebilir nitelikte su kullanımı olmayan uygulamalar için geri kazanılmış su kullanımı teşvik edilmelidir.

Theregowda ve ark. (2014) bu çalışmada, ikinci kademeye kadar arıtılmış kentsel atıksuların termo-elektrik güç santrallerinin soğutma sistemlerinde yeniden kullanılabilmesi için uygulanabilecek altı üçüncü kademe arıtma alternatifini değerlendirmek ve karşılaştırmak için yaşam döngüsü etkileri değerlendirilmiştir. Üçüncü kademe arıtma proseslerinin inşaatı ve işletimi aşamasındaki etkiler, proses-bazlı yaşam döngüsü değerlendirme (YDD) yazılımı Simapro v7.3 ve Carneige Mellon ekonomik girdi-çıkıtı YDD (EIO-LCA) 2002 modelindeki veri tabanları ve karakterizasyon araçları kullanılarak tahmin edilmiştir. Yaşam döngüsü maliyet analizindeki altyapı maliyet tahminleri EIO-LCA modeline girdi olarak kullanılmıştır. Proses bazlı analiz girdileri içerisinde, üçüncü kademe sırasında ve sonrasında ilave edilen kimyasal madde dozları, kimyasal maddelerin üreticiden arıtma tesisine yaklaşık taşıma mesafesi ve arıtma esnasındaki temel ekipmanı çalıştırabilmek için enerji üretimi bulunmaktadır. Küresel ısınma potansiyeli (kg CO<sub>2</sub> eşdeğeri), asidifikasyon (kg SO<sub>2</sub> eşdeğeri), ötrofikasyon (kg N eşdeğeri) ve ekotoksisiteyi (kg 2,4-D eşdeğeri) kapsayan etkiler, TRACI modeli karakterizasyon faktörleri kullanılarak tahmin edilmiştir. Çevresel etki analizi, üçüncü kademe arıtma ve şartlandırma kimyasallarının ve elektrik gücü üretiminin, çevresel etkilere katkı koyan ana prosesler olduğunu göstermiştir. Bu nedenle, çevresel etki bakış açısıyla, ikinci kademeye kadar arıtılmış atıksuların soğutma sistemlerinde yeniden kullanılabilmesi için, üçüncü kademe arıtmanın az olduğu veya hiç olmadığı alternatiflerin kullanılması önerilmektedir.

Rahman ve ark. (2016) makalelerinde, ileri nutrient giderme işlemleri, alıcı su ortamının su kalitesini iyileştirirken, aynı zamanda enerji, kimyasallar ve diğer materyal kaynaklarının kullanımındaki artışlarla ilişkili dolaylı çevresel ve sağlık etkileri yaratabildiklerini belirtmişlerdir. Bu çalışma, 27 arıtma süreci konfigürasyonunu kullanarak besin giderimi (N ve P) için üç arıtma seviyesini değerlendirmiştir. Yaşam döngüsü değerlendirmesinde TRACI etki değerlendirme yöntemini kullanılarak çeşitli çevresel ve sağlık etkileri bakımından analizi gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar; ileri nutrient giderimi elde eden gelişmiş teknolojilerin, yerel ötrofikasyon potansiyelini önemli ölçüde azalttığını, bu ileri arıtmaların (özellikle çok kademeli gelişmiş süreçler ve ters ozmos) kimyasallar ve elektrik kullanımından dolayı ötrofikasyon etki kategorisinde etkileri arttırdığını ve diğer çevresel etkilere; insan ve ekotoksisite, küresel ısınma potansiyeli, ozon tüketimi ve asidifikasyon da dahil olmak üzere sağlık üzerindeki etkilere katkıda bulunduğunu göstermektedir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

Birçok organizasyon, sürdürülebilirlik çabalarını ölçülebilir hale getirme, sürdürülebilirliğin günlük faaliyetlere nasıl sığdırılacağı ve sürdürülebilirlik girişimlerinden nasıl rekabet avantajı sağlanacağı ile mücadele etmektedir. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD), ürünün sürdürülebilirliğini ölçmek için önde gelen bir yöntem olarak dünya çapında tanınmaktadır; çünkü ölçme aralığının geniş bir yelpazesini değerlendirebilmekte ve beşikten mezara kadar oluşabilecek etkileri ortaya koymaktadır.

Yaşam döngüsü değerlendirmesi; sürdürülebilirlik hedeflerini belirlemek, muhtemel etkileri izlemek ve etiketlemek, ürünün çevresel performansını iyileştirmek, en önemli çevre konularını belirlemek ve izlemek gibi amaçlar için kullanılan matematiksel bir hesaplama yöntemidir.

Çalışmada, yaşam döngüsü değerlendirmesi çalışmalarında en fazla kullanılan yazılımlardan birisi olan SimaPro 8.2.0 (PRe Consultants, Hollanda) yazılımı kullanılmıştır. Dünyanın önde gelen yaşam döngüsü değerlendirmesi yazılımlarından olan SimaPro, 80'den fazla ülkedeki endüstriyel ve akademik çevrelerce 25 yıldır güvenle kullanılan bir programdır (Anonim 2016a).

Güvenilir ve sürdürülebilir karar verme söz konusu olduğunda, hem doğru verilere hem de bu verilerin doğru şekilde değerlendirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. SimaPro en yeni bilimsel temelli metot ve veri tabanlarını içermektedir. Geniş çeşitlilikte eklentiler ve raporlama özellikleri, yaşam döngüsü değerlendirmesi çalışmalarını yürütürken bilinçli seçimlerle daha etkin bir yöntem belirlemede ve problemleri tanımlamada SimaPro'yu kolay bir yazılım haline getirmektedir (Anonim 2016a).

SimaPro yazılımının seçilmesinde etkili olan özellikler;

- Kompleks yaşam döngülerini sistematik ve şeffaf bir şekilde kolayca modellenmesi ve analiz edebilmesi,
- Ürün ve hizmetlerin çevresel etkilerini tüm yaşam döngüsü aşamaları boyunca ölçülebilmesi,
- Hammaddenin çıkarılmasından üretime, dağıtımına, kullanıma ve bertaraf etmeye kadar tedarik zincirinin tüm bağlantılarındaki kritik noktaların tanımlanabilmesidir.

Bu özelliklere ilave olarak, SimaPro modern, güncel ve ISO 14040 yaşam döngüsü değerlendirme standartlarında olup etkin araçlarla kolay modelleme, parametrik modelleme, çoklu senaryo analizi ve belirsizlik analizi yapabilmeye imkân tanımaktadır (Anonim 2016a).

SimaPro, tanınmışecoinvent veritabanı ile tamamen uyumlu olarak gelmekte ve aşağıdaki gibi çeşitli uygulamalar için kullanılabilir (Anonim 2016a):

- Karbon ayak izinin hesaplanması
- Ürün tasarımı ve eko-tasarım
- Çevreci ürün beyanatları
- Temel performans göstergelerinin belirlenmesi

## **3.2. Yöntem**

### **3.2.1. Hedef ve kapsam tanımı**

Bu çalışmada yaşam döngüsü değerlendirme metodu kullanılarak, Bursa Organize Sanayi Bölgesi Su Üretim Tesisi'nin faaliyetleri sırasında oluşan çevresel etkilerin tespit edilmesi, sistem sınırları dâhilinde bulunan her bir adımın çevresel etki boyutlarının kıyaslanması ve tesisin giriş suyu olan dere suyunun kalitesine bağlı olarak çevresel etkilerinin değişiminin incelenmesi hedeflenmiştir.

Bu çalışmada fonksiyonel birim olarak 1 m<sup>3</sup> proses suyu seçilmiştir.

Çalışma kapsamı; sistem sınırları ‘beşikten kapıya’ değerlendirmesi sınıfına girecek şekilde, Su Üretim Tesisi süreçlerinin; dere suyunun tesise terfi edilmesinden itibaren konvansiyonel ve ileri arıtma ünitelerinde arıtılması ve tesis içi su deposuna iletilmesi sürecini, bu süreçte kullanılan yardımcı kimyasal malzemelerin nakliyesini ve oluşan çevresel emisyonların bertaraf edilmesi aşamalarını içine almaktadır. Fabrikalarda proses suyunun kullanımı, atıksu haline dönüşüp yeniden arıtılması süreçleri (atık senaryoları) bu çalışma kapsamında değerlendirilmemiştir.

### **3.2.2. Yaşam döngüsü envanter analizi**

Su Üretim Tesisi’nde proses suyu hazırlanması sürecinde ihtiyaç duyulan enerji ve su ihtiyaçları, kimyasal malzeme kullanım verileri ile birlikte oluşan çevresel emisyonlar fonksiyonel birim ile ilişkilendirilerek bu bölümde belirlenmiştir. Envanter analizi çalışmaları Su Üretim Tesisi yetkilileri ile yapılan kişisel görüşmeler ve tesisin iç raporlamalarından sağlanan işletme verileri ve SimaPro 8.2.0 yazılımında yer alan veri tabanlarının arka plan verileri ile bağlantı kurularak değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada SimaPro 8.2.0 yazılımında yer alan aşağıda listelenen veri tabanları kullanılmıştır:

- Ecoinvent 3
- LCA Food DK
- Agri-footprint

Veri toplama aşamasında; sistem, alt sistemler şeklinde gruplandırılarak sonuçların hassasiyeti arttırılmaya çalışılmıştır. Yaşam Döngüsü Envanteri analizine Su Üretim Tesisi’ndeki proses suyu hazırlama sürecinin sistem sınırları kapsamında akış diyagramının oluşturulması ile başlanmıştır. Sistem sınırları dahilinde olan her bir alt sistemin akış diyagramı üzerinde tüm girdi ve çıktılar gösterilmiştir.

Çalışmada Su Üretim Tesisi'nin konvansiyonel arıtma prosesi üç alt sistem (fiziksel arıtma, biyolojik arıtma ve kimyasal arıtma) halinde, ileri arıtma prosesi ise iki alt sistem (ultrafiltrasyon ve ters osmoz sistemi) halinde olmak üzere sistem sınırları kapsamında beş alt sistem olarak incelenmiştir.

### 3.2.3. Yaşam döngüsü etki analizi

Yaşam döngüsü envanter analizi safhasında sisteme giren hammadde ve enerji bileşenleri ile sistemden çıkan kirletici bileşenler fonksiyonel birim ile ilişkilendirilerek tanımlandıktan sonra bu verilerin insan sağlığı, çevresel değerler ve doğal kaynakların tüketimi üzerine olan etkileri yaşam döngüsü etki analizi aşamasında incelenmiştir.

ReCiPe metodu, yaşam döngüsü etki değerlendirmesinde en güncel ve uyumlu gösterge yaklaşımıdır. ReCiPe metodunun temel amacı, yaşam döngüsü kapsamlı sonuçlarının uzun listesini belirli sayıda göstergelerle grafiklere dönüştürmektir. Bu grafikler çevresel bir etki kategorisindeki görece önem derecesini ifade etmektedir. ReCiPe'de etki göstergeleri orta nokta ve son nokta olarak iki seviyede hesaplanmaktadır (Anonim 2016).

ReCiPe metodu sahip olduğu en geniş orta nokta etki kategorileri ve dünya çapında etki mekanizmaları ile diğer yaklaşımlara göre avantajlıdır. Diğer yaklaşımlardan (Eco-indicator 99, EPS Yöntemi, LIME ve Etki 2002+) farklı olarak, etki değerlendirmesinde gelecekteki ekstra aksiyonlardan kaynaklanabilecek potansiyel etkileri içermemektedir ancak bu tür etkilerin envanter analizine dahil edildiğini varsaymaktadır (Anonim 2016).

Çalışmada kullanılan ReCiPe metodunda bulunan 18 etki kategorisi orta nokta seviyesinde ele alınmış olup aşağıda listelenmiştir (Anonim 2016):

- İklim Değişikliği (CC)
- Ozon Tabakası İncelmesi (OD)
- Karasal Asidifikasyon (TA)
- Tatlı Su Ötrofikasyonu (FE)
- Deniz Ötrofikasyonu (ME)
- İnsan Sağlığı Toksikitesi (HT)

- Fotokimyasal Oksidasyon Oluşumu (POF)
- Partikül Madde Oluşumu (PMF)
- Karasal Ekotoksosite (TET)
- Tatlı Su Ekotoksitesisi (FET)
- Deniz Ekotoksitesisi (MET)
- İyonlaştırıcı Radyasyon (IR)
- Tarımsal Arazi İşgali (ALO)
- Kentsel Arazi İşgali (ULO)
- Doğal Arazi Dönüşümü (NLT)
- Su Tükenmesi (WD)
- Mineral Kaynağın Tükenmesi (MRD)
- Fosil Yakıt Tükenmesi (FD)

Son nokta seviyesinde, bu orta nokta etki kategorileri aşağıda verilen üç son nokta kategorisinde toplanmaktadır.

- İnsan Sağlığı
- Ekosistem Çeşitliliği
- Kaynak Kullanılabilirliği

İnsan sağlığı son nokta seviyesini oluşturan orta noktalar; iklim değişikliği, ozon tabakası incilmesi, insan sağlığı toksisitesi, fotokimyasal oksidasyon oluşumu, partikül madde oluşumu ve iyonlaştırıcı radyasyon parametreleridir. Ekosistem eşitliliği son nokta seviyesini ise; karasal asidifikasyon, tatlı su ötrofikasyonu, deniz ötrofikasyonu, karasal ekotoksosite, tatlı su ekotoksitesisi, deniz ekotoksitesisi, tarımsal arazi işgali, kentsel arazi işgali, doğal arazi dönüşümü orta noktaları toplanarak oluşturmuşlardır. Su tükenmesi, mineral kaynağın tükenmesi, fosil yakıt tükenmesi ise kaynak kullanılabilirliği son noktasını belirleyen göstergelerdir (Anonim 2016).

### **3.2.4. Yorumlama**

Yaşam döngüsü etki analizi ile belirlenen değerlendirme sonuçları Bulgular ve Tartışma bölümünde açıklanmıştır.



## **4. BULGULAR VE TARTIŞMA**

### **4.1. BOSB Su Üretim Tesisi YDD Uygulaması Hedef ve Kapsam Tanımı**

#### **4.1.1. Hedef**

Nüfus, sanayi ve tarım faaliyetlerinin artışına paralel olarak artan su talebi ve birçok noktadan yapılan kontrolsüz deşarjlar, Bursa'nın önemli bir su kaynağı olan Nilüfer Deresi'nin su miktar ve kalitesine büyük ölçüde zarar vermektedir. Aşırı kullanım ve çeşitli kirlilik parametreleri nedeniyle atıksu deresi haline dönüşen Nilüfer Deresi suları Su Üretim Tesisi'nde konvansiyonel ve ileri arıtma sistemleri ile proses suyu haline dönüştürülerek, Bursa Organize Sanayi Bölgesi'nde yer alan işletmelere sunulmaktadır. Bursa Organize Sanayi Bölgesi'nde gerçekleştirilen su yönetimi çalışmalarından biri olan bu faaliyet, endüstriyel kullanım için gerekli olan suyun temiz içme suyu kaynaklarından ve yeraltı suyundan karşılanma oranını azaltmak için uygulanmaktadır.

Bu çalışmada farklı endüstriyel uygulamalarda kullanılacak kalitede proses suyu üretimi faaliyetinde bulunan Su Üretim Tesisi'nin hem doğrudan (üretim aşamasında oluşan emisyonlar ve kullanılan enerji vb.) hem de dolaylı (kimyasal malzeme eldesi, taşınması vb.) çevresel etkileri yaşam döngüsü değerlendirmesi yöntemi ile belirlenmek istenmiştir. Bu bağlamda projede, yaşam döngüsü değerlendirmesi çalışmalarında en fazla kullanılan yazılımlardan birisi olan SimaPro 8.2.0 (PRe Consultants, Hollanda) yazılımı kullanılmıştır.

Yaşam döngüsü envanter analizinde; Su Üretim Tesisi'nde ham suyun işlenerek proses suyuna haline getirilmesi sürecine ait tüm hammadde, kimyasal malzeme, taşıma, enerji ve çevresel emisyon bilgileri tesisin iç raporlarından temin edilmiş olup tüm bu girdi ve çıktılara ait kapsamlı arka plan (ikincil) verileri programın veri tabanlarından sağlanmıştır. Detaylı envanter analizi çalışmaları tamamlandıktan sonra yaşam döngüsü etki analizleri gerçekleştirilmiştir. Etki analizleri sonucunda; proses suyu hazırlama sürecinin toplam (beşikten kapıya) çevresel etkilerinin belirlenmesi, bu süreçte bulunan

her bir adıma ait enerji ve kaynak gereksinimi, oluşacak çevresel emisyon miktarlarının ayrı ayrı saptanması ve karşılaştırılması hedeflenmiştir.

#### **4.1.2. Kapsam**

Bu çalışmada fonksiyonel birim olarak 1 m<sup>3</sup> proses suyu seçilmiştir.

Sistem Sınırları:

Proses suyu üretim sürecinin; ham dere suyunun tesise alınmasından itibaren konvansiyonel ve ileri arıtma ünitelerinde işlenmesi ve tesis içi su deposuna iletilmesi sürecini, bu süreçte kullanılan yardımcı kimyasal malzemelerin nakliyesini ve oluşan çevresel emisyonların tasfiye edilmesi aşamaları sistem sınırları kapsamında olup işletmelerde proses suyunun kullanımı, atıksu haline dönüşüp yeniden arıtılması süreçleri (atık senaryoları) bu çalışma kapsamında değerlendirilmemiştir.

Proses suyunun konvansiyonel ve ileri arıtma ünitelerinde işlenmesi sürecinde sistem sınırları kapsamında olan üniteler şunlardır:

- Su alma yapısı (terfi istasyonu)
- Havalandırmalı kum tutucu ünitesi
- Havalandırma tankları
- Biyolojik çöktürme tankları
- Hızlı karıştırma tankı
- Klariflokülatörler
- Hızlı kum filtreleri
- Ultrafiltrasyon sistemi
- Ters ozmos sistemi

Çamur susuzlaştırma ünitesi, son terfi yapısı sistem sınırlarına dahil edilmemiştir.

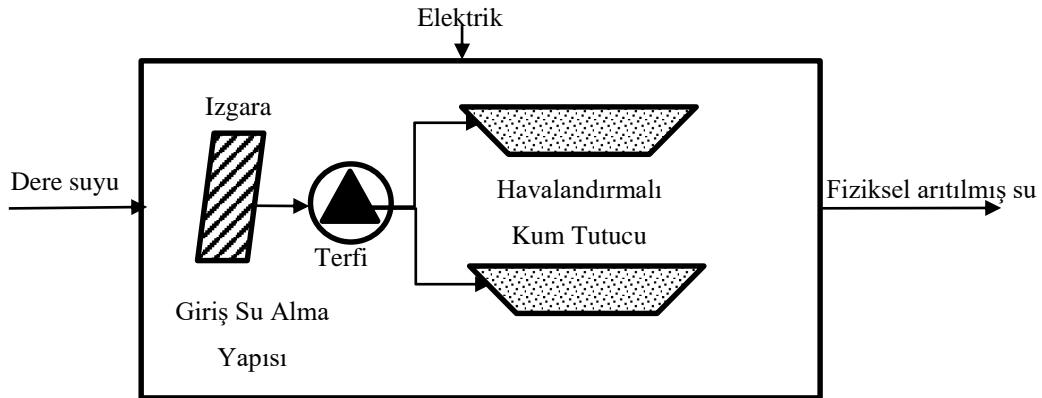
## 4.2. Yaşam Döngüsü Envanter Analizi

### 4.2.1. Veri toplama

Bursa Organize Sanayi Bölge Müdürlüğü Su Üretim Tesisi'nde 1m<sup>3</sup> proses suyu hazırlanması sürecinde gerçekleşen enerji ve su ihtiyaçları, kimyasal malzeme kullanım verileri ile birlikte oluşan çevresel emisyonlar bu bölümde belirlenmiştir. Yaşam Döngüsü Envanteri oluşturulurken, ağırlıklı olarak Su Üretim Tesisi yetkilileri ile yapılan kişisel görüşmeler ve tesisin iç raporlamalarından sağlanan işletme verileri değerlendirilmiştir.

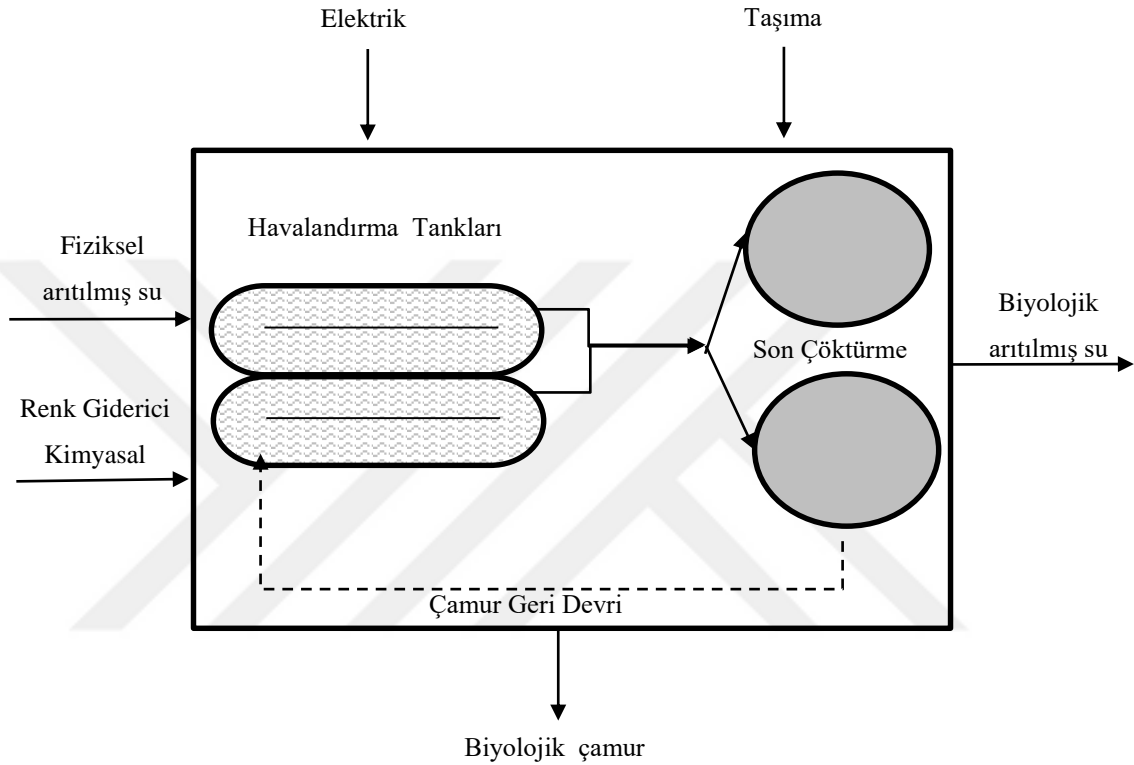
Çalışmada Su Üretim Tesisi'nin konvansiyonel arıtma prosesi üç alt sistem (fiziksel arıtma, biyolojik arıtma ve kimyasal arıtma) halinde, ileri arıtma prosesi ise iki alt sistem (ultrafiltrasyon ve ters osmoz sistemi) halinde olmak üzere sistem sınırları kapsamında beş alt sistem olarak incelenmiştir. Her bir alt sistemin akış diyagramı üzerinde tüm girdi ve çıktılar gösterilmiştir.

Tesisin su alma yapısı ve havalandırmalı kum tutucu üniteleri 'Fiziksel Arıtma' alt sistemi kapsamında ele alınmıştır. Bu alt sistemin girdi ve çıktılarının açıkça görüldüğü akış diyagramı Şekil 4.1'de verilmiştir. Sistemin hammaddesi olan Nilüfer Deresi'nden tesise alınan dere suyu ve terfi pompalarında ve havalandırmalı kum tutucuda ihtiyaç duyulan elektrik enerjisi diyagramda görülen girdileri; bu alt sistemin ürünü olan fiziksel arıtılmış su ise çıktısını oluşturmaktadır.



Şekil 4.1. Fiziksel arıtma alt sisteminin akış diyagramı

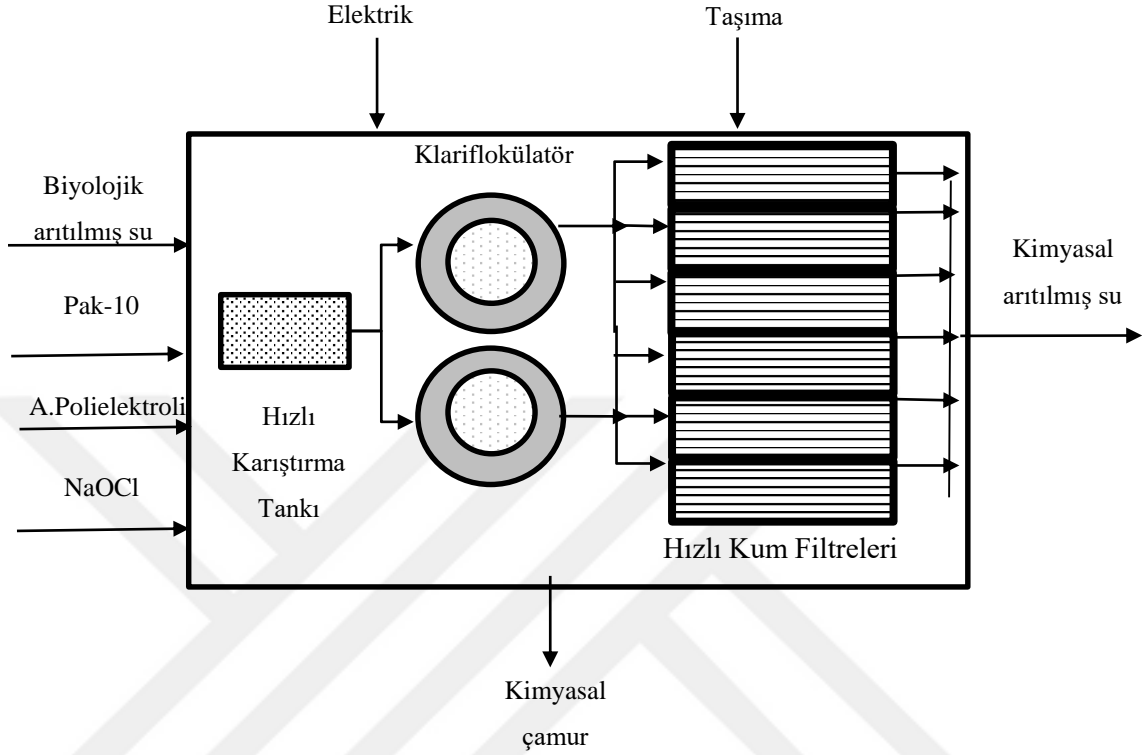
'Biyolojik Arıtma' alt sistemi havalandırma tankları ve son çöktürme tanklarından oluşmaktadır. Fiziksel arıtma sisteminde işlem görmüş su, elektrik enerjisi ve renk giderici kimyasal bu alt sistemin girdileri olup Şekil 4.2'de akış diyagramı görülmektedir. Biyolojik arıtma faaliyeti sonucu oluşan; biyolojik arıtılmış su ve biyolojik çamur yani sistemin ürünü ve atığı akış diyagramında çıktı olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Biyolojik arıtma alt sisteminin akış diyagramı

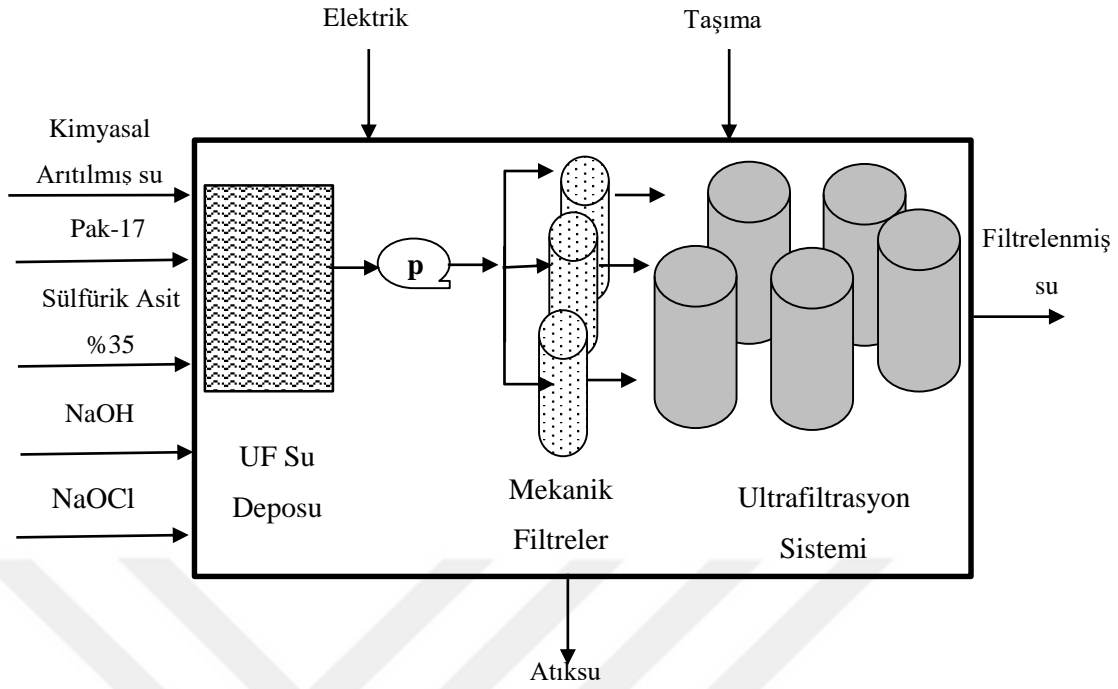
Sistemin üçüncü alt sistemi olarak belirlenen 'Kimyasal Arıtma' faaliyeti kapsamında, hızlı karıştırma tankı, yavaş karıştırma ve kimyasal çöktürme yapısının iç içe tasarlandığı klariflokülatör tankları, hızlı kum filtreleri yer almaktadır. Bu alt sistemin girdileri şunlardır: Biyolojik arıtılmış su, koagülant kimyasal olarak kullanılan polialüminyum klorür (PAK-10), flokülant olarak anyonik polielektrolit, kimyasal çöktürme tanklarından savaklanan suya dezenfeksiyon amaçlı dozlanan sodyum hipoklorit (NaOCl) kimyasalları ile birlikte bu kimyasalların tedarikçi firmadan Su Üretim Tesisi'ne taşınması ve alt sistemin işletilebilmesi için ihtiyaç duyulan elektrik enerjisidir. Alt sistemin ürünü kimyasal arıtılmış su ve bu faaliyet sırasında oluşan atık kimyasal çamur akış

diyagramında görülen çıktılardır. Kimyasal arıtma alt sisteminin akış diyagramı Şekil 4.3’de verilmiştir.



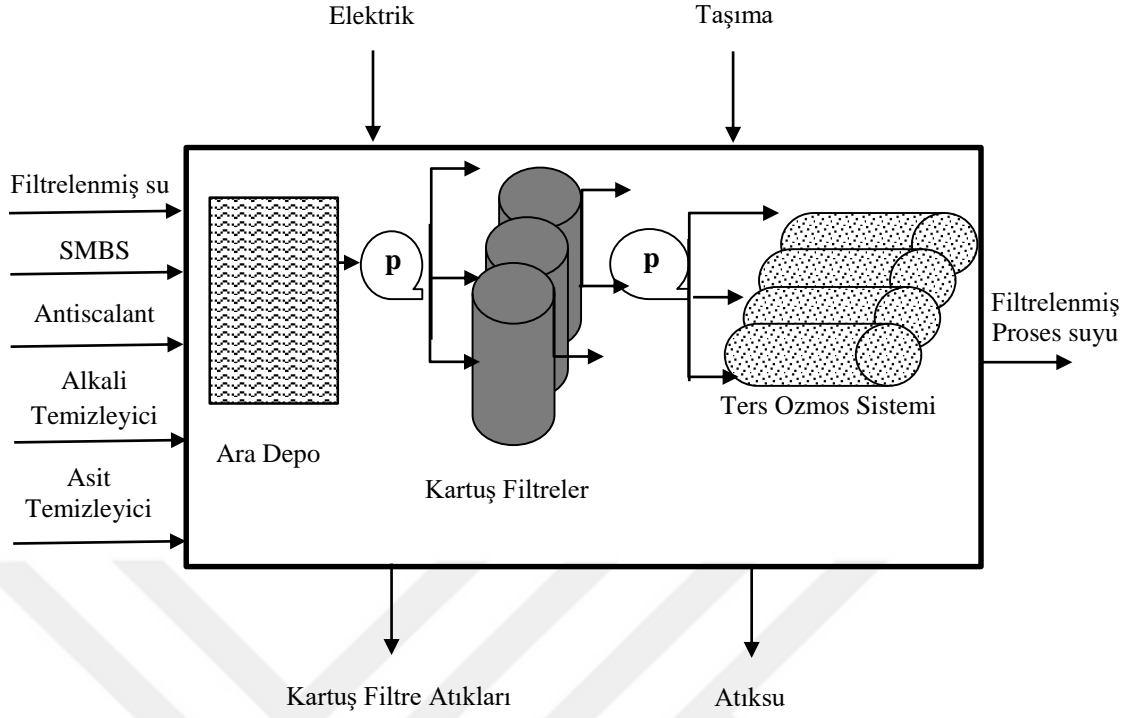
**Şekil 4.3.** Kimyasal arıtma alt sisteminin akış diyagramı

‘Ultrafiltrasyon Sistemi’ ileri arıtma prosesinin ilk aşaması olup bu çalışmanın dördüncü alt sistemi olarak tanımlanmıştır. UF besleme suyu deposu, besleme pompaları, ön filtrasyonu sağlayan mekanik filtreler ve ultrafiltrasyon membranlarından oluşan ultrafiltrasyon sistemi bu alt sistemin ana üniteleridir. Kimyasal arıtma ünitelerinde işlenmiş su, ön filtrasyon öncesi koagülant olarak kullanılan polialüminyum klorür (PAK-17), ultrafiltrasyon membranlarının kimyasal yıkamalarında kullanılan %35’lik sülfürik asit, sodyum hidroksit (kostik), sodyum hipoklorit yıkama kimyasalları ve bu kimyasalların taşınması ile birlikte sistemin işletilebilmesi için gerekli elektrik enerjisi bu alt sistemin girdilerini oluşturmaktadır. Ultrafiltrasyon membranlarının ters ve kimyasal yıkamaları sonucu oluşan atıksu ve bu alt sistemin ürünü ultrafiltrasyon membranları ile filtrelenmiş su çıktı olarak akış diyagramı üzerinde gösterilmiştir. Şekil 4.4’de ultrafiltrasyon alt sisteminin akış diyagramı görülmektedir.



**Şekil 4.4.** Ultrafiltrasyon alt sisteminin akış diyagramı

Su Üretim Tesisi'nin son prosesi olan 'Ters Ozmos Sistemi' bu çalışmanın son alt sistemi olarak belirlenmiştir. Ultrafiltrasyon sisteminde filtrelenmiş suların depolandığı ara depo, ters ozmos membranları öncesinde ön filtrasyonu sağlayan kartuş filtreler, alçak ve yüksek basınç pompaları ve ters ozmos membranlarından oluşan ters ozmos sistemi bu alt sistemin sınırları dâhilinde olup akış diyagramında sırasıyla verilmiştir. Bu alt sistemin hammaddesi olan ultrafiltrasyon sisteminde filtrelenmiş su, ters ozmos sistemi işletilirken kullanılan yardımcı kimyasal malzemeler ve taşınma süreçleri ile ihtiyaç duyulan elektrik enerjisi girdi parametreleri olarak akış diyagramında verilmiştir. Bu girdilerden sodyum metabisülfid (SMBS) besleme suyunda kalan bakiye klorun nötralizasyonu amaçlı, antiscalant kimyasalı kalsiyum, magnezyum, bikarbonat gibi iyonların reaksiyona girmesini engellemek ve membranlarda çökelti oluşumunu engellemek için, membranlarda zamanla biriken çökeltileri temizlemek için ise asidik ve alkali temizleyiciler kullanılmaktadır. Hem bu alt sistemin hem de tüm sistemin ürünü olan proses suyu çıktısının yanı sıra ters ozmos membranlarında oluşan konsantre atıksu ve polipropilen içerikli kartuş filtre atıkları bu alt sistemin çıktılarıdır. Tüm ters ozmos alt sisteminin girdi ve çıktıları Şekil 4.5'de verilmiştir.



**Şekil 4.5.** Ters ozmos alt sisteminin akış diyagramı

Beş alt sistem halinde gruplandırılan ve bu tanımlanan her bir alt sistemin akış diyagramları geliştirilmesi tamamlandıktan sonra akış diyagramlarında detaylandırılan girdi ve çıktı verilerinin toplama işlemleri yapılmıştır. Veri toplama işlemlerinde verilerin tesisi temsil edebilirliği, hassasiyeti, gerçekleştirilen bu çalışmanın amaçlarını karşılayabilecek kalite ve doğrulukta olmasına dikkat edilmiştir. Çalışmanın ana veri kaynağı, tesisin veri raporları ve tesis yetkilileri ile yapılan doğrudan temaslar sonucunda elde edilen verilerdir. Proses suyu hazırlama süreci akış diyagramlarında da görüldüğü üzere birden fazla girdi ve çıktıya sahiptir. Bu nedenle tüm girdilerin ve üretilen atıkların ne kadarının 1 m<sup>3</sup> proses suyu ile ilgili olduğu belirlenmiştir. 1 m<sup>3</sup> proses suyu üretimi için ne kadar ham su, kimyasal malzeme ve elektrik enerjisine ihtiyaç olduğu ve yine 1 m<sup>3</sup> proses suyu eldesinden kaynaklanan çevresel emisyonların ne kadar olduğu ortaya konmuştur.

1 m<sup>3</sup> proses suyu üretimi için sistemde sınırları dahilinde kullanılan kimyasal malzeme envanter verileri Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de konvansiyonel arıtma ve ileri arıtma prosesleri ayrı olarak verilmiştir. Yaşam döngüsü envanteri analizi yapılırken tesisin

2012-2016 yıllarına ait veri raporları değerlendirilmiş ve bu yıllara ait değerlerin ortalaması yaşam döngüsü envanter verilerini oluşturmuştur.

**Çizelge 4.1** Konvansiyonel arıtma alt sistemleri için kimyasal malzeme envanteri

| Konvansiyonel Arıtma Kimyasalları | Birim Tüketim (kg/m <sup>3</sup> ) |                    |                                    |                   |
|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------|------------------------------------|-------------------|
|                                   | Biyolojik Arıtma                   | Kimyasal Arıtma    |                                    |                   |
|                                   | Renk Giderici (Organik Polimer)    | Koagülant (PAK 10) | Flokülant (Anyonik Polielektrolit) | Sodyum Hipoklorit |
| 2012                              | 0,0242                             | 0,1339             | 0,0002                             | 0,1183            |
| 2013                              | 0,0090                             | 0,1358             | 0,0003                             | 0,1181            |
| 2014                              | 0,0090                             | 0,1239             | 0,0003                             | 0,1107            |
| 2015                              | 0,0099                             | 0,1043             | 0,0004                             | 0,0769            |
| 2016                              | 0,0114                             | 0,1079             | 0,0004                             | 0,0739            |
| <b>ORTALAMA</b>                   | <b>0,0127</b>                      | <b>0,1212</b>      | <b>0,0003</b>                      | <b>0,0996</b>     |

**Çizelge 4.2.** İleri arıtma alt sistemleri için kimyasal malzeme envanteri

| İleri Arıtma Kimyasalları | Birim Tüketim (kg/m <sup>3</sup> ) |                  |               |                   |                         |                       |               |               |
|---------------------------|------------------------------------|------------------|---------------|-------------------|-------------------------|-----------------------|---------------|---------------|
|                           | Ultrafiltrasyon Sistemi            |                  |               |                   | Ters Ozmos Sistemi      |                       |               |               |
|                           | UF Koagülant (PAK 17)              | Sodyum Hidroksit | Sülfürik Asit | Sodyum Hipoklorit | Alkali Yıkama Kimyasalı | Asit Yıkama Kimyasalı | Sms           | Antiscalant   |
| 2012                      | 0,0277                             | 0,0726           | 0,0878        | 0,1034            | 0,0018                  | 0,0013                | 0,0252        | 0,0048        |
| 2013                      | 0,0215                             | 0,0689           | 0,0765        | 0,0892            | 0,0010                  | 0,0006                | 0,0172        | 0,0054        |
| 2014                      | 0,0268                             | 0,0599           | 0,0806        | 0,0880            | 0,0015                  | 0,0013                | 0,0208        | 0,0052        |
| 2015                      | 0,0301                             | 0,0538           | 0,1198        | 0,0867            | 0,0015                  | 0,0013                | 0,0462        | 0,0043        |
| 2016                      | 0,0302                             | 0,0491           | 0,1203        | 0,0691            | 0,0029                  | 0,0025                | 0,0689        | 0,0042        |
| <b>ORTALAMA</b>           | <b>0,0272</b>                      | <b>0,0608</b>    | <b>0,0970</b> | <b>0,0873</b>     | <b>0,0017</b>           | <b>0,0014</b>         | <b>0,0357</b> | <b>0,0048</b> |

Yaşam döngüsü envanteri oluşturulan kimyasal malzemelerin tedarikçi firmadan Su Üretim Tesisi'ne nakliye süreci sistem sınırları kapsamında yer almaktadır.



Konvansiyonel ve ileri arıtma proseslerinde kullanılan kimyasalların taşıma verileri kg.km cinsinden hesaplanarak Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4’de verilmiştir.

**Çizelge 4.3.** Konvansiyonel arıtma alt sistemleri için taşıma envanteri

| <b>Konvansiyonel Arıtma Kimyasallar</b> | <b>Birim Tüketim (kg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>Mesafe (km)</b> | <b>Taşıma (kgkm)</b> |
|---|---|--------------------|----------------------|
| Renk Giderici (Organik Polimer)         | 0,0127                                  | 80                 | 1,0173               |
| Koagülant (PAK 10)                      | 0,1212                                  | 130                | 15,7510              |
| Flokülant (Anyonik Polielektrolit)      | 0,0003                                  | 140                | 0,0467               |
| Sodyum Hipoklorit                       | 0,0996                                  | 130                | 12,9479              |

**Çizelge 4.4.** İleri arıtma alt sistemleri için taşıma envanteri

| <b>İleri Arıtma Kimyasallar</b> | <b>Birim Tüketim (kg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>Mesafe (km)</b> | <b>Taşıma (kgkm)</b> |
|---------------------------------|---|--------------------|----------------------|
| UF Koagülant (PAK 17)           | 0,0272                                  | 130                | 3,5408               |
| Sodyum Hidroksit                | 0,0608                                  | 130                | 7,9081               |
| Sülfürik Asit                   | 0,0970                                  | 5                  | 0,4850               |
| Sodyum Hipoklorit               | 0,0873                                  | 130                | 11,3447              |
| Alkali Yıkama Kimyasalı         | 0,0017                                  | 130                | 0,2249               |
| Asit Yıkama Kimyasalı           | 0,0014                                  | 130                | 0,1847               |
| Smbs                            | 0,0357                                  | 80                 | 2,8543               |
| Antiscalant                     | 0,0048                                  | 140                | 0,6716               |

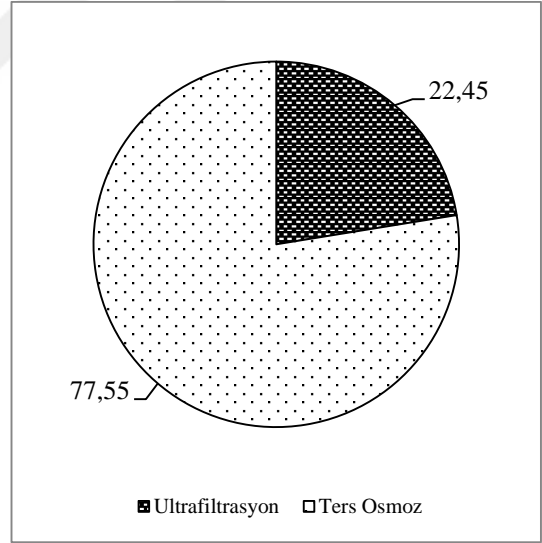
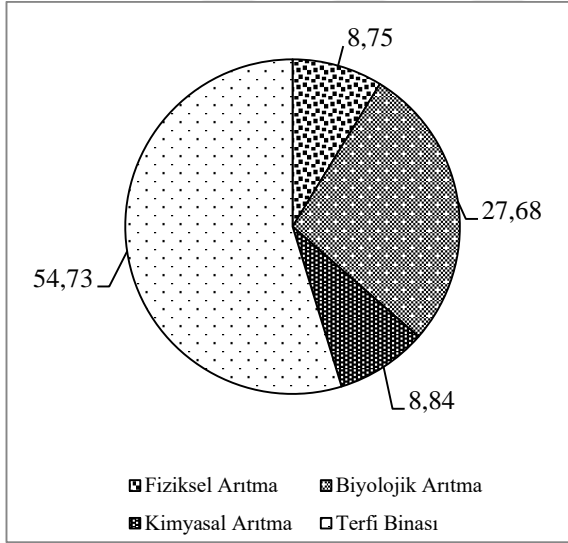
Elektrik enerjisi verileri ise, Su Üretim Tesisi 2011-2016 yıllarına ait iç raporlamalarından her bir alt sistem için ortalama veriler elde edilmiştir. Bu ortalama veriler ile SimaPro 8.2.0 yazılımının ecoinvent 3 veri tabanından alınan arka plan (ikincil) veriler birlikte değerlendirilmiştir. Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6’da elektrik enerjisi birim tüketim verileri ayrı tablolar halinde fonksiyonel birim ile ilişkilendirilerek verilmiştir. Konvansiyonel ve ileri arıtma sistemlerinin buldukları her bir alt sistemde tüketilen elektrik enerjisi yüzde (%) dağılımları Şekil 4.6’daki grafiklerde görülmektedir.

**Çizelge 4.5.** Konvansiyonel arıtma alt sistemleri için elektrik enerjisi envanteri

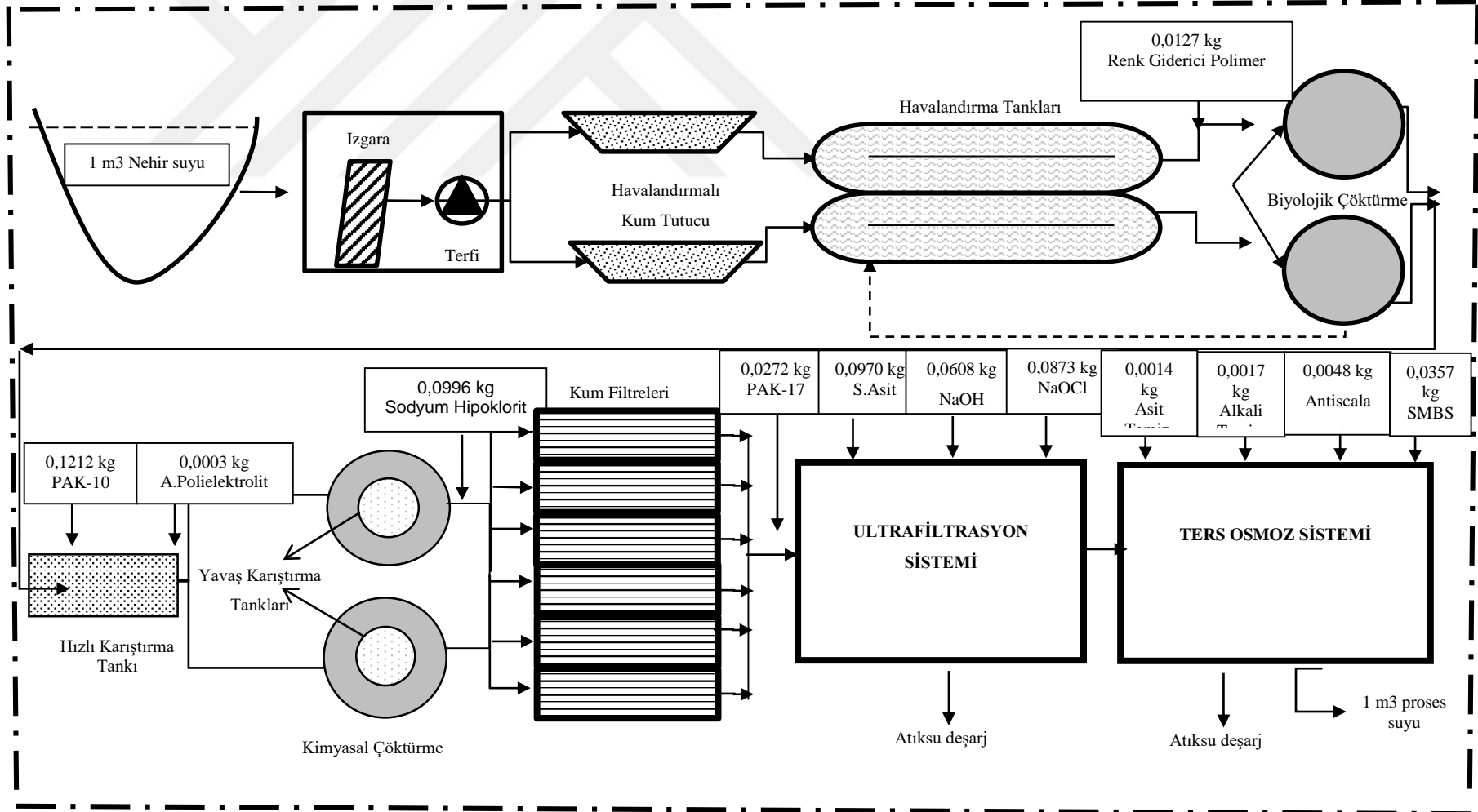
| Konvansiyonel Arıtma Alt Sistemler | Birim Tüketim (kWh/m <sup>3</sup> ) | Dağılım (%) |
|------------------------------------|-------------------------------------|-------------|
| Fiziksel Arıtma                    | 0,058                               | 8,75        |
| Biyolojik Arıtma                   | 0,183                               | 27,68       |
| Kimyasal Arıtma                    | 0,058                               | 8,84        |
| Son Terfi Yapısı                   | 0,361                               | 54,73       |
| <b>TOPLAM</b>                      | <b>0,66</b>                         | <b>100</b>  |

**Çizelge 4.6.** İleri arıtma alt sistemleri için elektrik enerjisi envanteri

| İleri Arıtma Alt Sistemler | Birim Tüketim (kWh/m <sup>3</sup> ) | Dağılım (%) |
|----------------------------|-------------------------------------|-------------|
| Ultrafiltrasyon Sistemi    | 0,36                                | 22,45       |
| Ters Ozmos Sistemi         | 1,24                                | 77,55       |
| <b>TOPLAM</b>              | <b>1,60</b>                         | <b>100</b>  |



**Şekil 4.6.** Konvansiyonel ve ileri arıtma sistemleri içinde her bir alt sistem elektrik tüketimlerinin yüzde (%) dağılımları



Şekil 4.7. Sistem sınırları ve ortalama kimyasal verileri

Şekil 4.7’de yaşam döngüsü değerlendirilmesi çalışmasının sistem sınırları ve Su Üretim Tesisi’nin çevresel performansının belirlenebilmesi için gerçekleştirilmiş kimyasal malzeme envanter verileri verilmiştir.

Sistemin ana girdisi olan Nilüfer Deresi’nden temin edilen ham dere suyunun kalitesinde mevsim şartlarına bağlı olarak değişiklikler yaşanmaktadır. Bu nedenle de Su Üretim Tesisi’nde kimyasal malzeme ve elektrik sarfiyatlarında değişimler görülmektedir. Çalışmanın daha hassas gerçekleştirilebilmesi için dere suyu kalitesinin en iyi ve en kötü olduğu durumlara bağlı olarak tesiste gerçekleşen en yüksek ve en düşük kimyasal ve elektrik sarfiyatları belirlenmiştir. Tesis iç raporlarından elektrik enerjisi sarfiyatları için 2011-2016 yılları, kimyasal malzeme tüketimlerini 2012-2016 yılları arasındaki veriler değerlendirilmiş, her yıl için gerçekleşen en yüksek ve en düşük birim tüketim değerleri baz alınmış ve bu yılların ortalama değerleri hesaplanarak yazılım için gerekli envanter verileri oluşturulmuştur.

**Çizelge 4.7.** Konvansiyonel arıtma alt sistemlerinde en düşük birim tüketim için kimyasal malzeme envanteri

| Konvansiyonel<br>Arıtma<br>Kimyasalları | Birim Tüketim (kg/m <sup>3</sup> )    |                       |  |                      |
|---|---------------------------------------|-----------------------|--|----------------------|
|   | Biyolojik<br>Arıtma                   | Kimyasal Arıtma       |  |                      |
|   | Renk Giderici<br>(Organik<br>Polimer) | Koagülant<br>(PAK 10) | Flokülant<br>(Anyonik<br>Polielektrolit) | Sodyum<br>Hipoklorit |
| 2012                                    | 0,0086                                | 0,0613                | 0,0001                                   | 0,0472               |
| 2013                                    | 0,0045                                | 0,1039                | 0,0001                                   | 0,0862               |
| 2014                                    | 0,0066                                | 0,0884                | 0,0000                                   | 0,0623               |
| 2015                                    | 0,0039                                | 0,0698                | 0,0002                                   | 0,0470               |
| 2016                                    | 0,0056                                | 0,0536                | 0,0002                                   | 0,0330               |
| <b>ORTALAMA</b>                         | <b>0,0058</b>                         | <b>0,0754</b>         | <b>0,0001</b>                            | <b>0,0551</b>        |

Çizelge 4.7’de konvansiyonel arıtma sisteminde dozlanan kimyasallarının 2012-2016 yıllarında gerçekleşen en düşük birim tüketimleri verilmiştir. Çizelge 4.8’de ise ileri arıtma prosesinin işletilmesinde sarf edilen kimyasalların en düşük birim tüketimleri listelenmiştir.

**Çizelge 4.8.** İleri arıtma alt sistemlerinde en düşük birim tüketim için kimyasal malzeme envanteri

| İleri Arıtma Kimyasalları | Birim Tüketim (kg/m <sup>3</sup> ) |                  |               |                   |                         |                       |               |               |
|---------------------------|------------------------------------|------------------|---------------|-------------------|-------------------------|-----------------------|---------------|---------------|
|                           | Ultrafiltrasyon Sistemi            |                  |               |                   | Ters Ozmos Sistemi      |                       |               |               |
|                           | UF Koagülant (PAK 17)              | Sodyum Hidroksit | Sülfürik Asit | Sodyum Hipoklorit | Alkali Yıkama Kimyasalı | Asit Yıkama Kimyasalı | Smbs          | Antiscalant   |
| 2012                      | 0,0144                             | 0,0440           | 0,0606        | 0,0559            | 0,0006                  | 0,0007                | 0,0153        | 0,0027        |
| 2013                      | 0,0153                             | 0,0399           | 0,0572        | 0,0545            | 0,0003                  | 0,0003                | 0,0119        | 0,0033        |
| 2014                      | 0,0159                             | 0,0374           | 0,0231        | 0,0454            | 0,0002                  | 0,0004                | 0,0071        | 0,0031        |
| 2015                      | 0,0162                             | 0,0126           | 0,0823        | 0,0444            | 0,0005                  | 0,0005                | 0,0155        | 0,0025        |
| 2016                      | 0,0233                             | 0,0434           | 0,0854        | 0,0305            | 0,0004                  | 0,0004                | 0,0261        | 0,0030        |
| <b>ORTA LAMA</b>          | <b>0,0170</b>                      | <b>0,0355</b>    | <b>0,0617</b> | <b>0,0462</b>     | <b>0,0004</b>           | <b>0,0005</b>         | <b>0,0152</b> | <b>0,0029</b> |

**Çizelge 4.9.** Konvansiyonel arıtma alt sistemlerinde en düşük birim tüketim için taşıma envanteri

| Konvansiyonel Arıtma Kimyasallar   | Birim Tüketim (kg/m <sup>3</sup> ) | Mesafe (km) | Taşıma (kg.km) |
|------------------------------------|------------------------------------|-------------|----------------|
| Renk Giderici (Organik Polimer)    | 0,058                              | 80          | 0,4658         |
| Koagülant (PAK 10)                 | 0,0754                             | 130         | 9,8024         |
| Flokülant (Anyonik Polielektrolit) | 0,0001                             | 140         | 0,0185         |
| Sodyum Hipoklorit                  | 0,0551                             | 130         | 7,1668         |

**Çizelge 4.10.** İleri arıtma alt sistemlerinde en düşük birim tüketim için taşıma envanteri

| İleri Arıtma Kimyasallar | Birim Tüketim (kg/m <sup>3</sup> ) | Mesafe (km) | Taşıma (kg.km) |
|--------------------------|------------------------------------|-------------|----------------|
| UF Koagülant (PAK 17)    | 0,0170                             | 130         | 2,2119         |
| Sodyum Hidroksit         | 0,0355                             | 130         | 4,6111         |
| Sülfürik Asit            | 0,0617                             | 5           | 0,3085         |
| Sodyum Hipoklorit        | 0,0462                             | 130         | 6,0008         |
| Alkali Yıkama Kimyasalı  | 0,0004                             | 130         | 0,0502         |
| Asit Yıkama Kimyasalı    | 0,0005                             | 130         | 0,0586         |
| Smbs                     | 0,0152                             | 80          | 1,2139         |
| Antiscalant              | 0,0029                             | 140         | 0,4086         |

**Çizelge 4.11.** Konvansiyonel arıtma alt sistemlerinde en yüksek birim tüketim için kimyasal malzeme envanteri

| Konvansiyonel Arıtma Kimyasalları | Birim Tüketim (kg/m <sup>3</sup> ) |                    |                                    |                   |
|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------|------------------------------------|-------------------|
|                                   | Biyolojik Arıtma                   | Kimyasal Arıtma    |                                    |                   |
|                                   | Renk Giderici (Organik Polimer)    | Koagülant (PAK 10) | Flokülant (Anyonik Polielektrolit) | Sodyum Hipoklorit |
| 2012                              | 0,0603                             | 0,16736775         | 0,00031                            | 0,1819            |
| 2013                              | 0,0122                             | 0,1702272          | 0,00045                            | 0,1510            |
| 2014                              | 0,0130                             | 0,1580143          | 0,00065                            | 0,1532            |
| 2015                              | 0,0139                             | 0,14392308         | 0,00069                            | 0,1508            |
| 2016                              | 0,0162                             | 0,13491529         | 0,00071                            | 0,1026            |
| <b>ORTALAMA</b>                   | <b>0,0138</b>                      | <b>0,1549</b>      | <b>0,0006</b>                      | <b>0,1479</b>     |

**Çizelge 4.12.** İleri arıtma alt sistemlerinde en yüksek birim tüketim için kimyasal malzeme envanteri

| İleri Arıtma Kimyasalları | Birim Tüketim (kg/m <sup>3</sup> ) |                  |               |                   |                         |                       |               |               |
|---------------------------|------------------------------------|------------------|---------------|-------------------|-------------------------|-----------------------|---------------|---------------|
|                           | Ultrafiltrasyon Sistemi            |                  |               |                   | Ters Ozmos Sistemi      |                       |               |               |
|                           | UF Koagülant (PAK 17)              | Sodyum Hidroksit | Sülfürik Asit | Sodyum Hypoklorid | Alkali Yıkama Kimyasalı | Asit Yıkama Kimyasalı | Smbms         | Antiscalant   |
| 2012                      | 0,0924                             | 0,1319           | 0,2005        | 0,3045            | 0,0077                  | 0,0068                | 0,0656        | 0,0076        |
| 2013                      | 0,0308                             | 0,1045           | 0,1167        | 0,1229            | 0,0024                  | 0,0015                | 0,0240        | 0,0072        |
| 2014                      | 0,0509                             | 0,0836           | 0,1196        | 0,1279            | 0,0037                  | 0,0038                | 0,0403        | 0,0087        |
| 2015                      | 0,0585                             | 0,0864           | 0,1747        | 0,1625            | 0,0055                  | 0,0038                | 0,0898        | 0,0090        |
| 2016                      | 0,0498                             | 0,0986           | 0,1761        | 0,1070            | 0,0061                  | 0,0049                | 0,1151        | 0,0061        |
| <b>ORTA LAMA</b>          | <b>0,0565</b>                      | <b>0,1010</b>    | <b>0,1575</b> | <b>0,1650</b>     | <b>0,0051</b>           | <b>0,0042</b>         | <b>0,0670</b> | <b>0,0077</b> |

Çizelge 4.11’de konvansiyonel arıtma sisteminde dozlanan kimyasallarının 2012-2016 yıllarında gerçekleşen en yüksek birim tüketimleri verilmiştir. Çizelge 4.12’de ise ileri arıtma prosesinin işletilmesinde sarf edilen kimyasalların en yüksek birim tüketimleri listelenmiştir.

**Çizelge 4.13.** Konvansiyonel arıtma alt sistemlerinde en yüksek birim tüketim için taşıma envanteri

| <b>Konvansiyonel Arıtma Kimyasallar</b> | <b>Birim Tüketim (kg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>Mesafe (km)</b> | <b>Taşıma (kgkm)</b> |
|---|---|--------------------|----------------------|
| Renk Giderici (Organik Polimer)         | 0,01382                                 | 80                 | 1,1054               |
| Koagülant (PAK 10)                      | 0,15489                                 | 130                | 20,1356              |
| Flokülant (Anyonik Polielektrolit)      | 0,00056                                 | 140                | 0,0786               |
| Sodyum Hipoklorit                       | 0,14791                                 | 130                | 19,2279              |

**Çizelge 4.14.** İleri arıtma alt sistemlerinde en yüksek birim tüketim için taşıma envanteri

| <b>İleri Arıtma Kimyasallar</b> | <b>Birim Tüketim (kg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>Mesafe (km)</b> | <b>Taşıma (kgkm)</b> |
|---------------------------------|---|--------------------|----------------------|
| UF Koagülant (PAK 17)           | 0,0565                                  | 130                | 7,3443               |
| Sodyum Hidroksit                | 0,1010                                  | 130                | 13,1298              |
| Sülfürik Asit                   | 0,1575                                  | 5                  | 0,7875               |
| Sodyum Hipoklorit               | 0,1650                                  | 130                | 21,4443              |
| Alkali Yıkama Kimyasalı         | 0,0051                                  | 130                | 0,6612               |
| Asit Yıkama Kimyasalı           | 0,0042                                  | 130                | 0,5404               |
| Smbs                            | 0,0670                                  | 80                 | 5,3567               |
| Antiscalant                     | 0,0077                                  | 140                | 1,0825               |

**Çizelge 4.15.** Konvansiyonel arıtma alt sistemleri için elektrik enerjisi envanteri

| <b>Konvansiyonel Arıtma Alt Sistemler</b> | <b>Su Kalitesine Bağlı En Yüksek Birim Tüketim (kWh/m<sup>3</sup>)</b> | <b>Su Kalitesine Bağlı En Düşük Birim Tüketim (kWh/m<sup>3</sup>)</b> |
|---|--|---|
| Fiziksel Arıtma                           | 0,066  | 0,050   |
| Biyolojik Arıtma                          | 0,210  | 0,158   |
| Kimyasal Arıtma                           | 0,067  | 0,050   |
| Son Terfi Yapısı                          | 0,416  | 0,312   |
| <b>TOPLAM</b>                             | <b>0,76</b>  | <b>0,57</b>   |

**Çizelge 4.16.** İleri arıtma alt sistemleri için elektrik enerjisi envanteri

| <b>İleri Arıtma<br/>Alt Sistemler</b> | <b>Su Kalitesine Bağlı En<br/>Yüksek Birim Tüketim<br/>(kWh/m<sup>3</sup>)</b> | <b>Su Kalitesine Bağlı En<br/>Düşük Birim Tüketim<br/>(kWh/m<sup>3</sup>)</b> |
|---------------------------------------|--|---|
| Ultrafiltrasyon Sistemi               | 0,48   | 0,27  |
| Ters Ozmos Sistemi                    | 1,67   | 0,94  |
| <b>TOPLAM</b>                         | <b>2,15</b>  | <b>1,21</b>   |

Su Üretim Tesisi envanter analizi çalışmalarına, proses suyu üretim sürecinde gerçekleşen çevresel emisyonlar belirlenerek devam edilmiştir. Çizelge 4.17’de oluşan proses atıkları listelenmiş ve atık miktarları fonksiyonel birim ile ilişkilendirilerek bu çalışma için gerekli veriler hesaplanmıştır.

**Çizelge 4.17.** Proses suyu üretim sürecinde oluşan çevresel emisyonlar

|  | <b>Atık Türleri</b>                            | <b>Sistem Sınırları<br/>Dâhilinde Oluşan<br/>Atık Miktarları<br/>(kg/m<sup>3</sup>) – ( m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> )</b> |
|--|--|---|
| Katı Atıklar<br>(kg/m <sup>3</sup> )         | Biyolojik Arıtma Çamuru                        | 0,0843  |
|  | Kimyasal Arıtma Çamuru                         | 0,1685  |
|  | Polipropilen Kartuş Filtre Atıkları            | 0,002102  |
| Atıksu<br>( m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ) | Ultrafiltrasyon Ters ve Kimyasal Yıkama Suları | 0,1765  |
|  | Ters Ozmos Konsantre Suyu                      | 0,4286  |

#### 4.2.2. Varsayımlar

Proses suyu üretim sürecinde kullanılan kimyasal malzemelerin temin edildiği tedarikçi firmalar ile Su Üretim Tesisi arasında bulunan mesafeler aşağıda Çizelge 4.18 ve Çizelge 4.19’da verilmiştir.



**Çizelge 4.18.** Kimyasal malzemelerin temin edildiği firmalar ile Su Üretim Tesisi arasında mesafeler (Konvansiyonel arıtma)

| <b>Konvansiyonel Arıtma Kimyasallar</b> | <b>Su Üretim Tesisi – Tedarikçi Firma Arasındaki Mesafe (km)</b> |
|---|--|
| Renk Giderici (Organik Polimer)         | 80   |
| Koagülant (PAK 10)                      | 130  |
| Flokülant (Anyonik Polielektrolit)      | 140  |
| Sodyum Hipoklorit                       | 130  |

**Çizelge 4.19.** Kimyasal malzemelerin temin edildiği firmalar ile Su Üretim Tesisi arasında mesafeler (İleri arıtma)

| <b>İleri Arıtma Kimyasallar</b> | <b>Su Üretim Tesisi – Tedarikçi Firma Arasındaki Mesafe (km)</b> |
|---------------------------------|--|
| UF Koagülant (PAK 17)           | 130  |
| Sodyum Hidroksit                | 130  |
| Sülfürik Asit                   | 5  |
| Sodyum Hipoklorit               | 130  |
| Alkali Yıkama Kimyasalı         | 130  |
| Asit Yıkama Kimyasalı           | 130  |
| Smbs                            | 80   |
| Antiscalant                     | 140  |

Kimyasal malzemelerin tesise taşıma verileri, Agri-footprint veri tabanı ikincil verileri ile birlikte analiz edilmiştir. Bu kimyasalların karayolu taşımada kullanılan araçların, % 100 doluluk oranı ile taşıma yaptığı, kimyasal tesise ulaştırıldıktan sonra tedarikçi firmaya boş olarak dönüş yapacağı ve araçların motor standartlarının EURO 3 emisyon standartlarında olduğu varsayılmıştır.

Elektrik enerjisi verileri, Su Üretim Tesisi iç raporlarından elde edilen veriler ile SimaPro 8.2.0 yazılımının ecoinvent 3 veri tabanından alınan arka plan (ikincil) veriler birlikte değerlendirilmiştir. Türkiye ulusal elektrik elde dağılımı bilgilerini içeren ve tesise orta gerilim şebekesinden elektrik enerjisi temin edildiği göz önüne alınarak ecoinvent 3 veri tabanından ilgili veri seçilmiştir.

### 4.2.3. Hesaplama Prosedürü

Girdilerin ve üretilen atıkların ne kadarının ele alınan çıktı ile ilgili olduğu bu aşamada belirlenmiştir. Bu amaçla 1 m<sup>3</sup> proses suyu üretimi için ne kadar enerji ve malzeme gerektiği ve yine aynı amaçla 1 m<sup>3</sup> proses suyu üretiminden kaynaklanan çevresel salınımlar hesaplanmıştır. Kimyasal malzemelerin taşıma verileri ise; m<sup>3</sup> başına kimyasal tüketim miktarlarının, tedarik edilen firma ile tesis arasındaki mesafe değerinin çarpılmasıyla 'kg.km' birimi hesaplanarak veri girişleri yapılmıştır.

### 4.3. Yaşam Döngüsü Etki Analizi

Yaşam döngüsü envanter analizi safhasında sisteme giren hammadde ve enerji bileşenleri ile sistemden çıkan kirletici bileşenler fonksiyonel birim ile ilişkilendirilerek tanımlandıktan sonra bu verilerin insan sağlığı, çevresel değerler ve doğal kaynakların tüketimi üzerine olan etkileri yaşam döngüsü etki analizi aşamasında incelenmiştir. Bu aşamada matematiksel tabanlı hesaplara dayanan birçok metot bulunmaktadır. Oluşturulan yaşam döngüleri, karşılaştırılmak istenen sistemler, metotlardan en uygun olanı tercih edilerek yaşam döngüsü etki analizi gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan SimaPro 8.2.0 yazılımında hem orta nokta hem de son nokta prensibine dayanan etki analizi metotları bulunmaktadır. Son nokta prensibine dayanan metotlar, orta nokta prensibine dayanan metotlara göre anlaşılması daha kolay olup bu metotlar analistler tarafından daha çok kullanılmaktadır. Bu çalışmada hem orta nokta hem de son nokta analizlerini içeren SimaPro 8.2.0 yazılımında bulunan ReCiPe Endpoint (H) Version 1.12 metodu tercih edilmiştir.

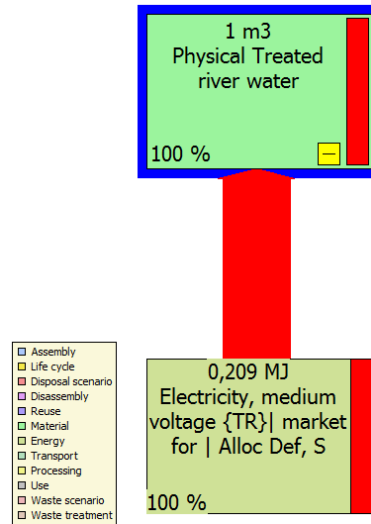
## 4.4. Yorumlama

### 4.4.1. BOSB Su Üretim Tesisinin çevresel yükünün değerlendirilmesi

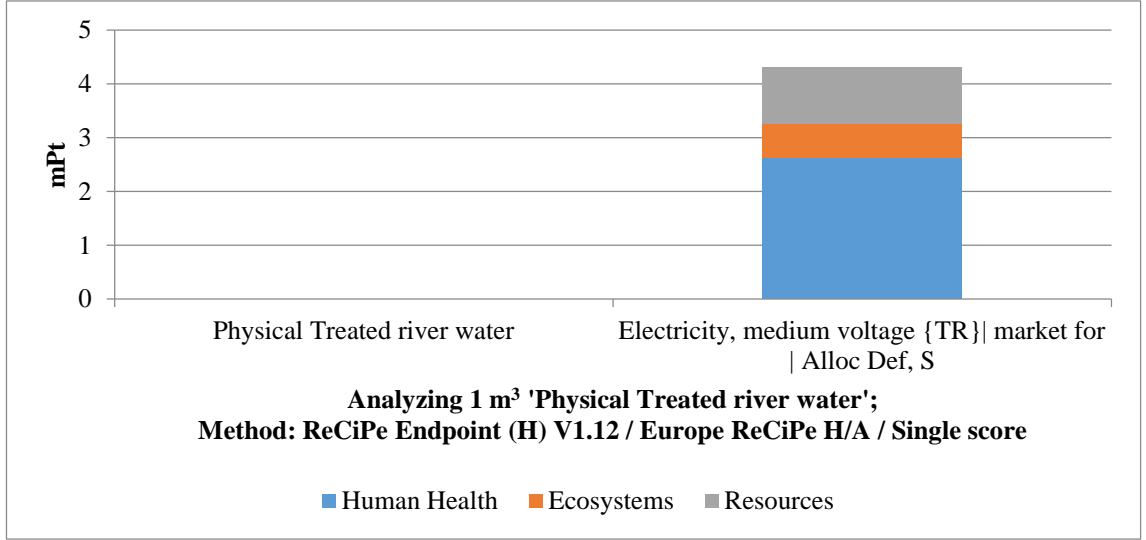
- Fiziksel arıtma alt sisteminin çevresel yükünün değerlendirilmesi

Fiziksel arıtma alt sisteminin girdileri dere suyu ve elektrik enerjisi olup elektrik enerjisinin bu alt sistemin çevresel yükünü yalnız başına oluşturduğu Şekil 4.8’de görülmektedir. Bu alt sistemde elektrik enerjisi sarfiyatlarının ana kaynağı su alma yapısında yer alan terfi pompalarıdır.

Bu alt sistemin orta nokta etki kategorilerine göre oluşturulan karakterizasyon grafiğinde, tüm zarar sınıflarında %100 oranında elektrik enerjisinin etkileri görüldüğü için bu grafiğin çalışmada gösterimine gerek duyulmamıştır. Şekil 4.9’da mPt birimi cinsinden yapılan hesaplamalar ile sistemin tüm girdi ve çıktılarının son nokta etki kategorilerine göre analizi sonucunda oluşan grafik verilmiştir. ‘Pt’ birimi (point), Avrupa’da yapılan çevresel yük ile ilgili hesaplamalar sonucu ortaya çıkmıştır. Avrupa ülkelerinde yaşayan bir kişinin bir yılda çevreye verdiği yük 1 kPt olarak kabul edilmiştir. Bu birimin binde biri Pt (point)dir ve bu çalışmada ise mPt (mili-point) birimi kullanılmıştır.

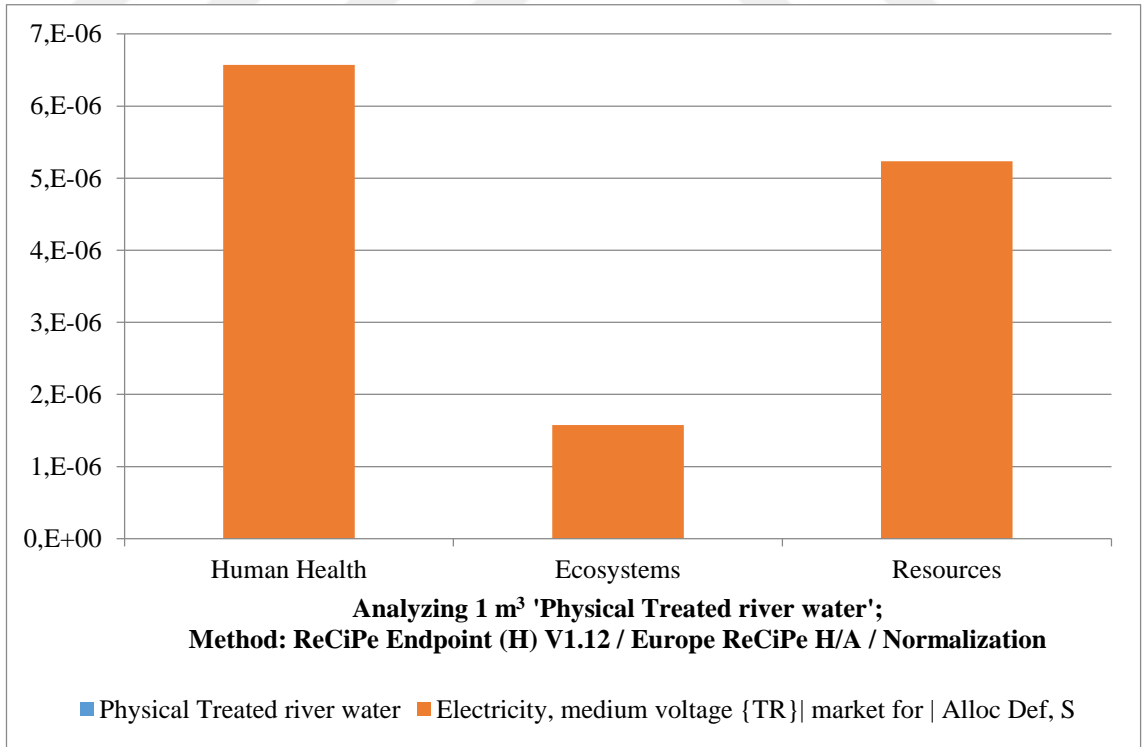


Şekil 4.8. Fiziksel arıtma alt sistemi akım şeması



**Şekil 4.9.** Fiziksel arıtma alt sistemini oluşturan bileşenlerin çevresel yüklerinin karşılaştırılması

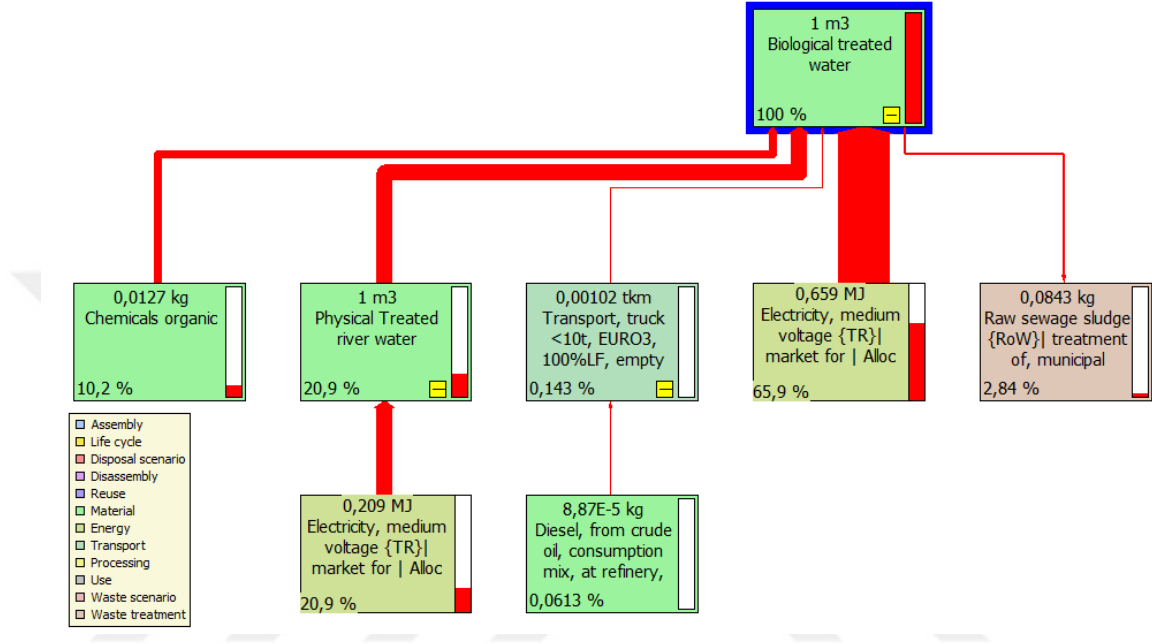
Şekil 4.9 ve Şekil 4.10 bu alt sistemin çevresel yükünün elektrik enerjisinden ileri geldiğinin ve bu girdinin diğer kategorilere kıyasla insan sağlığına etkilerinin en yüksek olduğunu göstermektedir.



**Şekil 4.10.** Fiziksel arıtma alt sistemi son nokta etki kategorilerine göre değerlendirilmesi

- Biyolojik arıtma alt sisteminin çevresel yükünün değerlendirilmesi

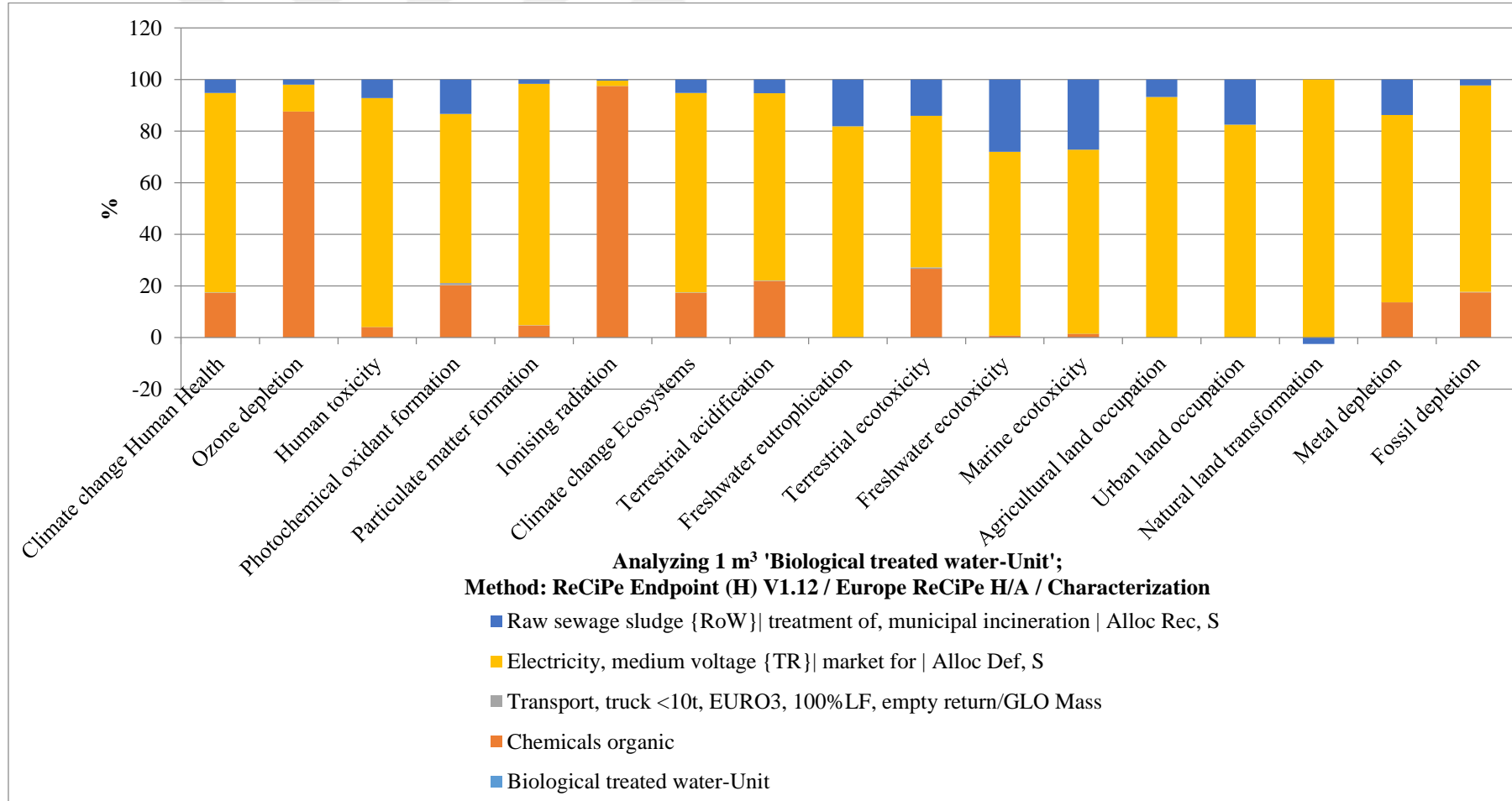
Biyolojik arıtma alt sisteminin en fazla çevresel yüklere sahip olan girdi ve çıktıların ürün ağacı Şekil 4.11’de verilmiştir. Bu şekilde görülen akış çizgilerinin genişliği o bileşenin sahip olduğu çevresel yükün büyüklüğünü göstermektedir.



Şekil 4.11. Biyolojik arıtma alt sistemi akım şeması

Şekil 4.12, Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’de verilen grafiklerde son noktalar olan insan sağlığı, ekosistem çeşitliliği ve kaynakların kullanılabilirliğini oluşturan orta noktalar açısından bir karşılaştırma yapılmıştır.

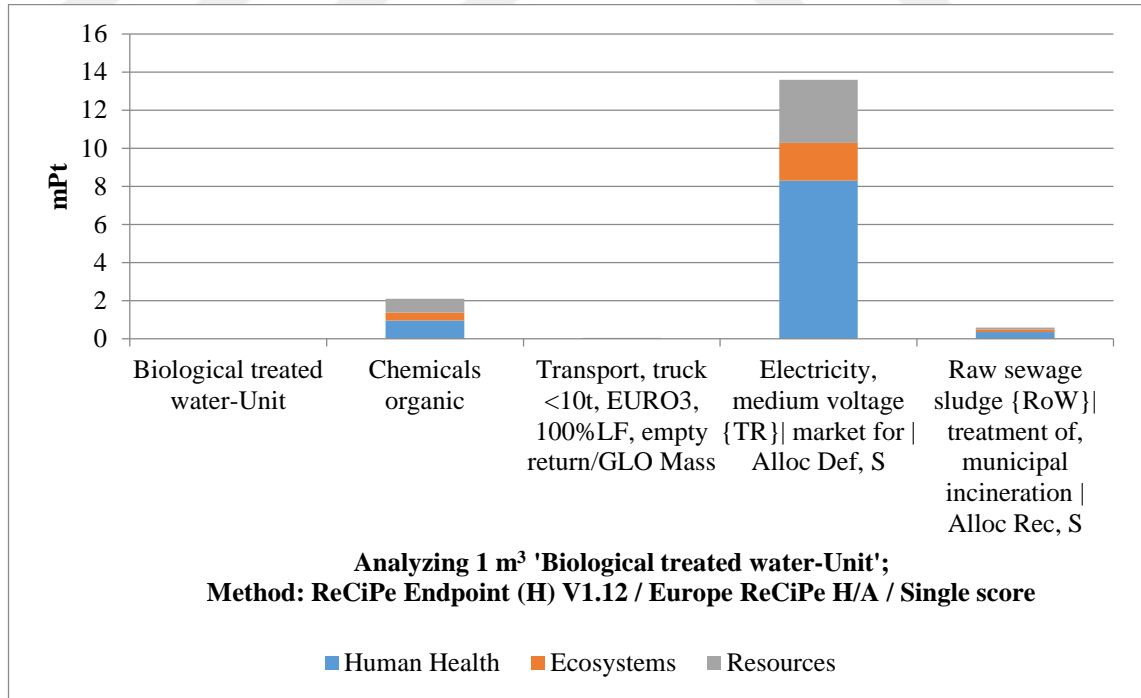
Şekil 4.12’de verilen grafiğe göre, biyolojik arıtma sisteminin ele alınan girdi ve çıktıların yüzde (%) olarak her bir orta nokta etki kategorilerine olan katkılarını göstermektedir. Burada yapılan karşılaştırma; etki kategorileri temel alınarak yapıldığı için, grafikte görülen barlar arasında bir ilişki mevcut değildir başka bir deyişle, bu grafikte etki kategorileri kendi içinde mukayese edilmektedir. Her bir orta nokta etki kategorisi için ayrı ayrı, alt sistemi oluşturan bileşenlerin yüzde(%) olarak ne kadar etkilediği anlatılmak istenmektedir.



Şekil 4.12. Biyolojik arıtma alt sisteminin orta nokta kategorilerine göre değerlendirilmesi

Tüm etki kategorilerini toplam yüz birim üzerinden değerlendirilip, alt bileşenlerin etkileri yüzdesel olarak etki kategorisi içinde dağıtılmıştır. Grafiğin altında yer alan negatif değerler ise, seçilen atık senaryosuna bağlı olarak önlenen zararlı etkileri göstermekte, grafik olumsuzluğu ifade ettiği için bu negatif değerler olumlu olarak ele alınmaktadır.

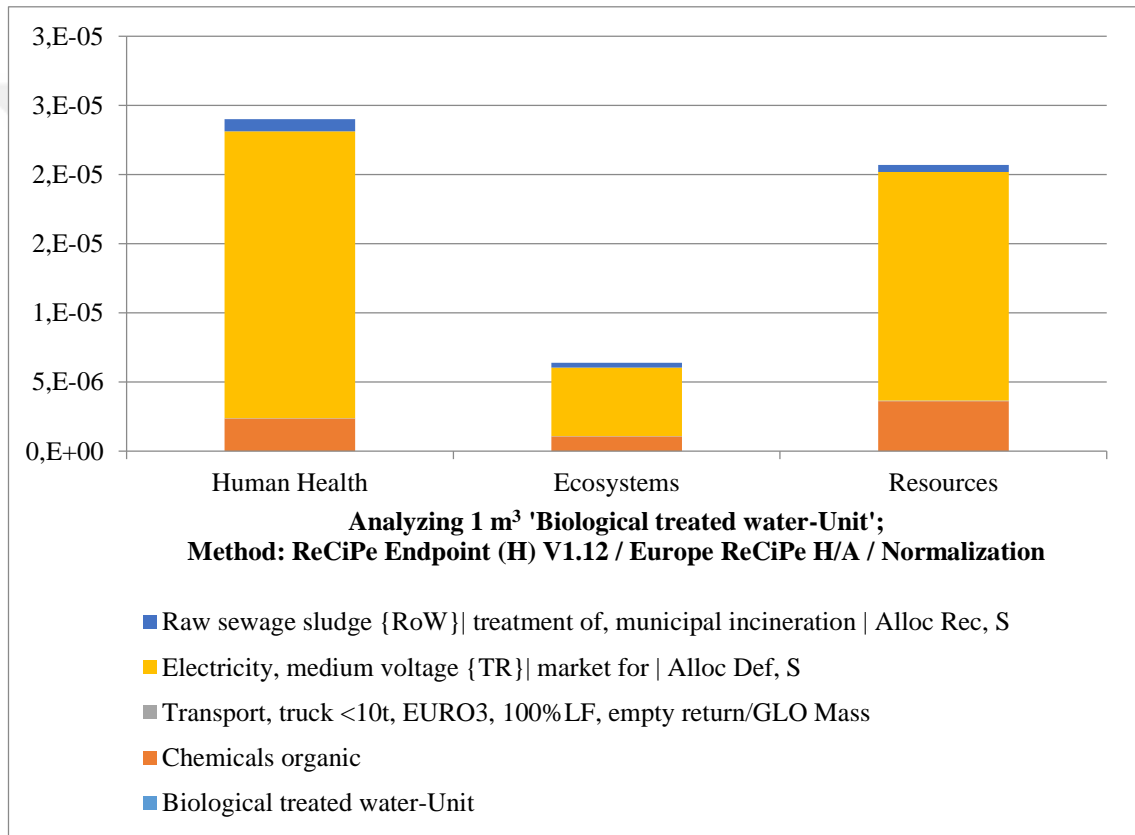
Şekil 4.12'ye göre, ozon tabakası incilmesi ve iyonlaştırıcı radyasyon zarar sınıflarında renk giderici organik polimerin etkisinin en yüksek, diğer orta nokta etki kategorilerinde ise elektrik enerjisinin etkili olduğu görülmektedir. Doğal arazi dönüşümü zarar sınıfında negatif değer mevcut olup, tehlikesiz arıtma çamurunun yakma tesisinde bertarafının bu etki kategorisinde olumlu etkisi olduğu anlaşılmaktadır. Bu olumlu etkinin, arıtma çamurunun düzenli veya vahşi depolama sahalarında depolandığında oluşabilecek negatif etkileri engellediği için olabileceği düşünülmektedir. Ancak grafikten tehlikesiz çamur bertarafının diğer etki kategorilerinde olumsuz etki gösterdiği görülmektedir. Bu durum arıtma çamurunun yakılmasıyla açığa çıkacak sera gazı emisyonlarının ve atıksuların çevreye ve insan sağlığına vereceği zararlar ile açıklanabilir.



Şekil 4.13. Biyolojik arıtma alt sistemini oluşturan bileşenlerin çevresel yüklerinin karşılaştırılması

Şekil 4.13’de biyolojik arıtma sisteminde en yüksek etkiye sahip parametrenin elektrik olduğu görülmektedir. Elektrik enerjisinin ise en fazla insan sağlığı üzerine etki yaptığı grafikten anlaşılmaktadır. Biyolojik arıtma sisteminde elektrik sarfiyatının oluşumuna sebep olan en önemli etken, havalandırma havuzlarında aktif biyokütlenin canlılığının devam etmesi için gerekli oksijeni sağlayan blower ekipmanlarından kaynaklanmaktadır.

Bu sistemde elektrik enerjisinden sonra en büyük etkiyi renk giderici organik polimerin yaptığı görülmektedir.



**Şekil 4.14.** Biyolojik arıtma alt sistemi son nokta etki kategorilerine göre değerlendirilmesi

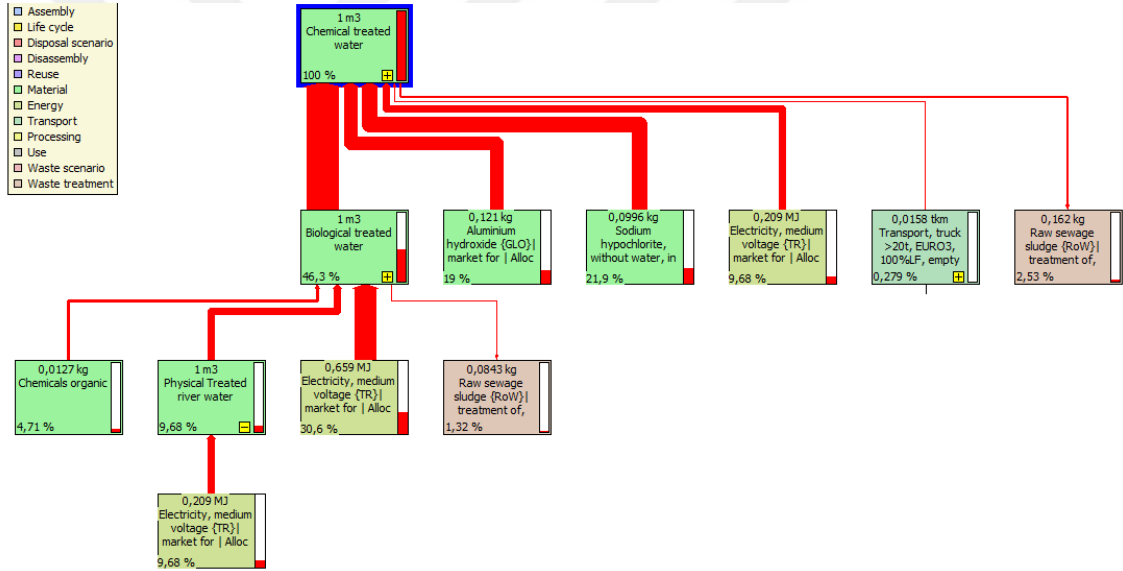
Normalize edilmiş sonuçlara göre oluşturulan grafik Şekil 4.14’de verilmiştir. Biyolojik arıtma sisteminin, elektrik enerjisi girdisinden kaynaklanan insan sağlığı zarar sınıfında en fazla etkiye sahip olduğu bu grafik ile de desteklenmektedir. Literatürde hem elektrik enerjisi üretiminden kaynaklanan hem de elektrik enerjisinin dağıtımı ile ilgili olarak yüksek gerilim hatları ve bunlara ait elektromanyetik alanların sağlık üzerine olumsuz



etkileri görüldüğüne dair yapılan çalışmalar grafikleri doğrular niteliktedir. 2016 yılı resmi verilerine göre ülkemizde elektrik enerjisinin %75'i doğal gaz, termik enerji santralleri ve hidrolik barajlı ve akarsu üzerine kurulu enerji santrallerinden elde edilmektedir. Özellikle doğalgaz ve termik enerji santrallerinden kaynaklanan çevresel emisyonların etkilerinin, iklim değişikliği, partikül madde dönüşümü, insan toksisitesi ve fosil yakıtların tükenmesi kategorilerinde etkili olduğu düşünülmektedir.

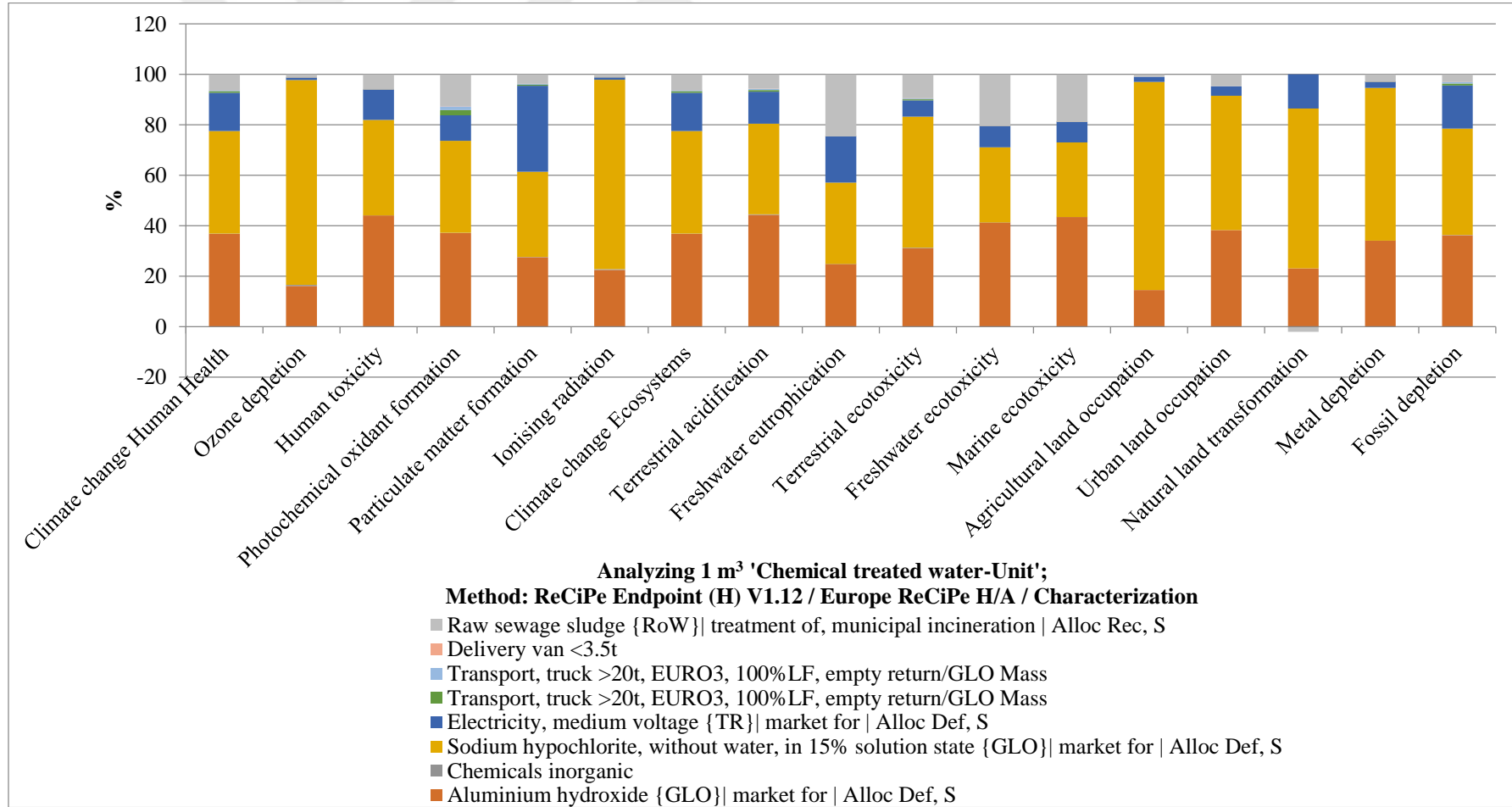
- Kimyasal arıtma alt sisteminin çevresel yükünün değerlendirilmesi

Kimyasal arıtma alt sisteminin girdi ve çıktıların gösterildiği akım şeması Şekil 4.15'de verilmiştir.

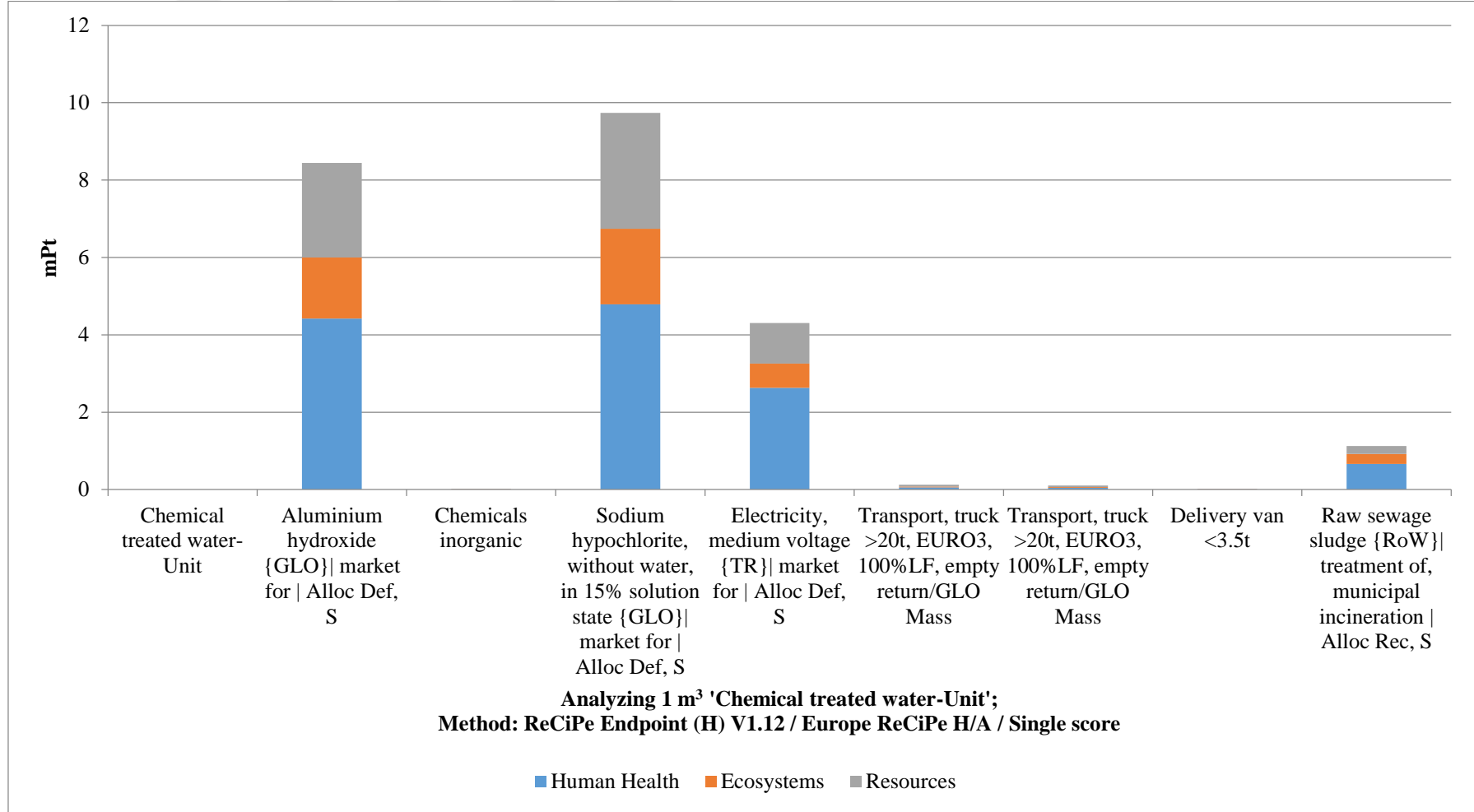


Şekil 4.15. Kimyasal arıtma alt sistemi akım şeması

Şekil 4.16'da kimyasal arıtma alt sisteminin orta nokta etki kategorilerine göre analizi verilmiştir. Bu grafiğe göre; sodyum hipoklorit ve poli alüminyum klorür hidroksit kimyasallarının tüm etki kategorilerinde yüksek çevresel etkilere sahip olduğu anlaşılmaktadır. Bu alt sistemde, elektrik enerjisinin bu kimyasallardan sonra en yüksek çevresel etki yaratan parametre olduğu gözlenmektedir. Kimyasal çamurun yakma tesisinde bertaraf edilmesinin, doğal arazi dönüşüm zarar sınıfında olumlu, diğer sınıflarda ise olumsuz etkileri grafikte görülmektedir.



Şekil 4.16. Kimyasal arıtma alt sisteminin orta nokta kategorilerine göre değerlendirilmesi

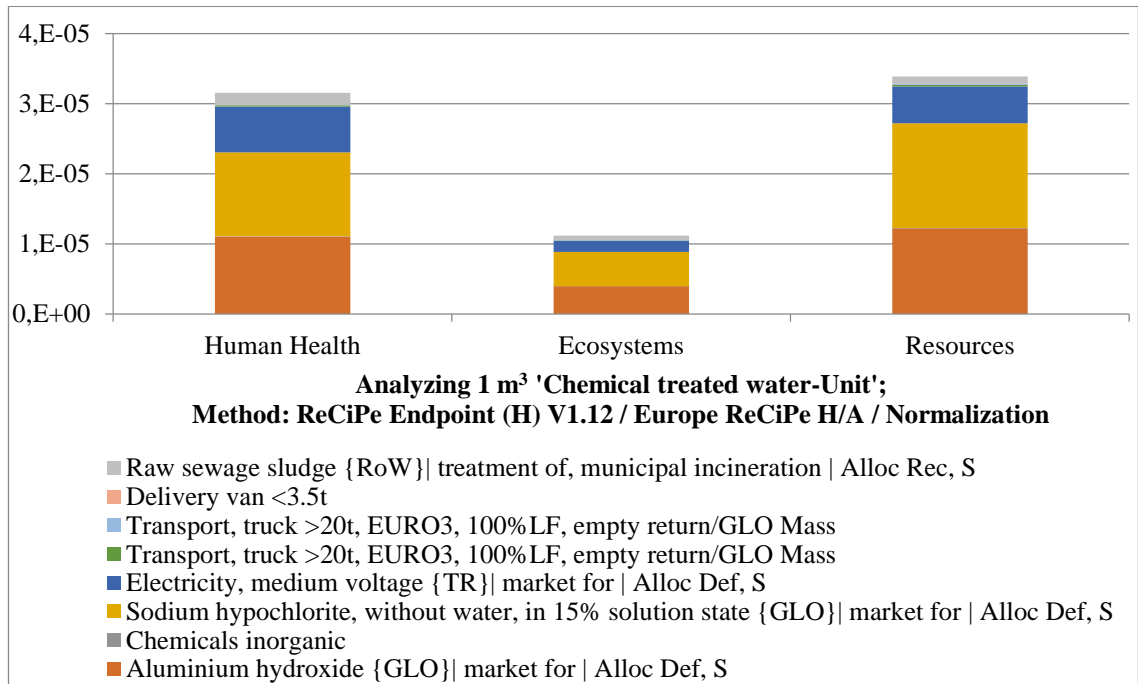


Şekil 4.17. Kimyasal arıtma alt sistemini oluşturan bileşenlerin çevresel yüklerinin karşılaştırılması

Kimyasal arıtma alt sistemine dahil olan tüm bileşenlerin izlenebildiği Şekil 4.17'den sodyum hipokloridin çevresel etkisinin en yüksek olduğu çıkarılmaktadır. Bu grafik gösteriminden de anlaşıldığı üzere sodyum hipoklorit kimyasalından kaynaklanan etkileri sırasıyla; poli alüminyum klorür hidroksit, elektrik enerjisi ve çamur bertarafı bileşenlerinden kaynaklanan çevresel etkiler takip etmektedir.

Şekil 4.18'de verilen son nokta kategorilerine göre analiz grafiğinde ise; sodyum hipoklorit ve poli alüminyum klorür hidroksit eldesinden ve kullanımından kaynaklanan etkilerle, bu alt sistemin en çok doğal kaynaklar kategorisinde çevresel zarar verildiği ortaya konulmuştur.

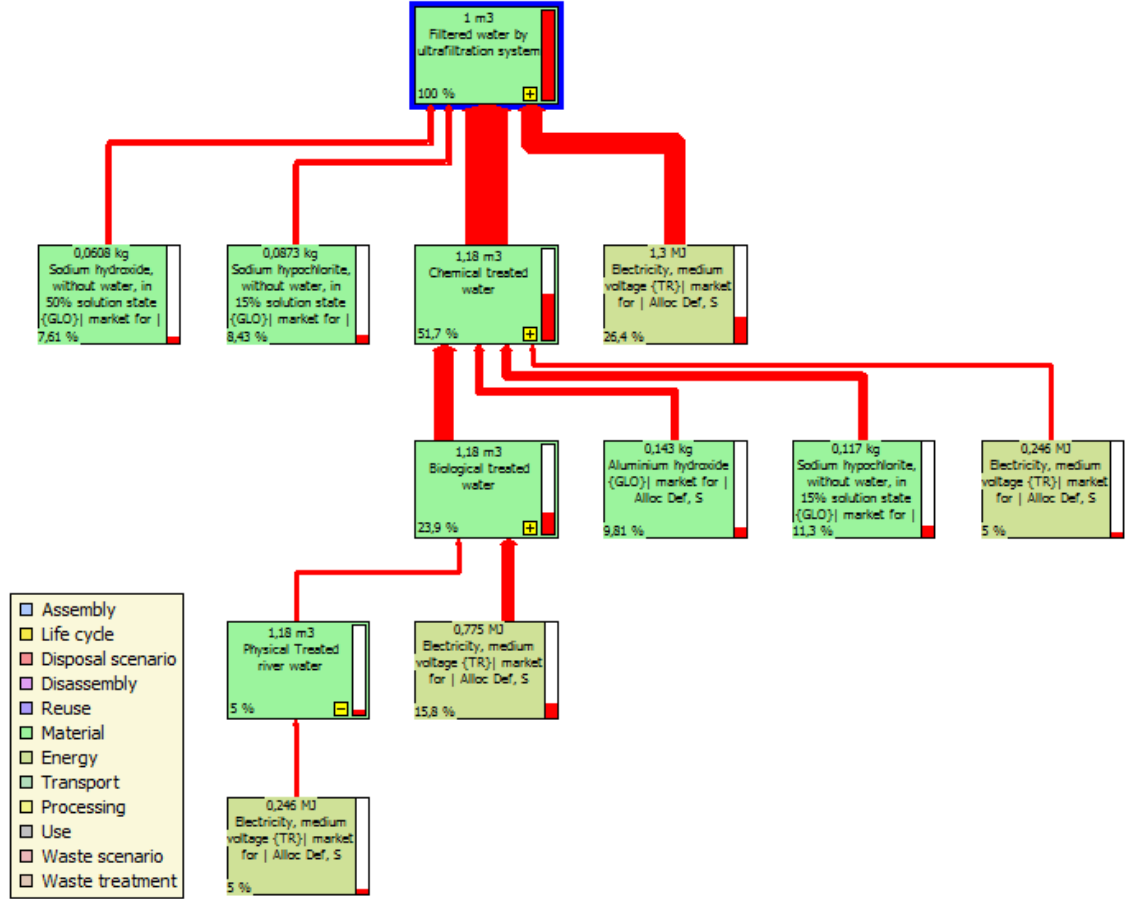
Kimyasal arıtma alt sisteminde yaşam döngüsü etki analiz sonuçları ile envanter analizi sonuçları beraber değerlendirildiğinde; bu sistemde en fazla birim tüketime sahip kimyasalın poli alüminyum hidroksit, ikinci olarak ise sodyum hipoklorit gelmektedir. Ancak etki analizi sonuçları, sodyum hipokloridin daha yüksek çevresel etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Kimyasal tüketim miktarlarına doğrudan bağlı olmadığı anlaşılmaktadır.



**Şekil 4.18.** Kimyasal arıtma alt sistemi son nokta etki kategorilerine göre değerlendirilmesi

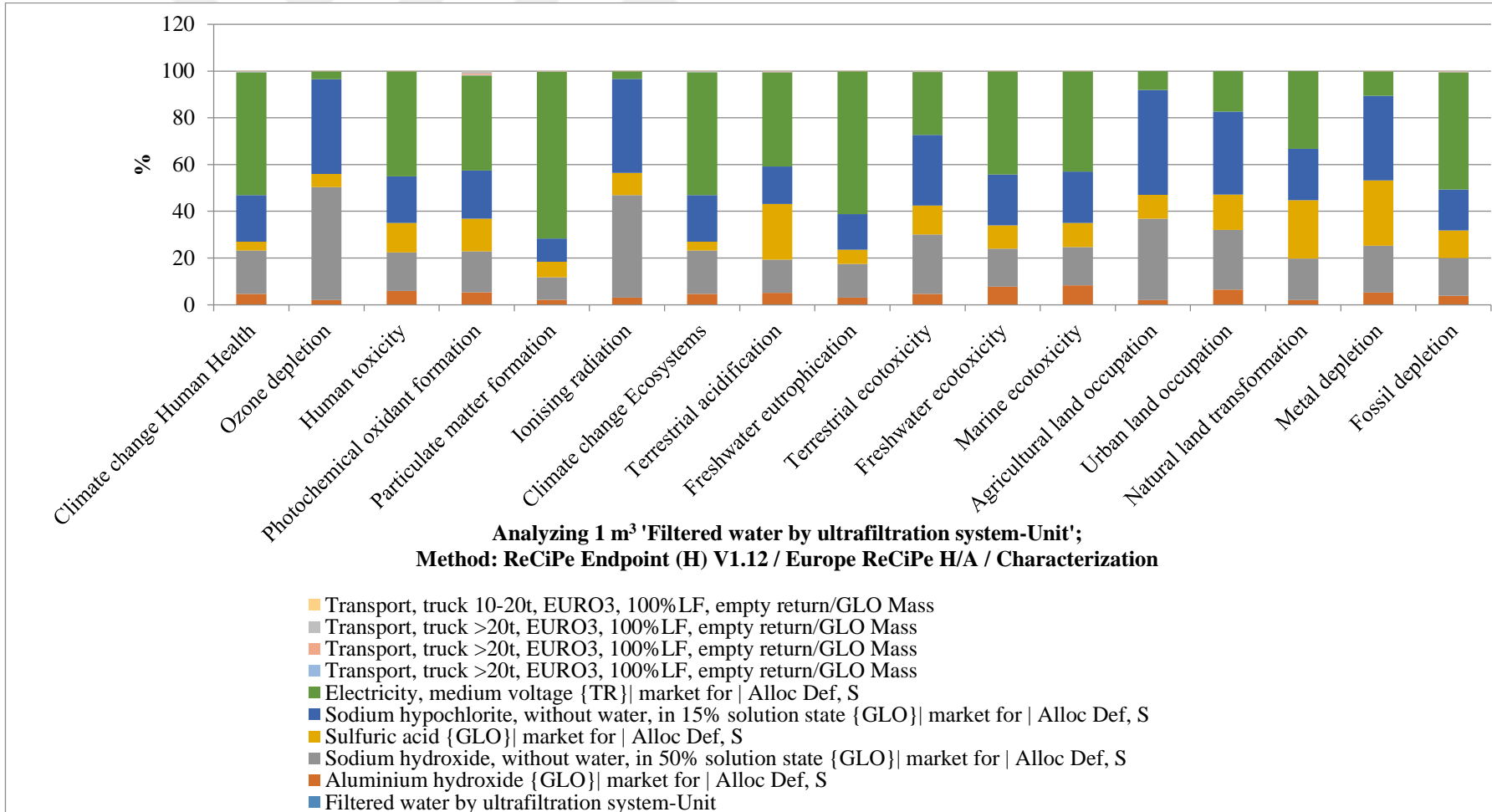
- Ultrafiltrasyon alt sisteminin çevresel yükünün değerlendirilmesi

Bu alt sistemin akım şeması Şekil 4.19’da verilmiştir.

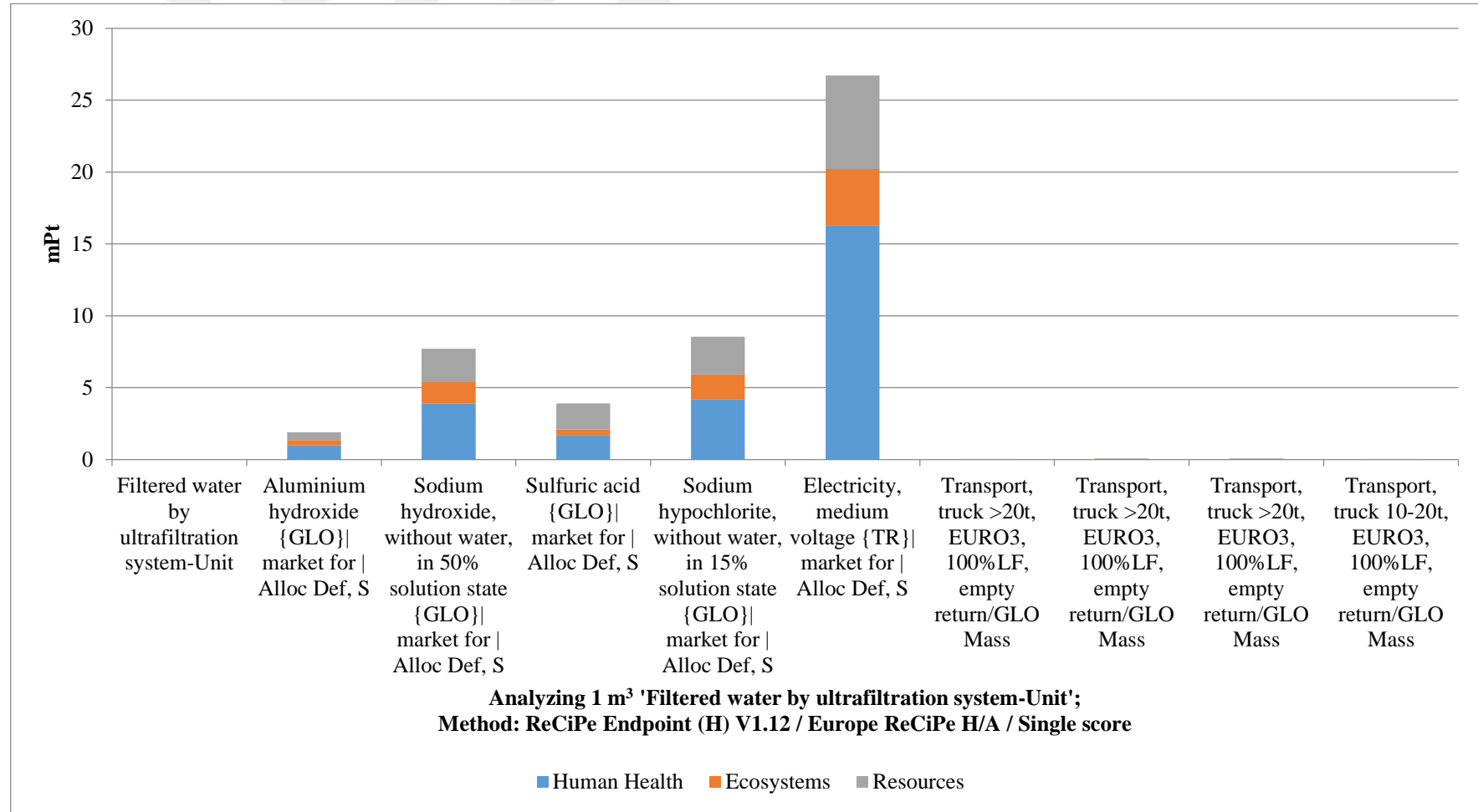


Şekil 4.19. Ultrafiltrasyon alt sisteminin akım şeması

Ultrafiltrasyon sisteminin, Şekil 4.20’de orta nokta etki kategorilerine göre analiz sonuçlarını veren grafik görülmektedir. Ozon tabakası tükenmesi, iyonlaştırıcı radyasyon, karasal ekotoksisite, tarımsal arazi işgali, şehir arazisi işgali ve mineral kaynakların tükenmesi etki kategorilerinde sodyum hidroksit ve sodyum hipoklorit kullanım ve eldesi etkilerinin yüksek, diğer kategorilerde elektrik enerjisinin elde ve kullanımlarından kaynaklanan çevresel etkilerin yüksek olduğu görülmektedir.



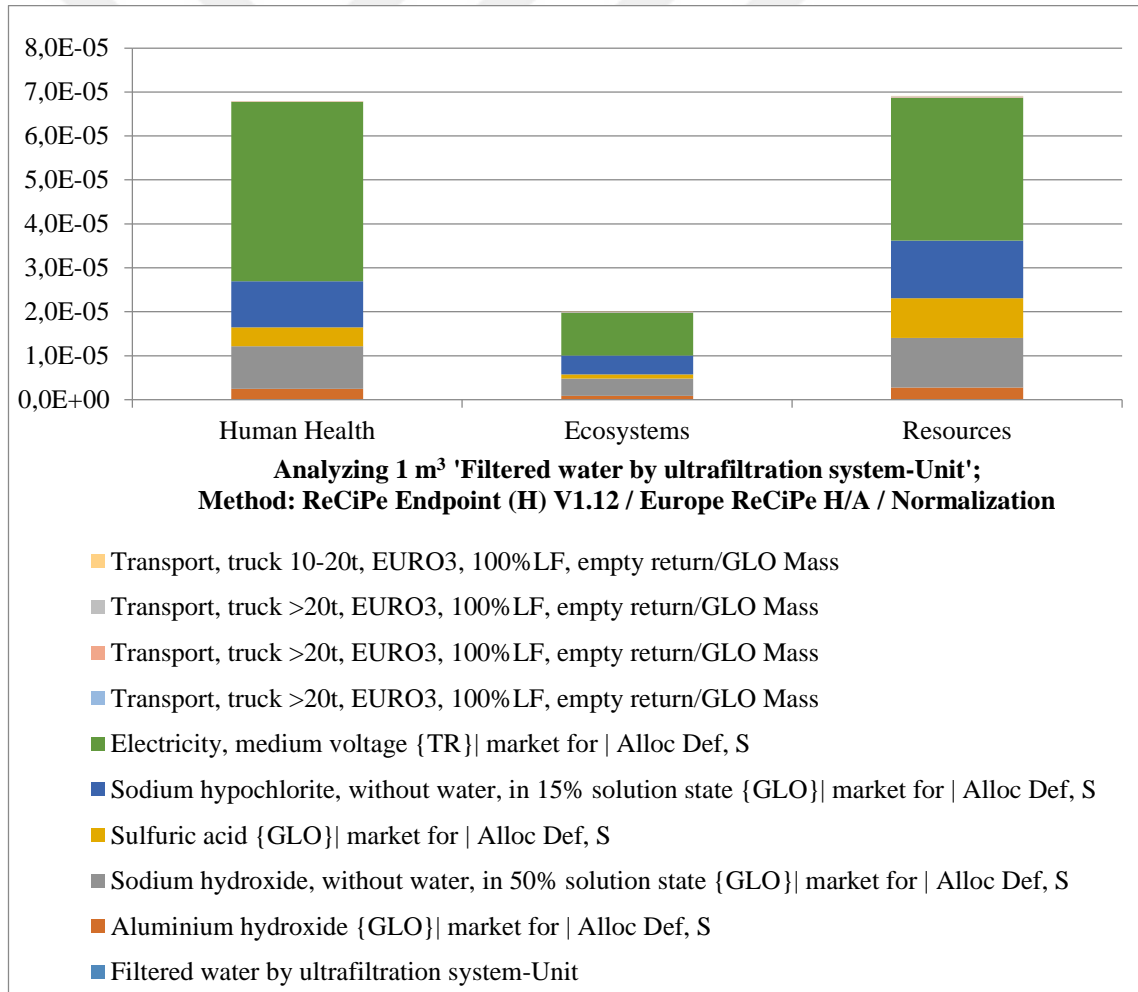
Şekil 4.20. Ultrafiltrasyon alt sisteminin orta nokta kategorilerine göre değerlendirilmesi



Şekil 4.21. Ultrafiltrasyon alt sistemini oluşturan bileşenlerin çevresel yüklerinin karşılaştırılması

Ultrafiltrasyon sisteminin girdi ve çıktılarına ait çevresel yüklerinin analiz edilebildiği Şekil 4.21’de verilen grafik, elektrik enerjisinin en yüksek çevresel etkiye sahip olduğunu doğrulamaktadır. Son nokta normalizasyon grafiğinin verildiği Şekil 4.22’ye göre bu alt sistemin kaynaklar ve insan sağlığına yüksek etki gösterdiği, bu etkilerde payı en yüksek olan bileşenin ise elektrik enerjisi olduğu anlaşılmaktadır.

Ülkemizde elektrik enerjisi eldesinde fosil yakıtların kullanıldığı termik santrallerin halen aktif bir şekilde faaliyet göstermesi nedeniyle kaynaklar ve insan sağlığı kategorilerinde fazla yüke sahip olduğu düşünülmektedir. Termik santrallerin yarattığı sorunlardan iklim değişikliği, partikül madde oluşumu, insan sağlığı toksisitesi üzerine olan etkileri dünyada ve ülkemizde yapılan bir çok çalışma ile açıklanmıştır.

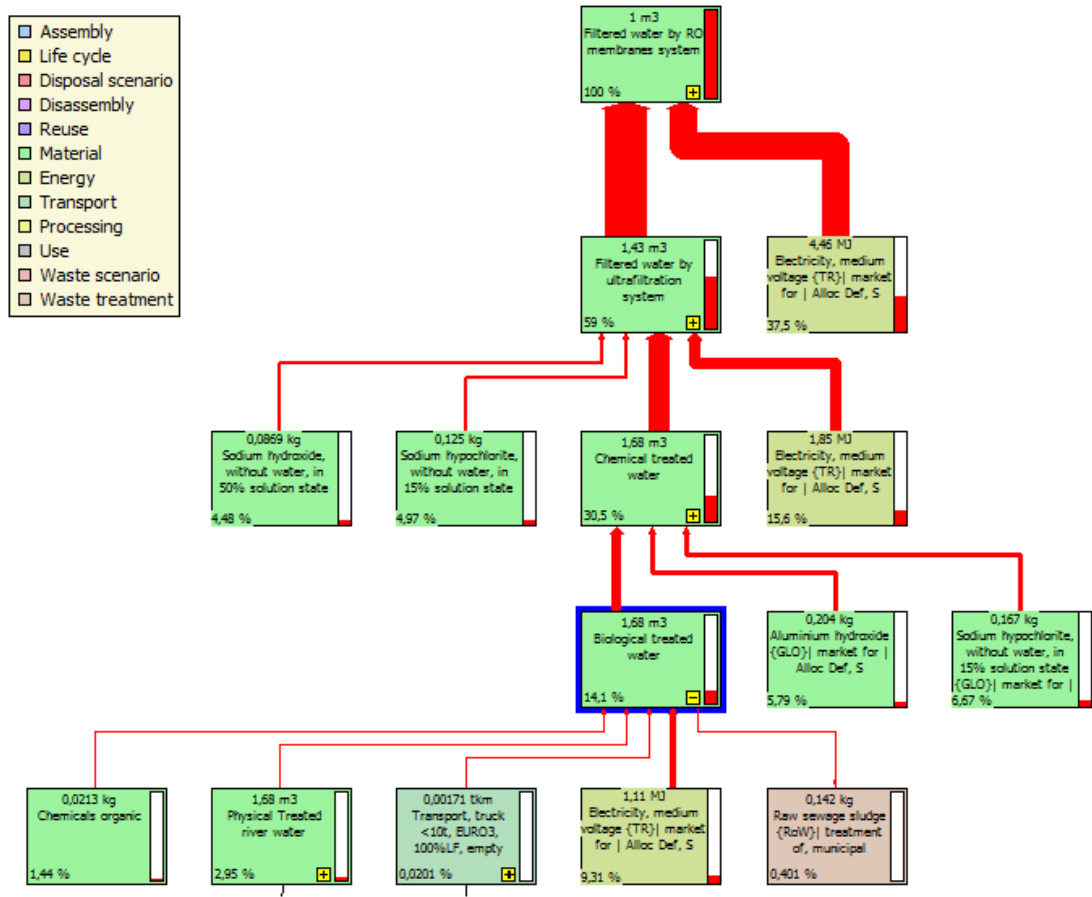


**Şekil 4.22.** Ultrafiltrasyon alt sisteminin son nokta kategorilerine göre değerlendirilmesi



- Ters ozmos alt sisteminin çevresel yüklerinin değerlendirilmesi

Ters ozmos alt sisteminin akış diyagramı Şekil 4.23’de verilmiştir. Akış diyagramında sistemi oluşturan bileşenlerden en yüksek çevresel yüke sahip olanlar gösterildiği için bu diyagramda; konvansiyonel prosesleri tamamladıktan sonra ultrafiltrasyon membranlarında filtre edilmiş su (%59) ve elektrik enerjisi (%37,5) ürün ağacı üzerinde görülebilmektedir. Çevresel yükün %3,5 oranında paya sahip olan ters ozmos sisteminde kullanılan tüm kimyasal diyagram üzerinde yer almamaktadır.

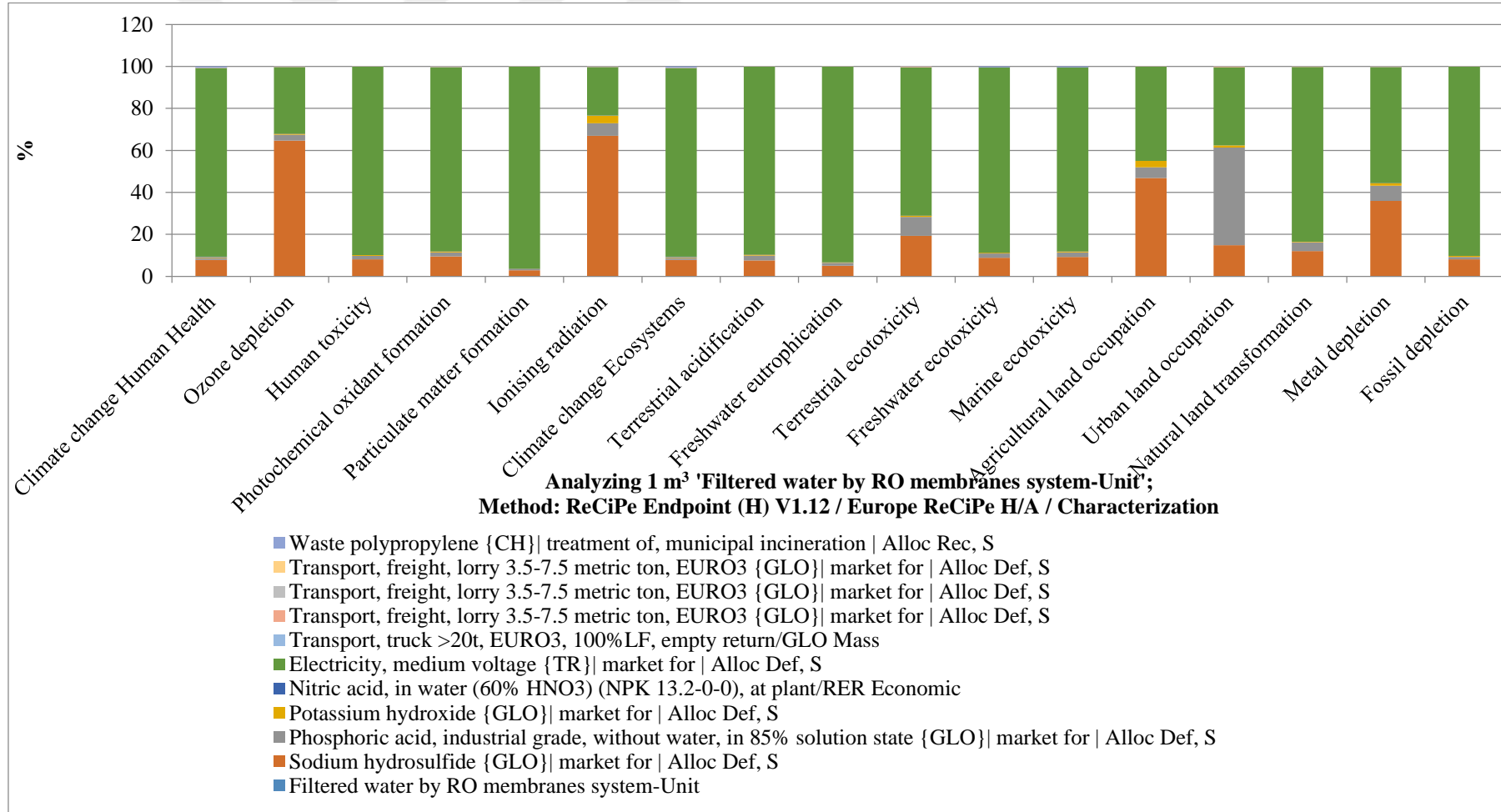


Şekil 4.23. Ters ozmos alt sistemi akış diyagramı

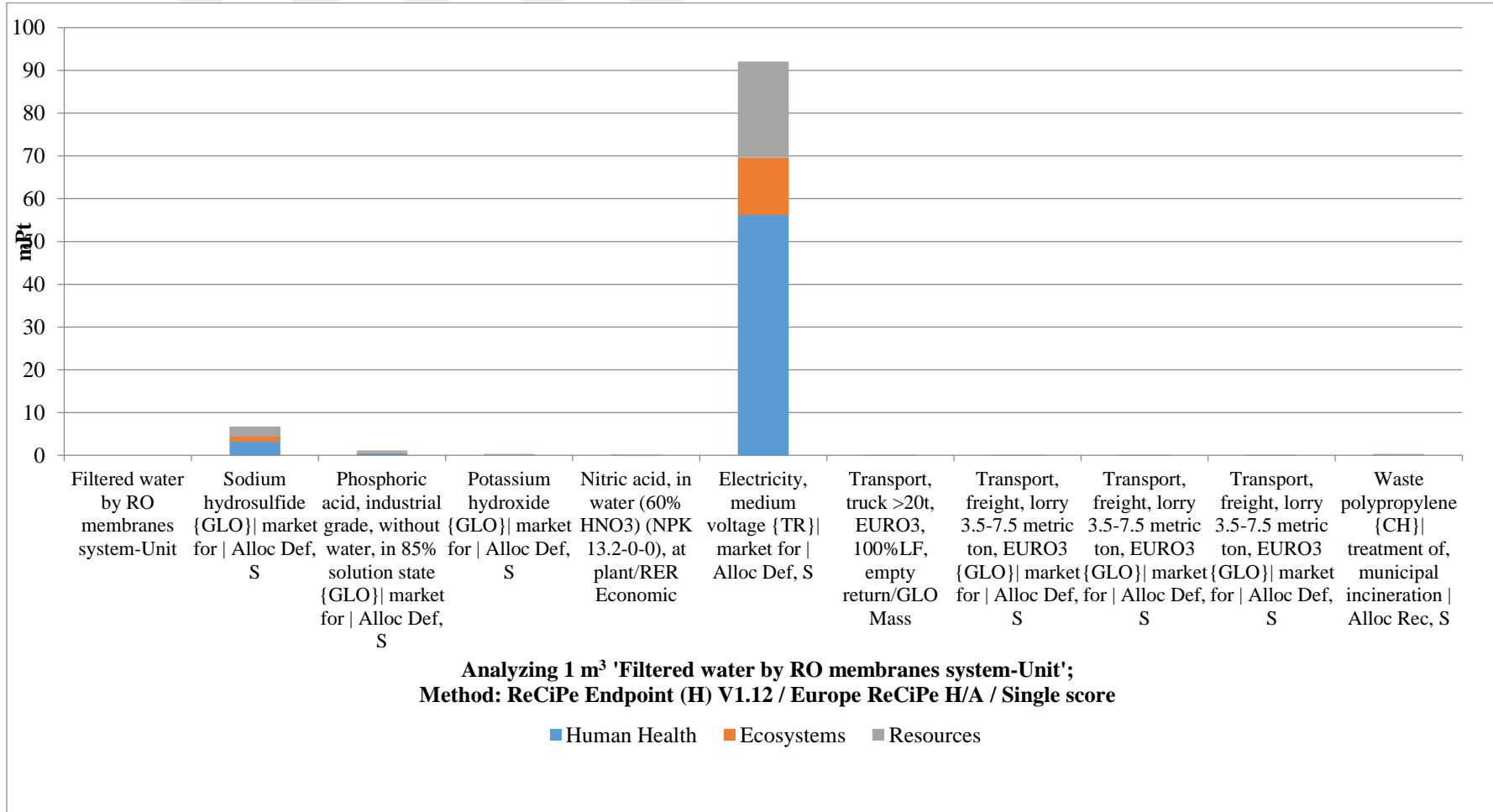
Bu alt sistemin orta nokta etki kategorilerine göre analiz sonuçları Şekil 4.24’de yer alan grafik ile verilmiştir. Ozon tabakasının incilmesi, iyonlaştırıcı radyasyon, tarımsal arazi işgali ve kentsel arazi işgali zarar sınıflarında kimyasal malzemelerin etkileri yoğunlukta olduğu, diğer sınıflarda ise elektrik enerjisinden kaynaklanan çevresel etkilerin yüksek paya sahip olduğu grafikten çıkarılmaktadır.

Ters ozmos membranlarında antiscalant olarak kullanılan fosforik asit bazlı kimyasalın kentsel arazi işgali zarar sınıfında %47 oranında en yüksek etkiyi yarattığı görülmektedir. Sistem sınırları kapsamında kullanılan sodyum hipoklorit kimyasalı etkisiyle suda kalan bakiye klorun nötralize edilmesi amacıyla kullanılan sodyum metabisülfid kimyasalı, ozon tabakasının incilmesi, iyonlaştırıcı radyasyon ve tarımsal arazi işgali zarar sınıflarında en fazla oranda yükü taşımaktadır.



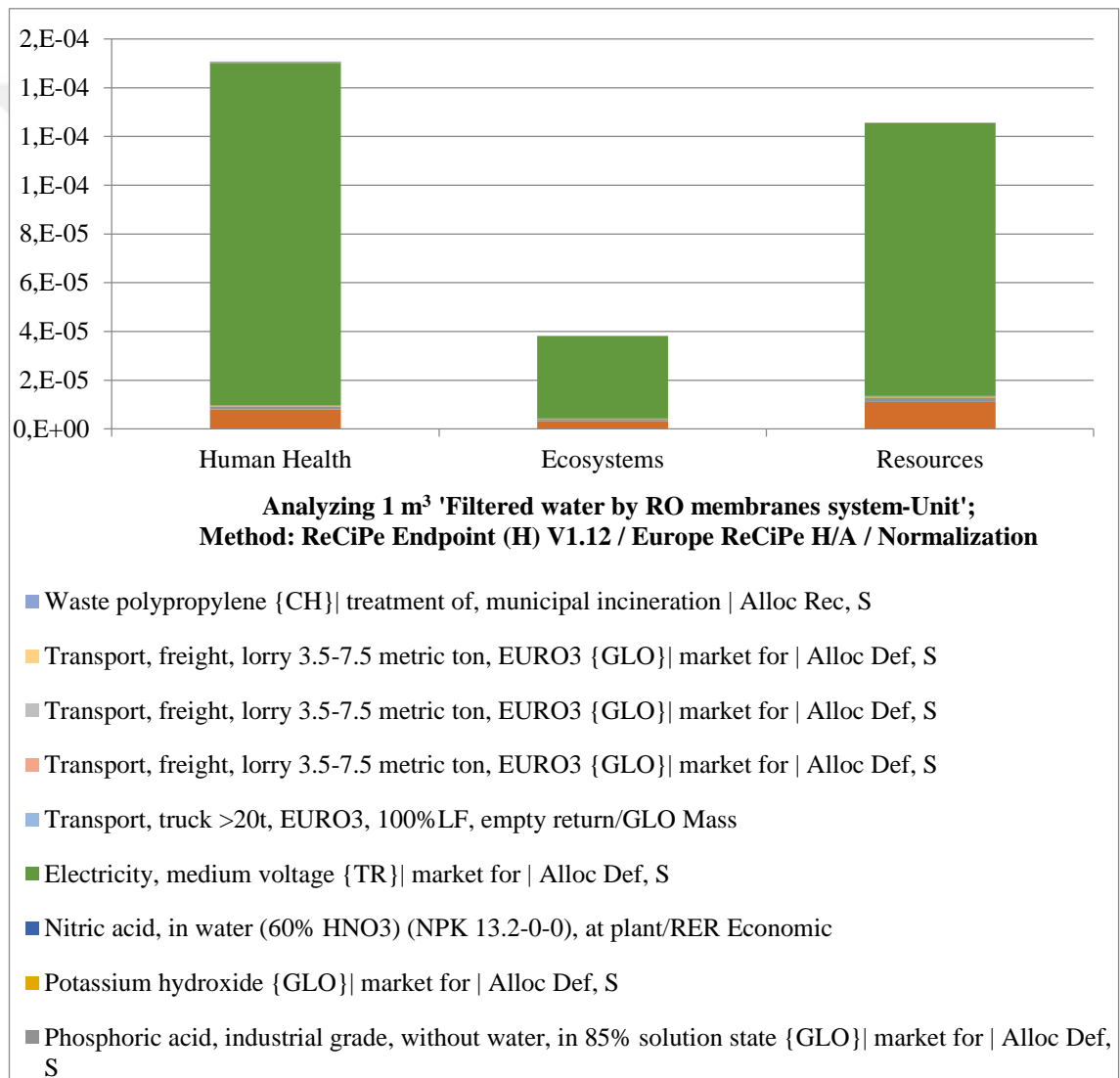


Şekil 4.24. Ters ozmos alt sisteminin orta nokta kategorilerine göre değerlendirilmesi



Şekil 4.25. Ters ozmos alt sistemini oluşturan bileşenlerin çevresel yüklerinin karşılaştırılması

Şekil 4.25 ve Şekil 4.26'da son nokta etki kategorilerine göre yapılan analiz sonucunda oluşan grafikler verilmiştir. Bu grafikler de elektrik enerjisinin bu alt sistemin çevresel yük pastasında en fazla paya sahip olduğunu doğrulamaktadır. Elektrik enerjisi tüketimlerinin yüksek olması, ters ozmos sisteminin yüksek basınç altında çalışma prensibinden ileri gelmektedir. Ultrafiltrasyon sisteminde filtrelenmiş su; ters ozmos membranlarına girmeden önce alçak basınç pompaları ile basınçlandırılarak kartuş filtre sistemine girmektedir. Kartuş filtrelerden sonra ise 250 kW gücündeki yüksek basınç pompaları ile ortalama 10-15 bar basınçla ters ozmos membranlarına iletilmektedir.



**Şekil 4.26.** Ters ozmos alt sistemin son nokta kategorilerine göre değerlendirilmesi

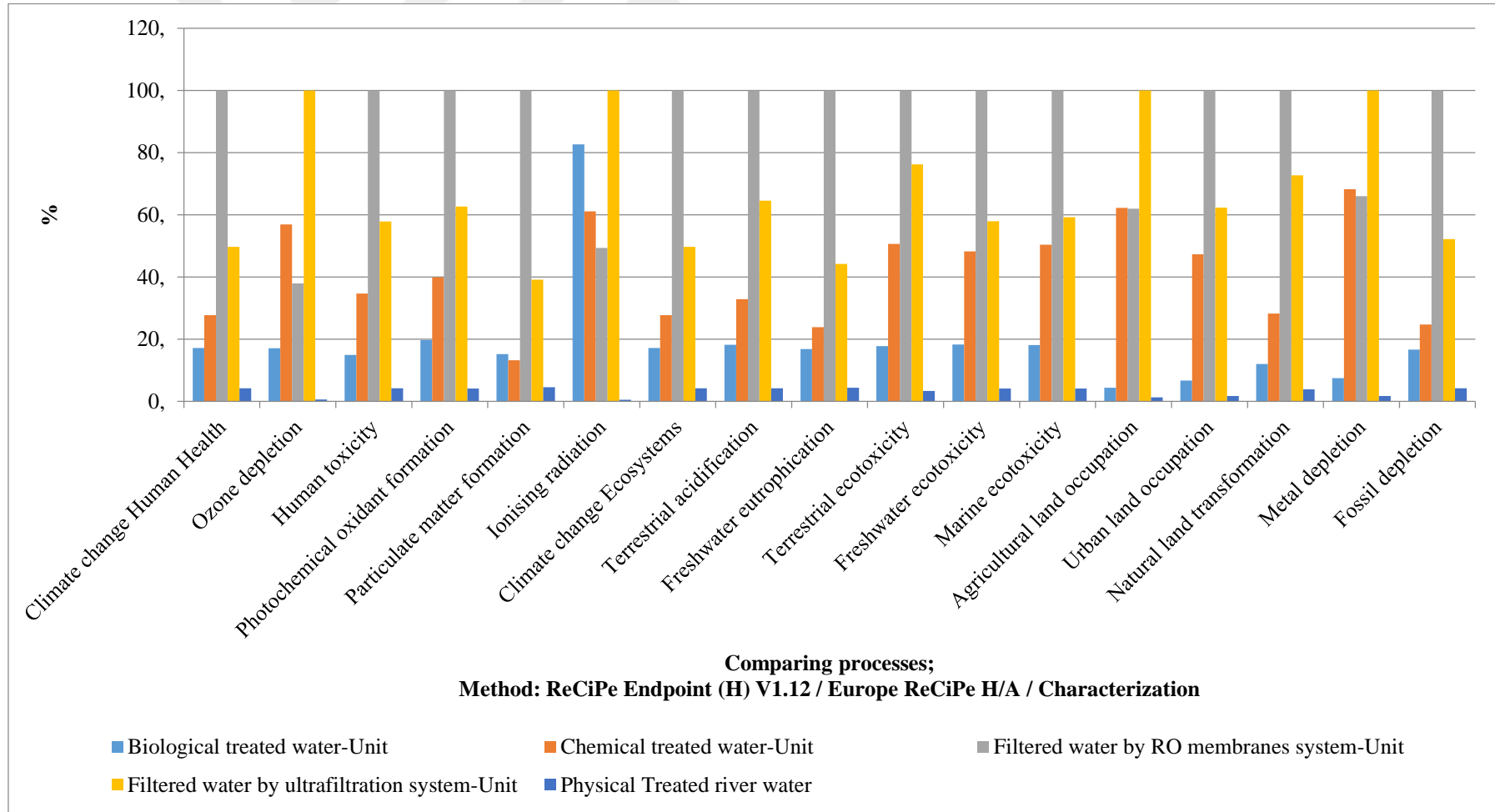
Son nokta etki kategorilerine göre oluşturulan grafiklerde, ters ozmos sisteminin insan sağlığı üzerine ve kaynaklar etkileri yüksek olarak verilmiştir. Bu etki kategorileri de etkileyen ana girdi elektrik enerjisi olarak yorumlanmaktadır. Ülkemizde halen yenilebilir enerji kaynaklarından elektrik eldesinin düşük olması bu sonuçların çıkmasında ana neden olarak düşünülmektedir.

#### **4.4.2. Alt sistemlerin çevresel yüklerinin karşılaştırılması**

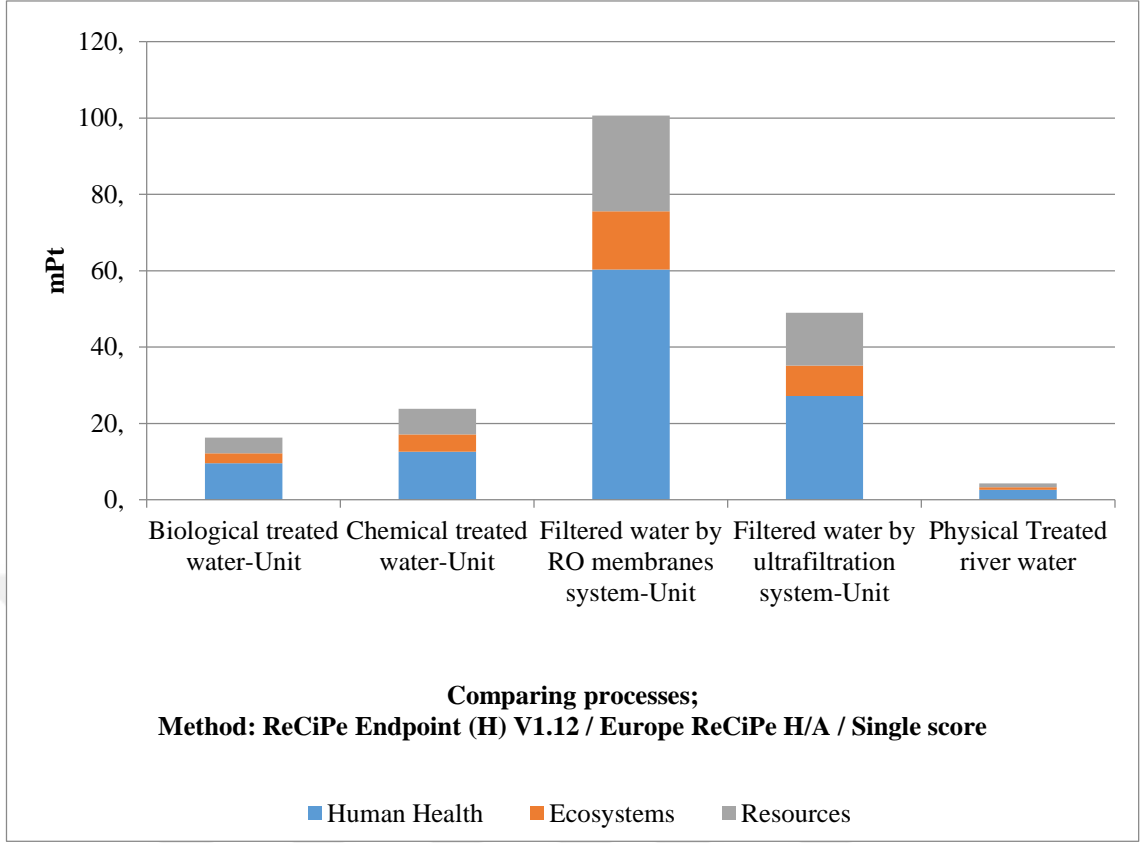
Her bir alt sistemin sahip olduğu çevresel yükler ayrı ayrı incelendikten sonra bu sistemlerin çevresel yükleri karşılaştırılmıştır.

Şekil 4.27’de alt sistemlerin orta nokta etki kategorilerine göre analiz sonuçları görülmektedir. Bu grafik incelendiğinde; ozon tabakasının incelmeye, iyonlaştırıcı radyasyon, tarımsal arazi işgali ve mineral kaynakların tükenmesi zarar sınıflarında ultrafiltrasyon alt sisteminin, diğer tüm sınıflarda ise ters ozmos alt sisteminin çevreye verdiği yükün oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Ters ozmos alt sisteminin etki analizi sonuçlarında; bu alt sistemin çevresel yükünün en önemli bileşeninin elektrik enerjisi olduğu tespit edilmiştir.

Fiziksel arıtma alt sistemi tüm etki kategorilerinde en düşük seviyede çevresel etkiye sahip olduğu görülmektedir. Biyolojik arıtma alt sistemi, iyonlaştırıcı radyasyon etki kategorisi haricinde kalan sınıflarda alt sistemler arasında ikincil çevresel etkiyi gösteren sistem olduğu grafikten anlaşılmaktadır. İyonlaştırıcı radyasyon kategorisinde yüksek çevresel yüke sahip olmasının nedeni biyolojik arıtma ünitelerinde kullanılan renk giderici organik polimerden ileri geldiği önceki bölümlerde ifade edilmiştir.



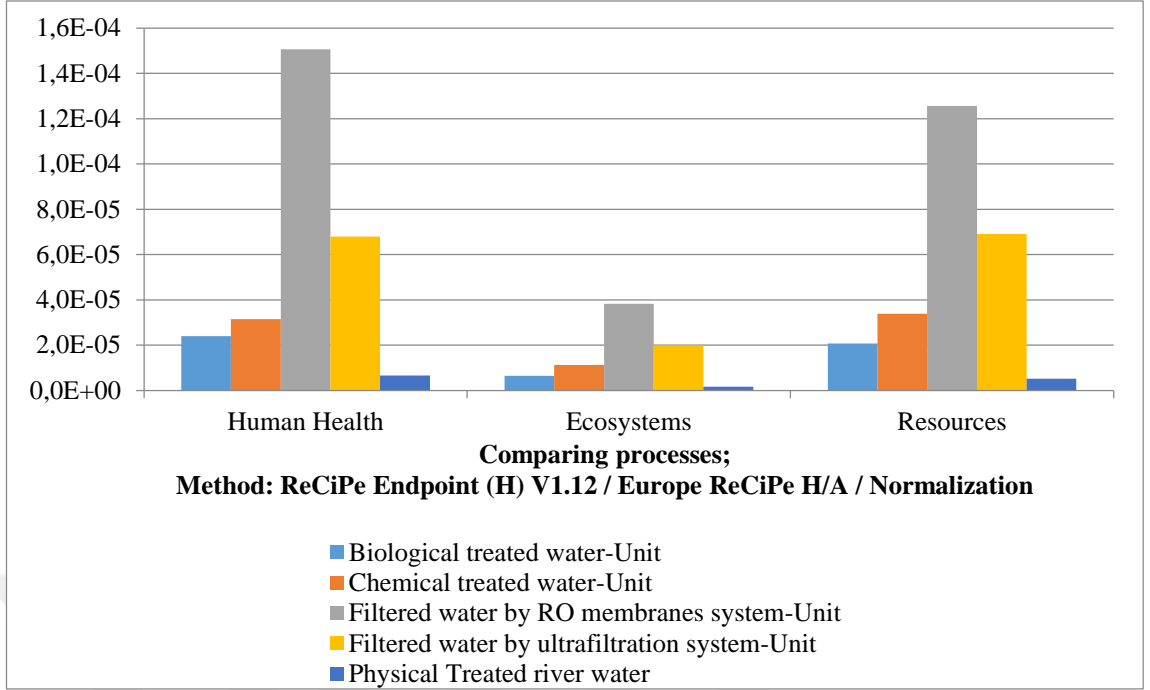
**Şekil 4.27.** Alt sistemlerin orta nokta kategorilerine göre karşılaştırılması



**Şekil 4.28.** Alt sistemlerin son nokta kategorilerine göre karşılaştırılması

Şekil 4.28’de her bir alt sistem son nokta kategorilerine göre analiz edilmiş olup, böylece hangi alt sistemin yüksek çevresel yüke sahip olduğu grafikte açıkça görülmüştür. Ters ozmos sisteminin çevresel etki boyutlarının diğer alt sistemlerden yüksek olduğu görülmüştür. İleri arıtma biriminin diğer alt sistemi olan ultrafiltrasyon sistemi ise ikinci büyük çevresel yükü oluşturduğu Şekil 4.28’den çıkarılmaktadır. Konvansiyonel arıtma alt sistemlerinin tesisin çevresel yük pastasında daha düşük paylara sahip olduğu sonucu çıkarılmıştır. Su Üretim Tesisi’nin sahip olduğu çevresel yükte en fazla payın ileri arıtma sistemini oluşturan ultrafiltrasyon ve ters ozmos üniteleri olduğu etki analizleri sonucu belirlenmiştir.



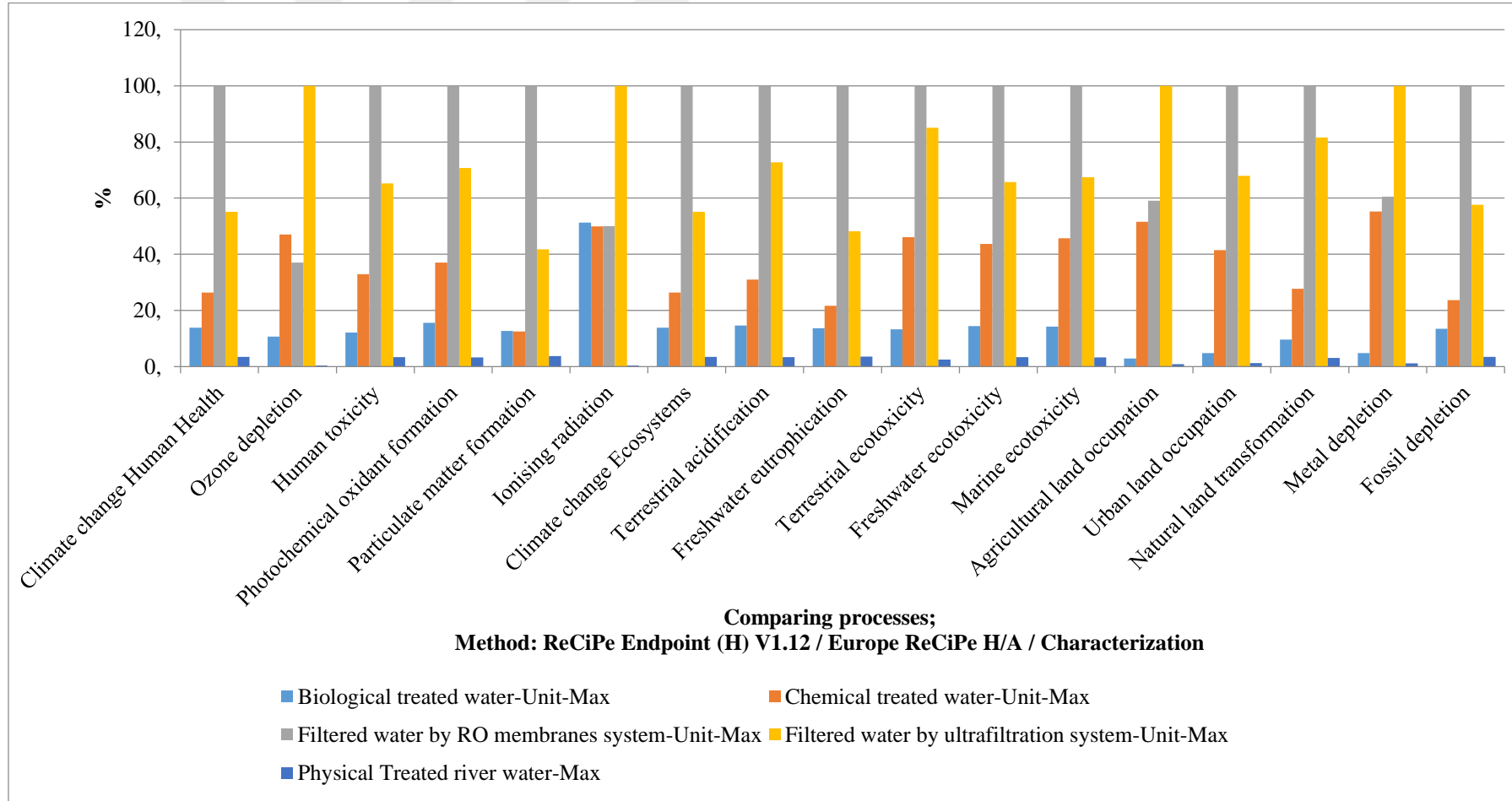


**Şekil 4.29.** Alt sistemlerin normalizasyon işlemi sonucu son nokta kategorilerine göre karşılaştırılması

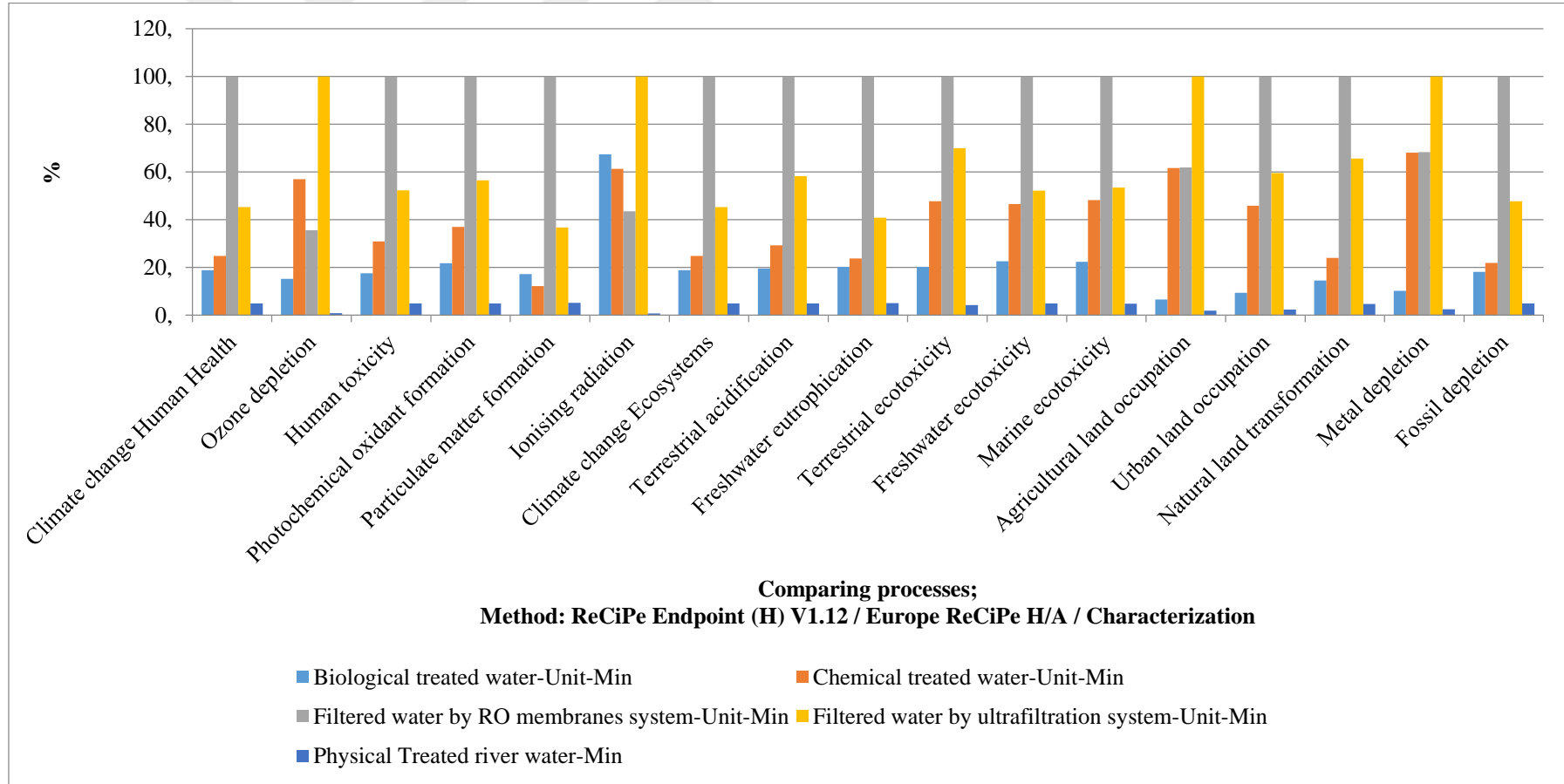
#### 4.4.3. Alt sistemlerin çevresel yüklerinin su kalitesine bağlı olarak karşılaştırılması

Sistemin ana girdisi olan Nilüfer Deresi'nden temin edilen dere suyunun kalitesinde mevsim şartlarına bağlı olarak değişiklikler, kimyasal malzeme ve elektrik sarfiyatlarını doğrudan etkilemektedir. Çalışmanın daha hassas gerçekleştirilebilmesi için dere suyu kalitesi ile ilişkili olarak tesiste gerçekleşen en yüksek ve en düşük kimyasal ve elektrik sarfiyatları belirlenmiş ve ReCiPe Endpoint etki metodu kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Bu etki analizleri sonucu aşağıda Şekil 4.30, Şekil 4.31 ve Şekil 4.32'deki grafiklerle verilmiştir.

Şekil 4.30'da su kalitesinin kötü olduğu döneme bağlı olarak gerçekleşen en yüksek kimyasal malzeme ve elektrik tüketimlerinin gerçekleştiği durumun orta nokta etki kategorilerine göre analizi verilmiştir.



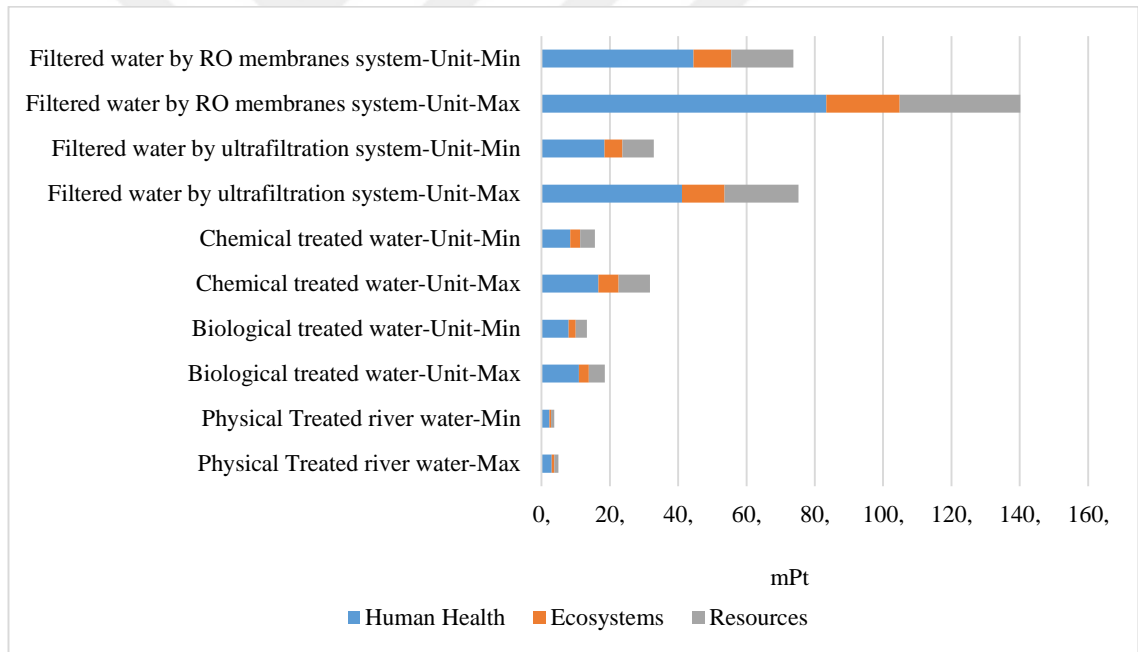
**Şekil 4.30.** Kimyasal malzeme ve elektrik tüketimlerinin en yüksek olduğu durumda alt sistemlerin orta nokta etki kategorilerine göre etki analizi



**Şekil 4.31.** Kimyasal malzeme ve elektrik tüketimlerinin en düşük olduğu durumda alt sistemlerin orta nokta etki kategorilerine göre etki analizi

Şekil 4.31’de ise dere suyunun o yıl içinde en iyi kalitede geldiği dönemle ilişkili olarak en düşük kimyasal ve elektrik sarfiyatlarının gerçekleştiği durumun karakterizasyon grafiği görülmektedir. Bu iki grafik incelendiğinde, her iki durumda da ileri arıtma sistemini oluşturan ters ozmos ve ultrafiltrasyon ünitelerinin en yüksek çevresel yüklerle sahip olduğu sonucu çıkarılmaktadır.

Konvansiyonel arıtma alt sistemleri genel olarak incelendiğinde; sistemin toplam çevresel yükü içindeki payının su kalitesinin iyi olduğu dönemlerde daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum tesiste özellikle elektrik enerjisinden tasarruf sağlamak için geliştirilen işletme politikalarından biri olan su kalitesinin iyi olduğu durumlarda ileri arıtma sisteminin daha az çalıştırılması, konvansiyonel arıtma sistemi çıkışında sağlanan su kalitesinin yeterli olması ile açıklanabilir.



**Şekil 4.32.** Kimyasal malzeme ve elektrik tüketimlerinin en yüksek ve en düşük olduğu durumda alt sistemlerin son nokta etki kategorilerine göre etki analizi

Dere suyu kalitesine bağlı olarak alt sistemlerin çevresel yük değişimleri Şekil 36’da verilmiştir. Çevresel yükleri karşılaştırılan ters ozmos, ultrafiltrasyon ve kimyasal arıtma alt sistemlerinde yaklaşık %100 oranında, biyolojik arıtma alt sisteminde %50 oranında artış gözlenirken, fiziksel arıtma da diğer alt sistemlere kıyasla çok düşük miktarda artış gözlenmiştir.

## 5. SONUÇ

Su Üretim Tesisi’de proses suyu üretimi, Bursa Organize Sanayi Bölgesi’nde gerçekleştirilen su yönetimi çalışmalarından biri olup, endüstriyel kullanım için gerekli olan suyun temiz içme suyu kaynaklarından ve yeraltı suyundan karşılanma oranını azaltmak için uygulanmaktadır. Günümüzde tüm kamu ve özel sektör işletmelerinin faaliyetlerini çevresel anlamda gözden geçirmesi, baştan sona tüm süreçlerinde kullandıkları hammadde, enerji gibi girdilerinden ve çıktılarında kaynaklanabilecek muhtemel çevresel yüklerini gözden geçirmeleri, yüksek çevresel yükleri olan proses girdi ve çıktılarını daha az zararlı olanlarla ikame etmeleri gerekmektedir. Bu amaçlarla gerçekleştirilen çalışmada SimaPro 8.2.0 yazılımı ve ReCiPe etki analiz metodu ile, Su Üretim Tesisi’nde üretilen 1 m<sup>3</sup> proses suyunun hazırlanması aşamasında hangi çevresel yüklerin ortaya çıktığı kapsamlı bir şekilde ele alınmıştır.

Fiziksel arıtma alt sisteminin çevresel yükünün oluşturan tek kaynağın elektrik enerjisi olduğu ve bu girdinin insan sağlığı üzerine etkileri kaynaklar ve ekosisteme göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Bu alt sistemde yer alan terfi pompaları, sistemde yer alan diğer ekipmanlara göre en yüksek güce sahip oldukları için elektrik tüketiminin ana nedeni oldukları düşünülmektedir.

Biyolojik arıtma alt sisteminin etki analizleri sonucunda, alt sistem bileşenleri arasında yer alan elektrik enerjisinin çevresel etkisinin diğerlerine oranla en fazla paya sahip olduğu ortaya konmuştur. Tesis iç izlemeleri ile oluşturulan raporlar ışığında, bu alt sistemde yer alan blower ekipmanlarının bu etkinin ana kaynağı olduğu kanaatine varılmıştır. Bu alt sistemin çevresel yükünde ikinci olarak en fazla paya sahip girdinin renk giderici olarak kullanılan organik polimer olduğu belirlenmiştir. Renk giderici organik polimerin etkilerini, biyolojik çamurun yakma tesisinde bertarafının çevresel etkileri izlemektedir. Bu alt sistemde son nokta kategorilerinden olan insan sağlığına verilen zararın diğer etki kategorilerinden yüksek olduğu sonucu çıkarılmıştır.

Konvansiyonel arıtma prosesinin son alt sistemi olan kimyasal arıtma sürecinde, diğer alt sistemlerden farklı olarak elektrik enerjisi etkileri daha düşük paya sahip olup kullanılan

kimyasalların etkilerinin diğere bileşenlerden yüksek olduğu anlaşılmıştır. Tüm girdi ve çıktılar arasında sodyum hipoklorit kimyasalının çevresel etkilerinin en fazla puanı aldığı görülmektedir. Poli alüminyum klorür hidroksit kimyasalı ise sodyum hipokloritten sonra ikinci yüksek puanı almış olup elektrik enerjisi ise bu alt sistemde çevresel yüke üçüncü derecede katkı sağlamaktadır.

Biyolojik arıtma ve kimyasal arıtma alt sistemlerinden kaynaklanan çamurların her iki sistemde de orta nokta kategorilerine göre doğal arazi dönüşümü zarar sınıfında olumlu, diğere sınıflarda olumsuz etkileri olduğu izlenmektedir. İleri arıtma prosesinin ilk alt sistemi olan ultrafiltrasyon sisteminin etki analizi sonucunda ise, bu alt sistemin çevresel yüküne en fazla katkıyı yapan bileşenin elektrik enerjisi ve alt sistemin en çok kaynaklar son nokta etki kategorisini etkilediği görülmektedir. Bu çalışmanın sistem sınırları dahilinde son alt sistem olan ters ozmos sisteminin etki analizi sonuçları, elektrik enerjisinden kaynaklanan çevresel yükün bu alt sistemin toplam yükünde en fazla paya sahip olan girdi olduğunu ortaya koymuştur.

Her bir alt sistemin sahip olduğu çevresel yükler kendi içlerinde incelendikten sonra bu sistemlerin toplam çevresel yükleri karşılaştırılmıştır. BOSB Su Üretim Tesisi proses suyu üretim sürecinde ters ozmos alt sisteminin diğere alt sistemler içinde en yüksek çevresel yükü taşıdığı belirlenmiştir. Ters ozmos sistemi sahip olduğu çevresel yükün ifade edilebilmesi için 100 mPt puanı alırken, ultrafiltrasyon 50 mPt, kimyasal arıtma 24 mPt, biyolojik arıtma 16 mPt ve 4 mPt puan almıştır. Bu verilere göre; Su Üretim Tesisi'nin sahip olduğu çevresel yükte en fazla payın ileri arıtma sistemini oluşturan ultrafiltrasyon ve ters ozmos üniteleri olduğu etki analizleri sonucu belirlenmiştir. Ters ozmos ve ultrafiltrasyon alt sistemlerinin etki analizi sonuçlarında; bu sistemlerin çevresel yükünün en önemli bileşeninin elektrik enerjisi olduğu tespit edilmiştir.

Sistemin ana girdisi olan dere suyunun mevsim şartlarına bağlı su kalitesi ile ilişkili olarak tesiste gerçekleşen en yüksek ve en düşük kimyasal ve elektrik sarfiyatları belirlenmiş ve etki analizleri gerçekleştirilmiştir. Her iki durumda da ileri arıtma sistemini oluşturan ters ozmos ve ultrafiltrasyon ünitelerinin en yüksek çevresel yüklere sahip olduğu sonucu çıkarılmaktadır.

Ortaya konulan tüm bu ölçülebilir sonuçlar ışığında, Su Üretim Tesisi'nde elektrik enerjisi tasarrufu çalışmaları yapılarak tesiste etkili bir enerji yönetimi oluşturulmalıdır. Tesiste yoğun enerji tüketen ekipmanların durumu saptanmalı, enerji verimliliği için uygulanabilecek yatırımlar yapılmalıdır. Su Üretim Tesisi'nde elektrik enerjisi tüketimleri asıl olarak pompa, blower, kompresör gibi ekipmanlarda bulunan elektrik motorlarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu bağlamda, mevcut elektrik motorlarında verimliliğin artmasını sağlayacak uygulamalar yapılarak ya da yüksek verimli motorlar seçilerek tüketilen elektrik enerjisi miktarında tasarruf sağlanabilir. Ayrıca yüksek basınç ile çalışan ters ozmos membranları gerçekleştirilecek yeni yatırımlarda 'ultra low pressure membrane' olarak belirtilen yeni teknoloji membranların tercih edilmesi ile elektrik enerjisi sarfiyat miktarında azalma olacağı düşünülmektedir.

Su Üretim Tesisi'nin çevresel yükünde, elektrik enerjisinden sonra en fazla payı kimyasal malzemelerin çevresel etkilerinin aldığı görülmüştür. Kullanım ve kimyasalların elde edilirken açığa çıkan çevresel emisyonlar göz önüne alındığında, proses suyu üretim sürecinde aynı amaçla kullanılacak çevre dostu kimyasalların tercih edilmesi bu bileşenlerden kaynaklanan çevresel yükü azaltacağı düşünülmektedir.

Gerçekleştirilen bu çalışma sonucunda BOSB Su Üretim Tesisi'nin ileri arıtma sisteminde yer alan ters ozmos ünitelerinin en yüksek çevresel yüke sahip olduğu tespit edilmiştir. Ters ozmos ünitelerinin çevresel etkisinin tüm alt sistemler içinde en fazla paya sahip olması, bu sistemde yüksek oranda tüketilen elektrik enerjisinden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.

## KAYNAKLAR

- Anonim, 2006.** Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework. International Standard Organization.
- Anonim, 2016a.** <http://www.simapro.co.uk/>
- Anonim, 2016b.** <http://www.lcia-recipe.net/>
- Akıncı, S., Akıncı M., 2010.** Sürdürülebilir kalkınmaya katkı bağlamına örgütlerin çevresel performansları ve performans değerlendirme teknikleri. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 24(1):193-207.
- Balpetek, E., Alay, E., Özdoğan, E. 2012.** Sürdürülebilir kalkınma için yaşam döngüsü değerlendirmesi ve tekstil sanayi. *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(2): 37-49.
- Beavis, P., Lundie, S. 2003.** Integrated environmental assessment of tertiary and residuals treatment - LCA in the wastewater industry. *Water Science and Technology*. 47(7/8):109-116.
- Demirer, G. 2011.** Yaşam Döngüsü Analizi-Pratik Yaşam Döngüsü Analizi Kılavuzu AB Sürecinde İşletmeler ve Kamu için Yaşam Döngüsü Analizi Yöntem ve Örnekleri. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
- Friedrich, E., Pillay, S., Buckley, C. A. 2009.** Environmental life cycle assessments for water treatment processes - a South African case study of an urban water cycle. *Water SA*. 35 (1):73-84.
- Garfi, M., Cadena E., Sanchez-Ramos D., Ferrer I., 2016.** Life cycle assessment of drinking water: Comparing conventional water treatment, reverse osmosis and mineral water in glass and plastic bottles. *Journal of Cleaner Production*, 137:997-1003.
- Holloway, R.W., Miller-Robbie, L., Patel, M., Stokes, J.R., Munakata- Marr, J., Dadakis, J., Cath, T.Y. 2016.** Life cycle assessment of two potable water reuse technologies:mf/ro/uv-aop treatment and hybrid osmotic membranebioreactors. *Journal of Membrane Science*.
- Ioannou-Ttofa, L., Foteinis, S., Chatzisyneon, E., Fatta-Kassinou, D. 2016.** The environmental footprint of a membrane bioreactor treatment process through life cycle analysis. *Science of the Total Environment*. 568:306-318.
- Klaversma, E., Helm, A. W. C., Kappelhof, J. W. N. M. 2013.** The use of life cycle assessment for evaluating the sustainability of the Amsterdam water cycle. *Journal of Water and Climate Change*. 4(2):103-109.
- Le T., Xin L., XueWei L., ZengWei Y., Qiong Z. 2013.** Life cycle assessment of water reuse systems in an industrial park. *Journal of Environmental Management* .129:471-478.
- Manda, BMK., Worrell, E., Patel, MK. 2014.** Innovative membrane filtration system for micropollutant removal from drinking water - prospective environmental LCA and its integration in business decisions. *Journal Of Cleaner Production*. 72:153-166.
- Meneses, M., Pasqualino J.C., Castells F. 2010.** Environmental assessment of urban wastewater reuse: Treatment alternatives and applications. *Chemosphere*. 81:266-272.
- Meriç, B.T., 2004.** Su Kaynakları Yönetimi ve Türkiye. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 28(1).
- 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.
- Rahman S., Eckelman, M., Onnis-Hayden, A., Gu, A.Z. 2016.** Life cycle assessment of advanced nutrient removal technologies for wastewater treatment. *Environmental Science & Technology*. 50(5).



- Ribera, G., Clarens, F., Martinez-Llado, X., Jubany, I., Marti, V., Rovira, M., 2014.** Life cycle and human health risk assessments as tools for decision making in the design and implementation of nanofiltration in drinking water treatment plants. *Science of The Total Environment*. 466:377-386.
- Rodríguez, R., Espada, J. J., Pariente, M. I., Melero, J. A., Martínez, F., Molina, R. 2015.** Comparative life cycle assessment (LCA) study of heterogeneous and homogenous Fenton processes for the treatment of pharmaceutical wastewater. *Journal of Cleaner Production*, 124:21-29.
- Rodriguez, O., Villamizar-Gallardo, R., García R., 2016.** Life cycle assessment of four potable water treatment plants in northeastern Colombia. *Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 11(2):268-278.
- Sharaai, A.H., Mahmood N.Z., Sulaiman, A.H. 2010.** Life cycle impact assessment (lcia) in potable water production in malaysia: potential impact analysis contributed from production and construction phase using eco-indicator 99 evaluation method. *World Applied Sciences Journal*. 11 (10): 1230-1237.
- Slagstad H., Brattebø H. 2012.** Life cycle assessment of the water and wastewater system in Trondheim, Norway – A case study. *Urban Water Journal*. 11(4):323-334.
- Opher, T., Friedler, E. 2016.** Comparative LCA of decentralized wastewater treatment alternatives for non-potable urban reuse. *Journal of Environmental Management*. 182:464-476.
- Orhon, D., Sözen, S., Üstün, B., Görgün, E., Gül Ö. 2002.** Su Yönetimi ve Sürdürülebilir Kalkınma. Vizyon 2023: Bilim ve Teknoloji Stratejileri Teknoloji Ön Raporu, İstanbul.
- 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):121-131.
- Tarnacki, K., Melin, T., Jansen, A. E., Medevoort, J. Van. 2011.** Comparison of environmental impact and energy efficiency of desalination processes by LCA. *Water Science and Technology: Water Supply*, 11 (2):246-251.
- Theregowda, R., Vidic, R., Dzombak, D.A., Landis, A.E. 2014.** Life cycle impact analysis of tertiary treatment alternatives to treat secondary municipal wastewater for reuse in cooling systems. *Environmental Progress & Sustainable Energy*. 34(1):178-187.
- Toprak D., 2006.** Sürdürülebilir kalkınma çerçevesinde çevre politikaları ve mali araçlar. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 2(4):146-169.
- Vince, F., Aoustin, E., Bréant, P., Marechal, F. 2008.** LCA tool for the environmental evaluation of potable water production. *Desalination*. 220:37-56.
- 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.

## ÖZGEÇMİŞ

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| Adı Soyadı                      | : Zeynep ÇAKIR   |
| Doğum Yeri ve Tarihi            | : Osmangazi - 1991   |
| Yabancı Dili                    | : İngilizce  |
| Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)    |  |
| Lise                            | : Şükrü Şankaya Anadolu Lisesi (2009)                        |
| Lisans                          | : Uludağ Üniversitesi Çevre Mühendisliği (2014)              |
| Yüksek Lisans                   | : Uludağ Üniversitesi Çevre Teknolojisi Anabilim Dalı (2017) |
| Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl | : Bursa Organize Sanayi Bölge Müdürlüğü (2015-Halen)         |
| İletişim (e-posta)              | : zeynepo@bosb.org.tr  |