

**T.C.**  
**GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENDÜSTRİYEL ATIKSULARIN GERİ KAZANIM**  
**ALTERNATİFLERİNİN ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR ANALİZİ İLE**  
**DEĞERLENDİRİLMESİ**

**NIHAN KİBAR**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GEBZE**  
**2019**

**T.C.**  
**GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENDÜSTRİYEL ATIKSULARIN GERİ**  
**KAZANIM ALTERNATİFLERİNİN ÇOK**  
**ÖLÇÜTLÜ KARAR ANALİZİ İLE**  
**DEĞERLENDİRİLMESİ**

**NIHAN KİBAR**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMANI**  
**PROF. DR. AHMET KARAGÜNDÜZ**

**GEBZE**  
**2019**

**T.R.**  
**GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY**  
**GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

**EVALUATION OF INDUSTRIAL  
WASTEWATER RECOVERY  
ALTERNATIVES WITH MULTI-CRITERIA  
DECISION ANALYSIS**

**NIHAN KİBAR**  
**A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF SCIENCE**  
**DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING**

**THESIS SUPERVISOR**  
**PROF. DR. AHMET KARAGÜNDÜZ**

**GEBZE**  
**2019**



## YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun .26../.06../2019 tarih ve ...2019../...29... sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından .07../.10../2019. tarihinde tez savunma sınavı yapılan .....Nihan...Kibar.....'ın tez çalışması ...Çevre...Mühendisliği.....Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

### JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Prof. Dr. Ahmet Karagündüz

ÜYE

: Prof. Dr. Bülent Kaskınler

ÜYE

: Doç. Dr. Derya Yüksel İmer

### ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
...../...../..... tarih ve ...../..... sayılı kararı.

### İMZA/MÜHÜR

Prof. Dr. Ümit DEMİR

Gebze Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ÖZET

Bu çalışmada tüm dünyada olduğu gibi, ülkemizde de önem kazanmaya başlayan atıksuların geri kazanımı ve yeniden kullanımı süreçlerinin ekonomik, çevresel, sosyal ve sosyoekonomik etkileri değerlendirilerek su geri kazanım hedefinin belirlenmesi için bir metodoloji oluşturulması hedeflenmiştir.

Çalışma kapsamında; farklı endüstrilerden daha az kirli atıksu üreticisi otomotiv sanayi kaynaklı atıksular ve daha kirli atıksu üreten süt endüstrisi incelenmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında, kullanılan iki farklı atıksu için uygulanabilecek arıtma yöntemi alternatifleri ve geri kazanım sürecinde uygulanabilecek farklı teknolojiler ile iki farklı son kullanım hedefi incelenmiştir. Bu aşamayı takiben, veri analizlerinin ve veri çıktılarının elde edilebilmesi aşamasında NOVEDAR EDSS Consolider yazılım programından faydalanılmıştır. Son kullanım hedefleri, doğrudan alıcı ortama deşarj, sulama amaçlı yeniden kullanım ve %70 geri kazanım sonucu yeniden kullanım olarak belirlenmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında NOVEDAR EDSS Consolider programının çıktıları değerlendirilmiş ve ilk yatırım maliyetlerinden başlanılmak üzere, hedeflenen son noktaya gelinceye kadar olan tüm girdi ve çıktılar belirlenmiştir. Bu çıktıların oluşturulmasında iki farklı senaryo çerçevesinde değerlendirme yapılmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, az kirli ve çok kirli atıksuların geri kazanımı ve yeniden kullanımı açısından fayda - maliyet değerlendirmeleri yapılarak sonuçlar bölümünde karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Çalışma sonucunda, atıksuyun çeşitli son kullanım hedeflerine yönelik geri kazanım stratejileri için, ilk yatırım ve işletim maliyetleri ile çevresel, sosyal ve sosyoekonomik maliyetler hesaplanarak, farklı endüstriler için benzer durumlar karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Atıksu Gerikazanımı, Yeniden Kullanım, Çevresel Ekonomik Analiz.

## SUMMARY

In this study, as in all over the world, the economic dimensions that occur in the recovery and reuse of wastewaters that have gained importance in our country as well as the purpose of reuse of wastewater and considering the purpose of use, price, environment, social and socioeconomic aspects in comparison with the short and long term effects are intended to be detected.

Scope of work; less polluted wastewater producers from different industries, wastewater from the automotive industry and the more polluted wastewater producing milk industry were examined. Wastewater characterization of two different industries was taken into consideration during the investigation phase. While one of the wastewater from the automotive industry is a less polluted wastewater producer, the other wastewater included in the study is milk industry wastewater producer. In the first phase of the study, four different end-use factors were examined with different technologies that could be applied in the recovery process and alternative treatment methods to be used for two different wastewater used. Following this phase, NOVEDAR EDSS software program was used in order to obtain data analysis and data outputs.

In this second phase study, the outputs of the NOVEDAR EDSS program were evaluated and all inputs and outputs were determined from the initial investment costs to the end point. As a result of these evaluations, benefit - cost evaluations were made in terms of recovery and reuse of less polluted and very dirty wastewater and examined in the results section comparatively.

At the end of the study, initial investment and operation costs and environmental, social and socioeconomic costs were calculated for recovery strategies for various end-use targets of wastewater and similar situations were compared for different industries..

**Key Words: Wastewater Recovery, Reuse, Environmental Economic Analysis.**

## TEŞEKKÜR

Bu tez Bu tez kapsamında çalışmalarımı yönlendirerek, fikir ve görüşleri ile tezin ilerleyişinde ve oluşmasında katkılarını eksik etmeyen değerli danışmanım Prof. Dr. Ahmet KARAGÜNDÜZ'e,

Tezimin her aşamasında Tezimin her aşamasında beni yönlendiren, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan okulumuzun değerli öğretim görevlisi Arş. Grv. Zehra Betül ÖCAL SARIHAN'a, ve tezime olan sonsuz katkılarından dolayı değerli meslektaşım Mert Enver ÇERPEŞ'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tez sürecimi beraber geçirdiğimiz, desteğini ve güler yüzünü esirgemeyen sevgili arkadaşlarıma, büyük fedakarlıklarla beni destekleyen, her zorlukta yanımda olduğunu bildiğim en değerli varlıklarım annem Güher BALCI'ya ve kardeşim Seyhan KİBAR ile ailenin en küçük ve gülümseme sebepleri olan Fındık ve Minty'ye,

Bu süreçte karşılaştığım zorluklarda, destekleri ile güçlenerek motive olduğum en başta canım arkadaşlarım Uğur ARPACI ve Gazel Öyküm ÖZDEMİR'E, ayrıca sevgili yöneticim Ali PALAMUTCU olmak üzere KEMİSAN ailesinin tüm çalışanlarına sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

# İÇİNDEKİLER

|                                                                                                           | <b><u>Sayfa</u></b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| ÖZET                                                                                                      | v                   |
| SUMMARY                                                                                                   | vi                  |
| TEŞEKKÜR                                                                                                  | vii                 |
| İÇİNDEKİLER                                                                                               | viii                |
| SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ                                                                            | x                   |
| ŞEKİLLER DİZİNİ                                                                                           | xii                 |
| TABLolar DİZİNİ                                                                                           | xiii                |
| <br>                                                                                                      |                     |
| 1. GİRİŞ                                                                                                  | 1                   |
| 1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği                                                                      | 1                   |
| 2. ATIKSU GERİ KAZANIM SÜREÇLERİ VE GERİ KAZANIM YÖNTEMLERİ                                               | 3                   |
| 2.1. Atıksuların Geri Kazanımında Kullanılan Arıtma Teknolojileri                                         | 4                   |
| 2.2. Atıksuların Gerikazanımı ve Yeniden Kullanımında Karşılaşılan Güçlükler, Avantajlar ve Dezavantajlar | 9                   |
| 2.3. Kriterli Analiz Yöntemi (MCDA) Çeşitleri ve Avantajları                                              | 10                  |
| 2.4. Kriterli Analiz Yöntemi (MCA) Seçiminde Belirleyici Olan Kriterler                                   | 11                  |
| 2.5. Kriterli Analiz Yöntemi (MCA) Çeşitleri ve Avantajları                                               | 12                  |
| 2.5.1. PRIME                                                                                              | 13                  |
| 2.5.2. ELECTRE                                                                                            | 13                  |
| 2.5.3. PCA                                                                                                | 14                  |
| 2.5.4. PROMETHEE                                                                                          | 14                  |
| 2.5.5. DEXi                                                                                               | 15                  |
| 2.5.6. AHP                                                                                                | 15                  |
| 2.5.7. MCDA                                                                                               | 17                  |
| 2.6. Çevre Mühendisliği Alanında Kullanılan Kriterli Analiz Yöntemi Çeşitleri                             | 18                  |
| 2.6.1. Novedar EDSS Consolider                                                                            | 18                  |

|                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.6.2. ATL EDSS                                                                                                               | 18 |
| 2.6.3. PSARU EDSS                                                                                                             | 19 |
| 3. ÇALIŞMADA KULLANILAN SU KARAKTERİZASYONLARI, ÖZELLİKLERİ VE SON KULLANIM AMAÇLARI                                          | 20 |
| 3.1. Çalışmada Kullanılan Su Kaynakları ve Su Karakterizasyonları                                                             | 20 |
| 3.1.1. Otomotiv Endüstrisi Atıksuları ve Karakterizasyon Bilgileri                                                            | 20 |
| 3.1.2. Süt Endüstrisi Atıksuları ve Karakterizasyon Bilgileri                                                                 | 22 |
| 3.1.3. Süt Endüstrisi Atıksuyu İçeriği ve Kirlilik Konsantrasyonları                                                          | 22 |
| 4. NOVEDAR EDSS CONSOLIDER YAZILIM ANLATIMI                                                                                   | 24 |
| 4.1. Atıksu Arıtımı, Geri Kazanımı ve Yeniden Kullanımı Süreçlerinde Yapılan Çalışmalar Kapsamında Yazılımın Kullanılış Amacı | 26 |
| 5. DENEYSEL BULGULAR                                                                                                          | 32 |
| 5.1. Otomotiv ve Süt Endüstrisine Ait Atıksular İçin Akım Şeması Belirlenmesi ve Sonuçları                                    | 32 |
| 5.2. Otomotiv Endüstrisi için Arıtma Senaryolarının Belirlenmesi ve Sonuçları                                                 | 32 |
| 5.2.1. Doğrudan Alıcı Ortama Deşarj Durumu                                                                                    | 33 |
| 5.2.2. Sulama Amaçlı Yeniden Kullanım Durumu                                                                                  | 36 |
| 5.2.3. %70 Gerikazanım Sonrası Yeniden Kullanım                                                                               | 37 |
| 5.3. Süt Endüstrisi için Arıtma Senaryolarının Belirlenmesi ve Sonuçları                                                      | 40 |
| 5.3.1. Doğrudan Alıcı Ortama Deşarj Durumu                                                                                    | 41 |
| 5.3.2. Sulama Amaçlı Yeniden Kullanım Durumu                                                                                  | 43 |
| 5.3.3. %70 Gerikazanım Sonrası Yeniden Kullanım                                                                               | 45 |
| 5.4. Arıtma Senaryolarının Ekonomik Olarak Karşılaştırılması                                                                  | 47 |
| 5.5. Çevresel Ve Ekonomik Etki Analizi                                                                                        | 57 |
| 6. SONUÇLAR ve TARTIŞMA                                                                                                       | 65 |
| KAYNAKLAR                                                                                                                     | 68 |
| ÖZGEÇMİŞ                                                                                                                      | 69 |
| EKLER                                                                                                                         | 70 |

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

| <u>Simgeler ve</u>            | <u>Açıklamalar</u>                                                          |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| <u>Kısaltmalar</u>            |                                                                             |
| C                             | : Karbon                                                                    |
| H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> | : Hidrojen Peroksit                                                         |
| FeSO <sub>4</sub>             | : Demir (III) Sülfat                                                        |
| kg                            | : Kilogram                                                                  |
| kw.sa                         | : Kilowatt Saat                                                             |
| m <sup>3</sup>                | : Metreküp                                                                  |
| m€                            | : Milyon Euro                                                               |
| mg/L                          | : Miligram Litre                                                            |
| N                             | : Azot                                                                      |
| NH <sub>3</sub>               | : Amonyum e                                                                 |
| NO <sub>2</sub>               | : Azotdioksit                                                               |
| P                             | : Fosfat                                                                    |
| r                             | : Dolar Bazlı Kredi Oranı                                                   |
| SO <sub>4</sub>               | : Sülfat                                                                    |
| t                             | : Zaman                                                                     |
| UFC                           | : Koloni Üreten Ünitelerin veya Koloni Oluşturan Mikroorganizmaların Sayısı |
| ΣBi                           | : Toplam Fayda                                                              |
| ΣCi                           | : Toplam Maliyet                                                            |
| €                             | : Euro                                                                      |
| TL                            | : Türk Lirası                                                               |
| AAT                           | : Atıksu Arıtma Tesisi                                                      |
| AKM                           | : Askıda Katı Madde                                                         |
| An /A Bio                     | : Anaerobik / Aerobik Biyolojik Proses                                      |
| Bio-M                         | : Bio - Membran                                                             |
| BOİ                           | : Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı                                             |
| CDI                           | : Kapasitif İyonsuzlaştırma                                                 |
| COX                           | : Kimyasal Oksidasyon                                                       |
| EDSS                          | : Çevresel Karar Destek Sistemi                                             |

|      |                                        |
|------|----------------------------------------|
| KM   | : Katı Madde                           |
| KOİ  | : Kimyasal Oksijen İhtiyacı            |
| LCA  | : Yaşam Döngü Değerlendirmesi          |
| MADM | : Kriterli Karar Verme Mekanizması     |
| MBR  | : Membran Biyoreaktör                  |
| MCA  | : Kriterli Analiz Yöntemi              |
| MCDA | : Çok Kriterli Karar Analizi           |
| MF   | : Mikrofiltrasyon                      |
| NF   | : Nanofiltrasyon                       |
| NOD  | : Azot Oksijen İhtiyacı                |
| NPt  | : Net Gerçek Zaman                     |
| NPV  | : Net Gerçek Değer                     |
| O&M  | : İşletme ve Bakım Maliyeti            |
| RO   | : İşletme ve Bakım Maliyeti            |
| O&M  | : Ters Osmos                           |
| SKKY | : Su Kirliliği ve Kontrolü Yönetmeliği |
| TKN  | : Toplam Kjeldahl Azotu                |
| TN   | : Toplam Azot                          |
| TP   | : Toplam Fosfat                        |
| TS   | : Toplam Katı                          |
| UF   | : Ultrafiltrasyon                      |
| UV   | : Ultraviyole                          |
| VOCs | : Uçucu Organik Katılar                |
| VS   | : Uçucu Katılar                        |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

| <b><u>Sekil No:</u></b>                                                                                  | <b><u>Sayfa</u></b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 5.1: Otomotiv endüstrisi atıksu arıtma tesisi akım şeması.                                               | 32                  |
| 5.2: Sulama amaçlı yeniden kullanım akım şeması.                                                         | 37                  |
| 5.3: Proses amaçlı yeniden kullanım akım şeması.                                                         | 39                  |
| 5.4: Süt endüstrisi atıksu arıtma tesisi akım şeması.                                                    | 40                  |
| 5.5: Sulama amaçlı yeniden kullanım için öngörülen akım şeması.                                          | 44                  |
| 5.6: Proses amaçlı yeniden kullanım senaryosu için oluşturulan akım şeması.                              | 46                  |
| 5.7: Doğrudan alıcı ortama deşarj durumu için ekonomik olarak karşılaştırılması.                         | 48                  |
| 5.8: Sulama amaçlı yeniden kullanım son hedefli arıtma senaryolarının ekonomik olarak karşılaştırılması. | 50                  |
| 5.9: Proseste yeniden kullanım son hedefli arıtma senaryolarının ekonomik olarak karşılaştırılması.      | 53                  |
| 5.10: Doğrudan suya etki eden emisyon yüzdeleri.                                                         | 58                  |
| 5.11: Doğrudan toprağa etki eden emisyon yüzdeleri.                                                      | 58                  |
| 5.12: Doğrudan suya etki eden emisyon yüzdeleri.                                                         | 61                  |
| 5.13: Doğrudan toprağa etki eden emisyon yüzdeleri.                                                      | 62                  |
| 5.14: Doğrudan havaya etki eden emisyon yüzdeleri.                                                       | 63                  |

## TABLÖLAR DİZİNİ

| <b><u>Tablo No:</u></b>                                                                                | <b><u>Sayfa</u></b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 2.1: Atıksuların geri kazanımında kullanılan arıtma teknolojileri ve giderdikleri kirletici çeşitleri. | 4                   |
| 2.2: Membran por özellikleri ve hedef kirleticiler.                                                    | 8                   |
| 2.3: Suların ileri arıtımında kullanılan biyolojik ve fizikokimyasal prosesler.                        | 9                   |
| 3.1: Otomotiv endüstrisi atıksu karakterizasyonu.                                                      | 21                  |
| 3.2: Süt endüstrisi atıksu karakterizasyonu.                                                           | 23                  |
| 4.1: Kullanılan birim maliyet değerleri.                                                               | 30                  |
| 5.1: Nehire deşarj için gerekli sınırlı kirletici değerleri.                                           | 34                  |
| 5.2: Kullanılan arıtma basamakları ve arıtma teknolojileri.                                            | 34                  |
| 5.3: Arıtılmış atıksu kirlilik konsantrasyonu ve giderim verimleri.                                    | 35                  |
| 5.4: Sulama amaçlı yeniden kullanım için sınır kirlilik değerleri.                                     | 36                  |
| 5.5: Sulama amaçlı arıtılmış su kirlilik konsantrasyonu ve giderim verimleri.                          | 37                  |
| 5.6: Proses amaçlı yeniden kullanım için sınırlı kirlilik değerleri.                                   | 38                  |
| 5.7: Arıtılmış atıksu kirlilik konsantrasyonu ve giderim verimleri.                                    | 39                  |
| 5.8: Nehre deşarj için gerekli sınır kirlilik değerleri.                                               | 41                  |
| 5.9: Kullanılan arıtma basamakları ve arıtma teknolojileri.                                            | 42                  |
| 5.10: Doğrudan deşarj için arıtılmış atıksu kirlilik konsantrasyonları ve giderim verimleri.           | 43                  |
| 5.11: Sulama amaçlı yeniden kullanım için sınır değerleri.                                             | 44                  |
| 5.12: Sulama amaçlı yeniden kullanım için arıtma verimleri.                                            | 45                  |
| 5.13: Proses amaçlı yeniden kullanım için limit kirlilik değerleri.                                    | 45                  |
| 5.14: Proses bazlı yeniden kullanım için arıtma verimleri.                                             | 46                  |
| 5.15: Geri kazanılmış atıksu kar hesaplamaları.                                                        | 49                  |
| 5.16: Proses bazlı yeniden kullanım için kar hesaplamaları.                                            | 51                  |
| 5.17: Geri kazanılmış atıksu arıtım maliyetleri.                                                       | 52                  |
| 5.18: Süt endüstrisi atıksu arıtım bedeli.                                                             | 54                  |
| 5.19: Arıtılacak atıksu miktarı.                                                                       | 54                  |

|       |                                                                                                                             |    |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.20: | Arıtılmış atıksudan elde edilen kar miktarı.                                                                                | 55 |
| 5.21: | Kümülatif arıtılacak atıksu miktarı.                                                                                        | 55 |
| 5.22: | Arıtılmış atıksudan elde edilen kazanç.                                                                                     | 56 |
| 5.23: | Arıtılmış atıksu bedeli.                                                                                                    | 56 |
| 5.24: | Otomotiv endüstrisi atıksularının son kullanım hedefleri doğrultusunda küresel ısınmaya olan etkilerinin değerlendirilmesi. | 59 |
| 5.25: | CO <sub>2</sub> emisyon hesaplamaları.                                                                                      | 59 |
| 5.26: | Süt endüstrisi atıksularının son kullanım hedefleri doğrultusunda küresel ısınmaya olan etkilerinin değerlendirilmesi.      | 60 |
| 5.27: | Proseste yeniden kullanım son hedefi için CO <sub>2</sub> emisyon hesaplamaları.                                            | 60 |

# 1. GİRİŞ

Günümüzde, dünyamızda ve ülkemizde kullanılan su miktarı gün geçtikçe artış göstermektedir. Hızlı nüfus artışı ile birlikte artan tüketim ihtiyacı ve buna bağlı olarak artış gösteren üretim, sanayinin de kaçınılmaz şekilde büyümesine sebep olmaktadır. Sanayileşmenin artışıyla birlikte üretim aşamalarında kullanılan su miktarında da artış meydana gelmektedir. Fakat kullanılan yüksek su miktarının yanı sıra üretimin devamlı olması nedeniyle su kaynakları da büyük tehdit altındadır. Buna bağlı olarak su kaynakları sürdürülebilir şekilde yönetilemez ise, iklim değişikliği ve doğada yaşanan deformasyonlar sebebiyle su kıtlığı kaçınılmaz hale gelecektir. Su kaynaklarının doğru bir şekilde yönetilebilmesi için de harcanan yüksek miktarlardaki suyun arıtımı, geri kazanımı ve yeniden kullanımı çağımızda yüksek önem kazanmakta ve çevreci yatırımları da zorunlu kılmaktadır.

Pek çok uluslararası platformlarda da vurgulandığı üzere, suyun yeniden kazanılması ve hatta endüstride yeniden kullanımının yanı sıra atıksudan yeniden içilebilir su elde edilebilmesi dahi mümkündür. Bu aşamada en çok önem kazanan temel etmenlerden birisi kaçınılmaz ki kullanılan teknolojinin gelişmişliği ve bu teknolojinin kullanımına bağlı olarak artan maliyet yükleridir. Fakat, tercih edilen doğru teknoloji seçimi ve son kullanım amacının doğru tespiti ile birlikte ilk yatırım maliyeti ve sonrasında ortaya çıkan işletme ve bakım maliyetlerinin tamamı kısa sürede telafi edilerek hem ekonomik kara hem de çevresel ve sosyoekonomik açıdan kazanca dönüşebilmektedir.

## 1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği

Atıksuların geri kazanımı ve yeniden kullanımı aşamasında pek çok çeşitli teknoloji kullanılmaktadır. Bu teknolojilerin bir çoğunun kullanımı günümüzde yaygınlaşmış olmasına karşın çevreci yaklaşımlar ve uygulamalar da geliştirilmeye devam edilmektedir. Suyun kullanım alanının genişliği geri kazanımının önemini de artırmaktadır. Bu nedenle bu tez çalışmasının amacı; atıksuyun, deşarj standartlarına indirgendikten sonra doğrudan alıcı ortama deşarj edilmesi ve farklı amaçlarla yeniden kullanımı aşamalarında oluşan ekonomik, çevresel ve sosyoekonomik açıdan oluşan maliyetlerin karşılaştırılması ve bir karar destek sistematığının

oluşturulmasıdır. Tez kapsamında ilk bölümde, geri kazanım süreçleri ile atıksuların geri kazanımı aşamalarında ne tür yöntemlerin kullanıldığından bahsedilmiştir. İkinci bölümde ise, suyun sosyal, ekonomik ve sosyoekonomik açılardan önemi ile gerikazanımı ve yeniden kullanımının öneminden bahsedilmiştir. Bu bölümde ayrıca değerlendirme aşamasında göz önünde bulundurulan faktörlere dayalı olarak günümüzde kullanılan çevresel analiz yöntemlerine değinilmiş, yapılan ekonomik analizin avantaj ve dezavantajları ele alınmıştır. Üçüncü bölümde, çalışma kapsamında kullanılan atıksu karakterizasyonları ve kirlilik konsantrasyonları ile son kullanım amacı projeksiyonlarından bahsedilmiştir.

Dördüncü bölüm analiz aşamasını içermektedir ve bu karar destek sistematığının oluşturulması aşamasında faydalanılan yazılım programı tanıtılmıştır. Beşinci bölümde ise oluşturulan geri kazanım ve yeniden kullanım senaryoları kullanım amaçlarına göre irdelenmiş ve kullanılan iki farklı karakterizasyondaki her bir atıksu birbirleri arasında karşılaştırılmıştır. Son bölümde ise, elde edilen sonuçlar birbirleri ile kıyaslanarak, çok kirli ve az kirli atıksular için elde edilen sonuçlar birbirleri arasında karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

## 2. ATIKSU GERİ KAZANIM SÜREÇLERİ VE GERİ KAZANIM YÖNTEMLERİ

Atıksuyun yeniden kullanımı, atıksuyun arıtma verimliliğini artırır. Böylece alıcı ortamlara deşarjlarda kirletici miktarı da azalmış olur [1]. Atıksuların geri kazanılmasındaki amaç mevcut su kaynaklarının korunumu ve alıcı ortamlara deşarj sebebiyle doğal ortamlarda meydana gelen kirletici yüklerinin azaltılmasıdır. Geri kazanım süreçlerinde ise, son noktada suyun yeniden hangi amaç doğrultusunda kullanılacağı büyük önem arz etmektedir. Atıksuların geri kazanımı olgun şartlar sağlanabildiğinde her zaman mümkündür. Ancak buradaki en önemli faktörlerin başında kullanılan teknoloji gelmektedir. Arıtılmış atıksuyun yeniden kullanımı için seçilecek teknoloji; arıtılmış atıksu özelliklerine, yeniden kullanım aşamasında suyun sahip olacağı karakterizasyona, çevresel ve canlı sağlığı açısından etkileri ile işletme kolaylığı ve ekonomik açıdan fizibilite değerlendirmesi göz önünde bulundurularak değerlendirilmektedir [2]. Kullanılacak teknolojinin seviyesi de yine suyun kullanım amaçları doğrultusunda belirlenebilmektedir. Sulama amaçlı kullanım için arıtılmış suya biyolojik prosesler ve beraberinde dezenfeksiyon işlemleri uygulanmaktadır. Ancak daha farklı amaçlarla, proseste ya da endüstride yeniden kullanım söz konusu olarsa daha ileri arıtma teknolojilerinin kullanılması önem kazanmaktadır. İleri arıtma teknolojileri içerisinde ise membran teknolojileri, aktif karbon ile kirlilik giderimi ve ileri oksidasyon yöntemleri kullanılmaktadır [2]. Atıksuların sulama amaçlı yeniden tarımda ve bahçe sulamada kullanımında barındırdığı patojen ve mikroorganizma konsantrasyonu büyük öneme sahiptir. Bu mikroorganizmaların varlığı, eğer su tarımsal amaçlı sulamada kullanılacak ise uygulanacağı bitki örtüsü üzerinde mikroorganizmanın birikebilme tehlikesi canlı sağlığı açısından risk teşkil edebilir. Bu nedenle, bu ve benzeri kullanımlarda, suyun arıtılmasının ardından uygulanacak dezenfeksiyon basamağı da en az uygulanacak arıtma teknolojisi kadar önemlidir. Halk tarafından kullanılan, yeşil alan ve bahçelerin sulanması amaçlı kullanılacak sularda ise eser elementlerin birikmesi riski söz konusudur. Gerikazanılmış atıksuyun bu ve benzeri amaçlı kullanımlarında bu tür riskler göz önünde bulundurulmalıdır [3]. Tablo 2.1’de atıksu geri kazanımında kullanılan teknolojiler listelenmiş olup, bu teknolojilerin kullanımı durumunda sulardan hangi tür kirleticilerin giderilebileceği gösterilmiştir.

Tablo 2.1: Atıksu geri kazanımında kullanılan arıtma teknolojileri ve giderdikleri kirletici çeşitleri.

| Arıtma Birimleri    | Askıda Katı Madde | Kolloidal Maddeler | Partiküler Organik Maddeler | Çözülmüş Organik Maddeler | Azot | Fosfor | Eser Maddeler | Toplam Çözülmüş Madde | Bakteri | Protozua | Virüs |
|---------------------|-------------------|--------------------|-----------------------------|---------------------------|------|--------|---------------|-----------------------|---------|----------|-------|
| İkincil Arıtma      | •                 |                    |                             | •                         |      |        |               |                       |         |          |       |
| Nutrient Giderimi   |                   |                    |                             | •                         | •    | •      |               |                       |         |          |       |
| Filtrasyon          | •                 |                    |                             |                           |      |        |               |                       | •       | •        |       |
| Yüzey Filtrasyonu   | •                 |                    | •                           |                           |      |        |               |                       | •       | •        |       |
| Mikrofiltrasyon     | •                 | •                  | •                           |                           |      |        |               |                       | •       | •        |       |
| Ultrafiltrasyon     | •                 | •                  | •                           |                           |      |        |               |                       | •       | •        | •     |
| Flotasyon           | •                 | •                  | •                           |                           |      |        |               |                       |         | •        | •     |
| Nanofiltrasyon      |                   |                    | •                           | •                         |      |        | •             | •                     | •       | •        | •     |
| Ters Osmos          |                   |                    |                             | •                         | •    | •      | •             | •                     | •       | •        | •     |
| Elektrodiyaliz      |                   | •                  |                             |                           |      |        |               | •                     |         |          |       |
| Karbon Adsorpsiyonu |                   |                    |                             | •                         |      |        | •             |                       |         |          |       |
| İyon Değişirme      |                   |                    |                             |                           | •    |        | •             | •                     |         |          |       |
| İleri Oksidasyon    |                   |                    | •                           | •                         |      |        | •             |                       | •       | •        | •     |
| Dezenfeksiyon       |                   |                    |                             | •                         |      |        |               |                       | •       | •        | •     |

## 2.1. Atıksuların Geri Kazanımında Kullanılan Arıtma Teknolojileri

Endüstriyel atıksular, çeşitli konsantrasyonlarda farklı türden kirleticiler içerebilmektedir. Bu nedenle atıksuya uygulanacak olan arıtma yöntemi de o suya ve suyun içerdiği kirletici konsantrasyonlarına özgü olmak zorunda olup endüstriyel atıksuları arıtmak için tek bir teknoloji mevcut değildir. Araştırmalar sonucu çok çeşitli arıtma yöntemleri geliştirilmiş ve bu konudaki iyileştirici araştırmalar da sürdürülmeye devam etmektedir. Fiziksel, fizikokimyasal ve biyolojik kombinasyonlar arıtma teknolojisi olarak kullanılabilir [4].

Aşağıda sırasıyla fiziksel, fizikokimyasal ve biyolojik arıtma teknolojileri listelenmiştir.

- Fiziksel Prosesler
    - Sedimentasyon
    - Filtrasyon
  - Yüzey filtrasyonu; elekler, bez filtreler ve membran filtreler
    - Batık Filtrasyon
    - Kum filtresi
    - Diğer medya filtresi çeşitleri
    - Buharlaştırma
  - Doğal buharlaştırıcılar
  - Vakum buharlaştırıcılar
  - Mekanik buharlaştırıcılar
    - Gaz Transferi
  - Fiziko - Kimyasal Prosesler
    - Koagülasyon ve flokülasyon, elektrokoagülasyon
    - Adsorbsiyon – yeni ve uygun adsorbanlar kullanılarak
    - İyon değiştiriciler
    - Çöktürme
    - Membran teknolojileri; RO, CDI, elektrodiyaliz
    - Oksidasyon Redüksiyon
  - İleri oksidasyon
  - Biyolojik Prosesler
    - Aerobik prosesler
    - Anaerobik prosesler
    - Biyolojik prosesler zenginleştirilmiş mikroplar kullanılarak bazı kompleks organik atıklar için seçici hale getirilerek arıtma prosesi olarak kullanılabilir [4].
- İleri arıtma teknolojileri proses akış şeması türüne göre üç temel kategoriye ayrılabilir [5]:

- i) Üçüncül arıtma
- ii) Fizikokimyasal arıtma
- iii) Kombine fiziksel – biyolojik arıtma

Üçüncül arıtma, geleneksel ikincil arıtmayı takiben akım şemasına herhangi bir basamağın eklendiği ikincil arıtma gibi de düşünülebilir[4]. Bu ilaveler, askıda katı maddelerin uzaklaştırılması için bir filtre ilavesi gibi basit ya da organik ve azot ve fosfor giderimi için birden fazla ünite eklenmesi kadar karmaşık da olabilmektedir [5].

Fizikokimyasal arıtma ise, istenen atıksu kalitesinin elde edilebilmesi için, biyolojik ve fiziksel-kimyasal arıtma işlemlerinin karıştırıldığı bir arıtma basamağı olarak tanımlanabilir. Kombine biyolojik - fiziksel – kimyasal arıtma üçüncül arıtmadan farklıdır [4]. Çünkü, üçüncül arıtmada biyolojik arıtmadan sonra herhangi bir arıtma basamağı ilave edilirken kombine arıtmada biyolojik ve fizikokimyasal proseslerin bir karışımı uygulanmaktadır [4].

İleri atıksu arıtımının sınıflandırılmasının bir başka yolu istenen arıtma hedefi temelinde sınıflandırmaktır:

- İlave organik askıda katıların giderilmesi
- Azot oksijen ihtiyacına göre giderim (NOD)
- Nutrient giderimi
- Toksik maddelerin giderimi

Örneğin yalnızca ikincil arıtma ile atıksu içerisindeki KOİ'nin yalnızca %65'i giderilebilir. Bu nedenle daha iyi kalitede arıtılmış su eldesi için üçüncül arıtma zorunlu ve gereklidir. Bu çalışmada en çok kullanılan ileri arıtım yöntemi ise ileri oksidasyon prosesleri ile membran proseslerdir.

Kimyasal Oksidasyon Prosesleri: Organik kirleticilerin kimyasal oksidasyon yöntemi ile sulardan giderimi sıklıkla kullanılmasına rağmen, biyolojik olarak arıtım ile giderilmesine kıyasla daha maliyetlidir[4]. İkincil arıtma basamaklarının yer aldığı sistemlerde, arıtma esnasında hedef substratlardan türetilen enerjilerden beslenerek doğal avantajlara sahipken, oksidasyon sistemleri artan işletme maliyetlerine sahip olmasının yanı sıra ilave edilen kimyasal oksidanlar nedeniyle enerji girdilerine ihtiyaç duymaktadır[4]. Büyük miktarlardaki askıda ya da çözünmüş katıların hızlı bir şekilde kimyasal oksidanlar tarafından tüketilebilmesi sebebiyle çok küçük konsantrasyonlarda dahi atıksulara ilave edilmesi ile yüksek miktarlardaki konsantrasyonlarda bulunan kirleticiler küçük maliyetlerle de

giderilebilmektedir. Son zamanlardaki araştırmalarda da, ileri oksidasyon proseslerinde temel olarak temel reaksiyon oranlarına yoğunlaşılmıştır. En çok kullanılan oksidan maddeler ise; hidrojen peroksit, ozon, potasyum permanganat ve klordioksittir. Bu oksidantların her biri, farklı özelliklerdeki atıksularda kullanılmalarına olanak sağlayabilen eşsiz özelliklere sahiptir. Örneğın hidrojen peroksit ( $H_2O_2$ ); pH 3.0 – 4.0 aralığında verimli olarak çalışabilirken, en yaygın olarak kullanılan Fenton prosesi pH yaklaşık 3.5 civarında aktif olarak işlem görebilmektedir [5].

Ardışık Anaerobik / Aerobik Prosesler: Özellikle, BOİ, organik fosfat, azot ve toksik organik kimyasalların hem endüstriyel hem de kentsel atıksulardan giderilmesinde sınırlandırılmış deşarj konsantrasyonlarına sahip olmaları nedeniyle kullanılmakta olan proseslerdir. Anoksik prosesler ise fosfor, azot ve pek çok organik kimyasalın dönüştürölmesine olanak sağlamaktadır [5]. Fakat toksik maddelerin tamamının ayrıştırılabilmesi anaerobik arıtım yöntemlerinin kullanımıyla mümkün olmasa da büyük konsantrasyonları giderilebilmektedir. Bu nedenle daha büyük konsantrasyonlarının giderilebilmesi aşamalarında, öncesinde ön arıtma basamakları ve aerobik arıtma basamakları kullanılmaktadır. Son zamanlarda, yenilikçi yöntemler de geliştirilmiştir. Özellikle de küçük debili fakat dirençli bir kirlilik karakterizasyonuna sahip atıksuların arıtımında bu yöntemler kullanılmaktadır.

Adsorpsiyon Prosesleri: Yaygın olarak endüstriyel atıksulardan renk gideriminin yanı sıra, ağır metallerin ve diğeri inorganik ve organik maddelerin gideriminde kullanılan bir arıtma yöntemidir. Prosesin en önemli özelliğı, uygulama kolaylığı ile diğeri ayrıştırma prosesleriyle kıyaslandığında ucuz olması ile çamur kalıntısı oluşturmamasıdır. Günümüzde, aktif karbonun, kimyasal ve fiziksel özelliklerini değıştirerek adsorblama kabiliyetini arttırmak için çok fazla çalışma yürütölmeye devam etmektedir [5]. Adsorbanların formları, karbon içerikli olabildiğı gibi karbon muhteva etmeyen formda da olabilmektedir. Karbon muhteva eden formları granöler aktif karbon (GAC) yapısına çok benzerken karbon muhteva etmeyen sentetik yapıda olan formları ise daha çok spesifik kirleticilerin giderilmesi için geliştirilmektedir. Bu formlara, iyon değıştirici reçineler seçici özelliklere sahip olmaları nedeniyle örnek verilebilir [4].

Membran Prosesler: Basınç ile çalışan membran prosesleri, mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF), ve ters osmoz (RO) dahil olmak üzere ileri su arıtımı, suyun geri kazanımı ve yeniden kullanımı proseslerinde aktif olarak kullanılmaktadır. Tablo 2.2’de membran türlerine göre basınçlı sürücüler sayesinde sulardan giderilebilen kirlenici çeşitleri ile membran gözenek çapları görülmektedir.

Tablo 2.2: Membran por özellikleri ve hedef kirleniciler.

| Membran Prosesler | Ortalama Membran Por Çapı (nm) | Hedef Kirlenici Çeşitleri                                                     |
|-------------------|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| MF                | 200                            | Askıda katılar, bulanıklık ve patojenler (Cryptosporidium, Giardia, Bacteria) |
| UF                | 2 - 50                         | Makromoleküller, virüsler, kolloid maddeler ve proteinler.                    |
| NF                | < 2                            | Renk, organikler, pestisidler ve metaller.                                    |
| RO                | < 1                            | Çözülmüş katılar, nitratlar ve radyonüklidler                                 |

Kirlenme ve membran ömrü birçok uygulama alanında problem oluşturmaya devam ederken, bu problemlerin ortadan kaldırılabilmesi düşük basınç gereksinimi ile yüksek dayanıklılık özelliklerinin kazandırılabilmesi için polimer teknolojilerini geliştirme yönündeki çalışmalar hızla devam etmektedir[5]. Membran kullanımlarında görülen en yaygın dezavantajlardan bir tanesi kirlenme ve buna bağlı olarak oluşan tıkanma problemi [5]. Su ve atık su arıtımında membran filtrasyonu için, kirlenmeyi azaltan ve / veya önleyen teknolojilerin geliştirilmesi, operasyonel koşullar ve membran temizleme yöntemlerini içeren önemli bir araştırma alanı oluşmuştur [5].

Atıksuların arıtımında, geri kazanımı ve yeniden kullanımı aşamalarında kullanılan başlıca teknolojiler ise Tablo 2.3’de gösterilmektedir.

Tablo 2.3: Suların ileri arıtımında kullanılan biyolojik ve fizikokimyasal prosesler.

| Hedef Kontaminantlar | AN/A Bio | Bio-M | COX | GAK | Poli | MF-UF | RO |
|----------------------|----------|-------|-----|-----|------|-------|----|
| Çözünmüş Katılar     |          |       | ■   |     |      |       | ■  |
| Askıda Katılar       | ■        | ■     |     |     |      | ■     |    |
| BOİ                  | ■        | ■     |     | ■   |      | ■     | ■  |
| Patojenler           |          |       | ■   |     | ■    | ■     | ■  |
| Non - VOCs           | ■        | ■     |     | ■   | ■    |       | ■  |
| VOCs                 | ■        | ■     | ■   | ■   |      |       | ■  |
| Metaller             | ■        |       |     |     |      |       | ■  |

Bu tabloda gösterilen proses açıklamaları sırasıyla;

An/A Bio = Anaerobik /Aerobik biyoproses; Bio-M = Biyomembranlar; COX = Kimyasal oksidasyon; GAK = Granüler aktif karbon; POLİ = Sentetik polimer adsorbsiyonu; MF-UF = Mikrofiltrasyon ve Ultrafiltrasyon; RO = Ters Osmoz proseslerini temsil etmektedir [5].

## 2.2. Atıksuların Geri Kazanımı ve Yeniden Kullanımında Karşılaşılan Güçlükler, Avantajlar ve Dezavantajlar

Atıksuların geri kazanımı ve sonrasında yeniden kullanımı günümüz dünyasında, oldukça yaygınlaşmıştır. Atıksular geri kazanıldıktan sonra pek çok alanda kullanılabilmektedir [1]. Başlıca, tarımsal sulamada kullanım, park ve bahçelerin sulanmasında kullanım, sanayi kaynaklı soğutma suları amaçlı yeniden kullanımı, endüstride proses suyu olarak yeniden kullanımı ve yer altı sularının suni olarak beslenmesi aşamasında yeniden kullanım olarak sıralandırılabilir [1].

Atıksuların yeniden kullanılması, su kaynaklarına olan talebin azalmasının yanı sıra pek çok faydaya sahiptir. Bunlar şu şekilde sıralanabilir;

- Sürdürülebilir bir su kaynağı seçeneği olması
- Gerekli ve doğru kontrollerin yapılması koşuluyla güvenilir oluşu
- Daha az enerji tüketimin
- Mevcut ve yeni su kaynaklarına olan talebin azalması
- Arıtılmış suların geri kazanılması sonucunda, yüzey sularına yapılan atıksu deşarjlarında meydana gelen azalma sayesinde yüzey sularının su kalitesinde meydana gelmesi muhtemel su kalitesi artışı

Bunun yanısıra, atıksu geri kazanımında sağlanacak en büyük fayda ise, mevcut yeraltı ve yüzeysel su kaynaklarına olan bağımlılığın azalması ve bu su kütlelerinin ekolojik yaşamının koruma altına alınacak olmasıdır [7]. Bu sayede hem yeni su kaynakları yaratılmış olacak hem de suların gereksiz kullanımları önlenmiş olacaktır. Bu sayede toplumun yüksek ölçüde bilinçlendirilmesi de kaçınılmaz olacaktır. Tüm bu avantajların yanında, gözetilen kazançların yanı sıra ilk yatırım maliyetlerinin yüksek oluşu ile atıksu olarak nitelendirilen suyun yeniden geri kazanımı süreçlerinde toplum tarafından kabul görmesi en büyük dezavantajlardan bir tanesi olarak nitelendirilmektedir. Bu aşamada, toplumda oluşabilecek olumsuz ön yargıların önüne geçilebilmek için yapılması gereken bilinçlendirme ve ikna çalışmaları aşamaları çoğu zaman prosesin dışında ekstra maddi bir yük neden olabilmektedir. Diğer yandan kullanılacak olan proseslerin sürdürülebilirliğinin sağlanması aşamasında da ekonomik ve çevresel kriterler ön plana çıkmaktadır. Kurulan tesislerde özellikle de membran proseslerin işletilmesi aşamasında ortaya çıkan tıkanmaya bağlı kirlenme problemleri nedeniyle işletimsel dezavantajlar oluşabilmektedir. Bunların önüne geçebilmek için de günümüzde hala, membran ana yapı maddesini, seçiciliğini, temizleme aşamasında kullanılan kimyasal madde tüketimlerinin azaltılmasını artırmak için yapılan çalışmalar hızlı bir şekilde ilerletilmektedir.

### **2.3. Kriterli Karar Analizi (MCDA) Yöntem Çeşitleri ve Avantajları**

MCDA, kriterli karar verme yöntemi olarak tanımlanmaktadır. Kriterli karar analiz yöntemleri farklı yaklaşımlara sahip geniş bir çalışma alanına yayılmıştır. Bazı MCA türleri karar verme aşamasında, sonuca ulaşma yolunda çeşitli kolaylıklar sağladığı görülmüştür. Kullanılan pek çok yöntem olmasına karşın, bu yöntemlerden yalnızca bir kaç tanesi yaygın olarak kullanılmaktadır. Tekniklerin temel rolü, insan karar vericilerin karmaşık bilgiyi tutarlı bir şekilde ele almada yaşadığı zorlukları en aza indirmektir. Bunu yaparken, en çok tercih edilen seçeneği tanımlamak, seçenekleri kendi içerisinde sıralamak, aşamalandırmak, detaylı değerlendirebilmek için sınırlı sayıda seçeneğe indirgeyerek, kabul edilebilirlik düzeyini belirlemektedirler [8].

Kırka Kriterli analiz yöntemlerinin ortaya çıkmasının amacı, karar verme aşamasında bireylerin fazla miktardaki bilgiyi tutarlı halde ele alabilme aşamalarında

yaşadıkları zorlukları ortadan kaldırılmasının hedeflenmiş olmasıdır. Kullanılan kriterli analiz yöntemleri sayesinde, seçenekler tanımlanabilmekte, sıralanarak aşamalandırılabilen ve detaylandırılarak değerlendirilebilir forma dönüştürülebilmektedir[11]. Birden fazla faktörün etkili olduğu durumlarda, kriterli karar verme araçları olarak tanımlanmış olan bu yöntemler sayesinde, ilgi ölçütlerdeki farklı proje alternatifleri değerlendirilebilmekte ve puanlanabilmektedir. Bu da, tercih edilen ya da tercih edilecek olan yöntem çeşidinin seçimini kolaylaştırmaktadır [11]. Kriterlerin belirlenmesini ve puanlanmasını basite indirmek ve yöntemin kolay bir şekilde uygulanmasını sağlayabilmek için, pek çok yazılım geliştirilmiştir[11]. Bu çalışmada kullanılmış olan Novedar EDSS Consolider yazılımı da bunlardan bir tanesidir. Bir MCDA yaklaşımının karar verme aşamasındaki avantajlarından bir tanesi, farklı senaryolara sahip iş akışlarındaki benzerlik veya potansiyel zıtlıklara netlik kazandırabilmesi ve belirginleştirebilmesidir[12].

Kriterli analiz yöntemi tekniklerinin yaygınlaşmasının temel sebepleri aşağıdaki gibi sıralanmıştır[12];

- Karar aşamasında, uygun ve doğru zamanın değişebilir nitelikte olması
- Analizi destekleyen veri miktarının zaman içerisinde değişebilir olması
- Kararı destekleyen nitelikli yetenek faktörlerinin değişken olması
- Yönetimsel kültür ve kuruluşların gereksinimlerinin değişken olması

## **2.4. Kriterli Analiz Yöntem (MCA) Seçiminde Belirleyici Olan Kriterler**

MCA (karar analizi) olarak kullanılan pek çok yöntem bulunmaktadır. MCA yöntemleri pek çok problemin çözümünde etkin olarak kullanılabilir olduğundan, farklı alt yapılarda ve farklı amaçlarda da kullanılabilir [12]. Bu bağlamda, yaygın olarak kullanılan pek çok yöntem içerisinde, kullanılacağı alana en uygun ve sonuca ulaşılabilirliği kolaylaştıran yöntemin seçilmesi de önem arz etmektedir. Doğru yöntemin seçilebilmesi için dikkate alınması gereken kriterler şu şekilde olmalıdır [12];

- İç tutarlılık ve mantıksal istikrar

- Şeffaflık
- Kullanım kolaylığı
- Ele alınan konuya uygun olarak sunulabilen veri çokluğu
- Analiz süreci için gerçekçi zaman ve insan gücü kaynağı gereksinimleri
- Denetlenebilirlik
- Gerekğinde yazılımsal olarak desteklenebilir özellikte olması

Kriterli analiz yöntemleri sayesinde, karar organlarının belirlediği hedeflere göre ölçeklendirilebilen kriterler doğrultusunda, hedefe en yakın ölçülebilir kriterler sayesinde, en yakın seçenekler arasından tercih yapılabilmektedir [12]. Bu tercihler yapılırken, geniş bir ayrıntı seviyesi de mekanizma içerisinde sunulmaktadır. Hedef parametreye en yakın seçeneği belirleyerek en uygun olan değerlendirme analiz yöntemi tarafından sunulmaktadır [12].

## **2.5. Kriterli Analiz Yöntem (MCA) Seçiminde Belirleyici Olan Kriterler**

Bu yöntemlerin sağladığı kolaylığın yanında, teorik ve bilimsel anlamda da pek çok olumlu getirisi bulunmaktadır [11]. Kriterli analiz yöntemlerinin sağladığı avantajlar şu şekilde sıralanmıştır [12]:

- Net ve açık yöntemlerdir
- Alınan herhangi bir karara yönelik, hedeflenen ve yapılan kriter seçimleri analize açıktır ve uygun bulunmadığı durumlarda anında müdahale ile değiştirilebilmektedir.
- Sonuç aşamasına gelene kadar olan süreçteki, puanlamalar ve ağırlıklar açık bir şekilde sunulmaktadır.
- Göreceli kavramların bulunduğu noktalarda, referans sunabilmektedir.
- Performans değerlendirmeleri, sayısal olarak yapılmakta ve veri ortaya koymaktadır.
- Performans matrisinde sayısal analiz yöntemi uygulanmaktadır.

Bu yöntemlerden en çok bilinen ve kullanılmakta olanlarının uygulama alanları, ve kullanım hedeflerine göre öne çıkan avantaj ve dezavantajları sırasıyla bu başlık altında açıklanmaktadır [12].

Bu yöntemlerden en çok bilinen ve kullanılanları, PROMETHEE, AHP, ELECTRE TRI, DEXİ, PRIME şeklinde tanımlanmaktadır. Bu yöntemlerin tamamı MCA modellerini temsil etmektedir. Bunlar içerisinde, en çok kullanılan iki model PROMETHEE ve ELECTRE modelleridir. Bu iki modeli takip eden diğer model ise AHP yöntemidir [9].

### **2.5.1. PRIME**

Prime yazılımı bir değer ağacı oluşturulması temeline dayandırılmıştır. Kesin veri her MCA analiz yönteminde olduğu gibi, Prime'da da sonuçlar yaklaşık olarak belirlenmektedir. Kesin veriler çoğu zaman bilinmediğinden, tercih edilen verilerin aralıklarla verildiği analitik bir karar verme aracı olarak tanımlanmaktadır[10]. Bu yazılım program genellikle, kaba bir tahin yapılmak istenildiği durumlarda kullanılmaktadır. Verilerle ilgili yaklaşık tahminler yürütülerek, kısa vadede öngörüler oluşturulmasını hedef almaktadır. Kullanıcı tercihlerinin, bir alternatifini geliştirerek, toplam bir değer ortaya koymayı hedeflemektedir[10]. Ortaya koyduğu verilere, uygun görülen nitelikte bir puanlama oluşturur. Bu puanlamayı yaparken kullanıcı tarafından belirlenmiş olan son hedef ve kriterlere göre puan skalasını belirlemektedir.

### **2.5.2. ELECTRE**

ELECTRE, bir sıralama yöntemi oluşturulması temeline dayandırılmıştır. Belirli olarak seçilmiş olan faktörler arasından, bir sıralama ölçütü oluşturmaktadır. Bu sıralamayı oluştururken, karar vericiye göre alternatif sorunlara çözüm olabilecek nitelikte öngörüler meydana getirmektedir [10]. Oluşturmuş olduğu öngörüler arasından seçimler yapmaya olanak sağlamaktadır. Sonrasında ise, bu seçimleri bir sıralamaya dayandırmaktır. Böylece kriterli analiz optimizasyonlarını belirler ve en makul olanlarının bileşkesini alarak en uygun ihtimali öngörü olarak bir düzen seti geliştirir. ELECTRE yönteminin kullanılması aşamasında, kriterler belirlenirken

kriter gerekliliklerinin zayıf ya da güçlü olacak şekilde net bir biçimde tanımlanmış olması gerekmektedir [10].

### **2.5.3. PCA**

PCA, bir çeşit çok değişkenli analiz yöntemidir. Birbirleriyle ilişkilendirilmiş birkaç nicel bağımlı değişken tarafından tanımlanan bir veri tablosunu analiz eden çok değişkenli olarak kullanılabilen bir teknik altyapıya sahiptir. PCA yazılımında, belirli kriterler sunulmaktadır ve bunlar tablolar halinde yazılım içeriğinde biçimlendirilmiştir [8]. Veri tablosu olarak nitelendirilen bu tabloda, kriterler kullanıcı tarafından işaretlenmektedir. Veri tablosunda işaretlenen en önemli bilgileri hedefler olarak kabul edilir. Belirlenen bu bilgileri önemli olarak hafızasına kaydeder ve bir veri seti oluşturur. Buna bağlı olarak veri setinin tanımını oluşturur ve belirlenmiş olan hedefler kapsamında yapıyı analiz eder. PCA bir çok yönden, değişkenli veri analizinin temelini oluşturmaktadır. İlk olarak 1901 yılında, Perason tarafından istatistiki verileri denkleştirilmiştir [11].

### **2.5.4. PROMETHEE**

PROMETHEE yazılımında, belirlenen kriterler bir puanlama aralığında değerlendirilmektedir. Buradaki ölçüt, program tarafından oluşturulmuş puan değerleriyle ifade edilmektedir. Puanlama aralığı 0 ve 1 skorlarından ibarettir. Belirlenmiş kriter altyapısına göre, değerlendirme sonucunda oluşturulmuş olan skor değeri 1'e ne kadar yakınsa, tercih edilebilirliği de o kadar yüksek olduğu anlamını taşımaktadır [12]. Bu programın dezavantajı kullanıcı tarafından aynı anda en fazla iki parametrenin tanımlanabilir olmasıdır. Kriter düzeyinin önem sıralaması tamamiyle kullanıcı tarafından belirlenmektedir.

ve belirlenmiş olan hedefler kapsamında yapıyı analiz eder. PCA bir çok yönden, değişkenli veri analizinin temelini oluşturmaktadır. İlk olarak 1901 yılında, Perason tarafından istatistiki verileri denkleştirilmiştir [11].

### 2.5.5. DEXi

DEXi, sonuç odaklı bir karar modeli olarak geliştirilmiştir. Karar verme aşamasındaki problemleri bir bakıma basite indirgeyerek daha az karmaşık olan alt problemlere ayırabilen nitel bir karar modeli olarak tanımlanmaktadır. Bu yazılım altyapısında da diğer pek çok yazılım altyapılarında olduğu gibi, kriterler hiyerarşik olarak tanımlanmaktadır. DEXİ yazılımının temel ifade biçimi " eğer öyleyse " ön koşulu ile pekiştirilmiştir [12]. Örneğin fayda fonksiyonunu görüntüleyebilmek ve değerlendirmeye tabi tutabilmek için, DEXİ “eğer öyleyse” şeklinde bir karar ölçütü belirlemekte ve belirlemiş olduğu bu kriterle yardımcı işlev olarak tanımlanabilecek her bir ölçüt için bir hiyerarşi mekanizması oluşturmaktadır [12]. Buna bağlı olarak da her bir veri girdisi için bir kriter kombinasyonu oluşturur ve sonucunda toplam kriterlerin değerini tek bir değer olarak ifade eder. Bu değer ifade edilirken, her kriterin birbiri ile olan göreceli önemi de yazılım tarafından ifade edilmektedir. İfadeler, her ölçüt için diğerine kıyasla " iyi " , " tarafsız " , veya " zayıf " olmasına bağlı olarak sıralanmaktadır.

### 2.5.6. AHP

AHP ise, hiyerarşik bir yapı tarafından temsil edilebilecek problemlere uygulanabilen bir önceliklendirme yöntemidir. Yetmişli yıllarda geliştirilmeye başlanmış bir yaklaşımdır [11]. Bu yöntem, üç ilkeden türetilmiş üç ayrı aşamadan oluşmaktadır:

- Hiyerarşi oluşturma temeline dayanır.
- Önceliklerin belirlenmesi ilkesini benimser
- Mantıksal tutarlılık ilkesini temel alır [11].

Prensip 1: Hiyerarşinin Yapılandırılması: Bu prensip, insan zihninin, bilgileri hazırlarken nesneleri ve kavramları tanıdığını ve aralarında mevcut olan ilişkileri tanımladığını belirten bulgulara dayandırılmıştır [11]. Çünkü insan zihni eylemden etkilenen tüm faktörleri aynı anda algılayamaz ve bağlantılı yapıları, karmaşık

sistemleri basit yapılara bölmek ister. Bu basitleştirme, uygun hiyerarşilerin oluşturulmasını amaçlayan mantıksal işlemlerle mümkün kılınabilmektedir.

Hiyerarşi sıralamalarını, insan aklının karar verme, problemlerin karmaşıklığı ile baş etme aşamalarına yardımcı olmak için, birbirine bağlı farklı ve çok sayıda elemandan oluşan bir çerçeve oluşturarak yararlı çerçeveler oluşturmaktadır. "Bir hiyerarşi, varlıkların varsayımına dayanan belirli bir sistem türüdür, belirlediğimiz, bir grubun varlıkları yalnızca bir grubun varlığını etkileyen ve bir grubun varlığından etkilenen ayrık kümeler halinde gruplandırılabilir." ilkesini özümseyen bir altyapıya sahiptir [11]. En basit hiyerarşi modeli üç seviyeden oluşur: birincisi karar verme sorununun ana hedefi (belirlenmiş hedef) ile karşılaştırılır; ikinci ve üçüncü öncelikli belirlenmiş hedefler, kriterleri ve seçenekleri içermektedir. Bu sayede, her bir durum için, belirli sayıda alt ölçüt içeren seviyelendirilmiş hiyerarşiler yapılandırılabilir.

AHP metodu, kriterlerin karşılaştırmalı önceliklerini, ağırlıklandırır ve çiftli bazda alternatif matrislerini her kriter için bir matris olacak şekilde temellendirerek tasarlar. Böylece, her bir kritere göre, öncelik matrisi olarak adlandırılan alternatif yönelik öncelik sıralamaları geliştirilmesini sağlar [8].

Prensip 2: Önceliklerin Belirlenmesi: AHP yaklaşımında ikili karşılaştırmalar (yani verilen bir kritere göre çiftler içindeki elementlerin karşılaştırılması, aynı hiyerarşik seviyedeki elementler arasında önceliklerin (veya ağırlıkların) belirlenmesi için kullanılmaktadır. Aynı hiyerarşik seviyedeki tüm elementler, bir sonraki seviyeye karşılık gelen elementlere göre çiftler halinde karşılaştırılır ve çiftli bir matris elde edilir. Bir elemanın diğerine kıyasla göreceli önemini göstermek için, ikili olarak ölçek karşılaştırmalar tanımlanmıştır [11]. Her bir seviyedeki element çiftlerinin bir sonraki seviyedeki kritere göre karşılaştırılmasında 1 ile 9 arasında puanlar değerleri tanımlanır.

Prensip 3: Mantıksal tutarlılık: AHP yaklaşımında, tutarsızlık derecesinin kontrolü için her bir ikili karşılaştırma matrisinin “maksimum veya ana özdeğer” i hesaplanır. Tutarsızlık çok yüksekse, kararları yeniden biçimlendirilir [11].

### 2.5.7. MCDA

MCDA yönteminin seçilmesi aşamasında kullanılan aşamalar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- i) Yaklaşım için bir seçenek belirlenir.
- ii) Seçeneklerin sayısı ve niteliği belirlenir. Bu nitelikler; projeler, yatırım seçenekleri gibi karar vericilerin kriterlerini belirlemede rol oynamaktadır.
- iii) Önceden belirlenmemiş yaklaşım içerisindeki seçeneklerin miktarı/sayısı dolaylı seçenekler haline dönüştürülür.
- iv) Her hedefle ilgili seçenek sunulur.
- v) Hedefler net fonksiyonlarla birlikte verilir.
- vi) Çözüm önerisi belirli bir prosedüre dayandırılarak hesaplanır.

MADM (Çok Amaçlı Karar Verme) yöntemi ilk olarak 1957 yılında Churchman, Ackoff ve Arnoff tarafından geliştirilmiştir. Problemler için analitik hiyerarşi süreci, dışa dönük veya çok özellikli fayda teorisi gibi yöntemler kullanılması temeline dayandırılmıştır [12].

Bu şekilde, günümüzde de geliştirilmeye devam edilen ve çevresel boyutlar dışında pek çok alanda kullanılan çok kriterli analiz yöntemlerinin (MCDA) su kaynakları yönetiminde kullanılmasının avantajları ise aşağıdaki gibidir [12];

- Sınırlı finans ve insan kaynakları ile başa çıkmak
- Aynı anda tek bir kriter yerine birden fazla kriter kombinasyonun değerlendirilebilmesine olanak tanımak
- Karar verme aşamasında oluşabilmesi muhtemel gecikmelerden kaynaklı oluşabilecek maliyet açıklarını en aza indirmek
- Projelendirme ya da karar verme aşamasında, paydaşlar arasında doğabilecek çatışmalara delil oluşturabilmek
- Projelerin yönetimini kolaylaştırmak

## **2.6. Çevre Mühendisliği Alanında Kullanılan Kriterli Analiz Yöntemi Çeşitleri**

Çevre Mühendisliği çalışmalarında yaygın olarak kullanılan kriterli analiz yöntemi yazılım çeşitleri aşağıda başlıklar halinde tanımlanmıştır.

### **2.6.1. Novedar EDSS Consolider**

NOVEDAR Consolider projesi, XXI. Yüzyılın Kanalizasyon Arıtma Tesislerinin geliştirilmesi amacıyla Kasım 2007'de başlatılmıştır [10]. Projenin temel aldığı üç ana sorun, atıksu arıtması sırasında su ve ürün geri kazanımını iyileştirmek, enerji gereksinimlerini ve tam ölçekli tesislerin işletme maliyetlerini en aza indirmek ve çamur üretimini en aza indirmek olmuştur [10].

Proje, askıda biyokütle, biyofilm ve hibrit reaktörler, Membran Biyolojik Reaktörler (MBR), pıhtılaşma-topaklanma-çökeltme işlemleri, Granül Aktif Karbon (GAC) kolonları, oksidasyon işlemleri gibi atıksu arıtma ve ozonlama, fotokimyasal oksidasyon ve fenton benzeri arıtım sonrası ileri teknolojiler geliştirmeyi hedeflemiştir [10]. Bunların yanı sıra, çamur üretiminin en aza indirilmesi için farklı stratejiler incelenmiştir. Altyapı ve kanalizasyon sistemlerinin modellerinin yapılandırılması, teknolojilerinin değerlendirilmesi, karşılaştırılması ve kavramsal tasarımı için bir Karar Destek Sisteminin (DSS) geliştirilmesi ve maliyet analizinin yapılması ile teknik, ekonomik değerlendirmelerinin yapılması ve atıksu arıtma işlemleriyle ilişkili çevresel verimlilik de projede önemli bir role sahip olmuştur.

### **2.6.2. ATL EDSS**

ATL EDSS, 1990'ların ortalarında, iki çevre mühendisliği ve bir yapay zeka araştırma grubunun, belediye atık su arıtma tesislerinin biyolojik süreçlerinin çalışmasını optimize etmek için ortaya çıkmıştır [10]. Başlangıçta, kavramsal olarak gerçekleştirilmiştir. Sonrasında ise, konvansiyonel uzmanlık bağlamında belirli karar ağaçları sistemleri oluşturulmuştur. Belirlenmiş bir dizi karar ağacı teşhisiyle, aktif çamur sisteminde işletme sorunlarını çözmek için tam bir EDSS kurulması hedeflenmiştir [10]. Geliştirilen modüller sayesinde, sorun temelli bir muhakeme

sistemi ve mekanik bir model geliştirilmiştir [10]. Araştırmalar sonucunda, 35 000 m<sup>3</sup> /gün değerindeki tam ölçekli bir tesise (Granollers, NE Spain) uygulanmıştır. ATL EDSS ile kurgulanmış olan süreç, on ay boyunca denetlenmiştir ve problemlerin teşhis edilebilmesi başarılmıştır [10].

### **2.6.3. PSARU EDSS**

PSARU EDSS, Katalan Su Ajansı tarafından ortaya atılmıştır. 2000'den az nüfusu olan 3500 topluluk için en uygun atık su arıtma ve bertaraf sistemini seçmek amacıyla Girona Üniversitesi tarafından yönetilen ve 4 çevre mühendisliği araştırma İspanyol bilim insanlarından oluşturulan bir ekipçe geliştirilmiştir [10]. Özel olarak geliştirilen bu uygulama, aşağıdaki üç sürdürülebilirlik boyutunda zorluklar ortaya koymuştur. Son kullanıcılarla sürekli etkileşimi gerektiren bu proje (Katalan Su Ajansı) ve paydaşlarla, yerel makamlarla sürekli etkileşim gerektirmektedir. PSARU EDSS, tatmin edici sonuçlar vermiştir fakat Katalonya'daki tüm öngörülen topluluklarda en uygun arıtma sistemlerinin değerlendirilmesi ve onaylanması ihtiyacını da zorunlu kılmıştır [10].

### **3. ÇALIŞMADA KULLANILAN SU KARAKTERİZASYONLARI VE SON KULLANIM AMAÇLARI**

#### **3.1. Çalışmada Kullanılan Su Kaynakları ve Su Karakterizasyonları**

Çalışmada iki farklı endüstriye ait atıksu kullanılmış olup, bu atıksulara ait veriler ve bilgiler aşağıdaki başlıklar altında incelenmiştir.

##### **3.1.1. Otomotiv OSB Atıksuları ve Karakterizasyon Bilgileri**

Çalışmada kullanılan atıksu kaynaklarından birincisi Otomotiv Endüstrisi'ne ait fabrikaların yer aldığı bir organize sanayi bölgesine ait atıksulardır. Bölgede beş adet olmak üzere, otomotivin her bir bileşenin farklı özellikteki parçalarını üreten fabrikalara ait atıksular inşa edilen ortak bir arıtma tesisinde toplanarak arıtma işlemi burada sağlanmaktadır. Bu beş fabrikadan iki tanesi; tesisi besleyen ana atıksu kaynakları olmakla birlikte, her birinin karakterizasyonları birbirinden farklılık göstermektedir. Ana kaynaklardan bir tanesi daha kirli olarak temsil edilen çerçevede yer alırken, ikinci ana kaynak diğer kaynağa nazaran oldukça temiz bir profil sergilemektedir. Diğer üç kaynak gerek ortak atıksu arıtma tesisine sağladıkları hacimsel miktar, gerek su kirlilik parametrelerine bakılarak değerlendirildiklerinde atıksu arıtma tesisinin su profiline katkıları ise yok denecek kadar azdır. Bölgedeki su, belirli arıtma basamaklarından geçirildikten sonra Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği kapsamında gerekli deşarj kriterlerine indirgenmekte ve bölge yakınındaki dereye doğrudan deşarj edilmektedir.

Bölgedeki fabrikalarda kullanılan su miktarları ise, yönetim tarafından izlenmiş ve gereksinimleri belirlenmiş olup bu doğrultuda üretim için gerekli olan su ihtiyaçlarının sağlanamadığı noktalarda dışarıya bağımlı kalınarak dışarıdan su satın alımları yapılmaktadır. Bu satın alımların ise, artan üretim kapasiteleri de baz alındığında zaman içerisinde artış gösterdiği, sonucunda ise ekonomik olarak ciddi bir yük haline geldiği kanısına varılmıştır. Bu tespitlerin sonucunda alınan yönetsel kararlar neticesinde ise, bölgeye kurulmuş olan atıksu arıtma tesisi çıktıları takip edilerek yapılan bütçesel analizler sonucu atıksuyun geri kazanılması kararına varılmıştır.

Bu kararın ortaya çıkması aşamasında en etkili olan basamak ise atıksu arıtma tesisi çıkışında gözlenen arıtılmış su karakterizasyonuna ait kirlilik verileri ile bu verilere karşılık uygulanabilecek farklı geri kazanım tesisi konfigürasyonlarının sonucunda ilk yatırım maliyetleri ile işletme maliyetlerinin rekabetçiliği ve zaman içerisinde ortaya çıkan ciddi ekonomik fayda olmuştur. Otomotiv endüstrisi atıksu karakterizasyonu ve kirletici parametreleri Tablo 3.1'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1: Otomotiv endüstrisi atıksu karakterizasyonu.

| Parametre       | Birim               | Değer | Atıksu Arıtma Tesisi Çıkışında Gereken Kirlilik Değerleri (SKKY Tablo 19: Karışık Kaynaklı Endüstriyel Atıksuların Alıcı Ortama Deşarjı) |
|-----------------|---------------------|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Q               | m <sup>3</sup> /gün | 4000  | -                                                                                                                                        |
| KOİ             | mg/L                | 883   | 300                                                                                                                                      |
| BOİ             | mg/L                | 574   | -                                                                                                                                        |
| AKM             | mg/L                | 290   | 100                                                                                                                                      |
| TP              | mg/L                | 2     | 2                                                                                                                                        |
| SO <sub>4</sub> | mg/L                | 619   | 1500                                                                                                                                     |
| TKN             | mg/L                | 6,5   | 15                                                                                                                                       |

Tesise ait 1 yıllık çıkış değeri verileri izlenmiş ve sonucunda deşarj kriterleri için sağlanması gereken kirlilik parametrelerinin dahi altında olan ortalama kirlilik değerleri elde edildiği gözlemlenmiştir. Bunun sonucunda; Sektörel bazlı artan su ihtiyacı nedeniyle geri kazanım tesisi kurulması kesin olarak kararlaştırılmıştır. Fakat bunun öncesinde ekonomik perspektifin gerçekçi olarak analiz edilebilmesi adına 4 farklı senaryo sonucu incelenerek mevcut duruma karar verilmiştir. Bu senaryolar;

- Atıksuyun SKKY değerlerine indirgenmesi sonucu doğrudan alıcı ortama deşarjı
- Atıksuyun sulama suyu amacıyla kullanılabilmesi amacıyla geri kazanımı
- Atıksuyun endüstriyel bazlı yeniden kullanımı için geri kazanımı (%70)

Burada bahsedilen %70 geri kazanım oranı, RO membranlar için işletim parametresi olarak düşünülmemiş, atıksuyun hacimsel geri kazanım yüzdesi olarak

kabul edilmiştir. Yapılan tüm hesaplamalar, bu kabul esasıyla yapılarak yorumlanmıştır.

### **3.1.2. Süt Endüstrisi Atıksuları ve Karakterizasyon Bilgileri**

Günümüzde, süt endüstrisi atık sularının arıtımı sırasında oluşan atıksu miktarı oldukça fazladır. Birçok süt endüstrisi sürekli olarak işletilmekte olup, oluşan atıksu miktarları mevsimsel olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Özellikle küçük ölçekli tesislerde atıksu miktarının artış gösterdiği dönemler bahar ve yaz aylarını kapsamaktadır. Atıksuyun karakterizasyonu da üretilen ürünün çeşitliliğine göre değişkenlik göstermektedir. Oluşan atıksu kaynaklarının başlıca bileşenlerini, süt taşıma araçlarının temizlenmesi esnasında oluşan atıksular, üretimde kullanılan ekipmanların temizlenmesi sırasında oluşan atıksular, üretim esnasında kullanılan tankların temizlenmesinden kaynaklanan atıksular oluşturmaktadır. Atıksu karakterizasyonun genel bileşenleri ise yağ ve protein olması sebebiyle, kirlilik yükü de buna bağlı olarak oldukça yüksek seyretmektedir. Kirletici muhtevası çok yüksek olan atıksular yaklaşık olarak 60.000 ile 80.000 mg/L arasında değişen KOİ konsantrasyonlarına kadar ulaşabilmektedir [3].

Türkiye ortalaması düşünüldüğünde ise, yıllık üretim kapasitesinin 60.000 tonlara ulaştığı göz önünde bulundurulduğunda, oluşan atıksu miktarı 400.000 ton civarlarına ulaşabilmektedir. Süt endüstrisinde oluşan atıksuların büyük bir yüzdesini ise soğutma amaçlı kullanılan sular oluşturmaktadır. Kuvvetli kirlilik barındıran süt endüstrisi atıksularının arıtılması, basit arıtma yöntemleri ile oldukça zordur. Bu nedenle süt endüstrisi atıksularının geri kazanılması, organik yükün azalmasının yanında yükün azaltılması açısından da büyük öneme sahip olmakla birlikte çevresel kirliliğin de azaltılmasına büyük katkı sağlamaktadır.

### **3.1.3. Süt Endüstrisi Atıksuları ve Karakterizasyon Bilgileri**

Su karakterizasyonu, üretilen ürünün çeşidine göre farklılık gösterebilmektedir. Sadece süt üretimi yapan bir işletme ile, peynir ya da krema gibi ana ham maddesi süt olan ürünlerin üretiminden kaynaklanan atıksu karakterizasyonları kirlilik muhtevası açısından da büyük farklılık göstermektedir. Genel anlamda, süt

endüstrisinin ana kirletici ham maddesi olarak nitelendirilen KOİ parametresine ait konsantrasyonların ise en çok peynir üretiminden kaynaklandığı görülmektedir. Bu parametrenin oluşmasında ve konsantrasyon yüzdesinin diğer kirleticilere oranla yüksek olmasının temel sebebi ise suyun içerisinde barındırdığı emülsiyeye haldeki yağlar, yağ artıkları ve yüksek miktardaki organik maddedir. pH açısından da değişkenlik gösteren atıksuların, pH parametresinin ise bu denli değişken olmasının ana nedeni asit ve alkali özellikteki kimyasallarla yapılan temizlik işlemleridir. Süt endüstrisi atıksu karakterizasyonu ve kirletici parametreleri Tablo 3.1'de gösterilmiştir

Tablo 3.2: Süt endüstrisi atıksu karakterizasyonu.

| <b>Kirlilik Parametreleri</b> | <b>Birim</b>        | <b>Hamsu Karakterizasyonu</b> | <b>Atıksu Arıtma Tesisi Çıkışında Gereken Kirlilik Değerleri (SKKY Tablo 5.3: Gıda Sanayi – Süt ve Süt Ürünleri)</b> |
|-------------------------------|---------------------|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Q                             | m <sup>3</sup> /gün | 1450                          | -                                                                                                                    |
| KOİ                           | mg/L                | 800                           | 160                                                                                                                  |
| BOİ                           | mg/L                | 600                           | -                                                                                                                    |
| AKM                           | mg/L                | 50                            | -                                                                                                                    |
| TP                            | mg/L                | 9                             | -                                                                                                                    |
| TKN                           | mg/L                | 31                            | -                                                                                                                    |
| Yağ & Gress                   | mg/L                | 30                            | 143                                                                                                                  |

Bu projeksiyonda ele alındığında, bu kadar fazla su tüketiminin gerçekleştiği bir endüstride, atıksuyun geri kazanımı ve yeniden kazanımı büyük ölçüde ekonomik geri kazanım da sağlamış olacaktır. Bu bakış açısıyla, uygulanabilecek konvensiyonel arıtma teknolojileri ile atıksuyun geri kazanılması sürecinde oluşacak ilk yatırım, işletme ve bakım maliyetleri NOVEDAR EDSS programı kapsamında oluşturularak sonuçlandırılmıştır. Ortaya çıkan sonuçlar, yorumlanarak kuvvetli ve zayıf karakterli atıksuların geri kazanımı aşamasında oluşan farklılıklar ele alınarak yorumlanmıştır.

## 4. NOVEDAR EDSS CONSOLIDER YAZILIM ANLATIMI

Geri kazanım son hedefli atıksuların arıtılmasında kullanılan NOVEDAR EDSS yazılımına dair açıklamalar aşağıda özetlenmektedir.

Amaç ve Oluşum Aşaması: NOVEDAR EDSS; özel bir alan içerisinde spesifik atıksuların arıtımı için yenilikçi teknolojilerle birlikte konvansiyonel teknolojilerin optimal entegrasyonlarının seçilebilmesi amacı ile akademik bir çerçeve içerisinde geliştirilmiştir. Proje 2007 yılında başlamış ve 11 tane üniversiteden oluşan bir konsorsiyum ekip tarafından geliştirilmiştir. Buradaki en temel amaç 21.yüzyılın konsept atıksu arıtma tesislerinin tanımlanabilmesi olmuştur. Programın temel çalışma çerçevesi atıksu arıtımı ve geri kazanım stratejilerine öncelik verilerek belirlenmiştir [9]. Benimsenmiş olan stratejiler aşağıda maddeler halinde sunulmuştur;

- Atıksu arıtma ve geri kazanım stratejileri için; yenilikçi teknolojilerin araştırılması ve optimizasyonu,
- Performans ve maliyet çalışmaları için süreç modellemesi,
- Ekonomik, çevresel, teknik ve sosyal değerlendirme kriterlerinin geliştirilmesi,
- Özel değerlendirmelere göre belirli bir senaryo için geleneksel ve yenilikçi teknolojilerin optimum kombinasyonunu seçmek için EDSS kriterlerinin oluşturulması.

NOVEDAR EDSS yazılımının geliştirilmesinde 5 adım takip edilmiştir:

Problemin Tanımlanması: Atıksu Arıtma konfigürasyonu için optimum teknoloji kombinasyonunun seçimi karmaşık bir sorundur[9]. Tek bir çözüm yeterli değildir ve su (ön arıtma, birincil arıtma, ikincil arıtma ve ileri arıtma) ve çamur hatları (kalınlaşma, gelişmiş sindirim ve susuzlaştırma) için farklı teknolojilerin bir kombinasyonu gerekmektedir. NOVEDAR EDSS, 250 farklı mevcut teknolojiyi ve bu teknolojileri karşılaştırmak için çok sayıda potansiyel alternatifi içermektedir. Ek olarak, tasarımın uygunluğunu değerlendirmek için kullanılan kriterler

ayrıntılıdır. Yeterli atık su kalitesi seviyelerinin elde edilebilmesi için, aynı zamanda tek başına dikkate alınmasa dahi, işletme güvenliği, maliyet (enerji gereksinimleri, enerji tüketimleri gibi) ve oluşabilecek sera gazları, emisyonlar üzerindeki çevresel etkisi gibi ek hususlarını da dikkate almaktadır.

Veri ve Bilgi Sağlama: EDSS'nin bilgi tabanını oluşturmak için gereken veriler, NOVEDAR Consolider araştırma projesi kapsamındaki uzmanlarla 11 üniversiteden, 29 su şirketinden proje mühendisinden ve 14 atıksu arıtma otoritesi olarak kabul görmüş uzmanlardan gelen görüşmeler neticesinde oluşturulmuştur. Bunun yanı sıra, aynı zamanda bilimsel ve teknik bir literatür taraması da kullanılmıştır.

Model Seçimi: Önerilen bilgi modeli, karmaşık tasarım sorunlarının analiz edilmesi ve değerlendirilmesi kolay olan bir dizi soruna indirgeyen hiyerarşik bir karar yaklaşımına dayandırılmıştır. Bu sorunların her biri için, mühendislik ayrıntı derecesini değiştirmek ve kararı kolaylaştırmak için her tasarım adımının yapılmasında üç soyutlama seviyesi (birimler, alt-üst birimler, üst birimler) tanımlanmıştır.

Modelin Uygulanması: AAT alternatifleri, iki karar basamağı (KB) arasındaki etkileşimle üretilmiştir. İlk KB, farklı arıtma teknolojilerinin temel özelliklerini içerirken, ikinci KB, farklı teknolojiler arasındaki uyumluluk derecesi hakkında bilgi içermektedir. Her iki KB de, mevzuat ve çevre ile ilgili konular hakkında ek bilgi içeren diğer veritabanlarına bağlanmıştır. Bu özellikler, mekanistik işlem denklemleri, maliyet modelleri, yaşam döngüsü değerlendirmeleri ile uzman ve bibliyografik bilgi aracılığıyla entegre bir modelleme yaklaşımı kullanılarak tanımlanmıştır [9]. Atık su arıtma teknolojisi özelliklerinin, şebeke yapı modelinin, karar ağaçlarının ve yinelemeli değerlendirme yönteminin çok kriterli bir karar analizi ile birleştirilmesi (i) farklı arıtma şemaları dahil olmak üzere çoklu akış proses şemalarının sentezi; ve (ii) bu şemaların çevresel, ekonomik, sosyal ve teknik açıdan analizini kapsamaktadır. Daha sonra, kriterli bir karar yöntemi, duyarlılık analiz araçlarını kullanarak, farklı hedeflerin memnuniyet derecesini en üst düzeye çıkaran birim işlemlerin sırasını belirlemektedir [10].

Model Geçerliliği/Doğrulaması: Yazılım, NOVEDAR Consolider araştırma projesi ve Su 2020 Maliyet Eylem programı (ES1202-110614-044095) farklı araştırma grupları ve projeye katılan şirketlerden mühendisler tarafından doğrulanmış ve onaylanmıştır [9]. KB'nin (karar basamakları) bakımı ve

geliştirilmesi en kritik konu tespit edilmiştir. Özellikle atıksu arıtımı ve değerlendirme kriterlerinin ölçülmesi için yenilikçi teknolojilerle ilgili olanlar olmak üzere, temel ve deneme araştırma projelerinden yeni bilgiler üretilmiştir [10]. NOVEDAR Consolider araştırma projesi tamamlandıktan sonra, NOVEDAR EDSS bilgi tabanını güncellemek için ek finansman sağlanamamıştır [9]. Konsorsiyum en iyi yöntemin sistemi pazarlamak ve kullanıcılardan fon almak olduğuna karar vermiştir. Bu durumda farklı bir ticari strateji kullanılmıştır. NOVEDAR EDSS çeşitli su şirketlerine sunulmuş ve bir şirket ile lisans için bir anlaşmaya varılması üzerine görüşülmüştür. Programın mülkiyet hakları paylaşılmış ve sistemi geliştiren üniversiteler arasında dağıtılmıştır. Şirketle müzakereler bir yıl boyunca devam etmiştir. Yenilikçi projeleri farklı değerlendirmek için bir protokol imzalanmıştır [10]. Böylece Şirket, NOVEDAR EDSS'in bilgi ve güvenilirliğini doğrulamak ve aynı zamanda ürünün piyasa ihtiyaçlarına uyarlanması için gerekli mali boyutu da değerlendirmek zorunda kalmıştır. NOVEDAR EDSS bilimsel olarak sağlam ve eksiksiz kabul edilmiş fakat ATL EDSS'ye benzer şekilde ticari kullanıma hazır bulunmamıştır [10].

Şirketle müzakereler bir yıl sonra sonlandırıldı. Yenilikçi projeleri farklı değerlendirmek için bir protokol şirketin bölümleri (süreçler, mühendislik, yasal, hesaplama, ticari vs.) takip etmiştir [10]. Bu nedenle, şirketin NOVEDAR EDSS'e olan ilgisini ve güvenilirliğini doğrulaması gerekiyordu, ancak aynı zamanda ürünün pazar ihtiyaçlarına uyarlanma maliyetini de değerlendirmek zorunda kalındı. ATL EDSS'ye benzer şekilde, NOVEDAR EDSS bilimsel olarak sağlam ve eksiksizdir ancak ticari kullanıma hazır değildir [10].

#### **4.1. Atıksu Arıtımı, Geri Kazanımı ve Yeniden Kullanımı Süreçlerinde Yapılan Çalışmalar Kapsamında Programın Kullanılış Amacı**

Programın kararlaştırma mekanizması 3 ana içerikten meydana gelmektedir. Kararlaştırma mekanizmasının çalışabilmesi için ilk olarak "Senaryo Tanımlama" sekmesi düzenlenmiştir. Bu sayfa içerisine giriş yapıldığında, içerisindeki alt başlıklara veri girişi yapılarak kaydedilmektedir. Başlıklar ise şu şekilde sıralanmaktadır:

**Giriş Atıksu Karakterizasyonun Tanımlanması:** Bu aşamada atıksuyun özellikleri doğrultusunda giriş karakterizasyon bilgileri program içerisine işlenmiştir. Tablo 1.1’de gösterilmiş olan sayısal verilerin program içerisine girilmesi sonucu otomotiv endüstrisine ait atıksu arıtma tesisi girişinde gözlemlenen kirlilik parametreleri yazılım içerisine entegre edilmiştir. Bu aşamada yapılmış olan çalışmalarla ilgili görseller ekler bölümünde verilmiştir.

**Deşarj / Yeniden Kullanım:** Bu aşamada atıksu giriş karakterizasyonuna bağlı olarak sistemden çıkan suyun hangi amaçla kullanılmak istendiği son hedefe göre kullanıcı tarafından belirlenen verilerin seçimi gerçekleştirilmektedir. Atıksular bir önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi 3 konfigürasyon çerçevesinde incelenecektir. İlk konfigürasyonda, atıksuyun doğrudan deşarj edildiği nihai hedef için çalışmalar yürütülmüş olup, sonraki arıtma konfigürasyonlarının İkinci son hedef seçeneği, sulama amaçlı olarak yeniden kullanım, üçüncü ve son kullanım hedefi ise %70 geri kazanım sonrası üçüncü kalite proses suyu olarak yeniden kullanımdır. Bu aşamada yapılmış olan çalışmalarla ilgili görseller ekler bölümünde verilmiştir. Bu aşamada, program verileri içerisinde yeniden kullanım seçeneği seçilmemiş olup tesise gelen atıksuyun tamamının arıtıldıktan sonra alıcı ortam olarak belirlenen nehre deşarj edileceği öngörülmüştür. Deşarj standartları ile ilgili yasal gereklilikler, yazılım tarafından Mevzuatın İzin Verdiği Dereye Deşarj Sınır Değerleri olarak sunulmaktadır. Yazılım içerisinde bu sınır değerleri kullanıcı tarafından belirlenmemektedir. Sınır değerleri, tüm dünyada uygulanan deşarj limit değerleri baz alınarak yazılım tarafından otomatik olarak sunulmaktadır. Bu değerler üzerinde herhangi bir değişiklik yapılamamaktadır. Bu sınırlamalara göre, atıksuyun, arıtıldıktan sonra dereye deşarj edileceği noktadaki sınırlayıcı değerlerin AKM, BOİ ve KOİ parametresi olduğu görülmektedir. Bu değerlerin deşarj limit değerleri sırası ile, 35 mg/L, 25 mg/L ve 125 mg/L olduğu görülmektedir.

**Önceliklendirme Kriterleri:** Bu aşamada atıksuyun arıtıldıktan sonraki nihai durum çerçevesinden ekonomik ve çevresel etkiler göz önünde bulundurulduğunda, hangi parametreler doğrultusunda analiz edilmek istendiği yine kullanıcı tarafından belirlenmektedir. Bu seçenekler; Maliyet, işletim ve bakım maliyetleri, ilk yatırım maliyeti, fayda maliyet analizi, çevresel fayda maliyet analizi seçeneklerinden oluşmaktadır. Bu seçenekler arasından kullanıcı tarafında seçim yapılarak hangi boyutlarda maliyet analizinin belirlenmek istendiğini seçilebilmektedir.

Çevresel Boyut Analizi: aşamasına gelindiğinde ise alt başlıklar şeklinde programın Ötrofikasyon, Küresel Isınma, Reaktan Tüketimi, Enerji Tüketimi, Çamur Oluşumu seçeneklerini sunduğu görülmektedir. Kullanıcı hangi verilere göre değerlendirme yapmak istiyorsa bu seçenekler arasında seçim yapabilmektedir.

Diğer Etkiler: arasında sunulan seçeneklere bakılacak olursa, bu seçenekler de Görsel Etkiler, Koku Oluşturma Potansiyeli, Gürültü Oluşturma Potansiyeli gibi çevresel ancak aynı zamanda fiziksel olarak çevresel açıdan kontrol edilmesi gereken etkenler olarak görülmektedir.

Alan Gereksinimi;\_Yapılacak olan her tür yatırımda da olduğu gibi geri kazanım tesislerinin kurulumu ve yapılandırılması süreçlerinde alan ihtiyacı ekonomik açıdan çok büyük bir önem arz etmektedir. Arıtma teknolojilerinin verimlerini arttırabilmek ve alandan tasarruf edilmesi amaçlanarak yapılan çalışmalar günümüzde fazlaca yaygındır. Atıksu kirlilik değerlerine göre değerlendirildiğinde, zayıf kirlilikte bir atıksu olduğundan bu tesisin kurulumu için gerekli olacak olan alan ihtiyacı kapsamında bu seçenek belirleyici bir etmen olarak düşünülmemiştir.

Kaynak Gerikazanımı; isminden de anlaşılabilirdi üzere atıksuyun arıtımı sonucu elde edilebilmesi muhtemel bir kaynak öngörülüyorsa bu seçenek değerlendirilebilir. Ancak, mevcut Senaryo 1. Durumunda böyle bir kaynak geri kazanımı yapılacağı öngörülmemiştir. Kaynak Geri Kazanımı başlığı altında ise, azot geri kazanımı fosfor geri kazanımı ile biyogaz eldesinin yer aldığı görülmektedir.

Operasyonel Teknik Veriler; bu aşamada ise tesisin daha çok sürekliliğini etkileyecek olan detaylar yer almaktadır. Bunlar arasında, esneklik, güvenilirlik, proses kontrolü, işletme kolaylığı, işletme sırasında oluşabilecek muhtemel problem sıklığı gibi farklı seçenekler bulunmaktadır.

Stabilite; Tesisin istikrarlı bir şekilde işletilebilirliği ile ilgili bir kademedir. Beraberinde yer alan Sağlık ve Güvenlik kısmı ile birlikte düşünülmesi daha doğru olmaktadır Çünkü, stabiliteden kasıt, aslında burada sağlık ve güvenlik açısından sağlanması gerekli olan stabilitedir.

Fayda Maliyet Analizi: Bu aşamada ise mevcut tüketim maliyetleri kullanıcı tarafından birim başına oluşturulabilmesi adına program içerisinde işlenebilmektedir. Burada kullanılan veriler tamamen tesisin lokasyon olarak bulunduğu bölgeye göre değişiklik gösterecektir. Buradaki en belirleyici alan ise, tesis için biçilen işletme ömrüdür. Bu da kullanılan teknolojiye ve düzenli bakımın sürdürülebilirliği aşamasında oldukça önemlidir.

Fayda – Maliyet Analizi Tanımı; Burada ilk önem kazan detay tesis için biçilen işletme ömrüdür. İşletme ömrüyle tanımlanmak istenen aslında tam anlamıyla, tesisin kurulduktan sonraki süreçte tam kapasite verimli şekilde işleyebileceği süreçtir.  $r$  (%) değeri ise dolar bazlı kredi oranı olarak tanımlanmaktadır.

Toplam maliyetin hesaplanması ise;

Maliyet = Bakım Maliyeti + İşletme Maliyeti olarak tanımlanmaktadır. Burada gösterilen NPV hesabı ise programda; Eşitlik 4.1'de gösterilen şekliyle tanımlanmaktadır.

$$NPV = \sum_{t=0}^T \left( \frac{NP_t}{(1+r)^t} \right) \quad (4.1)$$

Burada;

- NPV : Net Mevcut Değer
- $NP_t$  : Net Verimli Zaman
- $r$  : Dolar Bazlı Kredi Oranı
- $t$  : Proje Süresi

Bu formülasyona bağlı olarak, uygulanacak projeksiyon çerçevesinde proje için öngörülen işletme ve bakım maliyeti yaklaşık olarak hesaplanabilmektedir.

Formülasyon program içeriğinde, Eşitlik 4.2'deki gibi görülmektedir. Ancak, programın asıl hesaplamada kullandığı formül bir üstte belirtilmiş olan formüldür. Aşağıda gösterilmiş olan formül, ampirikleştirilmiş haliyle yer almaktadır.

$$NPV = \sum_{i=0}^t \left( \frac{Bi - Ci}{(1+r)^i} \right) \quad (4.2)$$

Burada;

- NPV : Net Mevcut Değer
- $\sum Bi$  : Toplam Fayda
- $\sum Ci$  : Toplam Maliyet
- $r$  : Vagi İndirim Oranı
- $t$  : Proje Süresi anlamına gelmektedir.

Standart hesaplama prosesi boyunca kullanılacak olan birim tüketim maliyetleri ise yine kullanıcı tarafından girilerek toplam analizin oluşturulmasında bu değerler kullanılmıştır. Bu değerler sırasıyla, enerji fiyatı (€/kW.h) , geri kazanılmış suyun satış fiyatı (€/m<sup>3</sup>), biyokatı satış fiyatı (€/ton), polielektrolit fiyatı (€/kg), diğer kimyasal fiyatları (€/kg) olarak görülmektedir. Bu çalışmada, fayda maliyet analizlerinin hesaplandığı aşamalarda bu değer Türkiye standartlarındaki birim fiyatlar gözetilerek bu alanda kullanılmıştır. Kullanılan birim maliyet değerleri Tablo 4.1'de gösterilmiştir.

Tablo 4.1: Kullanılan birim maliyet değerleri.

| Kategori                  | Birim            | Değer |
|---------------------------|------------------|-------|
| Enerji Fiyatı             | €/kW.h           | 0,1   |
| Geri Kazanılmış Su Fiyatı | €/m <sup>3</sup> | 1,0   |
| Biyokatılar Fiyatı        | €/ton            | 30,0  |
| Polielektrolit Fiyatı     | €/kg             | 3,0   |
| Kimyasal Reaktant Fiyatı  | €/kg             | 2,0   |

Çamur Yönetimi; Bu aşamada arıtma tesisinde üretilecek olan çamurun hangi amaçla kullanılacağı ve hangi şekilde uzaklaştırılacağı seçilmektedir. Bölüm içerisinde yer alan sekmeler ise sırasıyla; Atıksu Cinsi, Çamur Arıtımı, arıtılabilirlik mesafesi kilometre cinsinden Çamur Arıtma Tesisinin Arıtma Tesisine olan Mesafesi şeklinde tanımlanmaktadır. Bu aşamada atıksu cinsi endüstriyel olarak işaretlenmiştir. Çalışma boyunca, üretilecek olan tüm çamurların taşınacağı öngörülerek, programın bu aşamasında da uzaklaştırma yöntemi olarak Taşıma / Uzaklaştırma seçeneği işaretlenmiştir.

Patojen Miktarları; Bu aşamada atıksu içerisinde bulunması muhtemel patojen çeşitleri ile miktarları belirlenmektedir. Program içerisinde bu bilgiler, sistem tarafından otomatik olarak verilmektedir. Üzerinde değişiklik yapılabilmektedir ancak, program içerisinde yer alan miktar verilerinin dünya ortalama standart değerleri olduğu bilindiğinden bu değerler üzerinde yapılan tüm çalışmalar boyunca herhangi bir değişiklik yapılmamıştır.

Hedef Bileşenler; Bu aşamada atıksu içerisinde bulunması muhtemel parçalanması en zor olan kimyasal maddeler ve miktarları belirlenmektedir. Sistem içerisinde var olan değerler kabul edilerek Türkiye şartlarında, hiçbir deşarj limitinde

sınırlama getirilmeyen bu değerler için ayrıca bir veri girişi tüm çalışma sonucunda yapılmamıştır.

Tüm bu basamakların tamamlanmasının ardından, girilen tüm veriler kaydedilmiştir. Arıtma teknolojilerinin belirlenmesi için programın çalıştırılması basamağına geçilmiştir. Bu basamak proses içerisinde Proses Başlatma aşaması olarak görülmektedir. Bu aşamaya gelindiğinde sistem içerisinde ön – arıtma, ikincil arıtma, ileri arıtma ve çamur arıtımı bölümlerinin yer aldığı akım şeması içerisinde arıtma tesisinde uygulanması planlanan arıtma teknolojisi seçimleri yapılmıştır. Aşağıdaki resimde de görüldüğü haliyle arıtma teknolojisi seçimleri, her bir arıtma basamağı için program tarafından sunulan akım şemaları içerisinden arıtma tesisi kirlilik değerleri gereğince seçilmiş ve belirlenmiştir.

Tüm bu kriterlerin belirlenmesi sonrası, programa start verildiğinde her bir seçilen teknoloji ile ilgili detaylı çevresel ve ekonomik yaklaşık maliyet analizi görülebilmektedir. Program içeriğinden herhangi bir veri çıktısı alınamadığı için, yapılan çalışmalar excel programı üzerinden tablolaştırılarak çalışma içeriğine eklenmiş olup, programa ait görseller çalışma ekinde ayrıca sunulmuştur.

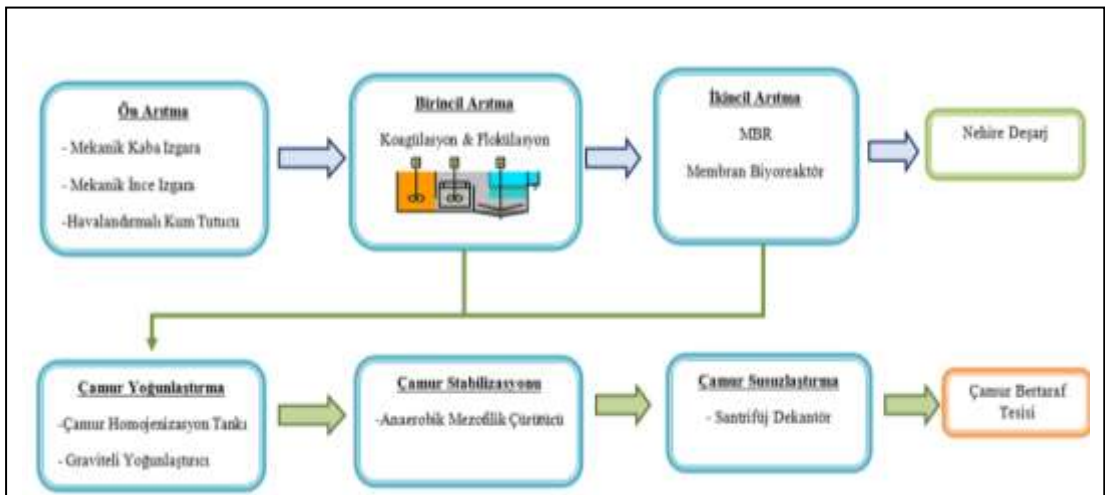
## 5. DENEYSEL BULGULAR

### 5.1. Otomotiv ve Süt Endüstrisine Ait Atıksular İçin Akım Şeması Belirlenmesi ve Sonuçları

Bu başlık altında otomotiv endüstrisine ait atıksular için farklı arıtma senaryoları içerisinde seçilen proses basamakları ile en uygun arıtma teknolojisi belirlenmiştir. Uygun akım şemaları, üç farklı son kullanım projeksiyonu göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Bunlardan ilki, herhangi bir gerikazanım öngörülmezsizin doğrudan alıcı ortam deşarj standartlarına indirgendikten sonra atıksuyun deşarjıdır. İkinci projeksiyonda ise, uygun teknolojilerin belirlenmesi sonrasında atıksuyun % 70 oranında son noktada bahçe ve tarımsal sulama amaçlı kullanımı baz alınarak projeksiyon belirlenmiştir. Üçüncü aşama olan son aşamada ise, suyun % 100 geri kazanılarak proses amaçlı olarak endüstride yeniden kullanımı hedeflenmiştir ve bu doğrultularda üç farklı opsiyon için akım şemaları oluşturulmuştur.

### 5.2. Otomotiv Endüstrisi için Arıtma Senaryolarının Belirlenmesi ve Sonuçları

Otomotiv endüstrisi atıksularının arıtılması için öngörülmüş olan akım şeması Şekil 5.1'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1: Otomotiv endüstrisi atıksu arıtma tesisi akım şeması.

Otomotiv endüstrisi atıksularının işlenmesi ve nihai son kullanım hedefleri temel alınarak üç farklı senaryo için incelemelerde bulunulmuştur. Hedeflenen senaryolar tek tek ele alınarak ekonomik, sosyo-ekonomik ve çevresel olarak değerlendirilmiştir. Yazılım programı kullanılarak elde edilen sonuçlar yorumlanarak tartışılmıştır. Yukarıda sözü edilen üç farklı arıtma hedefi aşağıdaki gibidir:

- Doğrudan alıcı ortama deşarj durumu
- Sulama amaçlı yeniden kullanım durumu
- %70 gerikazanım sonucu yeniden kullanım durumu

Arıtma senaryosunda kullanılacak olan her bir proses basamağı belirlenirken farklı alternatifler için, işletme ve bakım maliyetleri, ilk yatırım maliyetleri ve atıksu kirlilik karakterizasyonuna göre giderim verimi oranları göz önünde bulundurularak seçim yapılmıştır. Proses basamaklarının belirlenmesinde ayrıca progrm tarafından sunulan öncelik sıralaması, puanlandırmalar göz önünde bulundurulmuştur. Son aşamada ise, seçilen her bir arıtma basamağındaki akım şeması için ekonomik ve çevresel kriter değerlendirmesi yapılmıştır.

Arıtma basamakları sırasıyla; ön arıtma basamağı, birincil arıtma basamağı, ikincil arıtma basamağı, çamur bertarafı basamağı, çamur stabilizasyonu ve çamur susuzlaştırma, üçüncül arıtım basamağı olarak oluşturulmuştur.

### **5.2.1. Doğrudan Alıcı Ortama Deşarj Durumu**

Az kirli atıksu niteliklerine sahip, otomotiv endüstrisi atıksularının ilk olarak herhangi bir ileri arıtma teknolojisi işlemi uygulanmaksızın doğrudan alıcı ortama deşarjı son hedef olarak belirlenmiştir. Dünyada, atıksuların arıtıldıktan sonra deşarj edilmeleri için belirlenmiş nihai alıcı ortamlar, yasal gereklilikler içerisinde alıcı deniz, nehir (dere), yer altı, hassas sulak alan seçenekleridir. Bunlar içerisinde, alıcı ortam olarak nehir nihai nokta olarak belirlenmiştir. Hedef alıcı ortamın belirlenmesinde, alıcı ortam için gerekli sınır kirlilik konsantrasyonları dikkate alınmıştır. Türkiye standartlarında, karışık kaynaklı endüstriyel nitelikli atıksuların deşarj limit konsantrasyon değerleri Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde belirtilmiş olan endüstrilere özel tablolara göre yapılmaktadır. Fakat, kullanılan yazılım

kapsamında, kirlilik limit değerleri için belirlenmiş olan yasal sınır değerleri kullanıcı tarafından tanımlanamamakta ve yazılım içeriğinde avrupa standartlarınca belirlenmiş olan sınır değerler sunulmaktadır. Bu nedenle, deşarj limit değerleri özelleştirilememiş, yazılım dahilindeki değerler dikkate alınarak akım şeması belirlenerek, verimlerin bu sınır değerler için yeterli olup olmayacağı dikkate alınmıştır. Alıcı ortama deşarj sınır değerleri SKKY Tablo 19'da yer alan sınır değerler kabulüyle Tablo 5.1'de gösterilmiştir.

Tablo 5.1: Nehre deşarj için gerekli sınır kirlilik değerleri.

| Kirletici türü | Birim | SKKY Tablo 19<br>(24 Saat) |
|----------------|-------|----------------------------|
| KOİ            | mg/L  | 300                        |
| BOİ            | mg/L  | -                          |
| AKM            | mg/L  | 100                        |
| TKN            | mg/L  | 15                         |
| TP             | mg/L  | 2                          |

Otomotiv endüstrisi organize sanayi bölgesi atıksularının arıtılması için oluşturulmuş akım şemasında yer alan teknolojiler Tablo 5.2'de gösterilmiştir.

Tablo 5.2: Kullanılan arıtma basamakları ve arıtma teknolojileri.

|                                                                       |                                          |
|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| <b>1. Ön Arıtma Basamağında Kullanılan Arıtma Teknolojileri</b>       |                                          |
| A.                                                                    | Mekanik Tahrikli Kaba Izgara             |
| B.                                                                    | Kademeli İnce Izgara                     |
| C.                                                                    | Havalandırmalı Kum Tutucu                |
| <b>2. Birincil Arıtma Basamağında Kullanılan Arıtma Teknolojileri</b> |                                          |
| A.                                                                    | Kombine Flokülasyon - Koagülasyon        |
| <b>3. İkincil Arıtma Basamağında Kullanılan Arıtma Teknolojileri</b>  |                                          |
| A.                                                                    | Membran Biyoreaktör (MBR)                |
| <b>4. Çamur Bertarafı Basamağında Kullanılan Arıtma Teknolojileri</b> |                                          |
| A.                                                                    | Çamur Depolama Tankı                     |
| B.                                                                    | Graviteli Yoğunlaştırıcı                 |
| C.                                                                    | Anaerobik Mezofilik Çürütücü             |
| D.                                                                    | Santrifüj Çamur Susuzlaştırma (Dekantör) |

Atıksu ön işlem için ilk olarak ön işlem için ön arıtma basamağına giriş yapacaktır. Ön işlem basamaklarındaki temel amaç, atıksu içerisinde yer alan kaba

malzemelerin giderilmesi ve bir sonraki arıtma basamağının kirlilik yükünü azaltmaktır. Otomotiv endüstrisi atıksu karakterizasyonu bölüm üç içerisinde verilmiştir. Atıksu karakterizasyonuna bakıldığında, az kirli olarak nitelendirilmiş olan otomotiv endüstrisi atıksuyunda ön işlem basamaklarında dengeleme havuzu ünitesine yer verilmemiştir. Dengeleme tankının akım şemasında yer almamasının sebebi, suyun organik kirlilik karakterizasyonunun düşük olmasıdır. Aynı zamanda bu sayede dengeleme havuzlarında karışımın sağlanabilmesi için kullanılan ekipman gerekliliğinden de tasarruf sağlanması amaçlanmış aynı zamanda enerji maliyetinin düşürülmesi hedeflenmiştir. Yazılım tarafından sunulan arıtma teknolojisi seçenekleri, tanımlanan su karakterizasyonlarına göre değişiklik göstermektedir. Otomotiv endüstrisi için yazılım tarafından sunulan, en uygun ve en güncel teknolojilerin belirlenmesine seçim aşamasında önem gösterilmiştir. Akım şeması bu şekilde belirlenmiştir. İkincil arıtım teknolojisinin belirlenmesinde, organik kirlilik yükünün az olması sebebiyle anaerobik proses yerine aerobik proses tercih edilmiştir. Bu seçimin yapılmasında, organik kirlilik yükünün az oluşunun yanı sıra, işletim kolaylığı ve ilk yatırım maliyeti de göz önünde bulundurulmuştur. Ayrıca, yazılım tarafından her seçim için ön görülen işletim ve bakım maliyetleri ile, çevresel etkilerin, koku, gürültü, sürdürülebilirlik gibi etkenlerine bağlı olarak sunmuş olduğu puanlama değeri de belirleyici kabul edilmiştir. Bu verilerin tamamının görülebileceği Novedar EDSS Consolider yazılımı ekran görüntüleri, fotoğraflar halinde ekler bölümünde listelenmiştir.

Atıksuyun, Tablo 5.2'de yer alan tüm basamaklardan geçtikten sonra nihai noktaya ulaşacağı ana kadar olan süreçteki kirlilik giderim verimleri ve alıcı ortama deşarj sırasında muhteva edeceği kirlilik konsantrasyon değerleri Tablo 5.3'de gösterilmiştir.

Tablo 5.3: Arıtılmış atıksu kirlilik konsantrasyonları ve giderim verimleri.

| <b>Kirletici Türü</b> | <b>Birim</b> | <b>Değer</b> | <b>Giriş</b> | <b>Çıkış</b> | <b>Verim (%)</b> |
|-----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------|
| KOİ                   | mg/L         | 300          | 883          | 62,1         | 92,6             |
| BOİ                   | mg/L         | -            | 574          | 7,83         | 98,6             |
| AKM                   | mg/L         | 100          | 290          | 0,74         | 99,7             |
| TN                    | mg/L         | 15           | 6,5          | 1,35         | 79,2             |
| TP                    | mg/L         | 2,0          | 2,0          | 0,9          | 55,0             |

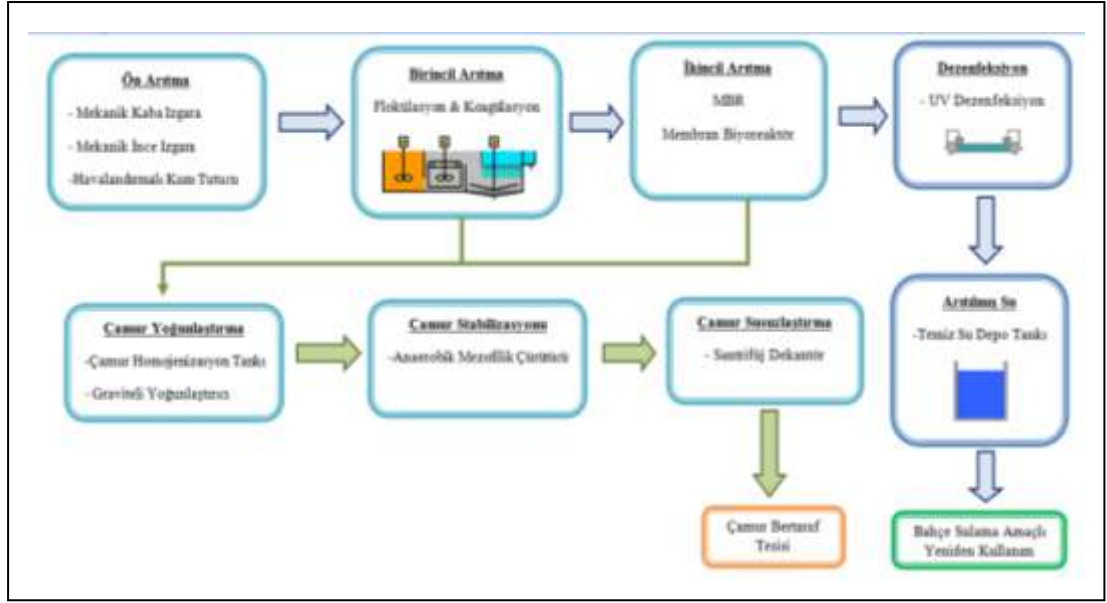
### 5.2.2. Sulama Amaçlı Yeniden Kullanım Durumu

Atıksuyun sulama amaçlı yeniden kullanımı için oluşturulan akım şemasında konvensiyonel olarak bölüm beşte yer alan Tablo 5.2'de gösterilmiş olan arıtma basamakları kullanılmıştır. Sulama suyu olarak yeniden kullanım için yazılım tarafından, atıksuyun bir önceki işlemler sonucunda ihtiva ettiği kirlilik değerlerine göre sunmuş olduğu farklı teknolojiler arasından seçim yapılarak işletim ve bakım maliyetleri ile, çevresel etkilerin, koku, gürültü, sürdürülebilirlik gibi etkileri göz önünde bulundurularak en uygun arıtma teknolojileri seçilmiştir. Sulama amaçlı yeniden kullanım için yazılım tarafından belirlenmiş olan yasal sınır değerleri Teknik Usüller Tebliği'nde yer alan sınır değerlere göre Tablo 5.4'de gösterilmiştir.

Tablo 5.4: Sulama amaçlı yeniden kullanım sınır kirlilik değerleri.

| Kirletici Türü        | Birim    | Değer |
|-----------------------|----------|-------|
| BOİ                   | mg/L     | 0-25  |
| AKM                   | mg/L     | 20    |
| EC <sub>25</sub> X106 | -        | 0-250 |
| Fekal Koliform        | 1/100 mL | 0-2   |

Atıksu endüstriyel nitelikli olduğu için organik kirlilik yükü düşük karakterli bir atıksudur. Bu nedenle, atıksuyun sulama amaçlı yeniden kullanımı için park ve bahçe sulamada yeniden değerlendirileceği öngörülmüştür. Park ve bahçelerin sulanmasında yeniden kullanım için temel parametre atıksuyun ağır metal içeriğinin düşük olmasıdır. Ağır metal konsantrasyonları yüksek olan atıksuların, park ve bahçelerde yeniden sulama amaçlı kullanımları, sulandığı bölgedeki toprakta ağır metal birikimine sebep olması istenmeyen bir durumdur. Bu nedenle, en başta konvensiyonel atıksu arıtma basamaklarının belirlenmesinde özellikle de ikincil arıtım basamağı teknolojilerinin seçiminde ağır metal giderim verimleri ön planda tutulmuştur. Sulama amaçlı yeniden kullanım için kullanılan arıtma basamakları şekil 5.2'de gösterilmektedir.



Şekil 5.2: Sulama amaçlı yeniden kullanım akım şeması.

İleri arıtma basamağının da eklenmiş olduğu, sulama amaçlı yeniden kullanım için kirletici giderim verimleri Tablo 5.5'da verilmiştir.

Tablo 5.5: Sulama amaçlı arıtılmış su kirlilik konsantrasyonları ve giderim verimleri.

| Kirletici Türü                    | Birim    | Değer | Giriş  | Çıkış | Verim (%) |
|-----------------------------------|----------|-------|--------|-------|-----------|
| EC <sub>25</sub> ×10 <sup>6</sup> | -        | 0-250 | 0.0328 | 0     | 100       |
| Fekal Koliform                    | 1/100 mL | 0-2   | 0.0324 | 0     | 100       |

Tablo 5.5'de de görüldüğü üzere, kirletici değerleri sınır değerlerin altında olduğundan yalnızca UV Dezenfeksiyon işlemi sonrası sulama için uygun olduğu görülmüştür. Tabloda ayrıca sağlanması gereken sınır değerlerin ne kadar altında giderim yapıldığı yüzdesel olarak gösterilmiştir. Sulama suyu kirlilik değerlerinin sağlanması gereken BOİ değerinin %60, AKM değerinin ise %96,3 altında olduğu görülmektedir. Fekal koliform ve Escherachia Coli gibi hastalık yapıcı mikroorganizmaların da tamamının giderildiği görülmektedir.

### 5.2.3. %70 Geri Kazanım Sonrası Yeniden Kullanım

Atıksuyun yeniden kullanımı ile ilgili pek çok alternatif mevcuttur. En bilinen ve yaygın olarak kullanılan kullanım alanı ise, gün geçtikçe artan su kıtlığı sebebiyle endüstriyel proseslerde yeniden kullanımdır. Atıksu geri kazanıldıktan sonra, gıda

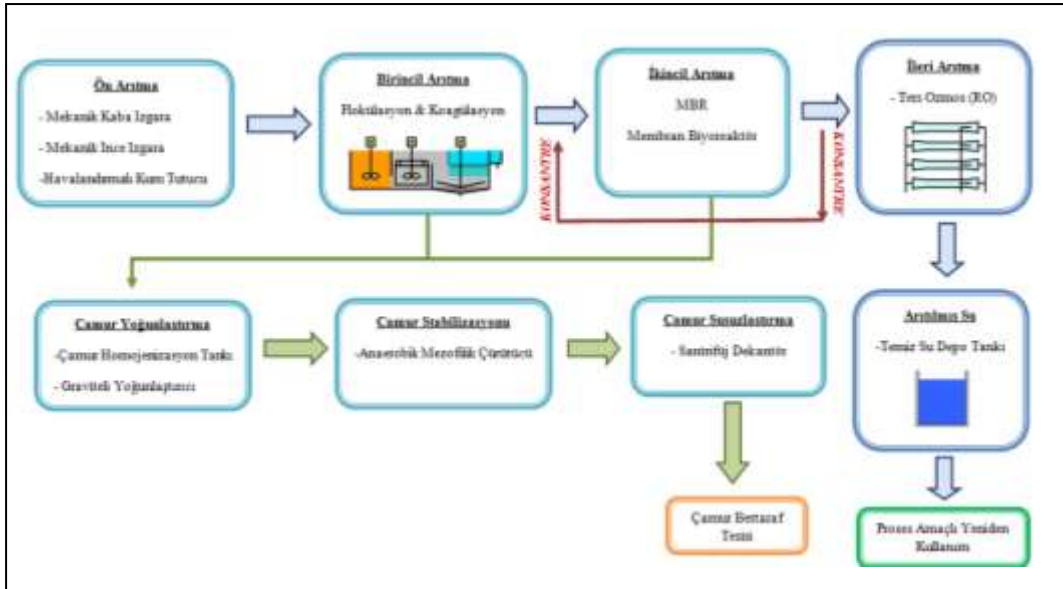
endüstrilerinde temizlik amaçlı yeniden kullanılabilirdiği gibi, farklı endüstrilerde soğutma kulelerinde ya da buhar türbinlerinde de yaygın olarak kullanılabilir.

Bu aşamada atıksuyun geri kazanıldıktan sonra, proste yeniden kullanımı hedeflenmiştir. Proses suyu olarak yeniden kullanım için yazılım tarafından, atıksuyun bir önceki işlemler sonucunda ihtiva ettiği kirlilik değerlerine göre sunmuş olduğu farklı teknolojiler arasından seçim yapılarak işletim ve bakım maliyetleri ile, çevresel etkilerin, koku, gürültü, sürdürülebilirlik gibi etkileri göz önünde bulundurulmuş ve en uygun arıtma teknolojileri seçilmiştir. Konvensiyonel olarak belirlenmiş olan arıtma basamaklarına ilave olarak, proste yeniden kullanım hedefi için yazılım tarafından önerilmiş olan farklı ileri arıtma senaryolarından en uygun olanı seçilmiştir. Tablo 5.6'de proses amaçlı yeniden kullanım için sınır değerler verilmiştir.

Tablo 5.6: Proses amaçlı yeniden kullanım için sınır kirlilik değerleri.

| <b>Kirletici türü</b> | <b>Birim</b> | <b>Değer</b> |
|-----------------------|--------------|--------------|
| COD                   | mg/L         | < 30         |
| BOD                   | mg/L         | < 5          |
| TSS                   | mg/L         | < 1          |
| Koliformlar           | 1/100 mL     | 1            |
| Escharchia Coli       | 1/100 mL     | 0            |
| Bulanıklık            | NTU          | < 1          |

Proses amaçlı yeniden kullanım için gerekli sınır değerleri göz önünde bulundurularak oluşturulan arıtma basamakları Şekil 5.3'de verilmiştir.



Şekil 5.3: Proses amaçlı yeniden kullanım akım şeması.

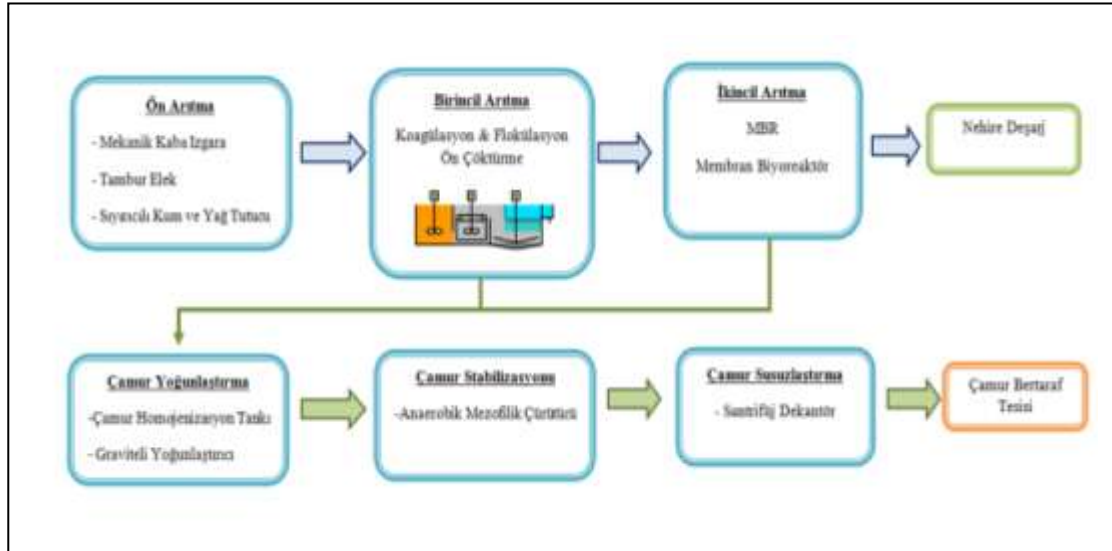
Proses amaçlı yeniden kullanım için yazılım tarafından birden fazla senaryo incelenmiş ve içerisinden en uygun olan akım şeması belirlenmiştir. Bu çalışmanın hazırlanması aşamasında pek çok gerçek ölçekli tesis için yapılmış olan çalışma incelenmiştir. Yapılan literatür taramalarında gerçek ölçekte projelendirilen tesislerde, proses hedefli yeniden kullanım söz konusu olduğunda daha fazla ileri arıtma teknolojisi basamağına yer verildiği gözlemlenmiştir. Bu teknolojiler arasında en yaygın olarak kullanılmış olan prosesin ise aktif karbon filtreler muhteva eden akım şemaları olduğu görülmüştür. Kullanılan arıtma teknolojisinin su karakterizasyonuna ve endüstriye göre farklılık göstereceği de göz önünde bulundurularak, yazılımın güncellenmemiş olmasından kaynaklı olarak eksik şekilde belirtilmiş olduğu düşünülen ileri arıtma basamağı teknolojileri arasına aktif karbon filtre de ilave edilmiştir. Maliyet analizlerinin veri çıktıları hesaplanırken, AC prosesinin mevcudiyeti de dikkate alınmıştır. Tablo 5. 7'de sağlanması gereken sınır kirlilik değerlerine karşın elde edilen arıtma verimleri gösterilmiştir.

Tablo 5.7: Arıtılmış atıksu kirlilik konsantrasyonu ve giderim verimleri.

| Kirletici türü | Birim | Değer | Giriş | Çıkış | Verim (%) |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| KOİ            | mg/L  | 30    | 62,1  | 0     | 100,0     |
| BOİ            | mg/L  | 5     | 7,83  | 2,76  | 64,7      |
| AKM            | mg/L  | 1     | 0,74  | 0     | 100,0     |

### 5.3. Süt Endüstrisi için Akım Şeması Belirlenmesi ve Sonuçları

Süt endüstrisi atıksularının arıtılması ve yeniden kazanılması sürecinde oluşturulmuş olan akım şeması Şekil 5.4'de gösterilmiştir.



Şekil 5.4: Süt endüstrisi atıksu arıtma tesisi akım şeması.

Süt endüstrisi atıksularının işlenmesi ve nihai son kullanım hedefleri temel alınarak üç farklı seneryo için incelemelerde bulunulmuştur. Hedeflenen senaryolar tek tek ele alınarak ekonomik, sosyo-ekonomik ve çevresel olarak değerlendirilmiştir. Yazılım programı kullanılarak elde edilen sonuçlar yorumlanarak tartışılmıştır. Yukarıda sözü edilen üç farklı arıtma hedefi aşağıdaki gibidir:

- Doğrudan alıcı ortama deşarj durumu
- Sulama amaçlı yeniden kullanım durumu
- %70 geri kazanım sonucu yeniden kullanım durumu

Arıtma senaryosunda kullanılacak olan her bir proses basamağı belirlenirken farklı alternatifler için, işletme ve bakım maliyetleri, ilk yatırım maliyetleri ve atıksu kirlilik karakterizasyonuna göre giderim verimi oranları göz önünde bulundurularak seçim yapılmıştır. Proses basamaklarının belirlenmesinde ayrıca program tarafından sunulan öncelik sıralaması, puanlandırmalar göz önünde bulundurulmuştur. Son

aşamada ise, seçilen her bir arıtma basamağındaki akım şeması için ekonomik ve çevresel kriter değerlendirmesi yapılmıştır. Teknoloji seçimlerinin belirlenmesi aşamasında, gerçek ölçekli projelendirmelerde süt ve süt ürünü endüstrilerinde en çok tercih edilen arıtma teknolojilerine en yakın teknolojilerin seçimine özellikle dikkat edilmiştir. Süt endüstrisi suyun en çok kullanıldığı endüstriyel alanlardan bir tanesi olduğu için kullanılacak teknolojilerin seçimi de suyun özellikle de geri kazanımı ve yeniden kullanımı aşamalarını doğrudan etkileyeceği için büyük önem arz etmektedir. Kullanılacak arıtma teknolojilerinin seçiminde diğer dikkate alınan parametre ise atıksuyun ihtiva ettiği organik yük değerleri olmuştur.

### 5.3.1. Doğrudan Alıcı Ortama Deşarj Durumu

Çok kirli atıksu niteliğine sahip, süt endüstrisi atıksularının ilk olarak herhangi bir ileri arıtma teknolojisi işlemi uygulanmaksızın doğrudan alıcı ortama deşarjı son hedef olarak belirlenmiştir. Alıcı ortam olarak nehir nihai nokta olarak belirlenmiştir. Hedef alıcı ortamın belirlenmesinde, alıcı ortam için gerekli sınır kirlilik konsantrasyonları dikkate alınmıştır. Kullanılan yazılım kapsamında, belirlenmiş olan yasal sınır değerleri kabul edilmiştir. Alıcı ortama deşarj sınır değerleri Tablo 5.8'de gösterilmiştir.

Tablo 5.8: Nehre deşarj için gerekli sınır kirlilik değerleri.

| Kirletici türü | Birim | SKKY Tablo 5.3<br>(24 Saatlik) |
|----------------|-------|--------------------------------|
| KOİ            | mg/L  | 160                            |
| Yağ&Gres       | mg/L  | 30                             |

Süt endüstrisi atıksularının arıtılması için oluşturulmuş akım şemasında yer alan teknolojiler Tablo 5.9'da listelenmiştir.

Tablo 5.9: Kullanılan arıtma basamakları ve arıtma teknolojileri.

| <b>1. Ön Arıtma Basamağında Kullanılan Arıtma Teknolojileri</b>       |                                         |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| A.                                                                    | Mekanik Tahrikli Kaba Izgara            |
| B.                                                                    | Tambur Elek                             |
| C.                                                                    | Kum ve Yağ Tutucu                       |
| D.                                                                    | Dengeleme Havuzu                        |
| <b>2. Birincil Arıtma Basamağında Kullanılan Arıtma Teknolojileri</b> |                                         |
| A.                                                                    | Flokülasyon & Koagülasyon - Ön Çöktürme |
| <b>3. İkincil Arıtma Basamağında Kullanılan Arıtma Teknolojileri</b>  |                                         |
| A.                                                                    | Membran Biyoreaktör (MBR)               |
| <b>4. Çamur Bertarafı Basamağında Kullanılan Arıtma Teknolojileri</b> |                                         |
| A.                                                                    | Anaerobik Mezofilik Çürütücü            |
| B.                                                                    | Çamur Depolama Tankı                    |
| C.                                                                    | Graviteli Yoğunlaştırıcı                |
| D.                                                                    | Dekantör                                |

Atıksu ön işlem için ilk olarak ön arıtma basamağına giriş yapacaktır. Ön işlem basamaklarındaki temel amaç, atıksu içerisinde yer alan kaba malzemelerin giderilmesi ve bir sonraki arıtma basamağının kirlilik yükünü azaltmaktır. Süt endüstrisi atıksu karakterizasyonu bölüm üç içerisinde verilmiştir. Atıksu karakterizasyonuna bakıldığında, çok kirli sınıfında yer alan süt endüstrisi atıksuyunda ön işlem basamaklarında otomotiv endüstrisinden farklı olarak dengeleme havuzu ünitesine de yer verilmiştir. Dengeleme tanavalandırılmış olacaktır. Dengeleme havuzunun üzeri açık bir havuz olacağı kabul edilmiştir. Karıştırma işleminin ise difüzör işlemi ile sağlanacağı öngörülmüştür. Yazılımın sunduğu arıtma teknolojisi seçenekleri, tanımlanan su karakterizasyonlarına göre değişiklik göstermekte olduğundan süt endüstrisi için yazılım tarafından sunulan, en uygun ve en güncel teknolojilerin belirlenmesine seçim aşamasında önem gösterilmiştir. Akım şeması bu şekilde belirlenmiştir. İkincil arıtım teknolojisinin belirlenmesinde, organik kirlilik yükünün fazla olması sebebiyle anaerobik proses tercih edilmiştir. Bu seçimin yapılmasında, organik kirlilik yükünün fazla olması ve buna karşın elde edilebilmesi muhtemel biogaz kazancı da göz önünde bulundurulmuştur. Bu verilerin tamamının görülebileceği Novedar EDSS Consolider yazılımı ekran görüntüleri, fotoğraflar halinde ekler bölümünde yer almaktadır.

Atıksu tüm basamaklardan geçtikten sonra nihai noktaya ulaşacağı ana kadar olan süreçteki kirlilik giderim verimleri ve alıcı ortama deşarj sırasında muhteva edeceği kirlilik konsantrasyon değerleri Tablo 5.10'da gösterilmiştir.

Tablo 5.10: Doğrudan deşarj için arıtılmış atıksu kirlilik konsantrasyonları ve giderim verimleri.

| <b>Kirletici türü</b> | <b>Birim</b> | <b>Değer</b> | <b>Giriş</b> | <b>Çıkış</b> | <b>Verim (%)</b> |
|-----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------|
| KOİ                   | mg/L         | 160          | 800          | 89.24        | 88.8             |
| BOİ                   | mg/L         | -            | 600          | 13.19        | 97.8             |
| AKM                   | mg/L         | -            | 50           | 0.17         | 99.6             |
| TN                    | mg/L         | -            | 31           | 2.79         | 91.0             |
| TP                    | mg/L         | -            | 9            | 4.05         | 55.0             |
| Yağ & Gres            | mg/L         | 30           | -            | -            | -                |

Kullanılan arıtma teknolojileri sonrası elde edilmiş olan giderim verimleri Tablo 5.10'da verilmiştir. Otomotiv endüstrisi giderim verimleri ile kıyaslama yapıldığında, süt endüstrisindeki kirletici konsantrasyonlarının daha dirençli olduğu gözlemlenmiştir. Otomotiv endüstrisi atıksularının alıcı ortama doğrudan deşarjında, arıtma çıkışında yasal gereklilik sınır değerlerinin %20 - %30 oranında altında kalırken aynı kirlilik türlerinde süt endüstrisinde bu oranın %2 - %5 aralığına gerilemiş olduğu gözlenmiştir. Bu da kirli sularının arıtımının, az kirli atıksuların arıtımına kıyasla daha zor olduğunun bir göstergesi olmuştur.

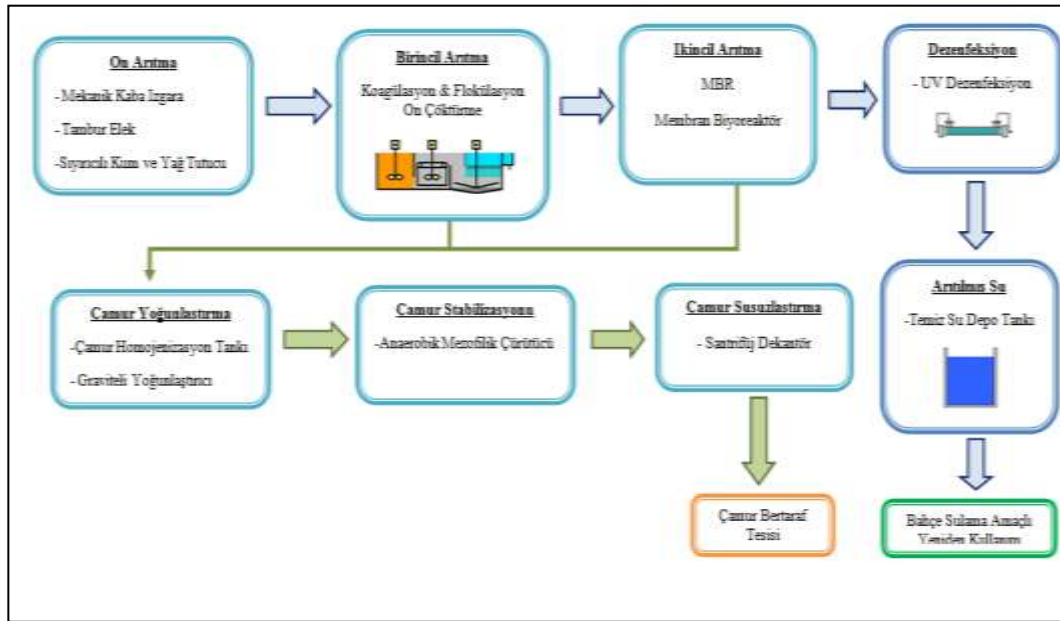
### 5.3.2. Sulama Amaçlı Yeniden Kullanım Durumu

Atıksuyun sulama amaçlı yeniden kullanımı için oluşturulan akım şemasında konvensiyonel olarak bölüm beşte yer alan arıtma basamakları kullanılmıştır. Sulama suyu olarak yeniden kullanım için yazılım tarafından, atıksuyun bir önceki işlemler sonucunda ihtiva ettiği kirlilik değerlerine göre sunmuş olduğu farklı teknolojiler arasından seçim yapılarak işletim ve bakım maliyetleri ile, çevresel etkilerin, koku, gürültü, sürdürülebilirlik gibi etkileri göz önünde bulundurularak en uygun arıtma teknolojileri seçilmiştir. Sulama amaçlı yeniden kullanım için belirlenmiş olan yasal sınır değerleri Tablo 5.11'de gösterilmiştir.

Tablo 5.11: Sulama amaçlı yeniden kullanım için sınır değerler.

| Kirletici Türü        | Birim    | Değer |
|-----------------------|----------|-------|
| BOİ                   | mg/L     | 0-25  |
| AKM                   | mg/L     | 20    |
| EC <sub>25</sub> X106 | -        | 0-250 |
| Fekal Koliform        | 1/100 mL | 0-2   |

Otomotiv endüstrisinden farklı olarak, süt endüstrisinin sulama amaçlı yeniden kullanımı için tarımsal sulama amaçlı son kullanım nihai hedef olarak belirlenmiştir. Bunun nedeni ise, atıksuyun organik kirlilik karakterizasyonudur. İçerisinde bulunan azot, fosfor değerlerine bakıldığında, tarımsal amaçlı sulama için kullanımın daha uygun olacağı öngörülmüştür. Sulama amaçlı yeniden kullanım için öngörülmüş olan akım şeması Şekil 5.5'de gösterilmiştir.



Şekil 5.5: Sulama amaçlı yeniden kullanım için öngörülen akım şeması.

Tablo 5.12'de sağlanması gereken sınır kirlilik değerlerine karşın elde edilen arıtma verimleri gösterilmiştir.

Tablo 5.12: Sulama amaçlı yeniden kullanım için arıtma verimleri.

| Kirletici türü  | Birim     | Değer | Giriş  | Çıkış | Verim (%) |
|-----------------|-----------|-------|--------|-------|-----------|
| Escharchia Coli | ufc/100mL | 0-250 | 0.0375 | 0     | 100.0     |
| Fekal Koliform  | 1/100 mL  | 1     | 0.0278 | 0     | 100.0     |

Tablo 5.12'de gösterilmiş olan giriş değerleri, konvansiyonel arıtma çıkış değerleri olarak kabul edilmiştir.

### 5.3.3. %70 Geri Kazanım Sonrası Yeniden Kullanım

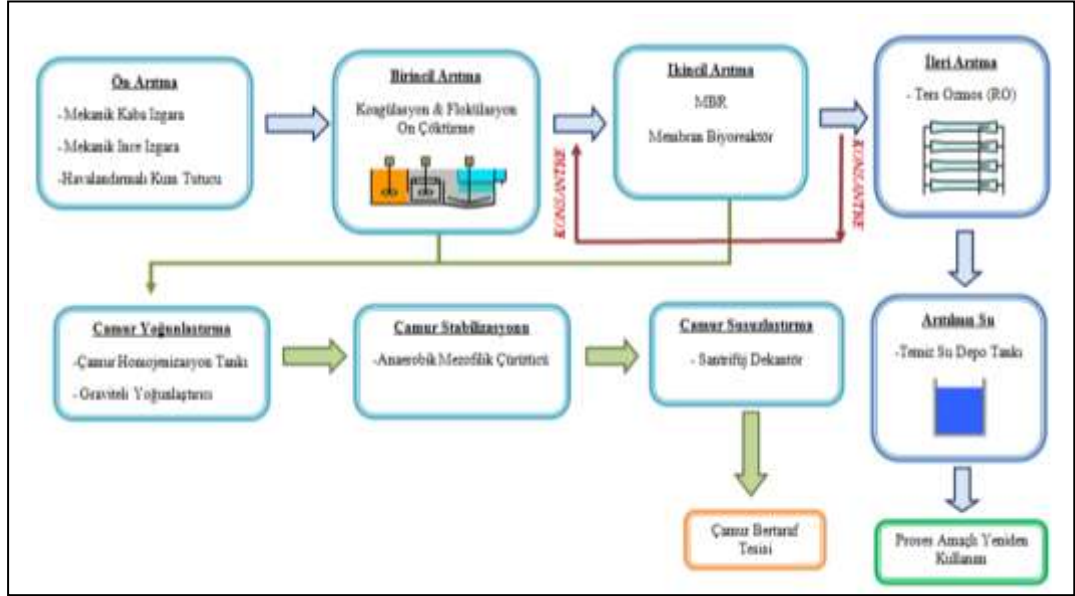
Atıksu geri kazanıldıktan sonra, gıda endüstrilerinde temizlik amaçlı yeniden kullanılabilirdiği gibi, farklı endüstrilerde soğutma kulelerinde ya da buhar türbinlerinde de yaygın olarak kullanılabilir.

Bu aşamada atıksuyun geri kazanıldıktan sonra, proseste yeniden kullanımı hedeflenmiştir. Akım şemasının belirlenmesinde Şekil 5.5'de gösterilmiş olan arıtma basamakları kullanılmıştır. Proses suyu olarak yeniden kullanım için yazılım tarafından, atıksuyun bir önceki işlemler sonucunda ihtiva ettiği kirlilik değerlerine göre sunmuş olduğu farklı teknolojiler arasından seçim yapılarak işletim ve bakım maliyetleri ile, çevresel etkilerin, koku, gürültü, sürdürülebilirlik gibi etkileri göz önünde bulundurulmuş ve en uygun arıtma teknolojileri seçilmiştir. Konvansiyonel olarak belirlenmiş olan arıtma basamaklarına ilave olarak, proseste yeniden kullanım hedefi için yazılım tarafından önerilmiş olan farklı ileri arıtma senaryolarından en uygun olanı seçilmiştir. Proses amaçlı yeniden kullanım için limit kirlilik değerleri Tabl 5.13'de gösterilmektedir.

Tablo 5.13: Proses amaçlı yeniden kullanım için limit kirlilik değerleri.

| Kirletici türü  | Birim    | Değer |
|-----------------|----------|-------|
| COD             | mg/L     | < 30  |
| BOD             | mg/L     | < 5   |
| TSS             | mg/L     | < 1   |
| Koliformlar     | 1/100 mL | 1     |
| Escharchia Coli | 1/100 mL | 0     |
| Bulanıklık      | NTU      | < 1   |

Sınır kirletici konsantrasyonlarının göz önünde bulundurularak seçilmiş olan ileri arıtma basamakları Şekil 5.6'da gösterilmektedir.



Şekil 5.6: Proses amaçlı yeniden kullanım son hedefi için oluşturulan akım şeması.

Şekil 5.6'da gösterilen ileri arıtma basamağı teknoloji basamakları Novedar EDSS yazılımı tarafından sunulan teknolojiler arasından gerçek ölçekli projelere en yakın senaryolar dikkate alınarak belirlenmiştir. Yazılımın yayınlanmış olduğu tarihten bugüne güncellenmemesinden kaynaklı olarak, günümüz teknolojisine en uygun senaryolar belirlenmeye çalışılmıştır. Belirlenmiş olan basamaklar doğrultusunda, giderim verimleri ve çıkış konsantrasyonları Tablo 5.14'de gösterilmiştir.

Tablo 5.14: Proses bazlı yeniden kullanım için arıtma verimleri.

| Kirletici türü | Birim | Değer | Giriş | Çıkış | Verim (%) |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| KOİ            | mg/L  | 30    | 56.26 | 0     | 100.0     |
| BOİ            | mg/L  | 5     | 8.18  | 2.88  | 64.8      |
| AKM            | mg/L  | 1     | 0.13  | 0     | 100.0     |

## **5.4. Arıtma Senaryolarının Ekonomik Olarak Karşılaştırılması**

Çok kirli ve az kirli olarak sınıflandırılan iki farklı endüstriye ait atıksu arıtma senaryoları incelenmiştir. Her iki farklı endüstri için de, endüstriye özgü belirlenen akım şemalarının yanısıra giderim verimleri ve ekonomik ölçekli analizler de yapılmıştır. Son kullanım hedeflerine yönelik giderim verimlerinin hesaplanmış olduğu tablolar Bölüm 5.2 ve Bölüm 5.3'de verilmiştir.

Son kullanım hedeflerine yönelik akım şemalarının belirlenmesi aşamasında, birden fazla akım şeması kendi içerisinde değerlendirilmiştir.

Alternatifler arasından en uygun senaryo belirlenmiştir. Aynı zamanda her iki endüstri için, farklı son kullanım hedeflerinde kullanılmış olan akım şemalarının ekonomik, sosyoekonomik ve çevresel olarak kıyaslanabilmesi için benzer senaryolar kullanılmıştır. Kullanılan benzer senaryolar için, farklı endüstrilerdeki ekonomik girdiler ve çıktılar tablolar halinde gösterilmiştir. Şekil 5.6'da her iki endüstri için de doğrudan alıcı ortama deşarj söz konusu olduğunda elde edilmiş olan ekonomik analiz sonuçları gösterilmiştir. İki farklı karakterizasyondaki atıksuyun arıtımında ortaya çıkan maliyetler birbirleri ile kıyaslanmıştır.

| DOĞRUDAN ALICI ORTAMA DEŞARJ DURUMU İÇİN MALİYET ANALİZİ |                                         |                     |          |
|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------|----------|
| ATIKSU                                                   | EKONOMİK ANALİZ SONUÇLARI               |                     |          |
| OTOMOTİV                                                 | Artılmış Atıksu                         | m <sup>3</sup> /gün | 4.000,00 |
|                                                          | Biogaz Eldesinden Sağlanan Kazanç       | €/gün               | 1.634,47 |
|                                                          | Kabul Edilen Tesis Verimli İşletim Ömrü | Yıl                 | 20,00    |
|                                                          | Kabul Edilen Yüzde Artış Oranı          | %                   | 4,00     |
|                                                          | Yatırım Maliyeti                        | M€                  | 7,06     |
|                                                          | İşletme ve Bakım Maliyeti               | M€                  | 0,29     |
|                                                          | Toplam Eşdeğer Maliyet                  | M€                  | 11,33    |
|                                                          | Birikmiş Kazanç                         | M€                  | 17,01    |
|                                                          | Net Bugünkü Değer                       | M€                  | 2,44     |
| SÜT                                                      | Artılmış Atıksu                         | m <sup>3</sup> /gün | 1.450,00 |
|                                                          | Biogaz Eldesinden Sağlanan Kazanç       | €/gün               | 383,05   |
|                                                          | Kabul Edilen Tesis Verimli İşletim Ömrü | Yıl                 | 20,00    |
|                                                          | Kabul Edilen Yüzde Artış Oranı          | %                   | 4,00     |
|                                                          | Yatırım Maliyeti                        | M€                  | 3,43     |
|                                                          | İşletme ve Bakım Maliyeti               | M€                  | 0,17     |
|                                                          | Toplam Eşdeğer Maliyet                  | M€                  | 5,96     |
|                                                          | Birikmiş Kazanç                         | M€                  | 13,33    |
|                                                          | Net Bugünkü Değer                       | M€                  | 6,61     |

Şekil 5.7: Doğrudan alıcı ortama deşarj durumu için ekonomik olarak karşılaştırılması.

Her iki endüstri için belirlenmiş olan akım şemaları doğrultusunda elde edilmiş olan ekonomik analiz sonuçları Şekil 5.7'de gösterilmektedir. Yatırım maliyetinin otomotiv endüstrisi atıksuları için 7.1 M€ olduğu görülürken, süt endüstrisi atıksuları için bu değer 3.43 M€ olduğu görülmektedir. İşletme ve bakım maliyetleri açısından iki farklı karakterizasyondaki atıksu kıyaslandığında, az kirli karakterizasyona sahip otomotiv endüstrisi atıksuları için 0.29 M€ olduğu, çok kirli atıksu karakterizasyonuna sahip süt endüstrisi atıksuları için ise bu değer 0.17 M€ olduğu görülmektedir. Her iki endüstriye ait atıksular için atıksu arıtma maliyeti hesaplandığında;

Tablo 5.15: Proses bazlı yeniden kullanım için kar hesaplamaları.

|                                                                                                   |                          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Süt Endüstrisi;                                                                                   |                          |
| İşletme ve Bakım Maliyeti:                                                                        | 0.17 M€/yıl              |
| Geri Kazanılmış Atıksu:                                                                           | 1450 m <sup>3</sup> /gün |
| 1 m <sup>3</sup> Atıksuyun Arıtma Bedeli;                                                         |                          |
| $\frac{170000 \text{ M€/yıl}}{1450 \text{ m}^3/\text{gün} \times 365 \text{ gün}} = 0.32\text{€}$ |                          |
| Otomotiv Endüstrisi;                                                                              |                          |
| İşletme ve Bakım Maliyeti:                                                                        | 0.29 M€/yıl              |
| Geri Kazanılmış Atıksu:                                                                           | 4000 m <sup>3</sup> /gün |
| 1 m <sup>3</sup> Atıksuyun Arıtma Bedeli;                                                         |                          |
| $\frac{290000 \text{ M€/yıl}}{4000 \text{ m}^3/\text{gün} \times 365 \text{ gün}} = 0.19\text{€}$ |                          |

Yapılmış olan hesaplamalar sonucunda, çok kirli karakterizasyona sahip süt endüstrisi atıksularının arıtma maliyetinin, az kirli karakterizasyondaki otomotiv endüstrisi atıksularının arıtım bedelinden daha yüksek ve yaklaşık 2 kat daha fazla olduğu görülmüştür.

Şekil 5.8'de sulama amaçlı yeniden kullanım son hedefli hem süt hem de otomotiv endüstrisi için belirlenmiş olan akım şemaları aynı tablo içerisinde gösterilmiştir. Senaryoların üstünlükleri, avantaj ve dezavantajları kıyaslanmıştır.

| DOĞRUDAN SULAMA AMAÇLI SON KULLANIM İÇİN MALİYET ANALİZİ |                                                                                              |                                          |                     |          |
|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------|----------|
| ATIKSU                                                   | AKIM ŞEMASI                                                                                  | EKONOMİK ANALİZ SONUÇLARI                |                     |          |
| OTOMOTİV                                                 | Konvensiyonel Arıtma Çıkışı<br>+<br>UV Dezenfeksiyon<br>↓<br>Bahçe Sulamada Yeniden Kullanım | Geri Kazanılmış Atıksu                   | m <sup>3</sup> /gün | 4.000,00 |
|                                                          |                                                                                              | Geri Kazanılmış Sudan Elde Edilen Kazanç | €/gün               | 4.000,00 |
|                                                          |                                                                                              | Biogaz Eldesinden Sağlanan Kazanç        | €/gün               | 1.634,47 |
|                                                          |                                                                                              | Kabul Edilen Tesis Verimli İşletim Ömrü  | Yıl                 | 20,00    |
|                                                          |                                                                                              | Kabul Edilen Yüzde Artış Oranı           | %                   | 4,00     |
|                                                          |                                                                                              | Yatırım Maliyeti                         | M€                  | 7,01     |
|                                                          |                                                                                              | İşletme ve Bakım Maliyeti                | M€                  | 0,31     |
|                                                          |                                                                                              | Toplam Eşdeğer Maliyet                   | M€                  | 11,47    |
|                                                          |                                                                                              | Birikmiş Kazanç                          | M€                  | 46,19    |
|                                                          |                                                                                              | Net Bugünkü Değer                        | M€                  | 23,59    |
| SÜT                                                      | Konvensiyonel Arıtma Çıkışı<br>+<br>UV Dezenfeksiyon<br>↓<br>Bahçe Sulamada Yeniden Kullanım | Geri Kazanılmış Atıksu                   | m <sup>3</sup> /gün | 1.450,00 |
|                                                          |                                                                                              | Geri Kazanılmış Sudan Elde Edilen Kazanç | €/gün               | 1.450,00 |
|                                                          |                                                                                              | Biogaz Eldesinden Sağlanan Kazanç        | €/gün               | 537,37   |
|                                                          |                                                                                              | Kabul Edilen Tesis Verimli İşletim Ömrü  | Yıl                 | 20,00    |
|                                                          |                                                                                              | Kabul Edilen Yüzde Artış Oranı           | %                   | 4,00     |
|                                                          |                                                                                              | Yatırım Maliyeti                         | M€                  | 5,47     |
|                                                          |                                                                                              | İşletme ve Bakım Maliyeti                | M€                  | 0,28     |
|                                                          |                                                                                              | Toplam Eşdeğer Maliyet                   | M€                  | 9,59     |
|                                                          |                                                                                              | Birikmiş Kazanç                          | M€                  | 24,95    |
|                                                          |                                                                                              | Net Bugünkü Değer                        | M€                  | 11,44    |

Şekil 5.8: Sulama amaçlı yeniden kullanım son hedefli arıtma senaryolarının ekonomik olarak karşılaştırılması.

Her bir endüstriye ait akım şemaları oluşturulurken, yazılım tarafından sunulan birden fazla akım şeması incelenmiştir. Yazılım altyapısında, geçmişten günümüze kullanılmış ve kullanılmakta olan teknoloji alternatiflerinin birçoğunu barındırmaktadır. Bu teknoloji alternatifleri içerisinde günümüz teknolojisine uygun modern arıtma teknolojileri seçilmiştir. Akım şemaları bu doğrultuda oluşturulmuştur.

Sulama amaçlı yeniden kullanım için her iki endüstriye ait atıksuların arıtımı ekonomik olarak birbirleriyle kıyaslanmıştır. Her iki endüstriyel atıksu için belirlenmiş olan ileri arıtma basamağında kullanılan arıtma teknolojiler aynı tür olarak seçilmiştir. Değerlendirme aşamasında, işletim ve bakım maliyeri, ilk yatırım maliyeti, enerji tüketim maliyetleri, yıllık eşdeğer maliyetler göz önünde bulundurulmuştur. Bu hesaplamaların yapılmasında kullanılmış olan birim maliyet değerleri; Kimyasal tüketimleri için 3.0 €, elektrik sarf kullanımları için 0.1 €, geri kazanılan atıksu için 1.0 € olarak belirlenmiştir. Bu değerlerin tanımlanmış olduğu program sayfaları çalışmanın ekler bölümünde yer almaktadır.

Yapılmış olan kıyaslamalarda, her iki endüstriye ait atıksuların arıtılması için oluşturulan akım şemaları için tesis işletim ömürleri 20 yıl olarak belirlenmiş, ve

kabul edilen yüzde artış oranı %4 olarak kabul edilmiştir. Her iki endüstri için de ileri arıtma basamağında kullanılan teknolojiler aynı olmasına karşın konvensiyonel arıtma basamaklarında kullanılan teknoloji seçimlerinden kaynaklı olarak ilk yatırım maliyetinin otomotiv endüstrisi atıksuları için 7.01 M€ olmasına karşın, süt endüstrisi atıksuyu için bu değer 5.47 M€ olduğu görülmektedir. İşletme ve bakım maliyetlerinin ise neredeyse her iki endüstri için de aynı olduğu ve sırasıyla otomotiv ve süt endüstrisi için 0.31 M€ ile 0.28 M€ olduğu görülmüştür. Tesislerin işletilmesi için belirlenmiş olan tesis ömrünün 20 yıl olarak kabul edilmesi sonucunda, 20 yıl sonunda otomotiv endüstrisi arıtma tesisinin işletilmesi ve atıksuların gerikazanımından elde edilecek kazancın 46.19 M€ olacağı, süt endüstrisi arıtma tesisinin işletilmesi ve atıksuların gerikazanımından elde edilecek kazancın 24.95 M€ olacağı öngörülmüştür. Atıksuyun arıtılması ve gerikazanımı süresince 1 m<sup>3</sup> atıksuyun arıtılması ve geri kazanımı için harcanan bedeller aşağıdaki gibi hesaplanmıştır;

Tablo 5.16: Geri kazanılmış atıksu kar hesaplamaları.

Süt Endüstrisi;

İşletme ve Bakım Maliyeti: 0.28 M€/yıl

Geri Kazanılmış Atıksu: 1450 m<sup>3</sup>/gün

1 m<sup>3</sup> Atıksuyun Arıtma Bedeli;

$$\frac{280000 \text{ M€/yıl}}{1450 \text{ m}^3/\text{gün} \times 365 \text{ gün}} = 0.53 \text{ €}$$

1 m<sup>3</sup> Arıtılmış Atıksuyun Satışından Elde Edilen Kar: 1.0 € - 0.53 € → 0.47 €

1 Yılda Arıtılacak Atıksu Miktarı;

$$1450 \frac{\text{m}^3}{\text{gün}} \times 365 \text{ gün} = 529.250 \text{ m}^3$$

1 Yılda Arıtılmış Atıksu Satışından Elde Edilecek Net Kazanç;

$$529.250 \text{ m}^3/\text{yıl} \times 0,47 \text{ €/m}^3 = 248.747,5 \text{ €/yıl}$$

Tablo 5.17: Geri kazanılmış atıksu arıtım maliyetleri.

Otomotiv Endüstrisi;

İşletme ve Bakım Maliyeti: 0.31 M€/yıl

Tablo 5.16: Geri kazanılmış atıksu kar hesaplamaları.

Geri Kazanılmış Atıksu: 4000 m<sup>3</sup>/gün

1 m<sup>3</sup> Atıksuyun Arıtma Bedeli;

$$\frac{310000 \text{ M€/yıl}}{4000 \text{ m}^3/\text{gün} \times 365 \text{ gün}} = 0.21\text{€}$$

1 m<sup>3</sup> Arıtılmış Atıksuyun Satışından Elde Edilen Kar: 1.0 € - 0.21 € → 0.79 €

1 Yılda Arıtılacak Atıksu Miktarı;

$$4000 \frac{\text{m}^3}{\text{gün}} \times 365 \text{ gün} = 1.460.000 \text{ m}^3$$

1 Yılda Arıtılmış Atıksu Satışından Elde Edilecek Net Kazanç;

$$1.460.000 \text{ m}^3/\text{yıl} \times 0,79 \text{ €/m}^3 = 1.153.400 \text{ €/yıl}$$

Yapılan hesaplamalar sonucunda, otomotiv endüstrisi atıksuları için sulama amaçlı son hedef söz konusu olduğunda yatırım maliyetinin, süt endüstrisinden daha yüksek olmasına karşın atıksuyun arıtımı ve geri kazanımından eldedilen karın daha yüksek olduğu görülmüştür. 1 m<sup>3</sup> atıksuyun arıtım maliyeti süt endüstrisi için 0.53 € iken otomotiv endüstrisi atıksuyu için bu bedelin 0.21 € olduğu görülmüştür.

Atıksuların sulama amaçlı yeniden kullanımı son hedefi için karşılaştırılan iki farklı karakterizasyondaki atıksu için, az kirli karakterizasyondaki otomotiv endüstrisi atıksularınının yeniden kullanıma daha elverişli olduğu bunun yanısıra elde edilen fayda ve kazançlar göz önünde bulundurulduğunda da daha uygulanabilir bir çözüm olduğu ortaya konmuştur.

Her iki endüstriyel atıksuyun geri kazanıldıktan sonra proseste yeniden kullanım son hedefli olarak değerlendirilmesi için ekonomik ölçekte kıyaslama yapılmıştır. Her iki endüstriyel atıksu için de tesis işletim ömürleri 20 yıl olarak belirlenmiştir. Atıksuların %70 geri kazanılacağı varsayılmıştır. Her iki endüstri için

de proste yeniden kullanım amaçlı arıtım için kullanılan ileri arıtma basamağı teknoloji RO olarak belirlenmiştir. Her iki endüstriyel atıksuya ait ekonomik analiz kıyas tablosu Şekil 5.9'da gösterilmiştir.

| DOĞRUDAN PROSTE KULLANIM SON HEDEFİ İÇİN MALİYET ANALİZİ |                                                                                            |                                          |                     |          |
|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------|----------|
| ATIKSU                                                   | AKIM ŞEMASI                                                                                | EKONOMİK ANALİZ SONUÇLARI                |                     |          |
| OTOMOTİV                                                 | Konvansiyonel Arıtma Çıkışı<br>+<br>RO (Ters Osmos)<br>↓<br>Proses Amaçlı Yeniden Kullanım | Geri Kazanılmış Atıksu                   | m <sup>3</sup> /gün | 2.800,00 |
|                                                          |                                                                                            | Geri Kazanılmış Sudan Elde Edilen Kazanç | €/gün               | 2.800,00 |
|                                                          |                                                                                            | Biogaz Eldesinden Sağlanan Kazanç        | €/gün               | 1.724,14 |
|                                                          |                                                                                            | Kabul Edilen Tesis Verimli İşletim Ömrü  | Yıl                 | 20,00    |
|                                                          |                                                                                            | Kabul Edilen Yüzde Artış Oranı           | %                   | 4,00     |
|                                                          |                                                                                            | Yatırım Maliyeti                         | M€                  | 7,57     |
|                                                          |                                                                                            | İşletme ve Bakım Maliyeti                | M€                  | 0,60     |
|                                                          |                                                                                            | Toplam Eşdeğer Maliyet                   | M€                  | 16,32    |
|                                                          |                                                                                            | Birikmiş Kazanç                          | M€                  | 36,86    |
|                                                          |                                                                                            | Net Bugünkü Değer                        | M€                  | 11,61    |
| SÜT                                                      | Konvansiyonel Arıtma Çıkışı<br>+<br>RO (Ters Osmos)<br>↓<br>Proses Amaçlı Yeniden Kullanım | Geri Kazanılmış Atıksu                   | m <sup>3</sup> /gün | 1.015,00 |
|                                                          |                                                                                            | Geri Kazanılmış Sudan Elde Edilen Kazanç | €/gün               | 1.015,00 |
|                                                          |                                                                                            | Biogaz Eldesinden Sağlanan Kazanç        | €/gün               | 383,05   |
|                                                          |                                                                                            | Kabul Edilen Tesis Verimli İşletim Ömrü  | Yıl                 | 20,00    |
|                                                          |                                                                                            | Kabul Edilen Yüzde Artış Oranı           | %                   | 4,00     |
|                                                          |                                                                                            | Yatırım Maliyeti                         | M€                  | 5,38     |
|                                                          |                                                                                            | İşletme ve Bakım Maliyeti                | M€                  | 0,39     |
|                                                          |                                                                                            | Toplam Eşdeğer Maliyet                   | M€                  | 11,06    |
|                                                          |                                                                                            | Birikmiş Kazanç                          | M€                  | 22,80    |
|                                                          |                                                                                            | Net Bugünkü Değer                        | M€                  | 8,98     |

Şekil 5.9: Proste yeniden kullanım son hedefli arıtma senaryolarının ekonomik olarak karşılaştırılması.

Her iki endüstri için de ileri arıtma basamağında kullanılan teknolojiler aynı olmasına karşın konvansiyonel arıtma basamaklarında kullanılan teknoloji seçimlerinden kaynaklı olarak ilk yatırım maliyetinin otomotiv endüstrisi atıksuları için 7.57 M€ olmasına karşın, süt endüstrisi atıksuyu için bu değer 5.38 M€ olduğu görülmektedir. Bu sonucun, debi kaynaklı olduğu sonucuna varılmıştır. Her iki endüstri kıyaslandığında, otomotiv endüstrisi atıksu debisinin süt endüstrisi atıksu debisinden fazla olmasından kaynaklı olarak bu sonuç ortaya çıkmıştır. İşletme ve bakım maliyetlerinin ise neredeyse her iki endüstri için de aynı olduğu ve sırasıyla otomotiv ve süt endüstrisi için 0.60 M€ ile 0.39 M€ olduğu görülmüştür. Tesislerin işletilmesi için belirlenmiş olan tesis ömrünün 20 yıl olarak kabul edilmesi sonucunda, 20 yıl sonunda otomotiv endüstrisi arıtma tesisinin işletilmesi ve atıksuların gerikazanımından elde edilecek kazancın 36.86 M€ olacağı, süt endüstrisi arıtma tesisinin işletilmesi ve atıksuların gerikazanımından elde edilecek kazancın 22.80 M€ olacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Atıksuyun arıtılması ve gerikazanımı süresince 1 m<sup>3</sup> atıksuyun arıtılması ve geri kazanımı için harcanan bedeller aşağıdaki gibi hesaplanmıştır;

Tablo 5.18: Süt endüstrisi atıksu arıtım bedeli.

|                                                                                                     |                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Süt Endüstrisi;                                                                                     |                          |
| İşletme ve Bakım Maliyeti:                                                                          | 0.39 M€/yıl              |
| Geri Kazanılmış Atıksu:                                                                             | 1015 m <sup>3</sup> /gün |
| 1 m <sup>3</sup> Atıksuyun Arıtma Bedeli;                                                           |                          |
| $\frac{390000 \text{ M€/yıl}}{1015 \text{ m}^3/\text{gün} \times 365 \text{ gün}} = 1.05 \text{ €}$ |                          |

1 m<sup>3</sup> arıtılmış atıksuyun satışından kar eldesi sağlanamamış olup 0.05 €'luk bir zarar sağlanacağı görülmüştür.

Tablo 5.19: Arıtılacak atıksu miktarı.

|                                                                                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 1 Yılda Arıtılacak Atıksu Miktarı;                                                |
| $1015 \frac{\text{m}^3}{\text{gün}} \times 365 \text{ gün} = 370.475 \text{ m}^3$ |

Arıtılmış atıksuyun, 1.0 €/m<sup>3</sup> bedelinde proste yeniden kullanım amacıyla satılması söz konusu olduğunda, çok kirli karakterizasyondaki süt endüstrisi atıksularınının bu uygulama için otomotiv endüstrisine kıyasla kabul edilebilir olmadığı görülmüştür.

Tablo 5.20: Arıtılmış atıksudan elde edilen kar miktarı.

|                                                                                                   |                          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Otomotiv Endüstrisi;                                                                              |                          |
| İşletme ve Bakım Maliyeti:                                                                        | 0.60 M€/yıl              |
| Geri Kazanılmış Atıksu:                                                                           | 2800 m <sup>3</sup> /gün |
| 1 m <sup>3</sup> Atıksuyun Arıtma Bedeli;                                                         |                          |
| $\frac{600000 \text{ M€/yıl}}{2800 \text{ m}^3/\text{gün} \times 365 \text{ gün}} = 0.59\text{€}$ |                          |
| 1 m <sup>3</sup> Arıtılmış Atıksuyun Satışından Elde Edilen Kar: 1.0 € - 0.59 € → 0.41 €          |                          |

Tablo 5.21: Kümülatif arıtılacak atıksu miktarı.

|                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 Yılda Arıtılacak Atıksu Miktarı;                                                  |
| $2800 \frac{\text{m}^3}{\text{gün}} \times 365 \text{ gün} = 1.022.000 \text{ m}^3$ |

Yapılan hesaplamalar sonucunda, otomotiv endüstrisi atıksuları için proseste yeniden kullanım son hedef söz konusu olduğunda yatırım maliyetinin, süt endüstrisinden daha yüksek olmasına karşın atıksuyun arıtımı ve geri kazanımından eldedilen karın sadece otomotiv endüstrisi atıksularından sağlanabildiği görülmüştür. 1 m<sup>3</sup> atıksuyun arıtım maliyeti süt endüstrisi için 1.05 € iken otomotiv endüstrisi atıksuyu için bu bedelin 0.59 € olduğu görülmüştür. Kirli karakterizasyondaki süt endüstrisi atıksularından, proses amaçlı yeniden kullanım son hedefi söz konusu olduğunda, satış bedelinin 1,0 €/m<sup>3</sup> kabulüyle endüstriyi 0.05 €/m<sup>3</sup> zarara uğratacağı görülmüştür. Otomotiv endüstrisi atıksuları için ise, atıksuyun arıtıldıktan sonra satışından 0.41 €/m<sup>3</sup> kazanç sağlandığı görülmüştür. Az kirli karakterizasyondaki otomotiv endüstrisi atıksularınının arıtımı sonrası yeniden kullanımından sağlanacak kazancın bir yılda 419.020 € olacağı görülmüştür. Süt endüstrisi atıksularının yeniden kullanımından, en az otomotiv endüstrisi atıksuları kadar kar sağlanabilmesi için suyun arıtıldıktan sonra satışından en az 1.13 €/m<sup>3</sup> kar sağlanması

gerekmektedir. Bu da süt endüstrisi atıksuları için arıtıldıktan sonraki satış bedelinin 1,0 €/m<sup>3</sup> değerinin üstünde bir değer olması anlamına gelmektedir.

Otomotiv endüstrisinden 1 yılda elde edilecek kazancın süt endüstrisi atıksularından elde edilebilmesi kabulü ile;

Tablo 5.22: Arıtılmış atıksudan elde edilen kazanç.

$$419.020 \text{ €/yıl} \div 370.475 \text{ m}^3/\text{yıl} = 1,13 \text{ €/m}^3$$

Aynı kazancın sağlanabilmesi için, 1 m<sup>3</sup> atıksuyun arıtımı sonrası satışından elde edilecek karın 1.13 € olması gerekmektedir. Bu da, 1 m<sup>3</sup> atıksuyun arıtma bedelinin düşürülmesi veya arıtılmış atıksu satış bedelimin artırılması gerektiği anlamını taşımaktadır.

Süt endüstrisi atıksularının arıtım bedeli 1.05 €/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. Kar elde edilebilmesi için uygulanması gereken arıtılmış atıksu satış tarife bedeli;

Tablo 5.23: Arıtılmış atıksu satış bedeli.

$$1.05 \text{ €} + 1.13 \text{ €} \rightarrow 2.18 \text{ €/m}^3$$

olarak hesaplanmıştır. Bu satış bedelinin, otomotiv endüstrisi arıtılmış atıksu bedeli satış tarife fiyatının yaklaşık 2.2 kat daha fazla olduğu görülmüş olup, prose amaçlı yeniden kullanım son hedefi söz konusu olduğunda az kirli karakterizasyondaki otomotiv endüstrisi atıksularının bu amaçla kullanımının daha kabul edilebilir ve uygulanabilir olduğu grlmştir.

Atıksuların sulama amaçlı yeniden kullanımı son hedefi için karşılaştırılan iki farklı karakterizasyondaki atıksu için, az kirli karakterizasyondaki otomotiv endüstrisi atıksularının yeniden kullanıma daha elverişli olduğu bunun yanısıra elde edilen fayda ve kazançlar göz önünde bulundurulduğunda da daha uygulanabilir bir çözüm olduğu ortaya konmuştur.

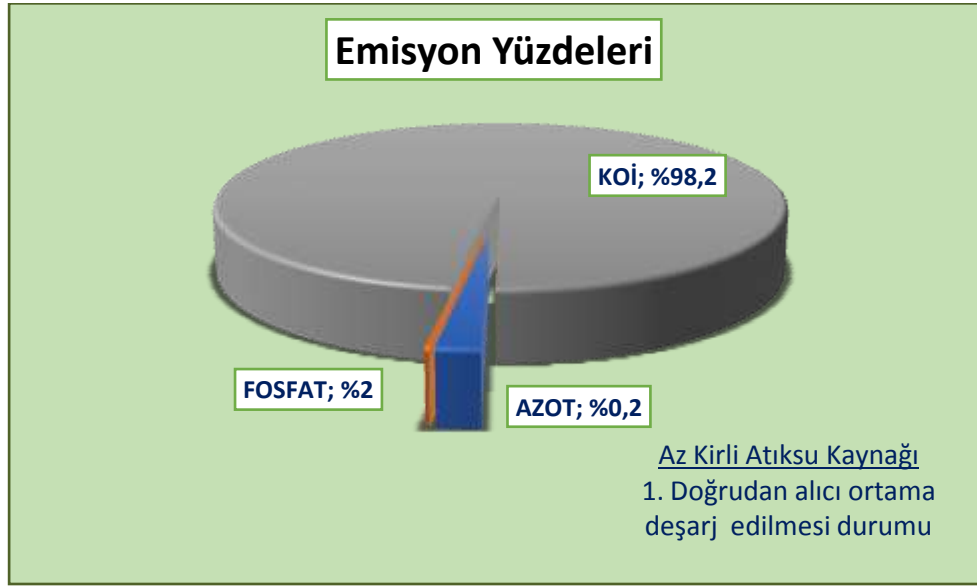
Yapılan hesaplamalar sonucunda, endüstriye özgü arıtma teknolojilerinin seçilmiş olmasına karşın nihai hedefe göre artan yatırım maliyerleri ve arıtılabilirlik

veriminin düşmesi nedeniyle elde edilen karda düşüş meydana geldiği gözlemlenmiştir. Aynı nihai hedef söz konusu olduğunda, kullanılan benzer teknolojilere karşın elde edilen kar değerinin çok kirli atıksularda düşük olduğu sonucuna varılmıştır. Bunun sebebi kirli karakterizasyona sahip süt endüstrisi atıksu debisinin daha düşük olmasından kaynaklandığı görülmüştür. Atıksuyun kirlilik derecesi arttıkça arıtılabilirliği zorlaşmış ve buna bağlı olarak arıtılabilirlik maliyeti artmıştır. Az kirli atıksu kaynağı olarak seçilen otomotiv endüstrisi atıksuyu debisi, süt endüstrisi atıksu debisinin yaklaşık 2.8 kat fazla olması elde edilen kar oranının yüksek oluşunda etkili olduğu görülmüştür. Atıksu kapasitesinin yalnızca, yatırım maliyetini etkilediği görülmüştür. Yapılan çalışmalar sonucunda, süt endüstrisi atıksularının sulama amaçlı yeniden kullanımı söz konusu olduğunda, muhteva ettiği doğal fosfor ve azot konsantrasyonları nedeniyle tarımsal amaçlı sulamada yeniden kullanıma daha uygun olacağı sonucuna ulaşılmıştır. Bunun yanı sıra, otomotiv endüstrisi atıksularının yeniden kullanımı söz konusu olduğunda ise, bahçe sulamada yeniden kullanım ile proses amaçlı yeniden kullanıma daha elverişli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ekonomik açıdan her iki endüstriyel atıksu kıyaslandığında ise, maliyetlerin yüksek çıkmasının sebebi tamamiyle debi kaynaklı olarak değerlendirilmiştir.

## 5.5. Çevresel Kriter Analizi

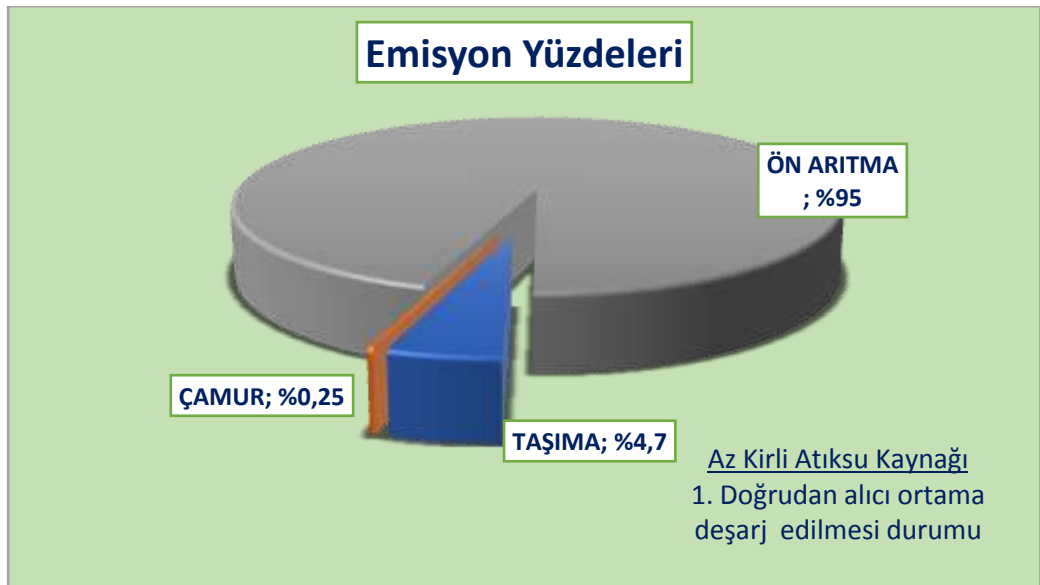
Çalışmanın sonucunda, tüm arıtma senaryoları için belirlenen ekonomik ve çevresel kriterler toplu olarak analiz edilmiş ve belirlenen akım şemaları için tek bir değerlendirme yapılmıştır. Atıksuyun geri kazanımı sonrası sulama amaçlı yeniden kullanılması hedefinde ortaya çıkan sonuçlar çevresel, ekonomik ve sosyoekonomik boyutta listelenmiştir. Ayrıca, çalışma sonucu LCA çerçevesinde de incelenerek elde edilen sonuçlar listelenmiştir.

Çalışmada elde edilen sonuçlar, küresel ısınmaya olan etkileri baz alınarak çevresel ölçekte incelenmiştir. Bu bağlamda, otomotiv endüstrisi atıksularının arıtımı ve geri kazanımı sırasında belirlenmiş olan akım şemalarına ait çevresel değerlendirmeler, havaya, toprağa ve toprağa etki edecek olan emisyon değerleri ile küresel ısınmaya etkileri noktasında değerlendirilerek Şekil 5.10 ve Şekil 5.11'de etki değerleri gösterilmiştir.



Şekil 5.10: Doğrudan suya etki eden emisyon yüzdeleri.

Şekil 5.11 incelendiğinde, toprağa yayılan emisyonların, çamur taşımacılığı, ön arıtma sırasında oluşan katı atıklar ve çamur üretiminden kaynaklı olarak oluştuğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 5.11: Doğrudan toprağa etki eden emisyon yüzdeleri.

Çevresel etki değerlendirmesi kapsamında, yazılım tarafından hesaplanarak sunulan tüm veriler Tablo 5.24'de ayrıca detaylı olarak gösterilmektedir.

Tablo 5.24: Otomotiv endüstrisi atıksularının son kullanım hedefleri doğrultusunda küresel ısınmaya olan etkilerinin değerlendirilmesi.

| Doğaya Salınan Karbon Emisyonu Kaynakları | Birim                                  | Doğrudan Deşarj | Sulama | Proseste Kullanım |
|-------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------|--------|-------------------|
|                                           |                                        | Değer           | Değer  | Değer             |
| -Enerji Kullanımları                      | Kg CO <sub>2</sub> - eq/kwh            | 6,27            | 6,27   | 6,27              |
| -Kimyasal Tüketimler                      | Kg CO <sub>2</sub> - eq/m <sup>3</sup> | 0,001           | 0,001  | 0,00095           |
| -Doğrudan Su ile Taşınan Emisyonlar       | Kg CO <sub>2</sub> - eq/m <sup>3</sup> | 0               | 0      | 0                 |
| -Doğrudan Çamur ile Taşınan Emisyonlar    | Kg CO <sub>2</sub> - eq/m <sup>3</sup> | 0,008           | 0,0009 | 0,0004            |
| -Doğrudan Hava ile Taşınan Emisyonlar     | Kg CO <sub>2</sub> - eq/m <sup>3</sup> | 12,12           | 12,12  | 5,64              |

Az kirli karakterizasyona sahip otomotiv endüstrisi atıksularının arıtılması ve gerikazanımı için belirlenmiş olan üç farklı son kullanım hedefi için belirlenmiş olan çevresel analizler Tablo 5.23'de gösterilmiştir. İncelemelerde, tesislerin işletilmesi sırasında ortaya çıkacak karbon emisyonları dikkate alınmıştır. Her üç son kullanım hedefi için de karbon salınımlarının neredeyse aynı değerlerde seyretmiş olduğu görülmüştür. En büyük farkın ise, proseste yeniden kullanım son hedefi söz konusu olduğunda, havaya salınan karbon emisyonunda olduğu görülmüştür. Bu değer, doğrudan deşarj ve sulama amaçlı yeniden kullanım söz konusu olduğunda 12.12 olduğu görülüyorken, proseste yeniden kullanım söz konusu olduğunda 5.64 değerine indirgendiği görülmüştür. Bu değer 1 m<sup>3</sup> atıksu arıtımı sırasında oluşan kg CO<sub>2</sub> eşdeğeri olduğu kabulü ile;

Tablo 5.25: CO<sub>2</sub> emisyon hesaplamaları.

$$15,15 - 5,64 = 6,48 \text{ Kg CO}_2/\text{m}^3$$

$$4000 \text{ m}^3/\text{gün} \times 0,70 \times 365 \text{ gün/yıl} \times 6,48 \text{ Kg CO}_2/\text{m}^3 = 6.622.560 \text{ kg CO}_2/\text{yıl}$$

Yaklaşık 6,7 ton CO<sub>2</sub>/yıl eşdeğeri bir emisyon azaltımı sağlandığı görülmektedir.

Tablo 5.26: Süt endüstrisi atıksularının son kullanım hedefleri doğrultusunda küresel ısınmaya olan etkilerinin değerlendirilmesi.

| Doğaya Salınan Karbon Emisyonu Kaynakları | Birim                                  | Doğrudan Deşarj | Sulama | Proseste Kullanım |
|-------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------|--------|-------------------|
|                                           |                                        | Değer           | Değer  | Değer             |
| -Enerji Kullanımları                      | Kg CO <sub>2</sub> - eq/kwh            | 6,27            | 6,27   | 6,27              |
| -Kimyasal Tüketimler                      | Kg CO <sub>2</sub> - eq/m <sup>3</sup> | 0,001           | 0,001  | 0,000813          |
| -Doğrudan Su ile Taşınan Emisyonlar       | Kg CO <sub>2</sub> - eq/m <sup>3</sup> | 0               | 0      | 0                 |
| -Doğrudan Çamur ile Taşınan Emisyonlar    | Kg CO <sub>2</sub> - eq/m <sup>3</sup> | 0,003           | 0,004  | 0,005             |
| -Doğrudan Hava ile Taşınan Emisyonlar     | Kg CO <sub>2</sub> - eq/m <sup>3</sup> | 25,05           | 25,05  | 26,9              |

Çok kirli karakterizasyona sahip süt endüstrisi atıksularının arıtılması ve gerikazanımı için belirlenmiş olan üç farklı son kullanım hedefi için belirlenmiş olan çevresel analizler Tablo 5.26'da gösterilmiştir.

İncelemelerde, tesislerin işletilmesi sırasında ortaya çıkacak karbon emisyonları dikkate alınmıştır. Her üç son kullanım hedefi için de karbon salınımlarının neredeyse aynı değerlerde seyretmiş olduğu görülmüştür. En büyük farkın ise, proseste yeniden kullanım son hedefi söz konusu olduğunda, havaya salınan karbon emisyonunda olduğu görülmüştür. Bu değer, doğrudan deşarj ve sulama amaçlı yeniden kullanım söz konusu olduğunda 25,05 olduğu görülüyorken, proseste yeniden kullanım söz konusu olduğunda 26,9 değerine ulaştığı görülmüştür. Bu değer, 1 m<sup>3</sup> atıksu arıtımı sırasında oluşan kg CO<sub>2</sub> eşdeğeri olduğu kabulü ile;

Tablo 5.27: Proseste yeniden kullanım son hedefi için oluşan CO<sub>2</sub> emisyon hesaplamaları.

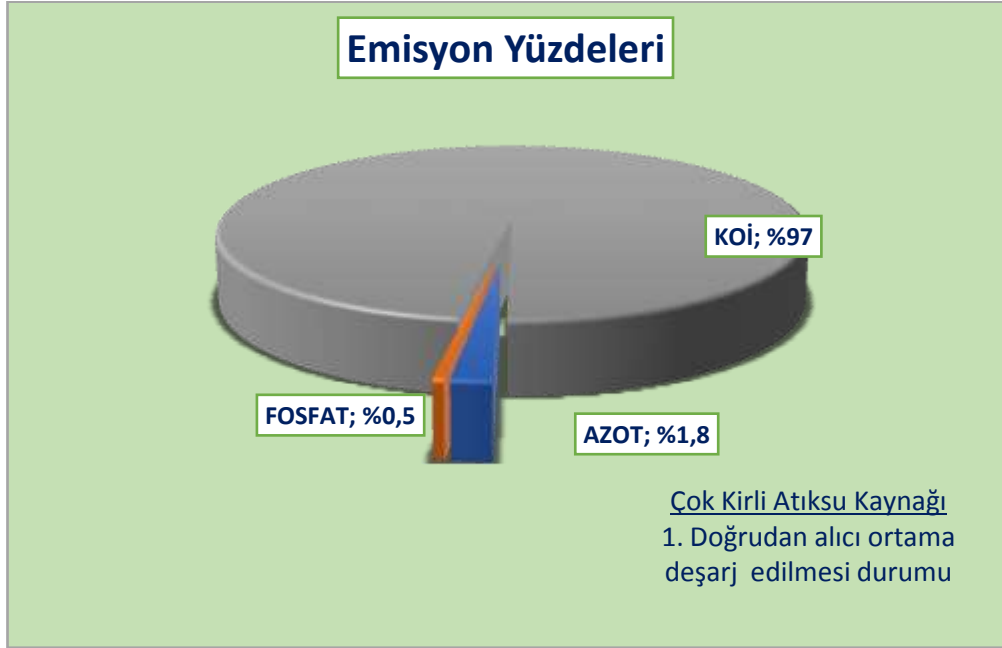
$$26.9 - 25.05 = 1.85 \text{ Kg } CO_2/m^3$$

$$1450 \text{ m}^3/\text{gün} \times 0.70 \times 365 \text{ gün/yıl} \times 1.85 \text{ Kg } CO_2/m^3 = 685.378,75 \text{ kg } \frac{CO_2}{\text{yıl}}$$

Artan Yaklaşık 1 ton CO<sub>2</sub>/yıl eşdeğeri bir emisyon artışı meydana geldiği görülmektedir.

Her iki endüstriye ait emisyon değerleri incelendiğinde, az kirli atıksuların arıtımı sırasında oluşan karbon emisyonlarının kirli karakterizasyondaki endüstriyel atıksulara kıyasla daha az meydana geldiği görülmüştür. Kirli karakterizasyondaki atıksuların organik kirlilik yüklerinin fazla olması nedeniyle, işlenmesi, arıtılması

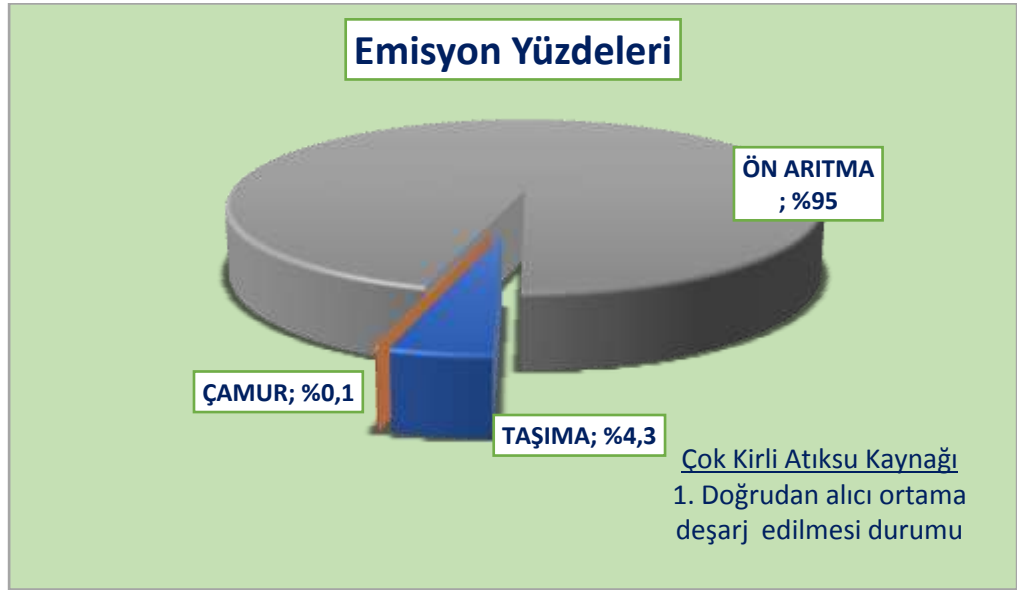
sırasında ortaya çıkan emisyon yüzdelerinde de artışın fazla olduğu görülmüştür. Her iki endüstriyel atıksu kaynağı için de aynı kullanım son hedefleri göz önünde buundurulduğunda, az kirli atıksuların arıtılması ve geri kazanılması süreçlerinin yalnızca ekonomik olarak değil aynı zamanda çevresel olarak da, yeniden kullanım ve geri kazanım için daha elverişli olduğu görülmektedir. Şekil 5.12'de doğrudan suya etki eden emisyon yüzdeleri gösterilmiştir.



Şekil 5.12: Doğrudan suya etki eden emisyon yüzdeleri.

Atıksu kaynağının içerdiği organik kirlilik yüküne karşın, en büyük kirlilik giderimi karbon kaynaklı (C) olarak yapılmıştır. Emisyon değerleri incelendiğinde de, suya doğrudan etki eden en büyük emisyon yayılımının KOİ gideriminden ileri geldiği görülmektedir.

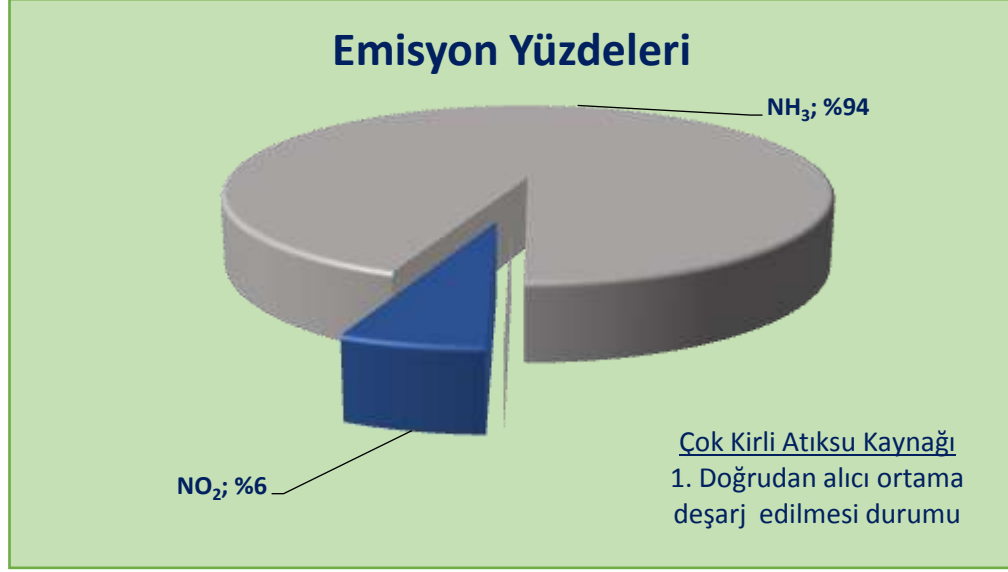
Şekil 5.13'de çok kirli atıksu kaynağının arıtılması sonucunda toprağa doğrudan etki eden emisyon değerleri gösterilmiştir.



Şekil 5.13: Doğrudan toprağa etki eden emisyon yüzdeleri.

Şekil 5.13 incelendiğinde, toprağa karışan emisyonun çamur proseslerinden kaynaklandığı görülmüştür. Yüzdesel olarak grafik incelendiğinde, en büyük emisyon kaynağının ön arıtım sonucu oluşan atıklardan kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca tesisler tarafından üretilen atık çamurun taşınması sırasında da toprağa doğrudan emisyon yayıldığı görülmektedir.

Şekil 5.14'de çok kirli atıksu kaynağının arıtılması sonucunda havaya doğrudan etki eden emisyon değerleri gösterilmiştir.



Şekil 5.14: Doğrudan havaya etki eden emisyon yüzdeleri.

Şekil 5.14'de gösterilmiş olan emisyonların tamamı çamur arıtımı sonucunda oluşan gazlardan ileri gelmektedir. Bu gazların sırasıyla %6 oranında Azotdioksit (NO<sub>2</sub>) ve %94 oranında Amonyak (NH<sub>3</sub>) olarak havaya karıştığı görülmüştür. Diğer ekonomik ve çevresel incelemeler, bu bölüm içerisinde yer alan diğer tablolarda detaylı şekilde gösterilmektedir.

Yazılımın sunmuş olduğu veriler sonucunda, atıksuyun arıtılması için gerekli işletim ve bakım maliyetlerinin yıllık 0,44 M€ olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda 1 m<sup>3</sup> arıtılmış atıksuyun satış bedeli 1 € olarak belirlenmiştir. Tabloda bu değer, atıksuyun tamamının arıtıldıktan sonra sulama amaçlı olarak yeniden kullanılacağı kabulüyle 2800 € olarak yansıtılmıştır. Yazılıma ait tablolastırılmış olan verilerin bulunduğu ekran resimleri de çalışma sonucunda yer alan eklerde bulunmaktadır. Tabloda aynı zamanda, giderilen birim kirletici başına, atmosfere, suya ve toprağa yayılan emisyon değerleri de yaklaşık olarak listelenmiştir. Novedar EDSS yazılımı tarafından oluşturulan proses girdi çıktıları ve oluşturulan maliyet analizi sonucunda, çevresel nitelikli değerlendirmelerin de dahil olarak derecelendirildiği puanlama skalasında bu proses için verilmiş olan puan değer, 7,1 olup çalışmanın eklerinde yazılım ekran görüntüsü olarak da ayrıca sunulmuştur.

Yapılan değerlendirmeler sonucunda, daha kirli karakterizasyonsa sahip olan süt endüstrisi atıksularının arıtılması aşamasında, geri kazanım ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olmasına karşın elde edilen tasarruf oldukça belirgin olmuştur. Fakat, otomotiv endüstrisi atıksuları için n görülen projeksiyondaki işletme ve bakım maliyetleri ile kıyaslandığında, süt endüstrisi atıksularının işletme ve bakım maliyetlerinin daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin ise, orta kirlililiğe sahip atıksuların arıtılabilirlik kabiliyetlerinin aslında kirli sulara nazaran daha düşük olması olarak düşünülmektedir. Özellikle de üçüncül arıtma basamakları öncesinde kullanılan arıtma basamaklarında, daha kirli sularda kirlilik gideriminin daha iyi yapılabildiği söylenebilmektedir. Bunun yanı sıra, proses akım şeması aynı zamanda LCA bazında da değerlendirilmiştir. Senaryonun oluşturulmasında, tesis projeksiyonu operasyon karakteristiğine göre de değerlendirilmiş ve program tarafından, basitlik, işletim kolaylığı ve güvenilirlik gibi bir çok faktörde değerlendirilmiştir. Tüm proses basamaklarının belirlenmesi aşamasında elde edilen görseller çalışma eki olarak eklenmiştir.

## 6. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Atıksuların arıtılması, geri kazanımı ve yeniden kullanımı ile ilgili yürütülen çalışmalarda, gerçek ölçekli olmak üzere iki farklı endüstriyel atıksu karakterizasyonu ele alınmıştır. Bu endüstriyel atıksulardan bir tanesi az kirli karakterizasyonda olmasına karşın, diğer atıksu kaynağı çok kirli karakterizasyona sahiptir. Çalışmanın amacı olan, atıksu geri kazanımının çevresel ve ekonomik analizi kapsamında üç farklı son kullanım hedefi için ekonomik ve çevresel analizler, kriterli analiz yöntemi altyapısı sunan Novedar EDSS yazılımı kullanılarak elde edilmiştir. Üç farklı belirlenmiş son kullanım hedefi kapsamında, doğrudan alıcı ortama kullanım, sulama amaçlı yeniden kullanım ve %70 geri kazanım sonrası yeniden kullanım senaryolarına ait sonuçlar incelenmiştir. Her iki endüstriyel atıksuyun son hedeflere yönelik incelemelerinde, proses akım şemaları endüstriye uygun olarak seçilmiştir. Yeniden kullanım aşamalarında, iki farklı atıksu karakterizasyonun izin verdiği müddetçe aynı paralellikteki arıtma teknolojileri seçilmeye çalışılmıştır. Buradaki amaç, benzer teknolojilerin kullanıldığı durumlarda, kirletici giderim verimlerinin ve maliyet çıktılarının kıyaslanabilmesi olmuştur. Her bir endüstriyel atıksu için, arıtma basamaklarında kullanılan teknolojilerin belirlenmesi aşamasında yazılımın sunmuş olduğu birden fazla alternatif arasından seçim yapılmıştır. Alternatifler birbirleri arasında değerlendirilirken, giderim verimleri, işletim ve bakım maliyetleri, ilk yatırım maliyetleri ve işletim kolaylıkları temel belirleyici kriterler olarak seçilmiştir. Yazılım programı içerisinde en ilkel arıtma yönteminden, günümüz çağına en yakın alternatifler arasındaki geniş bir yelpazeden seçimler detaylı incelemeler sonucu oluşturulmuştur. Bu yüzden proses teknolojilerinin belirlenmesi aşamasında, hem yenilikçi hem de ekonomik ölçüde daha uygun teknolojilerin seçilmesi hedeflenmiştir. Her bir proses basamağına ait akım şemasının belirlendiği yazılımda kullanılan ekran sayfaları çalışma ekinde gösterilmiştir. Kıyaslama aşamasında Novedar EDSS yazılımının sunmuş olduğu veri analizleri incelenerek yorumlanmış tablolaştırılarak her bir endüstri için hem kendi içerisinde hem de birbirleri arasında kıyaslama yapılmıştır. Tüm kullanım hedefleri için, yalnızca ekonomik boyut analizi yapılmamış olup aynı zamanda benzer süreçlerin işletilebilirliği söz konusu olduğunda kısa ve uzun vadedeki çevresel etkileri de gösterilmiştir. Programın

Çalışma prensibi gereği, içerikler dosya olarak kaydedilemediği için her bir çalışma sayfasına ait ekran görüntüsü çalışma ekine ilave edilmiştir. Her iki endüstriyel atıksu karakterizasyonlarına ait proses akım şemalarının belirlenmesi aşamasında, tesis ömrü 30 yıl olarak belirlenmiştir. Dolar bazlı kredi oranları %4 olarak kabul edilmiştir. Kimyasal tüketimlerin söz konusu olduğu arıtma basamaklarında kullanılan arıtma kimyasalları için piyasa araştırması yapılarak güncel fiyatlar elde edilmiş ve bu değerler maliyet hesaplarında kullanılmıştır. Birim geri kazanılmış atıksuyun satış bedeli de güncel atıksu satış bedeli kabulüyle hesaplanmıştır. Aynı zamanda, ileri arıtma teknolojilerinin verimli çalışabilme, işletmesel faydaları da göz önünde bulundurularak tesis ömürlerinin belirlenmesine karar verilmiştir. Atıksu arıtım şemaları belirlendikten sonra, iki farklı geri kazanım ve yeniden kullanım hedefi doğrultusunda ana şema değiştirilmemiş olup ileri arıtma basamağı bu akım şemalarının devamına eklenerek nihai sonuçlar elde edilmiştir. Yasal gereklilikler ile ilgili isi program içerisinde halihazırda yüklü bulunan sınır değerler kabul edilmiştir. Bu sınır değerlere, program içeriğinde kullanıcı tarafından müdahale edilememektedir. Yazılım tarafından sunulmuş olan sınır değerler avrupa standartlarına göre belirlenmiş, dünyada kabul görmüş olan sınır değerlerdir. Maliyetlendirme aşamasında, yazılım içerisine tanımlanması gereken para birimi yalnızca Euro olarak tanımlanabilmektedir. Bu nedenle maliyetlendirme aşamasında kullanılan Türkiye'deki birim maliyet değerlerinin Euro karşılıkları yazılım programı içerisine tanımlanmıştır. Birim sarfiyatların belirlenmesinde, enerji birim fiyatı 0.5 €/kWh, geri kazanılmış atıksuyun birim satış bedeli 1.0 €/m<sup>3</sup>, polielektrolit birim fiyatı 2.55 €/kg, diğer rekatant tüketimleri için birim fiyat da 4.37 €/kg olarak kabul edilmiştir.

Yapılan çalışmalarda, teknoloji seçimlerine göre ilk yatırım maliyetleri, işletme ve bakım maliyetleri ile, alan ihtiyacının değişiklik gösterdiği grlmştir. Belirlenen teknoloji ve arıtılmak istenilen suyun debisi arttıkça ve daha hassas kullanımlar söz konusu olduğunda (park ve bahçe sulama, tarımsal amaçlı sulamada yeniden kullanım vb.) ise, suyun içerisinde hastalık yapıcı özellikteki mikroorganizma muhtevası önem kazandığı ve giderilmesi zorunlu parametre haline geldiğinden program tarafından sunulan teknoloji seçeneklerinin de buna göre çeşitlendirildiği gözlemlenmiştir. İlk yatırım maliyetlerinin yüksek olmasına karşın, uygulanan teknolojiler sayesinde geri kazanılan atıksuyun yanında aynı zamanda biyogaz üretimi de arıtma senaryosu içerisinde geliştirilmiş olup her bir tesis için

sulama amaçlı yeniden kullanım ve %70 geri kazanım söz konusu olduğunda sırasıyla otomotiv endüstrisi için 1188.8 €/gün ve 2158.7 €/gün, süt endüstrisi için ise 2932.4 €/gün ve 3380 €/gün olarak hesaplanmıştır. Süt endüstrisine ait atıksuların arıtım projeksiyonlarında, su karakterizasyonunun organik maddece daha zengin olmasından kaynaklı olarak, enerji eldelerinin daha yüksek değerlerde olduğu gözlemlenmiştir. Çalışmada kullanılan atıksu debilerinin ve kirlilik düzeylerinin eşdeğer olmaması sebebiyle, ilk yerleşim birim maliyetlerinin sulama amaçlı yeniden kullanım ve %70 geri kazanım sonrası yeniden kullanım için sırasıyla 2.5 m€ ve 2.46 m€, süt endüstrisi için 4.18 m€ ve 4.9 m€ olduğu görülmüştür. Ancak, artan geri kazanım yüzdesine bağlı olarak ilk yatırım maliyetinde de artış yaşandığı gözlemlenmiştir. LCA verileri kapsamında, hem küresel ısınma açısından alternatif teknolojiler kullanılarak ön görülen geri kazanım proseslerinde bir çok fayda sağlandığı gözlemlenmiştir. Çalışmanın temel amacı olan, atıksuyun geri kazanılarak yeniden kullanımı kapsamında ise, her iki atıksu için sırasıyla sulama amaçlı yeniden kullanım ve %70 geri kazanım sonrası yeniden kullanım söz konusu olduğunda, yıllık olarak değerlendirildiğinde suyun birim fiyatında otomotiv endüstrisi atık suları için (orta kirli) 0.63€/m<sup>3</sup> süt endüstrisi atık suları için (çok kirli) 0.9 €/m<sup>3</sup> gibi bir kara geçilebildiği gözlemlenmiştir. Bu değerlerin, sadece 1 metreküp atıksu için yıllık ortalama değer olduğu varsayıldığında, kümülatif olarak düşünüldüğünde aslında değer ne kadar büyük olduğu da ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmada, su tüketimi açısından orta ölçekli iki farklı endüstriye ait atıksular için değerlendirme yapılmıştır. Büyük kapasiteli üretim yapan ve buna bağlı olarak da su tüketimleri oldukça fazla olan endüstriler için yapılacak olan çalışmalarda, bu değerlerin kat ve kat fazlasının ortaya çıkacağı kaçınılmaz bir gerçektir. Bu nedenle hem su kaynaklarının sonraki nesillere aktarılabilmesi, hem de gelecekte yaşanılabilmesi kuvvetle muhtemel olan su kıtlığının önüne geçilebilmesi için atık niteliği taşıyan suların geri kazanılması alanında yapılacak olan projeler geliştirilerek yaygınlaştırılmalı ve yeniden kullanım yoluna mutlaka gidilmelidir. Yapılmış olan bu çalışmanın gelecekte yapılacak ve geliştirilecek olan projelere zemin oluşturacak nitelikte bir örnek teşkil etmesi beklenmektedir.

## KAYNAKLAR

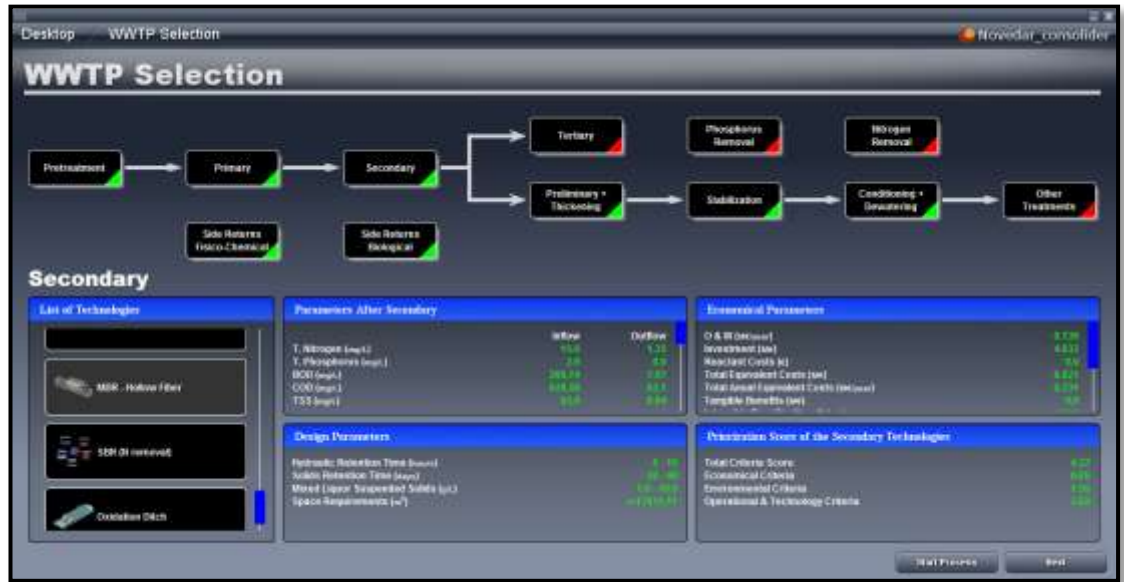
- [1] Sancho F., Diallo B., Sagasta J., Qadir M., (2015), "Economic Valuation Of Wastewater The Cost Of Action And The Cost Of No Action", United Nations Environment Programme, 43-47.
- [2] Büyükkamacı, N., 2009, "Su Yönetiminin Etkin Bileşeni:Yeniden Kullanım", İzmir Kent Sorunları Sempozyumu, İzmir, 363–77, 8-10.
- [3] Çevre ve Orman Bakanlığı, 2010 "Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği" , Vol. 27527, Resmi Gazete, Ankara.
- [4] Web 1, (2015), <https://www.iitm.ac.in/>, (Erişim Tarihi: 12/08/2019).
- [5] Al-Rekabi W.S., Qiang H., Qiang W. W., (2007), "Improvements in wastewater treartment technology", Pakistan Journal of Nutriation, 6(2), 104- 110.
- [6] Ivy B. Huang., Jeffrey K., Igor L., (2011), "Multi-Criteria decision analysis in environmental sciences: ten years of applicaions and trends", Journal of Occupational & Environmental Medicine, 272(822).
- [7] Web 2, (2012), <http://www.novedar.com/en/6default.asp>, (Erişim Tarihi: 15/05/2019).
- [8] Barbara K., Andreja H., Lidija T., (2019), "The application of multi-criteria analysis methods fort he determination of priorities in the implementation of irrigation plans", 11(501), 7-17.
- [9] Luis D., Sandra S., Luis A., (2010), "Multi – criteria environmental performance assesment with an additive model", Water, 4-14.
- [10] Manel P., Joaquim C.,\* Ulises C., Miquel S., Ignasi R., (2017), "Crossing the death valley to transfer environmental decision support systems to the water market", Global Challenges, 1(3), 1-10.
- [11] Andrea M., Pasquale T., Bert F., Ines O., Sigrid S., (2000), "Criteria for quality assessment of MCDA methods", 3rd Biennial Conference Of The European Society For Ecological Economics, 3(16), 1-31, Vienna, May 3 – 6.
- [12] Department for Communities and Local Government (2009), "Multi-Criteria Analysis: A Manual", 31-76, London.

## ÖZGEÇMİŞ

Nihan KİBAR 1990 yılında İstanbul'da doğdu. 2010 yılında başladığı Selçuk Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünden 2014 yılında mezun olarak aynı yıl Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Aynı zamanda Çevre Mühendisi kimliği ile 2 yıl süreyle özel bir endüstriye ait olan organize sanayi bölgesinde Atıksu Arıtma Tesisleri'nin işletilmesinde görev aldı. Buradan ayrıldıktan sonra ise, kariyerine Su / Atıksu Arıtma Tesisleri Projelendirme ve Proses Dizayn Mühendisi olarak devam etti. 2014 yılında başlamış olduğu mesleki kariyerine şu an da, Proje Geliştirme Mühendisi olarak özel bir kuruluştaki devam etmektedir.

# EKLER

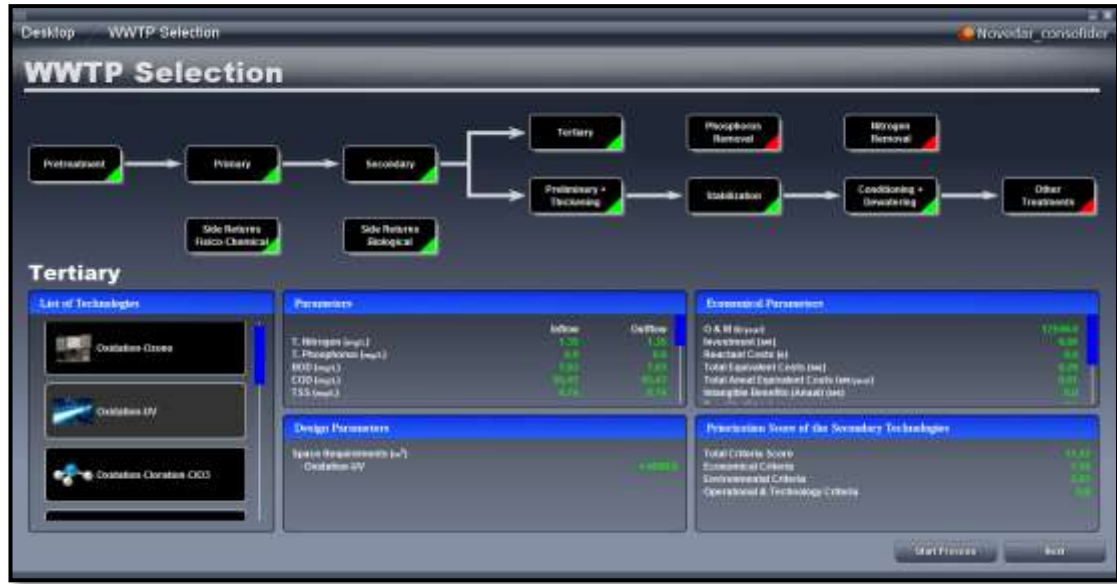
## Ek A: Tez Çalışması Kapsamında Yapılan Çalışmalara Ait Görseller



Şekil A1.1: Otomotiv Endüstrisi Doğrudan Alıcı Ortama Deşarj Seçeneği Arıtma Verimi Sonuçları.



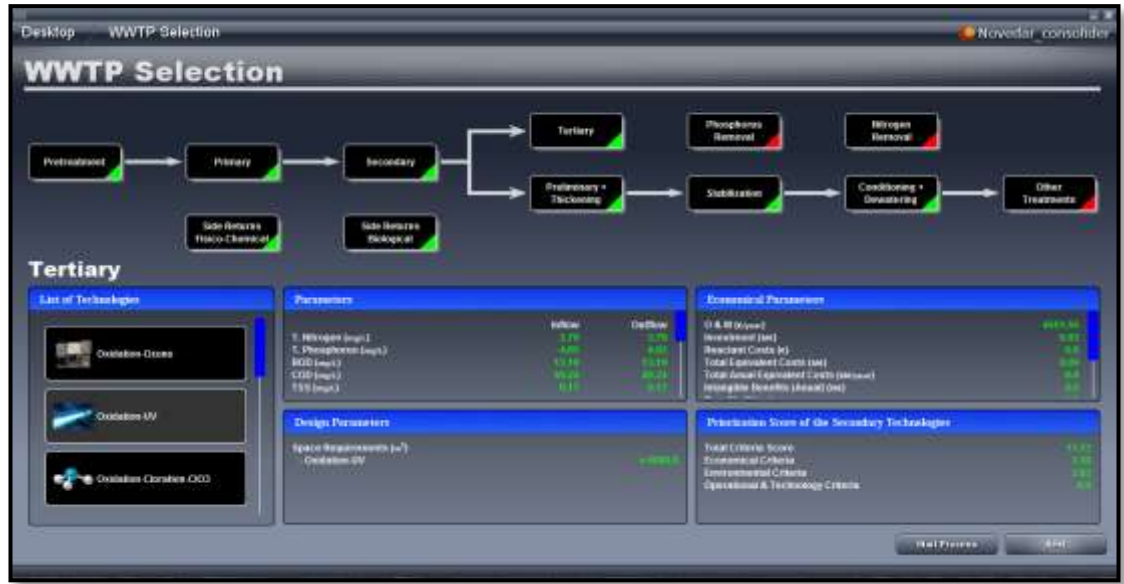
Şekil A1.2: Süt Endüstrisi Doğrudan Alıcı Ortama Deşarj Seçeneği Arıtma Verimi Sonuçları.



Şekil A1.3: Otomotiv Endüstrisi Sulama Amaçlı Yeniden Kullanım Son Hedefli Atıksu Arıtım Verimleri.



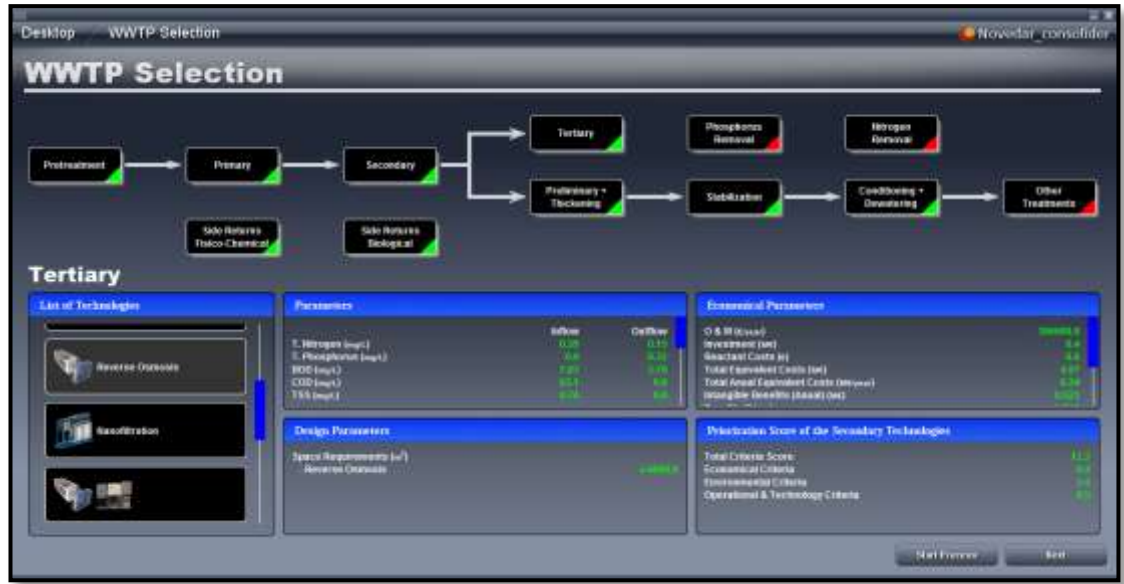
Şekil A1.4: Otomotiv Endüstrisi Sulama Amaçlı Yeniden Kullanım Son Hedefli Atıksu Arıtım Verimi Sonuçları.



Şekil A1.5: Süt Endüstrisi Sulama Amaçlı Yeniden Kullanım Son Hedefli Atıksu Arıtım Verimi Sonuçları.



Şekil A1.6: Süt Endüstrisi Sulama Amaçlı Yeniden Kullanım Son Hedefli Atıksu Arıtım Verimi Sonuçları.



Şekil A1.7: Otomotiv Endüstrisi Proses Amaçlı Yeniden Kullanım Son Hedefli Atıksu Arıtım Verimi Sonuçları.



Şekil A1.8: Otomotiv Endüstrisi Sulama Amaçlı Yeniden Kullanım Son Hedefli Atıksu Arıtım Verimi Sonuçları.

