

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**ARITILABİLİRLİK VE ÇEVRESEL ETKİLERİN BÜTÜNLEŞİK  
DEĞERLENDİRMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Kübra DOĞAN**

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı**

**ŞUBAT 2022**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**ARITILABİLİRLİK VE ÇEVRESEL ETKİLERİN BÜTÜNLEŞİK  
DEĞERLENDİRMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Kübra DOĞAN  
(501191717)**

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Fatoş GERMİRLİ BABUNA  
Eş Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Burçin ATILGAN TÜRKMEN**

**ŞUBAT 2022**



İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501191717 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Kübra DOĞAN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "ARITILABİLİRLİK VE ÇEVRESEL ETKİLERİN BÜTÜNLEŞİK DEĞERLENDİRMESİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :** **Prof. Dr. Fatoş GERMİRLİ BABUNA**  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Eş Danışman :** **Dr. Öğr. Üyesi Burçin ATILGAN TÜRKMEN**  
Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :** **Prof. Dr. İdil ARSLAN ALATON**  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Prof. Dr. İlda VERGİLİ**  
İstanbul Üniversitesi

**Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin GÜVEN**  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Teslim Tarihi : 20 Mart 2022**  
**Savunma Tarihi : 19 Şubat 2022**



## ÖNSÖZ

Yüksek lisans ve tez çalışmalarım süresi boyunca bilimsel desteği ile birlikte gösterdiği değerli rehberliği ve katkıları için saygıdeğer danışmanım Prof. Dr. Fatoş GERMİRLİ BABUNA'ya yürekten teşekkür ediyorum.

Tezimde kullandığım program ile ilgili bilgi ve tecrübesiyle sağladığı her türlü desteğin yanı sıra çözüm odaklı, pozitif tutumu için değerli eş danışmanım Dr. Öğretim Üyesi Burçin ATILGAN TÜRKMEN'e teşekkür ederim.

Ayrıca yüksek lisans tez çalışmamda kullandığım deneysel verileri benimle paylaştığı, bilgi ve tecrübesiyle tezimde yol gösterdiği ve her türlü desteği için saygıdeğer hocam Prof. Dr. İdil ARSLAN ALATON'a teşekkür ederim.

Manevi desteği için başta annem olmak üzere aileme ve bu çalışmanın hazırlanmasında desteği olan herkese teşekkürlerimi sunarım.

Mart 2022

Kübra DOĞAN  
(Çevre Mühendisi)



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

|                                                                             |             |
|-----------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>KISALTMALAR .....</b>                                                    | <b>ix</b>   |
| <b>ÇİZELGE LİSTESİ.....</b>                                                 | <b>xi</b>   |
| <b>ŞEKİL LİSTESİ.....</b>                                                   | <b>xiii</b> |
| <b>ÖZET.....</b>                                                            | <b>xv</b>   |
| <b>SUMMARY .....</b>                                                        | <b>xix</b>  |
| <b>1. GİRİŞ .....</b>                                                       | <b>1</b>    |
| 1.1 Çalışmanın Önemi.....                                                   | 1           |
| 1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı .....                                       | 2           |
| <b>2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....</b>                                       | <b>5</b>    |
| 2.1 Kirlenici Maddeler .....                                                | 5           |
| 2.1.1 Bisfenol-A (BPA) .....                                                | 5           |
| 2.1.2 Reaktif Siyah 5 (RB5).....                                            | 8           |
| 2.1.3 Reaktif Kırmızı 21 (RR21) .....                                       | 10          |
| 2.1.3 İprodion.....                                                         | 12          |
| 2.2 İleri Oksidasyon Prosesleri (İOP) .....                                 | 14          |
| 2.3 Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi.....                                      | 17          |
| 2.4 Su ve Atıksu Arıtımında Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Çalışmaları ..... | 20          |
| <b>3. MATERYAL VE METOT .....</b>                                           | <b>25</b>   |
| 3.1 Musluk Suyundan BPA Giderimi .....                                      | 25          |
| 3.1.1 Deney Sistemleri .....                                                | 26          |
| 3.1.2 Musluk Suyundan BPA Giderimi YDD Çalışması.....                       | 26          |
| 3.1.2.1 Amaç ve Kapsam .....                                                | 26          |
| 3.1.2.2 Fonksiyonel Birim.....                                              | 27          |
| 3.1.2.3 Sistem Sınırları.....                                               | 27          |
| 3.1.2.4 Envanter Analizi.....                                               | 30          |
| 3.2 Ayrık Tekstil Atıksuyundan RB5 Giderimi .....                           | 31          |
| 3.2.1 Deney Sistemleri .....                                                | 32          |
| 3.2.2 Ayrık Tekstil Atıksuyundan RB5 Giderimi YDD Çalışması.....            | 33          |
| 3.2.2.1 Amaç ve Kapsam .....                                                | 33          |
| 3.2.2.2 Fonksiyonel Birim.....                                              | 34          |
| 3.2.2.3 Sistem Sınırları.....                                               | 34          |
| 3.2.2.4 Envanter Analizi.....                                               | 36          |
| 3.3 Ayrık Tekstil Atıksuyundan RR21 Giderimi .....                          | 38          |

|                                                                         |            |
|-------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.3.1 Deney Sistemleri .....                                            | 39         |
| 3.3.2 Ayrık Tekstil Atıksuyundan RR21 Giderimi YDD Çalışması.....       | 39         |
| 3.3.2.1 Amaç ve Kapsam .....                                            | 39         |
| 3.3.2.2 Fonksiyonel Birim.....                                          | 40         |
| 3.3.2.3 Sistem Sınırları.....                                           | 40         |
| 3.3.2.4 Envanter Analizi.....                                           | 42         |
| 3.4 Sudan İprodion Giderimi .....                                       | 44         |
| 3.4.1 Deney Sistemi .....                                               | 44         |
| 3.4.1.1 UV-C/SPS .....                                                  | 44         |
| 3.4.2 Sudan İprodion Giderimi YDD Çalışması .....                       | 45         |
| 3.4.2.1 Amaç ve Kapsam .....                                            | 45         |
| 3.4.2.2 Fonksiyonel Birim.....                                          | 45         |
| 3.4.2.3 Sistem Sınırları.....                                           | 45         |
| 3.4.2.4 Envanter Analizi.....                                           | 46         |
| <b>4. MODELLEME BULGULARI VE DEĞERLENDİRME .....</b>                    | <b>49</b>  |
| 4.1 Musluk Suyundan BPA Giderimi için Çevresel Etkiler.....             | 49         |
| 4.2 Ayrık Tekstil Atıksuyundan RB5 Giderimi için Çevresel Etkiler.....  | 65         |
| 4.3 Ayrık Tekstil Atıksuyundan RR21 Giderimi için Çevresel Etkiler..... | 79         |
| 4.4 Sudan İprodion Giderimi için Çevresel Etkiler .....                 | 91         |
| <b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>                                        | <b>101</b> |
| <b>KAYNAKLAR.....</b>                                                   | <b>109</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>                                                   | <b>117</b> |

## KISALTMALAR

|                    |                                                                          |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| <b>AP</b>          | : Asidifikasyon Potansiyeli                                              |
| <b>ATP element</b> | : Abiyotik Tüketim Potansiyeli-Element                                   |
| <b>ATP-fosil</b>   | : Abiyotik Tüketim Potansiyeli-Fosil                                     |
| <b>BPA</b>         | : Bisfenol A                                                             |
| <b>DSEP</b>        | : Deniz Sularında Ekotoksisite Potansiyeli                               |
| <b>FOOP</b>        | : Fotokimyasal Ozon Oluşumu Potansiyeli                                  |
| <b>GaBi</b>        | : Ganzheitliche Bilanzierung (Bütünsel Dengeleme)                        |
| <b>GLO</b>         | : Global and Represents Activities                                       |
| <b>ISO</b>         | : International Standards Organization (Uluslararası Standartlar Örgütü) |
| <b>İTP</b>         | : İnsana Toksisite Potansiyeli                                           |
| <b>KEP</b>         | : Karasal Ekotoksisite Potansiyeli                                       |
| <b>kg</b>          | : Kilogram                                                               |
| <b>KIP</b>         | : Küresel Isınma Potansiyeli                                             |
| <b>km</b>          | : Kilometre                                                              |
| <b>kWh</b>         | : KiloWatt saat                                                          |
| <b>LCA</b>         | : Life Cycle Assessment                                                  |
| <b>LCI</b>         | : Life Cycle Inventory                                                   |
| <b>OTİP</b>        | : Ozon Tabakası İncelmesi Potansiyeli                                    |
| <b>ÖP</b>          | : Ötrofikasyon Potansiyeli                                               |
| <b>RB5</b>         | : Reactive Black 5(Reaktif Siyah 5)                                      |
| <b>RR21</b>        | : Reactive Red 21(Reaktif Kırmızı 21)                                    |
| <b>RoW</b>         | : Rest-of-the-World                                                      |
| <b>TSEP</b>        | : Tatlı Su Canlılarına Ekotoksisite Potansiyeli                          |
| <b>TÜİK</b>        | : Türkiye İstatistik Kurumu                                              |
| <b>YDD</b>         | : Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi                                          |



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 3. 1: Musluk Suyundan BPA Giderimi Verileri .                                                                                        | 26 |
| Çizelge 3. 2: GaBi Yaşam Döngüsü Modelinde Seçilen Süreçler                                                                                  | 30 |
| Çizelge 3. 3: Musluk suyundan BPA giderimi için taşıma verileri.                                                                             | 31 |
| Çizelge 3. 4: Ayrık tekstil atıksuyundan RB5 giderimi deneyinde kullanılan simüle edilmiş reaktif boyama banyosunun içeriği.                 | 32 |
| Çizelge 3. 5: Ayrık tekstil atıksuyundan RB5 giderimi deneyinin çalışma koşulları.                                                           | 32 |
| Çizelge 3. 6: Ayrık tekstil atıksuyundan RB5 giderimi verileri.                                                                              | 33 |
| Çizelge 3. 7: GaBi Yaşam Döngüsü Modelinde Seçilen Süreçler                                                                                  | 37 |
| Çizelge 3. 8: Ayrık tekstil atıksuyundan RB5 giderimi için taşıma verileri                                                                   | 37 |
| Çizelge 3. 9: Ayrık tekstil atıksuyundan RB5 giderimi deneyinde kullanılan simüle edilmiş reaktif boyama banyosunun içeriği.                 | 38 |
| Çizelge 3. 10: Ayrık tekstil atıksuyundan RR21 giderimi deneyinin çalışma koşulları.                                                         | 38 |
| Çizelge 3. 11: Ayrık Tekstil Atıksuyundan RR21 Giderimi Verileri                                                                             | 39 |
| Çizelge 3. 12: GaBi Yaşam Döngüsü Modelinde Seçilen Süreçler                                                                                 | 43 |
| Çizelge 3. 13: Ayrık tekstil atıksuyundan RR21 giderimi için taşıma verileri.                                                                | 43 |
| Çizelge 3. 14: Sudan İprodion giderimi deneyinin çalışma koşulları.                                                                          | 44 |
| Çizelge 3. 15: Sudan İprodion giderimi verileri.                                                                                             | 44 |
| Çizelge 3. 16: GaBi Yaşam Döngüsü Modelinde Seçilen Süreçler                                                                                 | 47 |
| Çizelge 3. 17: Sudan İprodion giderimi için taşıma verileri                                                                                  | 47 |
| Çizelge 4. 1: Musluk suyundan BPA giderimi için çevresel etkiler ( 1 m <sup>3</sup> arıtılmış musluk suyu başına).                           | 52 |
| Çizelge 4. 2: Musluk suyundan BPA giderimi için BPA 1'e göre oranlanmış çevresel etkilerin yüzdeleri.                                        | 53 |
| Çizelge 4. 3: Musluk suyundan BPA giderimi için farklı faktörlerin toplam çevresel etkilere katkısı.                                         | 58 |
| Çizelge 4. 4: Ayrık tekstil atıksuyundan RB5 giderimi için çevresel etkiler etkiler(1 m <sup>3</sup> arıtılmış ayrık tekstil atıksu başına). | 68 |
| Çizelge 4. 5: Ayrık tekstil atıksuyundan RB5 giderimi için RB5 1'e göre oranlanmış çevresel etkilerin yüzdeleri.                             | 69 |

|                                                                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 4. 6: Musluk suyundan BPA giderimi için farklı faktörlerin toplam çevresel etkilere katkısı. ....                                    | 74 |
| Çizelge 4. 7: Ayırık tekstil atıksuyundan RR21 giderimi için çevresel etkiler(1 m <sup>3</sup> arıtılmış ayırık tekstil atıksu başına). .... | 81 |
| Çizelge 4. 8: Ayırık tekstil atıksuyundan RR21 gideriminin RR21 'ye göre oranlanmış çevre etkileri. ....                                     | 82 |
| Çizelge 4. 9: Ayırık tekstil atıksuyundan RR21 giderimi için farklı faktörlerin toplam çevresel etkilere katkısı. ....                       | 86 |
| Çizelge 4. 10: Sudan İprodion giderimi için çevresel etkiler etkiler(1 m <sup>3</sup> arıtılmış su başına). ....                             | 94 |
| Çizelge 4. 11: Sudan İprodion giderimi için İprodion 1'e göre oranlanmış çevre etkileri.....                                                 | 95 |
| Çizelge 4. 12: Sudan İprodion giderimi için farklı faktörlerin toplam çevresel etkilere katkısı. ....                                        | 98 |

## ŞEKİL LİSTESİ

|                                                                                                                        | <u>Sayfa</u> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Şekil 2. 1: BPA kimyasal yapısı .....                                                                                  | 6            |
| Şekil 2. 2: RB5 kimyasal yapısı .....                                                                                  | 8            |
| Şekil 2. 3: RR21 kimyasal yapısı .....                                                                                 | 10           |
| Şekil 2. 4: İprodion Maddesinin Kimyasal Yapısının Gösterimi.....                                                      | 13           |
| Şekil 2. 5: Beşikten mezara YDD şeması. ....                                                                           | 18           |
| Şekil 2. 6: YDD metodolojisinin adımları . ....                                                                        | 19           |
| Şekil 2. 7: ReCiPe metodolojisine göre oksidan, altyapı ve malzemeler ve elektrik katkısının gösterimi .....           | 24           |
| Şekil 3. 1: UV-C/SPS yöntemiyle musluk suyundan BPA giderimi için YDD Sistem Sınırları.....                            | 28           |
| Şekil 3. 2 UV-C/SPC yöntemiyle musluk suyundan BPA giderimi için YDD Sistem Sınırları.....                             | 29           |
| Şekil 3. 3: UV-C/HP yöntemiyle musluk suyundan BPA giderimi için YDD Sistem Sınırları.....                             | 29           |
| Şekil 3. 4: UV-C/SPS yöntemiyle ayırık tekstil atıksuyundan RB5 giderimi için YDD Sistem Sınırları.....                | 35           |
| Şekil 3. 5: UV-C/SPC yöntemiyle ayırık tekstil atıksuyundan RB5 giderimi için YDD Sistem Sınırları.....                | 36           |
| Şekil 3. 6: O <sub>3</sub> /SPS yöntemi ile ayırık tekstil atıksuyundan RR21 giderimi için YDD Sistem Sınırları.....   | 41           |
| Şekil 3. 7: O <sub>3</sub> /SPC yöntemi ile ayırık tekstil atıksuyundan RR21 giderimi için YDD Sistem Sınırları.....   | 42           |
| Şekil 3. 8: UV/SPS yöntemiyle sudan İprodion giderimi için YDD Sistem Sınırları.....                                   | 46           |
| Şekil 4. 1: Musluk suyundan BPA giderimi için BPA 1'e göre oranlanmış çevre etkileri (a).54                            |              |
| Şekil 4. 2: Musluk suyundan BPA giderimi için BPA 1'e göre oranlanmış çevre etkileri (b).....                          | 55           |
| Şekil 4. 3: Musluk suyundan BPA giderimi için BPA 1 referans alınarak çevre etkiler (BPA 1, BPA2,BPA 8 ve BPA 9). .... | 56           |
| Şekil 4. 4: Musluk suyundan BPA giderimi için farklı faktörlerin toplam çevresel etkiler katkısı.....                  | 61           |

|                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4. 5: ReCiPe metodolojisine göre oksidan, altyapı ve malzemeler ve elektrik katkısının gösterimi. ....        | 65 |
| Şekil 4. 6: Ayrık tekstil atıksuyundan RB5 giderimi için RB5 1'e göre oranlanmış çevre etkileri (a). ....           | 70 |
| Şekil 4. 7: Ayrık tekstil atıksuyundan RB5 giderimi için RB5 1'e göre oranlanmış çevre etkileri (b) ....            | 71 |
| Şekil 4. 8: Ayrık tekstil atıksuyundan RB5 giderimi RB5 1'e göre oranlanmış çevre etkileri.....                     | 72 |
| Şekil 4. 9: Ayrık tekstil atıksuyundan RB5 giderimi için farklı faktörlerin toplam çevresel etkilere katkısı. ....  | 77 |
| Şekil 4. 10: Ayrık tekstil atıksuyundan RR21 gideriminin RR21 2'ye göre oranlanmış çevre etkileri(a).....           | 83 |
| Şekil 4. 11: Ayrık tekstil atıksuyundan RR21 gideriminin RR21 2'ye göre oranlanmış çevre etkileri(b). ....          | 84 |
| Şekil 4. 12: Ayrık tekstil atıksuyundan RR21 gideriminin RR21 2'ye göre oranlanmış çevre etkileri. ....             | 85 |
| Şekil 4. 13: Ayrık tekstil atıksuyundan RR21 giderimi için farklı faktörlerin toplam çevresel etkilere katkısı .... | 89 |
| Şekil 4. 14: Sudan İprodion giderimi için İprodion 1'e göre oranlanmış çevre etkileri.....                          | 96 |
| Şekil 4. 15: Sudan İprodion giderimi için farklı faktörlerin toplam çevresel etkilere katkısı. ....                 | 99 |

## ARITILABİLİRLİK VE ÇEVRESEL ETKİLERİN BÜTÜNLEŞİK DEĞERLENDİRMESİ

### ÖZET

Artan endüstriyel faaliyetlerin etkisi ile sanayi kaynaklı çevresel etkilerin miktarı da artmaya başlamıştır. Endüstriyel faaliyet kaynaklı oluşan atıksuların miktarında artması ile su kaynaklarının doğru yönetilebilmesi adına atıksu arıtma yöntemlerinin çevreye olan etkilerinin incelenmesi de önem kazanmıştır. Ayrık atıksular(proses bazında ortaya çıkan atıksular), atıksu karakterizasyonunun uygulanan çeşitli işlemlere bağlı olarak büyük ölçüde farklılık gösterdiği tekstil, deri, metal vb. gibi endüstriyel sektörler için endişe vericidir. Giderme verimlilikleri kontrol edilerek elde edilen sonuçlara göre uygun olarak arıtma seçenekleri önerilebilir. Bu tür yetersiz değerlendirme, geniş bir çevresel etki yelpazesinden yoksun olduğu için başarısız olması kaçınılmazdır. Bu bağlamda, mevcut çalışma, arıtılabilirlik sonuçlarını sürdürülebilirlik değerlendirmesiyle birleştirmeyi hedeflemektedir.

Bu çalışmada, su/atıksularda gerçekleştirilen laboratuvar ölçekli arıtılabilirlik çalışmalarının çevresel etkilerinin değerlendirilmesi ve uygulanan farklı yöntemler arasında en uygun olanın saptanması amaçlanmıştır. Laboratuvarda gerçekleşen ileri oksidasyon ve ozonlama yöntemiyle su/atıksu arıtımı işlemlerindeki enerji ve kimyasal yönetimi üzerine yoğunlaşmaktadır. Çevresel etkileri açısından uygun konsantrasyon kimyasal kullanımı ve o konsantrasyona karşılık gelen enerji tüketiminin değerlendirilmesi yapılmaktadır. Laboratuvar ölçekli önceden yapılmış çalışmalarda farklı amaçla gerçekleştirilen su/atıksu arıtımı deneyleri için farklı kimyasallar ve bu kimyasalların farklı konsantrasyonları için enerji tüketiminin potansiyel çevresel etkileri karşılaştırılmıştır. En fazla çevresel etkiye neden olan faktörler tespit edilmeye çalışılarak optimum düzey çevresel etkiye sahip proses seçilmeye çalışılmıştır.

BPA içeren musluk suyu deney setinde, UV-C ile sodyum persülfat (UV-C/SPS); UV-C ile sodyum perkarbonat (UV-C/SPC); UV-C ile hidrojen peroksit (UV-C/HP) kullanılarak daha öncesinde laboratuvar ölçekli deneyler gerçekleştirilmiştir. Daha

önce yapılan ve laboratuvar ölçekli gerçekleşen musluk suyundan Bisfenol-A (BPA) giderimi deney setlerinde % 100 BPA gideren koşullar üstünden çevresel etkiler belirlenmiştir. Musluk suyundan BPA giderimi deney setlerinde BPA kimyasalını arıtmada kullanılan kimyasal çeşidi, kimyasal konsantrasyonu ve elektrik tüketimi miktarları değişiklik göstermektedir. Kimyasal çeşidi, kimyasal konsantrasyonu ve elektrik tüketimine bağlı olarak çevresel etki değerlendirmesi her bir kategori için hesaplanmıştır.

Öncesinde yapılan ayırık tekstil atıksuyundan RB5 (Reaktif Siyah 5) giderimi çalışmasında yürütülen 7 farklı deney düzeneği için deney setlerinde %100 RB5 gideren koşullar üstünden çevresel etkiler belirlenmiştir. RB5 boya içeren ayrılmış bir tekstil atıksuyu, UV-C ile sodyum persülfat (SPS) ve UV-C ile sodyum perkarbonat (SPC) kullanılarak öncesinde laboratuvar ölçekli deneyler gerçekleştirilmiştir. RB5 giderimi deney setlerinde arıtmada kullanılan kimyasal çeşidi, kimyasal konsantrasyonu ve elektrik tüketimi miktarları değişiklik göstermektedir. Değişkenlere bağlı olarak çevresel etki değerlendirmesi her bir kategori için hesaplanmıştır.

Çevresel etkileri incelenen bir diğer deneysel çalışma daha öncesinde gerçekleşmiş olan ayırık tekstil atıksuyundan %100 RR21 (Reaktif Kırmızı 21) giderimidir. RR21 boya içeren ayırık tekstil atıksuyunda SPS/Ozon ve SPC/Ozon kullanılarak öncesinde laboratuvar ölçekli deneyler gerçekleştirilmiştir. RR21 giderimi deney setlerinde arıtma kullanılan kimyasal çeşidi, kimyasal konsantrasyonu ve elektrik tüketimi miktarları değişiklik göstermektedir. Buna bağlı olarak çevresel etki değerlendirmesi her bir kategori için hesaplanmıştır.

Sudan İprodion gideriminde, UV-C/SPS kullanılarak öncesinde yapılan deney setlerinde % 100 İprodion gideren koşullar üstünden çevresel etkiler belirlenmiştir. Sudan İprodion giderimi deney setlerinde arıtma kullanılan kimyasal konsantrasyonu ve elektrik tüketimi miktarları değişiklik göstermektedir. Değişkenlere bağlı olarak çevresel etki değerlendirmesi her bir kategori için hesaplanmıştır.

Tüm deneysel çalışmalarda arıtma sonuçları yaşam döngüsü değerlendirmesi yoluyla değerlendirilmiştir. Böylece minimum çevresel etki yaratan arıtma alternatifi belirtilmiştir.

Kullanılan yaşam döngüsü değerlendirme metodolojisi, ISO 14040/14044 yönergelerine göre yapılandırılmıştır. GaBi yazılımının 7.3 sürümü kullanılmıştır. CML (Leiden Çevre Bilimi Merkezi), yaşam döngüsü çevresel etkilerini hesaplamak için kullanılmıştır. Aşağıdaki çevresel etki kategorileri araştırılmıştır: Küresel Isınma Potansiyeli (KIP), Abiyotik Tükenme Potansiyeli (ATP Fosilleri ve Elementleri), Asidifikasyon Potansiyeli (AP), Ötrofikasyon Potansiyeli (ÖP), Tatlı Su Canlılarına Ekotoksisite Potansiyeli (TSEP), İnsan Toksisite Potansiyeli (İTP), Ozon Tabakası İncelmesi Potansiyeli (OTİP), Fotokimyasal Ozon Oluşturma Potansiyeli (FOOP) ve Karasal Ekotoksisite Potansiyeli (KEP).

Musluk suyundan BPA giderimi çalışmasında ATP Element, ATP Fosil, AP, ÖP, TSEP, KIP, İTP, DSEP, OTTP, FOOP ve KEP kategorilerinde BPA 9 çalışması her bir kategori için en düşük değerleri vermiştir. BPA 9 çalışması, BPA 1'e kıyasla tüm kategorilerde azalma göstermektedir. Alternatif olarak BPA 8'de tüm kategorilerde azalma göstermiştir fakat BPA 9'daki azalmaya kıyasla değerleri daha yüksek çıkmıştır. BPA 8'in BPA 9'dan daha yüksek elektrik tüketimi sahip olması ve elektrik tüketiminin çevresel etki kategorilerine olan katkısının oldukça yüksek olması bunun en önemli nedenlerindendir.

RB5'in %100 gideriminin sağlandığı tüm deneysel çalışmalar kıyaslandığında çıkan sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir. ATP element ve OTİP kategorileri açısından en düşük etkiler RB5 1 ile elde edilir. OTİP için RB5 4, RB5 1'e yakın sonuçlar vermektedir. ATP fosili, AP, İTP, FOOP ve KEP etki kategorileri için en uygun sonuçlar RB5 5 ile elde edilmiştir. Öte yandan, en düşük ÖP, TSEP, KIP ve DSEP etkileri RB5 3 ile elde edilmiştir. Bu nedenle, hangi etki kategorilerinin önemli olduğuna bağlı olarak karar vericiler doğru alternatifi seçebilirler.

Ayrık tekstil atıksuyundan RR21 giderimi çalışmasında, RR21 1 deney seti ATP element, ATP fosil, AP, ÖP, TSEP, KIP, İTP, DSEP, OTİP, FOOP ve KEP kategorilerinde diğer deney setlerine göre en düşük etkiyi vermektedir. Bu nedenle ATP element, ATP fosil, AP, ÖP, TSEP, KIP, İTP, DSEP, OTİP, FOOP ve KEP kategorileri için en düşük etkiyi sağlayan deneysel koşulları 1,390 kWh/m<sup>3</sup> enerji gereksinimini olan RR21 1 benimsenmelidir.

Laboratuvar şartlarında önceden gerçekleşen sudan İprodion gideriminde tüm kategorilerde en düşük etki İprodion 3 deneysel çalışmasında ortaya çıkmaktadır. Bu

nedenle ATP element, ATP fosil, AP, ÖP, TSEP, KIP, İTP, DSEP, OTİP, FOOP ve KEP kategorilerinde çevresel etkileri azaltmak için İprodion 1 ve İprodion 2'den daha düşük etkiye sahip 21,42 mg/l SPS ve 1,787 kWh/m<sup>3</sup> enerji gereksinimini içeren İprodion 3 çalışması uygulanmalıdır.



## **INTEGRATED ASSESSMENT OF TREATABILITY AND ENVIRONMENTAL IMPACTS**

### **SUMMARY**

With the effect of increasing industrial activities, the amount of industrial environmental effects have started to increase. With the increase in the amount of wastewater generated from industrial activities, it has gained importance in examining the effects of wastewater treatment methods on the environment in order to manage water resources correctly. Separated wastewater is a concern for industrial sectors such as textiles, leather, metals, where wastewater characterization differs greatly depending on the various processes applied. Treatment options can be suggested according to the results obtained by controlling the removal efficiencies. This type of under-assessment is bound to fail because it lacks a wide range of environmental impacts. In this context, the present study aims to combine workability results with sustainability assessment.

In this study, it is aimed to evaluate the environmental effects of laboratory scale treatability studies in water/wastewater and to determine the most appropriate one among the different methods applied. It focuses on energy and chemical management in water/wastewater treatment processes with advanced oxidation and ozonation method in the laboratory. In terms of environmental effects and cost, the use of appropriate concentrations of chemicals and the energy corresponding to that concentration are evaluated. In this laboratory-scale study, the potential environmental effects of energy consumption for different chemicals and different doses of these chemicals for wastewater treatment experiments carried out for different purposes were compared. The factors that cause the most environmental impact were tried to be determined and the process with the optimum environmental impact was tried to be selected.

In the study of Bisphenol A (BPA) removal from tap water carried out under laboratory conditions, 100% BPA removal was targeted in all operating conditions. Tap water containing BPA is subjected to treatability tests with ultraviolet short wave(UV-C) activated sodium persulfate (SPS), UV-C activated sodium percarbonate (SPC) and UV-C activated hydrogen peroxide (HP). In BPA removal studies, the type of chemical used in treatment, the chemical concentration and the amount of electricity consumption vary. Depending on what has changed, the environmental impact assessment has been calculated for each category.

100% RB5 removal was achieved for 7 different experimental setups carried out in the RB5(Reactive Black 5) removal study from discrete textile wastewater. Separated textile wastewater containing RB5 dye is subjected to treatability tests with UV-C activated SPS and UV-C activated SPC. In RB5 removal studies, the type of chemical used in treatment, the chemical concentration and the amount of electricity consumption vary. Based on the changes, the environmental impact assessment was calculated for each category.

Another experimental study whose environmental effects were investigated is 100% RR21(Reactive Red 21) removal from discrete textile wastewater. Separated textile wastewater containing RR21 dye is subjected to treatability tests with SPS/Ozone and SPC/Ozone. In RR21 removal studies, the type of chemical used in treatment, the chemical concentration and the amount of electricity consumption vary. Accordingly, the environmental impact assessment was calculated for each category.

In the study of Iprodion removal from water carried out under laboratory conditions, 100% Iprodion removal is achieved under all operating conditions. Drinking water containing iprodion is subjected to treatability tests with UV-C activated SPS. In iprodione removal studies, the concentration of chemicals used in the treatment and the amount of electricity consumption varies. Based on the changes, the environmental impact assessment was calculated for each category.

In all experimental studies, treatment results were evaluated through life cycle assessment. Thus, a treatment alternative with minimal environmental impact is specified. The life cycle assessment methodology used is structured according to the ISO 14040/14044 guidelines. The GaBi software version 7.3 is adopted. The CML is used to estimate the life cycle environmental impacts. The following environmental impact categories are investigated: Global warming potential (GWP), abiotic depletion potential (ADP fossils and elements), acidification potential (AP), eutrophication potential (EP), freshwater aquatic ecotoxicity (FAETP), human toxicity potential (HTP), ozone depletion potential (ODP), photochemical ozone creation potential (POCP) and terrestrial ecotoxicity potential (TETP).

In the BPA removal study from tap water, the BPA 9 study gave the lowest values for each category in the ADP Element, ADP Fossil, AP, EP, FAETP, GWP, HTP, MAETP, ODP, POCP and TETP categories. The BPA 9 study shows reductions in all categories compared to BPA 1. Alternatively, all categories showed reductions in BPA 8, but higher in value compared to the reduction in BPA 9. Alternatively, all categories showed reductions in BPA 8, but higher in value compared to the reduction in BPA 9. The most important reasons for this are that BPA 8 has higher electricity consumption than BPA 9 and the contribution of electricity consumption to the environmental impact categories is quite high. The experimental conditions of BPA 9, which has the least environmental impact value in all impact categories, include 6.8 mg/l HP and 0.154 kWh/m<sup>3</sup> energy requirement.

Comparing all the experimental studies that provided 100% removal of RB5, the results can be summarized as follows. The lowest effects in terms of ADP element and ODP categories are obtained with RB5 1. For ODP, RB5 4 gives results close to RB5 1. Optimal results for ADP fossil, AP, HTP, POCP and TETP impact categories are obtained with RB5 5. On the other hand, the lowest EP, FAETP, KIP and MAETP effects are obtained with RB5 3. Therefore, depending on which impact categories are important, decision makers can choose the right alternative.

If the ADP element and ODP categories are given priority over the others, RB5 1, which is advertised as 35.7 mg/l SPS and 1,340 kWh/m<sup>3</sup> energy input, should be selected. If the ADP fossil, AP, HTP, POCP and TETP categories are important, a treatment alternative (RB5 5) should be adopted, consisting of 78.5 mg/l SPC and 0.670 kWh/m<sup>3</sup> energy input. Finally, if the ÖP, TSEP, KIP and DSEP categories are more important, RB5 3 with an SPS input of 238 mg/l and an energy requirement of 0.223 kWh/m<sup>3</sup> should be applied.

In the study of RR21 removal from separate textile wastewater, RR21 1 gives the lowest effect for ADP element, ADP fossil, AP, ÖP, TSEP, KIP, ITP, DSEP, OTIP, FOOP and KEP categories. For this reason, RR21 1, which provides the lowest effect for the ADP Element, ADP Fossil, AP, EP, FAETP, GWP, HTP, MAETP, ODP, POCP and TETP categories, should be adopted with an energy requirement of 1,390 kWh/m<sup>3</sup>.

The lowest effect in all categories in the removal of Iprodion from water under laboratory conditions is observed in the Iprodion 3 experimental study. For this reason, Iprodion 3 study, which includes 21.42 mg/l SPS and 1.787 kWh/m<sup>3</sup> energy requirement, should be applied to reduce environmental effects.

When all experimental sets are examined, the contribution of electricity comes to the fore. Electricity input is followed by chemical production contribution. Transport input has low contribution percentage overall.





## 1. GİRİŞ

### 1.1 Çalışmanın Önemi

Hızlı nüfus artışı, şehirleşme ve sanayileşmenin etkisiyle başlarda göz ardı edilen, çevre sorunları artarak tüm dünyayı tehdit eder bir hal almaya başlamıştır. İnsan faaliyetleri çevre kirliliğini ve doğal kaynak tüketimini arttırmaktadır. Bu artış üretim ve tüketim oranlarıyla doğru orantılıdır. Çevre kirliliği insan sağlığı ve ekosistem üzerinde olumsuz etkilere neden olmakta ve toplumsal tepkiye yol açmaktadır. İnsanların sebep olduğu olumsuz etkileri iyileştirme, çevrenin maruz kaldığı zararı durdurma ve doğal kaynakları koruma aksiyonları bu tepkilerin sonucunda ortaya çıkmaktadır. Bu tepkiler çevresel harcamalar, çevre kaynaklı vergiler, çevre dostu ürünlerin market payı ve atık geri dönüşüm oranlarındaki artışı beraberinde getirmektedir(url-1).

Artan çevre kirliliğinin hesaplanması ve azaltılmasına duyulan ihtiyaç ile beraber Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) önem kazanmıştır. YDD, bir ürünün veya bir sürecin hammadde eldesinden bertarafına kadar olan çevreye etkilerini inceleyen yaklaşımdır. Çevresel sorunların artması ile sürdürülebilir kalkınma, temiz üretim, eko-verimlilik, endüstriyel ekoloji ve YDD odaklı yaklaşımlar gibi daha çevreci yaklaşımlar ön plana çıkmaktadır. Ekosistemin korunması, doğal kaynakların kirlenmesinin önüne geçilmesi konularının hem bölgesel hem de küresel boyutta değerlendirilmesi konusunda bir bakış açısı gelişmiştir (ISO 14040, 2006; Demirel ve diğ., 2017).

YDD çalışmaları hedef ve kapsamın belirlenmesi, envanter analizi, etki değerlendirilmesi ve yorumlama olmak üzere birbiriyle ilgili dört basamaktan oluşmaktadır. Hedef ve kapsam basamağında yapılacak çalışmanın sistem sınırı belirlenmektedir. Ürün/hizmet hakkında girdi ve çıktı verilerinin toplandığı aşamaya envanter analizi kısmıdır. Toplanan verilerin ışığında yapılan modellemem ve hesaplama sonucunda ürün ya da hizmetin çevresel etkilerini görebiliriz. Çevresel etkilerin değerlendirilmesi ve yorumlanarak daha çevreci yaklaşımların önerilmesi beklenmektedir (ISO 14040, 2006).

## 1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı atıksularda gerçekleştirilen laboratuvar ölçekli arıtılabilirlik deneylerine dayalı çevresel etkilerin YDD kullanılarak saptanması, değerlendirilmesi ve uygulanan farklı yöntemler arasında çevresel açıdan en sürdürülebilir olanın saptanmasıdır.

Bu YDD çalışması oksidasyon yöntemiyle atıksu arıtımı işlemlerindeki enerji ve kimyasal yönetimi üzerine yoğunlaşmaktadır. Uygulanan yöntemlerin çevresel etkileri dikkate alınarak önceden yapılan laboratuvar ölçekli benzer çalışmalar çevresel etki kategorilerin her biri için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Oluşturulan yaşam döngüsü modellerinde farklı amaçla gerçekleştirilen su ve atıksu arıtımı deneyleri için değişik kimyasallar ve bu kimyasalların deneylerde kullanılan farklı miktarları için enerji tüketimine bağlı olarak potansiyel çevresel etkilerin karşılaştırılması yapılmıştır. En fazla çevresel etkiye neden olan faktörler tespit edilerek optimum düzeyde çevresel etkiye sahip proses seçilmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmada literatür kısmında yapılmış olan deneysel çalışmalarda giderilen her bir zararlı kimyasalın özelliklerinden ve o kimyasalların giderim yönteminden bahsedilmektedir. Bölüm 2’de bahsi geçen bir diğer konuya deneysel çalışmalarda ön plana çıkan ileri oksidasyon prosesi ve kullanım alanları olmaktadır. Aynı zamanda yaşam döngüsü değerlendirmesinden, metodolojisinden ve neden yapılması gerektiğinin öneminden bahsedilmektedir. Daha önceden yapılmış olan atıksu ve içme suyu arıtma tekniklerinin yaşam döngüsü değerlendirme çalışmaları yine bu çalışmada yer verilmektedir.

Bölüm 3’te bu çalışmada izlenen materyal ve metod verilmektedir. Önceden yapılan dört farklı mikro kirletici maddenin ileri oksidasyon yöntemi kullanılarak arıtması anlatılmaktadır. Dört farklı mikro kirletici maddenin ileri oksidasyon yöntemi kullanılarak arıtmasına dair dört farklı deneysel düzeneğinin kimyasal konsantrasyonu ve elektrik tüketimindeki değişimlere bağlı çevresel etkilerinde olan değişiklikleri tespit edebilmek amacıyla envanter analizi yapılmıştır. Envanter analizi çalışmasında kapsam sınırları içinde kalan veriler için bazı varsayımlarda bulunulmuştur.

Envanter analizinin yapılmasının ardından çevresel etkiler hesaplanmış ve yorumlanmıştır. Bölüm 4'te bahsi geçen her bir laboratuvar ölçekli çalışmanın kendi içinde elektrik tüketim, kimyasal tüketimi ve ulaşım kaynaklı payları incelenmiştir. Aynı zamanda her bir deneysel çalışma kendi içinde çevresel etki kategorilerine olan etkisi açısından değerlendirilerek yine bu çalışmada deneysel çalışmalardan hangisi daha sürdürülebilir tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu bölümde ön plana çıkan bir diğer önemli sonuç ise her bir çevresel etki kategorisinin ana nedenin üzerinde durulmuş olmasıdır.

Son olarak bölüm 5'e geçildiğinden elde edilen veriler ışığında sürdürülebilir olan laboratuvar ölçekli arıtma metotları üzerinde durulmuştur. Çevresel sürdürülebilirlik açısından daha uygun olan deney düzeneklerinin özellikleri belirtilerek çevresel etkilerinden bahsedilmiştir.



## **2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI**

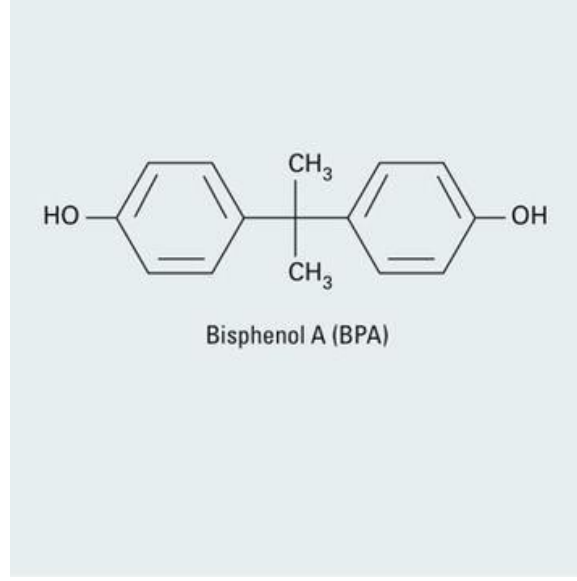
Artan su kirlilikleri ve azalan su kaynaklarının etkisi ile beraber içme suyu, evsel atıksu ve endüstriyel atıksu arıtma yöntemlerinin sürdürülebilir olması önem kazanmıştır. Atıksu arıtımı için sürdürülebilir araçların geliştirilmesi ve seçimi, yeni su kaynaklarının düşük maliyetli satın alınması, su stresinin azaltılması ve mevcut su kaynaklarının korunması gibi bir çok fayda sağlayabilir (Bezares-Cruz, 2016).

### **2.1 Kirletici Maddeler**

Çevre ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri olan toksik kimyasal maddelerin sayısı giderek artmaktadır. Bu tür kimyasalları kirletici maddeler olarak belirtebiliriz. Kirletici maddelere maruziyetimiz sanayileşmesinin artması ve arıtma yöntemlerinin etkin bir şekilde kullanılmaması sonucunda giderek artmaktadır.

#### **2.1.1 Bisfenol-A (BPA)**

Bisfenol A (BPA), Şekil 2.1’de gösterilen organik bir iki fenol parçasına sahip bir bileşiktir. Önemli özellikleri arasında düşük buhar basıncı, orta derecede suda çözünürlük ve düşük uçuculuk ve oda sıcaklığında katı olması yer almaktadır (Huang ve diğ., 2012).



**Şekil 2. 1:** BPA kimyasal yapısı (url-2).

Önemli bir endüstriyel kimyasal olan Bisfenol A, öncelikle polikarbonat (PC) plastiklerin ve epoksi reçinelerin üretiminde ara madde olarak kullanılır. CD, DVD, elektronik ekipman, otomobiller, inşaat camları, spor güvenlik ekipmanları, tıbbi cihazlar (ör. diş dolgu macunları), sofrta takımları, yeniden kullanılabilir şişeler (ör. biberonlar) ve gıda saklama kapları gibi yiyecek ve içecekleri metallerle doğrudan temastan korumak için yiyecek ve içecek kutularının iç kaplamasında da epoksi reçineler olmak üzere çok fazla kullanım alanı bulunmaktadır. Aynı şekilde çocuk oyuncakları, diğer plastik türlerinde katkı maddesi BPA'ya rastlanabilmektedir (Huang ve diğ., 2012).

Huang ve diğ.,(2012) göre ekonomik iyileşmeyle birlikte, plastik şişelerdeki içme suyu daha çok kullanılmaya başladı. Plastik şişelerdeki içme suyu yüksek konsantrasyonlarda BPA bulunmaktadır. Bu nedenle BPA ile kontamine olan içme suyuna maruz kalma riski giderek artmaktadır. BPA ve BPA bazlı malzemelere yönelik artan talep nedeniyle, gelecekte BPA kirliliğinin daha önemli hale geleceği tahmin edilmektedir. Endüstriyel ve çöp depolama alanlarından gelen atıksuların verimli bir şekilde arıtılmaması sebebiyle BPA, su ortamına (hem tatlı su hem de deniz suları) karışmaktadır (Huang ve diğ., 2012).

Bisfenol A (BPA), çok sayıda tüketici ürününde bulunan yüksek üretim endokrin bozucu bir kimyasaldır. BPA'nın bir çok kullanım alanı bulunması, insanların her gün bu kimyasala maruz kalmasına neden olmaktadır. BPA maruziyeti astım, kanser,

davranış bozuklukları, obezite veya erken başlangıçlı ergenlik gibi pek çok etkiye sebep olabilmektedir (Schug ve Birnbaum, 2014). Ayrıca yapılan bir başka çalışmada Karnam ve diğ. (2015) göre BPA'nın, üreme üstünde toksik etki yarattığını ve kemik iliği işleyişini baskılayarak sıçanlarda normositik hipokromik(kırmızı kan hücrelerinin normalden daha az hemoglobine sahip olması(Url-3)) anemiye yol açtığı bulmuştur. BPA'nın bulunma ihtimali olan yerler incelendiğinde Mukhopadhyay ve Chakraborty'in çalışmasında (2021) yüzey suyundaki ortalama BPA konsantrasyonu ( $658.3 \text{ ng/L} \pm 1760$ ), yağmur suyundan ( $459.2 \pm 620.2 \text{ ng/L}$ ) daha yüksek çıkmıştır. "BPA, yüzey ve yeraltı sularında 5 ile 200 ng/L (nanolitre) arasında değişen konsantrasyonlarda potansiyel olarak çevreye zararlı olarak kabul edilmektedir (Gasser ve diğ.,2013).

BPA gideriminde biyolojik arıtma, ileri oksidasyon, fotokatalitik ve membran adsorpsiyonu gibi birçok süreç bulunmaktadır (Melcer ve Klecka, 2011). İleri oksidasyon yöntemlerinde, BPA'nın giderilmesi için oksitleyici radikaller kullanılır(Ohore & Songhe, 2019). İleri oksidasyon prosesi (İOP), kararlı yapıdaki kirleticilerin(BPA gibi) bozunması için özellikle hidroksil ( $\cdot\text{OH}$ ) ve sülfat ( $\cdot\text{SO}_4$ ) radikalleri başta olmak üzere reaktif radikallerin oluşumuna dayanır.İOP'ta yardımcı kimyasal olarak kullanılan hidrojen peroksit (HP veya  $\text{H}_2\text{O}_2$ ), hidroksil radikali üreten en güçlü oksidanlardan biridir(Ohore & Songhe, 2019).

Öztürk ve diğ., (2021) çalışmasında kısa dalga boyu ultraviyole ışığı (UV-C) ile hidrojen peroksit (HP), persülfat (PS), perasetik asit (PAA) ve perkarbonat (PC) peroksitlerinin aktivasyonu sağlayarak saf suda endokrin bozucu kirletici BPA'nın arıtılması konusunda bazı temel deneyler yapmıştır. Öztürk ve diğ., (2021) tarafından yapılan deney sonucunda HP/UV-C ve PS/UV-C arıtma prosesleri ile hem asidik hem de nötr pH değerlerinin BPA giderimi için daha uygun olduğu görülmüştür. Ayrıca alkali pH, PAA/UV-C için daha yüksek BPA giderimleri sağlarken asidik pH, PC/UV-C ile arıtma sırasında daha yüksek BPA giderimleriyle sonuçlanmıştır(Öztürk ve diğ., 2021). Ayrıca artan peroksit konsantrasyonuna bağlı olarak serbest radikallerinde artışıyla saf suda BPA giderim oranlarında artma tespit edilmiştir(Öztürk ve diğ., 2021).

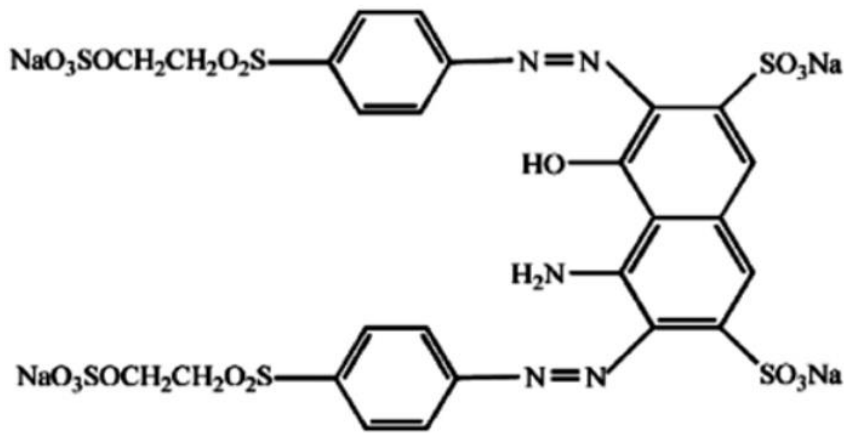
Sharma ve diğ. (2015) yaptığı çalışmada BPA maddesinin sudan UV-C ışıması altında peroksimonosülfat (PMS) kullanarak yapılan ileri oksidasyon arıtma yöntemini incelemiştir. Bu çalışmada optimum arıtma koşullarında BPA giderimi %96.7 olarak

bulunmuştur. Sülfat radikalleri ile BPA bozunmasının bir elektron transfer reaksiyon mekanizması yoluyla ilerlemektedir. Hümkik asit ve bikarbonatlar düşük konsantrasyonlarda bile BPA'nın uzaklaştırılmasını olumsuz etkilemektedir (Sharma ve diğ., 2015).

### 2.1.2 Reaktif Siyah 5 (RB5)

Kirleticilerin önemli sınıflarından biri, çevre için özellikle tehlikeli organik bileşikler olarak kabul edilen boyalardır. Bazı boyalar belirli koşullar altında toksik, mutajenik ve kanserojendir. Bu nedenle boyaların atıksudan uzaklaştırılması gerekmektedir (He ve diğ., 2007). Renkli tekstil atıklarının alıcı ortama deşarjı, çözünmüş oksijen konsantrasyonunun azalmasına neden olur ve su florası ve faunası için toksik koşullar yaratır (El-Bouraie ve M., El-Din, 2016). Tekstil ve boyama endüstrilerinde uygulanan birçok sentetik boya sınıfı arasında reaktif boyalar, parlak renkleri ve uygulama kolaylığı nedeniyle birçok endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır (El-Bouraie ve M., El-Din, 2016).

Reaktif Siyah 5 (RB5) boyası, boyama endüstrisinde en yaygın kullanılan sentetik reaktif boyalardan biridir (El-Bouraie ve M., El-Din, 2016; Jager ve diğ., 2017). Bu boya türü suda yüksek oranda çözünmektedir ve boya ile lif arasında kovalent bağlar oluşturabilen reaktif gruplara sahiptir. RB5, pamuk ve diğer selülozik elyafları, yün ve naylonu boyamak için en yaygın olarak kullanılan boyadır (El-Bouraie ve M., El-Din, 2016; Jager ve diğ., 2017)



Şekil 2. 2: RB5 kimyasal yapısı (url-4).

Bir veya daha fazla  $-N=N-$  grubuna sahip aromatik bileşikler olan azo boyalar, ticari uygulamalarda en büyük sentetik boya sınıfını oluşturur (Satapanajaru ve diğ., 2014; Jager ve diğ., 2017). Azo boyalar suda yüksek oranda çözünür ve su ortamında akıntı yönüne doğru taşınabilir bu nedenle alıcı su kütlelerini kirletebilir (Jager ve diğ., 2017). Boya seçiminde önemli faktörlerden biri oksidasyona karşı dayanıklılıktır. Bu sebepten ötürü boyalar genellikle biyolojik bozunmaya karşı dirençlidir (Jager ve diğ., 2017).

Boyaların çevre üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için birçok arıtma tekniği geliştirilmiştir. Bunlardan en etkili olan arıtma tekniği İOP yöntemidir. Aşağıda RB5 boyasının giderilmesinde kullanılan elektrokimyasal oksidasyon ile demir (II) ve demir (III) sülfat oksidasyon yönteminden bahsedilmektedir.

Jager ve diğ., (2017) RB5 azo boyasının sentetik bir çözeltisini arıtmak için elektrokimyasal oksidasyon yöntemi ile hipoklorit yardımcı kimyasalını kullanmıştır. Jager ve diğ., (2017) çalışmasında elektrokimyasal oksidasyon yöntemi ile hipoklorit yardımcı kimyasalının kullanılmasıyla renk tamamen kaybolmuştur ve organik madde konsantrasyonu önemli ölçüde azalmıştır. Bu çalışmada, elektroliz sırasında üretilen hidroksil radikallerinin ve diğer reaktif türlerin, bu bozunmaya karşı dayanıklı moleküllerin belirli kısımlarını giderebilen etkili oksidanlar olduğunu doğrulanmıştır (Jager ve diğ., 2017).

Geleneksel biyokimyasal arıtma yöntemleri tekstil atıksularını etkin bir şekilde arıtamaması nedeniyle fiziksel ve kimyasal yöntemler alternatif arıtma yöntemleri olarak düşünülebilir. Biyolojik olarak parçalanamayan atıksuların arıtılması için en uygun yöntemlerden biri İOP'dir. İOP çok çeşitli organik kirleticileri hızlı ve seçici olmayan bir şekilde yok edebilen hidroksil radikali ( $\cdot OH$ ) veya sülfat radikali ( $\cdot SO_4^-$ ) gibi radikaller üretmeye dayanır (Satapanajaru ve diğ., 2014). Gamadze ve Pirgalioglu (2020) yaptıkları çalışmalarında bir azo boya olan RB5'in arıtılması için sülfat radikali bazlı ileri oksidasyon yönteminin etkisi araştırmıştır. Bu çalışmada sülfat radikalleri, reaksiyon ortamına demir(II) ve demir (III) sülfat ilavesiyle aktive edildi (Gamadze ve Pirgalioglu, 2020).

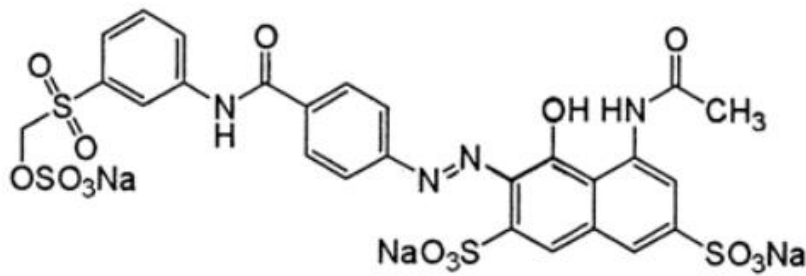
Gamadze ve Pirgalioglu (2020) çalışmasında demir (II) iyonları ile yapılan çalışmaların hem RB5 giderimi hem de reaksiyon hızı açısından daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Artan persülfat konsantrasyonu ile hem RB5 gideriminin ve

reaksiyon hızının arttığı kaydedilmiştir. Sülfat radikalleri, boyaların kromoforundaki (bileşiğin renginden sorumlu atom grubu) azobond ( $-N=N-$ ) oksitleyebilir ve azo bağının yok edilmesi, boya çözeltisinin renksizleşmesine yol açmıştır (Satapanajaru ve diğ., 2014). Gamadze ve Pirgaliöğlu (2020) çalışmasında demir (II) sülfat ilavesinin, sülfat radikallerinin aktivasyonu için demir (III) sülfattan daha etkili olduğu ve demirle aktifleştirilmiş sülfat radikal oksidasyonunun asidik koşullarda en etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır. 4 milimolar persülfat konsantrasyonu ve 1 milimolar  $FeSO_4$  ( $Fe(II)$ ) konsantrasyonu ile pH 3'te gerçekleştirilen çalışmada %99'un üzerinde RB5 giderimi gözlemlenmiştir.

### 2.1.3 Reaktif Kırmızı 21 (RR21)

Tekstil ürünlerine olan talebin artması ve sentetik boyaların üretim ve uygulamalarındaki orantısal artış nedeniyle, boya atıksuları dünya çapında ciddi kirlilik problemlerinin ana kaynaklarından biri haline gelmiştir. Boyaların bir çoğu geleneksel atık su arıtma işlemlerinden kaçır ve ışığa, sıcaklığa, suya, deterjanlara karşı yüksek stabilitelerinin bir sonucu olarak çevrede kalır (Ogugbue ve Sawidis, 2011).

Reaktif kırmızı 21'in diğer bir adı Reatobond Red BB (% 150) olarak bilinmektedir ve reaktif bir radikal olarak vinilsülfonlu kırmızı bir reaktif boyadır(Url-6). Yüksek Ph değerlerinde selülozik liflerle kimyasal bir bağ oluşturarak dayanıklılık sağlamaktadır. Bu boya, kesikli boyama, sürekli boyama ve baskı uygulamalarında kullanıma uygundur(Url-6).



Şekil 2. 3: RR21 kimyasal yapısı (Url-6).

Sentetik tekstil boyaları, çevre ve insanlar üzerinde zarar verebilecek büyük bir organik bileşik grubudur. Tekstil atıksuyu renk ve sentetik maddelerce zengindir, bazıları biyolojik olarak parçalanamaz ve kansere neden olabilmektedir. Bazı azo boyalar toksik özelliklere sahiptir ve kanserojen ve mutajenik olaylara sebep olabilir. Azo renkler kansere neden olabileceği gibi toprağa, suya ve bitki örtüsüne de zarar vermektedir (Drumond Chequer ve diğ., 2013; Manzoor & Sharma, 2020)

Reaktif kırmızı 21 azo grubu içeren boyatürüdür.. Sanayi sektöründe azo grubu içeren boyalar en çok tercih edilen boyalardandır. Boyaların içerdiği azo grubu parçalanmaya karşı koyarken ve yüksek düzeyde kalıcılık ile çevrede birikebilmektedir (Joshi ve Saxena 2018). Azo boyalar, tüm boya gruplarının %60-70'ini oluşturur ve diğer boya sınıflarına kıyasla parlak ve yüksek yoğunlukta renkler vermektedir. (Ghaly ve diğ., 2013).

. Reaktif boyalar, elyaf molekülü ile kovalent bağlar oluşturabilir ve kullanılan en etkili ve kalıcı boyalar olarak kabul edilmektedir. En yaygın kullanılan elyaflardan biri olan pamuk, esas olarak reaktif boyalar kullanılarak boyanmaktadır (Ghaly ve diğ., 2013). Farklı sıcaklıklarda herhangi bir selüloz lifi üzerinde iyi çalıştıkları bulunmuştur (Ghaly ve diğ., 2013).

Aktif karbon üzerine adsorpsiyon, elektrokoagülasyon, flokülasyon, iyon değişimi, membran filtrasyonu, ozonlama ve ters ozmoz gibi çeşitli fizikokimyasal yöntemler atıksudaki tekstil boyalarının renk giderimi için kullanılmaktadır (Ogugbue ve Sawidis, 2011).

Tekstil atıksuyundan boya gideriminde bir çok metod bulunmaktadır. İOP de tekstil atıksuyu arıtımında sıkça kullanılan bir yöntemdir.

İOP, kirleticilerin yüksek oksidasyon potansiyeli ( $E_0$ ) sergileyen ajanlar tarafından yok edilmesi işlemidir. Örneğin; hidrojen peroksit ( $E_0 = 1.78$  V), ozon ( $E_0 = 2.07$  V) ve hidroksil radikali ( $E_0 = 2.28$  V). İOP sırasında üretilen en yaygın aktif tür hidroksil radikali (OH.), ancak peroksi radikali gibi diğer türler de oksidatif reaksiyonlar sırasında gelişebilir. Hidroksil radikali, aynı anda su ve organik serbest radikal oluşumu ile hidrojen atomlarının soyutlanması yoluyla neredeyse tüm organik moleküllere saldıran oldukça kararsız bir reaktif elektrofildir (Suresh, 2014).

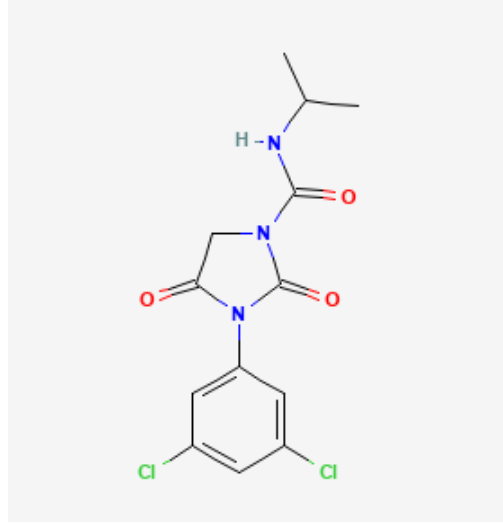
Arslan-Alaton ve Koba Uzun (2021) tarafından yapılan reaktif kırmızı 21'in ozonlama ve peroksit/ozon arıtma yöntemiyle arıtılması çalışmasında peroksit olarak perasetik

asit (PAA), hidrojen peroksit (HP) persülfat (PS) ve perkarbonat (PC) kullanılmıştır. Bu çalışma sonucunda çıkan sonuçlardan biri düşük ozon dozlarındaki tüm arıtma süreçleri dayanıklı boya maddesini giderildiği olmuştur. Ayrıca PS ve PAA yardımıyla gerçekleşen ozonlama işleminde boya giderimi açısından çok iyi performans sergilerken PC ve HP yardımcı maddeleri ozonlama reaksiyonunu engellemektedir. Tek başına ozonlama üstünden renk gideriminde PS ve PAA yardımıyla gerçekleşen ozonlama reaksiyonu üstünlük sağlamaktadır (Arslan-Alaton ve Koba Uzun, 2021).

### 2.1.3 İprodion

Günümüzde uygulanan yoğun tarım, gübre ve pestisitlerin büyük miktarlarda ve bazen de kontrolsüz bir şekilde kullanılması yeraltı suyunun kalitesini büyük ölçüde düşürmektedir. Pestisitlerin sulara karışma ihtimali büyük sulama sistemleri veya yağışlı dönemlerde artmaktadır (Hmimou ve diğ., 2014). Düşük kil içeriği ve toprak organik maddesi ile karakterize edilen doymamış kumlu bir alana sahip akiferlerin, pestisit kontaminasyonuna karşı daha savunmasız olduğunu yapılan bu çalışma göstermektedir (Hmimou ve diğ., 2014). Pestisitlerin, yoğun yağış veya sulamadan ve hatalı tekrarlayan pestisit uygulamalarından sonra içme suyuna karışma olasılığı daha da yükselmektedir (Hmimou ve diğ., 2014).

Şekil 2.4'te gösterilen İprodion, (3-(3,5-diklorofenil)-N-izopropil-2,4-dioksoimidazolidin-1- karboksamid) bir dikarboksimit mantar ilacıdır. Mantar ilacı, mantar miselyumunun büyümesini engeller ve mantar sporlarının çimlenmesini engeller. Çeşitli mantar hastalıklarından etkilenen meyve ve sebze ürünlerinde kullanılır. Örneğin; ekinleri Fusarium, Botrytis veya Phytophthora gibi çok çeşitli patojenik mantarlardan korumaktadır (Lassalle ve diğ., 2014; Uslu-7).



**Şekil 2. 4:** İprodion Maddesinin Kimyasal Yapısının Gösterimi(Url-7).

Pestisitlerin uzun yıllardır yaygın olarak kullanılmasının, kanserler, alerjiler, nörolojik ve üreme bozuklukları gibi sağlık sorunlarını arttırdığı düşünülmektedir(Pisani ve diğ., 2016). Mantar ilaçları arasında benzimidazoller ve dikarboksimitlerin doğurganlığı bozduğundan şüphelenilmektedir(Pisani ve diğ., 2016). Benzimidazoller ve dikarboksimitleri sırasıyla temsil eden iki madde, carbendazim ve iprodione su ve gıdada kalıcı olmaktadır (Pisani ve diğ., 2016). Pestisitlerin toksisitesinin incelenmesi için Blystone ve diğ.,(2007) tarafından fareler üzerinde yapılan çalışmada İprodion fungusitin sıçanların ergenliğini geciktirdiğini sonucu varılmıştır.

Tarım alanında, pestisitlerin ortadan kaldırılması biyolojik, kimyasal ve/veya fotokimyasal bozulmadan kaynaklanmaktadır. Dikarboksimit ailesinin (iprodion) fotokatalitik ve fotolitik bozunmaya duyarlı olduğu bilinmektedir. Lassalle ve diğ.,(2014 ) yaptığı deneyler, iprodion çözeltisinin fotokatalitik ve fotolitik bozunmadan sonra, öncekinden önemli ölçüde daha toksik olduğunu göstermektedir.

Pestisitlerin çevreye verdiği zararlar, bunların ortadan kaldırılması veya çevreye veya insan sağlığına hiçbir olumsuz etkisi olmayan ürünlere dönüştürülmesi için uygun arıtma teknolojilerinin kullanımı gerekmektedir. Birçok organik kirletici biyolojik olarak ayrıştırılamamaktadır (Lopez-Alvarez ve diğ., 2016). Yüksek toksisiye sahip iprodion maddesi için biyolojik ayrıştırılma söz konusu değildir. Bu nedenle başka yöntemler araştırılmaktadır(Lopez-Alvarez ve diğ., 2016). Alternatif su arıtma teknolojileriden, İOP, hidroksil radikalının yüksek reaksiyon hızı sayesinde organik kirleticilerin parçalanması için etkili yöntemlerden biri olmak ile birlikte kirleticilerin

toksisitesini azaltmaktadır. İOP, ultraviyole (UV) ışık ve hidrojenin kombinasyonu UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> işlemi olarak adlandırılan peroksit (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) ile biyolojik olarak parçalanamayan ve/veya toksik organik bileşiklerle kirlenmiş doğal suların ve atık suların arıtılmasında yüksek verimlilik göstermiştir(De la Cruz ve diğ., 2013; Lopez-Alvarez ve diğ., 2016). UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi hidroksil radikalleri (HO•) üretmek için H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'nin fotolizine dayanmaktadır(De la Cruz ve diğ., 2013; Lopez-Alvarez ve diğ., 2016).

Lopez-Alvarez ve diğ. (2016) yaptığı çalışmada iprodion bozulması için H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonu önemli bir değişken olmaktadır. İprodionun UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi ile bozunmasında hidroksil radikallerine yakalanması ana neden olarak karşımıza çıkarken işlem boyunca salınan klorür iyonları iprodion arasında zıt ilişki, bozunma sürecinde ilk adım olarak HO• radikallerinin C-Cl bağına hücum ettiğini ortaya koymaktadır (Lopez-Alvarez ve diğ., 2016). Lopez-Alvarez ve diğ. (2016) yaptığı bir diğer çalışmada ise karbofuran ve iprodion pestisitlerinin karışmasıyla elde edilen solüsyona UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi uygulanmaktadır. Bu karışım solüsyonunun toksisitesi yaklaşık %92 oranında azaltılmıştır, bu da UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> tekniğinin pestisitlerin toksik karışımlarının giderilmesinde alternatif olarak uygulanmasının onları toksik olmayan maddelere dönüştürdüğünü göstermektedir (Lopez-Alvarez ve diğ., 2016).

## 2.2 İleri Oksidasyon Prosesleri (İOP)

Ozon, çok uzun süredir kimyasal reaktif özeliği nedeniyle su arıtımı için oksidan olarak kullanılmaktadır. Oksidanlar arasında yüksek oksidasyon potansiyeline sahip olan ozon güçlü bir oksitleyici ve dezenfektan olarak bilinmektedir. Ozonun önemli özelliklerinden birisi de inorganik ve organik maddeleri oksitleyebilmesidir. Ozonun oksitleyici özeliği hidrojen peroksit ile beraber kullanınca hızlandığı görülmüştür (Glaze ve diğ.,1987).

Suyun saflaştırılmasını sağlamak için yeterli miktarda hidroksil radikallerinin (OH•) oluşumunu içeren ileri oksidasyon süreçleri zamanla sülfat radikalleri ile oksidatif proseslere kadar geliştirilmiştir. Dekontaminasyon ve dezenfeksiyon olmak üzere ikili rolü olan klor ve ozon gibi yaygın oksidanlardan aynı zamanda ileri oksidasyon proseslerinde (İOP) su ve atıksudaki organik veya inorganik kirleticilerin

parçalamasında kullanılmaktadır. İleri oksidasayonda kullanılan bu güçlü oksitleyici ajanlar atıksularda bulunan kirletilerin daha az toksik ürünlere dönüşmesini sağlamaktadır. Hidroksil radikalleri seçici olmadıkları gibi aynı zamanda reaksiyona da hızlı girmektedir. Hidroksil radikalleri kirleticilere radikal ekleme, hidrojen abstraksiyonu, elektron transferi ve radikal kombinasyon olmak üzere dört farklı şekilde hücum etmektedir. Çift bağlı organik bileşikler hidroksil saldırısına karşı çok hassas iken doymuş organik bileşikler (alkanlar gibi) çok daha küçük bozunma hız sabitlerine sahiptir ve bu nedenle oksitlenmeleri daha zordur. (Solarchem Environmental Systems, 1994; Deng & Zhao, 2015).

Ozon ( $O_3$ ) oksidasyonu, seçici bir reaksiyondur bu nedenle  $O_3$  tercihen nötr formdan ziyade iyonize ve ayrılmış organik bileşiklerle reaksiyona girmektedir. İleri oksidasyon proseslerinde genelde iki oksidantı birleştirerek oksidasyon potansiyelini artırmak gerekebilir çünkü tek bir oksidandan (UV,  $H_2O_2$  veya  $O_3$ ) daha başarılı olabilmektedir (Deng & Zhao, 2015; Gottschalk ve diğ.,2000)

$TiO_2$  fotokataliz, reaktif oksijen türleri yoluyla neredeyse tüm organik kirleticileri oksitleyebilen ve aynı zamanda hiçbir zararlı son ürün üretmeyen güçlü bir ileri oksidasyon prosesidir. Hidroksil radikalleri, katalizörlerin veya oksidanların varlığında fotonlar tarafından başlatılabilir. En yaygın katalizör, bir yarı iletken olan titanyumdioksittir ( $TiO_2$ ) ve UV ışığı altında en iyi performans gösteren fotokatalizörlerden biridir. Sudaki kirleticilerin gideriminde görünür ışık kaynaklı fotokatalitik uygulamalar oldukça verimlidir (Deng ve Zhao, 2015; Athanasekou ve diğ., 2018).

$H_2O_2$ 'yi aktive edebilen ve suda hidroksil radikalleri oluşturabilen ve metaller arasında en sık kullanılan demirdir (Pignatello ve diğ., 2006. Fenton işleminde,  $H_2O_2$  güçlü reaktif türler oluşturmak için  $Fe^{2+}$  ile reaksiyona girmektedir.  $Fe^{+3}$ 'ün fotokimyası fenton ileri oksidasyonu için avantajlıdır çünkü indirgenmiş demir daha sonra  $H_2O_2$  ile reaksiyona girerek  $HO\cdot$  ve ligandın oksidasyonuna neden olarak hedef kirleticinin daha fazla bozulmasına yol açacaktır (Pignatello ve diğ., 2006). Fenton ileri oksidasyon prosesinde üretilen  $OH\cdot$  radikalinin, fenton reaktiflerinden herhangi biri ile tekrar reaksiyona girme ihtimali söz konusudur. Bu nedenle istenmeyen reaksiyonların en aza indirilmesi için demir iyonunun hidrojen peroksit uygun molar oranının deneysel olarak belirlenmesi gerekmektedir (Pignatello ve diğ., 2006; Deng & Zhao, 2015).

Deng & Zhao (2015) göre İOP,  $\text{OH}\cdot$  veya  $\text{SO}_4\cdot^-$  bazlı oksidasyonun yanı sıra, eşzamanlı olarak meydana gelen diğer mekanizmalar, atıksudaki hedef kirleticileri uzaklaştırabilir. İOP tipine ve reaksiyon koşullarına bağlı olarak, kirletici uzaklaştırmada radikal olmayan oksidatif mekanizmaların katkısı baskın veya önemsiz olarak değişiklik gösterebilmektedir. Ayrıca oksidasyon mekanizması asidik koşullar altında doğrudan  $\text{O}_3$  oksidasyonuna doğru kayarken, özellikle pH 10'un üzerinde olmak üzere alkali bir durumda  $\text{OH}\cdot$  oksidasyonu baskın hale gelmektedir. Deng ve Zhao'nun (2015) yaptığı çalışmadan çıkan bir diğer sonuç ise arıtma verimliliği öncelikle İOP tiplerine, hedef kirleticilerin fiziksel/kimyasal özelliklerine ve işletme koşullarına bağlı olduğudur.

İOP'u kısaca özetlemek gerekirse kirletici maddelerin giderilmesi için foton veya katalizör yardımıyla güçlü reaktiflerin oluşturulması işlemi diyebiliriz. Bu radikaller UV/  $\text{H}_2\text{O}_2$ , UV/  $\text{O}_3$ , UV/  $\text{TiO}_2$ , UV/ $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$  ve UV/persülfatlar gibi bir çok farklı şekilde elde edilebilir. İOP'un en önemli avantajları, toksik ve kalıcı özellikteki organik maddeleri zararsız son ürünlere dönüştürebilmesidir. İOP'lar verimli olmaları, seçici olmamaları ve geniş kullanıma sahip olmaları nedeniyle tercih sebebi olan bir yöntemdir( Wang & Xu, 2012; Çakır, 2018).

İOP'ların verimli olmaları, seçici olmamaları ve geniş kullanıma sahip olmaları nedeniyle suların ve atıksuların arıtılmasında birçok alanda kullanılmaktadır. Son zamanlarda özellikle tekstil endüstrisinin oluşturduğu atıksuların arıtılmasında birçok çalışma İOP'lara yoğunlaşmaktadır (Çakır, 2018; Slama ve diğ., 2021 ).

Slama ve diğ. (2021) tarafından yapılan çalışmada tekstil endüstrisinde yapılan arıtma yöntemleri incelenmiştir. Çıkan sonuçlardan biri İOP'un, tekstil atıklarında bulunan çok çeşitli sentetik boyaları ve diğer karmaşık kirleticileri oksitlemedeki güçlü etkisinden dolayı tekstil boyasının bozunması için yaygın olarak uygulandığı olmuştur (Slama ve diğ., 2021) .

Çakır (2018) tarafından yapılan çalışmada tekstil endüstrisinde en çok kullanılan reaktif siyah 5 (RB5) maddesinin bozunmasını yalnızca UV ışınlamasının kullanılmasıyla ve UV ile beraber OH radikali kaynağı olan  $\text{H}_2\text{O}_2$  kullanılmasıyla ayrı ayrı incelediğinde aynı süre ve şartlar içinde sırasıyla %17 olan giderimin 0,3 milimolar  $\text{H}_2\text{O}_2$  varlığında %100'e çıktığı görülmüştür. Çakır'ın (2018) yaptığı benzer

bir çalışmada reaktif siyah 5 (RB5) maddesinin bozunmasını yalnızca UV ışınlanmasının kullanılmasıyla ve UV ile beraber O<sub>3</sub> ile ozonlama yapılarak incelediğinde aynı süre ve şartlar içinde sırasıyla %16 olan giderimin O<sub>3</sub> varlığında %100'e çıktığı görülmüştür. Bu çalışma sonucunda görüldüğü gibi yardımcı bir madde ile yapılan İOP aynı sürede daha çok kirletici madde bozunmasına neden olmaktadır (Çakır, 2018).

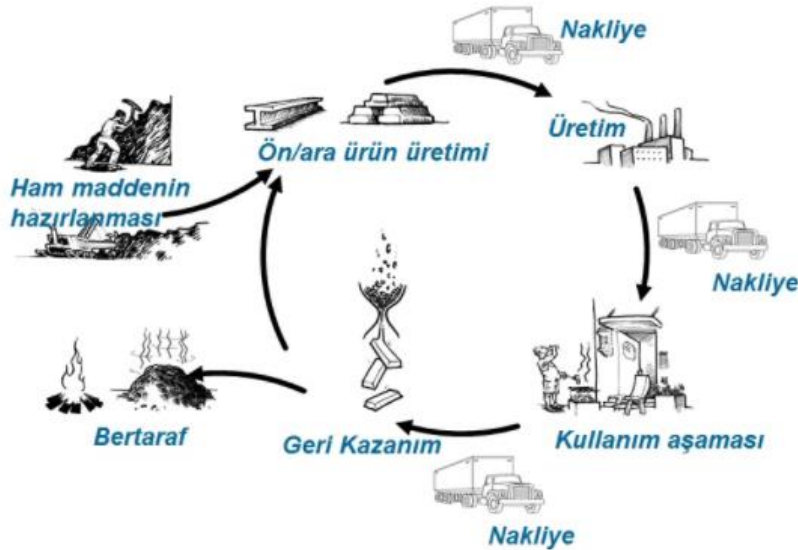
Ölmez-Hancı ve diğ. (2018) ileri oksidasyon ile endokrin bozucu ftalat esterlerinden oluşan Dimetil ftalat (DMP) kirletici maddesinin bozunması incelenmiştir. Bu çalışma sonucunda Persülfat (PS)/UV-C ileri oksidasyon yönteminin DMP'nin bozunması etkili olduğu ve birinci dereceden DMP bozunma hızı sabitlerinin başlangıç PS konsantrasyonunun artmasıyla arttığı ama optimum değerin üzerinde konsantrasyonda azaldığı bulunmuştur (Ölmez-Hancı ve diğ. 2018) .

Penisilin G (PG), çeşitli insan bakteriyel enfeksiyonlarının tedavisinde kullanılan yaygın olarak kullanılan antibiyotiklerden biridir ve çevreye deşarjının sınırlandırılması gereken toksik bir maddedir(Norzaee ve diğ., 2017). Bu nedenle giderimide oldukça önemlidir. Norzaee ve diğ., (2017) tarafından yapılan bir çalışmada sulu çözeltide PG antibiyotiklerinin uzaklaştırılması için persülfat (PS)/UV ileri oksidasyon yöntemi kullanmıştır. Norzaee ve diğ., (2017) yaptığı bu çalışmanın sonucu olarak tek başına PS veya UV kullanılarak arıtmaya göre PS/UV'nin daha etkili olduğu görülmektedir. Aynı zamanda PS/UV ileri oksidasyonunun yüksek verimle PG bozulmasında etkin rol oynadığını söylemek mümkündür. Tek başına UV veya PS'den daha etkili olmasının nedeni UV varlığında bir molekül PS'nin, iki molekül sülfat radikaline (SO<sub>4</sub><sup>-•</sup>) dönüşüyor olmasıdır. UV/PS işleminin PG'nin ilaç endüstrisinden ve hastane atıksularından uzaklaştırılması için etkili bir yöntem olarak kabul edilebileceği bulunmuştur(Norzaee ve diğ., 2017).

### 2.3 Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi

Artan çevre kirliliği, şehirleşme ve sanayileşmenin etkileri insanların çevre kirliliğini arıtma, depolama, geri dönüşüm metodlarını kullanarak düzeltmeyeceği bir noktaya taşıdı. Çevre kirliliği ile baş etmek için sorunun daha geniş açıyla ele alınması gerekmektedir. Bu nedenle Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi metodu geliştirilmiştir.

YDD'nin nasıl yapılacağı konusu standart haline gelerek ISO 14040 (ISO 14040, 2006) ile ilkeler ve çerçeve kısmı anlatılırken, ISO 14044 (ISO 14044, 2006) ile ise gerekler ve kılavuz kısmı anlatılmaktadır. YDD metodolojisi, ürün ve süreçlerin çevresel etkilerinin azaltılması, üretim prosesinin iyileştirilmesinde uygun adımların belirlenmesinde; sanayi, sivil toplum kuruluşları ve kamu kuruluşlarında stratejik planlama, ürün/süreç tasarımı ve yeniden tasarım gibi karar verilmesi gereken konularda yönlendirici; satış ve pazarlama kısmında çevre etiketi uygulaması, çevresel ürün beyanı hazırlanması ya da çevresi ürün nitelendirilmesi başta olmak üzere bir çok amaç için kullanılabilir (ISO 14040, 2006). YDD ürünlerde uygulandığında kullanılan hammadde tedarikinden başlayarak sırasıyla üretim aşaması, tüketici tarafında kullanımı, kullanım sonrasında ürün ömrünün tamamlayıp yeniden işlenmesi, geri dönüşümü ve bertarafına kadar olan tüm süreçleri ele alır ve bu süreç beşikten mezara süreci olarak adlandırılır. Bu da gösteriyor ki YDD çalışması ürünlerin beşikten mezara tüm çevresel boyutların ve etkilerin gösterilmesine olanak sağlayan bir metodolojidir. YDD çevresel etki kategorileri, kaynak kullanımı, insan sağlığı ve ekolojik sonuçları içermektedir. (ISO 14040, 2006; Klöpffer ve Grahl, 2014).



Şekil 2. 5: Beşikten mezara YDD şeması (Url-8).

Yaşam döngüsü değerlendirmesi Şekil 2.6’da belirtildiği gibi 4 basamakta incelemek mümkündür. Bunlar sırasıyla:

1. Amaç ve kapsam
2. Envanter analizi
3. Etki değerlendirmesi
4. Yorumlama (ISO 14040, 2006).

Çalışmanın konusuna ve kullanım amacına bağlı olarak YDD kapsamı, sistem sınırı belirlenmektedir. YDD’nin amacına göre çalışmasının detaylandırılması gerekmektedir. İkinci aşama olan envanter analizi kısmında ise girdi ve çıktı verilerinin amaca yönelik toplanması gerekmektedir. Etki değerlendirmesi aşamasında amaç ve kapsam doğrultusunda ürünün/hizmetin çevresel etki sonuçlarının öneminin daha iyi anlaşılmasını sağlayacak şekilde değerlendirme yapılabilmesi için ek bilgilere yönlendirme yapmaktadır. YDD’de son basamak olan yorumlamada envanter analizi ve etki değerlendirmesi sonuçları göz önüne alınarak çalışmanın amaç ve kapsamının doğrultusunda sonuç, tavsiye ve karar vermeye temel oluşturacak sonuçların özetlenmesi ve değerlendirilmesi yapılmaktadır(ISO 14040, 2006).



Şekil 2. 6: YDD metodolojisinin adımları (ISO 14040, 2006).

Şekil 2.6’da YDD metodolojisinin adımları gösterilmektedir. YDD çalışması ürünün hammadde çıkarılması ve temininden başlayarak, enerji ve malzeme üretimiyle beraber son kullanıcı ve bertaraf aşamasına kadar bütüncül bir yaklaşımla ele alır. Bu bütüncül yaklaşım fonksiyonel birim üzerinden kurgulanmaktadır. YDD çalışmasında

toplanan tüm girdiler, çıktılar ve etki değerlendirme kısmında dahil olmak üzere fonksiyonel birime göre şekil alır ve tüm analizler fonksiyonel birime göre ilerlemektedir. Ürünün tanımlanan performans özellikleri sayısını fonksiyonel birim belirtir. Bir fonksiyonel birimin en önemli amacı, girdilerle ve çıktılarla ilgili olan bir referans sağlamaktır (ISO 14040, 2006; Klöpffer ve Grahl, 2014).

Hedef tanımlama ve kapsam belirleme, YDD yönteminin en önemli bileşenlerindendir. Çalışmanın amacını, çalışmanın beklenen ürününü, sınırlarını, fonksiyonel birimini tanımlayan süreçler bu aşamada belirlenmektedir. Amaç ve kapsamı belirlenen YDD çalışmasının sistem sınırların düzgün ve doğru şekilde belirlenmesi son derece önemlidir. YDD çalışması oluşturulan amaç, kapsam ve sistem sınırları etki değerlendirilmesinin yorumlanması ve kıyaslanması hususunda büyük önem taşımaktadır.

Envanter analizinde verilerin toplanması önemli bir süreçtir. Hem girdi (hammaddeler ve enerji) hem de çıktı (havaya, suya verilen maddeler, vb.) verileri ile ilişkili temel akışları hesaplamak için endüstriyel proses envanter verileri gerekmektedir. Envanter analizinde önemli bir diğer kısım veritabanından sektöre uygun verinin seçilebilmesidir (Joliet ve diğ., 2016).

Etki kategorileri (önemli çevresel sorunları temsil eden sınıflar) ve bunlarla ilişkili kategori göstergeleri (her bir etki kategorisini temsil eden ölçülebilir kaynaklar/emisyonlar/maddeler) kullanılarak Yaşam Döngüsü Envanterinin sonuçlarının nicel olarak ifade edilmesiyle elde edilir (Pelletier ve diğ., 2006).

Envanter analizi ve çevresel etki değerlendirme safhalarının sonuçları, çalışmanın amaç ve kapsam tanımına göre yorumlanmalıdır. Yorumlama basamağında çalışmanın amacıyla ilgili olarak fonksiyonel birimin ve sistem sınırının tanımlarının uygunluğu göz önüne alınmalıdır (ISO 14044, 2006).

## **2.4 Su ve Atıksu Arıtımında Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Çalışmaları**

Bu bölümde su, kentsel ve endüstriyel atıksu arıtma sistemlerinin sürdürülebilirlik etkisinin araştırıldığı çalışmalara yer verilmektedir. Aşağıda bahsi geçen çalışmalarda farklı kirlilik, arıtma yöntemi ve numuneler için en çevreci arıtma yöntemlerini araştırılmış ve bu amaçla yaşam döngüsü boyutunda sürdürülebilirlik analizi yöntemi kullanılmıştır.

Literatürde atıksu arıtma tesisleri için yapılan birçok yaşam döngüsü değerlendirmesi çalışmaları bulunmaktadır. Atıksu arıtma tesisinde (AAT) yapılan yaşam döngüsü değerlendirmeleri incelendiğinde karşılaşılan en büyük zorluklar bölgesel verileri tam temsil etmeyen veritabanları ve belirsiz girdi/çıktı verileridir. Atıksu arıtma tesislerinde yapılan YDD çalışmasının faydaları olarak operasyonel optimizasyon ve kaynak geri kazanımı önde gelmektedir. Ayrıca AAT’lerde yaşam döngüsü değerlendirmesi çalışmalarında karşılaştırılabilirlik eksikliği ve metodolojik farklılıklar söz konusudur (Rebello ve diğ., 2021).

Tekstil endüstrisi çok miktarda boya ve kimyasalın yanı sıra çok miktarda su tüketmekte ve aynı zamanda büyük hacimlerde tekstil atıksuları oluşmasına neden olmaktadır. Arachchige ve diğ. (2019) tekstil endüstrinin çevresel etkilerini araştırdığı çalışmasında tekstil atıksuyunu arıtma yöntemleri, atık ve kaynak tüketimi azaltımı konuları üzerinde durmuştur. Tekstil atıksuları farklı türde boyar maddeler, organik asit ve tuzlar, inorganik asit ve tuzlar, ağartma maddesi, eser metaller değişken konsantrasyonlarda içerdiği için çevreye ve insanlara zararlıdır. Granüler aktif karbon (GAC), elektro-pıhtılaştırma (EC), ultrasonik arıtma, ileri oksidasyon prosesi (İOP), Ozonlama, membran biyolojik reaktör (MBR) ve sıralı kesikli reaktör (SBR) gibi çeşitli sürdürülebilir atık su arıtmaları teknikleri tekstil atıksuyu arıtma sistemlerinde kullanılmaktadır (Arachchige ve diğ., 2019). Sonuç olarak Arachchige ve diğ., (2019) göre tekstil fabrikasındaki sızıntıları gidermek, makineler çalışmadığında suyu kapatmak, su kullanımını optimize etmek ve üretim adımlarının sayısını azaltmak gibi çeşitli değişiklikler uygulanarak su tüketimi azaltılabilir. Dozlama kontrolü, kimyasal geri kazanım ve yeniden kullanım; kimyasal tüketimini azaltmanın yöntemlerindendir.(Arachchige ve diğ., 2019).

Powar ve diğ. (2021) yaptığı çalışmada reaktif boyalı pamuklu tekstillerin ozon bazlı renk giderme süreci yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD) yapılarak kapıdan kapıya sistem sınırları içerisinde incelemiştir. Ozon bazlı renk giderme sürecinde çevresel etkilerin ana nedeni enerji tüketimi olarak çıkmıştır. Ozon ile arıtma için, ozon üretimi için elektrik ve oksijen oluşumu, çevresel etkiler için önemli katkılara neden olmuştur. Bunun nedeni olarak sıvı oksijen kullanan ve elektrik tüketimini kapsayan ozon jeneratörüyle ozon üretim prosesi verilebilir. Bu çalışma, tekstil işleme ve benzer endüstriler için ozon bazlı arıtma prosesinin endüstriyel ölçekte kullanmanın önünü açmaktadır. Aynı zamanda daha düşük ekolojik etkiye sahip sürdürülebilir ve çevre

dostu alternatifler arayan sanayiciler için teknolojiler düşünmeye ve geliştirmeye teşvik etmektedir (Powar ve diğ. (2021) .

Pesqueira ve diğ., (2020) organik mikrokirleticilerin (karbamazepin, diklofenak ve sülfametoksazol) güneş enerjisi kullanarak yapılan 5 farklı ileri oksidasyon yöntemi (foto-Fenton,  $\text{TiO}_2\text{-P25/ H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{TiO}_2\text{-P25}$ , solar/ $\text{H}_2\text{O}_2$ , solar) ile artırılması sonucu oluşan çevresel etkileri incelemiştir. Pesqueira ve diğ., (2020) çalışmasında bahsettiği güneş enerjisiyle çalışan ileri oksidasyon prosesleri, İspanya'da pilot ölçekli bir bileşik parabolik toplayıcı (CPC) fotoreaktöründe gerçekleştirilmiştir (Moreira ve diğ., 2018; Rodríguez-Chuecave diğ., 2014). Pesqueira ve diğ., (2020) ait YDD çalışmasının fonksiyonel birimi “5  $\mu\text{g/L}$  karbamazepin, diklofenak ve sülfametoksazol içeren kentsel ikincil atıksuyun 1  $\text{m}^3$  artırılması” şeklindedir. SimaPro 9 yazılımını ve Ecoinvent database versiyon 3.0 veritabanı kullanmıştır(Ecoinvent Centre, 2013a; Url-9). Sistem sınırları sadece ileri oksidasyon prosesini içermektedir. Altyapı ve kurulum kaynaklı etkiler sistem sınırına dahil edilmemiştir. Bu YDD çalışmasında 5 farklı ileri oksidasyon yönteminden bahsedilmektedir. Musluk suyunda BPA giderimi çalışmasına en yakın arıtma yöntemi solar/ $\text{H}_2\text{O}_2$  ile ileri oksidasyon yöntemi olduğu için Pesqueira ve diğ., (2020) çalışmasının solar/ $\text{H}_2\text{O}_2$  yöntemi sonucunda ortaya çıkan çevresel etkilerinden aşağıda bahsedilmektedir. Solar/ $\text{H}_2\text{O}_2$  ile 5  $\mu\text{g/L}$  karbamazepin, diklofenak ve sülfametoksazol içeren kentsel ikincil atıksuyun 1  $\text{m}^3$  artırılması sonucunda KIP değeri 2,49E-02 kg  $\text{CO}_2$  eşdeğer olarak hesaplanmıştır.

Ahangarnokolaei ve diğ., tarafından yapılan (2021) yaşam döngüsü çalışmasında direk mavi 71(DM71) boyası içeren tekstil atıksuyu ozonlama ileri oksidasyon yöntemiyle arıtılmaktadır. Bu YDD çalışmasında Simapro 9.1.0.8 yazılımı ve Ecoinvent database v3.3 kullanılmıştır(Ecoinvent Centre, 2016; Url-9). Ecoinvent v3.3 veritabanı, Yaşam Döngüsü Envanterini simüle etmek ve kimyasallar veya enerji üretimi gibi arıtma süreçlerine girdi sağlamak için kullanılmıştır. Çalışmanın fonksiyonel birimi “1 litre arıtılmış boya atıksuyu” olarak belirlenmiştir ve sistem sınırları arıtma tesisi inşaatı, arıtma prosesinin işleyişi ve imha kısmını kapsamaktadır. Yapılan bu çalışmada sürecin tüm yaşam döngüsü değerlendirildiğinden, Simapro yazılımındaki Ecoinvent v3.3 veritabanındaki standart bir senaryoya dayalı olarak, reaktörlerin ömürlerinin sonunda imha edilmesi de düşünülmüştür, inşaat, ozonlama prosesi ve imha sistem sınırları içinde olmakla beraber daha detaylı bilgi için Ahangarnokolaei ve diğ., (2021) çalışması incelenebilir. Yapılan bu YDD çalışmasında ozonlama ile arıtmada sırasıyla

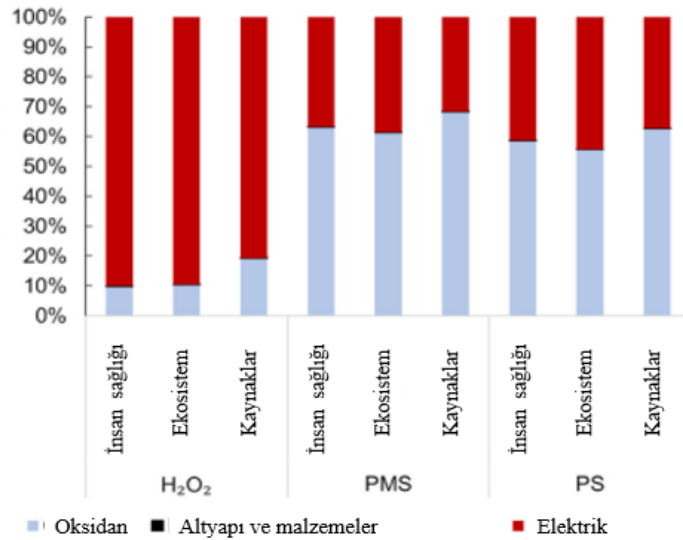
%60,6 ve %39,08 katkı ile yüksek enerji ve oksijen tüketimi nedeniyle 1 L arıtılmış boya atıksu başına 81,35 g CO<sub>2</sub> eşdeğeri salmaktadır. Enerji üretimi ve tüketimi önemli bir CO<sub>2</sub> salınımı kaynağıdır. Ahangarnokolaei ve diğ., (2021) göre oksijen üretimi sırasında CO<sub>2</sub> salınımının yaklaşık %85'i enerji tüketiminden kaynaklanmaktadır. Bu YDD çalışmasına göre ozonlama yüksek KEP değerine sahiptir bunun en önemli nedeni yüksek enerji ve oksijen tüketimi ve atıksu arıtma tesisine oksijen transferi kaynaklıdır. Bu çalışmada KEP, üretim sırasında, inşaat aşamasında ve nihai ürünün hazırlanmasında toprağa verilen metal emisyonları nedeniyle kimyasal ve enerji tüketimi ile yüksek oranda ilişkilidir. Ahangarnokolaei ve diğ., (2021) göre ozonlama, yüksek enerji ve oksijen tüketimi nedeniyle başta KIP ve İTP etkisi olmak üzere tüm etki kategorilerinde yüksek çevresel yüke neden olmaktadır.

Başka bir çalışmada ise Pesqueira ve diğ., (2022) UV-C'nin hidrojen peroksit (HP), peroksimonosülfat (PMS) ve persülfat (PS) gibi farklı oksidanlarla birleştirilmesinin yaşam döngüsü değerlendirmesini yaparak çevresel etkilerini değerlendirmektedir. Yapılan bu YDD çalışmasında fonksiyonel birim olarak “birkaç mikrokirletici içeren 1 m<sup>3</sup> kentsel ikincil atıksuyun arıtılması” olarak belirlenmiştir. Bu çalışmaya ait veriler gerçek ölçekli bir tesisten elde edilmiştir ve bilinmeyen veriler için Ecoivent database versiyon 3 kullanılmıştır(Ecoinvent Centre, 2013a). Pesqueira ve diğ., (2022) arıtma süreçlerini değerlendirmek için ReCiPe metodolojisi kullanılmıştır. Elektrik tüketim verisi için İspanyol şebeke elektrik enerjisi karışımı kullanılmıştır. İspanyol şebeke elektrik enerjisi karışımı doğal gaz(%20,8), nükleer(%20,3), hidroelektrik(%13,4), kömür(%14,3), rüzgar(18,5), petrol(%5,2) ve diğerlerinden kaynaklanmaktadır(Carral ve diğ., 2021) Mikrokirletilerin gideriminde UV-C uygun bir arıtma seçegidir fakat çok fazla elektrik gerektirdiği için çevreye olumsuz etkisi oldukça fazladır (Pesqueira ve diğ., 2022).

Pesqueira ve diğ. (2022) çalışmasında UV-C/HP, UV-C/PMS ve UV-C/PS ileri oksidasyon yöntemlerindeki yardımcı kimyasalların çevresel etkilerini kıyaslayabilmek adına UV-C/HP yönteminde 0,50 milimolar HP ve 18 saniye UV-C; UV-C/PMS yönteminde 0,50 milimolar PMS ve 18 saniye UV-C; son olarak UV-C/PS yönteminde 0,50 milimolar PS ve 18 saniye UV-C şeklinde uygulamıştır. Pesqueira ve diğ. (2022) çalışmasında bu 3 farklı yöntem, kentsel ikincil atıksudan mikrokirletici giderim verimi, insan sağlığına etkisi, ekosisteme etkisi ve kaynaklara etkisi olarak dört farklı açıdan incelenmiştir. Pesqueira ve diğ. (2022) sonuçları UV-C/HP

yönteminde 0,50 milimolar HP ve 18 saniye UV-C; UV-C/PMS yönteminde 0,50 milimolar PMS ve 18 saniye UV-C; son olarak UV-C/PS yönteminde 0,50 milimolar PS ve 18 saniye UV-C arıtma sistemlerini kıyaslandığında elde ettikleri sonuç aşağıdaki gibidir. Şekil 2.7'ye göre persülfat üretimi, HP'nin aksine, çevresel ayak izine elektrik kullanımından daha fazla katkıda bulunur. Bu nedenle, sülfat bazlı oksidanlar kullanıldığında daha düşük işlem süreleri düşünülse bile, bunlar çalışılan koşullarda HP kullanıldığında ortaya çıkacak çevresel etki değerinden daha büyük bir etkiye neden olacaktır (Pesqueira ve diğ., 2022). Şekil 2.7'ye göre HP, kaynaklar, insan sağlığı ve çevresel etkiler açısından en iyi seçenektir (Pesqueira ve diğ., 2022).

Pesqueira ve diğ., (2022) çalışmasında UV-C/HP yönteminde 0,50 milimolar HP ve 18 saniye UV-C; UV-C/PMS yönteminde 0,50 milimolar PMS ve 18 saniye UV-C; son olarak UV-C/PS yönteminde 0,50 milimolar PS ve 18 saniye UV-C arıtma yöntemleri için elektrik önemli bir parametredir bu nedenle daha temiz enerji kaynakları tercih edilerek neredeyse tüm çevresel etki kategorilerinin değerleri azaltılabilir.



**Şekil 2. 7:** ReCiPe metodolojisine göre oksidan, altyapı ve malzemeler ve elektrik katkısının gösterimi (Pesqueira ve diğ., 2022).

### 3. MATERYAL VE METOT

Yapılan bu Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) çalışması ISO 14040 ve 14044 serisi (ISO, 2006a; 2006b) uyarınca gerçekleştirilmiştir. Yaşam döngüsü değerlendirmesi için GaBi v.7.3 yazılımı (Sphera, 2017) ile Ecoinvent veri tabanı v.3.1 (Ecoinvent, 2013) kullanılmıştır. Çalışmada CML (Çevre Bilimi Merkezi – Leiden Üniversitesi, Hollanda) (Guinee, 2001) etki değerlendirme metodu kullanılmış olup etki kategorileri çalışmanın amacı ve kapsamı doğrultusunda, Abiyotik Tüketim Potansiyeli element (ATP-element), Abiyotik Tüketim Potansiyeli fosil (ATP-fosil), Asidifikasyon Potansiyeli (AP), Ötrofikasyon Potansiyeli (ÖP), Tatlı Su Canlılarına Ekotoksisite Potansiyeli (TSEP), Küresel Isınma Potansiyeli (KIP), Deniz Sucul Ekotoksisite Potansiyeli (DSEP), İnsana Toksisite Potansiyeli (İTP), Ozon Tabakası İncelmesi Potansiyeli (OTİP), Fotokimyasal Ozon Oluşumu Potansiyeli (FOOP) ve Karasal Ekotoksisite Potansiyeli (KEP) olarak belirlenmiştir.

#### 3.1 Musluk Suyundan BPA Giderimi

Musluk suyundan BPA giderimi deneyinde, Öztürk ve diğ., (2021) musluk suyundan Bifenol A (BPA) giderimi amaçlanmıştır. Deney yöntemi İOP ile kullanılan kimyasalların oksitlenmesi ve oluşan radikalın kirlletici maddeye bağlanarak kirliliğin ortadan kalması temeline dayanmaktadır. BPA gibi endokrin bozucu kimyasalların gideriminde ultraviyole ışınlaması (UV) ile yapılan ileri oksidasyon prosesi en etkin yöntemlerden biridir (Zhang & Zhou, 2008).

Öztürk ve diğ., (2021) tarafından daha önce yapılan bu deneyde 500 ml musluk suyunda bulunan 2 mg/l BPA kimyasal maddesinin %100 giderimi gerçekleştirilmiştir. Deneyde %100 BPA giderimi için sırasıyla sodyum persülfat (SPS), sodyum perkarbonat (SPC) ve hidrojen peroksit (HP) kimyasalları 3 farklı konsantrasyonda kullanılmakta ve her bir kimyasal konsantrasyonu için ultraviyole kısa dalga boyu (UV-C) kullanılmasına bağlı olarak elektrik tüketim miktarı kaydedilmiştir. İleri seviye oksidasyon ile kimyasallar yükseltgenerek BPA maddesi musluk suyundan arıtılmaktadır. Musluk suyundan BPA giderimi çalışmasında 3 farklı kimyasalın 3 farklı dozu için toplamda 9 defa tekrarlanmıştır. Çizelge 3.1’de görüldüğü gibi bu

kimyasalların türüne ve konsantrasyonuna bağlı sistemde kullanılan enerji miktarı değişim göstermektedir (Öztürk ve diğ., 2021).

### 3.1.1 Deney Sistemleri

Sistem sınırları içinde yer alan girdiler her bir deney seti için aşağıda açıklanmıştır. Öztürk ve diğ., (2021) tarafından yapılan musluk suyundan BPA giderimi deneyinde, BPA arıtımı için sırasıyla SPS, SPC ve HP kimyasalı kullanılarak ve her bir kimyasal madde konsantrasyonu için kullanılan UV-C için geçen süreye bağlı elektrik tüketimi kaydedilmiştir. Çizelge 3.1’de SPS, SPC ve HP için kullanılan kimyasal dozları ve elektrik tüketimi verileri %100 BPA giderimi için sunulmuştur (Öztürk ve diğ., 2021). Bu tez çalışmasında yapılan çevresel sürdürülebilirlik analizi ile çevreye etkisi minimum olan arıtma seçeneğinin bulunması hedeflenmektedir.

**Çizelge 3. 1:** Musluk Suyundan BPA Giderimi Verileri (Öztürk ve diğ., 2021).

| Giderim Yöntemi | Deney kodu | Kimyasal madde konsantrasyonu (mg/L) | Süre (dk) | Elektrik tüketimi (kWh/m <sup>3</sup> ) |
|-----------------|------------|--------------------------------------|-----------|-----------------------------------------|
| SPS/ UV         | BPA 1      | 11,9                                 | 20        | 0,440                                   |
|                 | BPA 2      | 23,8                                 | 7         | 0,154                                   |
|                 | BPA 3      | 47,6                                 | 5         | 0,110                                   |
| SPC /UV         | BPA 4      | 7,85                                 | 40        | 0,880                                   |
|                 | BPA 5      | 15,7                                 | 20        | 0,440                                   |
|                 | BPA 6      | 31,4                                 | 10        | 0,220                                   |
| HP/UV           | BPA 7      | 1,7                                  | 40        | 0,880                                   |
|                 | BPA 8      | 3,4                                  | 20        | 0,440                                   |
|                 | BPA 9      | 6,8                                  | 7         | 0,154                                   |

### 3.1.2 Musluk Suyundan BPA Giderimi YDD Çalışması

#### 3.1.2.1 Amaç ve Kapsam

Musluk suyundan BPA giderimi deneyi için yapılan YDD çalışmasının amacı musluk suyunda bulunan BPA kimyasalının SPS/ UV-C, SPC/ UV-C ve HP/ UV-C ileri

oksidasyon yöntemleri ile gerçekleştirilen laboratuvar ölçekli arıtılabilirlik çalışmalarına dayalı çevresel etkilerin değerlendirilmesi ve uygulanan farklı yöntemler arasında çevresel açıdan en sürdürülebilir olanın saptanmasıdır.

Bu YDD çalışmasında SPS/ UV-C, SPC/ UV-C ve HP/ UV-C oksidasyon yöntemiyle musluk suyundan BPA arıtımı işlemlerindeki enerji tüketimi, kimyasal kullanımı ve arıtmada kullanılan kimyasalların ulaşımı üzerine yoğunlaşmaktadır. BPA içeren musluk suyu üretim prosesi ve BPA giderilmiş musluk suyu (arıtılmış su) çıktısı kapsam dışı bırakılmıştır.

Bu tez çalışmasında SPS/ UV-C, SPC/ UV-C ve HP/ UV-C yöntemlerinin BPA gideriminde uygulanması sonucunda açığa çıkan çevresel etkiler değerlendirilmiştir. BPA gideriminde kullanılan musluk suyu numunesi Kâğıthane İçme Suyu Arıtma Tesisi'nde arıtılmış musluk suyu kabul edilmiştir. Musluk suyundan BPA gideriminde ileri oksidasyonda kullanılan hammaddelerin Çin'den temin edildiği varsayılmıştır. Hammadde tedarik süreci Çin'den başlayarak Kâğıthane İçme Suyu Arıtma Tesisi'nde son bulduğu varsayımına göre ulaşım kaynaklı çevresel etkiler hesaplanmıştır. İleri oksidasyon prosesinde kullanılan elektrik için Türkiye 2019 elektrik şebekesi kaynak yüzde dağılımı kullanılmıştır (Url-10).

### **3.1.2.2 Fonksiyonel Birim**

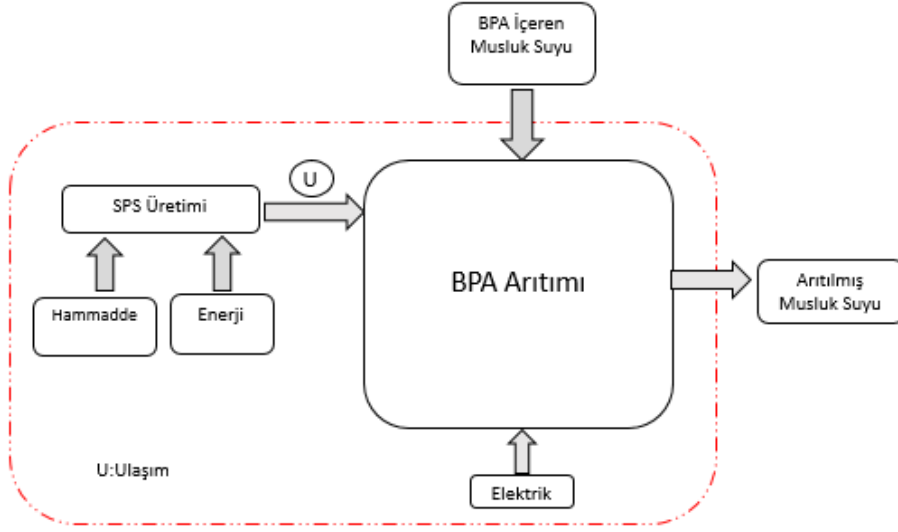
Bu çalışmada fonksiyonel birim olarak “1 m<sup>3</sup> ileri oksidasyon yöntemi ile arıtılmış musluk suyu” seçilmiş olup tüm çevresel etkiler bu fonksiyonel birim üzerinden değerlendirilmiştir. 1 m<sup>3</sup> ileri oksidasyon yöntemi ile arıtılmış musluk suyunun arıtımı için gereken girdiler kullanılmıştır. Böylece laboratuvar ölçekli atık su arıtımında kullanılan farklı kimyasallar ve tüketilen enerji düzeyleri nedeniyle oluşan çevresel etkiler ortaya konulmuştur.

### **3.1.2.3 Sistem Sınırları**

#### **UVC/SPS**

Şekil 3.1 ile sodyum persülfat (SPS) kimyasalı ve UV-C kullanılarak gerçekleştirilen laboratuvar ölçekli arıtmada yaşam döngüsü değerlendirmesi sistem sınırları belirtilmektedir. Laboratuvar çalışmaları esnasında kullanılan kimyasalların üretimi ve tesise taşınması, çalışmada kullanılan enerji tüketimleri sistem sınırları içerisindedir. Sodyum persülfat kimyasallarının hammadde eldesinden başlayarak musluk suyundan BPA kimyasal maddesinin arıtılmasına kadar olan süreç sistem kapsamı içerisinde

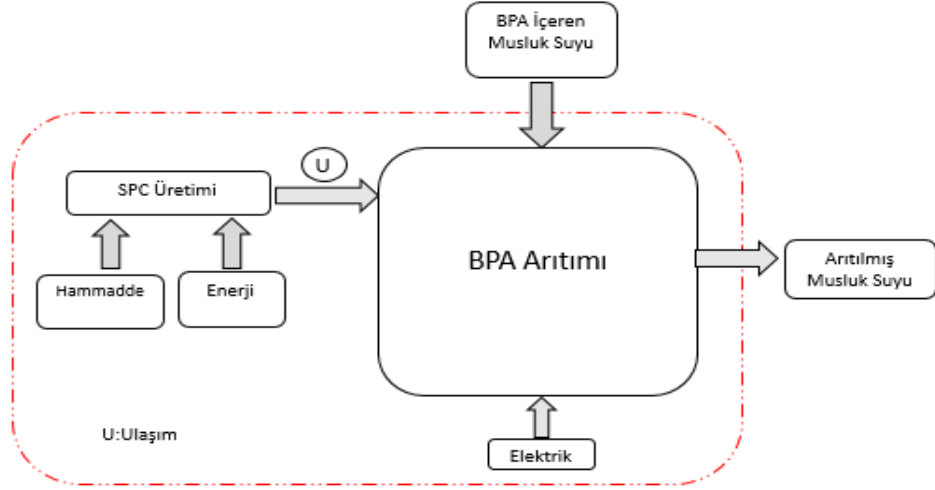
değerlendirilmiştir. BPA içeren musluk suyu üretimi ve BPA'dan ileri oksidasyon yöntemi ile arıtılan musluk suyu sistem sınırı dışında bırakılmıştır.



**Şekil 3. 1:** UV-C/SPS yöntemiyle musluk suyundan BPA giderimi için YDD Sistem Sınırları

### UVC/SPC

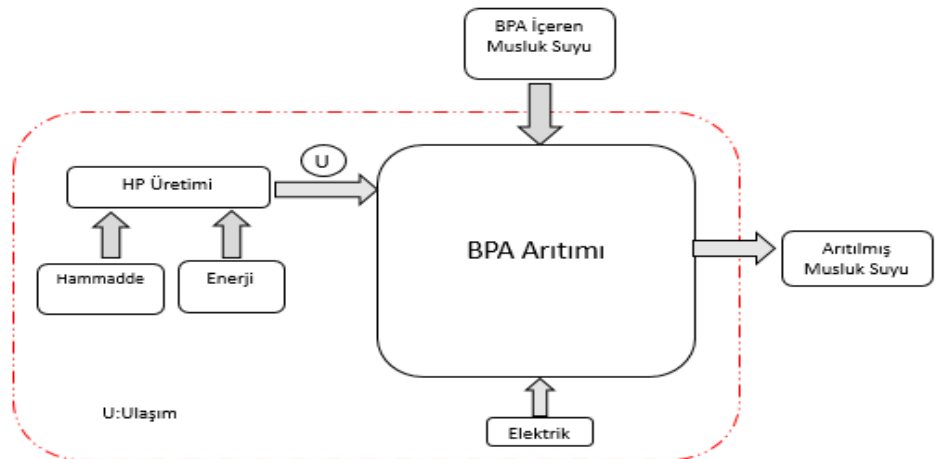
Sodyum perkarbonat (SPC) kimyasalı ve UV-C kullanılarak gerçekleştirilen laboratuvar ölçekli ileri oksidasyon yöntemi ile BPA kimyasal maddesinin arıtılmasının yaşam döngüsü değerlendirmesi sistem sınırları Şekil 3.2 ile gösterilmektedir. Laboratuvar çalışmaları esnasında kullanılan kimyasalların üretimi ve tesise taşınması, çalışmada kullanılan enerji tüketimleri sistem sınırları içerisinde yer almaktadır. Sodyum perkarbonat kimyasallarının hammadde eldesinden başlayarak musluk suyundan BPA kimyasal maddesinin arıtılmasına kadar olan süreç sistem kapsamı içerisinde değerlendirilmiştir. BPA içeren musluk suyu üretimi ve BPA'dan ileri oksidasyon yöntemi ile arıtılan musluk suyu sistem sınırı dışında bırakılmıştır.



**Şekil 3. 2** UV-C/SPC yöntemiyle musluk suyundan BPA giderimi için YDD Sistem Sınırları.

### UV-C/HP

Hidrojen peroksit (HP) kimyasalı ve UV-C kullanılarak gerçekleştirilen laboratuvar ölçekli ileri oksidasyon yöntemi ile BPA kimyasal maddesinin arıtılmasının yaşam döngüsü değerlendirmesi sistem sınırları Şekil 3.3 ile gösterilmektedir. Laboratuvar çalışmaları esnasında kullanılan kimyasalların üretimi ve tesise taşınması, çalışmada kullanılan enerji tüketimleri sistem sınırları içerisinde yer almaktadır. HP kimyasallarının hammadde eldesinden başlayarak musluk suyundan BPA kimyasal maddesinin arıtılmasına kadar olan süreç sistem kapsamı içerisinde değerlendirilmiştir. BPA içeren musluk suyu üretimi ve BPA'dan ileri oksidasyon yöntemi ile arıtılan musluk suyu sistem sınırı dışında bırakılmıştır.



**Şekil 3. 3:** UV-C/HP yöntemiyle musluk suyundan BPA giderimi için YDD Sistem Sınırları.

### 3.1.2.4 Envanter Analizi

Yaşam döngüsü değerlendirmesinde en önemli basamaklardan biri yaşam döngüsü modeli için verinin toplanması ve gerekli hesaplamaların yapılmasıdır. Laboratuvar ölçekli çalışmalarda hassas, doğru ve güvenilir ölçümler yapılmaktadır. Veri temini araştırmacılar için hassasiyet isteyen ve aynı zamanda çeşitli zorluklarla karşılaşılan yoğun bir süreçtir. Daha önceden yapılmış olan ileri oksidasyon yöntemi ile musluk suyundan BPA giderimi çalışmasından elde edilen veriler laboratuvarda alınan ölçümlerle elde edilmiştir (Öztürk ve diğ., 2021).

Musluk suyundan BPA giderimi çalışmasında kullanılan envanterler için Ecoinvent 3.1 (Ecoinvent Database, 2013) verileri baz alınmıştır. Çizelge 3.2’de sistem sınırlarında yer alan süreçler ve detaylı olarak seçilmiş olan veri türlerinin bilgileri verilmiştir. Türkiye 2019 elektrik üretimi (Url-10) referans alınarak ve Ecoinvent veritabanı (Ecoinvent Database, 2013) kullanılarak Türkiye’deki şebeke elektriği için model oluşturulmuştur. Çalışmada kullanılan Türkiye’nin elektrik üretimi, doğal gaz (%19), linyit (%15), taşkömürü (%22), hidrolik (%29) ve diğerlerinden(güneş, rüzgar, jeotermal) oluşmaktadır (Url-10).

**Çizelge 3. 2:** GaBi Yaşam Döngüsü Modelinde Seçilen Süreçler(Ecoinvent Database, 2013)

| Süreç              | Gabi Modelinde Seçilen Süreç                                         |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Elektrik Enerjisi  | TR*: Elektrik 2019 Düşük Gerilim Ecoinvent                           |
| Sodyum Persülfat   | GLO*: Sodyum Persülfat Pazarı Ecoinvent                              |
| Sodyum Perkarbonat | RoW*: Sodyum Perkarbonat Üretimi, Toz Ecoinvent                      |
| Hidrojen Peroksit  | RoW: Hidrojen Peroksit Üretimi, %50 Çözelti Halindeki Ürün Ecoinvent |
| Nakliye (Kara)     | RoW: 32 Metrik Ton Üzerinde Taşıma Yapan ve Euro5 Kullanan Kamyon    |
| Nakliye (Deniz)    | GLO: Deniz ve Okyanus Ötesi Gemi Ecoinvent                           |

TR\* : Türkiye’yi temsil eder.

GLO\*: Global faaliyetleri temsil eder. (Global and Represents Activities)

RoW\*: Avrupa dışında kalan kısmı temsil eder. (Rest of the World)

### **Musluk suyundan BPA giderimi için ulaşım verileri**

Deneylerde kullanılan kimyasalın üretim yeri ile numunenin alındığı fabrika arası ele alınarak mesafe ölçümüne bağlı olarak hesaplamalar yapılmıştır. Musluk suyundan BPA gideriminde ileri oksidasyonda kullanılan SPS, SPC ve HP'nin Çin'den temin edildiği ve Kâğıthane İçme Suyu Arıtma Tesisi'ne getirildiği kurgulanmıştır (Url-11). Bu kurguya göre katedilen yol Çizelge 3.3'te görülmektedir.

**Çizelge 3. 3:** Musluk suyundan BPA giderimi için taşıma verileri.

| <b>Deney</b>                          | <b>Kimyasal adı</b> | <b>Ülke</b> | <b>Kara yolu (km)</b> | <b>Deniz yolu(km)</b> |
|---------------------------------------|---------------------|-------------|-----------------------|-----------------------|
| Musluk suyundan BPA giderimi-İstanbul | SPS                 | Çin         | 32                    | 18668                 |
| Musluk suyundan BPA giderimi-İstanbul | SPC                 | Çin         | 32                    | 18668                 |
| Musluk suyundan BPA giderimi-İstanbul | HP                  | Çin         | 32                    | 18668                 |

### **3.2 Ayırık Tekstil Atıksuyundan RB5 Giderimi**

Koba Uçun (t.y) tarafından daha öncesinde yapılan deneyde ayırık akım tekstil atık suyundan %100 Reaktif Siyah 5 (RB5) giderimi söz konusudur. Ayırık akım atıksu Reaktif Siyah 5 (RB5) boyasının kullanıldığı pamuklu ya da selüloz asetat liflerin boyama/yıkama/nötralizasyon işlemlerinden kaynaklanmaktadır. pH'ı 8'e ayarlanan tekstil banyosunda boyama, çok adımlı yıkama ve nötralizasyon işlemleri gerçekleştirilmektedir. Ayırık akım atık suyunu simüle edebilmek için boya banyosu içeriği Çizelge 3.4'deki gibi hazırlanmıştır. Daha sonra ayırık akım atık suyunu simüle

edebilmek için 50 defa seyreltme yapılmıştır (Koba Uçun, t.y; Bilińska ve diğ., 2016; Azbar ve diğ., 2004; Özyıldız ve diğ., 2019).

**Çizelge 3. 4:** Ayrık tekstil atıksuyundan RB5 giderimi deneyinde kullanılan simüle edilmiş reaktif boyama banyosunun içeriği(Koba Uçun, t.y; Bilińska ve diğ., 2016).

| <b>Reaktif Sentetik Boya İçindekiler</b>         | <b>Konsantrasyonlar(g/L)</b> |
|--------------------------------------------------|------------------------------|
| Reaktif Siyah 5 (boya)                           | 1                            |
| Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (alkali reaktif) | 15                           |
| NaCl (elektrolit)                                | 50                           |

Koba Uçun (t.y) tarafından daha önce yapılan deneyde ayrık tekstil atıksuyunda bulunan 20 mg/l RB5 kimyasal maddesinin %100 giderimi gerçekleştirilmiştir.Deney koşullarına ilişkin veriler Çizelge 3.5’de özetlenmektedir.

**Çizelge 3. 5:** Ayrık tekstil atıksuyundan RB5 giderimi deneyinin çalışma koşulları(Koba Uçun, t.y; Bilińska ve diğ., 2016).

|                            |                           |
|----------------------------|---------------------------|
| <b>C<sub>o</sub></b>       | <b>20 mg/L</b>            |
| <b>TOC<sub>o</sub></b>     | <b>5.25 mg/L</b>          |
| <b>UV-C, I<sub>o</sub></b> | <b>1450 I<sub>x</sub></b> |
| <b>V</b>                   | <b>500 mL</b>             |
| <b>pH<sub>o</sub></b>      | <b>8</b>                  |

### 3.2.1 Deney Sistemleri

Koba Uçun (Basılmamış Tez Çalışması) tarafından yapılan deneyde RB5 arıtımı için sırasıyla SPS ve SPC kimyasalı kullanılmaktadır. 7 farklı deney düzeneğinde her bir kimyasalın adı, kimyasalın kullanım konsantrasyonu ve kullanılan UV-C için geçen süreye bağlı elektrik tüketimi kaydedilmiştir. Çizelge 3.6’da SPS ve SPC kimyasalları için kullanılan kimyasal dozları ve elektrik tüketimi sayısal verileri %100 RB5 giderimi için verilmektedir (Koba Uçun, Basılmamış Tez Çalışması). Bu çalışmada

yaşam döngüsü çevresel etki değerlendirmesi ile çevreye etkisi minimum olan arıtma seçeneğinin bulunması hedeflenmektedir.

**Çizelge 3. 6:** Ayırık tekstil atıksuyundan RB5 giderimi verileri(Koba Uçun, Basılmamış Tez Çalışması).

| <b>Giderim Yöntemi</b> | <b>Deney Kodu</b> | <b>Kimyasal madde konsantrasyonu (mg/L)</b> | <b>Süre (dk)</b> | <b>Elektrik tüketimi (kWh /m<sup>3</sup>)</b> |
|------------------------|-------------------|---------------------------------------------|------------------|-----------------------------------------------|
| <b>SPS/ UV</b>         | RB5 1             | 35,7                                        | 60               | 1,340                                         |
|                        | RB5 2             | 95,2                                        | 30               | 0,670                                         |
|                        | RB5 3             | 238                                         | 10               | 0,223                                         |
| <b>SPC /UV</b>         | RB5 4             | 39,25                                       | 60               | 1,340                                         |
|                        | RB5 5             | 78,5                                        | 30               | 0,670                                         |
|                        | RB5 6             | 157                                         | 20               | 0,447                                         |
|                        | RB5 7             | 235,5                                       | 15               | 0,335                                         |

### 3.2.2 Ayırık Tekstil Atıksuyundan RB5 Giderimi YDD Çalışması

#### 3.2.2.1 Amaç ve Kapsam

Ayırık tekstil atıksuyundan RB5 giderimi deneyi için yapılan YDD çalışmasının amacı ayırık tekstil atıksuyunda bulunan RB5 boyasının SPS/UV-C ve SPC/UV-C ileri oksidasyon yöntemleri ile laboratuvar ölçekli arıtılabilirlik çalışmalarına dayalı çevresel etkilerin değerlendirilmesi ve uygulanan farklı yöntemler arasında çevresel açıdan en sürdürülebilir olanın saptanmasıdır.

Bu YDD çalışmasında SPS/UV-C ve SPC/UV-C oksidasyon yöntemiyle ayırık tekstil atıksuyundan RB5 arıtımı işlemlerindeki elektrik tüketimi, kimyasal kullanımı ve arıtmada kullanılan kimyasalların ulaşımı üzerine yoğunlaşmaktadır. RB5 içeren ayırık tekstil atıksuyu üretim prosesi ve RB5 giderilmiş ayırık tekstil atıksuyu (arıtılmış atıksu) çıktısı sistem sınırları dışında bırakılmıştır.

SPS/UV-C ve SPC/UV-C yöntemlerinin RB5 gideriminde uygulanması sonucunda açığa çıkan çevresel etkiler değerlendirilmiştir. RB5 içeren ayırık tekstil atıksuyu

numunesi Çorlu’da bulunan tekstil endüstrisinin ayrık akımından alınmış kabul edilmiştir. Ayrık tekstil atıksuyundan RB5 giderimi çalışmasında ileri oksidasyonda kullanılan hammaddelerin Çin’den temin edildiği varsayılmıştır. Hammadde tedarik süreci Çin’den başlayarak Çorlu’da bulunan tekstil endüstrisinde son bulunduğu varsayımına göre ulaşım kaynaklı çevresel etkiler hesaplanmıştır. İleri oksidasyon prosesinde kullanılan elektrik için Türkiye 2019 elektrik şebeki modellemesi kullanılmıştır(Url-10).

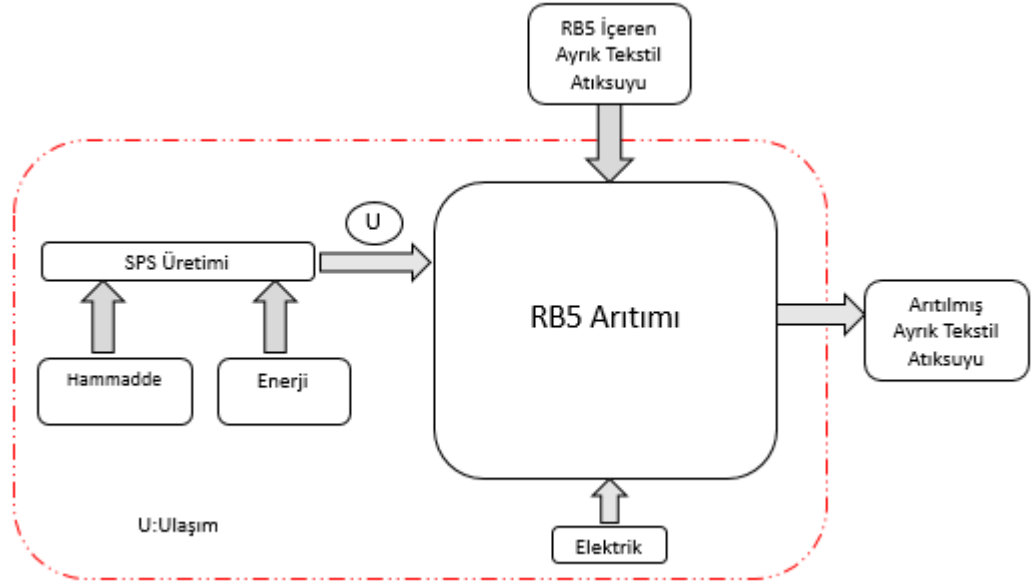
### **3.2.2.2 Fonksiyonel Birim**

Ayrık tekstil atıksuyundan RB5 giderimi çalışmasında fonksiyonel birim olarak “1 m<sup>3</sup> ileri oksidasyon yöntemi ile arıtılmış ayrık tekstil atıksuyu” seçilmiş olup tüm çevresel etkiler bu fonksiyonel birim üzerinden değerlendirilmiştir. 1 m<sup>3</sup> ileri oksidasyon yöntemi ile arıtılmış ayrık tekstil atıksuyunun arıtımı için gereken girdiler kullanılmıştır. Böylece laboratuvar ölçekli atıksu arıtımında kullanılan farklı kimyasallar ve tüketilen enerji düzeyleri nedeniyle oluşan çevresel etkiler ortaya konulmuştur.

### **3.2.2.3 Sistem Sınırları**

#### **UVC/SPS**

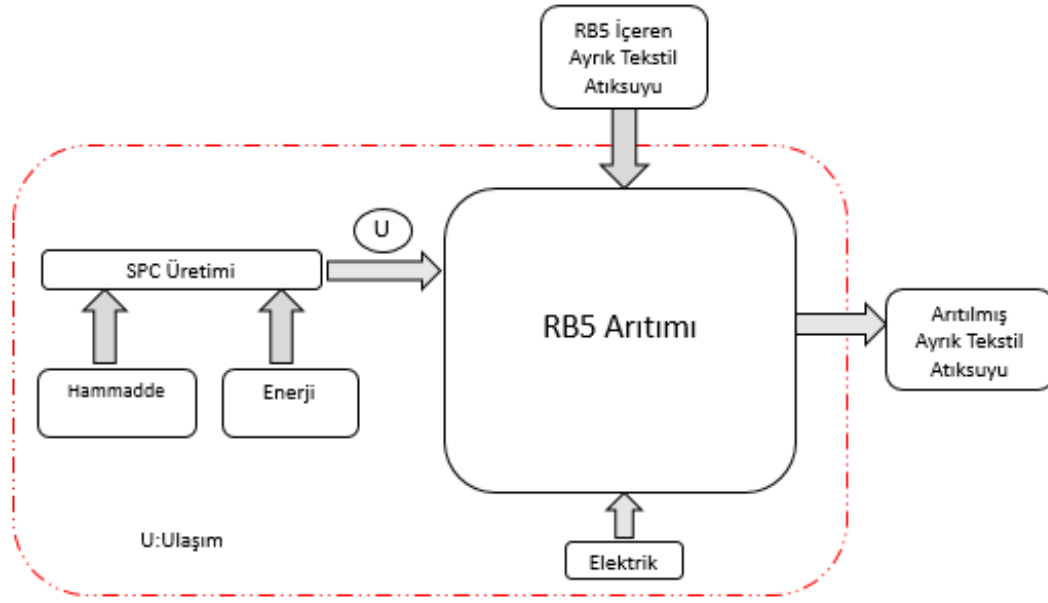
Ayrık tekstil atıksuyundan RB5 giderimi için ileri oksidasyon yönteminde yardımcı madde olarak sodyum persülfat (SPS) kimyasalı ve UV-C kullanılarak gerçekleştirilen laboratuvar ölçekli arıtma çalışmasının YDD sistem sınırları Şekil 3.4’de belirtilmiştir. Laboratuvar çalışmaları esnasında kullanılan kimyasalların üretimi ve tesise taşınması, çalışmada kullanılan enerji tüketimleri sistem sınırları içerisindedir. Sodyum persülfat kimyasallarının hammadde eldesinden başlayarak ayrık tekstil atıksuyun içindeki Reaktif Siyah 5 (RB5) kimyasal maddesinin arıtılmasına kadar olan süreç sistem kapsamı içerisinde değerlendirilmiştir. RB5 içeren ayrık tekstil atıksuyu üretimi ve RB5 maddesinden ileri oksidasyon yöntemi ile arıtılan ayrık tekstil atıksuyu sistem sınırı dışında bırakılmıştır.



**Şekil 3. 4:** UV-C/SPS yöntemiyle ayık tekstil atıksuyundan RB5 giderimi için YDD Sistem Sınırları.

#### UV-C/SPC

Ayık tekstil atıksuyundan RB5 giderimi için ileri oksidasyon yönteminde yardımcı madde olarak sodyum perkarbonat (SPC) kimyasalı ve UV-C kullanılarak gerçekleştirilen laboratuvar ölçekli arıtma çalışmasının YDD sistem sınırları Şekil 3.5’de belirtilmiştir. Laboratuvar çalışmaları esnasında kullanılan kimyasalların üretimi ve tesise taşınması, çalışmada kullanılan enerji tüketimleri sistem sınırları içerisindedir. Sodyum perkarbonat kimyasallarının hammadde eldesinden başlayarak ayık tekstil atıksuyun içindeki Reaktif Siyah 5 (RB5) kimyasal maddesinin arıtılmasına kadar olan süreç sistem kapsamı içerisinde değerlendirilmiştir. RB5 içeren ayık tekstil atıksuyu üretimi ve RB5 maddesinden ileri oksidasyon yöntemi ile arıtılan ayık tekstil atıksuyu sistem sınırı dışında bırakılmıştır.



**Şekil 3. 5:** UV-C/SPC yöntemiyle ayırık tekstil atıksuyundan RB5 giderimi için YDD Sistem Sınırları.

#### 3.2.2.4 Envanter Analizi

Yaşam döngüsü değerlendirmesinde en önemli basamaklardan biri yaşam döngüsü modeli için verinin toplanması ve gerekli hesaplamaların yapılmasıdır. Laboratuvar ölçekli çalışmalarda hassas, doğru ve güvenilir ölçümler yapılmaktadır. Veri temini araştırmacılar için hassasiyet isteyen ve aynı zamanda çeşitli zorluklarla karşılaşılan yoğun bir süreçtir. Daha önceden yapılmış olan ileri oksidasyon ile ayırık tekstil atıksuyundan RB5 giderimi çalışmasında elde edilen veriler laboratuvarda alınan ölçümlerle elde edilmiştir (Koba Uçun, Basılmamış Tez Çalışması).

Ayrık tekstil atıksuyundan RB5 giderimi çalışmasında envanter olarak Ecoinvent 3.1 (Ecoinvent Database, 2013) verileri kullanılmıştır. Çizelge 3.7’de sistem sınırlarında yer alan süreçler ve detaylı olarak seçilmiş olan veri türlerinin bilgileri verilmiştir. Türkiye 2019 elektrik üretimi(Url-10) referans alınarak ve Ecoinvent veritabanı (Ecoinvent Database, 2013) kullanılarak Türkiye’deki şebeke elektriği için model oluşturulmuştur. Çalışmada kullanılan Türkiye’nin elektrik üretimi, doğal gaz (%19), linyit (%15), taşkömürü (%22), hidrolik (%29) ve diğerlerinden(güneş, rüzgar, jeotermal) oluşmaktadır(Url-10).

**Çizelge 3. 7:** GaBi Yaşam Döngüsü Modelinde Seçilen Süreçler(Ecoinvent Database, 2013).

| Süreç              | Gabi Modelinde Seçilen Süreç                                         |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Elektrik Enerjisi  | TR: Elektrik 2019 Düşük Gerilim Ecoinvent                            |
| Sodyum Persülfat   | GLO: Sodyum Persülfat Pazarı Ecoinvent                               |
| Sodyum Perkarbonat | RoW: Sodyum Perkarbonat Üretimi, Toz Ecoinvent                       |
| Hidrojen Peroksit  | RoW: Hidrojen Peroksit Üretimi, %50 Çözelti Halindeki Ürün Ecoinvent |
| Nakliye (Kara)     | RoW: 32 Metrik Ton Üzerinde Taşıma Yapan ve Euro5 Kullanan Kamyon    |
| Nakliye (Deniz)    | GLO: Deniz ve Okyanus Ötesi Gemi Ecoinvent                           |

#### **Ayrık tekstil atıksuyundan RB5 giderimi için ulaşım envanter analizi**

Ayrık tekstil atıksuyundan RB5 gideriminde kullanılan kimyasalın üretim yeri ile numunenin alındığı fabrika arası ele alınarak mesafe ölçümüne bağlı olarak hesaplamalar yapılmıştır. Ayrık tekstil atıksuyundan RB5 giderimi çalışmasında ileri oksidasyon yönteminde kullanılan SPS ve SPC'nin Çin'den temin edildiği ve Çorlu'da bulunan tekstil endüstrisine getirildiği kurgulanmıştır(Url-11). Bu kurguya göre katedilen yol verileri Çizelge 3.8'de görülmektedir.

**Çizelge 3. 8:** Ayrık tekstil atıksuyundan RB5 giderimi için taşıma verileri

| Deney                                           | Kimyasal adı | Ülke | Kara yolu (km) | Deniz yolu(km) |
|-------------------------------------------------|--------------|------|----------------|----------------|
| Ayrık tekstil atıksuyundan RB5 giderimi - Çorlu | SPS          | Çin  | 32             | 18668          |
| Ayrık tekstil atıksuyundan RB5 giderimi - Çorlu | SPC          | Çin  | 32             | 18668          |

### 3.3 Ayırık Tekstil Atıksuyundan RR21 Giderimi

Arslan-Alaton ve Koba Ucu (2021) tarafından yapılan deneyde ayırık tekstil atıksuyundan %100 Reaktif Kırmızı 21 (RR21) giderimi söz konusudur. Ayırık akım atıksu Reaktif Kırmızı 21 (RR21) boyasının kullanıldığı pamuklu ya da selüloz asetat liflerin boyama/yıkama/nötralizasyon işlemlerinden kaynaklanmaktadır. pH'ı 11'e ayarlanan tekstil banyosunda boyama, çok adımlı yıkama ve nötralizasyon işlemleri gerçekleştirilmektedir. Ayırık akım atık suyunu simüle edebilmek için boya banyosu içeriği Çizelge 3.9'daki gibi hazırlanmıştır. Daha sonra ayırık akım atık suyunu simüle edebilmek için 50 defa seyreltme yapılmıştır. Deneyin amacı %100 RR21 giderimi sağlayacak kimyasal madde konsantrasyonunu ve ozon üretim jenaretörü kaynaklı elektrik tüketimini ölçerek optimum deney düzeneğini sağlamaktır. Deneyde ozon (O<sub>3</sub>) ve yardımcı kimyasal madde olarak persülfatlar kullanılmıştır (Arslan-Alaton & Koba Ucu, 2021; Bilińska ve diğ., 2016).

**Çizelge 3. 9:** Ayırık tekstil atıksuyundan RB5 giderimi deneyinde kullanılan simüle edilmiş reaktif boyama banyosunun içeriği (Arslan-Alaton & Koba Ucu, 2021; Bilińska ve diğ., 2016).

| <b>Reaktif Sentetik Boya İçindekiler</b>         | <b>Konsantrasyonlar (g/L)</b> |
|--------------------------------------------------|-------------------------------|
| Reaktif Kırmızı 21 (boya)                        | 1                             |
| Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (alkali reaktif) | 15                            |
| NaCl (elektrolit)                                | 50                            |

Arslan-Alaton ve Koba Ucu'nun (2021) yaptığı bu deneyde ayırık tekstil atıksuyunda bulunan 100 mg/l RR21 kimyasal maddesinin %100 giderimi gerçekleştirilmiştir. Deney koşullarına ilişkin veriler Çizelge 3.10'da özetlenmektedir.

**Çizelge 3. 10:** Ayırık tekstil atıksuyundan RR21 giderimi deneyinin çalışma koşulları (Arslan-Alaton & Koba Ucu, 2021; Bilińska ve diğ., 2016).

|                          |                 |
|--------------------------|-----------------|
| <b>C<sub>0</sub></b>     | <b>100 mg/L</b> |
| <b>TOC<sub>0</sub></b>   | <b>25 mg/L</b>  |
| <b>O<sub>3</sub> doz</b> | <b>72 mg/dk</b> |
| <b>V</b>                 | <b>500 mL</b>   |
| <b>pH<sub>0</sub></b>    | <b>11</b>       |

### 3.3.1 Deney Sistemleri

Ayrık tekstil atıksuyundan RR21 arıtımı için sırasıyla SPS ve SPC kimyasalları farklı konsantrasyonlarda kullanılmakta ve ozon (O<sub>3</sub>) miktarına bağlı elektrik tüketimi kaydedilmiştir (Arslan-Alaton & Koba Uçun, 2021). Çizelge 3.11’de %100 RR21 giderimi için kullanılan kimyasal konsantrasyonu ve elektrik tüketimi sayısal verileri sunulmaktadır. Böylece çevreye etkisi minimum olan arıtma seçeneğinin bulunması hedeflenmektedir(Arslan-Alaton & Koba Uçun, 2021; Bilińska ve diğ, 2016). Ayrık tekstil atıksuyundan RR21 arıtımı aynı deney koşullarında, kullanılan farklı kimyasal konsantrasyonlarında ve buna bağlı farklı elektrik tüketim miktarları sonuçlarını kaydederek 7 defa tekrarlanmıştır(Arslan-Alaton & Koba Uçun, 2021).

**Çizelge 3. 11:** Ayrık Tekstil Atıksuyundan RR21 Giderimi Verileri(Arslan-Alaton & Koba Uçun, 2021).

| Giderim Yöntemi | Deney Kodu | Kimyasal madde konsantrasyonu (mg/L) | Süre (dk) | Elektrik tüketimi (kWh /m <sup>3</sup> ) |
|-----------------|------------|--------------------------------------|-----------|------------------------------------------|
| SPS/ Ozon       | RB21 1     | 0                                    | 1,93      | 1,390                                    |
|                 | RB21 2     | 178,5                                | 2,03      | 1,462                                    |
|                 | RB21 3     | 357                                  | 2,05      | 1,476                                    |
|                 | RB21 4     | 1428                                 | 2,55      | 1,836                                    |
| SPC/ Ozon       | RB21 5     | 117,75                               | 2,57      | 1,850                                    |
|                 | RB21 6     | 235,5                                | 1,55      | 1,116                                    |
|                 | RB21 7     | 942                                  | 3,05      | 2,196                                    |

### 3.3.2 Ayrık Tekstil Atıksuyundan RR21 Giderimi YDD Çalışması

#### 3.3.2.1 Amaç ve Kapsam

Ayrık tekstil atıksuyundan RR21 giderimi deneyi için yapılan YDD çalışmasının amacı ayrık tekstil atıksuyunda bulunan RR21 boyasının SPS/O<sub>3</sub> ve SPC/O<sub>3</sub> ileri oksidasyon yöntemleri ile laboratuvar ölçekli arıtılabilirlik çalışmalarına dayalı

çevresel etkilerin değerlendirilmesi ve uygulanan farklı yöntemler arasında çevresel açıdan en sürdürülebilir olanın saptanmasıdır.

Bu YDD çalışmasında SPS/O<sub>3</sub> ve SPC/O<sub>3</sub> ileri oksidasyon yöntemiyle ayırık tekstil atıksuyundan RB5 arıtımı işlemlerindeki elektrik tüketimi, kimyasal kullanımı ve arıtmada kullanılan kimyasalların ulaşımı üzerine yoğunlaşmaktadır. RR21 içeren ayırık tekstil atıksuyu üretim prosesi ve RR21 giderilmiş ayırık tekstil atıksuyu (arıtılmış su) çıktısı kapsam dışı bırakılmıştır.

SPS/O<sub>3</sub> ve SPC/O<sub>3</sub> yöntemlerinin RR21 gideriminde uygulanması sonucunda açığa çıkan çevresel etkiler değerlendirilmiştir. RR21 içeren ayırık tekstil atıksuyu numunesi Çorlu'da bulunan tekstil endüstrisinin ayırık akımından alınmış kabul edilmiştir. Ayırık tekstil atıksuyundan RR21 giderimi çalışmasında ileri oksidasyonda kullanılan hammaddelerin Çin'den temin edildiği varsayılmıştır. Hammadde tederik süreci Çin'den başlayarak Çorlu'da bulunan tekstil endüstrisinde son bulduğu varsayımına göre ulaşım mesafesi hesaplanmıştır. İleri oksidasyon prosesinde kullanılan elektrik için Türkiye 2019 elektrik şebeki modellemesi kullanılmıştır(Url-10).

### **3.3.2.2 Fonksiyonel Birim**

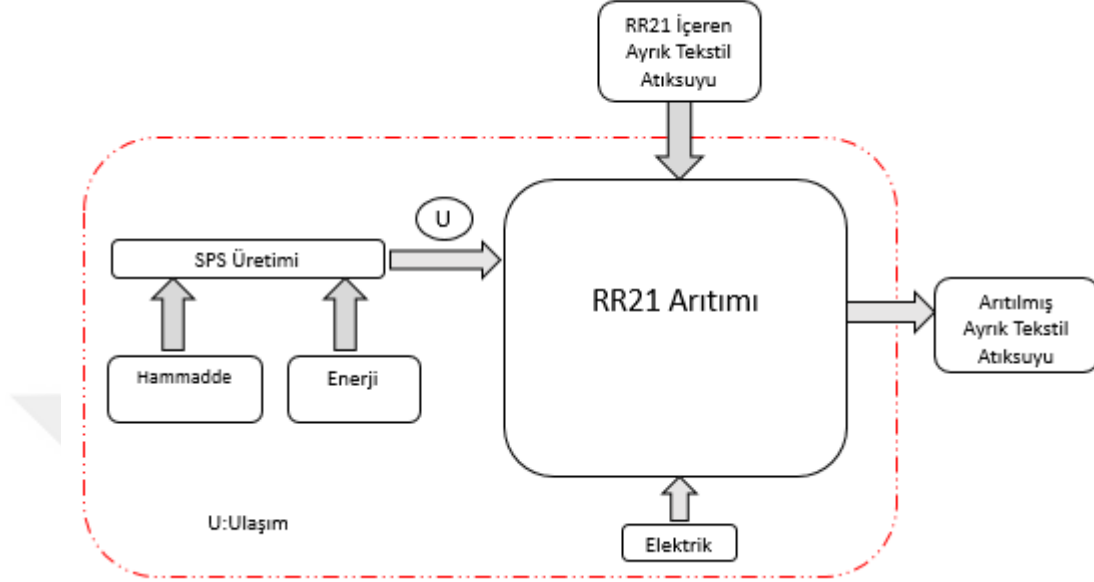
Ayırık tekstil atıksuyundan RR21 giderimi çalışmasında fonksiyonel birim olarak “1 m<sup>3</sup> ileri oksidasyon yöntemi ile arıtılmış ayırık tekstil atıksuyu” seçilmiş olup tüm çevresel etkiler bu fonksiyonel birim üzerinden değerlendirilmiştir. 1 m<sup>3</sup> ileri oksidasyon yöntemi ile arıtılmış ayırık tekstil atıksuyunun arıtımı için gereken girdiler kullanılmıştır. Böylece laboratuvar ölçekli atıksu arıtımında kullanılan farklı kimyasallar ve tüketilen enerji düzeyleri nedeniyle oluşan çevresel etkiler ortaya konulmuştur.

### **3.3.2.3 Sistem Sınırları**

#### **Ozon/SPS**

Ayırık tekstil atıksuyundan RR21 giderimi için ileri oksidasyon yönteminde yardımcı madde olarak sodyum persülfat (SPS) kimyasalı ve ozon kullanılarak gerçekleştirilen laboratuvar ölçekli arıtma çalışmasının YDD sistem sınırları Şekil 3.6'da belirtilmiştir. Laboratuvar çalışmaları esnasında kullanılan kimyasalların üretimi ve tesise taşınması, çalışmada kullanılan O<sub>3</sub> üretimi için kullanılan elektrik tüketimleri sistem sınırları içerisindedir. Sodyum persülfat kimyasallarının hammadde eldesinden başlayarak ayırık tekstil atıksuyun içindeki RR21 kimyasal maddesinin arıtılmasına kadar olan süreç

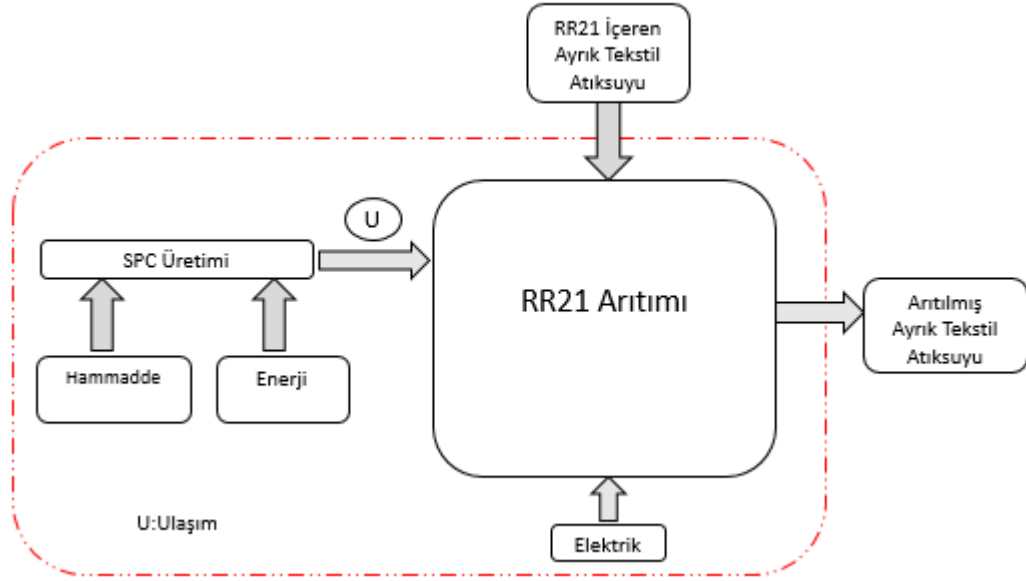
sistem kapsamı içerisinde değerlendirilmiştir. RR21 içeren ayırık tekstil atıksuyu üretimi ve RR21 maddesinden ileri oksidasyon yöntemi ile arıtılan ayırık tekstil atıksuyu sistem sınırı dışında bırakılmıştır.



**Şekil 3. 6:** O<sub>3</sub>/SPS yöntemi ile ayırık tekstil atıksuyundan RR21 giderimi için YDD Sistem Sınırları.

### **Ozon/SPC**

Ayrık tekstil atıksuyundan RR21 giderimi için ileri oksidasyon yönteminde yardımcı madde olarak sodyum perkarbonat (SPC) kimyasalı ve ozon kullanılarak laboratuvar ölçekli arıtma çalışmasının YDD sistem sınırları Şekil 3.7’de belirtilmiştir. Laboratuvar çalışmaları esnasında kullanılan kimyasalların üretimi ve tesise taşınması, O<sub>3</sub> üretimi için kullanılan elektrik tüketimleri sistem sınırları içerisinde yer almaktadır. SPC kimyasallarının hammadde eldesinden başlayarak ayırık tekstil atıksuyun içindeki RR21 kimyasal maddesinin arıtılmasına kadar olan süreç sistem kapsamı içerisinde değerlendirilmiştir. RR21 içeren ayırık tekstil atıksuyu üretimi ve RR21 maddesinden ileri oksidasyon yöntemi ile arıtılan ayırık tekstil atıksuyu sistem sınırı dışında bırakılmıştır.



**Şekil 3. 7:** O<sub>3</sub>/SPC yöntemi ile ayırık tekstil atıksuyundan RR21 giderimi için YDD Sistem Sınırları.

#### 3.3.2.4 Envanter Analizi

Yaşam döngüsü değerlendirmesinde en önemli basamaklardan biri yaşam döngüsü modeli için verinin toplanması ve gerekli hesaplamaların yapılmasıdır. Laboratuvar ölçekli çalışmalarda hassas, doğru ve güvenilir ölçümler yapılmaktadır. Veri temini araştırmacılar için hassasiyet isteyen ve aynı zamanda çeşitli zorluklarla karşılaşılan yoğun bir süreçtir. Daha önceden yapılmış olan ileri oksidasyon ile ayırık tekstil atıksuyundan RR21 giderimi çalışmasında elde edilen veriler laboratuvarında alınan ölçümlerle elde edilmiştir(Arslan-Alaton & Koba Ucu, 2021)

Ayrık tekstil atıksuyundan RR21 giderimi çalışmasında kullanılan envanterler için Ecoinvent 3.1 (Ecoinvent Database, 2013) verileri referans alınmıştır. Çizelge 3.12’de sistem sınırlarında yer alan süreçler ve detaylı olarak seçilmiş olan veri türlerinin bilgileri verilmiştir. Türkiye 2019 elektrik üretimi(Url-10) referans alınarak ve Ecoinvent veritabanı (Ecoinvent Database, 2013) kullanılarak Türkiye’deki şebeke elektriği için model oluşturulmuştur. Çalışmada kullanılan Türkiye’nin enerji üretimi, doğal gaz (%19), linyit (%15), taşkömürü (%22), hidrolik (%29) ve diğerlerinden(güneş, rüzgar, jeotermal) oluşmaktadır(Url-10).

**Çizelge 3. 12:** GaBi Yaşam Döngüsü Modelinde Seçilen Süreçler(Ecoinvent Database, 2013).

| Süreç              | Gabi Modelinde Seçilen Süreç                                         |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Elektrik Enerjisi  | TR: Elektrik 2019 Düşük Gerilim Ecoinvent                            |
| Sodyum Persülfat   | GLO: Sodyum Persülfat Pazarı Ecoinvent                               |
| Sodyum Perkarbonat | RoW: Sodyum Perkarbonat Üretimi, Toz Ecoinvent                       |
| Hidrojen Peroksit  | RoW: Hidrojen Peroksit Üretimi, %50 Çözelti Halindeki Ürün Ecoinvent |
| Nakliye (Kara)     | RoW: 32 Metrik Ton Üzerinde Taşıma Yapan ve Euro5 Kullanan Kamyon    |
| Nakliye (Deniz)    | GLO: Deniz ve Okyanus Ötesi Gemi Ecoinvent                           |

#### **Ayrık tekstil atıksuyundan RR21 giderimi için ulaşım envanter analizi**

Deneylerde kullanılan kimyasalın üretim yeri ile numunenin alındığı fabrika arası ele alınarak mesafe ölçümüne bağlı olarak hesaplamalar yapılmıştır. Ayrık tekstil atıksuyundan RR21 giderimi çalışmasında ileri oksidasyon yönteminde kullanılan SPS ve SPC'nin Çin'den temin edildiği ve Çorlu'da bulunan tekstil endüstrisine getirildiği kurgulanmıştır(Url-11). Bu kurguya göre katedilen yol verileri Çizelge 3.13'de görülmektedir.

**Çizelge 3. 13:** Ayrık tekstil atıksuyundan RR21 giderimi için taşıma verileri.

| Deney                                            | Kimyasal adı | Ülke | Kara yolu (km) | Deniz yolu(km) |
|--------------------------------------------------|--------------|------|----------------|----------------|
| Ayrık tekstil atıksuyundan RR21 giderimi - Çorlu | SPS          | Çin  | 32             | 18668          |
| Ayrık tekstil atıksuyundan RR21 giderimi – Çorlu | SPC          | Çin  | 32             | 18668          |

### 3.4 Sudan İprodion Giderimi

Montazeri ve diğ., (2020) tarafından öncesinde yapılan deneyde sudan %100 İprodion giderimi söz konusudur. Deneyin amacı optimum kimyasal madde kullanımı ve elektrik tüketimi sağlamaktır.

Montazeri ve diğ., (2020) bu deneyde 500 ml musluk suyunda bulunan 2 mg/l iprodion kimyasal maddesinin %100 giderimi yapılmıştır. Deneyde %100 İprodion giderimi için sodyum persülfat (SPS) kimyasalının 3 farklı konsantrasyonu ve UV-C kullanımına bağlı elektrik tüketimini kaydetmiştir. Deney koşullarına ilişkin veriler Çizelge 3.14’de özetlenmektedir(Montazeri ve diğ., 2020; Bilińska ve diğ., 2016).

**Çizelge 3. 14:** Sudan İprodion giderimi deneyinin çalışma koşulları(Montazeri ve diğ., 2020).

|                            |                  |
|----------------------------|------------------|
| <b>C<sub>o</sub></b>       | <b>2 mg/L</b>    |
| <b>TOC<sub>o</sub></b>     | <b>11,2 mg/L</b> |
| <b>UV-C, I<sub>o</sub></b> | <b>1450 lx</b>   |
| <b>V</b>                   | <b>500 mL</b>    |
| <b>pH<sub>o</sub></b>      | <b>6,8</b>       |

#### 3.4.1 Deney Sistemi

##### 3.4.1.1 UV-C/SPS

Bu deneyde Montazeri ve diğ., (2020) İprodion arıtımı için SPS kimyasalı kullanılmakta ve her bir kimyasal konsantrasyonu için kullanılan UV-C için geçen süreye bağlı elektrik tüketimi kaydedilmiştir. Çizelge 3.15’de SPS için kullanılan kimyasal dozları ve elektrik tüketimi sayısal verileri %100 İprodion giderimi için verilmektedir. Böylece çevreye etkisi minimum olan arıtma seçeneğinin bulunması hedeflenmektedir(Montazeri ve diğ., 2020).

**Çizelge 3. 15:** Sudan İprodion giderimi verileri (Montazeri ve diğ., 2020).

| <b>Giderim Yöntemi</b> | <b>Deney Kodu</b> | <b>Kimyasal madde konsantrasyonu (mg/L)</b> | <b>Süre (dk)</b> | <b>Elektrik tüketimi (kWh /m<sup>3</sup>)</b> |
|------------------------|-------------------|---------------------------------------------|------------------|-----------------------------------------------|
|                        | İprodion 1        | 7,14                                        | 120              | 2,680                                         |
| SPS/ UV                | İprodion 2        | 14,28                                       | 100              | 2,233                                         |
|                        | İprodion 3        | 21,42                                       | 80               | 1,787                                         |

### **3.4.2 Sudan İprodion Giderimi YDD Çalışması**

#### **3.4.2.1 Amaç ve Kapsam**

Sudan İprodion giderimi deneyi için yapılan YDD çalışmasının amacı suda bulunan İprodion kimyasalının SPS/UV-C ileri oksidasyon yöntemleri ile laboratuvar ölçekli arıtılabilirlik çalışmalarına dayalı çevresel etkilerin değerlendirilmesi ve uygulanan farklı yöntemler arasında çevresel açıdan en sürdürülebilir olanın saptanmasıdır.

Bu YDD çalışmasında SPS/UV-C ileri oksidasyon yöntemiyle sudan İprodion arıtımı işlemlerindeki elektrik tüketimi, kimyasal kullanımı ve arıtmada kullanılan kimyasalların ulaşımı üzerine yoğunlaşmaktadır. İprodion içeren suyun üretimi ve İprodion giderilmiş suyun (arıtılmış su) çıktısı sistem sınırları dışında bırakılmıştır.

SPS/ UV-C yöntemlerinin İprodion gideriminde uygulanması sonucunda açığa çıkan çevresel etkiler değerlendirilmiştir. İprodion içeren su numunesi Bursa’da bulunan Dobruca İçme Suyu Arıtma Tesisi’nden alınmış kabul edilmiştir. İprodion giderimi çalışmasında ileri oksidasyonda kullanılan hammaddelerin Çin’den temin edildiği varsayılmıştır. Hammadde tedarik süreci Çin’den başlayarak Bursa’da bulunan bulunan Dobruca İçme Suyu Arıtma Tesisi’nde son bulduğu varsayımına göre hammadde tedarikinden gelen çevresel etkiler hesaplanmıştır. İleri oksidasyon prosesinde kullanılan elektrik için Türkiye 2019 elektrik şebeki modellemesi kullanılmıştır(Url-10).

#### **3.4.2.2 Fonksiyonel Birim**

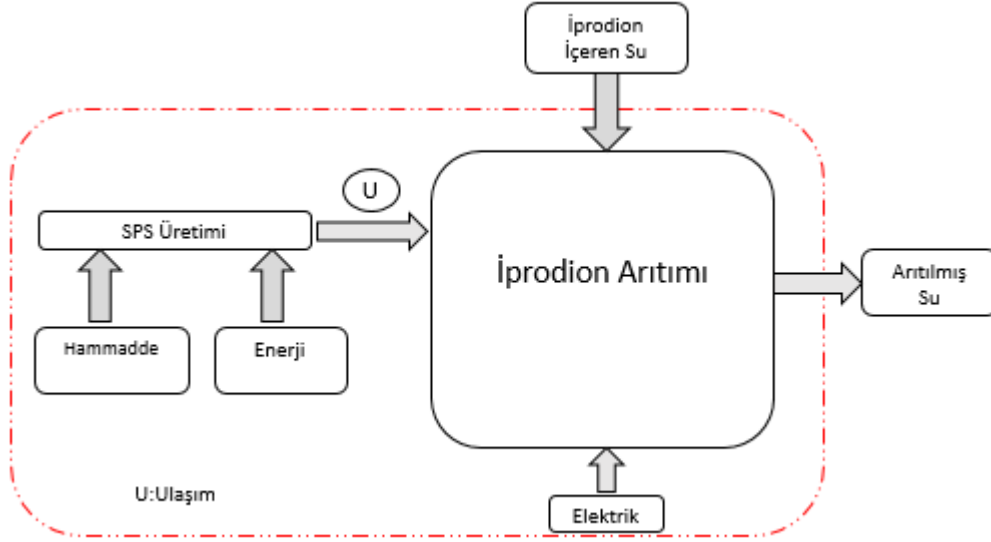
Bu çalışmada fonksiyonel birim olarak “1 m<sup>3</sup> ileri oksidasyon yöntemi ile arıtılmış su” seçilmiş olup tüm çevresel etkiler bu fonksiyonel birim üzerinden değerlendirilmiştir. 1 m<sup>3</sup> ileri oksidasyon yöntemi ile arıtılmış suyun arıtımı için gereken girdiler kullanılmıştır. Böylece laboratuvar ölçekli su arıtımında kullanılan farklı kimyasallar ve tüketilen enerji düzeyleri nedeniyle oluşan çevresel etkiler ortaya konulmuştur.

#### **3.4.2.3 Sistem Sınırları**

##### **UV-C/SPS**

Sodyum persülfat (SPS) kimyasalı ve UV-C kullanılarak gerçekleştirilen laboratuvar ölçekli arıtmada yaşam döngüsü değerlendirmesi sistem sınırları Şekil 3.8 ile belirtilmektedir. Laboratuvar çalışmaları esnasında kullanılan kimyasalların üretimi ve tesise taşınması, çalışmada kullanılan elektrik tüketimleri sistem sınırları içerisindedir. Sodyum persülfat kimyasalının hammadde eldesinden başlayarak suyun içindeki

İprodion kimyasal maddesinin arıtılmasına kadar olan süreç sistem kapsamı içerisinde değerlendirilmiştir. İprodion içeren su üretimi ve İprodion'dan İOPile arıtılmış su sistem sınırı dışında bırakılmıştır.



**Şekil 3. 8:** UV/SPS yöntemiyle sudan İprodion giderimi için YDD Sistem Sınırları.

#### 3.4.2.4 Envanter Analizi

Yaşam döngüsü değerlendirmesinde en önemli basamaklardan biri yaşam döngüsü modeli için verinin toplanması ve gerekli hesaplamaların yapılmasıdır. Laboratuvar ölçekli çalışmalarda hassas, doğru ve güvenilir ölçümler yapılmaktadır. Veri temini araştırmacılar için hassasiyet isteyen ve aynı zamanda çeşitli zorluklarla karşılaşılan yoğun bir süreçtir. Yapılan çalışmada kullanılan veriler laboratuvarda alınan ölçümlerle elde edilmiştir(Montazeri ve diğ., 2020).

Sudan İprodin giderimi çalışmasında kullanılan envanterler için Ecoinvent 3.1 (Ecoinvent Database, 2013) verileri referans alınmıştır. Çizelge 3.16'da sistem sınırlarında yer alan süreçler ve detaylı olarak seçilmiş olan veri türlerinin bilgileri verilmiştir. Türkiye 2019 elektrik üretimi(Url-10) referans alınarak ve Ecoinvent veritabanı (Ecoinvent Database, 2013) kullanılarak Türkiye'deki şebeke elektriği için model oluşturulmuştur. Çalışmada kullanılan Türkiye'nin enerji üretimi, doğal gaz (%19), linyit (%15), taşkömürü (%22), hidrolik (%29) ve diğerlerinden(güneş, rüzgar, jeotermal) oluşmaktadır(Url-10).

**Çizelge 3. 16:** GaBi Yaşam Döngüsü Modelinde Seçilen Süreçler(Ecoinvent Database, 2013)

| Süreç              | GaBi Modelinde Seçilen Süreç                                         |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Elektrik Enerjisi  | TR: Elektrik 2019 Düşük Gerilim Ecoinvent                            |
| Sodyum Persülfat   | GLO: Sodyum Persülfat Pazarı Ecoinvent                               |
| Sodyum Perkarbonat | RoW: Sodyum Perkarbonat Üretimi, Toz Ecoinvent                       |
| Hidrojen Peroksit  | RoW: Hidrojen Peroksit Üretimi, %50 Çözelti Halindeki Ürün Ecoinvent |
| Nakliye (Kara)     | RoW: 32 Metrik Ton Üzerinde Taşıma Yapan ve Euro5 Kullanan Kamyon    |
| Nakliye (Deniz)    | GLO: Deniz ve Okyanus Ötesi Gemi Ecoinvent                           |

#### **Sudan İprodion giderimi için ulaşım envanter analizi**

Sudan İprodion giderimi için tarımın yoğun olduğu Bursa’da bulunan Dobruca İçme Suyu Arıtma Tesisinden alınan numune kullanıldığı varsayılmaktadır. Deneylerde kullanılan kimyasalın üretim yeri ile numunenin alındığı arıtma tesisi arası ele alınarak mesafe ölçümüne bağlı olarak hesaplamalar yapılmıştır(Url-11). Arıtmada kullanılan hammaddenin Çin’den temin edildiği ve Dobruca İçme Suyu Arıtma Tesisine getirildiği kurgulanmıştır. Bu kurguya göre katedilen yol verileri Çizelge 3.17’de görülmektedir.

**Çizelge 3. 17:** Sudan İprodion giderimi için taşıma verileri

| Deney                          | Kimyasal adı | Ülke | Kara yolu (km) | Deniz yolu(km) |
|--------------------------------|--------------|------|----------------|----------------|
| Sudan İprodion Giderimi -Bursa | SPS          | Çin  | 19             | 18625          |



#### 4. MODELLEME BULGULARI VE DEĞERLENDİRME

Yapılan çalışmada ileri oksidasyon arıtma yönteminde kullanılan farklı kimyasalların yaşam döngüsü boyutunda çevresel etkileri değerlendirilerek çevresel açıdan sürdürülebilir bir seçenek bulunmaya çalışılmıştır. Bu çalışmada kullanılan farklı kimyasallar ve miktarları ile tüketilen farklı enerji miktarları için sonuçlar karşılaştırılmıştır.

##### 4.1 Musluk Suyundan BPA Giderimi için Çevresel Etkiler

Musluk suyunda bulunan BPA kimyasalının %100 verimle giderimi için SPS, SPC ve HP kimyasalları ve UV-C kullanarak ileri oksidasyon yapılması sonucunda oluşan etki kategorileri hesaplanmıştır.

Musluk suyundan BPA giderimi deneysel setlerinin çevresel etki değerlendirmesi sonuçları Çizelge 4.1’de verilmektedir. Çizelge 4.2’de, BPA 1 sonuçları %100 kabul edilerek oranlanmış çalışmaların çevresel etkilerin yüzde karşılaştırması sunulmuştur. Çizelge 4.2’deki değerler dikkate alındığında musluk suyundan BPA giderimi deney setinde BPA 1, BPA 2, BPA 8 ve BPA 9’un çevresel etkileri diğer deney setlerine göre daha düşük çıkmıştır. Şekil 4.1’de ve Şekil 4.2’de BPA 1, BPA 2, BPA 8 ve BPA 9’un ATP element, ATP fosil, AP, ÖP, TSEP, KIP, İTP, DSEP, OTİP, FOOP ve KEP kategorileri için BPA 1 sonuçları %100 kabul edilerek oranlanmış yüzdeleri gösterilmektedir.

Hangi çevresel etki kategorisinin/kategorilerinin önemli olduğuna bağlı olarak uygun bir arıtma alternatifinden bahsedilebilir. Gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda aşağıdaki bulgular ortaya çıkmıştır:

ATP element değerleri arasında BPA 1’e göre %75 azalma ile BPA 9 en düşük etkiyi vermektedir. BPA 1 ile karşılaştırıldığında BPA 2’de %10 fazla değer elde edilir. Bu nedenle ATP element seviyesi karar vericiler için önemliyse, diğer deneysel koşullara göre 6,8 mg/l HP ve 0,154 kWh/m<sup>3</sup> enerji gereksinimini içeren BPA 9 benimsenmelidir. BPA 8 çalışması yaklaşık %40 azalma ile diğer bir seçenek olabilir.

ATP fosil kategorisi için BPA 1'e göre %63 azalma ile BPA 9 en düşük etkiyi vermektedir. Bu nedenle, ATP fosil etki kategorisi açısından 6,8 mg/l HP ve 0,154 kWh/m<sup>3</sup> enerji girişi (BPA 9) seçilebilir.

En düşük AP değeri, BPA 1'e kıyasla %65 azalmaya sahip olan BPA 9'dan kaynaklanmaktadır. BPA 9'u %45 azalma ile BPA 2 çalışması takip etmektedir. Buna göre 6,8 mg/l HP ve 0,154 kWh/m<sup>3</sup> enerji girişi (BPA 9) en düşük AP'yi verir.

BPA 1 ve BPA 8 çalışmaları benzer ÖP değerleri oluşturmaktadır. BPA 2'deki ÖP değeri, BPA 1'e kıyasla yaklaşık %60 azalmaya sahiptir. En düşük ÖP, BPA 9'un deneysel koşulları olan, 0,154 kWh/m<sup>3</sup> enerji girişi ile 6,8 mg/l HP girişi olarak elde edilebilir. RB5 1 ile karşılaştırıldığında, BPA 9 ile ÖP'yi %65 oranında azaltmak mümkündür.

Benzer TSEP seviyeleri, BPA 1 ve BPA 8 çalışmaları tarafından üretilmektedir. BPA 1 ile karşılaştırıldığında, BPA 2 çalışması ile neredeyse %60 azalma elde edilebilir. Öte yandan, en düşük TSEP, BPA 1'den %65'lik bir azalmanın gözlemlendiği BPA 9 ile elde edilebilir. Bu nedenle, 0,154 kWh/m<sup>3</sup> enerji girişi ile 6,8 mg/l HP girişi en düşük TSEP ile sonuçlanır.

BPA 1 ve BPA 8 çalışmaları benzer KIP değerleri oluşturmaktadır. En düşük KIP, BPA 1'den %64 azalmanın elde edildiği BPA 9 ile elde edilebilir. BPA 9 kadar yüksek oranda azalma olmasa da, BPA 2'de BPA 1'e göre yaklaşık %50'den fazla düşük KIP değeri ile BPA 9'a en yakın KIP değerlerine sahiptir. Sonuç olarak, 0,154 kWh/m<sup>3</sup> enerji girişi ile 6,8 mg/l HP girişi içeren BPA 9, en düşük KIP değeri sağlayan arıtma alternatifi olarak belirtilebilir.

İTP açısından, BPA 9, BPA 1 ile karşılaştırıldığında %65'lik bir azalma ile en düşük etkileri sağlar. BPA 9'a yakın sonuçlar, yaklaşık %40 azalma ile BPA 2'den elde edilmektedir.

DSEP için, BPA 1 ile karşılaştırıldığında BPA 9 ile yaklaşık %64 azalma elde edilebilir. BPA 1'den yaklaşık %55 daha düşük değerler, BPA 2 ile elde edilebilir. OTİP açısından, BPA 9, BPA 1 ile karşılaştırıldığında %75'lik bir azalma ile en düşük etkileri sağlar. Yaklaşık %55'lik azalma ile BPA 8 çalışması onu takip eder.

BPA 1'e göre BPA 8 FOOP değeri %7 azalma göstermektedir. Ancak en düşük FOOP değeri BPA 9 ile elde edilir. BPA 9, BPA 1'e kıyasla %63 azalma ile sonuçlanır. BPA

9, BPA 1'e göre %65'lik bir azalma elde edildiğinden en düşük KEP'i verir. BPA 2 6'nın KEP değerleri %50 azalma ile alternatif arıtma sistemi olabilir.

Deneysel çalışmaların karşılaştırılmasıyla ilgili tüm bulguların bir özeti olarak aşağıdakiler belirtilebilir:

Tüm etki kategorilerinde en düşük seviye BPA 9 deneysel çalışmasında oluşmaktadır. Alternatif olarak BPA 8'de tüm kategoriler de azalma göstermiştir fakat BPA 9'daki azalmaya kıyasla değerler daha yüksek çıkmıştır.

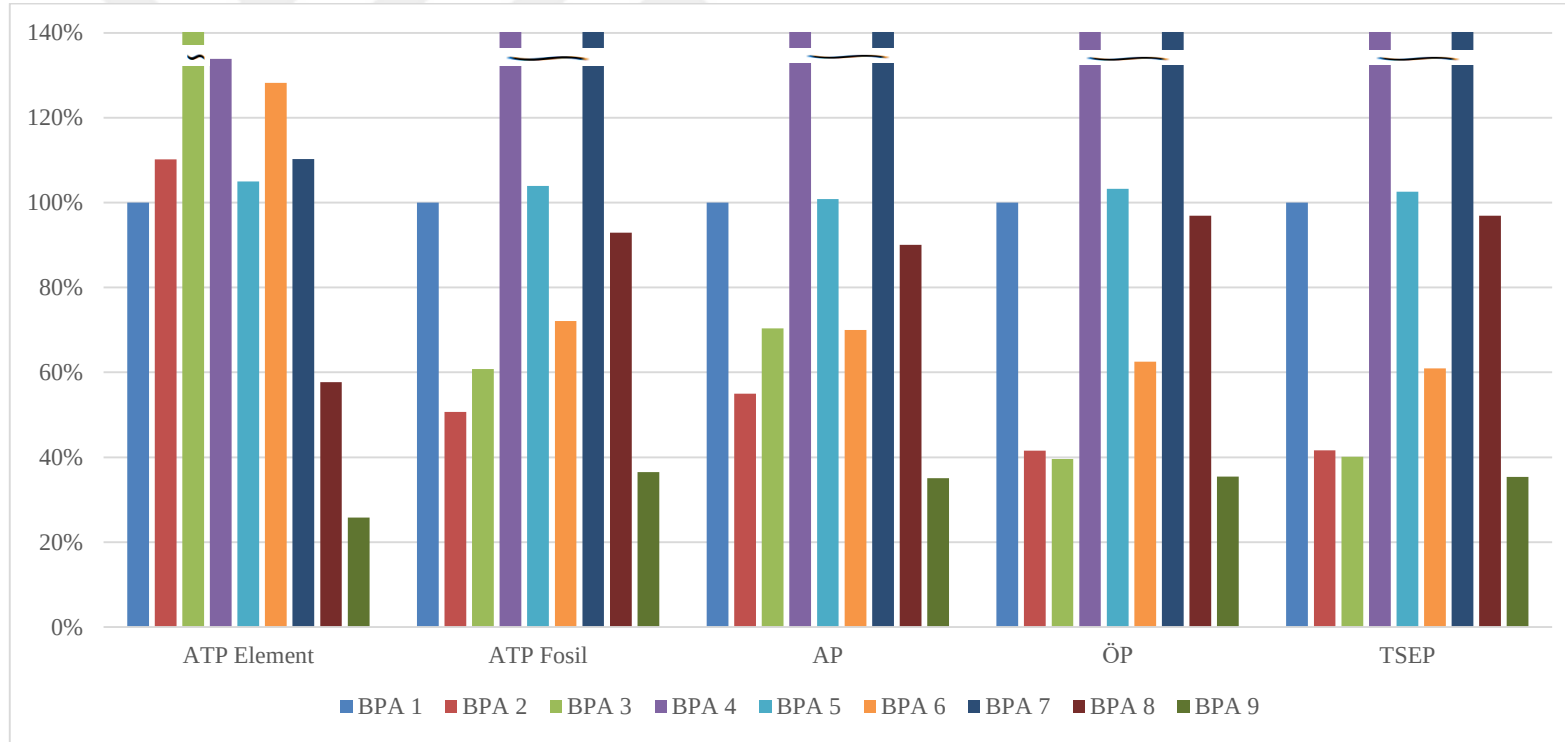
ATP element, ATP fosil, AP, ÖP, TSEP, KIP, İTP, DSEP, OTİP, FOOP ve KEP kategorilerine göre öncelik verilirse, 6,8 mg/l HP ve 0,154 kWh/m<sup>3</sup> enerji girişi tanıtılan BPA 9 seçilmelidir. ATP fosil, AP, ÖP, TSEP, KIP, İTP, DSEP, FOOP ve KEP kategorilerinin önemli olması durumunda, BPA 2 ve BPA 3 çalışmaları da arıtma alternatifi olarak benimsenebilir. 23,8 mg/l SPS ve 0,154 kWh/m<sup>3</sup> enerji girdisinden oluşan BPA 2 çalışması BPA 9'dan sonra iyi bir arıtma alternatifi olabilir. Benzer şekilde tüm kategorilerde BPA 1'e göre azalma gösteren BPA 8 (3,4 mg/l HP ve 0,440 kWh/m<sup>3</sup> enerji) çalışması da önemli bir sürdürülebilir arıtma alternatifi olmaktadır.

**Çizelge 4. 1:** Musluk suyundan BPA giderimi için çevresel etkiler ( 1 m<sup>3</sup> artırılmış musluk suyu başına).

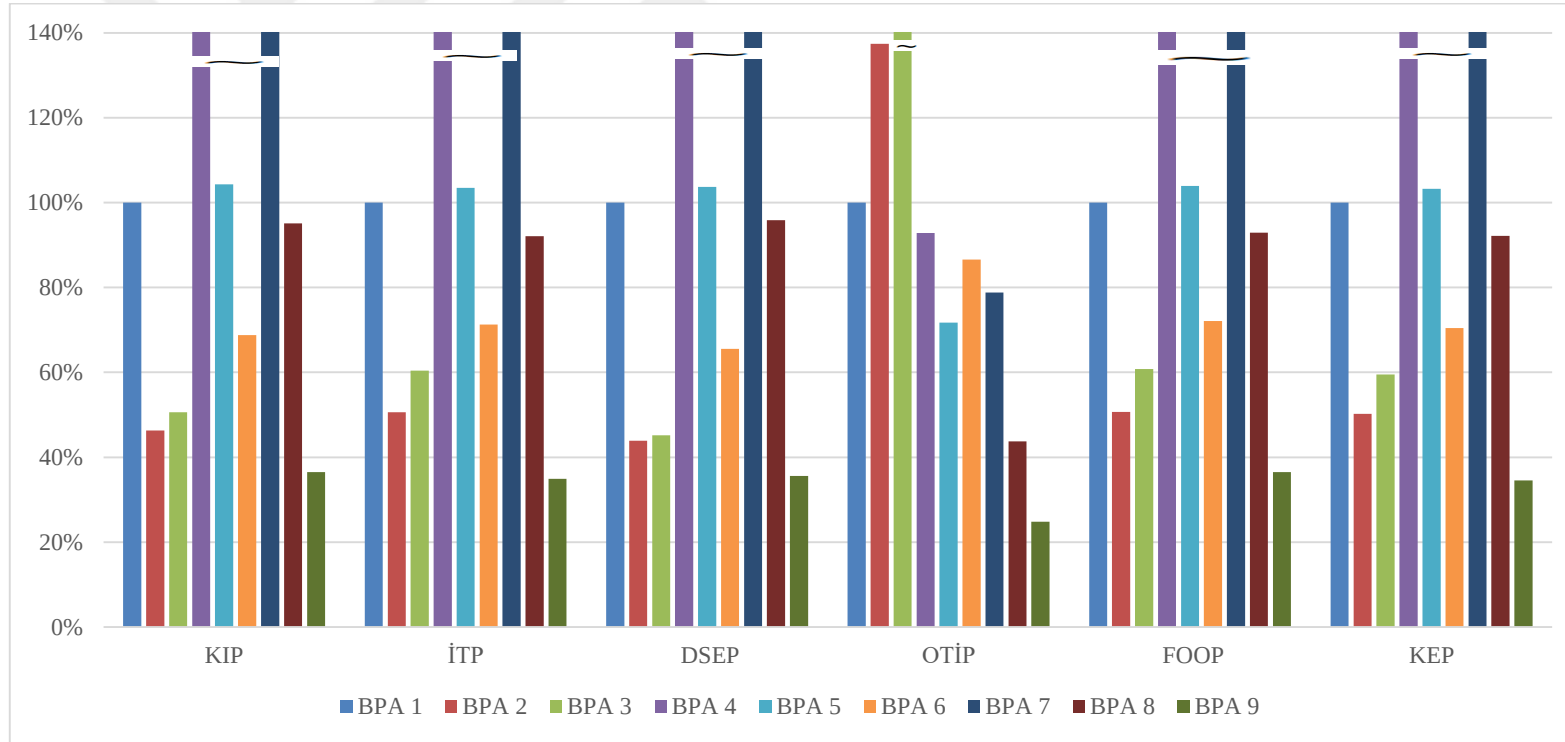
| <b>Etki Kategorisi</b>                      | <b>BPA 1</b> | <b>BPA 2</b> | <b>BPA 3</b> | <b>BPA 4</b> | <b>BPA 5</b> | <b>BPA 6</b> | <b>BPA 7</b> | <b>BPA 8</b> | <b>BPA 9</b> |
|---------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| ATP Element (kg Sb-Eşd.)                    | 6,45E-07     | 7,12E-07     | 1,27E-06     | 8,64E-07     | 6,77E-07     | 8,29E-07     | 7,12E-07     | 3,72E-07     | 1,66E-07     |
| ATP Fosil (MJ)                              | 3,08E+00     | 1,57E+00     | 1,88E+00     | 5,78E+00     | 3,20E+00     | 2,23E+00     | 5,61E+00     | 2,86E+00     | 1,13E+00     |
| AP (kg SO <sub>2</sub> -Eşd.)               | 1,98E-03     | 1,09E-03     | 1,39E-03     | 3,62E-03     | 2,00E-03     | 1,39E-03     | 3,51E-03     | 1,79E-03     | 6,95E-04     |
| ÖP (kg PO <sub>4</sub> -Eşd.)               | 1,14E-03     | 4,71E-04     | 4,50E-04     | 2,23E-03     | 1,18E-03     | 7,10E-04     | 2,19E-03     | 1,10E-03     | 4,02E-04     |
| TSEP (kg DCB-Eşd.)                          | 2,65E-01     | 1,11E-01     | 1,07E-01     | 5,18E-01     | 2,72E-01     | 1,62E-01     | 5,10E-01     | 2,57E-01     | 9,41E-02     |
| KIP (kg CO <sub>2</sub> -Eşd.)              | 2,95E-01     | 1,36E-01     | 1,49E-01     | 5,65E-01     | 3,07E-01     | 2,03E-01     | 5,52E-01     | 2,80E-01     | 1,07E-01     |
| İTP (kg DCB-Eşd.)                           | 1,89E-01     | 9,56E-02     | 1,14E-01     | 3,55E-01     | 1,96E-01     | 1,35E-01     | 3,44E-01     | 1,74E-01     | 6,59E-02     |
| DSEP (kg DCB-Eşd.)                          | 6,51E+02     | 2,86E+02     | 2,94E+02     | 1,26E+03     | 6,75E+02     | 4,26E+02     | 1,24E+03     | 6,24E+02     | 2,31E+02     |
| OTİP (kg R11-Eşd.)                          | 8,27E-09     | 1,14E-08     | 2,13E-08     | 7,68E-09     | 5,94E-09     | 7,16E-09     | 6,52E-09     | 3,62E-09     | 2,05E-09     |
| FOOP(kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -Eşd) | 1,01E-04     | 5,79E-05     | 7,62E-05     | 1,84E-04     | 1,04E-04     | 7,69E-05     | 1,77E-04     | 9,08E-05     | 3,66E-05     |
| KEP (kg DCB-Eşd.)                           | 2,19E-03     | 1,10E-03     | 1,31E-03     | 4,12E-03     | 2,27E-03     | 1,54E-03     | 4,00E-03     | 2,02E-03     | 7,58E-04     |

**Çizelge 4. 2:** Musluk suyundan BPA giderimi için BPA 1'e göre oranlanmış çevresel etkilerin yüzdeleri.

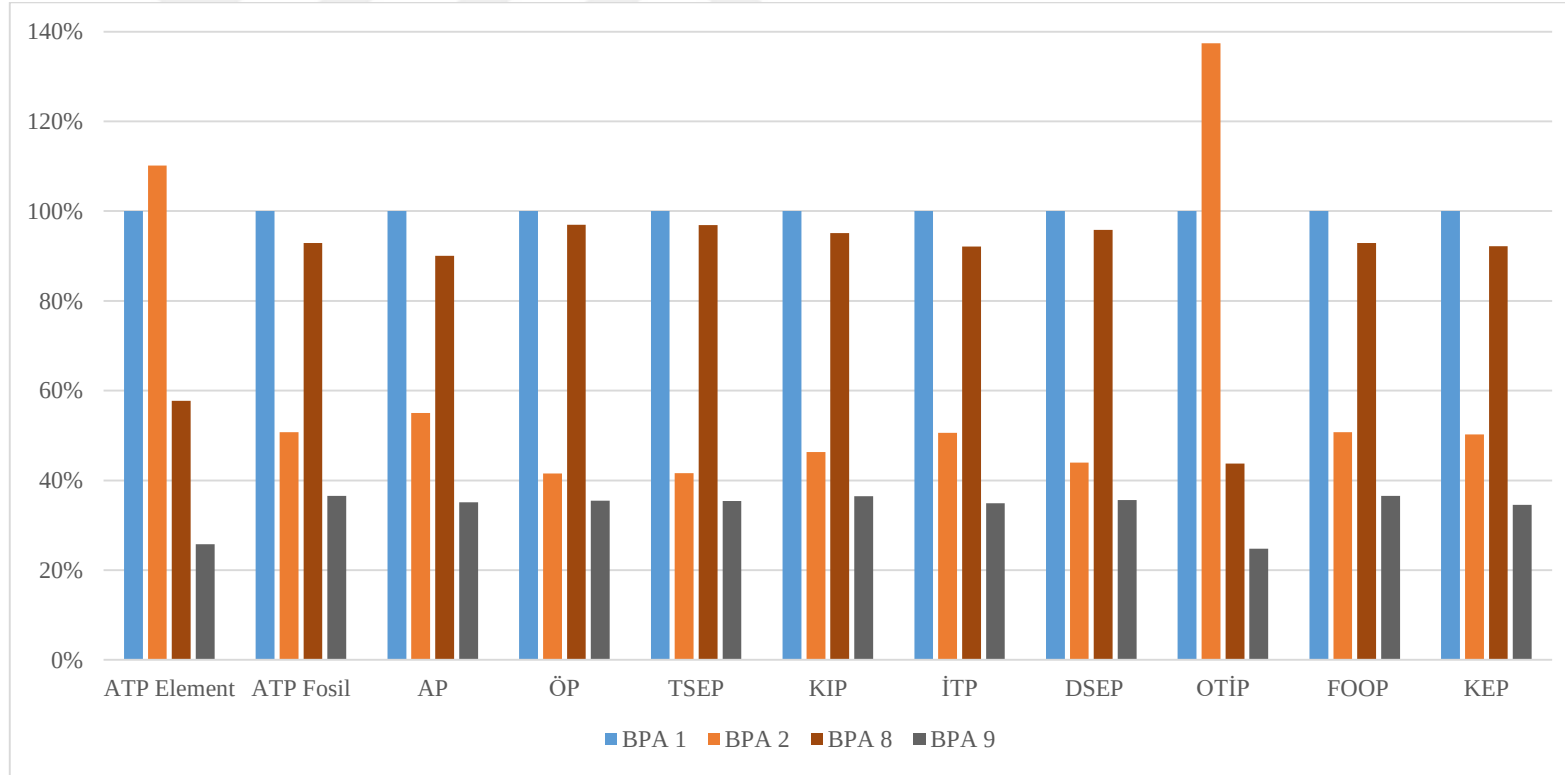
|             | BPA 1 | BPA 2 | BPA 3 | BPA 4 | BPA 5 | BPA 6 | BPA 7 | BPA 8 | BPA 9 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ATP Element | 100%  | 110%  | 195%  | 134%  | 105%  | 128%  | 110%  | 58%   | 26%   |
| ATP Fosil   | 100%  | 51%   | 61%   | 187%  | 104%  | 72%   | 182%  | 93%   | 37%   |
| AP          | 100%  | 55%   | 70%   | 183%  | 101%  | 70%   | 177%  | 90%   | 35%   |
| ÖP          | 100%  | 42%   | 40%   | 197%  | 103%  | 63%   | 193%  | 97%   | 35%   |
| TSEP        | 100%  | 42%   | 40%   | 195%  | 103%  | 61%   | 192%  | 97%   | 35%   |
| KIP         | 100%  | 46%   | 51%   | 192%  | 104%  | 69%   | 188%  | 95%   | 36%   |
| İTP         | 100%  | 51%   | 60%   | 188%  | 103%  | 71%   | 182%  | 92%   | 35%   |
| DSEP        | 100%  | 44%   | 45%   | 193%  | 104%  | 66%   | 190%  | 96%   | 36%   |
| OTİP        | 100%  | 137%  | 258%  | 93%   | 72%   | 87%   | 79%   | 44%   | 25%   |
| FOOP        | 100%  | 51%   | 61%   | 187%  | 104%  | 72%   | 182%  | 93%   | 37%   |
| KEP         | 100%  | 50%   | 60%   | 188%  | 103%  | 70%   | 183%  | 92%   | 35%   |



**Şekil 4. 1:** Musluk suyundan BPA giderimi için BPA 1'e göre oranlanmış çevre etkileri (a).



**Şekil 4. 2:** Musluk suyundan BPA giderimi için BPA 1'e göre oranlanmış çevre etkileri (b).



**Şekil 4. 3:** Musluk suyundan BPA giderimi için BPA 1 referans alınarak çevre etkiler (BPA 1, BPA2,BPA 8 ve BPA 9).

Çizelge 4.3’de verilen çevresel etkilere sebep olan faktörler her çalışma için farklıdır. Çevresel etkiler üzerinde elektrik, ulaşım ve kimyasal girdilerin payı, koşullara göre önemli ölçüde değişmektedir.

Musluk suyundan BPA giderimi deney setinde yapılan 9 deney içinden çevreye etkisi en düşük olan 4 deney düzeneği (BPA 1, BPA 2, BPA 8 ve BPA 9) Çizelge 4.2’deki sonuçlara göre belirlenmiştir. Şekil 4.2’de bu 4 deney için elektrik tüketimi, kimyasal üretimi ve kimyasal taşınmasından kaynaklı ulaşım faktörlerin yüzde etkisi gösterilmiştir.

BPA 1 için ATP element değerinin yaklaşık %54’ü elektrik girdisinden ve %46’sı SPS üretiminden oluşmaktadır. BPA 1’in OTİP’i, %38’i elektrikten, %57’si SPS girişinden ve %5’i ulaşım katkısıyla oluşur.

BPA 2 için ATP element değerinin %83’ü SPS üretim girdisi, %17’si elektrik girdisinden oluşmaktadır. BPA 2 için, ATP fosil değeri elektrikten (toplam dağılımın %62’si) ve SPS girdisinden (%33) kaynaklanmaktadır. BPA 2’nin AP’sine yapılan katkıların çoğunu elektrik (%56) ve SPS (%34) oluştururken geri kalan kısmı ulaşım basamağıdır

Elektrik, BPA 2’nin ÖP değerine %81 oranında katkı sağlar iken %16’sı SPS girdisidir. Benzer yüzdeler TSEP için de geçerlidir. KIP’nin BPA 2 için sırasıyla elektrik ( %71) ve SPS (%26 ) girdilerinden kaynaklanmaktadır. BPA 2’nin İTP’si elektrik (%63) ve SPS (%35) girişlerinden oluşur.

BPA 2 için DSEP’nin yaklaşık %76 elektrik ve %24 SPS girdilerinden geldiği görülmüştür. SPS ve elektrik katkıları, BPA 2’nin OTİP’sinde sırasıyla %83 ve %10 paya sahiptir. Öte yandan, BPA 2 için FOOP’nin %62 elektrik ve %33’ü SPS’den oluşmaktadır. KEP değeri, BPA 2 için elektrik (%63) ve SPS (%35) kaynaklıdır.

BPA 8’in ATP element değerinin yaklaşık %94 elektrik kullanımından kaynaklanmaktadır. Çizelge 4.3’de belirtilen koşullardan kaynaklanan etkiler için faktörlerin payı hakkında daha fazla bilgi bulunabilir.

**Çizelge 4. 3:** Musluk suyundan BPA giderimi için farklı faktörlerin toplam çevresel etkilere katkısı.

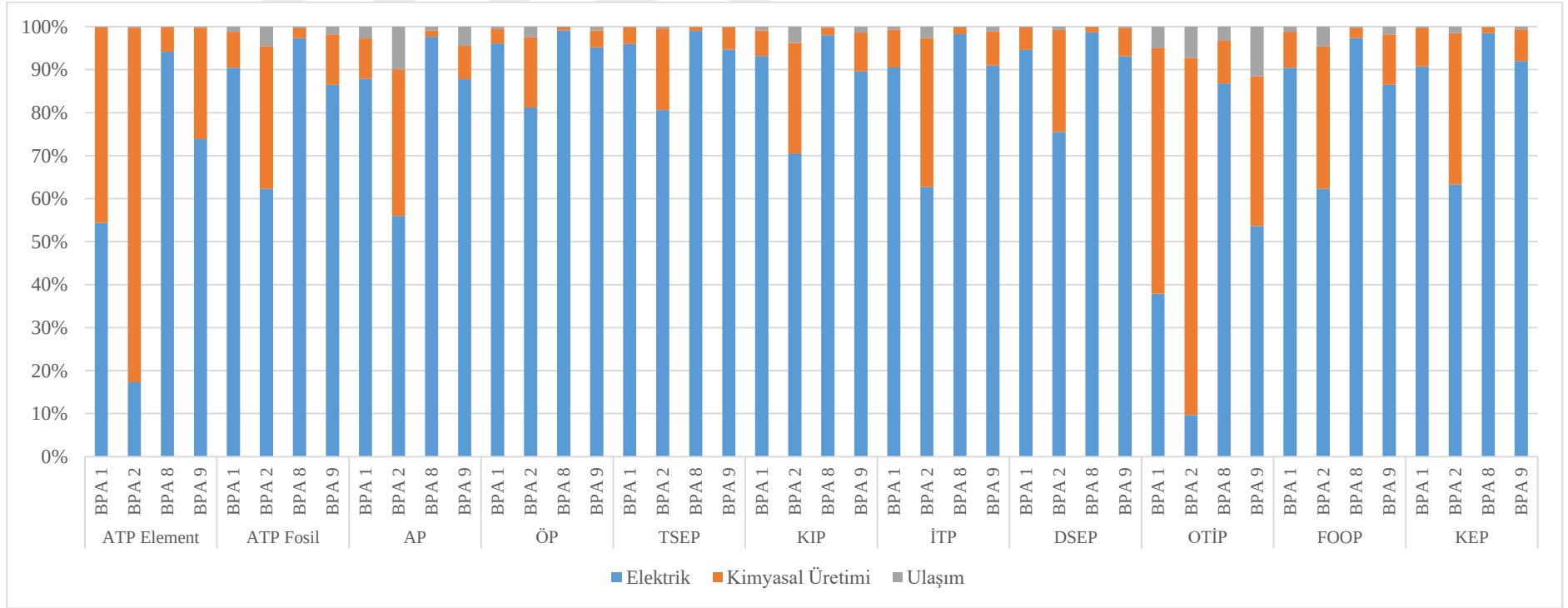
| Etki Kategorisi | Deney Seti | Elektrik | Kimyasal Üretimi | Ulaşım |
|-----------------|------------|----------|------------------|--------|
| ATP Element     | BPA 1      | 54%      | 46%              | 0%     |
|                 | BPA 2      | 17%      | 83%              | 0%     |
|                 | BPA 3      | 7%       | 93%              | 0%     |
|                 | BPA 4      | 81%      | 19%              | 0%     |
|                 | BPA 5      | 52%      | 48%              | 0%     |
|                 | BPA 6      | 21%      | 79%              | 0%     |
|                 | BPA 7      | 98%      | 2%               | 0%     |
|                 | BPA 8      | 94%      | 6%               | 0%     |
|                 | BPA 9      | 74%      | 26%              | 0%     |
| ATP Fosil       | BPA 1      | 90%      | 8%               | 1%     |
|                 | BPA 2      | 62%      | 33%              | 5%     |
|                 | BPA 3      | 37%      | 55%              | 7%     |
|                 | BPA 4      | 96%      | 3%               | 0%     |
|                 | BPA 5      | 87%      | 12%              | 1%     |
|                 | BPA 6      | 62%      | 33%              | 4%     |
|                 | BPA 7      | 99%      | 1%               | 0%     |
|                 | BPA 8      | 97%      | 2%               | 0%     |
|                 | BPA 9      | 86%      | 12%              | 2%     |
| AP              | BPA 1      | 88%      | 9%               | 3%     |
|                 | BPA 2      | 56%      | 34%              | 10%    |
|                 | BPA 3      | 31%      | 53%              | 15%    |
|                 | BPA 4      | 96%      | 3%               | 1%     |
|                 | BPA 5      | 87%      | 9%               | 4%     |
|                 | BPA 6      | 63%      | 27%              | 10%    |
|                 | BPA 7      | 99%      | 0%               | 0%     |
|                 | BPA 8      | 98%      | 2%               | 1%     |
|                 | BPA 9      | 88%      | 8%               | 4%     |
| ÖP              | BPA 1      | 96%      | 3%               | 1%     |
|                 | BPA 2      | 81%      | 16%              | 2%     |
|                 | BPA 3      | 61%      | 34%              | 5%     |
|                 | BPA 4      | 98%      | 2%               | 0%     |
|                 | BPA 5      | 93%      | 6%               | 1%     |
|                 | BPA 6      | 77%      | 21%              | 2%     |
|                 | BPA 7      | 100%     | 0%               | 0%     |
|                 | BPA 8      | 99%      | 1%               | 0%     |
|                 | BPA 9      | 95%      | 4%               | 1%     |

**Çizelge 4. 3(devam):** Musluk suyundan BPA giderimi için farklı faktörlerin toplam çevresel etkilere katkısı.

| Etki Kategorisi | Deney Seti | Elektrik | Kimyasal Üretimi | Ulaşım |
|-----------------|------------|----------|------------------|--------|
| TSEP            | BPA 1      | 96%      | 4%               | 0%     |
|                 | BPA 2      | 81%      | 19%              | 0%     |
|                 | BPA 3      | 60%      | 39%              | 1%     |
|                 | BPA 4      | 98%      | 2%               | 0%     |
|                 | BPA 5      | 94%      | 6%               | 0%     |
|                 | BPA 6      | 78%      | 21%              | 0%     |
|                 | BPA 7      | 100%     | 0%               | 0%     |
|                 | BPA 8      | 99%      | 1%               | 0%     |
|                 | BPA 9      | 95%      | 5%               | 0%     |
| KIP             | BPA 1      | 93%      | 6%               | 1%     |
|                 | BPA 2      | 71%      | 26%              | 4%     |
|                 | BPA 3      | 46%      | 47%              | 7%     |
|                 | BPA 4      | 97%      | 3%               | 0%     |
|                 | BPA 5      | 89%      | 10%              | 1%     |
|                 | BPA 6      | 68%      | 29%              | 3%     |
|                 | BPA 7      | 99%      | 0%               | 0%     |
|                 | BPA 8      | 98%      | 2%               | 0%     |
|                 | BPA 9      | 90%      | 9%               | 1%     |
| İTP             | BPA 1      | 91%      | 9%               | 1%     |
|                 | BPA 2      | 63%      | 35%              | 3%     |
|                 | BPA 3      | 38%      | 58%              | 4%     |
|                 | BPA 4      | 97%      | 3%               | 0%     |
|                 | BPA 5      | 87%      | 12%              | 1%     |
|                 | BPA 6      | 64%      | 34%              | 2%     |
|                 | BPA 7      | 100%     | 0%               | 0%     |
|                 | BPA 8      | 98%      | 2%               | 0%     |
|                 | BPA 9      | 91%      | 8%               | 1%     |
| DSEP            | BPA 1      | 95%      | 5%               | 0%     |
|                 | BPA 2      | 76%      | 24%              | 1%     |
|                 | BPA 3      | 52%      | 46%              | 1%     |
|                 | BPA 4      | 98%      | 2%               | 0%     |
|                 | BPA 5      | 91%      | 9%               | 0%     |
|                 | BPA 6      | 72%      | 27%              | 1%     |
|                 | BPA 7      | 100%     | 0%               | 0%     |
|                 | BPA 8      | 99%      | 1%               | 0%     |
|                 | BPA 9      | 93%      | 7%               | 0%     |

**Çizelge 4. 3(devam):** Musluk suyundan BPA giderimi için farklı faktörlerin toplam çevresel etkilere katkısı.

| Etki Kategorisi | Deney Seti | Elektrik | Kimyasal Üretimi | Ulaşım |
|-----------------|------------|----------|------------------|--------|
| OTİP            | BPA 1      | 38%      | 57%              | 5%     |
|                 | BPA 2      | 10%      | 83%              | 7%     |
|                 | BPA 3      | 4%       | 89%              | 8%     |
|                 | BPA 4      | 82%      | 15%              | 4%     |
|                 | BPA 5      | 53%      | 38%              | 9%     |
|                 | BPA 6      | 22%      | 63%              | 15%    |
|                 | BPA 7      | 96%      | 3%               | 1%     |
|                 | BPA 8      | 87%      | 10%              | 3%     |
|                 | BPA 9      | 54%      | 35%              | 12%    |
| FOOP            | BPA 1      | 90%      | 8%               | 1%     |
|                 | BPA 2      | 62%      | 33%              | 5%     |
|                 | BPA 3      | 37%      | 55%              | 7%     |
|                 | BPA 4      | 96%      | 3%               | 0%     |
|                 | BPA 5      | 87%      | 12%              | 1%     |
|                 | BPA 6      | 62%      | 33%              | 4%     |
|                 | BPA 7      | 99%      | 1%               | 0%     |
|                 | BPA 8      | 97%      | 2%               | 0%     |
|                 | BPA 9      | 86%      | 12%              | 2%     |
| KEP             | BPA 1      | 91%      | 9%               | 0%     |
|                 | BPA 2      | 63%      | 35%              | 1%     |
|                 | BPA 3      | 38%      | 59%              | 2%     |
|                 | BPA 4      | 97%      | 3%               | 0%     |
|                 | BPA 5      | 88%      | 12%              | 0%     |
|                 | BPA 6      | 64%      | 34%              | 1%     |
|                 | BPA 7      | 100%     | 0%               | 0%     |
|                 | BPA 8      | 99%      | 1%               | 0%     |
|                 | BPA 9      | 92%      | 7%               | 1%     |



**Şekil 4. 4:** Musluk suyundan BPA giderimi için farklı faktörlerin toplam çevresel etkilere katkısı.

BPA 1, BPA 2, BPA 8 ve BPA 9 deneysel çalışmaları için etki kategorilerinin ana nedenlerini gösteren kısa bir özet aşağıdaki bölümde belirtilmiştir.

BPA 1 ATP element değeri, esas olarak bakır (%31) elementi kaynaklıdır. BPA 2 için ATP element değeri, esas olarak bakır (%20), kadmiyum (%18) ve altın (%17) ve kurşun (%14) gibi yenilenemeyen elementlerden kaynaklanmaktadır. BPA 1 için ATP element değerinin yaklaşık %54'ü elektrik girdisinden ve %46'sı SPS üretiminden oluşmaktadır. BPA 8'in ATP element değeri bakır (%44) iken BPA 9 ile ilgili ATP element değeri esas olarak bakır (%39) ve altından (%16) oluşur.

BPA1'in ATP fosil değeri, %40 taşkömürü, %29 linyit ve %25 doğal gaz kaynaklıdır. BPA 2 için ATP fosili, esas olarak taşkömürü (%36), doğal gaz (%28) ve linyit (%21) tüketimi nedeniyle elde edilir. Taşkömürü (%41), doğal gaz (%25), ve linyit (%31) BPA 8'in ATP fosilini üretmektedir. Öte yandan, taşkömürü (%40), doğal gaz (%28) ve linyit (%28), BPA 9 için ATP fosiline katkıda bulunanlardır.

AP değeri; BPA1(SO<sub>2</sub> (%79) ve NO (%18)), BPA 2(SO<sub>2</sub> (%80) ve NO (%18)), BPA 8(SO<sub>2</sub> (%79) ve NO (%19)) ve BPA 9((%79) ve NO (%19)) çalışmaları için havaya verilen SO<sub>2</sub> ve NO emisyonları nedeniyle üretilir

BPA 1, BPA 2, BPA 8 ve BPA 9 çalışmaları için ÖP değeri sırasıyla suya verilen yaklaşık %70, %67, %71 ve %70'i fosfat emisyonlarından kaynaklanmaktadır. Çünkü fosfat miktarının artması alg miktarındaki artışa ve buna bağlı ötrifikasyona neden olmaktadır.

BPA 1, BPA 2, BPA 8 ve BPA 9 çalışmalarının TSEP'sine esas olarak suya verilen nikel, bakır ve berilyum emisyonları neden olur.

KIP, en önemli çevresel etki kategorilerinden biri, BPA 1, BPA 2, BPA 8 ve BPA 9 çalışmaları için %90'dan fazla katkı ile atmosfere verilen CO<sub>2</sub> emisyonlarından kaynaklanmaktadır.

Suya verilen selenyum emisyonları, BPA1, BPA 2, BPA 8 ve BPA 9 çalışmalar için ana İTP kaynağıdır.

BPA 1, BPA 2, BPA 8 ve BPA 9 çalışmaları için, suya verilen berilyum emisyonları DSEP'in ana kaynağı olarak belirtilebilir.

Atmosfere verilen halon emisyonları BPA 1, BPA 2, BPA 8 ve BPA 9 çalışmalarının OTİP'inden sorumludur.

Havaya verilen SO<sub>2</sub> ve azot oksit emisyonları BPA 1, BPA 2, BPA 8 ve BPA 9 çalışmaları için FOOP oluşturmaktadır.

KEP, esas olarak toprağa krom (+VI) emisyonları nedeniyle ortaya çıkmaktadır.

Musluk suyundan BPA giderimi üstüne elde edilen sürdürülebilirlik sonuçları benzer bir literatür çalışması bulunmadığından literatür ile karşılaştırılamamıştır. Ancak benzer ileri oksidasyon yöntemi ile arıtma yapılan çalışmaların yaşam döngüsü sürdürülebilirlik değerlendirmesi üzerine hazırlanan çalışmalar incelenmiştir.

Pesqueira ve diğ., (2020) organik mikrokirleticilerin (karbamazepin, diklofenak ve sülfametoksazol) güneş enerjisi kullanarak yapılan 5 farklı ileri oksidasyon yöntemi (foto-Fenton, TiO<sub>2</sub>-P25/ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>-P25, solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, solar) ile artırılması sonucu oluşan çevresel etkileri incelemiştir. Pesqueira ve diğ., (2020) çalışmasında bahsettiği güneş enerjisiyle çalışan ileri oksidasyon prosesleri, İspanya'da pilot ölçekli bir bileşik parabolik toplayıcı (CPC) fotoreaktöründe gerçekleştirilmiştir (Moreira ve diğ., 2018; Rodríguez-Chuecave diğ., 2014). Pesqueira ve diğ., (2020) ait YDD çalışmasının fonksiyonel birimi “5 µg/L karbamazepin, diklofenak ve sülfametoksazol içeren kentsel ikincil atıksuyun 1 m<sup>3</sup> artırılması” şeklindedir. Pesqueira ve diğ., (2020) SimaPro 9 yazılımını ve Ecoinvent database versiyon 3.0 veritabanı kullanmıştır(Ecoinvent Centre, 2013a; Url-9). Sistem sınırları sadece ileri oksidasyon prosesini içermektedir. Altyapı ve kurulum kaynaklı etkiler sistem sınırına dahil edilmemiştir.

Pesqueira ve diğ., (2020) ait YDD çalışmasında 5 farklı ileri oksidasyon yönteminden bahsedilmektedir. Musluk suyunda BPA giderimi çalışmasına en yakın arıtma yöntemi solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ile ileri oksidasyon yöntemi olduğu için Pesqueira ve diğ., (2020) çalışmasının solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yöntemi sonucunda ortaya çıkan çevresel etkilerinden aşağıda bahsedilmektedir.

Pesqueira ve diğ., (2020) çalışmasında bahsi geçen solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ile 5 µg/L karbamazepin, diklofenak ve sülfametoksazol içeren kentsel ikincil atıksuyun 1 m<sup>3</sup> artırılması sonucunda KIP değeri 2,49E-02 kg CO<sub>2</sub> eşdeğer olarak hesaplanmıştır. Musluk suyunda BPA giderimi çalışmasında BPA 9 (UV-C/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) en düşük KIP değerine sahiptir. BPA 9'da 1 m<sup>3</sup> ileri oksidasyon yöntemi ile arıtılmış musluk suyu

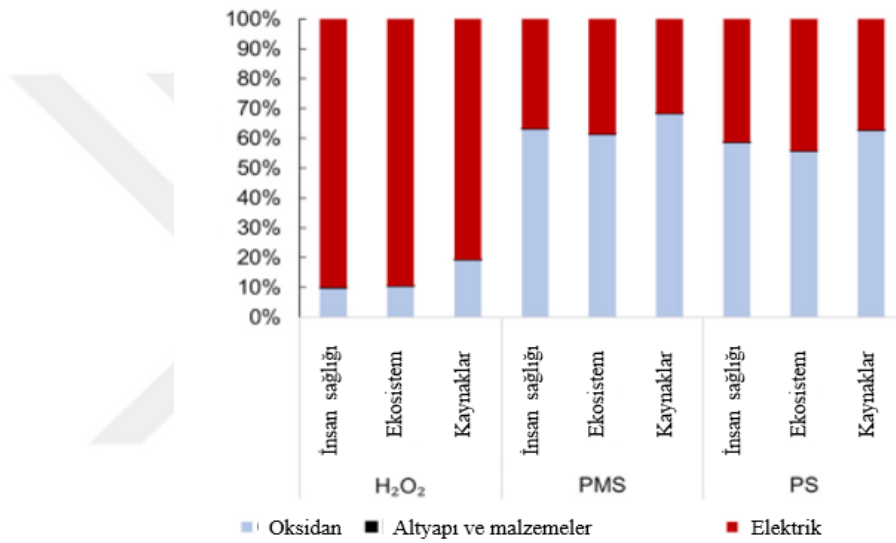
için KIP değeri 1,07E-01 olarak hesaplanmıştır. Pesqueira ve diğ., (2020) çalışmasından elde edilen sonuçları, musluk suyundan BPA giderimi deney setlerinin sonuçları ile kıyaslamak farklı kimyasal maddelerin farklı konsantrasyonda arıtılması nedeniyle doğru bir yaklaşım olmayacaktır fakat elektrik yerine güneş enerjisi kullanılmasının KIP değerini düşürmesi beklenmektedir.

Bir başka çalışmada Pesqueira ve diğ., (2022) UV-C'nin hidrojen peroksit (HP), peroksimonosülfat (PMS) ve persülfat (PS) gibi farklı oksidanlarla birleştirilmesinin yaşam döngüsü değerlendirmesini yaparak çevresel etkilerini değerlendirmektedir. Pesqueira ve diğ., (2022) yaptığı çalışmada fonksiyonel birim olarak “birkaç mikrokirletici içeren kentsel ikincil atıksuyun 1 m<sup>3</sup> arıtılması” olarak belirlenmiştir. bu çalışmaya ait veriler gerçek ölçekli bir tesisten elde edilmiştir ve bilinmeyen veriler için Ecoivent database versiyon 3 kullanılmıştır. Pesqueira ve diğ., (2022) arıtma süreçlerini değerlendirmek için ReCiPe metodolojisi kullanılmıştır. Elektrik tüketim verisi için İspanyol şebeke elektrik enerjisi karışımı kullanılmıştır. İspanyol şebeke elektrik enerjisi karışımı doğal gaz(%20,8), nükleer(%20,3), hidroelektrik(%13,4), kömür(%14,3), rüzgar(18,5), petrol(%5,2) ve diğerlerinden kaynaklanmaktadır(Carral ve diğ., 2021) Mikrokirletilerin gideriminde UV-C uygun bir arıtma seçegidir fakat çok fazla elektrik gerektirdiği için çevreye olumsuz etkisi oldukça fazladır (Pesqueira ve diğ., 2022).

Pesqueira ve diğ. (2022) UV-C/HP, UV-C/PMS ve UV-C/PS ileri oksidasyon yöntemlerindeki yardımcı kimyasalların çevresel etkilerini kıyaslayabilmek adına UV-C/HP yönteminde 0,50 milimolar HP ve 18 saniye UV-C; UV-C/PMS yönteminde 0,50 milimolar PMS ve 18 saniye UV-C; son olarak UV-C/PS yönteminde 0,50 milimolar PS ve 18 saniye UV-C şeklinde uygulamıştır. Pesqueira ve diğ. (2022) çalışmasında bu 3 farklı yöntem, kentsel ikincil atıksudan mikrokirletici giderim verimi, insan sağlığına etkisi, ekosisteme etkisi ve kaynaklara etkisi olarak dört farklı açıdan incelenmiştir. Pesqueira ve diğ. (2022) sonuçları UV-C/HP yönteminde 0,50 milimolar HP ve 18 saniye UV-C; UV-C/PMS yönteminde 0,50 milimolar PMS ve 18 saniye UV-C; son olarak UV-C/PS yönteminde 0,50 milimolar PS ve 18 saniye UV-C arıtma sistemlerini kıyaslandığında elde ettikleri sonuç aşağıdaki gibidir. Şekil 4.5'e göre persülfat üretimi, HP'nin aksine, çevresel ayak izine elektrik kullanımından daha fazla katkıda bulunur. Bu nedenle, sülfat bazlı oksidanlar kullanıldığında daha düşük işlem süreleri düşünülse bile, bunlar çalışılan koşullarda HP kullanıldığında ortaya

çıkacak çevresel etki değerinden daha büyük bir etkiye neden olacaktır (Pesqueira ve diğ., 2022). Şekil 4.5'e göre HP, kaynaklar, insan sağlığı ve çevresel etkiler açısından en iyi seçenektir (Pesqueira ve diğ., 2022).

Pesqueira ve diğ., (2022) çalışmasında UV-C/HP yönteminde 0,50 milimolar HP ve 18 saniye UV-C; UV-C/PMS yönteminde 0,50 milimolar PMS ve 18 saniye UV-C; son olarak UV-C/PS yönteminde 0,50 milimolar PS ve 18 saniye UV-C arıtma yöntemleri için elektrik önemli bir parametredir bu nedenle daha temiz enerji kaynakları tercih edilerek neredeyse tüm çevresel etki kategorilerinin değerleri azaltılabilir.



**Şekil 4. 5:** ReCiPe metodolojisine göre oksidan, altyapı ve malzemeler ve elektrik katkısının gösterimi (Pesqueira ve diğ., 2022).

#### 4.2 Ayırık Tekstil Atıksuyundan RB5 Giderimi için Çevresel Etkiler

Ayrık tekstil atık suyunda bulunan eşit miktar RB5 kimyasalın %100 verimle giderimi için SPS ve SPC kimyasalları ile UV-C kullanarak ileri oksidasyon yapılması sonucunda oluşan etki kategorileri hesaplanmıştır.

Ayrık tekstil atıksuyundan RB5 giderimi deneysel setlerinin çevresel etki değerlendirmesi sonuçları Çizelge 4.4'de verilmektedir. Çizelge 4.5'de, RB5 1 sonuçları %100 kabul edilerek oranlanmış çalışmaların çevresel etkilerin yüzde karşılaştırması sunulmuştur. Çizelge 4.5'deki değerler dikkate alındığında ayırık tekstil

atıksuyundan RB5 giderimi deney setinde RB5 1, RB5 2, RB5 3 ve RB5 5'in çevresel etkileri diğer deney setlerine göre daha düşük çıkmıştır.

Hangi çevresel etki kategorisinin/kategorilerinin önemli olduğuna bağlı olarak uygun bir arıtma alternatifinden bahsedilebilir. Gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda aşağıdaki bulgular ortaya çıkmıştır:

ATP element değerleri arasında RB5 1 en düşük etkiyi vermektedir. RB5 1 ile karşılaştırıldığında sırasıyla RB5 2, RB5 3 ve RB5 5, için yaklaşık %115, %350 ve %60 daha fazla değer elde edilmiştir. Bu nedenle ATP element seviyesi karar vericiler için önemliyse, diğer deneysel koşullara göre 35,7 mg/l SPS ve 1,34 kWh/m<sup>3</sup> enerji gereksinimini içeren RB5 1 tercih edilmelidir.

ATP fosil kategorisi için RB5 1'e göre, RB5 2 ve RB5 5 için sırasıyla %25 ve %28 azalma ile en düşük istenmeyen etkiler elde edilir. Bu nedenle, ATP fosil etki kategorisi açısından ya 95,2 mg/l SPS ve 0,670 kWh/m<sup>3</sup> enerji girişi (RB5 2) ya da 78,5 mg/l SPC ve 0,670 kWh/m<sup>3</sup> enerji gereksinimi (RB5 5) optimal sonuçlar olarak belirtilmektedir.

Deney RB5 1(5.66E-03 kg SO<sub>2</sub>-eşd.) ve RB5 3(5.68E-03 kg SO<sub>2</sub>-eşd.) için yaklaşık aynı AP değerleri elde edilir. En düşük AP değeri, RB5 1'e kıyasla %30 azalmaya sahip olan RB5 5'den kaynaklanır. Buna göre 78,5 mg/l SPC ve 0,670 kWh/m<sup>3</sup> enerji girişi (RB5 5) en düşük AP'yi verir.

RB5 2 ve RB5 5, ÖP değerleri, RB5 1'e kıyasla yaklaşık %40 azalmaya sahip olarak benzer ÖP seviyeleri verir. En düşük ÖP çalışma RB5 3'ün (%53 azalma) ait olduğundan, 0,223 kWh/m<sup>3</sup> enerji girişi ile 238 mg/l SPS girişi olarak en uygun arıtma alternatifi olarak seçilebilir.

RB5 1 ile karşılaştırıldığında, RB5 3 çalışması daha az elektrik tüketmiştir buna bağlı olarak RB5 3 ile ÖP değerini %60 oranında azaltmak mümkündür. RB5 1 ile karşılaştırıldığında, RB5 2 ve RB5 5 çalışmaları ile neredeyse %40 azalma elde edilebilir. Öte yandan, en düşük TSEP, RB5 1'den %55'lik bir azalmanın gözlemlendiği RB5 3 ile elde edilebilir. Bu nedenle, 0,223 kWh/m<sup>3</sup> enerji ile 238 mg/l SPS girişi en düşük TSEP ile sonuçlanır.

En düşük KIP, RB5 1'den %38 azalmanın elde edildiği RB5 3 ile elde edilebilir. RB5 3 kadar yüksek azalma olmasa da, RB5 2 ve 5 RB5 1'e göre yaklaşık %30'dan daha fazla düşük KIP ile RB5 3'e yakın KIP çıktılarına sahiptir. Sonuç olarak, 0,223

kWh/m<sup>3</sup> enerji girişi ile 238 mg/l SPS girişini içeren RB5 3, en düşük KIP değeri sağlayan arıtma alternatifi olarak belirtilebilir.

İTP açısından, RB5 5, RB5 1 ile karşılaştırıldığında %30'luk bir azalma ile en düşük etkileri sağlar. RB5 5'e yakın sonuçlar, RB5 2 ile elde edilir.

DSEP için, RB5 1 ile karşılaştırıldığında RB5 3 ile yaklaşık %47 azalma elde edilebilir. RB5 1'den %35 daha düşük değerler, RB5 2 ile elde edilebilir.

OTİP değeri en düşük RB5 1 çalışmasında oluşmuştur. RB5 1 ile karşılaştırıldığında, RB5 3 için neredeyse %10 daha yüksek FOOP değerleri elde edilir. Ancak en düşük FOOP, RB5 5 ile elde edilir. RB5 5, RB5 1'e kıyasla %25 azalma ile sonuçlanır. RB5 5, RB5 1'e göre %30'luk bir azalma elde edildiğinden en düşük KEP'i verir. RB5 2 alışması RB5 5'e yakın bir değer vermektedir.

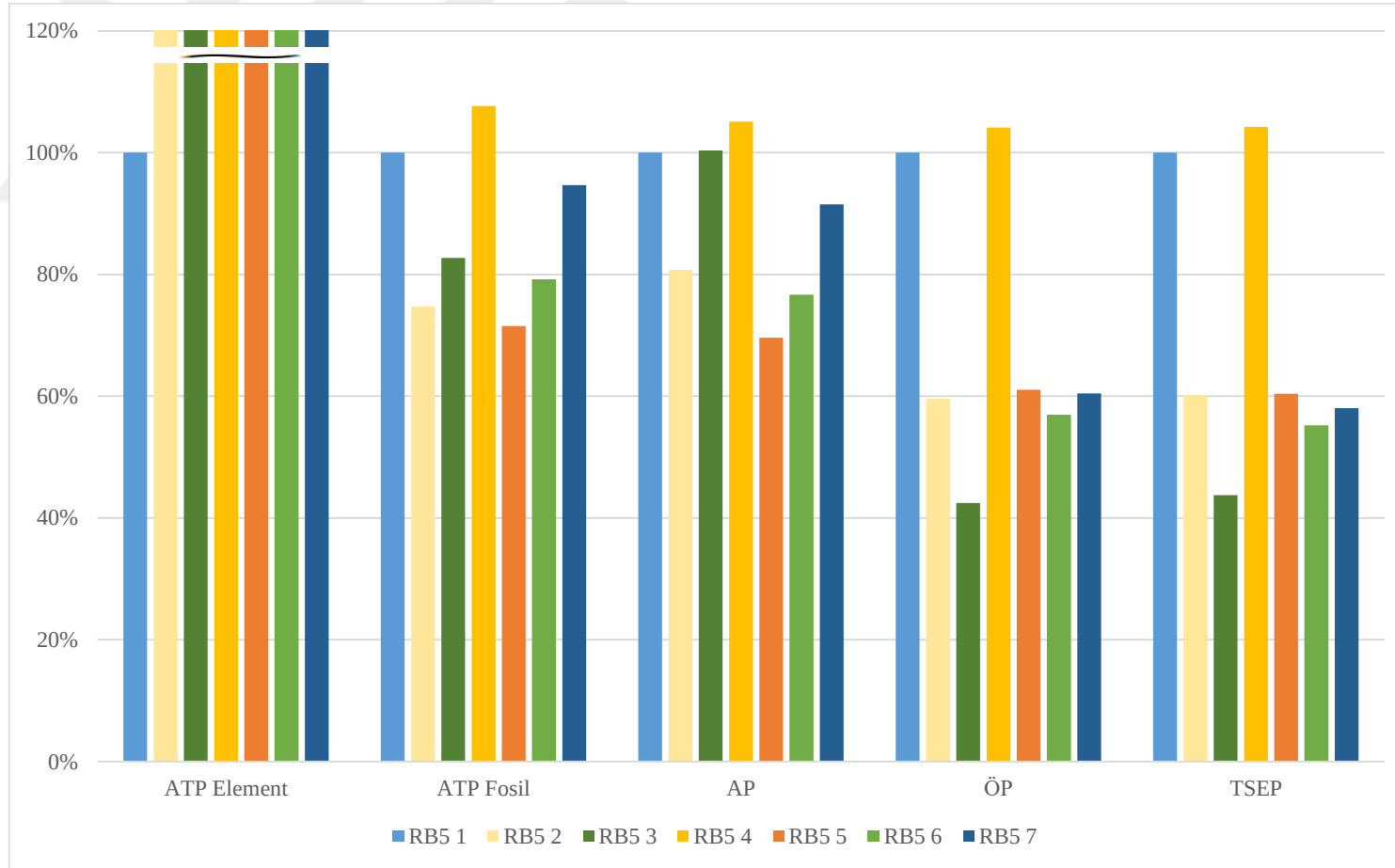
şekil 4.6 ve şekil 4.7'de, RB5 1 için etki değerleri sonuçlarını %100 kabul ederek diğer deneysel çalışmaların etki değerlerine oranlanması ile oluşturulmuştur. Ayrık tekstil atıksuyundan RB5 giderimi deney setinde RB5 1 için etki değerleri sonuçlarını %100 kabul ederek çevresel etki kategorilerinin oranlanmış hali RB5 1, RB5 2, RB5 3 ve RB5 şekil 8'de bir arada gösterilmektedir.

**Çizelge 4. 4:** Ayrık tekstil atıksuyundan RB5 giderimi için çevresel etkiler etkiler(1 m<sup>3</sup> arıtılmış ayrık tekstil atıksu başına).

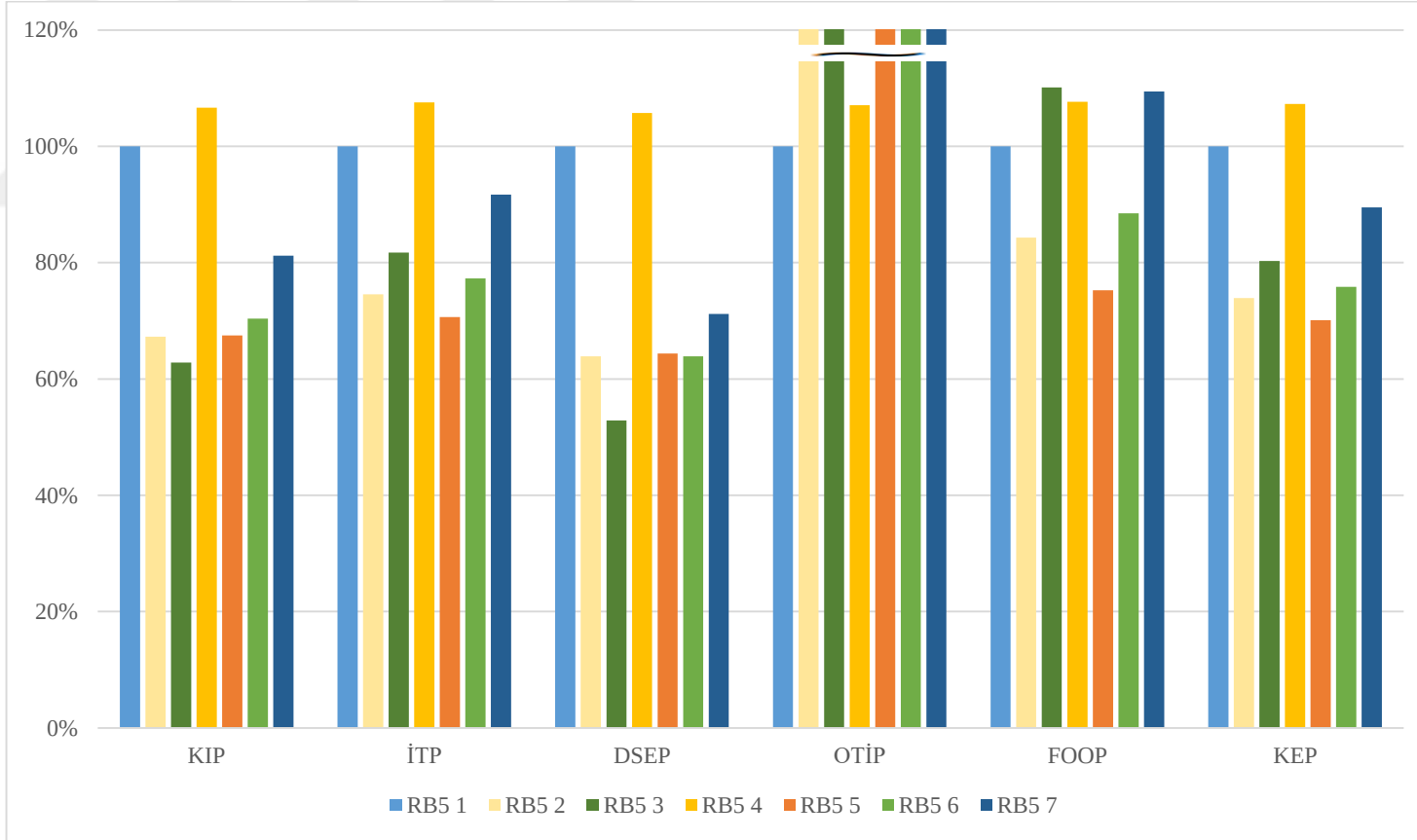
| <b>Etki Kategorisi</b>                        | <b>RB5 1</b> | <b>RB5 2</b> | <b>RB5 3</b> | <b>RB5 4</b> | <b>RB5 5</b> | <b>RB5 6</b> | <b>RB5 7</b> |
|-----------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| ATP Element (kg Sb-Eşd.)                      | 1.36E-06     | 2.89E-06     | 6.07E-06     | 1.88E-06     | 2.17E-06     | 3.62E-06     | 5.17E-06     |
| ATP Fosil (MJ)                                | 8.85E+00     | 6.61E+00     | 7.32E+00     | 9.53E+00     | 6.33E+00     | 7.01E+00     | 8.38E+00     |
| AP (kg SO <sub>2</sub> -Eşd.)                 | 5.66E-03     | 4.57E-03     | 5.68E-03     | 5.95E-03     | 3.94E-03     | 4.34E-03     | 5.19E-03     |
| ÖP (kg PO <sub>4</sub> -Eşd.)                 | 3.39E-03     | 2.02E-03     | 1.44E-03     | 3.53E-03     | 2.07E-03     | 1.93E-03     | 2.05E-03     |
| TSEP (kg DCB-Eşd.)                            | 7.86E-01     | 4.73E-01     | 3.44E-01     | 8.19E-01     | 4.75E-01     | 4.34E-01     | 4.57E-01     |
| KIP (kg CO <sub>2</sub> -Eşd.)                | 8.61E-01     | 5.79E-01     | 5.41E-01     | 9.18E-01     | 5.81E-01     | 6.06E-01     | 6.99E-01     |
| İTP (kg DCB-Eşd.)                             | 5.42E-01     | 4.04E-01     | 4.43E-01     | 5.83E-01     | 3.83E-01     | 4.19E-01     | 4.97E-01     |
| DSEP (kg DCB-Eşd.)                            | 1.91E+03     | 1.22E+03     | 1.01E+03     | 2.02E+03     | 1.23E+03     | 1.22E+03     | 1.36E+03     |
| OTİP (kg R11-Eşd.)                            | 1.55E-08     | 4.59E-08     | 1.04E-07     | 1.66E-08     | 1.88E-08     | 3.12E-08     | 4.44E-08     |
| FOOP (kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -Eşd.) | 2.87E-04     | 2.42E-04     | 3.16E-04     | 3.09E-04     | 2.16E-04     | 2.54E-04     | 3.14E-04     |
| KEP (kg DCB-Eşd.)                             | 6.29E-03     | 4.65E-03     | 5.05E-03     | 6.75E-03     | 4.41E-03     | 4.77E-03     | 5.63E-03     |

**Çizelge 4. 5:** Ayrık tekstil atıksuyundan RB5 giderimi için RB5 1'e göre oranlanmış çevresel etkilerin yüzdeleri.

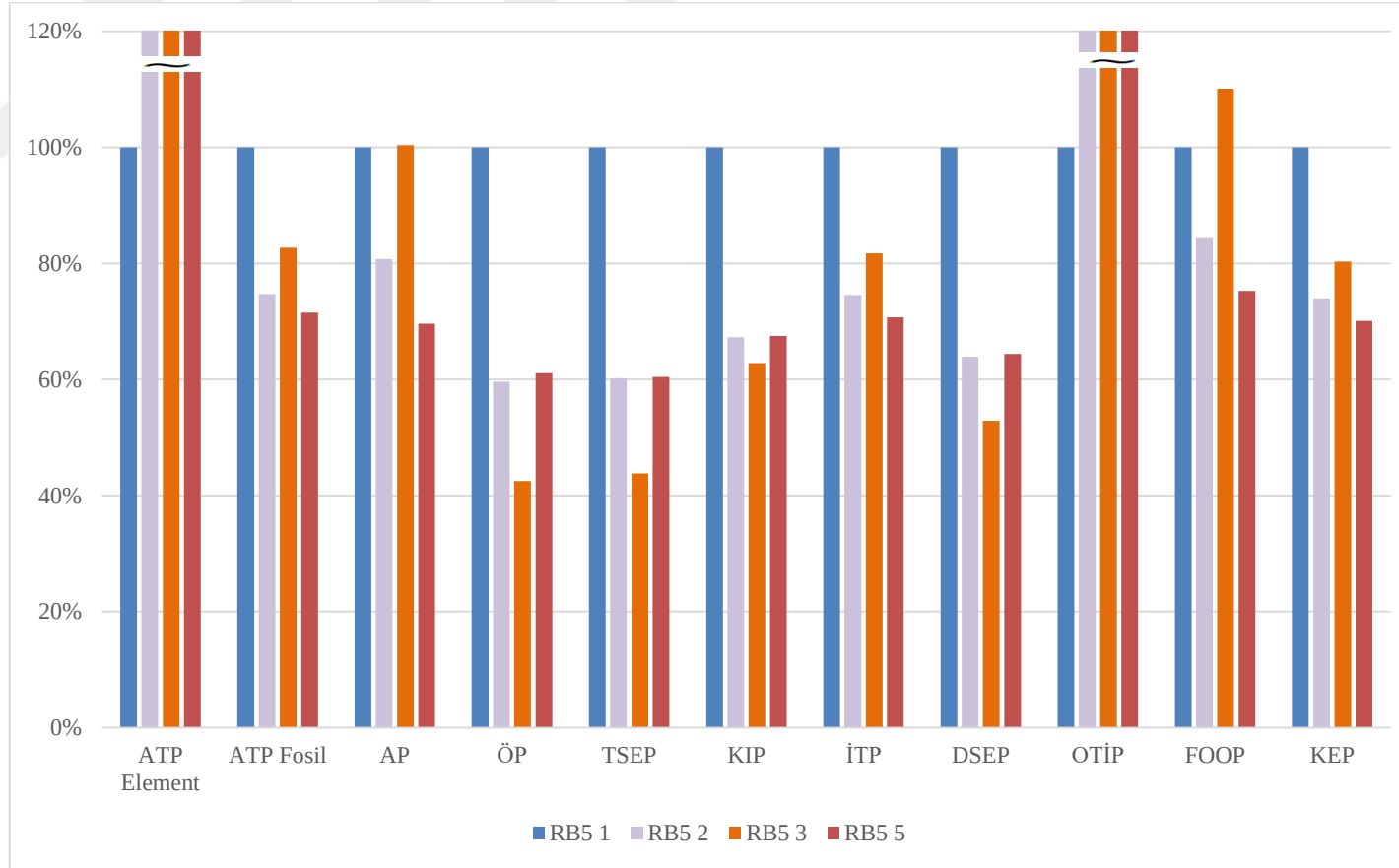
|             | RB5 1 | RB5 2 | RB5 3 | RB5 4 | RB5 5 | RB5 6 | RB5 7 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ATP Element | 100%  | 213%  | 446%  | 138%  | 160%  | 266%  | 380%  |
| ATP Fosil   | 100%  | 75%   | 83%   | 108%  | 72%   | 79%   | 95%   |
| AP          | 100%  | 81%   | 100%  | 105%  | 70%   | 77%   | 92%   |
| ÖP          | 100%  | 60%   | 42%   | 104%  | 61%   | 57%   | 60%   |
| TSEP        | 100%  | 60%   | 44%   | 104%  | 60%   | 55%   | 58%   |
| KİP         | 100%  | 67%   | 63%   | 107%  | 67%   | 70%   | 81%   |
| İTP         | 100%  | 75%   | 82%   | 108%  | 71%   | 77%   | 92%   |
| DSEP        | 100%  | 64%   | 53%   | 106%  | 64%   | 64%   | 71%   |
| OTİP        | 100%  | 296%  | 671%  | 107%  | 121%  | 201%  | 286%  |
| FOOP        | 100%  | 84%   | 110%  | 108%  | 75%   | 89%   | 109%  |
| KEP         | 100%  | 74%   | 80%   | 107%  | 70%   | 76%   | 90%   |



Şekil 4. 6: Ayrık tekstil atıksuyundan RB5 giderimi için RB5 1'e göre oranlanmış çevre etkileri (a).



**Şekil 4. 7:** Ayrık tekstil atıksuyundan RB5 giderimi için RB5 1'e göre oranlanmış çevre etkileri (b)



**Şekil 4. 8:** Ayırık tekstil atıksuyundan RB5 giderimi RB5 1'e göre oranlanmış çevre etkileri.

Şekil 4.9'de verilen çevresel etkilere katkıda bulunan faktörler her çalışma için farklıdır. Toplam etkide elektrik, ulaşım ve kimyasal girdilerin payı, deney setlerine göre önemli ölçüde değişmektedir.

Şekil 4.9'da gösterildiği gibi, RB5 1 için ATP element değerinin yaklaşık %78'i elektrik girdisinden ve %22'si SPS üretiminden oluşmaktadır. RB5 1'in OTİP'i, %62'si elektrikten, %30'u SPS girişinden ve %8'i ulaşımdan oluşmaktadır.

RB5 3 için ATP element değerinin %97'i SPS üretim girdisi, %3'ü elektrik girdisinden kaynaklanmaktadır. RB53 için, ATP fosil değeri elektrikten (toplam dağılımın %19'u) ve SPS girdisinden (%71) ve ulaşımdan (%10) kaynaklanmaktadır. RB5 3'in AP'sine yapılan katkıların çoğunu elektrik (%16) ve SPS (%65) oluştururken geri kalan kısmı ulaşımıdır.

Elektrik, RB5 3'nin ÖP değerine %39 oranında katkı sağlar iken %53'ü SPS girdisidir. Benzer yüzdeler TSEP için de geçerlidir. KIP'nin RB5 3 için sırasıyla elektrik ( %26) ve SPS (%65 ) girdilerinden kaynaklanmaktadır. RB5 3'nin İTP'si elektrik (%20) ve SPS (%75) kullanımından kaynaklanmaktadır.

RB5 3 için DSEP'nin yaklaşık %98 elektrik ve %2'si SPS girdilerinden gelir. SPS ve elektrik katkıları, RB5 3'nin OTİP'sinde sırasıyla %90 ve %2 paya sahiptir. Öte yandan, RB5 3 için FOOP'nin %14 elektrik ve %67'si SPS'den kaynaklanmaktadır. KEP değeri, RB5 2 için elektrik (%20) ve SPS (%77) kaynaklıdır.

RB5 5'ün ATP element değerinin yaklaşık %98 elektrik gereksinimi tarafından üretilir. Çizelge 4.6'da koşullardan kaynaklanan etkiler için faktörlerin payı hakkında daha fazla bilgi bulunabilir.

DeneySEL çalışmaların karşılaştırılmasıyla ilgili tüm bulguların bir özeti olarak aşağıdakiler belirtilebilir:

ATP element ve OTİP kategorileri açısından en düşük etkiler RB5 1 ile elde edilir. ATP fosili, AP, İTP, FOOP ve KEP etki kategorileri için en uygun sonuçlar RB5 5 ile elde edilir. Öte yandan, en düşük ÖP, TSEP, KIP ve DSEP etkileri RB5 3 ile elde edilir. Bu nedenle, hangi etki kategorilerinin önemli olduğuna bağlı olarak karar vericiler doğru alternatifi seçebilirler.

ATP element ve OTİP kategorilerine diğerlerine göre öncelik verilirse, 35,7 mg/l SPS ve 1.340 kWh/m<sup>3</sup> enerji girişi tanıtılan RB5 1 seçilmelidir. ATP fosil, AP, İTP, FOOP ve KEP kategorilerinin önemli olması durumunda, 78,5 mg/l SPC ve 0,670 kWh/m<sup>3</sup> enerji girdisinden oluşan bir arıtma alternatifi (RB5 5) benimsenmelidir. Son olarak ÖP, TSEP, KIP ve DSEP kategorileri daha önemli ise, 238 mg/l SPS girişli ve 0,223 kWh/m<sup>3</sup> enerji gereksinimi olan RB5 3 uygulanmalıdır.

**Çizelge 4. 6:** Musluk suyundan BPA giderimi için farklı faktörlerin toplam çevresel etkilere katkısı.

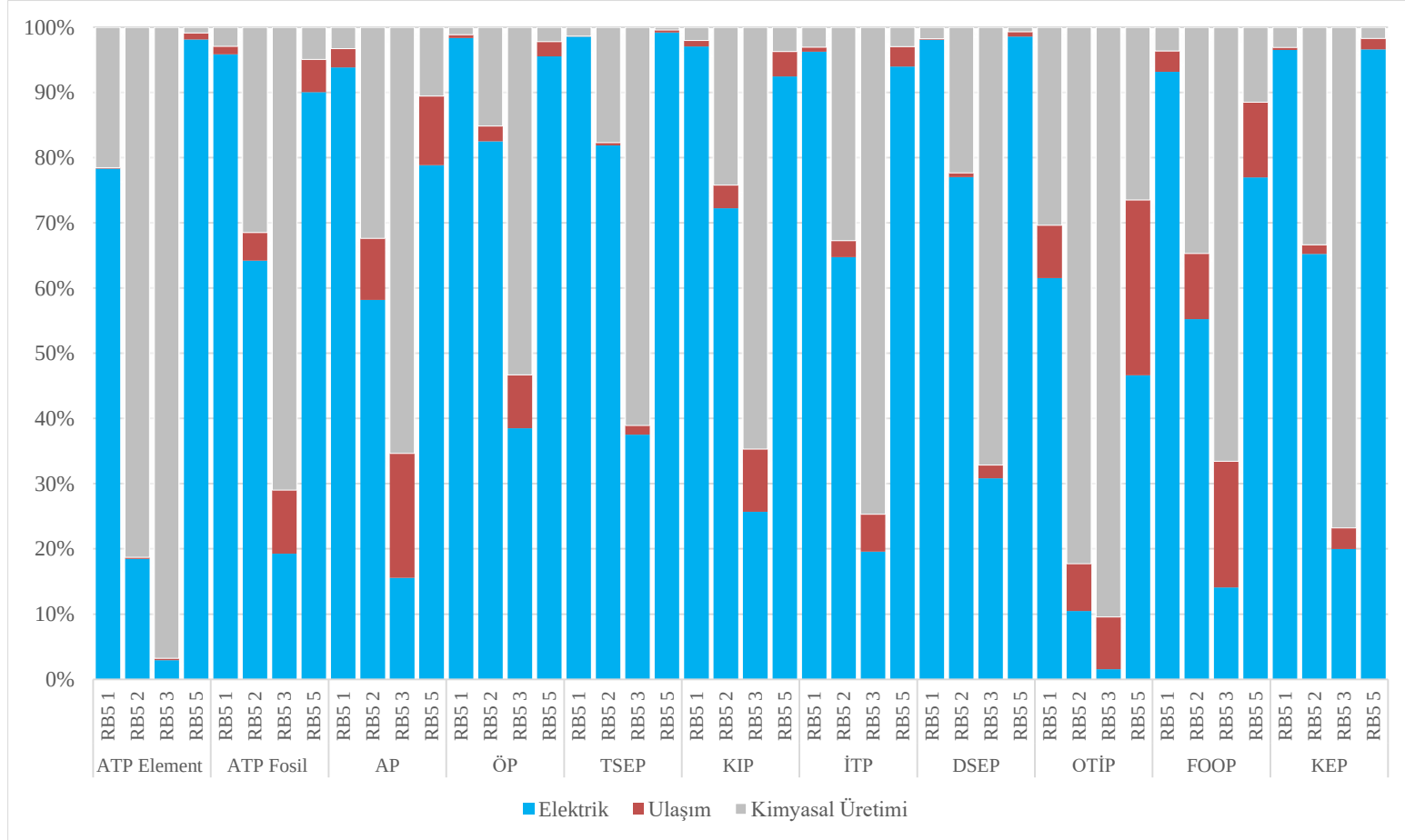
| Etki Kategorisi | Deney Seti | Elektrik | Ulaşım | Kimyasal Üretimi |
|-----------------|------------|----------|--------|------------------|
| ATP Element     | RB5 1      | 78%      | 0%     | 22%              |
|                 | RB5 2      | 18%      | 0%     | 81%              |
|                 | RB5 3      | 3%       | 0%     | 97%              |
|                 | RB5 4      | 57%      | 0%     | 43%              |
|                 | RB5 5      | 98%      | 1%     | 1%               |
|                 | RB5 6      | 10%      | 0%     | 90%              |
|                 | RB5 7      | 5%       | 0%     | 95%              |
| ATP Fosil       | RB5 1      | 96%      | 1%     | 3%               |
|                 | RB5 2      | 64%      | 4%     | 31%              |
|                 | RB5 3      | 19%      | 10%    | 71%              |
|                 | RB5 4      | 89%      | 1%     | 10%              |
|                 | RB5 5      | 90%      | 5%     | 5%               |
|                 | RB5 6      | 40%      | 7%     | 53%              |
|                 | RB5 7      | 25%      | 8%     | 66%              |
| AP              | RB5 1      | 94%      | 3%     | 3%               |
|                 | RB5 2      | 58%      | 9%     | 32%              |
|                 | RB5 3      | 16%      | 19%    | 65%              |
|                 | RB5 4      | 89%      | 3%     | 8%               |
|                 | RB5 5      | 79%      | 11%    | 11%              |
|                 | RB5 6      | 41%      | 16%    | 43%              |
|                 | RB5 7      | 26%      | 21%    | 54%              |
| ÖP              | RB5 1      | 98%      | 1%     | 1%               |
|                 | RB5 2      | 82%      | 2%     | 15%              |
|                 | RB5 3      | 39%      | 8%     | 53%              |
|                 | RB5 4      | 94%      | 1%     | 5%               |
|                 | RB5 5      | 96%      | 2%     | 2%               |
|                 | RB5 6      | 58%      | 4%     | 38%              |
|                 | RB5 7      | 41%      | 6%     | 54%              |

**Çizelge 4. 6 (devam):** Musluk suyundan BPA giderimi için farklı faktörlerin toplam çevresel etkilere katkısı.

| Etki Kategorisi | Deney Seti | Elektrik | Ulaşım | Kimyasal Üretimi |
|-----------------|------------|----------|--------|------------------|
| TSEP            | RB5 1      | 99%      | 0%     | 1%               |
|                 | RB5 2      | 82%      | 0%     | 18%              |
|                 | RB5 3      | 38%      | 1%     | 61%              |
|                 | RB5 4      | 95%      | 0%     | 5%               |
|                 | RB5 5      | 99%      | 0%     | 0%               |
|                 | RB5 6      | 60%      | 1%     | 40%              |
|                 | RB5 7      | 42%      | 1%     | 56%              |
| KIP             | RB5 1      | 97%      | 1%     | 2%               |
|                 | RB5 2      | 72%      | 4%     | 24%              |
|                 | RB5 3      | 26%      | 10%    | 65%              |
|                 | RB5 4      | 91%      | 1%     | 8%               |
|                 | RB5 5      | 92%      | 4%     | 4%               |
|                 | RB5 6      | 46%      | 6%     | 48%              |
|                 | RB5 7      | 30%      | 7%     | 63%              |
| İTP             | RB5 1      | 96%      | 1%     | 3%               |
|                 | RB5 2      | 65%      | 3%     | 33%              |
|                 | RB5 3      | 20%      | 6%     | 75%              |
|                 | RB5 4      | 90%      | 1%     | 10%              |
|                 | RB5 5      | 94%      | 3%     | 3%               |
|                 | RB5 6      | 42%      | 4%     | 54%              |
|                 | RB5 7      | 26%      | 5%     | 69%              |
| DSEP            | RB5 1      | 98%      | 0%     | 2%               |
|                 | RB5 2      | 77%      | 1%     | 22%              |
|                 | RB5 3      | 31%      | 2%     | 67%              |
|                 | RB5 4      | 93%      | 0%     | 7%               |
|                 | RB5 5      | 99%      | 1%     | 1%               |
|                 | RB5 6      | 51%      | 1%     | 48%              |
|                 | RB5 7      | 35%      | 1%     | 64%              |
| OTİP            | RB5 1      | 62%      | 8%     | 30%              |
|                 | RB5 2      | 10%      | 7%     | 82%              |
|                 | RB5 3      | 2%       | 8%     | 90%              |
|                 | RB5 4      | 58%      | 8%     | 34%              |
|                 | RB5 5      | 47%      | 27%    | 26%              |
|                 | RB5 6      | 10%      | 18%    | 72%              |
|                 | RB5 7      | 5%       | 19%    | 76%              |

**Çizelge 4. 6 (devam):** Musluk suyundan BPA giderimi için farklı faktörlerin toplam çevresel etkilere katkısı.

| Etki Kategorisi | Deney Seti | Elektrik | Ulaşım | Kimyasal Üretimi |
|-----------------|------------|----------|--------|------------------|
| FOOP            | RB5 1      | 93%      | 3%     | 4%               |
|                 | RB5 2      | 55%      | 10%    | 35%              |
|                 | RB5 3      | 14%      | 19%    | 67%              |
|                 | RB5 4      | 87%      | 3%     | 10%              |
|                 | RB5 5      | 77%      | 12%    | 11%              |
|                 | RB5 6      | 35%      | 16%    | 49%              |
|                 | RB5 7      | 21%      | 19%    | 60%              |
| KEP             | RB5 1      | 97%      | 0%     | 3%               |
|                 | RB5 2      | 65%      | 1%     | 33%              |
|                 | RB5 3      | 20%      | 3%     | 77%              |
|                 | RB5 4      | 90%      | 0%     | 10%              |
|                 | RB5 5      | 97%      | 2%     | 2%               |
|                 | RB5 6      | 42%      | 2%     | 55%              |
|                 | RB5 7      | 27%      | 3%     | 70%              |



**Şekil 4. 9:** Ayırık tekstil atıksuyundan RB5 giderimi için farklı faktörlerin toplam çevresel etkilere katkısı.

RB5 1, RB5 3 ve RB5 5 deneysel çalışmaları için etki kategorilerinin ana nedenlerini gösteren kısa bir özet aşağıdaki bölümde belirtilmiştir.

RB5 1 için ATP element değeri, esas olarak bakır (%31), kadmiyum ve altın (her ikisi de %14 katkı ile) ve kurşun (%12) gibi yenilenemeyen elementlerden kaynaklanmaktadır. RB5 3'ün ATP element değeri kadmiyum (%20), altın (%19), bakır (%15) ve kurşundur (%14). Oysa RB5 5 ile ilgili ATP element değeri esas olarak bakır ve altından oluşur (her biri %22 paya sahiptir).

RB5 1 için ATP fosili, esas olarak taşkömürü (%40), linyit (%29) ve doğal gaz (%25) tüketimi nedeniyle elde edilir. Petrol, doğal gaz ve taş kömürü gaz (her biri yaklaşık %32 katkı ile), RB5 3'ün ATP fosilini üretiyor. Öte yandan, Taşkömürü (%36), doğal gaz (%30) ve linyit (%22), RB5 5 için ATP fosiline katkıda bulunanlardır.

AP değeri, RB5 1, RB5 3 ve RB5 5 çalışmaları için havaya verilen SO<sub>2</sub> ve NO emisyonları nedeniyle üretilir. Çalışmalar için aşağıdaki katkı yüzdeleri elde edilir: RB5 1: SO<sub>2</sub> (%79) ve NO (%18); RB5 3: SO<sub>2</sub> (%81) ve NO (%17); RB5 5: SO<sub>2</sub> (%77) ve NO (%19).

RB5 1, RB5 3 ve RB5 5 çalışmaları için ÖP'nin sırasıyla suya verilen yaklaşık %70, %56 ve %63'ü fosfat emisyonlarından kaynaklanmaktadır. RB5 1, RB5 3 ve RB5 5 çalışmalarının TSEP'sine esas olarak suya nikel, bakır ve berilyum emisyonları neden olur. KIP, en önemli çevresel etki kategorilerinden biri, RB5 1, RB5 3 ve RB5 5 çalışmaları için %91'den fazla katkı ile atmosfere verilen CO<sub>2</sub> emisyonlarından kaynaklanmaktadır.

Suya verilen selenyum emisyonları, RB5 1 ve RB5 5 çalışmalar için ana İTP kaynağıdır. Atmosfere arsenik ve krom (+VI) emisyonları ise RB5 3 için İTP'nin ana nedenidir.

RB5 1, RB5 3 ve RB5 5 çalışmaları için, suya verilen selenyum emisyonları DSEP'in ana kaynağı olarak belirtilebilir. Atmosfere verilen halon ve tetraklorometan emisyonları RB5 1, RB5 3 ve RB5 5 çalışmalarının OTİP'inden sorumludur. Havaya verilen SO<sub>2</sub>, azot oksit emisyonları RB5 1, 3 ve 5 çalışmaları için FOOP oluşturur. KEP, esas olarak toprağa krom (+VI) emisyonları nedeniyle ortaya çıkar.

Pesqueira ve diğ., (2022) çalışmasının amacı, UV-C'nin hidrojen peroksit (HP), peroksimonosülfat (PMS) ve persülfat (PS) gibi farklı oksidanlarla birleştirilmesinin yaşam döngüsü değerlendirmesini yaparak çevresel etkilerini değerlendirmektir. Pesqueira ve diğ., (2022) yaptığı çalışmada fonksiyonel birim olarak “birkaç mikrokirletici içeren 1 m<sup>3</sup> kentsel ikincil atıksuyun arıtılması” olarak belirlenmiştir. Pesqueira ve diğ., (2022) çalışmasına ait veriler gerçek ölçekli bir tesisten elde edilmiştir ve bilinmeyen veriler için Ecoivent database versiyon 3 kullanılmıştır. Pesqueira ve diğ., (2022) arıtma süreçlerini değerlendirmek için ReCiPe metodolojisi kullanılmıştır. Mikrokirletilerin gideriminde UV-C uygun bir arıtma seçeneğidir fakat çok fazla elektrik gerektirdiği için çevreye olumsuz etkisi oldukça fazladır (Pesqueira ve diğ., 2022).

#### **4.3 Ayrık Tekstil Atıksuyundan RR21 Giderimi için Çevresel Etkiler**

Ayrık tekstil atıksuyunda bulunan eşit miktar RR21 kimyasalının %100 verimle giderimi için yardımcı olarak SPS ve SPC kimyasalları kullanmakla birlikte ozonlama yapılması sonucunda oluşan etki kategorileri hesaplanmıştır.

Ayrık tekstil atıksuyundan RR21 giderimi deneysel setlerinin çevresel etki değerlendirmesi sonuçları Çizelge 4.7’de verilmektedir. Çizelge 4.8’de, RR21 2 sonuçları %100 kabul edilerek oranlanmış çalışmaların çevresel etkilerin yüzde karşılaştırması sunulmuştur. Çizelge 4.8’deki değerler dikkate alındığında ayrık tekstil atıksuyundan RR21 giderimi deney setinde RR21 1, RR21 2, RR21 5 ve RR21 6’nın çevresel etkileri diğer deney setlerine göre daha düşük çıkmıştır. Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de RR21 1, RR21 2, RR21 3, RR21 4, RR21 5, RR21 6 RR21 2 7’nin ATP element, ATP fosil, AP, ÖP, TSEP, KIP, İTP, DSEP, OTİP, FOOP ve KEP kategorileri için RR21 2 sonuçları %100 kabul edilerek oranlanmış yüzdeleri gösterilmektedir.

Hangi çevresel etki kategorisinin/kategorilerinin önemli olduğuna bağlı olarak uygun bir arıtma alternatifinden bahsedilebilir. Gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda aşağıdaki bulgular ortaya çıkmıştır:

RR21 1 çalışması tüm kategorilerde en düşük etkiyi vermektedir. RR21 2’i referans alınarak tüm kategoriler orantılanmıştır. RR21 2’ye göre ATP element değeri ile karşılaştırıldığında RR21 1 ve RR21 5 için sırasıyla %80 ve %30 azalma söz

konusudur. Bu nedenle ATP element seviyesi karar vericiler için önemliyse, deneysel koşulları 1,390 kWh/m<sup>3</sup> enerji gereksinimini olan RR21 1 benimsenmelidir.

RR21 2'e göre ATP fosil değeri karşılaştırıldığında, en düşük değer RR21 1'de % 36 azalma oluşmaktadır.. Bu nedenle ATP fosil seviyesi karar vericiler için önemliyse, 1,390 kWh/m<sup>3</sup> enerji gereksinimini içeren RR21 1 benimsenmelidir.

Deney RR21 2 'ye göre AP değerinde RR21 1 % 41 azalma ile en düşük AP değerini vermektedir. RR21 6 için ise %12 azalma söz konusudur. AP için 1,390 kWh/m<sup>3</sup> enerji gereksinimini içeren RR21 1 deneyi önemli bir sürdürülebilir alternatifidir.

ÖP değeri RR21 2 ile kıyaslandığında RR21 1 ve RR21 6 için sırasıyla %19 ve %7 azalma söz konusudur. Benzer değerler TSEP değeri içinde geçerlidir. KIP değeri en düşük RR21 1'de %39 azalma ile olmuştur. Diğer deney setlerinde RR21 2'ye göre azalış olmamıştır. Benzer durum İTP, DSEP, FOOP ve KEP değerinde de olmuştur. İTP, DSEP, FOOP ve KEP değerinde RR21 2'ye göre azalış sadece RR21 1 deneyinde sırasıyla %35, %24, %44 ve % 35 oranında gerçekleşmiştir.

RR21 2'ye göre OTİP değerinde RR21 1, RR21 5 ve RR21 6 için sırasıyla %89, %61 ve %43 azalma söz konusudur.

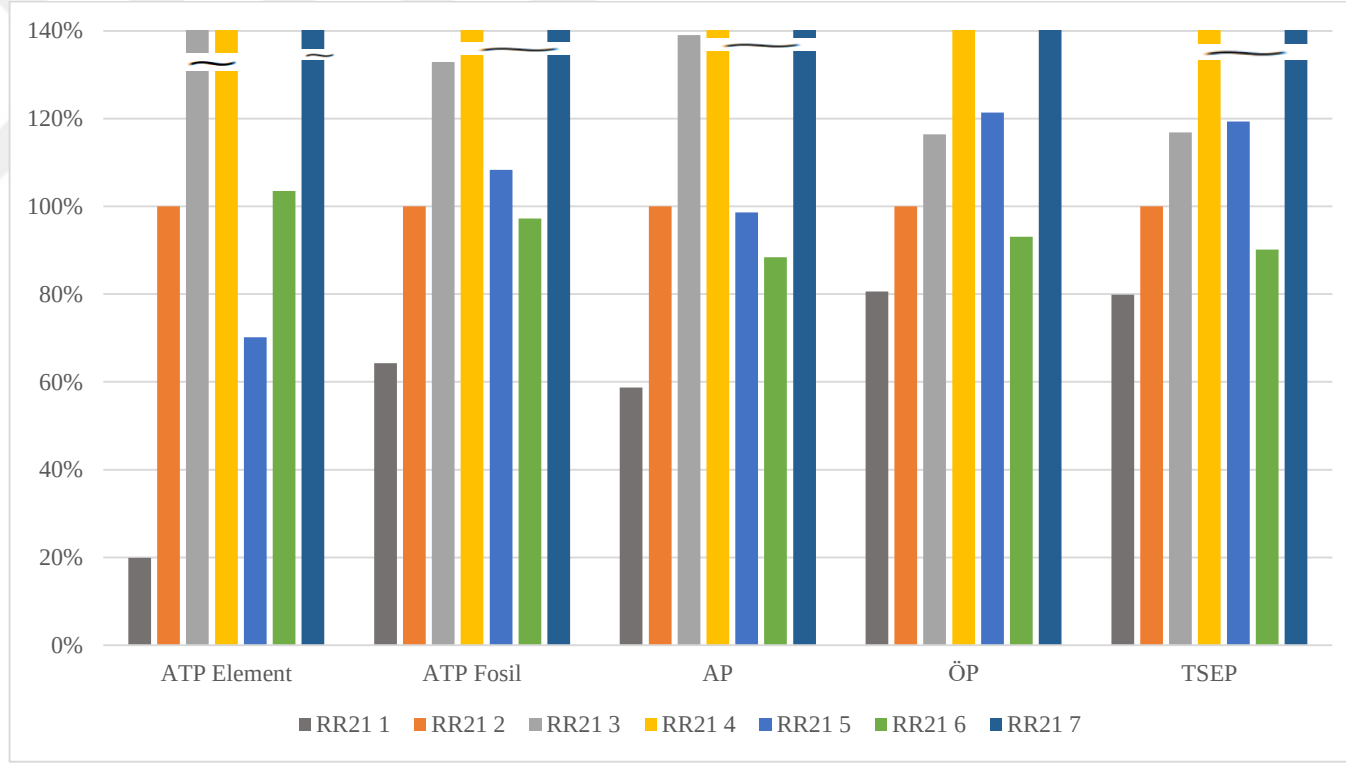
Şekil 4.12'da, RR21 2 için sonuçlarını %100 kabul ederek RR21 1, RR21 5 ve RR21 6 deney setlerinin RR21 2 deney setinin çevresel etki değerlerine oranlanmış değerlerini göstermektedir.

**Çizelge 4. 7:** Ayrık tekstil atıksuyundan RR21 giderimi için çevresel etkiler(1 m<sup>3</sup> artırılmış ayrık tekstil atıksu başına).

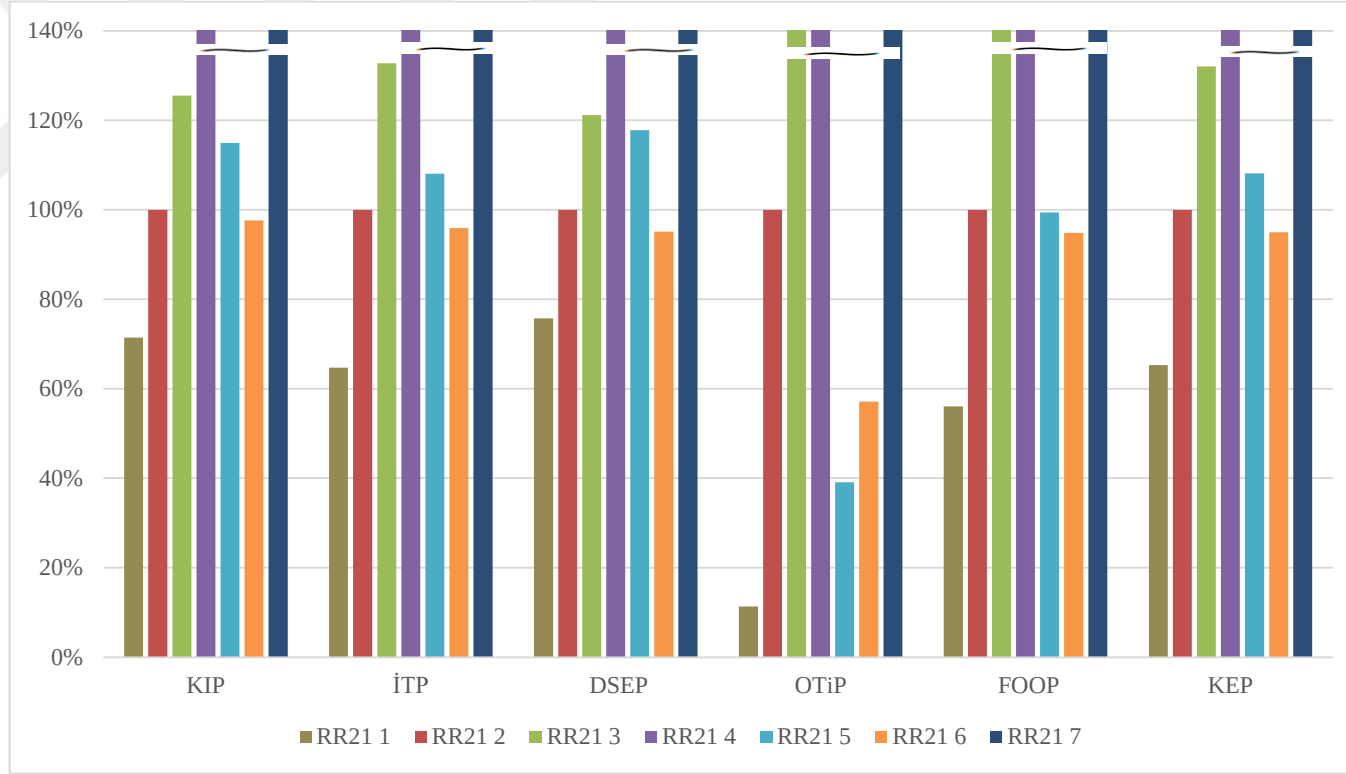
| <b>Etki Kategorisi</b>                        | <b>RR21 1</b> | <b>RR21 2</b> | <b>RR21 3</b> | <b>RR21 4</b> | <b>RR21 5</b> | <b>RR21 6</b> | <b>RR21 7</b> |
|-----------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| ATP Element (kg Sb-Eşd.)                      | 1,11E-06      | 5,58E-06      | 1,00E-05      | 3,68E-05      | 3,92E-06      | 5,78E-06      | 2,13E-05      |
| ATP Fosil (MJ)                                | 8,80E+00      | 1,37E+01      | 1,82E+01      | 4,71E+01      | 1,48E+01      | 1,33E+01      | 3,89E+01      |
| AP (kg SO <sub>2</sub> -Eşd.)                 | 5,51E-03      | 9,38E-03      | 1,30E-02      | 3,61E-02      | 9,25E-03      | 8,29E-03      | 2,42E-02      |
| ÖP (kg PO <sub>4</sub> -Eşd.)                 | 3,46E-03      | 4,29E-03      | 5,00E-03      | 9,87E-03      | 5,21E-03      | 4,00E-03      | 1,03E-02      |
| TSEP (kg DCB-Eşd.)                            | 8,04E-01      | 1,01E+00      | 1,18E+00      | 2,35E+00      | 1,20E+00      | 9,08E-01      | 2,32E+00      |
| KIP (kg CO <sub>2</sub> -Eşd.)                | 8,67E-01      | 1,21E+00      | 1,52E+00      | 3,56E+00      | 1,40E+00      | 1,19E+00      | 3,34E+00      |
| İTP (kg DCB-Eşd.)                             | 5,41E-01      | 8,36E-01      | 1,11E+00      | 2,86E+00      | 9,04E-01      | 8,02E-01      | 2,33E+00      |
| DSEP (kg DCB-Eşd.)                            | 1,95E+03      | 2,58E+03      | 3,12E+03      | 6,77E+03      | 3,03E+03      | 2,45E+03      | 6,62E+03      |
| OTİP (kg R11-Eşd.)                            | 9,93E-09      | 8,75E-08      | 1,65E-07      | 6,29E-07      | 3,42E-08      | 5,00E-08      | 1,84E-07      |
| FOOP (kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -Eşd.) | 2,78E-04      | 4,96E-04      | 7,02E-04      | 1,99E-03      | 4,93E-04      | 4,70E-04      | 1,43E-03      |
| KEP (kg DCB-Eşd.)                             | 6,30E-03      | 9,65E-03      | 1,27E-02      | 3,26E-02      | 1,04E-02      | 9,17E-03      | 2,64E-02      |

**Çizelge 4. 8:** Ayrık tekstil atıksuyundan RR21 gideriminin RR21 'ye göre oranlanmış çevre etkileri.

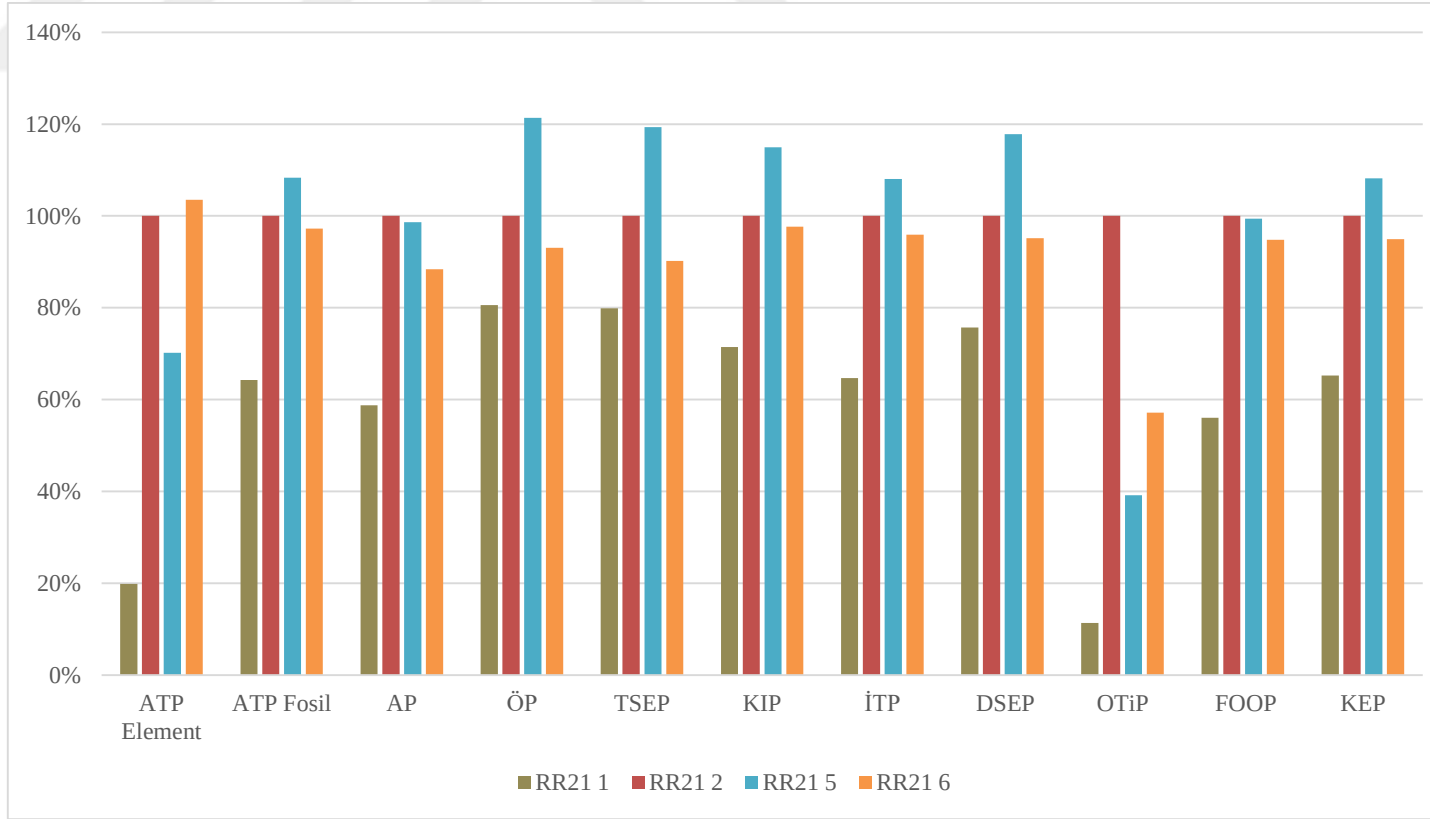
|             | RR21 1 | RR21 2 | RR21 3 | RR21 4 | RR21 5 | RR21 6 | RR21 7 |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ATP Element | 20%    | 100%   | 179%   | 658%   | 70%    | 104%   | 382%   |
| ATP Fosil   | 64%    | 100%   | 133%   | 344%   | 108%   | 97%    | 284%   |
| AP          | 59%    | 100%   | 139%   | 384%   | 99%    | 88%    | 258%   |
| ÖP          | 81%    | 100%   | 116%   | 230%   | 121%   | 93%    | 241%   |
| TSEP        | 80%    | 100%   | 117%   | 233%   | 119%   | 90%    | 230%   |
| KIP         | 71%    | 100%   | 126%   | 293%   | 115%   | 98%    | 275%   |
| İTP         | 65%    | 100%   | 133%   | 342%   | 108%   | 96%    | 278%   |
| DSEP        | 76%    | 100%   | 121%   | 263%   | 118%   | 95%    | 257%   |
| OTİP        | 11%    | 100%   | 189%   | 719%   | 39%    | 57%    | 210%   |
| FOOP        | 56%    | 100%   | 142%   | 402%   | 99%    | 95%    | 288%   |
| KEP         | 65%    | 100%   | 132%   | 338%   | 108%   | 95%    | 273%   |



**Şekil 4. 10:** Ayrık tekstil atıksuyundan RR21 gideriminin RR21 2'ye göre oranlanmış çevre etkileri(a).



**Şekil 4. 11:** Ayrık tekstil atıksuyundan RR21 gideriminin RR21 2'ye göre oranlanmış çevre etkileri(b).



**Şekil 4. 12:** Ayırık tekstil atıksuyundan RR21 gideriminin RR21 2'ye göre oranlanmış çevre etkileri.

Çizelge 4. 9’da verilen çevresel etkilere katkıda bulunan faktörler her çalışma için farklıdır. Toplam etkide elektrik, ulaşım ve kimyasal girdilerin payı, koşullar için önemli ölçüde değişmektedir. Ayrık tekstil atıksuyundan RR21 giderimi deney setinde yapılan 7 deney içinden çevreye etkisi en düşük olan 4 deney düzeneği (RR21 1, RR21 2, RR21 5 ve RR21 6) Çizelge 4.8’deki sonuçlara göre belirlendi. Şekil 4.13’de bu 4 deney için elektrik tüketimi, kimyasal üretimi ve kimyasal taşınmasından kaynaklı ulaşım faktörlerin yüzde etkisi gösterilmiştir.

Şekil 4. 13’de gösterildiği gibi, RR21 1 için elektrik gereksinimi, tüm kategorilerde %100 paya sahiptir. Bunun nedeni yardımcı bir kimsayalın RR21 çalışmasında kullanılmamasıdır. RR21 2 için ATP element değerinin %79’u SPS üretim girdisi, %21’i elektrik girdisinden oluşmaktadır. RR21 2 için, ATP fosil değeri elektrikten (%68) ve SPS girdisinden (%28) kaynaklanmaktadır. RR21 2’in AP’sine yapılan katkıların çoğunu elektrik (%62) ve SPS (%30) oluştururken geri kalan kısmı ulaşımıdır. Elektrik, RR21 2’nin ÖP değerine %85 oranında katkı sağlar iken %14’ü SPS girdisidir. Benzer yüzdeler TSEP için de geçerlidir. KIP’nin RR21 2 için sırasıyla elektrik ( %75) ve SPS (%22 ) girdilerinden kaynaklanmaktadır. RR21 2’nin İTP’si elektrik (%68) ve SPS (%30) girişlerinden oluşur. RR21 2 için DSEP’nin yaklaşık %80 elektrik ve %20’si SPS girdilerinden kaynaklanmaktadır. SPS ve elektrik katkıları, RR21 2’nin OTİP’sinde sırasıyla %81 ve %12 paya sahiptir. Öte yandan, RR21 2 için FOOP’nin %59 elektrik ve %32’si SPS’den oluşmaktadır. KEP değeri, RR21 2 için elektrik (%69) ve SPS (%30) kaynaklıdır. RR21 3’ün ATP element değerinin yaklaşık %88 SPS gereksinimi tarafından üretilir. Çizelge 4. 9’da koşullardan kaynaklanan etkiler için faktörlerin payı hakkında detaylı bilgi sunulmuştur.

**Çizelge 4. 9:** Ayrık tekstil atıksuyundan RR21 giderimi için farklı faktörlerin toplam çevresel etkilere katkısı.

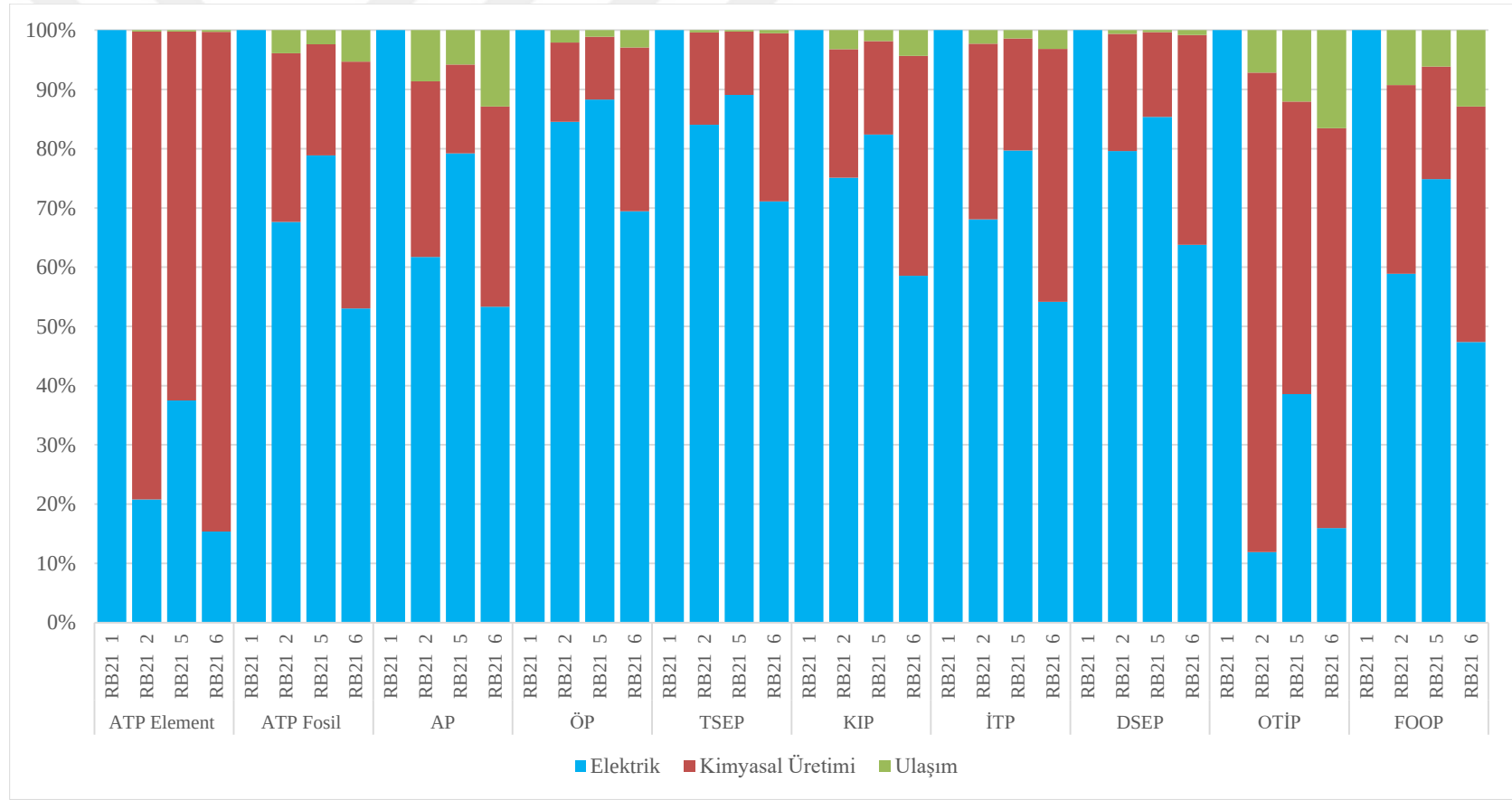
| Etki Kategorisi | Deney Seti | Elektrik | Kimyasal Üretimi | Ulaşım |
|-----------------|------------|----------|------------------|--------|
| ATP Element     | RB21 1     | 100%     | 0%               | 0%     |
|                 | RB21 2     | 21%      | 79%              | 0%     |
|                 | RB21 3     | 12%      | 88%              | 0%     |
|                 | RB21 4     | 4%       | 96%              | 0%     |
|                 | RB21 5     | 38%      | 62%              | 0%     |
|                 | RB21 6     | 15%      | 84%              | 0%     |
|                 | RB21 7     | 8%       | 91%              | 0%     |

**Çizelge 4. 9(devam):** Ayrık tekstil atıksuyundan RR21 giderimi için farklı faktörlerin toplam çevresel etkilere katkısı.

| Etki Kategorisi | Deney Seti | Elektrik | Kimyasal Üretimi | Ulaşım |
|-----------------|------------|----------|------------------|--------|
| ATP Fosil       | RB21 1     | 100%     | 0%               | 0%     |
|                 | RB21 2     | 68%      | 28%              | 4%     |
|                 | RB21 3     | 51%      | 43%              | 6%     |
|                 | RB21 4     | 25%      | 66%              | 9%     |
|                 | RB21 5     | 79%      | 19%              | 2%     |
|                 | RB21 6     | 53%      | 42%              | 5%     |
|                 | RB21 7     | 36%      | 57%              | 7%     |
| AP              | RB21 1     | 100%     | 0%               | 0%     |
|                 | RB21 2     | 62%      | 30%              | 9%     |
|                 | RB21 3     | 45%      | 43%              | 12%    |
|                 | RB21 4     | 20%      | 62%              | 18%    |
|                 | RB21 5     | 79%      | 15%              | 6%     |
|                 | RB21 6     | 53%      | 34%              | 13%    |
|                 | RB21 7     | 36%      | 46%              | 18%    |
| ÖP              | RB21 1     | 100%     | 0%               | 0%     |
|                 | RB21 2     | 85%      | 13%              | 2%     |
|                 | RB21 3     | 73%      | 23%              | 4%     |
|                 | RB21 4     | 46%      | 47%              | 7%     |
|                 | RB21 5     | 88%      | 11%              | 1%     |
|                 | RB21 6     | 69%      | 28%              | 3%     |
|                 | RB21 7     | 53%      | 43%              | 5%     |
| TSEP            | RB21 1     | 100%     | 0%               | 0%     |
|                 | RB21 2     | 84%      | 16%              | 0%     |
|                 | RB21 3     | 73%      | 27%              | 1%     |
|                 | RB21 4     | 45%      | 54%              | 1%     |
|                 | RB21 5     | 89%      | 11%              | 0%     |
|                 | RB21 6     | 71%      | 28%              | 1%     |
|                 | RB21 7     | 55%      | 44%              | 1%     |
| KIP             | RB21 1     | 100%     | 0%               | 0%     |
|                 | RB21 2     | 75%      | 22%              | 3%     |
|                 | RB21 3     | 60%      | 34%              | 5%     |
|                 | RB21 4     | 32%      | 59%              | 9%     |
|                 | RB21 5     | 82%      | 16%              | 2%     |
|                 | RB21 6     | 59%      | 37%              | 4%     |
|                 | RB21 7     | 41%      | 53%              | 6%     |

**Çizelge 4. 9(devam):** Ayrık tekstil atıksuyundan RR21 giderimi için farklı faktörlerin toplam çevresel etkilere katkısı.

| Etki Kategorisi | Deney Seti | Elektirik | Kimyasal Üretimi | Ulaşım |
|-----------------|------------|-----------|------------------|--------|
| İTP             | RB21 1     | 100%      | 0%               | 0%     |
|                 | RB21 2     | 68%       | 30%              | 2%     |
|                 | RB21 3     | 52%       | 45%              | 3%     |
|                 | RB21 4     | 25%       | 70%              | 5%     |
|                 | RB21 5     | 80%       | 19%              | 1%     |
|                 | RB21 6     | 54%       | 43%              | 3%     |
|                 | RB21 7     | 37%       | 59%              | 4%     |
| DSEP            | RB21 1     | 100%      | 0%               | 0%     |
|                 | RB21 2     | 80%       | 20%              | 1%     |
|                 | RB21 3     | 66%       | 33%              | 1%     |
|                 | RB21 4     | 38%       | 60%              | 2%     |
|                 | RB21 5     | 85%       | 14%              | 0%     |
|                 | RB21 6     | 64%       | 35%              | 1%     |
|                 | RB21 7     | 46%       | 52%              | 1%     |
| OTİP            | RB21 1     | 100%      | 0%               | 0%     |
|                 | RB21 2     | 12%       | 81%              | 7%     |
|                 | RB21 3     | 6%        | 86%              | 8%     |
|                 | RB21 4     | 2%        | 90%              | 8%     |
|                 | RB21 5     | 39%       | 49%              | 12%    |
|                 | RB21 6     | 16%       | 68%              | 17%    |
|                 | RB21 7     | 9%        | 73%              | 18%    |
| FOOP            | RB21 1     | 100%      | 0%               | 0%     |
|                 | RB21 2     | 59%       | 32%              | 9%     |
|                 | RB21 3     | 42%       | 45%              | 13%    |
|                 | RB21 4     | 18%       | 63%              | 18%    |
|                 | RB21 5     | 75%       | 19%              | 6%     |
|                 | RB21 6     | 47%       | 40%              | 13%    |
|                 | RB21 7     | 31%       | 52%              | 17%    |
| KEP             | RB21 1     | 100%      | 0%               | 0%     |
|                 | RB21 2     | 69%       | 30%              | 1%     |
|                 | RB21 3     | 52%       | 46%              | 2%     |
|                 | RB21 4     | 26%       | 71%              | 3%     |
|                 | RB21 5     | 80%       | 19%              | 1%     |
|                 | RB21 6     | 55%       | 43%              | 2%     |
|                 | RB21 7     | 38%       | 60%              | 2%     |



**Şekil 4. 13:** Ayrık tekstil atıksuyundan RR21 giderimi için farklı faktörlerin toplam çevresel etkilere katkısı.

RR21 1, RR21 2 ve RR21 6 deneysel çalışmaları için etki kategorilerinin ana nedenlerini gösteren kısa bir özet aşağıdaki bölümde belirtilmiştir.

RR21 1 için ATP element değeri, esas olarak bakır (%45) yenilenemeyen elementlerden kaynaklanmaktadır. RR21 2 ATP element değeri kadmiyum (%18), altın (%17), bakır (%21) ve kurşundur (%14). Oysa RR21 6 ile ilgili ATP element değeri esas olarak altından (%20) ve bakır (267) oluşur.

RR21 1 için ATP fosili, esas olarak taşkömürü (%42), linyit (%32) ve doğal gaz (%25) tüketimi nedeniyle elde edilir. Doğal gaz (%28), linyit(22) ve taş kömürü (%38)), RR19 2'ün ATP fosilini üretiyor. Öte yandan, doğal gaz (%28), taşkömürü (%38) ve linyit (%25), RR21 6 için ATP fosiline katkıda bulunanlardır.

AP değeri, RR21 1, RR21 2 ve RR21 6 çalışmaları için havaya verilen SO<sub>2</sub> ve NO emisyonları nedeniyle üretilir. Çalışmalar için aşağıdaki katkı yüzdeleri elde edilir: RR21 1: SO<sub>2</sub> (%79) ve NO (%19); RR21 2: SO<sub>2</sub> (%80) ve NO (%18); RR21 6: SO<sub>2</sub> (%78) ve NO (%19).

RR19 1, RR21 2 ve RR21 6 çalışmaları için ÖP'nin sırasıyla yaklaşık %71, %67 ve %67'si fosfat emisyonlarından kaynaklanmaktadır. RR21 1, RR21 2 ve RR21 6 çalışmalarının TSEP'sine esas olarak suya nikel, bakır ve berilyum emisyonları neden olur. KIP, en önemli çevresel etki kategorilerinden biri, RR21 1, RR21 2 ve RR21 6 çalışmaları için %90'dan fazla katkı ile atmosfere verilen CO<sub>2</sub> emisyonlarından kaynaklanmaktadır.

Suya verilen selenyum emisyonları, RR21 1, RR21 2 ve RR21 6 çalışmalar için ana İTP kaynağıdır.

RR21 1, RR21 2 ve RR21 6 çalışmaları için, suya verilen berilyum emisyonları DSEP'in ana kaynağı olarak belirtilebilir. Atmosfere verilen halon RR21 1 ve RR21 6 çalışmalarının OTİP'inden sorumludur. Tetraklorometan ve halon emisyonları RR21 2 OTİP değerinde etkilidir. Atmosfere verilen SO<sub>2</sub> ve azot oksit emisyonları RR21 1, RR21 2 ve RR21 6 çalışmaları için FOOP oluşturur. RR21 1, RR21 2 ve RR21 6 için KEP esas olarak toprağa krom (+VI) emisyonları nedeniyle ortaya çıkmaktadır.

Ayrık tekstil atıksuyundan RR21 giderimi ile benzer ileri oksidasyon yöntemi ile arıtma yapılan çalışmanın YDD'si aşağıda incelenmiştir.

Ahangarnokolaei ve diğ., tarafından yapılan (2021) yaşam döngüsü çalışmasında direk mavi 71(DM71) boyası içeren tekstil atıksuyu ozonlama ileri oksidasyon yöntemiyle arıtılmaktadır. Ahangarnokolaei ve diğ., (2021) YDD çalışmasında Simapro 9.1.0.8 yazılımı ve Ecoinvent veritabanı v3.3 kullanılmıştır(Ecoinvent Centre, 2016; Url-9). Bu YDD çalışmasında Ecoinvent v3.3 veritabanı, Yaşam Döngüsü Envanterini simüle etmek ve kimyasallar veya enerji üretimi gibi arıtma süreçlerine girdi sağlamak amacıyla referans olarak alınmıştır. Ahangarnokolaei ve diğ., (2021) ait çalışmanın fonksiyonel birimi 1 litre arıtılmış boya atıksuyu olarak belirlenmiştir ve sistem sınırları arıtma tesisi inşaatı, arıtma prosesinin işleyişi ve imha kısmını kapsamaktadır.

Ahangarnokolaei ve diğ., (2021) tarafından yapılan çalışmada sürecin tüm yaşam döngüsü değerlendirildiğinden, Simapro yazılımındaki Ecoinvent v3.3 veritabanındaki standart bir senaryoya dayalı olarak, reaktörlerin ömürlerinin sonunda imha edilmesi de düşünülmüştür, inşaat, ozonlama prosesi ve imha sistem sınırları içinde olmakla beraber daha detaylı bilgi için Ahangarnokolaei ve diğ., (2021) çalışması incelenebilir. Bu çalışmada ozonlama ile arıtma işleminde sırasıyla %60,6 ve %39,08 katkı ile yüksek enerji ve oksijen tüketimi nedeniyle 1 L arıtılmış boya atıksu başına 81,35 g CO<sub>2</sub> eşdeğeri salmaktadır. Enerji üretimi ve tüketimi önemli bir CO<sub>2</sub> salınımı kaynağıdır. Ahangarnokolaei ve diğ., (2021) göre oksijen üretimi sırasında CO<sub>2</sub> salınımının yaklaşık %85'i enerji tüketiminden kaynaklanmaktadır. Ahangarnokolaei ve diğ., (2021) göre ozonlama yüksek KEP değerine sahiptir bunun en önemli nedeni yüksek enerji ve oksijen tüketimi ve atıksu arıtma tesisine oksijen transferi kaynaklıdır. Bu çalışmadaki KEP değeri, üretim sırasında, inşaat aşamasında ve nihai ürünün hazırlanmasında toprağa verilen metal emisyonları nedeniyle kimyasal ve enerji tüketimi ile yüksek oranda ilişkilidir. Ahangarnokolaei ve diğ., (2021) göre ozonlama, yüksek enerji ve oksijen tüketimi nedeniyle başta KIP ve İTP etkisi olmak üzere tüm etki kategorilerinde yüksek çevresel yüke neden olmaktadır.

#### **4.4 Sudan İprodion Giderimi için Çevresel Etkiler**

Suda bulunan BPA kimyasalının %100 verimle giderimi için SPS kimyasalı ve UV-C kullanarak ileri oksidasyon yapılması sonucunda oluşan etki kategorileri hesaplanmıştır.

Sudan İprodion giderimi deneysel setlerinin çevresel etki değeriendirilmesi sonuçları Çizelge 4.10'da verilmektedir. Çizelge 4.11'de, İprodion 1 sonuçları %100 kabul edilerek oranlanmış çalışmaların çevresel etkilerin yüzde karşılaştırması sunulmuştur.

Hangi çevresel etki kategorisinin/kategorilerinin önemli olduğuna bağılı olarak uygun bir arıtma alternatifinden bahsedilebilir. Gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda aşağıdaki bulgular ortaya çıkmıştır:

ATP element değerieleri arasında İprodion 3 en düşük etkiyi vermektedir. İprodion 1 ile karşılaştırıldığında İprodion 2 ve İprodion 3'de sırasıyla %8 ve %16 azalma görölmektedir. Bu nedenle ATP element seviyesi karar vericiler için önemliyse, diğeri deneysel koşullara göre 21,42 mg/l SPS ve 1,787 kWh/m<sup>3</sup> enerji gereksinimini içeren İprodion 3 benimsenmelidir.

ATP fosil, AP, İTP ve KEP kategorileri için İprodion 1'e göre, İprodion 2 ve İprodion 3 için sırasıyla%15 ila %31 azalma ile en düşük istenmeyen etkiler elde edilir. Bu nedenle ATP fosil, AP, İTP ve KEP kategorileri açısından 21,42 mg/l SPS ve 1,787 kWh/m<sup>3</sup> enerji gereksinimini içeren İprodion 3 alternatif bir arıtma olarak belirtilebilir.

ÖP ve DSEP kategorileri için İprodion 1'e göre, İprodion 2 ve İprodion 3 için sırasıyla%16 ile %32 azalma göstermektedir. ÖP ve DSEP açısından en düşük değeri İprodion 3'de oluşmaktadır. Bu nedenle 21,42 mg/l SPS ve 1,787 kWh/m<sup>3</sup> enerji gereksinimini içeren İprodion 3 alternatif bir arıtma olarak belirtilebilir. İprodion 1 ile karşılaştırıldığında, TSEP için İprodion 2 ve İprodion 3 çalışmaları ile sırasıyla %17 ve %33 azalma elde edilebilir.

En düşük KIP, İprodion 1'den %32 azalmanın elde edildiğı İprodion 3 ile elde edilebilir. İprodion 3 kadar yüksek azalma olmasa da, İprodion 2'de İprodion 1'e göre yaklaşık %15 azalma gerçekleşmektedir. Sonuç olarak, 21,42 mg/l SPS ve 1,787 kWh/m<sup>3</sup> enerji gereksinimini içeren İprodion 3, en düşük KIP değeri sağılayan arıtma alternatifi olarak belirtilebilir.

Tüm çalıştırmalarda OTİP seviyeleri yaklaşık olarak aynıdır.Fakat çok küçük bir fark ile İprodion 3 ön plana çıkmaktadır.En düşük FOOP, İprodion 3 ile elde edilir. İprodion 3, İprodion 1'e kıyasla %30 azalma ile sonuçlanır.

Deneysel çalışmaların karşılaştırılmasıyla ilgili tüm bulguların bir zeti olarak aşağıdakiler belirtilebilir:

Tüm kategorilerde en düşük etki İprodion 3’de ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle evresek etkileri azaltmak için 21,42 mg/l SPS ve 1,787 kWh/m<sup>3</sup> enerji gereksinimini içeren İprodion 3 alışması uygulanmalıdır.

şekil 4.14’de, İprodion 1 için sonuçlarını %100 kabul ederek diğerk deney setleri İprodion 1 deney setinin çevresel etki değerklerine oranlanmış değerklerini göstermektedir.

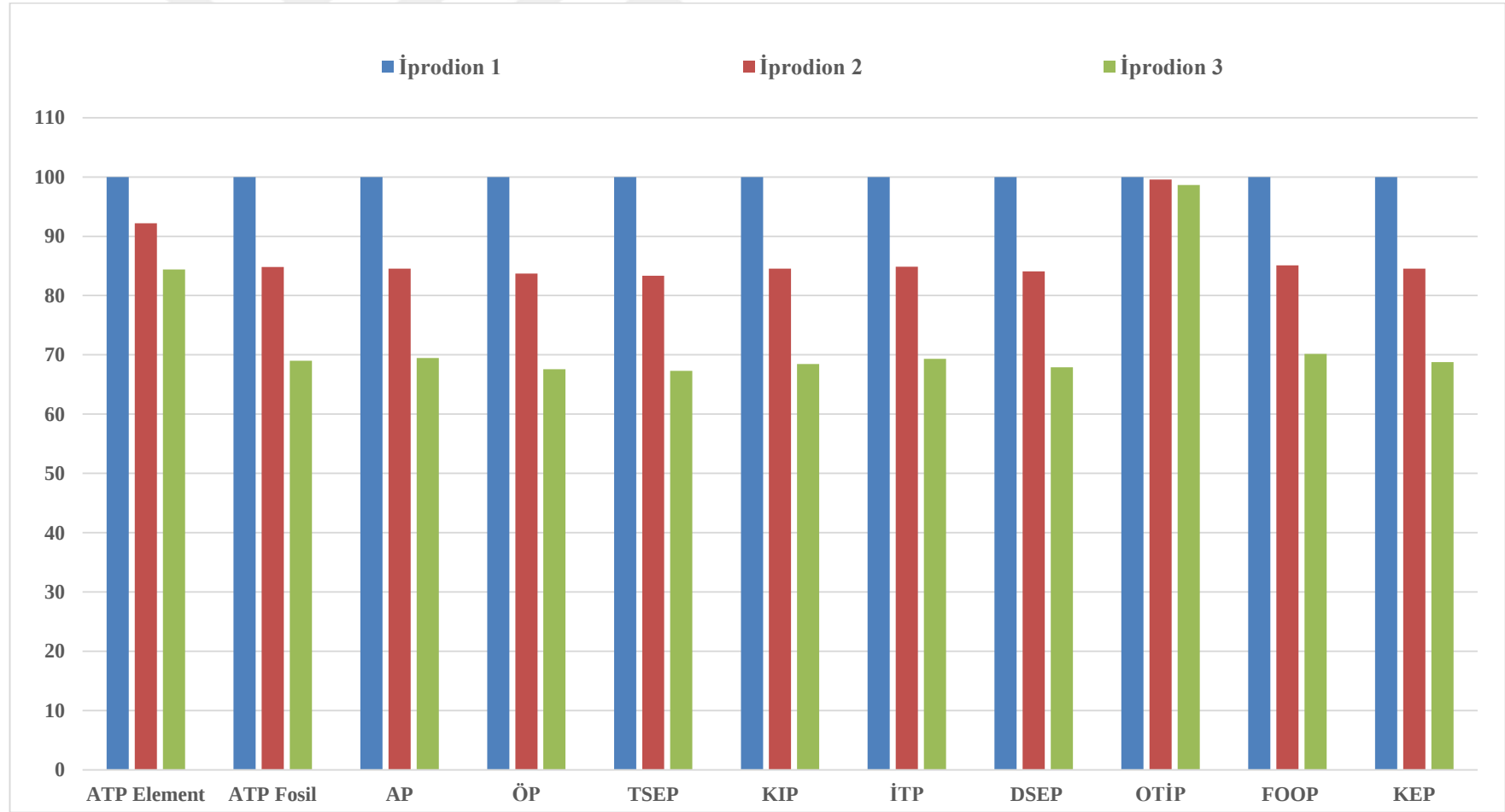


**Çizelge 4. 10:** Sudan İprodion giderimi için çevresel etkiler etkiler(1 m<sup>3</sup> arıtılmış su başına).

| <b>Etki Kategorisi</b>                        | <b>İprodion 1</b> | <b>İprodion 2</b> | <b>İprodion 3</b> |
|-----------------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| ATP Element (kg Sb-Eşd.)                      | 2,31E-06          | 2,13E-06          | 1,95E-06          |
| ATP Fosil (MJ)                                | 1,71E+01          | 1,45E+01          | 1,18E+01          |
| AP (kg SO <sub>2</sub> -Eşd.)                 | 1,08E-02          | 9,13E-03          | 7,50E-03          |
| ÖP (kg PO <sub>4</sub> -Eşd.)                 | 6,69E-03          | 5,60E-03          | 4,52E-03          |
| TSEP (kg DCB-Eşd.)                            | 1,56E+00          | 1,30E+00          | 1,05E+00          |
| KIP (kg CO <sub>2</sub> -Eşd.)                | 1,68E+00          | 1,42E+00          | 1,15E+00          |
| İTP (kg DCB-Eşd.)                             | 1,05E+00          | 8,91E-01          | 7,28E-01          |
| DSEP (kg DCB-Eşd.)                            | 3,77E+03          | 3,17E+03          | 2,56E+03          |
| OTİP (kg R11-Eşd.)                            | 2,22E-08          | 2,21E-08          | 2,19E-08          |
| FOOP (kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -Eşd.) | 5,43E-04          | 4,62E-04          | 3,81E-04          |
| KEP (kg DCB-Eşd.)                             | 1,23E-02          | 1,04E-02          | 8,46E-03          |

**Çizelge 4. 11:** Sudan İprodion giderimi için İprodion 1’e göre oranlanmış çevre etkileri.

|             | İprodion 1 | İprodion 2 | İprodion 3 |
|-------------|------------|------------|------------|
| ATP Element | 100%       | 92%        | 84%        |
| ATP Fosil   | 100%       | 85%        | 69%        |
| AP          | 100%       | 85%        | 69%        |
| ÖP          | 100%       | 84%        | 68%        |
| TSEP        | 100%       | 83%        | 67%        |
| KIP         | 100%       | 85%        | 68%        |
| İTP         | 100%       | 85%        | 69%        |
| DSEP        | 100%       | 84%        | 68%        |
| OTİP        | 100%       | 100%       | 99%        |
| FOOP        | 100%       | 85%        | 70%        |
| KEP         | 100%       | 85%        | 69%        |



**Şekil 4. 14:** Sudan İprodion giderimi için İprodion 1'e göre oranlanmış çevre etkileri.

Çizelge 4.10’da verilen çevresel etkilere katkıda bulunan faktörler her çalışma için farklıdır. Toplam etkide elektrik, ulaşım ve kimyasal girdilerin payı, koşullar için önemli ölçüde değişmektedir.

Şekil 4.15’de gösterildiği gibi, İprodion 1, İprodion 2 ve İprodion 3 deneysel çalışmaları için elektrik gereksinimi, bahsedilen toplam etkiler üzerinde %95’ten fazla payla ATP fosil, AP, ÖP, TSEP, KIP, İTP, DSEP, FOOP ve KEP kategorilerine hakimdir.

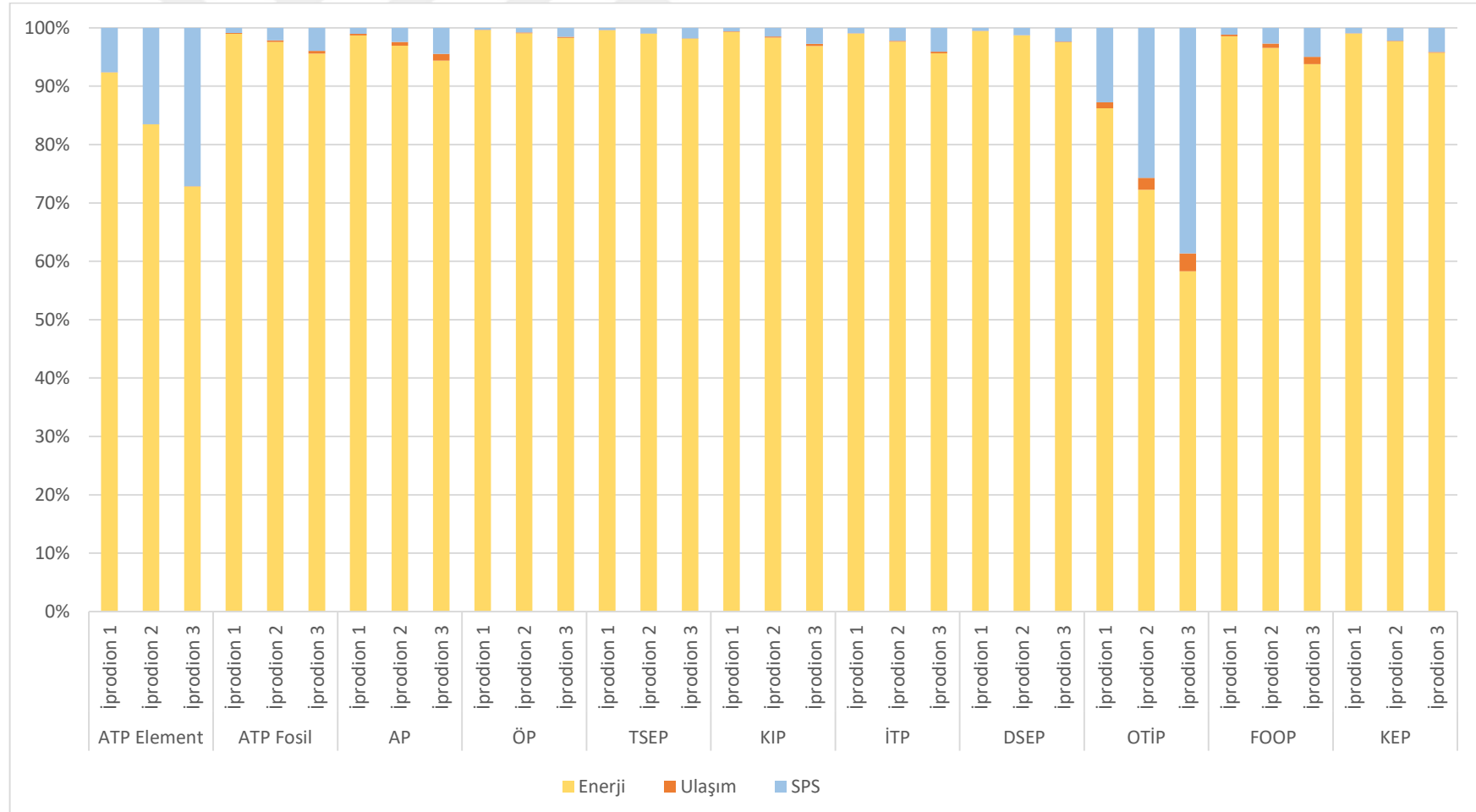
İprodion 1 için ATP element değerinin yaklaşık %92’si elektrik girdisinden ve %8’i SPS üretiminden oluşmaktadır. İprodion 1’in OTİP’i, %86’sı elektrikten, %13’ü SPS girişinden ve %1’i ulaşımından oluşmaktadır.

İprodion 2 için ATP element değerinin %84’ü SPS üretim girdisi, %16’sı elektrik girdisinden oluşmaktadır. SPS ve elektrik katkıları, İprodion 2’nin OTİP’sinde sırasıyla %72 ve %26 paya sahiptir.

İprodion 3’ün ATP element değerinin yaklaşık %73 elektrik girdisinden %17’si SPS gereksinimi tarafından üretilir. SPS ve elektrik katkıları, İprodion 3’ün OTİP’sinde sırasıyla %59 ve %39 paya sahiptir. Çizelge 4.12’de koşullardan kaynaklanan etkiler için faktörlerin payı hakkında daha fazla bilgi bulunabilir.

**Çizelge 4. 12:** Sudan İprodion giderimi için farklı faktörlerin toplam çevresel etkilere katkısı.

| Etki Kategorisi | Deney Seti | Enerji | Ulaşım | Kimyasal Üretimi |
|-----------------|------------|--------|--------|------------------|
| ATP Element     | İprodion 1 | 92%    | 0%     | 8%               |
|                 | İprodion 2 | 84%    | 0%     | 17%              |
|                 | İprodion 3 | 73%    | 0%     | 27%              |
| ATP Fosil       | İprodion 1 | 99%    | 0%     | 1%               |
|                 | İprodion 2 | 97%    | 0%     | 2%               |
|                 | İprodion 3 | 96%    | 0%     | 4%               |
| AP              | İprodion 1 | 98%    | 0%     | 1%               |
|                 | İprodion 2 | 97%    | 1%     | 2%               |
|                 | İprodion 3 | 94%    | 1%     | 4%               |
| ÖP              | İprodion 1 | 100%   | 0%     | 0%               |
|                 | İprodion 2 | 99%    | 0%     | 1%               |
|                 | İprodion 3 | 98%    | 0%     | 2%               |
| TSEP            | İprodion 1 | 99%    | 0%     | 0%               |
|                 | İprodion 2 | 99%    | 0%     | 1%               |
|                 | İprodion 3 | 98%    | 0%     | 2%               |
| KIP             | İprodion 1 | 99%    | 0%     | 1%               |
|                 | İprodion 2 | 98%    | 0%     | 1%               |
|                 | İprodion 3 | 97%    | 0%     | 3%               |
| İTP             | İprodion 1 | 99%    | 0%     | 1%               |
|                 | İprodion 2 | 98%    | 0%     | 2%               |
|                 | İprodion 3 | 96%    | 0%     | 4%               |
| DSEP            | İprodion 1 | 99%    | 0%     | 1%               |
|                 | İprodion 2 | 99%    | 0%     | 1%               |
|                 | İprodion 3 | 98%    | 0%     | 2%               |
| OTİP            | İprodion 1 | 86%    | 1%     | 13%              |
|                 | İprodion 2 | 72%    | 2%     | 26%              |
|                 | İprodion 3 | 58%    | 3%     | 39%              |
| FOOP            | İprodion 1 | 99%    | 0%     | 1%               |
|                 | İprodion 2 | 97%    | 1%     | 3%               |
|                 | İprodion 3 | 94%    | 1%     | 5%               |
| KEP             | İprodion 1 | 98%    | 0%     | 1%               |
|                 | İprodion 2 | 97%    | 0%     | 2%               |
|                 | İprodion 3 | 96%    | 0%     | 4%               |



**Şekil 4. 15:** Sudan İprodion giderimi için farklı faktörlerin toplam çevresel etkilere katkısı.

İprodion 1, İprodion 2 ve İprodion 3 deneysel çalışmaları için etki kategorilerinin ana nedenlerini gösteren kısa bir özet aşağıdaki bölümde belirtilmiştir.

İprodion 1 için ATP element değeri, esas olarak bakır (%42) yenilenemeyen elementlerden kaynaklanmaktadır. İprodion 2'nin ATP element değeri bakırdan (%40) oluşmaktadır . Oysa İprodion 3 ile ilgili ATP element değeri esas olarak bakırdır(%37). İprodion 1, İprodion 2 ve İprodion 3 için ATP fosili, esas olarak taşkömürü (%41), linyit (%31) ve doğal gaz (%25) tüketimi nedeniyle elde edilir.

AP değeri, İprodion 1, İprodion 2 ve İprodion 3 çalışmaları için atmosfere verilen SO<sub>2</sub> ve NO emisyonları nedeniyle üretilir. İprodion 1, İprodion 2 ve İprodion 3 çalışmaları için SO<sub>2</sub> %79 ve NO %19 oranında ana etkenlerdir.

İprodion 1, İprodion 2 ve İprodion 3 çalışmaları için ÖP'nin yaklaşık %71'i suya verilen fosfat emisyonlarından kaynaklanmaktadır. İprodion 1, İprodion 2 ve İprodion 3 için TSEP değerine esas olarak suya verilen nikel, bakır ve berilyum emisyonları neden olur. KIP, en önemli çevresel etki kategorilerinden biri, İprodion 1, İprodion 2 ve İprodion 3 çalışmaları için yaklaşık %92 katkı ile atmosfere verilen CO<sub>2</sub> emisyonlarından kaynaklanmaktadır.

Suya verilen selenyum (%32) emisyonları, İprodion 1, İprodion 2 ve İprodion 3 çalışmaları için ana İTP kaynağıdır. İprodion 1, İprodion 2 ve İprodion 3 için, suya verilen berilyum (%42) emisyonları DSEP'in ana kaynağı olarak belirtilebilir.

Atmosfere verilen halon ve tetraklorometan emisyonları İprodion 1, İprodion 2 ve İprodion 3 çalışmalarının OTİP'inden sorumludur. Atmosfere verilen SO<sub>2</sub> ve azot oksit emisyonları İprodion 1, İprodion 2 ve İprodion 3 çalışmaları için FOOP oluşturur. KEP, esas olarak toprağa krom (+VI) emisyonları nedeniyle ortaya çıkar.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Laboratuvar ölçekli arıtma deney setlerinin çevresel etkilerinin değerlendirildiği ve sürdürülebilir arıtma alternatiflerinin belirlendiği bu çalışmadan elde edilen bulgular aşağıda verilmektedir.

Daha önce yapılmış arıtılabilirlik çalışmalarına ait koşullar üzerinden çevresel etkiler saptanmıştır. Öztürk ve diğ., (2021) sözü edilen arıtılabilirlik bir çalışmada BPA içeren musluk suyu; UV-C ile sodyum persülfat (UV-C/SPS); UV-C ile sodyum perkarbonat (UV-C/SPC); UV-C ile hidrojen peroksit (UV-C/HP) kullanılarak laboratuvar ölçekli deneyler gerçekleştirilmiştir BPA konsantrasyonu 2 mg/L, UV-C gücü 0,66 watt, pH değeri 7,9 ve hacmi 500 ml ile yürütülen 9 farklı deneysel çalışma için sabit deney koşullarıdır (Öztürk ve diğ., 2021). BPA giderimi deney düzeneklerinde kimyasalın çeşidi, kimyasalın konsantrasyonu ve kullanılan UV-C için geçen süreye bağlı elektrik tüketimi değişiklik göstermektedir.

Musluk suyundan BPA giderimi çalışmalarında, UV-C/SPS, UV-C/SPC ve UV-C/HP ileri oksidasyon yöntemleri kullanılarak deney setlerinde % 100 BPA gideren koşullar üstünden çevresel etkiler belirlenmiştir. BPA 1, BPA 2, BPA 3, BPA 4, BPA 5, BPA 6, BPA 7, BPA 8 ve BPA 9 alternatifleri değerlendirildiğinde musluk suyundan BPA gideriminde tüm etki kategorilerinde en düşük seviyeye BPA 9 deneysel çalışmasında oluşmuştur. Bunun en önemli nedeni elektrik tüketiminin musluk suyundan BPA giderimindeki diğer çalışmalara göre daha az olmasıdır. Alternatif olarak BPA 8’de tüm kategoriler de azalma göstermiştir fakat BPA 9’daki azalmaya kıyasla değerleri daha yüksek çıkmıştır Çünkü BPA 9’daki elektrik tüketimi BPA 8’den daha azdır. Sonuç olarak, 0,154 kWh/m<sup>3</sup> enerji girişi ile 6,8 mg/l HP girişi içeren BPA 9 çalışması arıtma alternatifini seçmek diğer çalışmalara göre daha uygun olacaktır. İkinci alternatif olarak BPA 2, ATP fosil, AP, ÖP, TSEP, KIP, İTP, DSEP, FOOP ve KEP etki kategorilerinde BPA 9’dan sonra en düşük seviyeye sahip deney olmuştur. Bu nedenle 23,8 mg/l SPS ve 0,154 kWh/m<sup>3</sup> enerji girdisinden oluşan BPA 2 çalışması bu kategorilerde azaltma hedefleniyorsa ek bir alternatif olarak kullanılabilir. ATP

Element ve OTİP değerinde sırasıyla %42 ve %56 azalma ile BPA 9 çalışmasından sonra en az değerlere sahip olan BPA 8(3,4 mg/l HP ve 0,440 kWh/m<sup>3</sup> enerji) çalışması bu etki kategorisinde azaltım hedefi için uygun bir alternatif olacaktır.

Musluk suyundan BPA gideriminde kullanılan SPS, SPC ve HP kıyaslandığında elde edilen sonuçlar neticesinde çevresel etkisi en az olan HP (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) olarak ön plana çıkmaktadır. SPS yardımcı kimyasalı, BPA 1 ve BPA2 için ATP element değerinin oluşumunda sırasıyla %46, %83 paya sahiptir. Elektrik girdisi, BPA 1 ve BPA 2 için ATP element değerinin oluşumunda sırasıyla %54, %17 katkıya sahiptir. BPA 1 ATP element değeri, esas olarak bakır (%31) elementi kaynaklanmaktadır. BPA 2 için ATP element değeri, esas olarak bakır (%20), kadmiyum (%18) elementinden kaynaklanmaktadır. SPC kimyasalının çevreye etkisi, SPS'den az olmasına rağmen UV-C/SPC ileri oksidasyonu ile gerçekleşen çalışmalar hiçbir kategoride UV-C/SPS çalışmalarından daha düşük değer elde edememiştir. Bunun en önemli nedeni UV-C/SPC ileri oksidasyonu ile gerçekleşen çalışmaların %100 BPA gideriminin oldukça uzun zaman almasıdır. Deneyin uzun sürmesi ile UV-C'nin daha çok elektrik tüketmesine bağlı olarak UV-C/SPC prosesinin çevresel sürdürülebilirliği üzerinde olumsuz bir etki oluşturmuştur.

BPA giderim deneylerine genel olan bakıldığında tüm kategorilerde elektrik tüketiminin çevresel sürdürülebilirlik üzerindeki etkisini görmek mümkündür. BPA 9'da KIP değerinin %90'nı elektrik girdisi kaynaklı oluşurken HP kimyasalının üretimi %9 ve ulaşım basamağı %1 katkı payına sahiptir. KIP değeri, BPA 9 için %90'dan fazla katkı ile atmosfere verilen CO<sub>2</sub> emisyonlarından kaynaklanmaktadır. Çalışmada kullanılan Türkiye'nin elektriği üretiminde doğalgaz (%19), linyit (%15), taşkömürü (%22), hidrolik (%29) ve %13'lük kısmını ise diğer enerji üretim teknolojileri (güneş, rüzgar, jeotermal) oluşturmaktadır(Url-10). Bu da kullanılan elektriğinin büyük bir kısmının fosil yakıtlardan oluştuğunu göstermektedir. BPA 9 en iyi arıtma alternatifi olmasına rağmen çevresel etkileri iyileştirme imkanları da mevcuttur. KIP değerini oluşturan %90 elektrik girdisi eğer yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilirse KIP değerinde önemli bir düşüş meydana gelecektir. Pesqueira ve diğ., (2022) tarafından yapılan çalışmada UV-C/hidrojen peroksit, UV-C/peroksimonosülfat ve UV-C/persülfat ileri oksidasyon prosesleriyle birkaç mikrokirletici içeren kentsel ikincil atıksuyun arıtılmasında kullanılan elektriğin fotovoltaiik güneş panellerinden elde edilmesi ile İspanya'nın şebeke elektriği

kullanılması durumları için oluşan çevresel etkiler karşılaştırılmıştır. İspanyol şebeke elektrik enerjisi karışımı doğal gaz(%20,8), nükleer(%20,3), hidroelektrik(%13,4), kömür(%14,3), rüzgar(18,5), petrol(%5,2) ve diğerlerinden kaynaklanmaktadır(Carral ve diğ., 2021).Pesqueira ve diğ., (2022) çalışmasında tüm deney koşulları aynı olmasına rağmen fotovoltaiik enerji kaynağı kullanan arıtma sisteminin KIP değeri, İspanya şebeke elektriği kullanılabilecek şekilde yaklaşıp 10 kat azalmıştır. Pesqueira ve diğ., (2022) tarafından yapılan çalışma ile güneş enerjisinden elde edilen elektrik ile UV-C lambasının kullanılmasının fosil yakıt ağırlıklı üretilen elektriğe göre daha az KIP değerine sahip olduğu ortaya çıkmaktadır. Musluk suyundan BPA giderimi çalışmasında KIP değerinin ana nedeni %90'dan fazla katkı ile havaya verilen CO<sub>2</sub> emisyonu olmaktadır. Bu nedenle fosil yakıt kullanımını azaltarak havaya verilen CO<sub>2</sub> emisyonunun azaltılması sağlanabilir. Ancak bu tip enerji kaynağı değişikliklerinin diğer etki kategorileri üzerinde nasıl bir fark yaratacağına da bakılması gerekmektedir.

Daha önce yapılmış arıtılabilirlik çalışmalarına ait koşullar üzerinden çevresel etkiler saptanmıştır. Koba Uzun (t.y) sözü edilen arıtılabilirlik bir çalışmada RB5 boya içeren ayırık tekstil atıksuyu, UV-C ile SPS ve UV-C ile SPC kullanılarak laboratuvar ölçekli deneyler gerçekleştirilmiştir. RB5 konsantrasyonu 20 mg/L, UV-C gücü 0,67 watt, pH değeri 8 ve hacmi 500 ml ayırık tekstil atıksuyundan RB5 giderimi çalışmalarında değişmeyen deney koşullarıdır(Koba Uzun, t.y). RB5 giderimi deney düzeneklerinde kimyasalın çeşidi, kimyasalın konsantrasyonu ve kullanılan UV-C için geçen süreye bağlı elektrik tüketimi değişiklik göstermektedir.

Ayırık tekstil atıksuyundan RB5 giderimi çalışmalarında, UV-C/SPS ve UV-C/SPC ileri oksidasyon yöntemleri kullanılarak deney setlerinde % 100 RB5 gideren deney koşulları üstünden çevresel etkiler belirlenmiştir. RB5 1, RB5 2, RB5 3, RB5 4, RB5 5, RB5 6 ve RB5 7 alternatifleri değerlendirildiğinde RB5 giderimi çalışmalarında ATP element ve OTİP kategorilerine diğerlerine göre öncelik verilirse, en düşük değerler 35,7 mg/l SPS ve 1.340 kWh/m<sup>3</sup> enerji girdisi olan RB5 1'de elde edilmektedir. RB5 1 için ATP element değerinin yaklaşık %78'i elektrik girdisinden ve %22'si SPS üretiminden, OTİP değeri %62 elektrik girdisi, %30 SPS üretimi ve %8 ulaşımdan oluşmaktadır. Bu katkı payları göz önüne alındığında RB5 1 için kullanılan elektriğin güneş, rüzgar, hidroelektrik ve jeotermal gibi yenilenebilir kaynaklardan elde etmek ATP element ve OTİP kategorilerinde anlamlı bir iyileştirme sağlayacaktır. Atmosfere verilen halon ve tetraklorometan emisyonları RB5 1 OTİP'inden; bakır,

kadmiyum ve altın elementleri ise RB5 1'in ATP element değerinden sorumludur. RB5 1 için ATP fosili, esas olarak taşkömürü (%40), linyit (%29) ve doğal gaz (%25) tüketimi nedeniyle elde edilir.

ATP fosil, AP, İTP, FOOP ve KEP kategorilerinde en düşük etkiye RB5 5 çalışması sahiptir. Bu kategorilerin karar vericiler için önemli olması durumunda, 78,5 mg/l SPC ve 0,670 kWh/m<sup>3</sup> enerji girdisinden oluşan arıtma alternatifi (RB5 5) benimsenmelidir. RB5 5 için ATP fosil, AP, İTP, FOOP ve KEP kategorilerinde elektrik girdisinin katkısı sırasıyla %90, %79, %94, %77 ve %97'dir. Bu değerlere göre elektrik tüketiminin bu kategorilere etkisi oldukça büyüktür ve elektrik girdisinde yapılacak değişiklik (yenilenebilir enerjiden elektrik üretimi gibi) ATP fosil, AP, İTP, FOOP ve KEP değerlerinde önemli azalışa neden olacaktır. RB5 5'de, ATP fosilin ana nedeni taşkömürü; AP ana nedeni havaya verilen SO<sub>2</sub> ve NO emisyonları; İTP ana nedeni suya verilen selenyum emisyonları ve KEP ana nedeni toprağa krom (+VI) emisyonlarından kaynaklanmaktadır

Son olarak ÖP, TSEP, KIP ve DSEP kategorileri daha önemli ise, 238 mg/l SPS girişli ve 0,223 kWh/m<sup>3</sup> enerji gereksinimi olan RB5 3 uygulanmalıdır. RB5 3 çalışması için ÖP, TSEP, KIP ve DSEP kategorilerine SPS üretiminin etkisi sırasıyla %53, %61, %65 ve %67 olmuştur. Bu kategorilerin değerini düşürmek için ileri oksidasyonda kullanılan SPS yerine HP gibi çevreye etkisi daha düşük olan bir yardımcı kimyasal seçilebilir (Pesqueira ve diğ., 2022).

Arslan-Alaton ve Koba Uzun (2021) sözü edilen arıtılabilirlik bir çalışmada RR21 boya içeren ayrık tekstil atıksuyu, SPS/Ozon ve SPC/Ozon kullanılarak laboratuvar ölçekli deneyler gerçekleştirilmiştir. RR21 konsantrasyonu 100 mg/L, ozon dozu 72 mg/dakika, pH değeri 11 ve hacmi 1000 ml tüm RR21 giderimi çalışmalarında değişmeyen deney koşullarıdır (Arslan-Alaton ve Koba Uzun, 2021). RR21 giderimi çalışmalarında arıtma kullanılan kimyasal çeşidi, kimyasal konsantrasyonu ve elektrik tüketimi miktarları değişiklik göstermektedir.

RR21 1 çalışması, RR21 giderimi deneysel çalışmalarında tüm kategorilerde en düşük etkiyi vermektedir. 1,390 kWh/m<sup>3</sup> enerji gereksinimini içeren RR21 1 en uygun arıtma alternatifi olarak bulunmuştur. RR21 1 çalışmasının çevresel etkileri %100 elektrik kaynaklıdır. ATP element değerinde RR21 1'den sonra en sürdürülebilir alternatif RR21 5 (RR21 2'ye göre %30 azalma) çalışmasıdır. RR21 5 çalışması, 117,75 mg/l

SPC ve 1,850 kWh/m<sup>3</sup> enerji girdisinden oluşmaktadır. AP değerinde ise ikincil bir alternatif olarak RR21 6 (235,5 mg/l SPC ve 1,116 kWh/m<sup>3</sup> enerji) seçilebilir. AP değeri, RR21 1, RR21 2, RR21 5 ve RR21 6 çalışmaları için havaya verilen SO<sub>2</sub> ve NO emisyonları nedeniyle üretilir. RR21 5'in AP değerinin %53'ü elektrik tüketimi kaynaklı oluşmaktadır ve bunun başlıca sebebi fosil kaynaklı özellikle de linyit kaynaklı elektrik kullanılmasıdır (Atılğan ve Azapagic, 2015).). OTİP değerinde RR21 1, RR21 5 ve RR21 6 için RR21 2'ye göre sırasıyla %89, %61 ve %33 azalma söz konusudur. OTİP değerine, RR21 1 %100 elektrik girdisi, RR21 5 %49 SPC üretimi, RR21 6 %68 SPC üretimi kaynaklı oluşmaktadır. RR21 1 deneyinde elektrik katkısı %100 olduğu için elektrik dışında herhangi bir iyileştirme yapmak mümkün değildir. Atılğan ve Azapagic (2015) tarafından yapılan çalışmaya göre OTİP etki kategorisi için en fazla katkı doğal gaz kullanan santrallerden elde edilen enerji sebep olmaktadır. Atmosfere verilen halon RR21 1 ve RR21 6 çalışmalarının OTİP'inden sorumludur. Havaya verilen Tetraklorometan ve halon emisyonları RR21 2 OTİP değerinde etkilidir.

Ayrık tekstil atıksuyundan RR21 giderimi deneyleri arasında en düşük etki kategorilerine RR21 1 deneyinin sahip olmasına rağmen elektrik üretiminde güneş, rüzgar ve jeotermal gibi yenilenebilir kaynakların kullanılması halinde RR21 1 deneyinin çevresel etki değerlerinde büyük ölçüde azalma meydana gelmesi beklenmektedir. RR21 5 ve RR21 6 deneylerinde ise ATP Element ve OTİP kategorileri için SPC üretimi kaynaklı katkı ön plana çıkarken ATP fosil, AP, ÖP, TSEP, KIP, İTP, DSEP, FOOP ve KEP kategorileri için elektrik ön plana çıkmaktadır. RR21 5 ve RR21 6 çalışmalarında ATP Element ve OTİP değerini azaltmak için SPC kimyasalına alternatif olarak HP kimyasalının kullanılması önerilebilir (Pesqueira ve diğ., 2022). Ancak RR21 5 ve RR21 6 çalışmalarında ATP fosil, AP, ÖP, TSEP, KIP, İTP, DSEP, FOOP ve KEP kategorileri için %58 fosil kaynaklardan elde edilen elektrik yerine güneş, rüzgar, hidroelektrik gibi alternatif enerji kaynakların elde edilen elektrik kullanılması tavsiye edilebilir (Url-10).

Montazeri ve diğ., (2020) sözü edilen arıtılabilirlik bir çalışmada İprodion içeren sudan UV-C ile SPS kullanılarak laboratuvar ölçekli deneyler gerçekleştirilmiştir. İprodion konsantrasyonu 2 mg/L, UV-C gücü 0,67 watt, pH değeri 6,8 ve hacmi 500 ml ile yürütülen 3 farklı deneysel çalışma için sabit deney koşullarıdır (Montazeri ve

diğ., 2020). İprodion giderimi çalışmalarında arıtmada kullanılan kimyasal konsantrasyonu ve elektrik tüketimi miktarları değişiklik göstermektedir.

Sudan İprodion gideriminde, UV-C/SPS kullanılarak deney setlerinde % 100 İprodion gideren koşullar üstünden çevresel etkiler belirlenmiştir. Sudan İprodion giderimi deneysel çalışmalarında tüm etki kategorilerde değerlendirildiğinde en düşük etki İprodion 3 çalışmasında oluşmuştur. Çünkü sudan İprodion giderimi çalışmaları arasında en az elektrik tüketimi İprodion 3'te gerçekleşmiştir. Bu nedenle diğer deneysel koşullara göre 21,42 mg/l SPS ve 1,787 kWh/m<sup>3</sup> enerji gereksinimini içeren İprodion 3 benimsenmelidir.

İprodion 1, İprodion 2 ve İprodion 3 deneysel çalışmaları için elektrik gereksinimi, toplam etkileri üzerinden %95'ten fazla payla ATP fosil, AP, ÖP, TSEP, KIP, İTP, DSEP, FOOP ve KEP kategorilerine hakimdir. İprodion giderim deneylerinde yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektriğin kullanılması ile ATP fosil, AP, ÖP, TSEP, KIP, İTP, DSEP, FOOP ve KEP etki kategorilerinde çevresel etki değerlerinin azalması beklenmektedir. İprodion 3'ün ATP element değeri elektrik girdisi (%73) ve SPS üretim girdisinden (%27) kaynaklanmaktadır. İprodion 3'ün OTİP'i ise %58 elektrik, %39 SPS üretimi ve %3 ulaşım kaynaklıdır. İprodion 3 ile ilgili ATP element değeri esas olarak bakır elementinden kaynaklanmaktadır. Atmosfere verilen halon ve tetraklorometan emisyonları İprodion 3 deneyinin OTİP'inden sorumludur. İprodion 3 için ATP fosili %96 elektrik girdisinden kaynaklanmaktadır. İprodion 3'ün ATP fosili, esas olarak taşkömürü (%41), linyit (%31) ve doğal gaz (%25) tüketimi nedeniyle elde edilir.

Tüm deney setleri incelendiğinde elektrik katkısı ciddi anlamda ön plana çıkmaktadır. Elektrik girdisini ise kimyasal üretimi katkısı takip etmektedir. Ulaşım girdisi genel olarak düşük katkı paylarına sahipti.

Bu çalışmada verilen değerlendirme, laboratuvar ölçeğinde arıtılabilirlik sonuçlarına dayanmaktadır. Tam bir arıtma tesisine göre ölçeklendirme sırasında çalışmada gösterilen etkilerin bir dereceye kadar farklılık göstereceği akılda tutulmalıdır. Yine de bu çalışmanın sonuçları, araştırılan arıtma alternatiflerinin çevresel etkileri hakkında genel bir karşılaştırmalı bakış açısı sağlar.

Bu çalışmada deney setlerinin çevresel etkileri üzerine yoğunlaşmıştır. Gerçekleştirilen bu çalışmada ekonomik bir kıyaslama mevcut değildir. Deney

setlerinin çevresel etkilerinin yanı sıra ekonomik açıdan da incelenmesi ve sürdürülebilir arıtma alternatiflerinin bu hususlar dikkate alınarak belirlenmesi daha doğru olacaktır.





## KAYNAKLAR

- Ahangarnokolaie, M. A., Attarian, P., Ayati, B., Ganjidoust, H., & Rizzo, L.** (2021). Life cycle assessment of sequential and simultaneous combination of electrocoagulation and ozonation for textile wastewater treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(5), 106251.
- Arachchige, U., Vithanage, D., Wadanambi, R., Wandana, S., Wijerathne, M., & Wimalarathne, S.** (2019). Environmental Impacts Of Textile Industry In Sri Lanka. *International Journal of Scientific & Technology Research*. 08(09). 251-253.
- Arslan-Alaton, İ. & Koba Uzun O.** (2021) The application of peroxide-assisted ozonation for color and organic carbon removal from reactive dyebath effluent. *4th International Eurasian Conference on Biological and Chemical Sciences*. Ankara, Türkiye: Kasım 24-26
- Athanasekou, C. P., Likodimos, V., & Falaras, P.** (2018). Recent developments of TiO<sub>2</sub> photocatalysis involving advanced oxidation and reduction reactions in water. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. doi:10.1016/j.jece.2018.07.026
- Atilgan, B., & Azapagic, A.** (2015). Life cycle environmental impacts of electricity from fossil fuels in Turkey. *Journal of Cleaner Production*, 106, 555–564. doi:10.1016/j.jclepro.2014.07.046
- Awad, H., Alalm, M.G., El-Etrib, H.** (2019). Environmental and cost life cycle assessment of different alternatives for improvement of wastewater treatment plants in developing countries. *Science of The Total Environment*, 660, 57-68. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.386>
- Azbar, N., Yonar, T., & Kestioglu, K.** (2004). Comparison of various advanced oxidation processes and chemical treatment methods for COD and color removal from a polyester and acetate fiber dyeing effluent. *Chemosphere*, 55(1), 35–43. doi:10.1016/j.chemosphere.2003.10.046
- Bezares-Cruz, J.C.** (2016). *Environmental impact assessment and removal of endocrine disrupting compounds in municipal wastewater treatment*. (Doktora tezi). University of Texas at El Paso, Doctoral Program in Civil Engineering, Texas.
- Bilińska, L., Gmurek, M., & Ledakowicz, S.** (2016). Comparison between industrial and simulated textile wastewater treatment by AOPs – Biodegradability, toxicity and cost assessment. *Chemical Engineering Journal*, 306, 550–559. doi:10.1016/j.cej.2016.07.100
- Blystone, C., Lambright, C., Furr, J., Wilson, V., & Grayjr, L.** (2007). Iprodione delays male rat pubertal development, reduces serum testosterone

levels, and decreases ex vivo testicular testosterone production. *Toxicology Letters*, 174(1-3), 74–81. doi:10.1016/j.toxlet.2007.08.010

- Carral, L., Cartelle Barros, J.J., Carro Fidalgo, H., Camba Fabal, C. & Munín Doce, A.** (2021) Greenhouse Gas Emissions and Energy Consumption of Coastal Ecosystem Enhancement Programme through Sustainable Artificial Reefs in Galicia. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 18, 1909. <https://doi.org/10.3390/ijerph18041909>
- Çakır, S., A.** (2018). *Tekstil boyar maddelerinin ileri oksidasyon yöntemleri (UV, UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, UV/OZON, UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-ozon) ile muamele edilmesi.* (Yüksek lisans tezi). Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- De la Cruz, N., Esquius, L., Grandjean, D., Magnet, A., Tungler, A., de Alencastro, L. F., & Pulgarín, C.** (2013). Degradation of emergent contaminants by UV, UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and neutral photo-Fenton at pilot scale in a domestic wastewater treatment plant. *Water Research*, 47(15), 5836–5845. doi:10.1016/j.watres.2013.07.005
- Demirel, Y.E., Öztürk, P.H., Öztürk, E., Kitiş, M.** (2017). Yaşam döngüsü analizi ve endüstriyel uygulama örnekleri. *12. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi*. Ankara, Türkiye: Ekim 5-7.
- Deng, Y., & Zhao, R.** (2015). Advanced Oxidation Processes (AOPs) in Wastewater Treatment. *Current Pollution Reports*, 1(3), 167–176. doi:10.1007/s40726-015-0015-z
- Drumond Chequer, F. M., de Oliveira, G. A. R., Anastacio Ferraz, E. R., Carvalho, J., Boldrin Zanoni, M. V., & de Oliveir, D. P.** (2013). Textile Dyes: Dyeing Process and Environmental Impact. doi:10.5772/53659
- Ecoinvent Centre.** (2013). Ecoinvent v3.0 Database. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, Switzerland. [www.ecoinvent.ch](http://www.ecoinvent.ch).
- Ecoinvent Centre.** (2013). Ecoinvent v3.1 Database. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, Switzerland. [www.ecoinvent.ch](http://www.ecoinvent.ch).
- Ecoinvent Centre.** (2016). Ecoinvent v3.3 Database. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, Switzerland. [www.ecoinvent.ch](http://www.ecoinvent.ch).
- El-Bouraie, M., El-Din, W.S.** (2016). Biodegradation of Reactive Black 5 by *Aeromonas hydrophila* strain isolated from dye-contaminated textile wastewater. *Sustainable Environment Research*, 26, 209-216. <http://dx.doi.org/10.1016/j.serj.2016.04.014>
- Gamadze, N. ve Pirgahoğlu, S.** (2020). Oxidation of reactive black 5 solutions with sulfate radicals activated by iron. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 800 doi:10.1088/1757-899X/800/1/012016
- Gasser, C. A., Yu, L., Svojitka, J., Wintgens, T., Ammann, E. M., Shahgaldian, P., ... Hommes, G.** (2013). Advanced enzymatic elimination of phenolic contaminants in wastewater: a nano approach at field scale. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 98(7), 3305–3316. doi:10.1007/s00253-013-5414-8

- Ghaly, A.E., Ananthashankar, R., Alhattab, M. & Ramakrishnan, V.V.**(2014). Production, Characterization and Treatment of Textile Effluents: A Critical Review. *Journal of Chemical Engineering & Process Technology*, 05(01). doi:10.4172/2157-7048.1000182
- Glaze, W. H., Kang, J.-W., & Chapin, D. H.** (1987). The Chemistry of Water Treatment Processes Involving Ozone, Hydrogen Peroxide and Ultraviolet Radiation. *Ozone: Science & Engineering*, 9(4), 335–352. doi:10.1080/01919518708552148
- Gottschalk, C., Libra, J. A., & Saupe, A.** (2000). Ozonation of Water and Waste Water. doi:10.1002/9783527613342
- Guinée J. B., Gorree M., Heijungs R., Huppes G., Kleijn R., Koning A. D., Haes H. A.** (2001). *Handbook on life cycle assessment*.
- He, Z., Song, S., Zhou, H., Ying, H., & Chen, J.** (2007). C.I. Reactive Black 5 decolorization by combined sonolysis and ozonation. *Ultrasonics Sonochemistry*, 14(3), 298–304. doi:10.1016/j.ultsonch.2006.09.002
- Hmimou, A., Maslouhi, A., Tamoh, K., & Candela, L.** (2014). Experimental monitoring and numerical study of pesticide (carbofuran) transfer in an agricultural soil at a field site. *Comptes Rendus Geoscience*, 346(9-10), 255–261. doi:10.1016/j.crte.2014.03.003
- Huang, Y. Q., Wong, C. K. C., Zheng, J. S., Bouwman, H., Barra, R., Wahlström, B., ... Wong, M. H.** (2012). Bisphenol A (BPA) in China: A review of sources, environmental levels, and potential human health impacts. *Environment International*, 42, 91–99. doi:10.1016/j.envint.2011.04.010
- ISO.** (2006). Life Cycle Assessment - Principles and Framework. Geneva, Switzerland, International Standard Organization. BS EN ISO 14040:2006: 1-20.
- ISO.** (2006). Life Cycle Assessment - Requirements and Guidelines. Geneva, Switzerland, International Standard Organization. BS EN ISO 14040:2006: 1-46.
- Jager, D., Kupka, D., Vaclavikova, M., Ivanicova, L., & Gallios, G.** (2017). Degradation of Reactive Black 5 by electrochemical oxidation. *Chemosphere*, 190, 405–416. doi:10.1016/j.chemosphere.2017.09.126
- Jolliet, O., Saadé-Sbeih, M., Shaked, S., Jolliet, A., & Crettaz, P.**(2016). Environmental life cycle assessment. *CRC Press*.  
<https://doi-org.divit.library.itu.edu.tr/10.1201/b19138>
- Joshi, S., & Saxena, N.**(2018)Bacterial Decolorization of Reactive Red: Strategic Bioremediation of Textile Dye. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 7(9), 147-156. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.709.019>
- Karnam, S.S., Ghosh, R.C., Mondal, S. & Mondal, M.** (2015) Evaluation of subacute bisphenol - A toxicity on male reproductive system, *Veterinary World* 8(6): 738-744.
- Koba Uzun, O.**(t.y.) Basılmamış çalışma. Yayınlanmak üzere dergiye gönderildi.

- Klöpffer, W., ve Grahl, B.**(2014). Life Cycle Assessment (LCA): A Guide to Best Practice. doi:10.1002/9783527655625
- Lassalle, Y., Jellouli, H., Ballerini, L., Souissi, Y., Nicol, É., Bourcier, S., & Bouchonnet, S.** (2014). Ultraviolet–vis degradation of iprodione and estimation of the acute toxicity of its photodegradation products. *Journal of Chromatography A*, 1371, 146–153. doi:10.1016/j.chroma.2014.10.051
- Lopez-Alvarez, B., Villegas-Guzman, P., Peñuela, G. A., & Torres-Palma, R. A.** (2016). Degradation of a Toxic Mixture of the Pesticides Carbofuran and Iprodione by UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: Evaluation of Parameters and Implications of the Degradation Pathways on the Synergistic Effects. *Water, Air, & Soil Pollution*, 227(6). doi:10.1007/s11270-016-2903-2
- Manzoor, J. & Sharma, M.** (2020) Impact of Textile Dyes on Human Health and Environment. *Impact of Textile Dyes on Public Health and the Environment*. 162-169. doi:10.4018/978-1-7998-0311-9.ch008
- Melcer, H., & Klecka, G.** (2011). Treatment of wastewaters containing bisphenol A: State of the science review. *Water Environment Research*, 83(7), 650-66.
- Montazeri, B., Ucun, O. K., Arslan-Alaton, I., & Olmez-Hanci, T.** (2020). UV-C-activated persulfate oxidation of a commercially important fungicide: case study with iprodione in pure water and simulated tertiary treated urban wastewater. *Environmental Science and Pollution Research*. doi:10.1007/s11356-020-07974-3
- Moreira, N.F.F., Narciso-da-Rocha, C., Polo-Lopez, M.I., Pastrana-Martinez, L.M., Faria, J.L., Manaia, C.M., Fernandez-Ibanez, P., Nunes, O.C. and Silva, A.M.T.** (2018) Solar treatment (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>-P25 and GO-TiO<sub>2</sub> photocatalysis, photo-Fenton) of organic micropollutants, human pathogen indicators, antibiotic resistant bacteria and related genes in urban wastewater. *Water Research* 135, 195-206.
- Mukhopadhyay, M.,ve Chakraborty, P.** (2021).Plasticizers and bisphenol A: Emerging organic pollutants along the lower stretch of River Ganga, north-east coast of the Bay of Bengal. *Environmental Pollution* (276), <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116697>
- Norzaee, S., Bazrafshan, E., Djahed, B., Kord Mostafapour, F. & Khaksefidi, R.**(2017). UV Activation of Persulfate for Removal of Penicillin G Antibiotics in Aqueous Solution. *The Scientific World Journal*. doi: 10.1155/2017/3519487
- Ogugbue, C. J., & Sawidis, T.** (2011). Bioremediation and Detoxification of Synthetic Wastewater Containing Triarylmethane Dyes by *Aeromonas hydrophila* Isolated from Industrial Effluent. *Biotechnology Research International*, 1–11. doi:10.4061/2011/967925
- Ohore, O. E., & Songhe, Z.** (2019). Endocrine disrupting effects of bisphenol A exposure and recent advances on its removal by water treatment systems. A review. *Scientific African*, 5, doi:10.1016/j.sciaf.2019.e00135

- Ölmez-Hancı, T., Arslan-Alaton, İ. & İmren, C.**(2018). Performance of the Persulfate/UV-C Process for the Treatment of Dimethyl Phthalate from Aquatic Environments. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 5(2), 189-196. doi:10.30897/ijegeo.425436
- Öztürk, P., Koba-Ucun, O., & Arslan-Alaton, İ.** (2021). UV-C Activation of Peroxides for Bisphenol A Removal from a Real Water Sample. *CLEAN - Soil Air Water* 49(12), doi:10.1002/clen.202100050
- Özyıldız, G., Ölmez-Hancı, T., & Arslan-Alaton, İ.** (2019). Effect of Nano-scale, Reduced Graphene Oxide on the Degradation of Bisphenol A in Real Tertiary Treated Wastewater with the Persulfate/UV-C Process. *Applied Catalysis B: Environmental*. doi:10.1016/j.apcatb.2019.04.092
- Pelletier, N. L., Ayer, N. W., Tyedmers, P. H., Kruse, S. A., Flysjo, A., Robillard, G., ... Sonesson, U.** (2006). Impact categories for life cycle assessment research of seafood production systems: Review and prospectus. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 12(6), 414–421. doi:10.1065/lca2006.09.275
- Pesqueira, J. F. J. R., Pereira, M. F. R., & Silva, A. M. T.** (2020). A life cycle assessment of solar-based treatments (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub> photocatalysis, circumneutral photo-Fenton) for the removal of organic micropollutants. *Science of The Total Environment*, 761. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.143258
- Pesqueira, J., Marugán, J., Pereira, M. & Silva, A.** (2022). Selecting the most environmentally friendly oxidant for UVC degradation of micropollutants in urban wastewater by assessing life cycle impacts: Hydrogen peroxide, peroxymonosulfate or persulfate?. *Science of The Total Environment*. 808. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.152050.
- Pignatello, J. J., Oliveros, E., & MacKay, A.** (2006). Advanced Oxidation Processes for Organic Contaminant Destruction Based on the Fenton Reaction and Related Chemistry. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 36(1), 1–84. doi:10.1080/10643380500326564
- Pisani, C., Voisin, S., Arafah, K., Durand, P., Perrard, M.H..... Prat, O.** (2016) Ex Vivo Assessment of Testicular Toxicity Induced by Carbendazim and Iprodione, Alone or in a Mixture. *ALTEX: Alternativen zu Tierexperimenten* 33(4), doi:10.14573/altex.1601253
- Powar, A., Perwuelz, A., Behary, N., Hoang, L.V., Thierry, A., Loghin, C., Maier, S.S., Guan, J. & Chen, G.**(2021).Environmental Profile Study of Ozone Decolorization of Reactive Dyed Cotton Textiles by Utilizing Life Cycle Assessment. *Sustainability*, 13(13):1225 <https://doi.org/10.3390/su13031225>
- Rebello, A., Roque, R.P., Gonçalves, Ricardo R.F., Calmon, J.L., & Queiroz, L.M.** (2021). Life cycle assessment of urban wastewater treatment plants: a critical analysis and guideline proposal. *Water Science & Technology*, 83.3, 501-514 doi:0.2166/wst.2020.608.
- Rodríguez-Chueca, J., Polo-López, M.I., Mosteo, R., Ormad, M.P. and Fernández-Ibáñez, P.** (2014) Disinfection of real and simulated urban

wastewater effluents using a mild solar photo-Fenton. *Applied Catalysis B: Environmental* 150-151(5), 619-629.

**Salihoğlu, G., Çakır, Z., Salihoğlu, N.K.** (2018). Arıtma Tesislerinde Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi: Bursa Organize Sanayi Bölgesi Su Üretim Tesisi Örneği. *İklim Değişikliği ve Çevre*, 3, (2) 64–78

**Satapanajaru, T., Yoo-iam, M., Bongprom, P., & Pengthamkeerati, P.** (2014). Decolorization of Reactive Black 5 by persulfate oxidation activated by ferrous ion and its optimization. *Desalination and Water Treatment*, 56(1), 121–135. doi:10.1080/19443994.2014.932710

**Schug, T.T., Birnbaum, L.S.** (2014) Human Health Effects of Bisphenol A. *Toxicants in Food Packaging and Household Plastics*, 1-29. doi:10.1007/978-1-4471-6500-2\_1

**Sharma, J., Mishra, I. M., Dionysiou, D. D., & Kumar, V.** (2015). Oxidative removal of Bisphenol A by UV-C/peroxymonosulfate (PMS): Kinetics, influence of co-existing chemicals and degradation pathway. *Chemical Engineering Journal*, 276, 193–204. doi:10.1016/j.cej.2015.04.021

**Solarchem Environmental Systems** (1994). The UV/Oxidation Handbook.

**Suresh, S.** (2014) Treatment of Textile Dye Containing Effluents. *Current Environmental Engineering*, 1(3), 162-184. doi:10.2174/2212717801666141021235246

**Sphera.** (2017). GaBi V7.3 software and database

**Şener Fidan, F. , Kızılkaya Aydoğan, E. & Uzal, N.** (2020). Life Cycle Assessment for Neutralization process in Textile Wastewater Treatment Plant . *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi* , 36 (3) , 504-510.

**Wang, J. L., & Xu, L. J.** (2012). Advanced Oxidation Processes for Wastewater Treatment: Formation of Hydroxyl Radical and Application. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 42(3), 251–325. doi:10.1080/10643389.2010.507698

**Zhang, Y. and Zhou, J.L.** (2008) Occurrence and Removal of Endocrine Disrupting Chemicals in Wastewater. *Chemosphere*, 73, 848-853. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.06.001>

#### Url-1

<[http://cevre.mf.duzce.edu.tr/Dokumanlar/cevre\\_mf/Dosyalar/S%C3%9CRD%C3%9CR%C3%9CLEB%C4%B0L%C4%B0R%20Kalk%C4%b1nma%20ve%20%C3%87evre.pdf](http://cevre.mf.duzce.edu.tr/Dokumanlar/cevre_mf/Dosyalar/S%C3%9CRD%C3%9CR%C3%9CLEB%C4%B0L%C4%B0R%20Kalk%C4%b1nma%20ve%20%C3%87evre.pdf)>, erişim tarihi 25.02.2022

**Url-2**<<https://alchetron.com/bisphenol-s-e1de7046-2fe5-43a6-9c00-713ae1b18c6-resize-750.jpg>>, erişim tarihi 25.02.2022

**Url-3**< <https://www.konsultasyon.net/mikrositer-anemi/>>, erişim tarihi 11.03.2022

**Url-4**<<http://pubs.sciepub.com/ajmr/1/4/5/figure/1>>, erişim tarihi 25.02.2022

**Url-**

**5**<<https://www.ulprospector.com/en/asia/Coatings/Detail/30151/582911/Reactobond-Red-BB-150>>, erişim tarihi 27.02.2022

**Url-6**<<https://www.worlddyevariety.com/reactive-dyes/reactive-red-21.html>>, erişim tarihi 27.02.2022

**Url-7**<<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Iprodione#section=2D-Structure>>, erişim tarihi 12.02.2022,

**Url-8**<<https://www.altensis.com/en/services/product-sustainability/lca-life-cycle-assessment/>>, erişim tarihi 02.03.2022,

**Url-9**< <https://simapro.com/>>, erişim tarihi 13.03.2022,

**Url-10**<<https://kojenturk.org/tr/teias-elektrik-uretim-istatistikleri-2019-1268>>, erişim tarihi 11.01.2022

**Url-11**<<https://www.freemaptools.com/measure-distance.htm>>, erişim tarihi 11.01.2022



## ÖZGEÇMİŞ

**Ad-Soyad** : Kübra Doğan

|  |
|--|
|  |
|--|

### ÖĞRENİM DURUMU:

**Lisans** : 2018, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi,  
Çevre Mühendisliği

### MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

**02.2021 - Devam ediyor** : Akkim Kimya Sanayi Ticaret A.Ş.  
Yönetim Sistemleri Uzman Yardımcısı

**11.2019 - 06.2020** : Ak-Kim Kimya Sanayi Ticaret A.Ş.  
Yönetim Sistemleri Stajyeri

**11.2018 - 05.2019** : RRM Denetim Mühendislik  
Çevre Mühendisi/Çevre Görevlisi

**06.2018 - 07.2018** : İSKİ Güngören Şube Müdürlüğü  
Çevre Mühendisliği Stajyeri

**06.2017 - 07.2017** : İTÜ Çevre Mühendisliği Laboratuvarı  
Çevre Mühendisliği Stajyeri

**08.2016 - 09.2016** : Özen Cam Geri Dönüşüm  
Çevre Mühendisliği Stajyeri