

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

**Denim Kumaş Üretimi Yapan Bir Tekstil Fabrikasının Su
Ayak İzini Belirlenmesi ve Azaltılmasına Yönelik Temiz
Üretim Uygulamalarının Araştırılması**

Hakan GÜNEY

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Aralık, 2024

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZ ONAYI

**Denim Kumaş Üretimi Yapan Bir Tekstil Fabrikasının Su
Ayak İzinin Belirlenmesi ve Azaltılmasına Yönelik Temiz
Üretim Uygulamalarının Araştırılması**

Hakan GÜNEY

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu Doktora Tezi 27/11/2024 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Değerlendirilmiş
ve Oy Birliği / Oy Çokluğu ile Kabul Edilmiştir.

Jüri	: Prof. Dr. Bülent SARI	(Danışman)	
	: Prof. Dr. Olcayto KESKİNKAN		
	: Prof. Dr. Güray KILINÇÇEKER		
	: Prof. Dr. Yaşar NUHOĞLU		
	: Dr. Öğr. Üyesi Emre Oğuz KÖROĞLU		

Bu Tez Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında Hazırlanmıştır.

Tez No:

Prof. Dr. Sadık DİNÇER
Enstitü Müdürü

Bu çalışma, 2244 - Sanayi Doktora Programı kapsamında Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) ve Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (ÇÜ-BAP) tarafından desteklenmiştir.

TÜBİTAK Proje No: 119C178

ÇÜ-BAP Proje No: FDK-2021-14146

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

ÖZ	III
ABSTRACT	IV
TEŞEKKÜR	V
ÇİZELGELER DİZİNİ	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	VIII
SİMGELER VE KISALTMALAR	XI
1. GİRİŞ	1
1.1. Tekstil ve Denim	7
1.1.1. Denim Üretim Prosesi	9
1.1.2. Denim Üretim Proseslerinden Kaynaklanan Su Kirliliği ve Çevresel Etkileri	15
1.2. Su Ayak İzinin Temeli Sanal Su Kavramı	16
1.3. Su Ayak İzi Kavramı	17
1.3.1. Su Ayak İzi Değerlendirme Metodları	18
1.4. Temiz Üretim Kavramı	25
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	31
2.1. Temiz Üretim Konusunda Yapılmış Önceki Çalışmalar	31
2.1.1. Çeşitli Konularda Temiz Üretim Uygulamaları	32
2.1.2. Tekstil/Denim Sektörü Özelinde Temiz Üretim Uygulamaları	34
2.2. Su Ayak İzi Konusunda Yapılmış Önceki Çalışmalar	39
2.2.1. Çeşitli Konularda Su Ayak İzi Hesaplamaları	40
2.2.2. Tekstil/Denim Sektöründe Su Ayak İzi Hesaplamaları	45
3. MATERYAL ve METOD	51
3.1. Materyal	51
3.2. Metod	51
3.2.1. Verilerin Toplanması	51
3.2.2. Su ve Atıksu Analizleri	52
3.2.3. Ön Arıtma	54
3.2.4. Membran Filtrasyon Prosesi ve Süzüntü Akı Hesabı	54
3.2.5. Maliyet Analizi	56
3.2.6. Su Ayak İzi Hesaplama Yöntemleri	64
3.2.7. UNEP/UNIDO Temiz Üretim Metodolojisi	68
3.2.8. Kimyasal Maddelerin Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi	72
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	75
4.1. Fabrikanın Mevcut Durumdaki Su Ayak İzinin Hesaplanması	75
4.1.1. Sistem Sınırının Belirlenmesi	76

4.1.2. Su Kaynağı ve Alıcı Ortamın Özellikleri.....	76
4.1.3. Su Ayak İzi Ağı Metodolojisine Göre Hacimsel Su Ayak İzi Hesaplamaları	78
4.1.4. ISO 14046 Metodolojisine Göre Çevresel Etki Su Ayak İzlerinin Hesaplanması.....	82
4.1.5. Hacimsel ve Çevresel Etki Su Ayak İzi Kategorilerine Ait Sonuçların Birlikte Değerlendirilmesi.....	87
4.2. Temiz Üretim Uygulama Adımları ve Bulgular	88
4.2.1. Planlama ve Organizasyon.....	88
4.2.2. Ön Değerlendirme.....	90
4.2.3. Değerlendirme.....	93
4.2.4. Fizibilite Analizi (Su Ayak İzinin Azaltılması ile İlgili Yaklaşımlar)	113
4.2.5. MET'lerin SAI Azaltılması Üzerindeki Etkilerinin Genel Değerlendirmesi	196
4.3. Çalışmanın Sürdürülebilirliğe Katkısının Değerlendirmesi.....	198
5. SONUÇ	201
KAYNAKLAR	203
ÖZGEÇMİŞ	237
EKLER.....	239
EK 1. LCA Değerlendirilmesi Yapılan Kimyasalların Çevresel Değerlendirmesi	241
EK 2. Boyar Maddeler ve İlgili Reaktif Karışımlarının Farklı Konsantrasyonlardaki.....	254

**Denim Kumaş Üretimi Yapan Bir Tekstil Fabrikasının
Su Ayak İzinin Belirlenmesi ve Azaltılmasına Yönelik
Temiz Üretim Uygulamalarının Araştırılması**

Hakan GÜNEY

Danışman: Prof. Dr. Bülent SARI

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZ

Bu çalışma, denim endüstrisinin hem hacimsel hem de çevresel etki SAİ'lerinin birlikte hesaplandığı ve TÜ uygulamalarının SAİ üzerindeki etkilerini değerlendiren ilk çalışmadır. Çalışmada, denim endüstrisi için SAİ kavramı, varlığı, türleri ve hesaplanması, SAİ kaynaklı çevresel etkilerin azaltılması için TÜ kapsamında uygulanacak MET'ler ve bu çerçevede denim üretiminin sürdürülebilirliğine yönelik katkısı ele alınmaktadır. Araştırmanın sınırları kapıdan kapıya olarak belirlenmiş ve SAİ hesaplamalarında SAİ Ağı ve ISO 14046 metodolojileri kullanılmıştır. Denim üretimi yapan işletmenin 1 ton kumaş üretimi için SAİ_{mavi}'si, SAİ_{gri}'si, SAİ_{kıt}'ı, SAİ_{ötr}'ü, SAİ_{eko}'su ve SAİ_{alk}'ı sırasıyla 67,95 m³, 72,86 m³, 50,06 m³ H₂O-eş., 7,72 kg PO₄⁻³-eş., 8.686,60 m³ H₂O-eş. ve 0,39 kg OH⁻eş olarak hesaplanmıştır. SAİ sonuçları, denim kumaş üretiminin tükettiği su miktarından ziyade, proseslerinde oluşan atıksular nedeniyle su kaynakları üzerinde daha fazla çevresel baskı oluşturduğunu göstermektedir (SAİ_{mavi} < SAİ_{gri}, SAİ_{kıt} < SAİ_{eko}). İşletmenin hacimsel ve çevresel etki SAİ'lerini azaltmak için UNEP/UNIDO TÜ metodolojisinden faydalanılmıştır. IPPC direktifi ile tanımlanan MET kavramı çerçevesinde su tasarrufu, atıksuyun arıtmalı/arıtsız yeniden kullanımı, atıksu özelliklerinin iyileştirilmesi gibi 4 temel yaklaşım dikkate alınarak 9 MET tespit edilmiş ve maliyet tahminleri ile geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Belirlenen MET'lerin uygulanması halinde SAİ_{mavi}, SAİ_{gri} ve SAİ_{kıt} kategorilerinde sırasıyla %41,73, %51,45 ve %31,20 azalma tespit edilmiştir. Denim üretimi yapan işletmede TÜ uygulamaları sayesinde gerçekleşen SAİ azalması, işletmenin UNEP2030 sürdürülebilir kalkınma hedefleri kapsamında 6 nolu hedefe (temiz su ve sanitasyon) %36,47; 14 nolu hedefe (sudaki yaşam) ise %51,45 katkı sağlanabileceğini göstermiştir. Sonuçların, takip eden araştırmalar ve uygulamalar için metodolojik ve teknik rehberlik sağlayacağı öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Su Ayak İzi Ağı, ISO 14046, Temiz Üretim, Mevcut En İyi Teknikler, Sürdürülebilirlik

**Determining the Water Footprint of a Textile Factory
Producing Denim Fabric and Researching Cleaner
Production Practices for Reducing**

Hakan GÜNEY

Advisor: Prof. Dr. Bülent SARI

Department of Environmental Engineering

ABSTRACT

This study is the first study to calculate both volumetric and environmental impact Water Footprint (WF) of the denim industry and to evaluate the effects of Cleaner Production (CP) applications on WF. The study discusses the concept of WF for the denim industry, its existence, types and calculation, the Best Available Techniques (BATs) to be implemented within the scope of CP to reduce the environmental impacts caused by WF, and the contribution of denim production to sustainability within this framework. The boundaries of the research were determined as door-to-door, and the WF Network and ISO 14046 methodologies were used in WF calculations. For 1 ton fabric production of the enterprise that produces denim, WF_{blue} , WF_{grey} , $WF_{scarcity}$, $WF_{eutrophication}$, $WF_{ecotoxicity}$ and $WF_{alkalization}$ were calculated as 67,95 m³, 72,6 m³, 50,06 m³ H₂O-eq., 7,72 kg PO₄⁻³-eq, 8.686,60 m³ H₂O-eq. and 0,39 kg OH-eq, respectively. WF results show that denim fabric production creates more environmental pressure on water resources due to the wastewater generated in its processes rather than the amount of water consumed ($WF_{blue} < WF_{grey}$, $WF_{scarcity} < WF_{ecotoxicity}$). UNEP/UNIDO CP methodology was used to reduce the volumetric and environmental impact WFs of the enterprise. Within the scope of the BAT concept defined by the IPPC directive, 9 BATs were determined by considering 4 basic approaches such as water saving, reuse of wastewater with/without treatment, and improvement of wastewater characteristics, and cost estimates and payback periods were calculated. In case of implementation of the determined BATs, a decrease of 41,73%, 51,45% and 31,20% was determined in the WF_{blue} , WF_{grey} and $WF_{scarcity}$ categories, respectively. The decrease in WF achieved in the denim manufacturing company thanks to CP applications showed that the company could contribute to target 6 (lean water and sanitation) by 36,47% and target 14 (life below water) by 51,45% within the scope of UNEP2030 sustainable development goals. It is anticipated that the results will provide methodological and technical guidance for subsequent research and applications.

Keywords: Water Footprint Network, ISO 14046, Cleaner Production, Best Available Techniques, Sustainability

TEŞEKKÜR

Başta danışman hocam Sn. Prof. Dr. Bülent SARI'ya kendisiyle tanıştığımız lisans eğitim-öğretim döneminden bugüne kadar akademi ve yaşama dair farklı alanlarda gösterdiği yol, ettiği rehberlik, ayırdığı zaman, verdiği emek ve destek için,

Sn. Prof. Dr. Olcayto KESKİNKAN'a bu tez çalışmasıyla birlikte diğer akademik çalışmalarına sağladığı katkılar, yönlendirmeler ve destekler için,

Tez izleme komitemde (TİK) bulunan Sn. Prof. Dr. Güray KILINÇÇEKER'e tezimin şekillenmesindeki ve içeriğinin zenginleştirilmesindeki katkıları, yönlendirmeleri ve destekleri için,

Çukurova Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümün'deki değerli hocalarıma lisans, yüksek lisans ve doktora eğitim-öğretimi dönemlerimde verdikleri emek ve mesleki öğretiler ile kazandırdıkları yetkinlikler için,

Yüksek lisans ve doktora çalışmalarımda ve diğer akademik araştırma ve yayınlarımda birlikte çalışmaktan her zaman gurur duyduğum değerli meslektaşım ve arkadaşım Sn. Yük. Müh. Selman TÜRKEŞ'e yardımları, desteği ve akademik hayattaki yol arkadaşlığı için,

Başta Sn. Serdal SIRLIBAŞ olmak üzere, Sn. Deniz CİVAN YİĞİT'e, Sn. Caner KADIOĞLU'na, Sn. Burcu ÇAVUŞOĞLU'na, Sn. Sezer TOPALDEMİR'e, Sn. Yasin ZOPCUK'a ve diğer değerli BOSSA çalışanlarına çalışmanın ana teması olan denim üretimi ve proses süreçleri ile ilgili paylaştıkları bilgiler, ayırdıkları zaman, verdikleri emek ve destekler için,

Değerli meslektaşım Sn. Yük. Müh. Yasemin SARIĞIGÜZEL'e tez çalışmamdaki yardımları ve sunduğu katkılar için,

Tez savunma jürisinde yer alan Sn. Prof. Dr. Yaşar NUHOĞLU ve Sn. Dr. Öğr. Üyesi Emre Oğuz KÖROĞLU hocalarıma ayırdıkları zaman, verdikleri emek ve kıymetli görüşleri için,

TÜBİTAK (Proje No: 119C178) ve Ç.Ü. BAP (Proje No: FDK-2021-14146) birimine sağladıkları destekler için,

Teşekkür ederim.

Hayat arkadaşım ve ruh eşim Sn. Dr. Melis ÇELİK GÜNEY'e gösterdiği sabır ve anlayış başta olmak üzere çalışmalarımı yürütebilmem adına yarattığı ve sunduğu zaman dilimleri, verdiği emek ve cesaret, yaptığı editörlük, öngörülü yorumları ve sevgi dolu desteği için; çocuklarım Kutay ve Kumsal'a özellikle tez yazım aşamasında gösterdikleri sabır ve anlayış için minnettarım.

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Tekstil sektörüne özgü bazı SAI çalışmaları.....	5
Çizelge 1.2. Halat boyama ve slasher boyama tekniklerinin karşılaştırmalı özellikleri	12
Çizelge 1.3. Denim üretiminde su kirliliğine neden olan prosesler, kirleticiler ve kirleticisi etkileri	16
Çizelge 1.4. Bazı temiz üretim uygulama metodolojileri.....	27
Çizelge 3.1. Numunesi alınan proses ve ürün bilgileri tablosu	52
Çizelge 3.2. UF, NF, TO membranlarının özellikleri	55
Çizelge 3.3. Membran proses maliyet analizinde yapılan kabuller.....	61
Çizelge 4.1. Ceyhan Nehri su kalite parametre değerleri.....	78
Çizelge 4.2. Fabrikanın aylara göre su tüketimi ve üretim miktarları.....	79
Çizelge 4.3. AOSB'nin fabrikaya uyguladığı atıksu deşarjı limit değerleri	80
Çizelge 4.4. Etki kategorilerinin karakteristik faktörleri ve atıksu özellikleri	83
Çizelge 4.5. Proje ekibi	88
Çizelge 4.6. Temiz üretim uygulama süreci.....	89
Çizelge 4.7. Kirlilik önleme ve SAI azaltımına yönelik TUD süreci.....	90
Çizelge 4.8. Bilgi türlerine göre hazırlanan kontrol listesi	91
Çizelge 4.9. BOSSA'nın sahip olduğu çevresel sertifika ve belgeler	92
Çizelge 4.10. Tekstil sanayii deşarj standartları (dokunmuş kumaş terbiyesi ve benzerleri).....	95
Çizelge 4.11. Yıllara göre deşarj parametrelerine ait verilerin tanımlayıcı istatistik değerleri.....	95
Çizelge 4.12. Farklı ürün tiplerinin üretiminde oluşan atıksu parametrelerinin tanımlayıcı istatistik değerleri.....	99
Çizelge 4.13. Kumaş boyamada oluşan atıksu parametrelerinin tanımlayıcı istatistik değerleri...	103
Çizelge 4.14. Ters akışlı ve ayrı beslemeli sistemlerin atıksularının karşılaştırılması.....	104
Çizelge 4.15. Bobin boyama atıksu parametre değerleri	105
Çizelge 4.16. Merserizasyon atıksuyu karakterizasyonu	106
Çizelge 4.17. Kanalizasyona deşarj edilen haşıl çözeltilerinin analiz sonuçları	107
Çizelge 4.18. Yemekhane atıksu özellikleri.....	108
Çizelge 4.19. Yumuşatma ünitesi atıksu özellikleri.....	109
Çizelge 4.20. Fabrika atıksuyu karakterizasyonu.....	110
Çizelge 4.21. MET 1 için hesaplanan maliyet analizleri ve geri ödeme süreleri	116
Çizelge 4.22. Fabrikanın 2022 yılı aylık su tüketim miktarları	117
Çizelge 4.23. 2022 yılı aylara göre tuz tüketim verileri.....	120
Çizelge 4.24. Yumuşatma ünitesi değerlendirme çizelgesi.....	122
Çizelge 4.25. Yumuşatma ünitesi değerlendirme tablosu	122
Çizelge 4.26. Su yumuşatmada rejenerasyon işlem adımları.....	123
Çizelge 4.27. MET 2 için hesaplanan maliyet analizi ve geri ödeme süresi.....	124

Çizelge 4.28. Tekstil endüstrisinde suyun yeniden kullanım kriterleri.....	125
Çizelge 4.29. Baca gazı soğutma suyu ve atıksuyunun özellikleri	127
Çizelge 4.30. Temiz yıkama suyu analiz sonuçları.....	128
Çizelge 4.31. Atıksulardan kostik kazanım yöntemleri ile ilgili literatür araştırması.....	130
Çizelge 4.32. Fabrikada tüketilen kostiğin işletme bazında oransal dağılımı	131
Çizelge 4.33. Kostikli Atıksuyun Yeniden Kullanımında Elde Edilecek Parasal Tasarruf	133
Çizelge 4.34. Kostikli atıksu için UF filtrasyon maliyet analizi	140
Çizelge 4.35. Geri ödeme süresinin hesaplanması	141
Çizelge 4.36. Membran arıtım senaryoları.....	142
Çizelge 4.37. 1 No'lu senaryoda elde edilen süzüntü suyu analiz sonuçları.....	145
Çizelge 4.38. 2 No'lu senaryodan elde edilen sonuçlar	147
Çizelge 4.39. 3 No'lu senaryoda elde edilen sonuçlar	149
Çizelge 4.40. 4 No'lu senaryodan elde edilen sonuçlar	150
Çizelge 4.41. Arıtma senaryoları ile elde edilen arıtılabilirlik sonuçları	151
Çizelge 4.42. Koagülasyon prosesinin inşaat maliyetleri	153
Çizelge 4.43. Koagülasyon prosesinin işletme maliyetleri	154
Çizelge 4.44. 3 nolu Senaryo İçin Ölçek Büyütme Hesabı.....	156
Çizelge 4.45. MET 6: 3 nolu senaryo için maliyet analizi	157
Çizelge 4.46. 3 nolu senaryonun uygulanması durumunda geri ödeme süresi	157
Çizelge 4.47. UF, NF ve TO membranların kontrol grubu eZAF Smart Quant sonuçları.....	159
Çizelge 4.48. 1 No'lu senaryoda UF, NF ve TO membranların eZAF Smart Quant sonuçları	160
Çizelge 4.49. 2 No'lu senaryoda UF, NF ve TO membranların eZAF Smart Quant sonuçları	163
Çizelge 4.50. 3 Nolu senaryoda NF ve TO membranların eZAF Smart Quant sonuçları.....	166
Çizelge 4.51. 4 No'lu senaryoda TO membranının eZAF Smart Quant sonuçları	169
Çizelge 4.52. Etki kategorilerine göre en fazla karşılaşılan kimyasallar	171
Çizelge 4.53. Kimyasalların ilk 50 içindeki sıra numaraları.....	173
Çizelge 4.54. İkame edilen veya kullanımı azaltılan kimyasal listesi.....	175
Çizelge 4.55. Halat boyama işletmesi atıksularının ürün tipi bazlı AKM değerleri	177
Çizelge 4.56. Slasher boyama prosesi atıksuyu AKM değerleri.....	179
Çizelge 4.57. Beninger-Dimensa makineleri atıksuyu AKM değerleri	182
Çizelge 4.58. Spor giyim işletmesi atıksuyu AKM değerleri.....	186
Çizelge 4.59. Haşıl sökme çözeltilerinin AKM sonuçları.....	188
Çizelge 4.60. Bobin boyama işletmesi atıksularının AKM değerleri.....	189
Çizelge 4.61. İşletme/makine bazında AKM sonuçları.....	190
Çizelge 4.62. Üretim planlama matrisi	190
Çizelge 4.63. MET'lerin SAİ üzerindeki etkisi.....	197
Çizelge 4.64. UNEP 2030 SKH'ler	198

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Denim Üretimi, SAİ ve SKH Üçlüsünün Bibliografik Haritası.....	6
Şekil 1.2. Denim Üretimi, TÛ ve SKH Üçlüsünün Bibliografik Haritası.....	7
Şekil 1.3. Denim Üretimi Genel Akış Şeması.....	10
Şekil 1.4. Halat Boyama Makinesi Genel Akış Şeması	11
Şekil 1.5. YDD ve SAİ Ağı Değerlendirmesindeki Aşamalar	19
Şekil 1.6. SAİ _{yeşil} ve SAİ _{mavi} 'nin Tanımı	22
Şekil 1.7. SAİ _{gri} 'nin Tanımı	23
Şekil 1.8. ISO 14040'a Göre YDD Çerçevesi.....	25
Şekil 2.1. Tekstil Endüstrisi ve TÛ'nün Bibliyografik Haritası	31
Şekil 2.2. Tekstil Endüstrisi ve SAİ'nin Bibliyografik Haritası	39
Şekil 3.1. Membran Filtrasyon İçin Kullanılan Deney Düzeneği	54
Şekil 3.2. Temiz Üretim Değerlendirme Yöntemi	69
Şekil 3.3. BOSSA Temiz Üretim Uygulama Metodolojisi	70
Şekil 4.1. Bulguların Anlatımında İzlenen Adımlar	75
Şekil 4.2. Fabrikanın Su Dağılımı ve SAİ Hesaplamasındaki Sistem Sınırı.....	76
Şekil 4.3.AOSB Yıllara Göre Su Arzı	77
Şekil 4.4. Ceyhan Havzası	77
Şekil 4.5. Aylara Göre Fabrika Su Tüketimi ve SAİ _{mavi} Arasındaki İlişki.....	79
Şekil 4.6. Atıksu Analiz Sonuçlarının Histogram Grafikleri	81
Şekil 4.7. SAİ _{ötr} 'un Bileşenleri.....	84
Şekil 4.8. SAİ _{eko} 'nun Bileşenleri.....	85
Şekil 4.9. Denim Kumaş Üretiminin SAİ Sonuçlarının Değerlendirilmesi	87
Şekil 4.10. Atık Geçici Depolama Alanları.....	93
Şekil 4.11. Fabrikanın Su Kütle Dengesi	94
Şekil 4.12. Yıkama Teknelerine Su Beslemesinin Şematik Gösterimi	96
Şekil 4.13. Halat Boyama Prosesi	97
Şekil 4.14. İndigo Boyar Maddesi İle Boyanmış İpliğin Hava Oksidasyonu	97
Şekil 4.15. Merserize Sonrası Yıkama Atıksuyu Deşarj Noktası.....	98
Şekil 4.16. Boyama Sonrası Yıkama Atıksuyu Deşarj Noktası	98
Şekil 4.17. Yıkama Atıksuyundaki Eİ, TÇKM ve Tuzluluğun Üretim Miktarına Göre Değişimi	100
Şekil 4.18. Yıkama Atıksuyundaki KOİ ve AKM'nin Üretim Miktarına Göre Değişimi	100
Şekil 4.19. Yıkama Atıksuyundaki Rengin Üretim Miktarına Göre Değişimi	101
Şekil 4.20. Yıkama Atıksuyundaki pH'nın Üretim Miktarına Göre Değişimi	102
Şekil 4.21. Kumaş Boyama Proses Akış Şeması	103
Şekil 4.22. Bobin Boyama	105

Şekil 4.23. Yemekhane Atıksuyu Nunume Alma Noktası.....	108
Şekil 4.24. Proses Bazlı Atıksularda KOİ Karşılaştırılması.....	111
Şekil 4.25. Proses Bazlı Atıksularda AKM Karşılaştırılması	111
Şekil 4.26. Proses Bazlı Atıksularda pH Karşılaştırılması.....	112
Şekil 4.27. SAI'nin Azaltılması İçin Belirlenen MET'lerin Şematik Gösterimi	114
Şekil 4.28. 2014-2024 Yılları Arasında Birim Üretim İçin Su Tüketimi.....	115
Şekil 4.29. Su Kaçaklarının Tespit Edildiği Noktalar.....	116
Şekil 4.30. Yumuşatma Ünitesi.....	118
Şekil 4.31. Sentetik İyon Değiştirme Reçinesi.....	118
Şekil 4.32. Yumuşatma Tankları Kontrol Paneli	119
Şekil 4.33. Tuz Deposu.....	119
Şekil 4.34. Tuzlu Su Hazırlama Tankı.....	120
Şekil 4.35. 2022 Yılı Aylara Göre Tuz Tüketim Grafiği ve Birim Yumuşatılan Su Miktarı Başına Tüketilen Tuz Miktarı	121
Şekil 4.36. Soğutma Sularının Toplanması.....	126
Şekil 4.37. Baca Gazı Soğutma Suyu.....	127
Şekil 4.38. Kumaş Boyama Makinelerinde Suyun Doğrudan Yeniden Kullanımı Şematik Gösterimi.....	129
Şekil 4.39. Saf Kostik (a), Merserize Teknesindeki Çözelti (b) ve Yıkama Atıksuyu (c)	132
Şekil 4.40. Saf Kostik (a), Merserize Teknesindeki Çözelti (b) ve Renk İçeren Yıkama Atıksuyu (c).....	134
Şekil 4.41. UF Membran Akı Grafiği	135
Şekil 4.42. UF Süzüntü Suyu ve UF Membran Görünümü	135
Şekil 4.43. NF Membran Akı Grafiği	136
Şekil 4.44. NF Konsantresi, NF Süzüntü Suyu ve NF Membran Görünümü	137
Şekil 4.45. TO Membran Akı Grafiği	138
Şekil 4.46. TO Konsantresi, TO Süzüntü Suyu ve TO Membran Görünümü.....	138
Şekil 4.47. Membran Filtrasyon İçin V_{maks} Grafikleri.....	139
Şekil 4.48. Jar Test Deney Düzeneği	143
Şekil 4.49. Alüm ile Koagülasyonda pH'nın Etkisi	143
Şekil 4.50. Koagülasyon İşleminde Farklı Alüm Dozlarında Elde Edilen AKM Değerleri	144
Şekil 4.51. 1 No'lu Senaryoda UF Akı Grafiği.....	145
Şekil 4.52. 1 No'lu Senaryoda NF Akı Grafiği.....	146
Şekil 4.53. 1 No'lu Senaryoda TO Akı Grafiği	146
Şekil 4.54. 2 No'lu Senaryoda UF Akı Grafiği.....	147
Şekil 4.55. 2 No'lu Senaryoda NF Akı Grafiği.....	148
Şekil 4.56. 2 No'lu Senaryoda TO Akı Grafiği	148

Şekil 4.57. 3 No'lu Senaryoda NF Akı Grafiği.....	149
Şekil 4.58. 3 No'lu Senaryoda TO Akı Grafiği	150
Şekil 4.59. 4 No'lu Senaryoda TO Akı Grafiği	151
Şekil 4.60. 3 Nolu Arıtma Senaryosu için V_{max} Grafikleri.....	155
Şekil 4.61. UF, NF ve TO Membranların Kontrol Grubu SEM Görüntüleri	158
Şekil 4.62. 1 No'lu Arıtma Senaryosunda UF, NF ve TO Membranların SEM Görüntüleri.....	159
Şekil 4.63. Senaryo 1 UF Membranının FTIR Spektrumu.....	161
Şekil 4.64. Senaryo 1 NF Membranının FTIR Spektrumu.....	161
Şekil 4.65. Senaryo 1 TO Membranının FTIR Spektrumu	162
Şekil 4.66. 2 No'lu Senaryoda UF, NF ve TO Membranların SEM Görüntüleri	163
Şekil 4.67. Senaryo 2 UF Membranının FTIR Spektrumu.....	164
Şekil 4.68. Senaryo 2 NF Membranının FTIR Spektrumu.....	165
Şekil 4.69. Senaryo 2 TO Membranının FTIR Spektrumu	165
Şekil 4.70. 3 No'lu Senaryoda NF ve TO Membranların SEM Görüntüleri.....	166
Şekil 4.71. Senaryo 3 NF Membranının FTIR Spektrumu.....	167
Şekil 4.72. Senaryo 3 TO Membranının FTIR Spektrumu	168
Şekil 4.73. 4 No'lu Senaryoda TO Membranının SEM Görüntüsü	169
Şekil 4.74. Senaryo 4 TO Membranının FTIR Spektrumu	170
Şekil 4.75. Halat Boyama İşletmesinde AOSB Deşarj Limitini (AKM) Aşan Ürün Tipleri	178
Şekil 4.76. Dimensa Makinelerinde AOSB Deşarj Limitini (AKM) Aşan Ürün Tipleri.....	185
Şekil 4.77. Dengeleme Havuzu 1. Bölüm	191
Şekil 4.78. Dengeleme Havuzu 2. Bölüm	192
Şekil 4.79. Kaba Izgara, Mekanik Izgara ve Statik Elek.....	192
Şekil 4.80. Dengeleme Havuzu Teknik Değişiklik Sonrası AKM'deki Değişim	193
Şekil 4.81. Dengeleme Havuzunda Çamur Birikimi.....	194
Şekil 4.82. Dengeleme Havuzu Teknik Değişiklik Sonrası pH'daki Değişim	195

SİMGELER VE KISALTMALAR

\$	: Amerika Birleşik Devletleri Doları
₺	: Türk Lirası
AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AKM	: Askıda Katı Madde
AOSB	: Adana Hacı Sabancı Organize Sanayi Bölgesi
AOX	: Adsorblanabilir Organik Bağlı Halojenler
BM	: Birleşmiş Milletler
BOİ	: Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
BOSSA	: Bossa Ticaret ve Sanayi İşletmeleri Türk Anonim Şirketi
C_{act}	: Gerçek Konsantrasyon
C_{effl}	: Atıksudaki Kirleticinin Konsantrasyonu
C_{maks}	: İzin Verilen Maksimum Konsantrasyon
C_{nat}	: Doğal Konsantrasyon
ÇŞİB	: Türkiye Cumhuriyeti Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
DB	: Diklorobenzen
DSÖ	: Dünya Sağlık Örgütü
DTE	: Danimarka Teknoloji Enstitüsü
EA	: Envanter Analizi
ED	: Etki Değerlendirmesi
EED	: Endüstriyel Emisyon Direktifi
Eİ	: Elektriksel İletkenlik
eş.	: Eşdeğeri
F_{alk}	: Alkaliniteye Neden Olan Kirleticinin Karakteristik Faktörü
F_{eko}	: Ekotoksositeye Neden Olan Kirleticinin Karakteristik Faktörü
$F_{ötr}$	: Ötrofikasyona Neden Olan Kirleticinin Karakteristik Faktörü
F_{SKF}	: Su Kıtlığının Göstergesi Olan Yerel Bir Karakteristik Faktör
GSYİH	: Gayrisafi Yurt İçi Hasıla
IPPC	: Entegre Kirlilik Önleme Ve Kontrol Direktifi (Integrated Pollution Prevention And Control)
ISO	: Uluslararası Standart Örgütü (International Organization For Standardization)
ISO 14001	: Çevre Yönetim Sistemi
KDV	: Katma Değer Vergisi
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı

KY	: Karbon Yakalama
MBR	: Membran Biyoreaktör
MET	: Mevcut En İyi Teknikler
MET-REF	: Mevcut En İyi Teknikler Referans Dökümanı (Best Available Techniques Reference-BREF)
MSG	: Monosodyum Glutamat
ODTÜ	: Orta Doğu Teknik Üniversitesi
SAİ	: Su Ayak İzi
SAİ _{alk}	: Su Alkalizasyonu Ayak İzi
SAİ _{asit}	: Su Asitlenmesi Ayak İzi
SAİ _{boz}	: Su Bozunması Ayak İzi
SAİ _{eko}	: Su Ekotoksikite Ayak İzi
SAİ _{gri}	: Gri Su Ayak İzi
SAİ _{kıt}	: Su Kıtlığı Ayak İzi
SAİ _{mavi}	: Mavi Su Ayak İzi
SAİ _{ötr}	: Su Ötröfikasyonu Ayak İzi
SAİ _{toplam}	: Toplam Su Ayak İzi
SAİ _{ürün}	: Ürün Su Ayak İzi
SAİ _x	: Su Ayak İzinin Tüm Kategorileri
SAİ _{yeşil}	: Yeşil Su Ayak İzi
SAİ _{yoğ}	: Su Ayak İzi Yoğunluğu
SKH	: Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri
SKKF	: Su Kıtlığı Karakterizasyon Faktörü
SKKY	: Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
T	: Sıcaklık
TÇKM	: Toplam Çözünmüş Katı Maddeler
TN	: Toplam Azot
TP	: Toplam Fosfor
TÜ	: Temiz Üretim
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel Ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TÜBİTAK-MAM	: Tübitak Marmara Araştırma Merkezi
TÜBM	: Temiz Üretim Bilgi Merkezi
TÜD	: Temiz Üretim Değerlendirmesi
TÜM	: Temiz Üretim Merkezleri
TÜU	: Temiz Üretim Uygulamaları
UNEP	: Birleşmiş Milletler Çevre Programı (United Nations Environment Programme)

UNIDO	:	Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Örgütü (United Nations Industrial Development Organization)
UTÜM	:	Ulusal Temiz Üretim Merkezleri
YDD	:	Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (Life Cycle Assesment – LCA)
ZDHC	:	Tehlikeli Kimyasalların Sıfır Deşarjı (Zero Discharge Of Hazardous Chemicals)



1. GİRİŞ

Son yıllarda, küresel olarak sürdürülebilir bir kalkınma anlayışıyla yaşamımıza devam etmemiz gerektiği vurgulanmaktadır. Bu gereklilik dünyanın şu anda karşı karşıya olduğu çevresel zorluklarla ilgilidir. Bu zorluklar arasında atık bertarafı/yönetimi, hava kirliliği, su kirliliği ve iklim değişikliği önemli bir yer tutmaktadır. Birleşmiş Milletler Çevre Programı (United Nations Environment Programme-UNEP) tarafından Eylül 2015'te yayınlanan "2030 Sürdürülebilir Kalkınma Gündemi" yeni bir çerçeve çizerek sürdürülebilir şehirler, iklim değişikliği, kuraklıkla mücadele, biyoçeşitliliğin korunması gibi çevre konularının yanı sıra sorumlu üretim ve tüketim, sanayi, yenilikçilik ve altyapı gibi endüstriyel süreçleri de sürdürülebilir kalkınma gündemine almıştır (Anonymous 1). Bu kapsamda endüstriyel faaliyetlerin, bilimsel araştırma ve yenilik çalışmalarıyla teknolojik ilerleme sağlamaları, ekonomik ve çevresel sorunlara kalıcı çözümler bulmaları, doğal kaynakları korumaları ve yönetmeleri, atık ve kirleticileri bertaraf etmeleri teşvik edilmektedir. Ayrıca Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı tarafından yayınlanan Onbirinci Kalkınma Planı (2019-2023)'nda, "Çevrenin Korunması" başlığı altında, "çevre ve doğal kaynakların korunması, kalitesinin iyileştirilmesi, etkin, entegre ve sürdürülebilir şekilde yönetiminin sağlanması, her alanda çevre ve iklim dostu uygulamaların gerçekleştirilmesi" amaç olarak bildirilmiştir (Anonim 1). Onikinci Kalkınma Planı'nda ise (2024-2028) UNEP 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri'ne (UNEP 2030 SKH) atıf yapılmış ve bu doğrultuda iklim değişikliğinin etkilerine karşı dirençli ve düşük karbonlu bir ekonomiye geçişin sağlanması, çevre ile doğal kaynakların korunması ve yönetilmesi, toplumun çevreye karşı duyarlılığı ve bilincinin artırılması temel amaç olarak ifade edilmiştir (Anonim 2). Bununla birlikte ülkemizin küresel tedarik zincirlerindeki yerinin korunması ve güçlendirilmesi ile yeşil yatırımların ülkemize çekilmesi bakımından da önem arz eden ve ilgili tüm politika alanlarında yeşil dönüşümün desteklenmesini hedefleyen bir yol haritası niteliğindeki "Yeşil Mutabakat Eylem Planı"na ilişkin Cumhurbaşkanlığı Genelgesi 16.07.2021 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanmıştır (Anonim 3). Bu genelgede atıf yapılan ve Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı tarafından hazırlanan "Yeşil Mutabakat Eylem Planı"nda, ülkemizdeki suların yeniden ve verimli kullanılması konularında çalışmaların mevcut olduğu, ancak uygulanabilirliğinin yeterli seviyelere henüz gelmediği ifade edilmiştir. Bu kapsamda (Anonim 4);

- Arıtılmış atık suların yeniden kullanımının geliştirilmesi ve yaygınlaştırılmasına yönelik eylemlerin hayata geçirilmesi, buna yönelik teşvik mekanizmalarının oluşturulmasına ilişkin çalışmalar ve planlamalar yapılması ve 2023 yılında atık su yeniden kullanım oranının %5'e çıkarılması hedeflenmiştir.
- Su ayak izi (SAİ) değerlendirmesi; suyun verimli kullanımının sağlanması, su kullanan sektörler ile çevresel su kullanımı için adil su tahsisine ilişkin doğru kararların alınması ve iklim değişikliğine uyumu hızlandırıcı etkisi olan önemli bir adım olarak bildirilmektedir.

- Havza bazında sektörel olarak SAİ'ye yönelik çalışmalar yürütülmesi, SAİ'nin sektörel su tahsis planlarına entegre edilmesi ve bunun sonucunda "SAİ ile ilgili rehber döküman" hazırlanması amaçlanmaktadır.

Türkiye Cumhuriyeti Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından 26.07.2024 tarihinde yayımlanan Yeşil Dönüşüm Destek Programı Uygulama Usul ve Esasları Tebliği'yle de Türkiye'de döngüsel ekonomi yaklaşımıyla uyumlu, doğal kaynakları koruyan, iklim ve sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sağlayan, kaynak verimli ve düşük karbonlu üretimi amaçlayan yatırımların desteklenmesi amaçlanmıştır. Bu tebliğ kapsamında desteklenecek projelerde, performans kriteri olarak belirlenen hedefler arasında SAİ'nin, su tüketiminin, atıksu miktarı/kirlilik yükünün birim üretim başına iyileştirilmesi konuları da yer almaktadır (Anonim 5).

Avrupa Birliği (AB) tarafından yayınlanan Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol Direktifi (IPPC-2008/1/EC) yasal düzenlemeleri kapsamakta ve denetleyici otoritelerin genel yaklaşım içinde endüstriyel tesislere izin vermesini, çevre performanslarını izlemelerini şart koşmaktadır. Özünde, bu Direktif, Avrupa Birliği genelinde çeşitli endüstrilerden kaynaklanan kirliliğin önlenmesi, mümkün olmadığında ise en aza indirilmesi ile ilgili Temiz Üretim (TÜ) uygulamalarına referans olmaktadır. IPPC direktifi, tesislere verilecek izinlerde işletim koşullarını ve emisyon sınır değerlerini belirleyen "Mevcut En İyi Teknikler (MET)" uygulamasıyla; havanın, suyun ve toprağın korunmasına entegre bir yaklaşım getirmektedir (Çavuşoğlu ve Ekmekyapar, 2019). Avrupa Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol Bürosu, sektörel bazda uygulanan tekniklerin, emisyonların, kaynak tüketim seviyelerinin belirlenmesi için Mevcut En İyi Teknikler Referans Dökümanları'nı (MET-REF) yayınlamaktadır (Yükseler ve ark., 2017) MET-REF'ler, endüstrilerden ve ulusal idarelerden uzmanları kapsayan çalışma grupları tarafından hazırlanmakta ve endüstriyel süreçlere ilişkin izinlerin belirlenmesi konusunda Avrupa Birliği (AB) üye devletleri için referans görevi görmektedir.

Su, kimyasal madde ve enerji gibi kaynakların yoğun olarak kullanıldığı sektörler arasında yer alan tekstil endüstrisi de yukarıda bahsedilen düzenlemelere tabi sektörler arasında yer almaktadır. Öyle ki, tekstil sanayisi (Venkatraman ve Liauw, 2019), tüm su kirliliğinin %20'sinden (Periyasamy ve ark., 2017; Niinimäki ve ark., 2020; de Oliveira Neto ve ark., 2021; Batool ve ark., 2024), moda endüstrisi 92×10^6 ton/yıl atıktan (Niinimäki ve ark., 2020) ve yıllık küresel CO₂ emisyonunun %3-10'undan sorumludur (Patwary, 2020; Bonnail ve ark., 2023). Tekstil sanayi atıksuları boyalar, ağır metaller, yüzey aktif maddeler gibi ekosisteme zarar veren bileşenleri içerdiğinden dolayı çevre ve insan sağlığı üzerinde sayısız zararlı sonuçların ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Nguyen ve Juang, 2013; Samarghandi ve ark., 2020a; Sarı ve ark., 2022). Özellikle tekstil endüstrisinde, sentetik renk bileşikler içeren atık sular tarafından su kaynaklarının kirlenmesi önemli bir çevre sorunudur (Shokoohi ve ark., 2019; Samarghandi ve ark., 2020b). Boyalar vermiş olduğu renkten dolayı atık sularda tespit edilebilen ilk kirleticisi olup, yüksek miktarlarda

bulunmasından dolayı atıksulardan uzaklaştırılması özel bir öneme sahiptir (Peyghami ve ark., 2021). Günümüzde 700.000 ton/yıl üretim miktarına ulaşan ticari boyaların %60'ının tekstilde kullanıldığı (Pachhade ve ark., 2009; Dehghani ve ark., 2016; Zubair ve ark., 2018; Jain ve ark., 2019, Sarı ve ark., 2022) ve %10-15'inin üretim ve işleme aşamalarında alıcı ortamlara deşarj edildiği bildirilmektedir (Gupta ve ark., 2012; Samarghandi ve ark., 2020b; Hasani ve ark., 2021). Alıcı ortamlarda kanserojen, toksik, mutajenik etkiler göstererek canlı organizmalar, insanlar ve hayvanlar üzerinde alerjilere cilt ve göz reaksiyonlarına, gastroenteriteye, solunum problemlerine, üreme ve sinir sistemlerinde bozukluklara, methemoglobinemineye neden olmaktadırlar (Xiao ve ark., 2015; Haghi ve ark., 2017; Seid-Mohammadi ve ark., 2019; Peyghami ve ark., 2021) Ayrıca boya içeren atık suyun alıcı ortama deşarjı, güneş ışığının içeri girmesini engelleyerek fotosentetik aktiviteyi etkiler ve sudaki oksijen dengesinin bozulmasına neden olur. Arıtılmamış tekstil endüstrisi atıksuları, deşarj edildikleri su ortamlarında ötrofikasyona ve su kalitesinin düşmesine neden olur (Tian ve ark., 2018; Sarı ve ark., 2022).

Birleşmiş Milletler (BM) İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne göre, sektör emisyonlarının 2030 yılına kadar %60'dan fazla artması beklenmektedir (Zille ve Raoux, 2021). Günümüzde tekstil endüstrisi artan dünya nüfusunun ihtiyaçlarını karşılayan beşinci büyük sanayi sektörü konumundadır (Dalari ve ark., 2020; Kabish, 2023). Tahmin modellerine göre tekstil endüstrisinin 2050 yılına kadar küresel bazda üç kat büyüyeceği beklenmektedir (Alkhagen ve ark., 2015; Li ve ark., 2021b). Temiz Üretim Uygulamaları'nın (TÜU) tekstil işletmelerinde hayata geçirilmesiyle hammadde, su ve enerji daha verimli bir şekilde kullanılarak işletme maliyetleri düşürülebilmektedir (Yüksel, 2008; Zeng ve ark., 2010; UNEP, 2015; Hens ve ark., 2018; da Silva ve ark., 2021). Bu nedenle, sektörde sürdürülebilir bir üretim için TÜU'nun önemi ve buna yönelik girişimlerin sayısı her geçen gün hızla artmaktadır (de Oliveira Neto ve ark., 2021). Özellikle küresel ölçekte Dünya'nın en büyük tekstil üretimine sahip ülkeleri arasında yer alan Brezilya, Çin, Hindistan, Pakistan ve Türkiye gibi ülkelerde Tü araştırmalarının ve TÜU'ların yoğunlaştığı görülmektedir (de Oliveira Neto ve ark., 2020; de Oliveira Neto ve ark., 2021; da Silva ve ark., 2021).

Tekstil endüstrisinin önemli ürün grubundan biri de denim kumaştır. Denim, dayanıklılığı ve uzun yaşam döngüsü nedeniyle eskiden beri kullanılmaktadır. Moda endüstrisinin gelişmesi ile birlikte denim kumaştaki yeni talepler, müşterinin konfor, uyum, esneklik, daha iyi boyut stabilitesi ve özel görünüm ihtiyacını karşılayan kıyafetler yönündedir (Montazer ve Sadeghian Maryan, 2010). Özellikle genç yetişkin nüfusta denim kumaştan üretilen kıyafetlere rağbet oldukça fazladır ve bu oran her geçen yıl artmaktadır. Denim kumaşta arzu edilen esneklik, dayanıklılık, soluk ve yıpranmış etkiler için birçok fiziksel, kimyasal ve mekanik son işlemler uygulanmaktadır. Bu işlemler için su, kimyasal madde ve enerji gibi kaynaklar yoğun bir şekilde kullanılmakta, bu durum da çevre ve sağlık üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır (Venkatraman ve Liauw, 2019).

Su yoğun sektörlerden biri olan denim üretiminin sürdürülebilir ve çevreye duyarlı üretim süreçlerine sahip olması gerektiği üreticiler ve tüketiciler tarafından kabul edilmektedir. Girdilerin

çevreci, ekonomik ve sürdürülebilir yönetimi konusunda geliştirilen yöntemlerden biri olan ve Yeşil Mutabakat Eylem Planı'nda ifade edilen SAI, suyla ilgili çevresel etkiyi değerlendirmede etkili bir göstergedir ve tekstil sanayi ve ürünleri için de uygulanmaktadır. SAI'nin değerlendirilmesi ile ilgili yapılan araştırmalarda farklı yaklaşımların ve hesaplama yöntemlerinin olduğu görülmektedir (Milà i Canals ve ark., 2009; Hoekstra ve ark., 2011; Lathuillière ve ark., 2018; Li ve ark., 2021b; Feng ve ark., 2022).

Tekstil endüstrisinde atık su arıtımı (Christian ve ark., 2023), renk giderimi (Sari ve ark., 2022), su ve kimyasal tüketiminin optimizasyonu ve minimizasyonu (Öztürk ve ark., 2016), suyun yeniden kullanımı (Yin ve ark., 2019; Partal ve ark., 2022), ekolojik üretim (Patti ve ark., 2020; Lara ve ark., 2022), yeşil kimya ilkelerine uygun üretim (Roy Choudhury, 2013; Hadibarata, 2019; Abdussalam-Mohammed ve ark., 2020; Sun ve ark., 2021), TÜ (de Oliveira Neto ve ark., 2022; Zafar ve ark., 2022), SAI (Yang ve ark., 2020; Khan ve Ali, 2024) gibi birçok başlık altında oldukça önemli çalışmalar gerçekleştirilmiş, bilime, çevre korumaya ve temiz üretime katkıda bulunulmuştur. Literatürdeki çalışmalar genel olarak değerlendirildiğinde, tamamının sürdürülebilir bir çevre odaklı olduğunu söylemek mümkündür. Ancak, bu çalışmalarda TÜ'nün ve elde edilen kazanımların SAI'ye nasıl ve hangi ölçüde katkı sağladığına dair bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Ayrıca tekstil sektöründe SAI ile ilgili önceki çalışmalar incelendiğinde yapılan çalışmaların çoğunlukla ya hacimsel ya da çevresel etki kategorilerini hesapladığı ve değerlendirdiği görülmüştür (Çizelge 1.1).

Çizelge 1.1. Tekstil sektörüne özgü bazı SAİ çalışmaları (Li ve ark., 2021a'dan uyarlanmıştır)

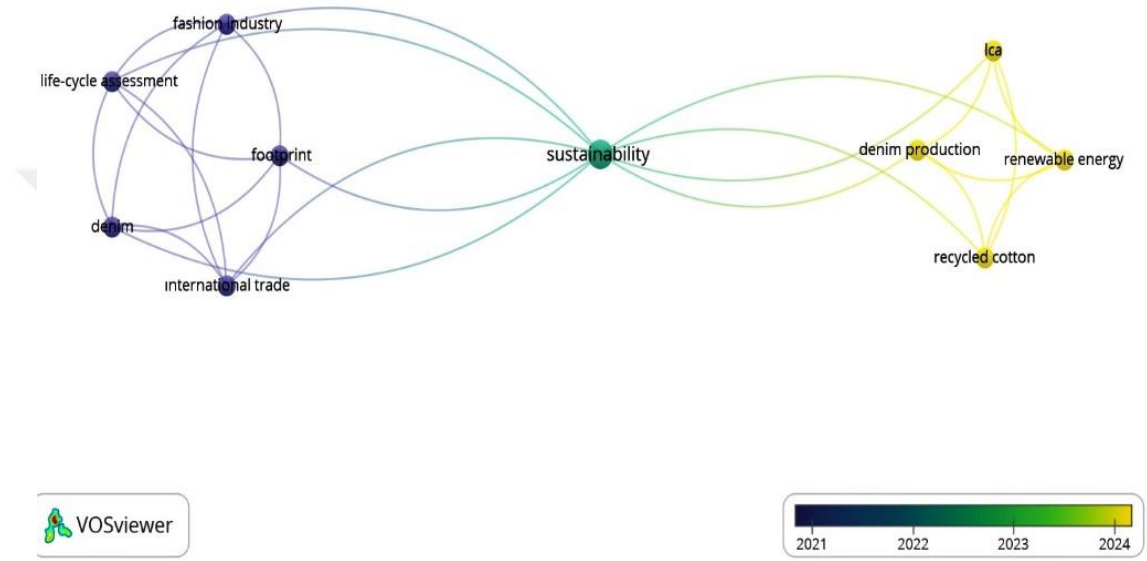
SAİ Metodu	Kaynak	Çalışma Konusu	SAİ Kategorileri								
			SAİ _{mavi}	SAİ _{yeşil}	SAİ _{gri}	SAİ _{toplam}	SAİ _{ötr}	SAİ _{kot}	SAİ _{alk}	SAİ _{asit}	SAİ _{eko}
SAİ Ağı	Hossain ve Khan, (2017)	Bangladeş'teki tekstil endüstrileri	x	-	x	-					
	Naqvi ve ark., (2018)	Bitmiş tekstil ürünleri	x	x	x	x					
	Chapagain ve ark., (2006)	Pamuklu tekstil	x	x	x	-					
	Chico ve ark., (2013)	Bir çift kot pantolon	x	x	x	x					
	Sun ve ark., (2014)	Örme tekstil ürünü	x	x	x	-					
	Sözen ve ark., (2019)	Pamuk, polyester ve viskon bazlı kumaşlar	-	-	x	-					
	Averink, (2015)	Endüstriyel kenevir tekstili	x	x	x	x					
YDD (Heijungs ve ark., 1992)	Chen ve ark., (2020)	Viskon Kumaşların Üretildiği Bir Fabrika					-	-	x	-	-
ISO 14046	Zhu ve ark., (2020a)	Viskon tekstil üretimi					x	x	x	x	x
	Zhu ve ark., (2022)	Doğal elyaf tekstil ürünleri					x	x	-	-	x
	Qian ve ark., (2021a)	Geri Dönüştürülmüş Polyester Tekstil Ürünü					x	x	x	x	x
	Yang ve ark., (2020)	İpek giyim					x	x	-	x	x
	Qian ve ark., (2021b)	Viskon Elyaf Giysiler					x	x	-	-	-
	Luo ve ark., (2022)	Pamuklu Kot					x	x	-	-	x
	Chen ve ark., (2023b)	Geri Dönüştürülmüş Pamuklu Tişörtler					x	x	-	-	-
SAİ Ağı ve ISO 14046	Chen ve ark., (2021a)	Kaşmir Kumaş Üretim Prosesleri	x	-	x	-	x	x	-	-	x
	Bu çalışma	Denim kumaş üreten bir fabrika	x	-	x	-	x	x	x	-	x

x: SAİ kategorisinin değerlendirildiğini göstermektedir.

Çizelge 1.1'den görüleceği üzere denim kumaş üretiminin SAİ değerlendirilmesi ne hacimsel ne de etki kategorilerinde henüz yapılmamıştır. Pal ve ark. (2017), “Denim Endüstrisinin SAİ”si adlı çalışmalarında SAİ hesaplama yöntemlerini, denim üretiminin mevcut ve gelecekteki

trendini, atıksu karakterizasyonunu ve proseslerde su azaltma yaklaşımlarını ele almışlardır. Ancak denim üretiminin SAİ'si ile ilgili bir bilgi vermemişlerdir.

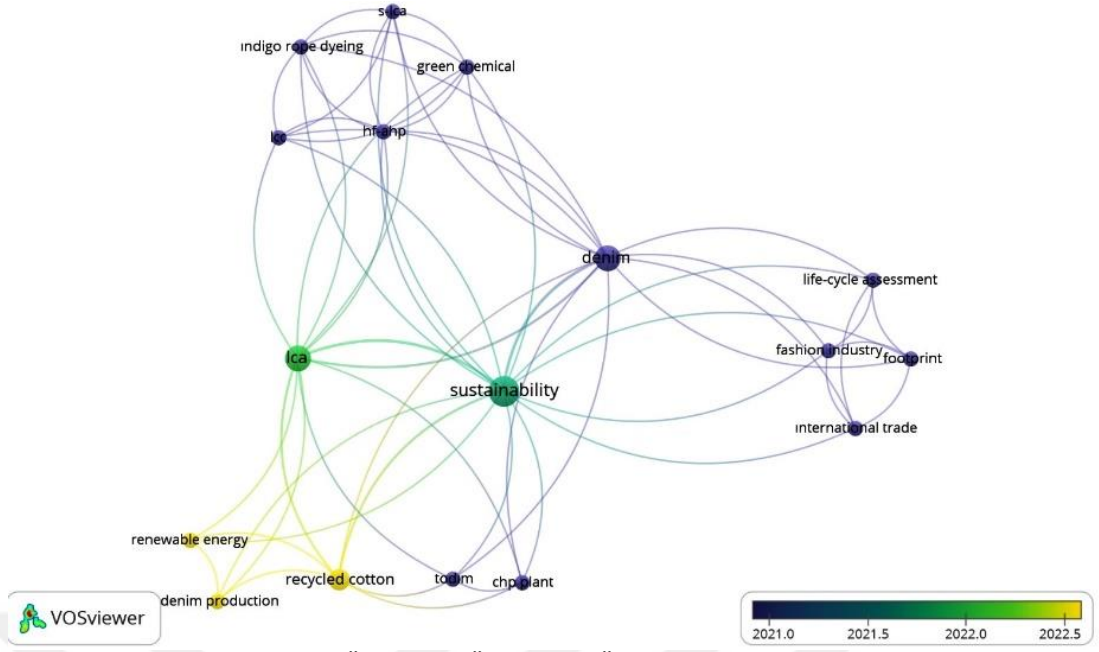
Voswiever (versiyon 1.6.20) programı kullanılarak denim üretimi, SAİ, TÜ ve SKH anahtar kelimeleri dörtlü olarak Web of Science veri tabanında araştırılmıştır. Bu dörtlünün birlikte değerlendirildiği bir bibliyografik veriye ratlanmamıştır. Daha sonra denim üretimi, SAİ ve SKH anahtar kelimeleri üçlü olarak değerlendirilmiştir ve elde edilen bibliyografik harita Şekil 1.1'de verilmiştir.



Şekil 1.1. Denim Üretimi, SAİ ve SKH Üçlüsünün Bibliyografik Haritası

Şekil 1.1'de verilen bibliyografik haritaya göre veri tabanında denim üretimi, SAİ ve SKH anahtar kelimelerinin bağ kurduğu 10 çalışma listelenmiştir. Bu çalışmalar 2021-2024 yılları arasında gerçekleştirilmiştir. “Sürdürülebilirlik (sustainability)” kavramı çalışmaların ortak yapısını oluştururken SAİ (water footprint) kavramı haritada yer almamıştır. Buradan da denim üretiminin SAİ ile birlikte çalışılarak sürdürülebilirlik değerlendirmesine konu olmadığı net bir şekilde görülmektedir.

Denim üretimi, TÜ ve SKH anahtar kelimeleri üçlü olarak değerlendirildiğinde elde edilen bibliyografik harita Şekil 1.2'de verilmiştir.



Şekil 1.2. Denim Üretimi, TÜ ve SKH Üçlüsünün Bibliyografik Haritası

Şekil 1.2’de verilen bibliyografik haritaya göre veri tabanında denim üretimi, TÜ ve SKH anahtar kelimelerinin bağ kurduğu 22 çalışma listelenmiştir. Bu çalışmalar 2021-2022 yılları arasında gerçekleştirilmiştir. Şekil 1.2’den görüleceği üzere denim üretimi (denim production) sürdürülebilirlik ile doğrudan ilişkili iken TÜ (cleaner production) ifadesine rastlanılmamıştır. de Oliveira Neto ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada tekstil endüstrisinde TÜ’ların ekonomik ve çevresel kazanımlar getirdiğini ancak çok az çalışmanın bu kazanımların SKH’ler ile ilişkilendirildiğini bildirmiştir.

Yukarıda verilen bilgilerden anlaşılabileceği üzere bu çalışma; denim üretimi, SAI, TÜ ve SKH konuları ile birlikte güncel, geleceğe yönelik bir değer taşımaktadır. Ayrıca denim özelinde tekstil endüstrisinin hem hacimsel hem de çevresel etki SAI’lerinin birlikte hesaplandığı ve TÜ uygulamalarının SAI üzerindeki etkilerinin değerlendirildiği ilk çalışmadır. Araştırmanın sınırları kapıdan kapıya olarak belirlenmiş olup çalışma kapsamında fabrikanın su tüketiminin azaltılması, oluşan atıksuların doğrudan ya da arıtılarak yeniden kullanım imkanlarının TÜ yaklaşımı ile araştırılması amaçlanmıştır. Böylelikle fabrikanın SAI’sinin azaltılması ve SAI kazanımlarının SKH’lere katkısının ortaya konulması hedeflenmiştir. Elde edilen sonuçların ve değerlendirmelerin başta çalışmanın yapıldığı denim endüstrisi olmak üzere, hem araştırmacılara hem de sektöre suyun etkin kullanımı ve tasarrufu konusunda yol gösterici olacağı düşünülmektedir.

1.1. Tekstil ve Denim

Bitkisel, hayvansal veya sentetik lifleri kullanarak dokuma proseslerini gerçekleştiren tekstil endüstrisi, küresel ekonomide önemli bir role sahiptir. Dünya nüfusundaki artışa ve dönemsel trende bağlı olarak tekstil ürünlerine olan talebin her geçen gün artmasıyla (Shirvanimoghaddam ve ark.,

2020; Abbate ve ark., 2024) tekstil endüstrisi günümüzde dünya ekonomisinin önemli bir sektörü haline gelmiştir (Dalari ve ark., 2020; Kabish, 2023). Ülkemizdeki duruma bakıldığında dış ticaretin lokomotif sektörlerinden biri olarak net dış fazlasıyla cari dengede önemli bir rol oynamaktadır. Bununla birlikte tarım, hayvancılık, imalat sanayi, hizmetler, perakende gibi birçok sektörle bağlantılar kurarak yerli ekonomi için kilit bir rol üstlenmektedir. Emek yoğun yapısıyla istihdam ve özellikle kadın istihdamı için güçlü bir talep oluşturarak sosyal refaha da katkıda bulunmaktadır. Tekstil ve hazır giyim sektörleri yarattığı ciro, katma değer, üretim değeri ve çalışan sayısı açısından bakıldığında ekonomi bütününde ve imalat sanayi içinde önde gelen sektörlerdendir. Tekstil ve hazır giyim sektörü birlikte değerlendirildiğinde imalat sanayinin en büyük ciro, katma değer ve üretim değerlerine sahiptir. Tekstil sektörü katma değer yaratımında gıdadan sonra ikinci; ciroda ise gıda, ana metal ve motorlu taşıtlardan sonra dördüncü büyük imalat sanayi sektörü durumundadır (Arslan Batuk, 2022).

Tekstil sektörünün 2021 yılı küresel pazar büyüklüğü 993 milyar \$'ın üzerinde gerçekleşirken 2030 yılına kadar yıllık ortalama %4'lük büyüme oranı kaydedeceği ve pazar büyüklüğünün 1,4 trilyon \$'ı aşacağı öngörülmektedir. Tekstil endüstrisindeki baskın oyuncular konumunda olan Çin, Amerika Birleşik Devletleri (ABD), AB ülkeleri, Türkiye ve Hindistan'ın bu büyümeyi sürdürmesi beklenmektedir. Ham tekstil ve hazır giyim üretimi ve ihracatı konusunda Dünya'nın önde gelen ülkesi Çin iken ham pamukta üretim ve ihracat lideri ABD'dir. ABD aynı zamanda ham tekstil ve hazır giyimin önemli ithalatçısı durumundadır. AB ise 450 milyona yaklaşan nüfusu ile tek başına küresel tekstil pazarının %20'sini oluşturmaktadır. AB içerisinde tekstil sektöründe öne çıkan ülkeler Almanya, İspanya, Fransa, İtalya ve Portekiz'dir. Hindistan toplam tekstil üretiminin %3'ünden fazlasını tek başına gerçekleştirerek Dünya genelindeki en büyük üreticiler arasında yer almaktadır. Türkiye'nin tekstil sektörünü bugünkü konumuna taşıyan ana etken ABD ve AB pazarlarına yaptığı ihracat ağırlıklı, moda/marka eksenli ve katma değeri yüksek ürün üretimidir. Türkiye, 2020 yılı dünya tekstil ihracatından aldığı %3,4'lük pay ile ülke bazlı sıralamada 5'inci en büyük ihracatçı konumundadır. İhraç edilen malların toplam değeri 12 milyar \$'ın üstündedir. Tekstil sektöründe 2021 yılında toplam 19.256 işletme varken bu işletmeler 460 bin kişinin üstünde insana istihdam sağlamaktadır (Anonim 6).

Tekstil endüstrisinin önemli bir kolu ise ürünleri giyimde yoğun olarak kullanılan denim sektörüdür (Pal ve ark., 2017). Denim genel olarak çözgü iplikleri indigo boya ile maviye boyanmış atkı iplikleri boyasız, yüksek mukavemetli, çeşitli gramajlarda dokunabilen ve geniş desen yelpazesine sahip, 2/1 veya 3/1 fitilli bir dokuma kumaş cinsidir (Bozok ve Oğulata, 2021; Mezarcıöz ve Sırlıbaş, 2021). Avrupa kökenli eski bir kumaş olan ve güncelliğini koruyan denim, 400 yılı aşkın süredir tüm dünyada görülmekte ve üretilmektedir. Denimden üretilen pantolonlar tarihsel olarak özgürlüğün, isyanın ve bireyselliğin evrensel bir sembolü olarak kabul edilmekte iken artık bir statü sembolü haline gelmiştir (Regan, 2015). Bir zamanlar sadece iş elbisesi yapımında kullanılan denim kumaşlar artık yaratıcı değişiklik ve eklemeler geçirerek bugünkü moda trendini oluşturmuştur

(Hassabo ve ark., 2023). Günümüzde stil ve rahatlık, tüketiciler için giderek daha önemli hale gelmektedir ve Dünya'nın her yerinde denim kumaş, kot pantolon, palto, gömlek, el çantası dahil olmak üzere her yaştan kadın ve erkek için çeşitli ürünlerin yapımında kullanılmaktadır (Othman ve ark., 2024). Bunun dışında denime olan talep çoğunlukla artan gelir seviyeleri, artan moda bilinci ve işyerinde resmi olmayan kıyafetlere yönelimden kaynaklanmaktadır. Dünya çapında kişi başına en yüksek denim tüketimine sahip olan ülke ABD'dir (Periyasamy ve Periyasami, 2023).

Dünyadaki toplam pamuk üretiminin %10'u denim üretimine aktarılmaktadır (Paul, 2015). Küresel bir pazara sahip olmasına rağmen dünya denim tekstil üretiminin %70'i Asya ülkelerinde gerçekleşmektedir. (Regan, 2015). Kot pantolonların yılda 3,5 milyar adetten fazla satıldığı tahmin edilmektedir (Garcia, 2015; Luiken ve Bauwhuis, 2015) ve kot pantolon pazarının 2020 yılındaki 63,5 milyar \$ olan pazar büyüklüğünün 2027 yılına kadar yaklaşık 87,4 milyar \$'a ulaşması beklenmektedir (Periyasamy ve Periyasami, 2023). Türkiye'deki denim sektörünün önde gelen yetkilileri ile yapılan görüşmeler neticesinde, Türkiye'nin denim kumaş üretim kapasitesinin yıllık 75×10^7 metre olduğu bilgisine ulaşılmıştır. Dünya'ya denim giydiren 4 ülkeden biri Türkiye'dir.

Denim kumaş üretim süreci bitkisel ve/veya hayvansal lifler ile suni liflerin eğrilmesi ile başlayıp, boyama, dokuma ve terbiye işlemlerini kapsamaktadır. Özellikle boyama ve sonraki yıkama işlemlerinde yüksek miktarda su ve çok çeşitli sentetik kimyasal maddeler kullanılmaktadır (Wang ve ark. 2014; Fidan ve ark., 2021). Denim kumaş üretimi, yoğun su, kimyasal ve enerji tüketimleri nedeniyle doğrudan ve dolaylı olarak çeşitli çevre sorunlarına neden olmaktadır. Müşterilerin artan çevresel farkındalığı ve getirilen sıkı mevzuatlar sektörü büyük bir baskı altında tutmaktadır (Gmelin ve Seuring, 2014; Resta ve ark., 2016; Fidan ve ark., 2021).

Küresel ölçekte giyinme ve barınma ihtiyaçlarını karşılayacak tekstil ürünlerine talebin giderek artması tekstil sanayisini, tüm su kirliliğinin %20'sinden ($1,5 \times 10^9$ m³) sorumlu hale getirmiştir (Periyasamy ve ark, 2017; Niinimäki ve ark., 2020; de Oliveira Neto ve ark., 2021; Batool ve ark. 2024). Çeşitli çalışmalarda bir kot pantolon üretiminin, pamuk ekimi de dahil 10 m³'ün üzerinde toplam su tüketimine sahip olduğu bildirilmiştir. Bu değer su tüketimi konusunda denimi, tekstil endüstrisi içinde piramidin en üstüne taşımaktadır. Yılda $3,5 \times 10^9$ adetten fazla olduğu tahmin edilen küresel kot üretimi göz önüne alındığında, oluşan atıksuyun çevreye verdiği zararın boyutu oldukça açıktır (Garcia, 2015; Luiken ve Bauwhuis, 2015; Amutha, 2017; Zhang ve ark., 2021).

1.1.1. Denim Üretim Prosesi

Denim kumaş üretimi bir dizi prosesi takip etmektedir. Çeşitli liflerin oransal olarak karıştırıldığı harman-hallaç prosesinden sonra iplik üretimi gerçekleşmektedir. İplikler ihtiyaca göre bobin boyama, halat boyama veya slasher boyama teknikleri kullanılarak renklendirilmektedir. Boyanmış ve/veya ham iplikler ihzar işletmesinde (haşılama) dokumaya hazırlanmaktadır. Haşılanmış iplikler levendlere sarılarak dokumaya sevk edilmektedir. Dokunmuş ham bez üretim reçetesine göre ön terbiye işlemlerine tabi tutulabilir ve/veya boyama prosesine gönderilebilir. Elde

edilen yarı mamül ürünler son işlemler için (apre, sanfor, merserizasyon, kesme, germe, şardon, vafer, fırça vb.) bitirme proseslerinde işlenerek mamül ürün haline getirilir. Daha sonra kalite kontrol süreçlerinden geçen kumaşlar sevk edilmek üzere mamül ambarına gönderilir. Denim üretiminin genel akış şeması Şekil 1.3'te verilmiştir.



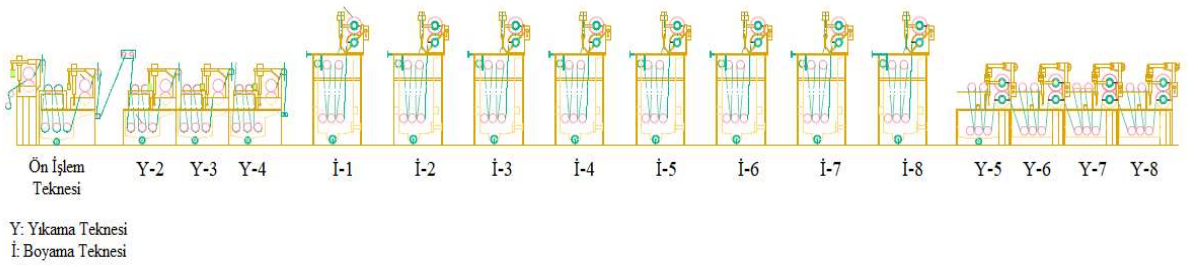
Şekil 1.3. Denim Üretimi Genel Akış Şeması

Şekil 1.3'te su tüketiminin ve atıksu oluşumun gerçekleştiği proses adımları mavi renkli olarak gösterilmiştir. Su tüketiminin olduğu prosesler aşağıda detaylarıyla açıklanmıştır.

Halat Boyama Prosesi

Halat boyama, denim endüstrisinde indigo boyama için kullanılan en eski yöntemdir (Koç ve Ayyıldız, 2005). Bu boyama tekniği ipliklerin renk homojenliği göz önüne alındığında en iyi performansı sağlamaktadır (Fidan ve ark., 2021). Geleneksel halat boyama teknik olarak yıkama teknelerinde çok miktarda su tüketmektedir. İşlem adımları sırasıyla; ön terbiye (kostik soda, ıslatma maddesi vb.), ön yıkama, indigo daldırma, son yıkama (Meraj ve ark., 2016) ve kurutmadır. İlk olarak halat sarma ünitesinde halat şekline getirilmiş iplikler 70-80 °C'de kostik soda, ıslatma maddesi ve ayırıcı madde bulunan bir teknede ön işleme tabi tutulmaktadır. İpliklerin üzerinde kalan fazla kostik soda ve diğer yardımcı maddeleri durulamak amacıyla ön yıkama işlemi gerçekleştirilebilir. Ardından halatlar, indigo boyarmaddesi içeren boya teknelerine daldırılarak 25 m/dk hızla 20-30

saniye boyunca boyayla temas ettirilmektedir. Boyama teknesinden çıkan halatlar silindirler yardımıyla yaklaşık 2 dakika atmosferik oksijen ile oksitlenmektedir. Bu daldırma-oksitleme işlemi talep edilen renk iplik üzerinde oluşana kadar seri bağlı tekneler ile tekrarlanır. Her teknede halat üzerine biraz daha indigo tutunur ve hava oksidasyonu ile lif yüzeyleri renklendirilmiş olur (Uddin, 2014). Boyama teknelerindeki boyarmadde konsantrasyonunu korumak için ana çözeltinin sürekli beslenmesi ve otomatik devridaim gerekmektedir. Daha sonra halatların üzerindeki fazla boyaların yıkanması için son yıkama teknelerinden geçirilen halatlar (Hoque ve Faysal, 2019) kurutma tamburlarında kurutularak kovalara sarılmaktadır. Tipik bir halat boyama ünitesi Şekil 1.4'te verilmiştir.



Şekil 1.4. Halat Boyama Makinesi Genel Akış Şeması

Slasher Boyama Prosesi

Çözü ipliklerini boyamak için kullanılan diğer bir yöntem de slasher boyamadır. Slasher boyama, halat boyamaya göre daha az işlem adımına ve daha fazla üretim esnekliğine sahiptir. Bu boyama yöntemi, özellikle hafif denimlerde iyi sonuç vermektedir. Halat boyamada olduğu gibi slasher boyamada da çözgü ipliği ilk olarak doğal safsızlıkları gidermek için yıkanmakta ve ön terbiye işlemlerine tabi tutulmaktadır. Daha sonra iplikler derin renkler elde etmek için çoklu ve sıralı daldırma yöntemiyle indigo boyama teknelerinden geçmektedir. Talep edilen renk ve renk derinliğine göre oksidasyon süreleri, daldırma sayıları ve boyar maddeler (indigo, kükürt vb.) farklılık gösterebilmektedir. Boyama sonrası yıkamadan sonra iplikler kurutma tamburlarında kurutulmaktadır. Kurutulan iplikler haşıl çözeltisi içeren haşıl teknesinden geçmektedir. İplikler gerekli miktarda haşıl çözeltisini alarak fazla haşıl sıkılmaktadır. Haşıllanan iplikler sıcak buhar tamburları kullanılarak kurutulmakta ve dokuma levendlerine sarılmaktadır (Haque, 2022). Halat boyama ve Slasher boyama tekniklerinin karşılaştırması Çizelge 1.2’de verilmiştir.

Çizelge 1.2. Halat boyama ve slasher boyama tekniklerinin karşılaştırmalı özellikleri

HALAT BOYA	SLASHER BOYA
Halat halinde boyama yapılır.	Açık çözgü halinde boyama yapılır.
Tekne hacimleri büyüktür.	Tekne hacimleri küçüktür.
Dalma süresinin 20 sn gibi uzun bir süre olmasından dolayı, koyu ve daha canlı renk elde etme imkânı vardır.	Tekne hacimlerinin küçük olmasından dolayı, dalma süreleri daha kısadır.
Boyama sonrası oksidasyon için uzun havalandırma mesafesi (40 metre) mevcuttur (90-100 sn).	Boyama sonrası oksidasyon için kısa havalandırma mesafesi (15-20 metre) ve ek hava üfleyici sistem vardır. (40-50 sn)
Halat sayılarını ayarlayarak, aynı anda iki ve üç parti boyama imkânı vardır.	Aynı anda tek parti boyanabilir.
İplikler yaklaşık 350 tel yoğunlukta halatlar şeklinde boyandıkları için, düşük hamut riski taşımaktadır. (Hamut: Çözgü ipliğin mukavemet ile karşılaşması sonucunda kopması veya serbest uç gelmesi durumunda sevk roliklerine sarmasıdır)	İplikler tel tel boyandığı için tek bir ipliğin performansı boyama performansını etkileyebilir ve iplik kalitesine bağlı olarak yüksek hamut riski taşır.
İlave olarak halat sarma, halat açma ve haşıl makinesine ihtiyaç vardır.	Kompakt makine olduğundan çıkan çözgü dokumaya hazırdır.
İşçilik fazladır.	İşçilik azdır.
Boyama kaynaklı kanat farkı riski yoktur. (Kanat farkı: Kumaşın kenarından kenarına renkteki farklılaşma durumudur)	Boyama kaynaklı kanat farkı riski vardır.
İnce ipliklerin işlenmesinde (Ne 20/1 ve daha ince) halat açmada sıkıntı yaşanabilir.	İnce ipliklerle çalışabilme imkânı (40 Ne'ye kadar) mevcuttur.
Kontinü boyama (aynı tiplerin arka arkaya boyanabilmesi) ile yüksek üretim imkânı vardır.	Boyama kapasitesi seri çözgü levant kapasitesi ile sınırlıdır.
Parti giriş ve çıkışlarında polyester astar kullanılır. Teknolojik telef yoktur.	Parti arası geçiş (tip değişiminde) 1000 mt teknolojik telef verir.
Kenar yapışıklığı ve dokuma kalitesizliği riski daha azdır.	Kenar yapışıklığı ve dokuma kalitesizliği riski daha fazladır.

Kumaş Boyama Prosesi

Denim endüstrisinde kullanılan boyama yöntemlerinden biri de kumaşın dokunmuş halde boyanmasıdır. Denimin slasher veya halat boyama yöntemiyle indigo boyaması yıkama sonrasında canlı bir görünüm sağlasa da daha fazla zaman, maddi kaynak tüketmektedir. İplik boyama öncesi boyanın indirgenmesi, boyama sonrası oksidasyon, yıkama teknikleri, haşıl sökme gibi ekstra işlemler ve ayrıca gerekli olan ekstra insan gücü iplik boyamanın dezavantajı olarak sunulmuştur (Bhattacharjee ve ark., 2019).

Bobin Boyama

İplik boyama yöntemleri arasında bobinde boyama en sık kullanılan yöntem olarak bilinmektedir. Düşük üretim maliyetleri, kullanım kolaylığı ve kaliteli boyama özelliği bu yöntemin en önemli avantajlarıdır. Boyama işleminin verimliliği ve boyanan ipliğin kalitesi, ipliğin ve kullanılan boyarmaddenin tipine, boyama reçetesine ve boyama parametrelerine bağlıdır. Ayrıca bobin sarım yapısı parametreleri ve boya tablalarının yapısı boyanan ipliğin kalitesini önemli ölçüde

etkilemektedir (Mahmudova, 2018). İplikler çile, bobin veya çözgü halinde terbiye edilebilirler. Boyama yöntemine göre en yaygın olmasının yanı sıra teknik ve ekonomik açılardan daha uygun olan yöntem, ipliklerin bobinde boyanması yöntemidir. Bobin halinde boyanmış iplikler, çile halinde boyanmış ipliklerin hacimliliğine ve yumuşaklığına sahip değildir. Ancak boyama işleminden sonra herhangi bir ek işlem gerektirmeden ipliklerin dokumahaneye gönderilebilmesi, daha düşük flotte oranlarında çalışılabilmesi, büyük partilerin bir defada boyanabilmesi ve kazanlarda her türlü lifin her türlü boyarmadde ile boyanabilmesi gibi özellikler bu yöntemi diğer yöntemlerden daha avantajlı hale getirmektedir (Şimşek Gündüz ve Akarslan, 2018). Boya çözeltisinin ipliğe kütle transferinde, iplik ile boyama banyosu arasındaki temas süresi proses değişkenleri tarafından belirlenmektedir. Genel olarak bobinlerdeki ipliği boyamak için kullanılan boyama makinesi içinde boyama çözeltisinin bulunduğu metal silindirden oluşur. Boyama makinesi otoklav tipinde olup boya solüsyon dağılımını bobinin içinden dışarıya ve dışarıdan içeriye doğru homojen bir şekilde sağlamaktadır. Sıvı oranı düşük olan makinelerde bu hareket genellikle sadece içten dışa doğrudur (de Aguiar ve ark., 2021).

Terbiye Prosesleri

Tekstil zinciri ham liflerin üretimi ve hasadı ile başlamaktadır. Genel olarak "terbiye işlemleri" olarak adlandırılan işlemler ise ön işlem, baskı, boyama, terbiye, yıkama ve kurutma dahil süreçleri içerir. Terbiye, elyafın belirli özelliklerini veya servis edilebilirliğini iyileştiren tüm bu işlemleri kapsayarak tekstil ürününün görünümünü, dokusunu veya performansını iyileştirmek için elyaf, iplik veya kumaş üzerinde gerçekleştirilen mekanik/fiziksel ve kimyasal işlemleri ifade eder (Le Marechal ve ark., 2012). Terbiye prosesi kapsamında incelenecek başlıklar; a) merserizasyon ve b) haşıllama olarak belirlenmiştir.

a) Merserizasyon

Merserizasyon, pamuklu ürünlerin 20-30 °C sıcaklıkta %15-25 (normalde %21-22) kostik soda ile muamele edildiği fiziko-kimyasal bir işlemdir. Bu bir lif saflaştırma işlemi olmayıp pamuk ipliği ve kumaş özelliklerinde istenen değişikliklerin oluşmasını sağlar. İşlem adını, 1850'de kostik soda çözeltisi ile muamele edildiğinde pamuklu kumaşa genel bir şişme ve büzülme etkisi olduğunu gözlemleyen John Mercer'den almıştır. Daha sonra Horace Lowe (1889-90) merserizasyonun gerilimi koruyarak pamuğun parlaklığını arttırdığını bildirmiştir. Merseizasyonun amacı, pamuk lifini şişirmek, parlaklığını, çekme mukavemetini, boyutsal stabilitesini ve boyama kabiliyetini arttırmaktır (Choudhury, 2017; Brahma ve ark., 2018).

Güçlü kostik solüsyon veya sıvı amonyak ile merseizasyon işlemi, pamuk lifinin boyanabilirliğini ve elde edilen kumaşın parlaklığını artırıcı etkiye sahiptir (Fu ve ark., 2013). Merseizasyon yoluyla, pamuk lifinin kristallliği azalır ve amorf özellikleri artar, lif içinde daha fazla gözenek ve etkili hidroksil grupları üretir. Böylece boyanın tutunması ve fiksasyon artırılarak

boyanabilirlik kolaylaşır (Naikwade ve ark., 2017; Brahma ve ark., 2018). Bu nedenle, ön meriserizasyon (boyama öncesi meriserizasyon) genellikle pamuk boyama özelliklerini geliştirmek için seçilir (Lin ve Bai, 2020). Boyama sonrası meriserizasyon ise tercihen, özel gereksinimleri karşılamak üzere boyanmış pamuklu kumaşa parlaklık üretmek için uygulanmaktadır. Ayrıca boyalı pamuklu kumaşın mekanik özelliklerini ve eldeki hissini de değiştirmektedir (Liang ve ark., 2021). Bu morfolojik yapı dönüşümü, pamuklu kumaşın meriserizasyon performansına etkin bir şekilde katkıda bulunduğundan, ön meriserizasyonlu ve ön meriserizasyonsuz boyalı pamuklu kumaş arasındaki morfolojik farklılıklar, renk tonu, mekanik özellikler, el hissi gibi farklı meriserizasyon sonrası performanslara neden olabilir (Lin ve Bai., 2020). Merserize atık sularındaki olası organik kirleticiler alkol sülfatlar, anyonik yüzey aktif maddeler ve sikloheksanoldur (Le Marechal ve ark., 2012).

b) Haşılama

Haşılama tekstil sektöründe kırılğan iplikleri yüzey çatlaklarından koruyarak üretim sürecinin ve ardından tekstil makinelerinin ve kompozit işlemenin neden olduğu elyaf hasarını azaltmaktadır. Öte yandan, kompozit ipliklerde polimer matrisine aynı anda yüksek yapışma mukavemetini maksimum performansta sağlamaktadır (Hengstermann ve ark., 2021). Haşılama, ipliğin dışına yapışkan bir kaplama uygulama yoludur ve ağırlıklı olarak, büküm ipliğinin dokuma kapasitesini, örneğin gerilim, sabitleme, emme ve esneme gibi dokuma aktivitesine karşı daha geçirimsiz hale getirerek, dokuma kapasitesini geliştirmek için ipliğe uygulanmaktadır (Djordjevic ve ark., 2019).

Çözümlü ipliği, dokuma sırasında gerilme, aşınma ve eğilme nedeniyle karmaşık mekanik kuvvetlere maruz kaldığından kaliteli ve verimli bir dokuma işlemi için çözgü iplikleri haşılmalıdır. Haşılamanın öncelikli amacı dokumadaki darbeleri ve gerilimli çalışmaya dayanabilecek şekilde çözgümlere dokunabilirlik sağlamak, böylece çözgü iplik kopuşlarını azaltarak kaliteyi ve verimliliği yükseltmektir (Duru Baykal ve Kumaş, 2021). Ayrıca tüylülüğü, noksanlığı azaltarak ve mükemmelliği, ipliğin emiciliğini artırarak mükemmel doku kalitesini korumaktadır. Haşılama “Dokumanın Kalbi” olarak adlandırılmaktadır (Turukmane ve ark., 2019; Ahmed ve ark., 2021).

Tekstil endüstrisinde nişasta, karboksimetil selüloz (CMC), mum, emülgatör ve polivinil alkol (PVA) gibi çeşitli haşıl maddeleri sıklıkla kullanılmaktadır. Poliakrilatlar, polyesterler ve polivinil alkoller (PVA'lar) kaplama ölçüsünün ayarlanmasına yardımcı olan günümüz polimer mühendisliği örnekleridir. Ancak sentetik haşıl maddeleri biyolojik olarak parçalanamaz ve çevreye zararlıdır (Nayak ve ark, 2002; Ahmed ve ark., 2021).

Haşılama işlemi 4 aşamadan oluşmaktadır:

1. *Çözü bölümü*

Ürün tipine göre belirlenen sayıdaki haşıl leventleri cağıklara yerleştirilir ve iplikler halinde haşılama teknesine sevk edilir. İpliklerin birbirine dolaşmasını engellemek için gerilimin iyi ayarlanması gerekmektedir.

2. *Haşıl teknesi ve haşılama*

Cağıktan gelen çözgüler haşıl teknesine daldırılır. İpliğin aldığı fazla haşıl maddesi baskı silindirleri vasıtasıyla sıkılır.

3. *Kurutma*

Haşıllanmış çözgüler kurutma tamburlarından geçirilerek belli bir nem seviyesi kalacak şekilde kurutulur.

4. *Dokuma leventleri*

Çıkan çözgüler düzgün bir biçimde dokuma leventlerine sarılarak dokuma işletmesine gönderilir.

1.1.2. Denim Üretim Proseslerinden Kaynaklanan Su Kirliliği ve Çevresel Etkileri

Denim üretimindeki boyama, terbiye ve yıkama işlemleri su tüketiminin en fazla olduğu proseslerdir. Boyama, uygun bir boyama makinesinde lif, iplik, kumaş gibi farklı formlardaki lifli ürünlere rengin dahil edildiği ıslak tekstil işlemdir (Ammayappan ve ark., 2016). Renklendirici maddeler boyalar ve pigmentler olarak ikiye ayrılmaktadır. Kullanım yöntemine göre boyalar, Direkt, Asit, Bazik, Reaktif, Vat, Dispers ve Azoik boyalar olmak üzere yedi tipte sınıflandırılabilir. Pigmentler ise genellikle baskı işleminde bir bağlayıcı yardımıyla kumaşa yapıştırılan, çözünmeyen renklendirici maddelerdir. Boyalı veya baskılı bir tekstil malzemesinin kullanım süresi boyunca uygun renk haslığı göstermesi beklenmektedir (Hoque ve Faysal, 2019). Tekstil terbiye işlemlerinde bir tekstil mamul/ara mamulüne estetik olduğu kadar fonksiyonel özellikler de kazandırılarak daha kullanışlı ve talep edilebilir hale getirilmektedir. Terbiye işlemlerinde kimyasal ve doğal malzemeler kullanılmakta ve genellikle tekstil üretiminin son aşaması olarak uygulanmaktadır. İşlemlerde kullanılan madde cinslerine göre çevresel açıdan zararlı atıklar oluşmaktadır (El-Sayed ve ark., 2021). Denim endüstrisi atık suları bu işlemlerden dolayı, yüksek pH değeri, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ), toplam çözünmüş katı maddeler (TÇKM), toplam askıda katılar (TAKM), toplam organik karbon (TOK), klorürler ve sülfatlar ile karakterize edilmektedir (Mani et al., 2019; Wang et al., 2022; Periyasamy ve Periyasami, 2023). Bununla birlikte çeşitli boyar maddeler, formaldehit, ftalatlar, fenoller, yüzey aktif maddeler, perflorooktanoik asit, pentaklorofenol gibi kimyasal bileşikler ile kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), arsenik (As), krom (Cr), çinko (Zn) ve nikel (Ni) gibi farklı ağır metaller tekstil atık sularının içeriğini oluşturmaktadır. Denim atık suları canlı organizmalar için kanserojen, mutajenik, genotoksik,

sitotoksik ve alerjenik etkileri nedeniyle su ve toprak ekosisteminin en önemli kirletici kaynaklarından biri olarak kabul edilmektedir (Kishor ve ark., 2021).

Denim üretiminde su kirliliğine neden olan prosesler, bu proseslerde kullanılan kirletici maddeler ve ortaya çıkan kirlilik parametreleri Çizelge 1.3'te verilmiştir (Asri, 2021; Periyasamy ve Periyasami, 2023).

Çizelge 1.3. Denim üretiminde su kirliliğine neden olan prosesler, kirleticiler ve kirletici etkileri

Proses	Kirletici	Kirlilik Pametresi
Haşılama	Nişasta/PVA	BOİ, KOİ, AKM, yumuşatıcı, yağ/gres
Boyama	Çözünmüş Boya, tuzlar, NaOH, Na ₂ S ₂ O ₃	pH, TÇKM, AKM, Renk, Bulanıklık
Haşıl sökme	Nişasta/PVA	BOİ, KOİ, AKM, Enzim, yumuşatıcı, yağ/gres, sıcaklık
Kasar (Ağartma)	Klorin, NaOH, H ₂ O ₂ , Silikat,	pH, AKM, Yağ Alkolleri, AOX, Deterjanlar
Klor Giderici Yıkama	Sodyum/Sodyum Tiyosülfat	Yüksek toksisite
Taş/Enzim Yıkama	Taş, Enzimler, asitler	pH, BOİ
Yumuşatma		Yağ asitleri, BOİ

Çizelge 1.3'ten görüleceği üzere denim üretiminin ıslak proseslerinin tamamında kullanılan kimyasal maddelerden kaynaklı bir kirlilik yükü oluşmaktadır. Dolayısıyla denim endüstrisi, dünyayı hazır giyim üretiminde ayakta tutabilmek için devrim niteliğinde bir değişimden geçmelidir. Tüketicilerin bir kot pantolon üretmenin yalnızca parasal maliyeti olmadığını aynı zamanda büyük bir çevresel maliyeti de barındırdığını bilmeleri gerekmektedir (Pal ve ark., 2017). Bu nedenle denim üretiminde kullanılan girdilerin (su, enerji, kimyasal madde vb.) değerlendirilmesi ve yönetilmesi sürdürülebilir bir gelecek için önem arz etmektedir.

1.2. Su Ayak İzinin Temeli Sanal Su Kavramı

“Sanal su” kavramı ilk olarak 1994 yılında King's College London'dan Profesör J.A. Allen tarafından Ortadoğu ülkelerinin su gereksinimlerini 1970'den beri mevcut kaynaklarıyla nasıl karşıladıklarına ışık tutmak için ortaya atılmıştır. Çünkü Ortadoğu bölgesindeki birçok ekonomi, ihtiyaç duyduğu suyun sadece yarısına sahiptir. Allan, bu ekonomik sistemlerin, ihtiyaç duydukları suyun diğer yarısını ürün ticareti yoluyla temin ettiğini savunmuştur. Başka bir ifadeyle Allan'a göre bu ülkelerdeki su kıtlığı, uluslararası pazardan temin edilen su yoğun ürünlerin ithaliyle yönetilmeye çalışılmaktadır (Chavan, 2018).

Bir ülke başka bir ülkeye su yoğun bir ürün ihraç ettiğinde aslında suyunu (sanal su) ihraç ederek diğer ülkelere su ihtiyaçları konusunda destek olmaktadır. Su zengini ve fakiri bölgeler arasında bildiğimiz anlamdaki su ticareti (fiziksel su), uzak mesafeler ve ilgili maliyetler nedeniyle genellikle imkansızdır ancak su yoğun ürünlerin ticareti (sanal su ticareti) daha gerçekçi bir yaklaşımdır. Bu nedenle, su kıtlığı olan ülkeler, yüksek su ihtiyacı olan tüm ürünleri yurt içinde

üretmek yerine ithal ederek su güvenliğini sağlayabilmektedirler. Tersine çevrilebilir bir şekilde, su zengini ülkeler de ihracat için su yoğun ürünler üreterek su kaynaklarının bolluğundan kar edebilmektedirler (Hoekstra, 2003).

Sanal su yalnızca bir ürünün içeriğinde olan fiziksel su miktarını değil aynı zamanda onu üretmek, yetiştirmek için gereken su miktarını da ifade etmektedir ve “gömülü su” veya “dışsal su” olarak da adlandırılmaktadır. Tanımlandığı dönemde kavramsallaştırılmamış bir şeyi ifade ettiği için devrim niteliğinde bir kavram olarak değerlendirilerek, suyun ülkeler veya bölgeler arasında nasıl aktığını anlamamıza yardımcı olmuştur (Beltran, 2020). Dışsal su, bir ürünün ihraç edilmesiyle, ihracatçı ülke sularının dolaylı yoldan ithalatçı ülke tarafından kullanıldığı gerçeğine atıfta bulunmaktadır. Bu nedenle bir ülkenin kendi su kaynaklarına, ithal ettiği ürünlere bağlı olarak dışsal suyun da eklenmesi gerektiği savunulmaktadır (Haddadin 2003; Hoekstra, 2003).

Daha nicel bir sanal su tanımlaması için şimdiye kadar başlıca iki farklı yaklaşım önerilmiş ve uygulanmıştır. Birinci yaklaşımda, sanal su içeriği; üretim yeri, zamanı ve su kullanım verimliliği dahil olmak üzere tüm üretim koşullarına bağlı olarak bir ürünün üretilmesinde kullanılan gerçek su hacmi olarak tanımlanmaktadır. Örneğin kurak bir ülkede bir kilogram tahıl üretmek, aynı miktarı nemli bir ülkede üretmekten iki veya üç kat daha fazla su gerektirebilmektedir. İkinci yaklaşımda ise üretici perspektifinden ziyade kullanıcı perspektifi dikkate alınarak, ürünün ihtiyaç duyulduğu yerde ürünü üretmek için gerekli olacak su miktarı olarak tanımlanmaktadır. Bu tanım özellikle “Bir ürünü kendimiz üretmek yerine ithal edersek ne kadar su tasarrufu sağlarız?” sorusu sorulduğunda geçerli olmaktadır (Hoekstra, 2003).

Sanal su kavramı, Su Eğitimi Enstitüsü UNESCO-IHE tarafından yayınlanan Suyun Değeri Araştırma Raporları Serisi’nde birçok bilim insanının çalışma raporlarıyla detaylandırılmıştır. Uluslararası su akışlarının değerlendirildiği ve sanal su ticaretinin ele alındığı bu raporlar serisi, ilerleyen dönemlerde ortaya çıkacak yeni çalışmalar için bir sıçrama tahtası görevi görmüştür. Sanal su ticareti fikrine dayanarak, Hoekstra ve Hung (2002) uluslararası gıda ticaretiyle ilgili sanal su akışları ile ülke sakinleri tarafından tüketilen mal ve hizmetlerin üretimi için ihtiyaç duyulan su hacmini hesaplamayı amaçlamışlardır. Böylece, SAİ olarak tanımlanacak kavramın temelleri atılmıştır (Beltran, 2020).

1.3. Su Ayak İzi Kavramı

Yaşamın devamlılığı için zorunlu olan ve bilinen ikamesi bulunmayan (Ahmad ve Praveen, 2021) bir madde olan su; doğada katı, sıvı ve gaz formunda bulunmaktadır. Dünya’nın %75’i sularla kaplı olmasına rağmen, tatlı su miktarı tüm suların % 2,5’ini oluşturmaktadır ve Dünya üzerindeki dağılımı da homojen değildir (Kırtorun ve Karaer, 2018). Nüfus artışı, tarımsal ve endüstriyel faaliyetler, su temini ve atıksu deşarjı su kaynakları üzerindeki baskıyı her geçen gün arttırmaktadır (Hoekstra ve Mekonnen, 2012; Turan, 2017). Bunun yanında küresel iklim değişikliği de bu sürece etki etmektedir (Penna ve ark., 2020).

Ciddi seviyelere ulaşan bölgesel su kıtlıkları ve atık su kirliliği, halkların, yöneticilerin, tüketicilerin ve üreticilerin dikkatini çekmeye başlamıştır. İhtiyaç duyulan miktarda ve kalitede suyun istenilen zamanda temin edilebilmesi toplumsal kalkınmanın, refahın ve gelişmişlik seviyesinin önemli bir ölçütüdür (Xu ve ark., 2018; Stevovic ve ark., 2018). Dolayısıyla su kaynaklarının durum analizleri; suyun temini, kontrolü, arıtılması, kalitesi, deşarjı, paylaşımı, kullanımı gibi hususlar üzerinde en fazla durulan konular haline gelmiştir (Heck ve ark., 2019; Li ve Wu, 2019; Ukah ve ark., 2020; Ahmad ve Praveen, 2021; Schliemann ve ark., 2021). Tüm bu konuların üstesinden gelmenin anahtarı, ne kadar su tüketildiğini, ne kadar atık su üretildiğini ve atık suyun içeriğini değerlendirerek (Li ve ark., 2021a) sınırlı bir kaynak olan suyu en yüksek verimlilikle yönetmektir (Stevovic ve ark., 2018).

Suyun çevreci, ekonomik ve sürdürülebilir bir şekilde yönetimi konusunda geliştirilen yöntemlerden bazıları, su kullanımı ve operasyonel riskler için kullanılan muhasebe araçları iken, diğer yaklaşımlar tüketimin etkilerini ortaya koyan (Finnveden ve ark., 2009) ya da kaynak yönetimine teşvik etmeyi amaçlayan araçlardır (Alliance for Water Stewardship, 2012). Bu araçlardan biri de sürdürülebilir su yönetimi konusunda etkili bir yaklaşım sunan “SAİ” olup, su kullanımının bir göstergesi olarak 2002 yılında tanıtılmıştır (Hoekstra ve Hung, 2002; Hoekstra ve ark., 2017; Vanham ve Mekonnen, 2021). SAİ kavramı kaynaklarda çeşitli şekillerde tanımlanmış olmakla birlikte en genel anlamda, mal ve hizmetlerin tedarik zincirinden son kullanıcıya kadarki süreçte doğrudan ve dolaylı olarak tükettiği su miktarını veya neden olduğu su kirliliğinin boyutunu ifade etmek için kullanılan bir terimdir (Gerbens-Leenes ve ark., 2013; Turan, 2017; Yang ve ark., 2020).

1.3.1. Su Ayak İzi Değerlendirme Metodları

SAİ değerlendirmesinde iki ana yaklaşım kullanılmaktadır: (1) Su Ayak İzi Ağı (Water Footprint Network - WFN) tarafından geliştirilen ve SAİ’yi tanımlayan hacimsel yaklaşım (Hoekstra ve ark., 2011) ve (2) Uluslararası Standart Örgütü (International Organization for Standardization-ISO) tarafından ortaya konulan ve Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD / Life Cycle Assessment – LCA) metodolojisine dayanarak hazırlanan çevre yönetimini, su ayak izini, ilkeleri, gereksinimleri ve yönergeleri belirleyen ISO 14046’dır (Li ve ark., 2021b). YDD akademisyenleri ürünlerin yaşam döngüsü değerlendirmesine SAİ’yi entegre etmek amacıyla, orijinal hacimsel SAİ’yi, SAİ’nin bulunduğu su toplama havzasındaki su kıtlığı ile ağırlıklandırarak yerel durumu yansıtan su tüketiminin çevresel etkisi ile “su kıtlığı ağırlıklı bir SAİ” elde etmeyi önermişlerdir (Hoekstra, 2016). Dolayısıyla YDD topluluğu tarafından geliştirilen yöntem, ağırlıklı olarak SAİ yaklaşımını içermektedir. Bu yöntemler hem su kullanımının hesaplanması hem de etkilerinin belirlenmesi açısından genel olarak benzer olmasına rağmen SAİ sonucunun iletilmesinde farklılık göstermektedir (Pfister ve ark., 2017). SAİ Ağı değerlendirme ile YDD’deki farklı aşamalar Şekil 1.5’te gösterilmektedir (Vanham ve Bidoglio, 2013).



Şekil 1.5. YDD ve SAİ Ağı Değerlendirmesindeki Aşamalar

YDD'nin amacı, bir ürünün veya faaliyetin (bir ürün sistemi) tüm yaşam döngüsü boyunca çevresel etkilerini değerlendirmektir. Bu çevresel etkiler içerisinde (örneğin, karbon ayak izi, arazi kullanımı, ötrofikasyon vb.) sadece suyun bir kriter olduğu durumlarda, SAİ değerlendirmesi suyun sürdürülebilir tahsisi ve kullanımına odaklanmıştır. Her iki metodoloji de birbirinden faydalanarak birbirini tamamlayabilmektedir. Örneğin, su tüketen belirsiz süreçlerin verilerine bağlı olarak SAİ değerlendirmesinin muhasebeleştirilmesi aşamasında, YDD envanter veritabanları SAİ değerlendirmesinin daha kesin yapılmasına olanak tanıyabilmektedir. YDD envanter analizinde ise tarım için nicel SAİ_{yeşil} ve SAİ_{mavi} göstergeleri kullanılabilmektedir (Morera ve ark., 2016). Dünyanın her yerinde farklı ürünlerin ve/veya süreçlerin SAİ'leri üzerine yayınlanmış birçok çalışma bulunmaktadır (Naqvi ve ark., 2018).

SAİ'nin hesaplanmasında yukarıda açıklanan ana metodolojilerin dışında bazı yaklaşımlar da mevcuttur. Milà i Canals ve ark., (2009) tarafından önerilen yaklaşım su kullanımını bir nehir havzası düzeyinde ele alır. Bu yöntemle göre, hem su kaynağı hem de tatlı su kullanım türü yaşam döngüsü envanterine dahil edilmelidir. Kaynak açısından, su kaynaklarını mavi ve yeşil su olarak sınıflandırarak SAİ Ağı yaklaşımını izlemektedir. Bunun yanında etki faktörlerini de belirleyerek iki ana yaklaşımı birlikte sunmaya çalışmaktadır. Feng ve ark. (2022), iki ana metodolojiyi sentezleyerek su miktarı ve kalitesini tek bir göstergede birleştiren iyileştirilmiş tek göstergeli bir yaklaşım sunmaya çalışmıştır. Wang ve ark. (2015), Hoekstra tarafından sunulan geleneksel SAİ_{gri}'nin kirleticinin farklı su kütleleri tarafından seyreltildiği gerçeğini dikkate almadığını, farklı su kütlelerinin kirlilik ciddiyetlerini yansıtmadığını, bu nedenle hesaplanan sonucun yalnızca toplam SAİ_{gri}'yi gösterdiğini belirterek SAİ_{gri}'nin geliştirilmiş bir hesaplama yöntemini önermişlerdir. Lathuillière ve ark. (2018), yalnızca su kaynaklarına veya yalnızca ürünlere odaklanan SAİ değerlendirmelerinin su kıtlığını azaltmak ve havzadaki suyun adil ve sürdürülebilir kullanımını iyileştirmek için yeterli olmayacağını belirtmişlerdir. Çünkü bu iki yaklaşımın odaklarına göre farklı

hedefleri vardır: ürün odaklı bir SAİ yaklaşımı öncelikle ürün sistemini iyileştirmeyi amaçlar; su yönetimine odaklanan bir SAİ yaklaşımı öncelikle su döngüsünü ve su kaynaklarının dağıtımını anlamaya çalışır. Bu nedenle, bu SAİ yaklaşımlarından kaynaklanan ve potansiyel olarak çakışan mikro (bireysel eylemler, ürün sistemi) ve makro (örneğin, nehir havzası) yönetim stratejilerinden kaçınmak için SAİ değerlendirmelerini uyumlu hale getirmeye yönelik tamamlayıcı bir katkı sunmak amacıyla iki ana yöntemi birleştiren bir yaklaşım sunmuşlardır.

Yukarda anlatılan hesaplamalar için SAİ dahil, çevresel YDD sonuçlarını nicel olarak elde etmek amacıyla çeşitli yazılımlar da kullanılmaktadır. Ancak bu veritabanları su kullanımı hakkında sınırlı bilgi içermektedir. Gabi ve European Life Cycle Database (ELCD) veritabanlarında, girdi su akışları yalnızca temel su kaynağına (ör. nehir, yeraltı suyu, deniz) göre farklılaştırılırken, SimaPro ve Ecoinvent veritabanları ayrıca amaçlanan kullanıma göre bazı ek akışları da içermektedir (ör. Ecoinvent'te türbin kullanım suyu ve SimaPro'da proses, soğutma, içme suyu). Veritabanları birbirleriyle kıyaslandığında terminoloji ve kategorizasyonun tutarsız olduğu ve ayrıca su kullanım etkilerini değerlendirmek için temel parametrelerin (coğrafi konum gibi) eksik olduğu bildirilmektedir. Dahası, veri tabanına dayalı su kullanımını bildiren çoğu YDD çalışması, akış içi (ör. türbin kullanımı) ve akış dışı kullanımlar veya tatlı su ve deniz suyu arasında ayırım yapmadan yalnızca toplam girdiyi belirtir. Veritabanlarının çoğunun atık su deşarjlarını sistematik olarak dikkate almadığı ve dolayısıyla tutarlı bir şekilde su çıktılarını bildirmediği ifade edilmiştir (Jeswani ve Azapagic, 2011). Bununla birlikte bu yazılımların veritabanlarında ilgili karakteristik faktörleri tutmaları ve sürekli güncellemeleri beklenmektedir. YDD çalışmaları için dünya çapında önde gelen iki yazılımdan biri olarak bildirilen SimaPro (Herrmann ve Moltesen, 2015), 80'den fazla ülkede endüstri, danışmanlık ve araştırma enstitülerince ISO uyumlu bir yazılım olarak yaygın kullanılmaktadır. SimaPro YDD yazılımı, PRé Sustainability tarafından geliştirilmiş olup sürdürülebilirlik verilerini toplamak; ürünlerin ve hizmetlerin sürdürülebilirlik performansını analiz etmek ve raporlamak; karbon ayak izi, su ayak izi, çevresel etki sonuçlarını hesaplamak; temel performans göstergelerini belirlemek ve izlemek amacıyla kullanılan profesyonel bir araçtır (PRE Consultant, 2018). Elde edilen sonuçlar Sankey diyagramlarıyla veya SimaPro'nun sunduğu diğer yorumlama özelliklerinde görüntülenerek yorumlanabilmektedir (Ciroth ve ark., 2009).

Su Ayak İzi Ağı

2002 yılında, Arjen Hoekstra, UNESCO-IHE Su Eğitimi Enstitüsü'nde çalışırken, tüm tedarik zincirleri boyunca mal ve hizmet üretmek için tüketilen ve kirlenen su miktarını ölçmek amacıyla bir ölçü olarak "SAİ" kavramını ortaya atmıştır. Twente Üniversitesi'nde su yönetimi profesörü olan Hoekstra, sürdürülebilir olmayan su kullanımının zorluklarının üstesinden gelebilmek adına 2008 yılında çeşitli sektörlerin önde gelenleriyle birlikte, kendini işine adanmış en parlak beyinleri bir araya getirmek amacıyla SAİ Ağı'nı kurmuştur (WFN, 2021).

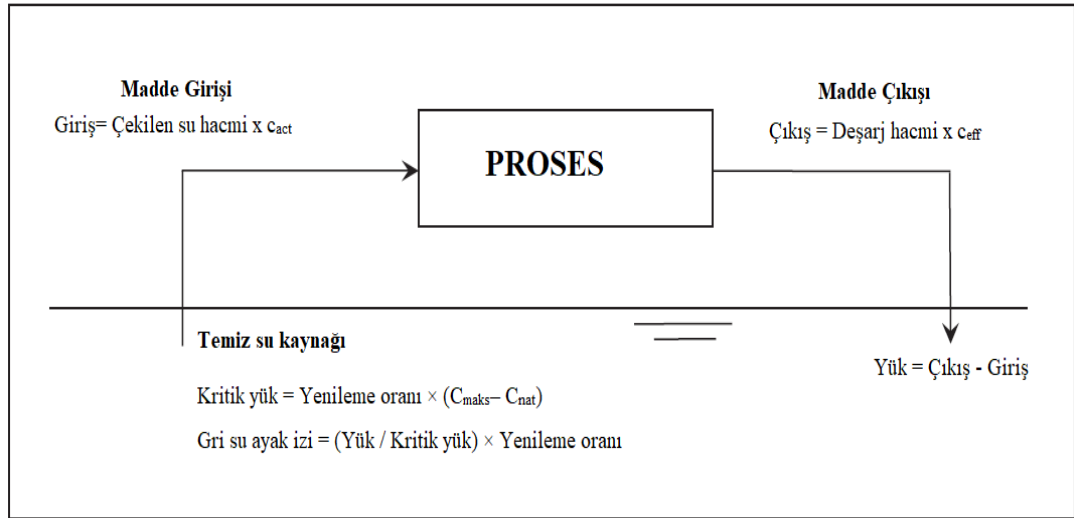
Sanal su teorik bir gösterge olmasına rağmen “SAİ” sanal suyu tahmin etmek için metodolojik bir girişim sunmaktadır. SAİ ve sanal su, ürün ve hizmetlerde uluslararası ticaret yoluyla su akışlarını tahmin etmek için yararlı araçlar sağladığından, konuyla ilgili ilk büyük toplantı olan 2003 yılındaki Sanal Su Kongresi’nden bu yana bu kavramlar etrafında birçok çalışma yayınlanmıştır. SAİ Ağı, sanal su ve SAİ ile ilgili birçok çalışmayı yaymak için güçlü bir araç haline gelmiştir (Beltran, 2020).

SAİ’nin değerlendirilmesi dört aşamadan oluşmaktadır (Hoekstra ve ark., 2009). Bunlar sırasıyla:

- 1) Hedef ve kapsamın belirlenmesi
- 2) SAİ muhasebesi
- 3) SAİ sürdürülebilirlik değerlendirmesi
- 4) SAİ yanıt formülasyonu

Bir SAİ değerlendirme çalışması yürütülürken yapılan seçimler konusunda şeffaf olmak için, çalışmanın amaçlarını ve kapsamını net bir şekilde belirlemek gerekmektedir. Dolayısıyla ilk aşama, değerlendirme amacının ve kapsamının tanımlanarak işlevsel birimin dikkate alınmasıyla belirlenen SAİ türlerini ve veri örneğini içermektedir. SAİ muhasebesi aşaması, verilerin toplandığı ve hesapların geliştirildiği aşamadır. Muhasebedeki ayrıntı kapsamı ve düzeyi, önceki aşamada alınan kararlara bağlıdır. Üçüncü aşamada, SAİ, analiz edilen bölge veya dönemdeki su mevcudiyeti dikkate alınarak SAİ’nin çevresel, sosyal ve ekonomik açıdan sürdürülebilirliğe katkısı değerlendirilmektedir. Son olarak dördüncü aşamada müdahale seçenekleri, stratejiler veya politikalar formüle edilerek ürün veya sistemin SAİ’sini azaltmak için çeşitli önerilerde bulunmaktadır (Hoekstra ve ark., 2009; Morera ve ark., 2016).

Hoekstra, SAİ araştırmalarının temelini oluşturan terminolojiyi ve metodolojiyi kapsamlı bir şekilde oluştururken, kullanılan su kaynağını da dikkate alarak SAİ’yi; Yeşil Su Ayak İzi (SAİ_{yeşil}), Mavi Su Ayak İzi (SAİ_{mavi}) ve Gri Su Ayak İzi (SAİ_{gri}) olmak üzere 3 kategoriye ayırmıştır (Şekil 1.6 ve 1.7) (Hoekstra ve Chapagain, 2008; Konar ve Marston, 2020).



Şekil 1.7. SAI_{gri} 'nin Tanımı

Şekil 1.7’de c_{act} , c_{nat} ve c_{maks} sembolleri, sırasıyla su kaynağındaki kirleticinin gerçek, doğal ve izin verilen maksimum konsantrasyonunu; c_{eff} ise atık sudaki kirleticinin konsantrasyonunu ifade etmektedir (Hoekstra, 2015).

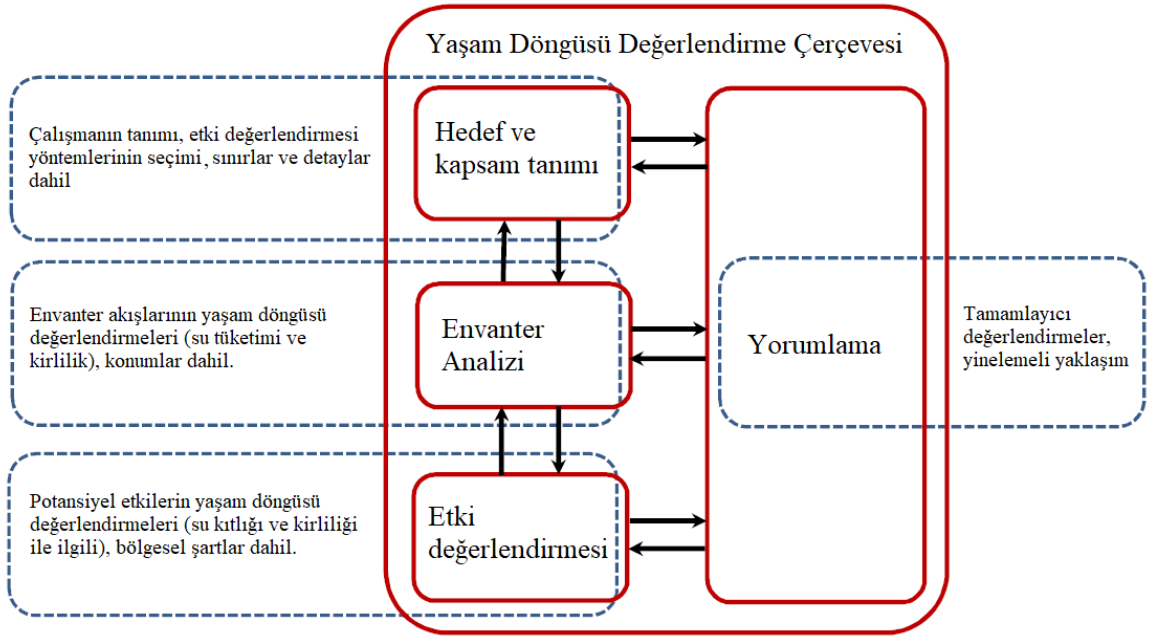
Neden alıcı su kütlesindeki deşarj konsantrasyonun değil de doğal konsantrasyonun referans olarak kullanıldığı sorulabilir. Bunun nedeni, SAI_{gri} ’nin uygun asimilasyon kapasitesinin bir göstergesi olmasıdır. Bir alıcı su kütlesinin özümseme kapasitesi, bir maddenin izin verilen maksimum ve doğal konsantrasyonu arasındaki farka bağlıdır. Bir maddenin doğal konsantrasyonu ile izin verilen maksimum konsantrasyonu karşılaştırıldığında, belirli bir zamanda doğal kirlilik seviyesinin bir fonksiyonu olarak sürekli değişen ve geri kalan özümseme kapasitesine bakılmaktadır (Hoekstra ve ark., 2011).

SAI muhasebesi, tüketici ürünlerinin arkasında su kullanımını hesaplamak için kullanılan bir araçtır. Bir başka ifadeyle su tüketiminin ve kirliliğin hacimsel bir ölçüsüdür. Tedarik zincirleri boyunca su kullanımını, nehir havzalarında su kullanımının sürdürülebilirliğini, su kullanımının verimliliğini, su dağılımının adaletini ve dış su kaynaklarına bağımlılığı veya tedarik zincirindeki suya bağımlılığı değerlendirmek için kullanılmaktadır (Hoekstra, 2016). SAI konsepti ile su kullanımının sürdürülebilirliği, bir alandaki su kaynakları ile o alandaki maksimum sürdürülebilir su kaynakları karşılaştırılarak değerlendirilebilmektedir. Aynı şekilde su kullanımının verimliliğini de, belirli bir proses veya ürünün SAI ’sini, o proses veya ürün için uygulanan MET sonrası hesaplanacak SAI kıyaslaması ile değerlendirmek mümkündür (Mekonnen ve Hoekstra, 2014; Chukalla ve ark., 2015; Hoekstra, 2016). SAI tek bir ürün, bir dizi ürünün üreticisi, bir tüketici, bir tüketici grubu düzeyinde veya coğrafi olarak belirlenmiş bir bölge için uygulanabilmektedir (Gerbens-Leenes ve ark., 2013). Bir başka ifadeyle proses ve/veya ürün özelinde SAI hesaplanmasından insanlığın SAI hesaplanmasına kadar geniş bir çalışma alanı bulunmaktadır. Dolayısıyla çalışma kapsamına bağlı olarak, SAI **metreküp** cinsinden **üretimin tonu başına**, **ekim arazisinin hektarı başına**, **para birimi başına** ve diğer işlevsel birimlerle ölçülebilmektedir (Hoekstra ve Mekonnen, 2012).

YDD Yaklaşımı

YDD, önceleri kamu ve özel kuruluşlardaki politika yapıcılar tarafından, tedarik zincirleri boyunca ürünlerin çevresel etkilerini tahmin etmek için uygun bir araç olarak kabul edilmiştir. Bu aracın kullanıcılar ve ilgilileri arasında artan kabulü, 1998'de YDD uygulaması için standartlar yayınlayan ve bunları 2006'da güncelleyen ISO tarafından da pekiştirilmiştir (ISO 14040, ISO 14044) (Brandão ve ark., 2017). YDD çalışmalarının amacı, bir ürünün beşikten mezara kadar yaşam döngüsüne atfedilebilen farklı potansiyel çevresel etki türlerini tahmin etmektir (Hellweg ve Mila i Canals, 2014). Ayrıca alternatif malzemeler veya tasarımlar kullanıldığında, alternatif süreçlerin veya ürünlerin potansiyel çevresel etkilerinin karşılaştırmalı bir analizine olanak tanımaktadır (örneğin bir kg metan, küresel ısınma üzerinde bir kg karbondioksitten çok daha fazla etkiye sahiptir) (Rebitzer ve ark., 2004; Hoekstra, 2016). Bütünsel yaklaşımla, bir ürünün çevresel verimliliğini birden fazla etki kategorisini kullanarak daha geniş çerçevede hesaplamaktadır. Doğru metodoloji ve şeffaf veriler ile hesaplanan YDD sonuçları, ürün veya sistemlerin çevresel verimliliğinin nicel değerlendirmesini titiz bir şekilde gerçekleştirmekte ve güçlü kanıtlar oluşturmaktadır. YDD, tedarik zincirleri boyunca ürün sistemlerinin nispeten yüksek çevresel etki noktalarını analiz ederek endüstrinin ürün yaşam döngüsü içindeki çevresel ve ekonomik zayıflıkları tanımasına ve ayrıca hedeflenen azaltma stratejilerinin etkilerini değerlendirmesine olanak tanımaktadır (Bishop, ve ark. 2021). YDD, dört ana aşamadan oluşmaktadır (Şekil 1.8):

- 1) Sistem tanımını ve seçilen yöntemleri içeren “Hedef ve Kapsam Belirleme”,
- 2) Ürün sisteminde su kullanımı gibi tüm çevresel değişimleri hesaba katan “Envanter Analizi (EA)”,
- 3) EA sonuçlarının çevre üzerindeki potansiyel etkilerini değerlendiren “Etki Değerlendirmesi (ED)”,
- 4) Yorumlama.



Şekil 1.8. ISO 14040'a Göre YDD Çerçevesi

EA ve ED sonuçlarının yorumlanması hedef ve kapsam tanımında, envanter sonuçlarında ve etki değerlendirmesinde değişikliklere yol açabilmektedir. YDD'de genellikle iki ED bulunduğu belirtilmiştir:

- 1) Neden-sonuç zincirinin ortasındaki potansiyel bir etkiyi (örn. su kıtlığı) tanımlayan “orta nokta ölçümleri”
- 2) Neden-sonuç zincirinin sonunda meydana gelen (örn, su tüketiminden kaynaklanan sağlık veya ekosistem zararları) bir hasarı belirten “son nokta ölçümleri”

İkinci değerlendirme daha fazla parametre ve model belirsizliği içermesine rağmen daha somut sonuçlar ortaya koyarak su tüketimi, su kirliliği veya sera gazı emisyonları gibi farklı çevresel problemleri karşılaştırmaya ve bunları toplamaya olanak sağlamaktadır (Pfister ve ark., 2017).

YDD ilkelerini temel alan ISO SAİ (ISO 14046) ise, aynı unsurları ve ilkeleri içerir, ancak su mevcudiyetine ve su kirliliğine odaklanır. Bir SAİ'nin ölçülmesi ve raporlanması için ilkeler, gereksinimler ve kılavuzlar ISO 14046'da verilmiştir. ISO 14046'ya göre SAİ değerlendirmesi, yalnızca suyla ilgili etkilerin değerlendirildiği bağımsız bir değerlendirme olarak yapılabilir. Ayrıca, değerlendirmenin amacına ve kapsamına bağlı olarak çeşitli modelleme seçenekleri ve yaklaşımları sunmaktadır (ISO 14046, 2014).

1.4. Temiz Üretim Kavramı

Dünya'nın sistemini, birbirleriyle uyum içinde çalışan dört küre oluşturmaktadır: canlılar (biyosfer), atmosfer (hava), kara (litosfer) ve su (hidrosfer). Tüm bunları içine alan çevre kavramı;

insanlar, bitkiler, hayvanlar, mikroorganizmalar gibi canlı varlıkların yaşadığı ve göl, deniz, dağ gibi cansız varlıklarla etkileşim içinde olduğu ortam olarak tanımlanmaktadır. Son yüz yılda artan dünya nüfusu ve hızla gelişen sanayileşme, doğal kaynaklara olan talebi ciddi oranda artırmış, tüketim alışkanlıklarını değiştirerek çevre kirliliği sorununun ortaya çıkmasına neden olmuştur. Çevre, inorganik iyonlar, organik kirleticiler, organometalik bileşikler, radyoaktif izotoplar, gaz kirleticiler ve nanopartiküller gibi çeşitli kirleticiler tarafından ciddi şekilde kirlenmiştir (Briffa ve ark., 2020). Günümüzde küresel bir sorun haline dönüşen bu çevre kirliliği ve doğal kaynaklar üzerindeki baskı, karar vericileri yalnızca kendi ülkelerinde değil, uluslararası alanda da harekete geçmeye teşvik etmektedir.

Çevresel değerlerin ve ekolojik dengenin tahribini, bozulmasını ve yok olmasını önlemeye, mevcut bozulmaları gidermeye, çevreyi iyileştirmeye ve geliştirmeye yönelik küresel girişimler ciddi olarak seksenli yıllarda başlamıştır. 1970'lerin ve 1980'lerin boru sonu teknolojileri ile gerçekleştirdiği kirlilik kontrol yaklaşımlarının, atıkları veya kirleticileri bir çevresel ortamdan diğerine kaydırması ve göründüklerinden daha az etkili olduğu anlaşılmıştır. Seksenlerin ortalarında hükümetler ve çevreciler tarafından ortaklaşa geliştirilen daha esnek yeni yaklaşımlar oluşturularak, atıkların geri dönüşümü ve enerji geri kazanımı gibi iki yeni yöntem yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. On yılın sonunda, kaynak koruma, risk azaltma ve kirliliği önleme gibi sağduyulu kavramlar hem hükümetler hem de endüstri tarafından geniş çapta kabul görmüştür (UNIDO, 2002). Bu kapsamda 1989'da UNEP, bütünsel ve önleyici bir stratejinin süreçlere, ürünlere ve hizmetlere entegrasyonu aracılığıyla sürekli olarak çevresel, ekonomik ve operasyonel performansların iyileştirilmesine yönelik yapılan çalışmalar olarak tanımlanan "TÜ" terimini türetmiş ve kavramsallaştırmıştır (UNEP, 2015; Alkaya ve Demirer, 2014; de Oliveira Neto ve ark., 2019; da Silva ve ark., 2021). TÜ kavramı, üretimde kullanılan tüm kaynakların ele alınarak daha az kaynak tüketimi ile daha verimli üretim tekniklerinin araştırılmasını ve uygulanmasını hedefleyen bir yaklaşımdır. TÜ ile ilgili uygulamalar genel organizasyonel performansa katkıda bulunarak çevreye ve insanlara yönelik riskleri azaltmak için gerekli olan çevre stratejisini ortaya koymaktadır. Böylelikle üretim kapasitesini ve esnekliği artırmaya, sağlık ve güvenliği iyileştirmeye yardımcı olarak çevresel sürdürülebilirliği sağlamaktadır (Jansson, 2022; de Melo Duarte Borges ve ark., 2024).

TÜ yaklaşımı özellikle 1990'lı yılların başında önem kazanmaya başlamıştır (Kumar ve ark., 2024). UNEP'in Teknoloji, Sanayi ve Çevre Bölümü (DTIE), basitçe 'temiz teknolojiye' odaklanmak yerine, etkin yönetim ve organizasyonun önemini ve performansta sürekli iyileştirme ihtiyacını vurgulayarak TÜ faaliyetlerinin dünya çapında yaygınlaşmasını sağlamıştır. Gelişmekte olan ve ekonomisi geçiş döneminde bulunan ülkelerin sanayileşmesine katkı sağlamak amacıyla kurulan BM Sınai Kalkınma Örgütü (United Nations Industrial Development Organization-UNIDO) ve UNEP dünya çapında Ulusal Temiz Üretim Merkezi (UTÜM) Programını 1994 yılında başlatmıştır (UNIDO, 2002). Temiz Üretim Merkezi (TÜM)/UTÜM, kendi ülkelerinde TÜ konusunda önemli

bir uzmanlık ve tavsiye kaynağı haline gelmiştir (UNEP/UNIDO, 2017). Ülkemizde de ilk kez 1999 yılında ortaya çıkan UTÜM kurulması fikri 06/04/2013 tarihinde TÜBİTAK Bilim Kurulu tarafından alınan karar gereği hayata geçirilmiştir. Bu tarihten itibaren TÜBİTAK-MAM Çevre Enstitüsü, “Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü” olarak yeniden yapılanmış ve sanayide TÜ çalışmalarının uygulanmasını sağlamak amacıyla UTÜM işlevini üstlenmiştir. 2013 yılından itibaren bu görevini yürütmektedir (Anonim 7).

Bugüne kadar TÜ çalışmalarına referans olan çeşitli akademik ve uygulayıcı TÜ metodolojileri sunulmuştur. Silva ve ark. (2013) tarafından bu metodolojilerin bazıları detaylı bir şekilde incelenerek karşılaştırması yapılmış, ayrıca yeni bir yaklaşım da getirilmiştir (Çizelge 1.4).

Çizelge 1.4. Bazı temiz üretim uygulama metodolojileri (Silva ve ark., 2013’den uyarlanmıştır)

Kaynak	Açıklama
Shen (1995)	Temiz üretimin çeşitli yönleriyle ilgili kitap
Case ve ark. (1995)	Kirlilik önleme programının geliştirilmesi ve sürdürülmesi hakkında kitap bölümü
UNEP DTIE (1996)	UNEP’in temiz üretim programı yönergeleri
USEPA (1998)	Kirlilik Önleme ve Temiz Üretim İlkeleri: Uluslararası Bir Eğitim Kursu (Katılımcı El Kitabı)
Pojasek (2002)	Kirlilik önleme ve kalite yönetimi üzerine akademik makale
CETESB (2002)	Brezilya çevre sanitasyon teknolojisi şirketi, Sao Paulo eyaleti kirliliği önleme programı yönergeleri
CEBSDS (2003)	Brezilya sürdürülebilir kalkınma iş konseyi, temiz üretim programı için yönergeler
Stone (2000)	Temiz üretim programlarının sınırlarını değerlendiren ve sunan akademik makale
Khan (2008)	Temiz üretim programının geliştirilmesine ilişkin akademik makale
Çevre Kanada (2009)	Bir kirlilik önleme programının geliştirilmesi ve sürdürülmesine ilişkin Kanada Çevre Ajansı çevrimiçi el kitabı
Silva ve ark. (2013)	Temiz Üretim programlarına uygulanan kalite araçları hakkında yeni bir metodolojiye yönelik bir yaklaşım üzerine akademik makale
UNEP/UNIDO (2017)	Kaynakların verimsiz kullanımını ve üretim sonucu ortaya çıkan atıkların yönetim alanlarını belirlememize olanak tanıyan Temiz Üretim Değerlendirmesi (TÜD) yaklaşımı, TÜ seçeneklerinin tanımlanmasını ve değerlendirilmesini sağlayan sistematik bir prosedür.

TÜ, bir işletmenin işleyişiyle ilgili yönleri analiz ederek hem ekonomik hem de çevresel performansta iyileştirme fırsatlarını belirlemektedir. Bu anlamda TÜ, işletmelerin çevresel sürdürülebilirlik kavramını uygulamada görselleştirmelerine ve çevresel maliyetleri düşürmenin yanı sıra daha azla daha çok üretmenin mümkün olduğuna inanmalarına olanak sağlamaktadır (Vieira ve Amaral, 2016). Ayrıca işletmelerin büyüklüğü ne olursa olsun TÜ ekonomik ve çevresel faktörlerin yanında ürün kalitesini artırarak, işçi sağlığı ve güvenliği konusunda da koruyucu önlemler alınmasını teşvik etmektedir (da Silva ve ark., 2021). TÜ, madencilik faaliyetleri (Xie ve ark., 2020), tarım (Rahman ve ark., 2021), endüstriyel faaliyetler (Mardiana ve ark., 2020; da Silva ve ark., 2021; Martin ve ark., 2021; Ding ve Zhang, 2021), inşaat sektörü (Kumar ve ark., 2021a) gibi birçok alanda

uygulanmaktadır. T  U ile de hammadde, enerji, su gibi girdilerin miktar ve etkisinin azaltılmasında olumlu sonuçlar elde edilmektedir.

1996 yılında Avrupa Komisyonu tarafından IPPC Direktifi (IPPC 96/61/EC) yayımlanmıştır. Direktif, çevrenin bir bütün olarak korunmasına yönelik MET uygulamalarına dayanmaktadır. Endüstriyel sektörlerde temiz üretim uygulanmasını kolaylaştırmak ve yaygınlaştırmak amacıyla IPPC Bürosu tarafından sektörel MET-REF belgeleri de yayınlanmıştır. 2010 yılında IPPC, diğer altı direktifle birleştirilerek “Endüstriyel Emisyon Direktifi (EED)” (IED-2010/75/EU) adını almıştır. EED’ler Avrupa Komisyonu tarafından dinamik belgeler olarak kabul edilmekte ve gelişen teknoloji ve tekniklere göre periyodik olarak revize edilmektedir (Yaman ve ark., 2024).

EDD’de tanımlanan MET’ler, emisyon sınır değerleri ve izin koşullarını sağlarken, özünde çevrenin korunması ve emisyonların ve çevresel etkilerin azaltılması için en etkili teknikler olarak belirtilmiştir. MET’lerin, yalnızca bir işletme içerisinde kullanılan teknolojiyi ifade etmediği, bunun yanı sıra işletmenin tasarlanma, kurulma, işletme ve bakım şekline de atıfta bulunduğunun altının çizilmesi gerekmektedir. Bazı MET’ler, sa duyudan kaynaklanan basit sonuçlar olup herhangi bir yatırım gerektirmemektedir. Uygulamada, verilen bir tekniğin MET olarak değerlendirilmesi için, gözönünde bulundurulması gereken kriterler şunlardır (Anonim 8):

- Eğer söz konusu teknik herhangi bir MET-REF’te MET olarak anılıyorsa o zaman MET’tir.
- Eğer söz konusu teknik herhangi MET-Ref’te MET olarak anılmıyorsa, söz konusu teknik Türkiye Entegre  evre İzni Yönetmeliğinin Ek III listesinde yer alan kriterler göz önünde bulundurulurken MET olup olmadığına bakılmalıdır. Bu kriterler şunlardır:
 - ✓ Düşük atık oluşumuna neden olan teknolojilerin kullanımı;
 - ✓ Daha az tehlikeli maddelerin kullanımı;
 - ✓ Proseste kullanılan ve üretilen maddelerin ve uygun olduğu durumlarda atık maddelerin geri kazanımını ve geri dönüşümünün geliştirilmesi;
 - ✓ Endüstriyel ölçekte başarıyla denenmiş benzer proses, tesis veya işletme yöntemleri;
 - ✓ Bilimsel bilgi ve anlayı taki teknolojik ilerleme ve değişiklikler;
 - ✓ İlgili emisyonların doğası, etkileri ve hacmi;
 - ✓ Yeni kurulacak veya mevcut tesislerin faaliyete geçme tarihleri;
 - ✓ MET’in uygulamaya konulması için gerekli süre
 - ✓ Proseste kullanılan hammaddelerin (su dâhil) niteliği, tüketimi ile enerji verimliliği;
 - ✓ Emisyonların  evre üzerindeki genel etkisini ve riskleri  nleme veya en aza indirme gerekliliği;
 - ✓ Kazaları  nleme ve  evre açısından yaratacağı sonuçları minimuma indirme gerekliliği;
 - ✓ Uluslararası kamu kuruluşları tarafından yayınlanmış bilgiler.

2007'den beri sürdürülebilir bir topluma istenen geçişi desteklemek amacıyla 2 yılda bir TÜ'ye dayalı teknolojiler, kavramlar ve politikalar hakkında bilgi ve araştırma sonuçlarının alışverişi için çok disiplinli/disiplinler arası bir forum olarak “Uluslararası Temiz Üretimde İlerlemeler Çalıştayları” düzenlenmektedir. Her çalıştayın teması ve yapıldığı ülke farklı olmakta birlikte akademisyenlerin konuyla ilgili çalışmalarını sunduğu, alan veya sektörlerle ilgili gelişmelerin paylaşıldığı geniş çaplı bir oluşum halinde sürdürülmektedir. Son olarak 23-24 Kasım 2023’de 12.’si düzenlenen çalıştayın teması "Kaynak eşitliğini teşvik etmek için ileriye dönük yollar: Moderatör olarak temiz üretim ve döngüsel ekonominin rolü. "Gezegeni kurtarmak için eylem mi, tepki mi?" olarak belirlenmiştir. Çalıştayda öne çıkan çalışmalar alanında öncü olan dergilerden Journal of Cleaner Production’ın özel sayılarında yayımlanmaktadır (Anonymous 2).

Tekstil endüstrisinde TÜU’lar su, enerji ve malzeme tüketimini azaltarak maliyetlerin düşmesini sağlar (Öztürk ve ark., 2016). Ayrıca küresel sürdürülebilirlik temelinde oluşturulan Yeşil Mutabakat, Çevre Etiketleri gibi ulusal ve uluslararası yasal düzenlemeler bazı ekonomik yaptırımların önümüzdeki yıllarda uygulamaya konulacağını bildirmektedir. Bu kapsamda IPPC (IPPC-2008/1/EC), Tekstil Sektöründe Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol Tebliği gibi referans belgeler ışığında uygulanacak yeni teknolojiler ve bununla ilgili tasarlanmış iş modelleri yatırımcılara ve kullanıcılara su, enerji ve malzeme tüketimi konularında çözümler sunmaktadır. Bu çözümlerin ve geliştirilmiş türevlerinin uygulanmasıyla sektörün karşılaşacağı ekonomik yaptırımlar hafifletilmiş olacaktır. Bu sayede şirket ekonomik performansını iyileştirerek küresel pazarda rekabetçi konumu artırılmış olacaktır (Alkaya ve Demirer, 2014).

Türkiye'nin devam eden AB'ye katılım süreci doğrultusunda mevcut yasal altyapının AB standartlarına uyum çalışmaları kapsamında IPPC direktifinin uyumlaştırılması için 2011 yılında ÇŞİB “Tekstil Sektöründe Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol Tebliği”ni yayınlamış ve haşılama, yıkama, haşıl sökme, merserizasyon, ağartma, boyama-baskı, apre ve diğer terbiye işlemlerinin gerçekleştirildiği, kurulu kapasitesi 10 ton/gün’ün üzerinde olan tekstil tesislerini bu Tebliğ’in hükümlerinden sorumlu tutmuştur (Öztürk ve ark., 2016). Bu tebliğin amacı “*Tekstil sektörü faaliyetlerinin çevreye olabilecek olumsuz etkilerinin en aza indirilmesine, çevreyle uyumlu yönetiminin sağlanması için üretim sırasında suya, havaya ve toprağa verilecek her türlü emisyon, deşarj ve atıkların kontrolü ile hammadde ve enerjinin etkin kullanımına ve TÜ teknolojilerinin kullanımına ilişkin usul ve esasları düzenlemektir.*” şeklinde verilmiştir (Türk BREF, 2011). ÇŞİB, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından 30.12.2022 tarihinde yayınlanan “Tekstil Sektöründe Temiz Üretim Uygulamaları Genelgesi” ile de “enerji tüketimi ve hava emisyonlarının azaltılması” ve “su tüketiminin ve atıksudaki kirletici yükünün azaltılması” konularında uygulanması zorunlu olan teknikler sektöre tebliğ edilmiştir (Anonim 9). Genelge’de yer alan “su tüketiminin ve atıksudaki kirletici yükünün azaltılması” başlığı altındaki maddeler aşağıda verilmiştir.

1. Boyama yapan tekstil işletmelerinde boya banyo atıksularında renk giderimi yapılarak tuzlu suyun kumaş boyama ve yıkamada yeniden kullanılmasını sağlayan tekniklerin kullanılması,
2. Su yumuşatma sistemlerinde kullanılan rejenerant (tuzlu su) çözeltisinin içerdiği iyonların uygun bir teknoloji ile uzaklaştırılarak elde edilen tuzlu suyun yeniden rejenerasyonun işleminde veya uygun olan proseslerde kullanılması,
3. Su yumuşatma sistemlerinde, çıkış suyunun (yumuşatılmış su) ve rejenerasyon sonrası yıkama suyunun sertlik düzeyinin, sertlik sensörleri ile izlenmesi ve böylelikle durulama sürelerinin ve rejenerasyon frekanslarının optimize edilmesi, gerekenden daha kaliteli su kullanımının engellenmesi,
4. İşletmede tüketilen su miktarının proses bazında düzenli tekibi, toplam atıksu deşaj debisinin sürekli izlenmesi, bunlara yönelik bir izleme sistemi kurulması ve izleme kayıtlarının tutulması,
5. Su ve enerji tasarrufu sağlamak amacıyla, atıksuların arıtıldıktan sonra mümkün olan alanlarda yeniden kullanımının sağlanması, soğutma sularının ve kirletici yükü düşük olan atıksuların mümkün olduğunca ayrı toplanması ve yeniden kullanılması,
6. Sürekli çalışan makinelerde su debisi kontrol cihazları ve otomatik kapatma vanaları kullanılması,
7. Kimyasalların ayrı hatlarla on-line olarak dağıtıldığı ve uygulamadan hemen önce karıştırıldığı dağıtım sistemlerinin kullanılması,
8. Merserizasyon yapılan tesislerde, merserizasyon durulama suyundaki kostiğin buharlaştırma, membran filtrasyon vb. yöntemlerle geri kazanılması ya da kostik içeren atıksuların diğer ön işlemlerde tekrar kullanılması,
9. Su kaynaklarının kıt olduğu bölgelerde, OSB içerisinde faaliyet gösteren tesislerin proses suyu ihtiyaçlarının OSB'den temin edilmesi, OSB'ye ait atıksu arıtma tesisi çıkış sularının yeniden kullanımının sağlanması.

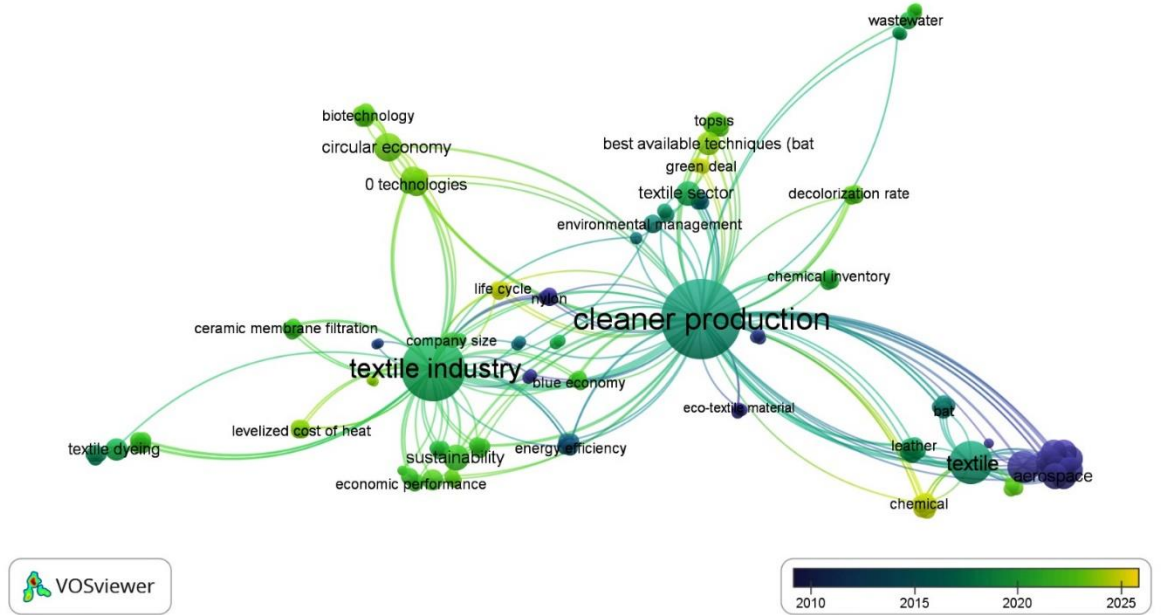
Bahsi geçen genelge firmaların ilgili önlemleri uygulamaya başlamaları için kurulu kapasitesine göre 2026 yılına kadar zaman tanımıştır. Ayrıca genelge kapsamına giren tesislerin İş Termin Planlarını, Genelgenin yayımı tarihinden itibaren 3 ay içerisinde ÇŞİB İl Müdürlüklerine iletmeleri gerektiği belirtilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Temiz Üretim Konusunda Yapılmış Önceki Çalışmalar

TÜÜ çok farklı konularda çeşitli amaçlar ve hedefler için yapılabilmektedir. Aşağıda verilen örneklerden de görüleceği üzere TÜ yaklaşimleri, kaynak kullanımının azaltılmasını, azaltılamadığı durumumlarda atık oluşumunun yeniden kullanım, geri dönüşüm gibi teknik uygulamalarla en aza indirilmesini sağlayacak yöntemlerin belirlenmesi için bir dizi imkanlar sunmaktadır. Böylelikle doğal kaynaklar üzerindeki baskının hafiflemesi, maliyetlerin düşürülmesi, çevrenin korunması ve yeşil ekonomilerin (üretim ve tüketim) oluşması sağlanmaktadır.

Tekstil endüstrisi ve TÜ arasındaki ilişkileri, bu ilişkilerin diğer disiplinlerle nasıl kesiştiğini detaylı bir şekilde sergilemek için Şekil 2.1'deki bibliyografik harita Web of Science (WOS) veritabanı kullanılarak Vosviewer (versiyon 1.6.20) programı ile 2010-2025 yıllarında 136 çalışma dikkate alınarak hazırlanmıştır (Anonymous 3).



Şekil 2.1. Tekstil Endüstrisi ve TÜ'nün Bibliyografik Haritası

Şekil 2.1'de daire büyüklüğü, ilgili konunun diğer konularla olan bağının gücünü ifade etmektedir. Ne kadar çok bağlantı varsa daire çapı o kadar büyümektedir. Tekstil endüstrisi (textile industry) ve TÜ (cleaner production) terimlerinin merkezi konumda yer alması, iki konunun bağının ne kadar güçlü olduğunu ifade etmektedir. Görüldüğü gibi sektörde çevresel sürdürülebilirliği artırmak için TÜ stratejilerinin uygulanması oldukça önemlidir. Grafik, çevresel yönetim (environmental management), döngüsel ekonomi (circular economy), sürdürülebilirlik (sustainability) ve teknolojinin (technologies) tekstil endüstrisiyle nasıl entegre olduğunu ve bu

entegrasyonun çevre dostu uygulamaların benimsenmesini nasıl desteklediğini açıkça ortaya koymaktadır. MET'ler ve çevresel yönetim stratejileri, TÜ ile birlikte tekstil endüstrisinin hem yaptırımlara uyum sağlamasında hem de çevresel performansını sürekli iyileştirmesine katkı sunmaktadır. Atıksu (wastewater) yönetimi ve kimyasal envanter (chemical inventory) gibi konuların TÜ ile doğrudan ilişkili olduğu açıkça görülmektedir. Ayrıca, ekonomik performans (economic performance) ve Yeşil Mutabakat (green deal) kavramlarının varlığı, TÜ uygulamalarının sadece çevresel değil, aynı zamanda ekonomik sürdürülebilirlik açısından da önemli avantajlar sunduğuna işaret etmektedir. Grafikteki sarı tonlar incelendiğinde tekstil endüstrisi ve TÜ ile ilgili çalışmaların son yıllarda ağırlıklı olarak kimyasal maddeler (chemical), YDD, Yeşil Mutabakat gibi spesifik alanlara kaydığı görülmektedir. Bu bibliografik harita ile TÜ ve tekstil endüstrisi ana başlıklarının oldukça kapsamlı ve iç içe geçmiş konular ile bağı ortaya konulmuştur. TÜ ile ilgili literatür taramasında karşılaşılan bazı çalışmalara ait sonuçlar ve detaylar hem çeşitli konular olarak hem de tekstil sektörü özelinde bu başlık altında verilmiştir.

2.1.1. Çeşitli Konularda Temiz Üretim Uygulamaları

Germirli Babuna ve ark. (2023) YDD'nin, endüstriyel faaliyet kaynaklı istenmeyen çevresel etkilerin azaltılması, TÜ yönünde doğru adımların atılması için kullanılacak objektif bir araç olduğunu ifade etmişlerdir. Bazı durumda kullanılan enerji kaynağının değiştirilmesi, bazı durumda ithal edilen girdilerin menşei ülkesinin veya transfer yönteminin değiştirilmesi, çıkan atıkların geri dönüşüme gönderilmesi, geri dönüştürülmüş malzeme kullanımı, çevresel etkilerin azalmasını sağlamaktadır. Yaptıkları çalışmada endüstride TÜ seçeneklerinin saptanmasında YDD kullanımına ait örnekleri sunmuşlardır. Vermiş oldukları örnekler: baskılı devre kartı üretimi, otomotiv endüstrisi yüzey kaplama (kataforez) işlemi, evsel ve endüstriyel su arıtma tesis/sistemleri, rüzgar santralleri tarlası, endüstriyel kimyasal seçimi ve araba paspasları üretimidir. Verilen tüm proses/sektörler için YDD yaklaşımıyla uygulanan TÜ'lerin, çevresel etkileri önemli ölçüde azalttığı sayısal verilerle ortaya konmuştur. Görüldüğü gibi TÜU'lar tüm süreçler için uygulanabilir bir yaklaşım sunmaktadır.

De Oliveria ve ark. (2017) şirketlerin ve şirket paydaşlarının ihtiyaç duyduğu çevresel, ekonomik ve pazar performanslarını en üst düzeye çıkarmak için üretim şekillerinde değişiklik yapma ihtiyaçlarının olduğunu, onları çevre stratejileri geliştirmeye ve ilgili sertifikasyon süreçlerini aramaya yönelttiğini bildirmiştir. Çalışmalarında, ISO 14001 (Çevre Yönetim Sistemi) gerekliliklerine uyum için TÜ katkılarını belirlemek ve analiz etmek amaçlanmıştır. Bunun için Brezilya'daki ISO 14001 sertifikalı sanayi şirketlerinde bir anket araştırması yapmışlardır. Şirketlerin standart gerekliliklerine uyumuna katkıda bulunan TÜ'nün önde gelen uygulamaları ve değişkenleri ile ana performans faktörlerini belirlemişlerdir. Böylece şirketlerin sertifikasyona hazırlanmasında ve çevresel performanslarının iyileştirilmesinde ISO 14001 adımlarını TÜ stratejisiyle birlikte ortaya koymuşlardır.

Dong ve ark. (2018) Çin'de 2005'ten 2015'e kadar Monosodyum Glutamat (MSG) endüstrisinin gelişiminin kapsamlı bir incelemesini yapmışlardır. MSG, Çin mutfağında sıklıkla kullanılmaktadır ve dünya çapında kullanılan MSG'nin yaklaşık %80'ini Çin üretmektedir. MSG endüstrisi, atık su deşarjları nedeniyle uzun süredir yöneticilerin ve halkın ilgisini çekmektedir. Çalışma sonuçları verilen tarih aralığında, MSG üretiminde TÜU'nun enerji, hammadde ve su tüketimini önemli ölçüde azalttığını ortaya koymuştur. Ayrıca bulgular, MSG endüstrisi tarafından kirliliğin önlenmesi için Çin hükümeti tarafından belirlenen MET'lerin uygulanmasının bu gelişmelerde önemli bir rol oynadığını göstermiştir. Enerji ve kaynak tüketimi ile kirlilik oluşuma ilişkin göstergeler de gözden geçirilmiş ve bunların TÜ potansiyeli açıklanmıştır. MSG sektöründe TÜ'yü teşvik eden mekanizmaları dış (hükümet ve toplum) ve iç faktörler (işletme içi farkındalık, AR-GE faaliyetleri, yönetim onayı) olarak sınıflandırmışlardır. Destekleyici politikayla birleştirilen dış zorunlu mekanizmaların TÜ'nün teşviki üzerinde büyük etkisi olduğunu bildirmişlerdir. Dış etkenlerin yönlendirdiği iç mekanizmalar, MSG endüstrisinin TÜ'de büyük ilerleme kaydetmesine yardımcı olmuştur.

Zhang ve ark. (2019a) Çin hükümetinin tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan ve noktasal olmayan kaynak kirliliğini önlemek ve tarımsal sürdürülebilirliği sağlamak için teşvik ettiği "tarımsal üretimde TÜ tekniklerinin" çiftçiler tarafından ne kadarının kabul edildiğini ve benimsendiğini araştırmışlardır. En yaygın uygulanan teknikler çeşitli çalışmalardan derlenerek şöyle sıralanmıştır: toprak testi sonuçlarına göre formüle edilmiş gübreleme; hastalık ve zararlıların entegre yönetimi; tasarruflu sulama teknikleri ve kolaylaştırılmış tarım teknikleri. Araştırma sonuçları, TÜ tekniklerinin çiftçiler üzerinde olumlu etkileri olduğunu ve toprak testi yoluyla formüle edilmiş gübrelemenin yerel çiftçilerin çoğunluğu tarafından benimsendiğini ortaya koymuştur. Ancak çoğu çiftçinin geleneksel tarımın neden olduğu çevre kirliliği konusunda bir miktar farkındalığı olmasına rağmen, tüm TÜ tekniklerini benimseme davranışlarının yetersiz kaldığını dolayısıyla kısa vadede hükümetin çiftçilere kirliliği kontrol etmek için teşvikler sağlaması gerektiği ifade edilmiştir. Uzun vadede ise hükümetin hem mahsul verimini hem de hane gelirini artırma olasılığını sunabilecek daha düşük maliyetli, alternatif TÜ tekniklerini geliştirmeye öncelik vermesi önerilmiştir.

Chen ve ark. (2023a) yaptıkları çalışmada, Çin'deki imalat firmalarının çevresel verimliliği üzerindeki TÜ denetimlerinin etkilerini araştırmışlardır. Toplam üretim miktarı başına SO₂ emisyonlarını ve KOİ verilerini karşılaştırma kriteri olarak kullanmışlardır. Bulgular, TÜ denetimleri yapan firmaların (yapmayanlara kıyasla) SO₂ ve KOİ emisyon yoğunluklarında sırasıyla %4,7 ve %11,9 azalmalar yaşadığını göstermiştir. TÜ denetimi uygulaması, firmaların çevresel verimliliğini önemli ölçüde artırmıştır. Bununla birlikte kirlilik yükü ağır olmayan firmaların, küçük ve orta ölçekli firmaların ve özel sermayeli firmaların çevresel verimlilikte en fazla iyileşmeyi gösterdiğini bildirmişlerdir. Çevresel verimliliği iyileştirmenin, kaynak tüketimini ve kirlletici emisyonlarını azaltmanın uygulanabilir ve uygun maliyetli yolu olarak üretim sürecindeki teknolojik yenilemelerin

gerekliliğini ifade etmişlerdir. Farklı ülkelerdeki üretim sürecinde bulunan teknolojik yenilemeye odaklanarak daha temiz bir üretim denetim planının formüle edilmesini önermişlerdir. Uygulamaların, firmaları teknolojik yenilik yapmaya özendirmesi için net teşvikler içermesi gerektiği, böylelikle firmaların çevresel verimliliğini sürekli olarak iyileştireceği vurgulanmıştır. Yapılan çalışma TÜÜ'ların çevresel önemini karşılaştırmalı olarak ortaya koymaktadır.

2.1.2. Tekstil/Denim Sektörü Özelinde Temiz Üretim Uygulamaları

Tekstil endüstrisinde TÜ'nün teşvik edilmesi amacıyla Temmuz 1997'de Tübitak Marmara Araştırma Merkezi (TÜBİTAK-MAM) yetkili kurum olarak belirlenerek bir proje başlatılmıştır. Projenin süresi iki yıl, toplam maliyeti 2,6 milyon \$ tutarındadır. Kurumsal bir eğitim merkezi olarak MAM'a destek olması için Danimarka Teknoloji Enstitüsü (DTE) danışman olarak seçilmiştir. Bu merkez, eğitim faaliyetlerinin yürütülmesi, projeler ve gerçekleştirilecek denetimlerde işbirliği yapılması ve TÜBİTAK-MAM'ın tekstil endüstrisinde TÜU'yu başlatması için gerekli olan temel mekanizmalar ve hizmetlere yönelik idari desteği sağlaması ile görevlendirilmiştir. TÜ kavramının tanıtılması ve temiz teknolojinin uygulanacağı örnek tesislere yatırım yapma konusunda girişimcilerin ikna edilebilmesi için, bu tesislerin ekonomik ve teknik uygulanabilirliğinin araştırılması gerekmektedir. Bu amaçla belli sayıda örnek tesisin projeye dahil edilmesi planlanmıştır. 6 adet tekstil şirketi belirlenerek tesislerinde TÜU'nun değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Her bir şirketten 2 tekstil uzmanı ve TÜBİTAK-MAM'dan 12 uzman (çevre ve tekstil alanlarından toplam 24 uzman), projeye atanmıştır. TÜ denetçileri olarak eğitim almışlar ve konuyla ilgili eğitim vermekle görevlendirilmişlerdir. Aynı zamanda MAM'da bir Temiz Üretim Bilgi Merkezi'nin (TÜBM) kurulması da planlanmıştır. Bu projenin nihai hedefi bir UTÜM kurulması ve temel amacı bu merkezin ülkede TÜ konusundaki girişimleri düzenlemesidir (Anonim 10).

Türkiye UTÜM tarafından 2018 yılında "İmalat Sanayii Alt Sektörlerinde Sektörel Kaynak Verimliliği Rehberlerinin Hazırlanması" projesi kapsamında tekstil ürünlerinin üretiminde bitim aşamalarının verimliliğin artırılması konusunda bir rehber yayımlanmıştır. Yayımlanan rehberde tekstil sektörünün bir alt sektörü olan bitim işlemlerinde (boyama, apreleme, son işlemler vb.) çok farklı tipte kimyasalların, yüksek miktarlarda suyun ve ısı işlemler için enerjinin kullanıldığı bildirilmiştir. Aynı kurum tarafından Eylül 2017 tarihinde hazırlanan "Sanayide Kaynak Verimliliği Potansiyelinin Belirlenmesi Projesi" sonuç raporunda, saha çalışmaları ve literatürden derlenen verilere göre sektörde %15-79 aralığında su tasarruf potansiyeli, %15-40 arasında enerji tasarrufu potansiyeli, atıksu miktarında %23-72 oranında azalma potansiyeli, atık gaz emisyonlarında %60'dan fazla azalma potansiyeli ve katı atık miktarında %50 civarında bir azalma potansiyeli olduğu belirtilmiştir (SKVPBP, 2017). Sektörde uygulanan işlemlerin işletme bazında dahi farklılıklar göstermesinden dolayı bu aralıklar oldukça geniş tespit edilmiştir. Yapılan analizlerde de ana sektör içerisinde "tekstil ürünlerinin bitirilmesi" alt sektörünün ham madde alanında yaklaşık

%9, enerjide %17,79 ve suda %32,76 oranında bir tasarruf potansiyeli olduğu tespit edilmiştir (TÜBKVR, 2018).

ÇŞİB ile Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) Rektörlüğü arasında 14.05.2019 tarihinde imzalan protokolle “Belirli Sektörlerde TÜU Projesi” gerçekleştirilmiştir. Bu proje kapsamında, SKKY’de yer alan 7 tekstil alt sektörü ve deri işleme sektörüne ait süreçlerin tanımlamaları yapılmış, AB MET-REF’lerde belirtilen işlemler ve teknikler ile literatürde ve pratikte uygulanmakta olan iyi teknikler belirlenmiştir. Elde edilen bulgularla MET kontrol listeleri hazırlanmıştır. Hedef bilgiye ulaşmak için, sektörel MET kontrol listeleri üzerinden anket formları geliştirilerek toplam 52 işletmeden veri toplanmıştır. Anket formlarında esas itibarıyla, AB MET-REF’lerde yer alan MET’lerin her birinin o tesis açısından önem derecesi sorgulanmış ve ilgili MET’lerin uygulanıp uygulanmadığı, mevcut uygulama/muhtemel uygulama maliyeti ve ne kadar bir süre içerisinde uygulanabileceği sorulmuştur. İlave olarak, tesislerin çevresel performansını değerlendirme amacıyla enerji, su, yakıt tüketimi; atıksu oluşumu; baca gazı emisyonları gibi konularda miktarsal veri de toplanmıştır. Bu veriler spesifik su ve enerji tüketimi gibi birim göstergelere dönüştürülerek, AB referans değerleri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre tekstil sektöründe özellikle büyük firmaların yurtdışı pazarlara ihracat yapıyor olmaları nedeniyle pek çok MET uygulamasının bu işletmelerde zaten mevcut olduğu ve temiz üretim uygulamaları konusunda oldukça önde oldukları görülmüştür. Küçük işletmelerin bir kısmında ise, eski teknoloji makinelerin kullanılıyor olması nedeniye, MET uygulamaları anlamında alınması gereken ciddi önlemler olduğu anlaşılmıştır (BESTÜ, 2020). Burdan elde edilen sonuçlar de Oliveira Neto ve ark. (2022)’nin çalışmasında ele aldıkları konunun geçerliliğini bir kez daha ortaya koymuştur.

de Oliveira Neto ve ark. (2022) yaptıkları çalışmada tekstil endüstrilerinin büyüklüklerine göre döngüsel ekonomi kapsamında TÜU’larda kademeli değişimi araştırmışlardır. Çalışmada elde ettikleri bulguları üç başlıkta değerlendirmişlerdir: 1) Döngüsel ekonomide TÜU, 2) Örgütsel Uygulamalar, 3) Toplumsal Fayda.

Döngüsel ekonomi TÜU değerlendirmesinde;

- Küçük şirketler, atıkları ortadan kaldırarak, daha temiz enerji kojenerasyonunu kullanarak ve kapalı çevrimleri en üst düzeye çıkararak ve döngüsel ekonomiyi benimseyerek fayda sağlayabilirler.
- Orta ölçekli şirketler, çalışanların döngüsel ekonomi konusunda eğitimini/kapasitesini güçlendirerek, atık rejenerasyonunun potansiyelini yeniden değerlendirerek, kumaş atığından yararlanarak, ambalaj atıklarını değerlendirerek ve daha temiz enerji kojenerasyonunu benimseyerek fayda sağlayabilirler.
- Büyük şirketler ise UNEP 2030 SKH’ye ulaşmak için ülkelerindeki çevre mevzuatı tarafından yönlendirilen döngüsel ekonomi eylemlerini uygulayarak fayda sağlayabilirler.

Bu başlık altında sunulan öneriler dikkate alındığında, ekonomik döngüyü elde etmek için stratejik üretimin planlanması ve kontrolün ele alınması, endüstri 4.0 teknolojilerine yatırımlar yapılması ve ürün tasarımına dahil edilmesi önem arz etmektedir.

Örgütsel uygulamalar değerlendirmesinde;

- Küçük şirketler, kredi erişimi olmasa da, ekonomik gerilemeler yaşasa da, karar vericilerin bilgi eksikliği olsa da, ekonomik kazanımlar ve şirketi genişletme düşünceleri nedeniyle ekonomik zorluklarla karşı karşıya kalsa da, ürünleri ve süreçleri döngüsel ekonomi ilkeleriyle tasarlayabilirler.
- Orta ölçekli şirketler yenilikçi teknolojiler edinerek yatırım yapabilir ve modernizasyonu teşvik edebilirler. Böylelikle büyük şirketlerin onlardan istediği sürekli iyileştirmeler sağlanabilir.
- Büyük tekstil endüstrileri, dış pazara ürün ve hizmet tedarikinde stratejik bir özellik olarak üretimde döngüsel ekonomiyi benimseyerek TÜÜ'lerinde kademeli değişiklikler yapabilirler.

Topluma faydalarıyla ilgili değerlendirmesinde;

- Orta ölçekli şirketler, mesleki sağlık ve güvenlikle ilgili bilgiyi çoğaltabilir ve faydalar sağlayabilirler.
- Büyük endüstriler, TÜÜ'larda kademeli değişiklikler yaparak halk sağlığına katkıda bulunurlar. Ayrıca dolaylı istihdam yaratılması, satın alma gücünü artırarak bilgi, beceri, değerler ve sosyo-çevresel farkındalığı teşvik ederek yerel ekonomileri etkilerler.

Üç başlık altında işletme büyüklüğüne göre yapılan bu değerlendirmeler şirket büyüklüğünün TÜÜ'larda benimseneceği odak noktalarının ve eylemlerinin farklı konularda olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla şirket profil ve büyüklüğüne göre beklentilerin, uygulanacak yaklaşımların, taleplerin ve yaptırımların farklı olması gerektiği vurgulanmaktadır.

Zafar ve ark. (2022) sürdürülebilir bir gelecek için benimsenecek TÜ anlayışının işletme kültürü olarak benimsenmesinde yönetici/liderlerin rolünü araştırmışlardır. Çalışmalarında Pakistan/Punjab'da bulunan tekstil endüstrisindeki işletmelerde görev alan yöneticilerin, sürdürülebilir çevre anlayışlarını çalışanlarına ne oranda yansıtabildiklerini incelemişlerdir. Yeşil bir örgüt ikliminin oluşturulmasında ve çalışanların örgütsel kimliğini geliştirmede katalizör olarak liderlerin oynadığı rolü araştırmışlardır. Tekstil endüstrisi çalışanlarından veri toplamak için iki dalgalı bir çalışma yürütülmüştür. 32 tekstil firması 109 yönetici ve 459 çalışandan oluşan örneklemden alınan veriler değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler, çevresel olarak belirli hizmette bulunan liderlerin, çalışanları üzerinde gönüllü çevre dostu davranışlarını tetiklediğini ortaya koymuştur. Bulgular ayrıca, yüksek psikolojik güçlendirme altında yeşil bir örgüt iklimini gönüllü

çevre dostu davranışa bağlayan psikolojik mekanizmayı da aydınlatmaktadır. Dahası, çevresel olarak belirli liderlik anlayışı, örgütsel kimlik aracılığıyla gönüllü çevre dostu davranışların oluşturulmasında pozitif olarak ilişkilendirilmiştir. Yapılan çalışma ve elde edilen sonuçlar TÜ'nün ilk adımı olan planlama ve organizasyon başlığı altındaki yönetimin onayı kısmının ne kadar önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Çünkü yönetimin bu konuya yaklaşımı TÜU'nun benimsenmesini ve hayata geçirilmesini bir şirket kültürü haline getirecektir.

Öztürk ve ark. (2016) pamuk-polyester liflerinin kullanıldığı dokuma-örme ve sonrasında boyama-terbiye işlemlerinin yapıldığı bir tekstil fabrikasında su, atık su ve kimyasal minimizasyon çalışmaları yürütmüşlerdir. IPPC prensiplerine göre üretim prosesleri üzerinde detaylı yerinde incelemeler ve analizler yapmışlardır. Islak proseslerde spesifik tüketimleri kütle denge analizleri ile hesaplamışlardır. Su/atık su örnekleri toplamış ve çeşitli parametreleri analiz etmişlerdir. Spesifik atık su oluşumları ve kirletici yükleri belirlenmiştir. Atıksuyun arıtmalı/arıtımsız yeniden kullanımı, potansiyel kimyasal geri kazanım ve tekrar kullanım seçeneklerini değerlendirmişlerdir. 291 kimyasal malzemenin biyolojik olarak parçalanabilirliği ve toksikolojik etkileri malzeme güvenlik bilgi formları üzerinden araştırılmış ve 74 kimyasalın etkileri daha düşük muadilleriyle değiştirilebileceği bulunmuştur. Daha sonra uygulanabilir MET'leri belirlemek için çok kriterli karar verme yöntemleri kullanmışlardır. İyi yönetim uygulamaları, su ve enerji tüketimi optimizasyon-minimizasyon teknikleri, kimyasal tüketim optimizasyonu ve ikamesi gibi belirlenen 14 MET'in uygulanmasıyla teknik ve çevresel performanslar, potansiyel faydalar ve tasarruflar belirlenmiştir. Önerilen 14 MET'in uygulanması halinde, su tüketiminde %43-51, enerji tüketiminde %11-26, kimyasal madde tüketiminde %16-39, atıksu miktarında %42-52, KOİ'de %26-48, atık baca gazı emisyonunda %12-32 ve katı atık miktarında %8-18 azalma olacağı bildirilmiştir. Önerilen MET'lerin geri ödeme süreleri 1-26 ay olarak tahmin edilmiştir.

Büyükkamacı ve ark. (2023) yaptıkları çalışmada 4.500'ü aşkın çalışanı ve 20 milyon parçanın üzerindeki üretim kapasitesi ile Türkiye'nin en büyük hazır giyim üreticilerinden biri olan bir tekstil fabrikasında ISO 14040 ve 14044 uluslararası standartları baz alınarak YDD yaklaşımıyla TÜ fırsatlarını değerlendirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlarda, hazır giyim sürecinin, pamuk üretimi, kumaş boyama ve örme işlemlerine göre çevresel etkilerinin daha az olduğu bildirilmiştir. Öyle ki iklim değişikliğine en fazla etki %36 ile ana kumaşın örme prosesinden kaynaklanmasına karşın, hazır giyim proseslerinin katkısı %7.2'dir. Hazır giyim sürecinde elektrik ve buhar tüketiminin iklim değişikliğine etkisi sırasıyla %77 ve %17 bulunmuştur. Yine asitleşme potansiyeli etkisi %95 oranında elektrik tüketiminden kaynaklanmaktadır. Yapılan analizler sonucunda, en iyi sonuçlar, tüm uygulamalarda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ile birlikte nakliyede yakıt türü olarak biyodizel kullanılması ile elde edilmiştir. Bu senaryonun uygulanması durumunda mevcut duruma göre küresel ısınma, asitleşme ve abiyotik tükenme kategorilerinde sırasıyla %74.40, %84.32 ve %60.91 oranında çevresel etkilerinin azalacağı belirlenmiştir. Buhar üretiminde doğalgaz yerine biyokütle kullanımında ise yalnızca abiyotik tükenme ve küresel ısınma potansiyeli etki

kategorilerinde azalma meydana gelmiştir. Görüldüğü üzere YDD ile tüm etki kategorilerinde öne çıkan enerji konusunda yapılacak iyileştirmeler TÜÜ'nün odak noktasının belirlenmesini sağlamıştır. Böylelikle TÜ seçenekleri belirlenmiş ve etkileri ortaya konulmuştur.

Paunonen ve ark. (2019) kimyasal olarak geri dönüştürülmüş pamuktan elde edilen selüloz karbamat liflerinin çevresel etkisinin sürdürülebilirliği araştırmış ve elde edilen sonuçları referans pamuk ve viskon lifleriyle karşılaştırmıştır. Beşikten-kapıya konseptinde iki üretim süreci senaryosu için yaşam döngüsü envanteri ve değerlendirmesi yapılmıştır. Kağıt hamuru değirmeni ile entegre edilmiş ve enerji yoğun operasyonlarda su ve kimyasalları geri dönüştüren bir selüloz karbamat fabrikasının karbon ayak izinin Avrupa'daki viskon üretimiyle karşılaştırılabilir olduğunu gösteren sonuçlar elde edilmiştir. Selüloz karbamat elyaf üretimi için, pamuk ve viskon elyaf üretimi için tüketilen sudan sırasıyla %2 ve %25 daha az su tüketildiği hesaplanmıştır. Çalışma ayrıca TÜ yaklaşımıyla, ticari viskon işlemine kıyasla karbon ayak izini ve su kullanımını artırmadan, atılan pamuklu tekstillerin selülozik bir hammadde olarak kullanılabilmesini göstermiştir. Ek olarak, selüloz karbamat teknolojisi kullanılarak, iş sağlığı riskleri ve viskon proses havalandırmalarından kaynaklanan karbon disülfid ve hidrojen sülfür emisyonlarının çevresel yükünün azaltılabileceği/önlenebileceği ifade edilmiştir.

de Oliveira Neto ve ark. (2019) tekstil endüstrisinde TÜ ve UNEP 2030 SKH ilişkisini araştırmıştır. Brezilya'da tekstil sektöründe TÜ uygulamaları kullanımının, SKH'nin gerçekleştirilmesine katkıda bulunacağı, ekonomik avantajlar ve çevre üzerinde olumlu etkiler oluşturabileceği vurgulanmıştır. Çalışmada değerlendirme için, Wuppertal Enstitüsü tarafından geliştirilen MIPS yöntemi kullanılmıştır. Sonuçta, TÜ'nün benimsenmesinden kaynaklanan ekonomik ve çevresel kazanımlar ile kapsayıcı ve sürdürülebilir sanayileşmeyi vurgulayarak, sürdürülebilir üretim kalıplarını ve aynı zamanda mevcut kaynakların sürdürülebilir kullanımını teşvik eden UNEP 2030 SKH'den 9 (Sanayi, Yenilikçilik ve Altyapı), 12 (Sorumlu Üretim ve Tüketim) ve 15 (Karadaki yaşam) nolu başlıklara doğrudan hangi oranda katkıda bulunulduğu gösterilmiştir.

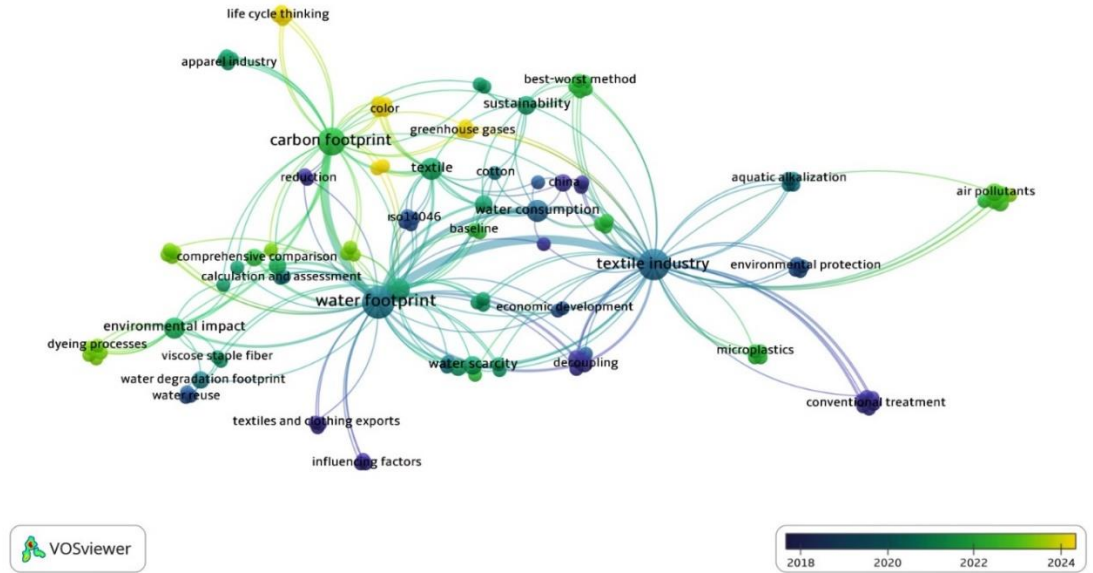
Öztürk ve ark. (2020) bir yünlü tekstil tesisinde enerji verimliliği çalışmaları yaparak tekstil üretim süreçlerinde detaylı TÜ ve enerji verimliliği uygulamaları ile enerji tüketiminin ve hava emisyonlarının kaynağında azaltılabileceğini bildirmiştir. Bu kapsamda, enerji tüketimleri, detaylı yerinde incelemelerle ana üretim ve diğer hazırlık süreçleri bazında analiz edilmiştir. Tesisin üretim süreçlerine göre özgül elektrik, ısı enerjisi ve hava emisyonları hesaplanmıştır. Ayrıca, özgül enerji tüketim değerleri benzer tekstil tesisleriyle karşılaştırılarak enerji tasarrufu potansiyelleri ve fırsatları değerlendirilmiştir. Tesiste enerji tüketimini ve hava emisyonlarını azaltmak için 85 enerji verimliliği tekniğinden oluşan bir liste hazırlanmıştır. Bu teknikler, sistematik bir karar alma modeli kullanılarak tekno-ekonomik uygulanabilirlik, potansiyel tasarruflar ve çevresel faydalar açısından değerlendirilerek önceliklendirilmiştir. Sonuç olarak, enerji verimliliği tekniklerinden proses optimizasyonu, proses bazlı enerji izleme ve kontrol sisteminin kurulması, atık ısının geri kazanımı,

buhar kazanlarının optimizasyonu gibi konularda toplam 13 tane uygulanabilir teknik belirlemişlerdir. Bu tekniklerin uygulanmasıyla elektrik, termal enerji ve hava emisyonlarının sırasıyla %8-27, %12-28 ve %23-45 oranında azaltılabileceği belirtilmiştir. Finansal analize göre, öncelikli enerji verimliliği tekniklerinin geri ödeme sürelerinin genellikle 36 aydan az olduğu bildirilmiştir.

2.2. Su Ayak İzi Konusunda Yapılmış Önceki Çalışmalar

SAİ hesaplamaları çok farklı konularda çeşitli amaçlar ve hedefler için yapılabilmektedir. Aşağıda verilen başlıklarda da görüleceği üzere SAİ metodolojileri proses ve/veya ürün özelinde süreçlerin su kaynakları üzerindeki baskısını hesaplamaya yarayacağı gibi; karar alıcılara, planlamacılara ve yöneticilere bir bakış açısının sunulmasında da etkilidir. Değerlendirme kapsamı, sistem sınırına bağlı olarak seçilecek küçük bir prosesten tüm insanlığın su ayak izinin hesaplanmasına kadar genişleyebilmektedir.

Tekstil endüstrisi ve SAİ arasındaki ilişkileri, bu ilişkilerin diğer disiplinlerle nasıl kesiştiğini detaylı bir şekilde sergilemek için Şekil 2.2'deki bibliyografik harita Web of Science (WOS) veritabanı kullanılarak Vosviewer (versiyon 1.6.20) programı ile 2018-2025 yıllarında 122 çalışma dikkate alınarak hazırlanmıştır (Anonymous 3).



Şekil 2.2. Tekstil Endüstrisi ve SAİ'nin Bibliyografik Haritası

Şekil 2.2'de daire büyüklüğü ilgili konunun diğer konularla olan bağının gücünü ifade etmektedir. SAİ (water footprint) ve tekstil endüstrisi (textile Industry) terimlerinin merkezi konumda yer alması diğer başlıkların bu iki konunun etrafında şekillendiğini göstermektedir. Su kıtlığı (water scarcity) konusunun tekstil ve SAİ konularıyla güçlü bağlar oluşturduğu ortadadır.

Tekstil üretim süreçlerinden boyama süreçlerinin (dyeing processes), suyun yeniden kullanımının (water reuse), SAİ_x kirlilik göstergelerinin (water degradation footprint) çevresel etki (environmental impact) ile doğrudan bağlantılı olduğu görülmektedir. Tekstil sektörü için SAİ hesaplamasında ISO 14046 metodolojisi göze çarpmaktadır. "ISO 14046" standardıyla olan bu ilişki, SAİ analizlerinin uluslararası standartlar doğrultusunda yapıldığına işaret ederek, bu alandaki çalışmaların küresel bir çerçeveye uyumlu stratejiler ile desteklendiğini göstermektedir. Ayrıca, kapsamlı karşılaştırma (comprehensive comparison), hesaplama ve değerlendirme (calculation and assessment) gibi terimlerin SAİ ile olan bağlantıları, SAİ muhasebesi ile elde edilen sonuçların kullanım alanlarını ifade etmektedir. SAİ konusunun karbon ayak izi (carbon footprint) konusuyla güçlü bir ilişkisi olduğu da ortadadır. Su ve karbon ayak izi konularının doğrudan sürdürülebilirlik (sustainability) ile bağlantılı olduğu görülmektedir. Bu bibliografik harita ile SAİ ve tekstil endüstrisi ana başlıklarının oldukça kapsamlı ve iç içe geçmiş konular ile bağı ortaya konulmuştur. SAİ ile ilgili literatür taramasında karşılaşılan bazı çalışmalara ait sonuçlar ve detaylar hem çeşitli konular olarak hem de tekstil sektörü özelinde bu başlık altında verilmiştir.

2.2.1. Çeşitli Konularda Su Ayak İzi Hesaplamaları

Wang ve ark. (2023) iklim değişikliği ve insan faaliyetlerinin, tarımsal sistemlerde ürün verimliliği ve artan su stresi için en büyük tehdit ve zorluklar olarak kabul edildiğini bildirmişlerdir. SAİ'nin, ürün üretimini su döngüsüne yakından bağlayan nicel bir gösterge olduğunu ve tarımda su kullanımının değerlendirilmesinde önemli bir araç olduğunu ifade ederek meta-analiz yöntemleri ile tarımsal üretimin etki faktörlerini (ortalama sıcaklık, yağış, güneşlenme saatleri, bağıl nem, rüzgar hızı, gübre uygulaması, etkili sulama alanı, kişi başına düşen gayrisafi yurt içi hasıla (GSYİH), ürün verimi, tarım makine gücü) SAİ değerlendirmesi ile bölgesel olarak incelemişlerdir. Elde edilen sonuçların korelasyon katsayısı aracılığıyla, farklı bölgelerde SAİ'yi etkileyen ve SAİ'yi azaltan temel faktörler belirlenmiştir. Bu çalışmadaki SAİ değerlendirmesi, ilgili faktörlerin su tüketimi ve su kirliliği üzerindeki etkisini ortaya koyarak aynı ürün için daha düşük SAİ değerlerine sahip bölgelerin belirlenmesine olanak tanımaktadır. Bulgular dünya çapında tarımda su kullanımının bilimsel yönetimi için yeni bakış açıları sağlamaktadır.

Ewaid ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada, Irak'ın 15 ilinde 2016 ve 2017 yıllarında yetiştirilen buğdayların SAİ_{yeşil} ve SAİ_{mavi}'lerini SAİ Ağı (Mekonnen ve Hoekstra (2011)) hesaplama yöntemini, CROPWAT (BM Gıda ve Tarım Örgütü tarafından geliştirilen sulama suyu gereksinimlerini hesaplayan bir karar destek programı) ve CLIMWAT (çeşitli tarım ürünlerine ait su gereksinimlerinin, sulama temininin ve sulama planlamasının hesaplanmasına olanak tanıyan bir veritabanı) yazılımlarının mahsul suyu ihtiyacı seçeneğini kullanarak tahmin etmişlerdir. Hesaplanan SAİ ortalaması (1876 m³/ton) 15 ilde üretilen buğdaylar için farklılık göstermiştir. En yüksek SAİ'ye sahip buğdayı Nineveh (5477 m³/ton) ilinde bularak onu takip eden illerin sırasıyla Anbar (4787 m³/ton), Muthanna (4323 m³/ton) ve Basra (3380 m³/ton) olduğunu belirtmişlerdir. SAİ'nin en düşük

olduğu il 1076 m³/ton'la Kirkuk bulunmuştur. Az üretim miktarı ve yüksek SAİ'ye sahip illerde buğday yerine daha az suya ihtiyaç duyan ve daha fazla ekonomik değeri olan mahsullerin yetiştirilmesi önerilmiştir. Dolayısıyla bu çalışma SAİ hesaplama yöntemlerinin, su yönetimi konusunda bir araç olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Muratoğlu ve ark. (2022) yaptıkları çalışmada nehir havzaları için SAİ muhasebe çerçevesinin değerini göstermeyi amaçlamışlardır. Bunun için yalnızca Türkiye'de önemli bir gıda ve enerji üretim kaynağı olarak değil aynı zamanda Orta Doğu'da uluslararası çatışma, diplomasi ve diyalog için bir odak noktası olarak kullanılan Yukarı Fırat Nehri havzasını bir vaka çalışması olarak ele almışlardır. Metodoloji, SAİ Ağı tarafından yayınlanan SAİ Değerlendirme Kılavuzu'na dayanmaktadır. Çalışma, 2008-2019 dönemi için tarım, evsel su temini ve sanayi için çalışma alanındaki sektörel su kullanımının mekansal-zamansal değişimlerini haritalamaktadır. Yukarı Fırat Nehri havzasının SAİ'si 27,4 Gm³ olarak hesaplanmış olup, bunun büyük kısmı tarımsal faaliyetlerle ilgili bulunmuştur. Çalışma alanının aşağı ovaları, sırasıyla 2397 ve 349 mm'ye ulaşan oldukça yüksek tarımsal SAİ_{mavi} ve SAİ_{gri} sergilemiştir. Bölgede pamuk, buğday, fıstık ve arpa gibi çeşitli ürünler oldukça büyük SAİ'lere sahiptir. Bu çalışmada verilen analiz, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için su muhasebesinde mekansal-zamansal ayrıştırılmış bilginin önemini ortaya koymaktadır. Bu hesaplamaların, su tasarrufu fırsatları, potansiyel su verimliliği ve üretkenlik ölçütleri, çeşitli iklim koşulları için stratejik planlama vb. gibi konularda karar vericilere daha önce mevcut olmayan içgörüler sağlayabileceğini vurgulanmıştır.

Yu ve Ding (2021) SAİ Ağı'nı bir gösterge sistemi olarak kullanarak Pekin'in su bağımlılığını ve kırılganlığını değerlendirmişlerdir. Çalışmalarında, bölgede faaliyet gösteren üretim ve hizmet sektörünü 42 kategoride değerlendirerek bu sektörlerin girdi-çıktı verilerini kullanmışlardır. 2002 yılında Pekin'in SAİ_{toplam}'ı 4,50x10⁹ m³/yıl olup, bunun %51'ini ithal SAİ oluşturmaktadır (Zhang ve ark., 2011). Çalışmada ele alınan dönemlere bakıldığında ise Pekin'in SAİ'si 2007 ve 2012'de sırasıyla 1,89x10¹⁰ m³, 1,61x10¹⁰ m³'tür. Hesaplanan SAİ'nin 2007'de %33,85'ini ve 2012'de %26,39'unu ithal edilen sanal su oluşturmaktadır. Sektörler incelendiğinde, bazılarının ithal ettikleri sanal su payının, SAİ_{toplam} içinde oldukça yüksek olduğu, bazılarında ise bu durumun tam tersi olduğu bildirilmiştir. Pekin'e sanal su ihracatı yapılan bölgeler arasında komşu iller ve uzun mesafeli iller yer almaktadır. Kendileri de endüstriyel yapıları nedeniyle doğrudan su stresi yaşayan bu şehirlerin, Pekin'e de dolaylı yoldan su stresi uyguladığı belirtilmiştir. Pekin'in, mevcut su talebinin baskısını azaltmak için su stresinin daha az olduğu bölgelerden ürün ve hizmetleri ithal etmesini ve aynı zamanda kendi üretim ve tüketiminin su kullanım verimliliğini de artırması gerektiğini önermişlerdir. Çalışma, SAİ verilerinin sektörel su bağımlılığının tespitinde kullanılabileceğini ve bölgesel su yönetiminde bir araç olabileceğini göstermektedir.

Zhu ve ark. (2020b) suyun termal enerji ve elektrik üretimindeki önemini vurguladıkları çalışmalarında, Çin'in su-enerji ilişkisini açıklamışlardır. Bunun için ülkedeki kömür yakıtlı elektrik üretim santrallerini YDD ve SAİ hesaplama yöntemlerini kullanarak incelemişlerdir ve bir

değerlendirme çerçevesi geliştirmişlerdir. Bu çerçevede 2016 yılı için Çin'de kömür yakıtlı elektrik üretimiyle şehirlerin sanal su tüketimi ve bunun su kalitesi üzerindeki etkisi nicel olarak analiz edilmiştir. Elektrik üretiminin SAI_{mavi} 'si yaklaşık olarak $6,60 \text{ m}^3/\text{MWh}_{\text{el}}$ olarak bulunmuştur. Bu sonucun %24,8'ini SAI_{mavi} , %75,2'sini SAI_{gri} oluşturmaktadır. Çin'deki kömür yakıtlı elektrik üretim endüstrisinin SAI_{toplam} 'ı $26,03 \times 10^9 \text{ m}^3$ olarak bildirilmiştir. Ayrıca Çin'de su tüketen ana endüstrinin kömür yakıtlı elektrik üretim santralleri olduğu ifade edilmiştir. Bölgesel olarak elektrik ihtiyacının farklı olması nedeniyle 2016'da üretilen elektrik, su kıtlığı olan Kuzeybatı Çin'den su zengini Doğu Çin'e iletilmiştir ve dolayısıyla sanal su akışı bu yönde olmuştur. Shanxi, İç Moğolistan ve Kuzeybatı Çin'deki toplam yıllık sanal su çıkışı $498,2 \times 10^6 \text{ m}^3$ 'tür ve toplam bölgesel SAI_{mavi} 'nin %33'ünü temsil etmektedir. Bu bulguların, Çin'in enerji endüstrisindeki ve bölgesel kaynaklardaki modellerini geliştirmek ve bölgesel enerji-su kaynakları yönetiminin koordineli gelişimini sağlamak için kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Wöhler ve ark. (2020) beşeri ve veteriner ilaçlarından kaynaklanan farmasötik su kirliliğini küresel, ulusal (Almanya ve Hollanda) ve havza ölçeğinde (Vecht havzası için bir vaka çalışması ile) olmak üzere üç coğrafi seviyede araştırmışlardır. Araştırma alanına göre farklı kirletici kaynaklarını ve giriş yollarını dikkate alarak, su ortamına giren farmasötik yüklerden SAI_{gri} 'yi tahmin etmişlerdir. Global ölçekte kişi başına siprofloksasin tüketiminden kaynaklanan $1.900 \text{ m}^3/\text{yıl}$ SAI_{gri} olduğunu bildirmişlerdir. Çalışma kapsamında Almanya ve Hollanda'daki en yüksek SAI_{gri} , insanlar için etinilestradiol ve veterinerlik kullanımı için amoksisilin için bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre etinilestradiolün insan kaynaklı SAI_{gri} 'si, Almanya için $2.300 \text{ m}^3/\text{kişi-yıl}$ ve Hollanda için $11.300 \text{ m}^3/\text{kişi-yıl}$ 'dır. Alman ve Hollandalı hayvansal ürün tüketicilerinin SAI_{gri} 'si sırasıyla 12.900 ve $10.600 \text{ m}^3/\text{kişi-yıl}$ 'dır ve amoksisilin karşılığı olarak verilmiştir. Vecht havzası için, SAI_{gri} mevcut yüzey akışıyla karşılaştırarak alt havza başına su kirliliği seviyesi ayrıca tahmin edilmiştir. Havzada bir bütün olarak, insan ve veteriner ilaçlarından elde edilen SAI_{gri} 'lerin her ikisi de mevcut akış değerini aşmaktadır. Ayrıca Hollanda'da etinilestradiol için kişi başına düşen SAI_{gri} Almanya'dakinden 4,2 kat daha büyüktür. Dolayısıyla Hollanda tarafındaki alt havzalarda su kirliliği seviyesinin daha fazla olduğu ifade edilmiştir. Yapılan bu çalışma farmasötik su kirliliğinin önemini vurgulayarak su kirliliği seviyesinin hesaplanmasında SAI muhasebe yönteminin uygulanabilirliğini göstermiştir.

Liu ve ark. (2019) yakıt olarak etanolün artan enerji taleplerini karşılayacak alternatif, temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olduğunu ancak etanol üretiminde suyun yoğun bir şekilde kullanıldığını bildirmişlerdir. Yaptıkları çalışmada, etanol üretiminde Brezilya ve ABD'den sonra üçüncü sırada yer alan Çin'de manyok bitkisinden etanol üreten bir tesisin SAI 'sini mevcut durum ve şebeke optimizasyonu sonrasında elde edilen verilerle karşılaştırmalı olarak değerlendirmişlerdir. Bu tesis günde $106,06$ ton etanol üretmekte, $1.156,17 \text{ t/gün}$ tatlı su tüketmekte, 659 t/gün atık su deşarj etmekte ve $170,73 \text{ Kwh/t}_{\text{etanol}}$ elektrik enerjisi kullanmaktadır. Çalışma sonucunda SAI_{mavi} , SAI_{gri} , SAI_{toplam} mevcut durum için sırasıyla $7,69 \text{ L/L}_{\text{etanol}}$, $9,39 \text{ L/L}_{\text{etanol}}$, $17,08 \text{ L/L}_{\text{etanol}}$; şebeke

optimizasyonu sonucunda sırasıyla 6,71 L/L_{etanol}, 7,92 L/L_{etanol}, 14,63 L/L_{etanol} olarak bulunmuştur. Şebeke optimizasyonu ile SAİ_{toplam}'ın %14,34 azaldığı bildirilmiştir. Ayrıca Tayland'daki manyok bazlı bir etanol fabrikasının SAİ_{mavi}'sinin 8,30-18,97 L/L_{etanol} (Mangmeechai ve Pavasant, 2013), Guangxi'deki bir fabrikanın SAİ_{mavi} ve SAİ_{gri}'sinin sırasıyla 7,60 L/L_{etanol} ve 11,46 L/L_{etanol} (Zhang ve ark., 2017) olduğu belirtilerek, nişasta bazlı etanol üreten tüm fabrikaların üretim süreçleri benzer olduğundan, bu tesislerde SAİ ve şebeke analizinin birlikte kullanılmasıyla su tüketiminin azaltılabileceği ve böylelikle etkili bir su yönetimi uygulanabileceği ifade edilmiştir.

Muratoğlu (2020) SAİ kavramını özellikle su kaynakları yönetimine destek sağlamak için ekolojik ve karbon ayak izlerine benzer şekilde son yıllarda literatüre kazandırılan yeni bir parametre olarak tanımlamıştır. Uzun dönem meteorolojik raporlara göre yıllık sıcaklık ortalaması 15,8 °C, yağış yüksekliği ise 474,9 mm olan Diyarbakır ilinin, 2008-2019 yılları arasında tarım ve hayvancılık faaliyetlerinden kaynaklanan SAİ_{mavi} ve SAİ_{yeşil}'lerini analiz ettiği çalışmasında bölgenin ortalama SAİ değerini 3,43x10⁹ m³/yıl olarak hesaplamıştır. Diyarbakır ilinin tarımsal SAİ_{mavi} ve SAİ_{yeşil} bileşenleri sırasıyla 1,43x10⁶ ve 1,50x10⁶ m³'tür. İl genelindeki su kaynaklarının büyük çoğunluğunun %86'lık bir oranla tarımsal ürünlerin yetiştirilmesinde kullanıldığı, mevcut taze suyun %49'unun yüzey ve yeraltı suyundan tedarik edildiği ve kurak sezonda bu oranın %62'ye kadar yükseldiği, dolayısıyla kurak sezonlarda SAİ_{mavi} değerinin artış gösterdiği bildirilmiştir. Su kullanımı yönünden en önemli tarımsal ürünlerin arpa, buğday, mercimek, mısır, pamuk ve üzüm olduğu belirlenmiş, bu ürünlerin tarımsal SAİ_{toplam}'ın %91'inden sorumlu oldukları belirtilmiştir.

Hoekstra ve Mekonnen (2012) insanlığın SAİ'si adlı çalışmalarında yağmur suyunun (SAİ_{yeşil}), yer altı ve yüzey suyunun (SAİ_{mavi}) ve kirlenen su hacminin (SAİ_{gri}) tüketim amaçlı kullanımı hakkında rapor hazırlamışlardır. Ulusların SAİ tahmininde üretim ve tüketim verilerini dikkate almışlardır. Küresel ölçekte 1996–2005 dönemi için yıllık ortalama SAİ 9.087 Gm³/yıl olarak verilmiştir ve bunun %74'ünü SAİ_{yeşil}, %11'ini SAİ_{mavi} ve %15'ini SAİ_{gri} oluşturmaktadır. Küresel SAİ'nin yaklaşık 1/5'inin, ihracat ürünlerinin üretimiyle ilgili olduğu ifade edilmiştir. Tarımsal ve endüstriyel ürünlerin ticareti ile ilgili uluslararası sanal su akışlarının toplam hacminin 2.320 Gm³/yıl (%68 SAİ_{yeşil}, %13 SAİ_{mavi}, %19 SAİ_{gri}) olduğu belirtilmiştir. ABD'nin kişi başına ortalama SAİ'si 2.842 m³/kişi-yıl iken, Çin ve Hindistan için bu değer sırasıyla 1.071 ve 1.089 m³/kişi-yıldır. Küresel ölçekte kişi başına ortalama SAİ ise 1.385 m³/kişi-yıl olarak bildirilmiştir. Tahıl ürünleri tüketimi, ortalama tüketicinin SAİ'sine en büyük katkıyı (%27) sağlarken, bunu et (%22) ve süt ürünleri (%7) izlemektedir. Tüketim hacmi ve şekli ile tüketilen ürünlerin ton ürün başına SAİ'si, bir tüketicinin SAİ'sini belirleyen ana faktör olarak belirtilmiştir. Çalışma, birkaç ülkenin büyük ölçüde yabancı su kaynaklarına bağımlı olduğunu ve birçok ülkenin başka yerlerdeki su tüketimi ve kirlilik üzerinde önemli etkileri olduğunu göstererek su tüketimi ve kirliliğinin küresel dolaşımını ortaya koymaktadır.

Liu ve ark. (2024) yaptıkları çalışmada dizel ve sıvılaştırılmış petrol gazının yerini alabilen, ideal bir temiz yakıt olarak değerlendirilen ve kömür gazlaştırmasından elde edilen dimetil eter

üretiminin yaşam döngüsü SAI ve karbon ayak izi analizini yapmışlardır. Araştırma sonuçları, temel kömürden dimetil eter üretiminin SAI'sinin $112,67 \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O}/\text{MJ}$ olduğunu ortaya koymaktadır. Tüm üretim süreci içinde su tüketiminin en çok olduğu prosesin dimetil eter sentezi olduğunu ve tüm SAI'nin %99,70'ini kapsadığını bildirmişlerdir. Araştırma sonuçları, dimetil eter üretim sürecinde kaynak tüketimini azaltmak ve çevresel yatırım planları oluşturmak için önemli referanslar sunmaktadır.

Rosa ve ark. (2021) fosil CO_2 emisyonlarını azaltmak ve atmosferden CO_2 'yi uzaklaştırmak için önemli karbon yakalama (KY) teknolojilerinin SAI'sini araştırdıkları çalışmalarında, bu teknolojilerin enerji yoğun süreçler olduğunu ve yakalama süreçleri sırasında genellikle büyük su tüketimine sahip olduklarını belirtmişlerdir. Çalışma, dört önemli KY teknolojisinin SAI'sini (yakalanan ton CO_2 başına m^3 su) sunmaktadır: Yanma Sonrası KY, Yanma Öncesi KY, Doğrudan Hava KY ve KY'li Biyoenerji. Teknolojiye bağlı olarak, KY'nin SAI'si $0,74$ ila $575 \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O}/\text{tonCO}_2$ arasında değişmektedir. $1,5 \text{ }^\circ\text{C}$ iklim hedefini karşılamak için KY'nin yaygın bir şekilde konuşlandırılmasının, antropojenik SAI'yi neredeyse iki katına çıkaracağı bildirilmiştir. Bu durumun muhtemelen dünya çapında birçok bölgede SAI_{yeşil} ve SAI_{mavi} üzerinde baskı oluşturacağını ve/veya daha da kötüleştireceğini ifade etmişlerdir. Çeşitlendirilmiş KY teknolojilerinin iklim azaltma senaryolarında esas olarak bunlardan birine dayanan senaryolardan daha düşük su kaynakları etkisine sahip olacağı bildirilmiştir. KY'nin SAI değerlendirmesi, bu teknolojilerin değerlendirilmesinde önemli bir faktördür. Su kıtlığı çeken bölgeler, azaltma hedeflerinde su açısından verimli KY teknolojilerine öncelik vermelidir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar dikkate alındığında gerek teknoloji seçiminde gerekse çevresel yaklaşımların farklı etkilerini ele alma konusunda SAI önemli bir araç olarak değerlendirilebilir.

Olaiton ve ark. (2024) hidrojenin (H_2), enerji sektörünün karbon emisyonlarını azaltmak için en umut verici enerji taşıyıcısı olduğunu, ancak üretiminin su kaynakları üzerindeki etkisinin hala belirsizliğini koruduğunu ifade etmişlerdir. Bunun için H_2 üretiminde kullanılan farklı birincil enerji kaynaklarının hammadde ve altyapı su gereksinimlerini dikkate alarak H_2 üretiminin SAI'sini hesaplamışlardır. H_2 üretiminin SAI'si, özellikle hidroliz için kullanılan elektrik rüzgar ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir kaynaklardan sağlandığında en düşüktür. Güneşten elde edilen H_2 , elektrolizör ve elektrifikasyon verimliliğindeki gelişmeler sayesinde azaltılmış bir SAI ($204 \pm 79 \text{ m}^3/\text{TJ}$) potansiyeli ile geleneksel fosil yakıtlara kıyasla benzer bir SAI sergilemektedir. Rüzgardan elde edilen H_2 önemli ölçüde daha düşük bir SAI'ye ($65 \pm 2 \text{ m}^3/\text{TJ}$) sahiptir. Elektrik nükleer enerjiden elde edildiğinde nükleer enerjinin yüksek SAI'sinden dolayı H_2 üretiminin SAI'si ($741 \pm 277 \text{ m}^3/\text{TJ}$) daha yüksektir. Doğal gazdan ($369 \pm 30 \text{ m}^3/\text{TJ}$) ve kömürden ($564 \pm 82 \text{ m}^3/\text{TJ}$) üretilen H_2 , yenilenebilir kaynaklarla üretilen H_2 'ye kıyasla çok daha yüksek bir SAI göstermektedir. En yüksek SAI, odun yongaları ve biyodizel ile ilişkili biyokütleden ($> 50.000 \text{ m}^3/\text{TJ}$) elde edilen H_2 'ye aittir. Çalışma sonuçları, düşük emisyon nedeniyle daha çevreci olarak tanıtılan yakıtların aslında üretiminden kaynaklanan farklı çevre sorunlarına neden olduğunu göstermektedir.

2.2.2. Tekstil/Denim Sektöründe Su Ayak İzi Hesaplamaları

Türkiye’de tekstil endüstrinin tükettiği su miktarı $9.196 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yıl}$ olarak ifade edilmektedir (Alper, 2015; Tufaner, 2019). “Türkiye’nin SAİ Raporu”nda tekstil ürünleri ihracatının toplam ihracatın %20’sini oluşturduğu ve “İhracatın SAİ”sindeki payının %42 olduğu belirtilmiştir (WWF Rapor (TR), 2014). İstanbul, Çerkezköy’de faaliyet gösteren 4.230 ton/yıl kumaş üretim kapasitesine sahip bir tekstil fabrikasının su ve kirlilik ayak izlerinin araştırıldığı bir çalışmada, atık su miktarının ve KOİ yükünün sırasıyla $403.500 \text{ m}^3/\text{yıl}$ ve 675 ton/yıl olduğu bildirilmiştir. Atık suyun KOİ konsantrasyonu 1.290-3.400 mg/L arasında değişiklik göstermiş ve ortalama 1.700 mg/L ile tesisin toplam atıksu ayakizi $91 \text{ m}^3/\text{ton}_{\text{kumaş}}$ olarak hesaplanmıştır (Sözen ve ark., 2019).

Hossain ve Khan (2017) yaptıkları çalışmada, Bangladesh’deki tekstil endüstrilerinin 2012-2016 yıllarındaki SAİ_{mavi} ve SAİ_{gri} ’lerini değerlendirmişlerdir. Hesaplama pamuk ipliği ve pamuklu kumaşların üretim-işleme kapasitelerini, atık su hacmini, işçi sayısını ve kirlilik yükü verilerini dikkate almışlardır. Tekstil endüstrisinin SAİ_{mavi} ve SAİ_{gri} ’lerinin sırasıyla $135 \text{ L}/\text{kg}_{\text{kumaş}}$ ve $843 \text{ L}/\text{kg}_{\text{kumaş}}$ olduğu bildirilerek, ilgili yıllar için SAİ’nin artış eğilimi gösterdiği belirtilmiştir. Yıllık ortalama SAİ_{gri} , $\text{SAİ}_{\text{toplam}}$ ’ın %86,15’ini oluşturmaktadır ve bunun ülke için oldukça endişe verici olduğu ifade edilmiştir. SAİ_{mavi} ’nin proses suyu geri kazanımıyla azaltılabileceği ve SAİ_{gri} ’nin uygun arıtma yöntemleri kullanılarak sıfır atık deşarjı ve TÜU kapsamında değerlendirilebileceği bildirilmiştir. Elde edilen sonuçlar ile bu çalışma, tüketicilere, politika yapıcılarına, hazır giyim markalarına ve endüstri yönetimine tekstil operasyonunda su kullanımı ve kirliliği ile ilgili farkındalık oluşturma konusunda yardımcı olmaktadır.

Naqvi ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada SAİ verilerinin sanayi sektörünün su yönetiminde önemli bir rolü olduğunu, tüm süreçlerde kullanılan suyun hacmi bilinmeden su kaynaklarının doğru yönetilemeyeceğini ve SAİ’nin de su yönetimi konusunda bir araç olarak kullanılabileceğini bildirmişlerdir. SAİ ağı metodolojisini kullanarak Pakistan/Punjab’ın tekstil sektöründeki SAİ’sini pamuk üretiminden başlayıp son ürün haline kadar olan süreç için değerlendirmişlerdir. Bitmiş bir tekstil ürününün SAİ’si üzerinde çok az etkiye sahip olan ve ton ürün başına az miktarda kullanılan hammaddelerin SAİ’sini hesaba dahil etmemişlerdir. Bu çalışmanın sonunda, Pakistan, Punjab’da bitmiş bir tekstil ürününün SAİ_{mavi} ’sinin $4.650 \text{ m}^3/\text{t}$ olduğunu bildirmişlerdir.

Khan ve Ali (2024) yaptıkları çalışmada Pakistan’daki pamuk tedarik zincirinin SAİ’sini incelemeyi ve pamuk mahsulünden bitmiş kumaşa kadar sürdürülebilirliğini değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Çalışmada, mahsul üretimi ve endüstriyel işlemenin $\text{SAİ}_{\text{yeşil}}$, SAİ_{mavi} ve SAİ_{gri} ’lerini hesaplayan hacimsel SAİ metodolojisini kullanmışlardır. Pamuğun yetiştirildiği bölgeye göre pamuk üretiminin SAİ değerleri farklılık gösterse de pamuk üretiminin $\text{SAİ}_{\text{yeşil}}$ ’i (ortalama $1.594 \text{ m}^3/\text{ton}$) her durumda SAİ_{mavi} (ortalama $5.005 \text{ m}^3/\text{ton}$) ve SAİ_{gri} ($423 \text{ m}^3/\text{ton}$) değerlerinden daha düşük bulunmuştur. 1 ton bitmiş pamuklu kumaşın $\text{SAİ}_{\text{toplam}}$ değerinin 22.596 m^3 olduğunu bildirmişlerdir. Bitmiş tekstil ürününün SAİ’sini yükselten en önemli aşamalar pamuk yetiştiriciliği ve çırçırılama olarak belirtilmiştir. Pamuk tedarik zincirinin ekonomik olarak anlamlı olsa da çevresel ve sosyal

olarak sürdürülebilir olmadığı bildirilmiştir. Çalışma, mahsul üretiminde SAI'yi %49,66 oranında azaltılabileceği için damla sulama sistemlerini önermektedir. Politika yapıcılar, pamuk çiftçileri ve diğer paydaşlar elde edilen sonuçları pamuk tedarik zinciri için uzun vadeli su yönetimi politikaları oluşturmak için kullanabilirler.

Yang ve ark. (2020) iki farklı ipek tekstil ürününün (crepe de chine (CDC) elbiseler ve sırmalı ipek (brokar) elbiseler) ISO 14046'ya göre SAI yaklaşımı ve YDD poligonunun çevresel etki değerlendirme yöntemiyle, bu ürünlerin su kaynakları üzerindeki çevresel etkilerinin kapsamlı ve karşılaştırmalı bir analizini yapmışlardır. SAI sonuçları, brokar elbiselerin hem SAI_{kıt}'a hem de incelenen diğer SAI kategorilerine CDC elbiselerinden daha büyük bir katkısı olduğunu göstermiştir. İpek sarma prosesinin, su kullanımı ve su SAI_{ötr} üzerinde; boya-terbiye prosesinin, SAI_{asit} ve SAI_{eko} üzerinde daha büyük bir etkiye sahip olduğu bildirilmiştir. SAI_{ötr}'e en çok katkıda bulunan ipek sarma işlemi için sonuçlar KOİ>NH₃-N iken; boya-terbiye işlemi için TN>KOİ>TP'dir. Her iki elbise için de SAI_{eko}'ya en çok katkıda bulunanlar sırasıyla Hg>Sb>Cu>Zn'dir. Brokar elbiselerinin üretimi, SAI_{kıt}'a 0,5103 m³ H₂O-eş/elbise ve 894,607 ortalama YDD polygon alanı ile hem su tüketimine hem de su kirliliğine daha fazla katkıda bulunmakta ve su kaynakları üzerinde önemli bir çevresel etkiye neden olmaktadır. Bu çalışma, tekstil ve hazır giyim endüstrisinin SAI verilerini kullanarak su kullanımı ve su kirliliğine neden olan temel katkı faktörlerinin ortaya çıkarılmasını ve bu katkı faktörlerine neden olan proseslerin (boya-terbiye, ipek sarma vb.) belirlenmesini sağlamaktadır. Böylece suyun daha az veya yeniden kullanımını sağlayacak üretim teknolojilerinin veya çevre dostu hammadde kullanımının değerlendirilebileceğini göstermektedir.

Zhang ve ark. (2014) endüstriyel giyim üretiminin, büyük miktarda tatlı su tükettiğini, bu durumun tatlı su kıtlığına neden olabileceğini ve oluşan atık suların su kirliliği sorununa yol açtığını bildirmişlerdir. Ayrıca tekstil ürünü olan bir giysinin endüstriyel SAI'sinin, kumaş üretiminin SAI'si ve giysi aksesuarlarının (ör. fermuar, bağlantı elemanı, dikiş ipliği) üretiminin SAI'si toplamından oluştuğunu belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmada da giyim ürünlerinde yaygın olarak kullanılan üç tip fermuar için (metal fermuar, polietilen tereftalat (PET) fermuar ve polioksimetilen kopolimer (Co-POM) fermuar) endüstriyel SAI'ye ilişkin bir pilot çalışma yürütmüşlerdir. Elde ettikleri sonuçlar, fermuarların, ürün olarak bir giysi çıktısının ortalama endüstriyel SAI'si üzerinde dikkate değer bir etkisi olduğunu ortaya koymuştur. Metal fermuarlar en büyük endüstriyel SAI'ye sahipken onu Co-POM fermuar ve PET fermuar takip etmektedir. Fermuar üretiminde en çok su tüketen proseslerin boyama ve birincil işleme olduğunu ve endüstriyel SAI'inin yaklaşık %90'ına katkıda bulunduğunu bildirmişlerdir. Özellikle boyamanın, tüm işlemler arasında en çok miktarda su tükettiğini ve fermuar SAI'sinin %50'sinden fazlasını kapsadığını belirtmişlerdir. SAI_{gri}, fermuarın endüstriyel SAI'sine %80'den fazla katkı sağlamaktadır. Bu sonuçlara dayanarak sunulan endüstriyel fermuar üretimi sırasında su tasarrufu ve kirliliğin azaltılmasına yönelik çeşitli stratejiler SAI'nin proses analizinde ve iyileştirilmesinde bir veri olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Hossain ve Khan (2020) giyim sektöründe sürdürülebilir büyüme için SAI yönetimini araştırdıkları çalışmalarında, gömlek, tişört ve tek kişilik yatak örtüsünün SAI_{yeşil}, SAI_{mavi} ve SAI_{gri}’lerini hesaplamışlardır. Bir tişört (ağırlığı 250 g) için, SAI_{toplam}, SAI_{yeşil}, SAI_{mavi} ve SAI_{gri}’lerini sırasıyla 4.510 L, 1.598 L, 1.639 L, 1.273 L; bir gömlek (ağırlığı 160 g) için 2.194 L, 743 L, 696 L, 642 L ve tek kişilik yatak örtüsü (ağırlığı 500 g) için 7.312 L, 2.475 L, 2.292 L ve 2.139 L olarak bildirmişlerdir. SAI_{gri} hesaplamaları atıksuyun arıtılmadan deşarj edildiği varsayımına göre yapılmıştır. Atıksular arıtılarak deşarj edilirse bir tişört, bir gömlek ve tek kişilik yatak örtüsü için SAI_{gri} sırasıyla 1.026 L, 482 L ve 1.609 L’ye düşmektedir.

Chen ve ark. (2023b) küresel ticarete, pamuklu tekstil ürünlerinin üretimi ve tüketiminin hidrolojik döngüye müdahale ettiğini ifade ederek ürün üretimi ile yerel su kaynaklarının sürdürülemez kullanımı arasındaki ilişkiyi ele almak için konumsal bir SAI değerlendirmesi yapmışlardır. Çalışmalarında elyaf içeriğine göre geri dönüşüm içeriği yok (geleneksel), %30 geri dönüşümlü (eko-tişört) ve %100 geri dönüşümlü (geri dönüşümlü) elde edilmiş 180 g ağırlığındaki üç farklı tişörtün konumsal SAI’lerini SAI_{kıt} ve SAI_{otr} başlığı altında sunmuşlardır. Hesaplamalarda sistem sınırını, pamuğun yetiştirme aşamasından tişörtlerin kullanım dönemi dahil olacak şekilde belirlemişlerdir. Doğrudan su tüketimi olmadığı için bertaraf ve taşıma aşamaları bu analizin sistem sınırından hariç tutulmuştur. Geleneksel tişört, eko tişört, geri dönüştürülmüş tişörtün SAI_{kıt}’ının sırasıyla 2,45 H₂O-eş, 1,74 H₂O-eş, 8×10^{-2} H₂O-eş olduğunu; SAI_{otr}’ün sırasıyla $1,18 \times 10^{-2}$ PDF·m²·yr⁻¹, $9,4 \times 10^{-3}$ PDF·m²·yr⁻¹, $4,04 \times 10^{-3}$ PDF·m²·yr⁻¹ olduğunu bildirmişlerdir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde iki ilginç sonuç ortaya konmuştur. Birincisi, hidrosfer üretim ve tüketimden etkilenmiştir; bu nedenle üreticiler ve tüketiciler tarafından yapılan herhangi bir seçim, konumdan uzak bir bölgedeki su kaynağı üzerinde bir etkiye yol açmaktadır. İkincisi, SAI’nin azaltılmasının etkisi, şiddetli su stresi olan yerlerde daha belirgin olacaktır. Konuma dayalı hesaplanan SAI, her bir aşamanın yerel çevreye olası katkısının şeffaf bir sonucunu sunmakta ve ürün aşamaları, ürünler ve yerel etkiler arasında niceliksel bir karşılaştırma yapmaktadır. Bu nedenle, konumsal SAI’nin tedarik zincirinde sürdürülebilirlik yönetiminin iyileştirmesinde kritik bir bileşen olacağı bildirilmiştir.

Zhu ve ark. (2022) SAI_{kıt}, SAI_{otr} ve SAI_{eko} gibi göstergeler kullanarak ISO 14046 metodolojisine dayalı temel SAI’leri hesapladıkları çalışmalarında farklı işletmelerden 25 tipik tekstil ürününü değerlendirmişlerdir. Tekstil ürünlerinin üretiminde uygulanan her prosesin etkisini her bir etki kategorisi için ayrı ayrı hesaplayarak ürünlerin SAI’lerini etkileyen prosesleri belirlemişlerdir. Tekstil üreticilerinin, tekstil endüstrisinin ve hükümetin farklı ürünler arasındaki su kullanım miktarı ve atıksu kalitesindeki benzerlikleri ve farklılıkları elde edilen sonuçlar üzerinden değerlendirmesiyle, endüstri içindeki ürünlerin dönüşümünü ve yükseltilmesini sağlayacak bir bakış açısı kazanabilecekleri ifade edilmiştir. Ayrıca, düzenleyici ve yönetimle ilgili önlemlerin ve politikaların daha da geliştirilmesine bilgi sağlayacağı ve gelecekte su yönetimi ve araştırmaları için bir referans olabileceği belirtilmiştir. Bu çalışma ile suyun bir üretim kısıtı olduğu sektörler için

üretilecek ürün seçiminde SAİ hesaplama metodolojilerinin kullanılabilirliği net bir şekilde ortaya konulmuştur.

Ham polyester (HP) ve geri dönüştürülmüş polyester (GDP) ile üretilen kumaşların neden olduğu çevresel etkilerin değerlendirilmesi ve karşılaştırılmasına odaklanan bir çalışmada bu ürünlerin hem karbon ayak izleri hem de SAİ'leri hesaplanmıştır. Sonuçlar HP ve GDP ile kumaş üretiminin SAİ_{ötr} ve SAİ_{kıt} üzerinde büyük etkisi olduğunu göstermiştir. HP ve GDP ile kumaş üretiminin SAİ_{kıt} değerleri sırasıyla 5,98 m³ H₂O-eş./100 kg ve 1,90 m³ H₂O-eş./100 kg; SAİ_{ötr} değerleri sırasıyla 0,197 kg PO₄⁻³-eş./100 kg ve 0,156 kg PO₄⁻³-eş./100 kg olarak hesaplanmıştır. SAİ_{ötr} üzerinde en etkili parametrenin KOİ olduğu ve bunu NH₃-N ve BOİ₅'in izlediği bildirilmiştir. Çalışma, geri dönüştürülmüş materyallerden ürün elde etmenin SAİ_{ötr} ve SAİ_{kıt} etkilerinin ham materyallerin kullanıldığı üretim süreçlerine göre daha düşük olduğuna bir kanıt sunmaktadır (Qian ve ark., 2021b).

Wu ve ark. (2015) tekstil ve giyim atıklarının geri dönüşümünün tekstil ve giyim tedarik zincirinde SAİ ve karbon ayak izini en aza indirmede en umut verici yaklaşımlardan biri olarak ifade ettikleri çalışmalarında, tekstil ve giyim atığı geri dönüşümlü karışık pamuk elyafından (%70 saf pamuk elyafı ve %30 geri dönüştürülmüş pamuk elyafı) ve %100 saf pamuk elyafından yapılmış iki tür kot pantolonun SAİ sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Karışık pamuk elyafından yapılmış bir kot pantolonun üretiminde oluşturulan SAİ'nin, %100 saf pamuk elyafından yapılmış kot pantolonunkinden %26,18 daha az olduğunu bildirmişlerdir. SAİ'nin azalmasını sağlayan aşamaların esas olarak elyaf üretimi (pamuk yetiştiriciliğinden iplik eğirmeye) ve boyama prosesinde kullanılacak su miktarlarındaki azalma olduğunu belirtmişlerdir.

Chico ve ark. (2013) kot üretiminde yaygın olarak kullanılan iki farklı lifin (pamuk ve liyosel) ve kot üretim süreçlerinin SAİ'lerini dikkate alarak birim kot başına su tüketimini araştırmışlardır. En yüksek su tüketiminin lif üretimi aşamasında olduğunu ve özellikle pamuk üretiminin liyosel lifi üretiminden daha fazla SAİ_{toplam}'a sahip olduğunu belirtmişlerdir. Selüloz bazlı liyosel lifinden üretilen bir kot pantolonun ortalama SAİ_{yeşil}, SAİ_{mavi} ve SAİ_{gri}'si sırasıyla 1.384 m³/t, 34,5 m³/t, 35,3 m³/t iken pamuk lifinden üretilen bir kot pantolonun aynı sırayla ortalama SAİ'leri 263 m³/t, 2.767 m³/t ve 203 m³/t olarak bildirilmiştir. Pamuktan ve liyoselden elde edilen bir kot pantolonunun SAİ_{toplam}'ının ortalama değerleri sırasıyla 3.233 m³, 1.454 m³ olarak verilmiştir. SAİ muhasebesinin, su kullanımını farklı düzeylerde analiz etmek için yararlı olduğunu, hem mekansal hem de zamansal olarak üretim ve tüketim ile bağlantılı su kullanımının incelenmesine izin verdiğini ifade etmişlerdir. Ayrıca, sürdürülebilirlik değerlendirmesinde yalnızca birim ürün başına minimum SAİ'nin ele alınmasının su kaynaklarının durumunu kısmen yorumlayacağına dikkat çekmişlerdir. Kamu otoritelerinin de su yönetimini iyileştirmeye çalışan şirketler için, fiyat teşvikleri uygulamasını, politikalar geliştirmesini ve SAİ sonuçlarına göre ürün seçiminde paydaşların (çiftçilerin, kullanıcıların, üreticilerin vb.) tepkisinin iyi analiz edilmesini önermişlerdir.

Su kullanımına genel bir bakış sağlayan ISO 14046'da önerilen SAI çerçevesine dayanarak yapılan bir çalışmada Çin tekstil endüstrisinin kapsamlı bir SAI analizi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada Çin'in artan tekstil endüstrisi nedeniyle su tüketiminin ve atık su deşarjının arttığı, Çin hükümetinin müdahalelerine ve şirketlerin çabalarına rağmen 1996'dan 2015'e gelindiğinde SAI_{kıt}'ın ve SAI_{otr}'un dalgalanmalı da olsa yükseldiği bildirilmiştir. Hükümetin idari kontrol önlemleri ve üreticilerin tatlı su tasarrufu ve atık suyu arıtmaya yönelik eylemleri, SAI'nin ekonomik göstergesi (Zhang ve ark., 2019b) olan SAI_{yoğ}'nu iyileştirmiştir. SAI_{yoğ}'un, tekstil endüstrisinin gelecekteki sürdürülebilirliğinin iyileştirilmesinde temel hedef olabileceği vurgulanmıştır. SAI_{eko} ise ağır metal kirleticilerinin deşarjına getirilen kısıtlamalar nedeniyle azalmıştır. Bu durumlar, Çin'in genişleyen tekstil endüstrisinin su kontrolünde ve su yönetiminde hükümet tarafından geliştirilen politikaların ve uygulanan standartların gerekliliğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, arıtma teknolojilerinin SAI'nin azalmasına katkıda bulunduğu ve bu nedenle de ekipmanın ve teknolojinin yükseltilmesi yoluyla suyun yeniden kullanım oranını ve atık su arıtma verimliliğini arttıracak arıtma teknolojilerine yatırım yapılması gerekliliği ifade edilmiştir (Chen ve ark., 2021b). Çalışma, yapılan yasal düzenlemelerin belirlenmesinde ve değerlendirilmesinde; ekipman verimlerinin analizinde SAI'nin kullanılabileceğine örnek teşkil etmektedir.

Wang ve ark. (2013a) SAI Ağı metodolojisine dayalı olarak Çin'in tekstil endüstrisinin doğrudan SAI_{mavi} ve SAI_{gri}'lerini sektör düzeyinde araştırdıkları çalışmalarında tekstil endüstrisinin SAI_{mavi} değerinin 2001'den 2010'a kadar artan bir eğilim gösterdiğini ifade etmişlerdir. Yıllık SAI_{mavi} değerinin 2004'ten itibaren 0,92 Gm³/yıl aştığını ve 2007'de 1,09 Gm³/yıl ile zirve değerine ulaştığını bildirmişlerdir. KOİ konsantrasyonuna göre hesapladıkları SAI_{gri} değerlerinin de SAI_{mavi} ile benzer bir değişim eğilimine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Tekstil üretim aşamasının yıllık SAI_{mavi} ve SAI_{gri} değerleri tekstil endüstrisinin alt sektörleri (tekstil giyim eşyası, ayakkabı ve şapka üretimi ve kimyasal elyaf üretimi) ile kıyaslandığında çok daha büyüktür. Tatlı su kullanımına ve atık su üretimi ve deşarjına ilişkin kısıtlama politikalarının çıkarılması ve su tasarrufu ile atık su arıtma teknolojilerinin yaygınlaştırılması çabalarının artması ile SAI'nin düşürülebileceği vurgulanmıştır.

Zhu ve ark. (2020a) ISO 14046 kapsamında viskon tekstil üretiminin SAI'sini hesaplamışlardır. Ayrıca, YDD sonuçlarını yorumlamak için geliştirilen YDD poligon yöntemi ile SAI hesaplama sonuçlarını kapsamlı bir şekilde değerlendirmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre viskon tekstil üretiminin SAI_{kıt}'ı 60,51 m³ H₂O-eş./ton'dur ve bunun %85,71'i viskoz elyafın üretiminden kaynaklanmaktadır. SAI_{otr}, 12,44 kg PO₄⁻³-eş./ton olarak hesaplanmıştır ve en büyük kaynağın KOİ ve BOİ (%84,37) olduğu bildirilmiştir. SAI_{asit} ve SAI_{alk}'nin sırasıyla 81,45 kg SO₂-eş./ton ve 55,68 kg OH⁻-eş./ton olduğunu ve bunun da proseslerde kullanılan H₂SO₄ ve NaOH'ten kaynaklandığını belirtmişlerdir. SAI_{eko} 3.828,17 km³ H₂O-eş./ton hesaplanmıştır. SAI_{eko}'nun esas olarak atık sudaki Zn²⁺'den kaynaklandığı ifade edilmiştir. YDD poligon analizleri, çevresel yükün en fazla eğirmeden, ardından hamurlaştırmadan ve daha sonra boyamadan kaynaklandığı göstermiştir. Bu çalışma ISO 14046 metoduyla hesaplanan SAI verilerinin proses analizinde

kullanılabileceğini, çevresel yükü olan süreçlerin belirlenebileceğini ve kıyaslanabileceğini göstermektedir.

Su kirliliği, sucul ötrofikasyon, asitlenme ve ekotoksosite gibi çeşitli alt göstergeler açısından ölçülebilir. Bununla birlikte, bazı işlemler (viskon elyaf üretimi ve boyama gibi), alıcı su kütlelerini alkalileştirebilen önemli miktarlarda alkali atık su üretmektedir. Chen ve ark. (2020) tekstil üretiminin neden olduğu su alkalizasyonunun potansiyel etkisini değerlendirmek için SAI_{alk} 'ı önermişlerdir. Bunun için bir değerlendirme çerçevesi oluşturmuş ve kimyasal reaksiyon mekanizmalarını dikkate alarak ilgili karakterizasyon faktörlerini hesaplamışlardır. Önerdikleri konsepti bir boyama prosesinde/işletmesinde uygulamışlardır. 1 ton viskon kumaş boyamanın 15,48 kg OH^- eş. SAI_{alk} ürettiğini ve haşıl sökme ve boyama aşamalarından gelen atık sudaki NaOH'un %97,23 ile en büyük katkısı sağladığını belirtmişlerdir. Yapılan çalışma girdilerin su kirliliği üzerindeki etkisinin belirlenmesinde SAI verilerinin kullanılabileceği göstermektedir.

Çin'in 13. Beş Yıllık Planının (2016-2020) odak noktasını su tasarrufu ve atık azaltımı konuları oluşturmuştur. Sürdürülebilir kalkınmanın öncülü, ekonomik büyümenin su tüketimi ve atık su deşarjından ayrıştırılmasını sağlamaktır. Tekstil endüstrisi de Çin'in ulusal ekonomisine büyük katkı sağlaması nedeniyle temel bir konuma sahiptir. Li ve ark. (2017) Çin tekstil endüstrisinin 2001-2014 yılları arasındaki SAI_{mavi} , SAI_{gri} ve SAI_{toplam} 'larındaki değişiklikleri hesaplamışlardır. Daha sonra SAI ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Örneklemeye dönemi boyunca, Çin tekstil endüstrisinin üretim kapasitesi, tekstil endüstrisinin yedi yıldaki (2002, 2004, 2005, 2007, 2009, 2010 ve 2014) toplam çıktı değerinin büyümesiyle artmıştır. SAI_{toplam} esas olarak üretim ölçeğiyle birlikte artmış ancak üretim miktarına paralel olarak sürekli artışı engellenmiştir. Örneklemeye döneminde, Çin'in tekstil endüstrisi atık su deşarjının miktarını kontrol etmesi ve atık su yönetimi üzerinde önemli etkiler elde etmesi bu durumun nedeni olarak ifade edilmiştir. Ancak, su tüketimi istikrarlı olmamıştır ve su tasarrufu ile ilgili çeşitli sorunlar hala çözülememiştir. Teknik seviye kontrol ve değişimler SAI artışını engellemede en önemli faktör olarak bildirilmiştir.

Dal ve ark. (2024) tarafından yapılan bir çalışmada ekonomik ve çevresel performans kriterlerine ek olarak MET seçimi/kararının SAI ve karbon ayak izi azaltılmasına etkisi araştırılmıştır. Bu çalışma ağırlıklı olarak pamuklu kumaş terbiyesi ve baskı-boyama kullanan entegre bir tekstil tesisine uygulanmıştır. Seçilen 12 MET'in potansiyel uygulanmasından sonra, mevcut SAI ve karbon ayak izilerindeki azaltma potansiyelleri hesaplanmıştır. Tesisin SAI_{mavi} , SAI_{gri} ve SAI_{toplam} değerleri sırasıyla 126, 837 ve 963 L/kg ürün olarak bulunmuştur. Su yumuşatma sisteminde reçine rejenerasyon sıklığı/süresi ve yıkama-durulama adımlarının çevrimiçi sertlik sensörleri aracılığıyla optimize edilmesi, SAI_{mavi} değerlerinde %20-30 oranında azalma sağlamaktadır. Tespit edilen MET'ler birlikte uygulandığında SAI_{toplam} 'da ortalama %68,5 oranında azalma sağlanabileceği hesaplanmıştır.

3. MATERİYAL ve METOD

3.1. Materyal

Bu çalışma, 1951 yılında kurulan ve Adana Hacı Sabancı Organize Sanayi Bölgesi'nde (AOSB) 200.000 m² alan üzerinde kurulu Türkiye'nin en büyük entegre denim üretimi yapan fabrikalarından birinde, Bossa Ticaret ve Sanayi İşletmeleri Türk Anonim Şirketi'nde (BOSSA) yürütülmüştür. BOSSA faaliyet gösterdiği denim alanındaki ürün yelpazesi, yüksek üretim kapasitesi (yıllık 60x10⁶ m denim kumaş) ve boya-terbiye prosesleriyle pazara yüksek kalitede denim kumaşlar sunmaktadır. Küreselleşme ile değişen tüketici davranışlarının getirdiği yüksek rekabet koşullarını yakalamak ve müşterinin ihtiyacını en iyi şekilde karşılamak amacıyla ISO 9001 Kalite Güvence Sistemi kapsamında toplam kalite uygulama ve çalışmalarına önem vermektedir. Üretilen denim yaklaşık %85'i ihraç edilmektedir. Denim üretiminin ana girdilerini su, enerji, hammaddeler (pamuk, elyaf vb.) ve kimyasallar (boya, asetik asit, sodyum hidroksit vb.) oluşturmaktadır.

Fabrikanın üretim faaliyetlerinde kullandığı ve çalışmaya konu olan su, AOSB Kullanma Suyu Arıtma Tesisi'nden temin edilmektedir. Su kaynağı olarak bölgeye 4,5 km uzaklıkta bulunan Ceyhan Nehri kullanılmaktadır. Nehirden alınan su, ilgili yönetmeliklere uygun olarak arıtmakta ve AOSB tarafından kullanıcılarına iletilmektedir. Kullanım sonucu oluşan atıksular ise AOSB ortak atıksu arıtma tesisinde arıtıldıktan sonra Ceyhan Nehri'ne deşarj edilmektedir. Deşarj kriterleri ÇŞİB tarafından yayımlanmış olan Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde (SKKY) belirtilmektedir (SKKY, 2004). Ceyhan Nehri arıtılmış atıksu deşarj noktasının koordinatları 36,946501, 35,608309'dur (AÇŞM, 2020).

3.2. Metod

3.2.1. Verilerin Toplanması

Tez başlangıcı 2019 yılı olsa da, pandemi döneminde yaşanan kısmi çalışmalar ve üretim dalgalanmalarının neden olacağı belirsizlikleri ortadan kaldırmak ve fabrikanın normal çalışma düzenine ait verileri kullanabilmek adına normalleşme sürecinin başladığı yıl olan 2022 yılı verileri, mevcut durum SAI hesaplamalarında kullanılmıştır. Hesaplamalarda fabrikanın bir yıllık su tüketimi, oluşan atıksu miktarı ve özellikleri (dengeleme havuzu çıkışı, 24 saatlik kompozit numune verilerine göre) ile Ceyhan Nehri'nin su özellikleri dikkate alınmıştır. SAI Ağı ve ISO 14046 tabanlı hesaplanan SAI sonuçları ve etki değerleri üretilen birim ton kumaş başına değerlendirilmiştir.

Denim kumaş üretimi sırasında kullanılan temiz su ve oluşan atıksu miktarları ile ilgili veriler sayaçlardan okunarak temin edilmiştir. Sayaç okumalarının yapıldığı günde üretilen denim kumaş miktarı fabrikanın üretim raporundan alınmıştır. Su ve atıksu analizleri numune noktasında ve fabrikada kurulan laboratuvar ortamında yapılmıştır. Bununla birlikte, AOSB ve bağımsız akredite kuruluşların yıl içindeki denetimlerine ait sonuçlar da çalışmada dikkate alınmıştır. ISO 14046 tabanlı SAI'nin etki kategorilerinin hesaplanmasında kullanılan karakteristik faktörler ise

literatürden alınmıştır (Heijungs ve ark., 1992; Yang ve ark., 2020; Qian ve ark., 2021b). Verilerin istatistiksel analizinde/değerlendirilmesinde ve grafiksel görselleştirilmesinde Microsoft Excel programı kullanılmıştır.

3.2.2. Su ve Atıksu Analizleri

TÜ kapsamında BOSSA’da odak noktaları olarak belirlenen alanlar su ve kimyasal tüketiminin yoğun olduğu boyama ve terbiye işletmeleridir. Fabrika içerisinde çeşitli tekniklerle bobin boyama, iplik boyama (halat veya slasher) ve kumaş boyama yapılmaktadır ve proses detayları başlık “1.1.1. Denim Üretim Prosesi”nde açıklanmıştır. Ayrıca ham veya boyanmış halde kumaşlar çeşitli terbiye (apre, sanfor, merserizasyon vd.) işlemlerinden geçirilmektedir. Üretim proseslerinden kaynaklanan ve kanalizasyona deşarj edilen atıksular, ilgili makine/üretim noktasından numuneler alınarak analiz edilmiştir. Proses bilgileri operatör/yetkililerden alınmıştır. Her bir numune için Çizelge 3.1’de verilen bilgiler ve veriler toplanarak kayıt altına alınmıştır.

Çizelge 3.1. Numunesi alınan proses ve ürün bilgileri tablosu

Üretilen Kumaş Türü	Üretim Miktarı (m)	Proses Süresi (saat)	Ön Yıkama Debisi (L/dk)	Son Yıkama Debisi (L/dk)	Toplam Atıksu Miktarı (m ³)	Numunenin Alındığı			
						İşletme	Makine No	Tekne No	Tarih / Saat

Su ve atıksu analizleri Standard Methods (APHA, 2017)’a uygun olarak yapılmıştır. Analiz edilen parametreler ve yöntemler; pH (4500-H⁺ B), sıcaklık (T) (2550 B), elektriksel iletkenlik (Eİ) (2510 B), TÇKM (2510 B), Tuzluluk (2520 B) askıda katı maddeler (AKM) (2540 D), KOİ (5220 C), Renk (2120 C), BOİ (5210 B), toplam azot (TN) (4500-N B), toplam fosfor (TP) (4500-P B, C) ve alkalinite (2320 B) olup, analizler 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Ağır metaller ICP analizi ile belirlenmiştir (Agilent 7700 ICP-MS). Eİ, tuzluluk, TÇKM, pH ve T ölçümleri AZ Instrument 84051 çoklu proba sahip portatif tip multiölçerle yapılmıştır. Renk ölçümleri APHA 2017 Color 2120 C tabanlı Hach DR890 kolorimetre ile yapılmıştır. SAİ’nin çevresel etkisinin hesaplanmasında (ISO 14046) kullanılan ağır metal analizleri, BOİ, TN, TP ve alkalinite analizleri akredite labaratuvar (Bureau Veritas Turkey) yaptırılmıştır.

İlgili işletme/prosesten kaynaklanan atıksu karakterizasyonlarının belirlenmesi için dikkate alınan parametreler şunlardır:

KOİ

KOİ, 1 litre sulu ortamdaki tüm organik maddelerin asidik ortamda kimyasal oksidasyon yoluyla CO₂ ve H₂O'ya parçalanması için gerekli moleküler oksijen miktarı (mg O₂ cinsinden) olarak tanımlanır (Elfeky ve ark., 2022).

Eİ

İletkenlik, sulu bir çözeltinin elektrik akımı taşıma yeteneğinin bir ölçüsüdür. Suyun iletkenliği sudaki iyonların toplam ve bağlı konsantrasyonlarına, hareketliliğine, değerliklerine ve ölçüm sıcaklığına bağlıdır. Suyun iletkenliği ölçülerek, sudaki iyon miktarı yaklaşık olarak tayin edilebilir (APHA, 2017).

TÇKM

Suda bulunan TÇKM konsantrasyonu, suya tat vermede en önemli faktörlerden biridir ve kalsiyum, magnezyum, potasyum ve sodyum gibi önemli iyonların varlığını ifade eder (Guan ve ark., 2022).

pH

pH, hidrojen iyonlarının potansiyeli anlamına gelir. Su numunesinin asidik veya alkali yapısı pH kullanılarak belirlenebilir. Suyun kimyasal bir özelliğidir. Su örneğinin asitliğini veya bazlığını belirtmek için kullanılan ölçek olarak tanımlanır. pH'nın düşük değeri boru hatlarında önemli bir korozyon kaynağı oluştururken, yüksek değeri ise suyu alkali yaparak karbonat, kostik ve bikarbonat alkalinitesine neden olur. pH değeri 0-14 aralığındadır (Agrawal ve ark., 2021).

Tuzluluk

Sudaki çözünmüş tuzların bir göstergesi olarak kullanılır. Numunenin Eİ'si dikkate alınarak dolaylı yünden hesaplanmaktadır. Tuzluluk arttıkça iletkenlik de artar (Agrawal ve ark., 2021).

AKM

AKM ve TÇKM birlikte suda bulunan toplam katıları oluşturur. Bunlar fiziksel su kalite parametreleridir. İnorganik ve organik partiküller suda askıda ve çözünmüş katıların oluşumuna yol açar. Askıda bir katı yapısına bağlı olarak suyu estetik, fiziksel, kimyasal ve biyolojik açıdan hoş olmayan hale getirir. AKM'yi hesaplamak için gravimetrik teknik kullanılmaktadır (Agrawal ve ark., 2021).

Renk

Tekstil endüstrisinde, sentetik renk bileşikler vermiş olduğu renkten dolayı atık sularda tespit edilebilen ilk kirletici olup atıksulardan uzaklaştırılması özel bir öneme sahiptir (Peyghami ve

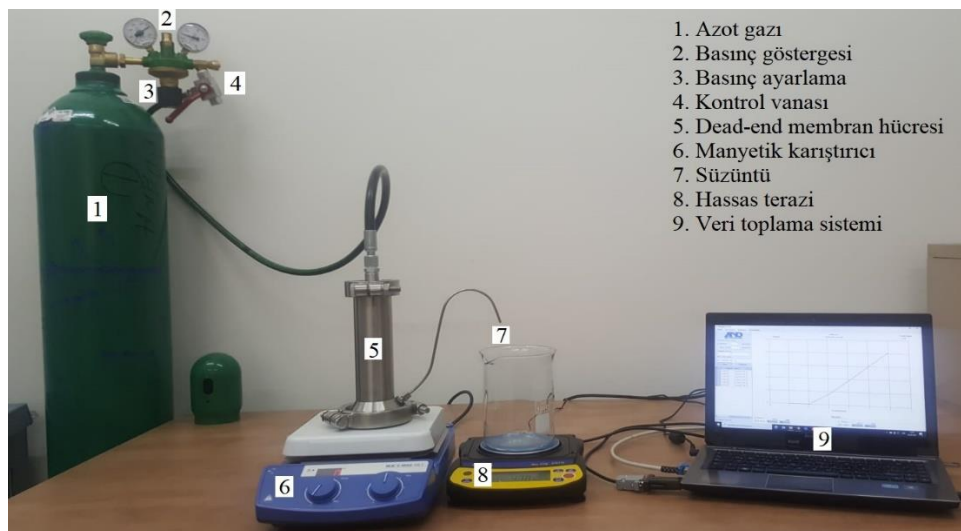
ark., 2021). Rengin başlıca kaynağı boyama ve boya söküm prosesleridir. Boyama prosesinde kullanılan boyar maddeler ekonomik bir değere sahip olduklarından kumaş/ipliğin absorblayabileceği konsantrasyonlarda hazırlanmasına özen gösterilmektedir. Buna rağmen boyama prosesi atıksularında yoğun olarak renk bulunmaktadır. Suda gözlenen herhangi bir renk, çözülebilen organik ve inorganik bileşiklerin varlığını göstermektedir. Bu bileşikler klor ile reaksiyona girdiğinde kanserojen bileşiklerin oluşmasına neden olur. AKM ve TÇKM suda insan sağlığına zararlı olan farklı renklere neden olabilmektedir. Renk oluşturan organik bileşikler, sudaki klor ihtiyacını artırarak dezenfektan etkinliğini azaltır. Herhangi bir su örneğinin rengi çıplak gözle kolayca tespit edilebilir ve referans değere göre değerlendirilebilir (Agrawal ve ark., 2021).

3.2.3. Ön Arıtma

Tekstil atıksularının membran teknolojileri ile yeniden kullanılabilirliğinin araştırıldığı başlık altında ön arıtma olarak koagülasyon prosesi tercih edilmiştir (Gergin ve Cuci, 2017; Chang ve ark., 2019; Naveed ve ark., 2021; Ćurić ve ark., 2021b). Koagülasyon deneyleri Jar-Test cihazında (MTOPS SF4) gerçekleştirilmiş, koagülant olarak ise ticari kullanımları yaygın olan Al^{+3} ($Al_2O_3 \cdot 16H_2O$) tuzu kullanılmıştır. Hızlı karıştırma 3 dk (300 devir/dk), yavaş karıştırma 30 dk (50 devir/dk) ve çökeltme süresi 30 dk olarak uygulanmıştır. Çökeltme işlemi sonrası 800 mL hacimli beherlerden 2/3 oranında sifonlama yöntemi ile numune alınarak çıkış suyu kalitesi için analizler yapılmıştır.

3.2.4. Membran Filtrasyon Prosesi ve Süzüntü Akı Hesabı

Membran filtrasyonun akı hesabı için yapılan deneysel çalışmalar, “*dead-end membrane filtration system*” adı verilen laboratuvar ölçekli yüksek basınç membran prosesinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Membran Filtrasyon İçin Kullanılan Deney Düzenliği

Deney düzeneği bir adet 300 mL kapasiteli basınçlı membran hücresi, bir adet azot tüpü, iki kademeli azot tüpü regülatörü, emniyet vanası, bağlantı ekipmanları ve hortumları, hassas terazi, manyetik karıştırıcı ve veri toplamak için bilgisayardan oluşmaktadır. Süzüntü suyu miktarının hesabında, hassas terazide zamana bağlı ölçülen ağırlıklar “*AND-RsWeight*” programı vasıtasıyla bilgisayara aktarılarak kaydedilmiştir. Kaydedilen veriler “*Excel*” programına aktarılarak membran akıları Eşitlik 3.1 (Aydiner ve ark., 2016) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$J = \frac{1}{A} \frac{dV}{dt} \quad (3.1)$$

Burada; J : Membrandan geçen süzüntü suyu akısını (L/m²·saat)
 A : Etkili membran alanını (m²)
 V : Membrandan geçen suyun hacmini (m³)
 t : Filtrasyon süresini (saat) göstermektedir.

Çalışmada kullanılan membranlar laboratuvar ölçekli ve ticari UF (UP150), NF (NF270) ve TO (XLE) membranlarıdır. Her membran için aktif filtreleme alanı 0,000832 m²'dir. Membranlara ait özellikler Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. UF, NF, TO membranlarının özellikleri

Membran	UF	NF	TO
Membran türü	UP150	NF270	XLE
Üretici firma	Microdyn Nadir	Dow-FilmTec	Dow-FilmTec
Üretim yeri	Almanya	Amerika	Amerika
Malzeme	Polimer PES	Poliamid ince film	Poliamid ince film
MWCO (Da)	150.000	200-400	100
Basınç (bar)	2	4,8	8,6
Maksimum basınç (bar)	-	41,4	41,4
PH	0-14	3-10	2-11
Maksimum sıcaklık (°C)	95	45	45

Geri kazanım oranı, Eşitlik 3.2 kullanılarak hesaplanmıştır (Couto ve ark., 2017).

$$\text{Geri kazanım oranı} = \frac{Q_P}{Q_F} \times 100 \quad (3.2)$$

Burada; Q_P : Süzüntü debisini (L/saat)
 Q_F : Besleme debisini (L/saat) göstermektedir.

Membran Otopsis

Membran performansındaki düşüş, farklı nedenlerle membranın kullanılamaz hale gelmesi ya da membranın kullanım ömrünü tamamlaması gibi problemlerin kaynağını tespit etmek için yapılan fiziksel ve kimyasal analizler membran otopsis olarak adlandırılır (Koyuncu ve ark., 2018c; Sarıgüznel, 2023). Membran üzerinde biriken kirlleticilerin özelliklerini bilmek, en uygun temizleme prosedürünü seçmek açısından da önemlidir. Bu çalışmada da her membran için membran üzerinde biriken kirleticilere ait fikir edinmek amacıyla morfolojik analizler yapılmıştır. Membran otopsisinde kullanılan ve organik ya da inorganik kirleticileri tanımlayabilen teknikler aşağıda açıklanmıştır (Işık ve ark., 2022; Eryildiz ve ark., 2023)

- **SEM** (Taramalı Elektron Mikroskobu) ve **SEM-EDX** (Enerji Dağıtılmış X-ray ile birleştirilmiş Taramalı Elektron Mikroskobu); sırasıyla membran örneklerinin yüzeyinin görüntülenmesinde ve her bir membranın yüzeyindeki element bileşiminin (inorganik kirleticiler) belirlenmesinde kullanılmıştır.
- **FTIR** (Fourier Dönüşümü Kızılötesi Spektroskopisi) her bir membranın yüzeyinde biriken maddelerin organik bağlarını belirlemek için kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan membranların SEM ve FTIR analizleri Çukurova Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı'nda (ÇÜMERLAB) yaptırılmıştır. SEM analizleri için FEI marka Quanta 650 Field Emission SEM model, FTIR analizleri için Jasco marka FT/IR-6700 model ölçüm cihazları kullanılmıştır.

3.2.5. Maliyet Analizi

Maliyetler, nasıl belirlendiklerine bakılmaksızın, sermaye/yatırım maliyeti veya işletme/bakım maliyeti olarak iki başlık altında değerlendirilebilir. Tam ölçekli bir membran kurulumu için işletme giderleri ağırlıklı olarak enerji ve kimyasal giderleri, kritik bileşen değişimi (membran), su temini ve atık su deşarj ücretleri, işçilik ve servis gibi diğer kalemler tarafından belirlenir. Sermaye/yatırım giderleri ise tüm ekipmanları, inşaat mühendisliğini, mekanik/elektrik yatırımlarını, danışmanlık gibi proje/kurulum hizmetlerini ve arazi maliyetlerini içerecek şekilde hesaplanır (Judd, 2017). Guo ve ark., (2014) farklı arıtım yöntemleri (aktif çamur, MBR, koagülasyon/flokülasyon, TO, UF, mineralizasyon, granüler aktif karbon) için bir dizi model geliştirmişlerdir. Bu modeller sadece giriş debisine göre maliyet hesabı yapmaktadır. Dolayısıyla verilen yöntemler için maliyet fonksiyonlarının evrensel olmadığını, bu modellerin yerel inşaat gereksinimlerini, farklı giriş ve çıkış suyu kalitelerini, sistem yapılarını (arıtma senaryolarına) ve su/atıksu arıtım özelliklerini dikkate almadığı için sonuçların büyük ölçüde sapacağını bildirmişlerdir. Bu nedenle bu çalışmada sunulan MET'lerin maliyet analizleri giriş/çıkış suyu

özelliklerinin, proses gereksinimlerinin dikkate alındığı yöntemler ve bu yöntemlere ait eşitlikler kullanılarak tahmin edilmeye çalışılmış olup aşağıda başlıklar halinde verilmiştir.

Koagülasyon Prosesi Maliyet Analizi

- **İnşaat Maliyeti**

Koagülasyon prosesi inşaat maliyetleri için (koagülant, asit/baz, hızlı ve yavaş karıştırma tankları, çökeltme havuzu) aşağıda verilen genelleştirilmiş inşaat maliyeti eşitlikleri (Eşitlik 3.3-3.8) kullanılmıştır (Sharma, 2010; Sarıgöz, 2023).

Koagülasyon prosesi toplam inşaat maliyeti (M_{KI}):

$$M_{KI} = M_{Ai} + M_{Si} + M_{HKi} + M_{YKi} + M_{Çi} \quad (3.3)$$

Burada;

- M_{Ai} : Kuru alüm besleme sistem maliyetini
- M_{Si} : Sülfürik asit besleme sistem maliyetini
- M_{HKi} : Hızlı karıştırma ($G=900 \text{ sn}^{-1}$) sistem maliyetini
- M_{YKi} : Yavaş karıştırma yatay kanat sistemi ($G=80 \text{ sn}^{-1}$) sistem maliyetini
- $M_{Çi}$: Dikdörtgen çökeltme havuzu maliyetini göstermektedir.

Kuru alüm besleme sistemi inşaat maliyeti; %41 üretilmiş ekipman, %4 emek, %5 borular-valflar, %3 elektrik-techizat ve %47 muhafaza maliyetlerinden oluşmaktadır.

$$M_{Ai} = 240,78x^2 + 71.071 \quad (3.4)$$

Burada; x: Besleme kapasitesini (pound/saat), (x:10 ila 5.000) göstermektedir.

Sülfürik asit besleme sistemi inşaat maliyeti; %33 üretilmiş ekipman, %7 emek, %3 borular-valflar %6 elektrik-techizat ve %51 muhafaza maliyetlerinden oluşmaktadır.

$$M_{Si} = -0,0029x^2 + 48,434x + 22.648 \quad (3.5)$$

Burada; x: Besleme kapasitesini (galon/gün), (x: 10 ila 5.000) göstermektedir.

Hızlı karıştırma sistemi inşaat maliyeti; %2 kazı ve saha çalışmaları, %68 üretilmiş ekipman, %5 beton, %5 çelik, %16 emek ve %4 elektrik-techizat maliyetlerinden oluşmaktadır.

$$M_{HKİ} = 0,0002V_{Hızlı}^2 + 55,433V_{Hızlı} + 29.756 \quad (3.6)$$

Burada; $V_{Hızlı}$: Hızlı karıştırma toplam havuz hacmini (ft³), ($V_{Hızlı}$: 100 ila 20.000) göstermektedir.

Yavaş karıştırma sistemi inşaat maliyeti; %4 kazı ve saha çalışmaları, %35 üretilmiş ekipman, %11 beton, %12 çelik, %30 emek ve %8 elektrik-techizat maliyetlerinden oluşmaktadır.

$$M_{YKİ} = 0,000004V_{Yavaş}^2 + 9,3239V_{Yavaş} + 160.468 \quad (3.7)$$

Burada; $V_{Yavaş}$: Yavaş karıştırma toplam havuz hacmini (ft³), ($V_{Yavaş}$: 1.800 ila 1.000.000) göstermektedir.

Çökeltme sistemi inşaat maliyeti; %4 kazı ve saha çalışmaları, %26 üretilmiş ekipman, %11 beton, %22 çelik, %24 emek, %12 borular-valflar ve %1 elektrik-techizat maliyetlerinden oluşmaktadır.

$$M_{Çİ} = -0,0031z^2 + 155,61z + 78.329 \quad (3.8)$$

Burada; z : Yüzey alanını (ft²), (z : 240 ila 4800) göstermektedir.

• İşletme Maliyeti

Koagülasyon prosesinin kimyasal madde (koagülant-asit-baz), enerji ve çamur bertarafı gibi işletme ve bakım maliyet analizleri Eşitlik 3.9-3.17 kullanılarak yapılmıştır (Kutluay, 2005; Cañizares ve ark., 2009; Oke, 2014; Sarıgüznel, 2023).

İşletme maliyeti analizinde kullanılan koagülant ve sülfirik asit fiyatları açık erişim bir internet sitesinden (Anonim 11) alınmıştır ve sırasıyla 0,35 \$/Kg (0,322 €/kg), 0,30 \$/Kg (0,276 €/kg)'dır (1€=1,09\$=37,17₺). 2024 yılı için fabrikanın elektrik birim maliyeti ortalama 2,823 ₺/kWh (0,076 €/kWh)'dır. 1 ton çamur için bertaraf ücreti ise 40 \$ (=0,0367 €/kg) olarak piyasada arıtma işi yapan bir firmadan teklif usulü alınmıştır.

Koagülant maliyeti:

$$M_{alüm} = Q_F C_{alüm} a \quad (3.9)$$

Burada; $M_{Alüm}$: Koagülant (alüm) maliyetini (€)

Q_F : Besleme debisini (L/saat)
 $C_{\text{alüm}}$: Alüm dozunu (mg/L)
 a : Koagülant fiyatını (€/Kg) göstermektedir.

Sülfürik asit maliyeti:

$$M_{\text{sülfürik asit}} = Q_F C_{\text{sülfürik asit}} e \quad (3.10)$$

Burada; $M_{\text{sülfürik asit}}$: Sülfürik asit maliyetini (€)
 $C_{\text{sülfürik asit}}$: Sarfedilen sülfürik asit miktarını (L/gün)
 e : Sülfürik asit fiyatını (€/Kg) göstermektedir.

Enerji maliyeti:

$$M_{\text{enerji}} = P_K b \quad (3.11)$$

Burada; M_{enerji} : Enerji maliyetini (€)
 P_K : Karıştırma gücünü (W)
 b : Elektrik fiyatını (€/kWh) göstermektedir.

$$P_K = G^2 \mu V_T \quad (3.12)$$

Burada; G : Hız gradyanını (Sn^{-1})
 μ : Suyun viskozitesini (Pa.sn), 25°C için $\mu=8,90 \times 10^{-4}$
 V_T : Hızlı ve yavaş karıştırma için tank hacmini (m^3) göstermektedir.

Çamur bertaraf maliyeti:

$$M_{\text{çamur}} = P_{\text{çamur}} f \quad (3.13)$$

Burada; $M_{\text{çamur}}$: Çamur bertaraf maliyetini (€)
 $P_{\text{çamur}}$: Oluşan toplam çamur miktarını (Kg/gün)
 f : Çamur bertaraf fiyatını (€/kg) göstermektedir.

Çamur miktarı (Şekerdağ, 2016; Sarıgüznel, 2023):

$$P_{\text{çamur}} = P_{\text{AKM}} + P_{\text{Alüm}} \quad (3.14)$$

Burada; P_{AKM} : AKM'den oluşan çamur miktarını (kg/gün)
 $P_{\text{Alüm}}$: Alüm'den oluşan çamur miktarını (kg/gün) göstermektedir.

$$P_{\text{AKM}} = Q_F C_{\text{AKM}} R_{\text{AKM}} \quad (3.15)$$

Burada; C_{AKM} : Sudaki AKM miktarını (mg/L)
 R_{AKM} : AKM giderimini (%) göstermektedir.

$$P_{\text{Alüm}} = \frac{MA_{\text{Alüm}}}{MA_{\text{AL(OH)}_3}} CtE \quad (3.16)$$

Burada; $MA_{\text{AL(OH)}_3}$: Alüminyum hidroksitin molekül ağırlığını
 $MA_{\text{Alüm}}$: Alüm molekül ağırlığını
 Ct : Teorik olarak günlük alüm tüketimini (kg/gün)
 E : Emniyet katsayısını (1,1) göstermektedir.

Çamur debisi:

$$Q_{\text{çamur}} = \frac{P_{\text{çamur}}}{\%kM \rho_{\text{çamur}}} \quad (3.17)$$

Burada; $Q_{\text{çamur}}$: Çamur debisini (m³/gün)
 $\rho_{\text{çamur}}$: Çamur yoğunluğunu (Kg/m³) [1030 Kg/m³ olarak kabul edilmiş]
 $\%kM$: Çamurun yüzde kuru madde miktarını [%3 olarak kabul edilmiş]
göstermektedir.

Membran Sistemlerinde Ölçek Büyütme

Ölçek büyütme işlemi, laboratuvar süreçlerinde elde edilen veriler doğrultusunda saha ölçeğine uygun filtrasyon ekipmanı, filtre boyutu ve proses parametrelerinin seçimi için uygulanan bir mühendislik yaklaşımıdır (Haindl ve ark., 2020). Bunun için birim zamanda toplanan süzüntü hacim verileri ile hesaplanan “t/v” değerleri zamana karşı grafiğe geçirilir. Akı değişiminin daha doğrusal bir grafik oluşturduğu son veriler (örneğin en son ölçülen on veri gibi) korelasyon hesabında kullanılır ve korelasyon katsayısı $R^2 > 0,99$ olmalıdır. Membrandan geçecek maksimum hacim (V_{max} (L)) değeri, grafik eğiminin tersine eşittir (Lilley, 2005). Hesaplanan “ V_{max} ” değeri, etkin membran filtre alanına bölünerek birim alandan geçen maksimum hacim [V_{max} (L/m²)] belirlenir. Membran

prosesler için laboratuvar ölçeğinden endüstri ölçeğine büyütmek için gereken toplam filtre alanı Eşitlik 3.18 ile hesaplanır (EMD Millipore, 2014; Kundu ve ark., 2019; Haindl ve ark., 2020).

$$A_{toplam} = \frac{V_{proses}}{V_{max}} \times GF \quad (3.18)$$

Burada ; A_{toplam} : Toplam filtre alanını (m²)
 V_{proses} : Proses hacmini (m³)
 V_{max} : Birim alandan filtre edilen maksimum hacmi (L/m²)
 GF : Güvenlik Faktörünü (1,5 olarak kabul edilmiştir) göstermektedir.

Gereken membran sayısı ($n_{membran}$) ise Eşitlik 3.19 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$n_{membran} = \frac{V_{proses}}{A_{toplam}} \quad (3.19)$$

Membran Proseslerde Maliyet Analizi

Membran proses toplam maliyeti Çizelge 3.3'te yapılan kabuller çerçevesinde “*Verberne maliyet modeli*” kullanılarak ilk yatırım ve işletme/bakım maliyet hesaplama formülleri ile tahmin edilmiştir (Ali ve ark., 2005; Ang ve ark., 2017; Koyuncu ve ark., 2018a, Sarıgüznel, 2023).

Çizelge 3.3. Membran proses maliyet analizinde yapılan kabuller

Açıklama	Birim	Kabul Değeri
Amortisman süresi (inşaat)	Yıl	30
Amortisman süresi (mekanik, elektronik)	Yıl	15
Membran ömrü	Yıl	5
Membran modül fiyatı	€	1000
Elektrik maliyeti	€/kWh	0,078
Membran sisteminin m ³ başına tükettiği enerji	Wh/m ³	40
Geri yıkama için kimyasalın maliyeti	€/m ³	0,025
Bakım maliyetleri		Yatırım maliyetinin %2'si
İşletme maliyetleri		Yatırım maliyetinin %4'ü

- İlk Yatırım Maliyetleri**

İlk yatırım maliyetleri, direkt ve dolaylı ilk yatırım maliyeti olmak üzere iki kategoride incelenir. Direkt ilk yatırım maliyetleri, projelendirme ve mühendislik, arazi temini ve düzenlemesi, altyapı işleri, ekipmanlar ve membranların maliyetini kapsarken, dolaylı ilk yatırım maliyetleri ise inşaat ve diğer giderleri kapsar (Ali ve ark., 2005; Ang ve ark., 2017; Koyuncu ve ark., 2018b; Rajendran ve ark., 2021; Sarıgüznel, 2023).

İnşaat yatırımları maliyeti Eşitlik 3.20 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$M_{in\text{şaat}} = 862Q_F + 1239 n_{membran} \quad (3.20)$$

Burada; Q_F : Besleme debisini (m³/saat) göstermektedir.
Mekanik mühendislik maliyeti Eşitlik 3.21 kullanılarak hesaplanmıştır

$$M_{mek} = 3608 Q_F^{0,85} + 908 n_{membran} \quad (3.21)$$

Elektroteknik yatırımlar maliyeti Eşitlik 3.22 kullanılarak hesaplanmıştır

$$M_{elektro} = 1,4 \times 10^6 + 54. P. Q_F \quad (3.22)$$

Burada; P : İşletme basıncını (bar) göstermektedir.

Membran yatırımları maliyeti Eşitlik 3.23 kullanılarak hesaplanmıştır

$$M_{membran} = c \times n_{membran} \quad (3.23)$$

Burada; c : Membran modül fiyatını (€) göstermektedir.

Toplam yatırım maliyeti Eşitlik 3.24 kullanılarak hesaplanmıştır

$$M_{toplam} = M_{yatırım} + M_{in\text{şaat}} + M_{mek} + M_{elektro} + M_{membran} \quad (3.24)$$

- ***İşletme ve Bakım Maliyetleri***

Membran proseslerin işletme ve bakım maliyetleri başlıca enerji giderleri, membran değişimi ve kullanılan kimyasal maddelerin maliyetlerinden oluşur. Enerji maliyeti, besleme suyu pompaları, yüksek basınç pompaları ve dozaj pompalarının tükettiği enerjiden kaynaklanmaktadır (Özkan, 2007; Koyuncu ve ark., 2018b; Sarıgüznel, 2023). Membranlar işletme maliyetlerini etkileyen başlıca unsurdur. Membranların kullanım ömürleri arıtılan suyun özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Kimyasal maddelerin maliyeti ise, ön arıtma ve membran sisteminde geri yıkama işlemleri için kullanılan kimyasalları içermektedir (Akgül, 2006; Koyuncu ve ark., 2018b; Sarıgüznel, 2023). İşletme ve bakım maliyetleri Eşitlik 3.25-3.31 kullanılarak hesaplanmıştır (Ali ve ark., 2005; Ang ve ark., 2017; Koyuncu ve ark., 2018b; Rajendran ve ark., 2021; Sarıgüznel, 2023).

Amortisman maliyeti Eşitlik 3.25 kullanılarak hesaplanmıştır

$$M_{amortisman} = \frac{M_{in\text{saat}}}{Amor_{in\text{saat}}} + \frac{(M_{mek} + M_{elektro})}{Amor_{mek/elek}} + \frac{M_{membran}}{Membran \text{ ömrü}} \quad (3.25)$$

Burada; $Amor_{in\text{saat}}$: İnşaat amortisman süresini (yıl)
 $Amor_{mek/elek}$: Mekanik ve elektronik amortisman süresini (yıl)
göstermektedir.

Enerji maliyeti Eşitlik 3.26 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$M_{enerji} = k \cdot P \cdot Q_F \times \frac{b}{1000} \times 24 \times 365 \quad (3.26)$$

Burada; k : Membran sistemi tükettiği enerjiyi (Wh/m³)
 b : Elektrik fiyatını (€) göstermektedir.

Kimyasal madde maliyeti Eşitlik 3.27 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$M_{kimyasal} = d \times Q_F \times 24 \times 365 \quad (3.27)$$

Burada; d : Geri yıkama için kullanılan kimyasalın maliyetini (€)
göstermektedir.

Toplam sarfiyat maliyeti Eşitlik 3.28 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$M_{sarfiyat} = M_{enerji} + M_{kimyasal} \quad (3.28)$$

Bakım maliyetleri Eşitlik 3.29 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$M_{bakım} = \%2 \cdot M_{yatırım} \quad (3.29)$$

Spesifik işletme maliyetleri Eşitlik 3.30 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$M_{spesifik} = \%4 \cdot M_{yatırım} \quad (3.30)$$

Toplam işletme maliyeti Eşitlik 3.31 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$M_{işletme \text{ bakım}} = M_{amortisman} + M_{sarfiyat} + M_{bakım} + M_{spesifik} \quad (3.31)$$

3.2.6. Su Ayak İzi Hesaplama Yöntemleri

Sistem Sınırının Belirlenmesi

Sistem sınırı, raporlama birimine ve çalışmanın amacına göre çalışmaya dahil edilecek birim süreçlerini belirtir (Forin ve ark., 2020). Sistem sınırı çalışmanın amacı doğrultusunda girdi ve çıktılarının temel akışlarını kapsayacak şekilde modellenmelidir. Çalışmada hangi birim süreçlerin modelleneceği ve bu birim süreçlerin hangi ayrıntı düzeyinde inceleneceği konusunda kararlar alınmalıdır (Suh ve ark., 2004). Çalışma kapsamının aşamasına göre sistem sınırı “beşikten mezara”, “beşikten kapıya”, “beşikten beşiğe” ve “kapıdan kapıya” olmak üzere gruplandırılmaktadır. “Beşikten mezara” bir ürün ya da sürecin tüm yaşam döngülerini kapsayan analiz çalışmaları için kullanılan bir tanımlama olup hammadde eldesinden (beşik) ürünün son kullanıcısı tarafından atık haline (atık bertarafı dahil) getirilinceye kadar (mezar) geçilecek tüm süreçleri içine alır. “Beşikten kapıya” bir ürün ya da süreci, ham madde eldesinden (beşik) itibaren işleneceği fabrikaya (kapı) getirilinceye kadar olan süreçleri kapsar. “Beşikten mezara” yaklaşımının en son yaşam döngüsü olan atık tasfiyesi aşamasında atıkların geri kazanımı söz konusu ise bu “beşikten beşiğe” yaklaşımı olarak anılmaktadır. “Kapıdan kapıya” ise bir ürün ya da sürecin herhangi bir aşamasına (üretim, kullanım, bertaraf vb.) ait değerlendirmesinin yapıldığı bir yaklaşımdır (Dikbaş ve Mezarcıöz, 2019). Bu çalışmada da sistem sınırı, denim kumaş üretiminin yapıldığı fabrika içindeki üretim süreçleri dikkate alınarak “kapıdan kapıya” olarak belirlenmiştir.

Su Ayak İzi Ağı Hesaplama Yöntemi ile Hacimsel Su Ayak İzinin Hesaplanması

SAİ Ağı yöntemi ile yapılacak SAİ değerlendirmesinde dört aşamalı bir yol izlenmektedir. İlk aşama hedef ve kapsamın belirlenmesidir. Bu aşamada en önemli soru, çalışmanın ne tür bir ayrıntıyı aradığıdır. Birçok farklı amaç için SAİ değerlendirme çalışması yapılabilmektedir. Her amaç kendi analiz kapsamını gerektirmekte ve varsayımlarda bulunurken farklı seçimlere izin vermektedir. Verilerin toplandığı ve hesapların geliştirildiği ikinci aşamada SAİ muhasebe süreçleri analiz edilerek adım adım veya genel tüketim verileri üzerinden hesaplamalar yapılmaktadır. Üçüncü aşamada sonuçlar çevresel ve ekonomik olarak değerlendirilerek sürdürülebilirlik açısından incelenmektedir. Son aşamada ise elde edilen sonuçlara göre müdahale seçenekleri, stratejiler ve politikalar formüle edilmektedir (Hoekstra ve ark., 2011).

SAİ içerisinde SAİ kavramı değerlendirilirken kullanılan su kaynağı önem arz etmektedir. Bu kapsamda malların ve hizmetlerin üretiminde tüketilen su doğrudan yağışlardan veya toprak neminden karşılanıyorsa $SAİ_{yeşil}$, yüzey veya yeraltı suyu kaynaklarından karşılanıyorsa $SAİ_{mavi}$ olarak tanımlanmaktadır. Malların ve hizmetlerin üretimi ile ilişkili kirli su hacminin ihtiva ettiği kirletici konsantrasyonunu, su kalitesi standartlarının üzerinde kalacak şekilde seyreltmek için gereken su hacminin ölçüsü ise $SAİ_{gri}$ ’yi oluşturmaktadır. $SAİ_{yeşil}$, $SAİ_{mavi}$ ve $SAİ_{gri}$ ’nin toplamı $SAİ_{toplam}$ olarak değerlendirilmektedir (Hoekstra ve ark., 2011; Berger ve ark., 2021). Çalışma

kapsamı içerisinde üretim faaliyetlerinde doğrudan yağışlardan elde edilen su kullanılmadığı için $SAİ_{yeşil}$ bu çalışmada hesaplanmamıştır.

$SAİ$, ihtiyaç duyulan veri miktarına ve $SAİ$ bilgisine ne düzeyde ihtiyaç duyulduğuna bağlı olarak bir ihtiyacın süresi (günlük veya aylık veya yıllık) ve/veya ürün biriminin kütlesi başına hacim cinsinden (litre/kg veya m^3 /ton ürün) olmak üzere çeşitli şekillerde hesaplanabilir ve ifade edilebilir (Kumar ve ark., 2021b).

a) $SAİ_{mavi}$ 'nin Hesaplanması

$SAİ$ Ağı tabanlı $SAİ_{mavi}$ 'nin hesaplama denklemi Eşitlik 3.32'de verilmiştir.

$$SAİ_{mavi} = \sum_{i=1}^n Q_i \quad (3.32)$$

Burada; i: Her bir proses adımını (haşılama, boyama, terbiye vb.),
 Q_i : Her bir prosesin tükettiği (buharlaştıran ve deşarj edilen dahil) su miktarını (m^3) göstermektedir (Hoekstra ve ark., 2011; Chen ve ark., 2021a).

b) $SAİ_{gri}$ 'nin Hesaplanması

$SAİ$ Ağı tabanlı $SAİ_{gri}$ 'nin hesaplama denklemi Eşitlik 3.33'te verilmiştir.

$$SAİ_{gri} = maks \left(\frac{L}{(c_{maks} - c_{nat})} \right) \quad (3.33)$$

$SAİ_{gri}$, kirletici yükünün (L , kütle/zaman), o kirletici için ortam su kalitesi standardı (c_{maks} , kütle/hacim olarak maksimum kabul edilebilir konsantrasyon) ile alıcı su kütlesindeki doğal konsantrasyonu (c_{nat} , kütle/hacim) arasındaki farka bölünerek hesaplanmaktadır (Hoekstra ve ark., 2011; Feng ve ark., 2022).

ISO 14046 Çevresel Etkiler Kapsamında Su Ayak İzi Kategorilerinin Hesaplanması

ISO 14046, $SAİ$ 'yi YDD kavramı içinde suyla ilgili potansiyel çevresel etkileri değerlendiren bir ölçü olarak tanımlamaktadır (ISO 14046, 2014). Bu kapsamda bir ürün, süreç veya kuruluş tarafından kullanılan veya etkilenen suyla ilgili girdilerin, çıktıların ve potansiyel çevresel etkilerin derlenmesine ve değerlendirilmesine odaklanmaktadır. ISO 14046'da potansiyel çevresel etkilerin değerlendirilmesi ve farklı ölçeklerde su tüketimine/kirliliğine en çok katkıda bulunan faktörlerin belirlenmesi için su kıtlığı ayak izi ($SAİ_{kıt}$), su ötrofikasyonu ayak izi ($SAİ_{otr}$), su bozunması ayak izi ($SAİ_{boz}$), su ekotoksitesite ayak izi ($SAİ_{eko}$) (Bai ve ark., 2018), su asitlenmesi ayak izi ($SAİ_{asit}$) ve su alkalizasyonu ayak izi ($SAİ_{alk}$) gibi farklı etki kategorileri hesaplanmaktadır (Zhu

ve ark., 2020a). Bir anlamda, çeşitli özel değerlendirme yöntemlerine izin veren ISO 14046 daha geniş bir SAI kavramı sunmaktadır (Bai ve ark., 2018).

a) SAI_{kit} 'in Hesaplanması

SAI_{kit} (m^3 H₂O-eş.), bir işletmenin bir bölgedeki/havzadaki faaliyetlerinden kaynaklanan su kısıtlılığı ile ilgili potansiyel çevresel etkilerini değerlendirmek için kullanılmaktadır. Bu değerlendirmede su kalitesi özellikleri dikkate alınmamaktadır. Belirli bir alan içinde faaliyet gösteren tesislerin dönemlik SAI_{kit} değeri her bir tesisin ilgili dönem içinde kullandığı tatlı su miktarı (V_i (m^3)) ile tesis yerindeki su kısıtlılığının göstergesi olan yerel bir karakteristik faktörün ($F_{SKF,i}$) çarpılmasıyla hesaplanmaktadır SAI_{kit} 'in hesaplama denklemi Eşitlik 3.34'te verilmiştir (Pfister ve ark., 2009; Bai ve ark., 2018).

$$SAI_{kit} = \sum_{i=1}^n (F_{SKF,i} * V_i) \quad (3.34)$$

b) SAI_{otr} 'ün Hesaplanması

SAI_{otr} (kg PO₄⁻³-eş.), bir işletmenin N, P ve C kirleticilerini su kütlelerine boşaltmasından kaynaklanan potansiyel çevresel etkilerini değerlendirmek için kullanılmaktadır. $F_{otr,i}$ (kg PO₄⁻³-eş./ $kg_{kirletici}$), ötrofikasyona neden olan kirleticinin karakteristik faktörünü, m_i ise bu kirleticinin miktarını (kg) ifade etmektedir. SAI_{otr} 'in hesaplama denklemi Eşitlik 3.35'te verilmiştir (Bai ve ark., 2018; Zhu ve ark., 2020a).

$$SAI_{otr} = \sum_{i=1}^n (F_{otr,i} * m_i) \quad (3.35)$$

c) SAI_{eko} 'nun Hesaplanması

SAI_{eko} (m^3 H₂O-eş.), maksimum tolere edilebilir konsantrasyona dayalı olarak sucul ekosistemdeki su ortamı üzerinde potansiyel ekotoksosite etkisini ölçmek için kullanılır. $F_{eko,i}$ (m^3 H₂O-eş./ $kg_{kirletici}$), kirletici i'nin karakteristik faktörü ve m_i kirletici i'nin emisyon miktarıdır (kg). SAI_{eko} 'nun hesaplama denklemi Eşitlik 3.36'da verilmiştir (Zhu ve ark., 2020a; Qian ve ark., 2021a).

$$SAI_{eko} = \sum_{i=1}^n (F_{eko,i} * m_i) \quad (3.36)$$

d) SAI_{alk} 'in Hesaplanması

Boyama ve terbiye işlemleri sırasında büyük miktarda alkali atıksu deşarj edilerek ciddi bir çevresel etkiye neden olmaktadır. $F_{alk,i}$ (kg OH⁻-eş./ $kg_{kirletici}$), kirletici i'nin karakteristik faktörü ve m_i , kirletici i'nin emisyon miktarıdır (kg). SAI_{alk} (kg OH⁻-eş.)'in hesaplama denklemi Eşitlik 3.37'de verilmiştir (Qian ve ark., 2021a).

$$SAI_{alk} = \sum_{i=1}^n (F_{alk,i} * m_i) \quad (3.37)$$

Ürün Su Ayak İzi

$SAI_{ürün}$, ürünü üretmek için doğrudan veya dolaylı olarak kullanılan ve kirletilen toplam tatlı su miktarının bir ölçüsüdür. Kapsamlı bir su miktarı ölçümü ve su kalitesi değerlendirmesidir. Su miktarı ölçümü, endüstriyel süreçler sırasında tüketilen ve/veya kirletilen tatlı suyun miktarının belirlenmesi anlamına gelir (Wang ve ark., 2013b). Üretim zincirinin tüm aşamalarında su tüketimi ve oluşan kirlilik yükü dikkate alınarak tahmin edilmektedir ve hesaplama yöntemi Eşitlik 3.38’de verilmiştir (Hoekstra ve ark., 2011).

$$SAI_{ürün} = \frac{SAI_i}{P_i} \quad (3.38)$$

Burada; SAI_i : i kategorisinde hesaplanan toplam SAI ’yi (m^3 /zaman)
 P_i : Üretim miktarını (m, kg vb./zaman) göstermektedir.

Su Ayak İzi Yoğunluğu

$SAI_{yoğunluk}$ ($SAI_{yoğ}$), SAI ’nin etkisini ekonomik bir bakış açısıyla değerlendirmektedir. Hesaplanan yoğunluk değeri ne kadar yüksek ise birim kazanç için SAI o kadar fazla olmaktadır ve bunun tersi de geçerlidir. $SAI_{yoğ}$ verisi ile aynı ekonomik çıktıyı elde etmek için tüketilen su miktarlarının karşılaştırılması mümkündür (Zhang ve ark., 2019b). Tüketiciye satılan bir ürün, birim para başına diğer ürünlere göre daha fazla su kullanıyorsa, bu ürünün üretiminin su verimliliğinin daha düşük olduğunu göstermektedir. $SAI_{yoğ}$ hesaplama yöntemi Eşitlik 3.39’da verilmiştir (Zhao ve ark., 2010; Xu ve ark., 2018).

$$SAI_{yoğunluk} = \frac{SAI_i}{m_i} \quad (3.39)$$

Burada; SAI_i : i endüstrisinin toplam SAI ’sini (m^3),
 m_i : i endüstrisinin ürün/hizmetten elde ettiği parasal toplam kazancı (₺) göstermektedir.

Hedef sektördeki $SAI_{yoğ,i}$ ’nin daha fazla değerlendirilmesi için, $SAI_{yoğ,i}$ ’nin tüm sektörlerdeki toplam $SAI_{yoğ}$ ’a oranı olarak bir $SAI_{yoğ,y}$ göstergesi oluşturulmuştur. $SAI_{yoğ,y}$, i sektörünün bir yıldaki tüm endüstriyel sektörlerdeki ortalama su verimliliği yoğunluğunu göstermektedir ve Eşitlik 3.40’daki gibi hesaplanmaktadır.

$$SAI_{yoğ,y} = \frac{SAI_i}{m_i} \bigg/ \frac{\sum SAI_i}{\sum m_i} \quad (3.40)$$

$SAI_{yoğ,y}$ ortalamadan yüksek olduğunda, (özellikle $SAI_{yoğ,y} > 1$) i sektörünün su yoğunluğunun yüksek; $SAI_{yoğ,y} < 1$ olduğunda ise i sektörünün ortalamadan daha düşük bir $SAI_{yoğ,y}$ 'ye sahip olduğu sonucuna varılmaktadır (Zhao ve ark., 2010; Xu ve ark., 2018).

3.2.7. UNEP/UNIDO Temiz Üretim Metodolojisi

Gelişmekte olan ülkelere çevre politikaları ve eylemlerinin uygulanmasında yardımcı olmaktan sorumlu olan UNEP, 1972 yılında BM İnsan Çevresi Konferansı'nın (Stockholm Konferansı) ardından kurulmuştur (Timoshenko ve Berman, 2014). UNEP, Dünya'nın atmosferini, deniz ve kara ekosistemlerini, çevresel yönetimi ve yeşil ekonomik kalkınmayı içeren alanlarda, çevre bilimi ve bilgisini teşvik etmek, politika geliştirmek, ağaçlandırma ve sulak alan rehabilitasyonunu sağlamak, çevresel kalkınma projelerini bütçelemek ve uygulamak gibi konularda kılavuzlar hazırlamaktadır. Aynı zamanda uluslararası çevre sözleşmelerinin hazırlanması ile bir dizi bilimsel ve çevresel araştırma da UNEP'in görevleri arasında yer almaktadır (Biermann, 2020). UNEP, BM'nin bir programı olarak yalnızca gönüllü katkılarla finanse edilmektedir.

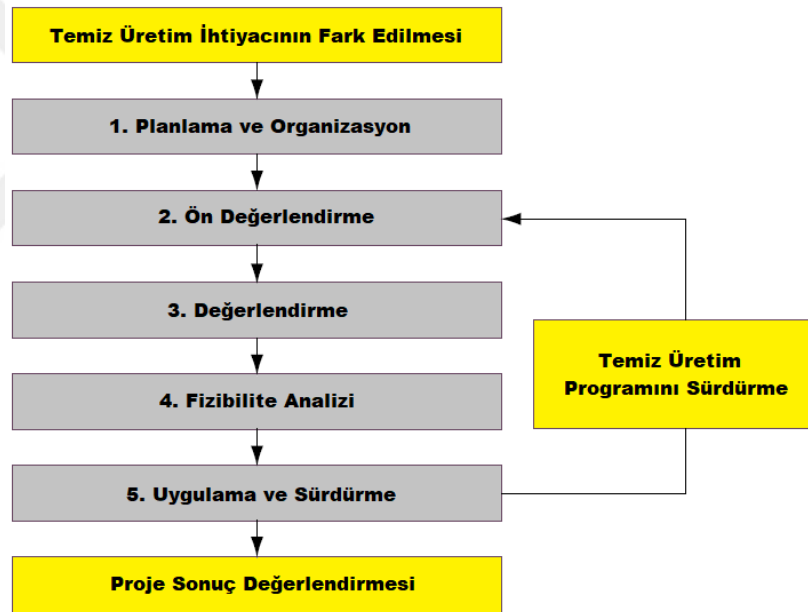
UNIDO, BM bünyesinde kurulmuş, geliştirmekte olan ülkelerde veya geçiş halindeki ekonomilerde endüstriyel kalkınmayı ve uluslararası endüstriyel ilişkilerin gelişimini teşvik etmek ve hızlandırmak amacıyla faaliyet gösteren Viyana merkezli uzmanlaşmış bir kuruluştur (UNIDO, 2002). UNIDO, rekabetçi ve çevre dostu bir endüstrinin ekonomik büyümeyi hızlandırmada, yoksulluğu ortadan kaldırmada ve Bin Yıl Kalkınma Hedeflerine ulaşmada çok önemli bir rolü olduğuna inanmaktadır. Organizasyon, birbiriyle ilişkili üç tematik alanı takip ederek küresel uzmanlık ve inisiyatifin birleşmesiyle dünyadaki yoksullukla mücadelede etmektedir. Bu üç tematik alan aşağıdaki gibidir.

- 1) Üretken faaliyetlerle yoksulluğun ortadan kaldırılması
- 2) Ticari kapasite
- 3) Enerji ve çevre

Bu alanlardaki faaliyetler, UNIDO'nun uzun vadeli vizyon beyanlarında, çalışma planlarında ve ara müfredat çerçevelerinde yansıtılan çok taraflı beyanlarla tam olarak uyumludur (Jasch, 2015). Bununla birlikte UNIDO, özellikle TÜ uygulamalarının hayata geçirilebilmesi için sektörel bazda genel yönetim, yerel irtibat ve endüstriyel teknik uzmanlığın sağlanmasından sorumludur (UNIDO, 2002).

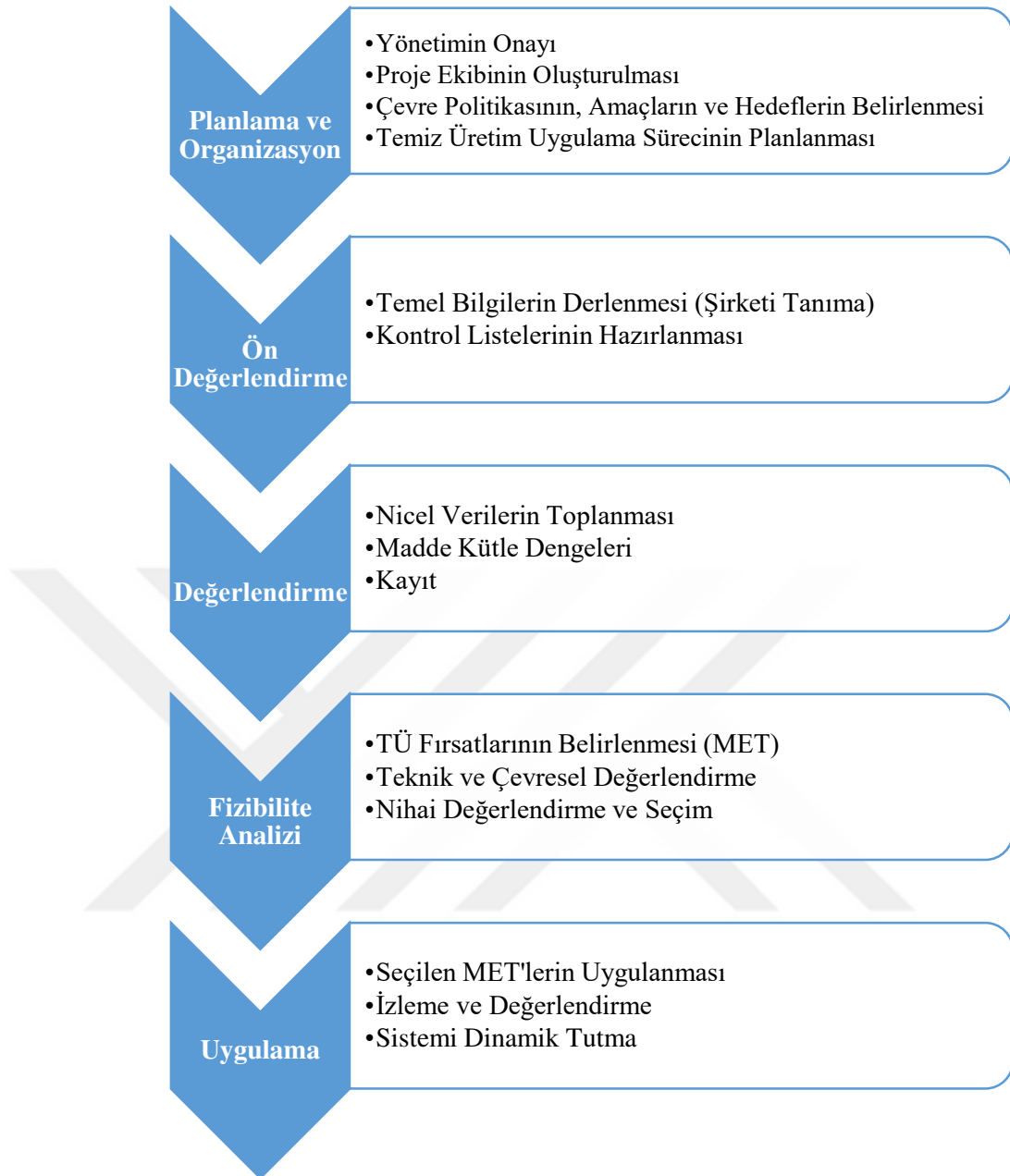
Kaynakların verimsiz kullanımını ve üretim sonucu ortaya çıkan atıkların yönetim alanlarını belirlememize olanak tanıyan TD yaklaşımı, T seçeneklerinin tanımlanmasını ve değerlendirilmesini sağlayan sistematik bir prosedür. Birçok kuruluş, aynı temel stratejilere sahip TD yöntemlerini açıklayan kılavuzlar hazırlamıştır. UNEP ve UNIDO 1994 yılından bu yana, gelişmekte olan ve geçiş lkelerinde UTM’ler kurmak için yürüttüğü faaliyetler kapsamında (Van Berkel, 2011), yaygın olarak kullanılan UNEP/UNIDO metodolojisini (Nilsson ve ark., 2007) geliştirmişlerdir. Bu kapsamda UNIDO/UNEP, UTM ağı içinde uygulanan T projeleri ile verimlilik kazanımlarını ve performansta sürekli iyileştirmeleri sağlamaya yardımcı olmak için yönetimsel ve organizasyonel önlemlerin önemini defalarca belgelemiştir (Dobes, 2013). Bu nedenle bu çalışmada, T uygulama yöntemlerinden biri olan UNEP/UNIDO metodolojisi kullanılmıştır.

Yaygın olarak kullanılan UNEP/UNIDO TD metodolojisi 5 aşamadan oluşmaktadır (Massote ve Santi, 2013) ve genel akış şeması şekil 3.2’de verilmiştir (UNEP, 1996; UNEP/UNIDO, 2017; Nilsson ve ark., 2007).



şekil 3.2. Temiz retim Değerlendirme Yöntemi

Metodolojinin ana ve ilgili alt başlıklarında belirtilen hususlar dikkate alınarak fabrikadaki süreç planlanmış ve uygulamaya geçilmiştir. Çalışmada izlenen adımlar şekil 3.3’te verilmiştir.



Şekil 3.3. BOSSA Temiz Üretim Uygulama Metodolojisi

Planlama ve Organizasyon

İlk aşamayı oluşturan “Planlama ve Organizasyon” aşamasının amacı projeye bağlılık sağlamak, kaynakları tahsis etmek ve yapılacak işin ayrıntılarını planlamaktır. Yönetimin onayı, proje ekibinin kurulması, çevre politikasının, amaçların ve hedeflerin belirlenmesi, TÜ sürecinin planlanması gibi çalışmalar sürecin bu bölümünde gerçekleştirilir (UNEP/UNIDO, 2017).

Ön Değerlendirme

Ön değerlendirme aşamasında, şirketin üretim ve çevresel yönleri hakkında genel bir bakış elde edilmektedir. Üretim süreçleri en iyi şekilde, girdilerin, çıktıların ve çevresel sorun alanlarının gösterildiği bir akış şemasıyla bu bölümde temsil edilir. Şirket geçmişinin, organizasyon yapısının,

üretim adımlarının ve girdi/çıktıların yer aldığı şirket tanımı ve akış şeması adımı, değerlendirme ekibi öncelikle üretim raporları, denetim raporları ve saha planları gibi mevcut operasyonel verileri bulmaya çalışmalıdır. Buradan elde edilen bilgilerin yanında şirketin tüm çalışma alanlarının gözlenmesi/incelenmesi ile ürünlerin, atıkların ve emisyonların üretildiği alanlardaki süreç takibi ile yeni veriler elde etmek mümkündür. Şirketi tam anlamıyla analiz edebilmek için ideal bir durumda, tüm süreçler ve birim operasyonları değerlendirilmelidir. Ancak zaman ve kaynak kısıtlamaları en önemli yönleri veya süreç alanlarını seçmeyi gerekli kılabilir. Bu durumda, büyük miktardaki atık ve emisyon kaynakları, tehlikeli kimyasal ve/veya malzeme kullanımı veya üretimi, yüksek mali kayıba sebep olan süreçler, TÜ avantajına sahip olduğu bariz şekilde belirgin olanlar, ilgili herkes tarafından sorun olarak görülen konular üzerinde bir odak oluşturulabilir (UNEP/UNIDO, 2017).

Değerlendirme

Değerlendirme aşamasının amacı, veri toplamak ve şirketin çevresel performansını ve üretim verimliliğini değerlendirmektir. Yönetim faaliyetleri hakkında toplanan veriler, genel süreç verimliliğini izlemek ve kontrol etmek, hedefler belirlemek ve aylık veya yıllık göstergeleri hesaplamak için kullanılabilir. Operasyonel faaliyetler hakkında toplanan veriler, belirli bir sürecin performansını değerlendirmek için kullanılabilir. Verilerin toplanması ve değerlendirilmesi büyük olasılıkla kayıpları ortaya çıkaracaktır. Değerlendirme aşaması nicel verilerin toplanması, madde dengelerinin kurulması, TÜ fırsatlarının belirlenmesi ve kayıt süreçlerinden oluşmaktadır (UNEP/UNIDO, 2017).

Nicel veriler, tüketilen kaynakların miktarları, üretilen atıklar ve emisyonlar hakkında kapsamlı bilgi sunmaktadır. Bu verilere şirketin kayıt sisteminde var olan stok kayıtları, hesaplar, satınalma fişleri, atık bertaraf fişleri ve üretim verileri vb. gibi bilgilerden kolaylıkla ulaşılabilir. Bilginin mevcut olmadığı durumlarda ise eldeki veriler yardımıyla tahminler yapılabilir veya doğrudan ölçümler gerçekleştirilebilir (UNEP/UNIDO, 2017).

Madde dengesi kurmanın amacı, süreç tarafından tüketilen hammadde ve hizmetlerin tüketimini ve süreçten kaynaklanan kayıpları, atıkları ve emisyonları hesaplayabilmektir. Maddi bir denge, "bir tesise veya sürece gelen, çıkanla eşit olmalıdır" ilkesine dayanır. Teorik olarak girdiler çıktılarına eşit olmalıdır, ancak pratikte bu nadiren gerçekleşir. Dolayısıyla hangi doğruluk seviyesinin kabul edilebilir olduğunu belirlemek için bazı kararların önceden alınması gerekebilmektedir. Madde dengesi, önceden bilinmeyen kayıpları, atıkları veya emisyonları tanımlamayı ve ölçmeyi mümkün kılar ve bunların kaynakları ve nedenleri hakkında bir gösterge sağlar. Her birim için ayrı ayrı gerçekleştirildiğinde madde dengeleri daha kolay, daha anlamlı ve daha doğru olmaktadır (UNEP/UNIDO, 2017).

Sorunların belirlenmesi adımını oluşturan TÜ fırsatlarının belirlenmesi aşamasında ön değerlendirme verileri, kişisel bilgiler, veritabanları, literatür araştırmaları, tedarikçilerden gelen bilgiler, kıyaslama sonuçları vb. gibi mümkün olan tüm araçlar kullanılmaktadır. Bu araçlar

sayesinde T  fırsatları teŖhis edilerek, eksiklikler ve nedenleri belirlenebilir; iyileŖtirme süreçleri için seçenekler ortaya konulabilir (UNEP/UNIDO, 2017).

Son olarak bu bölümde elde edilen bilgi ve veriler kayıt altına alınmalı ve önerilen bir dizi T  fırsatının içinden doğrudan uygulanabilecekler ve daha fazla araŖtırma gerektirenler Ŗeklinde ayrılarak öncelik sırası belirlenmelidir. Eğer mümkün olmayan veya uygulanamayacak seçenekler varsa  alıŖmayı ilerletmek amacıyla bunlar listeden çıkarılabilir (UNEP/UNIDO, 2017).

Fizibilite Analizi

Fizibilite analizi aŖamasının amacı,  nerilen T  fırsatlarını değerlendirmek ve uygulamaya uygun olanları seçmektir. Değerlendirme aŖamasında seçilen fırsatların tümü teknik, ekonomik ve çevresel değerlerine göre değerlendirilmelidir. Bununla birlikte,  alıŖmanın derinliği projenin türüne bağlıdır. KarmaŖık projeler doğal olarak basit projelerden daha fazla üzerinde  alıŖmayı gerektirmektedir. Bu aŖamada belirlenen seçenekler arasından  n değerlendirme, teknik değerlendirme, ekonomik değerlendirme, çevresel değerlendirme sonuçlarına göre çok değişkenli karar verme yöntemleri kullanılarak uygun seçenekler belirlenir. Ancak basit, masrafsız ve d Ŗ k maliyetli tüm fırsatlar kesinlikle uygulanmalıdır (UNEP/UNIDO, 2017).

Uygulama ve Süreklilik

Değerlendirmenin son aŖamasının amacı, seçilen seçeneklerin uygulanmasını ve kaynak tüketiminde ve atık üretiminde ortaya çıkan azalmaların sürekli olarak izlenmesini sağlamaktır. Hazırlanan uygulama planına göre, uygulanmasına karar verilen tüm seçenekler Ŗirket proje uygulama prosedürleri de dikkate alınarak hayata geçirilmelidir. Çünkü T   aŖamasında iŖletim prosedürlerinde ve/veya süreçlerinde değişiklikler oluŖabilmekte hatta yeni ekipman ihtiya ıyla da karŖılaŖılabilmektedir. T   hayata geçirildikten sonra olumlu değişikliklerin olup olmadığını ve Ŗirketin hedeflerine doğru ilerlediğini belirlemek için periyodik izleme yapılmalıdır. T   dinamik bir yapıya sahip olduğundan daha temiz uygulamalar için T  'nın sürekliliği sağlanmalıdır (UNEP/UNIDO, 2017).

3.2.8. Kimyasal Maddelerin  evresel Etkilerinin Değerlendirilmesi

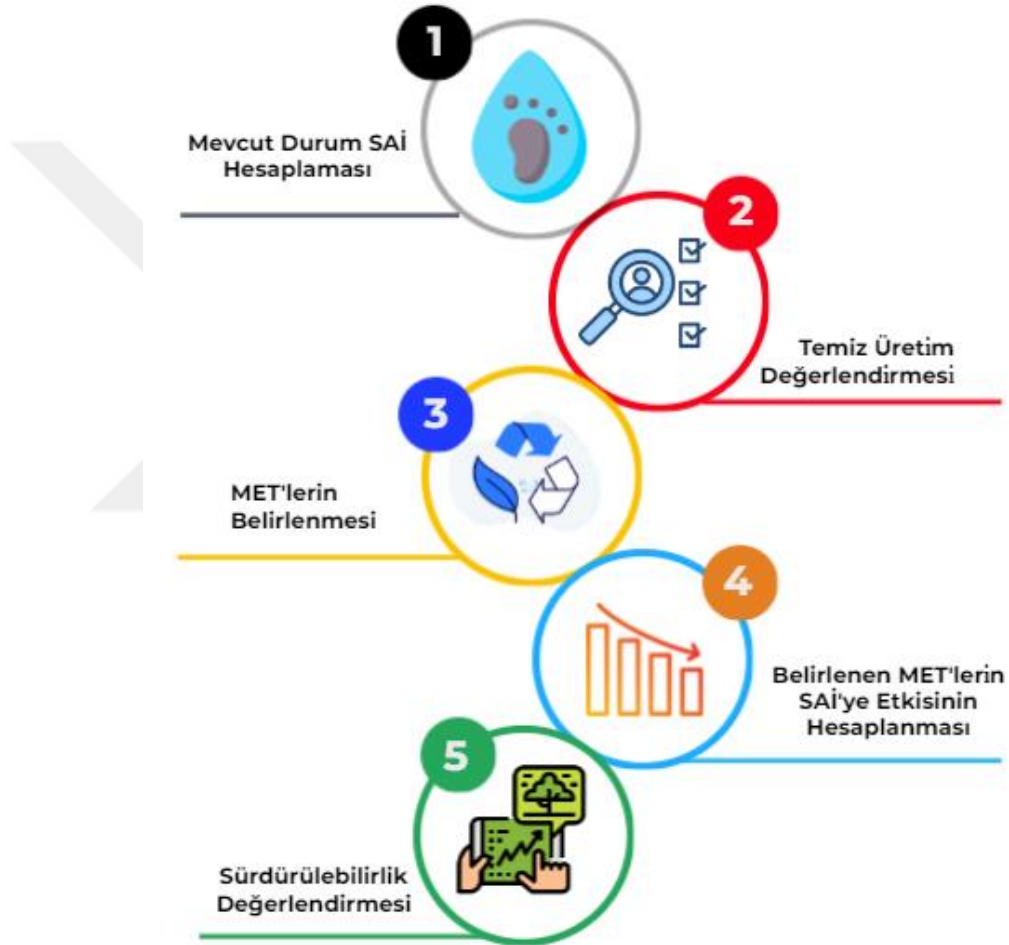
Tekstil endüstrisinde kimyasal tüketiminin yoğun olduğu ve haŖıl, haŖıl sökme, boyama ve terbiye gibi yaŖ iŖlemlerde büyük miktarlarda kimyasal tüketildiği genel olarak bilinmektedir. Atıksu kalitesini etkileyen en önemli girdi de üretimde kullanılan bu kimyasal maddelerdir. Dolayısıyla T  kapsamında fabrikada kullanılan kimyasal maddelerin neler olduğunu belirlemek ve proseste kullanıldığında atıksu özelliklerini mevcut duruma göre iyileŖtirebilecek ikame kimyasal maddelerin araŖtırmasını sağlamak için kimyasal madde envanteri hazırlanmıŖtır. Envanter listesinde bulunan kimyasal maddelerin çevresel etkilerini belirlemek için de YDD yaklaŖımı kullanılarak bir değerlendirme yapılmıŖtır. YDD yöntemi, bir ürünün üretimi, kullanımı ve nihai olarak elden

ıkarılmasından kaynaklanan çevresel etkilerin “beşikten mezara” veya “beşikten beşiğe” analizinin gerçekleştirilmesini sağlamaktadır (McDonough ve Braungart, 2002). YDD; bir ürün ya da sürecin tüm yaşam döngüsü boyunca ortaya çıkabilecek çevresel etkilerini kapsadığından, değerlendirilen bu çevresel etkileri tüm boyutlarıyla ve kapsamlı olarak yansıtmaktadır. YDD ile gerçekleştirilen kapsamlı ve bütünsel değerlendirme, söz konusu ürün ya da sürece ilişkin yapılacak olası modifikasyonların yol aacağı çevresel etkilerin farklı senaryolar için karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesini ve ilgili karar alma süreçlerine yansıtılabilmesini de sağlamaktadır (Demirer, 2017). Hammadde üretiminden nihai ürüne kadar tüm üretim sürecini kapsayacak bir sistem yaklaşımı sunan YDD bu zellіęinden dolayı sürdürülebilirlik analiziyle tutarlı ve çoğu zaman sürdürülebilirlik analizinin temel bir bileşenidir (Blackburn, 2007). YDD yaklaşımı, girdilerin, çıktıların ve süreçlerin çeşitli çevresel emisyon türleri hakkında büyük miktarda veri gerektirmektedir ve bu durum süreci zorlaştırmaktadır. Sürdürülebilirlik hesaplamalarında YDD’nin uygulanmasıyla ilgili diğer zorluklar, sistem sınırlarının belirlenmesi ve gelecekteki teknolojiler hakkında varsayımlara ilişkin kararlardır (Klemeş, 2015). Standartlaştırılmış girdi-çıktı katsayılarının kullanımı bu zorluğun aşılmasında önemli bir avantaj sağlamaktadır. Bu hesaplamalar için de başlık “1.3.1. Su Ayak İzi Değerlendirme Metodları”nda detayları verilen programlar/yazılımlar kullanılmaktadır. Bu çalışmada da hesaplama programlarından SimaPro (versiyon 8.5.2) yazılımı kullanılarak envanterde yer alan kimyasal maddelerin çevresel etkileri; abiyotik etki, abiyotik tüketim, küresel ısınma, ozon tabakasının tüketilmesi, insan toksisitesi, tatlısu ekotoksisitesi, deniz ekotoksisitesi, karasal ekotoksiste, fotokimyasal oksidasyon, asitleşme, ötrofikasyon ve SAİ (Hoekstra) kategorilerinde hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre çevresel etkisi en yüksek kimyasal maddeler belirlenerek ikame kimyasal araştırması yapılmıştır.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada öncelikli olarak denim üretimi yapan fabrikanın mevcut durumdaki SAI'si hesaplanmıştır. Daha sonra fabrikanın SAI'sini azaltmaya yönelik TUD yapılmıştır. TUD sonucunda belirlenen MET'lerin uygulanmasıyla, fabrikanın SAI kategorilerinde elde edilen kazanımları tek tek belirlenmiştir. Son olarak, denim üretiminde TUU ile SAI azaltılmasının UNEP 2030 SKH bağlamında değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışmanın iş-akış diyagramı şematik olarak Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



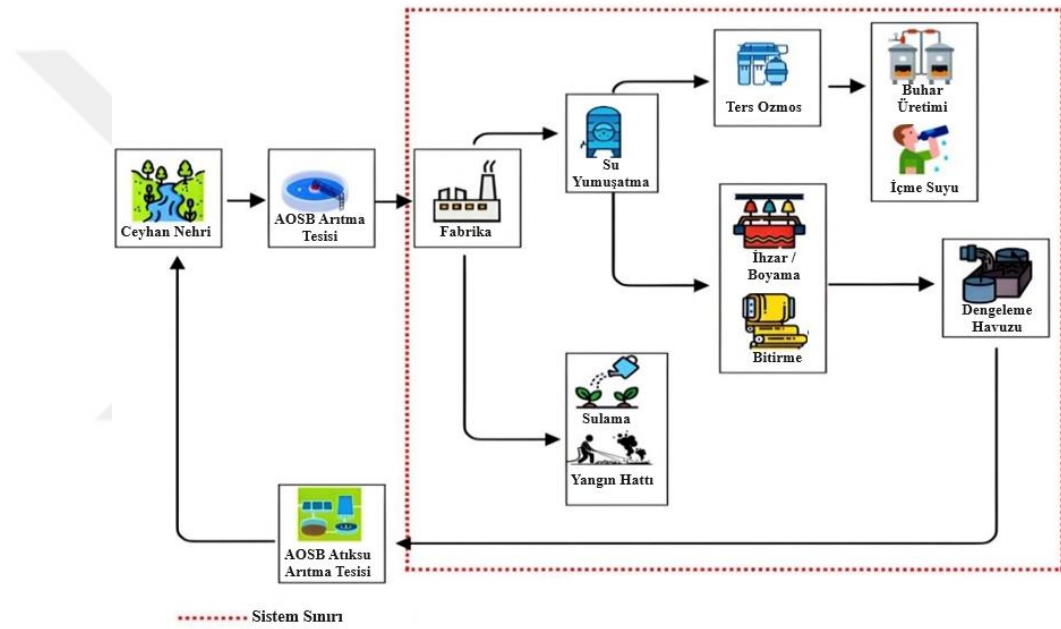
Şekil 4.1. Bulguların Anlatımında İzlenen Adımlar

4.1. Fabrikanın Mevcut Durumdaki Su Ayak İzinin Hesaplanması

Denim fabrikasının su kullanım durumu, su ve atıksu özellikleri gibi veriler dikkate alınarak mevcut durum SAI'si hem hacimsel hem de çevresel etki kategorilerine göre hesaplanmıştır. Mevcut durum SAI'si fabrikanın 2022 yılına ait verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

4.1.1. Sistem Sınırının Belirlenmesi

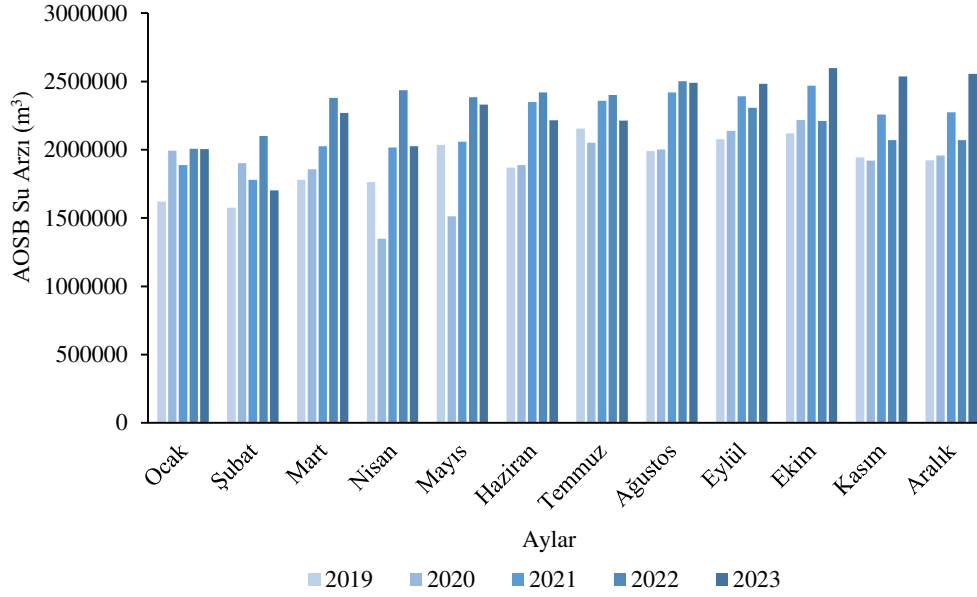
Fabrikanın SAİ'si için kapsam kapıdan kapıya (fabrikanın doğrudan tükettiği su ve ürettiği atıksular dikkate alınmıştır) olarak belirlenmiştir. Üretim süreçlerinde tüketilen su, deşarj miktarları, kaynak ve alıcı ortam olan Ceyhan Nehri'nin su ve havza özellikleri SAİ hesaplamalarında dikkate alınmıştır. Çalışma sınırları içinde başlıca su tüketen süreçler: boyama ve terbiye işlemleri (iplik boyama, parça boyama, baskı, ihzar, bitirme, vb.), buhar üretimi, insani gereksinimler (tuvaletler, yemek hazırlama, içme vb.), peyzaj sulaması, yangın hattı beslemesi için tüketilen sulardır. Oluşan atıksuların biriktirildiği dengeleme havuzu da ilgili etki kategorilerinin hesaplanması için sistem sınırı içine dâhil edilmiştir. Fabrikanın su dağılımı ve SAİ hesaplamasında dikkate alınan sistem sınırı Şekil 4.2'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Fabrikanın Su Dağılımı ve SAİ Hesaplamasındaki Sistem Sınırı

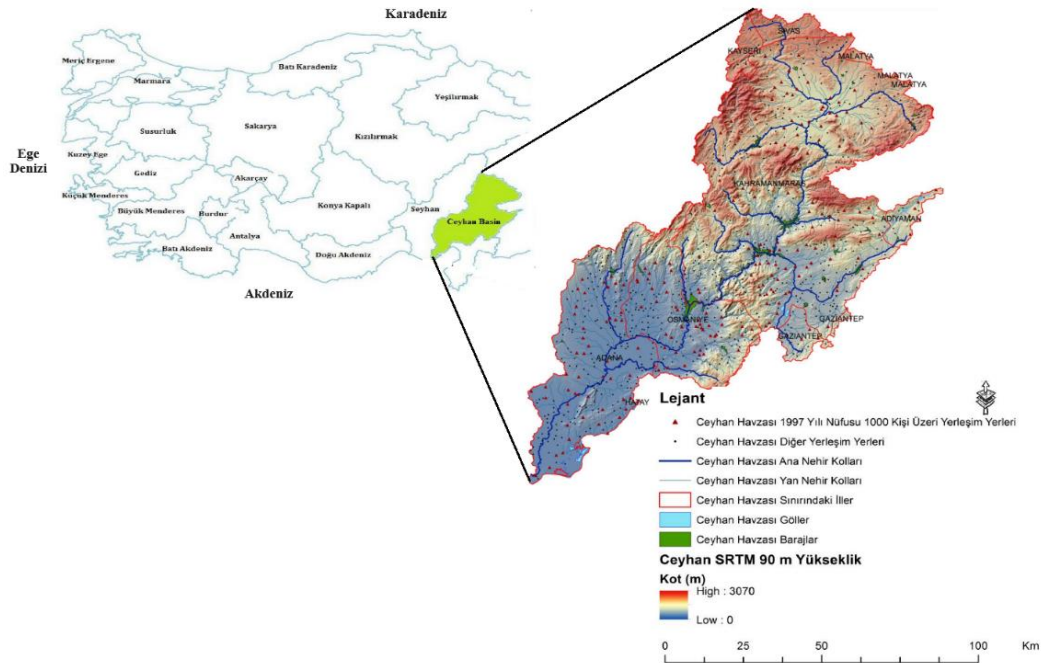
4.1.2. Su Kaynağı ve Alıcı Ortamın Özellikleri

BOSSA fabrikasının üretim faaliyetlerinde kullandığı su, AOSB Kullanma Suyu Arıtma Tesisi'nden temin edilmektedir. Arıtma tesisi, suyu Ceyhan Nehri'nden alarak ilgili yönetmeliklerde belirtilen standartlara uygun arıtmakta ve kullanıcılarına iletmektedir. AOSB'nin Ceyhan Nehri'nden temin ettiği su miktarlarına ait veriler Şekil 4.3'te verilmiştir (Anonim, 12).



Şekil 4.3.AOSB Yıllara Göre Su Arzı

Ceyhan Nehri havzası, Türkiye'nin Doğu Akdeniz bölgesinde, 36° 33' ila 38° 44' Kuzey enlemleri ve 35° 15' ila 37° 43' Doğu boylamları arasında yer almaktadır. Batı ve Kuzeybatı'da Seyhan Nehri Havzası, Güney'de Ası Nehri Havzası, Doğu ve Kuzeydoğu'da Fırat Nehri Havzası Ceyhan havzasını çevrelemektedir (Yüce ve ark., 2019). Havza, bölge dağlarını ve üç büyük ili (Kahramanmaraş, Osmaniye ve Adana) içine alan (Tanrıverdi ve ark., 2010) 21.391 km²'lik yağış alanına sahiptir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Ceyhan Havzası (Çuhadar ve Atış, 2019; SYGM, 2018'den derlenmiştir)

Havza, ortalama $7,7 \times 10^9$ m³ yıllık akış hacmi ile Türkiye'nin toplam akış hacminin %4,2'sini oluşturmaktadır. Havzanın yıllık yeraltı suyu beslenimi $958,3 \times 10^6$ m³ ve yıllık yeraltı işletme rezervi $533,5 \times 10^6$ m³'tür (DSİ, 2020). Havzanın ana akarsu kolu olan Ceyhan Nehri, Kahramanmaraş bölge merkezinin kuzeyinde 2.000-2.500 m yükseklikteki dağlardan doğar ve Ceyhan İlçesi ve Misis'den geçerek Yumurtalık Körfezi'nin batısından Adana yakınlarında Akdeniz'e dökülür. 500 km uzunluğunda olan Ceyhan Nehri'nin debisi 195 m³/sn'dir (AÇŞM, 2020). AOSB Atıksu Arıtma Tesisi'nin deşarj noktasından önce (memba tarafı) alınan su numunesine ait su özellikleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Ceyhan Nehri su kalite parametre değerleri

Ölçümü Yapılan Parametre	Değerler
pH	7,22
T (C°)	16,86
Eİ (µS/cm)	597,60
TÇKM (mg/L)	299,00
Tuzluluk (mg/L)	310,00
AKM (mg/L)	36,60
KOİ (mg/L)	10,00
Renk (Pt-Co)	244,00

4.1.3. Su Ayak İzi Ağı Metodolojisine Göre Hacimsel Su Ayak İzi Hesaplamaları

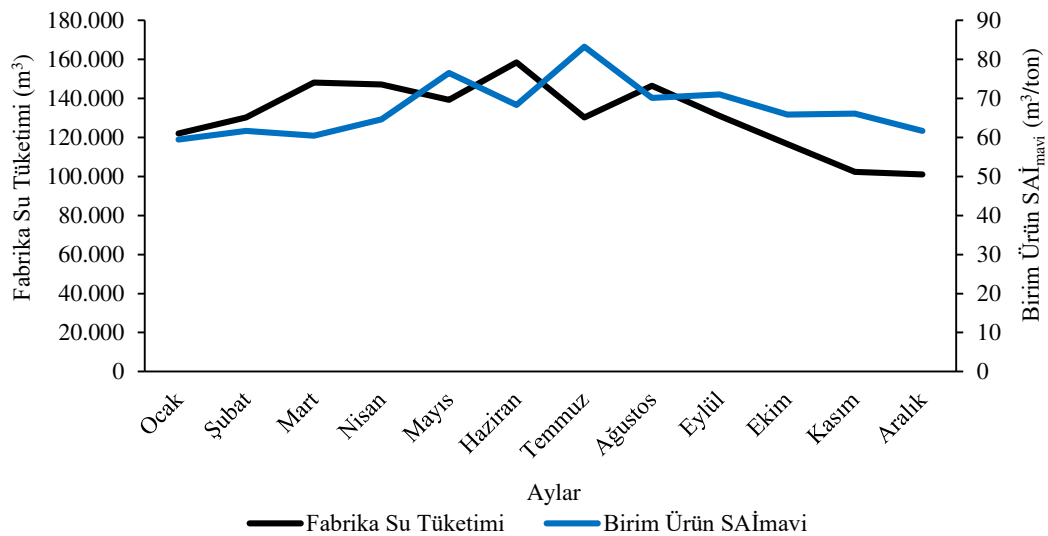
SAİ_{mavi} Hesaplama Sonuçları

Su kullanımının bir ölçüsü olan SAİ_{mavi}'de suyun içeriğinden ziyade üretim süreçlerinde tüketilen su miktarı önemlidir. İşlem sırası ürün tipine ve prosese göre değişmekle birlikte genel olarak denim üretiminde suyun kullanıldığı prosesler boyama, ihzar ve çeşitli terbiye (finishing) işlemleridir (Azanaw ve ark., 2022). 2022 yılı içinde AOSB'nin Ceyhan Nehri'nden sağladığı su arzı (Anonim 12), çalışmaya konu olan denim fabrikasının tükettiği su miktarı ve üretilen kumaş miktarları aylara göre Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Fabrikanın aylara göre su tüketimi ve üretim miktarları

Aylar	AOSB'nin 2022 Yılı Su Arzı (m ³)	Fabrika Su Tüketimi (m ³)	Tüketicinin Arz İçindeki Payı (%)	Üretim Miktarı (ton)	SAİ _{mavi} (m ³ /ton)
Ocak	2.006.728	121.942	6,08	2.051,81	59,43
Şubat	2.101.592	130.225	6,20	2.111,11	61,69
Mart	2.380.355	148.127	6,22	2.451,14	60,43
Nisan	2.437.195	147.185	6,04	2.277,63	64,62
Mayıs	2.384.388	139.197	5,84	1.818,48	76,55
Haziran	2.420.679	158.489	6,55	2.319,58	68,33
Temmuz	2.431.667	130.155	5,35	1.563,04	83,27
Ağustos	2.502.129	146.403	5,85	2.088,48	70,10
Eylül	2.307.368	131.047	5,68	1.845,04	71,03
Ekim	2.209.944	116.533	5,27	1.769,74	65,85
Kasım	2.069.598	102.380	4,95	1.548,55	66,11
Aralık	2.069.868	101.018	4,88	1.637,73	61,68
Toplam	27.321.511	1.572.701		23.482,33	
Ortalama	2.276.793	131.058	5,74	1.956,86	67,95

Çizelge 4.2'deki değerler dikkate alındığında AOSB'nin Ceyhan nehrinden çektiği yıllık su miktarının ortalama %5,74'ü fabrika tarafından çeşitli üretim proseslerinde ve işlemlerde (insani tüketim, buhar, terbiye ve boyama vd.) kullanılmıştır. Fabrikanın 2022 yılı SAİ_{mavi}'si 1.572.701 m³ olarak hesaplanmıştır. 2022 yılı için toplam kumaş üretim miktarı 23.482,33 ton'dur ve fabrikanın birim ürün SAİ_{mavi}'si ortalama 67,95 m³/ton_{kumaş} olarak hesaplanmıştır. Kumaş üretiminin azaldığı aylarda su tüketiminin de azaldığı görülmektedir. Ancak bu azalma ve artış doğrusal olmadığından üretimin arttığı bazı dönemlerde SAİ_{mavi} daha düşük bulunmuştur. Aylara göre fabrikanın su tüketimi ile birim ürün SAİ_{mavi} değişimini gösteren grafik Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5. Aylara Göre Fabrika Su Tüketimi ve SAİ_{mavi} Arasındaki İlişki

Şekil 4.5'ten görüleceği üzere aylık bazda fabrika su tüketimi ve SAI_{mavi} değişimi değerlendirildiğinde aralarında doğrusal bir ilişkiden ziyade daha çok ters orantılı bir ilişkinin olduğu söylenebilir. Bu da, fabrikanın üretimden bağımsız sabit bir su tüketiminin olduğunu ve üretim miktarı arttıkça birim ürün başına bu tüketimin dağıldığını göstermektedir. Dolayısıyla birim ürün SAI_{mavi} üretimin miktarı arttıkça azalış göstermektedir.

Literatürde denim üretiminin SAI_{mavi} 'sine ait bir bilgiye rastlanmamıştır. Garcia (2015) çalışmasında bir denim pantolon üretmenin $0,07 \text{ m}^3$ su tüketimine neden olduğunu bildirmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar dikkate alındığında ortalama 600 g olan bir denim pantolon (Dhouib ve ark., 2016; Pal ve ark., 2017) kumaşının üretimi için yaklaşık $0,04 \text{ m}^3$ suyun tüketildiği hesaplanmıştır. Dolayısıyla bir denim pantolon üretmek için tüketilen suyun %57'si denim kumaşın üretiminde kullanılmaktadır.

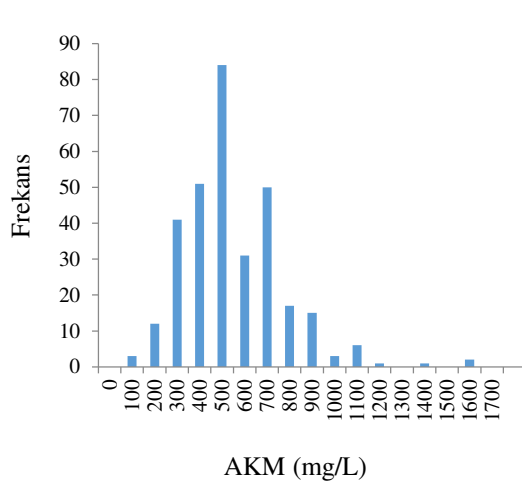
SAI_{gri} Hesaplama Sonuçları

Fabrika atıksularını AOSB'nin belirlediği parametre ve limit değerleri dikkate alarak kanalizasyon ağı ile AOSB Evsel ve Endüstriyel Atıksu Arıtma Tesisine iletmektedir. AOSB'nin fabrikayı sorumlu tuttuğu atıksu parametreleri ise AKM (mg/L), KOİ (mg/L), T (C°) ve pH'dır. SAI_{gri} hesaplanmasında kullanılan alıcı ortam su özellikleri Çizelge 4.1'de, fabrika için 2022 yılında uygulanan deşarj limit değerleri Çizelge 4.3'te verilmiştir.

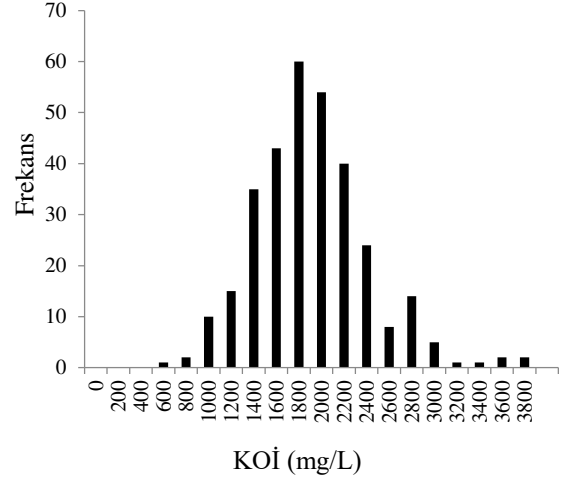
Çizelge 4.3. AOSB'nin fabrikaya uyguladığı atıksu deşarjı limit değerleri

Parametre	Limit Değer
AKM (mg/L)	500
KOİ (mg/L)	4.000
T (C°)	40
pH	6-10

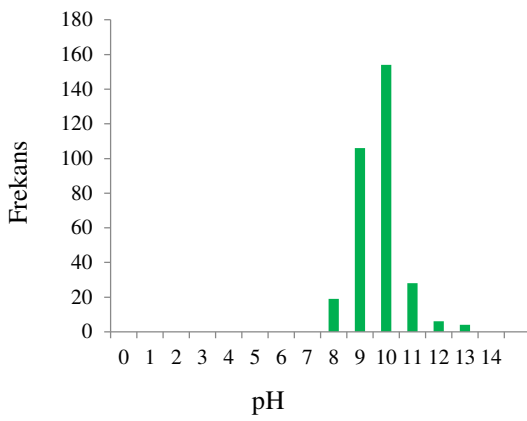
Fabrikanın 2022 yılında deşarj ettiği atıksuların AKM (mg/L), KOİ (mg/L), T (C°) ve pH parametrelerine ait analiz sonuçlarının (24 saatlik kompozit numune) frekansları Şekil 4.6'da histogram grafik olarak verilmiştir (Örnek Sayısı (n)=317). Frekans değerleri ölçüm değerinin tekrarlanma sayısını göstermektedir.



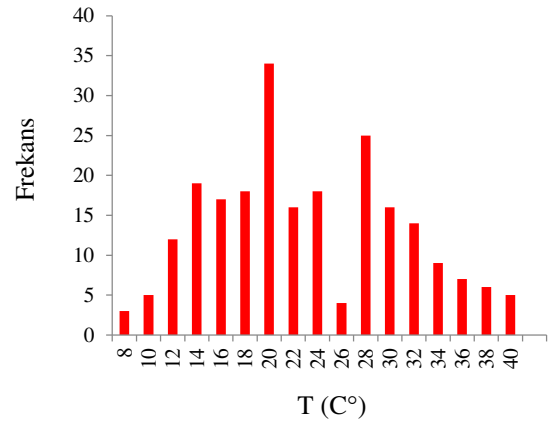
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 4.6. Atıksu Analiz Sonuçlarının Histogram Grafikleri (a):AKM, (b):KOİ, (c):pH, (d):T

Çizelge 4.3'te verilen parametreler ve limit değerleri açısından Şekil 4.6 değerlendirildiğinde, atıksudaki KOİ değeri yıl boyunca limit değerin (4.000 mg/L) altında kalmıştır. Yıl içinde alınan numunelerin %40'ında AKM, %12'sinde pH ve %2'sinde T limit değerlerini aşmıştır. Franke ve ark. (2013) bir faaliyetin SAI_{gri} 'sini değerlendirirken, ilgili her bir kirlenici için SAI_{gri} 'nin ayrı ayrı hesaplanmasını ve hesaplanan en yüksek SAI_{gri} 'yi dikkate alarak değerlendirme yapmanın doğru bir yaklaşım olduğunu ifade eder. Bunun yanında, Hoekstra ve ark. (2011) su kirliliğinin genel bir göstergesini bulmak amacıyla kritik maddeye dayalı SAI_{gri} hesaplanmasının yeterli olduğunu bildirmiştir. Böylelikle belirli bir atık akışındaki kirlenicilerden hangisinin en fazla seyreltme suyu gerektirdiği belirlenmiş olur. Dolayısıyla bu kirlenici en kritik kirlenici olarak alınır ve bu kirlenici yeterince seyreltilmişse, diğer tüm kirlenicilerin de yeterince seyreltildiği sonucuna ulaşılır (Chapagain ve ark., 2006). Bu açıklamalar ışığında, fabrika atıksuyunda deşarj kriterini KOİ, pH ve T'ye göre çok kez aşan AKM, SAI_{gri} 'nin hesaplanmasında kritik parametre olarak seçilmiştir.

Kirlenici yükü (L, kütle/zaman) atıksudaki yıllık ortalama AKM değeri (504,16 mg/L) ve yıllık atıksu miktarı (2022 yılı toplam tüketimin ortalama %85'i) verileriyle hesaplanmıştır. Deşarj

standardı olarak AOSB atıksu deşarj standardı (AKM: 500 mg/L) dikkate alınmıştır. Alıcı su kütlesindeki doğal AKM konsantrasyonu 36,60 mg/L'dır. Bu verilerle yapılan hesaplama sonucunda fabrikanın SAI_{gri} 'si 1.710.922,56 m³, birim ürün SAI_{gri} 'si ise ortalama 72,86 m³/ton_{kumaş} olarak bulunmuştur.

Türkiye'de deşarj standartları alıcı ortam su kalitesi dikkate alınmadan ulusal ölçekte belirlenmekte ve uygulanmaktadır. Dolayısıyla SAI_{gri} 'nin hesaplanmasında kullanılan kabul edilebilir maksimum konsantrasyon değeri (deşarj standardı) ile alıcı ortam doğal konsantrasyonu arasında büyük farklar mevcuttur. Bu durum SAI_{gri} 'nin olduğundan daha düşük hesaplanmasına neden olmaktadır. Şöyle ki; KOİ'nin alıcı ortamdaki (Ceyhan nehri) doğal konsantrasyonu AKM'den daha düşük (Çizelge 4.1), atıksudaki konsantrasyonu ise daha yüksektir (Şekil 4.6). Deşarj standardı 4000 mg/L olarak alındığında, fabrikanın KOİ'ye bağlı SAI_{gri} 'si 712.688,72 m³, birim ürün SAI_{gri} 'si ise ortalama 30,35 m³/ton_{kumaş} olarak bulunmuştur. Bu sonuç, SAI_{gri} hesabı için kritik parametre seçiminde kirlilik miktarı yüksek olan parametre yerine deşarj limitini aşan parametrenin kullanılması gerektiğini ortaya koymaktadır. Çankaya (2023) yaptığı çalışmada arıtma yapılmayan atıksulardaki kirlilik parametrelerinin konsantrasyonunu, deşarj limitleri ile değerlendirerek AKM'nin kritik madde olduğunu ifade etmiştir. Çankaya (2023)'ün çalışmasından da görüldüğü üzere bu çalışma için seçilen AKM parametresi daha anlamlı ve doğru bir sonucun ortaya çıkmasını sağlamıştır.

4.1.4. ISO 14046 Metodolojisine Göre Çevresel Etki Su Ayak İzlerinin Hesaplanması

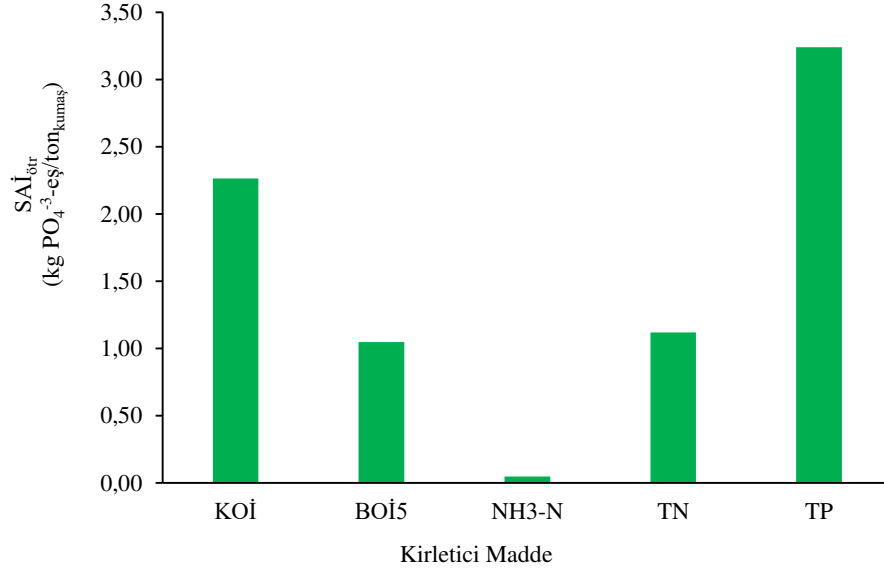
YDD tabanlı SAI 'nin etki kategorilerinin hesaplanmasında kullanılan karakteristik faktörler (Heijungs ve ark., 1992; Yang ve ark., 2020; Qian ve ark., 2021b; Zhu ve ark., 2022) ve fabrika atıksuyunun özellikleri Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Etki kategorilerinin karakteristik faktörleri ve atıksu özellikleri

Çevresel Etki Kategorisi	Kirletici	Karakteristik Faktör	Birim	Atıksudaki Kirletici Konsantrasyonu (mg/L)
SAİ _{ötr}	KOI	0,022	kg PO ₄ ³⁻ -eş./kg _{kirletici}	1.808,3
	BOİ ₅	0,022		836
	NH ₃ -N	0,388		2,18
	TN	0,42		46,86
	TP	3,06		18,61
SAİ _{eko}	Cr	1	m ³ H ₂ O-eş./mg _{kirletici}	0,0173
	Cu	2		0,0235
	Ni	0,33		0,0224
	Zn	0,38		0,2011
	As	0,2		0,0014
	Pb	2		0,0021
SAİ _{alk}	Na ₂ CO ₃	0,321	kg OH ⁻ -eş./kg _{kirletici}	10,69
	NaOH	0,425		8,07

SAİ_{ötr} Hesaplama Sonuçları

Sulardaki C, N ve P konsantrasyonlarının suda yaşayan fotosentetik organizmaların büyümesi üzerinde önemli etkileri olduğu bilinmektedir. P'nin fitoplankton biyokütlesinin büyümesini sınırlayan temel faktör olduğunu ileri süren bazı çalışmaların yanında, N'nin ötrofikasyon üzerinde daha önemli olduğunu öne süren çalışmalar da mevcuttur. Bununla birlikte farklı çalışmalarda C konsantrasyonunun önemi de vurgulanmıştır (Bao ve ark., 2022). Bu bilgiler doğrultusunda, çalışmada denim kumaş üretiminin su ötrofikasyonu potansiyelini ölçmek amacıyla Çizelge 4.4'te verilen KOİ, BOİ₅, NH₃-N, TP konsantrasyonları ve etki faktörleri kullanılarak SAİ_{ötr} (kg PO₄⁻³ eq/ton_{kumaş}) hesaplanmıştır. Fabrikanın ve birim ürünün SAİ_{ötr} değerleri sırasıyla 181.334,89 kg PO₄⁻³-eş. ve 7,72 kg PO₄⁻³-eş./ton_{kumaş} olarak bulunmuştur. Dikkate alınan parametrelerin SAİ_{ötr}'a etkisi Şekil 4.7'de verilmiştir.



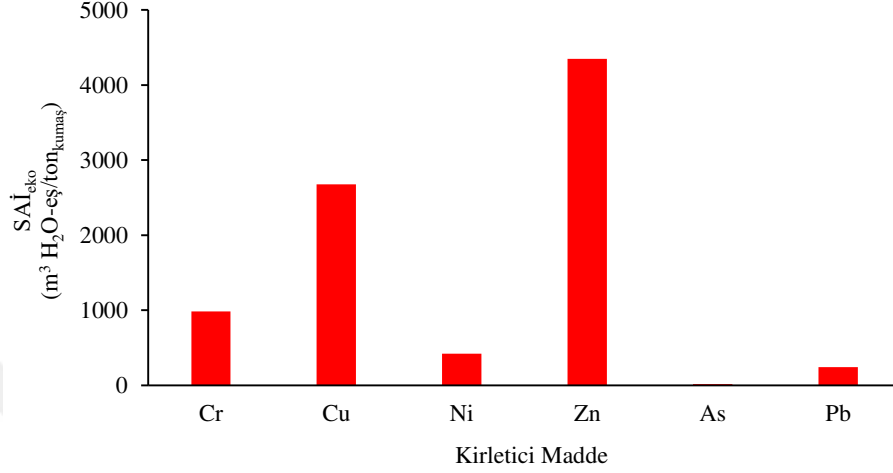
Şekil 4.7. SAI_{otr}'un Bileşenleri

Şekil 4.7’de, SAI_{otr}’a en yüksek katkının TP’den kaynaklandığı görülmektedir (%41,98). Hâlbuki TP’nin atıksudaki konsantrasyonu diğer kirleticilere göre daha düşüktür (Çizelge 4.4). Ancak, yine Çizelge 4.4’ten görüleceği üzere, ötrofikasyon üzerindeki sınırlayıcı etkisine bağlı olarak karakteristik faktörü diğer kirleticilere oranla çok çok yüksektir. Dolayısıyla TP’nin yüksek karakteristik faktörü nedeniyle SAI_{otr}’a önemli katkı sağladığı görülmektedir. Fosfor içeren kimyasalların kullanımında proses verimini ve ürün kalitesini düşürmeden, konsantrasyon azaltma ya da ikame yollarının araştırılması SAI_{otr}’u azaltmak için uygun bir yoldur.

SAI_{eko} Hesaplama Sonuçları

Tekstil sanayi atıksuları, içerdikleri boyalar, ağır metaller ve yüzey aktif maddeler gibi ekosisteme zarar veren bileşenler nedeniyle çevreyi tehdit eden başlıca sektörlerden biridir (Sarı ve ark., 2022). Sucul ortamlarda ağır metallerin ve dispers boyaların varlığı endüstriyel faaliyet nedeniyle gözlemlenen ekotoksikolojik etkilerle ilişkilendirilmektedir. Bu etkiler; sucul ortamlarla ilişkili canlılar üzerinde direk veya dolaylı olarak akut/kronik ekotoksik etkiler ya da DNA hasarının tetiklenmesi şeklinde görülmekte ve yaşam kalitesini kötüleştirmektedir (Li ve ark., 2017; Methneni ve ark., 2021). Oluşan hasar genetik düzeyde değişikliklere yol açarak genetik çeşitliliğin kaybına dahi neden olabilmekte ve onarılmadığı takdirde yavrulara geçerek türün devamlılığını tehdit etmektedir (Methneni ve ark., 2021). Bu nedenle, kirleticilerin alıcı ortama deşarjından kaynaklanan su ekotoksitesi potansiyelini değerlendiren SAI_{eko} oldukça önemlidir. SAI_{eko} hesaplamaları ile ilgili literatürde raporlanan çalışmalar incelendiğinde; toksik etkileri bilinen, ölçülebilen ve konsantrasyonu dikkate alınabilir seviyede olan kirleticilerin SAI_{eko} hesaplamasında kullanıldığı görülmüştür. Örneğin, AOX, Cr (VI) ve C₆H₅NH₂ (Zhu ve ark., 2022; Chen ve ark., 2021a); Zn²⁺ ve Cu (Qian ve ark., 2021b); Sb, Cr (VI), Pb, Cu, Hg, ve Zn (Yang ve ark., 2020). Bunun yanında,

DSÖ'ye göre atıksularda öncelikli kaygı uyandıran ve toksik etkileri olan ağır metaller Cr, Zn, Fe, Hg ve Pb olarak bildirilmiştir (Hussein, 2013). Bu bilgilere dayanarak, fabrikanın SAI_{eko} hesabında Cr, Cu, Ni, Zn, As, Pb hesaplamalara dâhil edilmiştir. Fabrikanın ve birim ürünün SAI_{eko} 'su sırasıyla $203.981.678,75 \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O-eş.}$ ve $8.686,60 \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O-eş./ton}_{kumaş}$ olarak bulunmuştur. Seçilen ağır metallerin SAI_{eko} dağılımı Şekil 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.8. SAI_{eko} 'nun Bileşenleri

Denim üretiminde, ıslak proseslerde oluşan atıksuların ağır metal içerikleri boyarmaddeler, kostik soda, sodyum karbonat ve tuzlar gibi kimyasalların safsızlıklarından kaynaklanmaktadır (Hussein, 2013). Şekil 4.8'de görüldüğü gibi SAI_{eko} 'ya en büyük katkı (%50,08) Zn'den kaynaklanmaktadır. Zhu ve ark. (2020a) çalışmalarında SAI_{eko} 'nun esas olarak Zn^{2+} 'den kaynaklandığı ifade etmişlerdir. Zn'nin etki faktörü Cr, Cu ve Pb'ye göre düşük olmasına rağmen atıksu içindeki miktarı (0,2011 mg/L) diğer ağır metallerin konsantrasyonlarından 10-100 kat daha yüksektir. Zn'nin atıksudan ayrılması SAI_{eko} 'nun değerini yarı yarıya düşürecektir.

SAI_{alk} Hesaplama Sonuçları

Alkalinite, sulu jeokimya alanında kullanılan en önemli parametrelerden biridir ve genel olarak bir suyun alkalinitesi o suyun asitleri nötralize edebilme kapasitesi olarak tanımlanır (Tosca ve Tutolo, 2023). Denim üretiminde boyama, haşıl sökme ve meriserizasyon işlemleri alıcı su kütlelerini alkalize edebilecek önemli miktarda alkali atık su oluşturmaktadır. Atık sudaki alkanizasyonun temel nedeni yoğun miktarlarda kullanılan NaOH'tan kaynaklanmaktadır (Qian ve ark. 2021b). Tekstil endüstrisi genelinde yapılan birçok çalışmada boyama, terbiye ve meriserizasyon prosesi bazlı atıksular alkali özellikleri bakımından SAI kapsamında incelenmiştir (Chen ve ark., 2020, Zhu ve ark., 2020a; Qian ve ark., 2021a; Chen ve ark., 2023b).

Birçok ülkede olduğu gibi (Kulshreshtha ve ark., 2010) Türkiye'de de endüstriyel atıksuların alıcı ortama deşarjından önce pH değerlerinin izin verilen aralığa düşürülmesi çevre otoriteleri

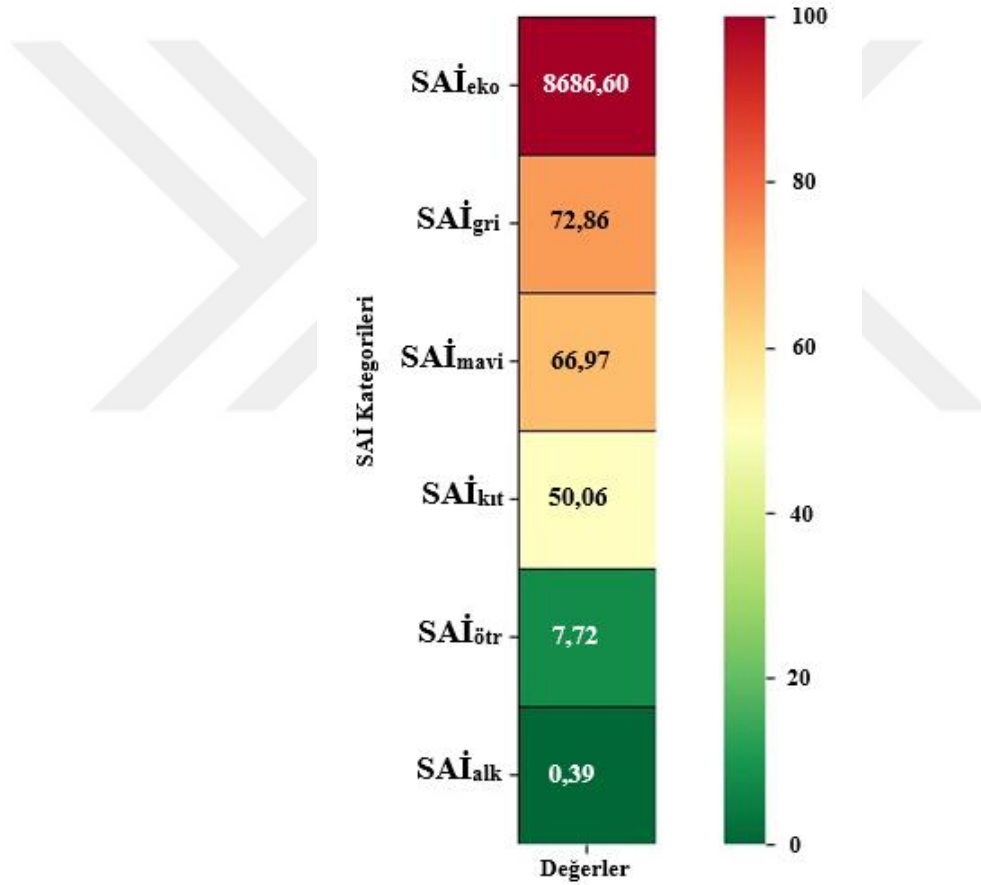
tarafından kanunlaştırılmıştır. Proses bazlı atıksu alkalinitesinin yüksek olması doğaldır. Fabrikanın birçok prosesinden gelen farklı hacim ve alkalinite değerlerine sahip suların karışımıyla oluşan toplam atıksuda alkalinitenin daha düşük olması beklenen bir durumdur. Dolayısıyla bu çalışmada dengeleme havuzu çıkış suyu alkalinitesi dikkate alınarak SAI_{alk} belirlenmiştir. Şekil 4.6(c)'de görüldüğü gibi toplam atıksu alkali olmakla birlikte ortalama pH'sı 9,97'dir. Denim üretim atıksularında alkalizasyon esas olarak NaOH ve Na_2CO_3 'den kaynaklanmaktadır. Fabrikanın ve birim ürünün SAI_{alk} değerleri sırasıyla 9.172,08 kg OH⁻-eş. ve 0,39 kg OH⁻-eş./ton_{kumaş} olarak hesaplanmıştır. Chen ve ark. (2020), 1 ton viskon kumaş boyamanın 15,48 kg OH⁻ eşdeğerinde bir SAI_{alk} ürettiğini bildirmiştir. Çalışmalarında, SAI_{alk} 'a en önemli katkının %97,23 ile haşıl sökme ve boyama prosesleri tarafından sağlandığını rapor etmişlerdir. Bu çalışmada da Chen ve ark. (2020)'nı doğrular nitelikte sonuçlar elde edilmiştir. Fabrikanın SAI_{alk} 'ını düşürmek için proses bazlı kostik geri kazanım yöntemleri; membranlar (Ağtaş ve ark., 2021; Dilaver ve ark., 2023), buharlaştırma (Prajapati ve Trivedi, 2023), elektroliz (Ntagia ve ark., 2020) Tü fırsatı olarak değerlendirilebilir. Böylelikle, SAI_{alk} 'ın düşürülmesi, proses bazlı kostik geri kazanımı ve suyun yeniden kullanımı, dengeleme havuzunda kullanılan asit sarfiyatının azaltılması gibi sürdürülebilir üretime katkı sağlayan kazanımlar elde edilebilir. Bu çalışmanın “Atıksuların Doğrudan Kullanımı / Kostikli Suların Yeniden Kullanımı” başlığı altında kostik içeren atıksular Tü kapsamında değerlendirilmiştir.

SAI_{kıt} Hesaplama Sonuçları

Su kaynaklarının mevcut miktarları ve bu miktarı paylaşan nüfus yoğunluğu ülkeden ülkeye ve bölgeden bölgeye değişiklik göstermektedir (Wang ve ark., 2021). Örneğin Arap Yarım Adası, Afrika'nın kuzeyi ve Orta Asya'da fiziksel su kıtlığından söz edilirken, Orta Afrika ülkelerinde ekonomik su kıtlığı, Türkiye'de ise yaklaşan fiziksel su kıtlığı riski gündemdedir. Bu durum sınırlı miktardaki tatlı su kaynakları üzerinde baskı oluşturmaktadır (Allegretti ve ark., 2022). $SAI_{kıt}$ bu baskının neden olduğu su stresini değerlendirmenin önemli bir aracı olarak Pfister ve ark. (2009) tarafından geliştirilmiştir. $SAI_{kıt}$ hesaplanmasında, denim kumaş üreten fabrikanın bulunduğu bölge için kullanılan yerel ortalama ($SKKF_{Türkiye}$: 0,450) ve küresel ortalama ($SKKF_{küresel}$: 0,602) su kıtlığı karakterizasyon faktörleri literatürden alınmıştır (Pfister ve ark., 2009; Ridoutt ve Pfister, 2013; Qian ve ark., 2021b; Chen ve ark., 2021a). Fabrikanın ve birim ürünün $SAI_{kıt}$ değerleri sırasıyla 1.175.607,06 m³ H₂O-eş./yıl. ve 50,06 m³ H₂O-eş./ton_{kumaş} olarak hesaplanmıştır. Suyun sürdürülebilir kullanımı ve yönetimi açısından $SAI_{kıt}$ sonuçları su yoğun endüstrilerin konumlandırılması açısından belirleyici olabilir. Türkiye için, $SKKF_{Türkiye} < SKKF_{küresel}$ olduğundan fabrikanın, su kıtlığına etkisi düşük çıkmıştır. Ülke ya da bölge bazlı SKFF'nin daha yüksek olması durumunda (örneğin; Orta Asya ya da Kuzey Afrika (Pfister ve ark., 2009)) aynı endüstri ve üretim miktarının $SAI_{kıt}$ sonucu daha yüksek olacaktır. Bu da bize sanal su ticaretinin önemini bir kez daha göstermektedir.

4.1.5. Hacimsel ve Çevresel Etki Su Ayak İzi Kategorilerine Ait Sonuçların Birlikte Değerlendirilmesi

SAİ Ağı ve ISO 14046 tabanlı SAİ hesaplama yöntemlerinin ikisi de hem su kullanımının hesaplanması hem de etkilerinin belirlenmesi açısından genel olarak aynı amaca hizmet etmesine rağmen SAİ sonucunun iletilmesinde farklılık göstermektedir. Bunun yanında, her çevresel etki göstergesinin birimi farklıdır ve bu yüzden toplam bir etki değeri belirtilememektedir. Bu nedenle, tüm etki kategorilerinin tek bir şekil üzerinde gösterilebilmesi için ısı haritası (heatmap) (Jin et al., 2023) kullanılmıştır (Şekil 4.9). Isı haritası, verileri renk tonlarıyla görselleştirerek, değerlerin dağılımını, yoğunluğunu veya belirli bir ölçüte göre karşılaştırılmasını kolaylaştıran bir grafik türüdür; böylece, veriler arasındaki ilişkiler ve eğilimler hızlı ve net bir şekilde anlaşılabilir.



Şekil 4.9. Denim Kumaş Üretiminin SAİ Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Denim kumaş üretimi yapan fabrikanın birim ton kumaş üretiminin hem SAİ Ağı hem de ISO 14046'ya göre su kaynakları üzerindeki çevresel etkileri Şekil 4.9'da incelendiğinde; su tüketiminden ziyade atıksu deşarjından kaynaklı etki faktörlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir ($SAİ_{gri} > SAİ_{mavi}$ ve $SAİ_{eko} > SAİ_{kit}$). Bu sonuçlar ışığında, denim üretim sektörünün SAİ etkilerinin küçültülmesi için oluşan atıksuların kirlilik yükünün azaltılması ve/veya atıksuların arıtılarak yeniden kullanılması öncelikli hedefler olmalıdır. Bu hedeflerin denim üretiminde daha temiz üretim

araştırmalarını tetikleyeceği düşünülmektedir. Böylelikle gerek su kaynaklarının korunması ve üzerindeki baskının azaltılması, gerekse fabrikanın ekonomik ve çevresel kazanımlar elde etmesi mümkün görülmektedir.

4.2. Temiz Üretim Uygulama Adımları ve Bulgular

4.2.1. Planlama ve Organizasyon

Yönetimin Onayı

Su, enerji ve kimyasal madde kullanımının yoğun olduğu bir sektör olan tekstil sanayisi, BM, AB ve Türkiye'nin sürdürülebilir kalkınma, çevre yönetimi ve su yönetimi gibi temel başlıklarda yer alan hedefleri ve referans belgeleri (Vizyon 2023/2053, 11 ve 12. Kalkınma Planları, UNEP 2030 SKH, UN 2018-2028 Uluslararası Su Eylemi 10 Yılı, Yeşil Mutabakat, 2008/1/AB Direktifi (IPCC), SAI, Karbon Ayak İzi, Tekstil Sektöründe Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol Tebliği) çerçevesinde değerlendirildiğinde, TÜU sektör açısından bir zaruret haline gelmiştir. Bu kapsamda BOSSA fabrika yetkililerinin talepleri doğrultusunda, Çukurova Üniversitesi'yle birlikte üretimde kullanılan "su-kimyasal madde-enerji" üçlüsünün etkin bir şekilde yönetilmesi hedeflenerek, TÜBİTAK destekli 2244-Sanayi Doktora Programı kapsamında proje (Proje No: 119C178) çalışmaları başlatılmıştır. Zafar ve ark. (2022) yaptıkları çalışmada yönetimin çevresel konulara bakış açısının işletme kültürü üzerinde ve çevresel kararların alınmasında ne kadar önemli olduğunu ortaya koymuşlardır. BOSSA yönetiminin de çevresel hassasiyetleri "*Planlama ve Organizasyon*" başlığının ilk adımı olan "*Yönetimin Onayı*" aşamasının gerçekleşmesini sağlamıştır.

Proje Ekibinin Oluşturulması

Bu çalışma kapsamında TÜU'nun BOSSA'da odaklandığı alan olan su ve atıksu konusunda etkin bir çalışma yürütülebilmesi için Çevre Mühendisliği bölümünden bir doktora öğrencisinin süreçte yer alması taraflarca uygun görülmüştür. TÜU için oluşturulan ekip listesi, ekip üyelerin çalışma alanları/görevleri Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Proje ekibi

Ekip Üyesi	Görevi/Çalışma Alanı
Proje Yöneticisi /Akademik Danışman	Kirlilik Önleme ve Atık Azaltımı
Özel Sektör Proje Yöneticisi	İleri Araştırmalar ve Sürdürülebilirlik Şefi
Sanayi Danışmanı	Ar-Ge Müdürü
Bursiyer	Kirlilik Önleme ve Atık Azaltımı

Çevre Politikasının, Amaçların ve Hedeflerin Belirlenmesi

Çevre yönetim sistemi ile üretim faaliyetlerinin çevre üzerindeki etkilerini iyileştirmek, çevre performansını sürekli geliştirmek, çevre kirlenmesine karşı duyarlı ve etkin davranışlar sergilemek, kirlenmeyi önleyici etkin bir atık yönetimi uygulayarak tüm emisyon ve atıkları

azaltmak, kontrol altına almak ve kaynak kullanımını akılcı yönde geliştirmek, fabrikanın çevre politikasını oluşturmaktadır. Dolayısıyla bu çalışmanın amacı, fabrikanın su kaynaklarına bağımlılığı, kimyasal madde tüketimi ve kendi operasyonları dahilinde suyun yeniden kullanımı dahil, su sistemleri üzerindeki etkilerin azaltılması, atıksuya etkisi nedeniyle kimyasal madde tasarrufuna/ikamesine yönelik TÜÜ'yu değerlendirmek ve uygulamaktır.

Çalışma sonunda ulaşılmak istenen nihai hedefler aşağıdaki şekilde belirlenmiştir:

- Denim üretiminde SAI'nin hesaplanması,
- TÜ'nün yerinde uygulamalar ile direk işletmeye katkı sağlaması,
- TÜÜ ile SAI'nin azaltılması ve SKH'ye sağlanacak katkının nicel olarak ortaya konulması,
- Fabrikada su yönetiminin etkin bir şekilde sağlanması,
- Yapılacak çalışmanın ülkemizdeki denim/tekstil sektörüne ilgili konularda öncülük etmesi,
- Denim/Tekstil sektörünün çevresel yüklerini azaltmak için yararlı öneriler sunulması,
- Elde edilen sonuçlar ile “Yeşil Mutabakat Eylem Planı”nda belirtilen SAI ile ilgili rehber doküman hazırlanmasına katkıda bulunulması.

Temiz Üretim Uygulama Sürecinin Planlanması

TÜÜ kapsamındaki faaliyetler için çalışma alanlarına göre konu başlıkları ve bu başlıkları gerçekleştirecek sorumlular belirlenerek Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Temiz üretim uygulama süreci

İş Tanımı	Sorumlu(lar)
-Literatür araştırması	Tüm proje ekibi
-Metaryal ve metod geliştirme	
-Süreç ve tesis verilerinin toplanması	
-Mevcut durum SAI'nin hesaplanması -Su kütle dengesinin belirlenmesi -Proses suyu ve atıksu analizleri, sonuçların değerlendirilmesi -MET'lerin araştırılması ve fizibilite analizleri -MET'lerin SAI azaltılmasındaki katkılarının hesaplanması	Bursiyer Akademik danışman
Teknik ve çevresel değerlendirme	Tüm proje ekibi

Ayrıntılı çalışma planı TÜBİTAK 2244 Sanayi-Doktora Programı raporlama ve öğrencinin eğitim-öğretim dönemleri dikkate alınarak 6 aylık zaman (15 Ocak-15 Temmuz 1. Dönem, 15 Temmuz-15 Ocak 2. Dönem) çizelgeleri şeklinde hazırlanmıştır (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.7. Kirlilik önleme ve SAİ azaltımına yönelik TÜD süreci

TÜD Adımları	İş Tanımı	Çalışma Dönemi							
		2019	2020	2022	2023	2024			
		2	1	2	1	2	1	2	1
Ön Değerlendirme	Literatür araştırması								
	Oryantasyon süreci								
	Süreç ve fabrika verilerinin toplanması								
	Kimyasal maddelerin envanter analizi								
Değerlendirme	Kimyasal maddelerin çevresel etkilerinin değerlendirilmesi								
	Mevcut durum SAİ'nin belirlenmesi								
	Proses suyu ve atıksuların analizi								
	Yumuşatma ünitesi								
	Halat boya işletmesi								
	Bobin boyama								
	Slasher boyama işletmesi								
	Terbiye işletmeleri								
	Diğer atıksu kaynaklarının değerlendirilmesi								
Fizibilite Analizi	TÜ kapsamında MET'lerin araştırılması ve değerlendirilmesi								
	Dökümantasyon								

4.2.2. Ön Değerlendirme

BOSSA fabrikası, faaliyet gösterdiği denim alanındaki ürün yelpazesi ve yüksek üretim kapasitesi ve boya-terbiye prosesleriyle pazara yüksek kalitede ürün ve servisler sunmaktadır. İplik, dokuma, boyama, baskı ve terbiye işletmeleri ile Türkiye'nin en büyük entegre tekstil tesislerinden birine sahiptir. Kumaşlarını ipliği boyalı, düz boya, baskılı, denim, kadife ve gömleklik grupları dahilinde %100 pamuk, polyester/pamuk, polyester/viskon ve elastan karışımlarıyla üretmektedir. 200 bin m² alan üzerinde kurulu olan BOSSA'da ortalama 1.620 kişi istihdam edilmektedir. Fabrika, 2018 yılı itibariyle T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından verilen Ar-Ge Merkezi Belgesi'ne sahiptir. 5746 sayılı kanun kapsamında Ar-Ge Merkezlerine sağlanan teşvik ve muafiyetlerden yararlanma hakkına sahiptir (Anonim 13).

Fabrikanın yıllık üretim kapasitesi 2023 itibariyle 50 milyon m seviyesinde olup; ürünlerini 40'ın üzerinde ülkeye ihraç etmektedir. Şirket aynı zamanda Better Cotton Initiative (BCI), Global Organic Textile Standard (GOTS), Organic Content Standard (OCS), FAIR Trade, GMO FREE, OEKO-TEX sertifikalarına ve ISO 9001, 14001, 18001, 27001 ve 50001 standart belgelerine sahiptir. Hammadde olarak kullanılan pamuk ve elyaf türleri ile üretim proseslerinde kullanılan su, enerji ve kimyasal maddeler en önemli girdileri oluşturmaktadır. Üretim süreci sonunda elde edilen en önemli çıktı ise farklı özelliklere sahip mamul denim kumaştır.

TÜ kapsamında BOSSA ile ilgili ihtiyaç duyulan bilgi türlerinin analizi ve ilgili bilgilerin mevcut durum kontrol listesi Çizelge 4.8'de verilmiştir (Nilsson ve ark. (2007)'den uyarlanmıştır).

Çizelge 4.8. Bilgi türlerine göre hazırlanan kontrol listesi

Bilgi Türü	Mevcut	Mevcut Değil	Güncelleme Gerekliyor	Uygulanabilir Değil
Proses Bilgileri				
Proses akış diyagramı	✓			
Kütle denge verileri	✓			
Enerji denge verileri	✓			
İşletme şemaları	✓			
Drenaj şemaları	✓			
İşletme prosedürleri	✓			
Ekipman listesi ve özellikleri	✓			
Mevzuat Bilgisi				
Atık lisans(lar)ı	✓			
Ticari atık anlaşmaları	✓			
Çevresel izleme kayıtları	✓			
Çevre koruma lisans(lar)ı	✓			
Çevre denetim raporları	✓			
Hammadde/Üretim Bilgileri				
Malzeme güvenlik bilgi formları	✓			
Ürün ve hammadde envanteri	✓			
Ürün bileşimi ve üretim programları (ürün reçeteleri)	✓			
Muhasebe Bilgileri				
Atık işleme, arıtma ve bertaraf maliyetleri	✓			
Su ve kanalizasyon maliyetleri	✓			
Ürün, enerji ve hammadde maliyetleri	✓			
İşletme ve bakım maliyetleri	✓			
Sigorta masrafları	✓			

Endüstriyel faaliyetler sonucunda oluşan atık ve emisyonlar nedeniyle ekosistemlere ve ekonomik büyümeye zarar veren çevre kirliliği, 21. yüzyılın en ürkütücü ve tartışmalı konuları arasında yer alarak önemli bir endişe kaynağı haline gelmiştir. Sürdürülebilir olmayan uygulamalar nedeniyle de kirliliğin etkileri her geçen gün artmaktadır. Önlemenin tedavi etmekten daha iyi olduğu anlayışıyla, politika yapıcılar ve uygulayıcılar çevresel olarak sürdürülebilir kalkınmaya katkıda bulunmak için çevre kirliliğini azaltmayı amaçlayan çevresel stratejilere önemli ölçüde zaman ve kaynak ayırmaya başlamışlardır (Fan ve ark., 2021). BOSSA’da uyguladığı çevre politikası ile ulusal ve uluslararası mevzuat ve sertifikasyonlar çerçevesinde çevre üzerindeki etkilerini iyileştirmek, çevre performansını sürekli geliştirmek, çevre kirlenmesine karşı duyarlı ve etkin davranışlar sergilemek, kirlenmeyi önleyici etkin bir atık yönetimi uygulayarak tüm emisyon ve atıkları azaltmak, kontrol altına almak ve kaynak kullanımını akılcı yönde geliştirmek için önemli adımlar atmıştır. Bu kapsamda fabrikanın sahip olduğu ulusal ve uluslararası sertifikalar/belgeler Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.9. BOSSA'nın sahip olduğu çevresel sertifika ve belgeler

Sertifika/Belge Adı	Açıklama	Geçerlilik Tarihi
TSE EN ISO 14001:2015 Çevre Yönetim Sistemi Belgesi	Çevreyi ve kaynakları tahrip etmeyen gelişmiş teknolojilerin kullanımını teşvik etmek, SKH'lere ulaşmak, tüketiciyi bilinçlendirmek, ürünlerin var olma süresince çevreye verdikleri etkilerini değerlendirerek zararlı ürünlerin elenmesini sağlamak amacıyla geliştirilen uluslararası bir yönetim standardıdır.	10.08.2025
Sıfır Atık Belgesi (Temel Seviye)	İsrafın önlenmesini, kaynakların daha verimli kullanılmasını, atık oluşum sebeplerinin gözden geçirilerek atık oluşumunun engellenmesi veya minimize edilmesi, atığın oluşması durumunda ise kaynağında ayrı toplanması ve geri kazanımının sağlanmasını kapsayan atık yönetim felsefesi olarak tanımlanan bir hedeftir.	04.11.2025

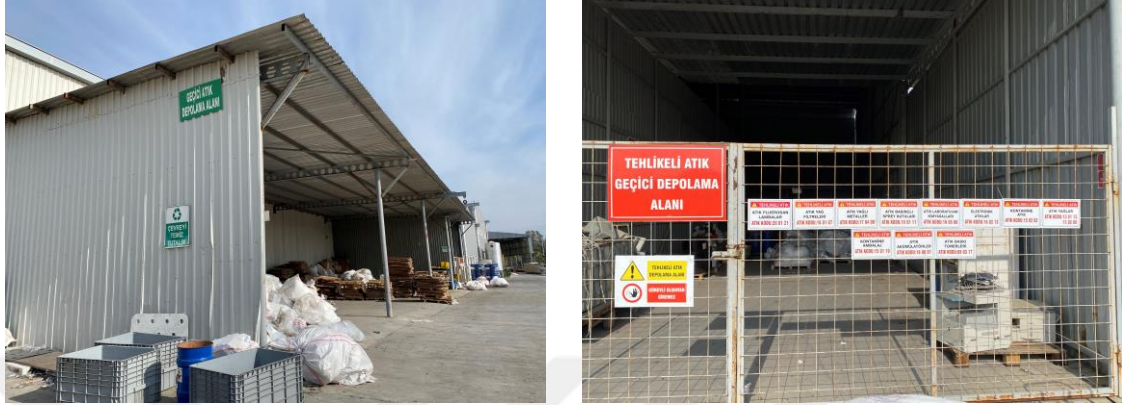
Hızlı kentleşme, ekonomik ve endüstriyel gelişmeler ve gelişmekte olan ülkelerde artan nüfusa bağlı olarak yaşam standartlarının yükselmesi ile gelişen "tek kullanımlık" kültür, hem atık üretim oranını hem de atık kompozisyonunu önemli ölçüde değiştirmiştir (Sarı ve ark., 2021). Son yıllarda, öncelik sırasına göre uygulanan atıkların önlenmesi, yeniden kullanımı, geri dönüşümü, enerji kazanımı, bertarafı gibi atık yönetim politikaları hem doğal kaynakların tükenmesini hem de çevre kirliliğinin oluşmasını engellemektedir (Minelgaité ve Liobikienė, 2019).

Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de daha az atık üretmeye dayalı üretim ve tüketim faaliyetlerinin hayata geçirilmesi, atıkların içeriğine, kaynağına göre sınıflandırılarak depolanması, taşınması ve bertarafı gibi çevre koruma politikaları önemli bir yere sahiptir (Gül ve Yaman, 2021). Bu kapsamda ülkemizde yürürlükte olan birçok mevzuat yer almaktadır ve bazıları aşağıda verilmiştir.

- Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
- Atık Yönetimi Yönetmeliği
- Atık Yağların Yönetimi Yönetmeliği
- Sıfır Atık Yönetmeliği
- Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği
- Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği
- Bitkisel Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği
- Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Kontrolü Yönetmeliği
- Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik
- Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik
- Atık Pil ve Akümülatörlerin Kontrolü Yönetmeliği
- Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği

Atık Yönetimi Yönetmeliği'ne göre atık üreticisi konumunda olan BOSSA'da atık yönetimi TSE EN ISO 14001:2015 Çevre Yönetim Sistemi ve ilgili kanun ve yönetmeliklere göre

yürütülmektedir. Bu kapsamda üretim faaliyetleri sonucu oluşan atıklar özellik ve içeriğine göre sınıflandırılarak fabrika içerisinde yer alan geçici depolama alanında (Şekil 4.10) lisanslı taşıyıcılara/AOSB’ye/yetkilendirilmiş kuruluşlara teslim edilene kadar güvenli bir şekilde bekletilmektedir.



Şekil 4.10. Atık Geçici Depolama Alanları

Geçici depolama alanlarında atıklar, Atık Yönetimi Yönetmeliği’nde belirlenen atık kodlarının üzerinde yer aldığı levhalar ile belirlenen alanlarda ayrı ayrı tutulmaktadır.

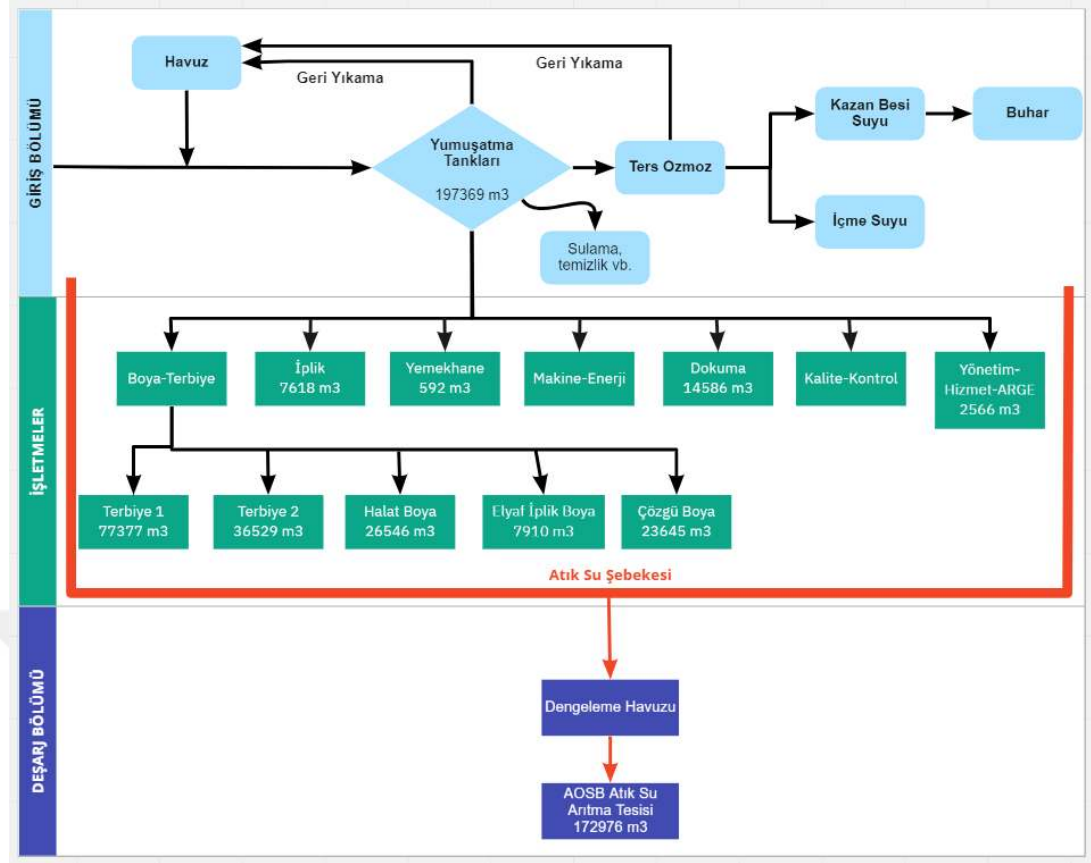
Tehlikeli ve tehlikesiz atıklar (evsel niteliktekiler hariç) fabrikanın anlaşmalı olduğu taşıma ve bertaraf lisansı almış geri dönüşüm firmaları tarafından teslim alınmaktadır. Evsel nitelikteki atıklar fabrika içerisinde toplanarak AOSB’ye teslim edilmektedir.

4.2.3. Değerlendirme

Ön değerlendirme sürecinde fabrika hakkında genel bilgiler toplanırken değerlendirme sürecine geçildiğinde belirli bir sürecin performansı (ele alınan konu) detaylı bir şekilde ortaya konulmalıdır. Bu nedenle çalışmanın amaç ve hedefi dikkate alındığında fabrikanın en önemli girdilerinden biri olan su girdisi tüketim ve atıksu oluşumu üzerinden spesifik olarak değerlendirme sürecini oluşturmuştur. Bununla birlikte proses atıksu özelliğini doğrudan etkileyen kimyasal girdilerinin ise çevresel etki analizleri yapılmıştır.

Su Kütle Dengesi

Fabrikanın AOSB isale hattından temin ettiği su, fabrika içerisinde Şekil 4.11’de görüldüğü gibi dağılmakta (örnek seçilen bir aya ait tüketim verileri kullanılmıştır) ve atıksu olarak dengeleme havuzunda toplanarak AOSB’nin atıksu arıtma tesisi ile sonlanan kanalizasyon şebekesine deşarj edilmektedir. Atıksu deşarjı öncesi ön işlem olarak fabrika çıkışında yalnızca pH ayarlaması yapılmaktadır. Tüketim miktarının ortalama %85’i atıksu olarak deşarj edilmektedir.



Şekil 4.11. Fabrikanın Su Kütlesi Dengesi

Firmaların faaliyetleri sonucunda oluşan atıksu, kanalizasyon sistemi ile AOSB Evsel ve Endüstriyel Atıksu Arıtma Tesisi'ne gelmekte, SKKY deşarj standardı Tablo-19 limit değerleri dahilinde alıcı ortama (Ceyhan Nehri) deşarj edilmektedir. Deşarj edilen atıksu karışık endüstriyel atıksular sınıfında olup sektör belirlemesi yapılamamaktadır (AÇŞM, 2020). Nahar ve ark. (2024) Bangladeş'de 45.000 m² alanda kurulu, ayda 1,2x10⁶ parça denim hazır giyim üretimi yapan bir fabrikanın günlük olarak yaklaşık 2.636 m³ yeraltı suyu çekimi yaptığını bildirmişlerdir. Bunun 592 m³'ü evsel tüketim amaçları için (içme, yemek pişirme, tuvalet sifonu, bahçe işleri, temizlik, vb.) kullanılmaktadır. Çıkarılan yeraltı suyu ham su depolama tankında depolandıktan sonra, depolanan suyun 2.044 m³'ü, 90 m³/saat kapasitede çalışan su arıtma tesisinde yumuşatılmaktadır. Yumuşak suyun yaklaşık %95'i ise ürün yıkama işlemlerinde kullanılmaktadır. Bu çalışmadan da anlaşılacağı üzere tesis su dağılımları denim sektörü için benzer akış diyagramları göstermektedir.

Fabrikanın Tabii Olduğu Atıksu Deşarj Standartları

BOSSA'nın faaliyet alanı dikkate alındığında SKKY'ye göre tabii olduğu alıcı ortam deşarj standartları Çizelge 4.10'da verilmiştir (SKKY, 2004). Ancak fabrika AOSB yerleşkesinde faaliyet gösterdiği için atıksularını AOSB'nin ortak arıtma tesisi ile sonlanan kanalizasyon sistemine deşarj etmektedir. AOSB'nin fabrikadan istediği kanalizasyon deşarj parametreleri ve limit değerleri ise daha önce Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.10. Tekstil sanayii deşarj standartları (dokunmuş kumaş terbiyesi ve benzerleri)

Parametre	Birim	Kompozit Numune 2 saatlik
KOİ	mg/L	300
AKM	mg/L	140
NH ₄ -N	mg/L	5
Serbest klor	mg/L	0,3
Toplam krom	mg/L	2
Sülfür	mg/L	0,1
Sülfid	mg/L	1
Fenol	mg/L	1
Balık biyodeneyi	-	4
pH	-	6-9
Renk	Pt-Co	280

Fabrikanın Atıksu Özelliklerinin Değerlendirilmesi

BOSSA, AOSB'nin talep ettiği deşarj parametreleri ve limitlerini dikkate alarak atıksularını bir ön arıtmadan/işlemden geçirmektedir. Üretilen kumaşların boya ve terbiye işlemleri alkali şartlarda yapıldığından üretim atıksularının pH değeri 11-12 aralığındadır. Fabrikanın içerisinde yer alan dengeleme havuzunda pH düşürme işlemi sıvı CO₂ veya H₂SO₄ kullanılarak yapılmaktadır. AOSB'nin fabrikadan günlük olarak aldığı atıksu numunelerinin analiz sonuçları değerlendirildiğinde 2021, 2022 ve 2023 yıllarına ait deşarj parametrelerinin tanımlayıcı istatistikleri Çizelge 4.11'de verilmiştir.

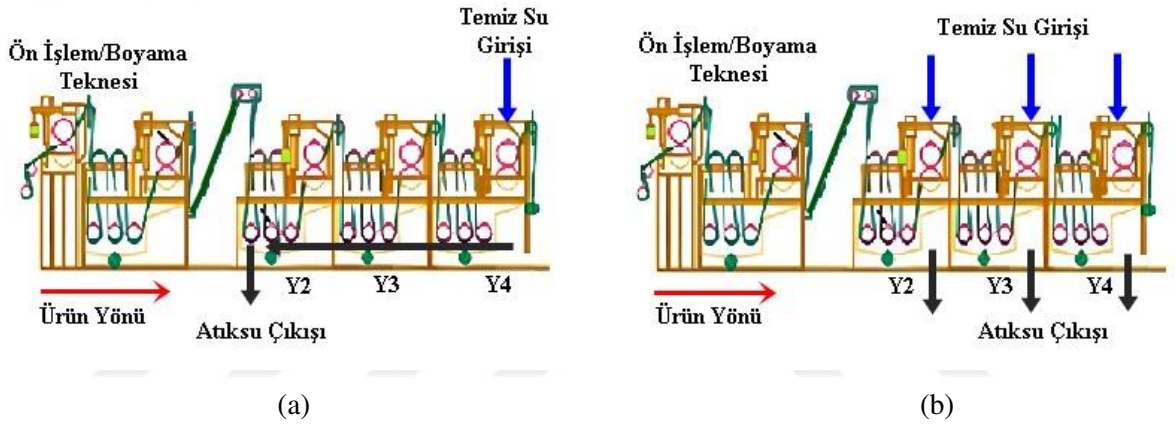
Çizelge 4.11. Yıllara göre deşarj parametrelerine ait verilerin tanımlayıcı istatistik değerleri

	AKM (mg/L)			KOİ (mg/L)			pH			T (°C)		
Yıllar	2021	2022	2023	2021	2022	2023	2021	2022	2023	2021	2022	2023
Ortalama ($\bar{x}$)	555	504	542	1879	1770	1746	9,28	9,22	8,42	27,7	22,4	23,0
Medyan	500	472	500	1920	1733	1755	9,27	9,16	8,44	30,0	21,0	22,5
Standart sapma	184	234	205	501	532	381	0,96	0,81	1,04	7,5	7,8	6,7
Maksimum	1880	1642	1456	5295	4380	3815	12,78	12,30	11,72	39,0	40,0	37,0
Minimum	212	48	80	560	496	480	4,20	7,04	2,10	7,0	8,0	10,0

Çizelge 4.11'den görüleceği üzere, parametrelerin ortalama değerlerine bakıldığında; AKM, fabrikanın deşarj kriterlerini sağlamada sorun yaşadığı bir parametredir. Dolayısıyla SAİ_{gri}'nin hesaplanmasında da AKM parametresinin kritik kirletici olarak değerlendirilmesi doğru bir yaklaşım olmuştur. Diğer parametrelerin maksimum değerlerine bakıldığında ise deşarj limitlerini zaman zaman aştığı söylenebilir. Bu veriler dikkate alınarak AKM, SAİ'nin azaltılması için odak parametre olarak seçilmiştir. Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde de AKM parametresinin kaynağının belirlenmesi ve konsantrasyonun azaltılması için yapılan çalışmalar detaylı olarak ele alınmıştır.

Proses Atıksu Özelliklerinin Belirlenmesi

Proses atıksuları genellikle boyama, merserizasyon ve terbiye proseslerinde yapılan yıkama işlemlerinden kaynaklanmaktadır. Yıkama işlemlerinde, işleme tabi tutulmuş iplikler ve kumaşlar üzerlerindeki emilmemiş ve oksitlenmemiş safsızlıkları gidermek amacıyla yıkama teknelerinden geçirilmektedir. Yıkama tekneleri, ters akışlı (Şekil 4.12(a)) ya da ayrı beslemeli (Şekil 4.12(b)) işletilebilmektedir. Ters akışlı yıkamada ürün ve su yönü zıttır. Ürün ilk olarak Y2 teknesinden Y4 teknesine doğru ilerlerken, temiz su girişi Y4 teknesinden yapılmakta ve taşmalı olarak Y2 teknesine ilerleyerek Y2 teknesinden deşarj edilmektedir. Ayrı beslemeli yıkamada ise, ürün girişi yine Y2 teknesinden yapılmakta olup, her tekne temiz su ile beslenmekte ve her tekneden atıksu deşarjı yapılmaktadır. Yıkama teknelerinde su beslemesinin ve atıksu deşarjının şematik gösterimi Şekil 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4.12. Yıkama Teknelerine Su Beslemesinin Şematik Gösterimi (a) Ters akışlı, (b) Ayrı Beslemeli

Proses atıksu özelliklerinin belirlenmesi için incelenecek başlıklar; a) halat boyama, b) kumaş boyama c) bobin boyama, d) terbiye işlemleri, e) çeşitli proses/işletmeler ve f) dengeleme havuzu olarak belirlenmiştir.

a) Halat Boyama Atıksularının Analizi

İplik boyamanın bir yöntemi olan halat boyamada ön işlem merserizasyondur. Merserize işlemi ile iplikler şişirilerek boya alım kapasitesi ve afinitesi (bağlanma eğilimi) arttırılmaktadır. Merserizasyon işleminde seyreltilmiş kostik (NaOH) kullanılmaktadır. Kullanılan NaOH genel olarak 4-20 Bome aralığındadır. Ön işlem tekneleri 1.500-2.400 L kapasiteye sahip olup merserizasyon aşamasında ürün tipine göre ısıtıcı ve/veya iyon tutucu eklenebilmektedir. Proses sıcaklığı genel olarak 38-43 °C aralığındadır. Şekil 4.13’te fabrikadaki halat boyama prosesinden bir görüntü verilmiştir.



Şekil 4.13. Halat Boyama Prosesi

Boyama tekneleri 3.000 L kapasiteye sahip olup indigo derişimi ürün tipine göre değişiklik göstermektedir. Her tekneden sonra boyanmış halat halindeki iplikler yaklaşık 40 m oksidasyon mesafesi kat etmektedir. Oksidasyon işlemi, indirgenmiş yeşil renkli leuco indigoyu mavi renkli indigoya dönüştürmektedir (Tölek ve Doba Kadem, 2016) (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. İndigo Boyar Maddesi İle Boyanmış İpliğin Hava Oksidasyonu

Düşük pH değerlerinde indigo çözünmediğinden, indigo boyamada istenilen pH aralığı 12-12,5'tir. Proses sıcaklığı indigo boyamalarda yaklaşık 32 °C'dir. Ancak bu sıcaklık kükürt bazlı boyalarda 85-90 °C'ye kadar yükselebilmektedir. İndigonun indirgenmesi için çeşitli kimyasal

maddeler kullanılmaktadır. Boyama işleminde kullanılan tekne sayısı talep edilen rengin açıklık koyuluğuna bağlı olarak farklılık göstermektedir.

Halat boyama prosesinde son olarak halatlar kurutma tamburlarına alınarak nemi düşürülmektedir. Yüksek nem, açma ünitesinde sıkıntılara sebep olabilmektedir. Proses hızı 20-34 m/dak'dır (ortalama 27 m/dak).

Halat boyama prosesinde merserize sonrası (Şekil 4.15) ve boyama sonrası (Şekil 4.16) olmak üzere 2 noktadan deşarj vardır. Merserize ve boyama işlemlerinde kullanılan NaOH, indigo, yumuşatıcı ve ısılatıcı vb. maddeler nedeniyle atıksuların kirlilik parametre değerleri değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle her bir ürün için merserize ve boya sonrası olmak üzere iki noktadan numuneler alınarak analiz edilmiştir.



Şekil 4.15. Merserize Sonrası Yıkama Atıksuyu Deşarj Noktası



Şekil 4.16. Boyama Sonrası Yıkama Atıksuyu Deşarj Noktası

Ürün tipine bağlı olarak merserize sonrası yıkama debisi 45-50 L/dk, boyama sonrası yıkama debisi 50-65 L/dk arasında değişiklik göstermektedir. Bu nedenle atıksu karakterizasyonunun nasıl değiştiğini gözlemlemek için farklı tiplerin üretimdeki atıksulardan numuneler alınmış ve analiz

edilmiştir. Farklı ürün tiplerinin üretiminde oluşan atıksular için parametre bazında elde edilen sonuçların tanımlayıcı istatistik değerleri Çizelge 4.12’de verilmiştir.

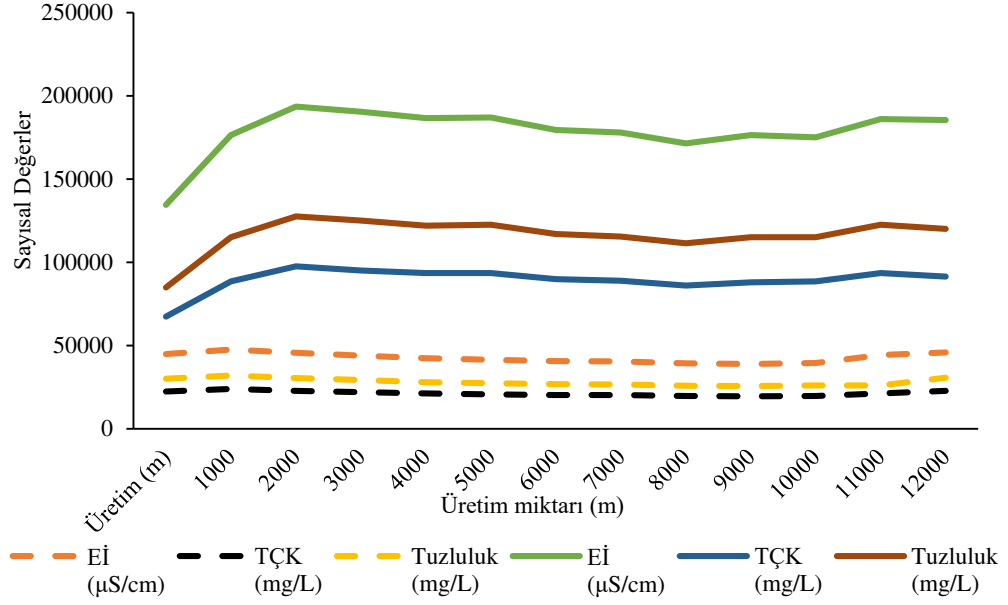
Çizelge 4.12. Farklı ürün tiplerinin üretiminde oluşan atıksu parametrelerinin tanımlayıcı istatistik değerleri

İşlem Adımı	Tanımlayıcı İstatistikler	pH	T (C°)	Eİ (µS/cm)	TÇKM (mg/L)	Tuzluluk (mg/L)	AKM (mg/L)	KOİ (mg/L)	Renk (Pt-Co)
Merserize Sonrası	Ortalama	11,90	27,85	20.732	10.345	13.117	452	2.406	15.855
	Medyan	11,65	26,00	10.730	5.360	6.270	333	1.923	17.425
	Standart Sapma	0,77	5,27	15.127	7.546	10.335	240	1.108	4.868
	Maksimum	12,93	38,50	47.700	24.000	32.100	1.066	4.326	22.500
	Minimum	10,63	23,10	7.410	3.690	4.220	80	291	2.810
Boyama Sonrası	Ortalama	13,19	27,28	116.967	59.269	79.607	279	3.136	1.426
	Medyan	13,20	24,50	97.000	48.400	66.850	225	2.133	1.285
	Standart Sapma	0,16	5,40	44.746	21.410	26.936	132	1.867	526
	Maksimum	13,35	38,50	193.500	97.500	127.500	500	7.968	3.225
	Minimum	12,48	23,10	24.400	12.300	15.400	40	349	239

Çizelge 4.12’de verilen değerler bir ürün tipine ait değildir. Proses aynı olmasına rağmen ürün tipi değişiminde üretim reçetelerinin (kimyasal maddenin kendisi ve/veya miktarı) değişmesi nedeniyle oluşan atıksuların karakterizasyonu da farklılık göstermektedir. Dolayısıyla proses özelinde yerinde arıtma ve yeniden kullanım imkanı parametrelerdeki değişimler göz önüne alınarak değerlendirilmelidir.

Ürün tipindeki değişimin atıksu karakterizasyonuna etkisi incelendikten sonra, atıksu karakterizasyonunun bir ürünün üretim süreci boyunca nasıl değişeceğini gözlemlemek için uzun metrajlı (örneğin, 12.000 m kumaş üretimi) bir değerlendirme yapılmıştır. Bu değerlendirmenin amacı, yıkama suları özelliklerinin zamana bağlı değişimini tespit ederek yıkama işleminin aslında hangi özelliklere sahip su ile yapıldığını ortaya koymaktır.

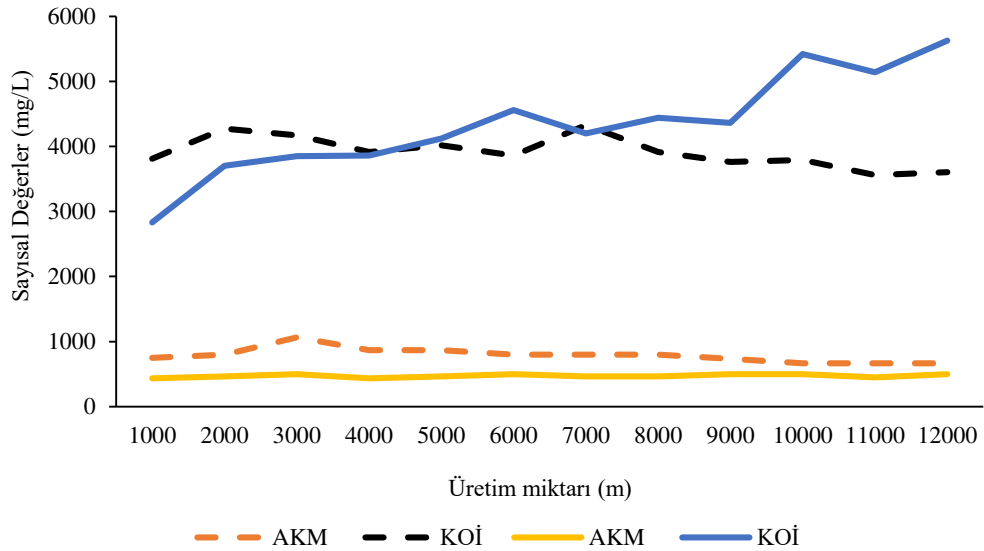
12.000 m’lik uzun metraj bir üretim sürecinde her 1.000 m’de merserize ve boyama sonrası yıkama atıksularından numuneler alınarak analiz edilmiştir. Üretim süreci boyunca merserize ve boyama sonrası yıkama atıksularındaki Eİ, TÇKM ve tuzluluğun değişimi Şekil 4.17’de verilmiştir. Grafiklerdeki kesikli çizgiler (- - -) boyama, düz çizgiler (—) ise merserize sonrası yıkama atıksularının ilgili parametrelerini göstermektedir. Elde edilen sonuçlar detaylarıyla aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 4.17. Yıkama Atıksuyundaki Eİ, TÇKM ve Tuzlulukun Üretim Miktarına Göre Değişimi (- - - boyama, — ise merserize sonrası yıkama atıksularını göstermektedir.)

Şekil 4.17’den görüleceği üzere, merserize sonrası yıkama atıksularındaki Eİ, TÇKM ve tuzluluk değerleri boyama sonrası yıkama atıksularına oranla 3-4,5 kat daha yüksektir. Ancak parametrelerin üretim boyunca kendi içindeki değişimlerine bakıldığında, üretimin başından itibaren dikkate değer bir azalış-artış gözlenmemiştir.

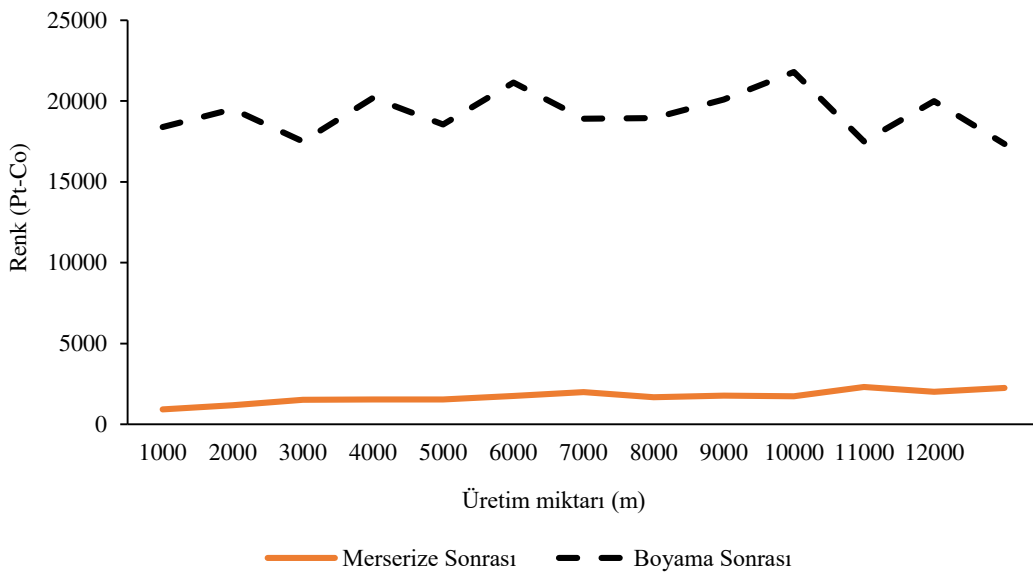
Üretim süreci boyunca merserize ve boyama sonrası yıkama atıksularındaki AKM ve KOİ konsantrasyonlarının değişimi ise Şekil 4.18’de verilmiştir.



Şekil 4.18. Yıkama Atıksuyundaki KOİ ve AKM’nin Üretim Miktarına Göre Değişimi (- - - boyama, — ise merserize sonrası yıkama atıksularını göstermektedir.)

Şekil 4.18 dikkate alındığında, proses süreci boyunca dozlanan stok NaOH nedeniyle merserize sonrası yıkama atıksuyunun KOİ değerinde artış görülmektedir. Boyama atıksularında ise, indigo dozlaması ve tekneler arasındaki sirkülasyon nedeniyle, numune alınan üretim metrajına göre KOİ değeri artış ve azalış göstermiştir. Her iki noktadan alınan numunelerin AKM değerleri merserize ve boyama sonrası yıkama atıksuları için sırasıyla 366-500 mg/L ve 666-1066 mg/L aralığında değişmektedir. Boyama sonrası yıkama atıksuyunun AKM'sinin en düşük değeri merserize sonrası yıkama atıksuyunun en yüksek değerinin üzerindedir.

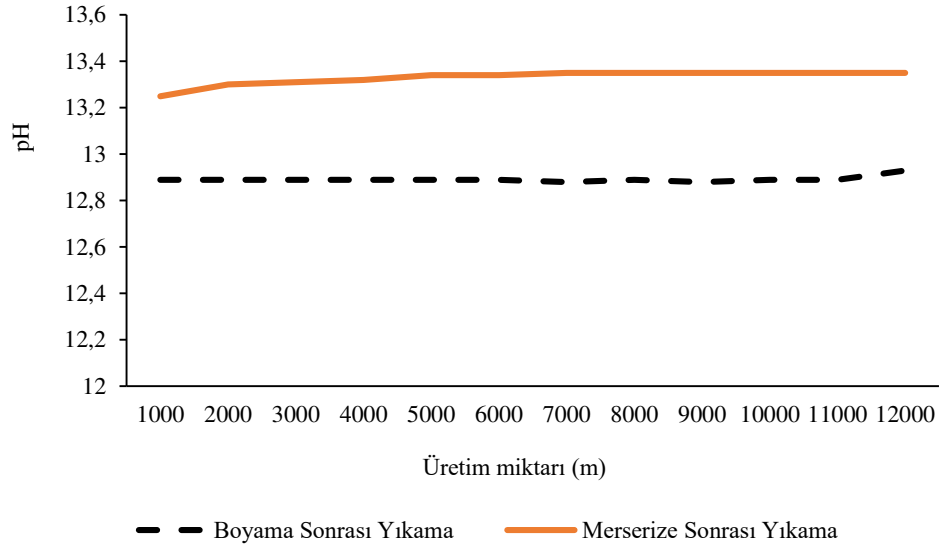
Üretim süreci boyunca merserize ve boyama sonrası yıkama atıksularındaki renk değişimi Şekil 4.19'da verilmiştir.



Şekil 4.19. Yıkama Atıksuyundaki Rengin Üretim Miktarına Göre Değişimi

Merserize sonrası yıkama atıksuyunda renk 925-2.320 Pt-Co arasında değişirken boyama sonrası yıkama atıksuyunda 17.350-21.800 Pt-Co arasındadır. Boyama sonrası yıkama atıksuyunun renk değerlerinde üretim süreci boyunca dalgalı bir değişim görülmektedir. Merserize sonrası yıkama atıksuyunun rengi ise artış eğilimindedir. Ancak her durumda boyama sonrası yıkama atıksuyunun rengi merserize işleminden kaynaklanan renge göre oldukça yüksektir.

Üretim süreci boyunca merserize ve boyama sonrası yıkama atıksularındaki pH'ın değişimi Şekil 4.20'de verilmiştir.



Şekil 4.20. Yıkama Atıksuyundaki pH'ın Üretim Miktarına Göre Değişimi

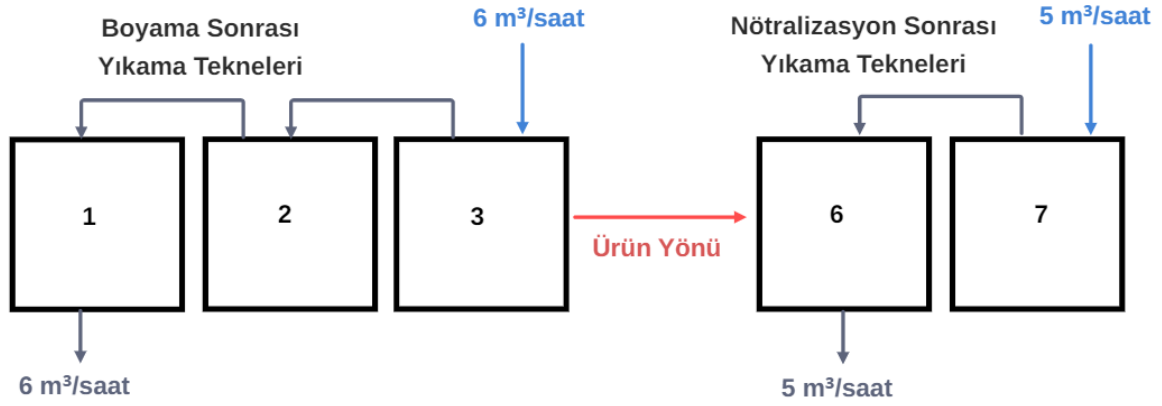
Üretim süreci boyunca merserize ve boyama sonrası yıkama atıksularında kayda değer bir pH değişimi gözlenmemiştir. Merserize sonrası yıkama atıksuyunda pH 13,2-13,35 arasında değişirken, boyama sonrasında pH değişimi 12,88-12,93 aralığındadır. Her iki atıksu da alkali özelliktedir. Bunun nedeni ise merserize işleminde kullanılan NaOH ve indigo indirgemedede kullanılan alkali kimyasal maddelerdir. Boyama sonrası yıkama atıksuyunun pH'ının daha düşük olmasının nedeni temiz su besleme debisinin merserize yıkama teknelerine göre daha yüksek olmasıdır.

Atıksulardaki kirlilik parametrelerinin üretim süreci boyunca nasıl değiştiğinin detaylarıyla gösterildiği Şekil 4.17, Şekil 4.18, Şekil 4.19 ve Şekil 4.20 dikkate alındığında, yıkama teknelerindeki suyun üretimin başlangıcından itibaren hızla kirlendiği anlaşılmaktadır. Ancak bir süre sonra yıkama teknelerindeki su, temiz su besleme miktarına bağlı olarak denge konsantrasyonuna gelmektedir ve kirlilik seviyelerinde bir artış ya da azalış olmamaktadır. Dolayısıyla gerek merserize gerekse boyama sonrası yıkama teknelerine giren halatlar üretimin başından itibaren görece kirli bir suda yıkanmaktadır. Kirlilik düzeyleri değişmekle birlikte benzer sonuçlar diğer yıkama proseslerinde (slasher boyama, terbiye işlemleri vb.) de gözlemlenmiştir. Bu durum yıkama sularının sürekli temiz olmadığını, dolayısıyla suyun yeniden kullanım kriterlerinin tekrar gözden geçirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Suyun doğrudan yeniden kullanımı konusunda bu durum tekrar ele alınacaktır.

b) Kumaş Boyama Atıksularının Analizi

Kumaş boyama prosesinde yıkama işlemlerini gösteren akış şeması Şekil 4.21'de verilmiştir. 3 seri bağlı tekne boyama sonrası yıkama, 2 seri bağlı tekne ise kimyasal işlem (asitle nötralizasyon) sonrası yıkama için kullanılmaktadır. Tekneler ürün tipine göre genelde ters akışlı, yani son tekneden

temiz su beslemeli (Şekil 4.12(a)) olarak işletilmektedir. Şekil 4.21’de 3. ve 7. tekneler temiz su beslemesinin yapıldığı teknelerdir. Zaman zaman yıkama işleminde her teknenin ayrı ayrı beslendiği durumlara da rastlanılmıştır (Şekil 4.12(b)). Boyama sonrası yıkama teknelerinin besleme debisi 6 m³/saat, kimyasal sonrası yıkama teknelerinin besleme debisi ise 5 m³/saat’dir.



Şekil 4.21. Kumaş Boyama Proses Akış Şeması

Şekil 4.21’den görüleceği üzere her iki yıkamanın (boyama ve kimyasal işlem sonrası yıkama) atıksu deşarjı tek noktadan yapılmaktadır. Dolayısıyla boyama sonrası yıkama ve kimyasal işlem sonrası yıkama olmak üzere her bir ürün tipi için iki noktadan numuneler alınarak analizleri yapılmıştır. Farklı ürün tiplerinin üretiminde oluşan atıksular için parametre bazında elde edilen sonuçların tanımlayıcı istatistik değerleri Çizelge 4.13’te verilmiştir.

Çizelge 4.13. Kumaş boyamada oluşan atıksu parametrelerinin tanımlayıcı istatistik değerleri

İşlem Adımı	Tanımlayıcı İstatistikler	pH	T (C°)	Eİ (µS/cm)	TÇKM (mg/L)	Tuzluluk (mg/L)	AKM (mg/L)	KOİ (mg/L)	Renk (Pt-Co)
Boyama Sonrası	Ortalama	12,03	35,9	14.253	6.993	8.764	664	4.656	44.933
	Medyan	12,08	40,0	8.330	4.170	4.800	375	1.887	29.100
	Standart Sapma	0,42	5,5	11.806	5.623	7.727	866	5.932	47.126
	Maksimum	12,64	40,0	35.900	17.900	25.200	3.400	20.480	179.250
	Minimum	11,15	25,0	2.190	1.100	1.160	150	644	10.200
Kimyasal İşlem Sonrası	Ortalama	6,98	31,0	985	492	526	69	400	402
	Medyan	7,35	30,0	802	400	420	63	162	226
	Standart Sapma	0,81	4,9	255	129	146	21	349	357
	Maksimum	7,78	40,0	1.414	710	770	100	850	1.112
	Minimum	5,73	25,0	767	385	400	50	81	165

Proses aynı olmasına rağmen ürün tipi değişiminde üretim reçetelerinin (kimyasal maddenin kendisi ve/veya miktarı) değişmesi nedeniyle oluşan atıksuların karakterizasyonu da farklılık

göstermektedir (Çizelge 4.13). Dolayısıyla proses özelinde yerinde arıtma ve yeniden kullanım imkanı parametrelerdeki değişimler göz önüne alınarak değerlendirilmelidir.

Ters akışlı yıkama işlemi ile ayrı temiz su beslemeli iki proses karşılaştırılarak elde edilen sonuçlar Çizelge 4.14’de verilmiştir. Karşılaştırmada ters akışlı beslemedeki veriler Çizelge 4.13’teki maksimum değerlerden alınmıştır.

Çizelge 4.14. Ters akışlı ve ayrı beslemeli sistemlerin atıksularının karşılaştırılması

Parametreler		Ters Akışlı Besleme		Ayrı Besleme			
		1. Tekne	6. Tekne	1. Tekne	2. Tekne	3. Tekne	6. Tekne
pH		12,64	6,33	12,64	12,08	11,65	7,78
T	(C°)	40	40	30	40	40	30
Eİ	(μS/cm)	35.900	1.414	35.900	8.830	3.590	802
TÇKM	(mg/L)	17.900	710	16.000	4.170	1.800	400
Tuzluluk	(mg/L)	25.200	770	20.400	4.800	1.940	420
AKM	(mg/L)	3.400	75	450	400	600	100
KOİ	(mg/L)	20.480	850	5.541	1.624	908	162
Renk	(Pt-Co)	179.250	1.112	35.400	26.900	23.600	297
Su tüketimi	(m ³ /saat)	6	5	2	2	2	5

Ürün tipi farklı, toplam su tüketim miktarı aynı olmakla birlikte ayrı beslemeli sistemde oluşan atıksuların kirlilik değerleri ters akışlı besleme yapılan sisteme göre daha düşüktür. Özellikle en kirli tekneler olan 1. Teknelerdeki renk, KOİ ve AKM değerlerindeki düşüş sırasıyla %80, %72 ve %82’dir. Bu azalmanın gerekçesi olarak ürün tipinin farklılığı ve ayrı beslemeli sistemdeki her bir teknenin temiz su ile karışarak kirliliği her bir tekneye ayrı ayrı dağıtmasıdır. Ayrıca dikkat edilirse ayrı beslemeli sistemde tekne sıralaması arttıkça son tekneye doğru kirlilik seviyesinin azaldığı görülmektedir. Çünkü kumaş boyandıktan sonra girdiği ilk yıkama teknesinde üzerindeki safsızlıkların ve fazla boyanın büyük kısmını bırakmaktadır. Kimyasal sonrası yıkama atıksularının kirlilik değerleri ise oldukça düşüktür. Atıksuların doğrudan yeniden kullanım yaklaşımında bu konu tekrar ele alınacaktır.

c) Bobin Boyama Atıksularının Özellikleri

İpliklerin bobin şeklinde boyanması çeşitli boyutlara sahip kazanlarda, ihtiyaca göre prosese uygun kazan hacmi seçilerek gerçekleştirilmektedir. İplik sarılı bobinler kafes çubuklarına dizilerek kazanların içine yerleştirilmektedir (Şekil 4.22).



Şekil 4.22. Bobin Boyama

Bir ürün tipinin incelendiği bobin boyama işlemi sonrasında ortaya çıkan atıksuyun karakterizasyonu Çizelge 4.15’de verilmiştir.

Çizelge 4.15. Bobin boyama atıksu parametre değerleri

Parametre	Değer
pH	12,02
T (C°)	50
Eİ (µS/cm)	120.800
TÇKM (mg/L)	60.400
Tuzluluk (mg/L)	101.600
AKM (mg/L)	1.350
KOİ (mg/L)	4.120
Renk (Pt-Co)	37.875

Diğer proseslerde olduğu gibi pH değeri boyar maddenin çözülmesi ve ipliklere daha iyi nüfus edebilmesi için proses boyunca yüksek tutulmaktadır. Proses olarak değerlendirildiğinde pH, sıcaklık, KOİ ve AKM parametreleri AOSB deşarj standartlarında talep edilen değerlerin üzerindedir. Bunun nedeni sistemin halat ve kumaş boyamadaki gibi sürekli olarak değil kesikli olarak çalıştırılmasıdır.

d) Terbiye İşlemleri Atıksularının Analizi

Fabrikada apre, sanfor, merserizasyon, kesme, germe, şardon, vafer, fırça vb. süreçler terbiye işletmelerinde gerçekleştirilmektedir. Su kullanılan bazı terbiye proseslerinden kaynaklanan atıksuların analizleri yapılarak sonuçlar ve değerlendirmeler başlıklar halinde sunulmuştur.

- **Merserizasyon**

Fabrikada ürün tipine bağlı olarak merserizasyon ve merserizasyon işlemleri uygulanmaktadır. Çizelge 4.16’da fabrikada gerçekleştirilen iki farklı merserizasyon işleminden kaynaklanan atıksu karakterizasyonları verilmiştir. Dokunmuş kumaşa uygulanan merserizasyon

prosesinde makine hızı 35 m/dk (2.100 m/h), merserize yoğunluğu 14 bome, besleme debisi 10 m³/h, sıcaklık 60 °C'dir. Boyama öncesi uygulanan merserizasyon ile değerleri karşılaştırmak için halat boya prosesinde uygulanan merserizasyondan bir örnek seçilmiştir. Örnek seçilirken eldeki verilerden en yüksek KOİ değerine sahip olan numune dikkate alınmıştır.

Çizelge 4.16. Merserizasyon atıksuyu karakterizasyonu

Parametre	Dokunmuş Kumaş Merserizasyonu	Halat Boyama Merserizasyon
pH	7,62	13,35
T (C°)	47,7	38,5
Eİ (μS/cm)	1.550	193.500
TÇKM (mg/L)	776	97.500
Tuzluluk (mg/L)	860	127.500
AKM (mg/L)	500	500
KOİ (mg/L)	855	7.968
Renk (Pt-Co)	4.085	3.227

Çizelge 4.16'dan görüleceği üzere, halat boyama merserizasyon atıksuları dokunmuş kumaş merserizasyonu atıksularına göre, ölçülen parametreler bazında, genel olarak daha kirlidir. Sadece renk ve T parametresi dokunmuş kumaş merserizasyon atıksularında daha yüksek ölçülmüştür. Halat boyama merserizasyon atıksularının daha kirli olması, boyalı kumaşa yapılan merserizasyon işlemi sırasında kumaştaki boyanın bir miktar çözülmesi ile açıklanabilir.

- **Haşılama**

Fabrikada haşılama işlemi dokuma işletmesi içerisinde yer almakta olup dokuma prosesine gönderilecek boyalı ve boyasız ipliklere uygulanmaktadır. Haşılama işlemi talep reçetelerine göre yapılmaktadır. Fabrikada genel olarak haşılama işlemi için aşağıdaki kimyasallar kullanılmaktadır.

- Nişasta bazlı maddeler ve türevleri (mısır, patates vs.)
- Su
- Yağ
- Yapıştırıcı

Her reçete nişasta, yapıştırıcı ve yağ (bitkisel veya hayvansal) içermektedir. Ayrıca bazen polivinil alkol (PVA) sentetik haşıl olarak kullanılmaktadır (Periyasamy ve Periyasami, 2023). Reçeteye göre hazırlanan haşıl karışımı ile haşılama işlemi yapılmaktadır. Haşıl işleminin sonunda çözgünün nemi istenen oranda kalacak şekilde çözgüler kurutma tamburlarından geçmektedir.

Haşılama, haşıl kimyasalının hazırlandığı ana tanktan haşıl teknesine sürekli besleme yoluyla yapılmaktadır. Haşılana çözgü iplikleri haşıl çözeltisini üzerlerine absorpladığından haşıl

teknesindeki haşıl çözeltisi zamanla azalmaktadır. Haşılama işlemi bittikten sonra haşıl teknesinde kalan miktar kanalizasyona deşarj edilmektedir. Haşılama işleminde yıkama olmadığı için atıksu deşarjı yoktur.

Haşıl teknelerinin kapasiteleri 400 L olup her bir makinede 2 adet tekne bulunmaktadır. Proses sonunda deşarj edilen haşıl miktarı yaklaşık $200 \text{ L} \times 2 = 400 \text{ L}$ 'dir. Kanalizasyona deşarj edilen iki farklı reçeteye göre hazırlanmış haşıl çözeltisinin (atıksuyun) analiz sonuçları Çizelge 4.17'de verilmiştir.

Çizelge 4.17. Kanalizasyona deşarj edilen haşıl çözeltilerinin analiz sonuçları

Parametre	1. Haşıl Çözeltisi	2. Haşıl Çözeltisi
pH	7,52	8,23
T (C°)	85	85
Eİ (µS/cm)	2.720	1.595
TÇKM (mg/L)	1.360	798
Tuzluluk (mg/L)	1.450	870
AKM (mg/L)	-	-
KOİ (mg/L)	111.429	62.381
Renk (Pt-Co)	63.000	54.250

Numuneler oda sıcaklığına kadar soğutulduğunda haşıl çözeltisi katılaştığı için AKM analizleri yapılamamıştır. Haşıl çözeltisi yüksek miktarda nişasta, yağ ve yapıştırıcı gibi organik maddeler içerdiğinden KOİ değeri oldukça yüksektir. Kanalizasyona atılan miktar görece az olsa da (yaklaşık $0,4 \text{ m}^3$), yoğun kirlilik içeriği nedeniyle atık haşıl çözeltisinin işletme içerisinde geri kazanım dahil yeniden kullanılması veya kanalizasyona verilmeyip katı formda bertarafı atıksu kalitesinde iyileşme sağlayacaktır.

e) Çeşitli Proses/İşletmelerden Alınan Atıksuların Analizi

Bu başlık altında atıksu kaynağı olarak yemekhane ve yumuşatma ünitesi atıksuları analiz edilerek bir değerlendirme yapılmıştır.

- **Yemekhane Atıksularının Özellikleri**

Fabrika yemekhanesi çalışma vardiyalarını dikkate alarak sabah kahvaltısı, öğle ve akşam yemeği olmak üzere günde 3 öğün yemek hizmeti vermektedir. Yemek çeşidine, içeriğine, miktarına ve çeşit sayısına bağlı olarak hem katı atık hem de atıksu miktar ve özellikleri değişiklik göstermektedir. Bununla yanında, atıksu debisi de gün içerisinde salınımlara sahiptir. Dolayısıyla yemekhane atıksularının miktar ve özellikleri değişkenlik gösterdiğinden, araştırmada beyaz yaka personellerinin de bulunduğu (kullanıcı yoğunluğunun en fazla olduğu) öğlen yemeği zaman dilimi örneklem olarak seçilmiştir. Bunun için öğle yemeğinin hazırlanmasına başlanan sabah saatlerinde, öğle yemeğinin sunulduğu saatlerde ve oluşan bulaşıkların yıkandığı saatlerde numuneler alınarak

analiz edilmiştir. Bununla birlikte ilgili saatlerde eşit miktarda (1 L) alınan numunelerle hazırlanan kompozit numunenin de analizi gerçekleştirilmiştir. Numunelerin alındığı yer Şekil 4.23'te gösterilmiştir.



Şekil 4.23. Yemekhane Atıksuyu Numune Alma Noktası

Şekil 4.23'te yemekhane atıksularının önce kaba bir ızgaradan geçirildiği görülmektedir. Atıksu içerisinde bulunan kaba parçalar (sebze, meyve artıkları vb.) bu kaba ızgara ile tutulmakta ve böylece hem kanalizasyon hattında tıkanmalar önlenmekte hem de dengeleme havuzunun yükü (organik, çökelme, yüzen katılar vb.) azaltılmaktadır. Yemekhaneden saat başı alınan numunelerin analiz sonuçları Çizelge 4.18'de verilmiştir.

Çizelge 4.18. Yemekhane atıksu özellikleri

Numune Saati/ Türü	pH	Sıcaklık (C°)	Eİ (µS/cm)	TÇKM (mg/L)	Tuzluluk (mg/L)	AKM (mg/L)	KOİ (mg/L)	Renk (Pt-Co)
09.00	5,67	19,6	1.423	710	770	160	514	1.355
11.00	6,2	19,8	294	140	150	80	170	294
12.00	7,1	20	822	410	430	120	784	740
13.00	7,1	38	626	310	330	120	523	1.225
14.00	7,05	23,2	454	230	230	80	741	1.155
15.00	7,15	23	217	100	110	80	322	480
Kompozit	6,9	21	670	330	350	80	331	850

Saat 09.00 ve 11.00'de atıksu debisi görece düşüktür (75-100 L/saat). Ancak yemek hizmetinin başladığı 11.30 sonrasında debi 900-1.000 L/saat mertebesindedir. Debi artışının temel nedeni kullanılmış mutfak ve yemek malzemelerinin (kazan, tabak vb.) yıkanmaya başlanmasıdır. Saatlik değerlendirmede atıksu özellikleri debiye ve yıkanan malzemelerin kirliliğine bağlı olarak

değişiklik göstermektedir (Çizelge 4.18). Bu nedenle kompozit numunenin özellikleri dikkate alındığında yemekhane atıksuyunun fabrika içerisindeki diğer proseslerde bir ön arıtmadan geçirilerek veya doğrudan yeniden kullanılabilceği değerlendirilmektedir.

- ***Su Yumuşatma Atıksularının Özellikleri***

Yumuşatılan su miktar ve özelliğine göre zamanla etkinliğini kaybeden yumuşatma ünitesinde tuzla rejenerasyon işlemi gerçekleştirilmektedir. Rejenerasyon işleminde öncelikle ters yıkama yapılmaktadır. Ters yıkama atıksuları fabrikada bulunan soğuk su havuzuna gönderildiğinden rejenerasyonun bu aşamasında deşarj edilen atıksu yoktur. Rejenerasyonun son aşamasını oluşturan durulama işlemi sonrasında kanalizasyona verilen tuzlu suyun kirlilik parametre değerleri Çizelge 4.19’da verilmiştir.

Çizelge 4.19. Yumuşatma ünitesi atıksu özellikleri

Parametre		
pH		6,7
T	(C°)	26
Eİ	(µS/cm)	142.100
TÇKM	(mg/L)	71.200
Tuzluluk	(mg/L)	75.744
AKM	(mg/L)	430
KOİ	(mg/L)	Ölçülemedi
Renk	(Pt-Co)	93

Çizelge 4.19’da verilen değerlerden KOİ parametresi örnekte bulunan klorür iyonlarının neden olduğu yüksek tuzluluktan dolayı ölçülememiştir. Yüksek klorür iyonları dikromat ile birlikte organik maddelerin tüketilmesine neden olduğundan KOİ değerinin aşırı tahmin edilmesine neden olur. Bunun önlenmesi için kullanılan cıva sülfat ($HgSO_4$) bir dereceye kadar girişimi engelleyebilmektedir. Burada cıva, klorür ile reaksiyona girerek çok kararlı bir bileşik olan cıva klorürü oluşturur. Oluşan bileşik oldukça zayıf çözünürlüğe sahip olduğundan reaksiyon koşulları altında çözünmez. Böylece, klorürün KOİ üzerinde neden olduğu girişim engellenmiş olur. Ancak, numunedeki organik bileşiklerin konsantrasyonu çok düşükse ve klorür konsantrasyonu 2.000 mg/L'nin üzerindeyse, Standart Yöntemler bu prosedürü önermemektedir (Saraç ve Goncaloğlu, 2008; APHA 2017).

f) Dengeleme Havuzu Girişinden Alınan Atıksuların Analizi

Fabrikanın atıksu karakterizasyonunu tespit edebilmek amacıyla dengeleme havuzu girişinden (pH ayarlama öncesi) 3 gün süreyle birer saat aryla (8.00-16.00) kompozit numuneler alınarak analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.20’de verilmiştir.

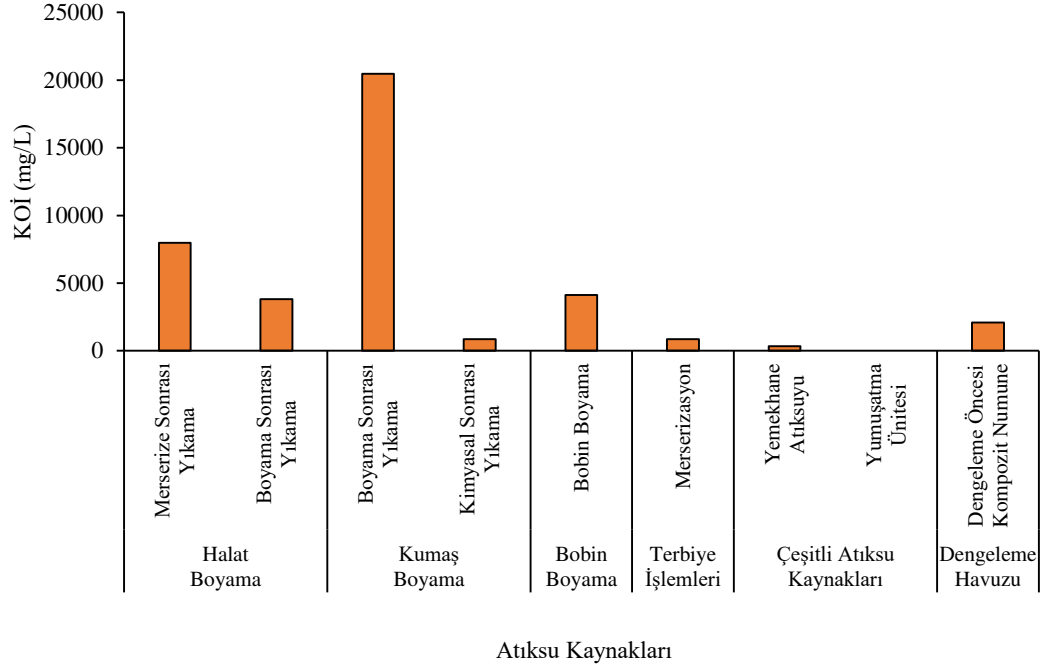
Çizelge 4.20. Fabrika atıksuyu karakterizasyonu

Parametre	1. Gün	2. Gün	3. Gün
pH	12,09	11,83	12,28
T (C°)	36,2	38,1	35,1
Eİ (µS/cm)	11.040	7.240	13.080
TÇKM (mg/L)	5.520	3.620	6.540
Tuzluluk (mg/L)	6.460	4.100	7.750
AKM (mg/L)	400	275	467
KOİ (mg/L)	2.086	1.992	1.944
Renk (Pt-Co)	15.000	12.850	9.950

Fabrikanın dengelenmemiş atıksuyu değerlendirildiğinde pH haricinde T, KOİ ve AKM'nin AOSB deşarj standartlarını sağladığı görülmüştür. Önceki başlıklarda anlatılan ve atıksuları analiz edilen proseslerden de görüleceği üzere pH değeri kullanılan NaOH ve diğer alkali kimyasal maddelerden dolayı yüksektir. Bu nedenle pH ayarlaması yapılması gerekmektedir. pH haricindeki diğer parametreler fabrikanın atıksu karakterizasyonu (Çizelge 4.11) ile uyumludur.

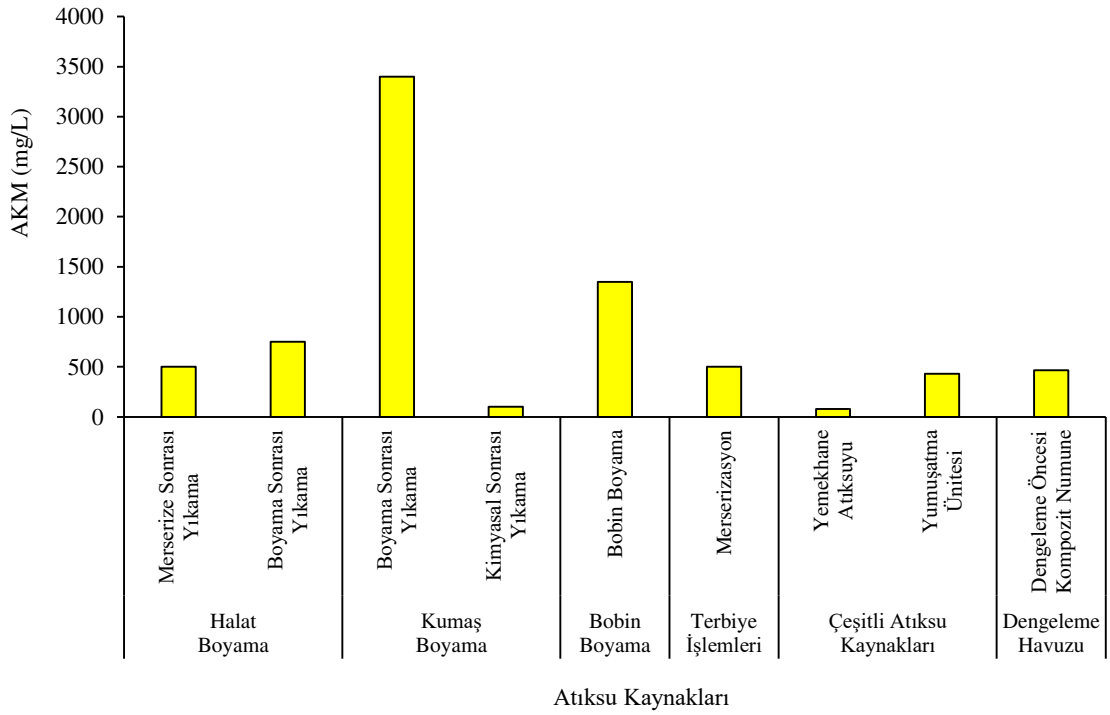
Proses Atıksularının Genel Değerlendirmesi

Fabrikanın mevcut durum SAI'si hesaplandıktan sonra proses atıksularının analizine başlanmıştır. Yerinde yeniden kullanım ve/veya arıtım olanaklarını değerlendirmek üzere proses bazlı atıksu karakterizasyonu çalışılmıştır. Ancak proses aynı olmasına rağmen ürün tiplerinin değişmesi durumunda kullanılan kimyasal madde ve/veya konsantrasyon farklılığından dolayı proses özelinde stabil bir sonuca ulaşılamamıştır. Daha sonra birçok prosesten ve fabrika içinde doğrudan üretimde kullanılmayan sulardan kaynaklanan atıksuların bir araya geldiği atıksu dengeleme havuzu girişinden numuneler alınarak fabrikanın atıksu karakterizasyonu belirlenmeye çalışılmıştır. Proses özelinde elde edilen analiz sonuçlarına göre en yüksek değerler dikkate alınarak hazırlanan KOİ, AKM ve pH karşılaştırma grafiği sırasıyla Şekil 4.24, Şekil 4.25 ve Şekil 4.26'da verilmiştir.



Şekil 4.24. Proses Bazlı Atıksularda KOİ Karşılaştırılması

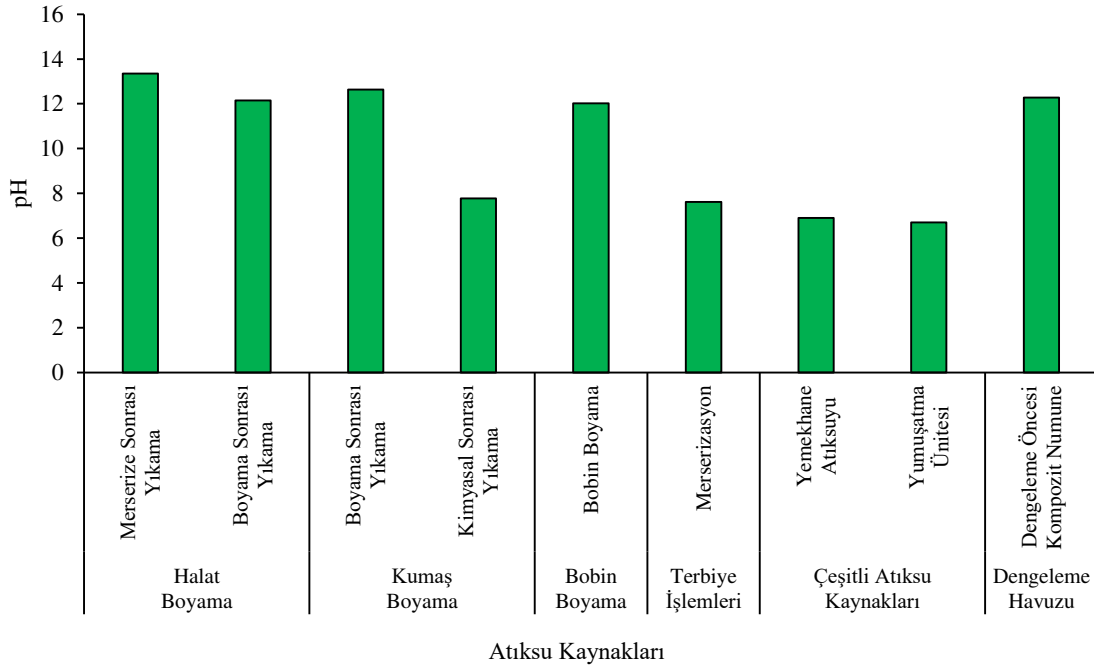
Şekil 4.24'te KOİ parametresi dikkate alındığında kumaş boyama prosesi atıksuyunun oldukça yüksek bir değere sahip olduğu görülmektedir. Ancak bu sonuca yalnızca bir ürün tipinde rastlanılmıştır. İlgili prosesin KOİ değeri ağırlıklı olarak 500-5.000 mg/L aralığında değişmektedir.



Şekil 4.25. Proses Bazlı Atıksularda AKM Karşılaştırılması

Proses atıksularının ve fabrika çıkış atıksularının AKM parametresi dikkate alındığında KOİ'ye benzer bir dağılım olduğu görülmektedir. Kumaş boyama prosesi AKM'nin esas kaynağı olmakla birlikte bobin boyama ikinci sırada yer almaktadır. Boyama proseslerinin ağırlıklı olarak kirliliğin esas kaynağı olduğu KOİ ve AKM parametrelerinden anlaşılmaktadır.

Tekstil atıksularının karakteristik özelliklerinden birinin yüksek pH olduğu bilinmektedir (Kishor ve ark., 2021). Elde edilen sonuçlar, denim üretim proseslerinden kaynaklanan atıksuların da yüksek pH'a sahip olduğunu bir kez daha göstermiştir. Özellikle halat boyamada ön işlem olarak uygulanan merserizasyon prosesinin atıksuları, kullanılan yoğun NaOH'dan dolayı oldukça yüksek pH'ya sahiptir. Diğer ön işlem ve terbiye işlemlerinin atıksuları alkali tarafta olmakla birlikte nötr pH değerine yakındır (Şekil 4.26).



Şekil 4.26. Proses Bazlı Atıksularda pH Karşılaştırılması

Atıksu kaynaklarına göre kirlilik değerleri dikkate alındığında, toplam atıksudaki kirletici yükünün önemli bir kısmının kumaş boyama işlemlerinden kaynaklandığını söylemek mümkündür. Bununla birlikte atıksu miktarları göz önüne alındığında boyama proseslerinden kaynaklanan kirletici yükü oldukça fazladır. Dolayısıyla öncelikli olarak odaklanması gereken konular ön işlem ve boyama sonrası yıkama atıksularıdır.

Fabrikada Kullanılan Kimyasal Maddelerin Değerlendirilmesi

TÜ kapsamında fabrikada kullanılan kimyasal maddelerin neler olduğunu belirlemek için hazırlanan kimyasal envanter sonuçlarına göre halihazırda 180 farklı kimyasal maddenin kullanıldığı belirlenmiştir. Bu kimyasalların MSDS'leri incelenerek envanter tablosu oluşturulmuş ve EK 1'de

verilmiştir. EK 1’de verilen bu envanter zamanla değişebilmektedir. Bu değişimin nedeni kimyasalların genellikle sağlık ve çevre açısından değerlendirilmesi ve müşterinin sağlık ve çevresel etkisi daha düşük ikame ürün talebinde bulunmasıdır. Bu kimyasallardan tekstil ürünleri için bir otorite kabul edilen ZDHC listesi (Schönberger, 2018) “Seviye 3”de olanlar ve/veya INDITEX “A” seviyesinde bulunanlar envanter listesinde yerini korumaktadır. Bu aşamada ZDHC gateway çevrimiçi platformu iyi bir veri tabanı sağlamaktadır.

4.2.4. Fizibilite Analizi (Su Ayak İzinin Azaltılması ile İlgili Yaklaşımlar)

Temiz üretim metodolojisinin önemli adımlarından biri olan fizibilite analizi, önerilen temiz üretim fırsatlarını ve kaydedilen seçenekleri değerlendirerek uygulamaya uygun olanları seçmeyi kapsar. Seçim aşamasında önerilen fırsatlar ve kaydedilen seçeneklerin tümü teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre değerlendirilmektedir. Bu aşamada belirlenen seçenekler arasından ön değerlendirme, teknik değerlendirme, ekonomik değerlendirme ve çevresel değerlendirme sonuçlarına göre çok değişkenli karar verme yöntemleri kullanılarak uygun seçenekler belirlenebilir. Fizibilite analizi sonucunda özellikle basit, masrafsız ve düşük maliyetli tüm TÜ fırsatlarının uygulanması tavsiye edilir (UNEP/UNIDO, 2017; da Silva ve Gouveia, 2020).

Değerlendirme aşamasında ele alınan konular ve incelenen proseslerden elde edilen bilgiler ile SAI metodolojisi kapsamında SAI’nin azaltılması için uygulanabilecek iki temel yaklaşım belirlenmiştir. Bunlardan biri mevcut su tüketiminin azaltılması (su tasarrufu, atıksuyun doğrudan yeniden kullanımı ve atıksuyun arıtılarak yeniden kullanımı) diğeri de atıksu özelliklerinin iyileştirilmesidir. Fizibilite analizi başlığı altında bu iki temel yaklaşım üzerinden uygulanabilecek MET’ler Şekil 4.27’de verilen başlıklar halinde incelenerek değerlendirilmiştir.



Şekil 4.27. SAİ'nin Azaltılması İçin Belirlenen MET'lerin Şematik Gösterimi

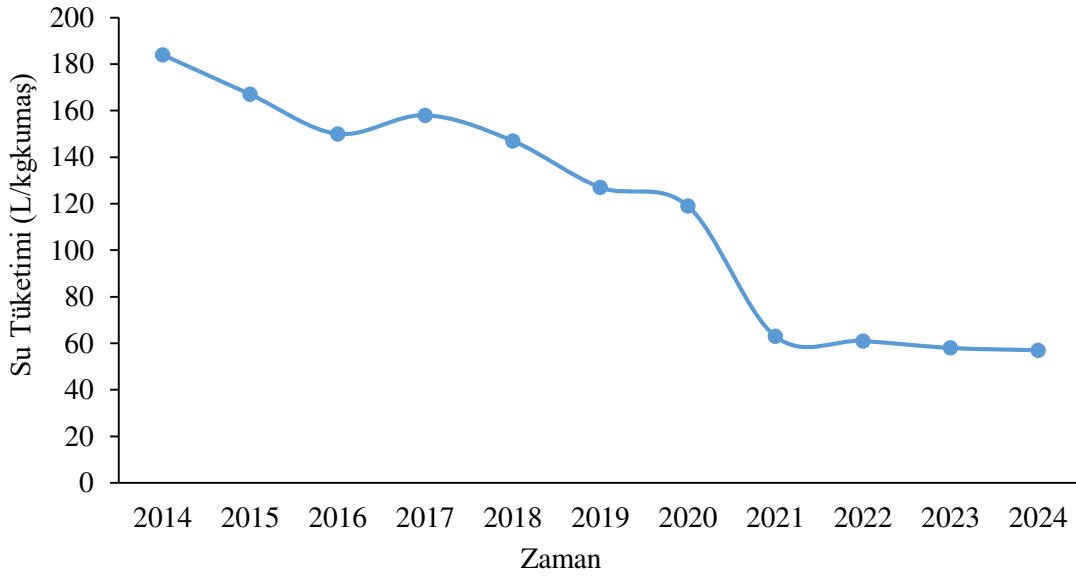
Su Tasarrufu Olanakları

MET 1: Kayıp Kaçakların Tespiti ve Önlenmesi

Su dağıtım sistemlerindeki sızıntı, tedarikçi ve tüketicileri etkileyen önemli bir sorundur. Sızıntı konusu, şirketler tarafından sıklıkla algılandığı ve sunulduğu gibi sadece ekonomik değil, aynı zamanda sürdürülebilir bir gelecek için çevresel, potansiyel olarak sağlık ve su güvenliği sorundur. Sızıntılar sadece şebeke üzerinde su kaybına değil, suyun pompalanması için kullanılan enerjinin de verimsiz tüketimine neden olur. Şebekede meydana gelecek düşük basınç, kirli atıksuların su dağıtım kanallarına karışmasına neden olarak bir sanitasyon problemine de neden olabilir (Puust ve ark., 2010).

BOSSA çevreye duyarlı ve sosyal sorumluluklarının farkındadır. Bu farkındalıkla sürdürülebilir yeşil ekonomiye katkıda bulunmaya özen göstermektedir. BOSSA yetkililerince fabrika bünyesinde daha önce yürütülen çalışmalar ile su ve enerji tüketimlerinde ciddi tasarruflar

sağlanmıştır. 2014-2024 yılları arasındaki birim üretim için tüketilen su miktarı Şekil 4.28’de verilmiştir.



Şekil 4.28. 2014-2024 Yılları Arasında Birim Üretim İçin Su Tüketimi

Şekil 4.28’den görüleceği üzere 10 yıllık süreçte birim üretimin su tüketimi %69 oranında azalmıştır. Su tüketiminin azaltılması konusunda tasarruf odak noktaları belirlenirken en basit olandan en karmaşık olana doğru olan fırsatlar önceliklendirilerek müdahale seçenekleri uygulanmaktadır. Bu yaklaşım tam olarak Nilsson ve ark. (2007)’nin önerdiği kapsamlı gözden geçirme sırasındaki gözle görülür dökülmelere veya sızıntılara, su musluklarındaki damlamaya veya tıkanıklığa öncelikli olarak müdahale edilmesi gerekliliği anlayışının uygulamaya geçirilmesidir. Fabrikada gerek su gerekse buhar hatlarında tespit edilen kaçaklar en kısa sürede ilgili birim tarafından onarılmaktadır. Buhar hatları ve kurutma tamburları izole edilerek enerji tasarrufunun yanı sıra oluşan kondens miktarında da azalma sağlanmaktadır. Toplanan kondens suları ise yeniden buhar kazanına gönderilmektedir. Bu da buhar üretimi için tüketilen su miktarının düşük tutulmasını sağlamaktadır. Dolayısıyla fabrika içerisinde su tüketim veya iletim hatlarında yapılan gözlemlerde büyük bir sızıntı veya kaçak tespit edilememiştir. Ancak, su yumuşatma tankının bağlantı yerinde (17 L/gün), ters ozmos kartuşu üzerinde (601 L/gün), kum filtresi tahliye vanasında (144 L/gün) küçük çaplı kaçaklar tespit edilmiştir (Şekil 4.29). Tespit edilen kaçakların toplam debisi ise 22,86 m³/ay (274,32 m³/yıl) olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.29. Su Kaçaklarının Tespit Edildiği Noktalar

Tespit edilen kayıp kaçakların önlenmesi için yapılacak iş/işlemler teknik birimler ile görüşülmüş ve maliyetleri araştırılmıştır. Yumuşatma tankındaki sızıntıların tank bombesi ve menholünden; ters ozmos kartuşu üzerindeki sızıntının kartuş kapağından kaynaklandığı tespit edilmiştir. İlgili ekipmanların ve tahliye vanasının değiştirilmesi durumunda oluşacak maliyetler ve geri ödeme süreleri Çizelge 4.21’de verilmiştir.

Çizelge 4.21. MET 1 için hesaplanan maliyet analizleri ve geri ödeme süreleri

Kayıp/Kaçak Kaynağı	Yıllık Kayıp/Kaçak Miktarı (m ³ /yıl)	Maliyet (€)	Yıllık Tasarruf (€/yıl)	Geri Ödeme Süresi (yıl)
Yumuşatma tankı bombesi ve menholü	6,21	3486	1,96	1777,86
Ters Ozmos Kartuş Kapağı	219,36	13,76	69,32	0,20
Kum Filtresi Tahliye Vanası	52,56	107,61	16,61	6,48

MET 1 için hesaplanan geri ödeme sürelerinin yüksek çıkmasının nedeni maliyetlerin ve döviz kurunun (37,17 TL/€) yüksek, sızıntı miktarlarının ve birim su fiyatının görece düşük olmasındandır. Bununla birlikte kazanımlar konusu sadece temiz suyun sızıntı miktarının kesilmesi olarak değerlendirilmemelidir. Bu suyun pompalanması, arıtılması gibi enerji ve kimyasal giderleri ve bu suyun atıksu haline gelerek atıksu miktarına da dolaylı maliyetler eklediği göz önünde bulundurulmalıdır.

MET 2: Su Yumuşatma Ünitesinin Değerlendirilmesi

Bazı yeraltı ve doğal kaynak sularında, kalsiyum (Ca) ve magnezyum (Mg) gibi toprak alkali metal iyonlarının yüksek miktarlarda bulunması, evsel ve endüstriyel kullanımlarda deterjan etkisinin azalmasına; ısıtıcıların, kazanların, su borularının kireç tabakasıyla örtülmesine; içme suyu olarak tuhaf tada, kardiyovasküler hastalıklara, Alzheimer hastalığına ve atopik egzamaya neden

olmaktadır (Ahn ve ark., 2018). Bu nedenle sert suların kullanımdan önce kullanım amacına göre yumuşatılması gerekmektedir (Kır ve ark., 2022).

Su yumuşatmada kullanılan geleneksel yöntem, kireç-soda kullanarak Ca^{2+} 'yi CaCO_3 olarak ve Mg^{2+} Mg(OH)_2 olarak çökeltmektir. Yumuşatma işlemlerinde ayrıca, elektrostatik kuvvetler yardımı ile katı yüzeye (reçine) bağlı halde bulunan iyonlarla, suda bulunan ve giderilmesi hedeflenen farklı özellikteki iyonların yer değiştirmesini sağlayan doğal veya sentetik reçineler de kullanılmaktadır (Boyd, 2020). Yumuşak su kullanımında stabilize edilmemiş yumuşak suyun, kadmiyum, bakır, kurşun ve çinko gibi bazı ağır metallerin mevcudiyeti ile sonuçlanan metal yüzeylerde ve borularda korozyona neden olma konusunda büyük bir eğilime sahip olduğu bildirilmiştir (WHO, 2010).

Denim/tekstil endüstrisinde buhar üretimi ve terbiye işlemlerinde kullanılacak suların sırasıyla kazan verimini etkilememesi ve standart ürün kalitesini bozmaması için 0 sertlik derecesinde olması gerektiği söylenmektedir. Ayrıca kullanılan bu suların renksiz ve pH'ın nötr olması, özellikle demir ve mangan gibi metal iyonlarını içermemesi, idirgen ve oksidan madde bulundurmaması beklenmektedir (Anonim 14). BOSSA da, AOSB'den aldığı suyu üretim faaliyetlerinin gerçekleştiği işletme birimlerine göndermeden önce yumuşatma işlemine tabi tutmaktadır. Fabrikanın 2022 yılına ait aylık su tüketim miktarları Çizelge 4.22'de görülmektedir.

Çizelge 4.22. Fabrikanın 2022 yılı aylık su tüketim miktarları

Aylar	Tüketim (m^3)
Ocak	121.942
Şubat	130.225
Mart	148.127
Nisan	147.185
Mayıs	139.197
Haziran	158.489
Temmuz	130.155
Ağustos	146.403
Eylül	131.047
Ekim	116.533
Kasım	102.380
Aralık	101.018
Toplam	1.572.701

Fabrikada, AOSB'den alınan suyun yumuşatma işlemi için iyon değiştirme yöntemi kullanılmaktadır. Yumuşatma ünitesine ait görsel Şekil 4.30'da verilmiştir.



Şekil 4.30. Yumuşatma Ünitesi

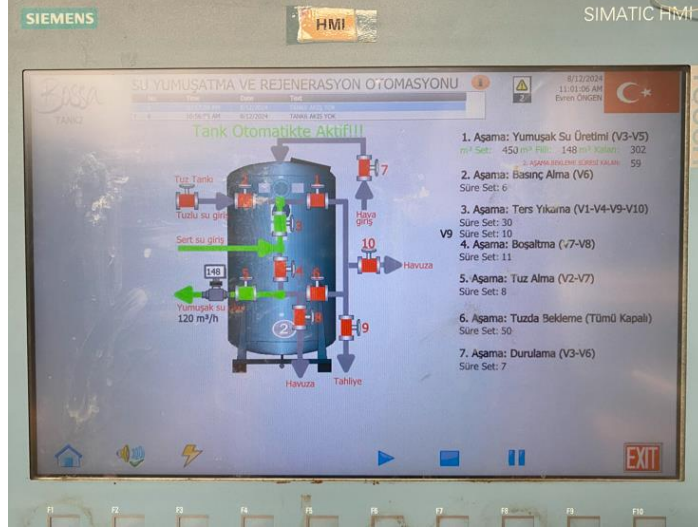
Elde edilen yumuşak su, kazan besleme suyu (ters ozmos çıkışı), içme suyu ve üretim proseslerinde kullanılmaktadır. Ancak, yangın hattı ile park/bahçe sulamalarında kullanılan suyun hattı ayrı teşkil edilmiş olup bu amaçla kullanılan sular yumuşatılmamakta, AOSB'den gelen su doğrudan kullanılmaktadır.

İyon değiştirme reaksiyonları için kullanılan sentetik reçinelere ait görüntü Şekil 4.31'de verilmiştir.



Şekil 4.31. Sentetik İyon Değiştirme Reçinesi

Yumuşatma ünitesinde (Şekil 4.30) farklı kapasitelerde 7 adet yumuşatma tankı bulunmaktadır. Bu tanklar geri yıkama ve rejenerasyon işlemlerini gerçekleştiren yarı otomasyon kontrol ünitesiyle (Şekil 4.32) işletilmektedir.



Şekil 4.32. Yumuşatma Tankları Kontrol Paneli

Bir operatör, AOSB'den gelen suyun sertlik değerini ölçmekte (Fransız) ve tecrübesine dayanarak yumuşatmanın yapıldığı tankı seçerek yumuşatılacak suyun miktarını (m^3) kontrol paneline girmektedir. Daha sonra girilen su miktarına yaklaşıldığında operatör ilgili tankın çıkışından aldığı numunenin sertlik değerini ölçerek rejenerasyona karar vermektedir. Operatör, manuel olarak rejenerasyon işlemini başlatmakta, rejenerasyon işlemi ise sisteme girilen sürelerle göre süreci otomatik yürütmektedir. Rejenerasyon için tuz ($NaCl$) kullanılmaktadır. Kullanılan tuz, üzeri ve 3 tarafı kapalı tuz depolama alanında bekletilmektedir. Depo içerisindeki tuzun toplanması, aktarılması ve düzenlemesi fabrikada bulunan traktör ile gerçekleştirilmektedir (Şekil 4.33).



Şekil 4.33. Tuz Deposu

Tuz açık alanda beklediğinden dolayı nem tutmakta ve rejenerasyon için ayarlanan konsantrasyon bu nedenle etkilenmektedir. Rejenerasyon için kullanılan tuzlu su hazırlama tankı Şekil 4.34'te verilmiştir. Tank içerisine tuz aktarımı elektrik motorlu helezon ile gerçekleştirilmektedir.

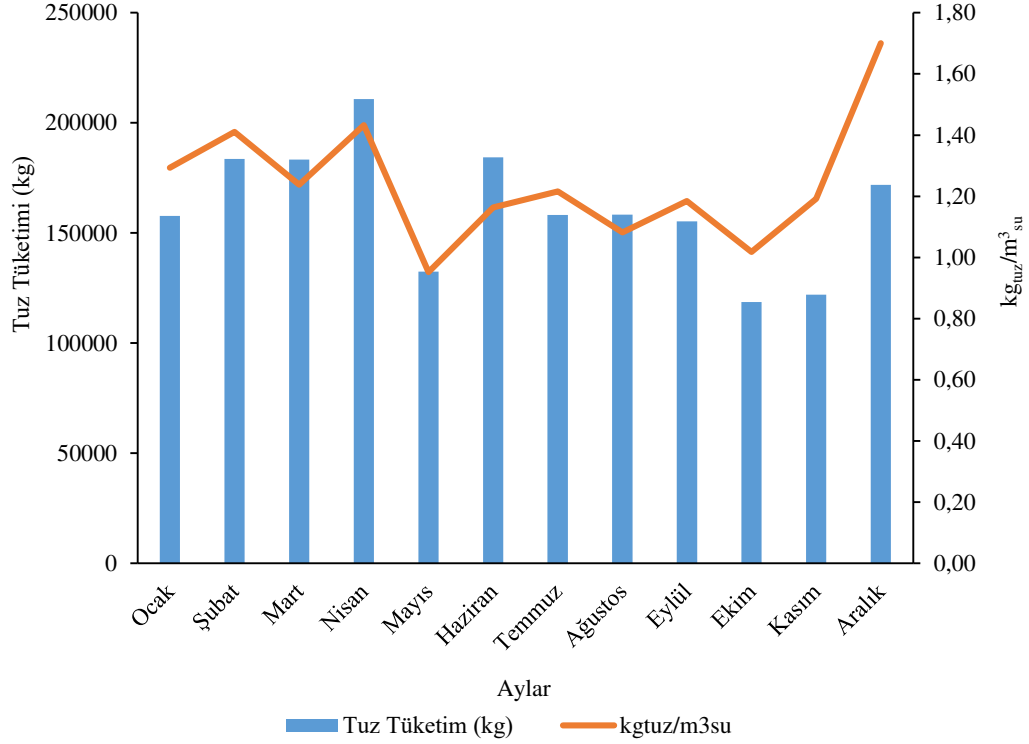


Şekil 4.34. Tuzlu Su Hazırlama Tankı

Fabrikanın 2022 yılında aylık olarak kullandığı tuz miktarları Çizelge 4.23'te, tuz miktarlarını ve birim yumuşatılan su miktarı başına tüketilen tuz miktarını gösteren grafik Şekil 4.35'de verilmiştir.

Çizelge 4.23. 2022 yılı aylara göre tuz tüketim verileri

Aylar	Tuz Tüketim (kg)	$\text{kg}_{\text{tuz}}/\text{m}^3_{\text{su}}$
Ocak	157.740	1,29
Şubat	183.640	1,41
Mart	183.300	1,24
Nisan	210.760	1,43
Mayıs	132.520	0,95
Haziran	184.340	1,16
Temmuz	158.200	1,22
Ağustos	158.360	1,08
Eylül	155.220	1,18
Ekim	118.600	1,02
Kasım	122.060	1,19
Aralık	171.800	1,70
Ortalama	161.378	1,24



Şekil 4.35. 2022 Yılı Aylara Göre Tuz Tüketim Grafiği ve Birim Yumuşatılan Su Miktarı Başına Tüketilen Tuz Miktarı

Birim su yumuşatmak için tüketilen tuz miktarının değişim grafiği incelendiğinde aylara göre farklılık gösterdiği görülmektedir. Farklılığın nedenlerinden biri, kullanılan ham suyun yüzeysel su kaynağı (Ceyhan Nehri) olması ve dolayısıyla iyon konsantrasyonunun mevsimsel yağışlar ve hava sıcaklığına bağlı değişmesi (Varol ve Köse, 2020) olarak düşünülmektedir. Bir diğer neden ise değerlendirme sonucunda elde edilen verilerden anlaşıldığı üzere işletmelerin proseslerinde talep ettiği su sertliği değerinin tam olarak netleştirilememiş olmasıdır. Fabrika tarafından beyan edilen bilgiye göre işletme 0 (Fransız) sertlik değeri istemektedir. Fakat rejenerasyona karar verilen anda tank çıkış verilerine bakıldığında tank çıkış sertlik değerleri birbirinden farklılık göstermektedir ve ortalama 3 (Fransız) sertlik değerindedir. Yumuşatılmış suyun işletmeye dağıtım yapıldığı soğuk su deposundan alınan numunenin sertlik değerine bakıldığında ise 1,8-3,6 (Fransız) arasında olduğu görülmektedir. Yumuşatma ünitesinin işletilmesinde 3 vardiyada 3 farklı operatörün görev alması ve sistemin kontrolünün tamamıyla kendi tecrübelerine dayalı olması rejenerasyon periyotlarını ham su özelliğinden bağımsız olarak etkilemektedir. Ayrıca bazen henüz rejenerasyon zamanı gelmemiş tanklar vardiya değişimine yakın zamanlarda bir sonraki vardiyaya rejenere kalması için rejenerasyona sokulmaktadır. Ayrıca rejenerasyonda kullanılan tuzun da tanecik boyutu, çözünürlüğü, saflığı vb. özellikleri de satın alınan partiler arası veya depolama şartlarından kaynaklanan bir farklılık gösterebilir. Dolayısıyla tüm bu nedenler günlük/aylık rejenerasyon sayılarını etkilemekte ve buna bağlı olarak da tüketilen tuz miktarı farklılık göstermektedir.

Yumuşatma ünitesini değerlendirmek için bir çizelge hazırlanarak (Çizelge 4.24) 1 aylık süreyle veri toplanmıştır. Burada giriş suyu verileri olarak nitelendirilen bölüm AOSB'den gelen suyu (ham su) kastetmektedir. Her gün öncelikle ham suyun iletkenliği, sertliği, pH'ı ve sıcaklığı ölçülerek ilgili alana kaydedilmiştir. Daha sonra gün içerisinde gerçekleştirilen tüm yumuşatma ve rejenerasyon periyotları için veriler kayıt altına alınmıştır. Buradaki iletkenlik, sertlik, pH ve sıcaklık değerleri operatörün rejenerasyona karar verdiği andaki yumuşatma tankının çıkış suyundan alınan verilerdir.

Çizelge 4.24. Yumuşatma ünitesi değerlendirme çizelgesi

Tarih	Giriş Suyu Verileri				Yıkama Öncesi Tank Çıkış Verileri											
					1. Yıkama											
	İletkenlik (µS/cm)	Sertlik (Fransız)	pH	°C	Tank No	Yıkama Zamanı	İletkenlik (µS/cm)	Sertlik (Fransız)	pH	°C	Yumuşak Su Miktarı (m³)	Ters Yıkama Süresi (dk)	Tuz Alma Süresi (dk)	Tuzda Bekletme Süresi (dk)	Durulama Süresi (dk)	

1 aylık süreçte elde edilen verilere göre bir değerlendirme yapılmış ve sonuçlar Çizelge 4.25'te verilmiştir.

Çizelge 4.25. Yumuşatma ünitesi değerlendirme tablosu

Tank No	Rejenerasyon (Rej) Sayısı	Rej Oranı (%)	Yumuşatılan Toplam Su Miktarı (m ³ /Ay)	Rej Başına Yumuşatılan Su Miktarı (m ³ /Rej)	Tank Çıkışı Ort. Sertlik Değeri (Fransız)
1	44	19,05	26.261	596,84	2,83
2	39	16,88	24.460	627,18	2,68
3	54	23,38	31.434	582,11	2,97
4 (Çalışmıyor)	-	-	-	-	-
5	19	8,23	20.296	1.068,21	2,81
6	35	15,15	20.686	591,03	3,70
7	40	17,32	18.601	465,03	3,02
Toplam	231	100	141.738		

Değerlendirme süreci içerisinde arızalı olduğu için 4 nolu tank yumuşatma işlemlerinde kullanılmamıştır. Yumuşatılan toplam su miktarı 141.738 m³'tür. İlgili dönem için AOSB'den gelen ve yumuşatma sonrası işletmeye gönderilen suyun ortalama sertliği sırasıyla 21,05 ve 3,00'tür. Bu süreç zarfında günde ortalama 7,97 ve toplamda 231 defa rejenerasyon işlemi yapılmıştır. Rejenerasyon başına yumuşatılan ortalama su miktarı 613,58 m³'tür. 5 nolu tank en az (19 defa)

rejenerasyona tabi tutulmasına rağmen, rejenerasyon başına en fazla su yumuşatma miktarına (1.068,21 m³) sahiptir. Ayrıca diğer tanklarla kıyaslandığında rejenerasyona karar verildiği andaki çıkış sertlik değeri ortalamanın altındadır (2,81).

Teknik personelden alınan bilgilere göre 5 nolu tankın suyun verildiği nozul yapısının ve rejenerasyon yönteminin diğer tanklardan farklı olduğu bilgisine ulaşılmıştır. Rejenerasyon 3 aşamadan oluşmaktadır ve bu aşamalarda tüketilen su miktarları Çizelge 4.26’da verilmiştir.

Çizelge 4.26. Su yumuşatmada rejenerasyon işlem adımları

Rejenerasyon Aşamaları	5 No’lu Tank	Diğer Tanklar	Açıklama
Ters Yıkama (m ³)	14	14	Ters yıkama suları giriş suyunu besleyen havuza geri gönderilmektedir. (Deşarj yoktur)
Tuzda Bekletme	Sürekli tuzlu su ile yıkama	Tuzlu suda bekletme	Her iki durumda da tüketilen su hacmi eşittir. (İşlem sonunda deşarj vardır)
Durulama (m ³)	9	9	Son aşama olarak tatlı su ile durulama yapılmaktadır. Verilen değer ortalama değerdir.

5 nolu tankın rejenerasyon işleminde tuz alma süresi 20 dk (diğerlerinde 6 dk) olarak ayarlanmakta ve tuzda bekletme işlemi uygulanmamaktadır (diğerlerinde 50 dk). 5 Nolu tank tuzlu su ile 20 dk boyunca yıkanmaktadır ve toplam su hacmi ve tuz miktarı diğer tankların tuz almasında kullanılan su hacmine eşittir. Tanktan çıkan tuzlu su kanalizasyona verilmektedir. Diğer tanklarda kanalizasyona yalnızca tuzda bekletme sonrasındaki “durulama” atıksuyu deşarj edilmektedir ve içerik bakımından incelendiğinde tuzlu sudur. Tüm tanklarda rejenerasyon sürecinde yer alan “ters yıkama” işleminde kullanılan su giriş suyunu besleyen havuza geri döndürülmektedir. Dolayısıyla ters yıkama işleminde deşarj edilen atık su oluşmamaktadır. Tüm tankların reçine miktarlarının birbirine eşit olduğu beyan edilmiştir.

Elde edilen veriler doğrultusunda tüm rejenerasyon 5 nolu tankta (veya benzer yapıdaki tanklarda) yapılmış olsaydı veri alınan dönemdeki yumuşatılan toplam 141.738 m³ su için uygulanacak rejenerasyon sayısı 133 olacaktır. Dolayısıyla sayısal olarak %42 daha az rejenerasyon yapılacaktır. Böylelikle rejenerasyon için tüketilecek tuz ve su miktarlarında sırasıyla 67.778 kg/ay ve 882 m³/ay (10.584 m³/yıl) tasarruf sağlanacaktır. Bununla birlikte Tekstil Sektöründe TÜU Genelgesi’nde belirtilen yumuşatma proseslerinde sertlik düzeyinin, sertlik sensörleri ile izlenmesi önerisinin uygulanmasıyla operatörden bağımsız ve sabit sertlik değerinde bir çıkış suyu kalitesi elde edilecektir. Böylelikle proses tam otomasyona bağlanarak rejenerasyon sayısında, dolayısıyla da tuz ve su miktarlarında optimum koşullar sağlanabilecektir. Dal ve ark. (2024) da su yumuşatma sisteminde reçine rejenerasyon sıklığı/süresi ve yıkama-durulama adımlarının çevrimiçi sertlik sensörleri aracılığıyla optimize edilmesi durumunda, SAİ_{mavi} değerlerinde %20-30 oranında azalma

sağlanacağını bildirmişlerdir. Kır ve ark. (2022) su yumuşatma sistemlerinde otomasyona bağlı eş zamanlı sertlik sensörlerinin kullanımıyla rejenerasyon sürelerinin ve sıklıklarının optimize edileceğini ve bunun da iyon değiştirme reçine sistemleri için en öncelikli MET olduğunu bildirmişlerdir.

Tüm tankların 5 No'lu tanka göre revize edilmesi için yapılması gereken iş/işlemler teknik birimler ile görüşülmüş ve maliyetleri araştırılmıştır. İlgili tankların değiştirilmesi ve revizyonlarının yapılması durumunda oluşacak maliyet tank başına 6000 €/tank olarak bildirilmiştir. Geri ödeme süresinin hesaplanmasında kullanılan tuz maliyeti ticari gerekçelerle internetten (Anonim 15) alınmıştır (KDV dahil 9,60 kg/£). Önerilen MET 2'in hesaplanan toplam maliyeti ve geri ödeme süresi Çizelge 4.27'de verilmiştir.

Çizelge 4.27. MET 2 için hesaplanan maliyet analizi ve geri ödeme süresi

Tank No	Yıllık Ortalama Yumuşatılan Su Miktarı (m ³ /Yıl)	Mevcut Durumda Rej. Başına Yumuşatılabilen Su (m ³ /Rej)	Revizyon Sonrası Rej. Başına Yumuşatılabilen Su Miktarı (m ³ /Rej)	Revizyon Sonrası Rej Başına Elde Edilecek Kazanım (m ³ /Rej)	Yıllık Rej. Sayısı (Rej/Yıl)	Birim Su Yumuşatma Başına Kullanılan Ortalama Tuz Miktarı (Kg _{tuz} /m ³ su)	Tasarruf Edilecek Tuz Miktarı (Kg/Yıl)	Kazanım (€)	Maliyet (€)	Geri Ödeme Süresi (Yıl)
1	315.132	596,84	1.068,21	471,37	295	1,24	172.433	44.535	6.000	0,13
2	293.520	627,18	1.068,21	441,03	275	1,24	150.270	38.811	6.000	0,15
3	377.208	582,11	1.068,21	486,10	353	1,24	212.849	54.973	6.000	0,11
6	248.232	591,03	1.068,21	477,18	232	1,24	137.501	35.513	6.000	0,17
7	223.212	465,03	1.068,21	603,18	209	1,24	156.289	40.365	6.000	0,15

Çizelge 27'den görüleceği üzere tankların mevcut durum performansları farklılık gösterdiğinden dolayı geri ödeme süreleri farklılık göstermiştir. Bununla birlikte tüm tanklar değerlendirildiğinde geri ödeme süresi maksimum 2 ay hesaplanmıştır.

Atıksuların Doğrudan Yeniden Kullanımı Araştırmaları

Tekstil endüstrisi atıksularının yeniden kullanılması ile ilgili daha önce ilan edilmiş kriterlerin bir özeti Çizelge 4.28'de verilmiştir.

Çizelge 4.28. Tekstil endüstrisinde suyun yeniden kullanım kriterleri (Sarıgözel, 2023)

Kullanım Amacı	Kirlilik Parametreleri								Kaynaklar
	pH	El (µS/cm)	KOİ (mg/L)	Sertlik (CaCO ₃ /L)	Renk (Pt-Co)	TÇKM (mg/L)	AKM (mg/L)	Bulanıklık (NTU)	
Genel kriter	6-8	1.000-2.500	25-80	20-60	0-20	500	5	1	Capar ve ark., 2008; Yükseler ve ark., 2017; Dilaver ve ark., 2018
Boyama işlemi	6-8	800-2.200	0-160	0-100	0-2	100-1.000	0-50	0,15-0,16	Çurić ve ark., 2021a; Güneş ve Gönder, 2021
Yıkama işlemi	6-8	<2.500	25	10	0	<1.250	0-10	1	Bes-piá ve ark., 2010; Aydın ve ark., 2016; Güyer ve ark., 2016
İplik yıkama	7-8	-	200-500	100					Couto ve ark., 2017; Moreira ve ark., 2022;
Ekipman yıkama	6,5-8		500-2.000	100					Lebron ve ark., 2021

Çizelge 4.28'den görüleceği üzere, atıksuların tekstil sektöründe yeniden kullanımı için neredeyse içme suyu kriterlerinde bir su kalitesine ihtiyaç olduğu bildirilmiştir. Ancak, bu çalışmada yıkama proseslerinden elde edilen bilgilere göre boyama ve/veya mercerize sonrası yıkama işlemleri sürekli temiz su ile dolu teknelerde yapılmamakta hatta görece kirliliğe sahip bir suda yapılmaktadır. Dolayısıyla, atıksuların yapı ve içeriğine göre bir prosesin atıksuyunun tekrar o processte veya başka bir processte besleme suyu olarak kullanılmasının mümkün olacağı değerlendirilmiştir. Aşağıda sıralanan maddelerde fabrikada doğrudan kullanılacak atıksuların bir değerlendirmesi yapılmıştır.

MET 3: Soğutma Sularının Yeniden Kullanımı

Fabrika içerisinde birçok processte soğutma amaçlı temaslı ya da temasız olarak su kullanılmaktadır. Temaslı soğutmada su, ürün veya ilgili processte soğutulması gereken malzeme ne ise buna temas etmektedir. Dolayısıyla da su ilgili ürün veya malzemeden bir miktar safsızlık alarak içeriği değişmektedir. Örneğin, kumaş üzerinde yapışmış elyafların temizlenmesi için yapılan yıkama işleminden sonra yıkama ve soğutma amacıyla kumaşlar sudan geçirilmektedir. Bu durumda soğutma suyu ürün ile temas halindedir. Bunun dışında bir de ürüne temas eden malzemenin soğutulması durumu vardır. Burada su ürüne temas etmeden ürünü soğutan malzeme içerisinden geçmektedir. Dolayısıyla suyun içeriği değişmemektedir. Örneğin kumaşa farklı özelliklerin kazandırıldığı sanfor işlemleri bu şekildedir.

Fabrikada kullanılan ve yukarıda bahsedilen soğutma işlemlerinin yapıldığı makinelerde halihazırda su geri kazanımı yapılmaktadır. Makine üreticileri temassız suların tekrar geri kazanılması için makineleri buna göre tasarlamışlardır ve fabrika da altyapısını bu suların iletim hattına tekrar karışacağı şekilde oluşturmuştur. Buna örnek olarak sanfor makinesinin soğutma sularının toplandığı görsel Şekil 4.36’da verilmiştir.



Şekil 4.36. Soğutma Sularının Toplanması

Şekil 4.36’da görülen kaba ızgara kollektör içine yerleştirilmiştir. Prosesten veya ortamdan gelebilecek kaba parçaların ve elyafların tutulması amaçlanmıştır. Makinelerden gelen soğutma suları kollektörde birleştirilerek iletim hattındaki havuza gönderilmektedir.

Fabrika içerisinde mevcut durumdaki soğutma suları makine tasarımları ölçüsünde geri kazanılmaktadır. Ancak, makine tasarımında bulunmayan ve sonradan ilave edilen soğutma işlemlerinde kullanılan sular kanalizasyona deşarj edilmektedir. Kumaş terbiyesinde yakma işlemlerinin gerçekleştirildiği bir prosesin baca gazının soğutulması ve emisyon miktarının düşürülmesi amacıyla yapılan baca gazı yıkama işlemi buna örnek olarak verilebilir (Şekil 4.37).



Şekil 4.37. Baca Gazı Soğutma Suyu

Şekil 4.37’de görüleceği üzere baca gazı yıkama sonrası oluşan atıksu doğrudan kanalizasyona verilmektedir. Besleme suyunun ve oluşan atıksuyun özelliklerini belirlemek için yapılan analiz sonuçları Çizelge 4.29’da verilmiştir.

Çizelge 4.29. Baca gazı soğutma suyu ve atıksuyunun özellikleri

Parametre	Besleme Suyu (Giriş)	Atıksu (Çıkış)
pH	7,57	7,25
T (C°)	30,2	40,1
Eİ (µS/cm)	744	760
TÇKM (mg/L)	372	382
Tuzluluk (mg/L)	390	400
AKM (mg/L)	0	0
KOİ (mg/L)	0	0
Renk (Pt-Co)	38	125

Çizelge 4.29’dan görüldüğü üzere giriş suyu ve atıksu özellikleri arasında önemli bir fark yoktur. Atıksuda bir miktar sarımsak renk oluşumu gözlenmiştir ancak yeniden kullanım için önemli görülmemektedir. Atıksu debisi 45 L/dk olup makinenin günlük çalışma süresi ortalama 14 saattir. Dolayısıyla bacagazı atıksuyunun fabrika iletim hattı havuzuna verilmesiyle 1.134 m³/ay (13.608 m³/yıl) tasarruf sağlanabilecektir. Soğutma sularının toplandığı hat makinenin yanından geçtiği için ek bir maliyete gerek kalmadan atıksu doğrudan iletim hattına verilebilmektedir. Dolayısıyla MET 3’ün uygulanmasında bir maliyet söz konusu değildir.

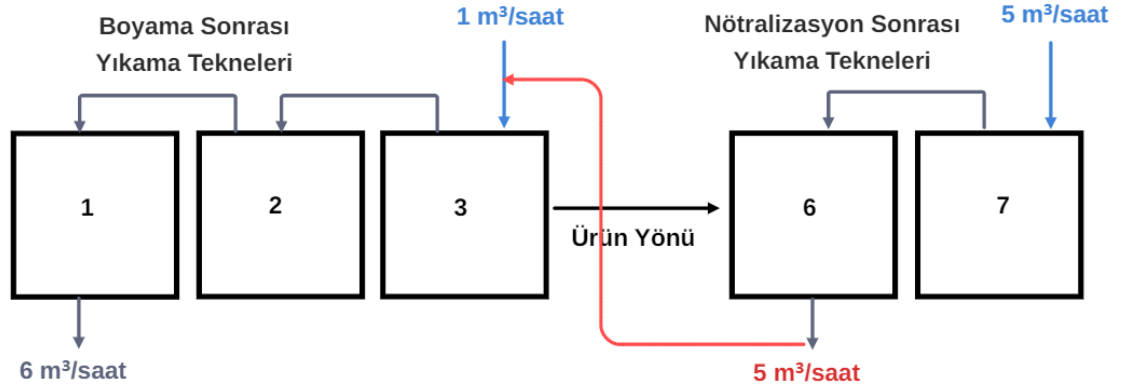
MET 4: Atıksuların Proseste Veya Başka Bir Makinede Doğrudan Yeniden Kullanımı

Fabrika içinde yapılan araştırmalarda hiçbir ön işlem veya arıtmaya gerek kalmadan suyun yeniden/doğrudan kullanımının mümkün olabileceği prosesler ve makineler tespit edilmiştir. Bu makinelerden biri de kumaş boyama makineleridir. Makinedeki yıkama teknelerinin su beslenmesini gösteren genel akım şeması (Şekil 4.21) ve atıksu özellikleri (Çizelge 4.13) detaylı olarak bu çalışmanın “4.2.3. Değerlendirme / Proses Atıksu Özelliklerinin Belirlenmesi / b) Kumaş Boyama Atıksularının Analizi” başlığında verilmiştir. Bu başlık altında belirtilen kimyasal işlem sonrası yıkama tekneleri olan 6 ve 7 numaralı tekneler geriye doğru taşmalı olarak işletilmektedir. Temiz su girişi 7 nolu tekneden yapılmakta olup 6 nolu tekneden atıksu deşarj edilmektedir. 6 nolu tekneden alınan atıksuların değerlerine bakıldığında boyama sonrası atıksularına nazaran oldukça düşüktür. Boyama sonrası teknelerin deşarj atıksuyundan alınan numunenin kirlilik parametre değerleri Çizelge 4.26’daki yeniden kullanım kriterleri ile kıyaslandığında boyama atıksularının doğrudan yeniden kullanım için uygun olmadığı anlaşılmaktadır. Bir ön işlem veya ileri arıtmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak ilgili sonuçlar kimyasal işlem sonrası yıkama yapılan 6 nolu yıkama teknesi atıksuyu ile kıyaslandığında atıksuyun fiziko kimyasal özelliklerinin temiz besleme suyuna yakın kalitede olduğu görünmektedir (Çizelge 4.30).

Çizelge 4.30. Temiz yıkama suyu analiz sonuçları

Parametre	Besleme Suyu Özellikleri	6 No'lu Tekne Atıksu Özellikleri
pH	7,6	6,8
T (C°)	26,6	32,5
Eİ (µS/cm)	805	1.090,5
TÇKM (mg/L)	400	547,5
Tuzluluk (mg/L)	430	585,0
AKM (mg/L)	0	75,0
KOİ (mg/L)	0	465,5
Renk (Pt-Co)	20	250,0

Çizelge 4.30’dan görüleceği üzere, kimyasal işlem sonrası yıkama atıksuyunun kirlilik derecesi renk ve AKM parametreleri haricinde Çizelge 4.28’de verilen yeniden kullanım kriterlerini sağlamaktadır. Bunun yanında çalışmamızda elde edilen sonuçlar yıkama teknelerinin kirlilik yüklerinin üretimin başından hemen sonra arttığını göstermektedir ve bu kirlilik değeri yeniden kullanım kriterlerinin de oldukça üstündedir. Dolayısıyla 6 nolu yıkama teknesinden çıkan atık suyun boyama sonrası yıkama teknelerinde doğrudan kullanılabilmesi kanaatine varılmıştır. Anlatılan doğrudan kullanım senaryosu Şekil 4.21’in revize edilmiş hali olan Şekil 4.38’de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.38. Kumaş Boyama Makinelerinde Suyun Doğrudan Yeniden Kullanımı Şematik Gösterimi

Şekil 4.38’den görüleceği üzere kimyasal sonrası yıkama atıksuyu doğrudan boyama sonrası yıkama suyu olarak 3 No’lu tekneye iletilecektir. Proses gereği 6 m³/saat besleme debisinin 1 m³/saat’lik kısmı da temiz besleme suyundan karşılanacağı için kimyasal sonrası yıkama atıksuyu daha da seyrelecektir. Bununla birlikte her durumda kimyasal sonrası yıkama teknesi temiz su ile besleneceği için de kumaş tamburlara girmeden önce makineden temiz suda yıkanmış olarak çıkacaktır.

2022 yılında bu makinede 1.952.083 m kumaş boyanmıştır. Makine hızı 20 m/dk olarak alındığında makine 2022 yılında 1.627 saat çalışmıştır. Hesaplanan tasarruf debisi 5 m³/saat olduğundan yıllık tasarruf 8.134 m³, aylık ortalama tasarruf ise 678 m³ olacaktır. Makine tasarımı gereği borulama, pompa kullanımı gibi bir maliyete gerek kalmadan 6 Nolu teknedeki atıksu doğrudan 3 nolu tekneye verilebilmektedir. Dolayısıyla MET 4’ün uygulanmasında bir maliyet söz konusu değildir.

MET 5: Kostikli Atıksuların Yeniden Kullanımı

Denim üretiminde atıksulardaki yüksek pH’ın en önemli nedeni boyama, merseze ve bitim işlemlerinde kullanılan çeşitli konsantrasyonlardaki NaOH (kostik)’dir. Bu atıksular yüksek pH değerine sahip olmalarından dolayı doğrudan deşarj edildiklerinde alıcı ortamların pH dengesini bozarak canlı aktivitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu durum hem bir ham maddenin (Kostik) atıl hale gelmesine hem de nötralizasyon için fazladan asit kullanımına neden olarak sürdürülebilir üretimi engellemektedir. Bu nedenle kostiğin atıksulardan geri kazanılması hem ekonomik açıdan hem de çevresel açıdan önem arz etmektedir. Kostik geri kazanımı için uygulanan çeşitli yöntemler mevcuttur ve bu konuyla ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde Çizelge 4.31’de verilen yöntemler ön plana çıkmaktadır.

Çizelge 4.31. Atıksulardan kostik kazanım yöntemleri ile ilgili literatür araştırması

Kaynak	Atıksu Kaynağı	Uygulanan Yöntem	Geri Kazanım Oranı (%)
Choe ve ark., 2005	Tekstil Endüstrisi	NF	84
Zhao ve Wia, 2009	Kitin Endüstrisi Atıksuyu	UF + NF	96
Keramati ve ark., 2010	Petrol Ayırıştırma Kulesi (Merox) Atıksuyu	Membran Sistem ile Elektrodeiyonizasyon	75 (maks.)
		Membran Sistem ile Elektrodiyaliz	85 (maks.)
Imran ve ark., 2016	Gıda Endüstrisi Atıksuyu	İki aşamalı bir membran difüzyonu ile elektrodiyaliz sistemi	44
Tunç ve ark., 2014	Tekstil Endüstrisi	Mikrofiltrasyon (MF), UF + NF + Buharlaştırma	83-100

Çizelge 4.31’den görüleceği üzere atıksuların yapısına, içeriğine ve uygulanan geri kazanım yöntemine ve yöntem koşullarına göre çeşitli geri kazanım oranları elde edilmiştir. Dilaver ve ark. (2023)’nın da bildirdiği üzere literatürde tekstil sektöründe kostik geri kazanımı için yapılmış çalışma sayısı sınırlıdır. Ancak elde edilen veriler dikkate alındığında genellikle uygulanan yöntemler membran filtrasyon, elektrodiyaliz ve buharlaştırma işlemleridir. Bu yöntemler ilgili çalışmalarda ağırlıklı olarak kostiğin saf ya da konsantre elde edilmesine yönelik uygulanmıştır. Kostikli atıksuyun doğrudan yeniden kullanıldığına veya ön işlem uygulanarak üretimde tekrar kullanılmak üzere kostikli çözelti olarak geri kazanıldığına dair bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

Bu başlık altında fabrika geneli işletme bazında kostik tüketimi incelenerek aylık toplam tüketilen kostik miktarı değerlendirilmiştir. Kostikli atıksuyun yeniden kullanım ve geri kazanım olanaklarının bulunduğu prosesler TÜ fırsatları olarak araştırılmıştır. Çalışmanın bu bölümünde halat boyama prosesinde bir ön işlem olarak uygulanan merserize işleminden sonra yıkama teknesinden deşarj edilen atıksu bir örneklem olarak alınarak yeniden kullanım ve kostik kazanımın durumları değerlendirilmiştir. Değerlendirme, kostikli çözeltinin doğrudan yeniden kullanılması, temizlenip kullanılması ve suyun kazanımı (TO membran) olarak 3 başlık altında yapılmıştır.

- ***Fabrika Genelinde Kostik Kullanımının Belirlenmesi***

TÜD için belirlenen kostik konusunun fabrika içindeki temel kullanım prosesini merserize işlemleri oluşturmaktadır. Merserizasyon, pamuğun emme özelliğini artırmak, daha iyi boyama sonuçları elde etmek, pamuklu ipliklerin veya kumaşların dayanıklılığını, parlaklığını ve düzgünlüğünü artırmak için uygulanan bir işlemdir. Fabrika genelinde merserize prosesi çeşitli amaçlarla 4 farklı işletmede kullanılmaktadır. İşletmeler bazında toplam kostik tüketimi içindeki aylık ortalama tüketim payı ve kullanıldığı prosese göre yüzdesel değerleri Çizelge 4.32’de verilmiştir.

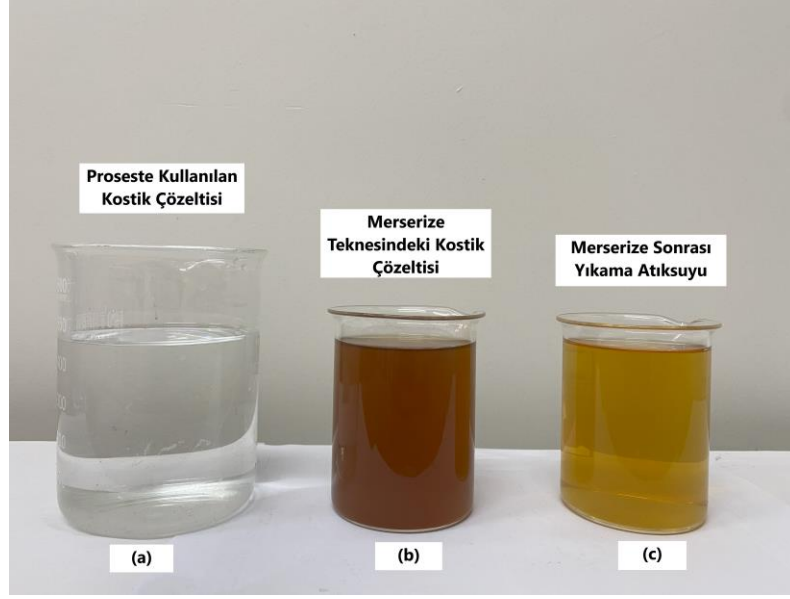
Çizelge 4.32. Fabrikada tüketilen kostiğin işletme bazında oransal dağılımı

İşletme	Toplam Tüketim İçindeki Payı (%)	Prosesle göre kullanım (%)	
		Boyama vd.	Merserize
Slasher Boyama	9,50	10	90
Bitirme İşlemleri	51,61	20	80
Halat Boyama	30,36	15	85
Spor Giyim	8,53	25	75

Çizelge 4.32’den görüleceği üzere kostik tüketiminin en fazla olduğu işletme bitirme işlemlerinin olduğu birimdir. Bununla birlikte toplam tüketim üzerinden bir değerlendirme yapıldığında kostiğin %82’si doğrudan merserize işlemlerinde kullanılmaktadır. Bitirme işlemlerinde merserize için kullanılan kostik miktarı fazla olsa da kullanımı farklı makine ve miktarlarda olduğundan oluşan atıksuların özellikleri ve miktarları farklılık göstermektedir. Dolayısıyla ikinci sıradaki miktarsal olarak en fazla kostiğin kullanıldığı ve gerek atıksu içeriğinin tipe göre çok değişmediği gerekse sabit bir işlem yapısına sahip olan halat boyama prosesi atıksu değerlendirmesi için seçilmiştir.

- ***Merserize Yıkama Atıksuyunun Doğrudan Yeniden Kullanımı***

Halat boyama işletmesinde aylık ortalama $2,75 \cdot 10^6$ m halat boyanmaktadır. “4.2.3. Değerlendirme / Proses Atıksu Özelliklerinin Belirlenmesi / Halat Boyama” başlığında detaylarıyla verildiği üzere merserize işleminden sonra yıkama teknelerine giren halatlar yüksek kalitede bir su ile yıkanmamaktadır. Yıkama teknelerindeki su içeriği; temiz besleme suyu, kostik ve merserize çözeltisindeki lifler üzerinde bulunan eser miktardaki safsızlıklardır (uçuntu, toz, kir vb.). Dolayısıyla yıkama teknelerinde ve atıksuyundaki kirliliğin temel kaynağı kostiktir. Proseslerde kullanılan ve ticari olarak satın alınan kostik çözeltisi, işlem gören halatlar içinden geçtikçe zamanla kirlenmiş merserize teknesi içindeki kostik çözeltisi ve yıkama teknesinden deşarj edilen atıksuyun görselleri Şekil 4.39’da verilmiştir.



Şekil 4.39. Saf Kostik (a), Mercerize Teknesindeki Çözelti (b) ve Yıkama Atıksuyu (c)

Şekil 4.39’da görüldüğü gibi proseslerde kullanılan ve ticari olarak satın alınan kostik çözeltisi (a) renksiz ve berrak yapıdadır. İşlem gören halatların üzerindeki safsızlıklardan dolayı mercerize teknesindeki kostik çözeltisinin (b) rengi proses sürecinde değişmektedir. Mercerize teknesinden çıkan halatlar yıkama teknesine girdiklerinde üzerlerindeki kostiğin fazlası yıkama suyuna geçmektedir. Bu nedenle mercerize sonrası yıkama atıksuyu (c) görünüm ve içerik olarak mercerize teknesindeki kostik çözeltisine (b) benzer yapıdadır. Bunun nedeni başlangıçta renksiz ve berrak yapıda olan kostik çözeltisinin işlem gören halatların safsızlıkları nedeniyle zamanla kirlenmesidir. Mercerize sonrası yıkama atıksuyu da içerik olarak bu çözeltinin halat üzerinde taşınan fazlasını içerdiğinden dolayı mercerize yıkama atıksuyu aslında mercerize teknesindeki çözeltinin seyreltilmiş halidir. Bu nedenle bu başlık altında mercerize yıkama atıksuyunun doğrudan mercerize çözeltisinin hazırlanmasında kullanımı araştırılmıştır. Bunun için 13.000 m’lik üretimde 48 Bome stok sıvı kostik (1,498 kg/L) çözeltisinden 178 mL/L (267 g/L) hacimsel oranda olacak şekilde alınarak mercerize işlemi için 16 bome kostik çözeltisi hazırlanmıştır. 13.000 m üretim için tüketilen 16 Bome kostik çözeltisi miktarı 3.250 L’dir (578,5 L 48 Bome Kostik + 2.671,5 L su).

Yıkama atıksuyu analiz edildiğinde 48 Bome sıvı kostik eşdeğeri olarak 17 mL/L (26 g/L) hacimsel oranda kostik içerdiği belirlenmiştir. Yıkama teknelerine giren temiz besleme debisi kadar (45 L/dk) kostikli atıksu yıkama teknelerinden deşarj edilmektedir. Bu durumunda makine hızı 27 m/dk düşünüldüğünde, 13.000 m’lik bir üretim için oluşacak atıksu miktarı 21.667 L ve atık sıvı kostik miktarı ise 368,4 L’dir. Bu miktarda yaklaşık olarak 563,44 kg 48 Bome sıvı kostik miktarına eşdeğerdir.

Elde edilen bu bulgular doğrultusunda laboratuvar ortamında atıksuyun seyreltme suyu olarak kullanılması durumu deneysel olarak çalışılmıştır. Normal şartlarda 16 Bome kostik çözeltisi hazırlamak için 48 Bome stok sıvı kostikten kullanılması gereken miktar 178 mL/L oranında iken

atıksuyun seyreltme suyu olarak kullanılması durumunda 16 Bome kostik çözeltisi hazırlamak için kullanılması gereken stok kostik miktarı 125 mL/L oranına düşerek % 30 oranında bir kostik tasarrufu sağlanmıştır. Bununla birlikte atıksu yeniden kullanılarak deşarj edilecek atıksu miktarı düşürülmüş ve 16 bome kostik çözeltisi hazırlamak için tüketilecek temiz su miktarlarından %100 oranında tasarruf sağlanmıştır. Temiz su tasarrufu tüketilen merserize çözeltisi miktarına bağlı olarak her zaman %100 oranında gerçekleşecektir.

Yeniden kullanım yaklaşımıyla, atıl hale gelen tüm kostikli atıksu aslında aynı proseste kullanılabilir durumdadır. Ancak hazırlanan merserize çözeltisi miktarı 3.250 L olduğundan bunun 406,25 L'si 48 Bome kostik 2.843,75 L'si ise merserize atıksuyundan oluşacaktır. Dolayısıyla yıkama işleminden kaynaklanan atıksuyun %86'sı yine deşarj edilmek durumundadır. İhtiyaç fazlası durumunda olan bu miktar fabrikada kostikli çözelti kullanan diğer proseslerde kullanılmak üzere depolanabilir ya da doğrudan ilgili prosese sevk edilebilir.

Kostik, seyreltme suyu ve atıksu ücretlerinden tasarruf edilmesiyle; 13.000 m üretim için yapılan parasal tasarruf hesaplaması Çizelge 4.33'te verilmiştir. Hesaplamalarda kullanılan birim fiyatlar; 48 Bome kostik (1.000 kg) için internetten (Anonim 16), su ve atıksu için ise AOSB'den alınmıştır.

Çizelge 4.33. Kostikli Atıksuyun Yeniden Kullanımında Elde Edilecek Parasal Tasarruf

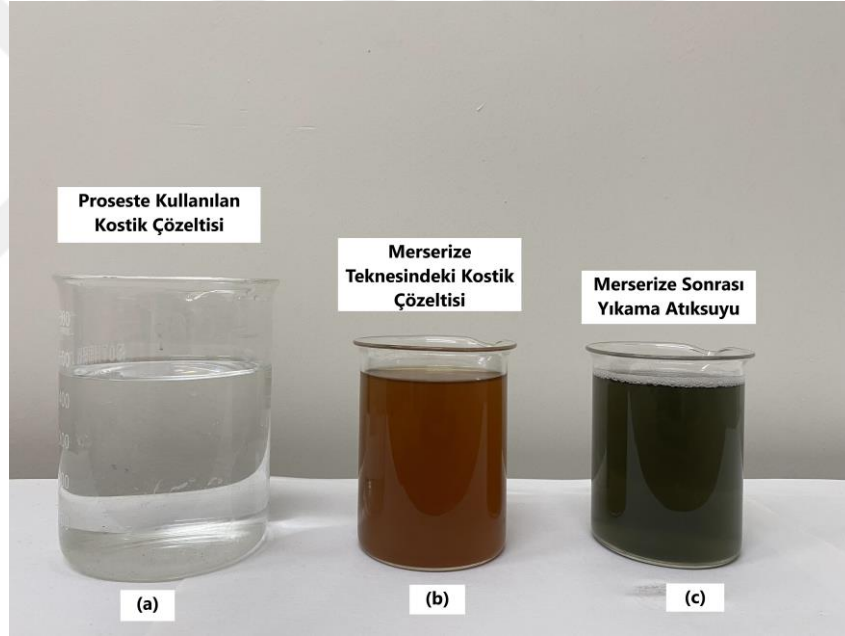
Tasarruf Kalemi	Tasarruf Miktarı	Birim Fiyat (₺/birim)	KDV oranı (%)	KDV Dahil Birim Fiyat (₺/birim)	Parasal Tasarruf (₺)
Kostik (kg)	563,44	22,91	20	27,50	15.494,15
Temiz Su (m ³)	2,67	4,25	1	4,29	11,46
Atıksu (m ³)	2,84	6,25	20	7,50	21,30
Genel Toplam					15.526,91

Çizelge 4.33'ten görüleceği üzere, 13.000 m üretim için yaklaşık olarak 15.526,91 ₺ tasarruf imkanı vardır. Burada elde edilecek tasarruf için herhangi bir yatırım maliyetinin olmadığına dikkat edilmelidir. Dolayısıyla MET 5'in uygulanmasında bir maliyet söz konusu değildir. Parasal tasarrufun önemli kısmını kostikli çözeltinin kazanımı oluşturmaktadır. Su ve atıksudan sağlanacak parasal tasarruf birim fiyatların görece düşük olmasından kaynaklı olarak 13.000 m üretimde çok önemsiz gibi görünebilir. Ancak gerek su ve atıksu birim fiyatlarının görece daha pahalı olduğu ve/veya su kaynaklarının daha kısıtlı olduğu bölgeler için kazanılan her bir m³ su daha önemli hale gelecektir. Bununla birlikte aylık/yıllık üretim miktarları göz önüne alındığında su ve atıksudan elde edilecek parasal ve miktarsal tasarruf ciddi oranlara ulaşacaktır. Halat boyama işletmesinde aylık ortalama 2,75*10⁶ m halatın işlem gördüğü düşünülürse kostik, seyreltme suyu ve atıksu miktarlarında sırasıyla 119.189,23 kg/ay, 564 m³/ay ve 608,5 m³/ay azalış sağlanacaktır. Bu

kazanımların aylık parasal tasarrufu ise 3.284.538,70 ₺/ay olarak hesaplanmıştır. SAİ açısından değerlendirildiğinde de 564 m³/ay (6.768 m³/yıl) su tasarrufu ve 608,5 m³/ay (7.302,55 m³/yıl) atıksu azalışı imkanı bulunmaktadır.

- ***Merserize Yıkama Atıksuyunun Ön Arıtım Sonrası Yeniden Kullanımı***

Halat boyama proseslerinde uygulanan ön işlem, ürün tipine bağlı olarak merserizasyon ve/veya sülfür boyama gibi farklılıklar içermektedir. Dolayısıyla merserize tekneleri zaman zaman sülfür boyama çözeltisi ile doldurularak ön işlemden kullanılmaktadır. Her ne kadar tekneler bir sonraki üretim için temizlense de kalıntı boyar maddeler merserize çözeltisine ve dolayısıyla da yıkama atıksularına karışabilmektedir (Şekil 4.40). Bu durum kostikli atıksuyun doğrudan yeniden kullanım uygulamalarında problem oluşturacaktır. Bu nedenle atıksuların yeniden kullanılmadan önce safsızlıklardan arındırılması bir sonraki proseste ürün kalitesinin korunması için önem arz etmektedir.

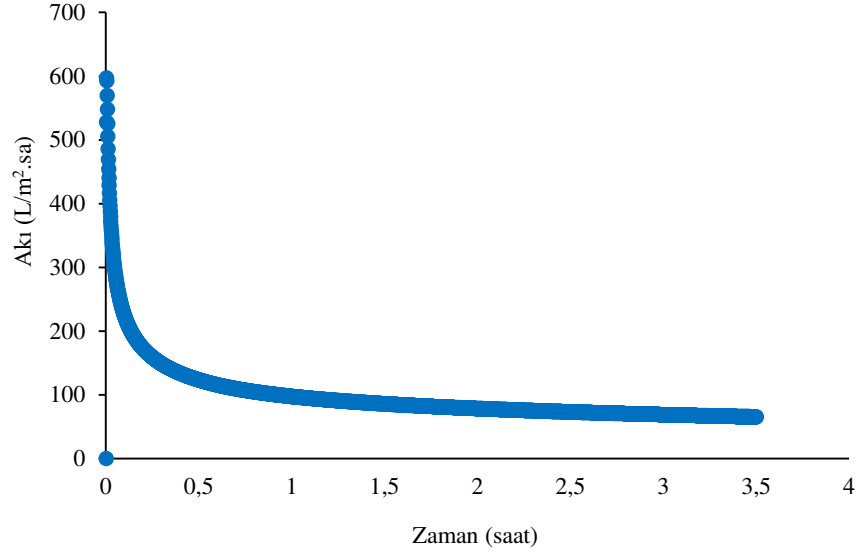


Şekil 4.40. Saf Kostik (a), Merserize Teknesindeki Çözelti (b) ve Renk İçeren Yıkama Atıksuyu (c)

Çalışmanın bu aşamasında Çizelge 3.2’de özellikleri verilen membranlar kullanılarak atıksu UF, NF ve TO membranlarından ayrı ayrı filtre edilmiştir. Filtre akıları hesaplanmış ve her bir adım sonrasında süzöntü akılarında kostik miktarları ölçülmüştür.

1. UF Membran Uygulaması

Merserize atıksuyu işletmeden alınarak basınçlı membran hücresine 250 mL hacminde doldurulmuştur. Isıtmalı manyetik karıştırıcı kullanılarak proses, atıksu çıkış sıcaklığı olan 45 °C’de işletilmiştir. UF sistemi için basınç 2 bar olarak uygulanmıştır. Elde edilen akı grafiği Şekil 4.41’de verilmiştir.



Şekil 4.41. UF Membran Akı Grafiği

Şekil 4.41'den görüleceği üzere membran akısı 1 saat gibi kısa bir zaman sonrasında 597,11→96,22 L/m².saat şeklinde azalış göstermiştir. Sonrasında akıda önemli bir değişiklik olmamakla birlikte 3,5 saatlik filtrasyon süresi sonunda akı 65,26 L/m².saat değerine düşerek toplamda 190,9 mL'lik bir süzüntü miktarı elde edilmiştir.

Şekil 4.42'den görülebileceği gibi atıksuda renge neden olan boyar madde UF filtrede tutularak süzüntü akısı (UF çıkışı) mercerize teknesindeki rengine dönmüştür.

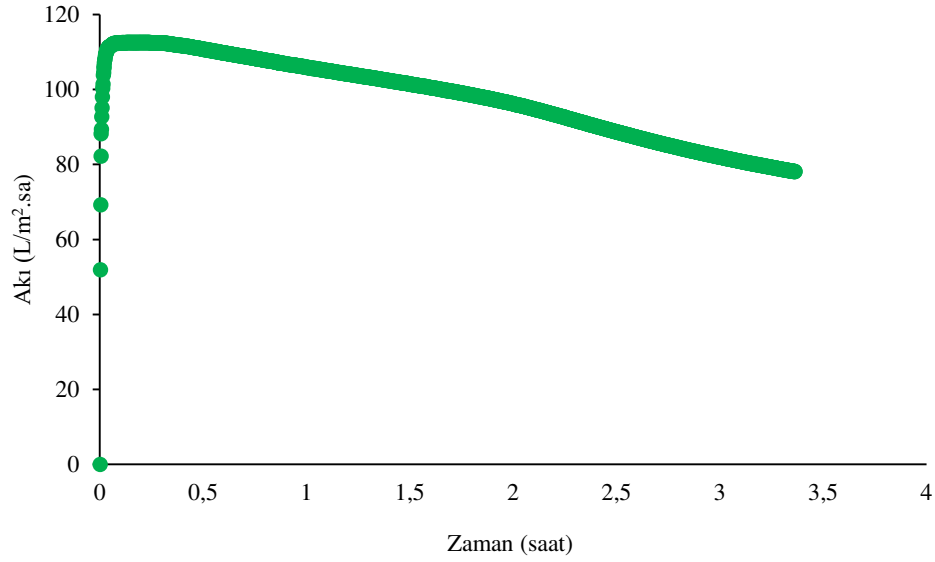


Şekil 4.42. UF Süzüntü Suyu ve UF Membran Görünümü

UF süzüntüsünde yapılan analizde, atıksu içerisinde bulunan kostik miktarında kayıp yaşanmadığı belirlenmiştir (giren kostik miktarı = çıkan kostik miktarı). Dolayısıyla UF filtrasyonda sadece atıksuda bulunan safsızlıklar giderilmiş ve yeniden kullanılabilir kostik çözeltisi elde edilmiştir.

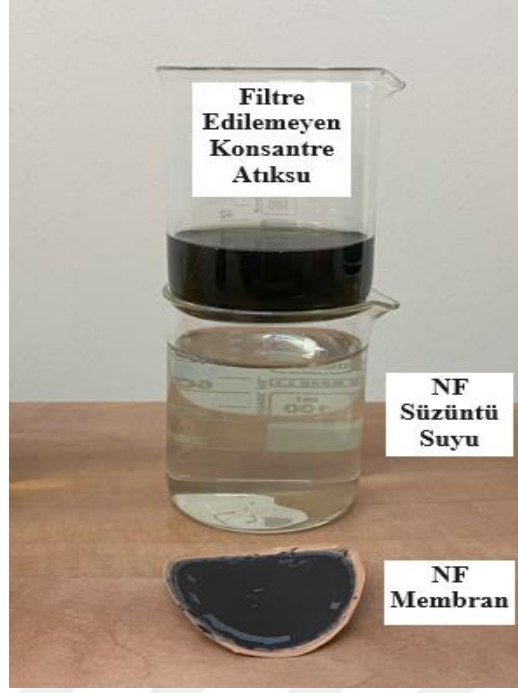
2. NF Membran Uygulaması

Merserize atıksuyu basınçlı membran hücreğine 250 mL hacminde doldurulmuştur. Isıtmalı manyetik karıştırıcı kullanılarak proses, atıksu çıkış sıcaklığı olan 45 °C’de işletilmiştir. NF sistemi için basınç 8 bar olarak uygulanmıştır. Elde edilen akı grafiği Şekil 4.43’te verilmiştir.



Şekil 4.43. NF Membran Akı Grafiği

Şekil 4.43’ten görüleceği üzere membran akısı 3,5 saatlik filtrasyon süresi boyunca 112,5→78,16 L/m².saat şeklinde azalış göstermiştir. Filtrasyon süresi sonunda toplamda 218,91 mL’lik bir süzüntü miktarı elde edilmiştir. Şekil 4.44’te NF membranının durumu, NF konsantresi ve NF süzüntü suyu görselleri birlikte verilmiştir.

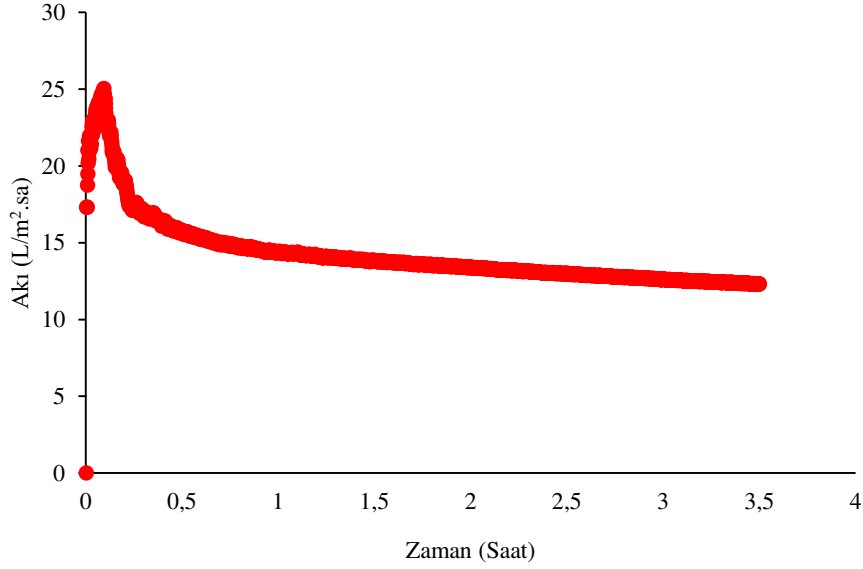


Şekil 4.44. NF Konsantresi, NF Süzüntü Suyu ve NF Membran Görünümü

NF membran filtrasyonunda 17 mL/L kostik içeren atıksu filtre edildiğinde bir miktar kostik üst fazda (atıksu içinde) kalmakla birlikte süzüntü akısında 15,3 mL/L daha saf (renksiz) kostikli su elde edilmiştir. Kostik geri kazanımı için membran kullanıldığında kostiğin bir kısmının filtre edilemeyen kısımda kaldığı, ama bununla birlikte KOİ, renk, sertlik gibi safsızlıkların giderildiği ve daha temiz bir süzüntü elde edildiği çeşitli çalışmalarda bildirilmiştir (Zebić Avdičević ve ark., 2019; Ağtaş ve ark., 2021). Dolayısıyla kostik geri kazanımı ve/veya yeniden kullanımı için membran filtrasyon bir ön arıtım olarak uygulanmalıdır.

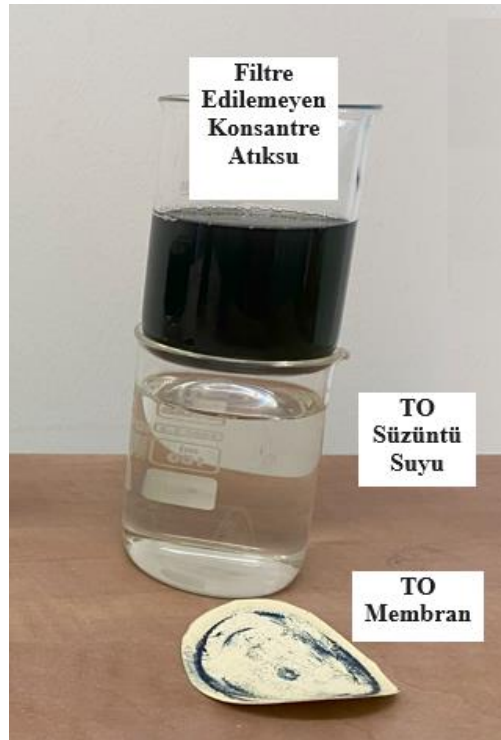
3. TO Membran Uygulaması

Merserize atıksuyu basınçlı membran hücresine 250 mL hacminde doldurulmuştur. Isıtmalı manyetik karıştırıcı kullanılarak proses, atıksu çıkış sıcaklığı olan 45 °C’de işletilmiştir. TO sistemi için basınç 18 bar olarak uygulanmıştır. Elde edilen akı grafiği Şekil 4.45’te verilmiştir.



Şekil 4.45.TO Membran Akı Grafiği

Şekil 4.45'den görüleceği üzere membran akısı 0,5 saat gibi kısa bir zaman sonrasında 25,05→15,58 L/m².saat şeklinde azalış göstermiştir. Sonrasında akıda önemli bir değişiklik olmamakla birlikte 3,5 saatlik filtrasyon süresi sonunda akı 12,32 L/m².saat değerine düşerek toplamda 40,02 mL'lik bir süzüntü miktarı elde edilmiştir. Şekil 4.46'da, işlem sonrası TO konsantresi, süzüntüsü ve membranın görselleri birlikte verilmiştir.

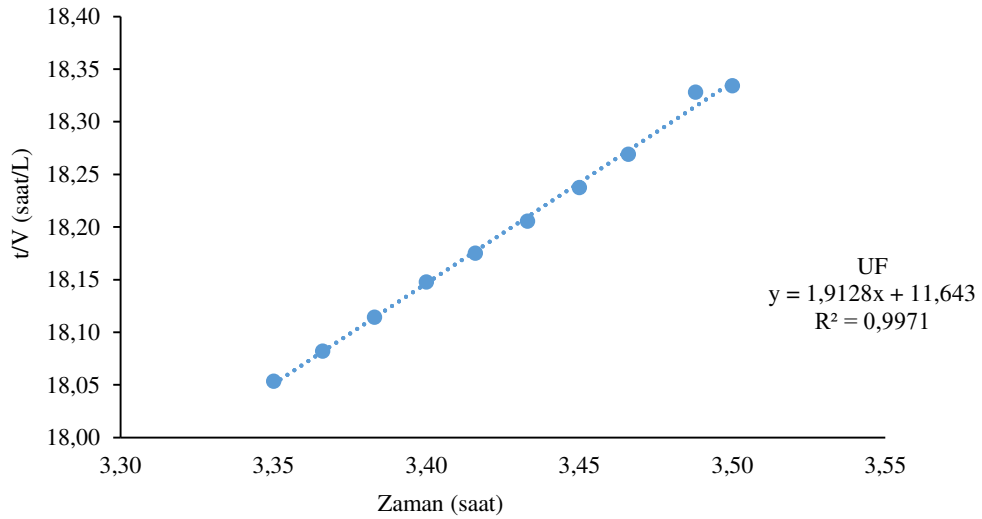


Şekil 4.46. TO Konsantresi, TO Süzüntü Suyu ve TO Membran Görünümü

TO membran filtrasyonda 17 mL kostik içeren atıksu filtre edildiğinde kostik ve diğer safsızlıklar konsantride kalmış ve süzüntü akısında temiz kullanılabilir su elde edilmiştir. TO filtrasyonu kostik kazanımından ziyade su arıtımı olarak düşünülmelidir. Üst fazda kalan konsantride kostikli çözelti daha temiz (renksiz vb.) kostik çözeltisi elde etmek için UF veya NF membranlardan geçirilerek değerlendirilebilir.

4. UF Membran Sistemi İçin Ölçek Büyütme

Merserize yıkama atıksularından renk vb. gibi istenmeyen safsızlıkların giderilmesi için uygulanan laboratuvar ölçekli UF, NF ve TO filtrasyon denemelerinden elde edilen veriler değerlendirilmiştir. UF filtrasyonun gerek geri kazanım oranı gerekse geri kazanılan süzüntü akısında kostik kaybının olmaması gibi nedenlerle kostikli atıksuyun yeniden kullanılabilirliğini sağlamak için yeterli olduğu sonucuna varılmıştır. “*Merserize Yıkama Atıksuyunun Doğrudan Yeniden Kullanımı*” başlığı altında hesaplanan 13.000 m üretim için 21.667 L merserize yıkama atıksuyunun UF filtrasyondan geçirilmesi için gerekli olan membran sayısı ölçek büyütme ile hesaplanmıştır. Bunun için tasarımı düşünülen UF filtrasyon senaryosunda yer alan membranın birim zamanda toplanan süzüntü hacim verileri ile “t/v” değerleri hesaplanmış ve zamana karşı grafiğe geçirilmiştir (Şekil 4.47).



Şekil 4.47. Membran Filtrasyon İçin V_{maks} Grafikleri

UF membranı için çizilen eğrinin eğiminin tersi alındığında UF membran için V_{max} değeri 0,52 L olarak hesaplanmıştır. V_{max} değerlerinin laboratuvar ölçeğinde “dead-end” membran hücresinde kullanılan membran alanına (0,000832 m²) bölünmesiyle saha ölçeğinde birim alandan filtrelenecek maksimum hacim hesaplanmış ve UF membran için 628,36 L/m² olarak bulunmuştur.

Saha ölçeğinde gerekli toplam membran alanını bulmak için UF membrandan filtrelenecek su miktarı (13.000 m üretim için 21.667 L merserize yıkama atıksuyu) V_{max} değerine bölünmüş ve

güvenlik faktörü (1,5) ile çarpılarak, UF membran için saha ölçeğinde gerekli toplam membran alanı 51,72 m² olarak hesaplanmıştır. Bu hacimdeki atıksu (21.667 L/gün) filtrasyonu için gerekli olan membran sayısı; hesaplanan toplam membran alanının piyasada ticari olarak satılan standart membran alanına (24,5 m²) bölünmesiyle elde edilmiştir. Buna göre kullanılacak UF membran sayısı 3 (2,11) adet olarak belirlenmiştir.

5. UF Membran Sistemi İçin Maliyet Analizi

Merserize yıkama atıksularında var olan kirleticilerin tutulması ve daha temiz kostikli çözelti elde etmek için uygulanacak UF membran filtrasyonun ölçek büyütme ile saha ölçeğine getirilmiş verileriyle hesaplanan maliyet analizi detayları ile Çizelge 4.34'te verilmiştir.

Çizelge 4.34. Kostikli atıksu için UF filtrasyon maliyet analizi

Maliyet Cinsi		
Sistem Özellikleri	Basınç (bar)	2
	Kazanım oranı (%)	76,36
	Giriş debisi (m ³ /saat)	2,71
	Süzüntü debisi (m ³ /saat)	2,07
	Membran sayısı (adet)	3
İlk Yatırım Maliyetleri	İnşaat Maliyeti (€)	6.053,02
	Mekanik mühendislik harcamaları (€)	11.143,58
	Elektroteknik yatırımlar (€)	1.400.292,68
	Membran yatırımları (€)	3.000,00
	Toplam yatırım maliyeti (€)	1.420.489,28
İşletme ve Bakım Maliyetleri	Amortisman maliyeti (€/yıl)	94.897,52
	Enerji maliyeti (€/yıl)	2.279,00
	Kimyasal maliyeti (€/yıl)	1.413,95
	Toplam sarfiyat maliyeti (€/yıl)	3.692,95
	Bakım maliyetleri (€/yıl)	28.409,79
	Spesifik işletme maliyetleri (€/yıl)	56.819,57
	Toplam işletme maliyeti (€/yıl)	183.819,83
	Birim kostikli çözelti maliyeti (€/m ³)	23,23

Çizelge 4.34'te verilen maliyetler dikkate alındığında ilk yatırım maliyetleri arasındaki en yüksek maliyeti elektroteknik yatırımlardan oluşmaktadır. Verberne maliyet modeli'ne göre ilgili maliyetin hesaplanmasında kullanılan formüldeki $1,4 \times 10^6$ (Eşitlik 3.7) ifadesi ilk yatırım maliyetinin %98'ini oluşturmaktadır. Öyle ki hesaba katılan bu değer akı, debi, atıksu özellikleri gibi proses bilgilerine göre hesaplanan diğer kalemleri hemen hemen geçersiz kılmaktadır. Bu da bu kadar detaylı bir analize gerek kalmaksızın doğrudan membran arıtımının maliyetinin hemen hemen $1,4 \times 10^6$ € değerinde olacağının kabaca ifadesidir. Bu durum Verberne maliyet modelinin

elektroteknik yatırım hesabında çok uygun bir yöntem olmadığını düşündürmektedir. Bu değer hesaplamaya dahil edilmediği takdirde birim su maliyeti 0,82 €/m³ olarak hesaplanmaktadır.

Yapılan maliyet analizine göre UF membran sisteminin geri ödeme süresinin detaylı hesabı Çizelge 4.35'te verilmiştir. Geri ödeme süresinin hesaplanmasında 1€=37,71 ₺ alınmıştır.

Çizelge 4.35. Geri ödeme süresinin hesaplanması

Ortalama atıksu miktarı (m ³ /gün)	21,67
Temiz su fiyatı (€/m ³)	0,13
Atıksu fiyatı (€/m ³)	0,21
Süzüntü suyu (m ³ /gün)	16,54
İlk yatırım maliyetleri (€)	1.420.489,28
Temiz sudan kazanç (€/yıl)	760,90
Atıksudan kazanç (€/yıl)	1.292,32
Kostikten kazanç (€/yıl)	1.101.308,49
Toplam yıllık kazanç (€/yıl)	1.103.361,71
Geri ödeme süresi (Yıl)	1,29

Yeniden kullanım için safsızlıklardan arındırılmış kostikli çözeltinin elde edilmesi için UF membran sisteminin kullanılması durumunda sistemin geri ödeme süresi 1,29 yıl olarak hesaplanmıştır. İlerleyen yıllarda su, atıksu ve kostik birim fiyatlarının artışında veya su/kostik kullanımına getirilecek olan kısıtlamalar nedeniyle kostikli atıksuların yeniden kullanım imkanlarının araştırılmasında, UF membran filtrasyonunun safsızlıkların giderilmesinde bir seçenek olarak değerlendirilebileceği sonucuna varılmıştır.

6. Kostikli Atıksuların Yeniden Kullanımının Genel Değerlendirmesi

Tekstil endüstrisinde merserizasyon yıkama atıksularından kostik kazanımı ve kostikli atıksuyun yeniden kullanılabilirliğinin değerlendirildiği bu başlık 48 Bome stok kostikten 16 Bome'ye seyreltilmiş merserize çözeltisinin kullanıldığı bir proses örneği için olsa da elde edilen sonuçlar kostik içeriğinin farklı olduğu merserize işlemleri için de uygulanabilir. Çalışmanın ilk adımı benzer ve standart işlemleri uygulayan üretim hatlarında yalnızca kostik ve iplikten kaynaklanan safsızlıkları içeren atıksuların doğrudan yeniden kullanım imkanının olduğu ortaya konulmuştur. Çünkü işlem gören ipliğin (halatların) üretim süreci boyunca görece kirli merserize çözeltisinden geçtiği ve kirli atıksu özelliğindeki bir suda yıkandığı tespit edilmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında, içerdiği renk vb. kirlilikten dolayı yeniden kullanım imkanının olmadığı durumlarda ise UF, NF ve TO membran filtrasyonlarının arıtma için uygulanabilirliği deneysel olarak araştırılmış ve sonuçlarıyla birlikte verilmiştir. Literatür bilgileri de membran filtrasyonunun kostik geri kazanımda uygulanabilirliğini ve kirlilik üzerindeki giderim verimlerini bildirmektedir (Zebić Avdičević ve ark., 2019; Ağtaş ve ark., 2021). Dolayısıyla kostiğin geri kazanımından ziyade kostikli çözeltinin temizlenmesinde membran uygulamalarının kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Kirliliklerden arındırılmış veya doğrudan yeniden kullanılmak istenen kostikli çözeltileri konsantre (kostik yoğun) hale getirmek için ise uygulanacak yöntem çözeltideki suyun buharlaştırılmasıdır (Tunç ve ark., 2014). Atıksular doğrudan buharlaştırma uygulamasına tabi tutulduğunda kostik haricinde atıksu içindeki diğer safsızlıkların da konsantre hale getirileceği unutulmamalıdır. Bununla birlikte buharlaştırma işleminde tüketilecek enerji de geri kazanım verimliliği için ayrıca hesaba katılmalıdır.

Çalışmada detayları ile açıklanan uygulamalar atıksu içerisindeki kostik miktarı arttıkça daha verimli hale geleceği için kostik içeriği fazla atıksulardan kostik geri kazanımı veya atıksuların yeniden kullanımı konusunda daha avantajlı olacaktır. Böylelikle hem bir ham maddenin (Kostik) atıl hale gelmesi engellenecek hem de nötralizasyonda fazladan asit kullanımının önüne geçilmiş olacaktır.

Atıksuların Arıtılarak Yeniden Kullanılması

MET 6: Atıksuların Membran Proseslerle Arıtılarak Yeniden Kullanımı

İşletme/makine bazlı çalışmalardan anlaşıldığı üzere işlenen ürün tipine bağlı olarak oluşan atıksu oldukça değişken karakter göstermektedir. Bu nedenle, atıksuların arıtılarak yeniden kullanılması çalışmalarında fabrika geneli atıksuların toplandığı dengeleme havuzu giriş noktasından alınan atıksu numuları kullanılmıştır. Atıksuların geri kazanımı için membran teknolojisi tercih edilmiş ve deneyler laboratuvar ölçekli basınçlı membran hücresinde gerçekleştirilmiştir.

Deneysel çalışmalarda özellikleri Çizelge 3.2’de verilen laboratuvar ölçekli UF, NF ve TO membranları ve Şekil 3.1’de verilen deney düzeneği kullanılmıştır. Her membran için aktif filtreleme alanı 0,000832 m²’dir. Membran performanslarının karşılaştırılmasında Eİ, TÇKM, tuzluluk, AKM, KOİ ve renk parametreleri kullanılmıştır.

Membran teknolojisi ile atıksuların geri kazanılmasında 4 farklı arıtım senaryosu kurgulanmıştır. Kurgulanan arıtım senaryoları Çizelge 4.36’da verilmiştir. Ardışık filtrasyon işlemlerinde, filtrelerin besleme suyu ihtiyacını karşılamak için bir önceki filtrasyon gerekli süzüntü miktarını elde edinceye kadar tekrar edilmiştir.

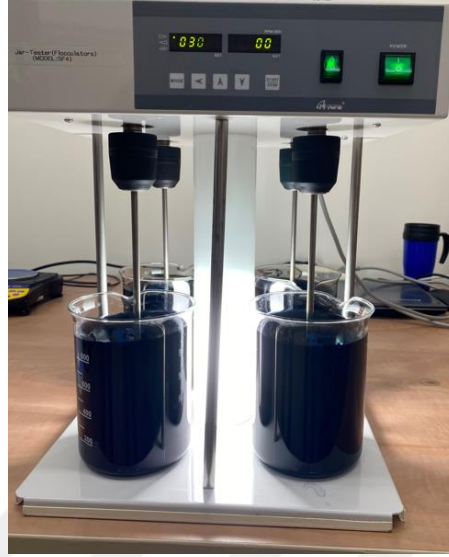
Çizelge 4.36. Membran arıtım senaryoları

Senaryo No	Koagülasyon	UF (2 bar)	NF (6 bar)	TO (10 bar)
1	-	+	+	+
2	+	+	+	+
3	+	-	+	+
4	+	-	-	+

+: Uygulandı

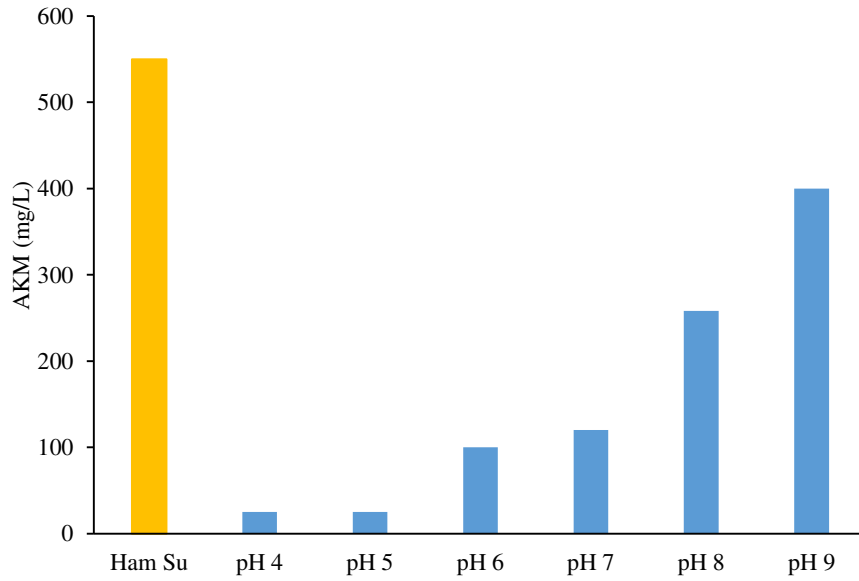
- : Uygulanmadı

Senaryolarda ön arıtma olarak uygulanan koagülasyon prosesinde (koagülasyon-flokülasyon-çökeltme) koagülant olarak alüm ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 1.5\text{H}_2\text{O}$) kullanılmıştır. Koagülasyon işlemlerinin gerçekleştirildiği Jar test deney düzeneği Şekil 4.48’de gösterilmiştir.



Şekil 4.48. Jar Test Deney Düzeneği

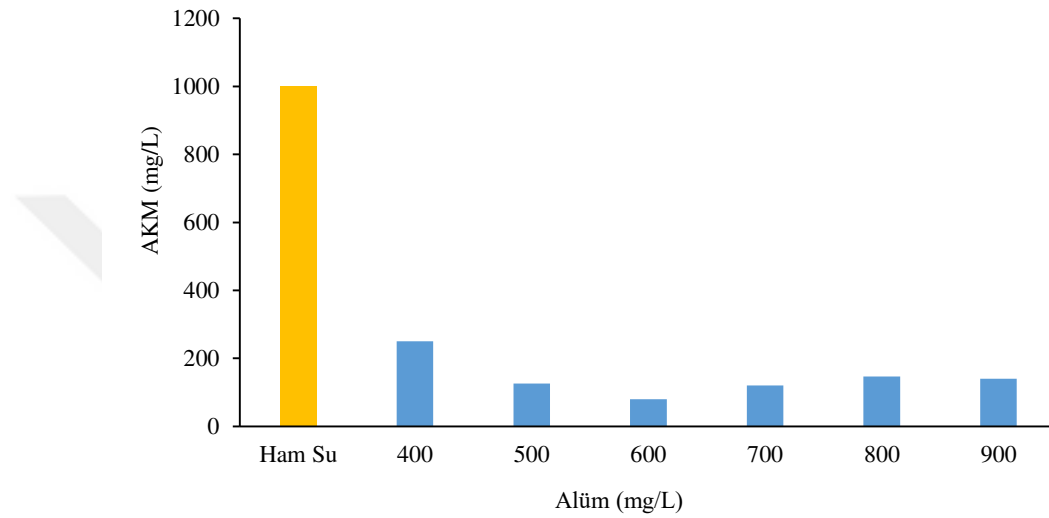
Jar test ile optimum pH’ı belirlemek için 600 mg/L sabit koagülant dozu uygulanarak pH 4, 5, 6, 7, 8 ve 9 değerleri çalışılmıştır. Ham suyun pH değeri 11,73’tür. Bu nedenle 2 N H_2SO_4 gerekli miktarlarda kullanılarak pH istenilen değerlere ayarlanmıştır. İşlem sonunda elde edilen AKM değerleri Şekil 4.49’da verilmiştir.



Şekil 4.49. Alüm ile Koagülasyonda pH’nın Etkisi

Denenen pH değerlerinde %27,3-%95,5 arasında AKM giderim verimi elde edilmiştir. pH 4 ve pH 5 değerlerinde benzer AKM giderim oranları (%95,5) elde edilmiş olup ham atıksuyun nötralizasyonu için daha az miktarda asit gerektirdiğinden, pH 5 optimum pH olarak değerlendirilmiştir.

Jar testin ikinci aşamasında, optimum koagülant dozunun belirlenebilmesi için pH 5'te 400, 500, 600, 700, 800 ve 900 mg/L alüm değerleri denemiştir. İşlem sonunda elde edilen AKM değerleri Şekil 4.50'de gösterilmiştir.



Şekil 4.50. Koagülasyon İşleminde Farklı Alüm Dozlarında Elde Edilen AKM Değerleri

pH 5'te uygulanan farklı alüm dozlarında %75-92 aralığında değişen AKM giderimleri elde edilmiştir. En yüksek AKM giderimi (%92), 600 mg/L alüm dozunda gerçekleşmiştir.

Koagülasyon sonunda 800 mL'lük numunenin 65 mL'si çamurlu su olarak ölçülmüştür. Dolayısıyla koagülasyon sonunda geri kazanım oranı %91,87 olarak kabul edilmiştir. Çamurun içeriğinde bulunan %95-99 su (Flytili ve Zabaniotou, 2008; Ersoy ve Özbay, 2023) geri kazanım için hesaba dahil edilmemiştir.

- **1 No'lu Senaryonun Değerlendirilmesi**

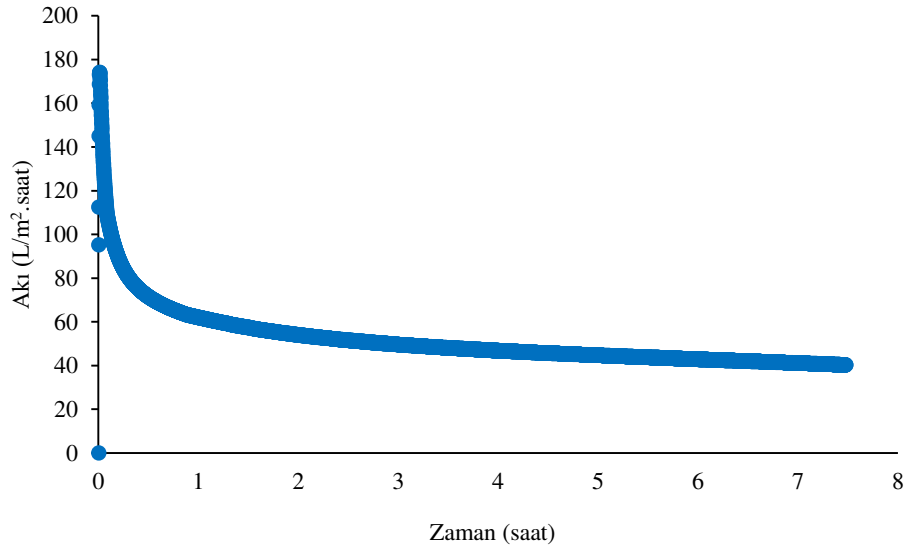
Bu arıtma senaryosunda, UF-NF-TO membran filtrasyonları ardışık olarak işletilmiştir. Ham atıksu doğrudan UF mebrandan geçirilerek süzüntü suyu NF membrana, NF'den elde edilen süzüntü suyu da TO membrana beslenmiştir. Ardışık UF-NF-TO filtrasyonunda elde edilen süzüntü sularının analiz sonuçları Çizelge 4.37'de verilmiştir.

Çizelge 4.37. 1 No'lu senaryoda elde edilen süzüntü suyu analiz sonuçları

Numune	Eİ ($\mu\text{S/cm}$)	TÇKM (mg/L)	Tuzluluk (mg/L)	AKM (mg/L)	KOİ (mg/L)	Renk (Pt-Co)
Ham Su	11.040	5.520	6.460	400	2.086	15.000
UF Çıkışı	6.770	3.370	3.870	148	598	4.237
NF Çıkışı	6.490	3.230	3.690	36	539	996
TO Çıkışı	2.330	1.160	1.240	18	235	244

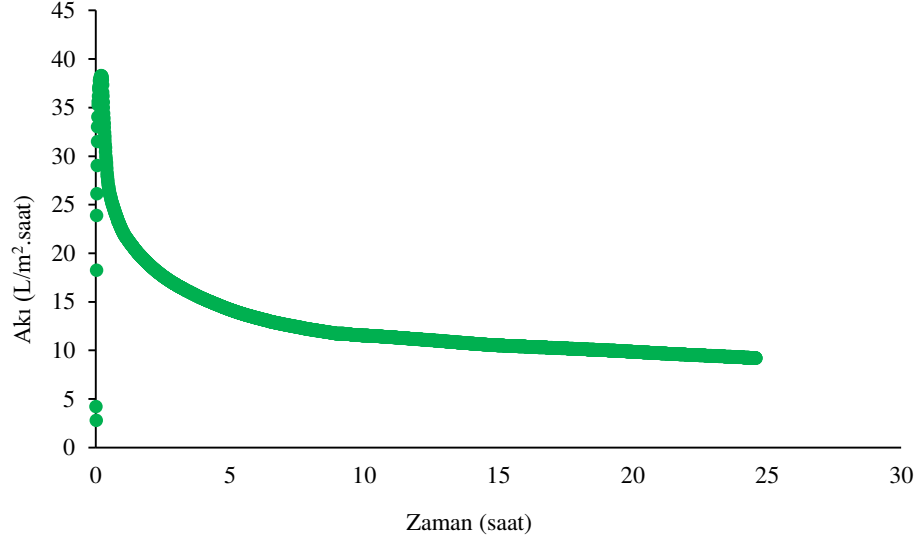
1 nolu arıtma senaryosu ile Eİ, TÇKM, tuzluluk, AKM, KOİ ve renk parametrelerinde sırasıyla %78,89, %78,99, %80,80, %95,56, %88,72 ve %98,37 giderim elde edilmiştir.

1 nolu arıtma senaryosunda UF akı değişimi Şekil 4.51'de verilmiştir. Şekil 4.51'den görüleceği üzere ilk 1 saatlik zaman içerisinde akı 180 L/m².saat seviyelerinden 70 L/m².saat'in altına düşmüştür. Deneysel süreç devam ettirildiğinde 2. saatten sonra akıda dikkate değer bir değişim gözlenmemiştir. 7,5 saatlik filtrasyon sonunda 265 mL besleme suyundan 250 mL süzüntü suyu elde edilmiştir ve geri kazanım oranı %94,33 olarak hesaplanmıştır.



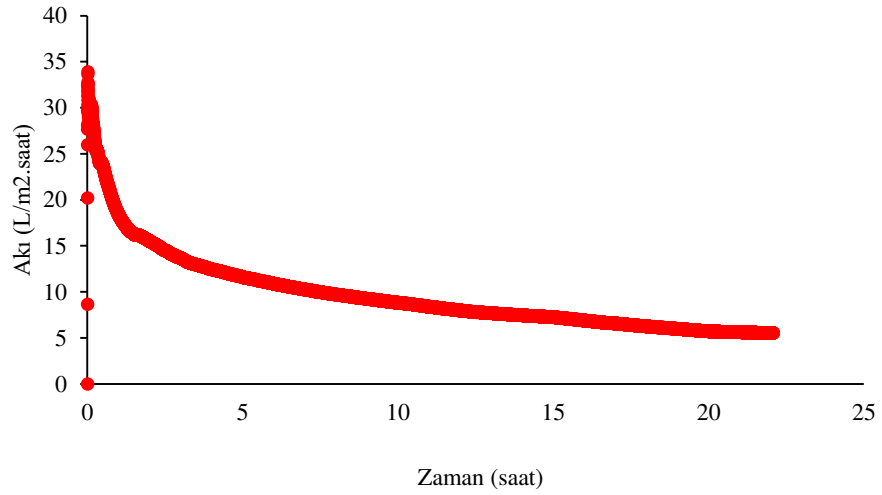
Şekil 4.51. 1 No'lu Senaryoda UF Akı Grafiği

Zamana bağlı olarak NF akı değişimi ise Şekil 4.52'de verilmiştir. NF filtrasyonunun ilk 3 saatlik zaman diliminde akı 38 L/m².saat'den 16 L/m².saat seviyelerine hızla düşmüştür (%58 akı kaybı). 5'inci saatten 25'inci saate kadar akıdaki değişim yaklaşık olarak 5 L/m².saat'dir. 25 saatlik filtrasyon sonunda 265 mL besleme suyundan 193 mL süzüntü suyu elde edilmiştir ve geri kazanım oranı %72,83'dür.



Şekil 4.52. 1 No'lu Senaryoda NF Akı Grafiği

Ardışık membran filtrasyonunun son adımı olan TO membran akı değişimi Şekil 4.53'te görülmektedir. Şekil 4.53'ten görüleceği üzere ilk 2,5 saatlik zaman diliminde akı 35 L/m².saat'ten 15 L/m².saat'e düşmüştür (%57,14 akı kaybı). 24 saatlik filtrasyon süresi sonunda 160 mL besleme suyundan elde edilen süzöntü suyu hacmi 146 mL'dir. TO membran geri kazanım oranı %91,25 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.53. 1 No'lu Senaryoda TO Akı Grafiği

1 Nolu senaryoda UF, NF ve TO membranlar için geri kazanım oranları sırasıyla %94,33, %72,83 ve %91,25 olarak belirlenmiştir. Çok sayıda ardışık membrandan oluşan bir prosesin toplam geri kazanım oranı, her bir membranın geri kazanım oranları çarpılmak suretiyle hesaplanabilmektedir (Chan ve Wu, 2022). Bu durumda, ön arıtmasız UF/NF/TO ardışık membran prosesin toplam geri kazanım oranı %62,68 olarak hesaplanmıştır.

- **2 No'lu Senaryonun Değerlendirilmesi**

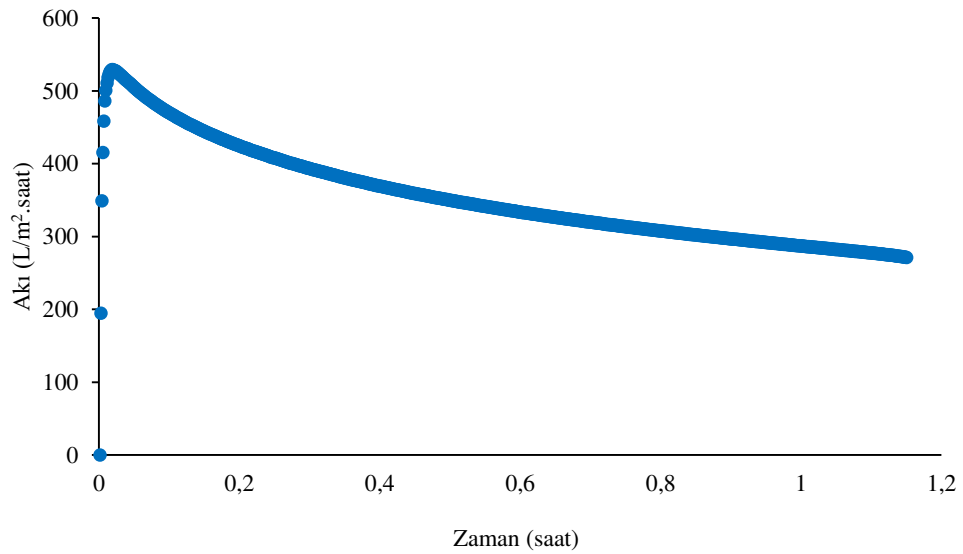
Bu senaryoda, atıksuyun geri kazanımı için Koagülasyon-UF-NF-TO ardışık arıtma prosesinin performansı test edilmiştir. Koagülasyon işlemi pH 5'te ve 600 mg/L Alüm dozu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Koagülasyon çıkış suları UF membrana, UF süzöntüsü NF membrana ve NF süzöntüsü de TO membrana beslenerek ardışık arıtma sistemi işletilmiştir. Her adım sonrası elde edilen çıkış sularına ait analiz sonuçları Çizelge 4.38'de verilmiştir.

Çizelge 4.38. 2 No'lu senaryodan elde edilen sonuçlar

Numune	Eİ ($\mu\text{S/cm}$)	TÇKM (mg/L)	Tuzluluk (mg/L)	AKM (mg/L)	KOI (mg/L)	Renk (Pt-Co)
Ham Su	11.040	5.520	6.460	400	2.086	15.000
Koagülasyon	7.880	3.940	4.510	49	685	111
UF Çıkışı	7.860	3.940	4.510	37	678	57
NF Çıkışı	3.250	1.630	1.750	25	334	51
TO Çıkışı	448	236	259	0	50	0

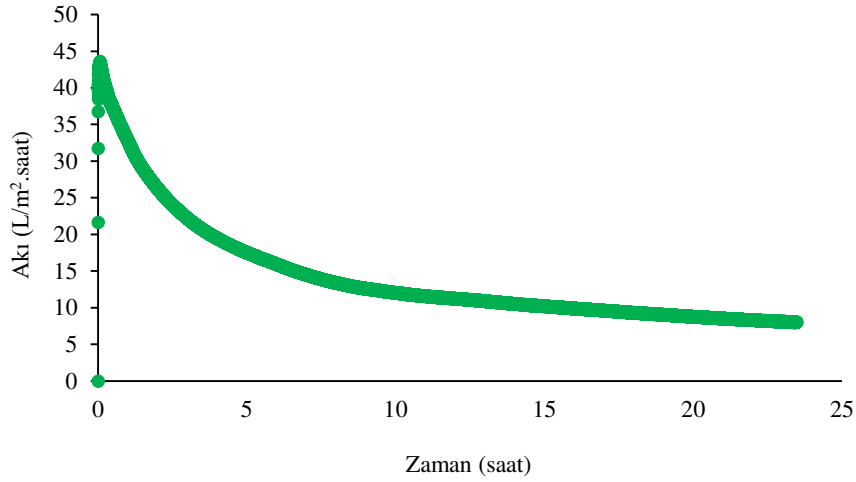
TO çıkışı su özelliklerine bakıldığında ham suya göre Eİ, TÇKM, tuzluluk, AKM, KOİ ve renk parametrelerinde sırasıyla %95,94, %95,72, %95,99, %100,00, %97,60 ve %100,00 giderim olduğu görülmüştür. UF, NF ve TO akı grafikleri sırasıyla Şekil 4.54, 4.55 ve 4.56'da verilmiştir.

Şekil 4.54'ten görüleceği üzere, filtrasyon akısı $526 \text{ L/m}^2.\text{saat}$ ile oldukça yüksek seviyelere çıkmıştır. 1,5 saatlik filtrasyon sonunda akıda %51 kayıp olmasına rağmen akı değeri $271 \text{ L/m}^2.\text{saat}$ seviyelerindedir. Membran hücresine doldurulan numune bittiği için filtrasyon sonlandırılmıştır. UF süzöntü miktarı 260 mL (besleme 265 mL) ölçülmüş ve geri kazanım oranı %98,11 olarak hesaplanmıştır.



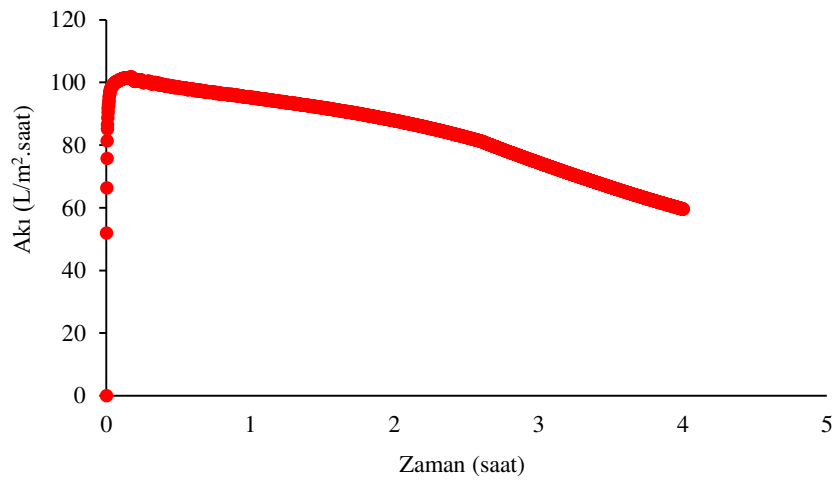
Şekil 4.54. 2 No'lu Senaryoda UF Akı Grafiği

Şekil 4.55’de, 250 mL UF süzütüsünün NF membrana beslenmesi sonucunda elde edilen NF akısı görülmektedir. İlk 5 saatlik zaman diliminde akı hızla düşerken 10. saatten sonra hemen hemen yatay bir seyir izlemiştir. 24 saat sonunda NF’den süzütü hacmi 157 mL ölçülmüş ve NF geri kazanım oranı %62,8 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.55. 2 No’lu Senaryoda NF Akı Grafiği

Şekil 4.56’da TO akısının zamanla değişimi verilmiştir. Şekilden görüleceği üzere, ilk 2,5 saatlik zaman diliminde TO akısı 100-80 L/m².saat aralığında yavaş bir azalma eğiliminde olup, sonraki 1,5 saatte ise azalma hızı artmıştır. Bu durum, membran hücresindeki suyun konsantreleşmesi ve buna bağlı olarak TO membran tıkanma hızının artması ile açıklanabilir. TO’ya beslenen su hacmi 250 mL olup 4 saat sonrasında TO’dan alınan süzütü hacmi 198 mL olarak ölçülmüştür. Bu durumda TO membran geri kazanım oranı %79,2 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.56. 2 No’lu Senaryoda TO Akı Grafiği

Denim atıksularının geri kazanılarak yeniden kullanımı için kurgulanan 2 No’lu arıtma senaryosunda Koagülasyon, UF, NF ve TO için geri kazanım oranları sırasıyla %91,87, %98,11,

%62,8 ve %79,2 olarak hesaplanmıştır. Prosesin toplam geri kazanım oranı, her bir sistemin geri kazanım oranları çarpılmak suretiyle hesaplandığında (Chan ve Wu, 2022); Koagülasyon/UF/NF/TO ardışık arıtma prosesinin toplam geri kazanım oranı %44,83 olarak hesaplanmıştır.

- **3 No'lu Senaryonun Değerlendirilmesi**

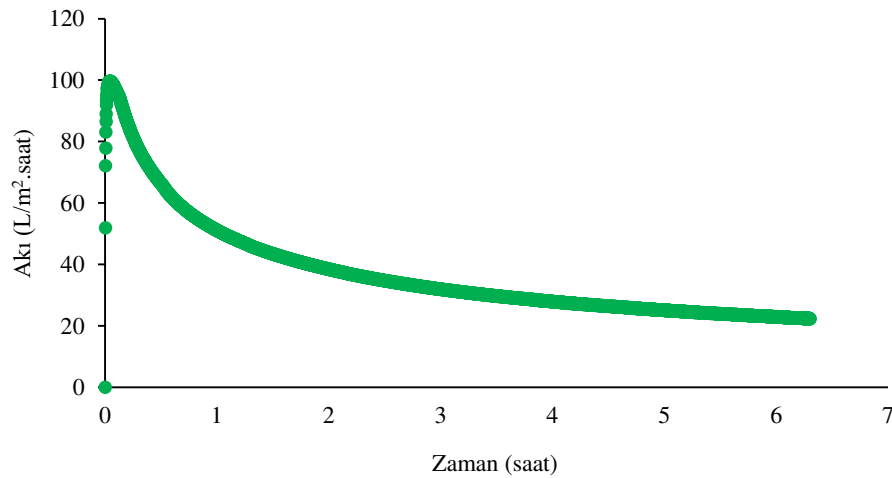
Bu senaryoda Koagülasyon/NF/TO ardışık arıtma sistemi test edilmiştir. Her bir adım sonrasında elde edilen çıkış suyu kaliteleri Çizelge 4.39'da görülmektedir.

Çizelge 4.39. 3 No'lu senaryoda elde edilen sonuçlar

Numune	Eİ (µS/cm)	TÇKM (mg/L)	Tuzluluk (mg/L)	AKM (mg/L)	KOİ (mg/L)	Renk (Pt-Co)
Ham Su	11.040	5.520	6.460	400	2.086	15.000
Koagülasyon	7.880	3.940	4.510	49	684	110
NF Çıkışı	2.230	1.170	1.250	30	198	38
TO Çıkışı	471	249	271	0	68	0

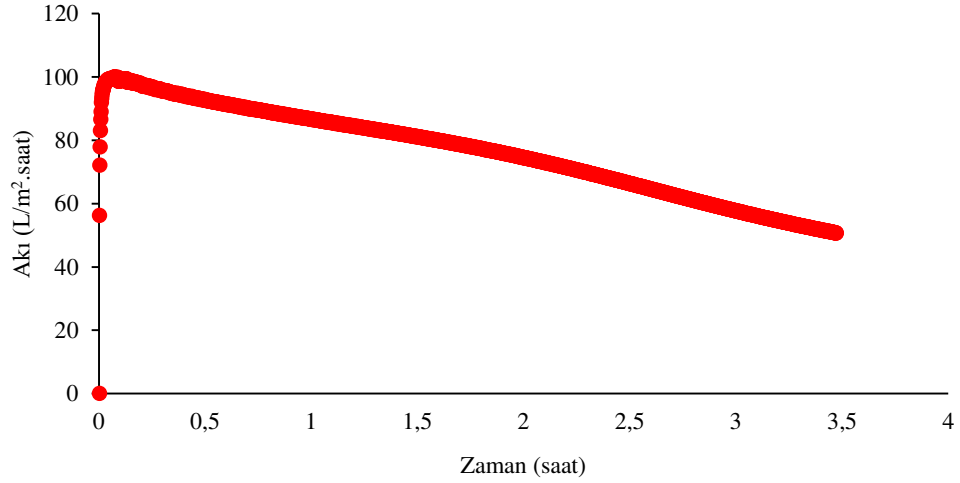
Uygulanan bu arıtma senaryosu ile Eİ, TÇKM, tuzluluk, AKM, KOİ ve renk parametrelerinde sırasıyla %95,73, %95,49, %95,80, %100,00, %96,88 ve %100,00 giderim verimliliği elde edilmiştir.

Koagülasyon çıkış sularının NF membran filtrasyonu sırasındaki akı değişimi Şekil 4.57'de verilmiştir. Şekil 4.57'den görüleceği üzere ilk 2 saatlik zaman içerisinde akı 100 L/m².saat seviyelerinden 40 L/m².saat seviyelerine gerilemiştir (%60 akı kaybı). Deneysel süreç devam ettirildiğinde 4. saatten sonra akıda dikkate değer bir değişim gözlenmemiştir. 6,5 saatlik filtrasyon sonunda 250 mL besleme suyundan 117 mL süzüntü suyu elde edilmiş ve geri kazanım oranı %46,8 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.57. 3 No'lu Senaryoda NF Akı Grafiği

Şekil 4.58’de NF süzütüsü ile beslenen TO mebrandaki zamana bağlı akı değişimi görülmektedir. Buna göre, 3,5 saatlik zaman diliminde akı $100 \text{ L/m}^2\text{.saat}$ seviyelerinden $50 \text{ L/m}^2\text{.saat}$ seviyelerine düşmüştür. Bu zaman diliminde akıda %50 oranında düşüş olmuştur. 2. saatten sonra, 2 nolu arıtma senaryosunda olduğu gibi, TO akısında düşüş hızı artmıştır. 3,5 saatlik filtrasyon süresi sonunda 240 mL besleme suyundan elde edilen süzütü suyu hacmi 219 mL ölçülmüştür ve geri kazanım oranı %91,25’dir.



Şekil 4.58. 3 No’lu Senaryoda TO Akı Grafiği

3 No’lu senaryoda, Koagülasyon, NF ve TO ardışık arıtma prosesi için geri kazanım oranları sırasıyla %91,87, %46,8 ve %91,25 olarak hesaplanmıştır. Prosesin toplam geri kazanım oranı, her bir adımın geri kazanım oranları çarpılmak suretiyle hesaplandığında (Chan ve Wu, 2022), 3 No’lu arıtma senaryosunun toplam geri kazanım oranı %39,23 olarak hesaplanmıştır.

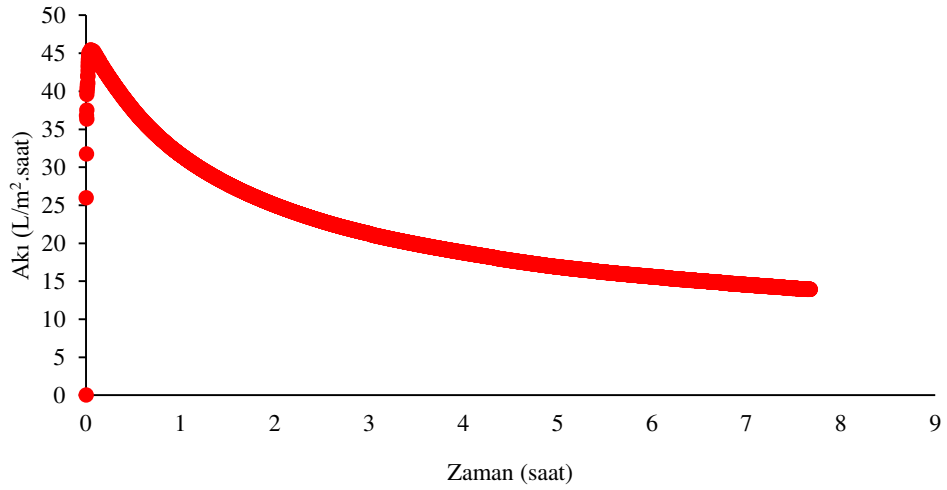
• 4 No’lu Senaryonun Değerlendirilmesi

Koagülasyon ve TO proseslerinin ardışık uygulanması şeklinde kurgulanan bu senaryoda, her bir adımda elde edilen çıkış suyu kaliteleri Çizelge 4.40’da görülmektedir. 4 No’lu senaryonun uygulanmasıyla, su kalitesi açısından dikkate alınan Eİ, TÇKM, tuzluluk, AKM, KOİ ve renk parametreleri için sırasıyla %85,61, %84,80, %86,51, %100, %95,63 ve %99,76 giderim oranları elde edilmiştir.

Çizelge 4.40. 4 No’lu senaryodan elde edilen sonuçlar

Numune	Eİ ($\mu\text{S/cm}$)	TÇKM (mg/L)	Tuzluluk (mg/L)	AKM (mg/L)	KOİ (mg/L)	Renk (Pt-Co)
Ham Su	11.040	5.520	6.460	400	2.086	15.000
Koagülasyon	7.884	3.948	4.514	49	685	111
TO Çıkışı	1.589	839	872	0	91	36

Koagülasyon çıkış suyunun TO membrana beslenmesi sonucunda, TO'daki zamana bağlı akı değişimi Şekil 4.59'da verilmiştir. Şekil 4.59'dan görüleceği üzere ilk 3,5 saatlik zaman diliminde akı 45 L/m².saat'den 20 L/m².saat'e düşerken (%55,55 azalma) daha sonraki 4 saatte akıda dikkate değer bir değişim gözlenmemiştir. TO'ya beslenen su hacmi 265 mL olup 7,5 saat sonunda TO'dan alınan süzöntü hacmi 88 mL'dir ve geri kazanım oranı %33,2 olarak hesaplanmıştır. 4 No'lu senaryodaki toplam geri kazanım oranı ise (Koagülasyon: %91,87 ve TO: %33,2) %30,5 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.59. 4 No'lu Senaryoda TO Akı Grafiği

Aritım Senaryolarının Karşılaştırılması

Denim atıksularının ön arıtmalı/arıtmısız membran prosesler ile farklı arıtma senaryolarında elde edilen arıtılabilirlik sonuçları Çizelge 4.41'de verilmiştir.

Çizelge 4.41. Arıtma senaryoları ile elde edilen arıtılabilirlik sonuçları

Senaryo No	Giderim Oranı (%)						Geri Kazanım Oranı (%)
	Eİ (µS/cm)	TÇKM (mg/L)	Tuzluluk (mg/L)	AKM (mg/L)	KOİ (mg/L)	Renk (Pt-Co)	
1	78,89	78,99	80,80	95,56	88,72	98,37	62,68
2	96,17	96,15	96,67	100,00	97,94	100,00	44,83
3	96,61	96,57	97,04	100,00	97,80	100,00	39,23
4	85,61	84,79	86,50	92,30	95,63	99,75	30,5

Uygulanan dört farklı arıtma senaryosuna ait Çizelge 4.41'de verilen sonuçlar değerlendirildiğinde; 3 nolu arıtma senaryosunun (Koagülasyon-NF-TO) diğer arıtma senaryolarına göre daha yüksek giderim oranlarına sahip olduğu görülmektedir. Ön arıtma olarak koagülasyon işleminin uygulanmadığı 1 nolu arıtma senaryosunun performansı diğer senaryolara göre daha düşüktür. 2 ve 3 nolu arıtma senaryolarında elde edilen giderim oranlarının karşılaştırılması; ön arıtma olarak koagülasyon uygulandığında, arıtım senaryosu sistem dizilişinde UF filtrasyona gerek

olmadığını net olarak göstermiştir. Öyle ki, 2 nolu senaryoda koagülasyon sonrası UF filtrasyonun akı değişimine, geri kazanım oranına ve giderim verimine bakıldığında UF filtrasyonun işlevsizliği anlaşılmaktadır. Obotey Ezugbe ve Rathilal (2020) koagülasyon uygulamalarının membran kirlenmesine neden olan askıda katıların ve organik kirleticilerin giderilmesinde etkili olduğunu ve membran performanslarını arttırdığını bildirmişlerdir. Dolayısıyla UF'nin işlevsiz kalması UF tarafından tutulabilir boyuttaki kirleticilerin koagülasyonla giderilmiş olmasından kaynaklanmaktadır.

Sistem çıkış suları yeniden kullanılabilirlik açısından değerlendirildiğinde 2, 3 ve 4 nolu arıtma senaryolarının Çizelge 4.28'de verilen yeniden kullanım kriterlerini tüm uygulamalar için sağladığı belirlenmiştir. 3 No'lu senaryo çıkış suyu kalitesi, geri kazanım oranı ve görece daha az proses adımı (Koagülasyon/NF/TO) sahip olması nedeniyle en uygun senaryo olarak değerlendirilmiştir.

Membran filtrasyonu, tekstil atıksularının arıtılmasında ve atıksuyun yeniden kullanılmasında uygulanabilecek etkili bir yöntemdir ve bu durum çeşitli çalışmalarda da (Fersi ve ark., 2005; Dasgupta ve ark., 2015; Adane ve ark., 2021; Moreira ve ark., 2022; Özgün ve ark., 2023) ortaya konulmuştur. Membran filtrasyonu öncesi uygulanacak bir ön arıtma işleminin (koagülasyon vb.) membran tıkanıklığını geciktirerek sistemin daha uzun süre kullanılmasını sağlayacağı ve tüm sistemin arıtma performansını iyileştireceği Çizelge 4.41'de verilen sonuçlardan da anlaşılmaktadır. Fabrikanın yıllık su tüketimi ve 3 nolu arıtma senaryosunun geri kazanım oranı dikkate alındığında, 616.970,60 m³/yıl arıtılmış atıksuyun yeniden kullanılabilmesi hesaplanmıştır. Böylelikle, denim üreten fabrikaya ait SAİ_{mavi}'de %39,23 oranında bir azalma sağlanabilecektir.

3 NO'lu Senaryo İçin Maliyet Analizi

• Ön Arıtma (Koagülasyon Prosesi) Maliyet Analizi

3 Nolu senaryonun ilk adımını oluşturan koagülasyon işleminin koagülasyon, flokülasyon, çökeltme üniteleri ile proseste kullanılacak koagülant (alüm) ve sülfürik asit besleme sistemlerinin inşaat ve işletme maliyetleri “3.2.3. Ön Arıtma” başlığı altında verilen denklemler kullanılarak tahmin edilmeye çalışılmıştır. Kapasitesi 4.300 m³/gün olan koagülasyon/flokülasyon/çökeltme prosesi için deneysel süreçlerden elde edilen veriler (Jar-test ile belirlenen 600 mg/L alüm dozu, ortalama PH'yi 12'den 5'e düşürmek için harcanan sülfürik asit miktarı 1,78 kg/m³) ile denklemlerde verilen kabuller ($V_{hızlı}$ 100-20.000 ft³ (2,83-566,3 m³), $V_{yavaş}$ 1.800-10⁶ ft³ (50,97- 28.320 m³), $A_{çökeltme}$ 240-4800 ft² (22,30-446,10 m²)) ve tasarım kriterleri (Anonim 17) dikkate alınarak günlük alüm/asit ihtiyacı, prosesteki bekletme süreleri ve tank/havuz boyutları hesaplanmıştır. Bekletme süreleri; $V_{hızlı}$ ve $V_{yavaş}$ kabullerinin minimum değerleri (sırasıyla 2,83 m³ ve 50,97 m³) üzerinden hesaplanmıştır. Bekletme süreleri hızlı karıştırma için 0,95 dk (57 s) (tasarım kriteri: 30-300 s), yavaş karıştırma için 17 dk (tasarım kriteri: 15-45 dk) olarak bulunmuştur ve tasarım kriterleri ile uyumludur. Dikdörtgen çökeltme havuzu için yüzeyel hidrolik yük (taşma hızı- v_0) 40 m³/m².gün (tasarım kriteri: 20-70

$m^3/m^2.gün$) ve bekletme süresi 120 dk (tasarım kriteri: 2-8 saat) kabul edilerek çökeltme havuzu hacmi 358,33 m^3 ve havuz yüzey alanı 107,5 m^2 olarak hesaplanmıştır ve $A_{çökeltme}$ sınır değerleri ile uyumludur. Bu değer dikkate alındığında çökeltme havuzu yüksekliği 3,33 m olarak belirlenmiştir ve elde edilen su yüksekliği tasarım kriterine (3-5 m) uygundur. Elde edilen sonuçlar ile koagülasyon prosesinin inşaat maliyetleri Çizelge 4.42’de verilmiştir.

Çizelge 4.42. Koagülasyon prosesinin inşaat maliyetleri

Koagülasyon maliyeti		Koagülasyon sistemi	
Koagülant	Tesis kapasitesi $m^3/gün$	4.300,00	
	Alüm dozu mg/L	600	
	Alüm ihtiyacı $Kg/gün$	2.580,00	
	Alüm besleme kapasitesi $lb/saat$	236,93	
	M_{Ai} €	117.869,48	
Sülfürik asit	Günlük sülfürik asit miktarı $Kg/gün$	7654,00	
	Günlük sülfürik asit sarfiyatı $L_{asit}/gün$	4191,68	
	Besleme kapasitesi $galon/gün$	1.107,31	
	M_{Si} €	66.905,96	
Hızlı/yavaş Karıştırma		M_{Hki}	M_{Yki}
	Karıştırma süresi dk	0,95	17
	Tank hacmi m^3	2,83	50,97
	Tank hacmi ft^3	100,00	1.800,00
	Karıştırma sistemi maliyeti €	32.486,67	171.448,67
Çökeltme	Alüm için taşma hızı (v_0) $m^3/m^2.gün$	40	
	Yüzey alanı (m^2) m^2	107,5	
	Yüzey alanı (m^2) ft^2	1.156,7	
	M_{Ci} €	233.841,39	
Toplam inşaat maliyeti (M_{Ki}) €		622.552,18	

Koagülasyon prosesinin işletme maliyeti analizleri kimyasal maddeler, enerji ve çamur bertaraf maliyetlerini içermektedir. Kimyasal madde maliyeti, koagülant ve asit/baz maliyetlerinden oluşmaktadır. Enerji maliyeti, hızlı ve yavaş karıştırma ünitelerinde kullanılan karıştırıcılar için gerekli güç ile ilişkilidir. Çamur maliyeti ise, çamurun bertarafından kaynaklanır (Cañizares ve ark., 2009). Koagülasyon prosesinin toplam işletme maliyeti Çizelge 4.43’te verilmiştir.

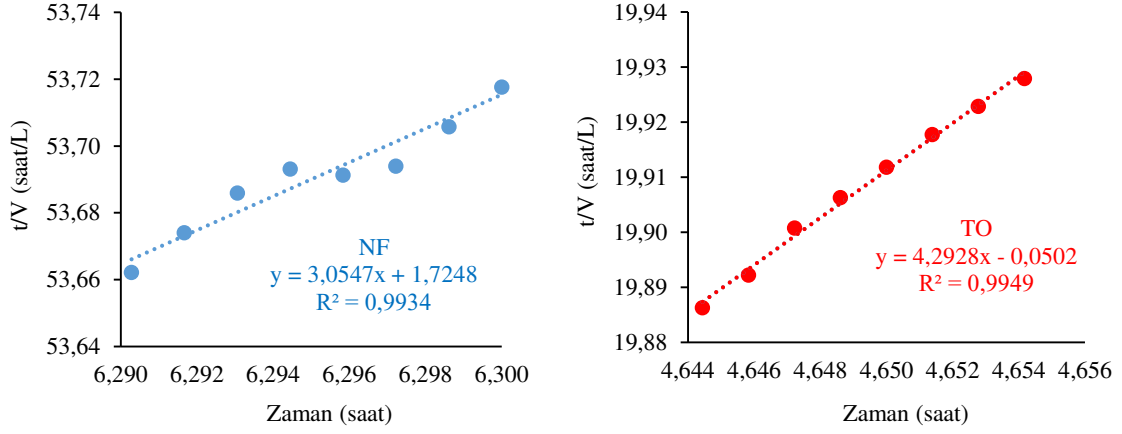
Çizelge 4.43. Koagülasyon prosesinin işletme maliyetleri

Koagülasyon Maliyet Kalemleri			Koagülasyon İşletme Maliyeti		
Koagülant	Koagülant	Alüm fiyatı	€/Kg	0,322	
		Alüm ihtiyacı	Kg/gün	2.580,00	
		M _{alüm}	€/yıl	303.227,40	
			€/m ³	0,19	
Sülfürik asit	Sülfürik asit	Sülfürik asit fiyatı	€/kg	0,276	
		Günlük sülfürik asit sarfıyatı	kg/gün	7654,00	
		M _{sülfürik asit}	€/yıl	771.063,96	
			€/m ³	0,49	
Enerji	Enerji			Hızlı karıştırma	Yavaş karıştırma
		Elektrik fiyatı	€/kWh	0,076	0,076
		Suyun viskozitesi (25°C) μ	Pa.sn	8,90x10 ⁻⁴	8,90x10 ⁻⁴
		Karıştırma süresi	dk	0,95	17
		Hız gradyanı	sn ⁻¹	900	80
		Motor güç transfer verimi	%	80	75
		Tank hacmi	m ³	3	50,76
		Güç ihtiyacı	W	2.556	386
		Güç ihtiyacının 1,5 katı	W	3.834	579
		Güç ihtiyacı	kwh	4	1
		Enerji maliyeti	€/yıl	2.552,84	385,01
			€/m ³	0,0016	0,0002
		M _{enerji}	€/yıl	2.937,90	
			€/m ³	0,0019	
Çamur bertarafı	Çamur bertarafı	Çamur bertaraf maliyeti	€/kg	0,0367	
		Çamurun kuru madde miktarı	%	3	
		Çamurun yoğunluğu	kg/m ³	1.030	
		Sudaki AKM miktarı	mg/L	504	
		AKM giderimi	%	87,75	
		AKM'den oluşan çamur	kg/yıl	694.127,07	
		Teorik alüminyum hidroksit Al(OH) ₃	kg/gün	604,32	
		Alüm'den oluşan çamur	kg/yıl	242.636,22	
		Oluşan toplam çamuru	kg/yıl	936.763,29	
		Çamur debisi	m ³ /yıl	30.315,96	
		M _{Çamur}	€/yıl	34.379,21	
			€/m ³	0,0219	
Toplam maliyet (M _{koagülasyon})		€/yıl	1.111.608,42		
		€/m ³	0,71		

- **Membran Arıtma Maliyet Analizi**

- **Ölçek büyütme**

Bu bölümde, 3 Nolu senaryo için (Koagülasyon/NF/TO) membran filtrasyon verilerinin laboratuvar ölçeğinden endüstriyel (saha) ölçeğe geçişi ele alınmıştır. Arıtma senaryosunda yer alan NF ve TO membranlarının birim zamanda toplanan süzüntü hacim verileri kullanılarak hesaplanan “t/V” değerleri zamana karşı grafiğe geçirilmiş ve Şekil 4.60’da gösterilmiştir.



Şekil 4.60. 3 Nolu Arıtma Senaryosu için V_{max} Grafikleri

Şekil 4.60’ da NF ve TO membranları için elde edilen eğrilerin eğimlerinin tersi alınarak her bir membran için V_{max} değerleri hesaplanmış ve sırasıyla 0,33 ve 0,23 olarak bulunmuştur. Hesaplanan V_{max} değerleri, laboratuvar ölçeğinde “dead-end” membran hücresinde kullanılan membran alanına ($0,000832 \text{ m}^2$) bölünerek NF ve TO membranlar için saha ölçeğinde birim alandan filtrelenecek maksimum hacimler sırasıyla $393,47$ ve $279,99 \text{ L/m}^2$ olarak tespit edilmiştir. Saha ölçeğinde gerekli toplam membran alanını bulmak için her membrandan filtrelenecek su miktarı V_{max} değerine bölünmüş ve güvenlik faktörü (1,5) ile çarpılarak, NF ve TO membranlar için saha ölçeğinde gerekli toplam membran alanları sırasıyla $15.059,89$ ve $9.904,60 \text{ m}^2$ olarak hesaplanmıştır. 3 nolu arıtma senaryosundaki membran sayıları; hesaplanan toplam membran alanlarının piyasada ticari olarak satılan standart membran alanına (NF için $7,6 \text{ m}^2/\text{adet}$, TO için $41 \text{ m}^2/\text{adet}$) bölünmesiyle elde edilmiştir. Buna göre 3 nolu arıtma senaryosunda kullanılacak NF ve TO membran sayıları sırasıyla 1.982 ve 242 adet olarak belirlenmiştir. NF ve TO membranlarının filtrasyon süreleri ise sırasıyla 7,02 ve 2,03 saat olarak hesaplanmıştır. Senaryo 3’ün ölçek büyütmesi için kullanılan veriler ve hesaplanan sonuçlar Çizelge 4.44’te verilmiştir.

Çizelge 4.44. 3 nolu Senaryo İçin Ölçek Büyütme Hesabı

Parametreler		(Senaryo 3) Koagülasyon/NF/TO		
		Koagülasyon	NF	TO
Kazanım oranı	%	91,87	46,8	91,25
Sistemin kazanım oranı	%	0,3923		
Sistemin giriş debisi	m ³ /gün	4.300,00		
Sistemin süzüntü debisi	m ³ /gün	1.687,02		
Proses giriş debisi	m ³ /gün	4.300,00	3.950,41	1.848,79
Proses çıkış (süzüntü) debisi	m ³ /gün	3.950,41	1.848,79	1.687,02
V _{max}	L		0,33	0,23
V _{max}	L/m ²		393,47	279,99
A _{min}	m ²		10.039,93	6.603,06
A _{toplam}	m ²		15.059,89	9.904,60
Membran aktif alanı	m ² /adet		7,6	41
Membran sayısı	adet		1.982	242
Her bir membran için giriş debisi	m ³ /gün		1993,58	7653,06
Her bir membran için süzüntü debisi	m ³ /gün		933,00	6983,42
J _{Ort}	L/m ² .saat		37,37	91,74
Filtrasyon süresi	Saat		7,02	2,03

○ **Membran sisteminin maliyet analizi**

3 Nolu senaryo için membran filtrasyon sisteminin ölçek büyütme ile saha ölçeğine getirilmiş verileriyle hesaplanan maliyet analizi detayları ile Çizelge 4.45'te verilmiştir. Membran sitem için yatırım ve işletme maliyetlerine bakıldığında NF membran sistemin maliyetinin TO'dan daha yüksek olduğu görülmektedir. NF sisteminde ortalama akının (J_{ort}) ve dolayısıyla geri kazanım oranının düşüklüğü (Judd, 2017) ihtiyaç duyulan NF membran sayısının artmasına neden olarak yatırım ve işletme/bakım maliyetlerini arttırmıştır.

Çizelge 4.45. MET 6: 3 nolu senaryo için maliyet analizi

Maliyet Cinsi		NF	TO
Sistem Özellikleri	Basınç (bar)	6	10
	Kazanım oranı (%)	46,8	91,25
	Giriş debisi (m ³ /gün)	3.950,41	1.848,79
	Giriş debisi (m ³ /saat)	164,60	77,03
	Süzüntü debisi (m ³ /saat)	77,03	70,29
	Süzüntü debisi (m ³ /gün)	1.848,79	1.687,02
	membran sayısı (adet)	1.982	242
İlk Yatırım Maliyetleri	M inşaat (€)	2.597.583,56	366.240,44
	M mekanik (€)	2.075.861,82	364.593,77
	M elektronik (€)	1.453.330,54	1.441.597,82
	M membran (€)	1.982.000	242.000
	M yatırım (€)	8.108.775,91	2.414.432,03
İşletme ve Bakım	M amortisman (€/yıl)	718.265,61	181.020,79
	M enerji (€/yıl)	41.526,71	32.390,83
	M kimyasal (€/yıl)	15.183,20	13.854,67
	M bakım (€/yıl)	162.175,52	48.288,64
	M spesifik (€/yıl)	324.351,04	96.577,28
	M işletme ve bakım (€/yıl)	1.261.502,08	372.132,22
	m ³ başına M işletme ve bakım (€/m ³)	0,87	0,55

Çizelge 4.42 (koagülasyon sistemi yatırım maliyeti) ve Çizelge 4.45'ten (membran sistemi yatırım maliyeti) görüleceği üzere 3 Nolu senaryo için toplam yatırım maliyeti 11.634.816,36 € olarak hesaplanmıştır. Ang ve ark., (2017) yaptıkları bir çalışmada 4.000 ppm tuzlu su çözeltisinden tuz giderimini farklı özelliklerdeki NF ve TO membranları ayrı ayrı (seri bağlı olarak değil) kullanarak araştırmışlardır. Elde ettikleri veriler ile Verberne maliyet modelini kullanarak 2.500 m³/saat besleme debisi ile tuz gideriminin maliyetini hesaplamışlardır. NF (NF 270) ve TO (XLE) akısını sırasıyla 66 L/m².saat, 41 L/m².saat ve gerekli membran modülü sayısını sırasıyla 1000, 1600 adet olarak hesaplamışlardır. Bu değerler dikkate alınarak yatırım maliyetleri sırasıyla 10,84*10⁶ € ve 12,73*10⁶ €, yıllık işletme maliyetleri sırasıyla 2,23 € ve 2,52 €, birim su başına işletme maliyetleri sırasıyla 0,127 € ve 0,144 € olarak bulunmuştur.

Hesaplanan bu maliyet doğrultusunda 3 nolu senaryonun geri ödeme süresi Çizelge 4.46'da verilmiştir.

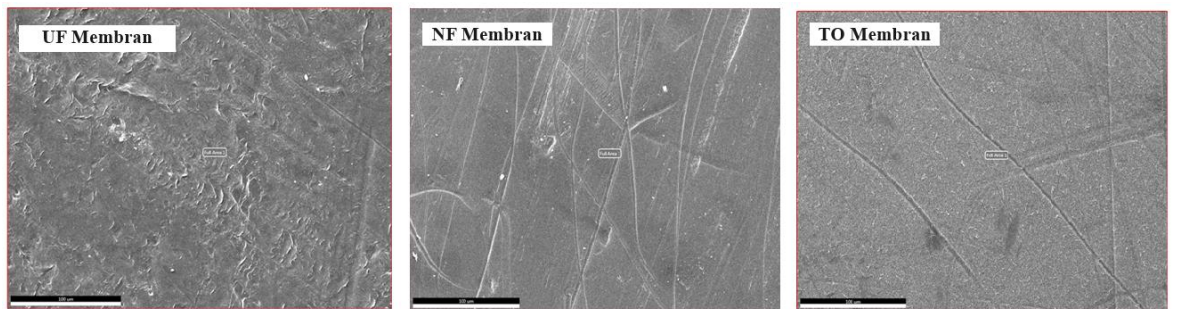
Çizelge 4.46. 3 nolu senaryonun uygulanması durumunda geri ödeme süresi

Geri ödeme süresi hesaplama girdileri	(Senaryo 3) Koagülasyon/NF/TO
Temiz su fiyatı €/m ³	0,13
Atık su fiyatı €/m ³	0,21
Süzüntü suyu m ³ /gün	1.687,02
İlk yatırım maliyetleri €	11.634.816,36
Temiz sudan kazanç €/yıl	80.049,10
Atıksudan kazanç €/yıl	129.310,08
Toplam yıllık kazanç €/yıl	209.359,18
Geri ödeme süresi yıl	55,57

Çizelge 4.46’da görüldüğü gibi 3 nolu senaryo için geri ödeme süresi sırasıyla 55,57 yıl olarak hesaplanmıştır. Shin ve ark., (2024) pil üretim atıksuyundan metal iyonlarının UF/NF arıtım sistemiyle geri kazanılmasını araştırdıkları çalışmada Ni içeren 50.000 m³/gün atıksu için Verberne maliyet modelini kullanarak sistemin maliyet tahmini yapmışlardır. Atıksudan metal iyonlarını %99,8 saflıkta %99 verim ile geri kazanmışlardır. Sistemin ilk yatırım ve işletme/bakım maliyetini sırasıyla 25.425.000 \$ ve 13.752.000 \$ olarak hesaplamışlardır. Bu sistem ile atık sudan değerli Ni²⁺ iyonlarını geri kazanarak 79.000 \$/gün gelir elde etmenin mümkün olduğunu ve bu şartlar altında sistemin geri ödeme süresinin 1,7 yıl olduğunu bildirmişlerdir. Li ve ark. (2020), tarafından yapılan bir çalışmada 3.000 m³/gün debisi olan bir tekstil atıksuyunun MBR/NF prosesleri ile arıtılması durumunda ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin sırasıyla 3.871.000 \$ ve 988.000 \$/yıl olduğu bildirilmiştir. Atıksudan %90 su geri kazanım oranı sağlanacağı ve geri kazanılmış sudan ve atıksu azaltımından sırasıyla 1.100.000 \$/yıl ve 140.000 \$/yıl tasarruf edileceği belirtilerek geri ödeme süresinin 3,11 yıl olduğunu bildirilmiştir. Bu çalışmada 3 nolu senaryo için hesaplanan geri ödeme süresinin bu iki çalışmaya göre çok daha yüksek bulunmasında arıtılan su miktarlarının ve özelliklerinin, kullanılan arıtım proseslerin, istenilen çıkış suyu kalitesinin, geri kazanım oranlarının, geri kazanılmış ürünlerin ve birim maliyetlerinin, maliyet hesaplarındaki birim maliyetlerin (enerji, membran, kimyasal madde vb.), döviz kurunun ve daha birçok faktörün farklı olması etkili olmaktadır.

Membran Otopsi

Çalışmada UF, NF ve TO membranların atıksu geçirilmemiş/kontrol grubu 100 µm SEM görüntüleri (800x büyütme) Şekil 4.61’de, membranlar üzerinde belirlenen bir noktadan alınan ve X-Ray’de (EDAX) analiz edilerek hesaplanan eZAF Smart Quant sonuçları ise Çizelge 4.47’de verilmiştir.



Şekil 4.61. UF, NF ve TO Membranların Kontrol Grubu SEM Görüntüleri

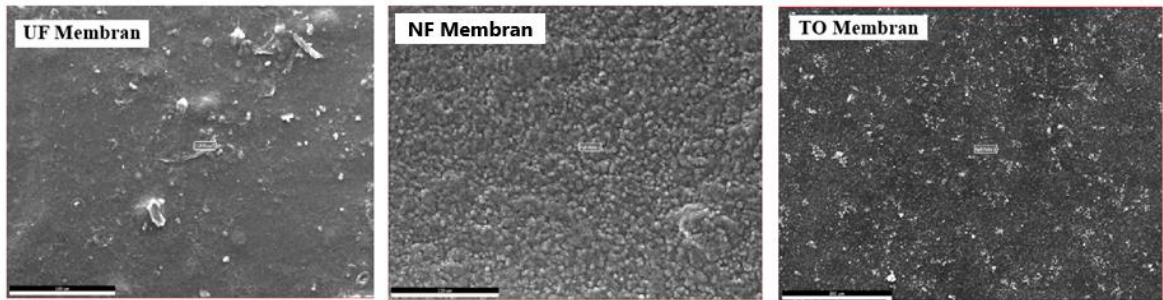
Çizelge 4.47. UF, NF ve TO membranların kontrol grubu eZAF Smart Quant sonuçları

Membran	Element	Ağırlık (%)	Atomik (%)
UF	C	51,08	63,11
	O	30,66	28,44
	S	18,25	8,45
NF	C	68,01	78,18
	O	18,59	16,05
	S	13,4	5,77
TO	C	68,91	78,41
	O	19,48	16,64
	S	11,61	4,95

Çizelge 4.47’de verilen sonuçlar membranların kimyasal bileşimini sayısallaştırmaktadır. Bir elementin ağırlık yüzdesi, o elementin numunede ölçülen ağırlığının, numunedeki tüm elementlerin ağırlığına bölünüp 100 ile çarpılmasıyla elde edilir. Oysa atom yüzdesi, o elementin o ağırlık yüzdesindeki atom sayısının, numunedeki toplam atom sayısına bölünüp 100 ile çarpılmasıyla elde edilen sayıdır (Chauhan ve ark., 2019). Çizelge 4.47 incelendiğinde, atıksu geçirilmemiş/kontrol grubu tüm membranların esas olarak farklı ağırlık oranlarında C, O ve S elementlerini içerdiği görülmektedir. Denim atıksularının arıtımı ve yeniden kullanımı için uygulanan arıtma senaryolarında kullanılan membranlara ait otopsi sonuçları aşağıda başlıklar halinde verilmiştir.

1 No’lu Senaryonun Membran Otopsi

Ön arıtım (koagülasyon) uygulanmamış ham atıksuyun sırasıyla UF/NF/TO membran sisteminden geçirildikten sonra her bir membranın 100 µm SEM görüntüleri (800x büyütme) Şekil 4.62’de verilmiştir.



Şekil 4.62. 1 No’lu Arıtma Senaryosunda UF, NF ve TO Membranların SEM Görüntüleri

Kullanılan membranların kontrol grubu SEM görüntüleri (Şekil 4.61) ile filtrasyon sonrası SEM görüntüleri (Şekil 4.62) karşılaştırıldığında, tüm membranların yüzey pürüzlülüğünde artış gözlenmiştir. Şekil 4.62’den görüleceği üzere, özellikle atıksu filtrelenmiş UF membran yüzeyindeki görece iri katı partiküller doğrudan göze çarpmaktadır. Kirletici maddelerin UF membranının yüzeyindeki yüksek adsorpsiyon oranı muhtemelen yüksek geçirgenlik sürüklemesinden kaynaklanmaktadır (Wang ve Tang, 2011, Ang ve ark., 2017). Çünkü UF mebrandaki yüksek geri

kazanım oranı konsatre akının çok düşük miktarda kalmasına ve kirleticilerin membran yüzeyinde tutulmasına neden olmuştur.

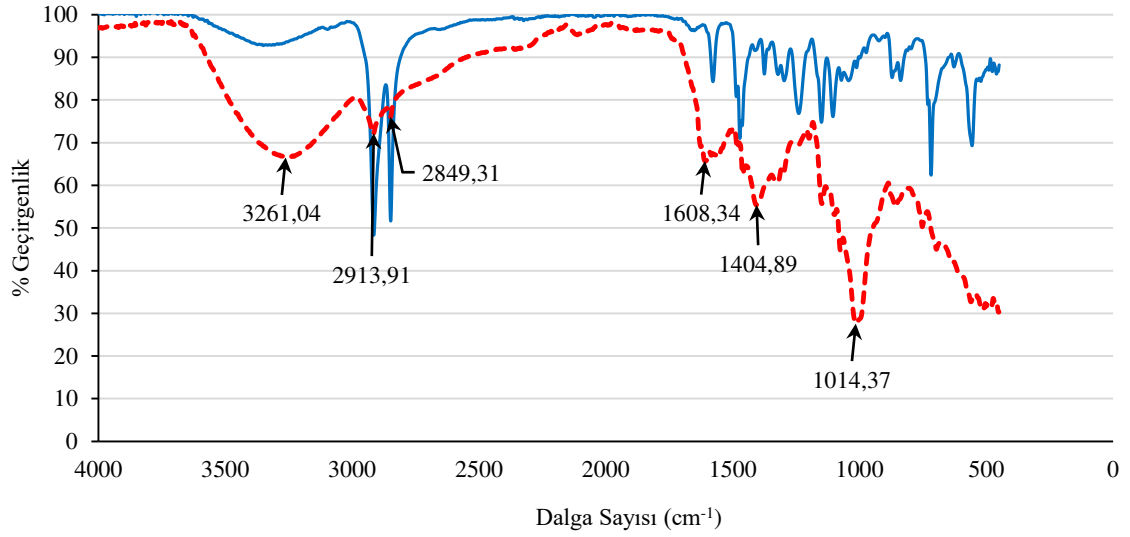
Membranların filtrasyon sonrası X-Ray analizlerine (EDAX) göre eZAF Smart Quant sonuçları Çizelge 4.48'de görülmektedir.

Çizelge 4.48. 1 No'lu senaryoda UF, NF ve TO membranların eZAF Smart Quant sonuçları

Membran	Element	Ağırlık (%)	Atomik (%)
UF	C	44,31	54,31
	O	41,30	38,00
	Na	4,91	3,14
	Mg	2,10	1,27
	Si	0,77	0,40
	S	4,78	2,19
	K	0,31	0,12
	Ca	1,52	0,56
NF	C	30,87	42,37
	O	35,90	36,99
	Na	19,11	13,70
	P	1,17	0,62
	S	10,07	5,18
	K	1,48	0,62
	Ca	0,78	0,32
	Fe	0,63	0,19
TO	C	61,05	71,44
	O	25,30	22,22
	Na	2,79	1,71
	S	10,17	4,46
	Fe	0,70	0,18

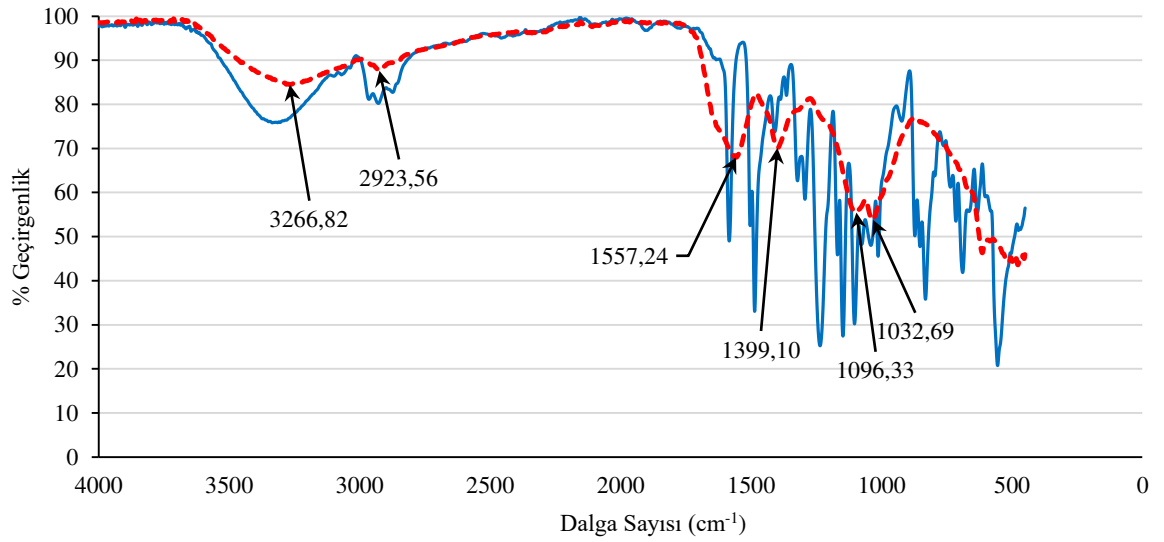
Çizelge 4.48'de verilen filtrasyon sonrası sonuçları Çizelge 4.47'de verilen kontrol grubu sonuçları ile karşılaştırıldığında; elementlerin varlığında/sayısında bir artış gözlemlenmiştir. Bu artış, filtre edilen atıksu içindeki maddelerin membran üzerine adsorbsiyonundan kaynaklanmaktadır (Trofin ve ark., 2023). Kontrol grubu ile yapılan karşılaştırma sonucunda, UF membran üzerinde Na, Mg, Si, K ve Ca; NF membran üzerinde Na, P, K, Ca ve Fe; TO membran üzerinde ise Na ve Fe elementlerinin varlığı tespit edilmiştir. UF filtrasyonda Na, Ca ve K kısmen tutulmuşken Mg ve Si'nin tamamı tutulmuştur. NF filtrasyonda, UF'de kısmen tutulan Na, Ca ve K ile birlikte UF de tutulamayan P ve Fe elementleri tespit edilmiştir. TO ve NF membranlar karşılaştırıldığında ise; P, K ve Ca'nın NF'de tamamen Na ve Fe'nin kısmen tutulduğu görülmektedir. TO membranda Na ve Fe'nin tutulduğu anlaşılmaktadır.

Senaryo 1'de kullanılan UF, NF ve TO membranların kontrol grupları FTIR spektrumları ve filtrasyon sonrası FTIR spektrumları sırasıyla Şekil 4.63, Şekil 4.64 ve Şekil 4.65'te verilmiştir.



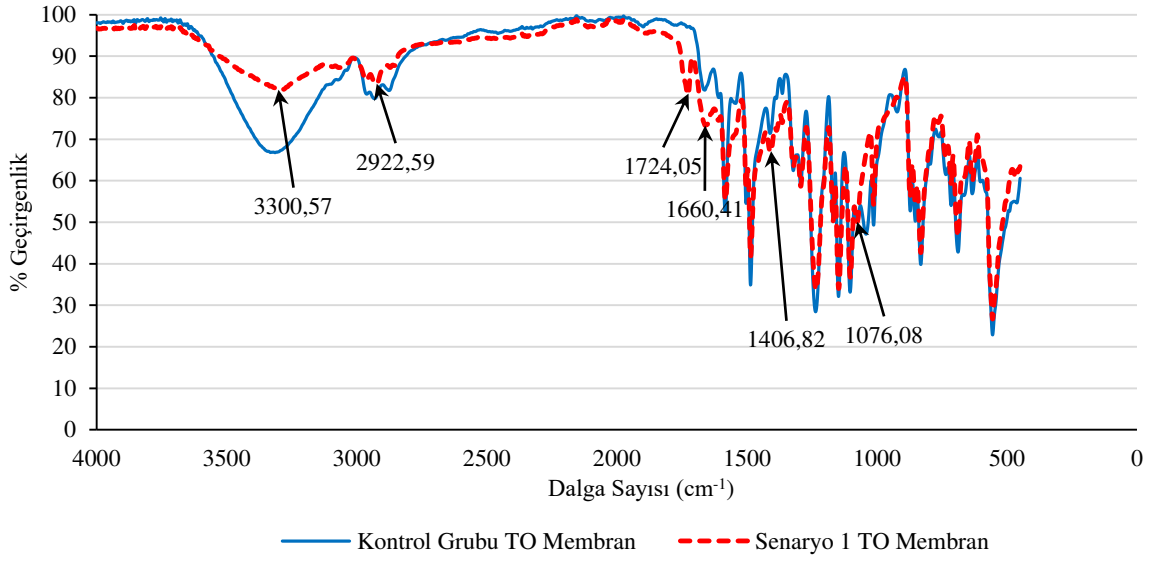
— Kontrol Grubu UF Membran - - - Senaryo 1 UF Membran

Şekil 4.63. Senaryo 1 UF Membranının FTIR Spektrumu



— Kontrol Grubu NF Membran - - - Senaryo 1 NF Membran

Şekil 4.64. Senaryo 1 NF Membranının FTIR Spektrumu

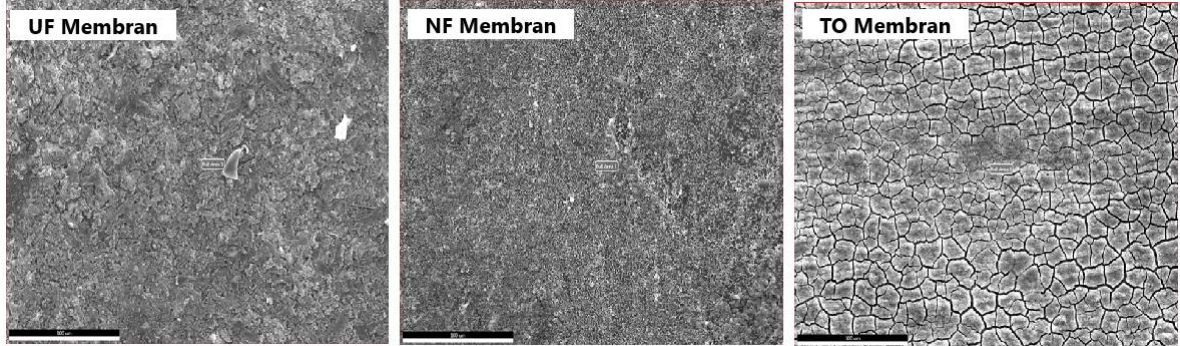


Şekil 4.65. Senaryo 1 TO Membranın FTIR Spektrumu

Senaryo 1'deki membranların FTIR sonuçlarına bakıldığında, her bir membran için benzer piklerin gözlemlendiği görülmektedir. Spektrumlardaki fonksiyonlu grup bölgesinde (4000-1500 cm^{-1}) yer alan 3261,04, 3266,82 ve 3300,57 cm^{-1} 'deki pikler, geniş bir soğurma bandı çizdiği için O-H gerilmesini temsil ederken (Erdil, 1998), 2913,91, 2923,56 ve 2922,59 cm^{-1} 'deki gözlenen pikler, alifatik C-H gerilmelerini temsil etmiştir (Işık ve ark., 2022). UF membranda gözlenen 1608 cm^{-1} ve 1404,89 cm^{-1} 'civarındaki iki tepe, ve TO membranda gözlemlenen 1660,41 cm^{-1} ve 1406,82 cm^{-1} protein varlığını gösteren Amit I ve II'ye özgüdür (Yurtsever ve ark., 2016). NF membranda gözlenen cm^{-1} 1557 ve 1399 cm^{-1} 'deki iki tepe, yine amidlerin (N-H eğilmesi ve C-N gerilmesi) varlığını göstermiştir. 1000-1100 arasında yer alan şiddetli ve orta şiddetli pikler kükürtlü bileşiklerin varlığını göstermektedir (S=O gerilmeleri) (Erdil, 1998). Obotey Ezugbe ve Rathilal (2020) UF membranların proteinleri, boyar maddeleri, sakkaritleri ve organik maddeleri; NF membranların boyar maddeleri, sülfatları, iki değerlikli katyon/anyonları ve sakkaritleri; TO membranların tek değerlikli iyonlar dahil tüm kirleticileri tuttuğunu bildirmişlerdir. Günümüzde, aromatik hidrokarbonlar ve heterosiklik boyalar tekstil endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Holkar ve ark. 2016). Boya molekülleri ışığa maruz kaldığında, çift bağlar (C=C) içeren yapılar ışığı emmek ve görünür renkler üretmek için salınmaktadır (Wang ve ark., 2022) Dolayısıyla N-H ve S=O gruplarının varlığının denim boyamada kullanılan indigo ve sülfür boyar maddelerinden, O-H gruplarının polisakkaritlerden (haşıl prosesinde kullanılan nişasta vb. kaynaklı) kaynaklandığı (Işık ve ark., 2021, Işık ve ark., 2022) düşünülmektedir. Arıtım senaryolarındaki her bir adımın besleme suyunda bir miktar rengin olması ve süzüntü sularında rengin azalması/tamamen giderilmesi boyar maddelerin membranlar üzerinde tutunduğunun bir kanıtıdır. Bu da yukarıda açıklanan düşüncayı desteklemektedir.

2 No'lu Senaryonun Membran Otopsis

Koagülasyon/UF/NF/TO ardışık arıtma sisteminden oluşan 2 nolu senaryoda, membranların 100 µm SEM görüntüleri (800x büyütme) Şekil 4.66'da verilmiştir.



Şekil 4.66. 2 No'lu Senaryoda UF, NF ve TO Membranların SEM Görüntüleri

Kontrol grubu (Şekil 4.61) ile filtrasyon sonrası membranların yüzey görünüşleri (Şekil 4.66) karşılaştırıldığında, yüzey pürüzlülüğünde bir artış gözlenmiştir. Özellikle, filtrasyon sonrası TO membran yüzeyinin parselleştiği doğrudan göze çarpmaktadır. Bu parselleşmenin, TO yüzeyinde biriken maddelerin oluşturduğu kekin kuruması ve çatlaması sonucunda oluştuğu açıktır.

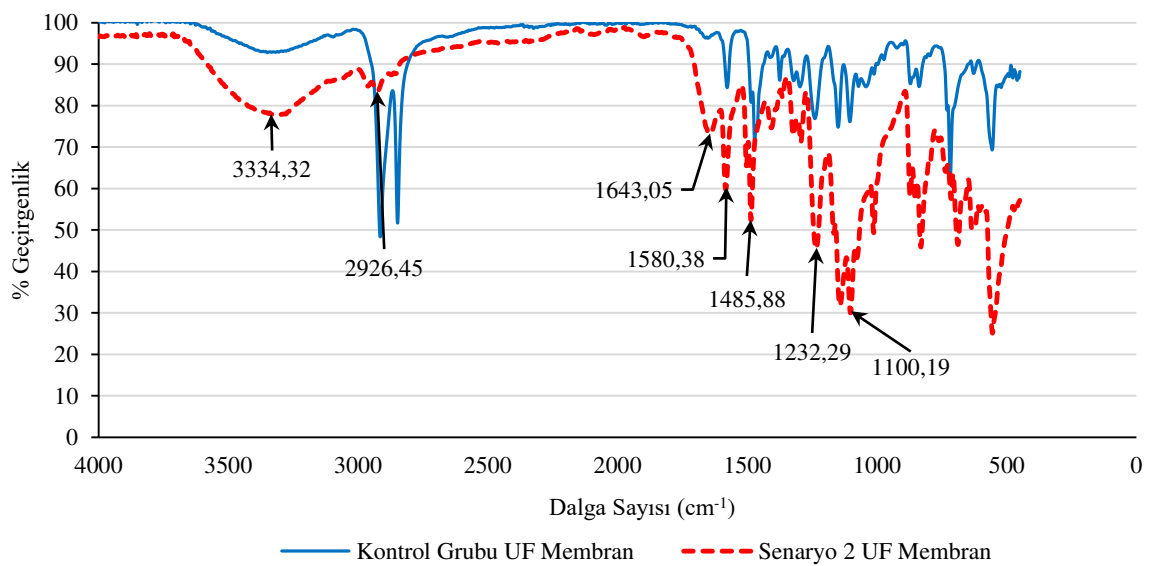
Membranların X-Ray analizi (EDAX) sonuçlarına göre hesaplanan eZAF Smart Quant değerleri Çizelge 4.49'da verilmiştir.

Çizelge 4.49. 2 No'lu senaryoda UF, NF ve TO membranların eZAF Smart Quant sonuçları

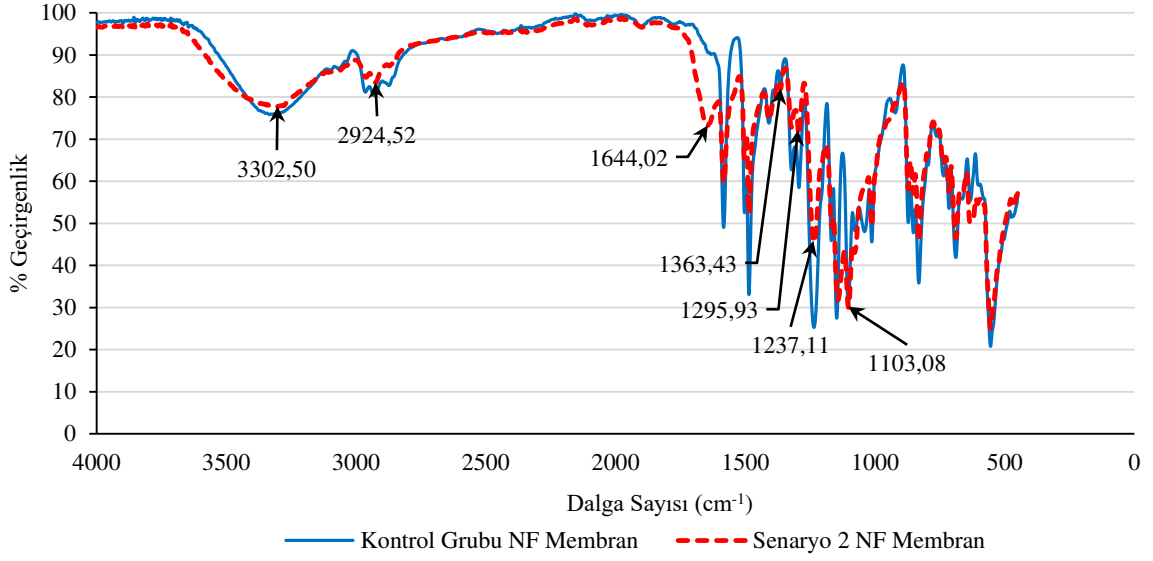
Membran	Element	Ağırlık (%)	Atomik (%)
UF	C	34,97	48,29
	O	34,88	36,16
	Al	1,63	1,00
	S	27,60	14,28
	Fe	0,92	0,27
NF	C	36,73	49,19
	O	31,38	31,54
	F	2,63	2,23
	Na	12,35	8,64
	Al	0,65	0,39
	S	15,37	7,71
	K	0,39	0,16
TO	Fe	0,50	0,14
	C	20,74	33,83
	O	36,83	45,10
	Na	5,63	4,80
	Al	1,51	1,10
	Si	2,45	1,71
	S	7,25	4,43
	Ca	0,57	0,28
	Fe	23,52	8,25
	Co	0,48	0,16
	Ni	1,01	0,34

2 No'lu senaryoda ön arıtım olarak koagülasyon işlemi uygulanmıştır. Kimyasal koagülasyon prosesi, atıksu içerisinde kolloidal halde bulunan kirleticilerin çeşitli kimyasal maddeler ile biraraya getirilerek, gerekli olması durumunda polimer ilavesi ile floküle edilerek, giderildiği proseslerdir (Solak ve Öztürk, 2018). Dolayısıyla 2 No'lu senaryoda atıksu içerisindeki AKM'nin önemli bir kısmı koagülasyon işleminde floklar halinde çöktürülmüştür. Bu nedenle, 1 No'lu senaryoda UF membran üzerinde görülen elementlerin hiç birine 2 No'lu senaryoda kullanılan UF membranda rastlanmamıştır. 2 No'lu senaryoda, kullanılan koagülanttan ($Al_2(SO_4)_3$) kaynaklı olarak tüm membranlarda Al elementine rastlanmıştır. Özyurt ve ark. (2020)'nın bildirdiği gibi, koagülasyon işleminde, flokların önemli bir kısmı işlem süresi, koagülant miktarı ve pH'ya bağlı olarak çökelirken, bir kısmı ise dağılan, kırılğan floklar nedeniyle gerekli flok ağırlığına ulaşamayarak su içinde süspanse halde kalabilmektedir. Bu arıtım senaryosunda, membranlar üzerindeki Al varlığı çökeltilmemiş ve dağılmış $Al(OH)_3$ flokları ile açıklanabilir. Bunun yanında, 1 No'lu senaryoda NF ve TO membranlarda rastlanan Fe elementine burada UF membranda rastlanmıştır. 1 No'lu arıtma senaryosunda UF membrandan geçebilecek yapıda olan Fe elementinin, 2 No'lu arıtma senaryosunda kısmen koagüle olarak UF membranda tutulduğu düşünülmektedir. 2 No'lu arıtma senaryosunda, 1 No'lu senaryodan farklı olarak NF membranda F elementine, TO membranda ise Co ve Ni elementlerine rastlanmıştır. Daha önce membranlardan geçebilecek boyutlarda olan bu elementlerin koagülasyon etkisi ile oluşan askıdaki floklarda tutulduğu (Shrestha ve ark., 2021) kanaatine varılmıştır. Dolayısıyla koagülasyon sonrası membran uygulamasının ağır metal gideriminde de etkili olduğu görülmüştür.

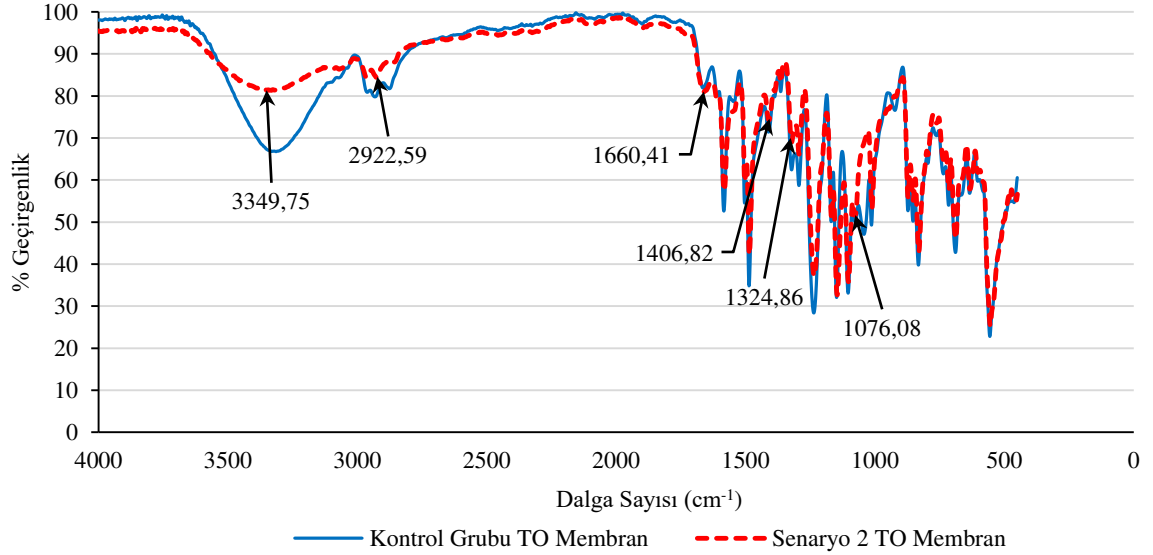
Senaryo 2'de kullanılan UF, NF ve TO membranların kontrol grupları FTIR spektrumları ve filtrasyon sonrası FTIR spektrumları sırasıyla Şekil 4.67, Şekil 4.68 ve Şekil 4.69'da verilmiştir.



Şekil 4.67. Senaryo 2 UF Membranının FTIR Spektrumu



Şekil 4.68. Senaryo 2 NF Membranının FTIR Spektrumu



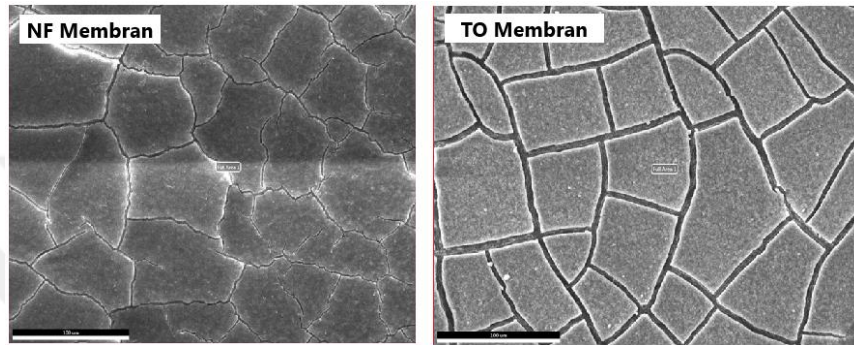
Şekil 4.69. Senaryo 2 TO Membranının FTIR Spektrumu

Senaryo 2'deki membranların FTIR sonuçlarına bakıldığında, her bir membran için benzer piklerin gözlemlendiği görülmektedir. Spektrumlardaki 3334,32, 3302,5 ve 3349,75 cm⁻¹'deki pikler, N-H bağlarının gerilmesini temsil ederken, 2926,45, 2924,52 ve 2922,59 cm⁻¹'deki gözlenen pikler, alifatik C-H gerilmesini temsil etmiştir (Işık ve ark, 2022). Bununla birlikte Senaryo 2'deki spektrumlar Senaryo 1 ile kıyaslandığında fonksiyonlu grup (4000-1500 cm⁻¹) bölgesindeki bu maddeler için geçirgenlik yüzdesinin azaldığı görülmektedir. Dolayısıyla koagülasyonun pek çok kirliliği çöktürerek uzaklaştırdığı anlaşılmaktadır. Bu bölgedeki soğurmanın azalması 1.700 cm⁻¹ dalga sayısının altındaki bant gruplarında (parmak izi bölgesi) moleküllerin titreşim frekanslarını daha belirgin hale getirmiştir. Piklerin işaretlendiği dalga sayılarına bakıldığında 1 nolu senaryodakine benzer dalga sayılarında piklerin oluştuğu, dolayısıyla membranlarda tutulan organik

kirleticilerin aynı olduğu görülmektedir. Bu durum tüm senaryolarda aynı atıksuyun kullanılmış olmasından dolayı beklenen bir sonuçtur.

3 No'lu Senaryonun Membran Otopsisı

Bu arıtma senaryosunda, Koagülasyon/NF/TO ardışık sisteminde gerçekleşen arıtma sonrasında membranların 100 µm SEM görüntüleri (800x büyütme) elde edilerek Şekil 4.70'te verilmiştir. Membranlara ait X-Ray analizi (EDAX) sonuçlarına göre hesaplanan eZAF Smart Quant değerleri ise Çizelge 4.50'de verilmiştir.



Şekil 4.70. 3 No'lu Senaryoda NF ve TO Membranların SEM Görüntüleri

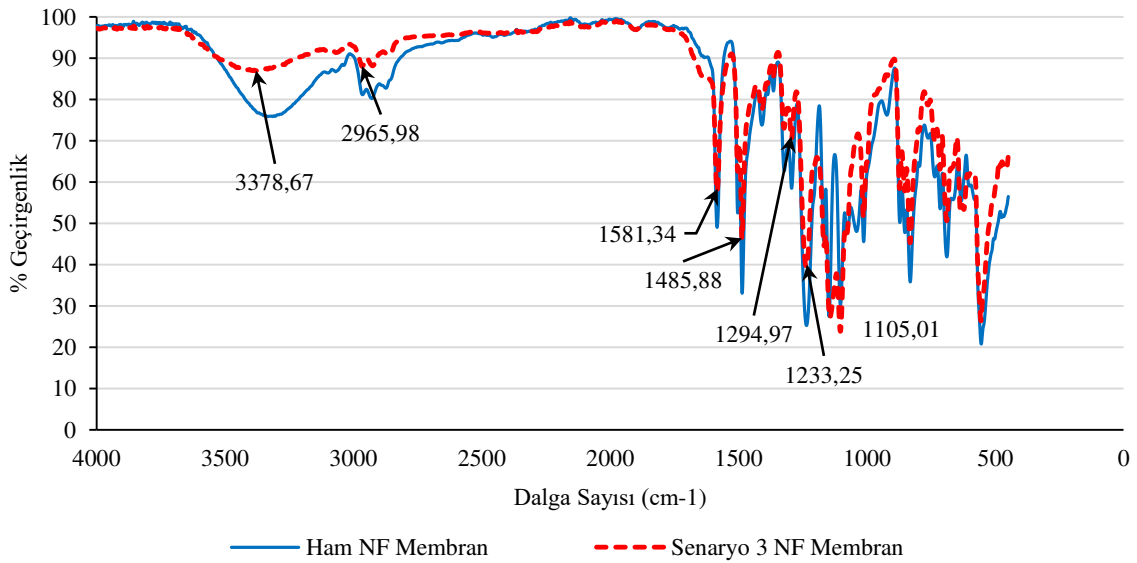
Çizelge 4.50. 3 Nolu senaryoda NF ve TO membranların eZAF Smart Quant sonuçları

Membran	Element	Ağırlık (%)	Atomik (%)
NF	C	47,24	58,23
	O	35,48	32,84
	Na	3,84	2,48
	Al	2,79	1,53
	Si	0,58	0,31
	P	1,02	0,49
	S	8,53	3,94
	K	0,51	0,19
TO	C	24,83	41,00
	O	29,19	36,19
	Na	6,75	5,83
	Al	1,13	0,83
	Si	2,66	1,88
	S	5,08	3,14
	Cl	1,19	0,67
	K	0,50	0,25
	Ca	0,24	0,12
	Cr	0,54	0,21
	Fe	26,67	9,47
	Co	0,34	0,11
	Ni	0,88	0,30

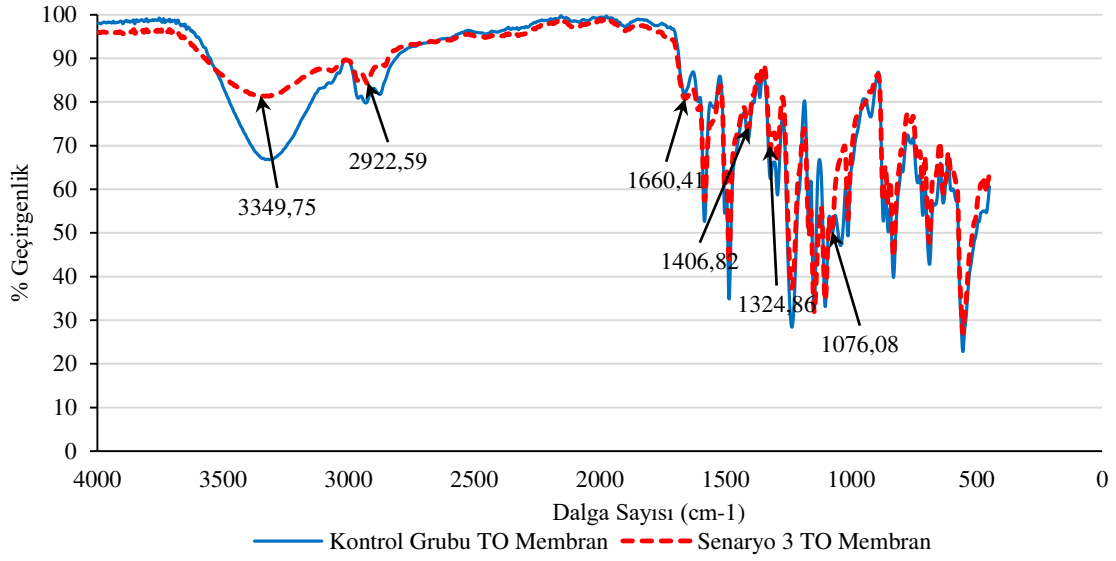
NF ve TO membranların kontrol grubu 100 µm SEM görüntüleri (Şekil 4.61) ile filtrasyon sonrası yüzey görünüşleri (Şekil 4.70) karşılaştırıldığında, NF ve TO membranların yüzey pürüzlülüğünde parselleşme olduğu doğrudan göze çarpmaktadır.

3 No'lu senaryoda, 2 No'lu senaryodan farklı olarak koagülasyon çıkışı doğrudan NF membrana beslenmiş ve ardışık arıtma sisteminde UF devreden çıkarılmıştır. Çizelge 4.50' de verilen sonuçlar değerlendirildiğinde; NF membranda tutulan elementlerin nitel olarak önceki senaryo sonuçlarına benzer olduğu ancak nicel olarak farklılıklar gösterdiği tespit edilmiştir. Örneğin, 3 No'lu senaryoda Al'nin NF'deki tutunma yüzdesi (%2,79) 2 No'lu senaryoya (%0,65) göre daha yüksektir. Benzer şekilde, Fe'nin TO üzerindeki tutulma yüzdesinin (%26,67) önceki senaryolara (1: %0,70; 2: %23,52) göre arttığı belirlenmiştir. Çizelge 4.36'da verilen arıtma senaryoları performans sonuçları bu açıklamalar ışığında tekrar değerlendirildiğinde, senaryo 2 ve 3 performansları arasındaki küçük fark yukarıda açıklanan sebeplerle ilişkilendirilebilir. Ayrıca, 3 No'lu arıtma senaryosunda TO membran üzerinde ilk kez Cl ve Cr elementlerinin de tutulduğu görülmüştür. Bu durum, Cl ve Cr elementlerinin 2 No'lu senaryoda TO konsantresinde kaldığı, 3 No'lu senaryoda ise TO üzerinde kısmen tutulması ile izah edilebilir.

Senaryo 3'te kullanılan NF ve TO membranların kontrol grupları FTIR spektrumları ve filtrasyon sonrası FTIR spektrumları sırasıyla Şekil 4.71 ve Şekil 4.72'de verilmiştir.



Şekil 4.71. Senaryo 3 NF Membranının FTIR Spektrumu

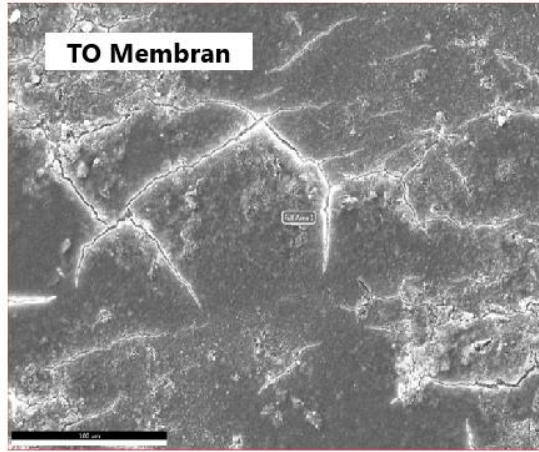


Şekil 4.72. Senaryo 3 TO Membranının FTIR Spektrumu

Senaryo 3'teki membranların FTIR sonuçlarına bakıldığında, her bir membran için benzer piklerin gözlemlendiği görülmektedir. Spektrumlardaki 3378,67 ve 3349,75 cm^{-1} 'deki pikler, N-H bağlarının gerilmesini temsil ederken, 2965,98, ve 2922,59 cm^{-1} 'deki gözlenen pikler, alifatik C-H gerilmesini temsil etmiştir (Işık ve ark, 2022). Senaryo 3'te elde edilen giderim sonuçları Senaryo 2'de kullanılan UF'nin etkinliğinin oldukça düşük olduğunu göstermişti. Dolayısıyla Senaryo 2 ve 3'teki NF membranların FTIR spektrumları benzer olarak gözlenmiştir. Bu durum koagülasyon sonrası UF'nin etkisizliğini bir kez daha ortaya koymaktadır. 1, 2 ve 3 nolu senaryolarda TO membranlarının aynı spektrumları vermesi NF membranların her durumda aynı kirleticileri süzüntü suyuna aktardığını göstermektedir. TO membranlar üzerinde aynı kirleticilerin bulunması da ön arıtmanın UF ve NF membran üzerindeki yükü hafiflettiğini ancak spesifik bir kirlilik giderimini sağlamadığını ortaya koymaktadır.

4 No'lu Senaryonun Membran Otopsi

Ön arıtım (koagülasyon) uygulanmış atıksuyun doğrudan TO membrana beslenmesi ve gerçekleşen filtrasyon sonrasında TO membranın 100 μm SEM görüntüsü (800x büyütme) Şekil 4.73'te verilmiştir.



Şekil 4.73. 4 No’lu Senaryoda TO Membranının SEM Görüntüsü

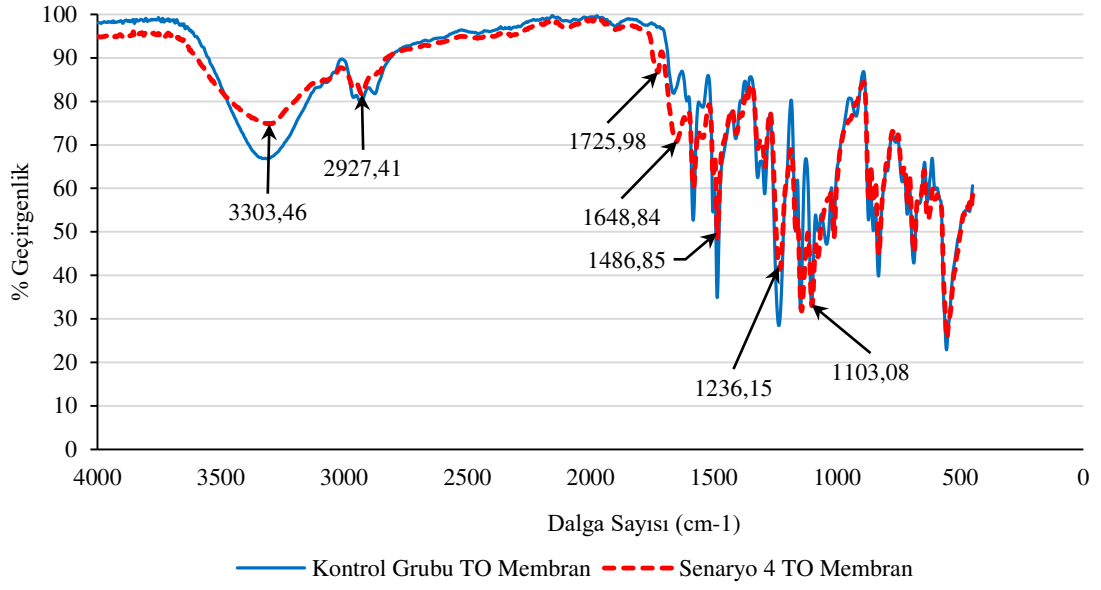
Kontrol grubu TO membran SEM görüntüsü (Şekil 4.61) ile senaryo 3 filtrasyon sonrası TO SEM görüntüsü (Şekil 4.73) karşılaştırıldığında; filtrasyon sonrası membran yüzey pürüzlülüğünde artış olduğu görülmektedir. Bu pürüzlülük diğer senaryolarda olduğu gibi parsel şeklinde değil, daha çok kılcal damarlar şeklindedir.

3 No’lu arıtma senaryosunda filtrasyon sonrası TO X-Ray analizi (EDAX) sonuçlarına göre hesaplanan eZAF Smart Quant değerleri Çizelge 4.51’de verilmiştir. Çizelge’den de görüleceği üzere TO membran üzerinde tutulabilen elementler Al, Na ve K’dır. Bu elementlerin ağırlık yüzdelere bakıldığında ise diğer arıtma senaryolarından daha düşük olduğu görülmektedir. Çizelge 4.36’da verilen arıtma senaryoları performans sonuçlarına bakıldığında, 4 No’lu senaryonun geri kazanım oranının düşüklüğü dikkat çekmektedir. Bu durum, TO membranın kısa sürede tıkanarak akı oluşumunun engellediğini göstermektedir. Bu sonuçlardan hareketle, koagülasyon çıkışının TO’ya beslenmeden önce mutlaka NF’den geçirilmesi gerektiğini söylemek mümkündür. Ayrıca, UF ve NF’nin tutabileceği elementlerin boyutları gereği TO membran üzerinde tutulmadığı ve konsantride kaldığı da göz ardı edilmemelidir.

Çizelge 4.51. 4 No’lu senaryoda TO membranının eZAF Smart Quant sonuçları

Membran	Element	Ağırlık (%)	Atomik (%)
TO	C	54,29	65,77
	O	28,31	25,75
	Na	2,83	1,79
	Al	1,13	0,61
	S	13,26	6,02
	K	0,17	0,06

Senaryo 4’te kullanılan TO membranının kontrol grubu FTIR spektrumu ve filtrasyon sonrası FTIR spektrumu Şekil 4.74’te verilmiştir.



Şekil 4.74. Senaryo 4 TO Membranın FTIR Spektrumu

Senaryo 4’deki TO membranının FTIR sonuçlarına bakıldığında daha önceki senaryolara göre benzer spektrumlara sahip olduğunu ancak daha şiddetli pikler verdiği görülmektedir. Bu durum daha önceki senaryolarda TO öncesindeki adımlarda giderilen kirleticilerin senaryo 4’te TO membran üzerinde daha fazla tutulmuş olmasıyla açıklanabilir.

Atıksu Özelliklerinin İyileştirilmesi

Fabrika dengeleme havuzu çıkışı AKM konsantrasyonunun AOSB deşarj kriterini (500 mg/L) 2022 yılında birçok kez aştığı daha önce belirtilmiştir. Bu gerekçe ile SAI_{gri} ’nin hesaplamasında da AKM parametresi kullanılmıştır. Bu başlık altında, fabrika deşarj atıksuyunun AKM değerini azaltmaya yönelik çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Daha önce çok sık yaşanmayan ve 2022 yılında daha sık meydana gelen bu durumun, fabrikada gerçekleştirilen su tasarruf tedbirlerinin (daha az kullanım, yeniden kullanım gibi) birim ürün başına su tüketimini azaltmış olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ön işlem ve boyama sonrası yıkama teknelerinde temiz su besleme miktarı (debisi) ürün tipi de dikkate alınarak kademeli olarak azaltılmıştır. Ayrıca, işletme içerisindeki bazı makinalarda kullanılan sular (soğutma suları, temiz proses suları vb.) tekrar ana su hattına verilmiştir. Dolayısıyla görece temiz suların atıksuya karışmaması nedeniyle deşarj edilen atıksuda AKM konsantrasyonu ve AOSB’nin deşarj kriterlerini aşmaya başlamıştır.

Atıksu özelliklerinin iyileştirilmesi, hacimsel olarak SAI_{gri} ’yi, çevresel etki anlamında da diğer SAI_x ’leri azaltacağı için bu yaklaşım hem çevresel hem de toplam SAI üzerinde olumlu etki sağlayacaktır. Çalışmada, SAI_{gri} ’nin hesaplamasında AKM kritik parametre seçildiği için atıksu özelliğinin iyileştirilmesi araştırmalarında da AKM parametresi dikkate alınmıştır. Atıksu özelliklerinin iyileştirilmesi için TŪ kapsamında incelenecek başlıklar; a) proses girdi ikamesi, b) üretim planlama ve c) dengeleme havuzunda teknik değişiklik olarak belirlenmiştir.

MET 7: Atıksu Özelliğinin Proses Girdi İkamesi İle İyileştirilmesi

TÜ, sadece geleneksel boru sonu kirlilik kontrolü modellerini kabul etmemekte ve tüm üretim alanlarına odaklanmaktadır. TÜ planlarını uygulayarak endüstriyel üretimden kaynaklanan potansiyel çevresel etkiler azaltılmaktadır. TÜ planlarının performanslarını değerlendirmek için hem çevresel hem de ekonomik etkileri göz önünde bulundurmak gerekmektedir. Çevresel etkiler YDD kullanılarak değerlendirilebilirken, ekonomik etkiler maliyet analizi yöntemleri kullanılarak analiz edilmektedir.

YDD, tekstil endüstrisinde yaygın olarak kullanılan, hammadde temini, ürün işleme, paketlenme, kullanımdan atık bertarafına kadar çeşitli malzeme ve süreçlerin tüm yaşam döngüsü boyunca çevresel etkilerini ölçen etkili bir değerlendirme yöntemidir (Yousaf ve Aqsa, 2023). Bu bölümde BOSSA’da kullanılan kimyasalların çevresel etki faktörlerini belirlemek, daha temiz üretim şemalarını değerlendirmek, uygulanabilir kimyasalları seçmek amacıyla YDD metodolojisi uygulanmıştır. Bu kapsamda, denim üretiminde kullanılan 180 kimyasal madde içinde (EK 1) çevresel etkisi en yüksek 50 kimyasal madde belirlenmiştir. Bu belirlemede her bir etki faktörüne göre etkisi yüksekten düşüğe doğru bir sıralama yapılmıştır. Ancak, bir kimyasal madde küresel ısınma kategorisinde 1. sırada yer alırken diğer kategorilerde daha aşağı sıralarda yer alabilmektedir. Bu nedenle kimyasal maddeler etki faktörü kategorilerine göre kendi içinde sıralamaya tabi tutulmuştur. Daha sonra, 50x12 matris içinde en çok tekrar eden kimyasallar tekrarlanma sıklığına göre en yüksekten düşüğe doğru sıralanmıştır. Bu matris içinde en fazla görülen kimyasallar ve görülme sayısı (frekansı) Çizelge 4.52’de verilmiştir.

Çizelge 4.52. Etki kategorilerine göre en fazla karşılaşılan kimyasallar

Frekans	EK 1’de Sıra NO	Kimysalın Görevi/İçeriği
12	17	Hidrofil Silikon 1
12	18	Hidrofil Silikon 2
12	27	Üre
12	30	Dyeart Boyamalarında Kullanılan Köpük Kesici
11	3	Doğal Boyama İçin Mordan
11	29	Hidrofil Silikon 3
11	56	Optik Nüans Maddesi
10	19	İplik Boya Kombin Kasar Malzemesi
10	107	Kahverengi İndantren Boyar Madde
10	108	Gri İndantren Boyar Madde
10	176	Sarı İndantren Boyar Madde
9	22	Sodyum Hipoklorit
9	50	Kaplamada Kullanılan Çapraz Bağlayıcı
8	49	Islatıcı
8	163	İndigo Boya İçin Islatıcı
8	173	Gots Onaylı Apre Islatıcısı
8	177	Gri Çözgü Boyamada Kullanılan Islatıcı

Çizelge 4.52’den görüleceği üzere bazı kimyasal maddeler etki değerine göre ilk 50 içinde sıralandığında 12 etki kategorisinde de yer alırken bazıları daha az sayıda etki kategorisi içine girmektedir. Dolayısıyla tekstil kimyasalları kendi içinde değerlendirildiğinde bir kimyasal maddenin örneğin A kategorisinde en yüksek değere sahip olması tüm kategorilerde en yüksek seviyeye sahip olacağı anlamına gelmemektedir. Bu nedenle kimyasallar değerlendirilirken tüm etki kategorilerine katkı sağlayacak kimyasalların belirlenebileceği bir metod seçildiğinde daha kapsamlı bir yaklaşım ortaya çıkacaktır. Bu şekilde etki kategorilerine göre en yüksek değerler sıralandığında ilk 50 değil de ilk 40 veya ilk 30 vb. sıralara bakılsa aşağı yukarı aynı kimyasalların göze çarpacağı görülebilir. Çizelge 4.53’te, Çizelge 4.52’de verilen kimyasalların ilgili etki kategorisi içinde ilk 50 içindeki sıralamaları verilmiştir.



Çizelge 4.53. Kimyasalların ilk 50 içindeki sıra numaraları

Kimyasal Adı	Abyotik (kg Sb eş.)	Abyotik Tüketim Fosil Yakıt (MJ)	Küresel Isınma (kg CO ₂ eş.)	Ozon Tabakasının Tüketimi (kg CFC-11 eş.)	İnsan Toksisitesi (kg 1,4-DB eş.)	Tatlı Su Ekotoksitesi (kg 1,4-DB eş.)	Deniz Ekotoksitesi (kg 1,4-DB eş.)	Karasal Ekotoksitesi (kg 1,4-DB eş.)	Fotokimyasal Oksidasyon (kg C ₂ H ₄ eş.)	Asitleşme (kg SO ₂ eş.)	Ötrofikasyon (kg PO ₄ eş.)	Su Ayak İzi (Hoeckstra) m ³
Hidrofil Silikon 1	16	8	9	35	3	8	10	45	7	28	11	9
Hidrofil Silikon 2	17	9	10	36	4	9	11	46	8	29	12	10
Üre	3	2	2	32	2	3	3	41	2	3	2	3
Dyeart Boyamalarında Kullanılan Köpük Kesici	28	10	3	1	10	12	4	50	22	10	15	11
Doğal Boyama İçin Mordan	2		8	42	1	1	1	7	1	1	1	6
Hidrofil Silikon 3	34		14	34	20	44	6	38	29	46	31	12
Optik Nüans Maddesi		1	1	32	9	4	2	48	3	2	3	1
İplik Boya Kombin Kasar Malzemesi	24		15		19	2	45	1	25	43	13	8
Kahverengi İndantren Boyar Madde		5	5	37	5	48	12	42	4	15	5	
Gri İndantren Boyar Madde		6	6	38	6	49	13	43	5	16	6	
Sarı İndantren Boyar Madde		7	7	39	7	50	14	44	6	17	7	
Sodyum Hipoklorit	19		48	40	11	43	19	49			17	14
Kaplamada Kullanılan Çapraz Bağlayıcı	42	4	4		12		23		11	6	14	42
Islatıcı			11			45	46	3	16	47	18	2
İndigo Boya İçin Islatıcı	21				15	5	7		26	7	8	39
Gots Onaylı Apre Islatıcısı	22				16	6	8		27	8	9	40
Gri Çözü Boyamada Kullanılan Islatıcı	23				17	7	9		28	9	10	41

Kırmızı hücreler kimyasalın ilk 50 içinde ilgili etki kategorisinde yer almadığını göstermektedir. Bu nedenle Çizelge 4.52'deki görünme sayısı miktarı ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 4.53'ten görüleceği üzere bazı kimyasallar birçok etki kategorisinde üst sıralarda yer alırken bazı etki kategorilerinde diğer kimyasallara göre daha az etkiye sahip olduğu için daha düşük sıralarda yer almıştır. Bunun için “Doğal Boyama İçin Mordan (Sıra No 3)” ve “Üre (Sıra No 27)” örnek olarak verilebilir. Her iki kimyasal madde de birçok etki kategorisinde etki değeri en yüksek olan ilk 3 içinde yer alırken ozon tabakasının tüketimi kategorisinde sırasıyla 32. ve 42. sıralarda yer almıştır. Dolayısıyla, 180 adet kimyasalın değerlendirildiği bir çalışmada kimyasal maddeleri tek bir kategori üzerinden değil tüm kategoriler üzerinden değerlendirmek daha doğru bir yaklaşım olacaktır.

Çizelge 4.52'de verilen kimyasal maddelerden bazıları için kullanım miktarının azaltılması veya yerine daha düşük çevresel etkiye sebep olabilecek kimyasalların belirlenmesi (ikame) çalışması yapılmıştır. Bu kapsamda Çizelge 4.54'te verilen kimyasalların tüketiminin azaltılması veya ikame süreçleri tamamlanmıştır.

Çizelge 4.54. İkame edilen veya kullanımı azaltılan kimyasal listesi

Kimyasal Madde	Açıklama	Eski Uygulama Verileri		Yeni Uygulama Verileri	
		Aylık Ortalama Tüketim (kg)	SAİ _{mavi} (kg/m ³)	Aylık Ortalama Tüketim (kg)	SAİ _{mavi} (kg/m ³)
Sarı İndantren Boyar Madde (Sıra No 176)	Spor giyimde kullanılan ve haslığı yüksek olan bu boyarmaddenin kullanılması hem çevresel etki hem de doğrudan hacimsel su sarfiyatı bakımından yüksek değerlere sahip olduğundan başka bir boyar madde ile ikame edilmiştir. Ticari sır nedeniyle ikame ürün açıklanmamıştır.	3	0,0121	2,8	0,0121
Kaplamada Kullanılan Çapraz Bağlayıcı (Sıra No 50)	1/5 oranında daha konsantre yapıda başka bir kimyasal madde ile ikame edilmiştir. Konsantre yapısı nedeniyle aynı sevkiyatta daha fazla ürün getirilerek nakliyeden kaynaklanan çevresel etki düşürülmüştür. Ticari sır nedeniyle ikame ürün açıklanmamıştır.	450	0,0182	177,6	0,008
Islatıcı (Sıra No 49)	Efekt ve görüntü özelliklerini arttırıcı etkisi nedeniyle iplik elyaf boyamada kullanılan bu kimyasal, üründe aynı etkiyi yaratacak bazı teknik çalışmalar ile kullanımdan tamamen kaldırılmıştır. Yapılan teknik çalışmalar ticari sır gerekçesi ile açıklanmamıştır.	100	0,531	0	0
Gots Onaylı Apre Islatıcısı (Sıra No 173)	Islatıcı olarak terbiye işlemlerinde kullanılan bu kimyasal, yapılan çalışmalar sonucunda tamamen kaldırılmış olup çalışmanın detayı ticari sır gerekçesi ile açıklanmamıştır.	100	0,0273	0	0
Gri Çözgü Boyamada Kullanılan Islatıcı (Sıra No 177)	Daha konsantre yapıda başka bir kimyasal madde ile ikame edilmiştir. Konsantre yapısı nedeniyle aynı sevkiyatta daha fazla ürün getirilerek nakliyeden kaynaklanan çevresel etki düşürülmüştür. Ticari sır nedeniyle ikame ürün açıklanmamıştır.	1000	0,0273	274,2	0,1255
		Toplam SAİ_{mavi} (m³)	91,36		35,87

Bu kimyasalların ikame edilmesiyle veya kullanımdan kaldırılmasıyla SimaPro veritabanına göre SAI_{mavi} eşdeğeri olarak (PRé Sustainability, 2022) aylık ortalama 55,49 m³/ay (6.653,88 m³/yıl) SAI azaltımı sağlanmıştır. Bu değer doğrudan fabrikanın SAI 'sini etkilemese de YDD kapsamında önemli bir katkı sağlamaktadır. Ayrıca kullanımdan kaldırılan kimyasalların çevresel etkileri düşünüldüğünde alıcı ortam üzerindeki baskı da ortadan kalkmıştır.

Fabrika geneli atıksularda AKM kaynağı olarak değerlendirilen bazı kimyasallar ve karışımlar üzerinde AKM azaltıcı bir dizi çalışma yürütülmüştür. Bunun için fabrikada yoğun olarak kullanılan boyar maddelerin ve boyama işlemi için gerekli olan bazı reaktif madde karışımlarının AKM analizleri gerçekleştirilmiştir. EK 2'de boyar maddeler ve ilgili reaktif karışımlarının farklı konsantrasyonlardaki sulu çözeltilerinin AKM değerleri verilmiştir (Proses reçete bilgilerini içerdiği ve şirket bilgisi olduğu için kimyasal maddelerin doğrudan adı yerine genel isimleri, çözeltideki farklı miktarları yerine ise çeşitli harfler kullanılmıştır).

63 farklı karışımın değerlendirildiği çalışmada 26 tanesinin AKM değeri 400 mg/L ve üzerinde bulunmuştur. Bu karışımlar EK 2'de sarı olarak renklendirilmiştir. AKM değeri yüksek olan karışımlar incelendiğinde özellikle iyon tutucu, kostik ve boyar maddelerin birlikte bulunduğu karışımlar ile miktarına bağlı olarak boyar maddelerin tek başına yer aldığı çözeltiler dikkat çekmektedir. Elde edilen bu sonuçlarla, yüksek AKM'ye neden olan temel kimyasal madde ve karışımlar tespit edilerek ürün kalitesinden ödün vermeden çözelti optimizasyonunun yapılması ya da kimyasalların ikamesinin araştırılması yönünde fabrikaya bir ön çalışma sunulmuştur.

MET 8: Atıksu Özelliklerinin Üretim Planlama İle İyileştirilmesi

Bu bölümde, farklı üretim aşamalarından kaynaklanan atıksuların AKM değerleri analiz edilerek atıksu özelliklerinin tıpkı kapasite, işgücü vb. gibi üretim planlama için bir kısıt olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bunun için öncelikle AKM kaynakları analiz edilerek atıksudaki AKM'nin düşük olmasını sağlayacak birlikte çalıştırılabilir makine/işletmeler için bir matris oluşturulmuştur.

AKM Kaynakları Analizi

AKM yükünün fazla olduğu proses/işletmelerin belirlenebilmesi için bölüm/işletme bazında oluşan atıksularda AKM analizleri yapılmıştır. Bu kapsamda halat boyama, slashler, beninger-dimensa makinaları ile spor giyim, bobin boyama işletmelerine ait atıksuların AKM analiz sonuçları her bir birim/işletme/makinenin 2'şer haftalık üretim süreci içinde alınan numuneleri ile değerlendirilmiştir. Uzun metraj üretime ait her bir ürün tipi için başlangıç, orta ve son metrelerinden, kısa metraj üretim için başlangıç ve son olmak üzere boyama sonrası yıkama, merserizasyon sonrası yıkama ve ilgili işlem sonrası yıkama atıksularından numuneler alınarak AKM analizleri gerçekleştirilmiştir.

- **Halat Boyama Makinesi Atıksuları**

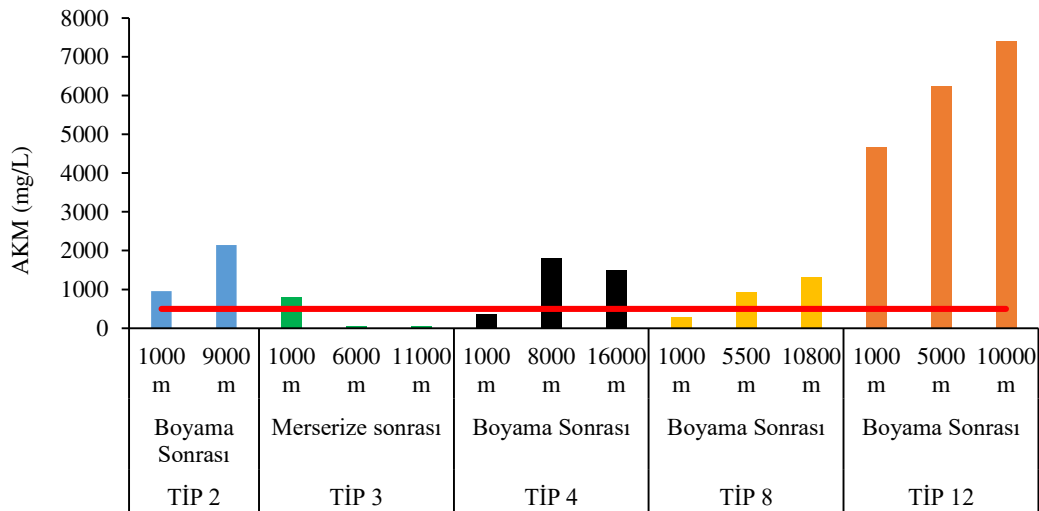
Halat boyama makinesinde 13 farklı ürün tipine ait atıksuların incelenmesiyle elde edilen AKM sonuçları Çizelge 4.55'te verilmiştir.

Çizelge 4.55. Halat boyama işletmesi atıksularının ürün tipi bazlı AKM değerleri

Ürün Tipi	Numune alım yeri	Numunenin alındığı andaki üretim	AKM (mg/L)
Tip 1	Merserize Sonrası	1.000 m	50
		6.000 m	60
		12.000 m	63
	Boyama Sonrası	1.000 m	50
		6.000 m	60
		12.000 m	250
Tip 2	Merserize sonrası	1.000 m	35
		9.000 m	60
	Boyama Sonrası	1.000 m	957
		9.000 m	2.143
Tip 3	Merserize sonrası	1.000 m	800
		6.000 m	55
		11.000 m	50
	Boyama Sonrası	1.000 m	340
		6.000 m	106
		11.000 m	275
Tip 4	Merserize Sonrası	1.000 m	35
		8.000 m	30
		16.000 m	35
	Boyama Sonrası	1.000 m	367
		8.000 m	1.818
		16.000 m	1.484
Tip 5	Merserize sonrası	1.000 m	75
		7.000 m	40
		14.000 m	170
	Boyama Sonrası	1.000 m	20
		7.000 m	20
		14.000 m	25
Tip 6	Merserize Sonrası	1.000 m	40
		5.000 m	50
		9.000 m	63
	Boyama Sonrası	1.000 m	40
		5.000 m	110
		9.000 m	78
Tip 7	Merserize Sonrası	1.500 m	25
		5.500 m	34
		10.000 m	35
	Boyama Sonrası	1.500 m	40
		5.500 m	20
		10.000 m	30
Tip 8	Merserize Sonrası	1.000 m	80
		5.500 m	180
		10.800 m	198
	Boyama Sonrası	1.000 m	278

		5.500 m	930
		10.800 m	1.300
Tip 9	Boyama Sonrası	1.000 m	10
		6.000 m	15
		11.000 m	15
Tip 10	Merserize Sonrası	1.000 m	50
	Boyama Sonrası	1.000 m	70
Tip 11	Merserize Sonrası	1.000 m	150
		9.000 m	70
	Boyama Sonrası	1.000 m	100
		9.000 m	250
Tip 12	Merserize Sonrası	1.000 m	50
		5.000 m	30
		10.000 m	60
	Boyama Sonrası	1.000 m	4.666
		5.000 m	6.250
		10.000 m	7.400
Tip 13	Merserize Sonrası	1.000 m	30
		5.000 m	30
	Boyama Sonrası	1.000 m	50
		5.000 m	30

Çizelge 4.55 incelendiğinde genel olarak merserize işlemlerinden kaynaklanan atıksuların AKM değerleri AOSB deşarj limitinin oldukça altındadır. Ancak TİP 3'e ait merserize sonrası yıkama işleminin ilk 1.000 m'de alınan numunesinde çökebilir ve askıda elyaf parçalarının yoğun bir şekilde bulunduğu görülmüştür. Onun haricinde ilgili işletme atıksuları için AKM'nin büyük bölümü boyama sonrası yıkama atıksularından kaynaklanmaktadır. AKM parametresi için AOSB deşarj limitini aşan ürün tipleri üretim miktarlarına bağlı olarak Şekil 4.75'te verilmiştir. Şekil 4.75'te yer alan kırmızı çizgi AKM için AOSB deşarj limitini göstermektedir (500 mg/L).



Kumaş Tipleri ve Proses Bilgileri

Şekil 4.75. Halat Boyama İşletmesinde AOSB Deşarj Limitini (AKM) Aşan Ürün Tipleri

Şekil 4.75'ten görüldüğü üzere TİP 12'nin boyama sonrası atıksuları sınır değerin oldukça üzerindedir. Bununla birlikte üretim miktarı arttıkça TİP 2, TİP 4, TİP 8 ve TİP 12'ye ait atıksuların AKM değerleri artış göstermiştir. Yıkama teknelerine beslenen temiz su debisinin zamanla yetersiz kalması bu durumun nedeni olarak düşünülmektedir.

- **Slasher Makinesi Atıksuları**

Slasher makinesinde 9 farklı ürün tipine ait atıksuların analizinden elde edilen AKM sonuçları Çizelge 4.56'da verilmiştir.

Çizelge 4.56. Slasher boyama prosesi atıksuyu AKM değerleri

Ürün Tipi	Numune alım yeri	Numunenin alındığı andaki üretim	AKM (mg/L)
TİP 1	B Teknesi	500 m	40
		10.000 m	40
		19.400 m	200
	W1 Teknesi	500 m	40
		10.000 m	140
		19.400 m	460
	W2 Teknesi	500 m	20
		10.000 m	90
		19.400 m	170
	W3 Teknesi	500 m	40
		10.000 m	70
		19.400 m	100
TİP 2	B Teknesi	500 m	80
		11.000 m	90
		22.000 m	80
	W1 Teknesi	500 m	220
		11.000 m	140
		22.000 m	120
	W2 Teknesi	500 m	80
		11.000 m	20
		22.000 m	20
	W3 Teknesi	500 m	20
		11.000 m	40
		22.000 m	40
TİP 3	B Teknesi	500 m	20
		8.000 m	40
		16.000 m	60
	W1 Teknesi	500 m	80
		8.000 m	340
		16.000 m	240
	W2 Teknesi	500 m	40
		8.000 m	130
		16.000 m	140
	W3 Teknesi	500 m	20
		8.000 m	20
		16.000 m	70
TİP 4	B Teknesi	1000 m	20

		1.7500m	40
		35.000 m	20
	W1 Teknesi	1.000 m	140
		17.500m	300
		35.000 m	320
	W2 Teknesi	1.000 m	60
		17.500m	240
		35.000 m	240
	W3 Teknesi	1.000 m	40
		17.500m	80
		35.000 m	120
TİP 5	W1 Teknesi	1.000 m	40
		17.000 m	282
		34.500 m	204
	W3 Teknesi	1.000 m	40
		17.000 m	60
		34.500 m	80
	İnd. 1 Teknesi	1.000 m	40
		17.000 m	20
		34.500 m	20
	İnd. 2 Teknesi	1.000 m	40
		17.000 m	20
		34.500 m	20
	İnd. 3 Teknesi	1.000 m	30
		17.000 m	30
		34.500 m	20
	İnd. 4 Teknesi	1.000 m	30
		17.000 m	70
		34.500 m	20
	İnd. 5 Teknesi	1.000 m	40
		17.000 m	40
		34.500 m	40
	İnd. 6 Teknesi	1.000 m	40
		17.000 m	10
		34.500 m	40
	İnd. 7 Teknesi	1.000 m	20
		17.000 m	20
		34.500 m	20
	İnd. 8 Teknesi	1.000 m	40
		17.000 m	0
		34.500 m	0
	B Teknesi	1.000 m	60
		17.000 m	60
		34.500 m	60
	C Teknesi	1.000 m	50
		17.000 m	20
		34.500 m	40
	D Teknesi	1.000 m	20
		17.000 m	20
		34.500 m	20
TİP 6	W1 Teknesi	600 m	700
		6.000 m	1.700
		11.500 m	175

TİP 7	W1 Teknesi	Parti Başı	20
		Parti Ortası	320
		Parti Sonu	40
	W2 Teknesi	Parti Başı	40
		Parti Ortası	230
		Parti Sonu	20
	W3 Teknesi	Parti Başı	40
		Parti Ortası	160
		Parti Sonu	40
	İnd. 8 Teknesi	Parti Başı	170
		Parti Ortası	420
		Parti Sonu	270
	İnd. 9 Teknesi	Parti Başı	100
		Parti Ortası	300
		Parti Sonu	280
	B Teknesi	Parti Başı	10
		Parti Ortası	70
		Parti Sonu	20
	C Teknesi	Parti Başı	10
		Parti Ortası	40
		Parti Sonu	40
	D Teknesi	Parti Başı	40
		Parti Ortası	20
		Parti Sonu	40
TİP 8	W1 Teknesi	1.500 m	120
		12.000 m	220
		22.500 m	220
	W2 Teknesi	1.500 m	40
		12.000 m	20
		22.500 m	40
	W3 Teknesi	1.500 m	40
		12.000 m	40
		22.500 m	60
	B Teknesi	1.500 m	20
		12.000 m	20
		22.500 m	20
	C Teknesi	1.500 m	10
		12.000 m	20
		22.500 m	20
	D Teknesi	1.500 m	40
		12.000 m	60
		22.500 m	100
TİP 9	B teknesi	Parti başı	20
		Parti Ortası	20
		Parti Sonu	20
	W1 Teknesi	Parti başı	225
		Parti Ortası	350
		Parti Sonu	300

Çizelge 4.56’da verilen sonuçlar dikkate alındığında ürün tipine göre boyama, yıkama, merserizasyon işlemlerinin gerçekleştirildiği slasher boyama ünitesindeki atıksulara ait AKM

değerlerinin genel olarak düşük olduğu görülmektedir. Ancak TİP 6'nın yıkama teknelerindeki AKM'si diğer sonuçlarla kıyaslandığında oldukça yüksektir. Bunun nedeni araştırıldığında yıkama teknesinin tip değişiminde boşaltılmadığı ve bir önceki ürün tipinin devamında yıkama süreçlerinin gerçekleştirildiği anlaşılmıştır. Bu durum iki farklı ürün tipinin üretiminde kullanılan farklı kimyasal maddelerin/konsantrasyonlarının/işlemlerin birleştiğinde atıksuyun karakterizasyonunu değiştirdiğini göstermektedir.

- **Beninger-Dimensa Makineleri**

Tekstil terbiye işlemlerinin gerçekleştirildiği bu makinalardan alınan 69 farklı ürüne ait atıksu numunelerinin AKM değerleri Çizelge 4.57'de verilmiştir.

Çizelge 4.57. Beninger-Dimensa makineleri atıksuyu AKM değerleri

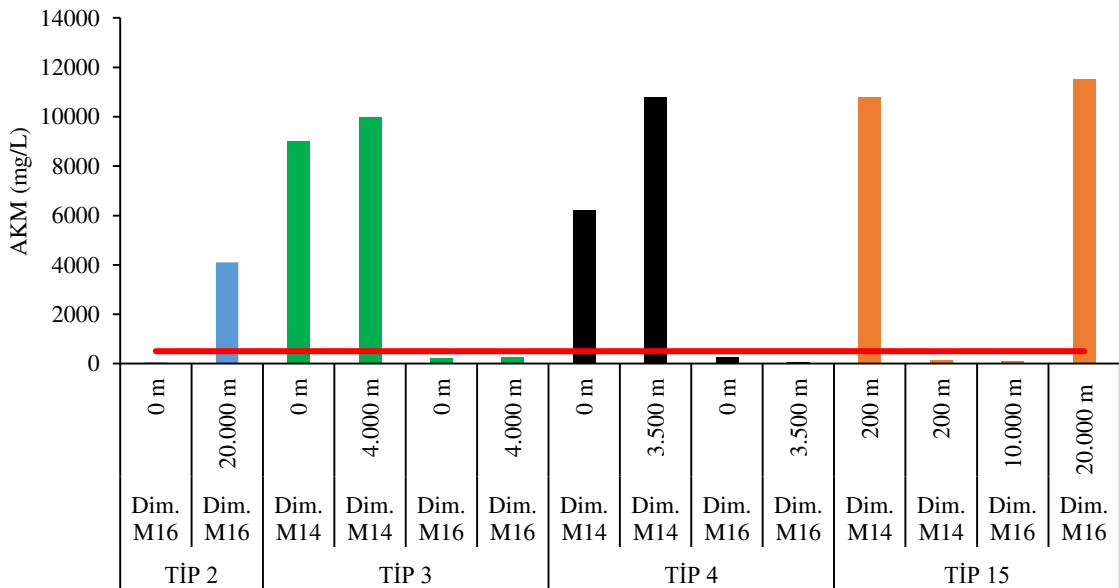
Ürün Tipi	Numune alım yeri	Numunenin alındığı andaki üretim	AKM (mg/L)
TİP 1	Beninger Flex 2 M15	0 m	20
	Beninger Flex 2 M15	87.010 m	20
TİP 2	Dimensa M16	0 m	60
	Dimensa M16	20.000 m	4.100
TİP 3	Dimensa M14	0 m	9.000
	Dimensa M14	4.000 m	10.000
	Dimensa M16	0 m	220
	Dimensa M16	4.000 m	280
TİP 4	Dimensa M14	0 m	6.200
	Dimensa M14	3.500 m	10.800
	Dimensa M16	0 m	270
	Dimensa M16	3.500 m	60
TİP 5	Beninger M12	10.000 m	20
	Beninger M13	10.000 m	20
TİP 6	Dimensa M16	0 m	60
	Dimensa M16	7.700 m	140
TİP 7	Beninger M12	0 m	20
	Beninger M12	650 m	20
	Beninger M12	1.000 m	120
	Beninger M13	0 m	80
	Beninger M13	600 m	140
TİP 8	Beninger M12	0 m	150
	Beninger M12	450 m	150
	Beninger M13	0 m	40
TİP 9	Beninger M12	0 m	40
	Beninger M12	6.700 m	40
TİP 10	Dimensa M14	300 m	300
	Dimensa M16	300 m	120
TİP 11	Dimensa M16	500 m	80
	Dimensa M16	7.000 m	100
TİP 12	Beninger Flex 2 M15	0 m	200
	Beninger Flex 2 M15	10.000 m	200

	Beninger Flex 2 M15	21.000 m	550
TIP 13	Beninger Flex 2 M15	0 m	125
	Beninger Flex 2 M15	8.000 m	320
TIP 14	Beninger M12	0 m	20
	Beninger M12	4.000 m	133
	Beninger M13	0 m	457
	Beninger M13	4.000 m	80
TIP 15	Dimensa M14	200 m	10.800
	Dimensa M16	200 m	140
	Dimensa M16	10.000 m	120
	Dimensa M16	20.000 m	11.530
TIP 16	Beninger Flex 2 M15	1.000 m	200
TIP 17	Dimensa M16	5.000 m	240
TIP 18	Beninger Flex 2 M15	0 m	140
	Beninger Flex 2 M15	10.000 m	180
TIP 19	Dimensa M16	6.300 m	35
TIP 20	Beninger Flex 2 M15	8.000 m	10
	Beninger Flex 2 M15	18.000 m	10
	Beninger Flex 2 M15	27.000 m	10
TIP 21	Beninger Flex 2 M15	3.000 m	100
TIP 22	Beninger Flex 2 M15	0 m	20
	Beninger Flex 2 M15	13.000 m	20
	Beninger Flex 2 M15	27.000 m	20
TIP 23	Beninger Flex 2 M15	0 m	20
	Beninger Flex 2 M15	6.500 m	10
TIP 24	Dimensa M16	3.000 m	200
TIP 25	Beninger Flex 2 M15	0 m	40
TIP 26	Beninger M12	0 m	80
	Beninger M12	12.610 m	100
	Beninger M13	0 m	20
	Beninger M13	12.610 m	150
	Beninger M13	12.610 m	150
TIP 27	Dimensa M16	1.500 m	200
	Dimensa M16	15.000 m	125
TIP 28	Beninger Flex 2 M15	0 m	80
	Beninger Flex 2 M15	13.600 m	20
TIP 29	Dimensa M16	5.000 m	200
TIP 30	Beninger M12	10.000 m	155
	Beninger M13	10.000 m	80
TIP 31	Beninger M12	0 m	40
	Beninger M12	31.000 m	214
	Beninger M13	0 m	100
	Beninger M13	31.000 m	100
	Beninger M13	31.000 m	100
Tip 32	Beninger Flex 2 M15	0 m	40
	Beninger Flex 2 M15	9.000 m	100
	Beninger Flex 2 M15	17.000 m	200
TIP 33	Beninger Flex 2 M15	0 m	40
	Beninger Flex 2 M15	18.000 m	40
TIP 34	Beninger Flex 2 M15	1.000 m	250
	Beninger Flex 2 M15	10.000 m	250
TIP 35	Beninger Flex 2 M15	0 m	10
	Beninger Flex 2 M15	2.685 m	120
TIP 36	Dimensa M16	0 m	200
	Dimensa M16	14.000 m	400

TİP 37	Beninger Flex 2 M15	10.000 m	140
TİP 38	Beninger M12	0 m	40
	Beninger M12	9.700 m	100
	Beninger M13	0 m	60
	Beninger M13	9.700 m	200
TİP 39	Beninger M12	20.000 m	120
	Beninger M13	20.000 m	125
TİP 40	Beninger Flex 2 M15	0 m	20
	Beninger Flex 2 M15	17.700 m	100
TİP 41	Beninger Flex 2 M15	0 m	60
	Beninger Flex 2 M15	8.000 m	20
TİP 42	Beninger Flex 2 M15	0 m	33
	Beninger Flex 2 M15	6.000 m	80
TİP 43	Beninger Flex 2 M15	2.000 m	20
TİP 44	Beninger M12	0 m	20
	Beninger M13	0 m	40
	Beninger M13	650 m	60
TİP 45	Dimensa M16	800 m	120
	Dimensa M16	4.800 m	180
TİP 46	Dimensa M16	9.000 m	233
	Dimensa M16	18000 m	375
TİP 47	Dimensa M16	28.000 m	320
TİP 48	Beninger M12	0 m	20
	Beninger M12	6.000 m	120
TİP 49	Dimensa M16	0 m	240
	Dimensa M16	10.000 m	300
TİP 50	Beninger M12	0 m	10
	Beninger M12	15.000 m	80
	Beninger M12	29.500 m	60
	Beninger M13	0 m	40
	Beninger M13	15.000 m	125
	Beninger M13	29.500 m	150
TİP 51	Dimensa M16	5.600 m	500
TİP 52	Dimensa M16	1.800 m	200
TİP 53	Beninger M12	0 m	10
	Beninger M12	9.000 m	60
	Beninger M13	0 m	10
	Beninger M13	9.000 m	60
TİP 54	Dimensa M16	1.000 m	350
TİP 55	Beninger Flex 2 M15	0 m	20
	Beninger Flex 2 M15	8.500 m	40
	Beninger Flex 2 M15	17.720 m	20
TİP 56	Dimensa M16	6.000 m	300
TİP 57	Beninger M12	0 m	20
	Beninger M12	9.500 m	100
	Beninger M13	0 m	80
	Beninger M13	9.500 m	60
TİP 58	Beninger Flex 2 M15	0 m	133
	Beninger Flex 2 M15	3.000 m	80
TİP 59	Beninger Flex 2 M15	0 m	40
	Beninger Flex 2 M15	10.000 m	40
TİP 60	Beninger Flex 2 M15	0 m	20
	Beninger Flex 2 M15	9.800 m	20

TİP 61	Beninger Flex 2 M15	0 m	275
	Beninger Flex 2 M15	5.910 m	500
TİP 62	Beninger Flex 2 M15	0 m	342
	Beninger Flex 2 M15	7.000 m	230
TİP 63	Dimensa M16	3.000 m	360
TİP 64	Beninger M12	0 m	40
	Beninger M12	3.000 m	120
	Beninger M13	0 m	40
	Beninger M13	3.000 m	100
TİP 65	Beninger M12	4.300 m	100
	Beninger M13	4.300 m	120
TİP 66	Dimensa M16	11.000 m	340
TİP 67	Dimensa M16	0 m	200
	Dimensa M16	4.000 m	500
TİP 68	Dimensa M16	0 m	40
	Dimensa M16	4.000 m	266
TİP 69	Beninger Flex 2 M15	0 m	40
	Beninger Flex 2 M15	8.000 m	280

Çizelge 4.57 incelendiğinde Dimensa makinelerinde gerçekleştirilen proseslerden çıkan atıksuların AKM değerlerinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 4.76). Şekil 4.76’da yer alan kırmızı çizgi AKM için AOSB desarj limitini göstermektedir (500 mg/L). Beninger makinelerinden kaynaklanan atıksuların AKM değerleri ise genel olarak 500 mg/L’nin altındadır. Bununla birlikte, Dimensa ve Flex 2 makinelerinin 300 mg/L veya üzerinde AKM’ye sahip olduğu görülmektedir. Burada yapılan çalışmalarda da AKM konusunda ürün tipinin etkisi görülmüştür.. Ancak ürünü oluşturan iplik kompozisyonun veya boyama-terbiye işlemlerinde kullanılan kimyasal madde çeşidi ve miktarının AKM üzerindeki etkisi doğrudan belirlenememiştir.



Kumaş Tipleri ve Proses Bilgileri
Şekil 4.76. Dimensa Makinelerinde AOSB Deşarj Limitini (AKM) Aşan Ürün Tipleri

Şekil 4.76'dan görüldüğü üzere üretim miktarı arttıkça atıksuların AKM değerleri artış göstermiştir. Yıkama teknelerine beslenen temiz su debisinin zamanla yetersiz kalması bu durumun nedeni olarak düşünülmektedir. Bununla birlikte ilk yıkama teknesi olan M14 teknesinden alınan numunelerin AKM değeri sonraki teknelerden alınan numunelerin AKM değerinden daha yüksektir. Bunun nedeni işlenen ürünün ilk olarak M14 teknesinde yıkanmasıdır.

- **Spor Giyim İşletmesi Atıksuları AKM Değerleri**

Spor giyim işletmesinde gerçekleştirilen merserizasyon ve çeşitli yıkama işlemlerinde oluşan atıksuların AKM değerleri 22 farklı tip ürün için araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.58'de verilmiştir.

Çizelge 4.58. Spor giyim işletmesi atıksuyu AKM değerleri

Ürün Tipi	Numune alım yeri	Numunenin alındığı andaki üretim	AKM (mg/L)
TİP 1	Kasarlı yıkama	Baş	80
	Kasarlı yıkama	Orta	60
	Kasarlı yıkama	Son	80
TİP 2	Kasarlı yıkama	Baş	20
	Kasarlı yıkama	Orta	80
TİP 3	Kasar yıkama	Baş	180
	Kasar yıkama	Orta	100
	Kasar yıkama	Son	100
TİP 4	Kasarlı yıkama	Baş	400
	Kasarlı yıkama	Orta	400
	Kasarlı yıkama	Son	500
	Merserize işlemi	Baş	20
	Merserize işlemi	Orta	20
	Merserize işlemi	Son	40
TİP 5	Merserize işlemi	Baş	330
	Merserize işlemi	Orta	416
	Merserize işlemi	Son	217
	Enzimli yıkama	Baş	60
	Enzimli yıkama	Orta	200
	Enzimli yıkama	Son	166
TİP 6	Kasarlı yıkama	Baş	40
	Kasarlı yıkama	Orta	120
	Kasarlı yıkama	Son	120
TİP 7	Merserize işlemi	Baş	40
	Merserize işlemi	Orta	60
	Merserize işlemi	Son	60
	Kasarlı yıkama	Orta	1.361
	Kasarlı yıkama	Son	950
TİP 8	Kasarlı yıkama	Baş	120
	Kasarlı yıkama	Orta	345
	Kasarlı yıkama	Son	480
TİP 9	Kasarlı yıkama	Baş	20
	Kasarlı yıkama	Orta	120

	Kasarlı yıkama	Son	60
TİP 10	Kasarlı yıkama	Baş	100
	Kasarlı yıkama	Orta	260
	Kasarlı yıkama	Son	520
TİP 11	Yakma sonu yıkama işlemi	Baş	352
	Yakma sonu yıkama işlemi	Orta	480
	Yakma sonu yıkama işlemi	Son	647
TİP 13	Merserize işlemi	Baş	60
	Merserize işlemi	Orta	40
	Merserize işlemi	Son	60
	Kasarlı yıkama	Baş	20
TİP 14	Kasarlı yıkama	Orta	180
	Enzimli yıkama	Baş	10
	Enzimli yıkama	Orta	233
	Enzimli yıkama	Son	200
TİP 15	Enzimli yıkama	Baş	10
	Enzimli yıkama	Orta	312
	Enzimli yıkama	Son	280
	Enzimli yıkama	Baş	20
TİP 16	Enzimli yıkama	Orta	164
	Enzimli yıkama	Son	136
TİP 17	Merserize işlemi	Baş	10
	Merserize işlemi	Orta	60
	Merserize işlemi	Son	40
	Kasarlı yıkama	Baş	272
TİP 18	Kasarlı yıkama	Orta	454
	Kasarlı yıkama	Son	375
TİP 19	Ham yıkama	Baş	20
	Ham yıkama	Orta	60
	Ham yıkama	Son	20
	Merserize işlemi	Baş	40
TİP 20	Merserize işlemi	Orta	40
	Merserize işlemi	Son	40
TİP 21	Kasarlı yıkama	Baş	80
	Kasarlı yıkama	Orta	140
	Kasarlı yıkama	Son	180
	Merserize işlemi	Baş	20
TİP 22	Merserize işlemi	Orta	40
	Merserize işlemi	Son	60
	Kasarlı yıkama	Baş	816
	Kasarlı yıkama	Orta	726
	Kasarlı yıkama	Son	550

İşletmeye ait AKM sonuçları değerlendirildiğinde ağırlıklı olarak "kasarlı yıkama" prosesinden alınan atıksuların AKM değerlerinin AOSB deşarj limitine (500 mg/L) yakın veya üzerinde olduğu, genel olarak "enzimli yıkama" prosesinin ise limit değere yakın (>300 mg/L) olduğu görülmektedir. Bu değerlendirmede ürün tipinin de ilgili proseslerden kaynaklanan AKM üzerinde etkili olduğu söylenebilir. Bununla birlikte birkaç sonuç dışında "merserize işleminden"

kaynaklanan AKM değerlerinin düşük olduğu (<100 mg/L) görülmektedir. Diğer numunelerde ise dikkate değer bir AKM riski bulunmamıştır.

İşletmeyle paylaşılan bu sonuçlar sonrasında ilgili birim yetkilileri kasarlı yıkama ve haşıl sökme işlemlerinin amacının materyal üzerindeki safsızlıkları (haşıl, kimyasal maddeler vb.) gidermek olduğunu söylemişlerdir. Bunun üzerine laboratuvarında hazırlanan 1 litrelik kasar ve haşıl sökme çözeltilerinin de AKM değerlerine ayrıca bakılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.59’da verilmiştir.

Çizelge 4.59. Haşıl sökme çözeltilerinin AKM sonuçları

Numune No	AKM (mg/L)
1	117
2	117
3	90
4	80
5	20
6	60

Laboratuvar ortamında hazırlanan haşıl sökme çözeltilerinin AKM değerlerinin prosesten çıkan atıksuların AKM değerinden oldukça düşük olduğu görülmüştür. Dolayısıyla atıksulardaki AKM yükünün işlenen ürünlerin üzerindeki safsızlıklardan kaynaklandığı tespit edilmiştir.

- ***Bobin Boyama Atıksularının AKM Değerleri***

İpliklerin kazanların içinde bobinler halinde boyandığı proseste tüm işlemler kesikli olarak gerçekleşmektedir. Her bir işlem adımından sonra kazanlar boşaltılarak bir sonraki adıma geçilmektedir. Çizelge 4.60’ta bobin boyamaya ve aynı kazanlarda yapılan bazı yıkama işlemlerine ait atıksuların AKM değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.60. Bobin boyama işletmesi atıksularının AKM değerleri

Proses	İşlem No	AKM (mg/L)
Sabunlu Yıkama 1	1	10
	2	10
Sabunlu Yıkama 2	1	10
	2	20
Bobin Boyama 1	1	10
	2	10
	3	80
	4	10
	5	10
	6	10
	7	60
	Tümü karışık	80
Bobin Boyama 2	1	20
	2	20
	3	10
	4	10
	5	40
	6	20
	7	40
	Tümü karışık	20

Çizelge 4.60’tan görüleceği üzere, sabunla yıkama ve bobin boyama atıksularının AKM değerleri AOSB deşarj limiti (500 mg/L) açısından bir risk oluşturmamaktadır. Bu proseslerin fabrika AKM'sine etkisi oluşan “atıksu miktarına” bağlı olarak değerlendirildiğinde, kazanlar doldur boşalt (kesikli) çalıştığından atıksu akışı sürekli değil ve miktarsal olarak da (6 m³/işlem) diğer proseslere göre oldukça düşüktür.

Üretim Planlama İle Yönetimsel Müdahale Seçeneğinin Değerlendirilmesi

Fabrika atıksuyundaki yüksek AKM kaynağının tespit edilebilmesi için yapılan işletme/makine/işlem bazlı çalışmalarda; AKM’nin ağırlıklı olarak halat boyama işletmesi ve terbiye işlemlerinden kaynaklandığı belirlenmiştir. Yapılan genel değerlendirme sonucunda, AOSB deşarj limit değerinin üzerinde AKM konsantrasyonuna sahip işletme/makine/işlemler Çizelge 4.61’de verilmiştir.

Çizelge 4.61. İşletme/makine bazında AKM sonuçları

İşlem /Birim	Numune alım yeri	AKM (mg/L)
Beninger - Dimensa	Dimensa M16	11.530
Beninger - Dimensa	Dimensa M15	10.800
Beninger - Dimensa	Dimensa M16	10.800
Beninger - Dimensa	Dimensa M15	10.000
Beninger - Dimensa	Dimensa M14	9.000
Halat Boya	Boya Sonrası	7.400
Halat Boya	Boya Sonrası	6.250
Beninger - Dimensa	Dimensa M14	6.200
Halat Boya	Boya Flotesi	5.500
Halat Boya	Boya Sonrası	4.666
Beninger - Dimensa	Dimensa M17	4.100
Halat Boya	Yıkama 8 Cerofil öncesi	2.143
Halat Boya	Boya Sonrası	1.818
Slasher Terbiye İşletmesi	W1 Teknesi	1.700
Halat Boya	Boya Sonrası	1.484
Spor Giyim	Kasarlı Yıkama	1.361
Halat Boya	Boya Sonrası	1.300
Halat Boya	Boya Sonrası	1.286
Halat Boya	Boya Sonrası	1.250
Halat Boya	Yıkama 8 Cerofil öncesi	957
Spor Giyim	Kasarlı Yıkama	950
Halat Boya	Boya Sonrası	930
Spor Giyim	Kasarlı Yıkama	816
Spor Giyim	Kasarlı Yıkama	726
Slasher Terbiye İşletmesi	W1 Teknesi	700
Spor Giyim	Kasarlı Yıkama	550

Çizelge 4.61’den görüleceği üzere, yüksek AKM ağırlıklı olarak Beninger-Dimensa ve Halat boyama işlemlerinde oluşmaktadır. Dolayısıyla, bu iş/işlemlerin birlikte yürütülmesi (aynı gün, aynı saatler vb.) fabrika atıksuyunda AKM’nin yüksek çıkmasına neden olacaktır. Bu nedenle, yüksek AKM’ye neden olan işlemlerin aynı zamana/döneme denk getirilmemesi için üretim planlaması yapılmalıdır. Bu amaçla hazırlanan, atıksudaki yüksek AKM tehdidini azaltmak için birlikte yürütülebilecek ve/veya yürütülemeyecek iş/işlemleri gösterir üretim planlama matrisi Çizelge 4.62’de verilmiştir.

Çizelge 4.62. Üretim planlama matrisi

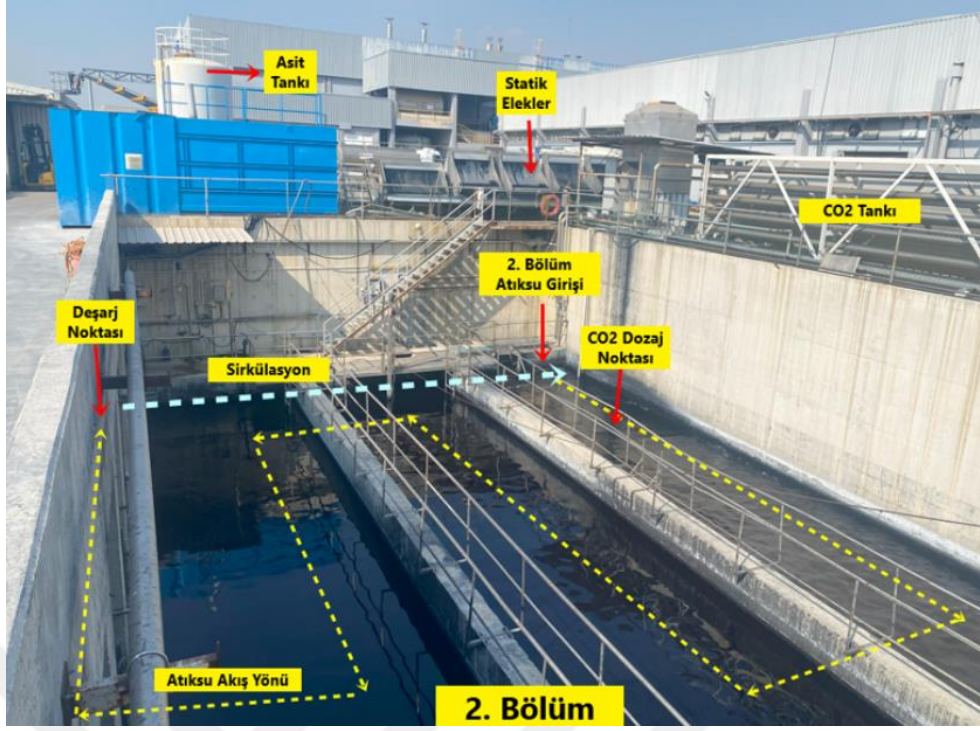
İş/işlemler	Beninger-Dimensa	Halat Boyama	Spor Giyim	İplik/Bobin Boyama	Slasher Terbiye İşlemleri
Beninger-Dimensa		x	x	✓	✓
Halat Boyama	x		✓	✓	✓
Spor Giyim	x	✓		✓	✓
İplik/Bobin Boyama	✓	✓	✓		✓
Slasher Terbiye İşlemleri	✓	✓	✓	✓	

✓: Birlikte çalıştırılmalı.

X: Birlikte çalıştırılmamalı.

Fabrikanın atıksuları iki bölmeden oluşan piston akımlı dengeleme havuzunda toplanmaktadır. 1. ve 2. bölüm görselleri sırasıyla Şekil 4.77 ve Şekil 4.78’de verilerek arıtma ekipmanlarının yerleşimi ve atıksu akış yönleri şematize edilmiştir. Atıksular dengeleme havuzunun 1. bölümünde toplandıktan sonra sırasıyla kaba ızgara, mekanik ızgara ve statik eleklerden geçmektedir (Şekil 4.79). Ardından 2. bölümün girişinde sülfürik asitle (veya piyasa maliyetine göre CO₂) pH ayarlaması yapılarak (6.5-10 aralığında) AOSB’nin kanalizsyon şebekesine deşarj edilmektedir.

191



Şekil 4.78. Dengeleme Havuzu 2. Bölüm

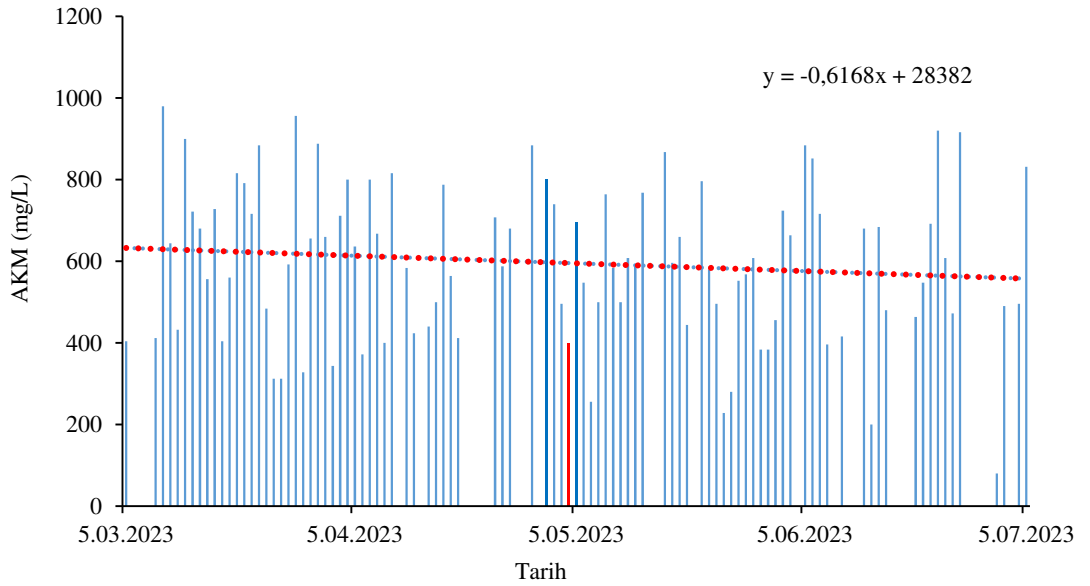


Şekil 4.79. Kaba Izgara, Mekanik Izgara ve Statik Elek

Teknik değişiklik öncesi dengeleme havuzunun 1. bölümünde fiziksel arıtma (filtrasyon işlemleri), 2. bölümünde ise asit verilerek nötralizasyon işlemi yapılmaktadır. Asit 2. bölümün hemen girişinde beslenmektedir. Daha sonra 1. ve 2. kanalın sonunda bulunan mekanik karıştırıcılarla karıştırılmaktadır. Buna ek olarak pH'ı düşük atıksu deşarj noktasına yakın yerden sirkülasyon pompası ile alınarak tekrar 2. bölümün girişine pompalanmaktadır. Böylece hem karıştırma işlemi yapılmakta hem de pH'ı düşürülmüş atıksuyun bir kısmı ile asit sarfiyatı azaltılmaktadır. Görüldüğü gibi bu uygulama atıksuyun sürekli olarak karışmasına ve çökeltme için yeteri kadar bekletilememesine neden olmaktadır. Dolayısıyla nötralizasyon işleminin bu şekilde ikinci havuzda yapılmasının özellikle bekleme süresi boyunca çökeltme eğilimine girmiş olan AKM'yi yeniden

askıda forma geçirdiği değerlendirilmiştir. Bu yüzden de deşarj noktasında AKM değerinin yüksek çıktığı düşünülmektedir. Dolayısıyla makine enerji birimine 2. bölümde yer alan bu sirkülasyon pompalarının ve karıştırıcı ekipmanın devre dışı bırakılması, asit beslemesinin statik eleklerden sonra havuz girişine yapılması önerisinde bulunulmuştur. Böylelikle asit karıştırma işlemi su girişinde oluşan türbülansla sağlanacaktır. Bu uygulamayla birlikte ilgili ekipmanların çalıştırılması için kullanılan enerjiden de tasarruf sağlanacaktır.

Önerilen uygulamanın AKM sorununa çözüm olup olmayacağını belirlemek için uygulama tarihinden sonra 2 aylık süre boyunca AKM ve pH verileri günlük kompozit numune sonuçlarından takip edilmiştir. Pompaların ve karıştırıcı ekipmanın kapatılması sonrasında AKM değişim grafiği Şekil 4.80’de verilmiştir.



Şekil 4.80. Dengeleme Havuzu Teknik Değişiklik Sonrası AKM’deki Değişim

Şekil 4.80’de AKM’nin bazı günler deşarj standardını (500 mg/L) aşsada yukarıda bahsedilen değişikliğin yapıldığı 05.05.2023 (kırmızı çizgi) tarihinden itibaren AKM seviyesinin düşüş eğiliminde olduğu görülmektedir (Grafikteki boşluklar cihaz arızası veya başka bir nedenle numune alınamadığı günlerdir). Bu durum denklemin eğiminin negatif olmasından da anlaşılmaktadır. Uygulama öncesi 2 aylık sürecin atıksu miktarı 188.098 m³, ortalama AKM’si 619,88 mg/L iken uygulamadan sonra takip edilen 2 aylık sürecin atıksu miktarı 227.978 m³, ortalama AKM’si 572,98 mg/L’dir. Birim ürün başına atıksu miktarı uygulama öncesi ve sonrası için sırasıyla ortalama 0,034 m³/m ve 0,035 m³/m’dir. Değerlere bakıldığı zaman uygulama öncesi ve sonrası dönemde atıksu miktarlarındaki fark üretilen ürün miktarından kaynaklanmaktadır. Yani bu iki dönem kıyaslandığında AKM konsantrasyonunu etkileyecek fazladan bir su kullanımı yoktur. Dolayısıyla AKM’de ortalama olarak %7,57’lik düşüşün dengeleme havuzundaki teknik

değişiklikten kaynaklandığı düşünülmektedir (Bu uygulamanın 2023 yılında ele alındığı ve SAI mevcut durum analizinin ise 2022 yılı verileriyle hesaplandığına dikkat edilmelidir).

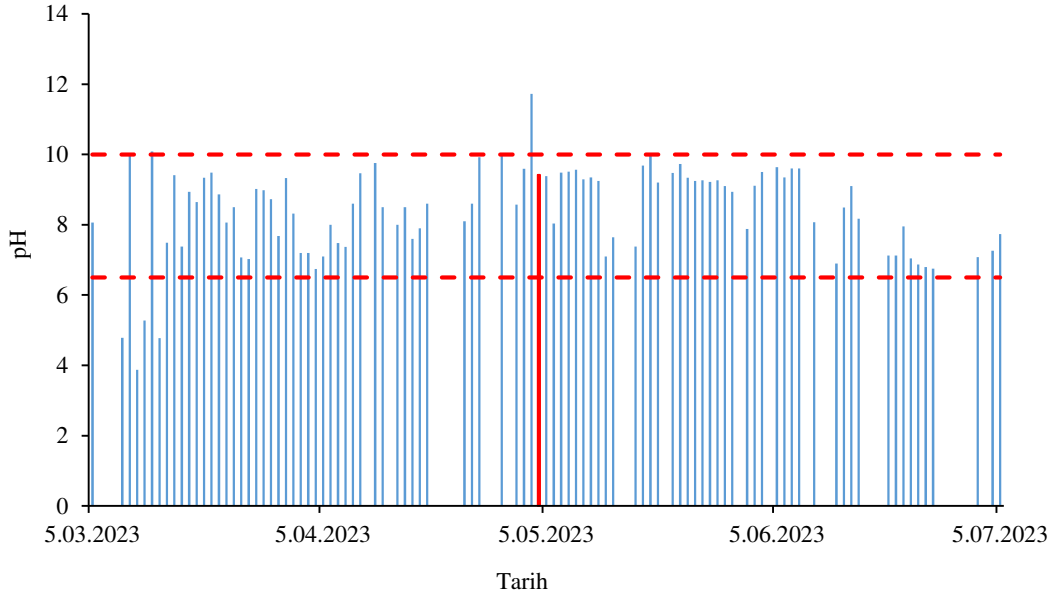
Mevcut durumda, dengeleme havuzu çökeltme havuzları gibi konik yapıda tasarlanmamıştır ve çamur atım durumu söz konusu değildir. Dolayısıyla burada çökelmeye bağlı olarak havuz hacmi zamanla azalmaktadır. Dengeleme havuzunda çamur birikimini gösteren görsel Şekil 4.81’de verilmiştir.



Şekil 4.81. Dengeleme Havuzunda Çamur Birikimi

Şekil 4.81 dengeleme havuzunda 2 yıllık çamur birikimi göstermektedir ve çamur temizliğinin yapıldığı güne aittir. Havuz aktif derinliği 4,5 m olmakla birlikte çamur yüksekliği 3,5 m’dir. Aktif hacmin zamanla azalması kesit daralmasına neden olduğu için su akış hızı zamanla artmakta ve bu artış türbülansa neden olarak çökelmiş katı maddeleri de taşımaya başlamaktadır. Bu nedenle önerilen MET’in uygulamaya devam edilmesi durumunda dengeleme havuzunun durumu periyodik olarak kontrol edilmeli ve havuz periyodik olarak temizlenmelidir.

Pompaların ve karıştırıcı ekipmanın kapatılması sonrasında pH’ın değişim grafiği Şekil 4.82’de verilmiştir. pH takibinin amacı uygulamanın pH deşarj standardı açısından değerlendirilmesidir.



Şekil 4.82. Dengeleme Havuzu Teknik Değişiklik Sonrası pH'daki Değişim

Bu uygulamanın deşarj edilen atıksu pH'ında limitleri aşacak (kırmızı kesikli çizgi) bir değişikliğine neden olmadığı bununla birlikte pH'ın bu uygulamayla giriş değerine göre düştüğü yani karıştırma işleminin su giriş türbülansı ile yeterli olduğu görülmektedir.

AKM açısından deşarj standardı önerilen bu yaklaşımla sürekli sağlanamamış olsa bile AKM'deki düşüş, fabrikanın ödediği atıksu bedelinin ve ilgili ekipmanların kapatılması ile de enerji tüketiminin düşmesini sağlamıştır.

AOSB idaresi, toplu atıksu altyapı tesisinin kullanılmasından dolayı, tesislere ait işletme gideri olarak, “Atıksu Altyapı Tesisi İşletme Giderleri (İG)” talep etmektedir. İG'nin hesaplanmasında Eşitlik 4.1'de verilen formül kullanılmaktadır.

$$\dot{I}G = QA \quad (4.1)$$

Burada Q (m³), fatura dönemi içinde fabrikanın kullandığı su miktarının %90'ını; A (₺/m³), atıksuların toplanması, iletimi ve nihai bertarafı ile bir atıksuyun beher m³ hacminin arıtılması için gerekli birim işletme maliyetini (Deşarj standardının aşılmadığı durumlar içindir ve her ay değişmektedir) göstermektedir.

Fabrikaların atıksularında kirlilik parametrelerini aşan kirletici unsurlar için ilave ücret alınmaktadır. Bu durumda sanayi atıksularının İG'si Eşitlik 4.2'deki formüle göre hesaplanmaktadır.

$$\dot{I}G = Q(A + A') \quad (4.2)$$

Buradaki A' (£/m^3) fabrika atıksuyunun kirlilik parametresi bazında limit değeri aştığı miktarı için günlük hesaplanacak ek birim işletme maliyetini göstermektedir. Bu değer hesaplanırken fabrika atıksuyunun kirlilik parametreleri dikkate alınmaktadır.

Dengeleme havuzunun 2. bölümünde 2 yıllık süreçte biriken çamur 158.240 kg'dır. Dengeleme havuzu konik yapıda olmadığı için temizliği uzun bomlu kepçe ile yapılmıştır. Temizlik, nakliye ve bertaraf maliyeti için ödenen toplam tutar ile AKM'nin limit değeri aşması durumunda ödenen ekstra fatura bedeli (şirket bilgisi olduğu için paylaşılmamıştır) düşünüldüğünde aylık olarak %71,38 oranında bir parasal tasarruf oluşmaktadır. Dolayısıyla deşarj limitinin aşıldığı durumlarda aşılacak miktarın birim düşüşünü sağlayacak her uygulama genel maliyetin düşüşü açısından önemlidir.

4.2.5. MET'lerin SAI Azaltılması Üzerindeki Etkilerinin Genel Değerlendirmesi

Bu çalışmada, fabrikanın mevcut durum SAI değerlendirmesinin için SAI Ağ1 ve ISO 14046 yöntemleri kullanılmıştır. Hacimsel su tüketiminin değerlendirilmesinde SAI_{mavi} ve SAI_{gri} , çevresel etkilerin değerlendirilmesinde ise SAI_{kit} , SAI_{eko} , SAI_{alk} ve SAI_{otr} göstergeleri dikkate alınmıştır. Denim kumaş üretimindeki SAI'nin hacimsel değerlendirilmesinde, atıksuyun doğal konsantrasyonuna döndürülmesi için gerekli su miktarının (SAI_{gri}) tüketilen su miktarından (SAI_{mavi}) daha büyük olduğu tespit edilmiştir ($SAI_{gri} > SAI_{mavi}$). Çevresel etkiler açısından yapılan değerlendirmede ise, $SAI_{eko} > SAI_{kit}$ sonucu elde edilmiştir. Sonuçlar, denim üretiminde oluşan atıksuların neden olduğu çevresel etkilerin su tüketimi etkisinden daha önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durumda, tatlı su kaynakları üzerindeki stresi düşürmek için üretimde kullanılan su miktarının azaltılması temel yaklaşım olarak kabul edilmekle birlikte, su kirliliği ile ilgili odaklanılması gereken konular da ihmal edilmemelidir. Kimyasal madde girdileri ve ikamesi, kapalı devre su kullanımı, atıksuyun daha etkin arıtımı ve yeniden kullanımı, ürün geliştirme stratejilerinin artırılması gibi TÜ ile ihtiyaç duyulan temiz su miktarının azalması, oluşan atıksu miktarı ve kirlilik yükünün düşürülmesi ve tatlı su kaynakları üzerindeki stresin giderilmesi mümkün olabilecektir.

Şekil 4.27'de verilen TÜ yaklaşımlarından su tasarruf olanakları, atıksuyun doğrudan yeniden kullanımı, atıksuyun arıtılarak yeniden kullanımı SAI_{mavi} ve SAI_{kit} üzerinde doğrudan; SAI_{gri} , SAI_{otr} , SAI_{eko} ve SAI_{alk} üzerinde dolaylı olarak etkili olmaktadır. Atıksuyun özelliklerinin iyileştirilmesi yaklaşımı ise SAI_{gri} , SAI_{otr} , SAI_{eko} ve SAI_{alk} üzerinde doğrudan, SAI_{mavi} ve SAI_{kit} üzerinde dolaylı olarak etkili olmaktadır. Bu TÜ yaklaşımlarının uygulanması ile 2022 yılı verilerine göre SAI kategorileri üzerinde elde edilecek etkilerin teorik değerleri Çizelge 4.63'te verilmiştir.

Çizelge 4.63. MET'lerin SAİ üzerindeki etkisi

TÜ Fırsatların Uygulanması İle Elde Edilecek SAİ Kazanımları			
	SAİ_{mavi} (m³/yıl)	SAİ_{gri} (m³/yıl)	SAİ_{kıt} (m³ H₂O-es/yıl)
Su Tasarruf Olanakları			
MET 1	274,32	0,00	205,06
MET 2	10.584,00	0,00	7.911,63
Suyun Doğrudan Yeniden Kullanımı			
MET 3	13.608,00	0,00	10.172,09
MET 4	8.136,00	1.316,79	6.081,73
MET 5	6.768,00	7.302,55	5.059,14
Suyun Arıtılarak Yeniden Kullanımı			
MET 6	616.970,60	671.238,45	461.190,65
Atıksuyun özelliklerinin iyileştirilmesi			
MET 7	<i>İlgili kimyasallar bir çok farklı proses ve makinede kullanıldığından SAİ'ye katkısı hesaplanamamıştır. Ancak kimyasal ikamesi veya kullanımdan kaldırılması ile YDD kapsamında dolaylı yoldan SAİ_{mavi}'ye 6653,88 m³/yıl katkı sağlanmıştır.</i>		
MET 8	<i>Üretim planlama bu öneriyi öncelikli kısıt olarak değerlendirmemiştir.</i>		
MET 9	0,00	129.277,31	0,00
Toplam	656.340,92	809.135,10	490.620,29
Fabrikanın SAİ'sine etkisi (%)	-41,73	-51,45	-31,20

Çizelge 4.63'te TÜ fırsatlarının SAİ üzerindeki etkisi SAİ_{mavi}, SAİ_{gri} ve SAİ_{kıt} kategorileri üzerinden verilmiştir. Diğer etki kategorileri için hesaplama yapılamamasının nedeni önerilen fırsatların dengeleme havuzu modifikasyonu haricinde uygulamaya geçirilmemiş olmasıdır. Dolayısıyla ilgili kategorilerin hesaplanmasında kullanılan parametrelerin uygulama sonrası değerleri alınamamıştır. Bu haliyle önerilen TÜ fırsatlarının fabrikanın SAİ etki kategorilerine ciddi oranlarda etki edeceği ortadadır. Özellikle kirliliğin bir göstergesi olan SAİ_{gri}'nin %51,45 oranında azaltılabilme imkanı diğer çevresel etki SAİ'lerinin de azalmasını sağlayacaktır. Sayısal olarak bir değer verilememiş olsa bile bu sonuç kesindir.

SAİ_{kıt}'ın SAİ_{mavi}'den düşük çıkması tüketilen su miktarının yerel etkisinin dünya ortalamasına göre daha düşük olduğunu göstermektedir. Bu durum Dünya geneli üzerinde değerlendirildiğinde fabrikanın su ihtiyacının karşılandığı bölgenin su varlığı Dünya ortalamasının üzerindedir. SAİ_{kıt}>SAİ_{mavi} olması durumunda fabrikanın bölgenin su kaynakları üzerindeki etkisinin daha da önemli olduğunu sonucu ortaya çıkacaktır. Çünkü tüketilen su miktarından ziyade bu suyun bölge için önemi daha yüksek olacaktır. Dolayısıyla hacimsel ve çevresel etki SAİ kategorilerinin birlikte değerlendirilmesi su kaynaklarının planlanması için daha anlamlı sonuçların ortaya konulmasını sağlamaktadır.

4.3. Çalışmanın Sürdürülebilirliğe Katkısının Değerlendirmesi

Sanayi Devrimi'nden sonra bilimsel, teknolojik ve ekonomik alanlarda yaşanan hızlı gelişmeler, insanların yaşam kalitesini yükseltirken, doğal kaynakların da aşırı şekilde kullanılmasına neden olmaktadır. Üretim ve hizmet teknolojilerindeki gelişmeler, mal ve hizmetlerin hızlı ve kolay üretimine/sunulmasına imkân vermektedir. Bu durum özellikle ürünlerin “al-kullan-at” şeklinde beşikten mezara kullanım modelini oluşturmuştur. Bu model, kaynaklar üzerinde baskının artmasına ve oluşan atıkların da orta ve uzun vadede çevresel bir sorun haline gelmesine yol açmıştır (Vesilind ve ark., 2010). Dolayısıyla bu modelin uygulanabilirliği sorgulanmaya başlanmış ve yeni bir model olarak “Sürdürülebilirlik” kavramı ortaya atılmıştır. Bu kavram, 1972 yılında Stokholm’de gerçekleştirilen Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) Konferansı’nda kendine yer bulmuş ve 1987 yılında yayınlanan Ortak Geleceğimiz Raporu’nda “...gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama yeteneğini tehlikeye atmadan bugünün ihtiyaçlarını karşılayan kalkınma...” şeklinde tanımlanmıştır (Ruggerio, 2021). Bu tanımdan yola çıkarak UNEP tarafından Eylül 2015’te “2030 Sürdürülebilir Kalkınma Gündemi” yayınlanmış, Mart 2016’da ise gündem kapsamında yer alan UNEP 2030 SKH 17 ana başlığı (Çizelge 4.64) ve alt başlıkları kabul edilmiştir.

Çizelge 4.64. UNEP 2030 SKH'ler

Sosyal	Ekonomik	Çevresel
(1) Yoksulluğa son	(8) İnsana Yakışır İş ve Ekonomik Büyüme	(6) Temiz Su ve Sanitasyon
(2) Açlığa son	(9) Sanayi, Yenilikçilik ve Altyapı	(7) Erişilebilir ve Temiz Enerji
(3) Sağlıklı bireyler	(10) Eşitsizliklerin Azaltılması	(13) İklim Eylemi
(4) Nitelikli Eğitim	(12) Sorumlu Üretim ve Tüketim	(14) Sudaki yaşam
(5) Toplumsal Cinsiyet Eşitliği	(17) Hedefler İçin Ortaklıklar	(15) Karadaki yaşam
(11) Sürdürülebilir Şehirler ve Yaşam Alanları		(17) Hedefler İçin Ortaklıklar
(16) Barış, Adalet ve Güçlü Kurumlar		
(17) Hedefler İçin Ortaklıklar		

Dünyada önemli bir sanayi kolu olan denim sektörünün ekonomik, sosyal ve çevresel nedenlerle Çizelge 4.64’te verilen UNEP 2030 SKH’leri benimsemesi ve uygulaması artık bir zorunluluktur. Ancak SKH’lere katkı sağlayacak uygulamaların SKH’lerin hangisine ne oranda katkı sağladığının belirlenmesi gerekmektedir (Sarı ve ark., 2023). SDG’lerden herhangi birini gösteren ve katkı oranını ölçebilen bir araç, bir sürdürülebilir üretim değerlendirme aracı olarak kullanılabilir. Risk Değerlendirmesi, YDD, Maliyet-Fayda Analizi, Ekosistem Hizmetleri Değerlendirmesi, Entegre Değerlendirme Modelleri, Sürdürülebilirlik Etki Değerlendirmesi ve Hizmet Başına Malzeme Girdisi (MIPS) gibi araçlar bunlardan bazılarıdır (de Oliveira Neto ve de Sousa, 2014;

Klemeş, 2015; de Oliveira Neto ve ark., 2019; Tarne, 2019; Janjua ve ark., 2020; Shrivastava ve Unnikrishnan, 2021). Bunların dışında SAI değerlendirmesi de özellikle su ile ilgili SKH'lere ulaşmayı ve su yönetiminin iyileştirilmesini desteklemek için etkili bir yönlendirme aracı olarak sunulmuştur (Berger ve ark., 2021). Pellicer-Martnez ve Martnez-Paz (2016) de vresel sürdürülebilirliği değerlendirmek için SAI göstergelerinin kullanımını önermişlerdir.

Su tüketiminin yoğun olduğu sektörlerin başında gelen denim üretimi, tükettiği suyun yaklaşık olarak %85'ini atıksu olarak deşarj etmektedir. Dolayısıyla gerek tükettiği temiz su gerekse alıcı ortamlarda yarattığı kirlilik göz önüne alındığında sürdürülebilir kalkınma hedeflerinden 6 (temiz suya erişim) ve 14 (sudaki yaşam) nolu maddeler açısından risk oluşturmaktadır (Periyasamy ve Periyasami, 2023). Temiz retim uygulamalarında temel yaklaşım kaynak tüketimin azaltılması olsa da (Satyro ve ark., 2023) atıkların geri dönüşümü ve/veya yeniden kullanımı da önem arz etmektedir.

Bu çalışmada belirlenen MET'ler su tüketiminin ve atıksu oluşumunun azaltılmasına odaklanmıştır. Su tüketiminin azaltılması ile tatlı su kaynakları üzerindeki baskının, atıksu oluşumunun azaltılması veya özelliklerinin iyileştirilmesi ile su kaynakları üzerindeki kirlilik etkisinin düşürülmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda su tüketiminin ve atıksu kirliliğinin göstergeleri olarak SAI_x kategorileri ele alınmıştır. Önerilen MET'lerin uygulanması halinde doğrudan su tüketiminin göstergeleri olan SAI_{maı} ve SAI_{kit} kategorilerinde sağlanan iyileşmeler ile SKH 6 Nolu hedefe (Hoekstra ve ark., 2017) ortalama %36,47; su kirliliğinin bir göstergesi olarak değerlendirilen SAI_{gri}'de sağlanan iyileşme ile de SKH 14 No'lu hedefe %51,45 oranında bir katkı sağlanabilecektir. Bununla birlikte nerilen MET'lerin bazıları suyun yanında enerji ve ekipman tasarrufuda sağladığından sanayide yenilikçi yaklaşımlar olarak değerlendirilebilir. Böylelikle SKH 9 No'lu hedefe dolaylı ynden bir katkı; doğal kaynaklar üzerindeki baskının azaltılması ve çevrenin korunması ile SKH 12'de belirtilen sorumlu üretime de doğrudan bir katkı sağlanmış olacaktır. de Oliveira Neto ve ark. (2019) tekstil endstirisinde T'nun sürdürülebilirlikle ilişkisini inceledikleri çalışmasında tekstilde ham madde, su ve elektrik tüketimlerinin azalmasıyla 9, 12 ve 15 No'lu hedeflere katkı sağlanacağını belirtmişlerdir. Ancak bu çalışma da katkı oranları belirtilmemiştir. 9 ve 12 No'lu hedeflere katkının hesaplanması için yalnızca SAI verileri yeterli değildir. Daha önce bertilen kapsamlı hesaplama yöntemleri (YDD, MIPS vb.) kullanılarak farklı girdi kalemlerinden toplanacak veriler ile bu SKH'lere katkılar sayısal olarak ortaya konulabilir. Sonuç olarak, bu çalışmada ele alınan su konusu ile SKH 6, 9, 12 ve 14 No'lu hedeflere katkılar sağlandığı ortaya konmuştur.



5. SONUÇ

Bu çalışmada, su yoğun sektörlerden biri olan tekstil sektörünün denim kumaş üretim süreçleri tüm detayları ile araştırılmıştır. Denim üretiminin temel girdileri; elyaf, su, enerji ve çok çeşitli kimyasal maddelerdir. Sürdürülebilir bir gelecek için kaynakların doğru, yerinde ve verimli kullanılması oldukça önemlidir. Öyle ki ihtiyaçların sınırsız olduğu bir tüketim kültürünün taleplerini karşılamak, kaynakların sınırlı olduğu bir dünyada mümkün değildir. Bunun farkına varan hükümetler, sektör yöneticileri ve diğer paydaşlar konuyla ilgili farkındalığı arttırmak, sorunun tüm yönleriyle ele alınmasını sağlamak, çözüm yollarını geliştirmek, gerekli önlemleri almak ve yol haritalarını belirlemek için çeşitli kurumlar aracılığıyla gündem oluşturmaktadırlar. UNEP 2030 SKH içinde yer alan çevresel, ekonomik ve sosyal alanlarda 17 başlık sürdürülebilir bir geleceği tüm yönleriyle ele almaktadır. Bu başlıklar arasında bulunan “12-Sorumlu Üretim ve Tüketim” başlığı bu amaçları en anlamlı şekilde ifade etmektedir. Bireylerin tüketim alışkanlıkları, talep şekli ve miktarı üretimin yöntemini, şeklini ve hedeflerini belirleyecek en önemli faktördür. Dolayısıyla tüketicilerin bilinçlenmesi ve sorumluluk alması, ilgili kuruluşların (sivil toplum kuruluşları, çevresel örgütler vb.), markaların ve hükümetlerin önlem almasını sağlamaktadır. Yaptırım gücüne sahip olan bu kuruluşlar, markalar ve hükümetler oluşturdukları baskılar, çıkardıkları kanun/yönetmelikler/standartlar vasıtasıyla üreticinin üretim araçlarını, kaynak kullanımını çevresel maliyetleri en aza indirecek şekilde düzenlemesini zorunlu hale getirmektedir.

Kaynak verimliliğini arttırmayı ve çevresel etkiyi azaltmayı amaçlayan araçlardan biri olan TÜ yaklaşımı bu amaçların gerçekleştirilmesinde üreticiye önemli bir metodoloji sunmaktadır. Metodolojik bir yaklaşımla belirlenen sorunlar ve odak noktaları konunun daha kapsamlı ele alınmasını ve sorumlu ekiplerin belirlenmesini sağlamaktadır. Bu çalışma kapsamında ele alınan denim üretiminde SAI azaltılması konusu da TÜ metodolojilerinden biri olan UNEP/UNIDO yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Üretim faaliyetlerinde su kullanımının ve atıksu oluşumunun azaltılması ve/veya atıksu kalitesinin iyileştirilmesi için belirlenen TÜ fırsatları prosesler özelinde MET’ler olarak sunulmuştur. Belirlenen MET’lerin etkinliğinin ölçülmesi için ise SAI göstergeleri kullanılmıştır. Bunun için öncelikle fabrikanın mevcut durumdaki SAI’si değerlendirilmiş, daha sonra belirlenen TÜ fırsatlarının SAI üzerindeki etkisi ortaya konmuştur. Konu çerçevesinde elde edilen sonuçlar şunlardır:

- Denim üretiminde su kaynağından alınan tatlı suyun %85’i atıksu olarak deşarj edilmektedir.
- Denim üretiminin ıslak proseslerinde 1 ton denim kumaş üretmek için kullanılan tatlı su miktarı 67,95 m³’tür. Bu değer aynı zamanda birim üretimin SAI_{mavi}’sini oluşturmaktadır.
- Fabrikanın 1 ton kumaş üretimi için mevcut durum SAI_{mavi}’si, SAI_{gri}’si, SAI_{kıt}’ı, SAI_{ötr}’ü, SAI_{eko} ve SAI_{alk}’ı sırasıyla 67,95 m³, 72,86 m³, 50,06 m³ H₂O-eş., 7,72 kg PO₄⁻³-eş., 8.686,60 m³ H₂O-eş. ve 0,39 kg OH⁻-eş olarak bulunmuştur.

- SAI_{eko} 'ya en büyük katkı (%50,08) Zn'den, SAI_{otr} 'a en büyük katkı TP'den (%41,98) kaynaklanmaktadır. Bu faktörlerin atıksudan ulaştırılması SAI 'nin azaltılmasında önemli etkiye sahip olacaktır.
- T  metodolojisi tüm detayları ile incelenmiş ve fabrika özelinde bir T  değerlendirmesi yapılarak SAI_x değerlerini azaltma potansiyeli olan 4 temel yaklaşım altında 9 MET belirlenmiştir. Belirlenen bu MET'lerin ikisi haricinde (kimyasal ikamesi ve dengeleme havuzu teknik değişimi) diğerleri henüz uygulama aşamasına geçmemiştir.
- 9 MET'in yedisinin uygulanması durumunda SAI_{mavi} , SAI_{gri} ve SAI_{kit} kategorilerinde teorik olarak sırasıyla %47,50, %57,73 ve %35,51 oranında azalma sağlanabileceği  n görülmektedir.
- Diğer SAI etki kategorileri (SAI_{eko} , SAI_{otr} ve SAI_{alk}) MET'lerin uygulanmamış olmasından dolayı, oluşacak yeni atıksu özelliklerinin analizleri yapılamadığı için hesaplanamamıştır.
- Önerilen MET'lerin uygulanması durumunda olası maliyetler tahmin edilerek geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. MET 1, MET 2, ve MET 6 için hesaplanan maliyetler sırasıyla 3.607,37  , 30.000   ve 11.634.816,36  ; geri ödeme süreleri sırasıyla 0,20-1.777,86 yıl (kayıp kaçağa göre değişken), 0,2 yıl (maksimum) ve 55,57 yıl'dır. MET 3, MET 4, MET 5, MET 7 ve MET 8'in uygulanmasında ise maliyet söz konusu değildir. Ancak MET 5'in UF filtrasyon sanrası kullanımı için maliyet 1.420.489,28   (geri ödeme süresi 1,29 yıl) olarak hesaplanmıştır. MET 9'un uygulamasında 2 yılda bir çamur temizliği yapılmasından kaynaklanan bir maliyet söz konusudur ancak maliyet, ekstra ödenen atıksu bedeli ile kıyaslandığında %71,38 daha düşük çıkmaktadır.
- Önerilen MET'lerin uygulanması halinde doğrudan su tüketiminin göstergeleri olan SAI_{mavi} ve SAI_{kit} kategorilerinde sağlanan iyileşmeler ile SKH 6 nolu hedefe ortalama %41,50; su kirliliğinin bir göstergesi olarak değerlendirilen SAI_{gri} 'de sağlanan iyileşme ile de SKH 14 nolu hedefe %57,73 oranında bir katkı sağlanabilecektir. Bunun haricinde yenilikçi yaklaşımlar ve sorumlu üretim anlayışı ile 9 ve 12 nolu hedeflere dolaylı katkılar sağlayacaktır.
- Su konusunun önemi herkes tarafından bilinse de denim üretiminde en düşük maliyete sahip girdi kalemini oluşturmaktadır. Dolayısıyla genel bir düşünce olarak su konusu sanayici açısından öncelikli olarak değerlendirilmemektedir. Yasal yaptırımlar ve/veya müşteri taleplerinin haricinde su maliyetinin arttırılması sanayicinin konuya daha özenli yaklaşmasını sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Abbate, S., Centobelli, P., Cerchione, R., Nadeem, S. P., ve Riccio, E., 2024. Sustainability Trends and Gaps in The Textile, Apparel and Fashion Industries. *Environment, Development and Sustainability*, 26(2): 2837-2864. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02887-2>
- Abdussalam-Mohammed, W., Ali, A. Q., ve Errayes, A. O., 2020. Green Chemistry: Principles, Applications, and Disadvantages. *Chemical Methodologies*, 4(4): 408-423. <https://doi.org/10.33945/SAMI/CHEMM.2020.4.4>
- AÇŞM, 2020. Adana İli 2019 Yılı Çevre Durum Raporu. Türkiye Cumhuriyeti Adana Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü. https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/adana_-2019_-cdr-20201023092541.pdf. [Son erişim tarihi: 16.05.2021]
- Adane, T., Adugna, A. T., ve Alemayehu, E., 2021. Textile Industry Effluent Treatment Techniques. *Journal of Chemistry*, 2021(1): 5314404. <https://doi.org/10.1155/2021/5314404>
- Agrawal, A., Sharma, N., ve Sharma, P. 2021. Designing An Economical Slow Sand Filter For Households to Improve Water Quality Parameters. *Materials Today: Proceedings*, 43: 1582-1586. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.450>
- Ağtaş, M., Yılmaz, Ö., Dilaver, M., Alp, K., ve Koyuncu, İ., 2021. Pilot-Scale Ceramic Ultrafiltration/Nanofiltration Membrane System Application for Caustic Recovery and Reuse in Textile Sector. *Environmental Science and Pollution Research*, 28: 41029-41038. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13588-0>
- Ahmad, M., ve Praveen, H., 2021. Sharing Transboundary Water Resources: A Critical Analysis of Shared Responsibility. *The IUP Law Review*, 11(1): 57-67.
- Ahmed, T., Mia, R., Toki, G. F. I., Jahan, J., Hasan, M. M., Tasin, M. A. S., ... ve Ahmed, S., 2021. Evaluation of Sizing Parameters on Cotton Using The Modified Sizing Agent. *Cleaner Engineering and Technology*, 5: 100320. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100320>
- Ahn, M. K., Chilakala, R., Han, C., ve Thenepalli, T., 2018. Removal of Hardness from Water Samples by A Carbonation Process with A Closed Pressure Reactor. *Water*, 10(1): 54. <https://doi.org/10.3390/w10010054>
- Akgül, D., 2006. Türkiye’de Ters Osmoz ve Nanofiltrasyon Sistemleri ile İçme ve Kullanma Suyu Üretiminin Maliyet Analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 200 s.
- Ali, N., Mohammad, A., W., ve Ahmad, A., L., 2005. Use of Nanofiltration Predictive Model for Membrane Selection and System Cost Assessment. *Separation And Purification Technology*, 41(1), 29-37. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2004.04.006>

- Alkaya E, ve Demirer G. N., 2014. Sectoral Assessment of The Turkish Textile Industry for The Diffusion of Sustainable Production Approach. The Journal of The Textile Institute, 106(11): 1212-1225. <https://doi.org/10.1080/00405000.2014.985880>
- Alkhagen, M., Samuelsson, Å., Aldaeus, F., Gimåker, M., Ostmark, E., ve Swerin, A., 2015. Roadmap 2015 to 2025:Textile Materials from Cellulose Wood 1-8. Research Insititutes of Sweden. <https://www.ri.se/en/what-we-do/our-areas/textile>
- Allegretti, G., Montoya, M. A., ve Talamini, E., 2022. Assessing Sectoral Water Stress States from The Demand-Side Perspective Through Water Footprint Dimensions Decomposition. Sci. Total Environ., 809: 152216. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152216>
- Alliance for Water Stewardship, 2012. International Water Stewardship Standard. First Draft for Stakeholder Input. Version 03.13.2012. www.allianceforwaterstewardship.org/assets/documents/AWS_Standard_First_Draft_v_03_13_2012.pdf. [Son erişim tarihi: 24.07.2024]
- Alper, F., 2015. Sürdürülebilirlik Kavramı İçerisinde Su Ayak İzi: Tekstil Sektörü Örneği. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 93s.
- Ammayappan, L., Jose, S., ve Arputha Raj, A., 2016. Sustainable Production Processes in Textile Dyeing. In Green Fashion (s 185-216). Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-0111-6_8
- Amutha, K., 2017. Environmental Impacts of Denim. In Sustainability in Denim (s 27-48). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102043-2.00002-2>
- Ang, W. L., Nordin, D., Mohammad, A. W., Benamor, A., ve Hilal, N., 2017. Effect of Membrane Performance Including Fouling on Cost Optimization in Brackish Water Desalination Process. Chemical Engineering Research and Design, 117: 401–413. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2016.10.041>
- Anonim 1: Türkiye Cumhuriyeti Onbirinci Kalkınma Planı. https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/07/On_Birinci_Kalkinma_Planı-2019-2023.pdf [Son erişim tarihi: 25.07.2024]
- Anonim 2: Türkiye Cumhuriyeti Onikinci Kalkınma Planı. https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2023/12/On-Ikinci-Kalkinma-Planı_2024-2028_11122023.pdf [Son erişim tarihi: 25.07.2024]
- Anonim 3: Yeşil Mutanakat Eylem Planı Genelgesi. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2021/07/20210716-8.pdf> [Son erişim tarihi: 25.07.2024]
- Anonim 4: Yeşil Mutabakat Eylem Planı 2021. <https://ticaret.gov.tr/data/640f220d13b8761b449ccb42/YESIL%20MUTABAKAT%20Eylem%20Plan%C4%B1.pdf> [Son erişim tarihi: 25.07.2024]

- Anonim 5: Yeşil Dönüşüm Destek Programı Uygulama Usul Ve Esasları Tebliği. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2024/07/20240726-19.htm> [Son erişim tarihi: 31.07.2024]
- Anonim 6: Tekstil. <https://www.kolayihracat.gov.tr/sektorler/tekstil-hali-ve-ev-tekstili-dahil> [Son erişim tarihi: 16.07.2024]
- Anonim 7: Temiz Üretim Teknolojileri Mükemmeliyet Merkezi Projesi. <https://www.temizuretimmerkezi.org/utum> [Son erişim tarihi: 17.07.2024]
- Anonim 8: Mevcut En İyi Teknik. <https://ippc.csb.gov.tr/mevcut-en-iyi-teknik-met-i-101810> [Son erişim tarihi: 13.07.2024]
- Anonim 9: Tekstil Sektöründe Temiz Üretim Uygulaması Genelgesi <https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/icerikler/tekst-l-sektorunde-tem-z-uret-m-uygulamaları-gelges--20230102182517.pdf> [Son erişim tarihi: 13.07.2024]
- Anonim 10: Türkiye ve Diğer Ülkelerde Medclean Çalışması Örnekleri <https://webdosya.csb.gov.tr/db/ippc/icerikbelge/icerikbelge1397.pdf> [Son erişim tarihi: 13.07.2024]
- Anonim 11: Kimya Borsası. https://www.kimyaborsasi.com.tr/tr/a/aluminyum-sulfat-13.html?search_query=alum&results=2 [Son erişim tarihi: 16.10.2024]
- Anonim 12: Adana Hacı Sabancı Organize Sanayi Bölgesi Su Tüketimi <https://adanaorganize.org.tr/tuketimlerimiz/> [Son erişim tarihi: 29.07.2024]
- Anonim 13: BOSSA T.A.Ş, 31.12.2023 Tarihinde Sona Eren Hesap Dönemine Ait Yönetim Kurulu Faaliyet Raporu. file:///C:/Users/Asus/Downloads/Bossa%20T.A._.%20Aral_k%202023%20Mali%20Tablo%20ve%20Dipnotlar.pdf [Son erişim tarihi: 25.07.2024]
- Anonim 14: Tekstil İşletmelerinde Su Kalitesi ve Hazırlanması. <https://angstrom.com.tr/tekstil-isletmelerinde-su-kalitesi/> [Son erişim tarihi: 12.10.2024]
- Anonim 15: <https://www.aritimsan.com/tablet-tuz.html> [Son erişim tarihi: 21.10.2024]
- Anonim 16: <https://www.aurakimya.com/p/393/sivi-kostik-48-1000-kg> [Son erişim tarihi: 13.10.2024]
- Anonim 17: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2020/03/20200307-2-1.pdf> [Son erişim tarihi: 21.10.2024]
- Anonymous 1: The 2030 Agenda For Sustainable Development. <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf> [Son erişim tarihi: 25.07.2024]
- Anonymous 2: http://www.advancesincleanerproduction.net/12th/site/special_issue.html [Son erişim tarihi: 15.07.2024]
- Anonymous 3: VOSviewer, 2023. Visualizing scientific landscapes. Version 1.6.20, released on October 31, 2023. <https://www.vosviewer.com/> [Son erişim tarihi: 02.09.2024]

- APHA, 2017. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23rd ed. Washington, DC, 1545 s.
- Arslan Batuk, L., 2022. Türk Tekstil ve Hazır Giyim Sektörleri Dış Ticaretinin Katma Değer ve Dikey Uzmanlaşma Açısından İncelenmesi. Uzmanlık Tezi, Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası Yapısal Ekonomik Araştırmalar Genel Müdürlüğü, İstanbul, 75 s.
- Asri, G. N., 2021. Tekstil Endüstrisi Atıksularının İleri Oksidasyon Yöntemleri ile Arıtılması. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 63 s.
- Averink, J., 2015. Global Water Footprint of Industrial Hemp Textile. Yüksek Lisans Tezi, Twente Üniversitesi, Enschede, 57 s.
- Aydiner, C., Mert, B. K., Can Doğan, E., Balcı, E., Tilki, Y. M., Aksu, Ş., ve Gören, A. Y., 2016. Tekstil Yıkama Atıksularından Basınçlı Membran Proseslerle Su Geri Kazanımı Üzerine Membran Türünün Etkisinin Araştırılması. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 21(2): 319-330. <https://doi.org/10.17482/uumfd.278011>
- Azanaw, A., Birlie, B., Teshome, B., Jemberie, M., 2022. Textile Effluent Treatment Methods and Eco-Friendly Resolution of Textile Wastewater. Case Studies in Chemical and Environmental Engineering, 6: 100230. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2022.100230>
- Bai, X., Ren, X., Khanna, N. Z., Zhou, N., ve Hu, M., 2018. Comprehensive Water Footprint Assessment of The Dairy Industry Chain Based on ISO 14046: A Case Study in China. Resources, Conservation and Recycling, 132: 369-375. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.07.021>
- Bao, Q., Liu, Z., Zhao, M., Hu, Y., Li, D., Han, C., ..., ve Zhang, Y., 2022. Role of Carbon and Nutrient Exports from Different Land Uses in The Aquatic Carbon Sequestration and Eutrophication. Science of the Total Environment, 813: 151917. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151917>
- Batool, F., Naqvi, S., Faisal, S., Sangi, A. J., Rabbani, M., Azhar, M., ... ve Jamal, W., 2024. Characterization of Denim Effluent Treatment Plant Sludge and its Influence on Concrete Hardened Properties. Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s40996-024-01476-9>
- Beltran, M. J., 2020. Virtual Water. OBO in Environmental Science. <https://doi.org/10.1093/obo/9780199363445-0082>
- Berger, M., Campos, J., Carolli, M., Dantas, I., Forin, S., Kosatica, E., ... ve Semmling, E., 2021. Advancing The Water Footprint into An Instrument to Support Achieving The SDGS–Recommendations From The “Water as A Global Resources” Research Initiative (GRoW). Water Resources Management, 35: 1291-1298. <https://doi.org/10.1007/s11269-021-02784-9>
- Bes-Piá, A., Cuartas-Uribe, B., Mendoza-Roca, J. A., ve Alcaina-Miranda, M. I., 2010. Study of The Behaviour of Different NF Membranes For The Reclamation of A Secondary Textile

- Effluent In Rinsing Processes. *Journal of Hazardous Materials*, 178(1–3): 341–348.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.01.085>
- BESTÜ, 2020. Belirli Sektörlerde Temiz Üretim Uygulamaları Projesi (BESTÜ), ODTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü. https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/icerikler/bestu_raporu-20210312115408.pdf [Son erişim tarihi: 16.07.2024]
- Bhattacharjee, M., Dhar, A. K., Islam, M. M., ve Rashid, M. A., 2019. Development of Washing Effects on Reactive Dyed Denim Fabrics: A Value Added Approach of Denim Wash. *International Journal of Textile Science*, 8(2): 41-48.
<https://doi.org/10.5923/j.textile.20190802.03>
- Biermann, F., 2020. World Environment Organization. In *Essential Concepts of Global Environmental Governance* (s. 291-293). E-Book ISBN: 9780367816681, Routledge.
- Bishop, G., Styles, D., ve Lens, P. N., 2021. Environmental Performance Comparison of Bioplastics and Petrochemical Plastics: A Review of Life Cycle Assessment (LCA) Methodological Decisions. *Resources, Conservation And Recycling*, 168: 105451.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105451>
- Blackburn, W. R., 2007. *The Sustainability Handbook: The Complete Management Guide to Achieving Social, Economic, and Environmental Responsibility*. Sterling, VA: Earthscan.
<https://doi.org/10.4324/9781849773294>
- Bonnail, E., Vera, S., Blasco, J., ve DelValls, T. Á., 2023. Towards a Cleaner Textile Industry: Using ASEC to Decrease the Water Footprint to Zero Liquid Discharge. *Water*, 15(21): 3781.
<https://doi.org/10.3390/w15213781>
- Boyd, C. E., 2020. Total Hardness. In *Water Quality* (pp. 205-214). Springer, Cham.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-23335-8_10
- Bozok, S., ve Oğulata, R. T., 2021. Effect of Silica Based Sols on The Optical Properties and Colour Fastness of Synthetic Indigo Dyed Denim Fabrics. *Coloration Technology*, 137(3): 209-216.
<https://doi.org/10.1111/cote.12521>
- Brahma, S., Islam, M. R., ve Dina, R. B., 2018. Role of Mercerizing Condition on Physical and Dyeing Properties of Cotton Knit Fabric Dyed With Reactive Dyes. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 8: 1052-1057. <https://doi.org/10.14741/ijcet/v.8.4.24>
- Brandão, M., Martin, M., Cowie, A., Hamelin, L., ve Zamagni, A., 2017. Consequential Life Cycle Assessment: What, How, and Why? *Encyclopedia of Sustainable Technologies*, 277–284. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-409548-9.10068-5>
- Briffa, J., Sinagra, E., ve Blundell, R., 2020. Heavy Metal Pollution in The Environment and Their Toxicological Effects on Humans. *Heliyon*, 6(9): e04691.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04691>

- Büyükkamacı, N., Erdem, S. B., ve Birol, Ş., 2023. Hazır Giyim Sektöründe Temiz Üretim Uygulamalarının Çevresel Kazanımlarının Araştırılması. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 29(6): 628-635. <https://doi.org/10.5505/pajes.2022.13794>
- Cañizares, P., Martínez, F., Jiménez, C., Sáez, C., ve Rodrigo, M., A., 2009. Technical and Economic Comparison of Conventional and Electrochemical Coagulation Processes. Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology, 84(5): 702-710. <https://doi.org/10.1002/jctb.2102>
- Capar, G., Yilmaz, L., ve Yetis, U., 2008. A Membrane-Based Co-Treatment Strategy for The Recovery of Print- and Beck-Dyeing Textile Effluents. Journal of Hazardous Materials, 152(1): 316–323. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.06.100>
- Case, L., Mendicino, L., ve Thomas, D., 1995. Developing and Maintain A Pollution Prevention Program. In: Freeman, H.M. (Ed.), Industrial Pollution Prevention Handbook. McGraw-Hill, New York, s. 99-120.
- CEBSDS (Brazilian Business Council for Sustainable Development), (2003). Guia da produção mais Limpa efaça você mesmo. <http://www.pmaisl.com.br/publicacoes/guia-da-pmaisl.pdf> (Silva ve ark. (2013) tarafından 16.01.2012 tarihli erişim).
- CETESB (Company of Environmental Sanitation Technology of the Sao Paulo State), 2002. Manual para implementação de um programa de Prevenção à Poluição, fourthed.. http://www.cetesb.sp.gov.br/tecnologia/producao_limpa/documentos/manual_implem.pdf (Silva ve ark. (2013) tarafından 16.01.2012 tarihli erişim).
- Chan, S. S., ve Wu, J. H., 2022. Municipal-to-Industrial Water Reuse via Multi-Stage and Multi-Pass Reverse Osmosis Systems: A Step from Water Scarcity Towards Sustainable Development. Water, 14(3): 362. <https://doi.org/10.3390/w14030362>
- Chang, H., Liu, B., Yang, B., Yang, X., Guo, C., He, Q., ... ve Yang, P., 2019. An Integrated Coagulation-Ultrafiltration-Nanofiltration Process for Internal Reuse of Shale Gas Flowback and Produced Water. Separation and Purification Technology, 211, 310-321. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.09.081>
- Chapagain, A. K., Hoekstra, A. Y., Savenije, H. H., ve Gautam, R., 2006. The Water Footprint of Cotton Consumption: An Assessment of The Impact of Worldwide Consumption of Cotton Products on The Water Resources in The Cotton Producing Countries. Ecological Economics, 60(1): 186-203. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.11.027>
- Chauhan, D., Xu, C., Chen, D., Kubley, A., Brandewie, B., Hou, G., ... ve Shanov, V. N., 2019. Introduction to Carbon Nanotube Hybrid Textiles. Journal of Textile Science & Fashion Technology, 1: 1-7. <https://doi.org/10.33552/JTSFT.2019.01.000525>
- Chavan, R. B., 2018. Thirsty Textile and Fashion Industry PART I: Water Distribution on Earth and Virtual Water, Water Footprint Concepts. Trends in Textile ve Fash Design 2 (5): 249-270. <https://doi.org/10.32474/LTTFD.2018.02.000150>. 249.

- Chen, B., Qian, W., Yang, Y., Liu, H., & Wang, L. 2021a. Carbon Footprint and Water Footprint of Cashmere Fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 4(148): 94-99. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0014.8235>
- Chen, F., Shen, Y., Liu, S., Yang, Y., ve Wang, L., 2021b. Water Footprint of Textile Industry: A Case Study of China. *Environmental Engineering & Management Journal*, 20(2): 237-245
- Chen, F., Zhu, J., Yang, Y., ve Wang, L., 2020. Assessing Environmental Impact of Textile Production With Water Alkalization Footprint. *Science of The Total Environment*, 719: 137522. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137522>
- Chen, S., Chen, F., Zhu, L., Li, Q., Wang, X., ve Wang, L., 2023b. A Spatial Water Footprint Assessment of Recycled Cotton T-Shirts: Case of Local Impacts in Selected China Provinces. *Sustainability*, 15(1): 817. <https://doi.org/10.3390/su15010817>
- Chen, Z., Zhou, L., Jia, C., ve Guo, X., 2023a. Effect of Mandatory Cleaner Production Audits on Manufacturing Firms' Environmental Efficiency in China: Renovation or Innovation?. *Journal of Cleaner Production*, 417: 137855. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137855>
- Chico, D., Aldaya, M. M., ve Garrido, A., 2013. A Water Footprint Assessment of A Pair of Jeans: The Influence of Agricultural Policies on The Sustainability of Consumer Products. *Journal of Cleaner Production*, 57: 238-248. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.06.001>
- Choe, E. K., Son, E. J., Lee, B. S., Jeong, S. H., Shin, H. C., ve Choi, J. S., 2005. NF Process for The Recovery of Caustic Soda and Concentration of Disodium Terephthalate from Alkaline Wastewater from Polyester Fabrics. *Desalination*, 186(1-3): 29-37. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.04.056>
- Choudhury, A. K. R., 2017. *Principles of Textile Finishing*. Woodhead Publishing. ISBN:978-0-08-100661-0.
- Christian, D., Gaekwad, A., Dani, H., Shabiimam, M. A., ve Kandya, A., 2023. Recent Techniques of Textile Industrial Wastewater Treatment: A Review. *Materials Today: Proceedings*, 77: 277-285. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.11.301>
- Chukalla, A. D., Krol, M. S., ve Hoekstra, A. Y., 2015. Green and Blue Water Footprint Reduction in Irrigated Agriculture: Effect of Irrigation Techniques, Irrigation Strategies and Mulching. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(12): 4877-4891. <https://doi.org/10.5194/hess-19-4877-2015>
- Ciroth, A., Franze, J., ve Berlin, G., 2009. Life Cycle Costing in SimaPRO. Greendelta TC, August. https://www.to-be.it/wp-content/uploads/2015/07/LCCinSimaPro_english.pdf. [Son erişim tarihi: 14.07.2021]
- Couto, C. F., Moravia, W. G., ve Amaral, M. C. S., 2017. Integration of Microfiltration and Nanofiltration to Promote Textile Effluent Reuse. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 19: 2057–2073. <https://doi.org/10.1007/s10098-017-1388-z>

- Ćurić, I., Dolar, D., ve Bosnjak, J., 2021b. Reuse Of Textile Wastewater For Dyeing Cotton Knitted Fabric With Hybrid Treatment: Coagulation/Sand Filtration/UF/NF-RO. *Journal of Environmental Management*, 295, 113133. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113133>
- Ćurić, I., Dolar, D., ve Karadakić, K., 2021a. Textile Wastewater Reusability in Knitted Fabric Washing Process Using UF Membrane Technology. *Journal of Cleaner Production*, 299: 126899. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126899>
- Çankaya, S., 2023. Evaluation of The Impact of Water Reclamation on Blue and Grey Water Footprint in A Municipal Wastewater Treatment Plant. *Science of The Total Environment*, 903, 166196. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166196>
- Çavuşoğlu, B., ve Ekmekyapar, F., 2019. Mevcut En İyi Teknikler (MET) Kapsamında Tekstil Endüstrisinde Kostik Geri Kazanımının Değerlendirilmesi. *European Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2(1): 6-10. ISSN: 2651-3412.
- Çevre Kanada, 2009. Pollution Prevention Handbook. <http://www.ec.gc.ca/planp2-p2plan/default.asp?lang¼Enven¼56875F44-1> (Silva ve ark. (2013) tarafından 31.08.2012 tarihli erişim).
- Çuhadar, M., ve Atış, E., 2019. Drought Analysis in Ceyhan Basin Using Standardized Precipitation Index. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 9(4): 2303-2312. <https://doi.org/10.21597/jist.544432>
- da Silva, F. J. G., ve Gouveia, R. M., 2020. *Cleaner Production: Toward a Better Future*. Springer International Publishing, Switzerland. ISBN: 978-3-030-23164-4. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-23165-1>
- da Silva, P. C., de Oliveira Neto, G. C., Correia, J. M. F., ve Tucci, H. N. P., 2021. Evaluation of Economic, Environmental and Operational Performance of The Adoption of Cleaner Production: Survey in Large Textile Industries. *Journal of Cleaner Production*, 278: 123855. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123855>
- Dal, A., Yesil, E. S., Öztürk, E., ve Kitis, M., 2024. Investigation of Water and Carbon Footprint Reductions Employing Best Available Techniques in The Textile Sector. *Journal of Cleaner Production*, 466: 142913. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142913>
- Dalari, B. L. S. K., Giroletti, C. L., Dalri-Cecato, L., Domingos, D. G., ve Hassemer, M. E. N., 2020. Application of Heterogeneous Photo-Fenton Process Using Chitosan Beads for Textile Wastewater Treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(4): 103893. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.103893>
- Dasgupta, J., Sikder, J., Chakraborty, S., Curcio, S., ve Drioli, E., 2015. Remediation of Textile Effluents by Membrane Based Treatment Techniques: A State of The Art Review. *Journal of Environmental Management*, 147: 55-72. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.08.008>

- de Aguiar, C. R. L., Ulson de Souza, A. A., ve de Souza, S. M. A. G. U., 2021. Dye Adsorption and Intensity in Bobbin Crusade in Dyeing Mixed Acrylic and Cotton Yarn. *The Journal of The Textile Institute*, 112(1): 64-70. <https://doi.org/10.1080/00405000.2020.1838757>
- de Melo Duarte Borges, T., Ganga, G. M. D., Godinho Filho, M., Delai, I., ve Santa-Eulalia, L. A., 2024. Cleaner Production Practices, Implementation Concerns and Measurement: A Systematic Literature Review. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 31(3): 2402-2423. <https://doi.org/10.1002/csr.2693>
- de Oliveira Neto G. C., Ferreira Correia, J. M., Pujol Tucci, H. N., da Silva, P. C., ve Silva, D. D., 2021. Relationship Between Cleaner Production Practices and Company Size in the Brazilian Textile Industry. *Environmental Engineering ve Management Journal*, 20(2): 203-216. http://www.eemj.icpm.tuiasi.ro/pdfs/vol20/no2/Full/5_462_Neto_19.pdf
- de Oliveira Neto, G. C. D., Tucci, H. N. P., Correia, J. M. F., da Silva, P. C., da Silva, V. H. C., ve Ganga, G. M. D., 2020. Assessing The Implementation of Cleaner Production and Company Sizes: Survey in Textile Companies. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 15: 1558925020915585. <https://doi.org/10.1177/1558925020915585>
- de Oliveira Neto, G. C., Correia, J. M. F., Silva, P. C., De Oliveira Sanches, A. G., ve Lucato, W. C., 2019. Cleaner Production in The Textile Industry and Its Relationship to Sustainable Development Goals. *Journal of Cleaner Production*, 228: 1514-1525. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.334>
- de Oliveira Neto, G. C., Correia, J. M. F., Tucci, H. N. P., Librantz, A. F. H., Giannetti, B. F., ve de Almeida, C. M. V. B., 2022. Sustainable Resilience Degree Assessment of The Textile Industrial By Size: Incremental Change in Cleaner Production Practices Considering Circular Economy. *Journal of Cleaner Production*, 380: 134633. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134633>
- de Oliveira Neto, G.C.; ve de Sousa, W.C., 2014. Economic and Environmental Advantage Evaluation of The Reverse Logistic Implementation in the Supermarket Retail. *Advances in Production Management Systems. Innovative and Knowledge-Based Production Management in A Global-Local World*, 197-204. https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-662-44736-9_24.pdf [Son erişim tarihi: 31.08.2024]
- de Oliveira, J. A., Silva, D. A. L., Guardia, M., do Nascimento Gambi, L., de Oliveira, O. J., ve Ometto, A. R., 2017. How Can Cleaner Production Practices Contribute to Meet ISO 14001 Requirements? Critical Analysis from A Survey With Industrial Companies. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 19: 1761-1774. <https://doi.org/10.1007/s10098-017-1363-8>
- Dehghani, M. H., Karimi, B., ve Rajaei, M. S., 2016. The Effect of Aeration on Advanced Coagulation, Flotation and Advanced Oxidation Processes for Color Removal from

- Wastewater. Journal of Molecular Liquids, 223: 75-80.
<https://doi.org/10.1016/j.molliq.2016.08.019>
- Demirer, G. N., 2017. Pratik Yaşam Döngüsü Analizi Kılavuzu AB Sürecinde İşletmeler ve Kamu İçin Yaşam Döngüsü Analizi Yöntem ve Örnekleri. Sürdürülebilir Üretim ve Tüketim Yayınları-1, 44s. ISBN: 978-975-6180-42-6.
- Dhouib, S., Khedher, F., ve Sakli, F., 2016. A New Approach to Predict The Fabric Shrinkage in Denim Garments After Finishing Treatments. The Journal of The Textile Institute, 107(3): 364-375. <http://dx.doi.org/10.1080/00405000.2015.1034928>
- Dikbaş, F., ve Mezarcıöz, S., 2019. Tekstilde Yaşam Döngüsü Analizi. Çukurova Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 38: 107-113.
- Dilaver, M., Hocaoglu, S. M., Soydemir, G., Dursun, M., Keskinler, B., Koyuncu, İ., ve Ağtaş, M., 2018. Hot Wastewater Recovery by Using Ceramic Membrane Ultrafiltration and Its Reusability in Textile Industry. Journal of Cleaner Production, 171: 220–233.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.015>
- Dilaver, M., Soydemir, G., Dursun, M., Hocaoglu, S.M., Keskinler, B., Ağtaş, M., ve Alp, K., 2023. Highly Alkali Caustic Discharges Recovery Using Tubular and Disc Type of Ceramic Membranes and Its Applicability as A Near Zero Liquid Discharge Opportunity in The Textile Industry. Journal of Environmental Chemical Engineering, 11(6): 111351.
<https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.111351>
- Ding, Q., ve Zhang, P., 2021. Research on Cleaner Production Process of Nano-cellulose and Its Application in Paper Strengthening. In Journal of Physics: Conference Series, 1885(2): 022018. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1885/2/022018>
- Djordjevic, S., Kovacevic, S., Djordjevic, D., ve Konstantinovic, S., 2019. Sizing Process of Cotton Yarn by Size From A Copolymer of Methacrylic Acid and Hydrolyzed Potato Starch. Textile Research Journal, 89(17):3457-3465. <https://doi.org/10.1177/0040517518813628>
- Dobes, V., 2013. New Tool for Promotion of Energy Management and Cleaner Production on No Cure, No Pay Basis. Journal of Cleaner Production, 39: 255-264.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.08.007>
- Dong, L., Li, Y., Wang, P., Feng, Z., ve Ding, N., 2018. Cleaner Production of Monosodium Glutamate in China. Journal of Cleaner Production, 190: 452-461.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.098>
- DSİ, 2020. DSİ 2020 Yılı Resmi Su Kaynakları İstatistikleri, 1.2. Havzalara Göre Yıllık Ortalama Yüzeysuyu Su Potansiyeli, 2013-2020. <https://dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/1499>. [Son erişim tarihi: 09.04.2022]
- Duru Baykal, P., ve Kumaş, Z., 2021. Eğirme Türünün Haşıl Sonrası İplik Özelliklerine Etkisi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 36(2): 389-399.
<https://doi.org/10.21605/cukurovaumfd.982789>

- Elfeky, E. M., Shehata, M. R., Elbashar, Y. H., Barakat, M. H., ve El Roubly, W. M., 2022. Developing The Sensing Features of Copper Electrodes as An Environmental Friendly Detection Tool for Chemical Oxygen Demand. *RSC Advances*, 12(7): 4199-4208. <https://doi.org/10.1039/d1ra09411d>
- El-Sayed, G. A., Diaa, M., ve Hassabo, A. G., 2021. Potential Uses of Aloe Veraextractionin Finishing and Textile Wet Process. *Journal of Textiles, Coloration and Polymer Science*, 18(2): 159-169. <https://doi.org/10.21608/jtcps.2021.79784.1065>
- EMD Millipore, 2014. VmaxTM Constant Pressure Test. Protocol PR1326EN00 Rev A. EMD Millipore Corporation, Germany.
- Erdil, E., 1998. *Organik Kimyada Spektroskopik Yöntemler*. Gazi Kitabevi. Ankara. 531s. ISBN 975-7313-04-1
- Ersoy, Ö., ve Özbay, M., 2023. Marmara Bölgesinde Bulunan Organize Sanayi Bölgelerinin Atık Su Arıtma Tesislerinde Oluşan Arıtma Çamurlarının Enerji Kaynağı Olarak Kullanımının Değerlendirilmesi. *Bilim Armonisi*, 6(1): 64-81. <https://doi.org/10.37215/bilar.1246638>
- Eryildiz, B., Ozbey-Unal, B., Menciloglu, Y. Z., Keskinler, B., ve Koyuncu, I., 2023. Development of Robust Superhydrophobic PFA/TMI/PVDF Membrane by Electrospinning/Electrospraying Techniques for Air Gap Membrane Distillation. *Journal of Applied Polymer Science*, 140(12): 53635. <https://doi.org/10.1002/app.53635>
- Ewaid, S. H., Abed, S. A., ve Al-Ansari, N., 2019. Water Footprint of Wheat in Iraq. *Water*, 11(3): 535. <https://doi.org/10.3390/w11030535>
- Fan, Y., Zhang, F., ve Zhu, L., 2021. Do Family Firms Invest More in Pollution Prevention Strategy Than Non-Family Firms? An Integration of Agency and Institutional Theories. *Journal of Cleaner Production*, 286: 124988. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124988>
- Feng, X., Sun, L., Wang, X., ve Wang, L., 2022. A Single-Indicator Approach to Assessing the Water Footprint of Zhejiang's Textile Industry. *Polish Journal of Environmental Studies*, 31(6): 5683-5691. <https://doi.org/10.15244/pjoes/150641>
- Fersi, C., Gzara, L., ve Dhahbi, M., 2005. Treatment of Textile Effluents by Membrane Technologies. *Desalination*, 185(1-3): 399-409. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.03.087>
- Fidan, F. Ş., Aydoğan, E. K., ve Uzal, N., 2021. Multi-dimensional Sustainability Evaluation of Indigo Rope Dyeing with a Life Cycle Approach and Hesitant Fuzzy Analytic Hierarchy Process. *Journal of Cleaner Production*, 309: 127454. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127454>
- Finnveden, G., Hauschild, M. Z., Ekvall, T., Guinée, J., Heijungs, R., Hellweg, S., Koehler, A., Pennington, D., ve Suh, S., 2009. Recent Developments in Life Cycle Assessment. *Journal of Environmental Management*, 91(1): 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.06.018>

- Forin, S., Mikosch, N., Berger, M., ve Finkbeiner, M., 2020. Organizational Water Footprint: A Methodological Guidance. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 25: 403-422. <https://doi.org/10.1007/s11367-019-01670-2>
- Franke, N. A., Boyacioglu, H., Hoekstra, A. Y., 2013. Grey Water Footprint Accounting: Tier 1 Supporting Guidelines. Value of Water Research Report Series No. 65 Delft, The Netherlands: UNESCO-IHE Institute for Water Education.
- Fu, S., Hinks, D., Hauser, P., ve Ankeny, M., 2013. High Efficiency Ultra-Deep Dyeing of Cotton Via Mercerization and Cationization. *Cellulose*, 20(6): 3101-3110. <https://doi.org/10.1007/s10570-013-0081-6>
- Fytli, D., ve Zabaniotou, A., 2008. Utilization of Sewage Sludge in EU Application of Old and New Methods—A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(1): 116-140. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.05.014>
- Garcia, B., 2015. Reduced Water Washing of Denim Garments. *Denim, Manufacture, Finishing and Applications. Woodhead Publishing Series in Textiles*, s. 405-423. <https://doi.org/10.1016/B978-0-85709-843-6.00013-5>
- Garcia, B., 2015. Reduced Water Washing of Denim Garments. *Denim*, 405-423. <https://doi.org/10.1016/B978-0-85709-843-6.00013-5>
- Gerbens-Leenes, P. W., Mekonnen, M. M., ve Hoekstra, A. Y., 2013. The Water Footprint of Poultry, Pork and Beef: A Comparative Study in Different Countries and Production Systems. *Water Resources and Industry*, 1(2): 25–36. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2013.03.001>
- Gergin, M. N., ve Cuci, Y., 2017. Tekstil Atıksularının Membran Filtrasyon Yöntemleri ile Geri Kazanımı. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(3): 96–105. <https://doi.org/10.17780/ksujes.340791>
- Germirli Babuna, F., Baş, B., Atılğan Türkmen, B., Elginöz Kanat, N., 2023. Türk Endüstrisi için Temiz Üretim ve Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Örnekleri. *Çevre, İklim ve Sürdürülebilirlik*, 24(2): 55–64.
- Gmelin, H., ve Seuring, S., 2014. Achieving Sustainable New Product Development by Integrating Product Life-Cycle Management Capabilities. *International Journal of Production Economics*, 154: 166-177. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.04.023>
- Guan, Y., Grote, K., Schott, J., ve Leverett, K., 2022. Prediction of Soil Water Content and Electrical Conductivity Using Random Forest Methods with UAV Multispectral and Ground-Coupled Geophysical Data. *Remote Sensing*, 14(4): 1023. <https://doi.org/10.3390/rs14041023>
- Guo, T., Englehardt, J., ve Wu, T., 2013. Review of Cost Versus Scale: Water and Wastewater Treatment and Reuse Processes. *Water Science and Technology*, 69(2): 223–234. <https://doi.org/10.2166/wst.2013.734>

- Gupta, V. K., Pathania, D., Agarwal, S., ve Singh, P., 2012. Adsorptional Photocatalytic Degradation of Methylene Blue Onto Pectin–CuS Nanocomposite Under Solar Light. *Journal of Hazardous Materials*, 243: 179-186. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.10.018>
- Gül, M., ve Yaman, K., 2021. Türkiye’de Atık Yönetimi ve Sıfır Atık Projesinin Değerlendirilmesi: Ankara Örneği. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 35(4): 1267-1296. <https://doi.org/10.16951/atauniiibd.870434>
- Güneş, E., ve Gönder, Z. B., 2021. Evaluation of the Hybrid System Combining Electrocoagulation, Nanofiltration and Reverse Osmosis for Biologically Treated Textile Effluent: Treatment Efficiency and Membrane Fouling. *Journal of Environmental Management*, 294: 113042. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113042>
- Güyer, G. T., Nadeem, K., ve Dizge, N., 2016. Recycling of Pad-Batch Washing Textile Wastewater Through Advanced Oxidation Processes and Its Reusability Assessment for Turkish Textile Industry. *Journal of Cleaner Production*, 139: 488–494. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.009>
- Haddadin, M. J., 2003. Exogenous Water: A Conduit to Globalization of Water Resources. In *Virtual Water Trade: Proceedings of The International Expert Meeting on Virtual Water Trade*. Value of Water Research Report Series (No. 12, s. 159-169).
- Hadibarata, T., 2019. Teaching Green Engineering Principles and Application Through Active Learning. *International Journal of Indonesian Education and Teaching*. 3(2): 194-203. <https://doi.org/10.24071/ijiet.2019.030207>
- Haghi, A., Vahedi, A., Shekarchi, A., ve Kamran, A., 2017. Correlation of Serum Intercellular Adhesion Molecule 1 and Vascular Endothelial Growth Factor With Tumor Grading and Staging in Breast Cancer Patients. *Journal of Cancer Research and Therapeutics*, 13(2): 57-61. <https://doi.org/10.4103/0973-1482.204894>
- Haindl, S., Stark, J., Dippel, J., Handt, S., ve Reiche, A., 2020. Scale-up of Microfiltration Processes. *Chemie Ingenieur Technik*, 92(6): 746-758. <https://doi.org/10.1002/cite.201900025>
- Haque, M., 2022. Comparative Study Between Slasher or Sheet Denim and Rope Denim. *Journal of Fashion Technology & Textile Engineering*, 11(3): 1-8. <https://doi.org/10.4172/2329-9568.1000248>
- Harding, K. G., 2019. And Now to Confuse You! How is The Public Expected to Understand Water Footprinting Metrics?. *Procedia Manufacturing*, 35: 731-736. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.016>
- Hasani, K., Moradi, M., Mokhtari, S. A., Dargahi, A., ve Vosoughi, M., 2021. Degradation of Basic Violet 16 Dye by Electro-Activated Persulfate Process from Aqueous Solutions and Toxicity Assessment Using Microorganisms: Determination of By-Products, Reaction Kinetic and Optimization Using Box–Behnken Design. *International Journal of Chemical Reactor Engineering*, 19(3): 261-275. <https://doi.org/10.1515/ijcre-2020-0226>

- Hassabo, A. G., Hegazy, B. M., Elmorsy, H., Gamal, N., Sediek, A., Saad, F., ve Othman, H., 2023. Denim Manufacturing and Washing as A Fashioned Garments. *Journal of Textiles, Coloration and Polymer Science*, 20(2): 203-216. <https://doi.org/10.21608/jtcps.2023.216811.1187>
- Heck, K. N., Garcia-Segura, S., Westerhoff, P., ve Wong, M. S., 2019. Catalytic Converters for Water Treatment. *Accounts of Chemical Research*, 52(4): 906–915. <https://doi.org/10.1021/acs.accounts.8b00642>
- Heijungs, R., Guinée, J. B., Huppes, G., Lankreijer, R. M., Udo de Haes, H. A., ve Wegener Sleeswijk, A., 1992. Environmental Life Cycle Assessment of Products. Centre of Environmental Science, Leiden, The Netherlands.
- Hellweg, S., ve Mila i Canals, L., 2014. Emerging Approaches, Challenges and Opportunities in Life Cycle Assessment. *Science*, 344(6188): 1109-1113. <https://doi.org/10.1126/science.124836>
- Hengstermann, M., Hasan, M. M. B., Scheffler, C., Abdkader, A., ve Cherif, C., 2021. Development of A New Hybrid Yarn Construction from Recycled Carbon Fibres for High-Performance Composites. Part III: Influence of Sizing on Textile Processing and Composite Properties. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 34(3): 409-430. <https://doi.org/10.1177/0892705719847240>
- Hens, L., Block, C., Cabello-Eras, J. J., Sagastume-Gutierrez, A., Garcia-Lorenzo, D., Chamorro, C., ... ve Vandecasteele, C., 2018. On The Evolution of “Cleaner Production” as A Concept and A Practice. *Journal of Cleaner Production*, 172: 3323-3333. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.082>
- Herrmann, I. T., ve Moltesen, A., 2015. Does it Matter Which Life Cycle Assessment (LCA) Tool You Choose?—A Comparative Assessment of SimaPRO and GaBi. *Journal of Cleaner Production*, 86: 163-169. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.08.004>
- Hoekstra A.Y., Chapagain A.K., Aldaya M.M., Mekonnen M.M., 2009. Water Footprint Manual: State of The Art 2009. Water Footprint Network, Enschede, The Netherlands.
- Hoekstra, A. Y., 2003. Virtual Water: An Introduction. Virtual Water Trade, Value of Water Research Report Series No. 12, DA Delft, The Netherlands, s. 13-23.
- Hoekstra, A. Y., 2015. The Water Footprint of Industry. In *Assessing and Measuring Environmental Impact And Sustainability*. Butterworth-Heinemann, 221-254 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-799968-5.00007-5>
- Hoekstra, A. Y., 2016. A Critique on The Water-Scarcity Weighted Water Footprint in LCA. *Ecological Indicators*, 66: 564-573. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.02.026>.
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Mekonnen, M. M., ve Aldaya, M. M., 2011. *The Water Footprint Assessment Manual: Setting The Global Standard*. Routledge.

- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., ve Oel, P. R. Van., 2017. Advancing Water Footprint Assessment Research: Challenges in Monitoring Progress Towards Sustainable Development Goal 6. *Water*, 9(6), 438. <https://doi.org/10.3390/w9060438>
- Hoekstra, A. Y., ve Mekonnen, M. M., 2012. The Water Footprint of Humanity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(9): 3232–3237. <https://doi.org/10.1073/pnas.1109936109>
- Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., 2008. *Globalization of Water: Sharing the Planet's Freshwater Resources*; Wiley-Blackwell: Hoboken, NJ, USA, s. 220.
- Hoekstra, A.Y., Hung, P., 2002. *Virtual Water Trade: A Quantification of Virtual Water Flows Between Nations in Relation to International Crop Trade*. Value of Water Research Report Series No. 11. UNESCO-IHE Institute for Water Education.
- Holkar, C., R., Jadhav, A., J., Pinjari, D., V., Mahamuni, N., M., ve Pandit, A., B., 2016. A Critical Review on Textile Wastewater Treatments: Possible Approaches. *Journal of Environmental Management*, 182: 351-366. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.07.090>
- Hoque, E., ve Faysal, G. M., 2019. Study on Waterless Chemical Effect on Indigo Rope Dyeing. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 10(10): 1409-1413. ISSN 2229-5518.
- Hossain, L., ve Khan, M. S., 2017. Blue and Grey Water Footprint Assessment of Textile Industries of Bangladesh. In 5th International Conference on Chemical Engineering, Energy, Environment, and Sustainability, Dhaka, Bangladesh, s. 437-449.
- Hossain, L., ve Khan, M. S., 2020. Water Footprint Management for Sustainable Growth in The Bangladesh Apparel Sector. *Water*, 12(10): 2760. <https://doi.org/10.3390/w12102760>
- Hussein, F. H., 2013. Chemical Properties of Treated Textile Dyeing Wastewater. *Asian Journal of Chemistry*, 25(16). <https://doi.org/10.14233/ajchem.2013.15909A>
- Imran, B., Khan, S. J., Qazi, I. A., ve Arshad, M., 2016. Removal and Recovery of Sodium Hydroxide (NaOH) from Industrial Wastewater by Two-stage Diffusion Dialysis (DD) and Electrodialysis (ED) Processes. *Desalination and Water Treatment*, 57(17): 7926-7932. <https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1048742>
- ISO 14046, 2014. International Organization for Standardization. *Environmental Management: Water Footprint--Principles, Requirements and Guidelines*. International Organization for Standardization.
- Işık, O., Batyrow, M., Abdelrahman, A., M., Orman, I., Ozgun, H., Ersahin, M., E., ... ve Koyuncu, I., 2021. Dynamic Membrane Bioreactor Performance for Treatment of Municipal Wastewaters at Different Sludge Concentrations. *Environmental Technology & Innovation*, 22, 101452. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101452>
- Işık, O., Erbil, M. C., Abdelrahman, A. M., Ersahin, M. E., Koyuncu, I., Ozgun, H., ve Demir, I., 2022. Removal of Micropollutants from Municipal Wastewater by Membrane Bioreactors:

- Conventional Membrane Versus Dynamic Membrane. *Journal of Environmental Management*, 303, 114233. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114233>
- Jain, S. N., Shaikh, Z., Mane, V. S., Vishnoi, S., Mawal, V. N., Patel, O. R., ... ve Gaikwad, M. S., 2019. Nonlinear Regression Approach for Acid Dye Remediation Using Activated Adsorbent: Kinetic, Isotherm, Thermodynamic and Reusability Studies. *Microchemical Journal*, 148:605–15. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.05.024>
- Janjua, S. Y., Sarker, P. K., ve Biswas, W. K., 2020. Development of Triple Bottom Line Indicators for Life Cycle Sustainability Assessment of Residential Bulidings. *Journal of Environmental Management*, 264: 110476. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110476>
- Jansson, C., 2022. Can Green Producers Achieve Strong Profitability without Engaging in High-Risk Activities? *Management Decision*, 60: 13–104. <https://doi.org/10.1108/MD-08-2021-1090>
- Jasch, C., 2015. Governmental Initiatives: The UNIDO (United Nations Industrial Development Organization) TEST Approach. *Journal of Cleaner Production*, 108: 1375-1377. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.019>
- Jeswani, H. K., ve Azapagic, A., 2011. Water Footprint: Methodologies and A Case Study for Assessing The Impacts of Water Use. *Journal of Cleaner Production*, 19(12): 1288-1299. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.04.003>
- Jin, K., Zhang, S., Yang, Y., Chen, X., Wang, S., Li, T., ve Wang, Y., 2023. Evaluation of Water-Carbon-Ecological Footprints and Its Spatial–Temporal Pattern in The Central Plains Urban Agglomeration. *Ecological Indicators*, 155, 110982. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110982>
- Judd, S., J., 2017. Membrane Technology Costs and Me. *Water Research*, 122, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.05.027>
- Kabish, A. K., 2023. Textile and Clothing Production and Trading-The Way to Industrial Economy Development. *Ethiopian Journal of Science and Technology*, 16: 1-12. <https://dx.doi.org/10.4314/ejst.v16iSpecial.1>
- Keramati, N., Moheb, A., ve Ehsani, M. R., 2010. Effect of Operating Parameters on NaOH Recovery from Waste Stream of Merox Tower Using Membrane Systems: Electrodialysis and Electrodeionization Processes. *Desalination*, 259(1-3): 97-102. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.04.027>
- Khan, Y., ve Ali, Y., 2024. Analysis of Water Footprint and Sustainability of the Cotton Supply Chain in Pakistan. *Water Conservation Science and Engineering*, 9(1): 18. <https://doi.org/10.1007/s41101-024-00252-0>
- Khan, Z., 2008. Cleaner Production: An Economical Option For ISO Certification in Developing Countries. *Journal of Cleaner Production*, 16(1): 22-27. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.06.007>

- Kır, A., Şimşek, E., Öztürk, E., ve Kitiş, M., 2022. İyon Değiştirme Prosesi Kullanan Su Yumuşatma Sistemlerinde TOPSIS Karar Verme Modeliyle Mevcut En İyi Tekniklerin Seçimi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 26(1): 141-152. <https://doi.org/10.19113/sdufenbed.992894>
- Kırtorun, E., ve Karaer, F., 2018. Su Yönetimi ve Suyun Sürdürülebilirliği. Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi, 1(2): 151-159.
- Kishor, R., Purchase, D., Saratale, G. D., Saratale, R. G., Ferreira, L. F. R., Bilal, M., ... ve Bharagava, R. N., 2021. Ecotoxicological and Health Concerns of Persistent Coloring Pollutants of Textile Industry Wastewater and Treatment Approaches for Environmental Safety. Journal of Environmental Chemical Engineering, 9(2): 105012. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.105012>.
- Klemeš J. J., 2015. Assessing and Measuring Environmental Impact and Sustainability. Butterworth-Heinemann, Elsevier Ltd., Oxford, UK. ISBN: 978-0-12-799968-5
- Koç, E., ve Ayyıldız, Ç., 2005. Denim Kumaşların Üretim Esasları, Dünya ve Türkiye'deki Ticaret Durumu. Tekstil ve Mühendis, 12(60): 35-42.
- Konar, M., ve Marston, L., 2020. The Water Footprint of The United States. Water, 12(11): 1–21. <https://doi.org/10.3390/w12113286>
- Koyuncu, İ. ve Şengür-Taşdemir, R., 2018a. Konsantrasyon Polarizasyonu ve Tıkanma. (İ. Koyuncu editör). Su/Atıksu Arıtılması ve Geri Kazanılmasında Membran Teknolojileri ve Uygulamaları. Yıldız Ofset Matbaa, İstanbul, s.135-180.
- Koyuncu, İ., Korkut, S., Türken, T., ve Köşe-Mutlu, B., 2018b. Membran Teknolojilerinde Maliyet. (İ. Koyuncu editör). Su/Atıksu Arıtılması ve Geri Kazanılmasında Membran Teknolojileri ve Uygulamaları. Yıldız Ofset Matbaa, İstanbul, s.1161-1240.
- Koyuncu, İ., Türken, T., Güçlü, S ve Kaya, R., 2018c. Membran Teknolojilerinde İşletme ve Bakım. (İ. Koyuncu editör). Su/Atıksu Arıtılması ve Geri Kazanılmasında Membran Teknolojileri ve Uygulamaları. Yıldız Ofset Matbaa, İstanbul, s.1263-1330.
- Kulshreshtha, N. M., Kumar, A., Dhall, P., Gupta, S., Bisht, G., Pasha, S., ... ve Kumar, R., 2010. Neutralization of Alkaline Industrial Wastewaters Using Exiguobacterium sp. International Biodeterioration & Biodegradation, 64(3): 191-196. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2010.01.003>
- Kumar, K. R., Shyamala, G., Awoyera, P. O., Vedhasakthi, K., ve Olalusi, O. B., 2021a. Cleaner Production of Self-Compacting Concrete with Selected Industrial Rejects-An Overview. Silicon, 13: 2809-2820. <https://doi.org/10.1007/s12633-020-00636-6>
- Kumar, L., Naqvi, S. A., Deitch, M. J., Khalid, M. J., Naeem, K., Qayyum Amjad, A., ... ve Arshad, M., 2024. Opportunities and Constraints for Cleaner Production Policy in The Developing World: A Case Study of Sindh Region, Pakistan. Environment, Development and Sustainability, 26(2): 4391-4434. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02889-0>

- Kumar, P. S., Prasanth, S. M., Harish, S., Rishikesh, M., 2021b. Industrial Water Footprint: Case Study on Textile Industries. In: Muthu, S.S. (eds) Water Footprint. Environmental Footprints and Eco-design of Products and Processes. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-33-4377-1_2
- Kundu, S., Bhatnagar, V., Pathak, N., ve Undey, C., 2019. Chemical Engineering Principles in Biologics: Unique Challenges and Applications. (David J. am Ende, Mary T. am Ende editors) Chemical Engineering in The Pharmaceutical Industry. Active Pharmaceutical Ingredients, John Wiley ve Sons, U.S., s.387-416. <https://doi.org/10.1002/9781119600800.ch17>
- Kutluay, G., 2005. Boya Endüstrisi Atıksularının Kimyasal Arıtılabilirliği. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 140 s.
- Lara, L., Cabral, I., ve Cunha, J., 2022. Ecological Approaches to Textile Dyeing: A Review. Sustainability, 14(14): 8353. <https://doi.org/10.3390/su14148353>
- Lathuillière, M. J., Coe, M. T., Castanho, A., Graesser, J., ve Johnson, M. S., 2018. Evaluating Water Use For Agricultural Intensification in Southern Amazonia Using The Water Footprint Sustainability Assessment. Water, 10(4): 349. <https://doi.org/10.3390/w10040349>
- Le Marechal, A. M., Križanec, B., Vajnhandl, S., ve Valh, J. V., 2012. Textile Finishing Industry as An Important Source of Organic Pollutants. In Organic Pollutants Ten Years After The Stockholm Convention-Environmental and Analytical Update (s. 29-54). Rijeka: Intech Open. <https://doi.org/10.5772/32272>
- Lebron, Y. A. R., Moreira, V. R., Maia, A., Couto, C. F., Moravia, W. G., ve Amaral, M. C. S., 2021. Integrated Photo-Fenton and Membrane-Based Techniques For Textile Effluent Reclamation. Separation and Purification Technology, 272: 118932. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2021.118932>
- Li, K., Liu, Q., Fang, F., Wu, X., Xin, J., Sun, S., Wei, Y., Ruan, R., Chen, P., Wang, Y., ve Addy, M., 2020. Influence of Nanofiltration Concentrate Recirculation on Performance and Economic Feasibility of A Pilot-Scale Membrane Bioreactor-Nanofiltration Hybrid Process For Textile Wastewater Treatment With High Water Recovery. Journal of Cleaner Production, 261, 121067. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121067>
- Li, P., ve Wu, J., 2019. Drinking Water Quality and Public Health. Exposure and Health, 11(2): 73–79. <https://doi.org/10.1007/s12403-019-00299-8>
- Li, X., Ren, J., Wu, Z., Wu, X., ve Ding, X., 2021a. Development of A Novel Process-Level Water Footprint Assessment for Textile Production Based on Modularity. Journal of Cleaner Production, 291: 125884. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125884>
- Li, X., Wang, L., ve Ding, X., 2021b. Textile Supply Chain Waste Management in China. Journal of Cleaner Production, 289: 125147. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125147>

- Li, Y., Lu, L., Tan, Y., Wang, L., ve Shen, M., 2017. Decoupling Water Consumption and Environmental Impact on Textile Industry by Using Water Footprint Method: A Case Study in China. *Water*, 9(2): 124. <https://doi.org/10.3390/w9020124>
- Liang, Y., Zhu, W., Zhang, C., Navik, R., Ding, X., Mia, M. S., ... ve Cai, Y., 2021. Post-treatment of Reactive Dyed Cotton Fabrics By Caustic Mercerization and Liquid Ammonia Treatment. *Cellulose*, 28(11): 7435-7453. <https://doi.org/10.1007/s10570-021-03984-7>
- Lilley, T., 2005. Membrane Filters -Microfiltration and Ultrafiltration. (R. J. Wakeman, and E. S. Tarleton editors). *Solid/Liquid Separation: Scale-up of Industrial Equipment*. Elsevier, U.K., s.140-195.
- Lin, B., Bai, R., 2020. Dynamic Energy Performance Evaluation of Chinese Textile Industry. *Energy*, 199: 117388. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117388>
- Liu, H., Ren, L., Zhuo, H., ve Fu, S., 2019. Water Footprint and Water Pinch Analysis in Ethanol Industrial Production for Water Management. *Water*, 11(3): 518. <https://doi.org/10.3390/w11030518>
- Liu, Y., Xu, H., Wang, Y., Cui, P., Sun, C., Zhu, Z., ve Wang, Y., 2024. Life Cycle Water Footprint and Carbon Footprint Analysis of Coal Gasification to Clean Fuel Dimethyl Ether. *Fuel*, 357: 129884. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.129884>
- Luiken, A., ve Bouwhuis, G., 2015. Recovery and Recycling of Denim Waste. In *Denim* (s. 527-540). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-85709-843-6.00018-4>
- Luo, Y., Wu, X., ve Ding, X., 2022. Carbon and Water Footprints Assessment of Cotton Jeans Using The Method Based on Modularity: A Full Life Cycle Perspective. *Journal of Cleaner Production*, 332: 130042. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130042>
- Mahmudova, N., 2018. Bobin Boyama Kalitesinin İyileştirilmesi ve İplik Teleflerinin Azaltılması Üzerine Bir Araştırma. *Journal of Awareness*, 3, 777-786.
- Mangmeechai, A., ve Pavasant, P., 2013. Water Footprints of Cassava-And Molasses-Based Ethanol Production in Thailand. *Natural Resources Research*, 22(4): 273-282. <https://doi.org/10.1007/s11053-013-9214-8>
- Mani, S., Chowdhary, P., & Bharagava, R. N. (2019). Textile wastewater dyes: toxicity profile and treatment approaches. *Emerging and eco-friendly approaches for waste management*, 219-244. https://doi.org/10.1007/978-981-10-8669-4_11
- Mardiana, S., Widhiastuti, R., ve Erningpraja, L., 2020. Management and Employees Perception Analysis on Sugar Industry Waste Management Based on Cleaner Production. *Britain International of Exact Sciences Journal*, 2(1): 442-449. <https://doi.org/10.33258/bioex.v2i1.201>
- Martin, M., Heiska, M., ve Björklund, A., 2021. Environmental Assessment of A Product-Service System for Renting Electric-Powered Tools. *Journal of Cleaner Production*, 281: 125245. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125245>

- Massote, C. H. R., ve Santi, A. M. M., 2013. Implementation of A Cleaner Production Program in A Brazilian Wooden Furniture Factory. *Journal of Cleaner Production*, 46: 89-97. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.09.004>
- McDonough, W., ve Braungart, M., 2002. *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*. New York: North Point Press. ISBN 0-86547-587-3
- Mekonnen, M. M., ve Hoekstra, A. Y., 2011. The Green, Blue and Grey Water Footprint of Crops and Derived Crop Products. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(5): 1577-1600. <https://doi.org/10.5194/hess-15-1577-2011>
- Mekonnen, M. M., ve Hoekstra, A. Y., 2014. Water Footprint Benchmarks for Crop Production: A First Global Assessment. *Ecological Indicators*, 46: 214-223. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.06.013>
- Meraj, S., Qayoom, A., ve Saeeda, N. A., 2016. Effective Process Optimization of Indigo Rope Dyeing: A Case Study. *Journal of New Technology and Materials*, 6(2): 33-37.
- Methneni, N., González, J. A. M., Van Loco, J., Anthonissen, R., Van de Maele, J., Verschaeve, L., ..., Mansour, H. B., 2021. Ecotoxicity Profile of Heavily Contaminated Surface Water of Two Rivers in Tunisia. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 82: 103550. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2020.103550>
- Mezarcıöz, S., ve Sırlıbaş, S., 2021. Denim Kumaşlara Çevre Dostu Ön Terbiyesiz Boyama Metodunun Uygulanması. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 36(4): 1127-1136. <https://doi.org/10.21605/cukurovaumfd.1048384>
- Milà i Canals, L., Chenoweth, J., Chapagain, A., Orr, S., Antón, A., ve Clift, R., 2009. Assessing Freshwater Use Impacts in LCA: Part I—Inventory Modelling and Characterisation Factors for The Main Impact Pathways. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 14(1): 28-42. <https://doi.org/10.1007/s11367-008-0030-z>
- Minelgaitė, A., ve Liobikienė, G., 2019. Waste Problem in European Union and its Influence on Waste Management Behaviours. *Science of The Total Environment*, 667: 86-93. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.313>
- Montazer, M., ve Sadeghian Maryan, A., 2010. Influences of Different Enzymatic Treatment on Denim Garment. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 160: 2114-2128. <https://doi.org/10.1007/s12010-009-8727-4>
- Moreira, V. R., Lebron Y. A. R., Couto, C. F., Maia, A. Moravia, W. G., ve Amaral M., 2022. Process Development for Textile Wastewater Treatment Towards Zero Liquid Discharge: Integrating Membrane Separation Process and Advanced Oxidation Techniques. *Process Safety and Environmental Protection*, 157: 537–546. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.10.037>
- Morera, S., Corominas, L., Poch, M., Aldaya, M. M., ve Comas, J., 2016. Water Footprint Assessment in Wastewater Treatment Plants. *Journal of Cleaner Production*, 112: 4741-4748. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.102>

- Muratoğlu, A., 2020. Assessment of Water Footprint of Production: A Case Study for Diyarbakır Province. *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35(2): 845-858. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.543933>
- Muratoğlu, A., Iraz, E., ve Ercin, E., 2022. Water Resources Management of Large Hydrological Basins in Semi-Arid Regions: Spatial and Temporal Variability of Water Footprint of The Upper Euphrates River Basin. *Science of The Total Environment*, 846: 157396. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157396>
- Nahar, N., Haque, M. S., ve Haque, S. E., 2024. Groundwater Conservation, and Recycling and Reuse of Textile Wastewater in A Denim Industry of Bangladesh. *Water Resources and Industry*, 31: 100249. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2024.100249>
- Naikwade, M., Liu, F., Wen, S., Cai, Y., ve Navik, R., 2017. Combined Use of Cationization and Mercerization as Pretreatment For The Deep Dyeing of Ramie Fibre. *Fibers and Polymers*, 18(9): 1734-1740. <https://doi.org/10.1007/s12221-017-5512-9>
- Naqvi, S. A., Arshad, M., ve Nadeem, F., 2018. Water Footprint of Cotton Textile Processing Industries; A Case Study of Punjab, Pakistan. *American Scientific Research Journal For Engineering, Technology, and Sciences*, 46(1): 17-24.
- Naveed, T., Ahmed, N., Bhutto, S., Tunyo, N., ve Rais Hashmi, D., 2021. A Sustainable Solution to Treat Textile Effluent by Employing Combined Coagulation, Oxidation and Ultrafiltration Techniques. *Journal of Applied Research in Water and Wastewater*, 8(1): 66–70.
- Nayak, B., Kasetty, K. M., ve Murthy, N. V. S. R., 2002. Alkaline Sizing-A Case Study. *Indonesia – Pakistan Preferential Trade Agreement (IPPTA)*, 14(1): 67-70.
- Nguyen, T. A., ve Juang, R. S., 2013. Treatment of Waters and Wastewaters Containing Sulfur Dyes: A Review. *Chemical Engineering Journal*, 219: 109-117. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.12.102>
- Niinimäki, K., Peters, G., Dahlbo, H., Perry, P., Rissanen, T., Gwilt, A., 2020. The Environmental Price of Fast Fashion. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(4): 189-200. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0039-9>
- Nilsson, L., Persson, P. O., Rydén, L., Darozhka, S., Zaliauskiene, A., 2007. *Cleaner Production: Technologies and Tools for Resource Efficient Production (Vol. 2)*. The Baltic University Press, Printed by Nina Tryckeri, Uppsala, ISBN 91-975526-1-5.
- Ntagia, E., Fiset, E., Hong, L. T. C., Vaiopoulou, E., Rabaey, K., 2020. Electrochemical Treatment of Industrial Sulfidic Spent Caustic Streams for Sulfide Removal and Caustic Recovery. *Journal of Hazardous Materials*, 388: 121770. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121770>
- Obotey Ezugbe, E., ve Rathilal, S., 2020. Membrane Technologies in Wastewater Treatment: A Review. *Membranes*, 10(5): 89. <https://doi.org/10.3390/membranes10050089>

- Oke, I., A., 2014. Technical and Economic Comparison of Conventional, Modify Conventional and Electrochemical Coagulation Processes. *Iğdır University Journal of the Institute of Science and Technology*, 4(2): 55-64. <https://dergipark.org.tr/en/pub/jist/issue/7938/388649>
- Olaitan, D., Bertagni, M., ve Porporato, A., 2024. The Water Footprint of Hydrogen Production. *Science of The Total Environment*, 927: 172384. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172384>
- Othman, H., El-Desoky, S. S., El-Bahrawy, G. A., Ezat, H. A., Moawaed, S. S., El-Rahman, A., ... ve Hassabo, A. G., 2024. Different Printing Techniques for Printing Denim Fabrics. *Journal of Textiles, Coloration and Polymer Science*, 21(1): 39-47. [10.21608/jtcps.2023.221100.1208](https://doi.org/10.21608/jtcps.2023.221100.1208)
- Özgün, H., Sakar, H., Ağtaş, M., ve Koyuncu, İ., 2023. Investigation of Pre-Treatment Techniques to Improve Membrane Performance in Real Textile Wastewater Treatment. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 20(2): 1539-1550. <https://doi.org/10.1007/s13762-022-04034-w>
- Özkan, Ü., 2007. Tekstil Endüstrisi Proses Suyu Hazırlanmasında Membran Proseslerin Uygulanması. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 142 s.
- Öztürk, E., Cinperi, N. C., ve Kitis, M., 2020. Improving Energy Efficiency Using The Most Appropriate Techniques in An Integrated Woolen Textile Facility. *Journal of Cleaner Production*, 254: 120145. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120145>
- Öztürk, E., Koseoglu, H., Karaboyacı, M., Yigit, N. O., Yetis, U., ve Kitis, M., 2016. Minimization of Water and Chemical Use in A Cotton/Polyester Fabric Dyeing Textile Mill. *Journal of Cleaner Production*, 130: 92-102. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.080>
- Özyurt, B., Camcıoğlu, Ş., Karatokuş, T., Yüksek, C., ve Hapoğlu, H., 2020. Ayçiçek Yağı Endüstrisi Atık Sularının Koagülasyon-Flokülasyon ve Elektro-Fenton Yöntemleriyle Arıtılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 36(1): 275-290. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.553847>
- Pachhade, K., Sandhya, S., ve Swaminathan, K., 2009. Ozonation of Reactive Dye, Procion Red Mx-5b Catalyzed By Metal Ions. *Journal of Hazardous Materials*, 167(1-3): 313-318. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.12.126>
- Pal, H., Chatterjee, K. N., ve Sharma, D., 2017. Water Footprint of Denim Industry. In *Sustainability In Denim* (s. 111-123). Woodhead Publishing.
- Partal, R., Basturk, I., Hocaoglu, S. M., Baban, A., ve Yilmaz, E., 2022. Recovery of Water and Reusable Salt Solution from Reverse Osmosis Brine in Textile Industry: A Case Study. *Water Resources and Industry*, 27: 100174. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2022.100174>
- Patti, A., Cicala, G., ve Acierno, D., 2020. Eco-Sustainability of The Textile Production: Waste Recovery and Current Recycling in The Composites World. *Polymers*, 13(1): 134. <https://doi.org/10.3390/polym13010134>

- Patwary, S., 2020. Clothing and Textile Sustainability: Current State of Environmental Challenges and the Ways Forward. *Textile ve Leather Review*, 3(3): 158-173. <https://doi.org/10.31881/TLR.2020.16>
- Paul, R., 2015. Denim: Manufacture, Finishing and Applications. Woodhead Publishing/Elsevier Ltd. ISBN 978-0-85709-843-6
- Paunonen, S., Kamppuri, T., Katajainen, L., Hohenthal, C., Heikkilä, P., ve Harlin, A., 2019. Environmental Impact of Cellulose Carbamate Fibers from Chemically Recycled Cotton. *Journal of Cleaner Production*, 222: 871-881. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.063>
- Pellicer-Martínez, F., ve Martínez-Paz, J. M., 2016. The Water Footprint As an Indicator of Environmental Sustainability in Water Use at The River Basin Level. *Science of The Total Environment*, 571: 561-574. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.022>
- Penna, D., Geris, J., Hopp, L., ve Scandellari, F., 2020. Water Sources for Root Water Uptake: Using Stable Isotopes of Hydrogen and Oxygen as A Research Tool in Agricultural and Agroforestry Systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 291: 106790. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106790>
- Periyasamy, A. P., ve Periyasami, S., 2023. Critical Review on Sustainability in Denim: A Step Toward Sustainable Production and Consumption of Denim. *ACS Omega*, 8(5): 4472-4490. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c06374>
- Periyasamy, A. P., Wiener, J., Militky, J., 2017. Life-Cycle Assessment of Denim. In *Sustainability in Denim* (s. 83-110). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102043-2.00004-6>
- Peyghami, A., Moharrami, A., Rashtbari, Y., Afshin, S., Vosuoghi, M., ve Dargahi, A., 2021. Evaluation of The Efficiency of Magnetized Clinoptilolite Zeolite With Fe₃O₄ Nanoparticles on The Removal of Basic Violet 16 (BV16) Dye From Aqueous Solutions. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 44(2): 278-287. <https://doi.org/10.1080/01932691.2021.1947847>
- Pfister, S., Boulay, A. M., Berger, M., Hadjikakou, M., Motoshita, M., Hess, T., ... ve Henderson, A., 2017. Understanding The LCA and ISO Water Footprint: A Response to Hoekstra (2016) "A Critique on The Water-Scarcity Weighted Water Footprint in LCA". *Ecological Indicators*, 72: 352-359. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.07.051>
- Pfister, S., Koehler, A., ve Hellweg, S., 2009. Assessing The Environmental Impacts of Freshwater Consumption in LCA. *Environmental Science & Technology*, 43(11): 4098-4104. <https://doi.org/10.1021/es802423e>
- Pojasek, R. B., 2002. Merging Pollution Prevention into Quality. *Environmental Quality Management*, 11(3): 85-85. <https://doi.org/10.1002/tqem.10032>
- Prajapati, D., Trivedi, R., 2023. Design of Flash Vessel for Caustic Recovery Plant. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.03.008>

- PRE Consultant, 2018, SimaPro Life Cycle Assessment Software Package, Version 8.5.2. Pre Consultant, Amestrdam, The Netherlands.
- PRé Sustainability, 2022. SimaPro Database Manual Methods Library. <https://simapro.com/wp-content/uploads/2022/07/DatabaseManualMethods.pdf> [Son erişim tarihi: 05.09.2024]
- Puust, R., Kapelan, Z., Savic, D. A., ve Koppel, T., 2010. A Review of Methods for Leakage Management in Pipe Networks. *Urban Water Journal*, 7(1): 25-45. <https://doi.org/10.1080/15730621003610878>
- Qian, W., Ji, X., Xu, P., Wang, L., 2021a. Carbon Footprint and Water Footprint Assessment of Virgin and Recycled Polyester Textiles. *Textile Research Journal*, 91(21-22): 2468-2475. <https://doi.org/10.1177/00405175211006213>
- Qian, W., Zhu, J., Chen, F., Ji, X., Wang, X., Wang, L., 2021b. Water Footprint Assessment of Viscose Staple Fiber Garments. *Water Supply*, 21(5): 2217-2232. <https://doi.org/10.2166/ws.2021.040>
- Rahman, M. H., Haque, K. S., ve Khan, M. Z. H., 2021. A Review on Application of Controlled Released Fertilizers Influencing The Sustainable Agricultural Production: A Cleaner Production Process. *Environmental Technology & Innovation*, 101697. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101697>
- Rajendran, R. M., Garg, S., ve Bajpai, S., 2021. Economic Feasibility of Arsenic Removal Using Nanofiltration Membrane: A Mini Review. *Chemical Papers*, 75(9): 4431-4444. <https://doi.org/10.1007/s11696-021-01694-9>
- Rebitzer, G., Ekvall, T., Frischknecht, R., Hunkeler, D., Norris, G., Rydberg, T., ... ve Pennington, D. W., 2004. Life Cycle Assessment: Part 1: Framework, Goal and Scope Definition, Inventory Analysis, and Applications. *Environment International*, 30(5): 701-720. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2003.11.005>
- Regan, C., 2015. Role of Denim and Jeans in The Fashion Industry. In *Denim* (s. 191-217). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-85709-843-6.00007-X>.
- Resta, B., Gaiardelli, P., Pinto, R., ve Dotti, S., 2016. Enhancing Environmental Management in The Textile Sector: An Organisational-Life Cycle Assessment Approach. *Journal of Cleaner Production*, 135: 620-632. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.135>
- Ridoutt, B. G., ve Pfister, S., 2013. A New Water Footprint Calculation Method Integrating Consumptive and Degradative Water Use Into A Single Stand-Alone Weighted Indicator. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 18: 204-207. <https://doi.org/10.1007/s11367-012-0458-z>
- Rosa, L., Sanchez, D. L., Realmonte, G., Baldocchi, D., ve D'Odorico, P., 2021. The Water Footprint of Carbon Capture and Storage Technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 138: 110511. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110511>

- Roy Choudhury, A. K., 2013. Green Chemistry and The Textile Industry. *Textile Progress*, 45(1): 3-143. <https://doi.org/10.1080/00405167.2013.807601>
- Ruggerio, C. A., 2021. Sustainability and Sustainable Development: A Review of Principles and Definitions. *Science of The Total Environment*, 786: 147481. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147481>
- SABMiller, ve WWF-UK., 2009. Water Footprinting: Identifying ve Addressing Water Risks in The Value Chain Woking, UK / WWF-UK, Goldalming, UK. https://wwfint.awsassets.panda.org/downloads/sab0425_waterfootprinting_text_artwork.pdf [Son erişim tarihi: 11.09.2024]
- Samarghandi, M. R., Dargahi, A., Shabanloo, A., Nasab, H. Z., Vaziri, Y., ve Ansari, A., 2020b. Electrochemical Degradation of Methylene Blue Dye Using A Graphite Doped Pbo2 Anode: Optimization of Operational Parameters, Degradation Pathway and Improving The Biodegradability of Textile Wastewater. *Arabian Journal of Chemistry*, 13(8): 6847-6864. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2020.06.038>
- Samarghandi, M. R., Dargahi, A., Zolghadr Nasab, H., Ghahramani, E., ve Salehi, S., 2020a. Degradation of Azo Dye Acid Red 14 (AR14) from Aqueous Solution Using H2O2/nZVI and S2O82-/nZVI Processes in The Presence of UV Irradiation. *Water Environment Research*, 92(8): 1173-1183. <https://doi.org/10.1002/wer.1312>
- Saral, A., ve Goncaloğlu, B. I., 2008. Determination of Real COD in Highly Chlorinated Wastewaters. *CLEAN–Soil, Air, Water*, 36(12): 996-1000. <https://doi.org/10.1002/clen.200800073>
- Sarı, B., Güney, H., Türkeş, S., ve Keskinkan, O., 2022. Reactive Black 5 Removal with Ozone on Lab-scale and Modeling. *Ozone: Science & Engineering*, 45(1): 50-64. <https://doi.org/10.1080/01919512.2022.2035211>
- Sarı, B., Küpeli, H. Ş., Güney, H., ve Keskinkan, O., 2021 Evaluation of Zero Waste Management System and Adana Metropolitan Municipality Zero Waste Implementation. *International Journal of Chemistry and Technology*, 5(2): 100-107. <https://doi.org/10.32571/ijct.992891>
- Sarı, B., Zarifi, F., Alhasan, M., Güney, H., Türkeş, S., Sırlıbaş, S., ... ve Keskinkan, O., 2023. Determining The Contributions in A Denim Fabric Production for Sustainable Development Goals: Life Cycle Assessment and Material Input Approaches. *Sustainability*, 15(6): 5315. <https://doi.org/10.3390/su15065315>
- Sarıgüznel, Y., (2023) Tekstil Endüstrisi Atık Sularının Yeniden Kullanımına Yönelik Membran Teknolojilerinin Araştırılması. Yüksek lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, 132 s.
- Satyro, W. C., Contador, J. C., Monken, S. F. D. P., Lima, A. F. D., Soares Junior, G. G., Gomes, J. A., ... and Silva, L. S., 2023. Industry 4.0 Implementation Projects: The Cleaner Production Strategy—A Literature Review. *Sustainability*, 15(3): 2161. <https://doi.org/10.3390/su15032161>

- Schliemann, S. A., Grevstad, N., ve Brazeau, R. H., 2021. Water Quality and Spatio-Temporal Hot Spots in An Effluent-Dominated Urban River. *Hydrological Processes*, 35(1): e14001. <https://doi.org/10.1002/hyp.14001>
- Schönberger, H., 2018. Technique Combinations to Meet The Ambitious ZDHC Wastewater Guidelines. *Integrated Best Available Wastewater Management in The Textile Industry*, s. 35-70. Almany, ISBN: 978-3-8356-7411-0
- Seid-Mohammadi, A., Asgari, G., Dargahi, A., Leili, M., Vaziri, Y., Hayati, B., ... ve Keshavarzpour, A., 2019. A Comparative Study for The Removal of Methylene Blue Dye From Aqueous Solution by Novel Activated Carbon Based Adsorbents. *Progress in Color, Colorants and Coatings*, 12(3): 133-144. <https://doi.org/10.30509/PCCC.2019.81551>
- Sharma, J., R., 2010. Development of A Preliminary Cost Estimation Method for Water Treatment Plants. Master's Thesis, The University of Texas, Arlington, 98p.
- Shen, T.T., 1995. *Industrial Pollution Prevention*. Springer, Berlin. https://doi.org/10.1007/978-3-662-03110-0_2
- Shin, J., H., Kim, S., H., Yoo, C., H., Lee, H., J., Nguyen, B., T., D., Lee, G. G., ... ve Lee, J., S., 2024. Valorization of Battery Manufacturing Wastewater: Recovery of High-Value Metal Ions Through Reaction-Enhanced Membrane Cascade. *Chemical Engineering Journal*, 493: 152247. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.152247>
- Shirvanimoghaddam, K., Motamed, B., Ramakrishna, S., ve Naebe, M., 2020. Death by Waste: Fashion and Textile Circular Economy Case. *Science of The Total Environment*, 718: 137317. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137317>
- Shokoohi, R., Bajalan, S., Salari, M., ve Shabanloo, A., 2019. Thermochemical Degradation of Furfural by Sulfate Radicals in Aqueous Solution: Optimization and Synergistic Effect Studies. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(9): 8914-8927. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04382-0>
- Shrestha, R., Ban, S., Devkota, S., Sharma, S., Joshi, R., Tiwari, A. P., ... ve Joshi, M. K., 2021. Technological Trends in Heavy Metals Removal from Industrial Wastewater: A Review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(4): 105688. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105688>
- Shrivastava, S., ve Unnikrishnan, S., 2021. Life Cycle Sustainability Assessment of Crude Oil in India. *Journal of Cleaner Production*, 283: 124654. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124654>
- Silva, D. A. L., Delai, I., de Castro, M. A. S., ve Ometto, A. R., 2013. Quality Tools Applied to Cleaner Production Programs: A First Approach Toward A New Methodology. *Journal of Cleaner Production*, 47: 174-187. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.10.026>
- SKKY, 2004. Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği. T.C. Resmî Gazete Tarihi: 31.12.2004 Resmî Gazete Sayısı: 25687.

- SKVPBP, 2017. Sanayide Kaynak Verimliliği Potansiyelinin Belirlenmesi Projesi Sonuç Raporu. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Verimlilik Genel Müdürlüğü. ISBN : 978-605-4889-27-3. Ankara, 384s.
- Solak, M., ve Öztürk, A., 2018. Endüstriyel Atıksu Arıtımında Kimyasal ve Elektrokimyasal Proseslerin Etkinliğinin Karşılaştırılması: Denim Ürün Üretim Sektörü. İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, 7(2): 20-35. ISSN:2147-3455
- Sözen, S., Dulkadiroglu, H., Begum Yucel, A., Insel, G., ve Orhon, D., 2019. Pollutant Footprint Analysis for Wastewater Management in Textile Dye Houses Processing Different Fabrics. Journal of Chemical Technology & Biotechnology, 94(4): 1330-1340. <https://doi.org/10.1002/jctb.5891>
- Stevovic, S., Nestorovic, Ž., ve Lutovac, M., 2018. Water Management and Sustainability of Water Resources. Water Science and Technology: Water Supply, 18(3): 976–983. <https://doi.org/10.2166/ws.2017.163>
- Stone, L., 2000. When Case Studies are Not Enough: The Influence of Corporate Culture and Employee Attitudes on The Success of Cleaner Production Initiatives. Journal of Cleaner Production, 8(5): 353-359. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(00\)00037-8](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(00)00037-8)
- Suh, S., Lenzen, M., Treloar, G. J., Hondo, H., Horvath, A., Huppes, G., ... ve Norris, G., 2004. System Boundary Selection in Life-Cycle Inventories Using Hybrid Approaches. Environmental Science & Technology, 38(3): 657-664. <https://doi.org/10.1021/es0263745>
- Sun, Q. Q., Huang, X. Y., ve Shi, L., 2014. Corporate Water Footprint of Textile Industry: Methodology and Case Study. Research of Environmental Sciences, 27: 910-914. ISSN (Print): 1001-6929
- Sun, X., Wang, X., Sun, F., Tian, M., Qu, L., Perry, P., ... ve Liu, X., 2021. Textile Waste Fiber Regeneration Via A Green Chemistry Approach: A Molecular Strategy for Sustainable Fashion. Advanced Materials, 33(48): 2105174. <https://doi.org/10.1002/adma.202105174>
- SYGM, 2018. Ceyhan Havzası Taşkın Yönetim Planı. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. [https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/Ta%C5%9Fk%C4%B1n%20Y%C3%B6n%20etim%20Planlar%C4%B1/3\)%%20CEYHAN%20%20HAVZASI%20TA%C5%9EKIN%20YONETIM%20PLANI.pdf](https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/Ta%C5%9Fk%C4%B1n%20Y%C3%B6n%20etim%20Planlar%C4%B1/3)%%20CEYHAN%20%20HAVZASI%20TA%C5%9EKIN%20YONETIM%20PLANI.pdf) (Son erişim tarihi: 14.04.2022)
- Şekerdağ, N., 2016. İçme Suyu Arıtma Tesislerinin Projelendirilmesi. Nobel Akademik Yayıncılık, İstanbul, 230s.
- Şimşek Gündüz, G., ve Akarslan, F., 2018. Bobin Boyamada Hidrojen Peroksit İle Ağartma İşleminin Etkilerinin İncelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22: 437-447. <https://doi.org/10.19113/sdufbed.63319>

- Tanrıverdi, Ç., Alp, A., Demirkıran, A. R., ve Üçkardeş, F., 2010. Assessment of Surface Water Quality of The Ceyhan River Basin, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 167(1): 175-184. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-1040-4>
- Tarne, P., 2019. Life Cycle Sustainability Assessment at An Automotive Company. TU., Berlin, Almanya. <https://doi.org/10.14279/depositonce-7920>
- Tian, W., Zhang, H., Sun, H., Tadé, M. O., ve Wang, S., 2018. One-Step Synthesis of Flour-Derived Functional Nanocarbons with Hierarchical Pores for Versatile Environmental Applications. *Chemical Engineering Journal*, 347: 432-439. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.04.139>
- Timoshenko, A., ve Berman, M., (2014). The United Nations Environment Programme and The United Nations Development Programme. *Greening international institutions* (s. 38-54), Routledge.
- Tosca, N. J., ve Tutolo, B. M., 2023. Alkalinity in Theory and Practice. *Elements*, 19(1): 7-9. <https://doi.org/10.2138/gselements.19.1.7>
- Tölek, Ş., ve Doba Kadem, F., 2016. An Investigation on Colour Analysis and Fastness Properties of The Denim Fabric Dyed With A Different Method. *Textile and Apparel*, 26(2): 198-204.
- Trofin, A. E., Ungureanu, E., Motrescu, I., Trincă, L. C., Topa, D. C., ve Eperjessy, D. B., 2023. Cornhusk Powders as Adsorbents for Nitrites in Solution: A Thermodynamic and Kinetic Approach. *Journal of Applied Life Sciences and Environment*, 56(3): 321-344. <https://doi.org/10.46909/alse-563103>
- Tufaner, F., 2019. Türkiye’de Endüstriyel Büyüme Yolunda Su Kaynaklarının Mevcut Durumu ve Kullanım Alanları. 2. Hoca Ahmet Yesevi Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Kongresi ,Adıyaman, Türkiye.
- Tunç, M. S., Yılmaz, L., Yetiş, Ü., ve Çulfaz-Emecen, P. Z., 2014. Purification and Concentration of Caustic Mercerization Wastewater by Membrane Processes and Evaporation for Reuse. *Separation Science and Technology*, 49(13): 1968-1977. <https://doi.org/10.1080/01496395.2014.914039>
- Turan, E. S., 2017. Türkiye’nin Su Ayak İzi Değerlendirmesi. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 74(1): 55–62. <https://doi.org/10.5505/TurkHijyen.2017.29592>.
- Turukmane, R., Gulhane, S., ve Patil, R. B., 2019. Impact of Process Parameters on Sizing Machine Performance: A Review. *Melliand International*, 25(3): 182-183.
- TÜBKVR, 2018 . *Tekstil Ürünlerinin Bitirilmesi Kaynak Verimliliği Rehberi*. T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Sanayi ve Verimlilik Genel Müdürlüğü. ISBN: 978-605-4889-34-1. Ankara, 103 s.
- Türk BREF, 2011. *Tekstil Sektöründe Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol Tebliği*. Resmî Gazete Tarihi: 14.12.2011 Resmî Gazete Sayısı: 28142
- Uddin, M. G., 2014. Indigo Ring Dyeing of Cotton Warp Yarns For Denim Fabric. *Chemical and Materials Engineering*, 2(7): 149-154. <https://doi.org/10.13189/cme.2014.020701>

- Ukah, B. U., Ameh, P. D., Egbueri, J. C., Unigwe, C. O., ve Ubido, O. E., 2020. Impact of Effluent-Derived Heavy Metals on The Groundwater Quality in Ajao Industrial Area, Nigeria: An Assessment Using Entropy Water Quality Index (EWQI). *International Journal of Energy and Water Resources*, 4(3): 231–244. <https://doi.org/10.1007/s42108-020-00058-5>
- UNEP DTIE, 1996. (United Nations Environmental Programme, Division of Technology, Industry and Environment), *Cleaner Production Resource Training Package*, first ed. United Nations Publication, Paris.
- UNEP, 1996. *Cleaner Production – A Training Resource Package*.
- UNEP, 2015. *United Nations Environment Programme Annual Report 2015*. https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/7544/-UNEP_2015_Annual_Report-2016UNEP-AnnualReport-2015-EN.pdf.pdf?sequence=8&isAllowed=y%2C%20Chinese%7C%7Chttps%3A//wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/7544/-UNEP_Annual_Report_2015-2016cs6_UNEP (Son erişim tarihi: 25.07.2024)
- UNEP/UNIDO, 2017. *UNEP/UNIDO Guidance Manual Guidance Manual: How to Establish and Operate Cleaner Production Centres*. https://downloads.unido.org/ot/48/02/4802268/ENVIRONMENT_WEBx0072xPA-CPcentre.pdf (Son erişim tarihi: 25.07.2024)
- UNIDO, 2002. (United Nations industrial development organization), *Manual on The Development of Cleaner Production Policies Approaches and Instruments. Guidelines for National Cleaner Production Centres and Programmes*. https://www.unido.org/sites/default/files/2007-11/9750_0256406e_0.pdf (Son erişim tarihi: 25.07.2024)
- USEPA, 1998. (United States Environmental Protection Agency), *Principles of Pollution Prevention and Cleaner Production: An International Training Course (Participant's Manual)*. <http://recp.ge/wp-content/uploads/2015/12/POLLUTION-PREVENTION-AND-CLEANER-PRODUCTION-EPA.pdf> (Son erişim tarihi: 25.07.2024)
- Van Berkel, R., 2011. Evaluation of The Global Implementation of The UNIDO-UNEP National Cleaner Production Centres (NCPC) Programme. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 13(1), 161-175. <https://doi.org/10.1007/s10098-010-0276-6>
- Vanham, D., ve Bidoglio, G., 2013. A Review on The Indicator Water Footprint for The EU28. *Ecological Indicators*, 26: 61-75. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.10.021>
- Vanham, D., ve Mekonnen, M. M., 2021. The Scarcity-Weighted Water Footprint Provides Unreliable Water Sustainability Scoring. *Science of The Total Environment*, 756: 143992. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143992>
- Varol, S., ve Köse, İ., 2020. Yazır Gölü Havzası (Çavdır/BURDUR) Su Kaynaklarının Hidrojeokimyasal Özellikleri ve Su Kalitesinin Mevsimsel Değişimlerinin İncelenmesi.

- Journal of Limnology and Freshwater Fisheries Research, 6(3): 201-214.
<https://doi.org/10.17216/limnofish.705947>
- Venkatraman, P. D., ve Liauw, C. M., 2019. Use of A Carbon Dioxide Laser for Environmentally Beneficial Generation of Distressed/Faded Effects on Indigo Dyed Denim Fabric: Evaluation of Colour Change, Fibre Morphology, Degradation and Textile Properties. *Optics & Laser Technology*, 111: 701-713. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2018.09.004>
- Vesilind, P. A., Morgan, S. M., Heine, L. G., 2010. Introduction to Environmental Engineering, Third Edition. ISBN-13: 978-0-495-29583-9.
- Vieira, L. C., ve Amaral, F. G., 2016. Barriers and Strategies Applying Cleaner Production: A Systematic Review. *Journal of Cleaner Production*, 113: 5-16.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.034>
- Wang, D. Y., Li, J. B., Ye, Y. Y., ve Tan, F. F., 2015. An Improved Calculation Method of Grey Water Footprint. *Journal of Natural Resources*, 30(12): 2120-2130.
<https://doi.org/10.11849/zrzyxb.2015.12.013>
- Wang, D., Hubacek, K., Shan, Y., Gerbens-Leenes, W., ve Liu, J., 2021. A Review of Water Stress and Water Footprint Accounting. *Water*, 13(2): 201. <https://doi.org/10.3390/w13020201>
- Wang, L. L., Ding, X. M., Wu, X. Y., ve Ndwiga, D. K., 2014. The Introduction of Water Footprint Methodology into The Textile Industry. *Industria Textila*, 65(1) 33-36.
- Wang, L., Ding, X., ve Wu, X., 2013a. Blue and Grey Water Footprint of Textile Industry in China. *Water Science and Technology*, 68(11): 2485-2491. <https://doi.org/10.2166/wst.2013.532>
- Wang, L., Ding, X., Wu, X., ve Yu, J. 2013b. Textiles Industrial Water Footprint: Methodology and Study. *Journal of Scientific and Industrial Research*, 72: 710-715.
- Wang, Q., Huang, K., Liu, H., ve Yu, Y., 2023. Factors Affecting Crop Production Water Footprint: A Review and Meta-Analysis. *Sustainable Production and Consumption*, 36: 207-216.
<https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.01.008>
- Wang, X., Jiang, J., ve Gao, W., 2022. Reviewing Textile Wastewater Produced by Industries: Characteristics, Environmental Impacts, and Treatment Strategies. *Water Science and Technology*, 85(7): 2076-2096. <https://doi.org/10.2166/wst.2022.088>
- Wang, Y., N., ve Tang, C., Y., 2011. Protein Fouling of Nanofiltration, Reverse Osmosis, and Ultrafiltration Membranes—The Role of Hydrodynamic Conditions, Solution Chemistry, and Membrane Properties. *Journal of Membrane Science*, 376(1-2): 275-282.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.memsci.2011.04.036>
- WFN, 2021. Water Footprint Network. <https://waterfootprint.org/en/about-us/aims-history/> [Son erişim tarihi: 12.06.2021]
- WHO, 2010. Hardness in Drinking-Water: Background Document for Development of WHO Guidelines for Drinking-Water Quality (No. WHO/HSE/WSH/10.01/10). World Health

- Organization. https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/wash-chemicals/hardness-bd.pdf?sfvrsn=a13853a9_4 [Son erişim tarihi: 25.07.2024]
- Wöhler, L., Niebaum, G., Krol, M., ve Hoekstra, A. Y., 2020. The Grey Water Footprint of Human and Veterinary Pharmaceuticals. *Water Research* X, 7(1): 100044. <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2020.100044>
- Wu, G. H., Wu, X. Y., Wang, L., Liu, S. Q., Ding, X., ve Cuc, S., 2015. Water Footprint and Carbon Footprint Reduction in Textile's Waste Recycling. *Industria Textila*, 66(2): 85-89.
- WWF Rapor (TR), 2014. Türkiye'nin Su Ayak İzi Raporu- Su, Üretim ve Uluslararası Ticaret İlişkisi, WWF-Türkiye. <https://www.wwf.org.tr/?2720/trkiyeninsuayakiziraporu> [Son erişim tarihi:08.09.2024]
- Xiao, X., Zhang, F., Feng, Z., Deng, S., ve Wang, Y., 2015. Adsorptive Removal and Kinetics of Methylene Blue from Aqueous Solution Using Nio/MCM-41 Composite. *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, 65: 4-12. <https://doi.org/10.1016/j.physe.2014.08.006>
- Xie, J., Xin, L., Hu, X., Cheng, W., Liu, W., ve Wang, Z., 2020. Technical Application of Safety and Cleaner Production Technology by Underground Coal Gasification in China. *Journal of Cleaner Production*, 250: 119487. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119487>
- Xu, M., Li, C., Wang, X., Cai, Y., ve Yue, W., 2018. Optimal Water Utilization and Allocation in Industrial Sectors Based on Water Footprint Accounting in Dalian City, China. *Journal of Cleaner Production*, 176: 1283-1291. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.203>
- Yaman, M. E., Öztürk, E., Yetis, U., ve Kitis, M., 2024. Assessment of The Implementation Status of Best Available Techniques for Cleaner Production in The Textile Industry. *Frontiers of Environmental Science ve Engineering*, 18(8): 103. <https://doi.org/10.1007/s11783-024-1863-9>
- Yang, Y., He, W., Chen, F., ve Wang, L., 2020. Water Footprint Assessment of Silk Apparel in China. *Journal of Cleaner Production*, 260: 121050. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121050>
- Yin, H., Qiu, P., Qian, Y., Kong, Z., Zheng, X., Tang, Z., ve Guo, H., 2019. Textile Wastewater Treatment for Water Reuse: A Case Study. *Processes*, 7(1): 34. <https://doi.org/10.3390/pr7010034>
- Yousaf, A. M., ve Aqsa, R., 2023. Integrating Circular Economy, SBTI, Digital LCA, and ESG Benchmarks for Sustainable Textile Dyeing: A Critical Review of Industrial Textile Practices. *Global NEST Journal*, 25: 39-51. <https://doi.org/10.30955/gnj.005145>
- Yu, D., ve Ding, T., 2021. Assessment on The Flow and Vulnerability of Water Footprint Network of Beijing City, China. *Journal of Cleaner Production*, 293: 126126. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126126>

- Yüce, M. I., Esit, M., ve Karatas, M. C., 2019. Hydraulic Geometry Analysis of Ceyhan River, Turkey. *SN Applied Sciences*, 1(7): 1-11. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0800-1>
- Yüksel, H., 2008. An Empirical Evaluation of Cleaner Production Practices in Turkey. *Journal of Cleaner Production*, 16(1): S50-S57. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.10.003>
- Yükseler, H., Uzal, N., Sahinkaya, E., Kitis, M., Dilek, F. B., ve Yetis, U., 2017. Analysis of The Best Available Techniques for Wastewaters from A Denim Manufacturing Textile Mill. *Journal of Environmental Management*, 203: 1118-1125. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.041>
- Zafar, H., Ho, J. A., Cheah, J. H., ve Mohamed, R., 2022. Catalyzing Voluntary Pro-Environmental Behavior in The Textile Industry: Environmentally Specific Servant Leadership, Psychological Empowerment and Organizational Identity. *Journal of Cleaner Production*, 378: 134366. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134366>
- Zebić Avdičević, M., Košutić, K., ve Dobrović, S., 2019. Performance Evaluation of Different Membrane Types In The Textile Mercerization Wastewater Treatment. *Water and Environment Journal*, 33(2): 203-213. <https://doi.org/10.1111/wej.12391>
- Zeng, S. X., Meng, X. H., Yin, H. T., Tam, C. M., ve Sun, L., 2010. Impact of Cleaner Production on Business Performance. *Journal of Cleaner Production*, 18(10-11): 975-983. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.02.019>
- Zhang, L., Dong, H., Geng, Y., ve Francisco, M. J., 2019b. China's Provincial Grey Water Footprint Characteristic and Driving Forces. *Science of The Total Environment*, 677: 427-435. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.318>
- Zhang, L., Lei, M., Feng, T., Chang, W., Ye, A., Yi, H., ve Yi, C., 2021. A Case Study of The Wastewater Treatment System Modification in Denim Textile Industry. *The Journal of The Textile Institute*, 112(10): 1666-1670. <https://doi.org/10.1080/00405000.2020.1835155>
- Zhang, T., Xie, X., ve Huang, Z., 2017. The Policy Recommendations on Cassava Ethanol in China: Analyzed from The Perspective of Life Cycle “2E&W”. *Resources, Conservation and Recycling*, 126: 12-24. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.07.008>
- Zhang, T., Yang, Y., Ni, J., ve Xie, D., 2019a. Adoption Behavior of Cleaner Production Techniques to Control Agricultural Non-Point Source Pollution: A Case Study in The Three Gorges Reservoir Area. *Journal of Cleaner Production*, 223: 897-906. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.194>
- Zhang, Y., Wu, X. Y., Wang, L. L., ve Ding, X. M., 2014. The Industrial Water Footprint of Zippers. *Water Science and Technology*, 70(6): 1025-1031. <https://doi.org/10.2166/wst.2014.323>
- Zhang, Z., Yang, H., ve Shi, M., 2011. Analyses of Water Footprint of Beijing in An Interregional Input–Output Framework. *Ecological Economics*, 70(12): 2494-2502. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.08.011>

- Zhao, L., ve Xia, W., 2009. Stainless Steel Membrane UF Coupled with NF Process For The Recovery of Sodium Hydroxide From Alkaline Wastewater In Chitin Processing. *Desalination*, 249(2): 774-780. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2009.01.036>
- Zhao, X. U., Yang, H., Yang, Z., Chen, B., ve Qin, Y., 2010. Applying The Input-Output Method to Account For Water Footprint and Virtual Water Trade in The Haihe River Basin in China. *Environmental Science & Technology*, 44(23): 9150-9156. <https://doi.org/10.1021/es100886r>
- Zhu, J., Yang, Y., Li, Y., Xu, P., ve Wang, L., 2020a. Water Footprint Calculation and Assessment of Viscose Textile. *Industria Textila*, 71(1), 33-40.
- Zhu, L., Chen, B., Liu, J., Chen, S., Zhang, Y., Wang, X., ve Wang, L., 2022. Assessing Baseline Water Footprints of Natural Fiber Textile Products in China. *Journal of Cleaner Production*, 379: 134747. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134747>
- Zhu, Y., Jiang, S., Zhao, Y., Li, H., He, G., ve Li, L., 2020b. Life-Cycle-Based Water Footprint Assessment of Coal-Fired Power Generation in China. *Journal of Cleaner Production*, 254: 120098. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120098>
- Zille, A., ve Raoux, S., 2021. The Urgency of Measuring Fluorinated Greenhouse Gas Emission Factors from The Treatment of Textile and Other Substrates. *Resour Conserv Recycl*, 174: 105820. <http://repositorium.uminho.pt/handle/1822/73829>
- Zubair, M., Jarrah, N., Khalid, A., Manzar, M. S., Kazeem, T. S., ve Al-Harthi, M. A., 2018. Starch-NiFe-Layered Double Hydroxide Composites: Efficient Removal of Methyl Orange From Aqueous Phase. *Journal of Molecular Liquids*, 249: 254-264. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2017.11.022>



ÖZGEÇMİŞ

Hakan GÜNEY, ilk, orta ve lise öğrenimini Adana’da tamamladı. 2010 yılında başladığı Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü’nden ve 2011’de başladığı Anadolu Üniversitesi, Açıköğretim Fakültesi, Elektrik Enerjisi Üretim, İletim ve Dağıtım önlisans programından 2013 yılında mezun oldu. 2018 yılında Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Güvenliği ana bilim dalında tezsiz yüksek lisansını, 2019 yılında Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği ana bilim dalında da tezli yüksek lisansını tamamladı ve aynı yıl Çevre Mühendisliği ana bilim dalı doktora programına kayıt oldu. Ayrıca 2023 yılında Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü’nden lisans derecesi ile mezun oldu. Evli ve iki çocuk babasıdır.







EKLER



EK 1. LCA Değerlendirilmesi Yapılan Kimyasalların Çevresel Değerlendirmesi

SIRA NO	Kimyasalın Görevi/İçeriği	Çevresel Değerler											Su Ayak İzi (Hoekstra) m ³
		Abyotik (kg Sb eq)	Abyotik Tüketim fosil vakat (MJ)	Küresel Isınma (kg CO ₂ eş.)	Ozon Tabakasının Tüketimi	İnsan Toksikitesi (kg 1,4-DB eş.)	Tatlı Su Ekotoksikitesi (kg 1,4-DB eş.)	Deniz Ekotoksikitesi (kg 1,4-DB eş.)	Karasal Ekotoksikitesi (kg 1,4-DB eş.)	Fotokimyasal Oksidasyon (kg C ₂ H ₄ eş.)	Asitleşme (kg SO ₂ eş.)	Ötrofikasyon (kg PO ₄ eş.)	
1	Haşıl yardımcı madde	7,46E-06	3,10E+01	6,44E-01	1,89E-07	4,68E-01	3,03E-01	4,80E+02	5,02E-04	2,38E-04	2,31E-03	4,97E-04	5,39E-03
2	Asetik asit	3,17E-05	4,23E+01	1,61E+00	3,56E-07	1,60E+00	1,06E+00	2,29E+03	3,13E-03	1,34E-03	7,74E-03	2,50E-03	5,15E-02
3	Doğal boyama için mordan	1,52E-03	5,40E+01	4,29E+00	9,23E-07	3,01E+02	1,83E+02	2,09E+05	1,52E-01	8,73E-03	2,26E-01	9,30E-02	1,52E-01
4	Diamonyum fosfat	2,16E-03	2,29E+01	1,83E+00	1,53E-07	3,79E+00	2,75E+00	4,52E+03	4,59E-03	5,34E-04	1,16E-02	2,84E-03	8,16E-03
5	Dikiş açılma önleyici	3,17E-05	4,23E+01	1,61E+00	3,56E-07	1,60E+00	1,06E+00	2,29E+03	3,13E-03	1,34E-03	7,74E-03	2,50E-03	5,15E-02
6	Gliserin	6,48E-05	2,42E+01	2,41E+00	5,03E-07	1,90E+00	2,71E+00	2,35E+03	6,98E-01	5,21E-04	2,06E-02	1,65E-02	5,69E-02
7	Glikoz	6,26E-05	1,42E+01	1,30E+00	1,06E-07	1,81E+00	1,28E+00	2,01E+03	2,94E-02	2,52E-04	1,11E-02	5,36E-03	3,61E-02
8	Reçine çapraz bağlayıcı 1	3,62E-05	5,28E+00	5,07E-01	4,60E-08	1,46E+00	8,46E-01	1,34E+03	1,83E-03	1,70E-04	5,53E-03	1,66E-03	1,49E-02
9	Sodyum hidroksit	3,26E-05	1,41E+01	1,31E+00	8,12E-07	1,40E+00	9,94E-01	2,45E+03	4,42E-03	2,60E-04	6,41E-03	2,72E-03	4,03E-02
10	Antik boyamada kullanılan mordan	3,78E-05	5,42E+01	2,31E+00	5,67E-08	1,99E+00	1,20E+00	2,62E+03	3,23E-03	6,03E-04	8,70E-03	2,89E-03	3,61E-02
11	Haşılta kullanılan pva	7,46E-06	3,10E+01	6,44E-01	1,89E-07	4,68E-01	3,03E-01	4,80E+02	5,02E-04	2,38E-04	2,31E-03	4,97E-04	5,39E-03
12	Beyaz kaplama binderi	3,52E-05	4,70E+01	2,04E+00	5,21E-08	1,82E+00	1,10E+00	2,38E+03	2,95E-03	5,29E-04	7,76E-03	2,60E-03	3,24E-02
13	Oksidasyon kimyasalı	3,26E-05	1,41E+01	1,31E+00	8,12E-07	1,40E+00	9,94E-01	2,45E+03	4,42E-03	2,60E-04	6,41E-03	2,72E-03	4,03E-02
14	Taş yıkamada kullanılan perlit	5,80E-06	1,23E+01	1,26E+00	1,26E-07	5,84E-01	3,87E-01	1,55E+03	1,87E-03	4,07E-04	8,42E-03	1,70E-03	1,01E-02
15	Pilling iyileştirici kimyasal	3,17E-05	4,23E+01	1,61E+00	3,56E-07	1,60E+00	1,06E+00	2,29E+03	3,13E-03	1,34E-03	7,74E-03	2,50E-03	5,15E-02
16	Tuz	2,20E-05	2,89E+00	2,73E-01	2,00E-08	7,81E-01	4,65E-01	7,64E+02	1,02E-03	7,41E-05	1,69E-03	7,10E-04	4,61E-03
17	Hidrofil silikon 1	9,54E-05	7,81E+01	4,06E+00	1,69E-06	1,67E+01	2,94E+00	6,10E+03	1,37E-02	2,26E-03	1,68E-02	9,68E-03	8,38E-02
18	Hidrofil silikon 2	9,54E-05	7,81E+01	4,06E+00	1,69E-06	1,67E+01	2,94E+00	6,10E+03	1,37E-02	2,26E-03	1,68E-02	9,68E-03	8,38E-02
19	İplik boya kombin kasar malzemesi	6,53E-05	4,52E+01	2,86E+00	1,12E-07	2,23E+00	1,38E+01	2,76E+03	5,55E+00	1,09E-03	1,34E-02	7,69E-03	9,96E-02

20	Çapraz bağlayıcı	3,17E-05	4,23E+01	1,61E+00	3,56E-07	1,60E+00	1,06E+00	2,29E+03	3,13E-03	1,34E-03	7,74E-03	2,50E-03	5,15E-02
21	Redüktif yıkama kim.	3,91E-04	1,45E+01	1,00E+00	8,21E-08	2,42E+00	1,55E+00	2,63E+03	3,19E-03	6,94E-04	1,89E-02	2,19E-03	5,37E-02
22	Sodyum hipoklorit	7,35E-05	2,43E+01	2,20E+00	1,47E-06	3,12E+00	2,17E+00	4,61E+03	1,13E-02	4,66E-04	1,13E-02	5,35E-03	6,10E-02
23	Sodyum karbonat	3,56E-05	1,30E+01	1,02E+00	9,28E-08	1,67E+00	8,89E-01	1,58E+03	2,28E-03	2,10E-04	4,91E-03	2,81E-03	2,83E-02
24	Sodyum persülfat	3,36E-04	2,04E+01	1,54E+00	3,74E-07	2,35E+00	1,74E+00	3,97E+03	4,92E-03	5,73E-04	1,37E-02	3,03E-03	6,84E-02
25	Sodyum slika	5,46E-05	1,93E+01	1,99E+00	4,65E-07	2,25E+00	1,47E+00	2,65E+03	4,01E-03	3,54E-04	6,73E-03	2,53E-03	2,78E-02
26	Sodyum sülfat	9,53E-05	3,60E+00	3,29E-01	1,98E-08	6,24E-01	3,85E-01	6,62E+02	7,89E-04	1,43E-04	3,53E-03	5,83E-04	8,81E-03
27	Üre	5,36E-04	1,51E+02	1,10E+01	6,18E-06	3,81E+01	7,76E+00	1,69E+04	2,43E-02	7,48E-03	8,87E-02	2,51E-02	2,74E-01
28	Akrilat bazlı kaplama binderi	3,72E-05	3,13E+01	1,38E+00	1,44E-07	1,64E+00	1,09E+00	2,00E+03	2,60E-03	7,81E-04	6,30E-03	2,22E-03	3,01E-02
29	Hidrofil silikon 3	3,40E-05	4,11E+01	3,10E+00	1,79E-06	2,02E+00	2,01E+00	7,07E+03	1,12E-01	9,28E-04	1,23E-02	4,59E-03	7,16E-02
30	Dyeart boyamalar ında kullanılan köpük kesici	4,96E-05	6,26E+01	4,84E+00	2,31E-04	3,21E+00	2,50E+00	1,01E+04	1,12E-02	1,30E-03	2,27E-02	6,35E-03	7,66E-02
31	Kükürt boyama işleri için kullanılıy or/bronza şma önleyici	7,19E-05	6,23E+00	6,09E-01	3,35E-08	7,33E-01	4,95E-01	9,15E+02	1,05E-03	1,50E-04	3,50E-03	9,59E-04	1,12E-02
32	Haşılada ve Slasherda Kullanılan Mısır Nişastası	2,79E-06	1,57E+01	1,64E+00	6,22E-06	4,88E-01	2,25E+00	1,99E+03	1,31E-01	3,53E-04	8,01E-03	3,31E-03	1,25E-01
33	Spor Giyimde ve İplik Boyada Kasar İşlemi Ağartma Amaçlı Kullanılır.	5,36E-06	1,73E+01	1,11E+00	1,08E-07	6,85E-01	1,64E+00	8,31E+03	2,07E-03	2,49E-04	5,23E-03	1,74E-03	8,20E-03
34	Haşılada kullanılan wax	4,21E-06	5,42E+01	7,47E-01	2,11E-08	3,20E-01	2,05E-01	6,31E+02	7,68E-04	2,12E-04	5,53E-03	8,97E-04	7,33E-03
35	Apres ıslatıcısı	7,94E-06	4,73E+01	1,76E+00	6,99E-08	8,61E-01	5,44E-01	1,61E+03	2,48E-03	4,99E-04	6,66E-03	2,38E-03	1,26E-02
36	Kükürt ve indigo boyama ıslatıcısı	1,06E-05	5,59E+01	1,56E+00	2,13E-07	1,04E+00	5,87E-01	2,91E+03	1,18E-02	5,30E-04	9,60E-03	2,38E-03	8,47E-03
37	Kasar ıslatıcısı	9,59E-06	4,74E+01	3,24E+00	8,83E-08	1,06E+00	1,34E+00	2,28E+03	2,98E-01	1,19E-03	9,69E-03	4,02E-03	3,33E-02

38	İndigo boya için indirgen madde	1,50E- 04	2,30E +01	1,78E +00	6,67E- 07	1,07E +00	8,38E- 01	2,61E +03	7,32E- 03	4,17E- 04	9,61E- 03	3,74E- 03	1,13E- 02
39	Kombin kasar maddesi	1,08E- 05	5,84E +01	2,60E +00	9,95E- 08	1,11E +00	9,12E- 01	2,31E +03	9,23E- 02	8,06E- 04	1,03E- 02	3,48E- 03	2,59E- 01
40	Kombin kasar ıslatıcısı	9,52E- 06	5,64E +01	2,64E +00	7,19E- 07	1,00E +00	7,50E- 01	2,41E +03	8,53E- 03	1,32E- 03	1,15E- 02	3,82E- 03	1,16E- 02
41	Yüksek be' merserize işlemlerin de kullanılan ıslatıcı.	9,59E- 06	4,74E +01	3,24E +00	8,83E- 08	1,06E +00	1,34E +00	2,28E +03	2,98E- 01	1,19E- 03	9,69E- 03	4,02E- 03	3,33E- 02
42	Aprelerde kullanılan polietilen	4,21E- 06	5,42E +01	7,47E- 01	2,11E- 08	3,20E- 01	2,05E- 01	6,31E +02	7,68E- 04	2,12E- 04	5,53E- 03	8,97E- 04	7,33E- 03
43	Akrilat bazlı kaplama binderi	2,30E- 05	4,00E +01	2,50E +00	2,90E- 07	1,50E +00	1,49E +00	4,92E +03	5,02E- 03	1,56E- 03	2,21E- 02	5,00E- 03	3,83E- 02
44	Düşük be' merserize işlemlerin de kullanılan ıslatıcı.	1,80E- 05	4,63E +01	1,04E +00	5,31E- 07	6,15E- 01	4,08E- 01	1,21E +03	2,23E- 03	5,29E- 04	1,10E- 02	1,90E- 03	6,34E- 03
45	Yüksek sıcaklığa dayanıklı binder	2,30E- 05	4,00E +01	2,50E +00	2,90E- 07	1,50E +00	1,49E +00	4,92E +03	5,02E- 03	1,56E- 03	2,21E- 02	5,00E- 03	3,83E- 02
46	Halat boyada son banyoda verilen ipliklerin yapışması nı engelleye n kayganlaş tırıcı	4,21E- 06	5,42E +01	7,47E- 01	2,11E- 08	3,20E- 01	2,05E- 01	6,31E +02	7,68E- 04	2,12E- 04	5,53E- 03	8,97E- 04	7,33E- 03
47	Siyah pigment boya	4,48E- 06	9,02E +01	2,53E +00	1,10E- 06	4,08E- 01	2,28E- 01	6,21E +02	1,50E- 03	4,80E- 04	1,13E- 02	1,40E- 03	6,52E- 03
48	Noniyoni k yumuşatıcı	1,14E- 05	5,09E +01	2,71E +00	2,44E- 07	1,04E +00	1,13E +00	2,56E +03	1,71E- 01	9,20E- 04	1,33E- 02	3,96E- 03	1,95E- 01
49	Islatıcı	8,56E- 06	4,04E +01	3,64E +00	1,03E- 07	9,68E- 01	1,80E +00	2,71E +03	4,82E- 01	1,44E- 03	1,20E- 02	5,30E- 03	5,31E- 01
50	Kaplamad a kullanılan çapraz bağlayıcı	2,55E- 05	8,31E +01	4,52E +00	6,40E- 07	2,58E +00	1,26E +00	3,53E +03	7,78E- 03	1,84E- 03	3,30E- 02	6,36E- 03	1,82E- 02
51	Akrilat bazlı kaplama binderi	2,30E- 05	4,00E +01	2,50E +00	2,90E- 07	1,50E +00	1,49E +00	4,92E +03	5,02E- 03	1,56E- 03	2,21E- 02	5,00E- 03	3,83E- 02

52	Sülfür boya banyosun da indirgen madde	1,50E- 04	2,30E +01	1,78E +00	6,67E- 07	1,07E +00	8,38E- 01	2,61E +03	7,32E- 03	4,17E- 04	9,61E- 03	3,74E- 03	1,13E- 02
53	Sülfür boya banyosun da indirgen madde	1,50E- 04	2,30E +01	1,78E +00	6,67E- 07	1,07E +00	8,38E- 01	2,61E +03	7,32E- 03	4,17E- 04	9,61E- 03	3,74E- 03	1,13E- 02
54	Reaktif boyar madde	4,10E- 06	6,04E +01	1,97E +00	1,38E- 07	1,59E +00	3,72E- 01	1,16E +03	2,19E- 03	8,54E- 04	8,54E- 03	1,89E- 03	7,97E- 03
55	Save boyamalar da kullanılan boyama sonu fixatörü	4,10E- 06	6,04E +01	1,97E +00	1,38E- 07	1,59E +00	3,72E- 01	1,16E +03	2,19E- 03	8,54E- 04	8,54E- 03	1,89E- 03	7,97E- 03
56	Optik nüans maddesi	1,82E- 05	2,69E +02	1,64E +01	2,93E- 06	3,35E +00	4,72E +00	2,79E +04	1,14E- 02	4,46E- 03	1,41E- 01	1,86E- 02	4,48E+ 00
57	Doğal boyama mordanı	4,36E- 06	3,06E +00	2,59E- 01	2,46E- 08	3,01E- 01	2,06E- 01	5,51E +02	8,53E- 04	7,07E- 05	1,64E- 03	7,08E- 04	1,55E- 03
58	Siyah sülfür boya	4,10E- 06	6,04E +01	1,97E +00	1,38E- 07	1,59E +00	3,72E- 01	1,16E +03	2,19E- 03	8,54E- 04	8,54E- 03	1,89E- 03	7,97E- 03
59	Yeşil nüanslı mavi sülfür boya	4,10E- 06	6,04E +01	1,97E +00	1,38E- 07	1,59E +00	3,72E- 01	1,16E +03	2,19E- 03	8,54E- 04	8,54E- 03	1,89E- 03	7,97E- 03
60	Kırmızı nüanslı mavi sülfür boya	4,10E- 06	6,04E +01	1,97E +00	1,38E- 07	1,59E +00	3,72E- 01	1,16E +03	2,19E- 03	8,54E- 04	8,54E- 03	1,89E- 03	7,97E- 03
61	Bordo sülfür boya	4,10E- 06	6,04E +01	1,97E +00	1,38E- 07	1,59E +00	3,72E- 01	1,16E +03	2,19E- 03	8,54E- 04	8,54E- 03	1,89E- 03	7,97E- 03
62	Sarı nüanslı kahvereng i sülfür boya	4,10E- 06	6,04E +01	1,97E +00	1,38E- 07	1,59E +00	3,72E- 01	1,16E +03	2,19E- 03	8,54E- 04	8,54E- 03	1,89E- 03	7,97E- 03
63	Yeşil nüanslı kahvereng i sülfür boya	4,10E- 06	6,04E +01	1,97E +00	1,38E- 07	1,59E +00	3,72E- 01	1,16E +03	2,19E- 03	8,54E- 04	8,54E- 03	1,89E- 03	7,97E- 03
64	Yeşil nüanslı kahvereng i sülfür boya 2	4,10E- 06	6,04E +01	1,97E +00	1,38E- 07	1,59E +00	3,72E- 01	1,16E +03	2,19E- 03	8,54E- 04	8,54E- 03	1,89E- 03	7,97E- 03
65	Kırmızı nüanslı kahvereng i sülfür boya	4,10E- 06	6,04E +01	1,97E +00	1,38E- 07	1,59E +00	3,72E- 01	1,16E +03	2,19E- 03	8,54E- 04	8,54E- 03	1,89E- 03	7,97E- 03

66	Sarı nüanslı kahvereng i sülfür boya 2	4,10E- 06	6,04E +01	1,97E +00	1,38E- 07	1,59E +00	3,72E- 01	1,16E +03	2,19E- 03	8,54E- 04	8,54E- 03	1,89E- 03	7,97E- 03
67	Koyu haki sülfür boya	4,10E- 06	6,04E +01	1,97E +00	1,38E- 07	1,59E +00	3,72E- 01	1,16E +03	2,19E- 03	8,54E- 04	8,54E- 03	1,89E- 03	7,97E- 03
68	Yeşil sülfür boya	4,10E- 06	6,04E +01	1,97E +00	1,38E- 07	1,59E +00	3,72E- 01	1,16E +03	2,19E- 03	8,54E- 04	8,54E- 03	1,89E- 03	7,97E- 03
69	Yeşil nüanslı mavi sülfür boya	4,10E- 06	6,04E +01	1,97E +00	1,38E- 07	1,59E +00	3,72E- 01	1,16E +03	2,19E- 03	8,54E- 04	8,54E- 03	1,89E- 03	7,97E- 03
70	Kırmızı nüanslı mavi sülfür boya	4,10E- 06	6,04E +01	1,97E +00	1,38E- 07	1,59E +00	3,72E- 01	1,16E +03	2,19E- 03	8,54E- 04	8,54E- 03	1,89E- 03	7,97E- 03
71	Lacivert sülfür boya	4,10E- 06	6,04E +01	1,97E +00	1,38E- 07	1,59E +00	3,72E- 01	1,16E +03	2,19E- 03	8,54E- 04	8,54E- 03	1,89E- 03	7,97E- 03
72	Haki sülfür boya	4,10E- 06	6,04E +01	1,97E +00	1,38E- 07	1,59E +00	3,72E- 01	1,16E +03	2,19E- 03	8,54E- 04	8,54E- 03	1,89E- 03	7,97E- 03
73	Sarı nüanslı haki sülfür boya	4,10E- 06	6,04E +01	1,97E +00	1,38E- 07	1,59E +00	3,72E- 01	1,16E +03	2,19E- 03	8,54E- 04	8,54E- 03	1,89E- 03	7,97E- 03
74	Kırmızı nüanslı özel mavi sülfür boya	4,10E- 06	6,04E +01	1,97E +00	1,38E- 07	1,59E +00	3,72E- 01	1,16E +03	2,19E- 03	8,54E- 04	8,54E- 03	1,89E- 03	7,97E- 03
75	Kırmızı nüanslı sarı sülfür boya	4,10E- 06	6,04E +01	1,97E +00	1,38E- 07	1,59E +00	3,72E- 01	1,16E +03	2,19E- 03	8,54E- 04	8,54E- 03	1,89E- 03	7,97E- 03
76	İplik boyada kullanılan merserize hashığı yüksek sıcaklığa dayanan mavi reaktif boyarmad de	4,10E- 06	6,04E +01	1,97E +00	1,38E- 07	1,59E +00	3,72E- 01	1,16E +03	2,19E- 03	8,54E- 04	8,54E- 03	1,89E- 03	7,97E- 03
77	İplik boyada kullanılan merserize hashığı yüksek sıcaklığa dayanan sarı nüanslı kırmızı reaktif boyarmad de	4,10E- 06	6,04E +01	1,97E +00	1,38E- 07	1,59E +00	3,72E- 01	1,16E +03	2,19E- 03	8,54E- 04	8,54E- 03	1,89E- 03	7,97E- 03

78	İplik boyada kullanılan merserize haslığı yüksek sıcaklığa dayanan lacivert reaktif boyarmad de	4,10E-06	6,04E+01	1,97E+00	1,38E-07	1,59E+00	3,72E-01	1,16E+03	2,19E-03	8,54E-04	8,54E-03	1,89E-03	7,97E-03
79	İplik boyada kullanılan merserize haslığı yüksek sıcaklığa dayanan kırmızı reaktif boyarmad de	4,10E-06	6,04E+01	1,97E+00	1,38E-07	1,59E+00	3,72E-01	1,16E+03	2,19E-03	8,54E-04	8,54E-03	1,89E-03	7,97E-03
80	İplik boyada kullanılan merserize haslığı yüksek sıcaklığa dayanan sarı reaktif boyarmad de	4,10E-06	6,04E+01	1,97E+00	1,38E-07	1,59E+00	3,72E-01	1,16E+03	2,19E-03	8,54E-04	8,54E-03	1,89E-03	7,97E-03
81	Spor giyim ve denimde kullanılan yeşil nüanslı reaktif siyah boyar madde	4,10E-06	6,04E+01	1,97E+00	1,38E-07	1,59E+00	3,72E-01	1,16E+03	2,19E-03	8,54E-04	8,54E-03	1,89E-03	7,97E-03
82	Spor giyim reaktif boyamalar ında kullanılan mavi reaktif boyarmad de	4,10E-06	6,04E+01	1,97E+00	1,38E-07	1,59E+00	3,72E-01	1,16E+03	2,19E-03	8,54E-04	8,54E-03	1,89E-03	7,97E-03
83	Denim apre işlerinde haslık arttırıcı	4,10E-06	6,04E+01	1,97E+00	1,38E-07	1,59E+00	3,72E-01	1,16E+03	2,19E-03	8,54E-04	8,54E-03	1,89E-03	7,97E-03

84	Bazı aprelerde kullanılan yumuşak tuşeli akrilik bazlı binder	2,30E- 05	4,00E +01	2,50E +00	2,90E- 07	1,50E +00	1,49E +00	4,92E +03	5,02E- 03	1,56E- 03	2,21E- 02	5,00E- 03	3,83E- 02
85	Staydark ve stayblack renklerin den boyama sonu fixatör	4,10E- 06	6,04E +01	1,97E +00	1,38E- 07	1,59E +00	3,72E- 01	1,16E +03	2,19E- 03	8,54E- 04	8,54E- 03	1,89E- 03	7,97E- 03
86	İndigo boya için indirgen madde	1,50E- 04	2,30E +01	1,78E +00	6,67E- 07	1,07E +00	8,38E- 01	2,61E +03	7,32E- 03	4,17E- 04	9,61E- 03	3,74E- 03	1,13E- 02
87	İndigo boya için indirgen madde	1,50E- 04	2,30E +01	1,78E +00	6,67E- 07	1,07E +00	8,38E- 01	2,61E +03	7,32E- 03	4,17E- 04	9,61E- 03	3,74E- 03	1,13E- 02
88	Spor giyim ve denim işlerinde haslık iyileştirm e için kullanılan fiksator	4,10E- 06	6,04E +01	1,97E +00	1,38E- 07	1,59E +00	3,72E- 01	1,16E +03	2,19E- 03	8,54E- 04	8,54E- 03	1,89E- 03	7,97E- 03
89	Haslık arttırıcı fiksator	4,10E- 06	6,04E +01	1,97E +00	1,38E- 07	1,59E +00	3,72E- 01	1,16E +03	2,19E- 03	8,54E- 04	8,54E- 03	1,89E- 03	7,97E- 03
90	Asit tamponu	4,10E- 06	6,04E +01	1,97E +00	1,38E- 07	1,59E +00	3,72E- 01	1,16E +03	2,19E- 03	8,54E- 04	8,54E- 03	1,89E- 03	7,97E- 03
91	Cardinal aprede kullanılan akrilat	2,22E- 05	2,97E +01	2,54E +00	3,74E- 07	1,29E +00	1,07E +00	3,52E +03	5,08E- 03	8,10E- 04	1,69E- 02	4,73E- 03	1,70E- 02
92	Akrilat bazlı binder	2,22E- 05	2,97E +01	2,54E +00	3,74E- 07	1,29E +00	1,07E +00	3,52E +03	5,08E- 03	8,10E- 04	1,69E- 02	4,73E- 03	1,70E- 02
93	Yumuşak tuşeli kaplamala r için kullanılan kaplama baskı patı	2,22E- 05	2,97E +01	2,54E +00	3,74E- 07	1,29E +00	1,07E +00	3,52E +03	5,08E- 03	8,10E- 04	1,69E- 02	4,73E- 03	1,70E- 02
94	Anti bakteriel apre kimyasalı	4,10E- 06	6,04E +01	1,97E +00	1,38E- 07	1,59E +00	3,72E- 01	1,16E +03	2,19E- 03	8,54E- 04	8,54E- 03	1,89E- 03	7,97E- 03
95	Kükürt boyama işleri için bronzlaşm a önleyici	1,69E- 05	2,78E +01	1,53E +00	5,22E- 07	9,43E- 01	6,69E- 01	2,04E +03	5,26E- 03	1,91E- 03	4,67E- 02	3,05E- 03	8,88E- 03

96	Spor giyim ve denim işlerinde antisitatik apre	1,69E- 05	2,78E +01	1,53E +00	5,22E- 07	9,43E- 01	6,69E- 01	2,04E +03	5,26E- 03	1,91E- 03	4,67E- 02	3,05E- 03	8,88E- 03
97	İplik boyada kullanılan avivaj maddesi	3,61E- 09	4,64E- 02	6,41E- 04	1,82E- 11	2,75E- 04	1,76E- 04	5,41E- 01	6,60E- 07	1,82E- 07	4,74E- 06	7,70E- 07	6,28E- 06
98	Modifiye indigo	2,16E- 05	2,59E +01	2,31E +00	3,31E- 07	1,19E +00	1,04E +00	3,44E +03	4,69E- 03	7,62E- 04	1,57E- 02	4,50E- 03	1,63E- 02
99	Chintz apre ve kaplamad a kullanılan katalizator	7,38E- 07	7,02E +00	5,18E- 01	7,47E- 08	2,01E- 01	1,61E- 01	4,88E +02	1,22E- 03	1,71E- 04	4,72E- 03	1,19E- 03	2,36E- 03
100	İndigo içeren kaplama binderi	9,34E- 06	1,35E +01	1,17E +00	2,28E- 07	5,83E- 01	4,87E- 01	1,61E +03	2,75E- 03	3,90E- 04	8,66E- 03	2,33E- 03	8,37E- 03
101	Bromo indigo içeren kaplama binderi	9,34E- 06	1,35E +01	1,17E +00	2,28E- 07	5,83E- 01	4,87E- 01	1,61E +03	2,75E- 03	3,90E- 04	8,66E- 03	2,33E- 03	8,37E- 03
102	Kaplamad a kullanılan çapraz bağlayıcı	8,86E- 06	5,98E +01	2,37E +00	1,10E- 07	1,07E +00	6,41E- 01	2,00E +03	3,12E- 03	6,42E- 04	9,29E- 03	2,99E- 03	3,37E- 02
103	Kaplamad a kullanılan kıvamaştırıcı	8,86E- 06	5,98E +01	2,37E +00	1,10E- 07	1,07E +00	6,41E- 01	2,00E +03	3,12E- 03	6,42E- 04	9,29E- 03	2,99E- 03	3,37E- 02
104	Siyah dispers boyar madde	2,81E- 06	1,58E +01	1,64E +00	6,22E- 06	4,91E- 01	2,26E +00	2,00E +03	1,31E- 01	3,54E- 04	8,04E- 03	3,32E- 03	8,08E- 03
105	Haşıl sökme enzimi	2,81E- 06	1,58E +01	1,64E +00	6,22E- 06	4,91E- 01	2,26E +00	2,00E +03	1,31E- 01	3,54E- 04	8,04E- 03	3,32E- 03	8,08E- 03
106	Antiperok sit enzimi	2,81E- 06	1,58E +01	1,64E +00	6,22E- 06	4,91E- 01	2,26E +00	2,00E +03	1,31E- 01	3,54E- 04	8,04E- 03	3,32E- 03	8,08E- 03
107	Kahveren gi indantren boyar madde	2,03E- 05	8,14E +01	4,48E +00	1,68E- 06	1,42E +01	1,63E +00	5,15E +03	1,78E- 02	2,33E- 03	2,16E- 02	1,12E- 02	1,21E- 02
108	Gri indantren boyar madde	2,03E- 05	8,14E +01	4,48E +00	1,68E- 06	1,42E +01	1,63E +00	5,15E +03	1,78E- 02	2,33E- 03	2,16E- 02	1,12E- 02	1,21E- 02
109	%40 lık indirgenm iş indigo	9,34E- 06	1,35E +01	1,17E +00	2,28E- 07	5,83E- 01	4,87E- 01	1,61E +03	2,75E- 03	3,90E- 04	8,66E- 03	2,33E- 03	8,37E- 03
110	Plik boyada kombin kasar malzemesi	4,10E- 06	6,04E +01	1,97E +00	1,38E- 07	1,59E +00	3,72E- 01	1,16E +03	2,19E- 03	8,54E- 04	8,54E- 03	1,89E- 03	7,97E- 03

111	Lanolin içerikli doğal apre kimyasalı	2,81E- 06	1,58E +01	1,64E +00	6,22E- 06	4,91E- 01	2,26E +00	2,00E +03	1,31E- 01	3,54E- 04	8,04E- 03	3,32E- 03	8,08E- 03
112	Indanthre n boyamalar da kullanılan egalizatör	4,10E- 06	6,04E +01	1,97E +00	1,38E- 07	1,59E +00	3,72E- 01	1,16E +03	2,19E- 03	8,54E- 04	8,54E- 03	1,89E- 03	7,97E- 03
113	Jet işlerinde kanat farkı olmaması için egalizatör	4,10E- 06	6,04E +01	1,97E +00	1,38E- 07	1,59E +00	3,72E- 01	1,16E +03	2,19E- 03	8,54E- 04	8,54E- 03	1,89E- 03	7,97E- 03
114	Makro silikon	2,81E- 06	1,58E +01	1,64E +00	6,22E- 06	4,91E- 01	2,26E +00	2,00E +03	1,31E- 01	3,54E- 04	8,04E- 03	3,32E- 03	8,08E- 03
115	Spor giyim apresinde kullanılan mikro silikon	2,81E- 06	1,58E +01	1,64E +00	6,22E- 06	4,91E- 01	2,26E +00	2,00E +03	1,31E- 01	3,54E- 04	8,04E- 03	3,32E- 03	8,08E- 03
116	Nar kabuğu ekstraktı doğal boya	4,10E- 06	6,04E +01	1,97E +00	1,38E- 07	1,59E +00	3,72E- 01	1,16E +03	2,19E- 03	8,54E- 04	8,54E- 03	1,89E- 03	7,97E- 03
117	Organik asit	4,10E- 06	6,04E +01	1,97E +00	1,38E- 07	1,59E +00	3,72E- 01	1,16E +03	2,19E- 03	8,54E- 04	8,54E- 03	1,89E- 03	7,97E- 03
118	Spor giyim organik kasar işlerinde peroksit stabilizatö rü	4,10E- 06	6,04E +01	1,97E +00	1,38E- 07	1,59E +00	3,72E- 01	1,16E +03	2,19E- 03	8,54E- 04	8,54E- 03	1,89E- 03	7,97E- 03
119	Dye-art için mavi pigment boya	2,16E- 05	2,59E +01	2,31E +00	3,31E- 07	1,19E +00	1,04E +00	3,44E +03	4,69E- 03	7,62E- 04	1,57E- 02	4,50E- 03	1,63E- 02
120	Dye-art için sarı pigment boya	2,16E- 05	2,59E +01	2,31E +00	3,31E- 07	1,19E +00	1,04E +00	3,44E +03	4,69E- 03	7,62E- 04	1,57E- 02	4,50E- 03	1,63E- 02
121	Dye-art için kırmızı pigment boya	2,16E- 05	2,59E +01	2,31E +00	3,31E- 07	1,19E +00	1,04E +00	3,44E +03	4,69E- 03	7,62E- 04	1,57E- 02	4,50E- 03	1,63E- 02
122	Yeşil nüanslı mavi pigment boya	2,16E- 05	2,59E +01	2,31E +00	3,31E- 07	1,19E +00	1,04E +00	3,44E +03	4,69E- 03	7,62E- 04	1,57E- 02	4,50E- 03	1,63E- 02
123	Kırmızı nüanslı mavi pigment boya	2,16E- 05	2,59E +01	2,31E +00	3,31E- 07	1,19E +00	1,04E +00	3,44E +03	4,69E- 03	7,62E- 04	1,57E- 02	4,50E- 03	1,63E- 02

124	Yeşil pigment boya	2,16E-05	2,59E+01	2,31E+00	3,31E-07	1,19E+00	1,04E+00	3,44E+03	4,69E-03	7,62E-04	1,57E-02	4,50E-03	1,63E-02
125	Kırmızı pigment boya	2,16E-05	2,59E+01	2,31E+00	3,31E-07	1,19E+00	1,04E+00	3,44E+03	4,69E-03	7,62E-04	1,57E-02	4,50E-03	1,63E-02
126	Sarı pigment boya	2,16E-05	2,59E+01	2,31E+00	3,31E-07	1,19E+00	1,04E+00	3,44E+03	4,69E-03	7,62E-04	1,57E-02	4,50E-03	1,63E-02
127	Kahverengi pigment boya	2,16E-05	2,59E+01	2,31E+00	3,31E-07	1,19E+00	1,04E+00	3,44E+03	4,69E-03	7,62E-04	1,57E-02	4,50E-03	1,63E-02
128	Lacivert pigment boya	2,16E-05	2,59E+01	2,31E+00	3,31E-07	1,19E+00	1,04E+00	3,44E+03	4,69E-03	7,62E-04	1,57E-02	4,50E-03	1,63E-02
129	Siyah pigment boya	2,16E-05	2,59E+01	2,31E+00	3,31E-07	1,19E+00	1,04E+00	3,44E+03	4,69E-03	7,62E-04	1,57E-02	4,50E-03	1,63E-02
130	Deri kaplama binderi	2,22E-05	2,97E+01	2,54E+00	3,74E-07	1,29E+00	1,07E+00	3,52E+03	5,08E-03	8,10E-04	1,69E-02	4,73E-03	1,70E-02
131	Aprede kullanılan poliüretan	2,22E-05	2,97E+01	2,54E+00	3,74E-07	1,29E+00	1,07E+00	3,52E+03	5,08E-03	8,10E-04	1,69E-02	4,73E-03	1,70E-02
132	Kırmızı nüanslı siyah reaktif boya	2,81E-06	1,58E+01	1,64E+00	6,22E-06	4,91E-01	2,26E+00	2,00E+03	1,31E-01	3,54E-04	8,04E-03	3,32E-03	8,08E-03
133	Mavi reaktif boya	2,81E-06	1,58E+01	1,64E+00	6,22E-06	4,91E-01	2,26E+00	2,00E+03	1,31E-01	3,54E-04	8,04E-03	3,32E-03	8,08E-03
134	Kahverengi reaktif boya	2,81E-06	1,58E+01	1,64E+00	6,22E-06	4,91E-01	2,26E+00	2,00E+03	1,31E-01	3,54E-04	8,04E-03	3,32E-03	8,08E-03
135	Koyu kırmızı reaktif boya	2,81E-06	1,58E+01	1,64E+00	6,22E-06	4,91E-01	2,26E+00	2,00E+03	1,31E-01	3,54E-04	8,04E-03	3,32E-03	8,08E-03
136	Parlak sarı reaktif boya	2,81E-06	1,58E+01	1,64E+00	6,22E-06	4,91E-01	2,26E+00	2,00E+03	1,31E-01	3,54E-04	8,04E-03	3,32E-03	8,08E-03
137	Haki reaktif boya	2,81E-06	1,58E+01	1,64E+00	6,22E-06	4,91E-01	2,26E+00	2,00E+03	1,31E-01	3,54E-04	8,04E-03	3,32E-03	8,08E-03
138	Sarı reaktif boya	2,81E-06	1,58E+01	1,64E+00	6,22E-06	4,91E-01	2,26E+00	2,00E+03	1,31E-01	3,54E-04	8,04E-03	3,32E-03	8,08E-03
139	Mavi reaktif boya	2,81E-06	1,58E+01	1,64E+00	6,22E-06	4,91E-01	2,26E+00	2,00E+03	1,31E-01	3,54E-04	8,04E-03	3,32E-03	8,08E-03
140	Koyu mavi reaktif boya	2,81E-06	1,58E+01	1,64E+00	6,22E-06	4,91E-01	2,26E+00	2,00E+03	1,31E-01	3,54E-04	8,04E-03	3,32E-03	8,08E-03
141	Altın sarı reaktif boya	2,81E-06	1,58E+01	1,64E+00	6,22E-06	4,91E-01	2,26E+00	2,00E+03	1,31E-01	3,54E-04	8,04E-03	3,32E-03	8,08E-03
142	Gri reaktif boya	2,81E-06	1,58E+01	1,64E+00	6,22E-06	4,91E-01	2,26E+00	2,00E+03	1,31E-01	3,54E-04	8,04E-03	3,32E-03	8,08E-03
143	Lacivert reaktif boya	2,81E-06	1,58E+01	1,64E+00	6,22E-06	4,91E-01	2,26E+00	2,00E+03	1,31E-01	3,54E-04	8,04E-03	3,32E-03	8,08E-03

144	Koyu siyah reaktif boya	2,81E-06	1,58E+01	1,64E+00	6,22E-06	4,91E-01	2,26E+00	2,00E+03	1,31E-01	3,54E-04	8,04E-03	3,32E-03	8,08E-03
145	Redüksiyon önleyici	2,81E-06	1,58E+01	1,64E+00	6,22E-06	4,91E-01	2,26E+00	2,00E+03	1,31E-01	3,54E-04	8,04E-03	3,32E-03	8,08E-03
146	Reçine	2,81E-06	1,58E+01	1,64E+00	6,22E-06	4,91E-01	2,26E+00	2,00E+03	1,31E-01	3,54E-04	8,04E-03	3,32E-03	8,08E-03
147	Pas sökücü	4,10E-06	6,04E+01	1,97E+00	1,38E-07	1,59E+00	3,72E-01	1,16E+03	2,19E-03	8,54E-04	8,54E-03	1,89E-03	7,97E-03
148	Reaktif boyamaların inkişafında kullanılan tuz	3,13E-05	2,11E+01	1,34E+00	3,90E-07	1,04E+00	1,10E+00	4,34E+03	4,79E-03	5,44E-04	1,29E-02	3,07E-03	9,65E-03
149	Spor giyimde reaktif boyama ve iplik boyada tüm işlemlerde kullanılan iyon tutucu	2,81E-06	1,58E+01	1,64E+00	6,22E-06	4,91E-01	2,26E+00	2,00E+03	1,31E-01	3,54E-04	8,04E-03	3,32E-03	8,08E-03
150	Denim boyamalarda iyon tutucu	2,81E-06	1,58E+01	1,64E+00	6,22E-06	4,91E-01	2,26E+00	2,00E+03	1,31E-01	3,54E-04	8,04E-03	3,32E-03	8,08E-03
151		2,81E-06	1,58E+01	1,64E+00	6,22E-06	4,91E-01	2,26E+00	2,00E+03	1,31E-01	3,54E-04	8,04E-03	3,32E-03	8,08E-03
152	Pes e pamuk yumuşaklığı sağlayan silikon	2,81E-06	1,58E+01	1,64E+00	6,22E-06	4,91E-01	2,26E+00	2,00E+03	1,31E-01	3,54E-04	8,04E-03	3,32E-03	8,08E-03
153	Pva haşıl maddesi	4,69E-06	5,71E+01	9,28E-01	5,46E-08	4,04E-01	2,29E-01	6,90E+02	1,07E-03	2,42E-04	6,25E-03	1,06E-03	8,34E-03
154	Nişasta haşılı	4,69E-06	5,71E+01	9,28E-01	5,46E-08	4,04E-01	2,29E-01	6,90E+02	1,07E-03	2,42E-04	6,25E-03	1,06E-03	8,34E-03
155	Haşıl da kullanılan akrilik emülsiyonu	4,69E-06	5,71E+01	9,28E-01	5,46E-08	4,04E-01	2,29E-01	6,90E+02	1,07E-03	2,42E-04	6,25E-03	1,06E-03	8,34E-03
156	İplik boyada kullanılan sabun	2,81E-06	1,58E+01	1,64E+00	6,22E-06	4,91E-01	2,26E+00	2,00E+03	1,31E-01	3,54E-04	8,04E-03	3,32E-03	8,08E-03
157	Kahverengi sülfür boya	1,50E-04	2,30E+01	1,78E+00	6,67E-07	1,07E+00	8,38E-01	2,61E+03	7,32E-03	4,17E-04	9,61E-03	3,74E-03	1,13E-02
158	Su yeşili sülfür boya	1,50E-04	2,30E+01	1,78E+00	6,67E-07	1,07E+00	8,38E-01	2,61E+03	7,32E-03	4,17E-04	9,61E-03	3,74E-03	1,13E-02
159	Siyah sülfür boya	1,50E-04	2,30E+01	1,78E+00	6,67E-07	1,07E+00	8,38E-01	2,61E+03	7,32E-03	4,17E-04	9,61E-03	3,74E-03	1,13E-02
160	Siyah sülfür boya	1,50E-04	2,30E+01	1,78E+00	6,67E-07	1,07E+00	8,38E-01	2,61E+03	7,32E-03	4,17E-04	9,61E-03	3,74E-03	1,13E-02

161	Mavi nüanslı siyah sülfür boya	1,50E-04	2,30E+01	1,78E+00	6,67E-07	1,07E+00	8,38E-01	2,61E+03	7,32E-03	4,17E-04	9,61E-03	3,74E-03	1,13E-02
162	Kaplama için kıvamlaştırıcı	4,12E-06	6,05E+01	1,97E+00	1,43E-07	1,58E+00	3,72E-01	1,16E+03	2,19E-03	8,66E-04	8,56E-03	1,89E-03	6,79E-03
163	İndigo boya için ıslatıcı	6,94E-05	2,94E+01	1,69E+00	2,93E-07	2,31E+00	3,23E+00	6,76E+03	8,58E-03	1,01E-03	2,34E-02	1,09E-02	2,73E-02
164	Beyaz kaplama binderi	9,34E-06	1,35E+01	1,17E+00	2,28E-07	5,83E-01	4,87E-01	1,61E+03	2,75E-03	3,90E-04	8,66E-03	2,33E-03	8,37E-03
165	Mavi dispers boya	2,81E-06	1,58E+01	1,64E+00	6,22E-06	4,91E-01	2,26E+00	2,00E+03	1,31E-01	3,54E-04	8,04E-03	3,32E-03	8,08E-03
166	Kırmızı dispers boya	2,81E-06	1,58E+01	1,64E+00	6,22E-06	4,91E-01	2,26E+00	2,00E+03	1,31E-01	3,54E-04	8,04E-03	3,32E-03	8,08E-03
167	Doğal boyama dispersatörü	4,10E-06	6,04E+01	1,97E+00	1,38E-07	1,59E+00	3,72E-01	1,16E+03	2,19E-03	8,54E-04	8,54E-03	1,89E-03	7,97E-03
168	Doğal boyama fixatörü	4,10E-06	6,04E+01	1,97E+00	1,38E-07	1,59E+00	3,72E-01	1,16E+03	2,19E-03	8,54E-04	8,54E-03	1,89E-03	7,97E-03
169	Antistatik harman yağı	2,81E-06	1,58E+01	1,64E+00	6,22E-06	4,91E-01	2,26E+00	2,00E+03	1,31E-01	3,54E-04	8,04E-03	3,32E-03	8,08E-03
170	İplik boyada kullanılan yıkama malzemesi	8,42E-06	5,02E+01	1,94E+00	1,03E-07	9,45E-01	5,67E-01	1,67E+03	2,78E-03	5,29E-04	7,38E-03	2,55E-03	2,74E-02
171	Doğal indigo (indigofera tinctoria)	9,34E-06	1,35E+01	1,17E+00	2,28E-07	5,83E-01	4,87E-01	1,61E+03	2,75E-03	3,90E-04	8,66E-03	2,33E-03	8,37E-03
172	Spor giyim yağ sökücü	8,42E-06	5,02E+01	1,94E+00	1,03E-07	9,45E-01	5,67E-01	1,67E+03	2,78E-03	5,29E-04	7,38E-03	2,55E-03	2,74E-02
173	Gots onaylı apre ıslatıcısı	6,94E-05	2,94E+01	1,69E+00	2,93E-07	2,31E+00	3,23E+00	6,76E+03	8,58E-03	1,01E-03	2,34E-02	1,09E-02	2,73E-02
174	Akrilat bazlı kaplama binderi	2,22E-05	2,97E+01	2,54E+00	3,74E-07	1,29E+00	1,07E+00	3,52E+03	5,08E-03	8,10E-04	1,69E-02	4,73E-03	1,70E-02
175	Nişasta haşılı	4,69E-06	5,71E+01	9,28E-01	5,46E-08	4,04E-01	2,29E-01	6,90E+02	1,07E-03	2,42E-04	6,25E-03	1,06E-03	8,34E-03
176	Sarı indantren boya	2,03E-05	8,14E+01	4,48E+00	1,68E-06	1,42E+01	1,63E+00	5,15E+03	1,78E-02	2,33E-03	2,16E-02	1,12E-02	1,21E-02
177	Gri çözgü boyamada kullanılan ıslatıcı	6,94E-05	2,94E+01	1,69E+00	2,93E-07	2,31E+00	3,23E+00	6,76E+03	8,58E-03	1,01E-03	2,34E-02	1,09E-02	2,73E-02

178	Aprede kullanılan akrilat bazlı binder	2,22E- 05	2,97E +01	2,54E +00	3,74E- 07	1,29E +00	1,07E +00	3,52E +03	5,08E- 03	8,10E- 04	1,69E- 02	4,73E- 03	1,70E- 02
179	Pu için çapraz bağlayıcı	2,22E- 05	2,97E +01	2,54E +00	3,74E- 07	1,29E +00	1,07E +00	3,52E +03	5,08E- 03	8,10E- 04	1,69E- 02	4,73E- 03	1,70E- 02
180	Su tasarruflu boyama fixatörü	4,16E- 06	6,12E +01	2,02E +00	1,50E- 07	1,60E +00	3,77E- 01	1,18E +03	2,26E- 03	8,90E- 04	9,26E- 03	1,97E- 03	6,79E- 03

**EK 2. Boyar Maddeler ve İlgili Reaktif Karışımlarının Farklı Konsantrasyonlardaki
Sulu Çözeltilerinin AKM Değerleri**

Sıra No	Çözücü	Kimyasal 1	Kimyasal 2	Kimyasal 3	Kimyasal 4	Kimyasal 5	Kimyasal 6	AKM (mg/L)
1	Su	a gr/Lt İyon Tutucu						10
2	Su	a gr/Lt İyon Tutucu	b gr/Lt Kostik 48 Be'					70
3	Su	a gr/Lt İyon Tutucu	b gr/Lt Kostik 48 Be'	c gr/Lt Antioksidan Kimyasalı 1				60
4	Su	a gr/Lt İyon Tutucu	b gr/Lt Kostik 48 Be'	c gr/Lt Antioksidan Kimyasalı 1	d gr/Lt Sülfür Boyarmad de 1			200
5	Su	a gr/Lt İyon Tutucu	b gr/Lt Kostik 48 Be'	c gr/Lt Antioksidan Kimyasalı 1	e gr/Lt Sülfür Boyarmad de 1			840
6	Su	a gr/Lt İyon Tutucu	b gr/Lt Kostik 48 Be'	c gr/Lt Antioksidan Kimyasalı 1	f gr/Lt Sülfür Boyarmad de 1			760
7	Su	a gr/Lt İyon Tutucu	b gr/Lt Kostik 48 Be'	c gr/Lt Antioksidan Kimyasalı 1	e gr/Lt Sülfür Boyarmad de 2			520
8	Su	a gr/Lt İyon Tutucu	b gr/Lt Kostik 48 Be'	c gr/Lt Antioksidan Kimyasalı 1	e gr/Lt Sülfür Boyarmad de 3			500
9	Su	a gr/Lt İyon Tutucu	b gr/Lt Kostik 48 Be'	c gr/Lt Antioksidan Kimyasalı 2				60
10	Su	a gr/Lt İyon Tutucu	b gr/Lt Kostik 48 Be'	c gr/Lt Antioksidan Kimyasalı 2	e gr/Lt Sülfür Boyarmad de 1			460
11	Su	a gr/Lt İyon Tutucu	b gr/Lt Kostik 48 Be'	c gr/Lt Antioksidan Kimyasalı 2	e gr/Lt Sülfür Boyarmad de 2			500
12	Su	a gr/Lt İyon Tutucu	b gr/Lt Kostik 48 Be'	c gr/Lt Antioksidan Kimyasalı 2	e gr/Lt Sülfür Boyarmad de 3			360
13	Su	a gr/Lt İyon Tutucu	j gr/Lt Kombin Kasar Kimyasalı					50

14	Su	a gr/Lt İyon Tutucu	j gr/Lt Kombin Kasar Kimyasalı	n gr/Lt Kostik		40
15	Su	a gr/Lt İyon Tutucu	j gr/Lt Kombin Kasar Kimyasalı	n gr/Lt Kostik	o gr/Lt Hidrojen Peroksit	20
16	Su	f gr/Lt Asetik Asit				10
17	Su	f gr/Lt Asetik Asit	k gr/Lt Antiperoksit Enizimi			40
18	Su	%g Reaktif Boyarmadde				30
19	Su	%g Reaktif Boyarmadde	%l Reaktif Boyarmadde			20
20	Su	%g Reaktif Boyarmadde	%l Reaktif Boyarmadde	e gr/Lt Rafine Tuz		40
21	Su	%g Reaktif Boyarmadde	%l Reaktif Boyarmadde	e gr/Lt Rafine Tuz	p gr/Lt Soda	70
22	Su	%g Reaktif Boyarmadde	%l Reaktif Boyarmadde	e gr/Lt Rafine Tuz	p gr/Lt Soda	r gr/Lt Kostik 48 Be'
23	Su	h gr/Lt Yıkama Maddesi (Sabun)				10
24	Su	i gr/Lt Haslık Arttırıcı (Fiksator)				20
25	Su	i gr/Lt Haslık Arttırıcı (Fiksator)	%m Avivaj Maddesi			20
26	Su	r gr/Lt Kostik 48 Be'				40
27	Su	r gr/Lt Kostik 48 Be'	s gr/Lt Hidrosülfid			40
28	Su	r gr/Lt Kostik 48 Be'	s gr/Lt Redüktif Yıkama Maddesi			50
29	Su	j gr/Lt İyon Tutucu	r gr/Lt Dispergator			20
30	Su	j gr/Lt İyon Tutucu	r gr/Lt Dispergator	t gr/Lt Likit İndigo		400
31	Su	j gr/Lt İyon Tutucu	r gr/Lt Dispergator	t gr/Lt Likit İndigo	u gr/Lt Kostik 48 Be'	r gr/Lt Hidrosülfid

32	Su	j gr/Lt İyon Tutucu	r gr/Lt Dispergatör	t gr/Lt Likit İndigo	u gr/Lt Kostik 48 Be'	r gr/Lt Hidrosülfid	v gr/Lt Anyonik Islatıcı	500
33	Su	j gr/Lt İyon Tutucu	y cc/Lt Sodyum Silikat					80
34	Su	j gr/Lt İyon Tutucu	y cc/Lt Sodyum Silikat	z cc/Lt Kostik 38 Be'				120
35	Su	j gr/Lt İyon Tutucu	y cc/Lt Sodyum Silikat	z cc/Lt Kostik 38 Be'	e gr/Lt Reaktif Boyarmadde			740
36	Su	j gr/Lt İyon Tutucu	y cc/Lt Sodyum Silikat	z cc/Lt Kostik 38 Be'	e gr/Lt Reaktif Boyarmadde	v gr/Lt Anyonik Islatıcı		680
37	Su	y gr/Lt Sülfür Boyarmadde 1						85
38	Su	e gr/Lt Sülfür Boyarmadde 1						155
39	Su	f gr/Lt Sülfür Boyarmadde 1						205
40	Su	y gr/Lt Sülfür Boyarmadde 2						120
41	Su	e gr/Lt Sülfür Boyarmadde 2						155
42	Su	f gr/Lt Sülfür Boyarmadde 2						210
43	Su	y gr/Lt Sülfür Boyarmadde 3						75
44	Su	e gr/Lt Sülfür Boyarmadde 3						125
45	Su	f gr/Lt Sülfür Boyarmadde 3						195
46	Su	r gr/Lt Likit İndigo						1300
47	Su	e gr/Lt Reaktif Boyarmadde 1						1125

48	Su	e gr/Lt Reaktif Boyarmadde 2				1100
49	Su	y gr/Lt Sülfür Boyarmadde 1	j gr/Lt İyon Tutucu			580
50	Su	y gr/Lt Sülfür Boyarmadde 1	j gr/Lt Anyonik Islatıcı			260
51	Su	y gr/Lt Sülfür Boyarmadde 1	c gr/Lt Antioksidan Kimyasalı 1			370
52	Su	y gr/Lt Sülfür Boyarmadde 1	b gr/Lt Kostik 48 Be'			480
53	Su	e gr/Lt Reaktif Boyarmadde 1	y cc/Lt Sodyum Silikat			755
54	Su	e gr/Lt Reaktif Boyarmadde 1	z cc/Lt Kostik 38 Be'			560
55	Su	e gr/Lt Reaktif Boyarmadde 1	v gr/Lt Anyonik Islatıcı			740
56	Su	e gr/Lt Reaktif Boyarmadde 1	j gr/Lt İyon Tutucu			660
57	Su	a gr/Lt İyon Tutucu	b gr/Lt Kostik 48 Be'	c gr/Lt Antioksidan Kimyasalı 1	y gr/Lt Sülfür Boyarmad de 1	1566
58	Su	a gr/Lt İyon Tutucu	b gr/Lt Kostik 48 Be'	c gr/Lt Antioksidan Kimyasalı 1	f gr/Lt Sülfür Boyarmad de 1	1485
59	Su	a gr/Lt İyon Tutucu	b gr/Lt Kostik 48 Be'	c gr/Lt Antioksidan Kimyasalı 1	y gr/Lt Sülfür Boyarmad de 1	b gr/Lt Oksidasyo n Kimyasalı
60	Su	a gr/Lt İyon Tutucu	b gr/Lt Kostik 48 Be'	c gr/Lt Antioksidan Kimyasalı 1	f gr/Lt Sülfür Boyarmad de 1	b gr/Lt Oksidasyo n Kimyasalı

61	Su	a gr/lt İyon Tutucu	b gr/lt Kostik 48 Be'	f gr/lt Sülfür Boyarmadde 1	875
62	Su	a gr/lt İyon Tutucu	b gr/lt Kostik 48 Be'	f gr/lt Sülfür Boyarmadde 1	c gr/lt Antioksidan Kimyasalı 1 1033
63	Su	y gr/lt Reaktif Boyarmadde 1			275