



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ GERİ KAZANIM
POTANSİYELLERİNİN YENİLİKÇİ YAKLAŞIMLARLA ARAŞTIRILMASI

Saidou KINDA

DANIŞMAN
Doç. Dr. Naim SEZGİN
(danışman imzalı olacaktır)

II. DANIŞMAN
Unvan Ad SOYAD

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Mühendisliği, Tezli Yüksek Lisans Programı

Ağustos, 2024

TEZ KABUL VE ONAYI

Saidou KINDA tarafından, Doç. Dr. Naim SEZGİN danışmanlığında hazırlanan " **TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ GERİ KAZANIM POTANSİYELLERİNİN YENİLİKÇİ YAKLAŞIMLARLA ARAŞTIRILMASI** " başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından **27/08/2024** tarihinde yapılan sınav sonucunda **oy birliği** ile başarılı bulunarak **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

	İmza	Sonuç
DANIŞMAN	Doç. Dr.Naim SEZGİN	<input checked="" type="checkbox"/>
	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı	Kabul <input type="checkbox"/> Ret
ÜYE	Doç. Dr. Adem YURTSEVER	<input checked="" type="checkbox"/>
	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı	Kabul <input type="checkbox"/> Ret
ÜYE	Doç. Dr. Gürdal KANAT	<input checked="" type="checkbox"/>
	Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı	Kabul <input type="checkbox"/> Ret
ÜYE	Dr. Öğr. Üyesi Esra BİLLUR BALCIOĞLU İLHAN	<input checked="" type="checkbox"/>
	İstanbul Üniversitesi Kimyasal Oşinografi Anabilim Dalı	Kabul <input type="checkbox"/> Ret
ÜYE	Prof. Dr. Semih NEMLİOĞLU	<input type="checkbox"/>
	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı	Kabul <input type="checkbox"/> Ret

İTHAF

Bu tez, öncelikle canını vatanı için feda eden, ülkemizin bağımsızlığını, güvenliğini ve barışını korumak için mücadele eden aziz askerlerimize ithaf edilmiştir. Onların gösterdiği cesaret, kararlılık ve fedakarlık, sadece bugünkü özgürlüğümüzün teminatı değil, aynı zamanda gelecek nesiller için de bir ilham kaynağı olmuştur. Gözlerini kırpmadan vatan toprağını savunurken şehit düşen kahramanlarımızı rahmet, minnet ve saygıyla anıyorum. Onların mübarek kanlarıyla sulanan bu vatan, sonsuza dek özgür ve bağımsız kalacaktır. Şehitlerimizin acısını yüreklerinde taşıyan ailelerine, sabır ve metanet diliyorum. Onların gösterdiği asalet ve dayanıklılık, bu milletin ne denli güçlü olduğunu bir kez daha kanıtlamıştır. Bu çalışmayı, hayatım boyunca bana en büyük destek ve motivasyon kaynağı olan sevgili aileme ithaf ediyorum. Annem ve babamın sonsuz sevgisi, fedakarlıkları ve duaları olmasaydı, bu zorlu akademik yolculuğu tamamlamak mümkün olamazdı. Kardeşlerimin bana verdikleri moral ve anlayışları, zor zamanlarda ayakta kalmamı sağladı. Onlara olan minnet borcumu kelimelerle ifade etmek imkânsızdır. Bu başarıda onların payı büyüktür. Ayrıca, bu tez, eğitim hayatım boyunca bana rehberlik eden, bilgi birikimleriyle beni aydınlatan, sabırla ve özveriyle beni yönlendiren değerli hocalarıma ithaf edilmiştir. Onların verdiği eğitim ve gösterdiği yol, bu çalışmanın temel taşlarını oluşturdu. Her biri, birer ışık gibi yolumu aydınlattı ve beni bugün olduğum yere getirdi. Bu yolculukta bana gösterdikleri sabır ve anlayış için kendilerine sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum. Son olarak, bu tez, ülkemizin geleceğine inanan, bu toprakların değerini bilen ve onu korumak için elinden gelen her şeyi yapan tüm vatanseverlere ithaf edilmiştir. Gelecekte daha aydınlık yarınlar için, çalışmaya ve üretmeye devam etmeliyiz. Bu düşünceyle, bu tezin ülkemize ve insanlığa faydalı olmasını diliyorum.

BÜTÇE DESTEKLERİ

TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ GERİ KAZANIM POTANSİYELLERİNİN YENİLİKÇİ YAKLAŞIMLARLA ARAŞTIRILMASI

Bu tez çalışması için herhangi bir kurumdan bütçe desteği alınmamıştır.



TEŞEKKÜR

Çalışma sürecinde her türlü yol gösterici olan, olumlu tavrıyla beni cesaretlendiren, bilgi birikimiyle çalıőmama farklı açılardan bakmamı sağlayan beraber çalıőmaktan ve her zaman öğrencisi olmaktan gurur duyduğum değerli Doç. Dr. Naim SEZGİN hocama sonsuz teşekkür ederim. Ayrıca bu çalışmayı yapmamıza destekte bulunan Yurt Dışı Türkler ve Akraba Topluluklar Başkanlığı'na ve Türkiye Bursları ekibine teşekkür ederim.

Son olarak tüm hayatım boyunca yanımda olan, aldığım kararları her zaman destekleyen, sadece bu çalışma sürecinde değil tüm hayatım boyunca beni cesaretlendiren ve moral veren aileme, őükranlarımı sunar ve teşekkür ederim.

Ağustos 2024

Saidou KINDA

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ KABUL VE ONAYI.....	ii
BEYAN	iii
İTHAF	iv
BÜTÇE DESTEKLERİ	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ	x
TABLO LİSTESİ.....	xi
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xiii
ÖZET	xv
ABSTRACT	xvii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. ÇALIŞMANIN ANLAM VE ÖNEMİ	1
1.2. ÇALIŞMANIN AMAÇ VE KAPSAMI	3
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE	4
2.1. SU VE KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN SU KAYNAKLARINA ETKİSİ	4
2.1.1. Dünya'nın Su Potansiyeli.....	4
2.1.2. Suyun Önemi, Gelecekteki Su Sorunları ve Öngörüler	4
2.1.3. İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi	6
2.2. TEKSTİL ENDÜSTRİSİ.....	7
2.2.1. Tanımı	7
2.2.2. Tekstil Endüstrisinin Potansiyeli.....	7
2.2.3. Türkiye'de Tekstil Endüstrinin Durumu	8
2.2.4. Tekstil Endüstrisinde Yapılan Proses.....	9
2.2.5. Tekstil Endüstrinin su ihtiyacı.....	15
2.2.6. Tekstil Endüstrisinden Çıkan Atıklar.....	15
2.2.7. Tekstil Endüstrinin Atıksuların Arıtma Yöntemleri.....	17
2.2.8. Tekstil Endüstri Atıksularının Klasik Arıtma Sistemleri ile Arıtılması.....	17

2.2.9. Tekstil Endüstrisi Atıksu Özellikleri.....	19
2.2.10. Tekstil Endüstri Atıksularının Klasik Arıtma Sistemleri ile Arıtılmasında Karşılaşan Sorunlar	20
2.3. MEMBRAN PROSESLER.....	21
2.3.1. Membran Proseslerin Genel Tarihçesi	21
2.3.2. Membran Sistemlerinin Çalışma Prensibi.....	22
2.3.3. Membran Modüllerinin Tasarımı ve Yapısı.....	24
2.3.4. Membran Proseslerine Genel Bakış	27
2.3.5. Genel Olarak Membran Proseslerinin Dezavantajları.....	34
2.3.6. Tekstil Endüstrisi Atıksu Arıtımında Membran Prosesler ile Literatürde Yapılan Çalışmalar.....	35
2.4. SUYUN YENİDEN KULLANIMI	39
2.4.1. Suyun Yeniden Kullanımın Tarihçesi	39
2.4.2. Suyun Yeniden Kullanımın Gereksinimi	39
2.4.3. Ters Osmoz Sistemi ile Suyun Yeniden Kullanımı	40
2.4.4. Tekstil Endüstrisi Atıksu Arıtımında Ters Osmozun Yeri.....	40
3. YÖNTEM	41
3.1. TEKSTİL FİRMASI İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER.....	41
3.1.1. Tesisin Su Kütle Dengesi ve Atıksu Karakterizasyonu	41
3.1.2. Tesisin Mevcut Atıksu Arıtma Tesisi Prosesleri.....	46
3.1.3. Mevcut Atıksu Arıtma Tesisinde Karşılaşılan/Tespit Edilen Sorunlar	47
3.1.4. Fabrika İçi Proses Değişiklikleri	48
3.1.5. Yüksek İşletme Maliyetleri	48
3.2. MEVCUT ATIKSU ARITMA TESİSİ İYİLEŞTİRME ÇALIŞMALARI VE ATIKSU GERİ KAZANIMI İÇİN ÖNERİLER	48
3.3. MALİYET ÇALIŞMALARI	49
4. BULGULAR	50
4.1. MEVCUT ATIKSU ARITMA TESİSİ İYİLEŞTİRME ÇALIŞMALARI.....	50
4.1.1. Besi Maddesi Eksikliğinin Giderilmesi.....	50
4.1.2. Proses Değişiklikleri ve İşletme Maliyetlerine Karşı Alınabilecek Önlemler	55
4.1.3. Mevcut Atıksu Arıtma Tesisi İyileştirilmesi İçin Alternatif Arıtma Tasarımları ...	55
4.2. ATIKSU GERİ KAZANIMI İÇİN YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	74
4.2.1. Ters Osmoz Tasarımında Kullanılan Parametreler	75
4.2.2. Ters Osmoz Prosesinin Tasarım Aşamaları	75
4.2.3. Kullanılan RO Membranların Özellikleri	77

4.2.4. WAVE Projeksiyon Programı ile Ters Osmoz Sisteminin Tasarımı	78
4.3. İNCELENEN TESİSİN İYİLEŞTİRME MALİYETLERİ	84
4.3.1. Uzun Havalandırma Havuzu İyileştirme Maliyeti	84
4.3.2. Mevcut Arıtma Sistemine Aerobik MBR Sisteminin Entegrasyon Maliyeti	84
4.3.3. İncelenen Tesisin Atıksu Geri Kazanımı İçin Oluşan Maliyet	91
5. TARTIŞMA.....	93
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	94
6.1. ATIKSU ARITMA TESİSİNİ İYİLEŞTİRME VE ATIKSU GERİ KAZANIM ÇALIŞMALARI	94
6.2. YAPILAN ÇALIŞMALARIN (TASARIMLARIN) MALİYET ANALİZİ.....	95
KAYNAKLAR.....	97
İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI	100
ETİK KURUL İZİN YAZISI	101
KURUM İZİN YAZILARI.....	102
ÖZGEÇMİŞ	103

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 1:Dünya'daki Su kullanımının Artışı (World Resources Simulation Center, 2024)	6
Şekil 2:Tekstil üretim zinciri (Ardalı, 2021)	10
Şekil 3:Örgü kumaşlara uygulanan ıslak işlemler (Ardalı, 2021)	11
Şekil 4:Örgü kumaşlara uygulanan ıslak işlemler (Ardalı, 2021)	11
Şekil 5:Dokuma kumaşlara uygulanan ıslak işlemler (Ardalı, 2021).....	12
Şekil 6: Tekstil üretim zinciri özeti	13
Şekil 7:Membran Çalışma Mekanizmasının Şematik Gösterimi (Akgül, 2006).....	24
Şekil 8:Membranların Ayırma mekanizmaya göre sınıflandırılması	25
Şekil 9: Membranların Geometrilerine göre sınıflandırılması	25
Şekil 10:Membran malzeme kesitlerinin şematik gösterimi	27
Şekil 11:Ters Osmoz Olayı	29
Şekil 12: Membran Biyoreaktör	30
Şekil 13:Dokuma İş Akış Şeması	43
Şekil 14:Örme İş Akış Şeması.....	44
Şekil 15:Boyahane İş Akış Şeması.....	45
Şekil 16:Mevcut Arıtma Tesisi Akış Şeması.....	47
Şekil 17:MBR Filtrasyon Havuzun Plan Gösterimi	73
Şekil 18:WAVE Projeksiyon programının ana yüzü.....	79
Şekil 19:Wave Projeksiyon Programının Su Özelliklerinin Giriş Sayfası	80
Şekil 20:WAVE projeksiyon programında sistem konfigürasyonunun girildiği sayfa.....	81

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 1:Dünyadaki Toplam Su Miktarlarının Yüzdesi (Başkan., 2006).....	4
Tablo 2:Tekstil Endüstrisi Proses Özeti	14
Tablo 3:İşletme Kapasite Değerleri	42
Tablo 4:Fabrika Su İhtiyaçları ve Atıksu Miktarları	42
Tablo 5:Tesis Ham Atıksu Değerleri ve SKKY ilgili Sektör Deşarj Değerleri.....	46
Tablo 6:Tavuk ve Güvercin Gübresi Özellikleri (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2023)	51
Tablo 7:DAP Özellikleri (URL 1, 10.06.2024).....	52
Tablo 8:Üre Özellikleri (URL 2, 10.06.2024).....	54
Tablo 9:Besin Takviyesi Maliyet Analizi.....	55
Tablo 10:Havalandırma Havuzu Giriş Değerleri	57
Tablo 11:Havalandırma Havuzu Tasarım Verileri	58
Tablo 12:Havalandırma Havuzu Tasarım Özeti.....	59
Tablo 13:Hava Hesap Özeti.....	60
Tablo 14: MBR Havalandırma Havuzu Tasarım Verileri	61
Tablo 15:MBR Havalandırma Havuzu Hesabı.....	62
Tablo 16:Hava Hesabı	63
Tablo 17:Membran Biyoreaktör Tasarım Parametreleri	64
Tablo 18:MBR Membranların Teknik Özellikleri.....	65
Tablo 19:MBR Yıkama Parametreleri.....	70
Tablo 20: Uzun Havalandırma Havuzu ve MBR ile Entegre Edilen Havuzu Karşılaştırılması	74
Tablo 21:RO Membranın Özellikleri	77

Tablo 22:Çıktı 1: Proje Genel Bilgileri	82
Tablo 23:Çıktı 2: Proje Detaylı Bilgileri	82
Tablo 24:Çıktı 3: Proje Debi ve Akı Dağılım Bilgileri	83
Tablo 25:Çıktı 4: Proje İyon Dağılım Bilgileri	83
Tablo 26:Proje Tasarım Maliyeti.....	85
Tablo 27:Ön Arıtma Maliyeti	86
Tablo 28:MBR Ünitesi Maliyeti.....	87
Tablo 29:MBR Borulama Maliyeti.....	87
Tablo 30:Enstrümantasyon Maliyeti	88
Tablo 31:MBR Elektrik Otomasyon Maliyeti.....	89
Tablo 32:MBR Montaj Maliyeti.....	90
Tablo 33:Mevcut Tesise MBR Entegrasyon Maliyeti	91
Tablo 34:Ters Osmoz Sistemin Kurulum Maliyeti	92
Tablo 35:Suyun Yeniden Kullanımı İçin Kurulum Maliyeti.....	92

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Kısaltmalar	Açıklama
AKM	: Askıda Katı Madde
BOİ	: Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
BOİ₅	: Beş Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
EMC	: Genişletilmiş Bakım Yıkaması
EPA	: Çevre Koruma Ajansı (USA)
FAO	: Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
J	: Akı
HRT	: Hidrolik Bekletme Süresi
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
LMH	: Litre/metrekare.saat
MBR	: Membran Biyoreaktör
MF	: Mikrofiltrasyon
MLSS	: Askıda Biyokütle Konsantrasyonu
MLVSS	: Askıda Uçucu Biyokütle Konsantrasyonu
MWCO	: Moleküler Ağırlık Kesme Sınırı
N_E	: Membran sayısı
N_{EPV}	: Kılıf başına membran sayısı
N_V	: Kılıf sayısı
NF	: Nanofiltrasyon
nm	: Nanometre
Nm³	: Nominal metre küp
ORP	: Redoks Potansiyeli
RO	: Ters Osmoz
rbKOİ	: Biyobozunur kimyasal oksijen ihtiyacı
SDI	: Silt yoğunluğu indeksi
SMC	: Standart bakım yıkaması
SP	: Tuz geçirgenliği
SRT	: Çamur bekleme süresi

TSS	: Askıda katı madde
μm	: Mikrometre
μs	: Mikrosiemens
VOC	: Uçucu organik madde
WWTP	: Atıksu arıtma tesisi
ZLD	: Sıfır sıvı deşarj



ÖZET

[YÜKSEK LİSANS TEZİ]

[TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ GERİ KAZANIM POTANSİYELLERİNİN YENİLİKÇİ YAKLAŞIMLARLA ARAŞTIRILMASI]

[Saidou KINDA]

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Anabilim Dalı Adı

Program Adı

[Danışman : Doç. Dr. Naim SEZGİN]

II. Danışman : Unvan Ad SOYAD]

[Son yıllarda, nüfus artışı, tarımsal faaliyetlerin yaygınlaşması, kentleşme ve endüstrileşmenin hızlanması gibi faktörler, küresel iklim değişikliği ile birleşerek içilebilir ve kullanılabilir su kaynaklarının hızla tükenmesine neden olmaktadır. Bu durum, gerekli suya erişimi her geçen gün daha da zorlaştırmakta ve temiz su temininde ciddi sıkıntılara yol açmaktadır. Temiz ve kullanılabilir suya ulaşmanın zorlaşması, ekonomik ve sosyal sorunların yanı sıra çevresel ve halk sağlığını tehdit eden önemli endişelere yol açmaktadır. Aynı zamanda, su kıtlığı endüstriyel verimliliği olumsuz etkileyerek insanoğlunun konforunu da tehlikeye atmaktadır. Bu sebeplerle, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi, suyun daha verimli kullanımı ve arıtılmış suların yeniden değerlendirilmesi giderek daha kritik bir konu haline gelmektedir. Su, yalnızca canlıların temel ihtiyaçlarını karşılamakla kalmaz, aynı zamanda birçok endüstriyel sürecin ayrılmaz bir parçasıdır. Özellikle tekstil endüstrisi gibi sektörlerde, su hemen hemen her aşamada kritik bir rol oynar ve bu durum, büyük miktarlarda atıksu oluşumuna neden olmaktadır. Bu tür endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan atıksuların etkin bir şekilde yönetilmesi, arıtılması ve yeniden kullanılabilir hale getirilmesi, hem ekonomik açıdan hem de suyun sürdürülebilir kullanımı açısından büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada, tekstil endüstrisinde oluşan atıksuların geri kazanım potansiyelleri yenilikçi arıtma yöntemleriyle araştırılmıştır. Geri kazanılan atıksuların tekstil üretim süreçlerinde ve diğer alanlarda yeniden kullanım potansiyelleri de değerlendirilmiştir. Bu

amaçlar doğrultusunda, bir tekstil fabrikasının üretim süreçleri, bu süreçlerde gerçekleşen su döngüsü ve mevcut atıksu arıtma tesisinin performansı örnek bir çalışma olması için detaylı bir şekilde incelenmiştir. Firmanın mevcut atıksu arıtma tesisinin var olan veya olması muhtemel olan sorunları ile ilgili yerinde gözlemler yapılmış ve ilgililer ile görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Tesisin ham atıksu karakterizasyonuna bağlı olarak mevcut biyolojik arıtma tesisinin iyileştirme çalışmaları ve bu çalışmaların yaklaşık maliyetleri hesaplanmıştır. Tesisin iyileştirme çalışmaları kapsamında, besi maddesi eksikliğini gidermek için hayvansal (tavuk-güvercin gübresi) ve yapay gübreler (diamonyum fosfat (DAP), DAP + üre karışımı) için muhtemel senaryolar oluşturulmuştur. Bu çalışmalar sonucunda, mevcut biyolojik atıksu arıtma tesisinin besi maddesi eksikliği telafi etmek için olarak DAP + üre karışımının hem maliyet hem de verim açısından optimum olduğu tespit edilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında mevcut biyolojik atıksu arıtma tesisinin çıkış suyu kalitesinin artırılması yönelik daha yeni/yenilikçi arıtma sistemleri birlikte kullanım için tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda mevcut havalandırma havuzuna membran biyoreaktör (MBR) sisteminin ilave edilmesi ve maliyetleri (MBR tasarım adımları, tasarlanırken dikkate alınması gereken parametreler, gerekli tüm ekipman ve enstrümantasyon sistemleri dahil) detaylı bir şekilde incelenmiştir. MBR tasarım çalışmaları sonucunda, bugünün koşullarına göre yaklaşık 227.312,94 Euro kurulum maliyeti hesaplanmıştır. Bu çalışmanın son aşamasında ise atıksuyun geri kazanımı için MBR sonrası ters osmoz (RO) sistemi tasarlanmıştır. RO sisteminin tasarımında Water Application Value Engine (WAVE) projeksiyon programı kullanılmıştır. RO sisteminin ekonomik analizi için piyasa araştırması yapılmış (membran üreticilerden teklifler alınmış) ve sistem için gereken tüm ekipman, enstrüman ve tertibatlar belirlenmiştir. Atıksuyun MBR+RO sisteminde arıtıldıktan sonra tesiste proses suyu olarak kullanılabilmesi için gerekli parametreler dikkate alınarak ve RO sisteminde tek kademe iki aşamalı membranlar kullanılması durumunda 600 m³/gün besleme suyunun %70'i kadarı geri kazanacak şekilde tasarımı gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda kırkılık (40 ft) konteynerin içinde tasarlanan ters osmoz sisteminin maliyeti 113.670,61 Euro olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla, atıksu geri kazanımı için toplam maliyet (MBR+RO) 340.983,55 Euro olarak bulunmuştur. Sonuç olarak, incelenen tesis için tasarımı gerçekleştirilen arıtma sistemleri sonucunda geri kazanılan suyun sistemde proses suyu olarak kullanılan kuyu suyunun yerine kullanılabileceği görülmüştür. Ayrıca, bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre tesisin hem su ayak izinin düşürülebileceği hem de gelişmekte olan sıfır sıvı deşarj (ZLD) konseptine uyum sağlanabileceği söylenebilir. |

Ağustos 2024 , [121.] sayfa.

Anahtar kelimeler: [Tekstil endüstrisi, Atıksuların arıtımı, Su geri kazanımı, MBR, RO, Besi madde eksikliği]

ABSTRACT

[M.Sc. THESIS]

**[INVESTIGATION OF RECOVERY POTENTIALS OF TEXTILE INDUSTRY
WASTEWATER WITH INNOVATIVE APPROACHES]**

[Saidou KINDA]

İstanbul University-Cerrahpaşa

Institute of Graduate Studies

Department of Environmental Engineering

Environmental Engineering

[Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Naim SEZGIN

Co-Supervisor: Academic Title Name SURNAME]

[In recent years, factors such as population growth, the expansion of agricultural activities, urbanization, and accelerated industrialization, combined with global climate change, have led to the rapid depletion of potable and usable water resources. This situation increasingly hinders access to necessary water supplies, resulting in significant challenges in securing clean water. The difficulty in accessing clean and usable water not only gives rise to economic and social issues but also raises critical environmental and public health concerns. Additionally, water scarcity negatively impacts industrial efficiency, thereby endangering human comfort. For these reasons, sustainable management of water resources, more efficient water usage, and the recycling of treated wastewater are becoming increasingly critical topics. Water not only meets the basic needs of living organisms but is also an integral part of many industrial processes. In particular, in sectors such as the textile industry, water plays a critical role at almost every stage, leading to the generation of large volumes of wastewater. Effective management, treatment, and reuse of wastewater resulting from such industrial activities are of great importance, both economically and for the sustainable use of water. In this study, the recovery potential of wastewater generated in the textile industry was investigated using innovative treatment methods. The potential for reusing the recovered wastewater in textile production processes and other areas was also evaluated. For these purposes, the production

processes of a textile factory, the water cycle within these processes, and the performance of the existing wastewater treatment plant were examined in detail as a case study. On-site observations were made, and interviews were conducted with relevant personnel regarding the current or potential issues of the factory's existing wastewater treatment plant. Based on the characterization of the raw wastewater, improvement studies for the existing biological treatment plant were conducted, and the approximate costs of these studies were calculated. As part of the improvement efforts, potential scenarios were developed to address nutrient deficiencies using animal (chicken-pigeon manure) and synthetic fertilizers (diammonium phosphate (DAP), DAP + urea mixture). The results of these studies identified the DAP + urea mixture as the most cost-effective and efficient option for compensating for nutrient deficiencies in the existing biological wastewater treatment plant. In the second phase of the study, designs were developed for the combined use of newer/innovative treatment systems to enhance the quality of the effluent from the existing biological wastewater treatment plant. In this context, the addition of a membrane bioreactor (MBR) system to the existing aeration basin was examined in detail, including costs (MBR design steps, parameters to consider during design, and all necessary equipment and instrumentation systems). The MBR design studies estimated a capital cost of approximately €227,312.94 under current conditions. In the final phase of this study, a reverse osmosis (RO) system was designed for the recovery of wastewater following the MBR treatment. The Water Application Value Engine (WAVE) projection software was used in the design of the RO system. For the economic analysis of the RO system, market research was conducted (offers were obtained from membrane manufacturers), and all required equipment, instrumentation, and fittings for the system were identified. The design, considering the necessary parameters for using the treated water as process water within the plant after treatment in the MBR + RO system, was conducted such that 70% of the 600 m³/day feed water would be recovered using single-stage, two-pass membranes. The cost of the reverse osmosis system, designed within a 40-foot container, was estimated at €113,670.61. Therefore, the total cost for wastewater recovery (MBR + RO) was found to be €340,983.55. As a result, the treatment systems designed for the examined facility indicate that the recovered water can be used in place of well water as process water within the system. Furthermore, based on the findings of this study, it can be stated that the facility's water footprint can be reduced, and compliance with the emerging Zero Liquid Discharge (ZLD) concept can be achieved. |

August 2024, |121| pages.

Keywords: | Textile wastewater treatment, Water reuse, MBR, RO, Nutrient deficiency |

1. GİRİŞ

1.1. ÇALIŞMANIN ANLAM VE ÖNEMİ

Endüstri, modern toplumlarda ekonominin merkezinde yer alır ve önemli bir büyüme kaynağıdır. Gelişmekte olan ülkeler için, ekonomik kalkınma sağlamak ve ihtiyaçları karşılamak amacıyla verimli bir endüstri tabanı oluşturmak büyük önem taşır. Tüm ülkeler, değişen ihtiyaçlarını karşılayabilmek için güçlü bir endüstriyel yapıya sahip olmak ister. Endüstriyel faaliyetler, doğal kaynakları kullanarak ürün elde ederken aynı zamanda çevreye (hava, su ve toprak gibi alıcı ortamlara) çok çeşitli kirlilik/kirleticiler de bırakır. Başlangıçta bu olumsuz etkiler daha çok yerel hava, su ve toprak kirliliği sorunları olarak görülmekteyken, endüstriyel faaliyetlerin aşırı artışı ve sürekliliği ile beraber çevresel önlemlerin alınmaması, çevresel kirliliğini sınırlar aşan sorunlar haline dönüştürmüş ve günümüz insanların global bir sorunu olmasını sağlamıştır.

Karşılaşılan bu çevresel sorunlardan dolayı, endüstriyel faaliyetlerin çevreye olan olumsuz etkilerini en aza indirmek için küresel ve yerel bazda ve aynı zamanda çeşitli regülasyonlarla bazı önlemler alınma zorunlu hale gelmiştir. Özellikle, teknolojinin ve endüstri ürünlerinin daha çevre dostu hale getirilmesi, üretim süreçlerinin iyileştirilmesi, ortaya çıkan atık ve atıksuların geri kazanılması ve yeniden kullanılması, arıtma teknolojileriyle atıkların çevreye verilmeden önce ileri seviyede artırılması gibi uygulamalar, yeşil bir gelecek ve sürdürülebilir bir endüstriyel gelişme ve kaynak yönetimi için önemlidir. Bu kapsam son yıllarda, çevrenin korunması ve ekonomik kalkınmanın dengeli bir şekilde devam ettirilmesi, "sürdürülebilir kalkınma" ilkesiyle vurgulanmaktadır. Bu ilke, bugünün gereksinimlerini karşılarken gelecek kuşakların da kendi gereksinimlerini karşılayabilme yeteneğini tehlikeye atmadan hareket etmeyi içermektedir. Endüstriyel kirliliğin kontrolünde, uygun yer ve teknolojilerin seçimi, işletme süreçlerinden kaynaklanan kirlilik düzeyini en aza indirmek için gerekli değişimlerin/modernizasyonun yapılması, eski tesislerde verimliliği artıracak ve kirliliği azaltacak düzenlemelerin uygulamaya konulması gibi adımlar önemlidir. Son yıllarda endüstriyel kirlenme kontrolünde kirlenmeyi azaltma, geri kazanım ve tekrar kullanım teknolojilerine olan ilgi artmaktadır.

Endüstri ve tarımdaki artan su talebi, 2025 yılında dünya nüfusunun yaklaşık üçte birini ciddi su kıtlığına maruz bırakacağı düşünülmektedir. Bununla birlikte, su geri kazanım tekniklerinin kullanımı ve diğer kaynaklardan elde edilen/geri kazanılan sularının kullanılmasıyla endüstrinin ham su tüketimini %40 ile %90 arasında azaltabileceği belirtilmektedir. Tekstil endüstrisi, küresel ekonominin önemli bir parçasıdır ve endüstriyel su kullanımında en fazla su kullanılan sektörler arasında yer almaktadır. Dolayısıyla, çevresel kirliliğinde başlıca kaynaklardan birisidir. Üretilen her ürünün kilogramı için kullanılan su miktarının yüksek olması nedeniyle oluşan atıksu miktarı oldukça büyüktür. Tekstil endüstrisi atıksuları, yüksek kirlilik yüküne sahip atıksulardır. Tekstil endüstrisinde kullanılan geniş yelpazedeki sentetik kimyasallar, çeşitli kirleticilerin suya karışmasına ve çevresel riskler oluşturmasına neden olur. Bu atıksular, genellikle boyalar, alkaliler, sıcaklık, deterjanlar, yağlar, toksik maddeler, biyolojik olarak parçalanmaya dirençli maddeler, inorganik tuzlar, askıda veya çözülmüş katılar, tuzluluk, çeşitli aromatik bileşikler ve renk içerebilir. Renk, özellikle boyama veya baskı işlemlerinden kaynaklanan tekstil atıklarının arıtılmasında önemli bir sorun oluşturur. Tekstil üretim süreçlerinin iyileştirilmesi, su sarfiyatının azaltan teknolojilerin kullanılması veya kullanılan suyun geri kazanımı ve tekrar kullanımına yönelik teknolojik değişiklikler, kirleticilerin kaynağında azaltılmasıyla kirlenme kontrolünü kolaylaştırabilir ve su maliyetini önemli ölçüde düşürebilir.

Günümüzde tekstil endüstrisi de dâhil olmak üzere endüstriyel kuruluşlar, ürettikleri atıksu miktarı ve özelliklerine bağlı olarak çeşitli atıksu arıtma yöntemleri kullanmaktadırlar. Atıksu arıtma teknolojileri oldukça gelişmiş olsa da, ileri arıtım teknolojileri ve geri kazanım çalışmalarının uygulamaları henüz yaygınlaşmamıştır. Ancak endüstriyel kirlenme konusunda yeni düzenlemelerle birlikte bu yöntemlerin kullanımının artacağı planlanmaktadır. Yasal zorunluluklar, su kaynaklarının sınırlılığına bağlı olarak endüstri için gerekli su teminindeki zorluklar ve/veya su maliyetinin yüksekliği nedeniyle birçok endüstri atıksularını ileri arıtma yöntemleri ile arıtarak tekrar kullanmaya yönlendirmektedir. Bu yöntemlerden biri olan membran teknolojileri, temiz su kaynaklarının korunması, su maliyetinin yüksekliği ve su teminindeki zorluklar ile atıksuların çevreye verdiği olumsuz etkiler düşünüldüğünde su geri kazanımı konusundaki yüksek verimi nedeniyle çekici hale gelmektedir.

Tekstil endüstrisi proses atıksuları, içerdikleri boya maddeleri ve kimyasal yardımcı maddelerinin kompleks yapısı nedeniyle genellikle toksik yapıdır ve konvansiyonel arıtma yöntemleri ile giderilemezler. Bu atıksular, izin verilen deşarj standartlarını karşılamak için

arıtılabilir ancak arıtılan sular, tekrar kullanım için uygun değildir. Dolayısıyla suyun tekrar kullanılabilmesi için ileri arıtma tekniklerine ihtiyaç vardır. Membran prosesler, atıksuyun arıtılmasının yanı sıra kullanılan kimyasal maddelerin geri kazanımını ve yeniden kullanımını sağlayan az yer kaplayan ve gelişen teknolojik uygulamalara bağlı olarak maliyet ve enerji tüketim miktarlarının azalması sağlanan ileri arıtma teknolojileridir. Dolayısıyla, bu yenilikçi teknolojilerin, tekstil endüstrisi atıksuları gibi atıksuların geri kazanım potansiyellerinin araştırılması ve mevcut tesislere olan entegrasyon alternatifleri incelenmelidir.

1.2. ÇALIŞMANIN AMAÇ VE KAPSAMI

Endüstriyel atıksulardaki kirleticilerin çeşitliliği ve arıtılmış atıksuların endüstriyel ürünler üzerinde olumsuz etkileri, endüstriyel atıksuların arıtıldıktan sonra proseslerde kullanılmasını zorlaştıran önemli endişelere neden olmaktadır. Özellikle, tekstil ve ilaç endüstrilerinde kullanılan suların içerdiği maddelerin ürün kalitesini veya rengini olumsuz etkileyebileceği düşüncesiyle, bu tür faaliyetler proseslerinde, genellikle arıtılmış su kullanımından kaçınılmaktadır. Ancak, son yıllarda teknolojik gelişmelerle birlikte, özellikle tekstil endüstrisi gibi su tüketiminin yoğun olduğu sektörlerde oluşan atıksuların yenilikçi yöntemlerle arıtıldıktan sonra endüstriyel proseslerde kullanılma potansiyellerinin incelenmesi, su temini problemlerinin çözümünde önemli bir katkı sunabilir. Bu çalışmada, Marmara Bölgesinde bulunan bir tekstil firmasının iş akış şemasında yer alan prosesler, su kütle dengesi (proseslerde kullanılan-oluşan atıksu miktarları) ve mevcut atıksu arıtma tesisinin yapısı ve işletme koşullarında oluşan sorunlar dikkate alınarak problemlerin çözümüne yönelik alternatif uygulamalar ve güncel gelişmeler ışığında yenilikçi yaklaşımlar oluşturulmuştur. Bu kapsamda, özellikle karşılaşılan problemlerin (nütrient eksikliği gibi) çözümüne yönelik oluşturulan alternatif senaryoların ve arıtılmış atıksuyun geri kazanımı için belirlenen yeni arıtma yöntemlerinin (MBR ve RO sistemlerinin) maliyetleri hesaplanmış ve mevcut arıtma tesisinin iyileştirilmesi/modernizasyonu için uygulama alternatifleri oluşturulmuştur. Bu sayede, hem mevcut tesisin arıtma verimi yükseltilmiş hem de global olarak etkisi daha fazla hissedilen suya erişim zorluğuna çözüm olabilmek için incelenen tesiste oluşan atıksuların yeniden kullanım alternatifleri oluşturulmuştur. Ayrıca, çalışmanın diğer bir çıktısı olarak da mevcut sistemde kullanılan kimyasalların azaltılması ile daha ekonomik bir işletme yöntemleri belirlenmiştir.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1. SU VE KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN SU KAYNAKLARINA ETKİSİ

2.1.1. Dünya'nın Su Potansiyeli

Su tüm canlıların yaşam kaynağıdır. Sağlık ve hijyenin temel girdisidir. Yerkürede en bol bulunan maddelerden başına gelmektedir. Fakat suyun adil dağıldığı söylenemez. Bazı bölgeler susuzluktan kavrulurken, bazı bölgeler su içinde yüzerler. Dünyadaki toplam su miktarı 1 milyar 400 milyon km^3 'tür. Bu suyun %97,5'i denizlerdeki ve okyanuslardaki tuzlu sularından ibarettir. Geriye kalan sadece %2,5'lik kısım tatlı suları teşkil etmekte olup, bu dilimin çok az bir kısmının kolaylıkla erişilebilir olduğu belirtilmektedir.

Dünyadaki toplam suyun yılda yaklaşık 500.000 km^3 'ü denizlerde ve toprak yüzeyinde meydana gelen buharlaşmalar ile atmosfere geri dönmekte ve hidrolik çevrim içerisinde yağış olarak tekrar yeryüzüne düşmektedir. Dünyadaki toplam su miktarının yüzde olarak dağılımı, Tablo 1'de gösterilmektedir. Gezegenin tatlı suyu %70 tarımda, %22 hidrolik santrallerde ve imalat sanayinde, %8 evlerde kullanılmaktadır. (UNESCO, 2024).

Tablo 1:Dünyadaki Toplam Su Miktarlarının Yüzdesi (Başkan., 2006)

Su miktarları	km^3	%
Dünyadaki toplam su miktarı	1.4 Milyar	100
Denizler ve okyanuslardaki tuzlu su miktarı	1.365 Milyar	97.5
Tatlı su miktarı	0,035 Milyar	2.5
Yılda buharlaşan su miktarı	500.000	0.036
Yılda yağışla düşen su miktarı	100.000	0.007
Nehirlerle akışa geçen miktar	40.000	0.003
Teknik ve ekonomik kullanılabilir su miktarı	9.000	0.00064

2.1.2. Suyun Önemi, Gelecekteki Su Sorunları ve Öngörüler

Su kaynakları, sürdürülebilir kalkınma için kritik bir öneme sahiptir. Ancak artan nüfus, endüstrileşme, kentleşme ve iklim değişikliği gibi etkenler, gelecekte su kaynaklarının azalmasına ve su sorunlarının daha da artmasına neden olacaktır. Su insan aklını her devirde meşgul etmiştir. Tüm medeniyetler nehir veya deniz kenarlarında kurulmuştur. Mısır Nil'siz, Mouhoun bölgesi Comoe'suz, Mezopotamya Fırat ve Dicle'siz düşünülemez. Göçebe-avcı

toplumundan tarım uygarlığına geçiş, insanoğluna suyun yaşam için önemini kavratmıştır. Birleşmiş milletler raporlarına göre, bir milyar insan temiz su içmemektedir. 2,5 milyar insan, hijyenik ortamlarda yaşamamaktadır. Her gün 10.000-20.000 çocuk, sadece, yeterli temizlik imkanları bulunmayan bölgelerde doğdukları için ölmektedir. Hindistan'da ve Bangladeş'te milyonlarca insan arsenikle kirletilmiş suyu kullanmaktadır. Afrika'nın çoğu köylüler arıtılmadan yüzeysel suları içmektedir. Tüm bunlar tatlı ve temiz suların insanoğlu için ne kadar önemli olduğunun göstergeleridir.

Küresel olarak nehirlerden, yer altı sularından ve buna benzeyen su kaynaklarından çekilen su miktarı, 100 yıl önce çekilenin dokuz katına çıkmıştır. Kişi başı su kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Bir insanın temel ihtiyaçlarını karşılayacak su miktarı günde 50 litre, senede yaklaşık 18-25 metre küp olarak kabul edilir. Bunun 2-5 litresi içmede, 20 litresi sağlıkta, 15 litresi banyo ve temizlikte, 10 litresi mutfaklarda kullanılır. Dünya genelinde su kullanım artışı Şekil 1'de gösterilmiştir (World Resources Simulation Center, 2024). Su ihtiyacı, artan nüfus nedeniyle büyük bir probleme dönüşecektir. Bugünkü halin devam senaryosuna göre, 2030 yılında dünya nüfusunun %40'ı su sıkıntısı çekecektir. 21. Yüzyılın sonlarına kadar küresel ısınmaya karşı önlem alınmaz ise 4 milyar insan su sıkıntısı çeker hale gelecektir. Tarım ve sanayi su bulmakta zorluk çekecektir. Su sorunları dünyanın başına dert olacak. Su, uluslararası politik problemlerin kaynağı durumuna gelecektir. Kısacası aşağıdaki sorunlar ön görülmektedir:

Su Kıtlığı: Temiz su kaynaklarının sınırlı olması ve aşırı tüketim nedeniyle, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde su kıtlığı ciddi bir sorun haline gelecektir.

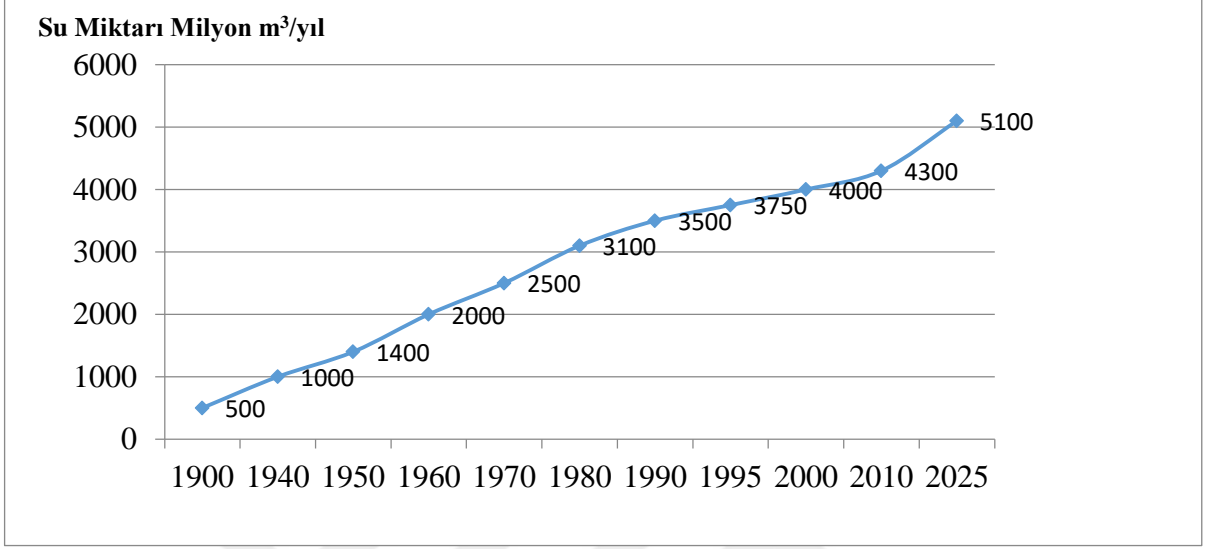
Su Kirliliği: Endüstriyel, tarımsal ve evsel atıkların kontrolsüz deşarjı, su kaynaklarının giderek kirlenmesine yol açacaktır.

Suyun Eşitsiz Dağılımı: Bazı bölgelerde suyun bolluğu, diğer bölgelerde ise su kıtlığı yaşanması, sosyal ve ekonomik dengesizliklere neden olacaktır.

Su Kullanımındaki Rekabet: Tarım, endüstri, hane halkı ve çevre arasında suyun kullanımı için artan rekabet, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimini zorlaştıracaktır.

İklim Değişikliğinin Etkileri: Ekstrem hava olayları, kuraklık ve sel gibi iklim değişikliği sonuçları, su kaynaklarının miktarını ve kalitesini olumsuz etkileyecektir.

Başta su tasarrufu, atıksu arıtma, su kaynaklarının verimli kullanımı, sektörler arası iş birliği ve su yönetiminde teknolojik ilerlemeler olmak üzere, bu sorunların çözümüne yönelik kapsamlı stratejilerin geliştirilmesi gerekecektir.



Şekil 1:Dünya'daki Su kullanımının Artışı (World Resources Simulation Center, 2024)

2.1.3. İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi

İklim değişikliği, dünya çapında su kaynaklarını ciddi şekilde etkilemektedir. Küresel ısınma, yağış modellerindeki değişim, kuraklık ve sel gibi aşırı hava olayları, su kaynaklarının miktarını ve kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir.

Kuraklık ve Su Kıtlığı: Bazı bölgelerde yağışların azalması ve sıcaklıkların yükselmesi, su kaynaklarının kurumasına ve kuraklığın şiddetlenmesine yol açmaktadır. Bu durum, içme suyu, tarımsal sulama ve endüstriyel kullanım için su kıtlığına neden olmaktadır.

Taşkınlar ve Seller: Diğer bölgelerde ise aşırı yağışlar, sel ve taşkınların sıklığını ve şiddetini artırmaktadır. Bu da can ve mal kayıplarına, altyapı hasarlarına ve su kaynaklarının kirlenmesine sebep olmaktadır. Güneydoğu Asya'yı sular basarken, Afrika kuraklıktan kırılmaktadır. Ankara bahçelerinde susuzluktan çimler ve ağaçlar kururken Karadeniz'i sel götürür. Dori'de büyük baş hayvanlar susuzluktan ölürken Ouagadougou sellerin içindedir. İşte bunlar iklim değişikliği etkilerinin canlı örnekleridir.

Tatlı Su Kaynaklarının Kirlenmesi: Tuzlu deniz suyunun tatlı su kaynaklarına karışması, deniz seviyesindeki yükselme ve aşırı yağışlar nedeniyle tatlı su kaynaklar

kirlenmektedir. Bu da su kalitesini düşürerek, içme suyu temini ve tarımsal sulama için sorunlar yaratmaktadır.

Ekosistem Bozulmaları: İklim değişikliği, göllerin, nehirlerin ve bataklıkların ekolojik dengelerini bozmakta, su canlılarını ve biyo-çeşitliliği olumsuz etkilemektedir.

İnsanoğlu elindeki suyu mümkün oldukça bilinçli bir şekilde kullanılmalı. Kullanılan sular da her şeyin pahasına tekrar değerlendirilmelidir.

2.2. TEKSTİL ENDÜSTRİSİ

2.2.1. Tanımı

Tekstil endüstrisi doğal ve sentetik elyafları kullanarak kumaş ve diğer tekstil ürünlerini imal eden bir endüstri dalıdır. Tekstil endüstrisi doğal ve fabrikasyon ipliklerin hazırlanması, dokuma, örme veya başka yöntemlerle kumaş, triko, halı gibi tekstil ürünleri haline getirilmesi, iplik ve kumaşlara boya, baskı, apre gibi terbiye işlemlerinin uygulanması faaliyetlerini içerir. Tekstil sektörü, çok sayıda alt sektörden oluşan heterojen bir yapıya sahiptir. Endüstride sentetik elyaf üretimi; doğal, sentetik elyaf hazırlama ve iplik üretimi; kumaş dokuma, örme, dokusuz yüzeyli (non-woven) kumaş üretimi ve halı imalatı süreçlerini içermektedir. Tekstil endüstrisi, yaşamımızın birçok yönünde karşımıza çıkan ve geniş bir ürün yelpazesini kapsayan önemli bir endüstri dalıdır.

2.2.2. Tekstil Endüstrisinin Potansiyeli

Tekstil endüstrisi, ekonomik kalkınma ve toplumsal refahın önemli bir bileşenidir. Bu sektör, gelişmekte olan ülkeler için büyük fırsatlar sunmaktadır. Tekstil sektörü, özellikle emek-yoğun üretim yapısı nedeniyle, geniş istihdam imkanları sunmaktadır. Kadınların da yoğun çalıştığı bu sektör, kırsal kesimlerdeki işsizliğin azaltılmasında önemli rol oynamaktadır. Tekstil ihracatı, gelişmekte olan ülkelerin dış ticaret dengesine ve döviz girdisine önemli katkılar sağlamaktadır. Ayrıca, yan sanayi ve hizmetler sektörlerinin gelişmesine de önayak olmaktadır.

Avrupa ve Kuzey Amerika'da ve sanayileşmiş ülkelerde suni ve sentetik elyaf üretimi, tekstil ve hazır giyim sektörünün gelişmesine yol açtı. Özellikle II. Dünya Savaşı sonrası, Tayvan, Güney Kore, Çin ve Türkiye gibi birçok gelişmekte olan ülkede de yaygınlaştı (Çoban ve diğ., 2005). Bugün, hazır giyim ve tekstil endüstrisi dünyanın en eski, en büyük ve

en küreselleşmiş sektörlerinden biridir (Keane ve diğ., 2008). Hazır giyim ve tekstil endüstrisi, sağladığı istihdam, katma değer ve ihracat fırsatları nedeniyle gelişmekte olan ülkelerin ekonomik büyümesinde önemli bir rol oynar (Çetin ve diğ., 2008).

Günümüzde tekstil ve hazır giyim sektörü hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülke ekonomilerinin önemli bir ayağını oluştururken, aynı zamanda birçok ülkede bütçe gelirlerinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır (Azhimetova, 2010). Bununla birlikte tekstil ve hazır giyim sektörü dünya genelinde milyonlarca insana istihdam kaynağı sağlamakta (Tandon ve diğ., 2013) ve birçok gelişmekte olan ülkelerin önemli bir ihracat kalemini oluşturmaktadır. Tekstil ve hazır giyim sektörü gelişmekte olan ülkelere sanayi istihdamının %35'ini ve az gelişmiş ülkelere ise %80- 90'nını oluşturmaktadır. Bununla beraber tekstil ve hazır giyim sektörü birçok gelişmekte olan ülkelere toplam sanayi ürünleri ihracatının %50'den fazlasını oluşturmaktadır (Keane ve diğ., 2008). Tekstil ve hazır giyim sektörü, hem ihracat hem de istihdam potansiyeli nedeniyle birçok gelişmekte olan ülkede ekonominin ana motoru olarak görülmektedir. Günümüzde de bu sanayi dalı, ucuz işgücüne sahip gelişmekte olan ülkelere sermaye sıkıntısı yaşayan sanayileşme sürecinde önemli bir rol oynamaktadır. Ayrıca, tekstil ve hazır giyim sektörü, Türkiye ekonomisi için çok önemlidir. Türkiye'nin en yüksek istihdam oranına sahip tekstil ve hazır giyim sektörü, sanayinin lokomotifi konumunda yer almaktadır.

2.2.3. Türkiye'de Tekstil Endüstrinin Durumu

Türkiye'nin tekstil sektörü, ülkenin her bölgesinde canlı bir şekilde faaliyet göstermektedir. Kahramanmaraş, İstanbul, Adıyaman, Gaziantep, Bursa gibi iller iplik üretiminde öne çıkarken, Denizli havlu, bornoz ve ev tekstili imalatında uzmanlaşmış durumda. Üsküp iplik, battaniye ve geri dönüşüm alanlarında, Çorlu ve Çerkezköy terbiye işlemlerinde, Adana pamuklu dokumada ve terbiyede, Gaziantep polipropilen, dokusuz yüzey ve makine halıcılığında, İstanbul ise konfeksiyon ve örme üretiminde öne çıkmaktadır (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı).

Türkiye, tekstil ve hazır giyim sektöründe dünya çapında rekabetçi bir konuma sahip. Gümrük Birliği Anlaşması'nın getirdiği avantajlar, stratejik konumu, nitelikli iş gücü ve güçlü tedarik zinciri, Türkiye'yi uluslararası arenada başarılı kılan faktörler arasında. Ülkenin tekstil sektörü, üretim büyüklüğü, istihdam yaratma kapasitesi, katma değer oluşturma ve ihracat

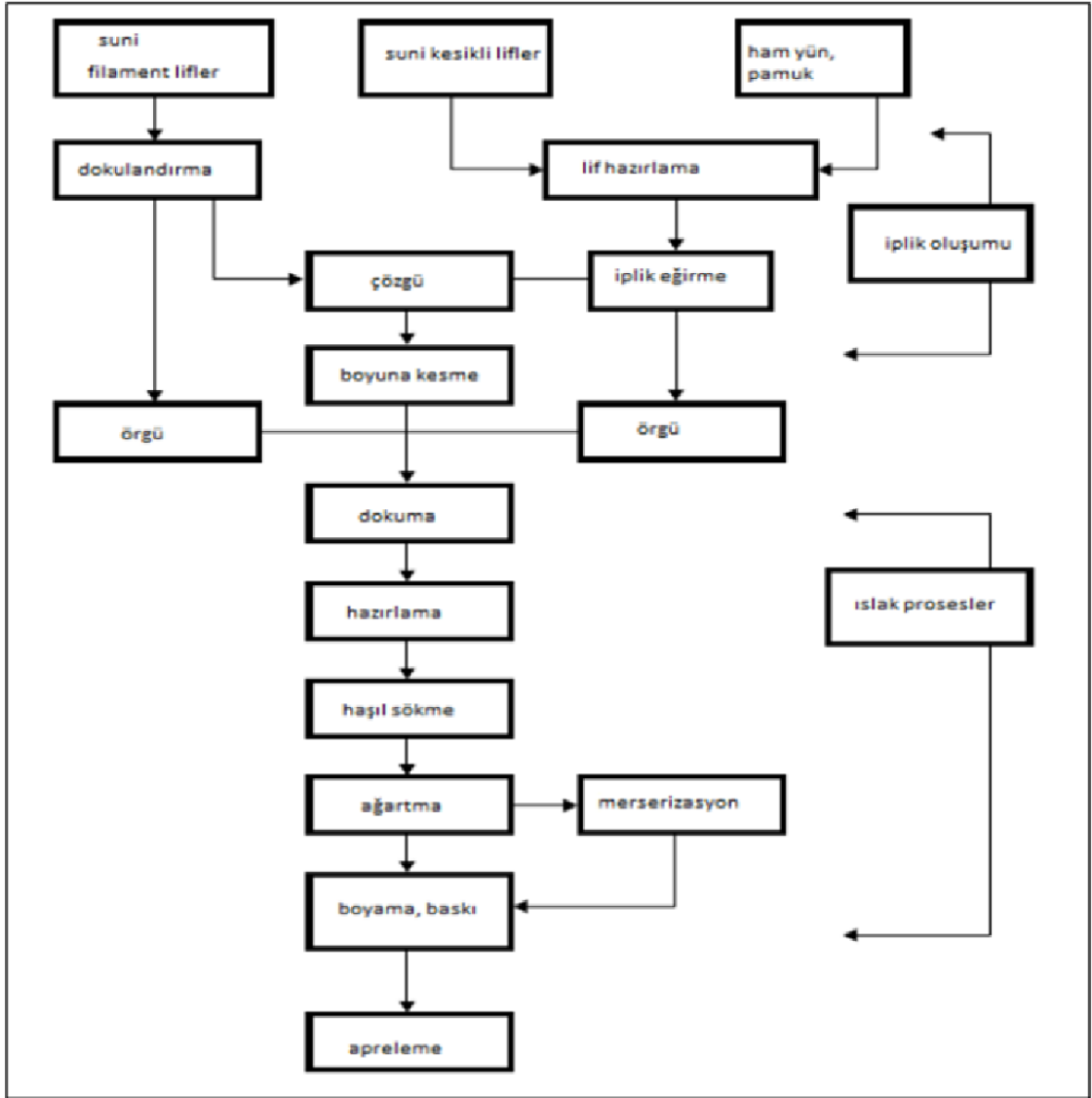
potansiyeli ile ekonomiye önemli bir katkı sağlamaktadır (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı).

Türkiye'nin tekstil üretim ve ihracatı, Avrupa ve dünya çapında dikkate değer bir konuma sahiptir. Özellikle tekstil terbiye alt sektöründe Avrupa'nın en büyük üçüncü, ev tekstilinde ise Avrupa'nın en büyük ve dünyanın dördüncü büyük üreticisi olması, Türkiye'nin bu alandaki önemini vurgulamaktadır (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı).

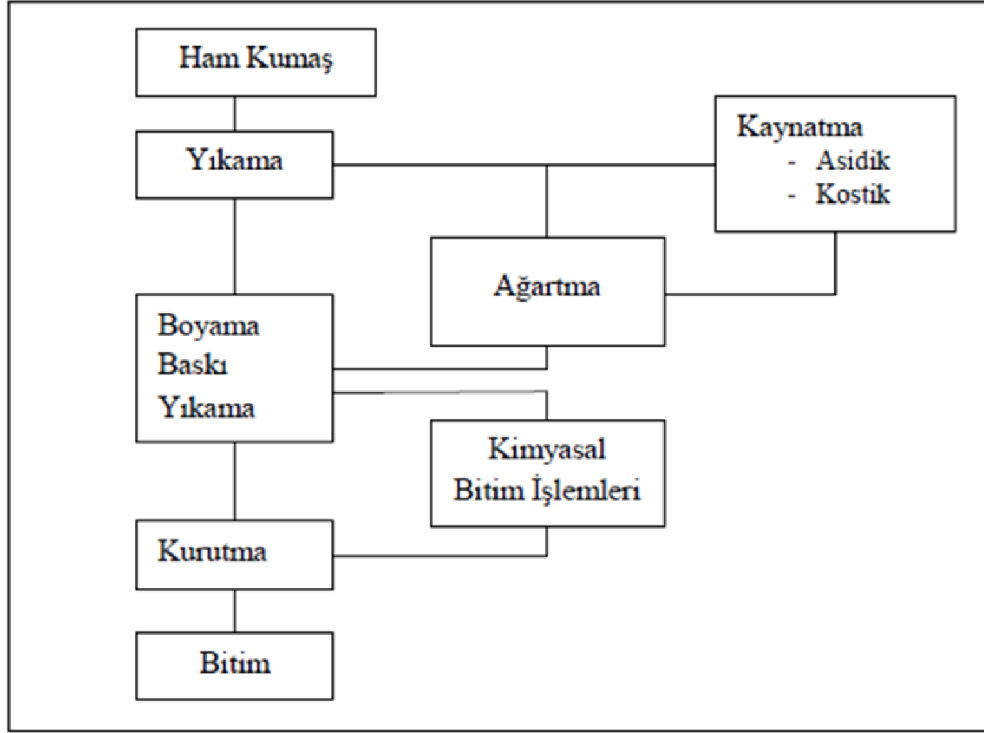
2.2.4. Tekstil Endüstrisinde Yapılan Proses

Tekstil endüstrisi, terbiye, boyama, baskı ve apreleme gibi yaş (ıslak) işlemlerden ve dokuma, örme, eğirme, kurutma, fikse ve diğer kuru işlemlerden oluşmaktadır. Şekil 2 tekstil üretim zincirini gösterirken, Şekil 3 örgü kumaşlara uygulanan ıslak işlemleri Şekil 4 Örgü kumaşlara uygulanan ıslak işlemler Şekil 5 dokuma kumaşlara uygulanan ıslak işlemleri göstermektedir. Şekil 6 ise uygulanan prosesleri özetlemektedir. Tekstilde boyama işlemleri çok çeşitlidir. Elyaf, iplik, kumaş ve parça boyama bunlardan bazılarıdır. Uygulanan boyama işlemi, kumaşın türüne ve kullanılan boya maddelerine bağlıdır.

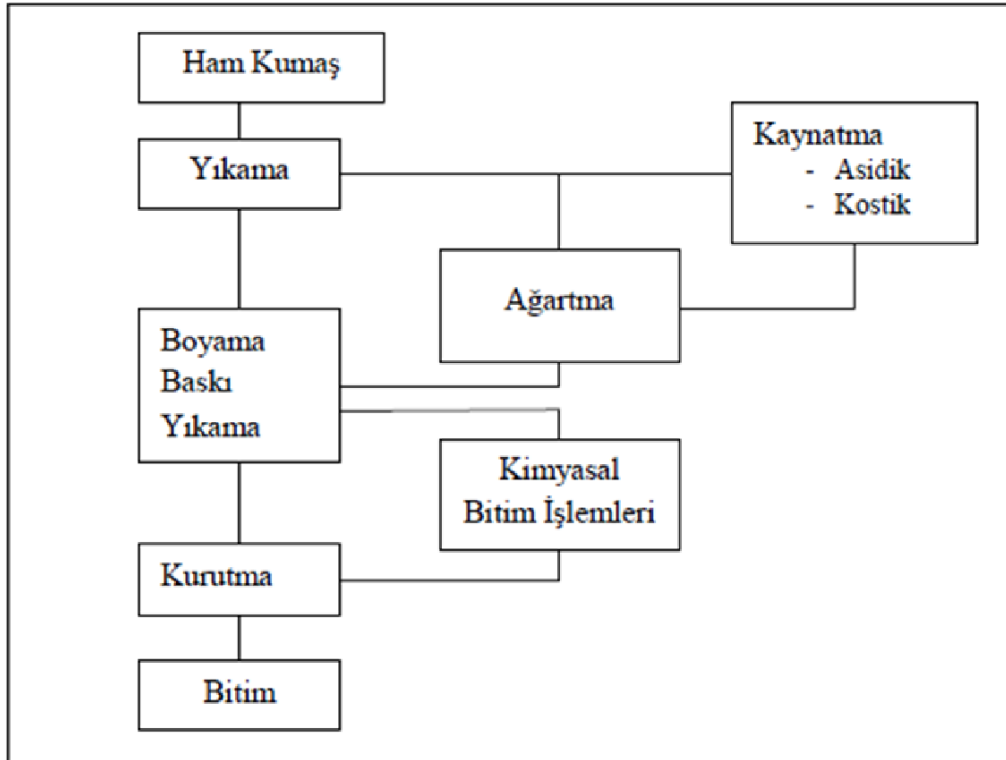
Bazı durumlarda ise kumaş, hem doğal liflerden (örneğin pamuk) hem de sentetik liflerden (örneğin polyester) oluşabilir. Bu tür karışımlar, farklı boyama yöntemleri gerektirebilir. Örneğin, %50 pamuk ve %50 polyester içeren bir kumaş, reaktif boyalarla pamuk kısmı boyanırken, dispers boyalarla polyester kısmı boyanabilir. Bu şekilde, kumaşın farklı bileşenleri uygun boyama işlemine tabi tutularak istenilen renk ve görünüm elde edilebilir (Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı). Proses özeti Tablo 2'de özetlenmiştir.



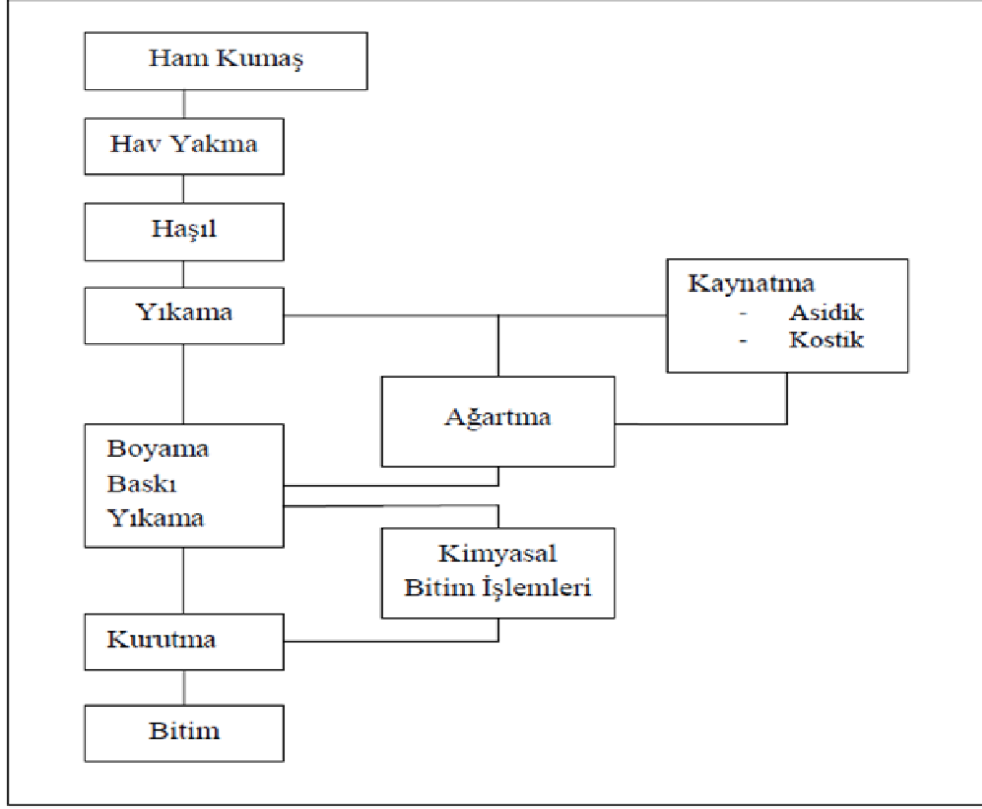
Şekil 2: Tekstil üretim zinciri (Ardal, 2021)



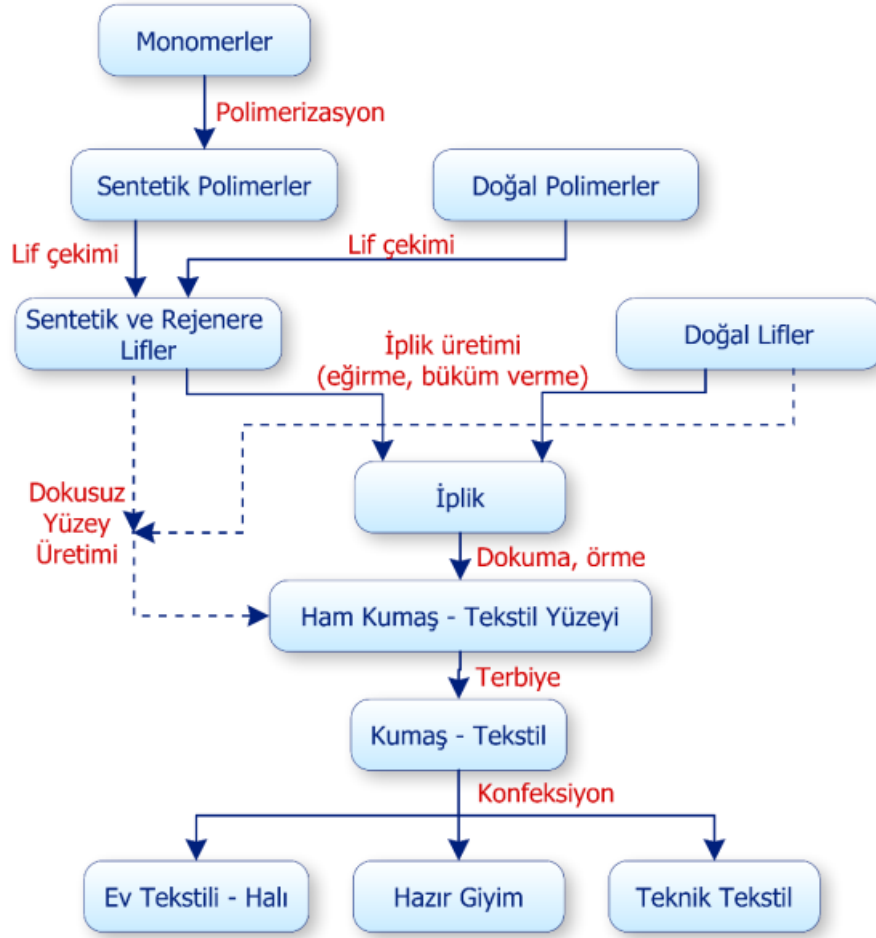
Şekil 3:Örgü kumaşlara uygulanan ıslak işlemler (Ardalı, 2021)



Şekil 4:Örgü kumaşlara uygulanan ıslak işlemler (Ardalı, 2021)



Şekil 5:Dokuma kumaşlara uygulanan ıslak işlemler (Ardalı, 2021)



Şekil 6: Tekstil üretim zinciri özeti

Tablo 2: Tekstil Endüstrisi Proses Özeti

No	PROSES	PROSES AÇIKLAMASI
1	ÖN TERBİYE	Ön terbiye, tekstil ürünlerine doğrudan maddi bir değer katmayan ancak doğru uygulanmaması durumunda diğer işlemlerde hata payını %60-%70'e çıkarabilen kritik bir aşamadır. Bu aşama, tekstil ürünlerinin işleme alındığı ve diğer işlemlere hazırlandığı aşamadır. Ön terbiye süreci, kumaşın ham halinden önce çeşitli ön işlemlere tabi tutulmasıdır. Bu işlemler arasında yıkama, çözgü hazırlama, boyama öncesi ön hazırlık gibi adımlar bulunur. Bu süreç, kumaşın istenilen kalite standartlarına ulaşması ve sonraki işlemlerde başarıyla ilerlemesi için hayati öneme sahiptir. Dolayısıyla, tekstil endüstrisinde ön terbiye işlemi, ürünün kalitesini ve sonraki işlemlerdeki başarıyı belirleyen kritik bir adımdır.
2	HAŞILLAMA	Haşillama, ince kumaş dokuması sırasında gerilime dayanamayacak kadar hassas olan ince ipliklerin geçici olarak sağlamlştırılması işlemidir. Bu işlemde genellikle doğal nişastalar, modifiye selülozlar ve sentetik maddeler kullanılır. Haşillama işlemi, kumaşın dokuması sırasında ipliklerin kopmasını veya zarar görmesini önlemek için uygulanır. Bu işlem, kumaşın dayanıklılığını artırarak dokuma sürecinin daha verimli ve sorunsuz bir şekilde ilerlemesini sağlar. Bu nedenle, özellikle ince ipliklerin kullanıldığı tekstil ürünlerinde haşillama işlemi önemli bir adımdır.
3	YIKAMA VE HAŞIL SÖKME	Yıkama ve haşıl sökme işlemi, boyama aşamasında boya maddenin kumaşa tam olarak işlenmesini engelleyen ve boya renginde istenmeyen değişikliklere neden olan haşıl maddelerini uzaklaştırmak için yapılır. Bu işlem, kumaşı boyama işlemine hazırlamak amacıyla gerçekleştirilir. Haşıl maddelerinin giderilmesi için çeşitli kimyasal maddeler kullanılır. Bu maddeler arasında NaHSO_3 (sodyum bisülfid), NaOH (sodyum hidroksit), Cl (klor), silikatlar, deterjanlar, asitler ve enzimler bulunmaktadır. Bu kimyasallar, haşıl maddelerini kumaştan çıkarmak ve kumaşı boyama işlemine hazırlamak için etkili bir şekilde kullanılır. Bu sayede kumaş, boya maddesini daha homojen bir şekilde emer ve istenilen renk tonunu elde etmek mümkün olur.
4	YAKMA	Yıkama işlemi, ürünü oluşturan ipliklerden çıkan ve genellikle lif uçlarında birikmiş olan hava tüylerinin veya diğer yabancı partiküllerin uzaklaştırılması amacıyla gerçekleştirilir. Bu tüylerin birikmesi sonucu oluşan görünüm, ürünün estetik açıdan hoş olmamasına neden olabilir. Bu nedenle, yıkama işlemi ürünün temizlenmesini sağlayarak, lif uçlarında biriken hava tüylerinin giderilmesini ve ürünün daha düzgün bir görünüme sahip olmasını sağlar.
5	AĞARTMA	Ağartma işlemi, önceki işlemlerde giderilememiş olan doğal renklendiricilerin, sonraki boyama işlemi sırasında istenmeyen renk değişimlerine neden olmasını önlemek amacıyla gerçekleştirilir. Bu işlemde, genellikle sodyum klorür (NaCl), sodyum hipoklorit (NaClO), hidrojen peroksit (H_2O_2) ve sülfür dioksit (SO_2) gibi maddeler kullanılır. Ağartma işlemi, kumaşın veya liflerin doğal renklerini veya renk tonlarını açarak istenilen beyazlık veya açıklık seviyesine ulaşmasını sağlar. Bu sayede, sonraki boyama işlemlerinde istenilen renklerin daha doğru ve istikrarlı bir şekilde elde edilmesi mümkün olur.
6	MERSERİZE ETME	Merserizasyon işlemi, dokumanın boyanabilmesi ve absorpsiyon kapasitesinin düzenlenmesi amacıyla gerçekleştirilir. Temel olarak dokumanın afinitesini artırmayı hedefler. Merserizasyon sonucunda dokuma daha parlak hale gelir, kumaşın dayanıklılığı yaklaşık %20 oranında artar ve lifler daha pürüzsüz bir görünüm kazanır. Bu işlem genellikle sodyum hidroksit (NaOH) kullanılarak gerçekleştirilir.
7	BOYAMA	Boyama işlemi, dokumanın renklendirilmesini sağlayan bir süreçtir. Farklı yöntemler ve çeşitli boyar maddeler ile birlikte birçok yardımcı kimyasal kullanılarak gerçekleştirilir. Bu işlem sonucunda ortaya çıkan atık su, genellikle endüstriyel kirliliğin %20 ila %40'ını oluşturur ve aynı zamanda yüksek düzeyde renklilik içerir.
8	APRELEME	Apreleme işlemi, dokumanın özelliklerini iyileştirmeyi ve yeni özellikler kazandırmayı içerir. Bu işlem genellikle dokumanın aşınma kalitesini düzenlemeyi, su geçirmezlik, küflenmeye karşı direnç, yanmaya karşı dayanıklılık gibi ek özellikler kazandırmayı amaçlar. Nişasta, kola, balmumu, amonyum klorit, çinko klorit, sentetik reçineler, özel kimyasallar ve yumuşatıcı maddeler gibi çeşitli maddeler apreleme işleminde kullanılabilir.

2.2.5. Tekstil Endüstrinin su ihtiyacı

Su, değerli bir kaynaktır ve tekstil endüstrisi, özellikle yıkama ve boyama gibi aşamalarda büyük miktarlarda su tüketir. Bu sektör, iplik eğirme, işleme, terbiye ve apre gibi birçok aşamayı içerir. Bu süreçlerin her biri, suyun büyük miktarda kullanılmasına neden olmaktadır. Özellikle boyama işlemi, suyun yoğun bir şekilde kullanıldığı ve çeşitli kimyasalların suya karıştığı bir süreçtir.

Tekstil endüstrisi dünyadaki en yoğun su tüketici endüstrilerden biridir. Özellikle kumaş boyama işlemi, su tüketiminin büyük bir kısmını oluşturur. Her bir kilogram mamul kumaşın boyanması için 80 ile 100 litre su gerekmektedir. Örneğin, yaklaşık 200 gram ağırlığındaki bir tişörtün boyanması için 16 ile 20 litre su kullanılması gerekmektedir (Ravelonandrasana, 2019). Bu nedenle, tekstil endüstrisi suyun etkili bir şekilde kullanılması ve atıksuyun azaltılması konularında sürekli olarak çalışması gerekmektedir.

2.2.6. Tekstil Endüstrisinden Çıkan Atıklar

Tekstil endüstrisi, üretim süreçlerinde çeşitli atıklar oluşturur. Bu atıklar, genellikle su, kimyasal maddeler ve tekstil parçacıkları içermektedir.

2.2.6.1. Atıksular

Tekstil ürünlerinin yıkama, boyama ve işleme işlemleri sırasında büyük miktarda su kullanılır. Bu su, prosesler sırasında kirletilir ve çeşitli kimyasal maddeler, boyalar ve partiküller içermektedir. Tekstil endüstrisinden çıkan atıksular beş (05) kaynaktan oluşmaktadır.

Yıkama atıksuları, yıkama prosesinden çıkan atıksulara denir. Tekstil ürünlerinin üretim sürecinde temizlenmesi gerektiğinde büyük miktarda su kullanılır. Bu yıkama işlemi, kumaşların kirlerini ve işlemler sırasında kullanılan kimyasalların kalıntılarını uzaklaştırmak için yapılır. Yıkama suyu, kirleticilerin suya karışmasıyla kirlenir ve atıksu oluşur.

Boyama atıksuları, boyama prosesinden çıkan atıksulara denir. Tekstil ürünlerinin renklendirilmesi için boyama işlemi yapıldığında, boyalar ve kimyasal maddeler suya karışır. Boyama işleminden kaynaklanan atıksu, boyaların ve yardımcı kimyasalların suya geçmesiyle kirli hale gelir.

Terbiye atıksuları, terbiye işleminden kaynaklanan atıksulara denir. Tekstil ürünlerinin yumuşatılması, parlaklık kazandırılması ve diğer özelliklerinin iyileştirilmesi için terbiye

işlemi yapılır. Bu işlem sırasında kullanılan kimyasal maddeler de suya karışır ve atıksuyun kirlenmesine neden olur.

Apreleme atıkları, apreleme prosesinden kaynaklanan atıksulara verilen isimdir. Tekstil ürünlerine dayanıklılık, su iticilik veya yangına dayanıklılık gibi özelliklerin kazandırılması için apreleme işlemi yapılır. Bu işlem sırasında kullanılan kimyasal maddeler de atıksuya karışır.

Son olarak tesis işletiminde bulunan personelden kaynaklanan evsel atıksular bulunmaktadır.

2.2.6.2. Katı Atıkları

İşleme sürecinden kaynaklanan tekstil atıkları, iplik kırıntıları, kumaş parçaları, ambalaj malzemeleri ve diğer tekstil parçalarını içerir. Bu atıklar genellikle üretim tesislerinin içinde birikir ve çevreye doğrudan deşarj edilmeden geri dönüşüm veya diğer bertaraf yöntemleriyle ele alınması gerekmektedir.

2.2.6.3. Hava Kirleticileri

Bazı tekstil işlemleri, özellikle kurutma ve fırın işlemleri, hava emisyonlarına neden olur. Bu emisyonlar genellikle uçucu organik bileşikler (VOC) ve partikül madde gibi kirleticiler içermektedir. Bu emisyonların kontrol altında tutulması, hava kalitesinin korunması açısından önemlidir.

2.2.6.4. Tekstil Endüstrisi ve Çevre Kirliliği

Tekstil endüstrisi denildiğinde sadece tekstil üretim fabrikaları düşünülmektedir. Halbuki tekstil endüstrisi bunun ötesindedir. Kullandığımız pamuklu bir kumaş parçasının su ayak izini ya da karbon ayak izini hesaplamak için geri dönüp tarlada yapılan tüm işlemleri ve kullanılan tüm suları dikkate alınır. Dolayısıyla tekstil endüstrisi denildiğinde pamuk tarlalarını da göz arda etmek doğru olmaz. Pamuk tarlalarında yüklü miktarda çeşitli pestisitler ve gübreler kullanılmaktadır. Bu pestisitler ve gübreler şüphesiz ki yüzey suları ve yeraltı sularının kirliliğine neden olmaktadır. Ayrıca bu tarlaların sulanması için yüklü miktarlarda su kullanılmaktadır. Pamuk bitkisi, su ihtiyacı yüksek olan bir bitkidir. Pamuk üretiminde kullanılan su miktarı, bitkinin yetiştiği bölgeye, iklim koşullarına ve tarım yöntemlerine göre değişiklik gösterir olsa da yaklaşık olarak 400 ile 600 mm kadar yağışa denk gelmektedir (Gürgen, 2024).

Tekstil endüstrisinin dünyanın en kirletici sektörleri arasında yer almaktadır. 1 kg kumaşın boyanması için 80-100 litre su gerekmektedir. Örneğin, 200 gramlık bir tişörtün boyanması için 16 ile 20 litre su gerekmektedir (Ravelonandrasana, 2019).

Tekstil endüstrisinde çeşitli boyar madde kullanılmaktadır. Bunların çoğu sentetik olup çevre için son derece tehlikeli etkiler yaratmaktadır. Dünya genelinde tekstil endüstrileri 40 000 ile 50 000 m³ boyanmış atıksu deşarj etmektedir (Mazharul, 2021)

2.2.7. Tekstil Endüstrinin Atıksuların Arıtma Yöntemleri

Tekstil endüstrisindeki su kullanımı ve atıksu deşarjı gerçekten önemli bir çevre sorunu oluşturmaktadır. Bu nedenle, tekstil atıksularının arıtımı için çeşitli yöntemler geliştirilmiş ve geliştirilmeye devam edilmektedir. Bugünün geliştirilmiş arıtma yöntemlerini genellikle fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler olmak üzere üç ana başlık altında sınıflandırılabilir. Bu yöntemlerin kombinasyonları da kullanılarak daha etkili arıtma sistemleri geliştirilmektedir. Tekstil endüstrisinde atıksu sorununa çözüm bulmak için sürekli olarak araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılmaktadır.

2.2.7.1. Fiziksel Arıtma Yöntemi

Fiziksel yöntemler, atıksulardaki katı partiküllerin, yağların ve diğer kirleticilerin fiziksel olarak uzaklaştırılmasını içerir. Bunlar, çökeltme, yüzdürme, filtreleme ve adsorpsiyon gibi işlemleri içermektedir.

2.2.7.2. Kimyasal Arıtma Yöntemi

Kimyasal yöntemler, atıksuların arıtılmasında kimyasal maddelerin kullanımını içerir. Bu yöntemlerde, kirleticileri çökmeye veya diğer kimyasal reaksiyonlara zorlayarak arıtma gerçekleştirilir. Kimyasal koagülasyon, flokülasyon ve pH ayarlaması gibi işlemler bu kategoriye girer.

2.2.7.3. Biyolojik Arıtma Yöntemi

Biyolojik yöntemler ise atıksuların doğal mikroorganizmalar tarafından parçalanmasına dayanır. Bu yöntemler, atıksulardaki organik maddelerin biyolojik olarak parçalanmasını sağlayarak arıtma işlemini gerçekleştirir. Biyolojik arıtma havuzları, aktif çamur işlemi ve biyofiltrasyon gibi teknikler bu kategoriye örnek olarak verilebilmektedir.

2.2.8. Tekstil Endüstri Atıksularının Klasik Arıtma Sistemleri ile Arıtılması

Tekstil atıksularının arıtımı için bilinen klasik yöntemler kullanılmaktadır. Bu arıtma yöntemleri kombinasyon prosesi olup, fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma prosesleri

içermektedir. Tekstil endüstrisinde yapılan işlemlere bağlı olarak kombine edilecek prosesler seçilip uygulanır. Genel olarak tekstil atıksu arıtma tesisleri ızgara yapısı, dengeleme havuzu, kum tutucu yapısı, kimyasal arıtma yapıları, çöktürme yapıları ve biyolojik arıtma yapılarından oluşmaktadır. Atıksu arıtma tesisine gelen atıksu özelliklerine bağlı olarak saydığımız yapıların bazılarına gerek olmayabilir.

2.2.8.1. Izgara Yapısı

Tekstil atıksu arıtma tesisine gelen atıksu özelliklerine bağlı olarak ızgara yapısı yapılır. Eğer gelen atıksuda kaba katı maddeler varsa ızgara yapısının olması tesisin ilerideki prosesler için büyük önem taşımaktadır. Yine atıksu özelliklerine bağlı olarak önce kaba ardından ince ızgara ya da sadece ince ızgara tasarlanabilmektedir. Izgaralar su içinde bulunabilecek katı maddelerin pompa ve benzeri diğer ekipmanlara zarar vermesini önlemek ve yüzücü katı maddeleri sudan ayırmak için teşkil edilir. Atıksu debisi ve özelliklerine bağlı olarak sepet ızgara, ince ızgara, kaba ızgara, mekanik veya manuel temizlemeli ızgaralar seçilir.

2.2.8.2. Dengeleme Havuzu

Hemen hemen tüm endüstriyel atıksu arıtma tesislerinde dengeleme havuzu bulunmaktadır. Bu havuz tesise gelen atıksuları toplayıp homonize edip tesisin diğer yapılarına sabit bir yükün aktarılmasını sağlar. Tesise gelen yük dalgalanmalarını koruyarak tampon görevi görür. Büyüklüğü tesise gelen atıksu debisine bağlıdır. Dengeleme havuzunda çökelmeyi önlemek için dalgıç mikser ya da difüzörlerle karıştırma işlemi uygulanır.

2.2.8.3. Kum Yağ Tutucu Havuzu

Atıksu arıtma tesislerine gelen kum, çakıl gibi ağır ve kolayca çökelebilen katı maddeler, tesis içinde ciddi sorunlara neden olabilmektedir. Bu maddeler, pompaların aşınmasına, kanalların ve boruların tıkanmasına, çökeltme havuzlarının etkinliğinin azalmasına ve çamur çürütme tanklarının verimliliğinin düşmesine sebep olurlar. Bu nedenle, bu tür katı maddelerin tesis girişinde ayrıştırılması ve uzaklaştırılması önemlidir.

Tesis girişinde yapılan bu ön arıtma işlemi olan kum yağ tutucu, atıksuyun kalitesini iyileştirmekle kalmaz, aynı zamanda tesisin işletme maliyetlerini de azaltır ve bakım gereksinimlerini en aza indirir. Genel olarak kum yağ tutucu yapılarının dipleri eğimli olup çökelen çamuru kolayca alınmasını sağlar. Yağın yüzeyde birikip sıyrılmasını sağlamak için havalandırılmalı kum tutucu tercih edilebilir. Bu tür kum yağ tutuculara boru tip difüzör döşenir. Son zamanlarda yaygın olarak pompalı tip kum sıyrıcılar kullanılarak hem yağın

yüzeyden sıyırılmasını hem de dipteki çamuru köprü ile hareket eden pompa tarafından çekilmesini sağlar.

2.2.8.4. Kimyasal Arıtma Yapıları

Tesise gelen atıksu özelliklerine bağlı olarak kimyasal arıtma gereksinimi duyulabilir. Tasarımdan önce yapılan bir Jar Test sonucuna bağlı olarak koagülasyon flokülasyon havuzları tasarlanıp uygulanır. Bu proste havuz üç bölmeli olup hızlı karıştırma ve yavaş karıştırma işlemleri uygulanır. Jar Testine bağlı uygun flokülant, koagülant ve optimum pH belirlenir. Bazen suyun özelliklerine bağlı olarak çözülmüş hava flotatör (DAF) kullanılarak daha verimli kimyasal arıtma yapılabilmektedir. Tekstil atıksularının renkli olduklarından kimyasal arıtma olarak renk giderim prosesi de uygulanır. Suda bulunan renk türüne bağlı olarak reçineler kullanılarak renk giderimi yapılır.

2.2.8.5. Çöktürme Havuzları

Çöktürme havuzları, floklaşmış partikülleri ya da biyokütleyi çöktürmek için tasarlanan havuzlardır. Çoğu zaman dairesel çeşitli olup ya koagülasyon flokülasyon işleminin ardında konumlandırılır ya da biyolojik havalandırma havuzunun ardında konumlandırılır. Koagülasyon flokülasyon işleminden sonra konumlandırılan çöktürme havuzlarına ön çöktürme havuzu denirken biyolojik havalandırma havuzundan sonra bulunan çöktürme havuzuna son çöktürme havuzu denir. Bu havuzlar dip ve yüzey sıyırıcılarla, köpük hunileriyle donatılmış olup hem dipteki çamurun alınmasını hem yüzeydeki köpüğün alınmasını sağlarlar. Nadir olsa da piyasada dikdörtgen kesitli çöktürme havuzlar görülebilmektedir.

2.2.8.6. Biyolojik Havalandırma Yapısı

Biyolojik arıtma, mikro canlıları kullanarak gerçekleştirilen arıtma sistemlerine denir. Mikroorganizmalar suyun içindeki besin maddeleri kullanarak suyun arıtılmasını sağlarlar. Mikro canlıların yaşayıp çoğalmaları için oksijene ihtiyaç duyarlar. Dolayısıyla biyolojik havuzundaki oksijen gereksinimini karşılamak için çeşitli havalandırıcılarla sisteme hava verilir. Havalandırma işlemi difüzör ve blower yardımı ile yapılabilir ya da float aeratör veya onlara benzeyen havalandırma ekipmanların yardımı ile yapılabilir.

2.2.9. Tekstil Endüstrisi Atıksu Özellikleri

Tekstil endüstrisi geniş ve çeşitli üretim süreçleri içerdiğinden, atıksu karakteristikleri büyük ölçüde değişkenlik gösterir. Bu da atıksu arıtma süreçlerini karmaşık hale getirir. Sun'un (2017) çalışmasına dayanarak, tekstil endüstrisi atıksularını karakterize eden başlıca

kirletici parametreler KOİ, AKM, yağ ve gres, renk, toplam krom, fenoller, toplam sülfür, yüzey aktif maddeler, pH ve sıcaklık olarak sıralanabilmektedir.

2.2.10. Tekstil Endüstri Atıksularının Klasik Arıtma Sistemleri ile Arıtılmasında Karşılaşan Sorunlar

Tekstil endüstrisi, üretim süreçlerinde kullanılan su miktarıyla bilinmektedir. Bu süreçler, genellikle kimyasal maddelerin kullanımını içerir ve sonuç olarak çıkan atıksular da çeşitli kirleticiler içermektedir. Klasik arıtma sistemleri, tekstil endüstrisi atıksularını arıtmakta bazı sorunlarla karşı karşıya gelmektedir.

2.2.10.1. Kompleks Kimyasal Bileşenler

Tekstil endüstrilerinde, genellikle çeşitli kimyasal maddeler kullanılmaktadır. Boyalar, ağartıcılar, solventler ve yardımcı kimyasallar gibi bileşenler, atıksulara farklı organik ve inorganik kirleticilerin yanı sıra renk, pH ve toksisite gibi çeşitli özellikler kazandırmaktadır. Bu bileşikler, klasik arıtma sistemleriyle giderilmesi oldukça güçtür.

2.2.10.2. Renkli Kirleticiler

Tekstil endüstrisi atıksuları sıklıkla renklidir. Bu renk, genellikle kullanılan boyaların ve pigmentlerin atıksuda çözünmesinden kaynaklanmaktadır. Klasik arıtma sistemleri, renkli kirleticilerin tamamen uzaklaştırılmasında çok başarılı olmayabilirler.

2.2.10.3. Toksikite Etkisi

Tekstil endüstrisi atıksuları, içerdikleri kimyasallar nedeniyle toksik madde barındırabilmektedir. Bu toksik maddeler, klasik aktif çamur sistemlerin verimlerini düşürmektedir.

2.2.10.4. Yüksek Organik Yük

Tekstil endüstrisi atıksuları genellikle yüksek organik madde içeriğine sahiptir. Bu organik kirleticiler, biyolojik arıtma süreçlerinde zorluklar yaratmaktadır. Bazı durumlarda, klasik arıtma sistemleri bu yüksek organik yüklerle başa çıkmakta zorlanır ve verimler düşmektedir.

2.2.10.5. Tuz ve Mineral İçeriği

Tekstil endüstrisi proseslerinde kullanılan bazı kimyasal maddeler, atıksuların yüksek tuz ve mineral içeriğine sahip olmasına neden olmaktadır. Bu tuzlar ve mineraller, klasik arıtma sistemlerinde korozyona yol açar. Bu da hem işletme maliyetlerini artırır hem de sistemin performansını olumsuz yönde etkiler.

Bu zorluklar, tekstil endüstrisi atıksularının etkili bir şekilde arıtılması için daha spesifik ve etkili arıtma teknolojileri ve proseslerinin geliştirilmesini gerektirir. Örneğin, ileri oksidasyon prosesleri, membran filtrasyonu, ileri biyolojik arıtma sistemleri ve ileri membran teknolojileri gibi yenilikçi yöntemler, bu tür zorluklarla daha etkili bir şekilde başa çıkılabilir.

2.2.10.6. Besin Eksikliği

Tekstil endüstri atıksularında çoğu zaman besin madde eksikliği görülmektedir. Biyolojik olarak arıtım yapılabilmesi için C/N/P belli bir oranda olması gerekmektedir. Tekstil atıksularında çoğu zaman azot ve fosfor bileşenleri eksik kalmaktadır. Bu da suyun biyolojik olarak arıtılmasını zorlaştırır.

2.3. MEMBRAN PROSESLER

2.3.1. Membran Proseslerin Genel Tarihçesi

Membranların su arıtma sistemlerinde yoğun olarak kullanımı 1960'lı yıllardan sonra gündeme gelmiştir. Ancak, membranlarla ilgili ilk bilimsel çalışmalar 18. yüzyıla kadar uzanmaktadır. 1748'de Abbe Nolet, suyun bir diyaframdan geçişini tanımlamak için "osmosis" terimini kullanmıştır. 19. yüzyıl boyunca ve 20. yüzyılın başlarında membranların endüstriyel veya ticari kullanımı olmamıştır. Ancak 1906'da Bechhold, dereceli gözenek boyutlarına sahip nitroselüloz membranlar geliştirdiğinde, 1930'ların başlarında mikroporoz membranların ticari kullanımı mümkün hale gelmiştir. Bu ilk mikrofiltrasyon membran teknolojisi, sonraki 20 yıl içinde selüloz asetat gibi diğer polimerlerle geliştirilmiş ve İkinci Dünya Savaşı'nın sonunda içme suyu filtrasyonunda ilk önemli uygulamalar başlamıştır. 1960 yılına doğru modern membran biliminin temel unsurları geliştirilmiştir. Fakat bu dönemde, membranların dünya çapında kullanımını engelleyen dört ana problem vardı: güvenilir olmamaları, yavaş işlemleri, düşük seçicilik ve yüksek maliyet (Akgül, 2006).

Membran teknolojisinin laboratuvarından endüstriyel süreçlere taşınmasını sağlayan dönüm noktası, 1960'ların başında Loeb ve Sourirajan tarafından keşfedilen ve o dönemde mevcut olan membranlara göre 10 kat daha yüksek akış hızına sahip ters osmoz membranları olmuştur. Bu buluş, ters osmoz teknolojisini pratik ve ticari olarak uygulanabilir bir hale getirmiştir.

1960 ile 1980 yılları arasında membran teknolojisinde büyük değişimler yaşanmıştır. Orijinal Loeb-Sourirajan teknolojisinin üzerine, son derece ince ve yüksek performanslı

membranlar üretmek için yeni teknolojiler geliştirilmiştir. Membran stabilitesini artıran spiral sarılı, boşluklu elyaf, kapiler ve plak ve çerçeve modülleri gibi düzenleme yöntemleri geliştirilmiş ve 1980'lere gelindiğinde mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon, ters osmoz ve elektrodializ süreçleri dünya genelinde birçok büyük tesiste uygulanmaya başlanmıştır (Kaya, 2007). Hâlâ, diğer membran süreçlerinin geliştirilmesi ve spesifik alanlarda faydalı kullanımlarına yönelik çalışmalar devam etmektedir. Günümüzde membran süreçleri, içme ve kullanma suyu temini, metalurji, kağıt ve karton, tekstil, ilaç, otomotiv, biyoteknoloji ve kimya endüstrileri gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. Ayrıca, proses suyu üretimi, sudaki değerli maddelerin geri kazanılması ve buhar kazanlarına tamamlama suyu hazırlama gibi amaçlar için de tercih edilmektedir.

2.3.2. Membran Sistemlerinin Çalışma Prensibi

Membranlar, karışım halindeki maddelerin iki farklı faza ayrılmasında seçici bariyer işlevi gören tabakalardır. Bu tabakalar sayesinde çözücü ve partiküller, membrana giren besleme akımından ayrılır. Bu işlem sonucunda, besleme akımı membrandan süzüntü ve konsantre akım olmak üzere iki farklı akım olarak çıkar. Membran tabakasından süzülerek geçen akım süzüntü, membranda kalan ve geçemeyen akım ise konsantre akım olarak adlandırılır.

Besleme akımının iki ayrı akıma ayrılmasında sürücü kuvvetler (ΔP , ΔC , ΔT) önemli bir rol oynar. Bu kuvvetler sayesinde membran yüzeyinde taşınma mekanizması devreye girer ve besleme akımının süzülebilen kısmı membran yüzeyinden geçerek süzüntü akımını oluşturur.

Membranların bu çalışma mekanizmasının bir gösterimi Şekil 7'de sunulmuştur. Membranların performansı genellikle akı, seçicilik ve tutma gibi terimlerle ifade edilir. Akı, bir membranın birim alanından birim zamanda geçen akım miktarını temsil eder. Akı genellikle $m^3/m^2.gün$ veya $L/m^2.saat$ gibi birimlerle ifade edilir.

Seçicilik, membrandan geçen kısmın istenilen bileşenlere göre seçici olma derecesini ifade eder. Yani, istenmeyen bileşenlerin istenilen bileşenlerden ne kadar ayrıldığını belirtir.

Tutma, membran tarafından alıkonulan veya geri tutulan bileşenlerin bir ölçüsüdür. Yani, membranın istenmeyen bileşenleri ne kadar etkin bir şekilde alıkoyduğunu gösterir.

Bu terimler, bir membranın performansını değerlendirirken önemli ölçütlerdir ve membranın belirli bir uygulamadaki etkinliğini ve verimliliğini belirlemeye yardımcı olurlar.

Tam olarak, ideal bir membranda yüksek seçicilik veya tutma ile birlikte yüksek akı veya geçirimsizlik istenir. Membran seçiciliği, tutma oranı (%R) ile ifade edilir. Bu, membranın belirli bir bileşeni ne kadar etkili bir şekilde alıkoyduğunu ifade eder. Yüksek seçicilik, istenmeyen bileşenlerin istenilen bileşenlerden ne kadar ayrıldığını belirtirken, yüksek akı veya geçirimsizlik, birim zamanda membranın geçirebildiği bileşen miktarını gösterir.

Yani, ideal bir membran, istenmeyen bileşenleri etkili bir şekilde alıkoyarken istenilen bileşenleri geçirme kapasitesine sahip olmalıdır. Bu, membranın performansının en üst düzeyde olduğunu ve belirli bir uygulamada en iyi sonuçları verebileceğini gösterir.

$$\%R = \frac{C_f - C_p}{C_f}$$

C_p = Süzüntü akımı konsantrasyonu

C_f = Besleme akımı konsantrasyonu

%R birimsiz bir büyüklük olup, 0 ile 1 arasında değişmektedir. %R'nin 0 olması çözülmüş maddelerin membrandan geçtiğini, yani tutulmanın hiç olmadığını göstermektedir. %R'nin 1 olması ise membrandan hiçbir maddenin geçmediğini ve tutulmanın tam olduğunu göstermektedir.

Membranda geri kazanım (Y), besleme akımının ne oranda süzüntü akımına dönüştüğünü gösteren bir ifade olup,

$$\%Y = \frac{Q_b - Q_k}{Q_b} \times 100 = \frac{Q_s}{Q_b}$$

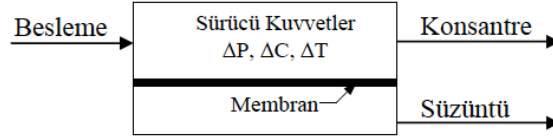
bağıntısı ile ifade edilmektedir.

Q_b = Besleme akımının debisi

Q_k = Konsantre akımının debisi

Q_s = Süzüntü akımının debisi

Membran proseslerde verime, besleme suyunun hızı ile çözünmüş madde ve partikül konsantrasyonu, çözünmüş maddelerin cinsi, basınç, sıcaklık ve pH etki etmektedir (Akgül, D., 2006).



Şekil 7: Membran Çalışma Mekanizmasının Şematik Gösterimi (Akgül, 2006)

2.3.3. Membran Modüllerinin Tasarımı ve Yapısı

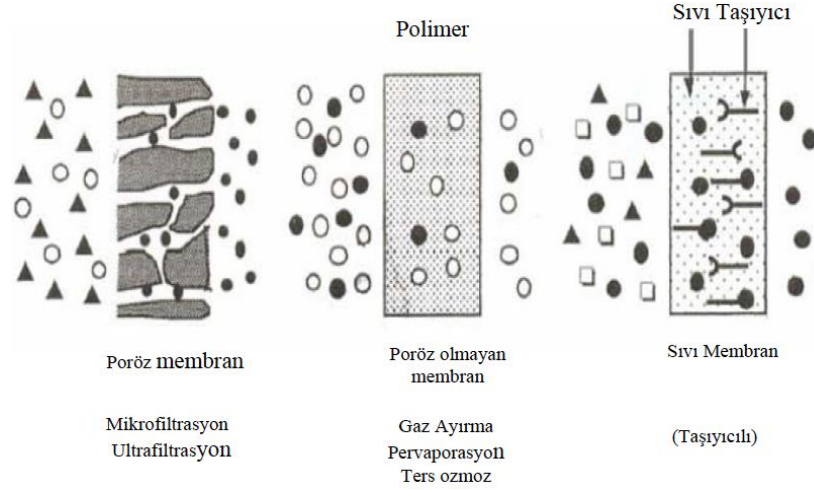
Yüksek performanslı bir membran prosesine, geniş yüzey alanına sahip membran modülleri kullanılarak ulaşılmaktadır. İlk modül tasarımları, temel filtrasyon teknolojilerine dayanıyordu ve bir çeşit filtre preste tutulan membran katmanlarından oluşuyordu. Bu modüller, plak ve çerçeve modülleri olarak bilinir. Aynı dönemde, bir dizi membran tüpünden oluşan alternatif sistemler de geliştirilmiştir.

Membran teknolojileri, günümüzde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Membran proseslerinde kullanılan membranlar, ayırma mekanizmalarına, morfolojilerine, geometrilerine ve kimyasal yapılarına göre sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma, membran seçimini ve dolayısıyla membran proses performansını önemli ölçüde etkilemektedir.

2.3.3.1. Ayırma Mekanizmalarına Göre Sınıflandırma

Su ve atıksu arıtımında katı ve sıvı olmak üzere iki tip membran kullanılmaktadır. Bu uygulamalarda, üç ayrı tip membran bulunur: poröz (gözenekli), poröz olmayan (gözeneksiz) ve sıvı membranlar. Ayırma işlemi, poröz membranlarda eleme mekanizmasıyla, poröz olmayan membranlarda ise çözünme-difüzyon mekanizmasıyla gerçekleşir. Sıvı membranlarda ise elektrokimyasal etkiler rol oynar.

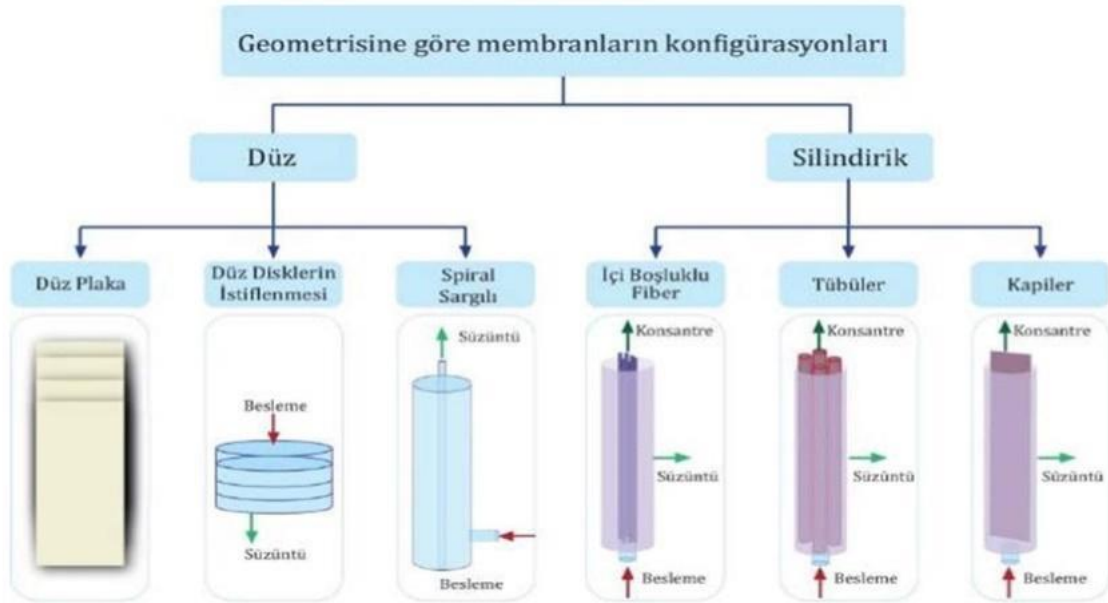
Poröz ve sıvı membranlar, çevre uygulamalarında su ve atıksu arıtımında kullanılırken, poröz olmayan membranlar gazların saflaştırılmasında kullanılmaktadır. Poröz membranlar, düşük moleküler ağırlıklı maddeler içeren çözeltiler ve çeşitli hidrolik sıvı akımlarının gözeneklerden geçmesine izin verirken, yüksek moleküler ağırlıklı maddeler içeren çözeltiler bu gözeneklerden geçemez. Üç temel membranın yapı ve ayırma özellikleri Şekil 8'de gösterilmiştir (Göksel, 2019).



Şekil 8: Membranların Ayırma mekanizmaya göre sınıflandırılması

2.3.3.2. Geometrilerine Göre Sınıflandırma

Membranlar, geometrik yapılarına göre tabaka ve silindirik tarzlı olmak üzere ikiye ayrılırlar. Tabaka membranlar spiral sarım ve plaka-çerçeve tipinde, silindirik membranlar ise boru ve boşluklu elyaf şeklinde bulunurlar. Plaka-çerçeve tip membranlar genellikle küçük ölçekli uygulamalarda kullanılır. Spiral sarım membranlar, plaka-çerçeve membranların rulo şeklinde sarılmasıyla elde edilmektedir. Boru şeklindeki membranların iç çapı 3 mm'den büyükken, boşluklu elyaf membranların iç çapı 3 mm'den küçüktür (Göksel, 2019). Şekil 9'da membranların geometrisine göre sınıflandırılması gösterilmiştir.



Şekil 9: Membranların Geometrilerine göre sınıflandırılması

2.3.3.3. Kimyasal Yapılarına Göre Sınıflandırma

Membranlar, kimyasal yapılarına göre organik ve anorganik olarak sınıflandırılırlar. Organik membranların ana bileşenleri polimerlerdir. Yaklaşık 130 çeşit polimer membran üretiminde kullanılmaktadır (Kaya, 2007). Ancak, membranların ömrü ve proses ihtiyaçları dikkate alındığında, yalnızca belirli polimerler yaygın olarak kullanılmaktadır.

Organik membranların temel yapı taşları polimerlerdir. Bu polimerler, membranların kimyasal direncini, termal stabilitesini ve mekanik dayanıklılığını belirlemektedir. Membran üretiminde sık kullanılan polimerler şunlardır:

Selüloz Asetat (CA: $C_6H_7O_2(OH)_3$): Su arıtma ve gaz ayırma uygulamalarında yaygın olarak kullanılır. İyi bir selektivite ve geçirgenlik dengesine sahiptir.

Poliamid (PA: N-H-C=O): Ters osmoz ve nanofiltrasyon membranlarında yaygın olarak kullanılır. Poliamid ile üretilen membranlar yüksek tuz reddi ve kimyasal dayanıklılık sunar.

Poliviniliden Florür (PVDF: $(C_2H_2F_2)_n$): Mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon uygulamalarında kullanılır. Yüksek kimyasal direnç ve termal stabiliteye sahiptir. Membran biyoreactor prosesinde en çok tercih edilen membran türüdür.

Polietersülfon (PES: $C_{12}H_{12}O_3S_2$): Yüksek akış hızı ve iyi kimyasal direnç özellikleriyle ultrafiltrasyon membranlarında kullanılır.

Polipropilen (PP: $(C_3H_6)_n$): Mikrofiltrasyon ve bazı özel uygulamalarda kullanılır. Yüksek mekanik dayanıklılık ve kimyasal direnç sağlar.

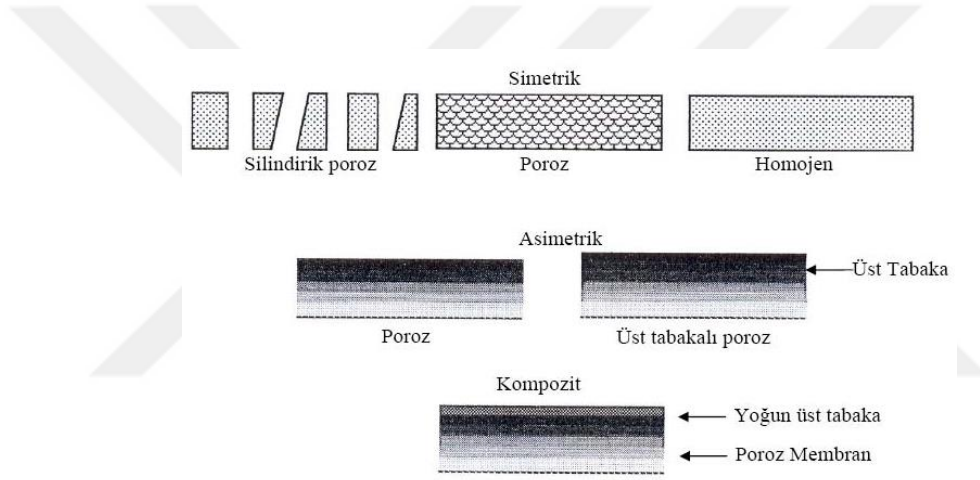
Anorganik membranlar, genellikle seramik veya metal oksitlerden yapılırlar ve yüksek sıcaklık, basınç ve kimyasal ortamlara dayanıklıdır. Bu tür membranlar, yüksek sıcaklık ve kimyasal dayanıklılığa sahip olduklarından gaz ayırma ve biyoteknoloji uygulamalarında yaygın olarak kullanılırlar.

2.3.3.4. Morfolojilerine Göre Sınıflandırma

Membranlar, morfolojilerine göre üç kategoriye ayrılır: simetrik, asimetrik ve ince filmli kompozit membranlar. Simetrik membranların (gözenekli ve gözeneksiz) kalınlıkları 10-200 μm arasında değişmektedir. Asimetrik membranların kalınlığı da 10-200 μm arasında olup, bu membranlar 50-150 μm kalınlığında gözenekli bir alt tabaka ile desteklenen ve 0.5

μm kalınlığında yoğun bir üst katmandan oluşur. Bu üst katman, asıl ayırma işlemini gerçekleştiren kısımdır. Daha yüksek akış özelliklerine sahip asimetrik membranlar, endüstriyel uygulamalarda simetrik membranların yerini almıştır. İnce filmli kompozit membranlar ise, asimetrik membranların üst kısmına ince bir tabakanın eklenmesiyle oluşturulmaktadır. Bu ince tabaka, toplam membran kalınlığının yaklaşık %1'ini oluşturur.

Membran proseslerinin performansı büyük ölçüde kullanılan membranın yapısı ve morfolojisine bağlıdır. Membran türüne bağlı olarak, bu proseslerin performansı önemli ölçüde değişir. Özellikle asimetrik membranların geliştirilmesiyle, membranların su ve atıksu arıtımında kullanımı yaygınlaşmıştır. Şekil 10'da membran malzemelerinin kesitleri şematik olarak gösterilmiştir (Göksel, 2019).



Şekil 10:Membran malzeme kesitlerinin şematik gösterimi

2.3.4. Membran Proseslerine Genel Bakış

Membran prosesler, tuttukları partikül boyutlarına göre mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF) ve ters osmoz (RO) olarak sınıflandırılır. MF, UF, NF ve RO prosesleri, moleküler eleme etkisi kullanarak, membranın gözenek çapına ve partiküllerin boyutuna dayanarak, çapları 10 \AA 'dan $10 \mu\text{m}$ 'ye kadar olan partikülleri ayırmak veya gidermek için kullanılır.

2.3.4.1. Mikrofiltrasyon prosesi

Mikrofiltrasyon membranları, gözenek boyutu, filtrasyon kapasitesi ve giderme verimi gibi ana özelliklerle tanımlanır. Bu membranlar, düşük basınç (2 bar civarında) altında çalışırlar.

Poröz mikrofiltrasyon membranları, gözenek boyutu ve maksimum çalışma basıncında işletildiğinde arıtabileceği su miktarı olan filtrasyon kapasitesi ya da akı ile değerlendirilir. Filtrasyon kapasitesi (akı), işlenen çözeltilerin özellikleri ve filtrasyon hızı gibi faktörlere bağlıdır. Membranın ömrünü uzatmak için, genellikle daha büyük gözenek boyutuna sahip bir ön filtre kullanılır.

Mikrofiltrasyon, büyük makromoleküllerin membranı geçmesine izin verirken, 0,1 µm'den büyük partikülleri engeller. Akış, membran yüzeyine paralel olarak uygulanır. Membrandan geçemeyen partiküller membran üzerinde birikir, bu da membranın direncini artırır. Membranın performansı düştüğünde, temizlenmeli veya değiştirilmelidir.

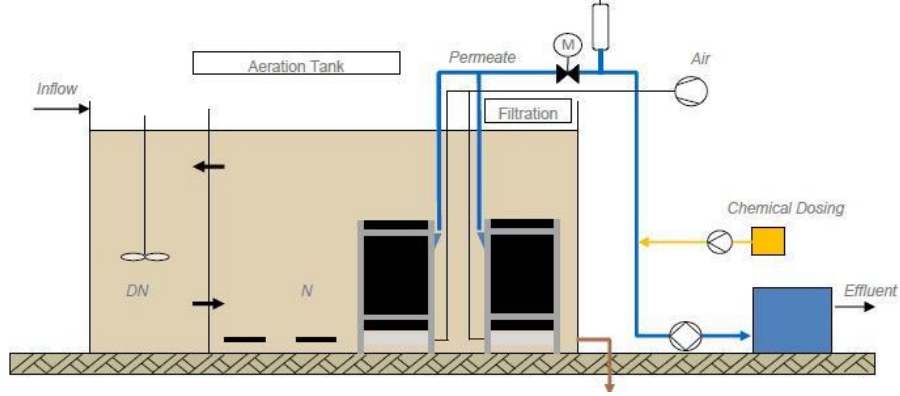
2.3.4.2. Ultrafiltrasyon prosesi

Ultrafiltrasyon membranlarının temel özellikleri akı, çözülmüş maddelerin tutma kapasitesi ve moleküler ağırlık kesme sınırı (MWCO) olarak belirlenir. Giderme verimi genellikle besleme konsantrasyonuna ve karıştırma hızına bağlı olarak değişir. Ultrafiltrasyon genellikle endüstriyel ayrıştırma işlemlerinde, su arıtımında ve ters osmoz membranlarını korumak için ön arıtma amacıyla kullanılır. Membranlar, düşük basınçlarda işletilir.

Ultrafiltrasyon membranlarında kolloidal partiküller, biomoleküller ve şeker iyonları gibi maddeler tutulur. Bu membranlar genellikle gıda ve ilaç endüstrilerinde değerli maddelerin konsantre edilmesi veya geri kazanılması için, kimya, kağıt ve tekstil endüstrilerinde ise atıksu arıtımında kullanılır.

2.3.4.3. Nanofiltrasyon prosesi

Nanofiltrasyon, ters osmoz ile benzer özelliklere sahip bir membran teknolojisidir. Ters osmoz teknolojisi, 0,1 nm'den daha küçük çözülmüş molekülleri tutarken, nanofiltrasyon çapı 1 nm'ye kadar olan molekülleri tutar. Nanofiltrasyon, ürün suyu kalitesinin çok saf olması gerekmeyen durumlarda veya giderilmesi gereken çözülmüş madde miktarının tipik kuyu suyu veya deniz suyu tuzluluğunda olmadığı durumlarda, ters osmoz sisteminin daha düşük basınçlı bir versiyonu olarak kabul edilir. Bu nedenle, enerji maliyeti de ters osmoz prosesine kıyasla daha düşüktür. Nanofiltrasyon, özellikle kuyu suyu, nehir veya göl gibi yüzey sularının arıtılması için uygundur. Bu proses, sertlik oluşturan iyonlar gibi kalsiyum ve magnezyumu giderme yeteneğine sahiptir ve kireçle yumuşatma veya sodyum klorür zeolit teknolojilerine alternatif bir çözüm sunar. Ayrıca, organik kökenli renkleri, bakteri ve virüsleri, istenmeyen klorlanmış hidrokarbonları ve trihalometanları



Şekil 12: Membran Biyoreaktör

Membran biyoreaktörler, atıksu arıtma sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu teknoloji, atıksu arıtma tesislerinde mevcut organik ve inorganik bileşenlerin arındırılmasında yüksek oranda etkili bir şekilde çerçevesinde kullanılmaktadır. Membran biyoreaktörler, biyolojik arıtma işlemini daha verimli hale getirmek yoluyla atıksuda bulunan kirleticilerin giderimine katkı sunar. Ayrıca, membran biyoreaktörlerin kompakt yapılarına binaen, atıksu arıtma tesislerinin alan gereksinimlerini asgariye indirir ve aynı zamanda enerji tüketimini minimize ederler. Bu teknolojinin kullanılıyor oluşu, çevre dostu olma karakteri ve sürdürülebilir bir atıksu arıtma metodu olarak öne çıkmasına yol açmaktadır. Membran biyoreaktörler, günümüz modern atıksu arıtma tesislerinde geniş spektrumda kullanılmakta olup, atıksuların temizliğini sağlamak ve çevreye olumsuz etkilerin engellenmesinde önemli bir fonksiyon icra etmektedir.

Membran biyoreaktör teknolojisi, endüstriyel ve belediye atıksularının arıtılmasında kullanılan geleneksel yöntemlere alternatif olarak ortaya çıkmış ve tam biyokütle tutma, kısa devreye alma süresi, yüksek arıtma kalitesi, ve az yer kaplaması gibi avantajlarıyla öne çıkan bir teknolojidir (Zielinska ve diğ., 2023). MBR'ler enerji üretimi için organik madde parçalanması, besin maddelerinin yoğunlaşması ve suyun yeniden kullanımı için organik kirleticilerin etkin şekilde giderilmesi gibi potansiyel faydalar sağlar. Ancak, membran tıkanıklığı halen bir sorun teşkil etmekte ve işletme ve bakım maliyetlerini artırmaktadır, dolayısıyla tıkanıklığı azaltma yöntemleri önemlidir (Zielinska ve diğ., 2023).

Membran biyoreaktör, biyolojik arıtma proseslerinde yaygın olarak kullanılan bir teknolojidir. Bu sistem, su arıtma tesislerinde organik kirleticilerin arıtılması için etkili bir yol sağlar. Membran biyoreaktörler, atıksuyun arıtılması sırasında hem biyolojik işlemleri hem de membran filtrasyonunu aynı anda gerçekleştiren entegre bir sistem sunar. Bu sayede,

atıksulardan organik kirleticilerin daha verimli bir şekilde uzaklaştırılması sağlanır. Membran biyoreaktörler ayrıca, geleneksel arıtma sistemlerine göre daha az yer kaplar ve daha yüksek arıtma verimliliği sağlar. Bu nedenle, son yıllarda atıksu arıtma tesislerinde membran biyoreaktörlerin tercih edilme oranı hızla artmaktadır. Bu teknolojinin etkinliği ve avantajları, atıksu arıtma sektöründe önemli bir yere sahip olmasını sağlamaktadır.

Kısacası membran biyoreaktör, konvansiyonel evsel atıksu arıtma tesislerinde bulunan son çökeltim havuzunun yerine, fiziksel ayırım sağlayan bir membran modülünün prosese batık veya harici olarak dahil edilmesiyle oluşan bir prosestir.

MBR Sisteminin Tarihçesi

Membran biyoreaktörün tarihi oldukça eski zamanlara dayanmaktadır. İlk kez 1960'lı yıllarda geliştirilmeye başlanmış olup, zamanla teknolojisinin gelişmesiyle daha yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Membran biyoreaktörler, atıksu arıtma tesislerinde büyük bir gelişme sağlamış ve verimliliği arttırmıştır. Geleneksel arıtma sistemlerine göre avantajları bulunan bu teknoloji, zararlı maddelerin ayrılmasında daha etkili olmasıyla tercih edilmektedir. Özellikle su kıtlığı yaşanan bölgelerde suyun geri kazanılması ve temizlenmesi için ideal bir çözüm sunmaktadır. Membran biyoreaktörlerin kullanım alanı giderek genişlemekte olup, gelecekte atıksu arıtma sektöründe daha yaygın bir şekilde kullanılması beklenmektedir. Bu teknolojinin sürekli olarak geliştirilmesi ve iyileştirilmesiyle birlikte çevre dostu bir çözüm olarak öne çıkmaktadır (Göksel, 2019).

Membran biyoreaktör teknolojisinin atıksu arıtımındaki evrimi, 2000'li yıllarda hız kazanmıştır. Bu dönemde, membran biyoreaktörler endüstriyel ölçekte daha yaygın olarak kullanılmaya başlanmış ve arıtma tesislerinde önemli bir yer edinmiştir. Geliştirilen yeni membran modelleri ile daha verimli ve etkili atıksu arıtımı sağlanmaktadır. Ayrıca, membran biyoreaktörlerin kompakt tasarımı ve düşük yer kaplaması, arıtma tesislerinin daha küçük alanlara kurulmasına olanak tanımaktadır. Bu da hem atıksu arıtım maliyetlerini azaltmış hem de daha fazla tesisin kurulmasına olanak sağlamıştır. Ancak, gelişen teknoloji ve artan talep ile birlikte atıksu arıtımında membran biyoreaktör teknolojisinin sürekli evrilerek daha da optimize edileceği öngörülmektedir. Bu sayede, daha temiz ve sağlıklı bir çevre için daha etkin atıksu arıtımı sağlanabilecektir (Baburşah, 2004).

2.3.4.6. MBR Sisteminin Avantaj ve Dezavantajları

Atıksu arıtımında MBR (Membran Biyoreaktör) proseslerinin geleneksel sistemlere göre bazı avantajları şu şekilde özetlenebilir: MBR'larda yüksek askıda katı madde (MLSS) yoğunluğu nedeniyle gerekli hidrolik bekleme süresi daha kısadır. Bu, daha küçük reaktör hacmi ve ilk yatırım maliyetinde azalma anlamına gelir. Biyokütle ayrımı mikrofiltrasyon (MF) veya ultrafiltrasyon (UF) ile gerçekleştirildiği için aktif çamurun çökelebilmeye özelliğinden bağımsızdır. Bu da son çökeltim tankına ihtiyaç duymadan, filamentli bakterilerden kaynaklanan çökeltim problemlerini ortadan kaldırır. Yüksek MLSS yoğunluğu sayesinde sisteme daha fazla organik yükleme yapılabilir.

MBR'larda, nitrifikasyonun olumsuz etkilenmesi veya toksik organiklerin engelleyici etkileri gibi işletme problemleriyle daha az karşılaşılır. Çünkü MBR sistemleri geleneksel aktif çamur yöntemine kıyasla daha uzun çamur yaşı (SRT) ile çalışabilir. Yüksek SRT değerleri, üretilen biyokütle miktarını ve dolayısıyla atık çamur miktarını azaltır. Ayrıca, MBR'lar mükemmel bir fiziksel dezenfeksiyon sağlarlar; çünkü sıvı-katı ayrımı 0,01–0,1 µm gibi küçük gözenek çaplarına sahip membran filtrasyonuyla yapılır (Sert, 2015).

MBR proseslerinin belki de sıkça göz ardı edilen avantajlarından biri mikrobiyolojik özellikleridir. MBR'larda biyokütle kaçışı engellenir ve tüm biyokütle reaktörde tutulur. Bu nedenle, mevcut biyokütle zor şartlara adapte olmak zorunda kalır. Ayrıca, yüksek tuz yoğunluklarını tolere edebilen halofilik bakteriler ve spesifik xenobiyotikleri parçalayabilen mikroorganizma türleri gibi özelleşmiş bakteriler reaktörde sürekli tutulur. Bu özelleşmiş bakteriler ani yüksek organik yüklemeler, çeşitli stres veya toksik madde girişi durumlarında sisteme ekstra avantaj sağlar. Yukarıda belirtilen avantajlar ve özellikle MF/UF teknolojisi sayesinde MBR'larda çıkış suyu kalitesi, geleneksel aktif çamur sistemlerine göre çok daha iyidir (Sert, 2015).

Ancak, bu biyoreaktörlerin bazı dezavantajları da bulunmaktadır. MBR sistemlerinde arıtma süreci tek bir havuzda gerçekleştirildiği için mekanik ve kontrol açısından daha karmaşıktır. Otomasyon sayesinde işletim kolaylaşsa da (Sert, 2015), MBR süreçlerini optimize etmek için birçok parametrenin dikkate alınması gerekir. Bu parametreler arasında katı konsantrasyonu, çamur yaşı, hidrolik bekleme süresi, malzeme maliyeti, enerji maliyeti ve akı gibi faktörler bulunur. Ayrıca atık çamurun arıtımı ve uzaklaştırılmasını da hesaba katmak gereklidir. Klasik aktif çamur ve MBR süreçlerinin atık çamur özellikleri karşılaştırıldığında, MBR atık çamurunun susuzlaştırılmasının daha zor olduğu görülmüştür.

Bu, yüksek organik madde içeriği ve hücre dışı polimerlerin aşırı üretimine bağlanmaktadır. Tüm bu parametreler birbirleriyle ilişkili olduğu için, optimizasyon karmaşıktır.

İşletim sırasında zamanla membran gözenekleri tıkanır ve arıtılmış su akışı azalır. Bunu engellemek için belirli aralıklarla basınçlı hava/su ve kimyasallarla (sitrik asit ve sodyum hipoklorür) gözenekler temizlenir Bu temizlik işlemi otomatik yapılır, ancak bu kimyasalların depolanması için küçük tanklar gerekir. MBR uygulamalarında temel bir dezavantaj tıkanma (fouling) olayıdır. Membranların kendisi bir maliyettir ve kullanım süreleri proses ekonomisini doğrudan etkiler. Membran maliyetleri ve temizleme kimyasallarının maliyetleri de işletmede dezavantaj yaratır. Ayrıca, MBR sistemleri yüksek performansla çalıştığından enerji, pompa ve benzeri maliyetler de işletme için ek bir yük oluşturur. MBR sistemlerde kullanılan membran modüllerinin ömrü genellikle 2-5 yıl arasında öngörülmektedir (Sert, 2015).

2.3.4.7. Genel Olarak Membran Proseslerinin Avantajları

Membran teknolojileri, su ve atıksu arıtımında verimliliği, esnekliği ve çevre dostu özellikleriyle ön plana çıkmaktadır. Bu avantajlar, membran proseslerinin giderek yaygınlaşmasına ve gelişen teknoloji ile daha da iyileşmesine yol açmaktadır.

2.3.4.8. Yüksek Arıtma Verimi

Membran prosesleri, su ve atıksuların etkili bir şekilde arıtılmasını sağlar, istenmeyen partiküllerin, kirleticilerin ve mikroorganizmaların uzaklaştırılmasına yardımcı olmaktadır. Membran proseslerin arıtma verimi klasik arıtma sistemlere nazaran çok yüksektir.

2.3.4.9. Esneklik ve Ölçeklenebilirlik

Membran sistemleri, farklı ölçeklerdeki su arıtma tesislerine uygun şekilde ölçeklenip ve uyum sağlarlar. Bu, küçük yerel tesislerden büyük endüstriyel tesislere kadar çeşitli uygulamalara uygun çözümler sunar. İstenilen her boyutta kolay bir şekilde membran tasarlanıp uygulamaya alınabilmektedir. Bu durum membran proseslere üstünlük kazandırmaktadır. Ayrıca membran sistemleri paket şekilde tasarlanıp istenilen her yere taşınıp kullanım imkanı sunmaktadır.

2.3.4.10. Su Geri Kazanımı ve Yeniden Kullanımı

Membran prosesleri, atıksuların arıtılmasında ve geri dönüşümünde etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Membran proseslerin yüksek kalitede deşarj su sağladıklarından dolayı membranlı atıksu arıtma tesislerin çıkış suları endüstriyel proseslerde tekrar tekrar kullanma

imkânı tanımaktadır. Bu katkı ile birlikte dolaylı olarak su kaynaklarının korunmasına ve sürdürülebilir su yönetimine katkıda bulunmaktadırlar.

2.3.4.11. Kimyasal Kullanımının Azalması

Bazı membran prosesleri, geleneksel kimyasal arıtma yöntemlerine kıyasla daha az kimyasal kullanımı gerektirir. Klasik arıtma tesislerin çıkışında yapılan dezenfeksiyon işlemleri ters osmoz arıtma sistemi dezenfeksiyon işlemi ortadan kaldırmaktadır. Ters osmoz gibi membran proseslerinden çıkan sulara dezenfeksiyon işlemi uygulanmaya gerek yoktur.

2.3.4.12. Hızlı ve Etkili Arıtma

Membran prosesleri, su ve atıksuların hızlı bir şekilde arıtılmasını sağlar ve kısa sürede temiz su elde edilmesini sağlar. Bu, acil durumlarda veya ani su kirliliği olaylarında hızlı müdahale ve çözüm sağlar. Örneğin, doğal afetler veya insani yardım operasyonları sırasında hızlı su arıtımı için taşınabilir ters osmoz sistemleri kullanılmaktadır.

2.3.4.13. Operasyonel Kontrol ve İzleme Kolaylığı

Membran prosesleri, otomasyona uygun olup, proses kontrolünü ve izlenmesini kolaylaştırır. Bu, işletmelerin prosesin verimliliğini optimize etmesine ve hata durumlarını hızlı bir şekilde tanımlamasına olanak tanır.

2.3.5. Genel Olarak Membran Proseslerinin Dezavantajları

Membran prosesleri sayılıp bitirilemediği avantajları olmasına rağmen az olsa da bazı dezavantajlara sahiptir.

2.3.5.1. İlk Yatırım Maliyeti

Membran proseslerin ilk yatırım maliyet bazen yüksek olabilmektedir. Günümüzdeki membran proseslerin kullanımının yaygınlaşması ile bu yatırım maliyetin git gide düşmesini sağlamaktadır.

2.3.5.2. Membranların Ekonomik Ömrü

Membranların ekonomik ömürleri düşüktür (2-5 sene). Kısa ömürlü olmaları işletme sırasında son derece zorluklara neden olabilmektedirler.

2.3.5.3. Enerji Tüketimi

Bazı membran proseslerinde yüksek enerji tüketimi söz konusu olmaktadır. Ters osmoz prosesleri yüksek basınçla çalışmadan dolayı yüklü miktarda enerji tüketmektedir. Dolayısıyla işletme maliyetlerini yükseltmektedir.

2.3.5.4. Antiskalant Atıkları

Membran proseslerinde yıkama söz konusudur. Bu yıkama sırasında çeşitli kimyasallar kullanılmaktadır. Bu kimyasallarla oluşan atıksuyun işletilmesi zaman zaman son derece zor olabilmektedir. Bu da membran proseslerinin dezavantajlarından biridir.

2.3.6. Tekstil Endüstrisi Atıksu Arıtımında Membran Prosesler ile Literatürde Yapılan Çalışmalar

2.3.6.1. Özan ve Diğ. Çalışmaları

Özan ve diğ. 2018 yılında yaptıkları çalışmada, bir Membran Biyoreaktörün pilot ölçekte tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Bu reaktör, tekstil atıksularını arıtmak için tasarlanmıştır ve sistemin performansı sentetik tekstil atıksuları kullanılarak değerlendirilmiştir. Yapılan 10 günlük arıtım sonuçlarına göre, organik madde (KOİ) giderimi %68 ve renk giderimi ise %70 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar, sistemin tekstil atıksularını arıtmak için etkili bir çözüm olduğunu ve gelecek için umut vaat ettiğini göstermektedir.

2.3.6.2. Yurt Sever ve Diğ. Çalışmaları

Yurtsever ve diğ. (2017) çalışmasında, sentetik tekstil atıksularının arıtımında sıralı anaerobik sülfat indirgeyici ve aerobik sülfid oksitleyici Membran Biyoreaktörlerin (MBR) arıtım ve filtrasyon özelliklerine çamur yaşlanma süresinin (SRT) (60 ve 30 günlük) etkisi incelenmiştir. Azalan SRT, biyomasın konsantrasyonunda azalmaya ve bu da KOİ oksidasyonundaki (KOİ giderim performansı %86-65) önemli bir azalmaya neden olmuştur. Ancak sülfat indirgemesinde (sülfür giderim performansı %95-82) kısmi azalmalara neden olmuştur. Tüm SRT'lerde, Anaerobik MBR'de tam renk giderimi (>%99) gözlenirken, Aerobik MBR'de hafif bir renk artışı belirlenmiştir. Anaerobik MBR çamurunun filtrasyon kabiliyeti, Aerobik MBR'ye kıyasla 4-8 kat daha düşük bulunmuştur. Her iki MBR'deki mikrobiyal toplulukların SRT'ye bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir (Yurtsever ve diğ., 2017).

2.3.6.3. Şahinkaya ve Diğ. Çalışmaları

Şahinkaya ve diğ. (2017) çalışmasında, krom içeren sentetik tekstil atıksuyunun arıtılmasında, aralıklı olarak havalandırılmış dinamik Membran Biyoreaktörün (MBR) performansı incelenmiştir. İki farklı gözenek boyutuna (20 µm ve 53 µm) sahip olan destek tabakası da test edilmiştir. Çalışmada MBR, 5/3 dakika, 1/10 dakika ve 1/15 dakika havalandırma açık/kapalı sürelerle kesintisiz veya aralıklı havalandırma koşulları altında çalıştırılmıştır. 20 µm ve 53 µm gözenek boyutundaki destek malzemelerinin askıda katı red verimleri dinamik tabaka oluşturulduktan sonra benzer olduğu, ancak 20 µm gözenek boyutlu

destek tabakası için hızlı kirlenme ve sıklıkla fiziksel temizlik gerektirdiği gözlemlenmiştir. 53 µm gözenek boyutlu destek tabakası, 23-29 LMH akışlarında, 100 günden daha uzun bir süre herhangi bir temizlik yapılmaksızın kararlı işletimin mümkün olduğu görülmüştür. Değişken havalandırma açma/kapama süreleri altında oldukça yüksek KOİ giderim verimleri elde edilmiş olsa da, havalandırma sürelerinin yükselmesiyle birlikte renk giderme verimliliği artmıştır. Ancak, havalandırma açma/kapama süresi 1/15 dakika olduğunda filtrasyon ve KOİ giderme performanslarında belirgin bir azalma gözlemlenmiştir (Şahinkaya ve diğ., 2017).

2.3.6.4. Jegatheesan ve Diğ. Çalışmaları

Jegatheesan ve diğ. (2016) tekstil atıksuyunun MBR ile arıtımı üzerine yaptığı çalışmada, aerobik ve anaerobik MBR'lerin yanı sıra MBR süreçlerinde kirleticilerin kontrolü de incelenmiştir. Literatürdeki çalışmaların değerlendirilmesi sonucunda, tekstil atıksuyunun MBR ile arıtılmasının basit, güvenilir ve düşük maliyetli bir süreç olduğu ve kirleticileri önemli ölçüde giderdiği belirtilmiştir. MBR sistemindeki uzun çamur tutma süresinin yavaş büyüyen mikroorganizmaların çoğalmasını sağlayarak kirleticilerin bozunmasını arttırdığı ancak membran kirlenmesine de katkıda bulunduğu ifade edilmiştir (Jegatheesan ve diğ., 2016).

2.3.6.5. Sun ve Diğ. Çalışmaları

Sun ve diğ. (2015) çalışmasında, tekstil yardımcı maddeleri (TA) atıksuyunun içindeki organik bileşiklerin ve azotun giderimi için bir anaerobik-anoksik-aerobik membran biyoreaktör sistemi (A2O-MBR) kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, KOİ giderimi %87, amonyum azotu (NH_4^-+N) giderimi %96 ve toplam azotun giderimi (TN) ise %55 olarak belirlenmiştir. Sonuçlar, tekstil endüstrisinde atıksu arıtma sistemlerinin tasarımı ve işletimini optimize etmek için önemli bilgiler sağlamaktadır (Sun ve diğ., 2015).

2.3.6.6. Friha ve Diğ. Çalışmaları

Friha ve diğ. (2015) çalışmasında, tekstil atıksuyunun batık MBR sistemi kullanılarak arıtılması ve işlem görmemiş ile arıtılmış atıksuda stres tepkisinin değerlendirilmesi ve toksisite testleri yapılmıştır. Sistemin 7 ay boyunca çalıştırılması sonucunda renk giderimi %100, KOİ giderimi %98, BOD₅ giderimi %96 ve AKM (Amonyum Nitrojen) giderimi ise %100 olarak bulunmuştur (Friha ve diğ., 2015).

2.3.6.7. De Jager ve Diğ. Çalışmaları

De Jager ve diğ. (2014) çalışmasında, tekstil atıksuyunun pilot ölçekli çift kademeli MBR sistemi ve ardından ters ozmoz (RO) sistemi kullanılarak renk giderimi çalışmaları

gerçekleştirilmiştir. İki ultrafiltrasyon (UF) yan akış membran modülünü içeren pilot ölçekli bir çift aşamalı membran biyoreaktör (MBR), yüksek mukavemetli tekstil atıksuyunu arıtmak için yerinde tasarlanıp, inşa edilmiş ve işletilerek değerlendirilmiştir. İşletme sırasında koyu, orta ve açık olmak üzere farklı tipte atıksular değerlendirilmiştir. KOİ giderimi sırasıyla %86,5; %89,2; %87,8 iken renk giderimi sırasıyla %99,1; %54,9; %90,4 olarak belirlenmiştir. Renk bakımından değerlendirildiğinde, içilebilir su standartlarının altında (daha berrak) bir su elde edilmiştir (De Jager ve diğ., 2014).

2.3.6.8. Spagni ve Diğ. Çalışmaları

Spagni ve diğ. (2012) tarafından yapılan çalışmada ise, tekstil atıksuyunun batık anaerobik membran biyoreaktörde (MBR) renk giderimi değerlendirilmiştir. Çalışmada azo boya modeli olarak Reaktif Orange 16 kullanılmıştır. Sonuçlar, MBR'ler tarafından çok yüksek renk giderme oranının (%99'dan daha yüksek) sağlanabileceğini göstermiştir (Spagni ve diğ., 2012).

2.3.6.9. Niren ve Diğ. Çalışmaları

Niren ve diğ. (2011) tarafından yapılan çalışmada, Disperse Red boya içeren sentetik tekstil atıksuyunun arıtımı için laboratuvar ölçekli batık membranlı bir biyoreaktör (MBR) sisteminin performansı araştırılmıştır. Çalışmada MBR sistemi, aerobik olarak beş farklı hidrolik retansiyon süresinde (HRT) sürekli akış modunda çalıştırılmıştır. Ortalama permeasyon akışı 20 L/m² h olarak belirlenmiştir. KOİ, BOİ ve renk için ortalama giderim oranları sırasıyla %92,33; %93,69 ve %91,36 olarak belirlenmiştir. Bu çalışma, sentetik tekstil atıksuyunun SMBR sistemi tarafından çok etkili bir şekilde arıtılabileceğini göstermektedir (Niren ve diğ., 2011).

2.3.6.10. You ve Diğ. Çalışmaları

You ve diğ. (2010) gerçek tekstil boyama atıksuyunun arıtımı için membran biyoreaktör (MBR) ve sıralı toplu reaktör (SBR) işlemlerinin performansını karşılaştırmak amacıyla yaptığı çalışmada, MBR işleminin renk, KOİ, BOİ ve AKM için giderim verimi sırasıyla %54, %79, %99 ve %100 olarak bulunmuş; SBR prosesi için ise ilgili parametreler %51, %70, %96 ve %60 oranlarında tespit edilmiştir. MBR atığı için yukarıdaki dört parametrenin hepsi Tayvan EPA'nın kriterlerini karşılarken, diğer taraftan SBR işleminin sadece renk ve KOİ Tayvan EPA atıksu kriterlerine uygundur. Ayrıca, çalışmada Microbacterium cinsi, özellikle Microbacterium aurum'un toplam izolatların %70,6'sını oluşturduğu ve boyama atıksuyunun bozunmasından sorumlu olabileceği belirtilmiştir. MBR

çamurunda ise başlıca bakteri olarak *Paenibacillus azoreducens* ve *Bacillus* sp. adlı iki tekstil boyama degradasyon bakterisinin gözlemlendiği bildirilmiştir (You ve diğ., 2010).



2.4. SUYUN YENİDEN KULLANIMI

2.4.1. Suyun Yeniden Kullanımın Tarihçesi

Suyun yeniden kullanımı İngilizce termi ile water reuse gerçek anlamda suyun etkin bir şekilde geri kazanılması düşüncesi 20. yüzyıl civarında başlamıştır. Bu süreçte, arıtma teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte suyun tekrar kullanımı önem kazanmıştır. Özellikle endüstriyel faaliyetlerin artmasıyla su kirliliği ve israfı konuları daha fazla dikkat çekmiştir. Ters osmoz sistemi, suyun tekrar kullanımında büyük bir adım olarak kabul edilmektedir (Anthony, 2012). Bu sistem, suyun kimyasal maddeler ve kirleticilerden arındırılarak tekrar kullanılmasına imkan tanımaktadır. Ters osmozun tekstil endüstrisinde atıksu arıtımında kullanımı, suyun verimli bir şekilde geri kazanılmasını sağlayarak çevresel etkilerin azaltılmasını destekler. Bu sayede, suyun sürdürülebilir şekilde kullanılması ve atıksuyun azaltılması önemli bir hedef haline gelmiştir.

2.4.2. Suyun Yeniden Kullanımın Gereksinimi

Su kıtlığı günümüzde küresel bir sorun olarak karşımıza çıkmakta olup, sürdürülebilir su kaynaklarının önemi giderek artmaktadır. Bu bağlamda, suyun etkili bir şekilde kullanılması ve yeniden kullanımı büyük önem taşımaktadır. İHE Delft'in uzman bilgi ve deneyimine dayanan çalışmaları, suyun arıtılması ve yeniden kullanımı konularında kritik öneme sahip teknik detayları ele almaktadır (2021). Özellikle tekstil endüstrisi gibi yüksek yoğunlukta zararlı bileşikler içeren atıksuların arıtımı, geleneksel ve gelişmiş su arıtma teknolojilerinin entegrasyonunu gerektirmektedir (María Belén ve diğ., 2021). Bu noktada, ters osmoz gibi ileri teknolojilerin suyun tekrar kullanımı ve arıtımında potansiyel avantajları ve dezavantajları ele alınmaktadır. Suyun verimli kullanımı ve atıksulardan arıtılması, endüstriyel süreçlerde çevresel etkiyi azaltmada önemli bir adımdır ve sürdürülebilir su kaynakları yönetimi açısından kritik bir rol oynamaktadır.

Günümüzde, suyun sınırlı bir kaynak olduğu gerçeğiyle karşı karşıyayız ve suyun yeniden kullanımı giderek artan bir öneme sahip olmaktadır. Suyun yeniden kullanımı, sürdürülebilir su yönetimi için kaçınılmaz bir gerekliliktir. Ters osmoz sistemleri, suyun arıtılması ve yeniden kullanılması için etkili bir teknoloji sunmaktadır. Bu sistem, suyun zararlı maddelerden arındırılmasını sağlayarak tekrar kullanılabilir hale getirir. Tekstil endüstrisinde, ters osmoz sistemleri atıksuyun arıtılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır ve böylece su kaynaklarının korunması ve atıksuyun azaltılması sağlanmaktadır. Ancak, ters osmozun uygulanması bazı maliyetler ve enerji tüketimi gibi dezavantajlar da beraberinde

getirebilmektedir. Bu nedenle, ters osmozun faydalarıyla dezavantajları dikkate alınarak suyun yeniden kullanımının önemi vurgulanmalıdır.

2.4.3. Ters Osmoz Sistemi ile Suyun Yeniden Kullanımı

Ters Osmoz sistemi, suyun yeniden kullanımı konusunda önemli bir teknolojik gelişmedir. Bu sistem, endüstriyel atıksuları ve tuzlu suyun arıtılmasında etkili bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Ters osmozun, su moleküllerini buharlaştırarak arıtma sürecini gerçekleştirmesi, suyun kalitesini yükseltirken atıkların azaltılmasına da olanak tanımaktadır. Özellikle tekstil endüstrisinde kullanılan bu sistem, atıksuyun geri dönüşümünü sağlayarak su kaynaklarının daha verimli kullanılmasını sağlamaktadır. Ancak, ters osmoz sisteminin enerji yoğun bir yöntem olması ve işletme maliyetlerinin yüksek olması gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Bu nedenle, ters osmoz sistemi ile suyun yeniden kullanımı konusunda dikkatli bir maliyet-fayda analizi yapılması gerekmektedir .

2.4.4. Tekstil Endüstrisi Atıksu Arıtımında Ters Osmozun Yeri

Tekstil endüstrisinde suyun yeniden kullanımının uygulamaları, günümüzde suyun sürdürülebilir yönetimi açısından önemli bir konudur. Yerel tekstil fabrikalarının yoğun su tüketimi, tekstil atıklarının geri dönüştürülmesi ve ZLD (sıfır sıvı deşarj) seçeneğinin uygulanması gerekliliğini ortaya koymaktadır (M. Ahmad ve diğ., 2021). Suyun geri dönüştürülmesi ve tekrar kullanımı konusunda teknik ve ekonomik sorunların sınırlı anlaşılması, gelişen sektör için önemli bir zorluktur. Mevcut literatür, ileri membran arıtma teknolojilerinin tekstil atıklarının tekrar kullanımı için uygun olduğunu göstermektedir (María Belén ve diğ., 2021). Bu teknolojilerin entegrasyonu, atıksuyun biyolojik ve kimyasal bileşenlerini etkin bir şekilde arındırarak çevresel etkileri azaltabilir. Bu nedenle, tekstil endüstrisi suyun yeniden kullanımı konusunda ileri teknolojileri benimsemiş olmalı ve entegre arıtma süreçleri ile atıksuyun zararlı etkilerini en aza indirmelidir.

3. YÖNTEM

Tekstil endüstrisi atıksularının geri kazanım potansiyelinin incelendiği bu çalışmada, Sakarya ilinde bulunan bir tekstil firmasının atıksu karakterizasyonu ve mevcut atıksu arıtma tesisi prosesleri ile tesis giderim verimleri dikkate alınarak MBR ve RO sistemlerinin uygulanabilirliği araştırılmıştır. Tesis için örnek MBR+RO sistemlerinin tasarımları gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında, mevcut biyolojik arıtma karşılaşılan nütrient eksikliği sorununun giderilmesi ve sistemin sağlıklı işletilebilmesi için atıksu karakterizasyonuna bağlı olarak ihtiyaç duyulan nütrient miktarlarının hesaplanması ve nütrientlerin temin edilmesine yönelik çeşitli senaryolar oluşturulmuştur. Ayrıca, hem MBR sistemlerinin hem de çeşitli senaryolara göre oluşturulan ilave nütrient teminin maliyetleri belirlenerek örnek arıtma sistemleri için ekonomik analizleri yapılmıştır.

3.1. TEKSTİL FİRMASI İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER

Bu tez kapsamında atıksu geri kazanımı için yenilikçi arıtma alternatiflerinin oluşturulduğu tekstil fabrikası Marmara Bölgesinde yer almakta ve tesiste kumaş apreleme, laminasyon, muhtelif kumaş ve iplik boyama, iplik bükümü, döşemelik örme kumaş, yataklık örme kumaş gibi ürünlerin üretimi alanında faaliyet göstermektedir. Firmanın bazı ürünler için yaklaşık yıllık kapasiteleri ve ürün üretimi için tesiste uygulanan iş-akış şemalarının bazıları, sırasıyla Şekil 13-15’de sunulmuştur.

3.1.1. Tesisin Su Kütle Dengesi ve Atıksu Karakterizasyonu

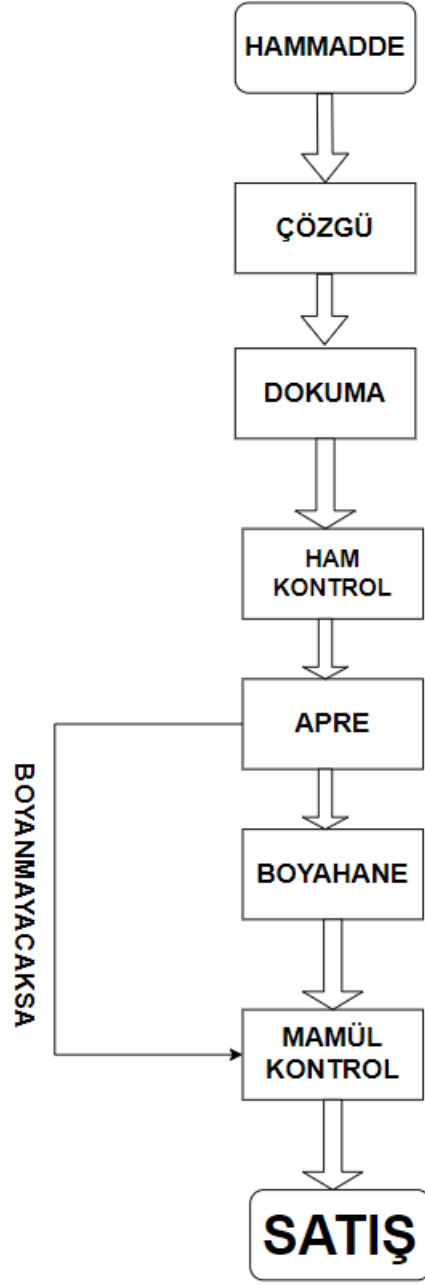
İncelenen tekstil fabrikasının işletme kapasitesi Tablo 3’te verilmiştir. Ayrıca, tesisin proseslerinde kullanılan su miktarları ve proseslerde oluşan atıksu değerleri Tablo 4’te sunulmuştur. Tablo 4’te de görüldüğü gibi tesiste günlük 600 m³ atıksu oluşurken 663 m³ su ihtiyaç duyulmaktadır. Tesiste oluşan atıksular, arıtma tesisi öncesi dengeleme havuzunda toplanmaktadır. Daha sonra biyolojik ve kimyasal arıtmanın beraber kullanıldığı atıksu arıtma tesisine gönderilmektedir. Tesisin ham atıksu karakterizasyonu ve su kirliliği kontrol yönetmeliği, 2004, Ek-1 Tablo 10:Tekstil sanayii atıksularının alıcı ortama deşarj standartları ise Tablo 5’da sunulmuştur. Ham atıksuyun analizleri Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından akredite laboratuvarlarda gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3:İşletme Kapasite Değerleri

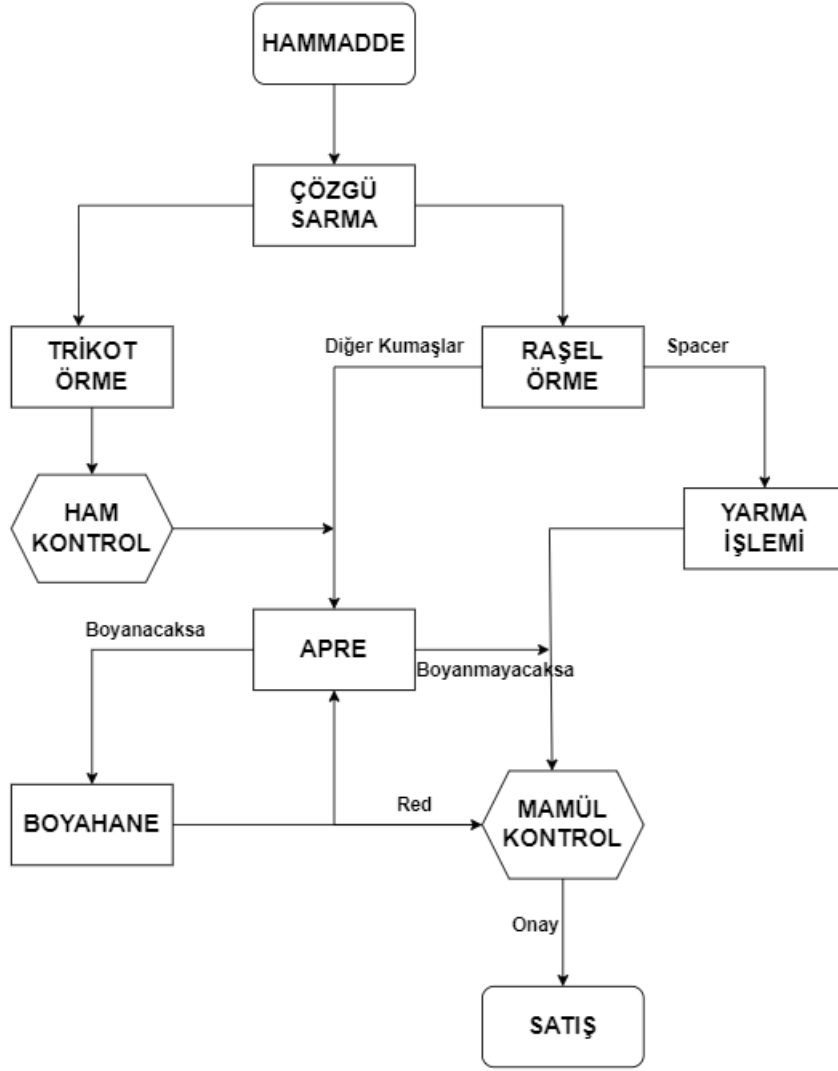
Proses	Kapasite (kg/yıl)
Kumaş Laminasyon	1.400.000
Kumaş Apreleme	6.150.000
Kumaş Boyama (Dokuma ve örme-sentetik,dokuma ve örme-pamuk+suni (viskon))	3.500.000
İplik Boyama (sentetik,pamuk+suni(viskon))	1.560.000
Sentetik İplik Bükümü	1.650.000
Döşemelik Örme ve Kadife Kumaş	2.100.000
Yataklık Örme Kumaş	3.500.000

Tablo 4:Fabrika Su İhtiyaçları ve Atıksu Miktarları

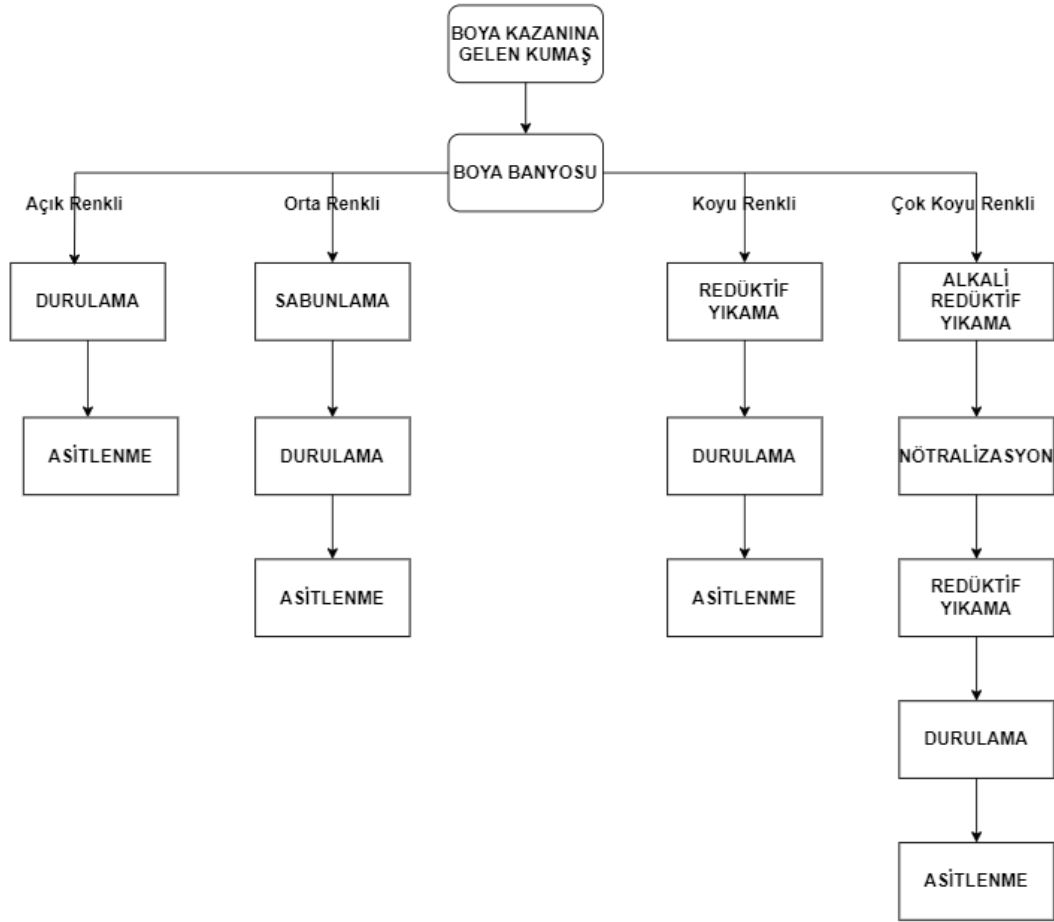
Kullanım Amacı	Kullanım Yeri	Miktar m³/gün	Atıksu Miktarı m³/gün
Proses suyu	Kumaş, İplik Boyama ve Apre	420	408
Kullanma suyu	Evsel	200	160
Soğutma suyu	Boyama ve Apre	15	14
Diğer		28	18
Toplam		663	600



Şekil 13:Dokuma İş Akış Şeması



Şekil 14:Örme İş Akış Şeması



Şekil 15: Boyahane İş Akış Şeması

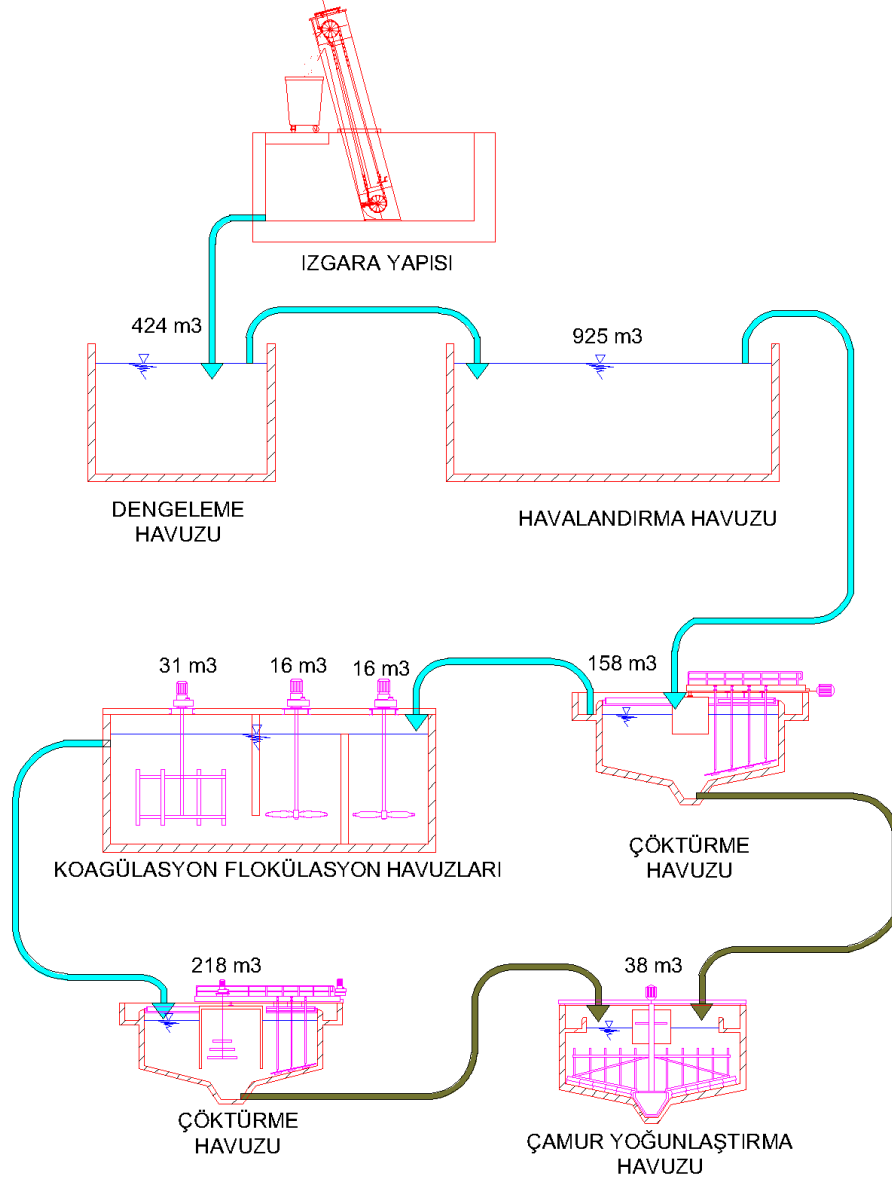
Tablo 5: Tesis Ham Atıksu Değerleri ve SKKY ilgili Sektör Deşarj Değerleri

TESİS GİRİŞ DEĞERLERİ			SKKY Ek-1 Tablo 10	
PARAMETRE	DEĞER	BİRİM		BİRİM
Debi	600	m ³ /gün		
KOİ	1500	mg/L	225	mg/L
BOD ₅	500	mg/L		
İletkenlik	1400	uS/cm		
Renk	800	Pt-Co	280	Pt-Co
AKM	550	mg/L	140	mg/L
pH	8		6-9	
Toplam Azot	7,5	mg/L		
Toplam Fosfor	2,5	mg/L		
Amonyak	0,3	mg/L	5	mg/L
Yağ ve Gres	5	mg/L	10	mg/L
Sıcaklık	31	C		
Serbest Klor			0,3	mg/L
Toplam Krom			2	mg/L
Top. S			1	mg/L
SO ₄			1	mg/L

3.1.2. Tesisin Mevcut Atıksu Arıtma Tesisi Prosesleri

Bu çalışma kapsamında incelenen tesisin hem biyolojik arıtma hem de kimyasal arıtma uygulanan kombine bir atıksu arıtma tesisi bulunmaktadır. Arıtma tesisine ait bir akış şeması Şekil 16'de verilmiştir. Arıtma tesisinde, biyolojik arıtma öncesi ızgara ve döner diskten oluşan bir fiziksel arıtma ünitesi ile dengeleme havuzu (tesise gelen suların miktarları ve yükleri sabit olmadığında) bulunmaktadır. Sistemde dengeleme havuzu debi alçalmaları ve yük değişimlere karşı tampon görevi de görmektedir. Tesiste uygulanan biyolojik arıtma sistemi uzun havalandırma aktif çamur sistemidir. Havuzun üst köşelerinde konumlandırılan iki adet karşılıklı jet aeratör ile havalandırma işlemi gerçekleştirilmektedir. Havalandırma havuzundan çıkan yoğunlaşmış biyokütleyi çöktürmek için biyolojik dairesel çöktürme havuzu inşa edilmiştir. Çöktürme havuzu dairesel yüzey ve dip sıyrıcı ile donatılmıştır. Arıtma sisteminde, biyolojik olarak arıtılması güç olan parametreleri gidermek için biyolojik arıtımından çıkan sular kimyasal arıtmaya alınmaktadır. Kimyasal arıtma prosesi olarak

koagülasyon-flokülasyon ve ardından kimyasal çöktürme havuzları inşa edilmiştir. Ayrıca, sistemde biyolojik çöktürme ve kimyasal çöktürme havuzlarından çıkan çamuru susuzlaştırmak için çamur yoğunlaştırma havuzubulunmaktadır. Yoğunlaştırma havuzu dairesel olup çamur sıyrıcı ile donatılmıştır.



Şekil 16: Mevcut Arıtma Tesisi Akış Şeması

3.1.3. Mevcut Atıksu Arıtma Tesisinde Karşılaşılan/Tespit Edilen Sorunlar

3.1.3.1. Besi Madde Eksikliği

Tesisin ham atıksu karakterizasyonu incelendiğinde de görüleceği gibi sistemde uygulanan biyolojik arıtmayı gerçekleştiren mikroorganizmalarının ihtiyacı olan majör nütrientlerin eksik olduğudur. Aktif çamur sistemlerinde, mikroorganizmalar tarafından

gerçekleştirilen arıtmanın efektif olarak sağlanabilmesi için organik madde (C, karbon), azot (N) ve fosfor (P) arasında yaklaşık bir dengenin olması gerekir. Bu denge sağlanmadığında biyolojik arıtmanın verimi olumsuz yönde etkilenmektedir. Genel olarak bu dengenin C/N/P için 100/5/1 oranında olması beklenmektedir (Nuşret, 2023). Buna karşılık, tesisin ham atıksu analiz verilerinde bu oranın 600/3/1 (100/0,5/0,16) olduğu görülmektedir.

3.1.4. Fabrika İçi Proses Değişiklikleri

Tesise yapılan ziyaretlerde elde edilen bilgilere göre karşılan diğer önemli bir sorunun ise fabrikada yapılan üretim şekillerinin sabit olmaması ve piyasa şartlarına göre değişiklik göstermesi olduğu ifade edilmiştir. Fabrika sisteminde gerçekleşen her değişim mutlaka atıksu arıtma tesisine gelen atıksu miktarlarında ve ham atıksuyun kalitesinde değişimine yol açmaktadır. Dolayısıyla atıksu arıtma tesisindeki hidrolik ve biyokimyasal yüklerin sürekli değişimi tesisin işletilmesini zorlaştırması kaçınılmazdır.

3.1.5. Yüksek İşletme Maliyetleri

Tüm tesislerde olduğu gibi kimyasal arıtma prosesleri kullanılan sarf malzemeleri/kimyasal bakımından son derece maliyetli bir tesislerdir. Bu durum tesisi, işletilme açısından ekonomik olarak zorlamaktadır.

3.2. MEVCUT ATIKSU ARITMA TESİSİ İYİLEŞTİRME ÇALIŞMALARI VE ATIKSU GERİ KAZANIMI İÇİN ÖNERİLER

Bu tez kapsamında, tekstil firmasının incelenen mevcut atıksu arıtma sisteminde karşılaşılan zorluklar ve atıksu geri kazanımı için alternatif senaryolar ve bu senaryoların yaklaşık maliyetleri hesaplanmıştır. Bu amaçla, öncelikle mevcut sistemde kullanılan biyolojik arıtmanın verimini artırmak ve sistemde sadece biyolojik arıtmayı kullanabilmek için ihtiyaç duyulan nütrient eksikliğinin tavuk ve güvercin gübresi (N ve P içeriklerinin diğer hayvansal gübrelere göre daha yüksek olması nedeniyle tercih edilmiştir) gibi hayvansal gübrelerin ilavesi ile tamamlanması araştırılmıştır. Daha sonra piyasadan daha kolay temin edilebilecek olan DAP gübresi ((Diamonyum Fosfat) ve son olarak da DAP +Üre şeklinde karışım ile biyolojik arıtma için gerekli olan nütrientlerin temini incelenmiştir.

Mevcut atıksu arıtma sisteminin iyileştirilmesi (verimin artırılması) ve sistemde sadece biyolojik arıtma proseslerinin kullanılabilmesi için yenilikçi yaklaşımlar olarak nitelenen MBR sisteminin arıtma sistemine entegrasyonuna yönelik tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Son

olarak, sistemde atıksu geri kazanımı için MBR ile ters ozmos (RO) sistemlerinin beraber kullanılma durumları incelenmiştir. Tüm bu tasarımların ekonomik analizleri yapılmış ve karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Tekstil endüstrisi atıksu arıtma tesisi iyileştirme ve atıksu geri kazanımı için oluşturulan senaryolarda tasarım kriterleri ve diğer kullanılan parametreler için *Waste Water Engineering treatment and reuse* (Inc. Metcalf & Eddy, 2002), *Atıksu Mühendisliği* (Öztürk, 2017), *Atıksuların tasfiyesi* (Eroğlu, 2015) ve *Atıksu Arıtma Tesislerinin Projelendirilmesi* (Nusret, 2023) kitaplarından faydalanılmıştır. Ayrıca, çalışmada tasarlanan aktif çamur sistemi için lisanslı Activated Sludge Expert programı (ATV-DVWK-A 131E versiyonu) ve RO sistemi için ROSA72'nin güncel versiyonu olan WAVE (Water Application Value Engine) programının 1.82 DEMO versiyonu kullanılmıştır.

3.3. MALİYET ÇALIŞMALARI

Bu tez kapsamında gerçekleştirilen tüm iyileştirme ve arıtma tasarımlarının yaklaşık maliyetleri hesaplanmıştır. İhtiyaç duyulan ekipman ve enstrüman fiyatlarının belirlenmesinde piyasadan güncel teklifler alınarak yaklaşık maliyetler ortaya çıkarılmıştır. Yaklaşık maliyetlerin hesaplanmasında proje tasarım ve çizim, mekanik ekipman, elektrik enstrümantasyon, otomasyon, inşaat, montaj, devreye alma ve süpervizörlük, işletme maliyetleri gibi faktörler göz önünde bulundurulmuştur.

4. BULGULAR

4.1. MEVCUT ATIKSU ARITMA TESİSİ İYİLEŞTİRME ÇALIŞMALARI

Tesiste kullanılan atıksu arıtma tesisinde karşılaşılan sorunların giderilmesi ve sistemin iyileştirilmesi için özellikle biyolojik arıtma bölümünde yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiş ve alternatif çözümler aşağıda sıralanmıştır.

4.1.1. Besi Maddesi Eksikliğinin Giderilmesi

Çalışmanın bu bölümü üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Bunlar;

- Eksik nütrient/besi maddesi miktarının hesaplanması,
- İhtiyaç duyulan besi maddesi için kullanılması gereken hayvan (tavuk ve güvercin) ve yapay gübrelerin miktarlarının belirlenmesi,
- Maliyetlerin ortaya çıkarılması ve ekonomik analizin yapılması olarak gerçekleştirilmiştir.

4.1.1.1. Eksik Besi Maddesi Miktarlarının Belirlenmesi

Atıksuların biyolojik arıtılmasında rol alan mikroorganizmaların yaşamsal faaliyetlerini devam ettirmeleri ve çoğalabilmeleri (biyosentez) için oksijene ihtiyaçları olduğu gibi, karbon, azot ve fosfora da ihtiyaç duymaktadırlar. Optimum bir arıtma için havalandırma havuzunda karbon azot fosfor oranı (C/N/P) minimum 100/5/1'e uygun olması gerektiği bilinmektedir. Bu yaklaşımla incelenen tesisin ham atıksu karakterizasyonuna bağlı olarak azot ve fosfor eksikliği aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$\text{Debi} = 600 \text{ m}^3/\text{gün}$$

$$\text{KOİ}_{\text{giriş}} = 1500 \text{ mg/L}$$

$$\text{T.N}_{\text{giriş}} = 7,5 \text{ mg/L}$$

$$\text{T. P}_{\text{giriş}} = 2,5 \text{ mg/L}$$

KOİ giderim verimi= %85 olarak düşünüldüğünde,

$$\text{Giderilen KOİ Yüğü} = 1500 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0,85 \times 600 \frac{\text{m}^3}{\text{gün}} \times \frac{\text{kg}}{1000000 \text{ mg}} \times \frac{1000\text{L}}{\text{m}^3} = 765 \frac{\text{kg}}{\text{gün}}$$

Efektif arıtma için gereken azot (N) miktarı:

$$\text{Gereken N} = 765 \frac{\text{kg}}{\text{gün}} \times \frac{5}{100} = 38,25 \frac{\text{kg}}{\text{gün}}$$

$$\text{Mevcut Azot Yüğü} = 7,5 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 600 \frac{\text{m}^3}{\text{gün}} \times \frac{\text{kg}}{1000000 \text{ mg}} \times \frac{1000 \text{L}}{\text{m}^3} = 4,5 \frac{\text{kg}}{\text{gün}}$$

Eksik Azot Miktarı = $38,25 \frac{\text{kg}}{\text{gün}} - 4,5 \frac{\text{kg}}{\text{gün}} = 33,75 \frac{\text{kg}}{\text{gün}} = 56,26 \text{ mg/L}$ olarak bulunmuştur.

Efektif arıtma için gereken Fosfor (P) miktarı:

$$\text{Gereken P} = 765 \frac{\text{kg}}{\text{gün}} \times \frac{1}{100} = 7,65 \frac{\text{kg}}{\text{gün}}$$

$$\text{Mevcut Fosfor Yüğü} = 2,5 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 600 \frac{\text{m}^3}{\text{gün}} \times \frac{\text{kg}}{1000000 \text{ mg}} \times \frac{1000 \text{L}}{\text{m}^3} = 1,5 \frac{\text{kg}}{\text{gün}}$$

Eksik Fosfor Miktarı = $7,65 \frac{\text{kg}}{\text{gün}} - 1,5 \frac{\text{kg}}{\text{gün}} = 6,15 \frac{\text{kg}}{\text{gün}} = 10,25 \text{ mg/L}$ olarak belirlenmiştir.

4.1.1.2. Besi Maddesi İçin Kullanılması Gereken Hayvansal (Tavuk ve Güvercin) ve Yapay Gübre Miktarlarının Belirlenmesi,

Tesisin ihtiyacı olan eksik besin maddesi miktarları belirlendikten sonra uygun bir besin maddesi kaynağı olarak azot ve fosfor bakımından daha zengin olan tavuk ve güvercin gübresi kullanımı ve yapay gübreler denenmiştir. Tavuk ve güvercin gübresi için T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından 2023 yılında yayınlanan raporda yer alan veriler kullanılmış ve kullanılan değerler gübrenin özellikleri Tablo 6'da özetlenmiştir.

Tablo 6: Tavuk ve Güvercin Gübresi Özellikleri (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2023)

İçerik	
Su	% 62
N	% 1,70
P	% 1,6
AKM	% 38
K₂O	% 0,9
CaO	% 2

Tesiste eksik olan N miktarını karşılamak için gereken tavuk-güvercin gübresi miktarı

$$\text{İstenilen N miktarı} = 33,75 \frac{\text{kg}}{\text{gün}} \text{ N/gün}$$

$$\text{Gereken gübre miktarı} = 33,75 \frac{\text{kg N}}{\text{gün}} \times \frac{100 \text{ kg Gübre}}{1,7 \text{ kgN}} = 1985,29 \text{ kg Gübre/gün}$$

Sistemde eksik olan P miktarını karşılamak için gereken tavuk-güvercin gübresi miktarı

$$\text{İstenilen P miktarı} = 6,15 \frac{\text{kg}}{\text{gün}} \text{ P/gün}$$


$$\text{Gereken gübre miktarı} = 6,15 \frac{\text{kg P}}{\text{gün}} \times \frac{100 \text{ kg Gübre}}{1,6 \text{ kgP}} = 384,375 \text{ kg Gübre/gün}$$

olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla istenilen besin madde eksikliğini karşılamak için 1985,29 kg tavuk ve güvercin gübresi kullanılması gerekmektedir. Bu durumda arıtma tesisine tavuk-güvercin gübresinden ek olarak 1,23 m³/gün atıksu ve 754,4 kg/gün AKM geldiği anlamı taşımaktadır.

Sistemde ihtiyaç duyulan besi maddesi eksikliğini gidermek için hayvan gübresinin yanında yapay gübrelerinde kullanımı değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, piyasada bulunan ve diamonyum fosfat DAP 18 46 0 olarak tanımlanan yapay gübre kullanılmıştır. Bu tanımlamaya göre 100 kg DAP içerisinde 18 kg N, 46 kg P ve 0 kg H₂O bulunduğu ifade edilmektedir. Kullanılan DAP gübresine ait özellikler Tablo 25'te verilmiştir.

Tablo 7:DAP Özellikleri (URL 1, 10.06.2024)

DIAMONYUM FOSFAT(DAP) İÇERİĞİ	
Su	%0
N	%18
P	%46



Buradan sistemde eksik olan N miktarını karşılamak için gereken DAP miktarı

$$\text{İstenilen N miktarı} = 33,75 \frac{\text{kg}}{\text{gün}} \text{ N/gün}$$

Gereken DAP miktarı = $33,75 \frac{\text{kg N}}{\text{gün}} \times \frac{100 \text{ kg DAP}}{18 \text{ kg N}} = 187,5 \text{ kg DAP/gün}$ olarak tespit edilmiştir.

Eksik olan P miktarını karşılamak için gereken DAP miktarı da,

$$\text{İstenilen P miktarı} = 6,15 \frac{\text{kg}}{\text{gün}} \text{ P/gün}$$

Gereken DAP miktarı = $6,15 \frac{\text{kg P}}{\text{gün}} \times \frac{100 \text{ kg DAP}}{46 \text{ kg P}} = 13,37 \text{ kg DAP/gün}$ olarak bulunmuştur. Dolayısıyla, istenilen besi madde eksikliğini karşılamak için 187,5 kg DAP kullanılması gerekmektedir.

Sistemde eksik olan besi maddesi ihtiyacı için üçüncü alternatif olarak DAP gübresinin azot içeriğinin düşük olması ve tek başına istenilen besin madde miktarını karşılamak için yüksek miktarlarda ihtiyaç duyulması nedeniyle DAP ve Üre gübrelerin birlikte kullanılması planlanmıştır. Dolayısıyla, yüksek azot içeriği olan üre ve yüksek fosfor içeriği olan DAP gübresini birlikte kullanılarak ekonomik açıdan etkisi belirlenmiştir. Bu alternatifte istenilen fosfor miktarının DAP ile karşılanması ve DAP ile karşılanamayan azot miktarı ise üre ile karşılanması planlanmıştır.

Sistemde eksik olan P miktarını karşılamak için gereken DAP miktarı

$$\text{İstenilen P miktarı} = 6,15 \frac{\text{kg}}{\text{gün}} \text{ P/gün}$$

Gereken DAP miktarı = $6,15 \frac{\text{kg N}}{\text{gün}} \times \frac{100 \text{ kg DAP}}{46 \text{ kg P}} = 13,37 \text{ kg DAP/gün}$ olarak hesaplanmıştır.


$$\text{Kullanılan DAP'taki N miktarı} = 13,37 \text{ kg DAP} \times \frac{18 \text{ kg N}}{100 \text{ kg DAP}} = 2,41 \text{ kg N/gün}$$

$$\text{Üre ile karşılanması gereken N miktarı} = 33,75 \text{ kg N} - 2,41 \text{ kg N} = 31,34 \text{ kg N /gün}$$

Piyasada bulunan ürenin %46 azot içeriğine sahip olduğu düşünüldüğünde (Tablo 26), gereken üre miktarı = $31,34 \text{ kg N} \times \frac{100 \text{ kg Üre}}{46 \text{ kg N}} = 68,13 \text{ kg Üre/gün}$ olarak belirlenmiştir.

Üre + DAP kullanılması durumunda sisteme 68,13 kg Üre/gün ve 13,37 kg DAP dozlanması gereceği hesaplanmıştır.

Tablo 8: Üre Özellikleri (URL 2, 10.06.2024)

ÜRE İÇERİĞİ		
Su	%0	
N	%46	
P	%0	

4.1.1.3. Optimum Besi Maddesi Kaynağı Seçimi ve Maliyet Analizi

Optimum maliyet analizi için kullanılan hayvan gübrelere ile yapay gübrelere piyasada bulunan güncel fiyatları tespit edilmiştir. Bu kapsamda, 25 kg'lık tavuk gübresi fiyatı yaklaşık 120 TL olarak belirlenmiştir. Yani 09.06.2024 TC Merkez Bankası efektif satış kuruna göre 25 kg'lık tavuk gübresi yaklaşık 3,5 Euro değerine karşılık gelmektedir. Buradan 1 kg tavuk gübresinin 0,14 Euro olduğu söylenebilir. DAP ise piyasada 50 kg'lık torbalar halinde satılmakta olup fiyatı yaklaşık 2000 TL'dir. Bu değer de yaklaşık 54 Euro'ya denk gelmektedir. Kg fiyatı ise 1,08 Euro'dur. Üre ise 50 kg'lık torbalarda satılmakta ve torba fiyatı yaklaşık 1500 TL'dir. Bu da yaklaşık 43 Euro'ya denk gelmektedir. Kg fiyatı ise 0,86 Euro olarak hesaplanmıştır. Tablo 27'de bu gübrelere Euro cinsinden toplam tutarları hesaplanmıştır.

Tablo 9:Besin Takviyesi Maliyet Analizi

GÜBRE	MİKTAR (kg/gün)	KG FİYATI (Euro) (URL 3-5)	TOPLAM FİYAT (Euro)	
TAVUK VE GÜVERCİN	1985,29	0,14	278	
DAP	187,5	1,08	202,5	
DAP +ÜRE	68,13 kg Üre	Üre: 0,86	59	73,5
	13,37 kg DAP	DAP: 1,08	14,5	

Tablo 9'a göre hayvan ve yapay gübreler değerlendirildiğinde DAP + Üre karışımının günlük 73,5 Euro ile en optimum besi maddesi kaynağı olduğu söylenebilir.

4.1.2. Proses Değişikleri ve İşletme Maliyetlerine Karşı Alınabilecek Önlemler

Tekstil fabrikasında, piyasa koşullarına bağlı olarak üretim şekillerinde değişimler olmaktadır. Bu değişimler doğal olarak oluşan atıksu miktarlarına ve yüklerine de değişim olarak yansımaktadır. Bu değişimler tamamen serbest piyasa koşullarına bağlı olduğundan önceden tahmin etmek oldukça zordur. Atıksu yüklerinde meydana gelen değişimler hassas bir dengede işleyen biyolojik arıtma ünitesini olumsuz etkilemekte, hatta mikroorganizmaların neredeyse işlevsiz hale gelmesine neden olmaktadır. Dolayısıyla, mevcut atıksu arıtma tesisinin hidrolik ve biyokimyasal yük bakımından bu tür dalgılanmalara karşı daha dayanıklı bir tesis haline getirilmesi gerekmektedir. Bu duruma çözüm olarak sisteme yüksek yükleme hızlarında çalıştırılacak MBR sistemlerinin entegrasyonu düşünülebilir. MBR sisteminin mevcut arıtma sistemine entegrasyonu ile ilgili detaylı inceleme ve tasarımlar tezin ilerleyen kısımlarında ifade edilmiştir.

4.1.3. Mevcut Atıksu Arıtma Tesisi İyileştirilmesi İçin Alternatif Arıtma Tasarımları

Tekstil fabrikasının ham Atıksu karakterizasyonunda belirlenen besi maddesi eksikliğinin yukarıda açıklanan yöntemlerle telafi edilmesinden sonra mevcut sistemde yapılabilecek alternatif çözümler araştırılmış ve mümkün olduğunca tesiste bulunan yapılar kullanarak sistemin daha verimli hale getirilebilmesi için tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda,

- Mevcut havalandırma havuzunun oksijen ihtiyacının kullanılan aeratör yerine difüzörler tasarlanarak yeniden hesaplanması ve
- Mevcut havalandırma havuzuna aerobik MBR sisteminin entegrasyonu için tasarım çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

4.1.3.1. Mevcut Havalandırma Havuzunun İyileştirilmesi İçin Oksijen İhtiyacının Yeniden Hesaplanması

Bu çalışmanın Yöntem bölümünde sunulduğu gibi tesisin mevcut atıksu arıtma sisteminde fiziksel, biyolojik ve kimyasal arıtma prosesleri bulunmaktadır. Sistemde bulunan kimyasal arıtmanın yoğun bir şekilde kullanılan sarf (kimyasal) malzemelerinden dolayı oluşan ilave maliyetlerini azaltmak için biyolojik arıtma sistemin istenilen deşarj kriterlerini sağlmasına yönelik çalışmalar bu tez kapsamında yapılmıştır. Bu amaçla, sistemde hava temini için kullanılan aeratör sisteminin yerine difüzör sistemi için tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Sistemde ham atıksu, havalandırma havuzuna dengeleme havuzundan gelmektedir. Havalandırma havuzunun oksijen ihtiyacının karşılanmasına yönelik tasarlanan difüzör sistemi için kullanılan ham atıksu verileri (DAP + üre ile birlikte) Tablo 10'da sunulmuştur. **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'de havalandırma havuzunda hedeflenen ıkış atıksuyu değerleri ve arıtma verimleri, Tablo 12'de tasarım verileri ve Tablo 13'te ise hava hesapı için özet değerler verilmiştir.

Çalışmada, mevcut havalandırma havuzu hacmi olan 925 m³ değerine göre işlem gerçekleştirilmiştir. Tasarımda hedeflenen KOI giderim verimi %90 olarak belirlenmiştir. Havalandırma havuzunun tasarımda seçilen değerlere göre (Tablo 12) ihtiyaç duyulan oksijen değeri 718.9 kgO₂/gün bulunmuştur. Bu oksijeni miktarını sağlamak için sisteme verilmesi gereken hava debisi 25119 m³ hava/gün olarak belirlenmiştir (Tablo 13). Bu hesaplamalarda blower çalışma süresi günlük 20 saat alınarak blower hava kapasitesi 1256 m³ hava/sa olarak hesaplanmıştır. Bu tasarımlarda 4.5 m³/sa kapasiteli 280 adet difüzör kullanılmıştır.

Tablo 10:Havalandırma Havuzu Giriş Değerleri

HAVALANDIRMA GİRİŞ DEĞERLERİ		
PARAMETRE	DEĞER	BİRİM
Debi	600	m ³ /gün
KOİ	1368	mg/L
BOD ₅	500	mg/L
İletkenlik	1400	uS/cm
Renk	800	Pt-Co
AKM	440	mg/L
pH	8	
Ham atıksu Azotu	7,5	mg/L
DAP Azotu	4,02	mg/L
Üre Azotu	52,23	mg/L
Toplam Azot	63,75	mg/L
Ham Atıksu Fosforu	2,5	mg/L
DAP Fosforu	10,25	mg/L
Toplam Fosfor	12,75	mg/L
Amonyak	0,3	mg/L
Sıcaklık	31	C

Tablo 11:Havalandırma Havuzu Tasarım Verileri

KİRLİLİK			HEDEFLENEN ÇIKIŞ DEĞERLERİ		
COD (S ₀):	1.368,0	mg/l	COD (S):	136,8	mg/l
BOD ₅ (S ₀):	500	mg/l	BOD ₅ (S):	85,5	mg/l
TSS ₀ :	440,0	mg/l	TSS:	88,0	mg/l
N ₀ :	63,8	mg/l	N:	3,0	mg/l
P ₀ :	12,8	mg/l	P:	1,0	mg/l
ARITMA VERİMLERİ			Besi Maddesi Hesabı - 1		
Verim (COD):	%90,0		C:N:P	100:5:1	
Verim (BOD):	%90,0				
Verim (AKM):	%80,0				
Verim (N):	%95,3				
Verim (P):	%92,2				

Tablo 12:Havalandırma Havuzu Tasarım Özeti

Uzun Havalandırma Aktif Çamur / COD		
$V = SRT \cdot Q \cdot Y \cdot (S_o - S) / X \cdot (1 + k_d \cdot SRT)$		
X_{MLSS} :	6.000	mg/l (3000-6000)
X_{MLVSS} :	4.800	mg/l
SRT:	25	gün (20-30)
K_d :	0,05	gVSS/gVSS.gün (0,03-0,07)
(Dönüşüm Oranı) COD Y:	0,4	mgVSS/mgCOD (0,25-0,4)
Hacim (V):	547,20	m ³
Seçilen Hacim (V):	925,00	m ³
Bekleme Süresi:	37,00	saat (18-40)
Bekleme Süresi:	1,54	gün
X_{MLSS} :	12.000	mg/l
Geri Devir Oranı:	1,00	
Geri Devir Miktarı:	600,00	m ³ /gün
$F/M = Q \cdot S_o / (V \cdot X_{MLVSS})$		
F/M:	0,092	kgCOD/kgMLVSSgün
Hacimsel Yükleme:	0,80	kgCOD/m ³ gün
Fazla Çamur		
$Y_{obs} = Y / (1 + k_d \cdot \theta_c)$		
Y _{obs} :	0,18	
$P_x = Y_{obs} \cdot Q \cdot (S_o - S)$		
(VSS)P _x :	131,33	kgVSS/gün
Çamur Hacmi:	13,13	m ³ /gün
(TSS)P _s :	164,16	kgSS/gün
AKM Çamuru:	211,20	kgSS/gün
Oksijen Miktarı		
$AOTR = Q \cdot (S_o - S) - 1,42 \cdot P_x + 4,57 \cdot Q \cdot (N_0 - N)$		
AOTR:	718,9	kgO ₂ /gün

Tablo 13:Hava Hesap Özeti

Difüzörle Havalandırma için Hava Miktarı		
AOTR:	718,90	kgO ₂ /gün
$AOTR = SOTR \left(\frac{\beta C_s(T,H) - C_L}{C_s(20,0)} \right) \alpha f 1.024^{(20-T)}$		
β :	0,95	0,70-0,98
α :	0,70	0,30-1,20
F:	0,90	0,65-0,90
$C_s(T,H) = \frac{1}{2} C_s(T,H) \left(\frac{P_{atm}(H) + \rho g h}{P_{atm}(H)} + \frac{O_t}{0.21} \right)$		
T:	31	⁰ C
$P_{atm}(H) = 101,325 * \exp\left(-\frac{gM_A H}{RT}\right)$		
Rakım (H):	100,00	m
Patm,H:	100.191	m
C _{s,T,H} :	7,42	mg/lt
hsu :	4,50	m
C' _{s,T,H} :	8,52	mg/lt
C _{s,20} :	9,08	mg/lt
(DO) C _L :	2,00	mg/lt
SOTR:	2.206	kg O ₂ /gün
Havadaki O ₂ oranı:	0,2315	%
Gerekli Hava Miktarı:	9.529,16	kg.hava/gün
(Yük. Havanın Özkütlesi) m _H :	1,15	kg/m ³
Oksijen Transfer Verimi:	33	%
Gerekli Hava Debisi:	25.119,00	m ³ .hava/gün
Gerekli Hava Debisi:	1.047,00	m ³ .hava/sa
BLOWER		
Blower Çal. Süresi:	20,00	sa
Blower Kapasitesi:	1.256	m ³ hava/sa
Difüzör Hava Kapasitesi:	4,5	m ³ /sa (2-14)
Difüzör miktarı:	280	adet
Karışım kontrolü:	4,49	m ³ /m ² /sa (>2)
Havalandırma Havuz Hacmi:	925,00	m ³
Karışım kontrolü:	18,50	kW
Karışım kontrolü:	555,00	m ³ hava/sa

4.1.3.2. Mevcut Arıtma Sistemine Aerobik MBR Sisteminin Entegrasyonu

Çalışmanın bu bölümünde mevcut havalandırma havuzuna MBR sistemi entegrasyonu için tasarımlar gerçekleştirilmiştir. MBR tasarımı için Tablo 10'da verilen ham atıksu değerleri kullanılmıştır. MBR tasarımda saatlik debisi kullanılmış ve bu değer 25 m³/sa olarak hesaplanmıştır. Havalandırma havuzuna MBR entegrasyonu için gerçekleştirilen havuz hacmi hesaplamalarında önce biyolojik havalandırma havuzu için gereken hacim hesaplanmış sonra MBR sistemi için gereken hacim bulunarak toplam havalandırma havuz hacmi belirlenmiştir. MBR sistemi için kullanılan tasarım verileri, hesaplamalar, kullanılan MBR membranın özellikleri ve MBR yıkama parametreleri Tablo 15-19'da verilmiştir. MBR tasarımında MANN + HUMMEL tarafından üretilen BİO-CEL L+480 membranlar kullanılmıştır.

Tablo 14: MBR Havalandırma Havuzu Tasarım Verileri

KİRLİLİK			HEDEFLENEN ÇIKIŞ DEĞERLERİ		
COD (S ₀):	1.368,0	mg/l	COD (S):	10,0	mg/l
BOD ₅ (S ₀):	500	mg/l	BOD ₅ (S):	5,0	mg/l
TSS ₀ :	440,0	mg/l	TSS:	0,4	mg/l
N ₀ :	63,8	mg/l	N:	3,0	mg/l
P ₀ :	12,8	mg/l	P:	1,0	mg/l
ARITMA VERİMLERİ			Besi Maddesi Hesabı - 1		
Verim (COD):	%95		C:N:P	100:5:1	
Verim (BOD):	%95,0				
Verim (AKM):	%99,9				
Verim (N):	%95,3				
Verim (P):	%92,2				

Tablo 15:MBR Havalandırma Havuzu Hesabı

MBR HAVALANDIRMA HAVUZU / KOİ		
$V = SRT \cdot Q \cdot Y \cdot (S_o - S) / X \cdot (1 + k_d \cdot SRT)$		
X_{MLSS} :	12.000	mg/l (8000-25000)
X_{MLVSS} :	9.600	mg/l
SRT:	10	gün (10-20)
K_d :	0,05	gVSS/gVSS.gün (0,03-0,07)
(Dönüşüm Oranı) COD Y:	0,3	mgVSS/mgCOD (0,25-0,4)
Hacim (V):	113,17	m ³
Seçilen Hacim (V):	120,00	m ³
Bekleme Süresi:	4,80	saat (1-9)
Bekleme Süresi:	0,20	gün
$F/M = Q \cdot S_o / (V \cdot X_{MLVSS})$		
F/M:	0,356	kgCOD/kgMLVSSgün
Hacimsel Yükleme:	6,77	kgCOD/m ³ gün
Fazla Çamur		
$Y_{obs} = Y / (1 + k_d \cdot \theta_c)$		
Y _{obs} :	0,17	
$P_x = Y_{obs} \cdot Q \cdot (S_o - S)$		
(VSS)P _x :	135,43	kgVSS/gün
Çamur Hacmi:	13,54	m ³ /gün
(TSS)P _s :	169,29	kgSS/gün
AKM Çamuru:	263,74	kgSS/gün
Oksijen Miktarı		
$AOTR = Q \cdot (S_o - S) - 1,42 \cdot P_x + 4,57 \cdot Q \cdot (N_0 - N)$		
AOTR:	786,9	kgO ₂ /gün

Tablo 16:Hava Hesabı

Difüzörle Havalandırma için Hava Miktarı		
AOTR:	788,60	kgO ₂ /gün
$AOTR = SOTR \left(\frac{\beta C_s(T,H) - C_L}{C_s(20,0)} \right) \alpha f 1.024^{(20-T)}$		
β :	0,95	0,70-0,98
α :	0,70	0,30-1,20
F:	0,90	0,65-0,90
$C_s(T,H) = \frac{1}{2} C_s(T,H) \left(\frac{P_{atm}(H) + \rho g h}{P_{atm}(H)} + \frac{O_t}{0.21} \right)$		
T:	31	⁰ C
$P_{atm}(H) = 101,325 * \exp \left(- \frac{g M_A H}{RT} \right)$		
Rakım (H):	100,00	m
Patm,H:	100.191	m
C _{s,T,H} :	7,42	mg/lt
hsu :	4,50	m
C' _{s,T,H} :	8,52	mg/lt
C _{s,20} :	9,08	mg/lt
(DO) C _L :	2,00	mg/lt
SOTR:	2.420	kg O ₂ /gün
Havadaki O ₂ oranı:	0,2315	%
Gerekli Hava Miktarı:	10.453,56	kg.hava/gün
(Yük. Havanın Özkütlesi) m _H :	1,15	kg/m ³
Oksijen Transfer Verimi:	33	%
Gerekli Hava Debisi:	27.556,00	m ³ .hava/gün
Gerekli Hava Debisi:	1.149,00	m ³ .hava/sa
BLOWER		
Blower Çal. Süresi:	20,00	sa
Blower Kapasitesi:	1.378	m ³ hava/sa
Difüzör Hava Kapasitesi:	4,5	m ³ /sa (2-14)
Difüzör miktarı:	307	adet
Karışım kontrolü:	4,49	m ³ /m ² /sa (>2)
Havalandırma Havuz Hacmi:	925,00	m ³
Karışım kontrolü:	18,50	kW
Karışım kontrolü:	555,00	m ³ hava/sa

Tablo 15 ve 16’da görüldüğü gibi sadece havalandırma havuzu için 108,30 (120 m³ olarak seçilmiştir) m³’lük bir hacmin yeterli olduğu hesaplanmıştır. Bu hacimle ile %95 ve %99,9 sırasıyla KOİ ve AKM verimi hesaplanmıştır. Gerekli oksijen ve hava miktarı sırasıyla 788,6 kgO₂/gün ve 27556 m³hava/gün olarak bulunmuştur. Difüzör sayısı ve blower kapasitesi ise sırasıyla 307 adet ve 1378 m³hava/sa olarak hesaplanmıştır.

Tablo 17:Membran Biyoreaktör Tasarım Parametrleri

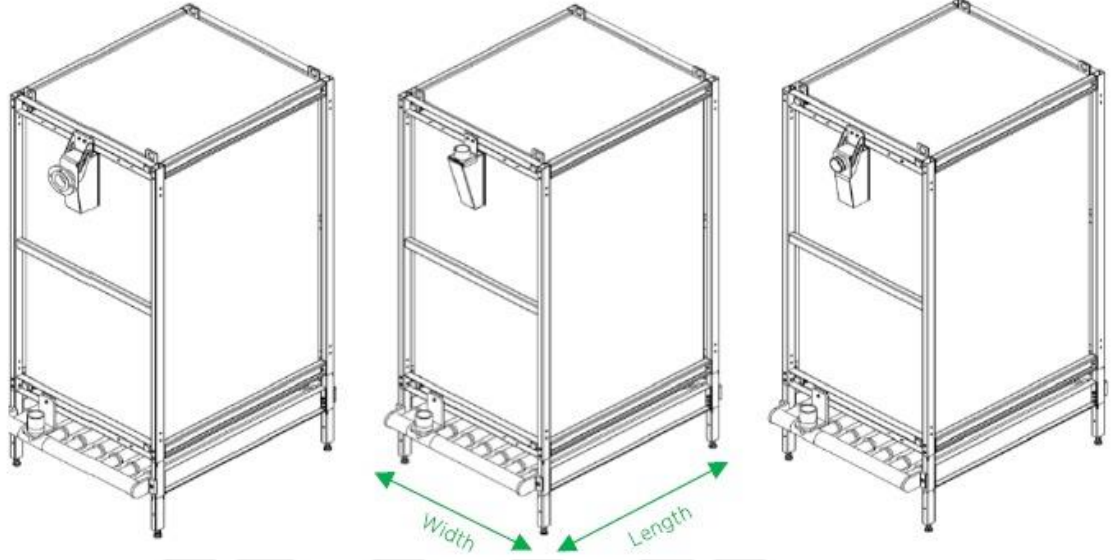
Parametre	Birim	Değer
Gözenek çapı (UF/MF)	µm	0,04-0,4
Akı	L/m ² .saat	8,5-35
Biyokütle Konsantrasyonu	mg MLSS/L	8000-25000
Çamur Yaşı	gün	10-20
Hidrolik Bekleme Süresi	saat	1-9
Transmembran Basıncı	mbar	70-650
Modül Başına Hava Debisi	Nm ³ /saat	8-120
Membran Yüzey Alanı	m ²	0,8-105
İşletme Sıcaklığı	°C	10-35
İşletme PH	-	7-7,5
Geri devir oranı (ayrık sistem için)	%	100-500

Tablo 18: MBR Membranların Teknik Özellikleri

MEMBRAN ÖZELLİKLERİ	
Membran Tipi	UV 400T
Membran Polimeri	Polyvinylidene flüoride (PVDF)
Gözenek Çapı	0,06 µm
MODÜL ÖZELLİKLERİ	
Çerçeve Sistemi	Paslanmaz AISI 304
Drenaj Tabakası	Poliester (PET)
Difüzör Malzemesi	Membran hortumu: Silicone(SI) Destek Tüpleri: Polypropylene (PP)
Membran Modül Yüzey Alanı	480 m ²
İŞLETME PARAMETRLERİ	
pH Aralığı	2-11
Akı	10,4-12,8 L/m ² .saat
Sıcaklık Aralığı	5-40 °C
Filtrasyon Basıncı	-400 mbar
Geri Yıkama basıncı	+150 mbar
Hava İhtiyacı	90 Nm ³ /h.modül
Maksimum Hava İhtiyacı	115 Nm ³ /h/modül
Gerekli MLSS Konsantrasyonu	8-12 g/L
Maksimum MLSS Konsantrasyonu	15 g/L
Maksimum Partikül Büyüklüğü	2 mm
Klorin Dayanımı	1 000 000 ppm.hr

Tablo 18'in devamı

MODÜL BOYUTLARI



Kuru Ağırlığı	347 kg
Islak Ağırlık	637 kg
Kaldırma Ağırlık	1500 kg
Uzunluk	1529 mm
Genişlik	1080 mm
Yükseklik	2731 mm
Permeat Bağlantı	3'' paslanmaz
Hava Bağlantı	DN 80 PP

MBR tasarımı için hesap detayları aşağıda verilmiştir.

[1]. MBR Alanı ve Modül Sayısı Hesabı

$$Ak_1 (J) = 10,4 \text{ L/m}^2 \cdot \text{saat}$$

$$\text{Toplam Membran Alanı (A)} = \frac{Q}{J} = \frac{25\,000 \text{ L/saat}}{10,4 \frac{\text{L}}{\text{m}^2 \cdot \text{saat}}} = 2400 \text{ m}^2$$

$$\text{Modül Alanı} = 480 \text{ m}^2$$

$$\text{Modül Sayısı} = \frac{2400}{480} = 5 \text{ modül}$$

[2]. Filtrasyon Döngüsü ve Geri Yıkama

$$\text{Filtrasyon süresi} = 510 \text{ sn}$$

$$\text{Birinci gevşeme süresi} = 30 \text{ sn}$$

$$\text{Geri yıkama süresi} = 30 \text{ sn}$$

$$\text{İkinci gevşeme} = 30 \text{ sn}$$

$$\text{Filtrasyon süresi} = 510 + 30 + 30 + 30 = 600 \text{ sn} = 10 \text{ dk.}$$

$$\text{Akı (J}_{\text{geri yıkama}}) = 10 \frac{L}{m^2 \times h}$$

$$\text{Geri yıkama debisi } Q_{\text{geri yıkama}} = J_{\text{geri yıkama}} \times A = 10 \frac{L}{m^2 \times h} \times 2400 \text{ m}^2 = 24 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Bir döngü için gereken geri yıkama su hacmi} = Q_{\text{geri yıkama}} \times \text{Geri yıkama süresi}$$

$$= 24 \frac{m^3}{h} \times \frac{1 h}{3600 \text{ sn}} \times \frac{1 L}{1000 m^3} \times 30 \text{ sn} = 200 L$$

[3]. MBR için Gerekli Havuz Boyutları

$$\text{Filtrasyon havuz sayısı} = 1 \text{ adet}$$

$$\text{Filtrasyon hat sayısı} = 1 \text{ adet}$$

$$\text{Modül sayısı} = 5 \text{ adet}$$

$$\text{Gerekli havuz genişliği (B)} = \text{Modül Genişliği} = 1080 \text{ mm}$$

$$\text{Gerekli Havuz uzunluğu (L)} = \text{Modül uzunluğu} \times \text{modül sayısı} = 1529 \times 5 = 7645 \text{ mm}$$

$$\text{Gerekli su yüksekliği (H)} = \text{Modül Yüksekliği} = 2731 \text{ mm}$$

Bakım için havuza giriş çıkışları dikkate alarak B= 2,5 m ve L= 8,4 m seçilmiştir. Modüllerin suya daldırılmış şekilde olması gerekliliği göz önünde bulundurularak H= 3,2 m seçilmiştir.

$$\text{Filtrasyon Havuz Hacmi (V)} = 2,5 \times 3,2 \times 8,4 = 67,2 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Toplam Havalandırma havuzu hacmi} &= \text{Havalandırma havuzu} + \text{Filtrasyon havuzu} \\ &= 2,5 \times 3,2 \times (8,4+15) = 187,2 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

[4]. MBR için gereken hava miktarı

$$\text{Hava ihtiyacı} = 90 \text{ Nm}^3/\text{h}/\text{modül}$$

$$\text{Modül sayısı} = 5 \text{ adet}$$

$$\text{Hava ihtiyacı} = 90 \text{ Nm}^3/\text{h}/\text{modül} \times 5 \text{ modül} = 450 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

$$\text{Blower sayısı} = 1 \text{ asıl} + 1 \text{ yedek} = 2 \text{ adet}$$

$$\text{Blower kapasitesi} = 450 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

$$\text{Blower basıncı} = \text{Su yüksekliği} + 0,5 \text{ m} = 3,2 + 0,5 = 370 \text{ mss} = 370 \text{ mbar}$$

[5]. Filtrat

$$\text{Modül başına filtrat debisi} = \frac{Q}{\text{modül sayısı}} = \frac{25}{5} = 5 \text{ m}^3/\text{h}.\text{modül}$$

$$\text{Toplam Filtrat debisi} = 5 \text{ m}^3/\text{h}.\text{modül} \times 5 \text{ modül} = 25 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Emme Basıncı} = -400 \text{ mbar}$$

$$\text{Geri yıkama basıncı} = +150 \text{ mbar}$$

$$\text{Pumpa Sayısı} = 1 \text{ asıl} + 1 \text{ yedek} = 2 \text{ adet}$$

$$\text{Pompa kapasitesi} = 25 \text{ m}^3/\text{h}$$

[6]. Kimyasallarla geri yıkama

Normal çalışma sırasında membran yüzeyleri biyokütle, tuzlar ve çözünmeyen organikler (yağ gibi) dahil olmak üzere partiküllü malzemelerle kirlenebilmektedir. Membran yüzeyinde bir tabaka oluşur. Bu birikinti mekanik temizleme prosedürleri (örn. gevşetme, ters yıkama ve havalandırma) kullanılarak yeterince kontrol edilmezse çoğalır ve devamlı olarak artıp gider. Bu da membran performansında düşüşe neden olur. Genel olarak bakım yıkaması, genişletilmiş bakım yıkaması ve geri kazanım yıkaması olarak üç farklı kimyasal yıkama sistemi uygulanmaktadır.

Standart Bakım Yıkaması (SMC: Standart Maintenance Cleaning): düzenli aralıklarda kısa süreler boyunca yapılarak sistemin tıkanmasını önleyen bir yıkamadır. Genellikle ayda birkaç kez, kısa süreler boyunca (örneğin, 1-2 saat) ve düşük konsantrasyonlarda kimyasallar kullanılarak gerçekleştirilir. Bu yıkama, membran sistemi korumak ve membran yüzeylerinde ve permeat borularında kir ve kireç birikimini önlemek amacıyla yapılır. Bakım yıkaması otomatik olarak yapılacak şekilde ayarlanır.

Genişletilmiş Bakım Yıkaması (EMC: Extended Maintenance Cleaning): Standart bakım yıkamasından daha uzun süreler ve daha yüksek kimyasal konsantrasyonları ile yapılıyor olup genellikle yılda birkaç kez uygulanır. Bu yıkama, membran geçirgenliğini önemli ölçüde geri kazanmayı ve yüzeylerdeki kirlenme birikimlerini gidermeyi sağlar.

Geri Kazanım Yıkaması: Temiz veya saf su kullanılarak membran yüzeylerindeki tüm kirlerin temizlenmesi ve membran geçirgenliğinin ilk veya ilk seviyeye yakın geri getirilmesi için uygulanan yıkama yöntemidir. Daha yüksek yıkama verimi için ılık su kullanılır. Geri kazanım yıkaması, rutin bakımın bir parçası değildir; ancak genişletilmiş bakım yıkamasının yetersiz kaldığı durumlarda gerekmektedir. Bu yıkama sonrasında tamamen modül incelemesi ve havuz temizliği yapılır.

Tıkanma türüne ve gerekli temizliğe bağlı olarak, sodyum hipoklorit çözeltisi, sitrik asit çözeltisi veya her ikisi de kullanılabilir. Sodyum hipoklorit, membrandan organik ve biyolojik kirlenmeyi gidermek için kullanılırken, sitrik asit metal tuzları, kalsiyum tuzu ve diğer kireçlenme bileşikleri gibi mineral kireçlenmeyi gidermek için kullanılmaktadır. MBR yıkamasında kullanılan parametreler Tablo 19'da özetlenmiştir.

Tablo 19: MBR Yıkama Parametreleri

KİMYASAL	TİPİK KONSANTRASYONU (ARALIK)	YIKAMA SÜRESİ (ARALIK)	AKI (J) (ARALIK)
Standart geri yıkama			
NaOCl	200 mg/L (200-750 mg/L)	1 saat (1-3 saat)	10 LMH (5-15 LMH)
Sitrik Asit	2000 mg/L (2000-5000 mg/L)	1 saat (1-3 saat)	10 LMH (5-15 LMH)
Genişletilmiş Bakım yıkaması			
NaOCl	1000 mg/L (1000-2000 mg/L)	6 saat (6-24 saat)	10 LMH (5-15 LMH)
Sitrik Asit	5000 mg/L (5000-10000 mg/L)	6 saat (6-24 saat)	10 LMH (5-15 LMH)
Geri Kazanma Yıkaması			
NaOCl	1000 mg/L (1000-2000 mg/L)	8 saat (30° C) (8-24 saat)	10 LMH (5-15 LMH)
Sitrik Asit	5000 mg/L (5000-10000 mg/L)	8 saat (8-24 saat)	Membran üzerinde min. 5 cm su yüksekliği olacak şekilde doldurulmalı

[7]. Standart bakım yıkama

Kimyasal 1 = % 12 Sodyum hipoklorit (NaOCl): Organik bileşenleri çözmek için kullanılır.

Kimyasal 2 = %50 Sitrik Asit (C₆H₈O₇) : Metal tuzları gidermek için kullanılır.

Gereken NaOCl konsantrasyonu = 500 mg/L (200-750 mg/L)

Gereken C₆H₈O₇ konsantrasyonu = 3000 mg/L (2000-5000 mg/L)

Geri yıkama süresi = 1 saat (1-3 saat)

Ak₁ (J) = 8 L/m².saat (5-15 L/m².saat)

Modül yüzey alanı = 480 m²

Modül başına gereken geri yıkama hacmi = $480 \text{ m}^2/\text{modül} \times 8 \text{ L/ m}^2.\text{h} = 3840 \text{ L/modül}$

MBR hatı için gereken geri yıkama hacmi = $3840 \text{ L/modül} \times 5 \text{ modül} = 19200 \text{ L}$

NaOCl özgül ağırlığı = $1,23 \text{ kg/L}$

Gereken NaOCl miktarı = $\frac{19200 \text{ L} \times 500 \text{ mg}}{\text{L}} = 9,6 \text{ kg}$

NaOCl dozaj pompa debisi = $\frac{9,6 \text{ kg}}{\%12 \times 1,23 \text{ kg/L}} = 65 \text{ L/h}$

Sitrik asit özgül ağırlığı = $1,33 \text{ kg/L}$

Gereken Sitrik asit miktarı = $\frac{19200 \text{ L} \times 3000 \text{ mg}}{\text{L}} = 57,6 \text{ kg}$

Sitrik asit dozaj pompa debisi = $\frac{57,6 \text{ kg}}{\%50 \times 1,33 \text{ kg/L}} = 86,62 \text{ L/h}$

NaOCl ile geri yıkama sayısı = $1 \text{ defa/7 gün} = 48 \text{ defa/yıl}$

Sitrik asit ile geri yıkama sayısı = $1 \text{ defa/30 gün} = 10 \text{ defa/yıl}$

[8]. Genişletilmiş bakım yıkama

Kimyasal 1 = % 12 Sodyum hipoklorit (NaOCl): Organik bileşenleri çözmek için kullanılır.

Kimyasal 2 = %50 Sitrik Asit ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) : Metal tuzları gidermek için kullanılır.

Gereken NaOCl konsantrasyonu = 1000 mg/L (1000-2000 mg/L)

Gereken $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ konsantrasyonu = 5000 mg/L (5000-10000 mg/L)

Geri yıkama süresi = 6 saat (6-24 saat)

Ak1 (J) = $10 \text{ L/m}^2.\text{saat}$ (5-15 $\text{L/m}^2.\text{saat}$)

Modül yüzey alanı = 480 m^2

Modül başına gereken geri yıkama hacmi = $480 \text{ m}^2/\text{modül} \times 10 \text{ L/ m}^2.\text{h} = 4800 \text{ L/modül}$

MBR hatı için gereken geri yıkama hacmi = $4800 \text{ L/modül} \times 5 \text{ modül} = 24000 \text{ L}$

NaOCl özgül ağırlığı = 1,23 kg/L

$$\text{Gereken NaOCl miktarı} = \frac{24000L \times 1000 \text{ mg}}{L} = 24 \text{ kg}$$

$$\text{NaOCl dozaj pompa debisi} = \frac{24 \text{ kg}}{\%12 \times 1,23 \text{ kg/L}} = 162,60 \text{ L/h}$$

Sitrik asit özgül ağırlığı = 1,33 kg/L

$$\text{Gereken Sitrik asit miktarı} = \frac{24000L \times 5000 \text{ mg}}{L} = 120 \text{ kg}$$

$$\text{Sitrik asit dozaj pompa debisi} = \frac{120 \text{ kg}}{\%50 \times 1,33 \text{ kg/L}} = 180,45 \text{ L/h}$$

NaOCl ile geri yıkama sayısı = 1 defa/90 gün = 4 defa/yıl

Sitrik asit ile geri yıkama sayısı = 1 defa/180 gün = 2 defa/yıl

[9]. Geri kazanım yıkaması

Kimyasal 1 = % 12 Sodyum hipoklorit (NaOCl): Organik bileşenleri çözmek için kullanılır.

Kimyasal 2 = %50 Sitrik Asit ($C_6H_8O_7$) : Metal tuzları gidermek için kullanılır.

Gereken NaOCl konsantrasyonu = 1000 mg/L (1000-2000 mg/L)

Gereken $C_6H_8O_7$ konsantrasyonu = 5000 mg/L (5000-10000 mg/L)

MBR hatı için gereken geri yıkama hacmi = Filtrasyon havuzu hacmi = 64 m³

Geri yıkama süresi = 8 saat (8-24 saat)

Sitrik asit dozaj pompa debisi = 180,45 L/h

NaOCl dozaj pompa debisi = 162,60 L/h

NaOCl ile geri yıkama sayısı = 1 defa/yıl

Sitrik asit ile geri yıkama sayısı = 1 defa /yıl

[10]. Borulama

Blower hattı maksimum hava hızı = 7 m/s

Modül sayısı = 5 modül

Modül başı hava miktarı = 90 Nm³/h.modül

Hat hava miktarı = 5 modül x 90 Nm³/h.modül = 450 Nm³/h

Minimum hat çapı = 160 mm = DN 150 AISI 304 yada karbon çelik hat.

Ana borudan modüle bağlanma = DN 150→DN80 redüksiyon (5 redüksiyon ve 5 T)

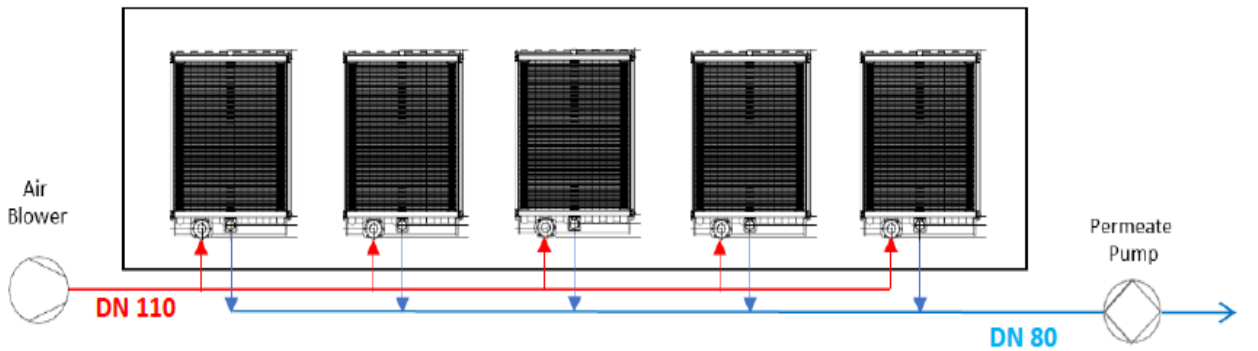
Filtrasyon hatın maksimum hız = 1 m/s

Filtrasyon hatın maksimum hız = 0,5 m/s

Filtrat debisi= 25 m³/h

Ana hatın minimum çap = 110 mm = DN 100 PE PN10

Ana borudan modüle bağlanma = DN 100→DN65 redüksiyon (5 redüksiyon ve 5 T)



Şekil 17: MBR Filtrasyon Havuzun Plan Gösterimi

Yukarıda yapılan hesapların sonuçları özetlendiğinde, 5 adet 480 m² alanına sahip ultrafiltrasyon MBR membranı kullanılması durumunda KOI arıtma verimi %99.27 gibi çok yüksek bir değer bulunmuştur. Sistemde havalandırma havuzunun toplam hacmi 187,2 m³ olarak hesaplanmıştır. Toplam difüzör sayısı 307 adet, blower kapasiteleri (Havalandırma havuzu ve MBR için) sırasıyla 1378 m³hava/sa ve 450 m³hava/sa olarak tespit edilmiştir.

Uzun havalandırma havuzu ve MBR ile entegre edilmiş havalandırma havuzu karşılaştırma verileri Tablo 20’de verilmiştir.

Tablo 20: Uzun Havalandırma Havuzu ve MBR ile Entegre Edilen Havuzu Karşılaştırılması

PARAMETRE	UZUN HAVALANDIRMA SİSTEMİ	MBR İLE ENTEGRE HAVALANDIRMA HAVUZU	AÇIKLAMA
Hacim (m ³)	925	187	
Difüzör Miktarı (adet)	280	307	4,5 m ³ hava/sa kapasiteli difüzör kullanılmıştır
KOİ Verimi(%)	90	99,27	
AKM Verimi(%)	88	99,9	
Blower Kapasitesi(m ³ hava.sa)	1256	1378+450	MBR ile entegre edilmiş havalandırma için havalandırma bloweri ve MBR bloweri olmak üzere 2 adet blower kullanılmıştır. Havalandırma blowerleri 20sa/gün ve MBR bloweri 24 sa/gün çalışacaktır.
Blower Gücü(kW)	22	22+11	
Günlük Enerji(kWh)	440	440+264	

4.2. ATIKSU GERİ KAZANIMI İÇİN YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu çalışma kapsamında arıtma tesisinde arıtılan atıksuların tesiste yeniden kullanılabilmesi için tasarımlar gerçekleştirildi. Bu kapsamda, MBR sistemi ilave edilerek iyileştirilen biyolojik arıtma çıkış suyunun proses içerisinde kullanılabilmesi için proses suyu ve MBR ilaveli arıtma çıkış suyu özellikleri incelendi. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda MBR çıkış suyunun iletkenliği istenen proses suyu iletkenliğini sağlamadığı görüldü. Bu nedenle MBR çıkış suyunun ters osmoz (RO) sistemi ile desteklenmesine karar verildi. Yapılan araştırmalar (çalışmalar) sonucunda tek kademeli ters osmoz sisteminin istenen

proses su özelliklerini karşıladığı görüldü ve bu özelliklerde ters osmoz prosesi tasarlandı. Böylece fabrikadan çıkan atıksuların arıtılarak proses için geri kazanımı sağlanmış oldu.

4.2.1. Ters Osmoz Tasarımında Kullanılan Parametreler

Ters osmoz sisteminin tasarımı, sisteme giriş suyun özelliklerinin belirlenmesi ile başlar. Bu aşamada Silt Yoğunluğu İndeksi (SDI) denilen parametre büyük önem taşımaktadır. Silt Yoğunluğu İndeksi (SDI), ters osmoz uygulamalarında, gelen suyun ters osmoz membranları ile uyumluluğunu objektif olarak değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan bir parametredir. SDI, RO aiateminde kullanılan membran performansını etkileyebilecek potansiyel kirlenme ve kireçlenme sorunlarını değerlendirmek için çok önemli olan besleme suyundaki partikül madde derecesinin bir göstergesidir. Bunun yanında RO sisteminin tasarımında membran akısı (J), membran sayısı (NE), kılıf sayısı (Nv), bir kılıfa düşen membran sayısı (Nepv), tuz geçirgenliği (SP), toplam çözünmüş katı madde (TDS) gibi parametrelerde göz önünde bulundurulur. Ayrıca, bu çalışmada RO sisteminin tasarımı için WAVE programı kullanılmıştır.

4.2.2. Ters Osmoz Prosesinin Tasarım Aşamaları

RO sisteminin tasarımı özetle 8 adım ile gerçekleştirilir: Bunlar;

Aşama 1: Besleme ve arıtılmış su özelliklerinin belirlenmesi

RO membran sisteminin tasarımı, suyun özellikleri, miktarı ve kullanım amacına bağlı olarak şekillendirilmektedir. Bu bağlamda, ilk olarak su analizleri gerçekleştirilmiş ve kullanılabilir su miktarı belirlenmiş olmalıdır. Ardından, suyun kullanım amacına uygun kalite ve kapasite kriterleri tespit edilir.

Aşama 2: Besleme debisi, çıkış debisi ve RO membran kademe sayısının belirlenmesi:

Bu aşamada ters osmoz sistemine beslenecek su debisi belirlenir. Sonra hedeflenen geri kazanma oranı seçilir. Genelde besleme debisinin %70 kadar ürün suyu olarak alınabilmektedir. Bu aşamada da membran sisteminin kaç kademeli olacağına da karar verilir. Membran kademe sayısı tamamen besleme suyunun özelliklerine bağlıdır. Sistemin kademe sayısı, sistemin ekonomisi ile doğru orantılıdır. Düzgün bir şekilde ön arıtma yapılan tesislerde genellikle tek kademeli ters osmoz sistemi ile hedeflenen tekstil proses su özellikleri sağlanmaktadır.

Aşama 3: RO membran tipinin seçilmesi

Bu aşamada kullanılacak membran tipi belirlenir. Ters osmoz sistemlerinde çeşitli membran tipleri kullanılır. Membran tipi besleme suyundaki çözülmüş katı madde konsantrasyonuna bağlıdır. Az tuzlu sular için nanofiltrasyon membranları, TDS değeri 1000 mg/l'den fazla olan sular için kuyu suyu ters osmoz membranları ve TDS değeri 10000 mg/l'den fazla olan sular için deniz suyu membranları kullanılmak uygun olur (Akgül, D., 2006).

Aşama 4: Membran akısı değerinin (J) belirlenmesi

Bu aşama kritik bir aşama olup RO membranın fiziksel özelliklerine bağlıdır. Üretilen her membran, kendine özel ortalama akı değerine sahiptir. Bu akı değeri membranın kapasitesi ile doğru orantılıdır. Membran üreticileri tarafından kullanılan membran malzemesi ve uygulanacak ortalama basıncı ile membranların akı değerleri belirlenir. Ters osmoz sistemlerinin işletilmesi sırasında sabit basınçlarda akı değerinin normalin altına düşmesi durumu membranın tıkanıp tıkanmadığının göstergesidir.

Aşama 5: Gerekli membran sayısının belirlenmesi

Membran sayısı (N_E) ürün debisinin (Q_p) tasarımında seçilen akıya (J) ve kullanılan membranın yüzey alanına (A) bölünerek elde edilmektedir:

$$N_E = \frac{Q}{AxJ}$$

Aşama 6: Gerekli membran kılıf sayısının belirlenmesi:

Gerekli membran kılıfı adedi (N_V), toplam membran sayısının (N_E), bir kılıfa girecek membran sayısına (N_{EPV}) bölünmesi ile elde edilir.

$$N_V = \frac{N_E}{N_{EPV}}$$

Aşama 7: Kademe sayısının belirlenmesi:

Kademe sayısı, besleme suyunun sistemden geçerken kaç adet membran kılıfından geçeceğini belirtir. Her aşamada, belirli sayıda paralel bağlı membran kılıfı bulunur. Aşama sayısı, geri kazanım oranı, kılıf başına düşen membran adedi ve ham suyun tuzluluğu gibi faktörlere bağlıdır.

Aşama 8: Membran sisteminin analiz ve optimize edilmesi:

Önceki aşamalar tamamlandıktan sonra, ROSA (Reverse Osmosis System Analysis) gibi yazılımlar kullanılarak sistem detaylı bir şekilde analiz edilir ve optimize edilir. Bu yazılım, sistem performansını değerlendirmeye ve iyileştirmeler yapmaya yardımcı olur.

Atıksu arıtımı için tasarlanan sistemlerin büyük çoğunluğu tek kademelidir. Ürün suyunun ikinci bir membran sistemine yönlendirildiği iki kademeli sistemler ise genellikle çok yüksek tuzluluk durumlarında tercih edilir. Ancak, bu iki kademeli sistemler proses suyu üretimi için ekonomik değildir. Bu çalışma kapsamında yalnızca tek kademeli sistemler kullanılmıştır.

4.2.3. Kullanılan RO Membranların Özellikleri

Çalışma kapsamında WAVE projeksiyon programı kullanılarak gerçekleştirilen RO sisteminde kullanılan membranın özellikle Tablo 21’de özetlenmiştir.

Tablo 21:RO Membranın Özellikleri

MEMBRAN ÖZELLİKLERİ	
Membran Tipi	BW30XFR-400/34i
Membran Polimeri	İnce Film Kompozit Poliamid
MODÜL ÖZELLİKLERİ	
Tip	Spiral
Membran Modül Yüzey Alanı	37 m ²
İŞLETME PARAMETRLERİ	
pH Aralığı	2-11
Akı	23,8 L/m ² .saat
Maksimum İşletme Sıcaklığı	45 °C
Maksimum İşletme Basıncı	41 bar
Tablo 21’in devamı	
Maksimum SDI	5
Klorin Dayanımı	0,01 mg/L

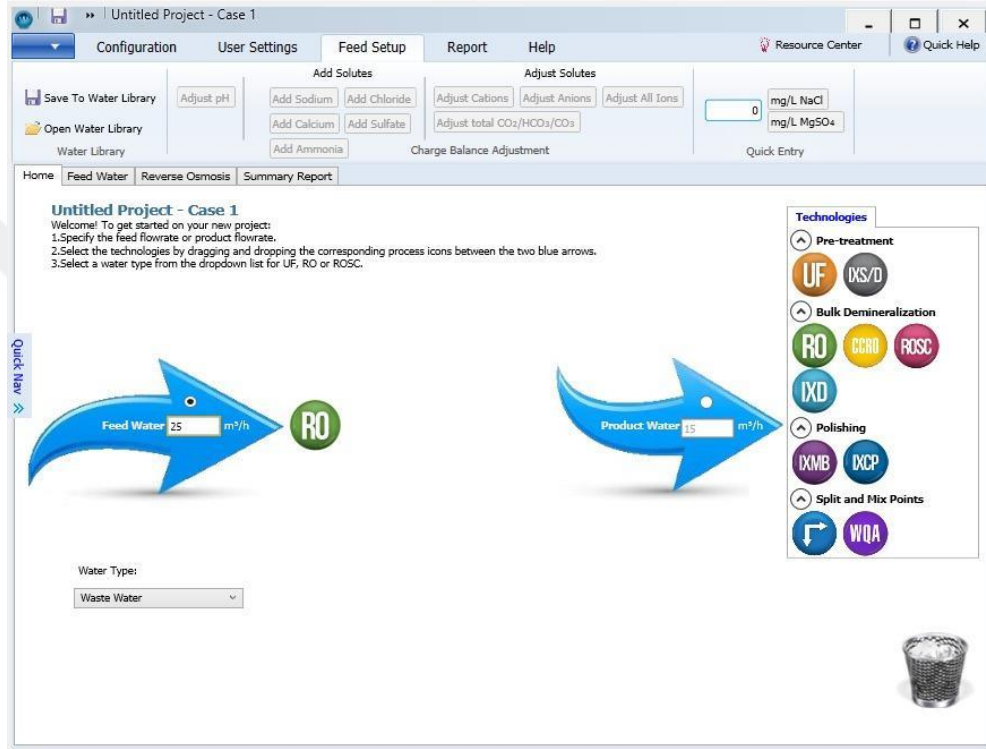
Tablo 21'in devamı	
MODÜL BOYUTLARI	
A	1016 mm
B	1029 mm
C	201 mm
D	29 mm
Maksimum Demir Toleransı	0,05 mg/L antiskalant dozlanmıyor ise
	0,2 mg/L antiskalant dozlanıyor ise
Maksimum COD	10 mg/L
Minimum TDS giderimi	%99,1
Tipik TDS giderimi	%99,3

4.2.4. WAVE Projeksiyon Programı ile Ters Osmoz Sisteminin Tasarımı

Ters osmoz sistemi tasarımı yapılırken, projeksiyon programına girilen ilk veri besleme suyu özellikleridir. Bu özellikler, su tipinin belirlenmesiyle başlar. Su tipinin seçimi, SDI (Silt Yoğunluğu İndeksi) değerinin belirlenmesi açısından önem taşır. SDI değeri, suyun 0.45 mikronluk bir filtreden geçirilmesiyle elde edilen bir ölçüttür. Bu değer, projeksiyon programı içinde membranın tıkanma ve su geçirme oranını belirlemek için kullanılır. Besleme suyu MBR (ultrafiltrasyon)'dan çıktığından bulanık değildir ve SDI değeri 3'ün altındadır. Bu nedenle programda, $SDI < 3$ olarak kabul edilmiştir.

WAVE projeksiyon programında girilen ikinci veri, ham su değerleridir. Bu bölümde su sıcaklığı ve pH derecesi girildikten sonra, spesifik kirletici değerleri eklenir. Program, bu

değerleri girerken katyon ve anyon dengesini sağlayarak verilerin tutarlılığını kontrol eder. Girilen değerler iyon dengesi açısından uyumsuz ise, kullanıcıya dengeyi sağlamak için beş seçenek sunulur. Bu seçenekler şunlardır: klorür eklemek, sülfat eklemek, tüm katyonları ayarlamak, tüm anyonları ayarlamak veya tüm iyonları ayarlamaktır. WAVE programının ana yüzü Şekil 18’de su özelliklerini giriş sayfası ise Şekil 19:Wave Projeksiyon Programının Su Özelliklerinin Giriş Sayfası Şekil 19’da gösterilmiştir.



Şekil 18:WAVE Projeksiyon programının ana yüzü

The screenshot displays the 'Feed Water - Stream 1' configuration page. It includes sections for 'Stream Definition', 'Feed Parameters', 'Solid Content', 'Temperature', 'Cations', 'Anions', and 'Neutrals'. Summary statistics at the bottom include Total Dissolved Solids, Charge Balance, and Estimated Conductivity.

Symbol	mg/L	ppm CaCO ₃	meq/L
NH ₄ ⁺	0.300	0.832	0.017
K	1.000	1.280	0.026
Na	169.900	369.834	7.390
Mg	20.080	82.689	1.652
Ca	50.000	124.866	2.495
Sr	0.000	0.000	0.000
Ba	0.000	0.000	0.000
Total Cations:	241.280		11.580

Symbol	mg/L	ppm CaCO ₃	meq/L
CO ₂	0.900	1.501	0.030
HCO ₂ ⁻	75.000	61.512	1.229
NO ₂ ⁻	32.000	25.827	0.516
Cl	314.200	443.512	8.863
F	0.100	0.263	0.005
SO ₄ ⁻	45.000	46.885	0.937
Br	0.000	0.000	0.000
PO ₄ ⁻	0.000	0.000	0.000
Total Anions:	467.200		11.580

Symbol	mg/L
SiO ₂	0.000
B	0.000
CO ₃ ⁻	9.359
Total Neutrals:	9.359

Summary Statistics:

- Total Dissolved Solids: 708.481 mg/L
- Charge Balance: -0.000109 meq/L
- Estimated Conductivity: 1,325.61 µS/cm

Şekil 19: Wave Projeksiyon Programının Su Özelliklerinin Giriş Sayfası

Su özellikleri girildikten sonra sistem konfigürasyonunun yapılması gerekmektedir. Konfigürasyon sırasında, Şekil 20’de konfigürasyon verileri doldurulmaktadır. Bu aşamda ilk olarak elde edilecek su kapasitesi girilir ve bu suyu elde etmek için ne kadar geri kazanım uygulanacağı belirtilir. Aynı sayfada, sistem tasarımının güvenlik faktörü olarak tıkanma faktörü de girilir. Bu çalışmada, %10 güvenlik payı alınmış ve tıkanma faktörü 0.90 olarak belirlenmiştir. Daha sonra sistemin kaç aşamalı (kademeli) bir sistem olacağı belirlenir. Proses suyu üretmek için yüksek saflıkta bir su gerekmediğinden, bu çalışmada hep 1 kademeli (tek membran çıkışı olan (seri bağlı membranlar olmayan)) sistem tasarımı kullanılmıştır. Daha sonraki adım, aşama (birinci membran konsantratu başka bir membran giriş suyu (konsantratin yeniden membrandan geçirildiği) olarak kullanıldığı aşama) sayısının belirlenmesidir. Bu sayı belirlendikten sonra her aşamada kaç membran kılıfı ve her kılıfta kaç membran kullanılacağı girilir. Konfigürasyon yapıldıktan sonra membran tipi seçilir ve programdan bu tasarıma göre hesaplamaları yapılması istenir. Şekil 20’de kullanılan programda konfigürasyonların yapıldığı sayfa gösterilmiştir.

Reverse Osmosis Pass Configuration

Configuration for Pass 1

Number of Stages: 1 2 3 4 5

Flow Factor:

Temperature: Design °C

Pass Permeate Back Pressure: bar

Flows

Feed Flow: m³/h

Recovery: %

Permeate Flow: m³/h

Flux: LMH

Conc. Recycle Flow: m³/h

Bypass Flow: m³/h

	Stage 1	Stage 2
# PV per stage	10	1
# Els. per PV	6	6
Element Type	BW30XFR-400/34i	BW30XFR-400/34i
Specs		
Total Els per Stage	60	6
Pre-stage ΔP (bar)	0.31	0.20
Stage Back Press. (bar)	0.00	0.00
Boost Press (bar)	N/A	0
Feed Press (bar)	0	N/A
% Conc to Feed	0.00	0.00
Flow Factor	0.70	0.70

System Configuration

Feed → [Membrane Stage] → Concentrate (red arrow) and Permeate (blue arrow)

Şekil 20: WAVE projeksiyon programında sistem konfigürasyonunun girildiği sayfa

Tüm bu veriler girildikten sonra program, gerekli hesaplamaları yapar ve yapılan tasarımın çıktılarını verir. Bu çıktılarda, istenen suyun elde edilmesi için gerekli basınç değeri, akı, tahmini enerji tüketimi ile her aşama ve her elemanın besleme debisi, besleme basıncı, geri kazanım oranı, ürün debisi ve ürünün tuzluluğu yer alır. Ayrıca, her aşama için konsantre debisi ve basıncı da verilir. Bunun yanı sıra, besleme akımının, ayarlanmış besleme akımının, her aşama için konsantre ve ürün suyu akımlarının spesifik iyon konsantrasyonları ile silika, TDS ve pH değerleri de belirtilir. Sistemin başında pH ayarı için kimyasal dozaj yapılıyorsa, tüketim miktarı da bu çıktılarda yer alır. Tablo 22-25'te bu çıktılar gösterilmiştir. Bu çıktılarda öncelikle dikkat edilen değerler, ürün suyu kalitesi ve akıdır. Ürün suyu kalitesi düşük veya akı çok yüksekse, tasarıma geri dönülerek konfigürasyon değişiklikleri yapılabilir.

Tablo 22:Çıktı 1: Proje Genel Bilgileri

#	Description	Flow (m ³ /h)	TDS (mg/L)	Pressure (bar)
1.	Raw Feed to RO System	25.0	709.3	0.0
2.	Net Feed to Pass 1	25.0	709.4	3.7
4.	Total Concentrate from Pass 1	7.50	2,277	2.5
6.	Net Product from RO System	17.5	36.78	0.0

RO System Overview

Total # of Trains	1	Online =	1	Standby =	0	RO Recovery	70.0 %
System Flow Rate	(m ³ /h)	Net Feed =	25.0	Net Product =	17.5		

Tablo 23:Çıktı 2: Proje Detaylı Bilgileri

Pass	Pass 1
Stream Name	Stream 1
Water Type	Waste Water (Membrane pretreatment,SDI < 3)
Number of Elements	66
Total Active Area (m ²)	2453
Feed Flow per Pass (m ³ /h)	25.0
Feed TDS ^a (mg/L)	709.4
Feed Pressure (bar)	3.7
Flow Factor Per Stage	0.70, 0.70
Permeate Flow per Pass (m ³ /h)	17.5
Pass Average flux (LMH)	7.1
Permeate TDS ^a (mg/L)	36.78
Pass Recovery	70.0 %
Average NDP (bar)	2.4
Specific Energy (kWh/m ³)	0.19
Temperature (°C)	25.0
pH	7.0
Chemical Dose	-
RO System Recovery	70.0 %
Net RO System Recovery	70.0%

Tablo 25'in devamı

SO ₄ ⁻²	45.00	132.7	149.0	0.38	0.98	0.41
PO ₄ ⁻³	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₂	8.77	9.50	9.60	8.55	9.25	8.58
TDS*	709.3	2,036	2,277	33.99	86.49	36.78
Cond. μS/cm	1,325	3,622	4,026	55	139	59
pH	7.0	7.4	7.4	6.2	6.6	6.3

Bu çalışma kapsamında WAVE programı kullanılarak yapılan RO sistem tasarımı sonucunda, 1 kademeli 2 aşamalı 7,1 LMH akıya sahip ters osmoz membranları kullanılmıştır. Bu tasarımda çıkış suyunun çözünmüş katı madde (TDS), iletkenlik ve debi değerleri sırasıyla, 36,78 mg/L, 59 μs/cm ve 17,5 m³/sa olarak elde edilmiştir. Elde edilen suyun iletkenliği 100 μs/cm altında olduğundan proses suyu olarak tekrar kullanılabilir duruma getirilmiştir.

4.3. İNCELENEN TESİSİN İYİLEŞTİRME MALİYETLERİ

4.3.1. Uzun Havalandırma Havuzu İyileştirme Maliyeti

Uzun havalandırma havuzu iyileştirme çalışmalarında besi madde (DAP ve üre karışımı) eklenmiştir. Bunun yanında sistemin daha verimli bir şekilde havalandırılması için alternatif olarak difüzör ve blower sistemleri tasarlanmıştır. Ancak, bu sistemlerin inşaatı ilave maliyet getireceğinden sistemde mevcut olan yüzeysel aeratörlerin kullanılmasına karar verilmiştir. Bu nedenle hesaplanan maliyete dahil edilmemiştir. Dolayısıyla, havalandırma havuzu iyileştirilmesi için sadece günlük besi maddesi temin maliyeti olduğu kabul edilerek 73,5 Euro/gün olarak hesaplanmıştır.

4.3.2. Mevcut Arıtma Sistemine Aerobik MBR Sisteminin Entegrasyon Maliyeti

4.3.2.1. Proje Tasarım Maliyetleri

MBR sisteminin proje tasarımı ile ilgili oluşabilecek maliyetler Tablo 26'te özetlenmiştir. Buna göre sistemin proje tasarım maliyeti toplam 21900 Euro olarak hesaplanmıştır. Bu maliyet sistem için gerekli olan proses hesapları, betonarme hesapları,

borulama metrajları, elektrik hesapları, otomasyon hesapları ve bunlardan kaynaklanan tüm proje çizimlerini kapsamaktadır.

Tablo 26:Proje Tasarım Maliyeti

Sıra No	Yapılan İşin Cinsi	Birim	Miktar	Birim Fiyat (Euro)	Toplam (Euro)	Açıklama
3 mühendis	Proje hesaplarının yapılması- proses-mekanik-borulama- elektrik-inşaat	adam. gün	60	100	6.000	5 yıl tecrübeli 3 müh maaşı dikkate alındı.
2 Teknik Ressam	Genel projelerin çizilmesi- Genel Yerleşim Planları, 1/25000, 1/500, 1/200, Yol Panları, Yol Profil, Tip Enkesit, Borulama ve Kablo Planları	adam. gün	30	100	3.000	
2 Teknik Ressam	Mimari projelerinin çizilmesi, 1/20, 1/10, 1/50-1/100, 3 boyutlu çizimler, maket veya bilgisayarda simulasyon çalışması, cam çatı, bina çatı detayları	adam. gün	30	100	3.000	
2 Teknik Ressam	Statik Betonarme Projeleri	adam. gün	15	100	1.500	
2 Teknik Ressam	Mekanik projelerin çizilmesi, proje ve hesaplar, listeler ve bilgi föyleri, montaj detayları, borulama detayları	adam. gün	20	100	2.000	
2 Teknik Ressam	Elektrik-otomasyon projeleri, enerji nakil hattı projesi, trafo, jeneratör, güç kuvvet, yıldırımdan korunma, topraklama, PLC, SCADA, uzaktan izleme sistemi, kamera ve çevre güvenlik sistemi projeleri	adam. gün	10	100	1.000	
Teknik Ressam	Saha tanzimi ve altyapı projeleri, peyzaj projesi	adam. gün	0	100	0,00	
1 mühendis	İşletme&Bakım talimatlarının hazırlanması	adam. gün	10	100	1.000	
	Dökümantasyon+Proje Çıktıları	Lot	1	1.000	1.000	

Tablo 26'nın devamı						
2 mühendis	Keşif Çalışmaları	gün	3	800	2.400	Mevcut tesisin durumunu keşfetme ve gerekli raporlar için saha çalışmaları
	Zemin Etüdü, en az 5 adet sondaj, 20 m derinlik, 5 adet araştırma çukuru 2,5 m derinlikte	Lot	1	1.000	1.000	Tesis mevcut olduğundan rakam düşürülmüştür.
TOPLAM TASARIM MALİYETİ					21.900 €	

4.3.2.2. Mekanik Ekipman Maliyetleri

Mekanik ekipman maliyetleri ünite bazında aşağıdaki tablolarda özetlenmiştir.

Ön Arıtma Ünitesi Maliyeti

Ön arıtma ünitesi, dengeleme havuzu ve tambur elek sisteminden oluşmaktadır. Mevcut arıtma tesisinde dengeleme havuzu bulunduğu için onun maliyeti sıfır olarak hesaplanmıştır. MBR sisteminin efektif çalışması için 1 mm den büyük partikül maddelerin sistemde bulunmaması gerekir o nedenle sisteme bir adet tambur elek eklenmiş ve maliyeti hesaplanmıştır. Bu üniteler ile ilgili maliyetler Tablo 27'de verilmiştir.

Tablo 27:Ön Arıtma Maliyeti

No	Yapılan İşin Cinsi	Miktar (Adet)	Birim Fiyat (Euro)	Toplam (Euro)	Açıklama
	Ön Arıtma Ünitesi				
1	Dengeleme havuzu mikserleri	2	5.000,00	0	Mevcut
2	Soğutma Kulesi	1	25.000	0	Mevcut
3	Tambur Elek (Dıştan Akışlı - 1000micron; 25 m3/saat)	1	25.000,00	25 000,00	
ÖN ARITMA MALİYETİ				25 000	

MBR Ünitesi

Membran Biyoreaktör ünitesi ile ilgili oluşan maliyetler Tablo 28’te özetlenmiştir.

Tablo 28:MBR Ünitesi Maliyeti

No	Yapılan İşin Cinsi	Miktar (Adet)	Birim Fiyat (Euro)	Toplam (Euro)	Açıklama
1	Membran Modülleri (BIOCEL L+480)	5	14.800,00	74.000,00	
2	Filtrasyon Havuzu Blowerleri (Roots tip; akustik kabin dahil; 450 Nm ³ /saat; 343 mbar)	2	5.719,00	11.438,00	
3	Ürün suyu Vakum Pompası(30,8 m ³ /saat; +150 bar; -400 bar)	2	28.200,00	56.400,00	
4	NaOCl Depolama Tankı (4 m ³)	1	235,00	235,00	
5	Sitrik Asit Depolama Tankı (4 m ³)	1	235,00	235,00	
6	Asit Sitrik Dozaj Pompası (200 L/saat ; 1 bar)	2	2.500,00	5.000,00	
7	NaOCl dozaj Pompası (150 L/saat; 1 bar)	2	2.500,00	5.000,00	
8	Blowerların hava borulaması, vanaları, fittings komple set	1	1.000,00	1.000,00	
MBR ÜNİTESİ TOPLAM MALİYETİ				153.308	

4.3.2.3. Borulama Maliyeti

Borulama maliyetinde sadece sisteme eklenen borular dikkate alınmıştır ve Tablo 29’da verilmiştir.

Tablo 29:MBR Borulama Maliyeti

No	Yapılan İşin Cinsi	Birim	Miktar	Birim Fiyat (Euro)	Toplam (Euro)	Açıklama
1	Paslanmaz çelik boru DN 80	m	50	13,87	693,43	
2	PVC-100 boru DN 50	m	100	1,30	129,69	
3	PE-100 boru DN 75	m	100	2,86	285,84	
4	PE-100 boru DN 90	m	25	4,12	103,00	
5	PE-100 boru DN 110	m	50	6,09	304,37	
6	PE-100 boru DN 350	m	20	28,34	566,74	
7	Vanalar toplam	Ad	1	1.093,60	1.093,60	
8	Fittingler toplam (vanalar ve borular için toplamın %15’i alındı)	Ad	1	476,50	476,50	
Borulama Toplam Maliyeti					3653.1	

4.3.2.4. Enstrümantasyon Maliyeti

Enstrümantasyon maliyeti Tablo 30'da özetlenmiştir. Tesiste varolan enstrümanlar için maliyet sıfır olarak belirlendi.

Tablo 30:Enstrümantasyon Maliyeti

No	Yapılan İşin Cinsi	Birim	Miktar	Birim Fiyat (Euro)	Toplam (Euro)	Açıklama
1	Giriş Debimetresi, EM, 0-25 m ³ /saat-	Ad	0	3.031,00	0,00	Mevcut
2	Çıkış Debimetresi, EM, 0-25 m ³ /saat	Ad	0	3.031,00	0,00	Mevcut
3	Fazla Çamur Debimetresi, DN 80	Ad	0	1.676,00	0,00	Mevcut
4	Deşarj Hattı Debimetresi,	Ad	0	1.868,00	0,00	Mevcut
5	Süzüntü Suyu Debimetresi	Ad	1	1.868,00	1.868,00	
6	ORP Transmitter	Ad	0	1.800,00	0,00	Mevcut
7	Oksijen Transmitter	Ad	0	2.700,00	0,00	Mevcut
8	MBR Hava hattı Debi Ölçer	Ad	1	1.670,00	1.670,00	
9	Fark Seviye Transmitter	Ad	0	1.994,00	0,00	Mevcut
10	Seviye Transmitter	Ad	0	982,00	0,00	Mevcut
11	pH Transmitter	Ad	1	1.851,00	0,00	Mevcut
12	Basınç Transmitter	Ad	10	250,00	2.500,00	
Enstrümanların Toplam Maliyeti					6.038	

4.3.2.5. Elektrik Otomasyon Maliyeti

Mevcut tesisin rehabilitasyonu olduğundan saha aydınlatma ve kamera sistemi gibi kalemlerin zaten mevcut olduğundan dikkate alınmadı.

Tablo 31: MBR Elektrik Otomasyon Maliyeti

No	Yapılan İşin Cinsi	Miktar (Lot)	Birim Fiyat (Euro)	Toplam (Euro)	Açıklama
1	Enerji Temini ve Nakil İşİ	1	2.000,00	2.000	Yeni ekipmanlar içindir.
2	Saha Aydınlatma İşİ	1	0,00	0,00	Tesis mevcut olduğundan sıfır girildi.
3	PLC-SCADA Otomasyon ve Uzaktan İzleme İşleri mevcut sisteme entegre edilme işleri	1	2.000,00	2.000,00	Tesis mevcut olduğundan sıfır girildi.
4	Güç-Kumanda-Besleme ve Sinyal Kablolama İşİ	1	1.000,00	1.000,00	Yeni ekipmanlar ve enstrümanlar içindir.
5	Kamera ve Çevre Güvenlik Sistemleri	1	0,00	0,00	Tesis mevcut olduğundan sıfır girilmiştir.
6	Yıldırımdan Korunma İşleri	1	0,00	0,00	Tesis mevcut olduğundan sıfır girilmiştir.
7	Gaz Alarm Sistemi-komple işçilik dahil-exzone	1	0,00	0,00	Tesis mevcut olduğundan sıfır girilmiştir.
ELEKTRİK OTOMASYON TOPLAM MALİYETİ				5.000 €	

4.3.2.6. İnşaat Maliyet

Tesis mevcut olup yeni yapılacak inşaat işlemi bulunmamaktadır. MBR sistemi mevcut olan havalandırma havuzuna entegre edilecektir.

4.3.2.7. Montaj ve Devreye Alma Maliyetleri

Montaj ve devreye alma maliyeti, ekipman montaj ve devreye alma süresince sahada bulunan personel maaşları, iş sağlığı ve güvenliği için gereken önlemlerin maliyeti, personel yeme içme ve konaklama, gerekli vinç ve usta ve yardımcıları için ödemeleri kapsamaktadır. Membran biyoreaktör sisteminin mevcut sisteme entegre edilmesi için kaynaklan montaj maliyeti Tablo 32'de özetlenmiştir.

Tablo 32: MBR Montaj Maliyeti

No	Yapılan İşin Cinsi	Birim	Miktar	Birim Fiyat (Euro)	Toplam (Euro)	Açıklama
1 ay	Şantiye Şefi (İnşaat Müh), 10 yıl deneyim	adam.ay	0	2.170,95	0,00	İnşaat işleri olmadığından şantiye şefi kalemi sıfır girildi
1 kişi	Yemek	adam.gün	0	5,57	0,00	
	İSG Kıyafet	Lot	0	65,41	0,00	
1 ay	Çevre Mühendisi, 2 yıl deneyim	adam.ay	1	2.170,95	2.170,95	
1 kişi	Yemek	adam.gün	26	5,57	144,73	
	İSG Kıyafet	Lot	1	65,41	65,41	
1 ay	Makine Mühendisi, 2 yıl deneyim	adam.ay	1	2.170,95	2.170,95	
1 kişi	Yemek	adam.gün	26	5,57	144,73	
	İSG Kıyafet	Lot	1	65,41	65,41	
1 ay	Elektrik Mühendisi, 2 yıl deneyim	adam.ay	1	2.170,95	2.170,95	
1 kişi	Yemek	adam.gün	26	5,57	144,73	
	İSG Kıyafet	Lot	1	65,41	65,41	
1 ay	Harita Teknikeri	adam.ay	0,5	1.636,56	818,28	
1 kişi	Yemek	adam.gün	13	5,57	72,36	
	İSG Kıyafet	Lot	1	65,41	65,41	
	Araç kirası-1 araç	ay	1	350	350	
	Ev Kirası + su ve elektrik + yemek vb masraflar ile	ay	0	850	0,00	
	Benzin	ay	1	350	350	
	İSG Hizmet Alımı	ay	1	218,26	218,26	
	İmalatçıların	ay	0	1308,14	0	
	Monoray-Biyolojik Arıtma Binası, 2 ton	Ad	1	5.600	5.600	Membran modüllerin montajı için gereklidir.
Montaj ve devre alma maliyeti					14.617,58	

4.3.2.8. Mevcut Arıtma Sistemine Aerobik MBR Sisteminin Entegrasyonunun Toplam Maliyeti

Örnek olarak incelen tekstil firmanın mevcut atıksu arıtma tesisi suyun yeniden kazanım çalışmalarına yönelik yapılan MBR entegrasyon maliyeti Tablo 33’de özetlenmiştir.

Tablo 33:Mevcut Tesise MBR Entegrasyon Maliyeti

No	Yapılan İş	MALİYET (Euro)	Açıklama
1	TOPLAM TASARIM MALİYETİ	21.900	
2	ÖN ARITMA ÜNİTESİ TOPLAM MALİYETİ	25.000	
3	MBR ÜNİTESİ TOPLAM MALİYETİ	153.308	
4	BORULAMA TOPLAM MALİYETİ	1.449,36	
5	ENSTRÜMANLARIN TOPLAM MALİYETİ	6.038	
6	ELEKTRİK OTOMASYON TOPLAM MALİYETİ	5.000	
7	İNŞAAT MALİYETİ	0	MBR sistemi mevcut sisteme entegre edilecektir. İnşaat işi yoktur.
8	MONTAJ VE DEVRE ALMA MALİYETİ	14.617,58	
	TOPLAM KURULUM MALİYET	227.312,94	

4.3.3. İncelenen Tesisin Atıksu Geri Kazanımı İçin Oluşan Maliyet

4.3.3.1. Ters Osmoz Sisteminin Maliyeti

Ters osmoz sistemi bir paket arıtma sistemi olup 40 ft'lik bir konteyner içinde kurulması planlanmıştır. Sistem için Mann+ Hummel firmasından teklif alınmıştır. Teklif sistemin çalışması için gerekli olan tüm üniteleri kapsamış olup maliyet detayları Tablo 34'te verilmiştir.

4.3.3.2. İncelenen Tesis İçin Oluşan Toplam Atıksu Geri Kazanım Maliyeti (MBR+RO)

İncelenen tesisin atıksuyunu sitemde proses suyu olarak yeniden kullanımı için mevcut tesis iyileştirilerek, membran biyoreaktör (MBR) ve ters osmoz (RO) sistemi tasarlanmış ve oluşan toplam maliyetler Tablo 35'te özetlenmiştir.

Tablo 34:Ters Osmoz Sistemin Kurulum Maliyeti

No	Yapılan İşin Cinsi	Birim	Miktar	Birim Fiyat (Euro)	Toplam (Euro)	Açıklama
1	Konteyner 40 ft HC	Ad.	1	3.000,00	3.000,00	
2	Ters Osmoz Membranları (BW30XFR-400/34i; 1 kademeli; 2 aşamalı; 6 kılıflı)	Ad.	2	22.000,00	44.000,00	
3	Aktif Karbon filtreleme sistemi	Ad.	1	12.500,00	12.500,00	
4	RO Besleme Pompası	Ad.	2	7.000,00	14.000,00	
5	Antiskalant Dozaj Ünitesi	Ad.	1	1.000,00	1.000,00	
6	Sistem Enstrümanları(debimetre, seviye ve basınç göstergeleri)	Set	1	5.000,00	5.000,00	
7	Sistem MCC+PLC Panosu + kablolama	Set	1	10.000,00	10.000,00	
8	Sistem Borulaması	Ad	1	3.000,00	3.000,00	
9	Konteyner Boyama Bedeli	set	2	106,00	212,00	
10	Konteyner Taban Sac ve İzolasyon Köşebent	kg	1200	6,00	7.200,00	
11	Konteyner Giydirme İş	Ad	1	100,00	100,00	
12	İzolasyon	m2	110	50,00	5.500,00	
13	Klima	Ad	1	908,61	908,61	
14	Elektrikli Isıtıcı	Ad	1	1.000,00	1.000,00	
15	İç nakliye & Vinç	Ad	1	1.000,00	1.000,00	
16	Fan	Ad	1	250,00	250,00	
17	Devre alma işlemleri	Set	1	5.000,00	5.000,00	
TERS OSMOZ SİSTEMİ KURULUM MALİYETİ					113.670,61	

Tablo 35:Suyun Yeniden Kullanımı İçin Kurulum Maliyeti

NO	YAPILAN İŞLEM	MALİYET (EURO)	AÇIKLAMA
1	TERS OSMOZ SİSTEMİ MALİYETİ	113.670,61	
2	MBR MALİYETİ	227.312,94	
TOPLAM KURULUM MALİYETİ		340.983,55	

5. TARTIŞMA

Tez kapsamında yapılan çalışmalarda tekstil endüstrisi atıksularının membran biyoreaktör ile arıtma tasarımlarında elde edilen KOİ ve AKM verimleri sırasıyla %95 ve %99,99 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, Sun ve diğ.'nin (2015) tekstil atıksuyu içindeki tekstil yardımcı maddeleri (TA), organik bileşiklerin ve azotun giderimi için deneysel olarak yaptıkları anaerobik-anoksik-aerobik membran biyoreaktör sisteminde (A₂O-MBR) elde ettikleri sonuçlarla uyumludur. Sun ve diğ., çalışma sonunda %98 KOİ verimi elde etmişlerdir. Ayrıca Friha ve diğ.'inin (2015) yaptıkları çalışmalarda MBR sisteminin 7 ay boyunca çalıştırılması sonucunda tekstil atıksuyundan renk giderimini %100, KOİ giderimini %98, BOD₅ giderimini %96 ve AKM (Amonyum Nitrojen) giderimini ise %100 olarak belirlemişlerdir. Bu çalışmanın sonuçları da KOİ ve AKM giderimi açısından bu tez kapsamında yapılan çalışma ile uyumlu olarak görülmüştür. Bu çalışmada tekstil atıksularından renk giderimi hedeflenmemiştir. Ancak tekstil atıksularından membran biyoreaktör sistemler ile renk giderim verimi genel olarak %70 ile %90 arasında olduğu bilinmektedir. Bu durum, Özan ve diğ. (2015) tarafından yaptıkları MBR ile 10 günlük arıtım sonuçlarında da %70 olarak ifade edilmiştir. Bu sonuçlar, sistemin tekstil atıksularını arıtmak için etkili bir çözüm olduğunu ve gelecek için umut vaat ettiğini vurgulamışlar. Bunun yanında Spagni ve diğ. (2012) çalışmalarında reaktif orange 16 kullanarak MBR'ler tarafından çok yüksek renk giderme oranının (%99'dan daha yüksek) sağlanabileceğini göstermiştir.

Tekstil atıksularının MBR sistemleri ile arıtılmasında literatürde genel olarak arıtma verimi üzerinde durulmuştur. Ancak, tekstil endüstrisi atıksularının biyolojik arıtılmasında karşılaşılan besi maddesi eksikliği konularında çalışmalar bulunmamaktadır. Bu tez kapsamında yapılan literatür çalışmalarında rastlanılmayan bu nütrient eksikliği konusuna alternatif çözümler üretilmiştir. Bu çalışmada, nütrient eksikliği tespit edilerek efektif biyolojik arıtma için gereken C/N/P oranları sağlanmıştır. Efektif biyolojik arıtma için C/N/P oranı 100/5/1 olması beklenmektedir. Fakat tekstil endüstri atıksularında azot (N) ve fosfor (P) nütrientlerinden biri veya ikisi de eksik olabilir. Bu nedenle biyolojik arıtma verimi istenildiği gibi olmamaktadır. Bu çalışmada, özgün olarak nütrient eksikliği sorununun çözülebilmesi için nütrient kaynağı olarak hayvansal gübre (Tavuk-güvercin) ve yapay gübreler (DAP, DAP+Üre) kullanılmış ve ihtiyaç duyulan nütrient eksikliği giderilmiştir. Dolayısıyla membran biyoreaktörlü aerobik sistemin verimi %95'e yükselebilmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, dünya genelinde en fazla proses suyu kullanan ve aynı zamanda en fazla atıksu üreten faaliyetlerden biri olan tekstil endüstri için atıksularını geri kazanmak amacıyla yenilikçi yaklaşımlar kullanılarak tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, bir tekstil firmasının ham atıksu karakterizasyonu ve mevcut arıtma tesisi prosesleri gözönünde bulundurularak mevcut tesisin sorunlarının belirlenmesi, tesisin arıtma veriminin iyileştirilmesi ve atıksu geri kazanımı için çalışmalar (tasarımlar) yapılmıştır. Ayrıca, tez kapsamında mevcut arıtma tesisi için belirlenen tüm iyileştirme ve atıksu geri kazanım faaliyetlerinin yaklaşık maliyetleri hesaplanmıştır.

6.1. ATIKSU ARITMA TESİSİNİ İYİLEŞTİRME VE ATIKSU GERİ KAZANIM ÇALIŞMALARI

Çalışma kapsamında incelenen tesisin atıksu arıtma tesisinde fiziksel, biyolojik ve kimyasal arıtma prosesleri bulunmaktadır. Tesisin ham atıksuyu özellikleri incelendiğinde biyolojik arıtma için gerekli olan majör nütrientlerin eksikliği (Azot ve Fosfor) görülmüştür. Bu nedenle tesiste biyolojik arıtmanın yeterli verimi sağlamadığı, akabinde kimyasal arıtma ünitelerinin sisteme dahil edildiği düşünülmektedir. Öncelikle biyolojik arıtma verimini artırmak ve dolayısıyla kimyasal arıtmayı devre dışı bırakabilmek için bu tez kapsamında nütrient eksikliğini gidermeye (tamamlamaya) yönelik senaryolar geliştirilmiştir. Bu amaçla, hem haysansal gübreler (Tavuk-Güvercin gübresi) hem de yapay gübrelerin (DAP ve DAP +Üre gibi) bu eksikliği tamamlama alternatifleri üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmaların sonunda besi maddesi eksikliği tamamlamak için en optimum seçeneğin günlük 13, 37 kg DAP ve 68,13 kg Üre ile DAP +Üre olduğu belirlenmiştir.

Tesisin sadece biyolojik arıtma ile ilgili deşarj standartlarının sağlayabilmesi için nütrient eksikliğini tamamlama yanında sisteme yenilikçi bir yaklaşımla MBR entegrasyonu için tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Bu sayede sürekli bir maliyet oluşturan kimyasal arıtmaya alternatif bir arıtma oluşturulmak istenmiştir. Bu amaçla, havalandırma havuzu ve MBR hacmi, membran tipi, KOI verimi, gerekli olan oksijen miktarı ve blower kapasitesi hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre sistem için gerekli olan havalandırma havuzu ve MBR hacmi toplam 187,2 m³, MBR tasarımında MANN + HUMMEL tarafından üretilen BİO-CEL L+480 membranlar seçilmiş ve sistemin KOI arıtma verimi %99.27 gibi çok

yüksek bir değer bulunmuştur. Sistemde havalandırma için toplam difüzör sayısı 307 adet, blower kapasiteleri (Havalandırma havuzu ve MBR için) sırasıyla 1378 m³hava/sa ve 450 m³hava/sa olarak tespit edilmiştir.

Sistemde proses suyu olarak kuyudan alınan su yumuşat işlemi uygulanarak iletkenliğini 100 µsm/cm altına düşürülerek kullanılmaktadır. Tesisin bu tez kapsamında tasarlanan MBR ilaveli atıksu arıtma tesisi çıkış suyunun geri kazanılarak proses suyu olarak kullanılması için sisteme ters osmoz (RO) ünitesi ilave edilmesi için tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, iletkenliği 1400 µsm/cm olan giriş suyunun RO sisteminden çıkış iletkenliği 100 µsm/cm altına olacak şekilde WAVE ters osmoz projeksiyon programının DEMO verisyonu kullanılarak tasarımlar gerçekleştirildi. Yapılan tasarımların sonunda tek kademeli iki aşamalı ve BW30XFR-400/34i tipi membran kullanılarak RO sistemi ile istenilen özellikte çıkış suyu elde edilebileceği belirlenmiş oldu.

6.2. YAPILAN ÇALIŞMALARIN (TASARIMLARIN) MALİYET ANALİZİ

Tez kapsamında incelenen tekstil firmasının atıksu arıtma tesisinin iyileştirilmesi ve atıksu geri kazanımı tasarımları için piyasa ve internet ortamında bulunan fiyatlardan faydalanılarak ekonomik analizlerde gerçekleştirilmiştir. Biyolojik arıtma prosesinde gerekli olan olan nütrient eksikliğini tamamlama alternatifleri için yapılan çalışmalarda günlük maliyetler tavuk ve güvercin gübresi için 278 Euro, DAP için 202,5 Euro ve DAP +Üre için ise 73,5 Euro olarak hesaplanmıştır. Buna göre optimum seçenek DAP +Üre olarak (73,5 Euro) seçilmiştir.

İncelenen tesisin biyolojik arıtma prosesi çıkış suyunun kalitesini artırmak için tez kapsamında gerçekleştirilen ilave MBR sistemi için iyileştirme maliyeti 227.312,94 Euro olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla, tesise 227.312,94 euro'luk yatırımı ile daha kaliteli bir deşarj suyu (AKM=0 mg/L; KOİ<10 mg/L) elde edilebilmektedir. Membran biyoreaktörden çıkan su, fabrikanın proses suyu olarak tekrar kullanılabilmesi için ters osmoz sistemi düşünülmüştür. Tekstil fabrikasında proses suyu olarak günlük 420 m³ (17,5 m³/saat) su kullanılmaktadır Dolayısıyla RO besleme suyu debisi olarak 600 m³/gün dikkate alınarak %70 kazanımı ile 420 m³/gün ters osmoz ürün suyu elde edilebilmektedir. Tesise gelen atıksuların MBR+RO sisteminde arıtma maliyeti 340.983,55 Euro olarak hesaplanmıştır.

Sonuç olarak, su kaynaklarının sürekli kirlendiği ve temiz suya erişimin gün geçtikçe daha da zorlaştığı günümüzde susuz teknolojilerin kullanılması, sarfiyatlarının azaltılması veya sıfır su deşarjı konseptine uygun proseslerin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, son yıllarda, iklim değişikliği ile mücadele çabaları hızlanmakta ve Yeşil Mutabakat ve Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması gibi düzenlemeler yapılmaktadır. Yakın bir gelecekte, tekstil endüstrisi de dahil olmak üzere tüm endüstriler bu düzenlemelere uyum sağlamak zorunda kalacaklardır. Bu kapsamda firmalar sürdürülebilirlik çalışmalarını sadece karbon ayak izini değil aynı zamanda su ayak izlerini azaltma çalışmalarını hem kendileri gerçekleştirecekler hem de tedarikçilerinden isteyeceklerdir.. Bu nedenle bu tez kapsamında yapılan çalışmalar, atıksuların yeniden kullanma potansiyellerini gösterme açısından son derece önemli ve bu tip çalışmaları gerçekleştirecek olanlar için bir yol gösterici olma niteliğinde olan çalışmalardır. Özellikle, tekstil endüstrisi gibi su ihtiyacı ve oluşturduğu atıksu miktarı yüksek olan endüstriler için aslında deşarj edilen her metreküp su, kazanılması gereken ve sistemde yeniden kullanılması gereken bir sudur. Bu çalışma sonucunda da görüldüğü gibi yaklaşık 350 bin Euro taturındaki bir yatırımla incelen tesis ve benzerlerinin atıksuları geri kazanılabilir ve proseste yeniden kullanılabilir. Bu sayede hem kimyasal arıtma gibi ilave arıtım maliyetleri hem de proses suyu için kuyu suyu yumuşatma maliyetleri azaltılmış olur. Kullanılan kuyu suyunun azalması ile yeraltı su kaynaklarının sürdürülebilirliği de sağlanmış olunur.

KAYNAKLAR

- Akgül, D., 2006, Türkiye’de ters osmoz ve nanofiltrasyon sistemleri ile içme ve kullanma suyu üretiminin maliyet analizi
- Aktan, B., 2011, *Tekstil atıksuyunda TiO₂ nano partiküllerinin oluşumu, taşınımı ve kimyasal arıtımı*, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Ardalı, Y., 2021, *Tekstil Endüstrisi Atıksu Kaynakları ve Özellikleri* Boyama[https://avys.omu.edu.tr › public ›](https://avys.omu.edu.tr/public),
- Azhimetova, G. 2010, Current State of the Cotton and Textile Industry in Kazakhstan, *Perspectives of Innovations, Economics & Business*, 5(2), 37-40.
- Başkan, T., 2006, *Arıtılmış Evsel Atıksuların Tarımda Sulama Amaçlı Yeniden Kullanılması*, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Çevre Mühendisliği, 111s.
- Çetin, M., Ecevit, E., 2008, İhracatın Sürükleyici Gücü Olarak Tekstil Sektörü: Kahramanmaraş İli Örneği, *Celal Bayar Üniversitesi İ.İ.B.F. Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, 15(2), 115-132.
- Çoban, O., KÖK, R., 2005, Türkiye Tekstil Endüstrisi ve Rekabet Gücü: AB Ülkeleriyle Karşılaştırmalı Bir Analiz Örneği (1989–2001), *İktisat, İşletme ve Finans Dergisi*, 20(228), 68-81.
- De Jager, D., Sheldon, M. S. & Edwards, W., 2014, Colour removal from textile wastewater using a pilot-scale dual-stage MBR and subsequent RO system. *Separation and Purification Technology*, 135: 135–144.
- Eroğlu, V., 2015, *Atıksuların tasfiyesi*, Ankara, Orman ve Su İşleri Bakanlığı Yayını, ISBN:978-975-92794-2-4
- Friha, I., Bradai, M., Johnson, D., Hilal, N., Loukil, S., Amor, F. B., Feki, F., Han, J., Isoda, H. & Sayadi, S. (2015). Treatment of textile wastewater by submerged membrane bioreactor: In vitro bioassays for the assessment of stress response elicited by raw and reclaimed wastewater. *Journal of Environmental Management*, 160: 184-192.
- Göksel, Z.,, 2019, *Çapraz Akışlı Seramik Membran Sistemi İle Ağaç Endüstrisi Atıksularının Geri Kazanımı*
- Gürgen, Y., 2024, Pamuk Yetiştiriciliği, *Ç.Ü. Tarımsal Yayın, Arştırma ve Uygulama Merkezi*
- Inc. Metcalf & Eddy (Author), George Tchobanoglous (Author), Franklin Burton (Author), H. David Stensel(Author), 2002, *Waste Water Engineering treatment and reuse*

Jegatheesan, V., Pramanik, B. K., Chen, J., Navaratna, D., Chang, C. Y. & Shu, L., 2016, Treatment of textile wastewater with membrane bioreactor: A critical Review. *Bioresource Technology* 204: 202–212.

Kaya, Y., 2007, Nanofiltrasyon ile proses sularından organik maddelerin geri kazanımının araştırılması

Keane, J., Te Velde, D.W., 2008, The Role of Textile and Clothing Industries in Growing and Development Strategies, Final Draft, *Overseas Development Institute*, UK.

Lotito, A. M., Sanctis, M. D., Iaconi, C. D. & Bergna, G., 2014, Textile wastewater treatment: Aerobic granular sludge vs activated sludge systems. *water research* 54: 337-346.

Mazharul Islam Kiron, 2021, Water Consumption in Textile Processing Industry, *Textile learner*

Niren, P. & Jigisha, P., 2011, Textile wastewater treatment using a UF hollow-fibre submerged membrane bioreactor (SMBR). *Environmental Technology*, 32 (11): 1247-1257.

Öztürk, İ., 2017, *Atıksu Mühendisliği*, İSKİ, İstanbul, ISBN: 0000511-3

Ravelonandrasana Fetisoa Monia, 2019, Carcterisation physico–chimique des effluents d'une industrie textile et essais d'amelioration du systeme d'epuration

Sahinkaya, E., Yurtsever, A. & Çınar, Ö., 2017, Treatment of textile industry wastewater using dynamic membrane bioreactor: Impact of intermittent aeration on process performance. *Separation and Purification Technology* 174: 445–454.

Selma B., Ocak 2004, *Tekstil endüstrisi atıksularının geri kazanımı ve yeniden kullanılması*, yüksek lisans tezi, İTÜ Çevre Mühendisliği, 3s

Sert., G., Nisan 2015 Membran biyoreaktör (MBR) prosesi ile arıtılan endüstriyel atıksuların yeniden kullanımı için membran teknolojilerin uygulanması, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi

Spagni, A., Casu, S. & Grilli, S., 2012, Decolourisation of textile wastewater in a submerged anaerobic membrane bioreactor. *Bioresource Technology* 117: 180– 185.

Sun, F., Sun, B., Hu, J., He, Y. & Wu, W., 2015, Organics and nitrogen removal from textile auxiliaries wastewater with A2O-MBR in a pilot-scale. *Journal of Hazardous Materials* 286: 416–424.

Şahinkaya, E., Yurtsever, A. & Çınar, Ö., 2017. Treatment of textile industry wastewater using dynamic membrane bioreactor: Impact of intermittent aeration on process performance, *Separation and Purification Technology* 174: 445–454.

Şekerdağ, N., 2023, *Atıksu Arıtma Tesislerinin Projelendirilmesi*, Nobel yayınevi, Ankara

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2022, Sektörel atık kılavuzları, Tekstil ve hazır giyim sektörü

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2023, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü Alata Bahçe Kùltürleri Araştırma Enstitüsü, Mersin

Tandon, N., Reddy, E.E. (2013). A Study on Emerging Trends in Textile Industry in India, *AMET International Journal of Management*, 5(5), 81-88.

Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2021, *Tekstil Sektöründe Temiz Üretim Uygulamaları Projesi İşi Nihai Raporu*, Gebze Teknik Üniversitesi,

UNESCO, 2024, World Water Development Report dedicated to Water for Prosperity and Peace by *The Water Diplomat*

URL 1: <https://124.im/uKO> 10.06.2024

URL 3: <https://124.im/EjbDH> 10.06.2024

URL 4: <https://124.im/OPEj> 10.06.2024

URL 5: <https://124.im/6xoje> 10.06.2024

URL2: <https://124.im/fmnoj>, 10.06.2024

Yetgin M., 2010, *Organik gübreler ve önemi*, T.C. Samsun valiliği, İl Tarım Müdürlüğü

You, S. J., Tseng, D. H., Ou S. H. & Chang, W. K., 2010, Performance and microbial diversity of a membrane bioreactor treating real textile dyeing wastewater. *Environmental Technology*, 28 (8): 935-941.

Yurtsever, A., Calimlioglu, B. & Sahinkaya, E., 2017, Impact of SRT on the efficiency and microbial community of sequential anaerobic and aerobic membrane bioreactors for the treatment of textile industry wastewater. *Chemical Engineering Journal* 314: 378–387.

İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI

4801220213-Saidou KINDA

ORJİNALLIK RAPORU

%20

BENZERLİK ENDEKSİ

%19

İNTERNET KAYNAKLARI

%4

YAYINLAR

%9

ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	Submitted to The Scientific & Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) Öğrenci Ödevi	%5
2	polen.itu.edu.tr İnternet Kaynağı	%5
3	acikbilim.yok.gov.tr İnternet Kaynağı	%3
4	dergipark.org.tr İnternet Kaynağı	%1
5	docplayer.biz.tr İnternet Kaynağı	%1
6	www.hurriyet.com.tr İnternet Kaynağı	%1
7	Toplaoğlu, Duygu. "Tübüler Membran Biyoreaktörün Atıksu Arıtma Verimine Etki Eden Parametrelerin Araştırılması", Sakarya Üniversitesi (Turkey), 2022 Yayın	<%1
8	docs.neu.edu.tr İnternet Kaynağı	<%1

KURUM İZİNİ YAZILARI

Uyarı: Canlı ve cansız deneklerle yapılan tüm çalışmalar için kurum izin belgelerinin eklenmesi zorunludur. Gizlilik ve mahremiyet içeren durumlarda kurum adı kapatılmalıdır.

- Kurum izni gerekmektedir.
- Kurum izni gerekmemektedir.

Öğrenci Adı SOYADI
(İmza)

