



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**İÇME SUYU KAYNAKLARININ ARITIMINDA MEMBRAN
TEKNOLOJİLERİNİN ETKİNLİĞİNİN İSTATİSTİKSEL
YÖNTEMLER İLE BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Zeynep UÇAK

DANIŞMAN

Doç. Dr. Alper ALVER

AKSARAY, 2023

Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 212301422 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi, **Zeynep UÇAK** tarafından hazırlanan “**İÇME SUYU KAYNAKLARININ ARITIMINDA MEMBRAN TEKNOLOJİLERİNİN ETKİNLİĞİNİN İSTATİSTİKSEL YÖNTEMLER İLE BELİRLENMESİ**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Alper ALVER

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Prof. Dr. Levent ALTAŞ

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Mesut AK

Pamukkale Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 22.06.2023

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, çalışmamda kullandığım verilerin orijinallliğini ve her türlü intihalden uzak olduğunu beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

Zeynep UÇAK



TEŞEKKÜR

Tez sürecinde desteğini esirgemeyen, değerli bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, her zaman çözüm odaklı yaklaşımları ile yol gösteren, birlikte çalışmaktan ve öğrencisi olmaktan gurur duyduğum değerli danışman hocam Doç. Dr. Alper ALVER'e teşekkür ederim.

Hayatım boyunca her konuda beni destekleyen aileme özellikle sevgili anneme ve babama teşekkür ederim. Hayatımın her alanında olduğu gibi tez sürecinde de bana yardımcı olan, desteyen ve yüreklendiren sevgili eşim Serhat UÇAK'a, bu hazırlık sürecinde gülümsemeleriyle beni motive eden küçük kızlarıma sonsuz teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR.....	3
2.1 İçme Suları	3
2.1.1 İçme suyu kaynakları	3
2.1.1.1 Yüzeysel sular	4
2.1.1.2 Yeraltı suları.....	4
2.1.2 Su kalite bileşenleri.....	5
2.1.3 Suyun özellikleri	6
2.2 Arıtma Metotları	6
2.3 Membran Filtrasyon	7
2.3.1 Membranların sınıflandırılması	8
2.3.1.1 Gözenek çapı.....	8
2.3.1.2 Geometrik şekil	8
2.3.1.3 Morfoloji.....	11
2.3.1.4 Malzeme.....	12
2.3.1.5 Ayırma işlemi.....	13
2.3.2 Membran filtrasyon uygulamaları	13
2.3.3 Basınç tahrikli membran prosesleri	14
2.3.4 Hibrit membran prosesleri	15
2.3.5 Membran filtrasyonunu etkileyen parametreler.....	17
2.3.5.1 Trans membran basıncı (TMB).....	17
2.3.5.2 Akı.....	18
2.3.5.3 Kirlletici konsantrasyonu	18
2.3.5.4 Membran tabaka yoğunluğu	19
2.3.5.5 Sıcaklık	19
2.3.5.6 Geri yıkama.....	19
2.3.5.7 Membranın kullanım ömrü	19
2.3.5.8 Ortam pH değeri	20
2.3.5.9 Antiskalant kullanımı.....	20
2.3.5.10 Ön arıtım	21
2.3.5.11 Tıkanma ve diğer sorunlar	21
2.4 Yapay Sinir Ağları	23
2.4.1 Yapay sinir ağlarının tanımı ve tarihçesi	23
2.4.2 YSA'ların üstünlükleri, sakıncaları ve kullanıldığı alanlar	24
2.4.3 Yapay sinir ağlarının bileşenleri	26
2.4.4 Yapay sinir ağlarının yapısı	26
2.4.5 Yapay sinir ağı sınıflamaları.....	27
2.4.6 Yapay sinir ağlarının tasarımı.....	29
2.4.7 Çoklu cevap problemlerinde yapay sinir ağlarının kullanılması	29
3. MALZEME VE YÖNTEM	30

3.1 Membran Filtrasyon Arıtma Tesisı	30
3.1.1 Ön arıtım	31
3.1.2 Ultrafiltrasyon ünitesi	31
3.1.3 Kartuş filtre	32
3.1.4 Ters osmoz ünitesi	32
3.1.5 Geri yıkama ve kullanılan kimyasallar	33
3.2 Analiz Metotları	34
3.3 İstatistiksel Analizler	34
3.3.1 Temel bileşenler analizi	34
3.3.2 Çoklu regresyon analizi	34
3.3.3 Yapay sinir ağı	35
3.3.4 Çalışma, doğrulama ve test setlerinin hazırlanması	36
3.3.5 Verilerin normalleştirilmesi	37
3.3.6 YSA modelinin performansı	37
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	39
4.1 İçme Suyu Karakterizasyonu	39
4.2 Su Kalite Parametrelerinin Filtrasyon Aşamaları İle İlişkilendirilmesi	41
4.2.1 Ön arıtım	41
4.2.2 Ultrafiltrasyon ünitesi	41
4.2.3 Ters osmoz (TO) ünitesi	43
4.3 Arıtma Tesisı Performansına Etki Eden Faktörler	44
4.3.1 pH	44
4.3.2 Sıcaklık	44
4.4 Yapay Sinir Ağı Modeli	45
4.4.1 Girdi	45
4.4.2 Çıktı	48
4.4.3 Model	53
5. SONUÇ	57
KAYNAKLAR	58
ÖZGEÇMİŞ	62

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İÇME SUYU KAYNAKLARININ ARITIMINDA MEMBRAN TEKNOLOJİLERİNİN ETKİNLİĞİNİN İSTATİSTİKSEL YÖNTEMLER İLE BELİRLENMESİ

Zeynep UÇAK

Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Alper ALVER

ÖZET

Su, tüm canlıların yaşamlarını sürdürebilmeleri için hayati bir öneme sahiptir. Artan nüfus, iklimdeki değişiklikler ile hızla gelişen endüstri, su kaynaklarının miktarını ve kalitesini etkilemektedir. Bu durum su arıtımı konusunu gün geçtikçe önemli bir noktaya getirmektedir. Su arıtımı birçok farklı tekniği içermekte olup su kalite parametrelerinin arıtım metotları incelendiğinde bazı parametreler için ileri teknoloji arıtım metotlarının kullanılmasının kaçınılmaz olduğu görülmektedir. Son yıllarda ülkemizde de içme suyu arıtımında membran filtrasyon prosesleri yaygın olarak uygulanmaktadır.

Bu çalışma ile yüzeysel bir su kaynağının kalitesi mevsimsel olarak takip edilmesi ve tam ölçekli bir arıtma tesisinde arıtılması esnasında membran teknolojilerinin etkinliğinin, giderim verimliliğinin ve istatistiksel yöntemlerle belirlenmesi hedeflenmiştir. Çalışma kapsamında, sert su kaynağı olan barajdan beslenen ters osmoz membran bazlı filtrasyon tesisi incelenmiştir. Ultrafiltrasyon ve ters osmoz proseslerinin giriş ve çıkış suyu üzerinde yıllık olarak 44 parametreyi kapsayan yaklaşık 1250 su kalitesi analizi yapılmıştır.

Temel Bileşen Analizi (TBA) ile Yapay Sinir Ağı (YSA) modeli için önemli parametreler belirlenmiştir. Ultrafiltrasyon ve ters osmoz proseslerinin, izlenen parametrelerin arıtımı konusunda verimli performans gösterip göstermediği araştırılmıştır. Tüm iyonlar arasındaki korelasyon test edilmiş ve iletkenliğin diğer parametreleri temsil eden en yüksek korelasyon olduğu bulunmuştur. Bundan sonra, giriş suyu kalitesi parametrelerinin sayısını azaltmak için TBA uygulanmıştır. YSA modelinin uygunluğu, ortalama kare hatalarının ($0.00293 < 0.01$) değerlendirilmesiyle belirlenmiştir. Oluşturulan model, iletkenlik kullanılarak arıtma tesisi verimliliğinin değerlendirilmesi için faydalı olmuştur. İzleme çalışmaları ile ön arıtma işlemlerinin tek/çok değerlikli iyonların ayrılması için uygun olmadığını sonucu elde edilmiştir. UF membranlarının mikrobiyal ve nitrojen parametreleri için etkili olduğu ve RO membranlarının öncelikli tehlikeli madde olarak tanımlanan anyon ve metallerin ayrılması için verimli olduğu sonuçları elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Membran teknolojileri, Ters osmoz, Ultrafiltrasyon, İçme suyu arıtımı, Temel bileşenler analizi, Yapay sinir ağları.

Ağustos, 2023; 61 sayfa

M.Sc. THESIS

DETERMINING THE EFFICIENCY OF MEMBRANE TECHNOLOGIES IN THE TREATMENT OF DRINKING WATER RESOURCES BY STATISTICAL METHODS

Zeynep UÇAK

**Aksaray University
Science Institute
Department of Environmental Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Alper ALVER

ABSTRACT

Water is vital for the survival of all living things. Increasing population, changes in climate and rapidly developing industry affect the quantity and quality of water resources. This situation brings the issue of water treatment to an important point day by day. Water treatment includes many different techniques and when the treatment methods of water quality parameters are examined, it is seen that it is inevitable to use advanced technology treatment methods for some parameters. In recent years, membrane filtration processes have been widely applied in drinking water treatment in our country.

In this study, it is aimed to determine the efficiency, removal efficiency and statistical methods of membrane technologies during seasonal monitoring of the quality of a surface water source and treatment in a full-scale treatment plant. Within the scope of the study, a reverse osmosis membrane-based filtration plant fed from the dam, which is a hard water source, was examined. Approximately 1250 water quality analyzes covering 44 parameters were carried out annually on the inlet and outlet water of ultrafiltration and reverse osmosis processes.

Important parameters were determined for the Artificial Neural Network (ANN) model with Principal Component Analysis (PCA). It has been investigated whether ultrafiltration and reverse osmosis processes show efficient performance in the purification of the monitored parameters. Correlation between all ions was tested and conductivity was found to be the highest correlation representing other parameters. After that, TBA was applied to reduce the number of inlet water quality parameters. The suitability of the ANN model was determined by evaluating the mean square errors ($0.00293 < 0.01$). The created model was useful for evaluating the efficiency of the treatment plant using conductivity. With the monitoring studies, it was concluded that the pretreatment processes are not suitable for the separation of mono/polyvalent ions. It has been concluded that UF membranes are effective for microbial and nitrogen parameters, and RO membranes are efficient for separation of anions and metals, which are defined as priority hazardous materials.

Keywords: Membrane Technologies, Reverse osmosis, Ultrafiltration, Drinking water treatment, Principal components analysis, Artificial neural networks

August, 2023; 61 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Su kaynaklarının küresel dağılımı.	4
Şekil 2.2. Genel çalışma prensibi.	7
Şekil 2.3. Gözenek çapına göre membran prosesler.	8
Şekil 2.4. Tübüler (Borusal) membran modülü.	9
Şekil 2.5. Spiral sargılı membran modülü.	10
Şekil 2.6. Hollow fiber membran modülü.	10
Şekil 2.7. Levha çerçeve membran modülü.	11
Şekil 2.8. Membranların morfolojilerine göre sınıflandırılması.	11
Şekil 2.9. Membran proseslerde basınç- akı ilişkisi.	17
Şekil 3.1. İçme suyu arıtma tesisi akım şeması.	30
Şekil 3.2. YSA modelinin akış diyagramı.	36
Şekil 4.1. Ultrafiltrasyon ünitesi süzüntü suyu karakterizasyonu.	43
Şekil 4.2. Ters osmoz ünitesi süzüntü suyu karakterizasyonu.	44
Şekil 4.3. Birikim eğim grafiği.	45
Şekil 4.4. (a) çalışma, (b) doğrulama, (c) test ve (d) tüm verilerin ysa model sonuçları ile korelasyonu.	54

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Sularda bulunan kirleticilere göre hibrit membran sistemlerinin yerleşimi.....	16
Çizelge 3.1. UF membranları hakkında teknik bilgiler.....	32
Çizelge 3.2. Ters osmoz ünitesi teknik bilgileri.	33
Çizelge 4.1. Giriş suyu analiz sonuçları ve yöntemleri.	39
Çizelge 4.2. Analiz edilen parametrelerin bileşen modeli ve bileşen yük değerleri..	46
Çizelge 4.3. Bileşen puanı katsayı matrisi.	47
Çizelge 4.4. Pearson korelasyon matrisi.	49
Çizelge 4.5. Momentum ve adaptif LR çalışma ile azalma eğimi ile YSA modeline göre UF performans tahmini için topoloji ve transfer fonksiyonlarının karşılaştırılması.	53
Çizelge 4.6. Gizli ve çıkış katmanlarının ağırlık ve yanlılık katsayıları.....	56



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Al	Alüminyum
As	Arsenik
B	Bor
Ba	Baryum
Br	Bromür
BrO₃	Bromat
Ca	Kalsiyum
Cd	Kadmiyum
CEB	Kimyasal Geri Yıkama
Cl	Klorür
CIP	Yerinde Temizlik
Co	Kobalt
CO₂	Karbondioksit
CO₃	Karbonat
Cr	Krom
Cu	Bakır
EDTA	Etilendiamin-Tetra-Asetik Asit
F	Florür
Fe	Demir
GAC	Granüler Aktif Karbon
HCl	Hidroklorik Asit
HCO₃	Bikarbonat
Hg	Civa
K	Potasyum
Li	Lityum
LOQ	Nicelleştirme limiti
Mg	Magnezyum
mg/L	Miligram/Litre
Mn	Mangan
MF	Mikrofiltrasyon
MLP	Çok Katmanlı Algılayıcı
MSE	Ortalama karesel hata
Na	Sodyum
NAOH	Sodyum Hidroksit (Kostik)
NaOCl	Sodyum Hipoklorit
NF	Nanofiltrasyon
NH₃	Amonyum
Ni	Nikel
Nm	Nanometre
NTU	Bulanıklık
NO₂	Nitrit
NO₃	Nitrat
PAC	Toz Aktif Karbon
Pb	Kurşun
PES	Polietersülfon
PLC	Programlanabilir Mantıksal Kontrolör
Sb	Antimon

SCADA	Veri Toplama Sistemi
SDI	Kum Yoğunluk İndeksi
Se	Selenyum
SMBS	Sodyum Metabisülfat
SO₄	Sülfat
TBA	Temel Bileşen Analizi
TÇKM	Toplam Çözünmüş Katı Madde
TMB	Trans Membran Basıncı
TO	Ters Osmoz
TOK	Toplam Organik Karbon
UF	Ultrafiltrasyon
UV	Ultraviyole
WHO	Dünya Sağlık Örgütü
YSA	Yapay Sinir Ağı
Zn	Çinko
µm	Mikrometre
µg/L	Mikrogram/Litre
°C	Santigrat

1. GİRİŞ

Su, canlıların hayatta kalabilmesi ve uygun hayat koşullarını sağlayabilmesi için son derece önemli bir kaynaktır [1]. Günümüzde sadece dünyanın belirli kısımları yeterli miktarda tatlı su kaynaklarına sahiptir ve artan nüfus, iklimdeki değişiklikler ile hızla gelişen endüstri su kaynakları üzerindeki baskıyı arttırmaktadır. Biyolojik ihtiyaçlar, entegre çevre yönetimi ve sürdürülebilir kalkınma hedefleri için su kaynaklarının kalitesi ve miktarı önemlidir. Bilimsel öngörülere göre su kıtlığı, 21. yüzyılın en büyük problemlerinden biri olacaktır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO)'nün raporlarına göre dünya nüfusunun yarısı 2025 yılında su sıkıntısı bulunan bölgelerde yaşayacaktır. Bu nedenle su arıtımı gün geçtikçe daha da önemli bir hal almaktadır [2].

İçme suyu arıtımı klasik su arıtma yöntemleri, ileri arıtım yöntemleri, membran teknolojisi gibi birçok farklı tekniği içermektedir. Membran prosesleri son yıllarda kompakt yapıları, ekonomik ve çevre dostu olmaları, yüksek çıkış suyu kalitesine sahip olmaları ve çok az kimyasal bileşene ihtiyaç duymamaları gibi avantajları nedeniyle oldukça popüler bir hale gelmiştir. Bu üstünlüklerin yanında membran tıkanması, bu teknolojinin yaygınlaşmasını olumsuz yönde etkileyen en önemli işletme problemidir. Dünya nüfusu ve endüstriyel sektörlerin artışına bağlı olarak meydana gelen su kıtlığı problemi, insanoğlunu ileri seviyede arıtma teknolojilerini geliştirmeye, yenilikçi membran proseslerinin üretilmesine ve membranların kritik özelliklerinin iyileştirilmesine yönlendirmektedir [3]. Su kalite parametrelerinin arıtım metotları incelendiğinde bazı parametreler için ileri teknoloji arıtım metotlarının kullanılması kaçınılmaz olduğu görülmektedir. İçme suyu arıtımında membran filtrasyon prosesleri ülkemizde son yıllarda uygulanmaya başlanılmıştır.

Bu çalışmada, durgun yüzeysel su kaynağından beslenen ters osmoz (TO) bazlı tam ölçekli bir membran filtrasyon tesisi incelenmiştir. Ham su kaynağından ve tesiste bulunan ultrafiltrasyon ve ters osmoz ünitesi süzüntü sularından 10 adet örnekte 44 adet su kalite parametresi incelenmiştir. Ham su kaynağının karakterizasyonu, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) kılavuzları ve İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik standartları açısından da değerlendirilmiştir [4]. Tam ölçekli filtrasyon arıtma tesisinin performansını istatistiksel olarak belirlemek amacıyla Yapay Sinir Ağı (YSA) modeli geliştirilmiştir. YSA modelinin girdisi olarak ham suda incelenen 44 adet su kalite parametresi Temel Bileşen Analizi (TBA)'ne tabi tutularak gruplandırma yapılmış ve

girdi sayısı 9 bileşene düşürülmüştür. Modelin çıktısını belirlemek amacıyla ise Çoklu Regresyon Analizi -Pearson Korelasyon Analizi- uygulanmış ve ham suda tüm parametreler ile en fazla anlamlı korelasyona sahip olan iletkenlik paramtresinin giderim verimliliği model çıktısı olarak kullanılmıştır. YSA kullanılarak oluşturulan hibrit model ile tam ölçekli filtrasyon tesisinin verimliliği değerlendirilmiştir. Elde edilen tez çıktıları ile membran proseslerinin daha etkili şekilde işletilebilmesi için literatüre katkı verilmiş olacaktır. Ayrıca literatürde yapılan birçok çalışma laboratuvar ya da pilot ölçekli olduğundan dolayı tam ölçekli bir tesisteki membran proseslerin işletme problemlerinin tanımlanması literatürdeki eksikliğin giderilmesine katkı sağlayacaktır.



2. LİTERATÜR

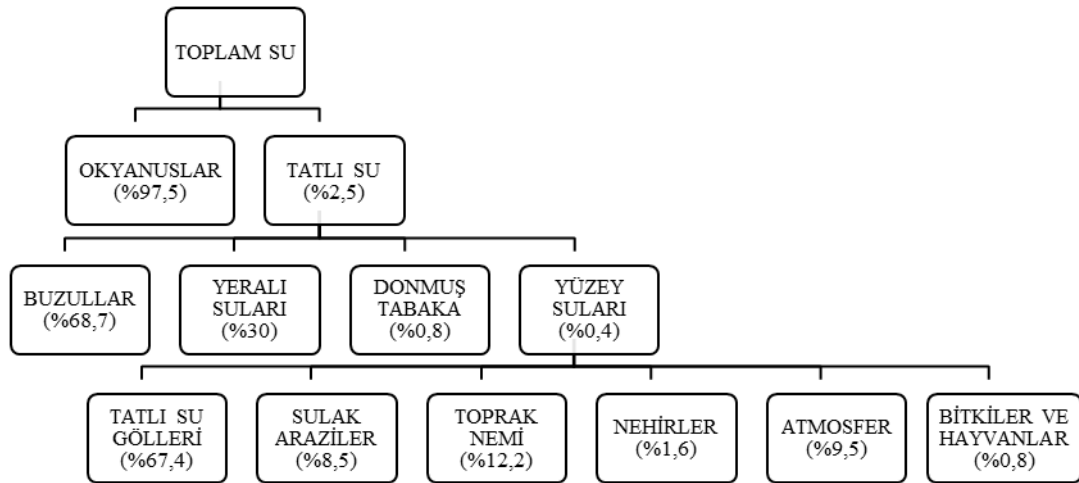
2.1 İçme Suları

Dünyadaki su kaynaklarının sadece %0,3'lük kısmı içilebilir su olarak kabul edilmektedir. Geriye kalan kısmı ise deniz suyu, buzullar ve su buharından oluşmaktadır. İklim değişikliği nedeniyle su kaynakları azalmakta, nüfus artışı ile birlikte içme suyu ihtiyacı artmakta ve artan sanayileşmenin sonucu olarak temiz su kaynakları kirlenmektedir. Su kaynaklarının azalması ve kirlenmesinin sonucu olarak nüfusun içme suyu ihtiyacının karşılanması daha da önemli bir konu haline almıştır. Güvenilir içme suyuna erişim yıllardır küresel bir problem olarak kabul edilmektedir [5].

2.1.1 İçme suyu kaynakları

Su ticari bir ürün değildir, daha çok korunması ve savunulması gereken bir mirastır. Dünyamızda su; havada, yüzeyde, denizlerde, okyanuslarda ve yeraltında doğal olarak farklı şekillerde bulunmaktadır. Bu suların sadece %2,5'luk kısmı tatlı suyu oluşturmaktadır. Bu tatlı suların büyük bir kısmı buzullar ve buzul tabakaları içerisinde donmuş vaziyettedir. Diğer donmamış halde bulunan kısmı ise genellikle yeraltı suyu olarak bulunurken, sadece küçük bir bölümü yer üstünde veya havada bulunmaktadır. Suyun Dünya'da döngü içerisindeki hareketini incelemek, çevre ile etkileşimini belirlemek, insanoğlunun kullanımı için varlığını tespit etmek büyük önem arz etmektedir. Dünya'daki su kaynaklarının küresel olarak dağılımı Şekil 2.1'de verilmiştir.

Kaynak suları, yeraltı suları, denizler, akarsular, göller ve göletler içme suyu kaynakları arasında yer almaktadır. Denizlerin içme suyu kaynakları arasında yer almasının sebebi, günümüz yeni teknolojileri (membran filtrasyon, ileri oksidasyon prosesleri, adsorpsiyon vs.) ile artık arıtılabilirliğinin mümkün olmasıdır [5]. Suları kaynağından temin edebilme şekillerine göre yüzeysel sular ve yeraltı suları olmak üzere iki grupta incelenmektedir.



Şekil 2.1.Su kaynaklarının küresel dağılımı.

2.1.1.1 Yüzeysel sular

Yüzeysel sular; denizler, akarsu, göl ve baraj rezervuarlarında biriken sular, olarak tanımlanmaktadır. Bu sular yağışlarla beslenir; okyanuslara boşalma, buharlaşma ve yer altına sızmayla da doğal olarak kayba uğrar. Bununla birlikte su miktarını iklim koşulları, topografya, doğal ve yapay su kaynaklarının depolama kapasitesi, zemin geçirgenliği gibi birçok faktör de etkilemektedir.

Yüzeysel suların kalitesi ve dağılımı diğer su kaynaklarına kıyasla insan aktivitelerinden daha fazla etkilenir. Durgun olmayan yerüstü su kaynaklarında kalite; renk ve bulanıklık açısından düşüktür. Bunun yanında, yerüstü su kaynakları, evsel ve endüstriyel atıksu ile kirlenmeye açık olduğu için organik madde içeriği, tat ve koku veren maddeler, fenoller, metaller ve diğer birçok kirletici yüksek konsantrasyonlarda gözlenebilir [5].

2.1.1.2 Yeraltı suları

Yerüstünden yeraltına sızan suların birleşmesiyle yeraltı suları oluşmaktadır. Gözenekli tabakalar veya kayaların arasındaki boşluklar yüzey sularının sızmasıyla dolarak ve yeraltı suyunu oluşturmaktadır.

Yeraltı suyu; akarsu, göl ve deniz gibi su kütlelerini besleyen kaynaklar arasındadır. Yağmur ve kar, yeraltı su sistemini besleyen kaynakların en önemlilerindendir.

Yağmur ve kar suları zeminde gravitasyonel etkiyle suya doymamış bölgeden geçerek yeraltı su sistemine katılır. Yeraltı suları bulundukları bölgenin kayaçlarında en sık rastlanan mineralleri daha çok bulundurur. Yeraltı sularında bulunan en önemli iyonlar arasında kalsiyum, magnezyum, sodyum, potasyum, klor, sülfat, karbonat, bikarbonat yer almaktadır.

Yeraltı sularında bazı elementlerin bulunması kirliliğe yol açmaktadır. Bu elementler etkileşim süresine ve bulunma miktarına bağlı olarak sınır değerleri aştığı için zehirli etki yapmaktadır. Zehirli etkiye yol açabilecek element ve bileşikler arasında arsenik, kadmiyum, krom, kurşun, civa, baryum, nitrat, flüorür, radyoaktif maddeler, amonyum ve klorür vardır [6].

2.1.2 Su kalite bileşenleri

Bir yerüstü veya yeraltı su kaynağında içme suyu temin etmek için giderilmesi gereken çok çeşitli su kalitesi bileşenleri bulunabilir. Bu su kalitesi bileşenleri, aşağıdaki kategoriler altında gruplandırılabilir [7].

- Fiziksel bileşenler;
Sertlik, Toplam çözünmüş katı madde, Bulanıklık
- İnorganik kimyasallar bileşenler;
Arsenik, Florür, Demir, Mangan, Nitrat, Selenyum, Sülfat, Sülfür
- Organik kimyasallar bileşenler;
Dezenfeksiyon yan ürünleri, Doğal organik madde, Uçucu organik karbon
- Radyolojik (Radyoaktif çekirdek) bileşenler;
Radyum, Radon, Uranyum
- Mikrobik bileşenler;
Su yosunları, Bakteriler, Protazoa kistleri, Virüsler
- Estetik bileşenler;
Renk, Tat ve koku

İçme sularının kalite parametreleri İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik sınır değerlerine göre değerlendirilmektedir.

2.1.3 Suyun özellikleri

İçme ve kullanma sularının özellikleri beş grupta incelenebilir [8];

1) Su, kokusuz, renksiz, berrak ve içimi lezzetli olmalıdır: Sularda fenoller, yağlar gibi suya kötü koku ve tat veren maddeler olmamalıdır. Sular renksiz, berrak ve içilebilecek sıcaklıkta olmalıdır. İçme suyu için en uygun sıcaklık 8 ile 12 °C'dir. Ayrıca sulardaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu 5 mg/L'den daha büyük olmalıdır.

2) Su hastalık yapan mikroorganizma ihtiva etmemelidir: Suda bulunabilen bazı mikroorganizmalar çeşitli hastalıklara sebep olurlar. Bu çeşitli hastalıklara “suyun sebep olduğu hastalıklar” denir. Shigella dysenteriae, Salmonella typhi, Vibrio cholera, Entamoeba histolytica, Çocuk felci virüsü, Hepatit virüsü, Su diyareisi virüsleri gibi bazı virüsler sudan geçerek hastalık yaparlar.

3) Suda sağlığa zararlı kimyasal maddeler bulunmamalıdır: Bazı kimyasal maddeler zehirli tesir gösterirler. Arsenik, krom, kurşun, civa, selenyum zehirli maddelerdir. Bunun gibi sağlığa zararlı maddelerin içme sularındaki konsantrasyonları belli bir değerden fazla olmamalıdır. Bu değerler çeşitli standartlarla açıkça belirtilmiştir.

4) Su, kullanma maksatlarına uygun olmalıdır: Sular içme suyu ve sanayide kullanma suyu olarak kullanılabilirler. İçme suyu olarak kullanılması halinde sudaki demir ve manganez muhtevaları düşük olmalıdır. Demir, bilhassa yeraltı sularında Fe^{+2} olarak, umumiyetle demir bikarbonat ($Fe(HCO_3)_2$) şeklinde bulunur. Fe^{+2} , oksijenle temas ederse sarı-lırmızı bir bileşik olan demir hidroksit şeklinde çöker. Bu sebeple suyun tadı ve rengi değişir.

5) Sular agresif olmamalıdır: Suların agresifliği, serbest karbondioksit (CO_2) ile bikarbonat (HCO_3^-) iyonunun dengede olmamasından ileri gelir. Suların agresifliği, borularda korozyona sebep olur, boruların kısa zamanda harap olmalarına, dolayısı ile ilave masraflara yol açar. Ayrıca boruların aşınması halinde borudan ayrılan elementler suyun kalitesinin bozulmasına sebep olurlar [8].

2.2 Arıtma Metotları

Arıtma metotları, fiziksel prosesler, kimyasal prosesler ve ileri arıtma prosesleri olarak sınıflandırılmaktadır. Arıtma metodu seçimi yapılırken, su kaynağının su

kalitesi ve içme suyu kalite standartlarının sağlanması göz önünde bulundurulmaktadır.

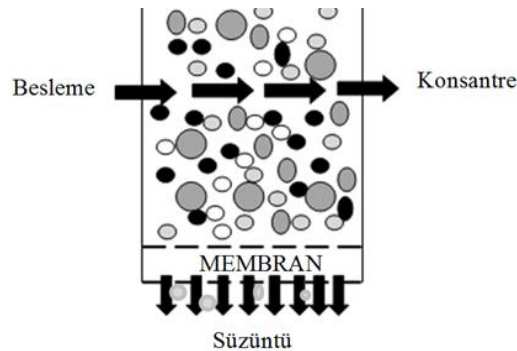
Fiziksel Prosesler: Minimum düzeyde arıtma sağlarken arıtma metodu sudaki kirliliğin fiziksel özelliğine bağlıdır. Partikül büyüklüğü, özgül ağırlık, viskozite gibi parametrelere dikkat edilir. Havalandırma, kum filtresi (basınçlı ya da graviteli) metotları fiziksel operasyonlar arasında yer alır.

Kimyasal Prosesler: Sudaki kirliliğin kimyasal özelliğine bağlıdır ve ilave edilecek kimyasal maddelerin özelliklerinden yararlanır. Hızlı ve yavaş karıştırma, durultucu, filtre, çamur yoğunlaştırıcısı ve susuzlaştırma/kurutma prosesleri kimyasal arıtmada kullanılmaktadır.

İleri Arıtma Prosesleri: İçme suyu arıtımında ihtiyaç duyulması halinde suyun daha ileri düzeyde arıtılması mümkündür. İleri arıtma yöntemlerine; adsorpsiyon, iyon değiştirme, membran filtrasyonu, ultraviyole (UV) dezenfeksiyonu, ozon ve permanganat ile dezenfeksiyon sayılabilir [9].

2.3 Membran Filtrasyon

Membran, iki homojen faz arasındaki seçici geçirgen bariyer olarak tanımlanmaktadır. Seçicilik ve özelliğine göre çeşitli kirleticiler için bariyer olması dolayısıyla önemli bir ayırma malzemesidir. Ayırma işlemi membranın hem kimyasal hem de fiziksel özellikleriyle belirlenmekte olup sürücü kuvvetlerin etkisi ile (basınç farkı, konsantrasyon farkı, elektriksel potansiyel farkı ve sıcaklık farkı) gerçekleşmektedir. Besleme akımı membrandan geçerken süzüntü ve konsantre olmak üzere iki akıma ayrılmaktadır. [10]. Membran filtrasyonun genel çalışma prensibi Şekil 2.2’de verilmiştir.



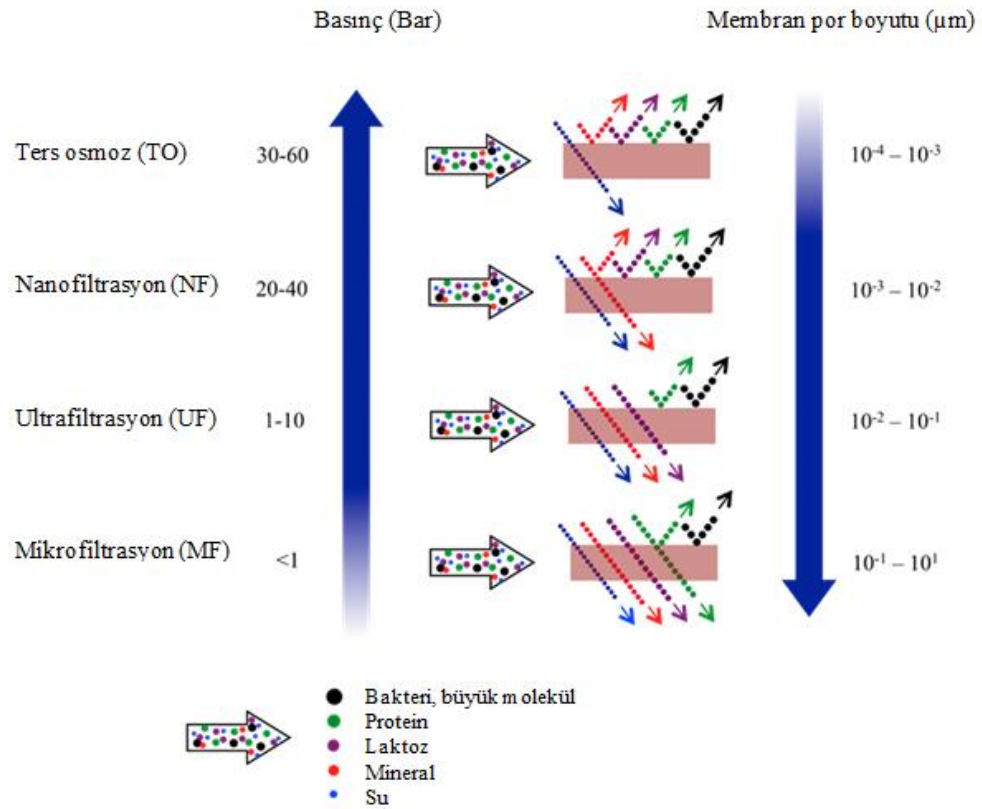
Şekil 2.2. Genel çalışma prensibi.

2.3.1 Membranların sınıflandırılması

Membranlar gözenek çapları, geometrik şekilleri, morfolojileri, ham maddeleri ve ayırma prosesleri olmak üzere çeşitli kriterlere göre sınıflandırılmaktadırlar. Bu bölümde bu sınıflandırmalara ilişkin detaylı bilgiler verilmektedir.

2.3.1.1 Gözenek çapı

Membranlar gözenek çaplarına göre mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF) ve ters osmoz (TO) olmak üzere 4 sınıfa ayrılmaktadır. Gözenek çaplarına göre ayırma özellikleri de değişmektedir. Gözenek çapına göre seçilen membran prosesleri Şekil 2.3'te verilmiştir [11].

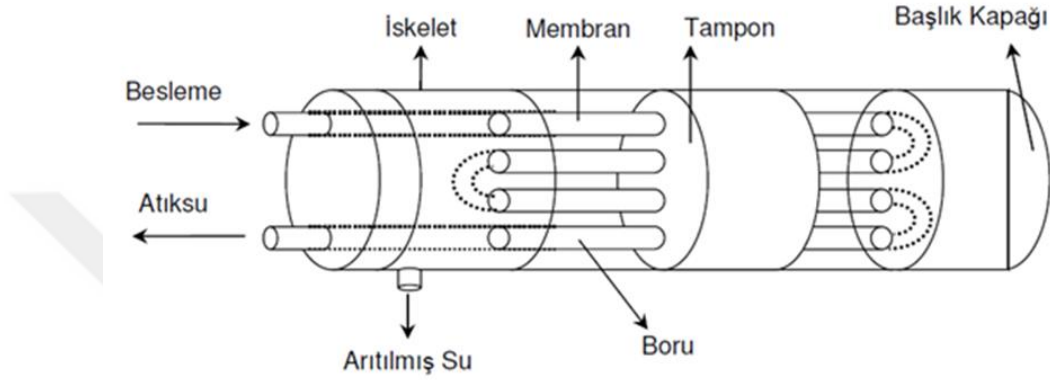


Şekil 2.3. Gözenek çapına göre membran prosesler.

2.3.1.2 Geometrik şekil

İçme suyu arıtımında günümüzde en yaygın şekilde kullanılan dört farklı tipte membran modülü bulunmaktadır. Bunlar;

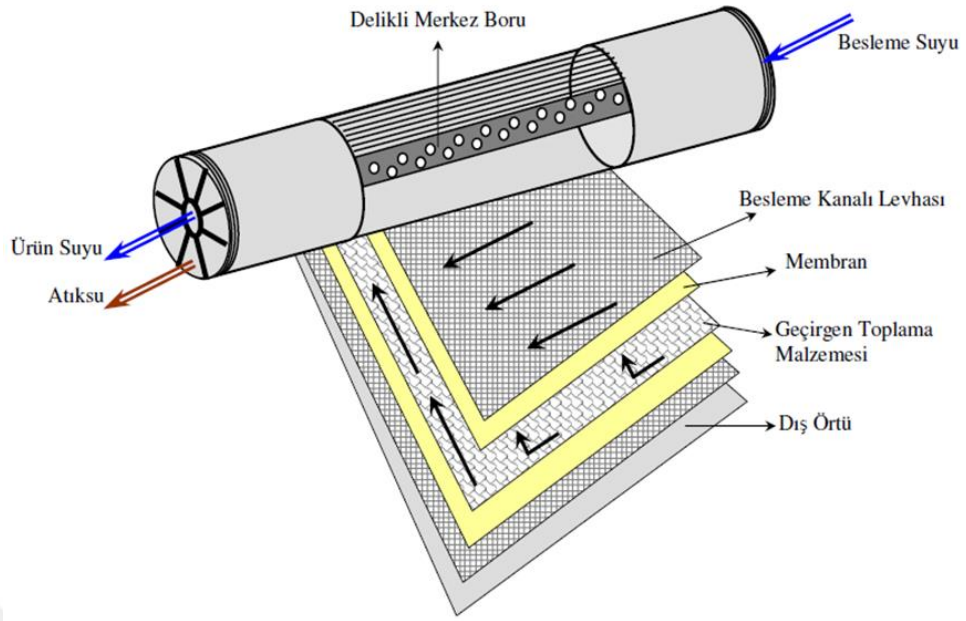
Tübüler (Borusal) membran modülü: 0,7-2,5 cm çaplarında ve 0,6-6,4 m uzunluklarında, küçük boruların büyük sağlam borular içine yerleştirilmesi ile oluşturulur. Gözenekli tüpün iç tarafı membranla kaplanmıştır. Basınçlı besleme suyu, membranın veya membran film iç tarafından girip gözenekli tüp arasından çıkarak arıtılmış su elde edilir. Konsantre kısım, ortadaki borudan toplanır. Delikli yapı membrandan geçen suyun toplanmasını sağlar. Tübüler (Borusal) membran modülü Şekil 2.4'te verilmiştir.



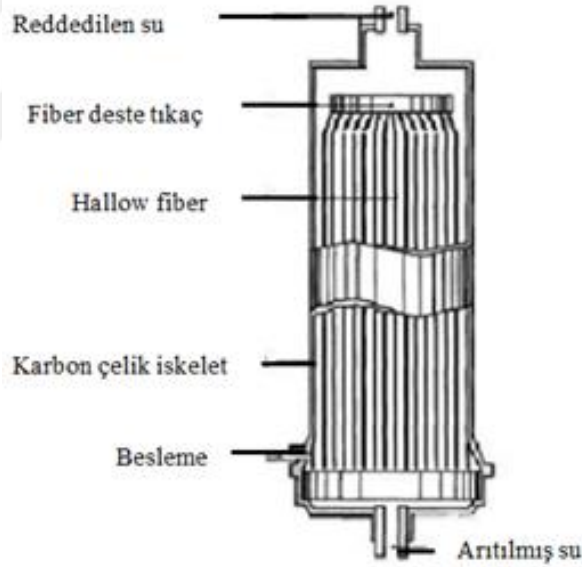
Şekil 2.4. Tübüler (Borusal) membran modülü.

Spiral sargılı membran: Bir zarf oluşturulmak üzere üç tarafı sızdırmaz yapılarak kapatılmış gözenekli destek levha ile ayrılmış iki düz tabaka membrandan ibarettir. Dördüncü tarafı ise arıtılmış suyu toplamak üzere gözenekli plastik boruya yapışık olarak bağlanmıştır. Bu membran zarfların iki veya daha fazlası, arıtılmış suyu toplayan gözenekli tüpe yapıştırılır ve spiral sekilde yuvarlanır. Boru tipi membranalara göre yüzey alanı bakımından büyük avantaj elde edilmiş olur. Spiral sargılı membran modülü Şekil 2.5'te verilmiştir.

Hollow fiber membran: İnsan saçı çapında borucuklar halinde üretilirler. Besleme suyu dağıtım borusunu saran binlerce elyafın oluşturduğu bir yığın halindedir. Bu yığılı tabaka basınçlı bir fiberglas, PVC ve paslanmaz çelikten yapılmış kap içine yerleştirilir. Temiz su, içteki bölmede toplanır. Boru tipi membran modellerde olduğu gibi su beslemesi genellikle fiberin iç tarafından aşağı doğru yapılır. Deste içine her bir saçgibi olan fiberler U şeklinde yerleştirilir ve her iki ucu, epoksi reçine destek tıkaçla tutulmaktadır. Hollow fiber membran modülü Şekil 2.6'da verilmiştir.

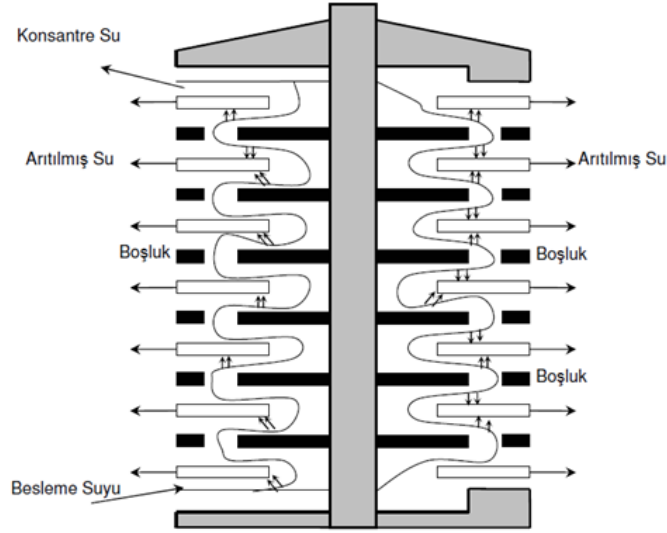


Şekil 2.5. Spiral sargılı membran modülü.



Şekil 2.6. Hollow fiber membran modülü.

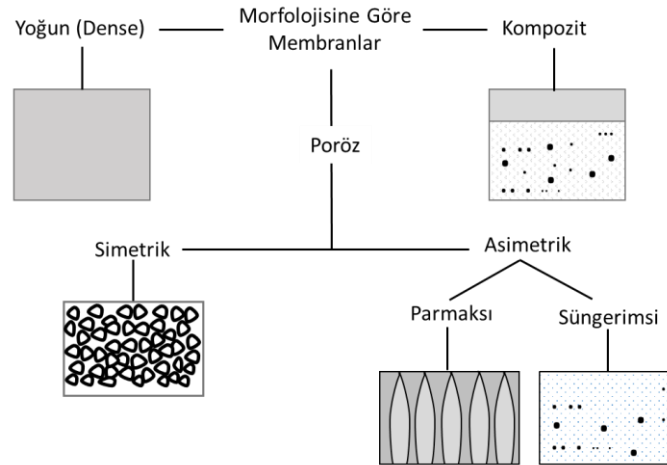
Levha çerçeve membran: Dairesel veya kare plakalar arasında sandwich edilmiş membranlardır. Plakalı membran modüllerde, ara levhalar ile destekleyiciler arasında düz tabaka membranlar yerleştirilir. Destekleyiciler, besleme suyu için akış kanalı oluşturur. Besleme suyu düz tabakadan akarak bir tabakadan diğerine geçer. Ağır, iri, işletilmesi zordur ve membranların değiştirilmeleri problemlidir [12]. Levha çerçeve membran modülü Şekil 2.7’de verilmiştir.



Şekil 2.7. Levha çerçeve membran modülü.

2.3.1.3 Morfoloji

Membranlar morfolojilerine göre yoğun, gözenekli ve kompozit olmak üzere temelde üç sınıfa ayrılmaktadırlar. Bu morfolojik özelliklere göre yapılan sınıflandırma işlemi şematik olarak, Şekil 2.8’de verilmiştir. Yoğun membranlarda su akışı oldukça düşük olup, daha çok ters osmoz ve gaz ayırma membranlarında bu yapılar kullanılmaktadır. Parmaksı boşluktaki membranlar daha çok MF/UF gibi yüksek basınç istemeyen uygulamalarda tercih edilmektedir. Süngerimsi yapıdaki membranlar, membran üretiminde destek tabakası olarak kullanılmaktadır. Özellikle ticari ters osmoz membranlarında ve bazı membran biyoeaktör (MBR) membranlarında süngerimsi yapıda destek tabakası tercih edilmektedir [3].



Şekil 2.8. Membranların morfolojilerine göre sınıflandırılması.

2.3.1.4 Malzeme

Membranlar kimyasal yapılarına göre organik ve anorganik olarak sınıflandırılabilirler. Organik membranların ana maddesi polimerlerdir. Yaklaşık 130 adet polimer, membran üretimi için kullanılabilir. Ancak membran ömrü ve proses ihtiyaçları düşünüldüğünde belli sayıda polimer, membran üretimi için kullanılmaktadır.

Selülozasetat membranları hidrofiliktirler ve bu özelliklerinden dolayı kirlenmeye karşı dayanıklıdır. Selüloz asetat membranlarının üretimi oldukça kolaydır ve fiyatları da oldukça düşüktür. Fakat bu membranlar su içinde bulunan klora karşı dayanıksızdır. 40°C'den yüksek sıcaklıklarda kullanılırsa yapısında bozulmalar görülebilmektedir. Bu membranlar ayrıca pH'ya karşı hassastır ve depolanma ömürleri oldukça kısadır.

Poliamid membranlar pH ve klora karşı hassas olmalarına karşın selüloz asetat membranlarından daha iyi seçiciliğe ve termal dayanıklılığa sahiptirler. Polisülfon ve polietersülfon membranları geniş kullanım alanına sahiptirler. Bu membranlar yüksek sıcaklıklarda (75-125°C) ve geniş pH aralığında (1-13) kullanılabilirler [13].

Malzeme seçimi membran kirlenme ve tıkanma özellikleri yanısıra, temizleme ve yeniden kullanılabilme özellikleri dikkate alınarak yapılır. Membran imalatında polimer materyali seçiminde bazı özellikler dikkate alınır. Bu özellikler şöyle sıralanabilir;

- Yüksek porozite, (listenin hizasını ayarlayalım)
- Homojen ve dar gözenek dağılımı,
- Polimerin esnekliği,
- Yüksek polimer dayanıklılığı,
- Kalıcı hidrofilik özellikler,
- Geniş pH ve sıcaklık aralıklarında verimli çalıştırılabilme,
- Yüksek basınç uygulamalarına dayanıklılık,
- Aşındırıcı kimyasal ve asitlere karşı dayanıklılık,
- Yüksek klor toleransı,
- Düşük maliyet,
- Üretim kolaylığıdır [10].

2.3.1.5 Ayırma işlemi

Ayırma işleminde bir membran, besleme ve süzüntü faz akımları arasına yerleştirilir. Kütle akışı besleme tarafından süzüntü tarafına doğru olmaktadır. Membran ayırma prosesi, besleme akımını konsantre ve süzüntü akımlarına ayırma prensibine göre çalışmaktadır. Sürücü kuvvet, besleme ve süzüntü fazları arasından oluşan basınç, sıcaklık, konsantrasyon ve elektriksel potansiyel farklılığı olabilir [3].

2.3.2 Membran filtrasyon uygulamaları

Membran filtrasyonu, birçok farklı endüstride kullanılan etkili bir ayrıştırma ve konsantrasyon yöntemidir. Sıvıların katı parçacıklardan veya diğer sıvılardan ayrılmasını veya konsantre edilmesini sağlayan bir işlemdir. Membran filtrasyonu, bir membranın seçici geçirgenliğini kullanarak partiküllerin veya maddelerin geçişine izin verirken diğerlerinin geride kalmasını sağlamaktadır. Membran filtrasyonunun sektör bazında uygulamaları:

Su Arıtımı: Evsel veya endüstriyel atıksu arıtımı, içme suyu arıtımı ve deniz suyu tuzundan ayırma gibi su arıtma süreçlerinde kullanılmaktadır.

İlaç Endüstrisi: İlaç üretimi sırasında saflaştırma, özleştirme ve parçacık giderimi için kullanılmaktadır.

Gıda ve İçecek Endüstrisi: Süt, meyve suyu, şarap ve bira gibi içeceklerin konsantre edilmesi ve arıtımı için kullanılmaktadır.

Biyoteknoloji ve Biyomedikal: Proteinlerin saflaştırılması, virüslerin giderilmesi ve hücreleri konsantre etmek gibi birçok uygulamada kullanılmaktadır.

Kimya Endüstrisi: Kimyasal süreçlerde kullanılan çözeltilerin arıtımı ve saflaştırılması için kullanılmaktadır.

Petrol ve Gaz Endüstrisi: Petrol ürünlerinin arıtımı ve konsantrasyonu için kullanılmaktadır.

Tekstil ve Boya Endüstrisi: Boya endüstrisinde boya atıklarının arıtılmasında ve renk gideriminde kullanılmaktadır.

Elektrokaplama: Metal kaplama işlemlerinde kullanılan kimyasal banyoların arıtılması için uygulanmaktadır.

İlaç Dağıtım Sistemleri: İlaçlar için kontrollü salınım ve dağıtım sistemleri için membranlar kullanılmaktadır.

DNA ve Protein Analizi: Laboratuvarlarda DNA ve proteinlerin analizinde ve saflaştırılmasında membranlar kullanılmaktadır.

Bu uygulama alanları, membran filtrasyonunun çeşitli endüstrilerde yaygın olarak kullanılan çok yönlü bir teknoloji olduğunu göstermektedir. Membran filtreler, farklı boyutlarda gözeneklere sahip ve farklı malzemelerden yapılabildiklerinden dolayı farklı uygulamalar için uygun çeşitleri bulunmaktadır.

2.3.3 Basınç tahrikli membran prosesleri

Membrandan süzüntü tarafına doğru bir geçişin olması için sürücü kuvvetin uygulanması gerekmektedir. Membran sürücü kuvvetlerine göre, basınç, konsantrasyon, elektriksel potansiyel ve sıcaklık farklığı olmak üzere dört ana grupta toplanmaktadır. Tüm membranla ayırma teknolojilerinde membrandan geçme yönünde akış sağlamak üzere itici bir kuvvet ve bazı maddelerin geçişini engelleyen ayırma faktörü, temel iki prensiptir. Kütle transferi, konsantrasyon farkı, basınç farkı ve elektriksel potansiyel farkı gibi itici güçler yardımıyla gerçekleşmektedir. Membran proseslerinde en yaygın itici kuvvet basınçtır [14].

Basınç sürücülü membran ayırma proseslerine örnek olarak MF, UF, NF, TO, gaz ayırma, buhar süzme ve pervaporasyon verilebilir. Ayırma mekanizması boyut ya da çekime bağlı olabilir.

Bütün proseslerde temel amaç, farklı bileşikler için farklı seçiciliğe sahip yarı geçirgen bir bariyer olan membran boyunca sürücü kuvvetin homojen bir şekilde uygulanmasıdır. Sürücü kuvvetin membran boyunca eşit oranda dağılımının sağlanması ve hidrodinamik şartların kontrol edilebilmesi, modül geliştirme ve membran proseslerinin tasarımında oldukça önemli ve karmaşık bir süreçtir.

Düşük basınçlı MF ve UF membran prosesleri partikül, bulanıklık, bakteri ve protozoa gideriminde dezenfektan kullanımına gerek kalmaksızın veya kimyasal kullanım miktarını azaltacak şekilde kullanılmaktadırlar. Ancak, yüksek organik

içeriğe sahip bir besleme suyu kullanıldığında yüksek kalitede bir su eldesi her zaman mümkün olmayabilir. Bu sebeple, yüksek kalite su eldesi için MF ve UF membranları, aktif karbon (toz aktif karbon (PAC) ve granüler aktif karbon (GAC)) adsorpsiyonu ya da NF ve TO gibi prosesler ile birlikte kullanılmaktadır [3].

Membran proseslerinde, özellikle basınç sürücü kuvvetle işletilen MF, UF, NF ve TO'da ana problem, membran kirlenmesi ve gözeneklerin tıkanması nedeniyle meydana gelen akı azalmasıdır.

2.3.4 Hibrit membran prosesleri

Membran filtrasyonu ile diğer proseslerin birleşiminden oluşan bu sistemlere Hibrit Membran Prosesleri adı verilmektedir. Pek çok bölgedeki yüzey sularının hem çözünmüş hem de partiküler halde kirlilik içermesinden dolayı, hibrit sistemler hakim teknoloji haline gelmektedir.

Hibrit membran prosesleri, düşük basınçlı membran filtrasyon sisteminin akım şemasında bulunduğu yere göre aşağıdaki gibi sınıflandırmaya tabi tutulmaktadır:

- **Başlangıcında Membran Arıtma İçeren Sistemler:** Bu sistemlerde membran filtrasyonu doğal olarak oluşan partiküler ve mikrobiyal maddeleri gidermek amacı ile ilk arıtma basamağında kullanılmaktadır.
- **Ortasında Membran Arıtma İçeren Sistemler:** Bu sistemlerde membran filtrasyonu ara basamak olup, doğal olarak oluşan partikülleri ve mikrobiyal maddeleri gidermenin yanısıra arıtma sırasında partikül haline çevrilmiş veya partiküllere adsorbe ettirilmiş çözünmüş kirliliklerin giderimi için de kullanılmaktadır.
- **Sonunda Membran Arıtma İçeren Sistemler:** Bu sistemlerde membran filtrasyonu en sonda bulunup (dezenfeksiyon hariç), doğal olarak oluşan partikülleri ve mikrobiyal maddeleri gidermenin yanısıra arıtma sırasında partikül haline çevrilmiş veya partiküllere adsorbe ettirilmiş çözünmüş kirliliklerin giderimi için de kullanılmaktadır (Çizelge 2.1)[3].

Çizelge 2.1. Sularda bulunan kirleticilere göre hibrit membran sistemlerinin yerleşimi.

Membran Arıtma Sistemi Başta	Membran filtrasyonu – ozonlama – biyolojik filtrasyon	Tat ve koku bileşenleri, doğal organik madde (renk dahil)
	Membran filtrasyonu – granüler aktif karbon	Tat ve koku bileşenleri, doğal organik madde (renk dahil)
	Membran filtrasyonu – nanofiltrasyon (NF)	Doğal organik madde, sertlik, toplam çözünmüş katı
Membran Arıtma Sistemi Ortada	Doğrudan membran filtrasyonu–ters osmoz (TO)	Doğal organik madde, sertlik, toplam çözünmüş katı
	Konvansiyonel ön arıtma – membran filtrasyonu – ters osmoz (TO)	Yüksek veya değişken bulanıklık, doğal organik madde, sertlik, toplam çözünmüş katı
	Kireç yumuşatma – membran filtrasyonu – ters osmoz (TO)	Yüksek veya değişken bulanıklık, doğal organik madde, sertlik, toplam çözünmüş katı
Membran Arıtma Sistemi Sonda	Ön oksidasyon – membran filtrasyon	Demir ve mangan, tat ve koku bileşenleri
	Adsorpsiyon – membran filtrasyon	Doğal organik madde
	Hat üzerinde koagülasyon – membran filtrasyon	Doğal organik madde, arsenik
	Doğrudan membran filtrasyonu	Doğal organik madde
	Konvansiyonel ön arıtma – membran filtrasyonu	Doğal organik madde, yüksek bulanıklık
	Kireçle yumuşatma – granüler aktif karbon – membran filtrasyonu	Sertlik, yüksek bulanıklık, tat ve koku bileşenleri
	Kireçle yumuşatma – konvansiyonel ön arıtma – membran filtrasyonu	Sertlik, yüksek bulanıklık, doğal organik madde, demir ve mangan, tat ve koku bileşenleri
	Ozonlama – flokülasyon-Partiküler aktif karbon – membran filtrasyonu (CRISTAL prosesi)	Yüksek bulanıklık, doğal organik madde, tat ve koku bileşenleri, sentetik organik bileşenler (pestisitler)
	Konvansiyonel arıtma – membran filtrasyonu	Membranlar buarada geliştirilmiş partikül giderimi için kullanılır

2.3.5 Membran filtrasyonunu etkileyen parametreler

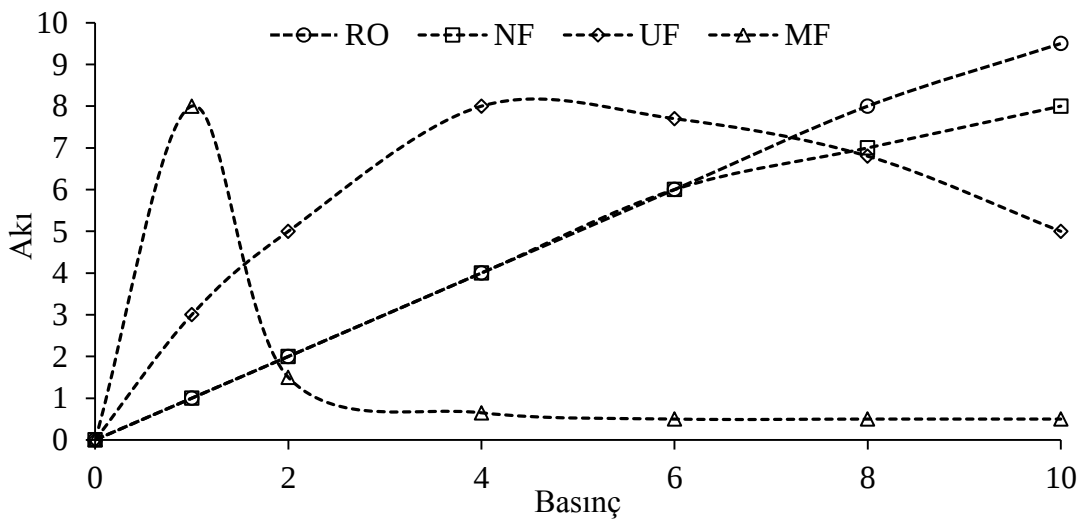
Membran performansı, akı ve giderme verimi ile ifade edilmektedir. İdeal bir membranda, yüksek akı veya geçirimlilik ile yüksek seçicilik oranları istenir. Akı birim zamanda membranın birim alanından geçen akım miktarıdır ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{sn}$ veya $\text{L}/\text{m}^2/\text{saat}$). Giderim verimliliği ise membranın reddetme kapasitesidir.

Basınç veya trans membran basıncı (TMB), sıcaklık, kirletici konsantrasyonu, membran tabaka yoğunluğu, akı, geri yıkama, membran kullanım ömrü, ortam pH'sı, antiskalant kullanımı, ön arıtım seçeneği membran sistemleri için başlıca işletme parametreleridir [10].

2.3.5.1 Trans membran basıncı (TMB)

Membranda filtrasyonunu sağlamak için basınç gereklidir. Transmembran basıncı, membran filtrasyon işlemlerinde membranın her iki yüzeyinde oluşan basınç değişiminden belirlenen membran geçiş basıncıdır. Bir membran filtrasyon prosesinin işletilmesinde en önemli durum sabit bir trans membran basıncı sağlamaktır.

Basınç artışında akının da artacağı beklenir. Basınç sürücü kuvveti ile işletilen membran proseslerde akı- basınç ilişkisi aşağıdaki Şekil 2.9'da gösterilmiştir. Basınç limitleri membranın yapısına, şekline ve modül dizaynına göre değişir.



Şekil 2.9. Membran proseslerde basınç- akı ilişkisi.

Membran prosesler aşağıda belirtilen üç koşulda da işletilebilir.

- Sabit TMB- değişken akı,
- Sabit akı-değişken TMB,
- Değişken TMB-değişken akı

Sabit TMB durumunda akı zamanla azalır. Sabit akı durumunda ise TMB zamanla artar. TMB deki ya da akıdaki bu değişimler takip edilerek membranların kirlilik durumları takip edilebilir [10].

2.3.5.2 Akı

Akı, birim zamanda membranın birim yüzey alanından geçen hacimsel miktar olarak tanımlanır (ve akı birimi $m^3/m^2.sn$ veya $L/m^2.sa$ olarak ifade edilir). Membran prosesler, günümüz imkânlarında, 5-100 $L/m^2.sa$ aralığındaki akı değerlerinde işletilmektedir. İstenen akı değerinde işletmek Trans Membran Basıncı (TMB)'nın ayarlanmasına bağlıdır. Membran filtrasyonunda, membrandan geçen akı, membrana uygulanan basınç ile doğru orantılıdır. Akının formülü Denklem 2.1'de verilmiştir.

$$Akı= Qp/A \quad (2.1)$$

Qp = süzüntü debisi (Litre/saat)

A =membran toplam alanı (m^2)

Membran işletimi boyunca membran yüzeyinde kirletici unsurlar birikerek kek tabakası oluşturur ve bu kek tabakası akının düşmesine sebep olur. Fakat aynı zamanda oluşan bu kek tabakası akının azalmasına sebep olduğu gibi membran görevi de görerek kirletici unsurlara karşı ilave direnç gösterir.

Maksimum süzüntü akısı kararlı hal durumu diye ifade edilen koşullar altında sağlanabilir. Kararlı hal koşulları akının belli bir değerde olmasını sağlamaktır. Yüksek akı anlamına gelmez. Akı zamanla azalır. Membran yüzeyinde kirlilik birikmesi artışı sonucu kalınlık artar [10].

2.3.5.3 Kirletici konsantrasyonu

Membran tarafından giderilen kirletici konsantrasyonu ne kadar az olursa akı değeri o kadar fazla olmaktadır. Çünkü besleme suyunun konsantrasyonun da meydana gelen artma aynı zamanda osmotik basınçta artış meydana getirmekte ve bu durum

membrana uygulanan net basıncı azaltmaktadır. Dolayısıyla akı değerinde de azalma meydana gelmektedir [15].

2.3.5.4 Membran tabaka yoğunluğu

Birim hacime yerleştirilebilecek membran alanı veya tabaka yoğunluğu olarak tanımlanır. Bu faktör ne kadar büyükse sistemden çıkan toplam akıda o kadar büyük olur. Tipik yoğunluk 160-1640 m²/m³ aralığında değişmektedir [14].

2.3.5.5 Sıcaklık

Sıcaklık hem su akımını hem de osmotik basıncı etkiler. İşletme sıcaklığının artması normalde akı değerini de artırmaktadır. Yüksek sıcaklıklar çözünen maddenin difüzyon oranını artırmakta, çözücünün ise viskozitesini azaltmaktadır. Sıcaklıkta meydana gelen 1°C'lik artış akı değerinde %3-3,5 civarında bir artış meydana getirmektedir [15].

2.3.5.6 Geri yıkama

Geri yıkama membran üzerinde biriken kirlenici unsurları temizlemek için uygulanan bir işlemdir. Geri yıkama işlemi süresince akış yönü tam tersi yönde uygulanır. Bu işlem süzüntü suyu ya da su-hava karışımı sisteme geri verilerek uygulanabilir ve kirlenmeye bağlı akı azalması, TMB'da artışı kontrol altında tutmak için sağlanır.

Geri yıkama prosesi hollow-fiber MF ve UF prosesler ile özdeşleşmiştir. Spiral NF ve TO membran sistemlerde ters akım olmadığı için geri yıkama işlemi yapılmaz. Bu membranlarda membran kirlenmesi akı kontrolü, çapraz akım hızı ve kimyasal temizleme ile sağlanır [5].

2.3.5.7 Membranın kullanım ömrü

Membranın kullanım ömrü üretici firmalar tarafından en az 3 yıl, ortalama 4-5 yıl olarak beyan edilmektedir. İşletme koşullarına göre bu süre değişiklik göstermektedir.

- Membran yüzeyinde oluşabilecek çökelme tabakalarının önlenmesi ile membranların daha uzun ömürlü olmaları sağlanabilir.
- Ters osmoz membran proseslerinde ön arıtma uygulanması membranın uzun ömürlü olması için büyük önem taşımaktadır.

- Membran yüzeyinde oluşabilecek çökelme tabakalarının önlemek için uygun dozajda antiskalant kullanımı ve ön arıtma alternatiflerinden sonra membranlardan önce 1-5 µm kartuş filtre kullanımı önemli etkenlerdir.
- Membranları kirlilikten uzak tutmak için zamanında ve etkili bir temizlik gerekmektedir ve böylece daha uzun temizleme aralıkları ve daha uzun membran ömürleri elde edilebilmektedir [16].

2.3.5.8 Ortam pH değeri

Membranların işletilebileceği pH aralıkları üreticileri tarafından belirtilmektedir. Örnek olarak bazı poliamid malzemeden üretilen TO ve NF membranları pH 4-11 aralığında, bazı selüloz asetatından üretilenler ise pH 4-6,5 aralığında işletilebilmektedir. Polisülfon, polipropilen ve PVDF'den imal edilen bazı MF ve UF membranları pH 2-13 aralığında kullanılabilir. İnorganik membranlar geniş bir pH aralığında işletilebilmektedir. Besleme suyunun pH değeri membranlar üreticileri tarafından belirtilen pH aralıklarında olmalıdır. Eğer pH bu aralıklarda değil ise, membran öncesi pH ayarlaması yapılmalıdır [17]. Membran temizliği sırasında da kimyasal kullanımı söz konusu olduğu için tesiste kullanılmakta olan membran türüne göre uygun pH aralığında yıkama çözeltileri ile yıkama yapılmasına dikkat edilmelidir.

2.3.5.9 Antiskalant kullanımı

Antiskalant NF ve TO membran sistemlerinde, besleme suyunda bulunan iyonların membran üzerinde çökmesini engelleyen kimyasallardır. Özellikle CaCO_3 , CaSO_4 , BaSO_4 , silika ve metal oksitler gibi mineraller membran üzerinde çökelme eğilimi gösterirler. Antiskalant kullanımı ile besleme suyundaki bu az çözünen tuzları inhibe ederek çökmesine engel olunur.

Kullanılan antiskalantın dozunun doğru ayarlanması gerekmektedir. Ön arıtma işleminden sonra NF ya da TO membranlarına girmeden önce antiskalant dozlama pompası kullanılarak besleme suyuna sürekli olarak dozlanır. Böylece besleme suyu antiskalanta doymuş hale gelir ve az çözünen tuzların çökmesi engellenmiş olur. Böylece membranların ömrü uzatılmış ve verim artırılmış olur [5].

2.3.5.10 Ön arıtım

İyi dizayn edilmiş ön arıtma sistemleri ile membranların gözeneklerinin tıkanması azaltılarak membranların ömrünün uzatılması sağlanabilir. Bulanıklık verici askıda katı maddeler membranlara ulaşmadan önce besleme suyundan giderilmelidir. Besleme suyunda bulanıklık sürekli kontrol edilmelidir. Bulanıklık seviyesi limitleri aşarsa sistemin çalışması durdurulmalıdır. Silt ve kil gibi askıda katı maddeler membranlarda tutulduğu zaman membranların gözenekleri tıkanır ve kanallamalar oluşur. Arıtılmış su kalitesi düşer.

Silt Density Index (SDI) besleme suyu kalitesinin belirlenmesinde anahtar indikatörüdür. SDI artarken kirlenme potansiyeli de artar. SDI deney sonucu elde edilen değerleri, membran üretici firmaları tarafından verilmelidir. Çoğu membran üreticileri SDI'si 5'den küçük olmasını isterken bazıları da 4'den küçük olmasını ister. Besleme suyunda bulanıklık değerlerinin, sınır değerlerini karşılaması tavsiye edilir. SDI ile bulanıklık arasında bir ilişki olduğu unutulmamalıdır [12].

MF ve UF membranlarının zarar görmemesi için öncesinden ön arıtım olarak kaba filtreler kullanılabilir. NF ve TO öncesinde ise ilk önce MF, UF, basınçlı kum filtresi, aktif karbon filtresi sonrasında kartuş filtre kullanılarak ön arıtma uygulanabilir. Bu sayede mebranların uzun süreli kullanımı sağlanmış olur.

2.3.5.11 Tıkanma ve diğer sorunlar

TO, NF membranları yüzeyinde partiküllerin birikmesi ve tıkanmaya yol açması önemli bir sorundur. Bu sebeple, membran yüzeyinde bu maddelerin tutulmasının engellenmesi ve kontrol edilmesi gerekmektedir. MF ve UF membran yüzeylerinde bu birikimlerin tıkanmaya etkisi TO ve NF'e göre daha düşüktür. Kalsiyum karbonat ve sülfatların çökmesi ile membran yüzeyinde birikim oluşmaktadır. Ayrıca, membran yüzeylerinde silika kontrolü de yapılmalıdır.

Kalsiyum karbonat çökmesini kontrol edebilmek için aşağıdaki metotlar uygulanabilir:

- pH ve alkaliniteyi düşürmek için asit ilavesi yapılabilir.
- Birikim yapmayı engelleyici kimyasallar (antiskalantlar) ilave edilerek konsantre akımında kalsiyum karbonat çözünmüş halde tutulabilir.

- Tasarlanan geri kazanım oranının azaltılabilir.

Mikrobiyal büyüme, membran sistemlerini kirletir ve tıkayabilir. Böylece sistem performansı azalır. Yeraltı sularında genellikle mikrobiyolojik canlı ve substrat konsantrasyonu oldukça düşüktür. Bu sebeple, yeraltı sularının membran proseslerle arıtılmasında genellikle mikrobiyal bir kirlenme ile karşılaşılmaz. Yerüstü suları ve diğer su kaynaklarında yüksek konsantrasyonda mikrobiyolojik canlı ve substrat bulunabilir. Bu sular için, membran prosesler öncesinde mikrobiyal kontrol yöntemleri uygulanmalıdır ve böylece membran kirlenmesi minimize edilmelidir.

Yağ-gres, hidrokarbonlar, farklı organik solventler ve diğer kimyasallar membrana zarar verebilir veya membranın tıkanmasına sebep olabilir. Bu maddelerin besleme suyunda olmasına izin verilmemelidir.

Membranlar, periyodik olarak temizlenmektedir. Bu temizleme işlemlerinde kullanılan kimyasallar kirleticilerle mikrobiyal türleri membran yüzeyinden uzaklaştırır.

Mikrobiyal türleri etkisiz hale getirebilmek için klor gibi dezenfektanlar kullanılmaktadır. Selüloz asetattan imal edilen membranların klora karşı maksimum toleransları 1,0 mg/L'dir. Poliamid de membran imalatından kullanılan bir maddedir. Poliamidin klor ve benzeri güçlü dezenfektan ve oksitleyicilere karşı toleransı oldukça düşüktür.

Demir ve mangan MF, UF, NF, TO ve elektrodializ membranlarında probleme sebep olabilir. Bazı durumlarda, membran üniteleri öncesinde demir ve manganın ön arıtma ile giderilmesi gerekli olabilir. Ön arıtma maksadıyla yüksek pH'a çıkarma veya klor gibi oksidantlarla membran öncesi oksidasyon ile partiküler hale getirme ve çöktürme işlemleri uygulanabilir.

Organik maddeler askıda veya çözünmüş formda bulunabilir. Askıda organik katılar ile mikrobiyal maddeler membran sisteminin performansını etkilemektedir. Bununla birlikte, TO ve NF membranları doğal ve sentetik organik maddeleri giderebilmektedir. Organik madde konsantrasyonu ile membran performansının azalması arasında belirgin bir korelasyon bulunmamaktadır [17].

2.4 Yapay Sinir Ağları

2.4.1 Yapay sinir ağlarının tanımı ve tarihçesi

Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninin çalışma mekanizması taklit edilerek geliştirilen ve biyolojik olarak insan beyninin yaptığı temel işlemleri belirli bir yazılımla gerçekleştirmeyi hedefleyen mantıksal programlama tekniğidir.

Bilgisayar ortamında, beynin yaptığı işlemleri yapabilen, karar veren, sonuç çıkaran, yetersiz veri durumunda var olan mevcut bilgiden yola çıkarak sonuca ulaşan, sürekli veri girişini kabul eden, öğrenen, hatırlayan bir algoritma kısaca “Yapay Sinir Ağları” olarak adlandırılır.

Çalışmalara beyni oluşturan biyolojik üniteler olan nöronların modellenmesi ve bilgisayar sistemlerinde uygulanması ile başlanmış, bilgisayar sistemlerinin gelişimine de paralel olarak birçok alanda kullanılır hale gelmiştir.

İlk yapay sinir ağı modeli, bir sosyolog olan Warren McCulloch ile bir matematikçi ve mantıkçı olan Walter Pitts tarafından 1943 yılında gerçekleştirilmiştir. McCulloch ve Pitts, insan beyninin hesaplama yeteneğinden esinlenerek, elektrik devreleriyle basit bir sinir ağı modellemişlerdir.

1949 yılında Hebb kitabında "Hebb kuralı"nı ortaya koyarak öğrenme ile ilgili temel teoriyi ele almıştır. Bu teoriye göre sinir ağının bağlantı sayısı değiştirilirse, öğrenebileceğini ön görülmekteydi. 1957 yılında Frank Rosenblatt'ın tek katmanlı eğitilebilen ve tek çıkışa sahip bir ağ modeli olan Perceptron'u geliştirmesinden sonra, YSA'lar ile ilgili çalışmalar hız kazanmıştır.

1959 yılında ADALINE (Adaptive Linear Neuron) modeli, Bernard Widrow ve Marcian Hoff (Stanford Üniversitesi) tarafından geliştirmiş ve bu model YSA'ların mühendislik uygulamaları için başlangıç kabul edilmiştir. Bu model gerçek dünya problemlerine uygulanan ilk YSA olma özelliğini kazanmıştır.

1960'ların sonlarına doğru, Minsky ve Papert yazdıkları bir kitapta daha önceden yapılan bu çalışmaların verimsiz olduğunu söyleyince, araştırmacılar uzun yıllar maddi kaynak bulmakta zorlanmışlar ve yapay sinir ağları konusundaki çalışmalar durma noktasına gelmiştir.

1970'lerin sonlarına doğru Fukushima, şekil ve örüntü tanıma amaçlı NEOCOGNITRON modelini geliştirilmiştir. 1972 yılında Kohonen ve Anderson ilişkisel hafıza (associative memory) konusunda benzer çalışmalar yayınlamışlardır. 1982 yılında Kohonen, Kendi Kendine Öğrenme Nitelik Haritaları (Self Organizing Feature Maps (SOM)) çalışmasını yayınlamıştır. İlerleyen yıllarda Hopfield tarafından yayınlanan çalışmalar ile YSA'ların genelleştirilebileceği ve çözümü zor problemlere çözüm üretebileceğini göstermiştir.

1988 yılında, Broomhead ve Lowe radyal tabanlı fonksiyonlar modelini (Radial Basis Functions (RBF)) geliştirmişler ve özellikle filtreleme konusunda başarılı sonuçlar elde etmişlerdir. Daha sonra Spect, bu ağların daha gelişmiş şekli olan olasılıklı (probabilistik) ağlar (PNN) ve Genel Regresyon Ağlarını (GRNN) geliştirmiştir. Bu tarihten günümüze kadar sayısız çalışma ve uygulama geliştirilmeye devam etmektedir [18].

2.4.2 YSA'ların üstünlükleri, sakıncaları ve kullanıldığı alanlar

Birçok alanda kullanılan YSA'ların problem çözmek için kullanılan benzer yöntemlere göre üstünlükleri aşağıda verilmiştir.

- YSA'lar olayları öğrenerek benzer olaylar karşısında mantıklı kararlar verebilirler.
- Bilgiler, geleneksel programlamada olduğu gibi, veri tabanları ya da dosyalarda belli bir düzende tutulmaz. Bunun yerine ağın tamamına yayılarak, değerler ile ölçülen ağ bağlantılarında saklanır. Bu nedenden dolayı işlem elemanlarından bazılarının işlevini yitirmesi durumunda, anlamlı bilginin kaybolmamaktadır.
- YSA'nın öğrenebilme işlemini gerçekleştirebilmesi için örneklerin belirlenmesi ve bu örneklerin ağa gösterilerek istenen çıktılara göre ağın eğitilmesi gerekmektedir.
- Algılamaya yönelik olaylarda kullanılabilirler.
- YSA'lar kendilerine örnekler halinde verilen örüntüleri kendisi veya diğerleri ile ilişkilendirebilirler. Ayrıca, kendisine verilen örneklerin kümelenmesi ile, bir sonraki verinin hangi kümeye dahil olacağının karar verilmesi konularında

kullanılabilirler. Bununla beraber, ağı eksik bilgileri içeren örüntüler verildiğinde, eksik bilgilerin tamamlanması konusunda başarılıdır.

- YSA'lar çalışırken de öğrenebilirler ve kendi kendilerini eğitebilirler.
- Geleneksel program sistemlerinin aksine YSA'lar eğitildikten sonra veriler eksik bilgi içerse de çıktı üretebilirler.
- YSA'lar, çözümlerini yaparken bir problem ortaya çıktığı anda değil, zaman içerisinde yavaş ve göreceli bir şekilde sistemlerini bozarlar.
- YSA'larda bilgi, ağı dağılmış bir şekilde tutulur. Hücrelerin bağlantı ve ağırlık dereceleri, ağı bilgisini gösterir, bundan dolayı tek bir bağlantının kendi başına anlamı yoktur.

YSA'nın sakıncaları aşağıda verilmiştir:

- YSA'ların en önemli sorunu donanım bağımlı olmalarıdır ve her bilgisayarda yapay sinir ağları programları kullanılamamaktadır.
- Probleme uygun ağı yapısının belirlenmesi için geliştirilmiş bir kural yoktur. Yapı, deneyim ve deneme yanılma yolu ile belirlenmektedir ve çıktılar seçilen ağı göre değişkenlik göstermektedir.
- YSA'larda öğrenme katsayısı, hücre sayısı, katman sayısı gibi parametrelerin belirlenmesinde de belirli bir kural yoktur.
- Problemler ağı tanıtılmadan önce sayısal değerlere çevrilerek sisteme girilmelidir.
- Eğitim adımının tamamlanması için ağı örnekler üzerindeki hatasının belirli bir değerin altına indirilmesi gerekmektedir. Bu adımda optimum sonuçlar veren bir mekanizma henüz bulunamamıştır ve bu konu ile ilgili araştırmaların önemli noktalarından biridir.
- YSA bir probleme çözüm ürettiği zaman, bunun neden ve nasıl olduğuna ilişkin bir ipucu vermez. Bu durum ağı kara kutu olarak görülmesine yol açmaktadır.

YSA'lar insan beyninin fonksiyonel özelliklerine benzer şekilde; öğrenme, ilişkilendirme, sınıflandırma, genelleme, tahmin, özellik belirleme, optimizasyon konularında başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Uçay, sağlık, otomotiv, bankacılık, finans, sigortacılık ve telekomünikasyon gibi birçok farklı sektörde kullanılmaktadır [18].

2.4.3 Yapay sinir ağlarının bileşenleri

Biyolojik sinir ağlarında olduğu gibi yapay sinir ağlarında da temel unsur, işlem elemanıdır. İşlem elemanı, YSA' nın çalışmasına esas teşkil eden en küçük ve temel bilgi işleme birimidir. Ağ içinde yer alan tüm işlem elemanları bir veya birden fazla girdi alırlar ve tek bir çıktı verirler. Bu çıktı yapay sinir ağının dışına verilen çıktılar olabileceği gibi başka işlem elemanlarına girdi olarak da kullanılabilirler. Bu yapının temel bileşenleri, dış ortamdan ya da diğer işlem elemanlarından alınan veriler yani girdiler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıktılarıdır.

Girdiler, diğer işlem elemanlarından ya da dış ortamlardan hücreye giren bilgilerdir. Bilgiler bağlantılar üzerindeki ağırlıklar üzerinden işlem elemanına girer ve ağırlıklar, ilgili girişin işlem elemanı üzerindeki etkisini belirler. Yapay sinir ağı içinde girdileri ile işlem elemanları arasında iletimini sağlayan tüm bağlantıların farklı ağırlık değerleri bulunmaktadır. Böylelikle ağırlıklar her işlem elemanının her girdisi üzerinde etki yapmaktadır.

Toplama fonksiyonu, bir işlem elemanına gelen net girdiyi hesaplayan bir fonksiyondur. Genellikle net girdi, girişlerin ilgili ağırlıkla çarpımlarının toplamıdır. Toplama fonksiyonu, ağ yapısına göre maksimum alan, minimum alan ya da çarpım fonksiyonu olabilir.

Transfer fonksiyonu olarak da geçen aktivasyon fonksiyonu, toplama fonksiyonundan elde edilen net girdiyi bir işlemden geçirerek işlem elemanının çıktısını belirleyen ve genellikle doğrusal olmayan bir fonksiyondur. İşlem elemanı modellerinde, hücrenin gerçekleştireceği işleve göre çeşitli tipte aktivasyon fonksiyonları kullanılabilir. Aktivasyon fonksiyonları sabit parametrelili ya da uyarlanabilir parametrelili seçilebilir. En uygun aktivasyon fonksiyonu tasarımcının denemeleri sonucunda belli olur. Aktivasyon fonksiyonunun seçimi büyük ölçüde yapay sinir ağının verilerine ve ağın neyi öğrenmesinin istendiğine bağlıdır.

Aktivasyon fonksiyonundan geçirildikten sonra elde edilen değer, çıktı değeridir [19].

2.4.4 Yapay sinir ağlarının yapısı

Yapay sinir hücreleri bir araya gelerek yapay sinir ağını oluştururlar. Sinir hücrelerinin bir araya gelmesi rasgele olmaz. Genel olarak hücreler 3 katman halinde

ve her katman içinde paralel olarak bir araya gelerek ağı oluştururlar. Yapay sinir ağları yapısı girdi katmanı, ara katman(lar) ve çıktı katmanı olmak üzere 3 katmandan oluşmaktadır.

Girdi katmanı; Bu katmandaki işlem elemanları dış dünyadan bilgileri alarak ara katmanlara transfer ederler. Bazı ağlarda girdi katmanında herhangi bir bilgi işleme olmaz.

Ara katman (Gizli katman); Girdi katmanından gelen bilgiler işlenerek çıktı katmanına gönderilirler. Bu bilgilerin işlenmesi ara katmanlarda gerçekleştirilir. Bir ağ içinde birden fazla ara katman olabilir.

Çıktı katmanı; Bu katmandaki proses elemanları ara katmandan gelen bilgileri işleyerek ağın girdi katmanından sunulan girdi seti için üretmesi gereken çıktıyı üretirler. Üretilen çıktı dış dünyaya gönderilir [20].

2.4.5 Yapay sinir ağı sınıflamaları

Yapay sinir ağları yapılarına, öğrenme algoritmalarına ve öğrenme zamanına göre üç başlık altında sınıflandırılmaktadır.

Yapılarına göre yapay sinir ağları sahip oldukları nöronların birbirine bağlandıkları şekillere göre ileri ve geri beslemeli olarak ikiye ayrılırlar.

İleri beslemeli yapay sinir ağların da işlem elemanları arasındaki bağlantılar bir döngü oluşturmaz ve bu ağlar giriş verisine genellikle hızlı bir şekilde karşılık üretirler. Nöronlar girişten çıkışa doğru düzenli katmanlar şeklinde olup bir katmandan sadece kendinden sonraki katmanlara bağ bulunmaktadır. Yapay sinir ağına gelen bilgiler giriş katmanına daha sonra sırasıyla ara katmanlardan ve çıkış katmanından işlenerek geçer ve daha sonra çıkış verisi elde edilir.

Geri beslemeli yapay sinir ağlarında bağlantılar döngüsel biçimde yer alırlar. Geri beslemeli ağların ileri beslemeli ağlardan farkı, bir nöronun çıktısının sadece kendinden sonra gelen nöron katmanına girdi olarak verilmeyip ayrıca kendinden önceki katmanda veya kendi katmanında bulunan herhangi bir nörona da girdi olarak tanıtılabilmesidir. Geri beslemeli yapay sinir ağları, sahip oldukları döngü sebebiyle girdinin karşılığını yavaş bir şekilde oluşturdukları için bu tür ağların eğitime süreci daha uzun olmaktadır.

Yapay sinir ağıları öğrenme algoritmalarına göre danışmanlı, danışmansız ve destekli öğrenme olarak üçe ayrılır.

Danışmanlı öğrenme yaklaşımında, yapay sinir ağlarında sisteme tanıtılan giriş değerlerinden elde edilmesi hedeflenen çıkış verileri de sisteme tanıtılır. Ağ tanıtılan bu giriş verileri için istenen sonucu bulabilmek amacıyla kendi ağırlık atamalarını günceller. Ağ'dan elde edilen çıktılar ile bulunması istenilen değerler arasındaki hata payı hesaplanarak, ağın bu hata payına göre yeni ağırlık ataması gerçekleşir. Hata payı hesaplaması ise, sistemden elde edilen tüm çıktılar ile bulunulması beklenen çıktılar arasındaki fark hesaplanıp, bu farka göre tüm nöronlara düşen hata payı bulunur. Bu işlem ardından her nöron kendisine gelen ağırlıkları güncelleyerek işleme devam eder. Bu işlem, istenilen verilere en yakın değer elde edilene kadar devam eder.

Danışmansız öğrenme yaklaşımında, yapay sinir ağlarında sisteme sadece örnek verilerin tanıtılması ile gerçekleştirilir. Sisteme herhangi bir çıktı bilgisi verilmediği için sistem girişte tanıtılan veriler doğrultusunda her bir veriyi kendi arasında sınıflandırarak kendi kurallarını oluşturur. Son olarak ağ bağlantı ağırlıklarını aynı özellikte olan dokuları ayırabilecek şekilde düzenleyerek öğrenme işlemini tamamlar.

Destekleyici öğrenme yaklaşımında, sistem ağın her bir iterasyon sonucunda elde ettiği verileri iyi ya da kötü olarak kategorize etmesiyle gerçekleşir. Bu veriler doğrultusunda ağ kendini yeniden düzenler ve bu şekilde ağ kendini elde ettiği bu bilgiler ile hem eğiterek hem de işlemlerden çıkardığı sonuçlar ile döngüyü devam ettirerek sürekli bir işleme tabi tutar.

Öğrenme zamanlarına göre yapay sinir ağları statik ve dinamik öğrenme olarak ikiye ayrılır. Yapay sinir ağlarında statik öğrenme kuralı ile çalışan sistemler de ağ kullanılmadan önce eğitimi gerçekleştirilmektedir. Eğitim tamamlandıktan sonra ağ istenildiği gibi kullanılabilir. Ancak kullanım sırasında ağ üzerindeki ağırlık atamalarında herhangi bir değişiklik yapılamaz. Yapay sinir ağlarında dinamik öğrenme kuralı, sistemin çalışmakta olduğu süre boyunca öğrenmesini öngörerek tasarlanmış olduğu öğrenme şeklidir. Ağ'da eğitim aşaması bittikten sonra da, daha sonra ki kullanımlarda elde edilen çıktı verilerinin onaylanmasına göre ağırlıklar değiştirilerek çalışmalar devam ettirilir [21].

2.4.6 Yapay sinir ağlarının tasarımı

Yapay sinir ağlarının tasarımında ağın başarısı uygulanacak yaklaşımların doğruluğu ile yakından ilgilidir. Ağın topolojisi ve yapısı belirlenirken katman sayıları ve bu katmanlardaki nöron sayıları çok iyi belirlenmelidir. Bu aşamadan sonra kullanılan toplama fonksiyonu ve aktivasyon fonksiyonunun ne olacağına karar vermek gerekmektedir. Bu fonksiyonlar için kullanılan ağırlıklar başlangıçta rastgele atanmaktadır ve eğitim sırasında örnekler ağı gösterilerek ağın öğrenme kuralına göre ağırlıklar değiştirilmektedir. Bu noktada ağın öğrenme stratejisinin ve kuralının seçimi büyük önem taşımaktadır. Eğitim ve test setleri oluşturularak sistemin öğrenme düzeyine bakılıp sistem öğrenmeyi tamamlayınca YSA sonlandırılacaktır [18].

2.4.7 Çoklu cevap problemlerinde yapay sinir ağlarının kullanılması

2000'li yılların başında yapay sinir ağları yaklaşımının tüm alanlarda kullanılmasının yaygınlaşmasıyla beraber çoklu cevap problemleri çözümlerinde de kullanımına başlanmıştır. Özellikle programlama yöntemlerinin gelişmesi bu sürece çok katkı sağlamıştır. Yapay sinir ağlarında çoklu cevap yüzeyi kullanımı bilinen matematiksel yöntemlerin aksine cevapların girdiler olarak tanıtılmasıyla gerçekleşmektedir [18].

3. MALZEME VE YÖNTEM

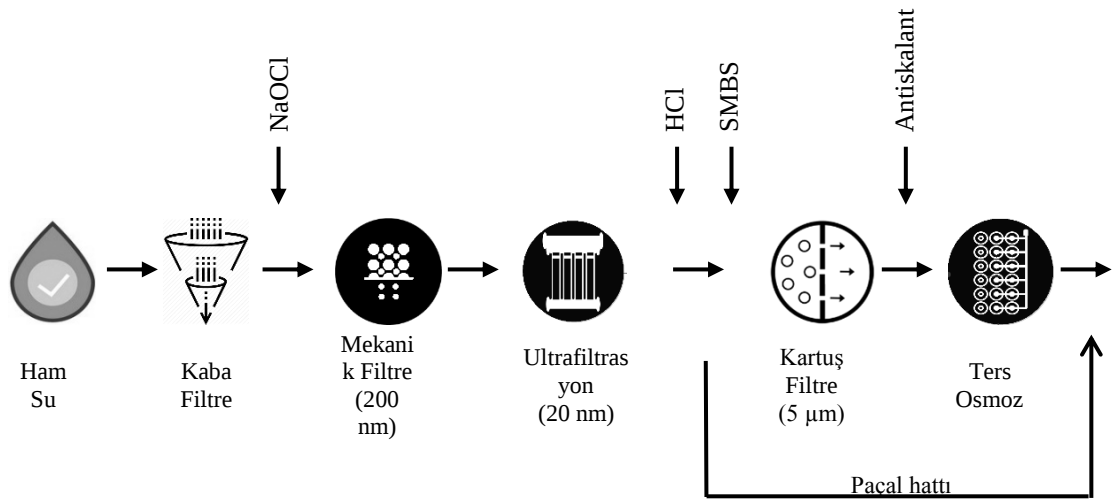
Tez çalışmasında kullanılacak verilerin anlamlı olarak yorumlanabilmesi için hamsu kaynağı olan yüzeysel sudan aylık periyotlarda 4 mevsim boyunca su örnekleri alınarak su kalitesi parametrelerinin analizleri yapılmıştır.

Hamsu karakterizasyon çalışmasına paralel olarak arıtma tesisindeki ultrafiltrasyon ve ters osmoz proseslerinin çıkışlarından aylık periyotlarda alınan örneklerde su kalitesi parametrelerinin ünite ve ortam şartlarına bağlı değişkenliği takip edilmiştir.

3.1 Membran Filtrasyon Arıtma Tesisi

Bu çalışmada, farklı su geri kazanımlarında ve su kalitesi parametre konsantrasyonlarında TO membranının verimini belirlemek için tam ölçekli bir membran filtrasyon tesisinin işletme basıncı, işletme verimliliği ve ürün akış hızı incelenmiştir. İncelenen arıtma tesisi Türkiye'nin en kalabalık illerinden birine hizmet vermekte olup baraj rezervuarından beslenmektedir. Çalışma verilerinin gizliliği için tesis adı ve yüzey suyu kaynağı verilememektedir.

Yüzeysel hamsu kaynağı hamsu deposunda toplanarak arıtma tesisine yönlendirilmektedir. Arıtma tesisi prosesi ultrafiltrasyon ve ters osmoz ünitelerinden oluşmaktadır. İçme suyu arıtma tesisi akım şeması Şekil 3.1'de sunulmuştur.



Şekil 3.1. İçme suyu arıtma tesisi akım şeması.

Şekil 3.1’de, ters osmoz ünitesine ön arıtma olarak kaba filtre, mekanik filtre ve ultrafiltrasyon proseslerini içeren tam ölçekli tesisi akım şeması gösterilmektedir. İçme suyunun ön arıtımı veya ön filtrasyonu, patojenlerin arıtılmasından önce organik ve inorganik partiküler maddelerin sudan uzaklaştırılması için çeşitli filtre türleri kullanılmaktadır [22]. Kaba filtre, membran filtrasyon sistemini kirletme potansiyeline sahip makro ve mikro partikül aralığındaki kum, silt, toprak partikülleri ve alg/biyofilmlerin uzaklaştırılmasını sağlamaktadır. Mekanik filtre gözenek boyutu 200 nm’dir ve algler, bakteriler, kolloidler, virüsler, proteinler ve küçük organik moleküller gibi makro-moleküler kirleticileri besleme suyundan uzaklaştırmak için kullanılmaktadır. Bu kirleticiler, küçük gözenek çaplı filtrasyon ünitelerine zarar verebildiğinden filtrasyon ünitelerini korumak için ön arıtma uygulanır. Ultrafiltrasyon işlemi, virüsler ve çözünmüş organikler gibi makromoleküler aralıktaki kirleticileri uzaklaştırılmasında kullanılmaktadır. Ters osmoz, filtrasyon işlemlerinin son aşamasıdır ve metal iyonları, çözünmüş tuzlar, böcek öldürücüler ve antibiyotikler gibi iyonik aralıktaki maddeleri uzaklaştırmak için kullanılmaktadır. Ters osmoz ünitesinden çıkan su, ultrafiltrasyon ürün suyu ile yaklaşık %25 oranında paçal yapılarak şebekeye verilmektedir.

3.1.1 Ön arıtım

Mekanik filtre ile kaba kirlilik tutulmakta olup UF ünitesinin kirlenme süresi uzatılmakta ve CEB yıkama sıklığı azalmaktadır. Mekanik filtre kullanımı ile hem UF membranlarının kullanım ömrü uzamakta hem de işletme esnasında daha az kimyasal kullanımı sağlanmaktadır. Mekanik filtre giriş ve çıkış basınç farkına göre çalışmakta olup kirlilik durumuna göre su ile kendini otomatik yıkama yapmaktadır.

3.1.2 Ultrafiltrasyon ünitesi

Tesiste İNGE marka multipor hollow fiber modüllerden oluşan bir adet UF ünitesi bulunmaktadır. UF membranları hakkında teknik bilgiler Çizelge 3.1’de verilmiştir. UF membran prosesleri ile partikül, bulanıklık ve bakteri giderimi sağlanmaktadır. Ters osmoz sistemi öncesinde ön arıtma yapılmak amacıyla kullanılmaktadır. Ön arıtma ile kirlilik giderimi sağlanarak TO sisteminin kirlilik yükünü hafifletilmektedir. Ayrıca TO membranlarının kullanım ömrü uzatılmaktadır.

UF membranlarında, trans membran basıncı, membran üreticileri tarafından önerilen ve izin verilen limitin (1 bar) üzerine çıktığından veya filtrelenmiş su miktarında %10-15 düşüş durumunda ultrafiltrasyon membranlarına kimyasal yıkama yapılır.

Çizelge 3.1. UF membranları hakkında teknik bilgiler.

Membran Bilgileri	
UF membran markası	İNGE multipor
Ürün suyu debisi	245-265 m ³ /sa
Çalışma basıncı	1,5-3 bar
Ortalama TMB	0,8 bar
Ünite adedi	1 adet
Bir ünitedeki modül adedi	56 adet
Bir fiberdeki kılcal sayısı	7 adet
Kılcal iç çapı	0.9 mm
Gözenek büyüklüğü	0.02 µm
Malzeme	Polietersülfon (PES)
Çalışma şekli	İçten dışa filtrasyon

3.1.3 Kartuş filtre

Ultrafiltrasyon ünitesi ürün suyu, ters osmoz ünitesine girmeden önce kartuş filtrelerden geçer. Tesiste beş adet seri bağlı, 5 mikron gözenek çaplı kartuş filtre bulunmaktadır. Ters osmoz (TO) membranlarından önce membran ömrünü uzatmak ve kirlenmeyi azaltmak amacıyla kullanılmaktadır. Kartuş filtreler ile su içerisinde kalmış olabilecek son partikülleri de tutulmaktadır. Çalışma basıncı 1,5-2,5 bar aralığındadır. Giriş basıncının ve fark basıncın artması durumunda filtreler yenileri ile değiştirilmektedir.

3.1.4 Ters osmoz ünitesi

Kartuş filtreden çıkan suya antiskalant ve SMBS kimyasalı dozlanarak yüksek basınç pompası ile TO ünitesine gönderilmektedir. Üniteye membranlar iki kademeli olarak projelendirilmiş olup 26 adet membran kılıfının 18 adeti ilk kademeyi 8 kılıfı ise ikinci kademeyi oluşturmaktadır. TO ünitesine ait teknik bilgileri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Ters osmoz ünitesi teknik bilgileri.

Membran Bilgileri	
Membran markası	Oltremare Low 1- 8040
Membran şekli	Spiral sargılı membran
Ürün suyu debisi	110-115 m ³ /sa
Ünite adedi	1 adet
Bir ünitedeki membran kılıf adedi	26 adet
Bir membran kılıfındaki membran adedi	6 adet
Bir ünitedeki membran adedi	26x6=156 adet

3.1.5 Geri yıkama ve kullanılan kimyasallar

Tesiste ultrafiltrasyon ve ters osmoz üniteleri tam otomatik filtre sistemi PLC (programlanabilir mantıksal kontrolör) ile kontrol edilmektedir. Ultrafiltrasyon membranlarında, trans membran basıncı, membran üreticileri tarafından önerilen ve izin verilen limitin (1 bar) üzerine çıktığından, ultrafiltrasyon membranlarına kimyasal geri yıkama (CEB) uygulanmaktadır. Ortalama trans membran basıncı (TMB), 0,8 bar (giriş basıncı (1,7 bar) - çıkış basıncı (0,9 bar))'dır. Besleme ve ürün sularının sıcaklığı, iletkenliği ve pH'ı da hat içi analizörlerle ölçülerek takip edilmektedir (KROHNE Group, Almanya).

Normal geri yıkama işlemi iki ardışık adımdan oluşmaktadır; (a) sistem 30 dakika çalışmakta ve (b) her 30 dakikada bir yıkama yapmaktadır. Bu döngülerin her birine set denilmektedir. Basınç değerleri ve ürün suyu debisi kontrol edilerek ortalama 15 set sonunda CEB yıkama yapılmaktadır. Her 15 sette, UF membranları sırasıyla sodyum hidroksit (NaOH), hidroklorik asit (HCl) ve sodyum hipoklorit (NaOCl) ile CEB'ye tabi tutulmaktadır. CEB yıkaması, transmembran basıncında (TMB) veya filtrelenmiş su miktarında %10-15 düşüş durumunda gerçekleştirilmektedir.

Ultrafiltrasyon ve ters osmoz membranlarında, mevsimsel döngülerde, artan su kirliliği ile basınçların aşırı artması nedeniyle sıcak su ile yerinde temizlik (CIP) yıkama uygulanmaktadır.

CIP yıkaması, 10 tonluk bir tankta ters osmoz ürün suyundan alınan su 35–40 °C'ye kadar ısıtılır. Kirlilik durumuna göre Etilendiamin-Tetra-Asetik Asit (EDTA) + kostik veya sitrik asit ile asidik veya bazik çözelti hazırlanarak yıkama yapılır. Ayrıca TO sisteminde membran gözeneklerinde çökelmeyi önlemek için antiskalant

ve TO membranlarından önce kloru inhibe etmek için sodyum metabisülfid (SMBS) kimyasalları kullanılmaktadır.

3.2 Analiz Metotları

Mayıs 2018 ile Şubat 2019 arasında arıtma tesisi işletme verimliliğini belirlemek için giriş suyu, UF ve TO ürün suyu su kalitesi parametreleri izlenilmiştir. Analizler en geç 24 saat sonunda gerçekleştirilmiştir ve numuneler analiz tamamlanana kadar soğuk zincirde tutulmuştur. Fizikokimyasal parametreler, denetleyici kontrol ve veri toplama (SCADA) sistemi tarafından çevrimiçi olarak sürekli izlenilmektedir. Analiz metotları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

3.3 İstatistiksel Analizler

3.3.1 Temel bileşenler analizi

Temel Bileşen Analizi (TBA), çok sayıda değişkeni (parametreyi) daha az sayıda bileşene indirgemeyi amaçlayan çok değişkenli bir istatistiksel yöntemdir; $n \times m$ boyutlu değişken uzayını $n \times k$ boyutlu bileşen uzayına indirger (n : gözlem sayısı, m : parametre sayısı ve k : bileşen sayısı) [23]. TBA, birbirleriyle yakın ilişkiler ve etkileşimler gösteren parametre gruplarını özetleyen önemli faktörleri tanımlar [24]. TBA ile her gözlem için bileşen puanları hesaplanabilir. Bileşen puan değerleri daha sonra regresyon diskriminant, logit, probit ve sinir ağı modeli gibi modellerde bağımsız (girdi) değişkenler olarak kullanılabilir. TBA ile belirlenen ortak bileşenler (bağımsız parametreler) birbirleri ile korelasyon göstermediği için bağımsız parametreler arasında olası bir çoklu bağlantı sorununun önüne geçilmiştir. Model seçiminde tutumluluk ilkesine uygun olarak, optimum sayıda “iyi tahmin edici” parametre belirler.

3.3.2 Çoklu regresyon analizi

Bu çalışmada, YSA ile oluşturulan modelin çıktısını belirlemek için çoklu parametrenin kendi aralarındaki anlamlı ilişkisini Pearson katsayısı ile tanımlamak için çoklu regresyon analizi kullanılmıştır. Korelasyon katsayısı (r), iki değişken arasındaki doğrusal ilişkinin derecesini ölçen ve -1 ile +1 arasında değişen bir değerdir. r ’nin -1’e yakın olması, bu değişkenler arasında çok güçlü bir negatif doğrusal ilişki olduğunu ve +1’e yakın olması ise çok güçlü bir pozitif doğrusal

ilişkiyi göstermektedir. r'nin mutlak değeri 0,5'ten büyük olduğu için doğrusal ilişkinin güçlü olduğunu göstermektedir [25]. 0.25'in üzerinde bir korelasyon katsayısı olsa bile, çok fazla gözleme dayanarak anlamlı kabul edilebilmektedir. Ancak bu çalışmada olduğu gibi az sayıda (10-15) gözleme dayalı olarak korelasyon katsayısının 0,71'den büyük olması beklenmektedir.

Bağımlı değişken (çıktı) olan y'yi etkileyen m sayıda bağımsız değişken (girdi) varsa, bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler ($x_1, x_2, \dots, x_m$) arasındaki doğrusal fonksiyon Denklem 3.1'deki gibi yazılabilmektedir:

$$y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_mx_m \quad (3.1)$$

Regresyon katsayıları ($a, b_1, b_2, \dots, b_m$) en küçük kareler yöntemiyle Denklem 3.2'deki gibi bulunabilmektedir:

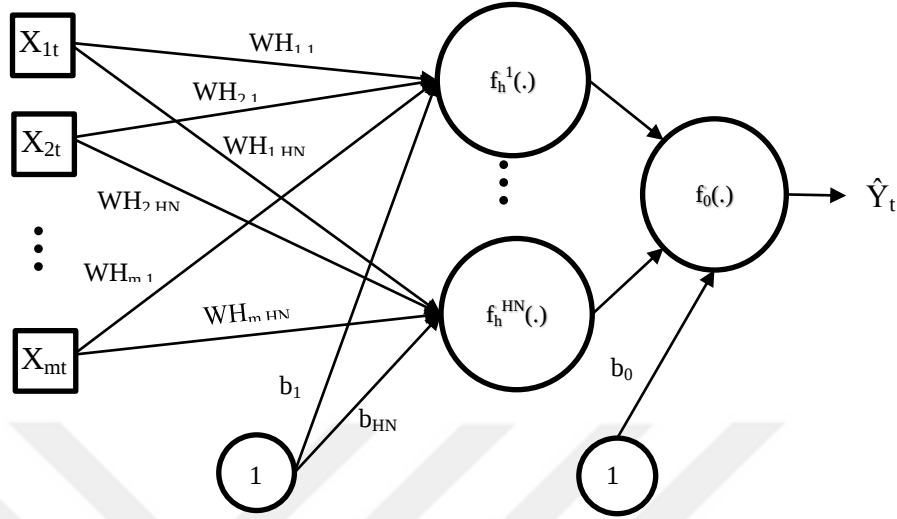
$$\sum_{i=1}^N e_{yi}^2 = \sum_{i=1}^N (y_i - a - b_1x_{1i} - b_2x_{2i} - \dots - b_mx_{mi})^2 \quad (3.2)$$

Korelasyon katsayısı değerlendirilirken dikkate alınan veri sayısı (m) önemlidir. Veri sayısı arttıkça, rastgele nedenlerin etkisi ortadan kaldırıldığı için sonuca daha fazla güvenilebilir.

3.3.3 Yapay sinir ağı

Model geliştirme sürecinde veri toplama ve ön işleme, model tasarımı, model çalıştırma, model testi ve modelin onaylanması adımları takip edilmiştir. YSA modelinin akış diyagramını daha detaylı olarak Şekil 3.2'de gösterilmektedir [26]. İlk adımda, çalışma süresi boyunca membran bazlı filtrasyon tesisi analiz sonuçları değerlendirilmiştir. TBA tarafından karar verilen bir bileşen sonucu model girdisi tanımlanmıştır. Girdilerin model çıktısı üzerindeki etkisi ön regresyon analizi ile incelenmiştir. YSA modelinin doğrulanması ve test edilmesi için kullanılacak veriler, toplam verilerin %40'ından rastgele seçilmiştir. Modelin tasarım aşamasında uygun YSA program geliştirme aracı seçilmiş ve ardından ağ mimarisi yapısı belirlenmiştir. Traingdx işlevi, Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP) ağ yapısındaki eğitim algoritmasının bir türevi ve eğitim algoritmasının bir türevi olup N'ye dahil edilmiştir. MATLAB v2018b yazılımındaki Net Toolbox, tüm YSA işlemlerinde kullanılmıştır [27]. Tüm yerleşik YSA modelleri, hedef çıktı değerini etkin bir

şekilde tahmin etmek için birkaç yinleme (maks. 10000) adımında eğitilmiştir. Tasarlanan ağı çalışmasını ve optimum ağırlık setlerinin kullanılabilirliği modelin çalışması kapsamında değerlendirilmiştir.



Şekil 3.2. YSA modelinin akış diyagramı.

(X_{mt} : Girdiler, $W_{Hm,HN}$: Ağırlıklar, B_1 : Gizli nöronun eğilimi, F_h^{HN} : Gizli nöron aktivasyon fonksiyonu, B_1 : Çıktı nöronunun eğilimi, F_0 : Çıktı nöron aktivasyon fonksiyonu ve Y_t : Çıktı).

Modelin test aşamasında, eğitilen ağ yapısındaki test verileri için performans fonksiyonları kullanılarak hata hesaplamaları ve gerçek değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki korelasyona göre model performansı değerlendirilmiştir. Çalışma ve test sonuçlarının yeterli olmaması durumunda gizli katmandaki nöron sayısı ile birlikte gizli katman sayısı değiştirilerek çalışma ve test adımları tekrarlanmıştır. En yüksek genelleme kabiliyeti ve en uygun model bulunmaya çalışılmıştır. Test aşamasının başarıyla tamamlanmasından sonra, model tahmin için onaylanmıştır [26].

3.3.4 Çalışma, doğrulama ve test setlerinin hazırlanması

Her parametrenin istatistiksel varyasyon aralığı incelendi ve ölçüm hataları kontrol edildi. Giriş suyu parametrelerinin maksimum, minimum ve ortalama değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir. Ana Bileşen Analizi ile girdi parametrelerinin sayısı azaltıldı. YSA modeli için girdi olarak TBA bileşenleri ve çıktı olarak iletkenlik parametresi seçilmiştir. Bileşen veri seti (Çizelge 4.3) çalışma, doğrulama ve test

olarak 3 gruba ayrıldı. Veri setinin %60'ı (6 veri) çalışma, %20'si doğrulama ve %20'si test için kullanılmıştır.

3.3.5 Verilerin normalleştirilmesi

Yapay sinir ağlarının en önemli özelliklerinden biri, yaklaşımın doğrusal olmaması, verileri normalleştirme sürecine tabi tutmasıdır [28]. Gerçek sistemden elde edilen ölçüm değerleri farklı ölçeklerde olabileceğinden doğrudan YSA modelinde kullanılabilecek bir yapıya sahip değildir. Verilerin normalleştirilmesi, girdi kümesindeki her parametrenin modelin tahminine eşit olarak katkıda bulunmasına izin verir. Girdi setindeki parametreler normalize edilmezse, sayısal olarak düşük bir aralıkta yayılan bir parametrenin etkisi, daha geniş bir aralıkta yayılan başka bir parametreye kıyasla önemsiz olacaktır. Bu nedenle, nicelleştirme limiti (LOQ) değerinin altındaki girdi parametrelerinin normalizasyonu %2 analiz hata payı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu olumsuzluk da öğrenme işlevinin başarısız olmasına neden olabilir [29]. Giriş veri setindeki tüm parametre değerleri TBA analizinde Kaiser yöntemine göre normalize edilmiştir [30]. Farklı normalizasyon denklemleri olsa da MLP YSA modelinde genellikle giriş ve çıkış değerlerinin 0 ile 1 arasında normalleştirilmesi tercih edilir. Çıkış olarak tanımlanan iletkenlik parametresi Denklem kullanılarak normalleştirilir (3.3).

$$x_{norm} = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (3.3)$$

x_{norm} : normalleştirilmiş X verileri, x : gerçek değer, x_{min} : minimum veri grubu değeri ve x_{max} : veri grubunun maksimum değeridir.

Çalışma ve test aşamasında normalize edilmiş çıktı değerleri kullanıldıktan sonra, sonuçları yorumlamak için veriler ters normalizasyon işlemi ile orijinal değerlerine dönüştürülür.

3.3.6 YSA modelinin performansı

Modelin çalışma performansını etkileyen önemli faktörlerden biri performans fonksiyonudur. Çalışma ve test aşamalarında, gerçek (istenen) değerler ile model tarafından tahmin edilen değerler arasındaki hata hesaplaması, optimum ağ yapısının belirlenmesinde performans kriteri olarak kullanılmıştır. Hata hesabı için kabul

edilen ve literatürde yaygın olarak kullanılan [31] korelasyon katsayısı ve ortalama karesel hata (MSE) Denklemlere göre hesaplanır (3.4) ve (3.5).

$$R^2 = \left[\frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}} \right]^2 \quad (3.4)$$

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - td_i)^2 \quad (3.5)$$

t: tahmin edilen değer, tdi: gerçek değer ve N: sayı yanlış terimler

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 İçme Suyu Karakterizasyonu

Arıtma tesisi giriş suyu karakterizasyonunu belirlemek için Mayıs 2018 ile Şubat 2019 arasında 30 adet numune alınarak analiz edilmiştir. Giriş suyu parametrelerinin maksimum, minimum ve ortalama değerleri analiz metotları ile birlikte Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Giriş suyu analiz sonuçları ve yöntemleri.

Parametre	Metot	Ort.	Mak.	Min.	Limit*
Renk (Pt-Co)	SM 2120 B	2,800	5,000	2,500	
Bulanıklık (NTU)	SM 2310 B	1,300	2,900	0,300	1,000
pH	TS EN ISO 10523	8,300	8,800	8,000	6,0-8,5
İletkenlik (ms m ⁻¹)	TS 9748 EN 27888	169,7	172,0	165,0	250,0
TÇKM (mg/L)	SM 2540 C	1136	1151	1116	-
Oksitlenebilirlik (mg O ₂ /L)	TS 6288 EN ISO 8467	1,400	2,300	0,300	5,000
TOK (mg/L)	SM 5310 B	2,600	3,600	1,900	3,000
Toplam Sertlik (mg/L)	SM 2340 B	497,5	561,0	432,0	-
Toplam Alkalinite (mg/L)	SM 2320 B	139,9	352,0	87,00	-
Bikarbonat (HCO ₃) (mg/L)	SM 2320 B	168,8	429,0	106,0	-
Karbonat (CO ₃) (mg/L)	SM 2320 B	7,000	17,40	5,000	-
Bromat (BrO ₃) (µg/L)	TS EN ISO 15061	<1,50	<1,50	<1,50	-
Bromür (Br) (µg/L)	SM 4110 B	127,0	214,0	77,00	-
Klorür (Cl) (mg/L)	SM 4110 B	292,8	333,0	255,0	250,0
Florür (F) (mg/L)	SM 4110 B	0,600	1,100	0,200	1,500
Nitrat (NO ₃) (mg/L)	SM 4110 B	2,200	11,30	0,100	50,00
Nitrit (NO ₂) (mg/L)	SM 4110 B	0,100	1,000	0,010	0,500
Sülfat (SO ₄) (mg/L)	SM 4110 B	382,2	428,0	334,0	250,0
Baryum (Ba) (mg/L)	EPA 200.7	<0,300	<0,30	<0,30	-
Silisyum Dioksit (mg/L)	EPA 200.7	9,800	12,60	2,800	-
Aluminyum (Al) (µg/L)	EPA 200.8	11,20	54,40	1,500	200,0
Antimon (Sb) (µg/L)	EPA 200.8	<0,50	<0,50	<0,50	5,000
Arsenik (As) (µg/L)	EPA 200.8	14,70	23,00	9,500	10,00
Kadmiyum (Cd) (µg/L)	EPA 200.8	<0,50	<0,50	<0,50	5,000
Krom (Cr) (µg/L)	EPA 200.8	<0,50	<0,50	<0,50	50,00
Kobalt (Co) (µg/L)	EPA 200.8	<0,50	<0,50	<0,50	-
Bakır (Cu) (mg/L)	EPA 200.8	<0,002	<0,002	<0,002	2,000

Çizelge 4.1. (Devamı) Giriş suyu analiz sonuçları ve yöntemleri.

Demir (Fe) (µg/L)	EPA 200.8	20,70	51,30	2,500	200,0
Kurşun (Pb) (µg/L)	EPA 200.8	<0,50	<0,50	<0,50	10,00
Mangan (Mn) (µg/L)	EPA 200.8	3,800	11,70	0,500	50,00
Civa (Hg) (mg/L)	EPA 200.8	<0,50	<0,50	<0,50	1,000
Nikel (Ni) (µg/L)	EPA 200.8	2,200	7,500	0,500	20,00
Selenyum (Se) (µg/L)	EPA 200.8	<0,50	<0,50	<0,50	10,00
Çinko (Zn) (mg/L)	EPA 200.8	0,020	0,030	0,003	-
Bor (B) (mg/L)	EPA 200.8	0,400	0,500	0,200	1,000
Amonyum (NH ₃) (µg/L)	TS EN ISO 14911	0,100	0,100	0,040	0,500
Lityum (Li) (mg/L)	TS EN ISO 14911	0,030	0,060	0,020	-
Kalsiyum (Ca) (mg/L)	TS EN ISO 14911	131,7	148,0	112,0	-
Magnezyum (Mg) (mg/L)	TS EN ISO 14911	41,00	46,70	37,00	-
Potasyum (K) (mg/L)	TS EN ISO 14911	7,300	8,800	6,400	-
Sodyum (Na) (mg/L)	TS EN ISO 14911	217,2	255,0	165,0	200,0
Enterokok (cfu/100ml)	TS EN ISO 7899-1/2	2,600	3,100	2,000	0,000
Fekal Koliform (cfu/100ml)	TS EN ISO 9308-1	5,000	5,600	4,200	0,000
Toplam Koliform (cfu/100ml)	TS EN ISO 9308-1	144,2	200,5	109,1	0,000

*Limit: İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik

Membran arıtma tesisi giriş suyunda bakteri, askıda katı madde, çözünmüş tuzlar, metaller, anyonlar, azotlu maddeler ve organik maddelere rastlanılmıştır.

Giriş suyu SKKY'ye göre incelendiğinde su kalite sınıfının III derece olduğu görülmektedir. Ham suyun içme suyu olarak kullanılması için TS266 standardına göre incelendiğinde de A3 tip arıtma (Fiziksel ve kimyasal arıtma, ileri arıtma ve dezenfeksiyon) ile arıtılmasının uygun olduğu tespit edilmiştir.

Ham su kaynağı doğal yapısı itibariyle klorür, sülfat ve sertlik değerleri çok yüksektir. Sülfatın başlıca kirletici kaynağının, su kaynağının doğduğu Yıldız dağından başlayan ve akış hattı boyunca uzanan jipsli jeolojik oluşumlar olduğu,

Ham su kaynağının yüksek iletkenlik değerinin ise doğal ya da kirlenmiş suların deşarjı ya da arazi kullanım aktiviteleri yoluyla olduğu,

Ham suyun bulanıklığının nedeni, içindeki askıda katı maddeler ve gözle görülecek büyük tortular, kum, kil, silis, kalsiyum karbonat gibi maddeler, su yosunları ve bakteriler olduğu,

Sertlik parametresinin suda bulunan sülfat ve klorürün, kalsiyum ve magnezyum gibi metaller ile birleşmesinden kaynaklandığı,

Enterokok ve koliform gibi bakteriyolojik parametreler ise yüzeysel su kaynağının akış hattı boyunca antropojenik aktivitelerden kaynaklı oluşan atıksuların su kaynağına karışmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.2 Su Kalite Parametrelerinin Filtrasyon Aşamaları İle İlişkilendirilmesi

Giriş suyunda analiz edilen parametreler Çizelge 4.1’de özetlenmiş olmakla birlikte ultrafiltrasyon ve ters osmoz aşamalarından sonra su karakterizasyonda meydana gelen değişiklikler bu başlık altında incelenmiştir. Membran arıtma tesisi giriş suyunda bulunan kirleticiler, tesisteki farklı filtrasyon aşamalarında kısmen veya tamamen ayırma uğramıştır. Tes osmoz metoduyla her su kaynağının arıtılması hem maliyet hem de işletme zorluğu açısından uygun olmayabilir. Ters osmoz membran modüllerinin daha uzun süreli çalışması için ultrafiltrasyon prosesi bir ön arıtım olarak tercih edilmiştir. Kaba filtre ve mekanik filtre de ultrafiltrasyon için bir ön aşamadır. Bu çalışmada, ultrafiltrasyon ve ters osmoz membranlarının süzüntü suyu kalitesi izlenilmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de özetlenmiştir.

4.2.1 Ön arıtım

Kaba filtre ve mekanik filtre aşamalarından sonra su numunesi alınmadığı için bu işlemler hakkında yorum yapmak doğru bir yaklaşım değildir. Kaba filtre ve mekanik filtre ile suda bulunan 200 µm’den büyük partiküllerin uzaklaştırılması için kullanılmıştır ve diğer filtrasyonlara kıyasla kimyasal kullanılmamıştır.

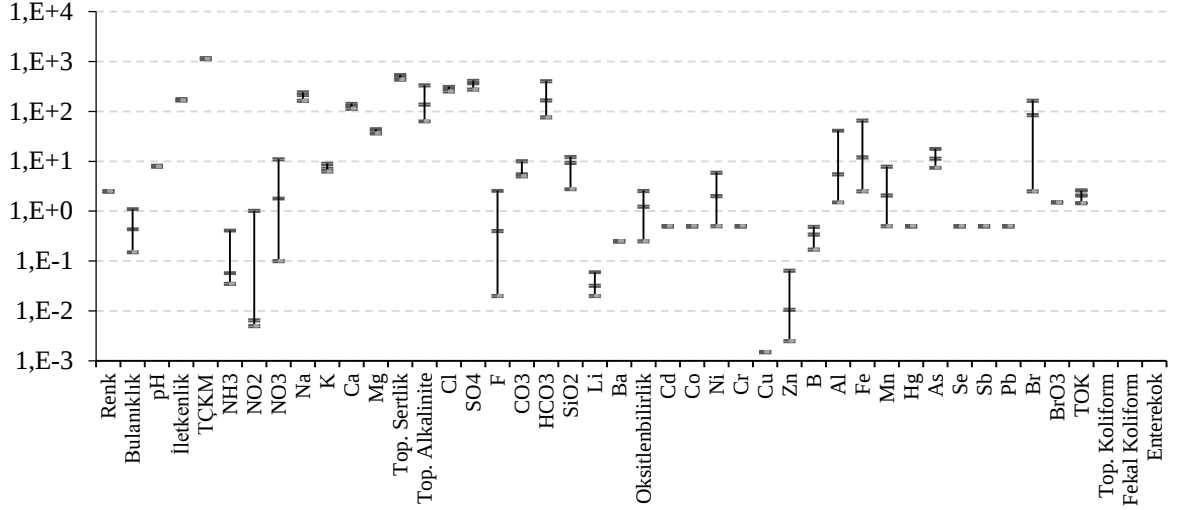
4.2.2 Ultrafiltrasyon ünitesi

UF ünitesi süzüntü suyunda TÇKM giderimi ihmal edilebilir düzeyde (%0.56) iken, bulanıklık giderimi %66,02 olmuştur. Bunun nedeni, süspanse edici ajanların çoğunun çapının 20 nm’den az olmasıdır. Organik maddenin çoğu çözünmüş halde bulunmasına rağmen, diğerleri partikül halindedir. Partikül formundaki (TOK’nin yaklaşık %20’si) organik maddeler, kaba filtrasyon aşamasında uzaklaştırılmıştır. Ultrafiltrasyon aşamasında ise bakterilerin uzaklaştırılması amaçlanmıştır. Giriş suyunda 2 ila 200,5 cfu/100 ml konsantrasyona sahip bakterilerin, ultrafiltrasyon ürün suyunda (Şekil 4.1) tamamen giderildiği ve içme suyu standartlarını karşıladığı

görülmüştür. Birçok hastalığa ve sağlık riskine neden olan mikrobiyolojik parametreler, suyun içme suyu amaçlı kullanımını sınırlayan önemli parametrelerdir.

Ayrıca ön arıtma ve ultrafiltrasyon proseslerinin, hemen hemen izlenen tüm tek/çok değerlikli iyonlar için etkili arıtma sağlayamadığı tespit edilmiştir. Ba, Cd, Cr, Co, Cu, Hg, Li, Pb, Sb ve Se gibi iyonların konsantrasyonları girişte LOQ değerlerinin altında olduğu için arıtma verimleri tahmin edilememiştir. Kimyasalların kaydı, değerlendirilmesi, izni ve kısıtlanması (REACH) Ek XVII: REACH Kısıtlanmış Madde Listesi 2019'a göre As, Cd, Hg, Ni ve Pb öncelikli tehlikeli madde olarak tanımlanmıştır [32]. Ağır metal sonuçlarına göre Al, As, Mn ve Ni arıtma verimleri sırasıyla %51.41, %23.34, %45.53 ve %8.57 idi. Bununla birlikte, Türkiye, DSÖ ve ABD EPA tarafından önerilen içme suyu kılavuzlarına uygun olan As dışındaki tüm ağır metallerin sonuçlarının olduğu belirtilmelidir [4]. Giriş suyunda iyonların mevcudiyeti, ağır metal arıtma verimliliğinde bir azalma ile sonuçlanmıştır. İki değerlikli iyonlar, tek değerli olanlardan daha etkili arıtma etkinliği göstermiştir. Özellikle giriş suyunun sert olması yani Ca^{2+} ve Mg^{2+} gibi iki değerlikli iyonlar arıtma veriminin ana nedenidir. Arıtma veriminin düşük olmasının bir başka nedeninin de giriş suyunda As^{5+} 'dan daha fazla As^{3+} formunun bulunması olduğu düşünülmektedir. As^{5+} reddindeki bu azalma, çözünen maddeler ile membranın etkileşiminden kaynaklanmaktadır. Bu etkileşimler, membran matrisindeki karşı iyonlar ile membran yüklerini lokal olarak nötralize eden sabit yük grubu arasında iyon çiftlerinin oluşumunu içerebilir. Sonuç olarak, doğal organik maddenin varlığının, As^{5+} 'ın yüklü membranlar tarafından reddedilmesinde ilginç bir rol oynayabileceğini göstermiştir. Yüksek bir organik madde konsantrasyonunun, çözeltideki varlığı As^{5+} reddini azaltma eğiliminde olan iki değerli iyonların görünümü ile arsenik reddini iyileştirebileceğine inanılmaktadır [33].

Şekil 4.1'deki tüm parametrelerin birimleri Çizelge 4.1'de verildiği gibidir. Ultrafiltrasyon ürün suyunda, B, Ca, Fe, K, Mg, Na, Zn, metaller ve Br, BrO_3 , Cl, CO_3 , F, HCO_3 , NO_3 , SO_4 anyonlarının arıtım verimlilikleri %0-42,08 arasında değişmiştir. Ultrafiltrasyondaki en büyük başarılarından biri, NH_3 ve NO_2 gibi nitrojen formlarının yüksek oranda giderilmesidir. Hemen hemen tüm anyonların ve kationların TO aşamasında giderimi sağlanmaktadır.



Şekil 4.1. Ultrafiltrasyon ünitesi süzüntü suyu karakterizasyonu.

4.2.3 Ters osmoz (TO) ünitesi

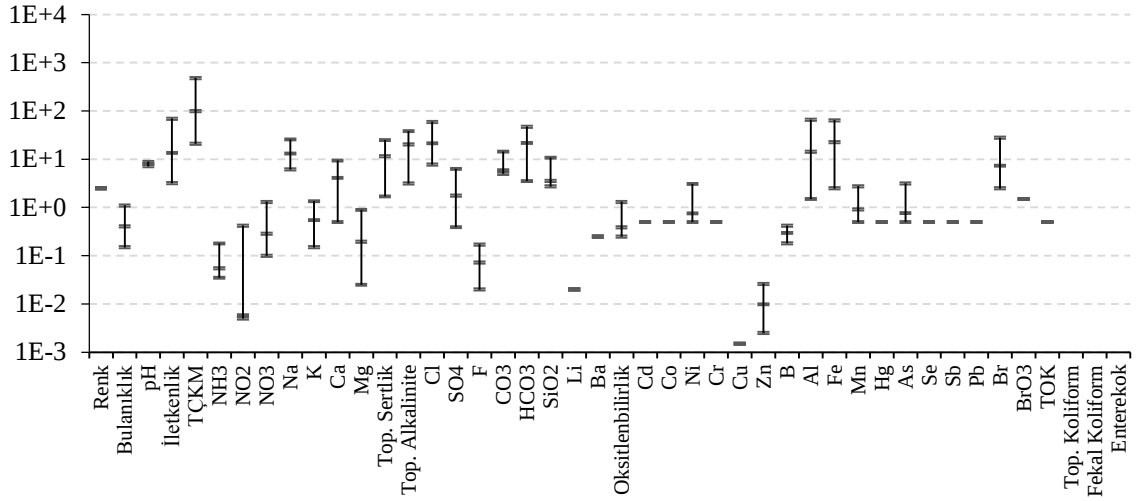
Ters osmoz sonrası gözlenen parametrelerin maksimum, ortalama ve min değerleri Şekil 4.2’de verilmiştir.

TO sistemlerinde optimum sonuçlara ulaşmak için uygun bir ön arıtma çok önemlidir. TO girişindeki Ca, Mg, HCO₃, SO₄ ve Fe parametreleri membranların kirlenmesine ve verimi düşürmesine neden olmaktadır. TÇKM’nin yüksek konsantrasyonu, membranların yüksek ozmotik basınçla çalışmasına neden olmakta ve bu nedenle TO sistemindeki verim azalmaktadır. Ters osmoz ünitesine gelen suyun pH değerleri 8,0-8,8 arasında değişmekte olup esas olarak WHO rehberinde ve içme suyu sağlayan veya temin edilmesi planlanan yüzey sularının kalitesine ilişkin İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik’inde de açıklanmıştır [4].

Şekil 4.2’deki tüm parametrelerin birimleri Çizelge 4.1’de verildiği gibidir. TO ürün suyunda, çözülmüş iyonlar ortalama konsantrasyonlarına göre beş kategoriye ayrılır:

- (1) Cd, Co, Cr, Hg, Pb, Sb, Se, Ni, As ve Mn (< 1 µg/L);
- (2) Cu, BrO₃, SiO₂, NO₂, Br ve Zn (1–10 µg/L);
- (3) Al, Li, Fe, NH₃ ve F (10–100 µg/L);
- (4) Mg, Ba, NO₃, B ve K (100–1000 µg/L);

(5) SO₄, Ca, CO₃, Na, Cl ve HCO₃ (> 1000 µg/L).



Şekil 4.2. Ters osmoz ünitesi süzüntü suyu karakterizasyonu.

Diğer bir yaklaşım ise birçok parametrenin standart sapma değerlerinin düşürülerek arıtma sonrası standart kalitede su elde edilmesidir. Bu da arıtma tesisinin verimli çalıştığını göstermektedir. Sonuçlar, alıcıların WHO yönergelerini ve İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik standartlarını karşılayan yüksek kaliteli içme suyu aldıklarını göstermektedir. Sonuç, pırıl pırıl berrak, taze tadı ve içimi güvenlidir.

4.3 Arıtma Tesis Performansına Etki Eden Faktörler

4.3.1 pH

pH değerleri 8,00 ile 8,80 arasında değişmekte olup, zayıf alkali olup, esas olarak WHO rehberinde ve içme suyu sağlayan veya temin edilmesi planlanan yüzey sularının kalitesine ilişkin İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik’inde açıklanmıştır [4].

4.3.2 Sıcaklık

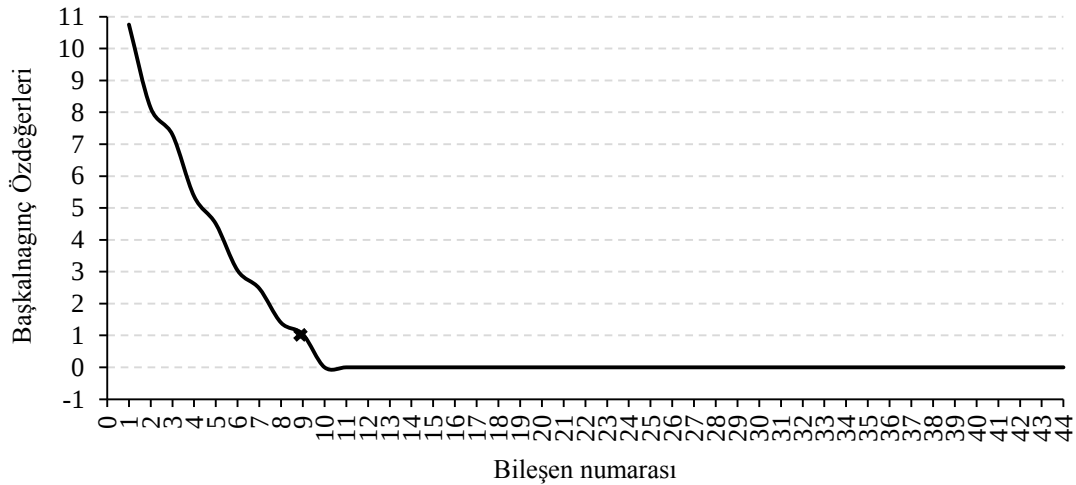
Su viskozitesi sıcaklığa bağlı olarak değişir, özellikle 77°F'nin (25°C) altındaki sıcaklıklarda, arıtılan su miktarı büyük ölçüde azalır. Tesis sıcaklık değerleri yaz ve kış aylarında takip edildiğinde yaklaşık 8°C su sıcaklık farklılığı olduğu, bu sıcaklık farklılığının da TO ünitesinin ürün suyu debisini ve basınçları etkilediği gözlenmiştir.

Projelendirme yapılırken su kaynağının yaz ve kış giriş suyu sıcaklığına göre optimize edilmiş akı değeri doğru belirlenmelidir.

4.4 Yapay Sinir Ağı Modeli

4.4.1 Girdi

YSA modelinde kullanılacak girdi parametrelerinin seçimi modelin performansı için önemlidir. Birbiriyle ilişkili birkaç su kalitesi parametresini birleştirerek az sayıda kavramsal olarak anlamlı yeni değişkenler (bileşenler, boyutlar) bulmak için TBA yapılmıştır. Filtrasyon tesisinin verimliliğini belirlemek için giriş suyundan alınan numunelerde 10 ay boyunca aylık 44 parametre analiz edilmiştir. Bu veri seti kullanılarak oluşturulan $G_n \times m$ matrisi, $n:440$ analiz sonucunu ve $m:44$ parametreyi (değişkenleri) içerir. Bu kadar büyük bir veri seti ile UF membranının performansını değerlendirmek çok zordur. Bu nedenle veri setindeki parametreler arasındaki ilişkileri belirleyerek tüm verileri temsil edebilecek bileşenleri belirleyerek veri sayısını azaltmak için TBA kullanılmıştır. TBA kullanmanın diğer bir amacı, her parametre için bileşen puanlarını hesaplamaktır. TBA analizinde ilk olarak bileşenler tanımlanmış ve Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Birikim eğim grafiği.

Şekil 4.3'te görüldüğü gibi toplam 9 ortak bileşen, toplam değişken varyansının %100'ünü açıklayabilen 1'in üzerinde bir öz değere sahiptir. Bu süreçte orijinal değişkenler Kaiser kuralına göre normalize edildiğinden her bir değişkenin ortalaması 0 ve varyansı 1 olmuştur [34]. Tek bir değişkene göre toplam varyansı

açıklama yeteneği daha az olduğundan özdeğeri 1'den küçük olan bileşenler seçilmemiştir. Böylece toplam girdi sayısı 44'ten 9'a düşürülmüştür. TBA ile hesaplanan 9 bileşenin yorumunu basitleştirmek için varimax bileşen döndürmesi yapılmıştır [35]. Bu yöntem, herhangi bir bileşen üzerinde daha fazla ağırlık (etki) olan parametreleri belirleyerek bileşenlerin yorumlanmasını kolaylaştırır ve herhangi bir bilgi kaybına neden olmaz. Döndürme işleminden sonra parametrelerin hesaplanan bileşen yükleri Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Analiz edilen parametrelerin bileşen modeli ve bileşen yük değerleri.

Bileşen	1	2	3	4	5	6	7	8	9
% Varyans	23,90	18,72	16,37	12,22	10,30	7,04	5,81	3,20	2,45
% Kümülatif	23,90	42,62	58,99	71,21	81,50	88,54	94,35	97,55	100
Renk	0,899	0,059	-0,089	-0,411	-0,025	0,012	0,056	0,059	0,061
Br	0,890	0,073	0,222	0,311	0,054	0,061	0,151	-0,132	-0,098
TÇKM	0,883	-0,284	0,141	0,245	0,126	-0,120	-0,093	-0,110	-0,089
İletkenlik	0,879	-0,113	0,148	0,227	0,112	-0,285	-0,070	0,022	-0,205
CO ₃	0,833	0,446	-0,297	-0,028	0,005	0,082	0,102	0,027	0,023
Mn	0,823	-0,370	-0,045	0,357	0,047	0,027	0,171	-0,153	-0,030
Zn	0,760	-0,583	-0,234	0,054	0,021	0,134	-0,011	-0,024	0,076
Cr	0,741	0,029	-0,071	-0,083	-0,516	0,037	-0,031	0,012	0,412
Se	0,741	0,029	-0,071	-0,083	-0,516	0,037	-0,031	0,012	0,412
Co	0,741	0,029	-0,071	-0,083	-0,516	0,037	-0,031	0,012	0,412
Bulanıklık	0,646	0,328	-0,523	0,023	-0,013	-0,073	0,435	0,047	0,060
Enterekok	-0,061	0,987	-0,131	0,032	-0,013	0,041	-0,042	-0,002	0,001
Cd	-0,061	0,987	-0,131	0,032	-0,013	0,041	-0,042	-0,002	0,001
Sb	-0,061	0,987	-0,131	0,032	-0,013	0,041	-0,042	-0,002	0,001
F	0,223	-0,770	0,254	0,517	-0,005	0,119	0,098	0,043	-0,013
As	0,534	0,707	-0,343	0,052	-0,276	-0,036	-0,080	-0,103	-0,010
pH	0,468	0,684	0,247	0,384	0,221	-0,130	-0,071	0,146	-0,114
Top. Koliform	-0,296	0,576	-0,465	0,189	0,424	0,098	0,116	-0,026	-0,354
K	-0,182	-0,111	0,907	0,110	0,133	0,305	-0,046	0,002	0,083
Mg	-0,023	-0,030	0,880	-0,252	0,175	0,302	0,180	-0,053	-0,063
HCO ₃	0,036	-0,123	0,858	0,413	-0,057	-0,242	0,044	-0,034	-0,112
Top. Sertlik	-0,004	-0,165	0,858	-0,365	0,122	0,256	0,124	-0,077	-0,048
Top. Alkalinite	0,040	-0,089	0,845	0,448	-0,055	-0,238	0,050	-0,035	-0,116
Ca	0,000	-0,226	0,839	-0,409	0,092	0,225	0,095	-0,094	-0,037
Na	-0,660	-0,128	0,670	0,094	0,076	0,175	-0,149	-0,169	-0,059
Cu	-0,217	0,173	-0,245	-0,915	-0,030	0,001	-0,114	0,009	0,105

Çizelge 4.2. (Devamı) Analiz edilen parametrelerin bileşen modeli ve bileşen yük değerleri.

Fe	0,194	-0,233	-0,212	0,899	0,072	0,096	0,173	-0,049	-0,093
Cl	0,278	-0,097	0,120	-0,863	0,157	0,300	0,029	0,137	-0,144
Al	0,146	0,492	0,036	0,843	0,049	0,046	0,092	-0,017	-0,107
SO ₄	-0,095	-0,196	0,172	-0,788	0,211	0,345	0,266	0,091	-0,244
Oksitlenebilirlik	-0,266	-0,037	0,136	0,730	-0,103	-0,047	0,322	0,409	-0,306
Fekal Koliform	-0,386	-0,487	0,244	-0,557	0,107	-0,145	0,035	0,102	-0,449
TOK	-0,289	-0,320	-0,108	-0,494	-0,169	0,409	0,361	0,443	0,190
Ba	0,018	0,025	0,100	-0,055	0,988	0,036	-0,036	-0,089	-0,008
Pb	0,018	0,025	0,100	-0,055	0,988	0,036	-0,036	-0,089	-0,008
Hg	-0,018	-0,025	-0,100	0,055	-0,988	-0,036	0,036	0,089	0,008
NH ₃	-0,254	-0,346	-0,160	-0,047	0,678	-0,397	0,343	0,207	-0,104
BrO ₃	0,003	0,015	-0,198	0,061	0,069	-0,960	0,064	0,075	0,146
NO ₃	0,050	-0,058	0,150	-0,276	-0,029	0,808	0,209	0,224	0,385
Li	-0,303	0,329	0,309	0,077	0,306	0,691	-0,193	0,292	0,071
NO ₂	-0,115	-0,069	-0,176	-0,041	0,003	-0,001	-0,950	0,191	0,099
SiO ₂	0,089	-0,250	0,058	0,192	-0,006	0,002	0,930	0,149	0,037
Ni	0,020	-0,031	0,209	0,057	0,179	-0,109	0,052	-0,948	-0,077
B	0,016	-0,353	-0,481	-0,132	-0,126	0,125	-0,142	0,390	0,650

Çizelge 4.2’de bileşenlerle ilişkili parametreler 0,45’ten büyük bileşen yükleri dikkate alınarak belirlenmiştir [36]. Öngörülen birinci bileşen (1) altında renk, Br, TÇKM, iletkenlik, CO₃, Mn, Zn, Cr, Se, Co ve bulanıklık parametreleri bileşen yük sırasına göre gruplandırılmıştır. Bu nedenle birinci bileşen, çalışmamızda dikkate aldığımız tesisin verimliliğindeki değişimi birinci derecede açıklamaktadır. Birinci bileşen toplam parametre varyansının %23.90’ını açıklamaktadır. Bir sonraki adımda her bir su örneğinin bileşen puanları belirlenmiş ve puan katsayı matrisi Çizelge 4.3’te verilmiştir. Tüm örneklerin %100’ünü temsil eden bu bileşen puanları YSA modelinde girdi olarak kullanılmıştır.

Çizelge 4.3. Bileşen puanı katsayı matrisi.

Örnekleme Tarihi	Bileşenler								
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9
03.05.18	0,292	0,343	2,594	0,872	-0,199	-0,509	-0,221	0,202	-0,151
01.06.18	0,178	1,959	-1,086	1,674	0,134	0,356	0,258	-0,126	-0,153
18.07.18	0,437	-2,229	-0,531	1,537	0,187	0,182	0,434	-0,117	-0,159
28.08.18	2,560	0,168	-0,253	-1,169	-0,071	0,033	0,161	0,168	0,173

Çizelge 4.3.(Devamı) Bileşen puanı katsayı matrisi.

28.09.18	-0,582	0,044	0,050	-0,818	2,120	-0,124	0,292	0,117	-1,575
17.10.18	-0,659	-0,064	-0,372	-0,582	-2,071	-0,279	0,445	0,492	-1,542
09.11.18	-0,723	0,024	-0,393	-0,304	0,222	-1,759	0,852	0,869	1,644
12.12.18	-0,736	-0,041	0,445	-0,563	-0,069	2,313	0,581	0,552	1,023
03.01.19	-0,326	-0,196	-0,502	-0,116	0,008	-0,003	-2,705	0,544	0,280
21.02.19	-0,441	-0,008	0,049	-0,530	-0,261	-0,211	-0,096	-2,700	0,459

4.4.2 Çıktı

YSA modeli çıktısını belirlemek için, analiz edilen parametrelerin giriş suyundaki doğrusal ilişkileri Pearson Korelasyon Analizi ile incelenmiş ve Çizelge 4.4'te özetlenmiştir. Pearson katsayılarına göre ilişkiler 0,00-0,25 çok zayıf, 0,26-0,49 zayıf, 0,50-0,69 orta, 0,70 0,89 güçlü ve 0,90-1,0 çok güçlü olarak tanımlanmıştır [37]. Çizelge 4.4'te orta ve yüksek düzeyde ilişkiyi gösteren değerler koyu renkle gösterilmiştir. Çözünmüş iyonlar, membranların tıkanmasına ve dolayısıyla geri yıkama sıklığının artmasına neden olan parametreler açısından özellikle dikkat çekicidir. Bu bağlamda çözünmüş iyonlarla en çok ilişkili parametreler; renk, bulanıklık, pH, iletkenlik ve TÇKM'dir. Başka bir deyişle, suyun fizikokimyasal özelliklerindeki değişikliklerden dolayı iyonların konsantrasyonlarının değiştiği söylenebilir. Ayrıca toplam sertlik ve toplam alkalilik konsantrasyonları bu iyon konsantrasyonuna bağlıdır. Literatürde bilindiği gibi iletkenlik parametresi sudaki iyonların varlığını temsil eden en önemli parametrelerden biridir [38]. Bu nedenle YSA modeli için çıkış olarak iletkenlik parametresi seçilmiş ve membran performansı buna göre yorumlanmıştır.

Çizelge 4.4. Pearson korelasyon matrisi.

V/V	Renk	Bula.	pH	İlet.	TÇKM	NH ₃	NO ₂	NO ₃	Na	K	Ca	Mg	Top. Sert.	Top. Alk.	Cl	SO ₄	F	CO ₃	HCO ₃	SiO ₂	Li	Ba
Renk	1,0																					
Bula.	0,7	1,0																				
pH	0,3	0,4	1,0																			
İlet.	0,7	0,4	0,6	1,0																		
TÇKM	0,6	0,4	0,4	1,0	1,0																	
NH ₃	-0,2	0,0	-0,2	0,0	-0,1	1,0																
NO ₂	-0,1	-0,4	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	1,0															
NO ₃	0,2	0,0	-0,2	-0,3	-0,2	-0,3	-0,1	1,0														
Na	-0,7	-0,9	-0,2	-0,5	-0,4	0,0	0,1	0,1	1,0													
K	-0,3	-0,7	0,1	-0,1	0,0	-0,1	-0,1	0,4	0,8	1,0												
Ca	0,1	-0,5	-0,1	0,0	0,1	0,0	-0,2	0,4	0,6	0,8	1,0											
Mg	0,0	-0,4	0,1	0,0	0,0	-0,1	-0,3	0,4	0,6	0,9	1,0	1,0										
Top. S.	0,1	-0,5	-0,1	0,0	0,1	0,0	-0,3	0,4	0,6	0,8	1,0	1,0	1,0									
Top. Alk.	-0,2	-0,4	0,4	0,4	0,3	-0,1	-0,2	-0,2	0,6	0,7	0,5	0,6	0,5	1,0								
Cl	0,6	0,1	-0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,5	-0,1	0,1	0,6	0,4	0,5	-0,3	1,0							
SO ₄	0,2	-0,2	-0,4	-0,3	-0,2	0,2	-0,2	0,5	0,2	0,2	0,6	0,6	0,6	-0,2	0,9	1,0						
F	-0,1	-0,2	-0,2	0,4	0,6	0,1	-0,1	0,1	0,2	0,4	0,2	0,2	0,2	0,5	-0,2	-0,2	1,0					
CO ₃	0,8	0,9	0,6	0,6	0,5	-0,3	-0,2	0,1	-0,8	-0,5	-0,3	-0,2	-0,3	-0,3	0,2	-0,1	-0,2	1,0				
HCO ₃	-0,2	-0,4	0,3	0,3	0,3	0,0	-0,2	-0,2	0,6	0,7	0,5	0,6	0,5	1,0	-0,3	-0,2	0,5	-0,3	1,0			
SiO ₂	0,0	0,4	-0,1	0,1	0,1	0,4	-0,9	0,2	-0,1	0,0	0,1	0,2	0,1	0,2	-0,1	0,1	0,4	0,0	0,2	1,0		
Li	-0,3	-0,4	0,2	-0,4	-0,4	-0,2	0,2	0,6	0,5	0,6	0,3	0,5	0,3	0,0	0,1	0,2	-0,1	-0,2	0,0	-0,2	1,0	
Ba	0,0	-0,1	0,2	0,1	0,1	0,6	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2	0,3	0,2	0,0	0,2	0,3	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,3	1,0
Oksit.	-0,5	-0,1	0,2	0,0	-0,1	0,2	-0,3	-0,2	0,2	0,2	-0,2	0,0	-0,1	0,5	-0,6	-0,4	0,4	-0,3	0,5	0,5	0,1	-0,2
Cd	0,0	0,3	0,6	-0,2	-0,3	-0,3	0,0	-0,1	-0,2	-0,2	-0,3	-0,1	-0,3	-0,2	-0,1	-0,2	-0,8	0,4	-0,2	-0,3	0,3	0,0

Çizelge 4.4 (Devam). Pearson korelasyon matrisi.

V/V	Renk	Bula.	pH	İlet.	TÇKM	NH ₃	NO ₂	NO ₃	Na	K	Ca	Mg	Top. Sert.	Top. Alk.	Cl	SO ₄	F	CO ₃	HCO ₃	SiO ₂	Li	Ba
Co	0,7	0,5	0,2	0,5	0,5	-0,6	0,0	0,2	-0,6	-0,2	-0,1	-0,2	-0,1	-0,1	0,1	-0,2	0,1	0,7	-0,1	0,0	-0,3	-0,5
Ni	-0,1	-0,1	0,0	0,1	0,2	0,0	-0,3	-0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	-0,1	-0,1	0,1	-0,1	0,3	-0,1	-0,3	0,3
Cr	0,7	0,5	0,2	0,5	0,5	-0,6	0,0	0,2	-0,6	-0,2	-0,1	-0,2	-0,1	-0,1	0,1	-0,2	0,1	0,7	-0,1	0,0	-0,3	-0,5
Cu	0,2	0,0	-0,4	-0,5	-0,5	0,0	0,2	0,2	-0,1	-0,3	0,1	0,0	0,1	-0,7	0,7	0,6	-0,7	0,0	-0,6	-0,4	0,0	0,0
Zn	0,7	0,4	-0,1	0,7	0,8	0,0	0,0	0,2	-0,6	-0,2	-0,1	-0,2	-0,1	-0,1	0,2	0,0	0,6	0,5	-0,1	0,2	-0,4	0,0
B	0,1	0,1	-0,5	-0,2	-0,1	0,0	0,4	0,4	-0,4	-0,3	-0,3	-0,5	-0,4	-0,6	0,1	-0,1	0,1	0,0	-0,5	0,0	0,0	-0,2
Al	-0,2	0,3	0,7	0,3	0,2	-0,2	-0,2	-0,2	0,0	0,1	-0,4	-0,2	-0,3	0,4	-0,7	-0,7	0,1	0,3	0,3	0,1	0,2	0,0
Fe	-0,2	0,2	0,2	0,4	0,4	0,1	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1	-0,4	-0,3	-0,4	0,2	-0,7	-0,6	0,7	0,1	0,2	0,4	-0,1	0,0
Mn	0,6	0,5	0,2	0,8	0,9	0,0	-0,3	0,0	-0,5	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,2	0,0	-0,2	0,7	0,5	0,2	0,4	-0,4	0,0
Hg	0,0	0,1	-0,2	-0,1	-0,1	-0,6	0,0	0,0	-0,1	-0,2	-0,2	-0,3	-0,2	0,0	-0,2	-0,3	0,0	0,0	0,0	0,1	-0,3	-1,0
As	0,5	0,7	0,6	0,3	0,2	-0,5	0,0	-0,1	-0,7	-0,5	-0,5	-0,4	-0,5	-0,3	-0,1	-0,4	-0,5	0,8	-0,3	-0,2	-0,2	-0,3
Se	0,7	0,5	0,2	0,5	0,5	-0,6	0,0	0,2	-0,6	-0,2	-0,1	-0,2	-0,1	-0,1	0,1	-0,2	0,1	0,7	-0,1	0,0	-0,3	-0,5
Sb	0,0	0,3	0,6	-0,2	-0,3	-0,3	0,0	-0,1	-0,2	-0,2	-0,3	-0,1	-0,3	-0,2	-0,1	-0,2	-0,8	0,4	-0,2	-0,3	0,3	0,0
Pb	0,0	-0,1	0,2	0,1	0,1	0,6	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2	0,3	0,2	0,0	0,2	0,3	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,3	1,0
Br	0,7	0,5	0,6	0,9	0,9	-0,3	-0,3	0,0	-0,4	0,1	0,1	0,2	0,1	0,4	0,0	-0,2	0,4	0,7	0,3	0,3	-0,2	0,1
BrO ₃	0,0	0,2	0,1	0,2	0,1	0,5	0,0	-0,7	-0,3	-0,4	-0,4	-0,5	-0,4	0,1	-0,4	-0,4	-0,1	0,0	0,1	0,1	-0,7	0,0
TOK	0,0	-0,1	-0,6	-0,5	-0,5	0,1	-0,1	0,7	0,0	0,0	0,2	0,2	0,2	-0,4	0,5	0,7	0,0	-0,3	-0,4	0,4	0,2	-0,2
T. Kolif.	-0,3	0,3	0,3	-0,3	-0,4	0,3	-0,1	-0,2	-0,1	-0,4	-0,5	-0,3	-0,5	-0,4	-0,2	-0,1	-0,5	0,2	-0,4	-0,1	0,3	0,4
F. Kolif.	-0,2	-0,5	-0,6	-0,2	-0,2	0,5	0,0	-0,1	0,4	0,2	0,5	0,4	0,5	0,1	0,5	0,7	0,1	-0,6	0,1	0,0	-0,1	0,1
Entere kok	0,0	0,3	0,6	-0,2	-0,3	-0,3	0,0	-0,1	-0,2	-0,2	-0,3	-0,1	-0,3	-0,2	-0,1	-0,2	-0,8	0,4	-0,2	-0,3	0,3	0,0

Çizelge 4.4 (Devam). Pearson korelasyon matrisi.

V/V	Oksit.	Cd	Co	Ni	Cr	Cu	Zn	B	Al	Fe	Mn	Hg	As	Se	Sb	Pb	Br	BrO ₃	TOK	T. Kolif.	F. Kolif.	Entere kok
Renk																						
Bula.																						
pH																						
İlet.																						
TÇKM																						
NH ₃																						
NO ₂																						
NO ₃																						
Na																						
K																						
Ca																						
Mg																						
Top. S.																						
Top. Alk.																						
Cl																						
SO ₄																						
F																						
CO ₃																						
HCO ₃																						
SiO ₂																						
Li																						
Ba																						
Oksit.	1,0																					
Cd	0,0	1,0																				

Çizelge 4.4 (Devam). Pearson korelasyon matrisi.

V/V	Oksit	Cd	Co	Ni	Cr	Cu	Zn	B	Al	Fe	Mn	Hg	As	Se	Sb	Pb	Br	BrO ₃	TOK	T. Kolif.	F. Kolif.	Entere kok
Co	-0,3	0,0	1,0																			
Ni	-0,3	-0,1	-0,1	1,0																		
Cr	-0,3	0,0	1,0	-0,1	1,0																	
Cu	-0,7	0,2	0,0	-0,1	0,0	1,0																
Zn	-0,2	-0,6	0,6	0,0	0,6	-0,2	1,0															
B	-0,2	-0,3	0,4	-0,6	0,4	0,3	0,4	1,0														
Al	0,6	0,5	0,0	0,1	0,0	-0,8	-0,1	-0,4	1,0													
Fe	0,6	-0,2	0,0	0,1	0,0	-0,9	0,4	0,0	0,7	1,0												
Mn	0,0	-0,4	0,5	0,2	0,5	-0,6	0,9	0,0	0,3	0,6	1,0											
Hg	0,2	0,0	0,5	-0,3	0,5	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	1,0										
As	-0,2	0,7	0,6	0,0	0,6	0,1	0,1	-0,1	0,4	0,0	0,2	0,3	1,0									
Se	-0,3	0,0	1,0	-0,1	1,0	0,0	0,6	0,4	0,0	0,0	0,5	0,5	0,6	1,0								
Sb	0,0	1,0	0,0	-0,1	0,0	0,2	-0,6	-0,3	0,5	-0,2	-0,4	0,0	0,7	0,0	1,0							
Pb	-0,2	0,0	-0,5	0,3	-0,5	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	-1,0	-0,3	-0,5	0,0	1,0						
Br	0,0	0,0	0,5	0,2	0,5	-0,5	0,6	-0,3	0,5	0,4	0,9	-0,1	0,5	0,5	0,0	0,1	1,0					
BrO ₃	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	-0,1	1,0				
TOK	0,0	-0,3	0,0	-0,5	0,0	0,5	0,0	0,5	-0,6	-0,4	-0,3	0,2	-0,4	0,0	-0,3	-0,2	-0,5	-0,3	1,0			
T. Kolif.	0,2	0,6	-0,5	0,0	-0,5	0,0	-0,4	-0,3	0,5	0,2	-0,3	-0,4	0,3	-0,5	0,6	0,4	-0,2	0,0	-0,2	1,0		
F. Kolif.	-0,1	-0,5	-0,5	0,0	-0,5	0,4	-0,2	-0,2	-0,7	-0,5	-0,3	-0,1	-0,7	-0,5	-0,5	0,1	-0,5	0,0	0,4	-0,2	1,0	
Entere kok	0,0	1,0	0,0	-0,1	0,0	0,2	-0,6	-0,3	0,5	-0,2	-0,4	0,0	0,7	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,6	-0,5	1,0

4.4.3 Model

Bu çalışmada, tam ölçekli filtrasyon tesisinin arıtma verimi, çıkış olarak Ters Osmoz ürün suyundaki (bağımlı değişken) iletkenlik değeri ve PC1, PC2, PC3, PC4, PC5, PC6, PC7, PC8 ve TBA'daki giriş olarak PC9 değerleri (bağımsız değişkenler) olarak belirlenmiştir. Levenberg-Marquardt (LM), daha önce bahsedilen üstün avantajları nedeniyle YSA'nın çalışma yöntemi olarak kullanılır [39]. Literatürde başarılı olduğu bildirilen birçok çalışmada ağ yapısı ile ilgili birçok parametrenin belirlenmesi için standart bir yöntemin bulunmadığından ve tartışılan probleme ve verilere göre parametre belirlemenin yapılabileceğinden bahsedilmektedir [40].

İlk olarak, girdi katmanındaki bileşen sayısı incelenerek TBA'nın YSA'ya katkısı araştırılmıştır. Bu amaçla YSA modelinde transfer fonksiyonu ve dönem sabit tutulmuş ve gizli katmandaki nöronlar giriş katmanındaki bileşen sayısı olarak tanımlanmıştır. Korelasyon katsayıları Çizelge 4.5'te gösterilmiştir.

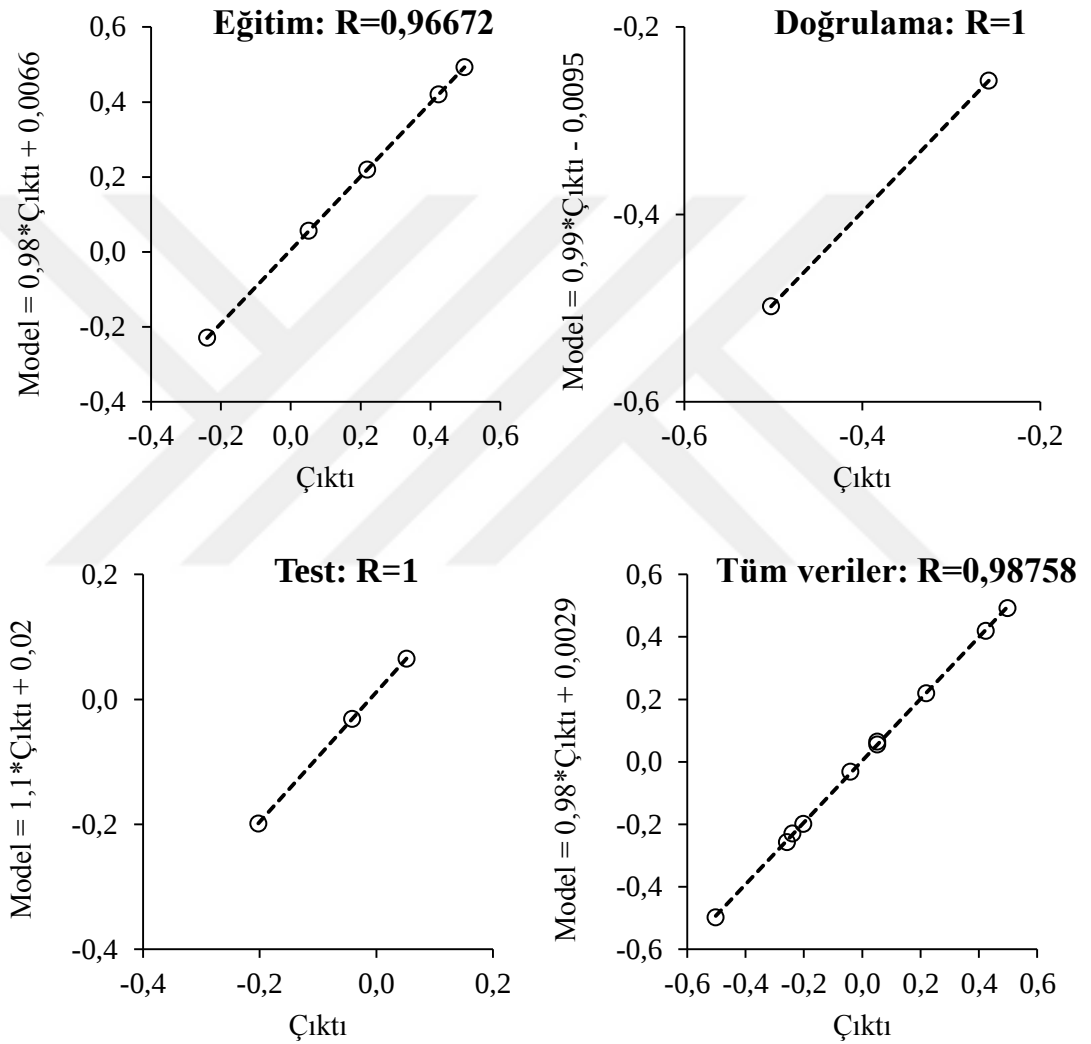
Çizelge 4.5. Momentum ve adaptif LR çalışma ile azalma eğimi ile YSA modeline göre UF performans tahmini için topoloji ve transfer fonksiyonlarının karşılaştırılması.

Topoloji	Transfer fonksiyonları	Dönem	Zaman	MSE	R			
					Tr	Val	Test	All
9:9:1	Tan-sigmoidal	10.000	0:00:28	0,00293	0,96672	1,00000	1,00000	0,98758
44:44:1	Tan-sigmoidal	10.000	0:00:35	0,35600	0,67946	1,00000	1,00000	0,70242

Çizelge 4.5'te bağımsız değişkenin tahmini için kurulan YSA'da 3 katman bulunmaktadır. Bu katmanlardan ilki giriş katmanı, son katman çıkış katmanı ve ara katman ise gizli katmandır. Giriş katmanında TBA kullanan 9, kullanılmayan 44 bileşen bulunmaktadır. Buna göre, 2 topolojinin her birinde çalışma, doğrulama ve test aşamalarında kullanılan veri sayısı değişmektedir. Bu aşamalarda kullanılan veriler rastgele seçilmiştir. Çizelge 4.5'teki işlem süreleri ve R değerleri dikkate alındığında, giriş katmanındaki bileşen sayısının TBA kullanılarak azaltılmasının hem zaman hem de modelin uygulanabilirliği açısından fayda sağladığı görülmektedir. Literatürde farklı büyüklükteki veri setleri kullanılarak benzer çalışmalar yapılmış ve aynı sonuca ulaşılmıştır [41-44].

TBA sonuçları kullanılarak geliştirilen YSA modelinde 9 bileşen ile %95'in üzerinde bir korelasyon katsayısı elde edildiğinden gizli katmandaki bileşen sayısı

değiştirilmemiştir. Doğrulama seti hatası ve test seti hatası benzer olduğu ve önemli bir ezberleme olmadığı için ağın performansı kabul edilebilir. Çalışma seti için maksimum hata değeri 0,01 olarak tanımlanmış ve bu değer aşıldığında çalışma durdurulmuştur. Ancak, modelin MSE sonucu 0,00293 idi. Bu sonuçla önceden belirlenmiş ve kabul edilebilir bir performans hedefine ulaşılmıştır. Şekil 4.4, çıktılar ve hedefler arasındaki ilişkiyi göstermektedir. R-değerinin 1'e oldukça yakın olması, bunun iyi bir uyum olduğu anlamına gelir.



Şekil 4.4. (a) çalışma, (b) doğrulama, (c) test ve (d) tüm verilerin ysa model sonuçları ile korelasyonu.

Çalışma verileri için R-korelasyon katsayısı 0.967 idi ve çok iyiydi. Doğrulama ve test verileri için R korelasyon katsayısı 1'di ve mükemmel bir uyum gösterdi. Modelin çalışmasında kullanılan çok az veri olmasına rağmen, model tahminlerinin modelin çalışmasında kullanılmayan verilerle uyumu nedeniyle model tahminlerinin

güvenilir olduğu söylenebilir. Ancak, dağılım grafiği, hangi veri noktalarının kötü eşleştiğini belirlemek için önemlidir. Örneğin, çalışma kümesindeki verilerin çıktısı, yaklaşık 0,15 olan 0,05 değerine karşılık gelir. YSA sonuçlarına göre, R korelasyon katsayı değerleri çıktının amaçlarla iyi açıklandığını göstermektedir. Bu sonuç, YSA modelinin neredeyse gerçekçi değerleri tahmin etmek için yeterince iyi olduğunu göstermektedir. Ayrıca bu değerler, YSA kullanan ve başarılı olan birçok çalışmanın korelasyon değeri sonuçlarına benzerdi [45]. Gizli ve çıktı katmanlarının ağırlık ve yanlılık katsayıları Çizelge 4.6'da özetlenmiştir.



Çizelge 4.6. Gizli ve çıkış katmanlarının ağırlık ve yanlılık katsayıları

Nöron	W_{input}									W_{hidden}	b_{input}	b_{hidden}
#01	0,6750	-0,4689	0,3562	0,8373	-0,7906	-0,8838	-0,5529	0,1090	-0,0012	-0,2239	-1,7633	0.0909
#02	0,1749	-0,5992	0,3871	-0,5175	-0,2895	0,5463	-1,1329	-0,1683	0,7836	-0,2887	-1,4108	-
#03	-0,3809	0,5169	-0,1307	0,6491	0,7944	-0,5460	0,5991	0,7874	-0,6600	-0,0858	0,8948	-
#04	-0,3043	0,2046	0,3047	-0,9413	0,1330	0,3973	-1,1127	-0,4040	-0,7165	-0,0295	0,4338	-
#05	0,1666	-0,1722	-0,9851	-0,1862	-0,4095	-0,8015	-0,4683	-0,5655	-0,9187	0,0891	0,0579	-
#06	-0,7396	-0,6811	-0,5376	0,6136	0,5936	-0,7342	0,0694	-0,0368	0,7196	0,3552	-0,6351	-
#07	-1,1947	0,8358	-0,0420	-0,9726	-0,0298	0,4984	0,1283	0,0693	0,1854	-0,7389	-0,9405	-
#08	0,6566	-0,8252	0,5066	-0,6757	0,8351	0,5267	0,2633	-0,4673	-0,5160	0,1539	1,2114	-
#09	0,1312	-0,5338	0,7082	-0,8368	-0,5208	-0,7923	-0,7311	-0,2839	-0,2971	0,6742	-1,8975	-

5. SONUÇ

Bu çalışmada, gerçek bir membran filtrasyon arıtma tesisinin içme suyundan kirleticileri uzaklaştırma verimliliği değerlendirilmiştir. Mayıs 2018 ile Şubat 2019 tarihleri arasında içme suyu kaynağında yapılan karakterizasyon çalışmaları neticesinde su kalitesinin SKKY'ye göre III. Sınıf olduğu ve TS266 standardına göre de A3 tip arıtma (Fiziksel ve kimyasal arıtma, ileri arıtma ve dezenfeksiyon) ile arıtılmasının uygun olduğu tespit edilmiştir. Membran filtrasyon arıtma tesisinin sahip olduğu UF ve TO üniteleri, organik bileşenleri ve anyonları sudan ayırma yeteneğine sahiptir. Bu nedenle, arıtma tesisinin genel performansının doğru bir şekilde değerlendirilmesinde TO ünitesinin çıkış suyu verileri dikkate alınmıştır. Tesis performansının etkin bir şekilde izlenilebilmesi amacıyla istatistiksel yöntemlerden yararlanılmıştır. Tesis giriş suyu kalitesine göre tesisin ayırma performansını belirlemek amacıyla Yapay Sinir Ağı modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen modelin girdisi olarak kullanılmak üzere arıtılan ham suda bulunan 44 adet su kalite parametresi Temel Bileşen Analizi yöntemi kullanılarak 9 adet bileşene (gruba) indirgenilmiştir. Modelin çıktısı olarak ise tesis giriş suyunda bulunan 44 adet parametre arasında korelasyon analizi yapılmış ve diğer parametrelerle en fazla ilişkiye sahip olan iletkenlik parametresinin arıtım verimliliği model çıktısı olarak kullanılmıştır. Girdi ve çıktısı belirlenen YSA modelinin uygunluğu, ortalama kare hatalarının ($0,00293 < 0,01$) değerlendirilmesiyle belirlenmiş ve oldukça kuvvetli ($R = 0,98758$) tahmin yeteneğine sahip olduğu görülmüştür. Tam ölçekli filtrasyon tesisini etkileyen ölçülebilir ve ölçülemeyen çok sayıda faktörün olduğu göz önüne alındığında geliştirilen YSA modeli tesis operatörleri için büyük önem taşımaktadır. Modelin etkinliği daha uzun örnekleme periyotlarında girdi ve çıktı veri sayısı çoğaltılarak artırılabilir.

KAYNAKLAR

1. Tamer, N. G., Atik, S., Özbilen, V., Özden, S. ve Seyrek, K., 2008. Küresel su politikalarının şehir ve bölge planlama disiplini açısından değerlendirilmesi, TMMOB 2. Su Politikaları Kongresi, Ankara, Bildiriler Kitabı, Cilt I, 90-91.
2. Bruggen, B., Vandecasteele, C., Gestel, T., Doyen, W. and Leysen, R., 2003. A review of pressure-driven membrane processes in wastewater treatment and drinking water production, Environmental progress, 22,1, 46-56.
3. Koyuncu İ., 2018. Su/Atıksu Arıtılması ve Geri Kazanılmasında Membran Teknolojileri ve Uygulamaları Cilt 1: Membran Teknolojileri ve Su Arıtma, Türkiye Çevre Koruma Vakfı, Ankara.
4. World Health Organization, 2004. Guidelines for Drinking-water Quality.
5. Aksu, H., 2019. Türkiye’de içmesuyu arıtımında membran uygulamaları ve uygulama aşamasında karşılaşılan işletme problemleri, Uzmanlık Tezi, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Ankara.
6. Gezer, A., 2017. Ev tipi su arıtma sistemlerinin kullanımı ve halkın temiz su algısının belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.
7. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2017. İçme suyu arıtma metotları ve kimyasal kullanımı, Ankara.
8. Eroğlu, V., 1995. Su tasfiyesi, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
9. Arı P. H., 2009. Türkiye’de içme suyu amaçlı büyük kapasiteli membran sistemlerinin maliyet analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
10. Aslan M., 2016. Membran teknolojileri, Türkiye Çevre Koruma Vakfı, Ankara.
11. Can, A. O., 2019. Manyetik nano parçacık katkılı kompozit membranların eldesi ve özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
12. Naharcı, B., 2007. Ters ozmos yöntemi ile içme suyu elde edilmesinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
13. Kaya, Y., 2007. Nanofiltrasyon ile proses sularından organik maddelerin geri kazanımının araştırılması, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
14. Kayacan, B. B., 2010. Pamuklu tekstil endüstrisi atıksularının membran proseslerle geri kazanımının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

15. Eren, B., 2006. yapay sinir ağıları ile membran proses verimine etki eden parametrelerin analizi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
16. Koyuncu İ., 2018. Su/Atıksu Arıtılması ve Geri Kazanılmasında Membran Teknolojileri ve Uygulamaları Cilt 3: Membran Teknolojilerinde Konsantre Yönetimi, Maliyet, İşletme ve Bakım, Enerji Üretimi Uygulamaları ve Membran Terimleri Sözlüğü, Türkiye Çevre Koruma Vakfı, Ankara.
17. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2013, Su arıtma tesislerinin tasarım ve işletme esasları, Ankara.
18. Baş, C., 2010. Cevap yüzeyi tasarımları ve sinir ağıları yaklaşımı, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
19. Sezer, M., 2007. Yapay sinir ağıları (YSA) kullanılarak koi parametresinden boi parametresinin tahmin edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
20. Açıklın, S., 2007. Atıksu arıtma tesisi veriminin yapay sinir ağıları ile tahmin edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
21. Karakaya, K., 2012. Yapay zeka modelleriyle tam ölçekli çamur çürütme reaktörlerinden elde edilen biyogaz üretiminin tahmini: yapay sinir ağıları ve fuzzy logic uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
22. Pandey, S.R., Jegatheesan, V., Baskaran, K. ve Muthukumaran, S., 2013. Pre-treatment technologies for reverse osmosis (RO) during water recovery, Solut. Environ. Challenges Innov. Res., 143-194.
23. Jolliffe, I.T. ve Cadima, J., 2016. Principal component analysis: a review and recent developments, Philos. Trans. Roy. Soc. A: Math. Phys. Eng. Sci., 374, 20150202.
24. Abdi,H. ve Williams, L.J., 2010. Principal component analysis, Wiley Interdiscip. Rev. Comput. Stat. 2, 433-459.
25. Nau, R.F., 2009. What's a good value for R-squared?, Duke University 12.
26. Hamed, M.M, Khalafallah, M.G. ve Hassanien, E.A., 2004. Prediction of wastewater treatment plant performance using artificial neural networks, Environ. Modell. Software, 19, 919-928.
27. Haykin, S.S., 2009. Neural networks and learning machines, Pearson Education, New Jersey.
28. Aldaş, K., Ozkul, İ., ve Eskil, M.J.M.T., 2014. Prediction of surface roughness in longitudinal turning process by a genetic learning algorithm, Mater. Test., 56,375-380.

29. Akdag, U., Komur, M.A. ve Akcay, S., 2016. Prediction of heat transfer on a flat plate subjected to a transversely pulsating jet using artificial neural networks, *Appl. Therm. Eng.*, 100, 412-420.
30. Beaumont, R., 2012. An introduction to principal component analysis & factor analysis using SPSS 19 and R (psych package), *Factor Anal. Principal Compon. Anal. (PCA)*, 24.
31. Sofu, A. ve Ekinçi, F., 2007. Estimation of storage time of yogurt with artificial neural network modeling, *J. Dairy Sci.*, 90, 3118–3125.
32. ECHA, REACH Annex XVII: REACH Restricted Substance List, 2019. in echa.europa.eu, Helsinki, Finland.
33. Uddin, M.T., Mozumder, M.S.I., Figoli, A., Islam, M.A. ve Drioli, E., 2007. Arsenic removal by conventional and membrane technology: an overview.
34. Pereira, J.C., Azevedo, J.C.R., Knapik, H.G. ve Burrows, H.D., 2016. Unsupervised component analysis: PCA, POA and ICA data exploring-connecting the dots, *Spectrochim. Acta Part A: Mol. Biomol. Spectrosc.*, 165, 69-84.
35. Dien, J., 2010. Evaluating two-step PCA of ERP data with geomin, infomax, oblimin, promax, and varimax rotations, *Psychophysiology*, 47, 170-183.
36. Tabachnick, B.G. ve Fidell, L.S., 2001. Using multivariate statistics, Vol. 5, Allyn Bacon, Nedham Heights, MA.
37. Rienstra, W., Blikman, T., Mensink, F.B., Raay, J.J., Dijkstra, B., Bulstra, S.K. ve Stevens, M., 2015. I. van den Akker-Scheek, The modified pain detect questionnaire for patients with hip or knee osteoarthritis: translation into Dutch, cross-cultural adaptation and reliability assessment, *plos one* 10, e0146117.
38. Inc, F.E., 2016. Conductivity, salinity & total dissolved solids, Disponible desde.
39. Sönmez, F., Zontul, M. ve Bülbül, Ş., 2015. Mevduat bankalarının karlılığının yapay sinir ağları ile tahmini: bir yazılım modeli tasarımı, *J. BRSA Bank. Financ. Mark.* 9.
40. Chen, M.Y., Fan, M.-H., Chen, Y.-L. ve Wei, H.M., 2013. Design of experiments on neural network's parameters optimization for time series forecasting in stock markets, *Neural Network World* 23, 369.
41. Jayaweera, C. ve Aziz, N., 2018. Reliability of principal component analysis and Pearson correlation coefficient, for application in artificial neural network model development, for water treatment plants, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Publishing, p. 012076.
42. Mjalli, F.S., Al-Asheh, S. ve Alfadala, H., 2007. Use of artificial neural network black-box modeling for the prediction of wastewater treatment plants performance, *J. Environ. Manage.*, 83, 329–338.

43. Oliveira-Esquerre, K., Mori M. ve Bruns, R., 2002. Simulation of an industrial wastewater treatment plant using artificial neural networks and principal components analysis, *Braz. J. Chem. Eng.* 19, 365–370.
44. Yetilmezsoy, K. ve Demirel, S., 2008. Artificial neural network (ANN) approach for modeling of Pb (II) adsorption from aqueous solution by Antep pistachio (*Pistacia Vera L.*) shells, *J. Hazard. Mater.*, 153,1288–1300.
45. Yilmaz, E.C. ve Dogan, E., 2008. bir atıksu arıtma tesisi performansının modellenmesi için yapay sinir ağlarının uygulanması, *Electron. Lett. Sci. Eng.*, 4, 1–9.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Zeynep UÇAK

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans : Selçuk Üni. Çevre Mühendisliği Bölümü, 2007-2012

Yüksek Lisans : Aksaray Üni. FBE, Çevre Mühendisliği ABD, 2022-2023

TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER

Uluslararası Hakemli Dergilerde Yayınlanan Makaleler

1. Alver, A., Kazan Z.,2020. Prediction of full-scale filtration plant performance using artificial neural networks based on principal component analysis, Separation and Purification Technology, 230, 115868.