



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



**İÇME VE KULLANMA SULARINDAKİ  
DEZENFEKSİYON YAN ÜRÜNLERİNİN  
MODİFİYE AYIRMA SİSTEMLERİ İLE  
GİDERİLMESİ**

**Yasin ANDIRICI**

**DOKTORA TEZİ**

**Kimya Anabilim Dalını**

**ŞUBAT-2023**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Yasin ANDIRICI tarafından hazırlanan “İçme ve Kullanma Sularındaki Dezenfeksiyon Yan Ürünlerinin Modifiye Ayırma Sistemleri ile Giderilmesi” adlı tez çalışması 02/02/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

#### Başkan

Prof. Dr. Hüseyin KARA

.....

#### Danışman

Doç. Dr. Fatih DURMAZ

.....

#### Üye

Prof. Dr. İbrahim Ender MÜLAZIMOĞLU

.....

#### Üye

Prof. Dr. Aydan YILMAZ

.....

#### Üye

Doç. Dr. Mustafa TOPKAFA

.....

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum.

Prof. Dr. ....  
FBE Müdürü

Bu tez çalışması SÜ-BAP tarafından 20211015 nolu proje ile desteklenmiştir.

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## **DECLARATION PAGE**

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Yasin ANDIRICI

02/02/2023

## ÖZET

### DOKTORA TEZİ

# İÇME ve KULLANMA SULARINDAKİ DEZENFEKSİYON YAN ÜRÜNLERİNİN MODİFİYE AYIRMA SİSTEMLERİ İLE GİDERİLMESİ

Yasin ANDIRICI

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Kimya Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Fatih DURMAZ

2023, 127 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Hüseyin KARA  
Prof. Dr. İbrahim Ender MÜLAZIMOĞLU  
Prof. Dr. Aydan YILMAZ  
Doç. Dr. Mustafa TOPKAFA  
Doç. Dr. Fatih DURMAZ

Bu çalışma, Konya ilinde kapasite bakımından önemli bir yere sahip olan bir yüzme havuzunun trihalometan (THM) ve Toplam Organik Karbon (TOK) seviyelerinin belirlenmesi ve sudaki mevcut miktarların modifiye edilmiş membran arıtma sistemleriyle giderilebilmesinin ne derece mümkün olduğunu görebilmek amacıyla yapılmıştır. Bu amaçla, 8 hafta boyunca ve haftada bir gün olmak üzere sabah seansı sonraları yüzme suyundan 80-100 litre arasında değişen numuneler alınmıştır. Bu 8 numunenin 2 haftası salı, 2 haftası çarşamba, 2 haftası perşembe, 2 haftası cuma seansından sonra olacak şekilde alınmasına dikkat edilmiştir. Numunenin serbest klor, bağlı klor ve pH'ı ölçülmüştür. Bu su, ön arıtması karışık yataklı aktif karbon ve zeolitten oluşan pilot ölçekteki ultrafiltrasyon sisteminde filtrelendikten sonra suda THM ve TOK analizleri yapılmış, çıkan sonuçlar, ultrafiltrasyon sisteminde filtre edilmemiş sudaki THM ve TOK analiz değerleri ile kıyaslanmıştır. Bunların dışında yüzme havuz suyunu besleyen şebeke suyundan da paralel olarak numuneler alınmış ve serbest klor, bağlı klor, pH, THM ve TOK miktarları belirlenmiştir.

Çalışma sonucunda, modifiye edilmiş ultrafiltrasyon sisteminden geçirilen yüzme havuz suyunda TOK ve THM seviyelerinde önemli derecede giderim sağlandığı ve ortalama değeri 257 µg/L olan THM'nin giderim oranının ortalama %93 olduğu gözlenmiştir. Ultrafiltrasyon çıkış suyunun analiz sonuçlarına göre, Toplam Organik Karbon değerleri, okuma sınırı olan 2 mg/L'nin altında kaldığı için % giderim olarak verilmemiştir. Ayrıca içerisinde organik kirlilik barındıran yüzme havuz suyundaki THM oluşum miktarının, suyun pH'ı ve bağlı klorun miktarı ile önemli derecede doğru orantılı olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Dezenfeksiyon yan ürünleri, trihalometan, ultrafiltrasyon, yüzme havuz suyu

## **ABSTRACT**

### **Ph.D THESIS**

## **REMOVING DISINFECTION BY-PRODUCTS IN DRINKING AND USING WATER WITH MODIFIED SEPARATION SYSTEMS**

**Yasin ANDIRICI**

### **THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY IN CHEMISTRY**

**Advisor: Assoc. Prof. Dr. Fatih DURMAZ**

**2023, 127 Pages**

#### **Jury**

**Prof. Dr. Hüseyin KARA**

**Prof. Dr. İbrahim Ender MÜLAZIMOĞLU**

**Prof. Dr. Aydan YILMAZ**

**Assoc. Prof. Dr. Mustafa TOPKAFA**

**Assoc. Prof. Dr. Fatih DURMAZ**

This study was carried out in order to determine the trihalomethane (THM) and Total Organic Carbon (TOC) levels of a swimming pool, which has an important place in terms of capacity, and to see to what extent it is possible to remove the existing amounts in the water with modified membrane treatment systems. For this purpose, samples ranging from 80-100 liters of swimming water were taken after the morning session for 8 weeks and once a week. Care was taken to collect these 8 samples after 2 weeks on Tuesday, 2 weeks on Wednesday, 2 weeks after Thursday, and 2 weeks after Friday. Free chlorine, bound chlorine and pH of the sample were measured. After this water was filtered in a pilot scale ultrafiltration system with mixed bed activated carbon and zeolite for pre-treatment, THM and TOC analyzes were made in the water, and the results were compared with the THM and TOC analysis values in unfiltered water in the ultrafiltration system. Apart from these, samples were taken from the mains water feeding the swimming pool water on the same days and the amounts of free chlorine, bound chlorine, pH, THM and TOC were determined.

As a result of the study, it was observed that significant removal of TOC and THM levels was achieved in swimming pool water passed through the modified ultrafiltration system, and the removal rate of THM with an average value of 257 µg/L was 93% on average. According to the analysis results of the ultrafiltration effluent, the Total Organic Carbon values are not given as % removal since the reading limit is below 2 mg/L. In addition, it has been observed that the amount of THM formation in swimming pool water containing organic pollution is significantly directly proportional to the pH of the water and the amount of bound chlorine.

**Keywords:** Disinfection by-products, swimming pool water, trihalomethane, ultrafiltration

## ÖNSÖZ

Doktora çalışmam esnasında desteğini her şekilde hissettiren kıymetli hocam ve danışmanım Sayın Doç. Dr. Fatih DURMAZ'a, beni gerek fakülte hayatım gerekse lisansüstü öğrenimim boyunca bilgi ve tecrübesiyle daima destekleyen hocam Sayın Prof. Dr. Hüseyin KARA'ya, varlıklarıyla her zaman bana güç veren hocalarım Sayın Doç. Dr. Mustafa TOPKAFA'ya ve Sayın Prof. Dr. H. Filiz AYYILDIZ'a, çalışmada her türlü diğer imkanlarını esirgemeyen amirlerime ve çalışma arkadaşlarıma teşekkürü borç bilirim.

Ayrıca doktora çalışmam boyunca beni her yönden destekleyen kıymetli aileme, hayatımın önemli bir bölümünü birlikte geçirdiğim, her koşulda yanımda olmaya çalışmış olan eski eşime, ince düşüncesi, yufka yüreği, olgun yapısı ve varlığıyla hayatıma anlam katan, gönlümdeki yeri daima biricik olan, sorgulayan tarzının, bilimsel açıklığının ve mantığının da yardımı ile çalışma azmini ve kararlılığını, karakterinin değişmez bir parçası haline getireceğine inandığım, yaşamı boyunca eğitime ve bilime katkı yapacağından şüphe duymadığım sevgili kızım Asude Elmas'a ve son olarak şu ana dek hayatıma dahil olmuş, iyi ya da kötü anılarla şimdiki benim oluşmasına katkı yapmış herkese teşekkür ederim.

Yasin ANDIRICI  
KONYA-2023

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>vii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>x</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>xi</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Amaç ve Kapsam.....	1
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI</b> .....	<b>3</b>
2.1. Su ve İnsan Hayatındaki Önemi .....	3
2.2 Suyun Yapısı .....	3
2.3 Yüzme Havuz Suları.....	5
2.3.1. Yüzme havuz sularının arıtılması .....	6
2.3.2. Yüzme havuz sularında bulunabilecek maddeler .....	8
2.3.3. Yüzme sularının dezenfeksiyonu .....	9
2.3.3.1. Dezenfektan olarak kullanılan klor tipleri .....	10
2.3.3.2. Klorla dezenfeksiyonun mekanizması.....	11
2.3.3.3. Şok (süper) klorlama .....	14
2.3.3.4. Klorla dezenfeksiyona etki eden başlıca faktörler .....	15
2.4. Dezenfeksiyon Yan Ürünleri.....	16
2.4.1. Yüzme havuzlarında DYÜ oluşum mekanizması.....	16
2.4.2. Trihalometanlar ve haloasetik asitler .....	18
2.4.3. Trihalometanların sağlığa etkileri .....	22
2.4.4. DYÜ oluşumuna etki eden faktörler .....	23
2.4.4.1. DOM türü ve derişiminin etkisi .....	23
2.4.4.2. Klor dozu ve klor bakiyesinin etkisi .....	24
2.4.4.3. Sıcaklık ve mevsimin etkisi .....	24
2.4.4.4. pH'ın etkisi .....	25
2.4.4.5. Temas süresinin etkisi .....	25
2.4.4.6. Bromürün varlığı .....	25
2.4.5. DYÜ standart sınırları .....	26
2.4.6. DYÜ oluşumunu kontrol yöntemleri .....	27
2.4.6.1. Kaynak kontrolü .....	27
2.4.6.2. DYÜ öncü bileşiklerinin giderimi.....	27
2.4.6.3. Alternatif oksidantlar ve dezenfektanlar .....	29
2.4.6.4. Gaz sıyırma .....	30
2.4.7. DYÜ analiz yöntemleri .....	30

2.5. Membran Arıtma Teknikleri .....	33
2.5.1. Membran arıtma sistemlerinin kullanım alanları.....	33
2.5.2. Membran arıtma sistemlerinin avantaj ve dezavantajları.....	33
2.5.3. Membranların sınıflandırılması .....	34
2.5.3.1. Geometrik şekillerine göre membranlar .....	34
2.5.3.2. Yapısı ve materyallerine göre membranlar.....	37
2.5.3.3. Gözenek çaplarına göre membranlar.....	40
2.5.4. Membranlarda akım yönü .....	42
2.5.5. Membran arıtma tekniklerinde işletme faktörleri.....	43
2.5.6. Membran arıtma tekniklerinde arıtma verimi ve su kazanımı.....	46
2.5.7. Membranların kirlenmesi .....	47
2.5.7.1. Membran kirlenme çeşitleri.....	48
2.5.8. Membranların temizlenmesi .....	49
2.5.9. Ultrafiltrasyon.....	51
2.5.9.1. Ultrafiltrasyon membranların yapısı ve çalışma prensibi.....	52
2.5.9.2. Ultrafiltrasyon sisteminin işletilmesi .....	55
2.5.9.3. Ultrafiltrasyon kullanım alanları.....	56
2.5.10. Aktif karbon.....	58
2.5.11. Zeolit filtreler.....	60
2.5.11.1 Doğal zeolitlerin oluşumu.....	62
2.5.11.2. Zeolitlerin kullanım alanları .....	63
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>65</b>
3.1. Modifiye Edilmiş UF Membran Arıtma Sistemi ve Özellikleri.....	65
3.2. Yüzme Havuz Suyunun Modifiye Edilmiş UF Sistemiyle Arıtılması.....	66
3.2.1. UF pilot sistem filtrasyon işlemi.....	67
3.2.2. UF pilot sistem geri yıkama işlemi .....	67
3.3. Analitik Ölçümler .....	69
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>75</b>
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>90</b>
5.1. Sonuçlar .....	90
5.2. Öneriler .....	91
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>93</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>93</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>116</b>



## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

mg/L	: Miligram/litre
µg/L	: Mikrogram/litre
C°	: Santigrat derece
µm	: Mikrometre
%	: Yüzde
°A	: Angstrom
Da	: Dalton
ml/L	: Mililitre/litre
g/mol	: Gram/mol
m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	: Metrekare/metreküp
Cp	: Süzüntü akımı konsantrasyonu
Cm	: Membran yüzey konsantrasyonu
Cf	: Besleme suyu konsantrasyonu
Ppm	: Parts per million
Qp	: Süzüntü debisi
Qf	: Besleme suyu debisi
R	: Membran giderme verimi

### Kısaltmalar

DYÜ	: Dezenfeksiyon yan ürünü
THM	: Trihalometan
HAA	: Haloasetikasit
TİK	: Toplam inorganik karbon
TOK	: Toplam organik karbon
TK	: Toplam karbon
MWCO	: Moleküler ağırlık engelleme sınırı
AAMI	: Association for the Advancement of Medical Instrumentation
AMTA	: America's Authority in Membrane Treatment
EPA	: Environmental Protection Agency
MF	: Mikrofiltrasyon
UF	: Ultrafiltrasyon
NF	: Nanofiltrasyon
TO	: Ters osmoz
BYTS	: Boş yatak temas süresi
PES	: Polietersülfon
TMP	: Trans membran basıncı
DOM	: Doğal organik madde
GAK	: Granül aktif karbon
TS EN İSO	: Türk Avrupa Normları Uluslararası Organizasyon Standartları

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Suyun bohr atom modeli .....	4
Şekil 2.2. Su molekülündeki hidrojen atomlarının 105 derecelik açısı .....	5
Şekil 2.3. Yüzme havuzu akış şeması .....	7
Şekil 2.4. Kırılma noktası grafiği .....	14
Şekil 2.5. Hümik maddelerin özellikleri .....	19
Şekil 2.6. Trihalometan oluşum reaksiyonu .....	20
Şekil 2.7. Dört farklı THM türünün molekül yapısı.....	21
Şekil 2.8. Haloasetik asit türlerinin formülleri .....	22
Şekil 2.9. Spiral sargılı membran modülü .....	35
Şekil 2.10. Spiral sargılı membran modülü üst kesit .....	35
Şekil 2.11. Hollow fiber membran modülü .....	36
Şekil 2.12. Hollow fiber modülünün üst kesiti .....	36
Şekil 2.13. Levha çerçeve membran modülü .....	37
Şekil 2.14. Tübüler membran modülü.....	37
Şekil 2.15. Gözenek çaplarına göre membran tipleri .....	40
Şekil 2.16. Membran ayırma tekniklerine ait ayırma spektrumu.....	41
Şekil 2.17. Dikey yönlü filtrasyon .....	43
Şekil 2.18. Çapraz akış filtrasyon .....	43
Şekil 2.19. UF sistemi şematik gösterimi.....	55
Şekil 2.20. Filtrasyon ve geri yıkama seçenekleri .....	56
Şekil 2.21. TO4 dörtyüzlüsü .....	61
Şekil 3.1. Düz akış membran dizaynı.....	66
Şekil 3.2. UF modülünün teknik özellikleri .....	66
Şekil 3.3. İşletme parametreleri ve membran kılıfı.....	66
Şekil 3.4. (a) ve (b) UF pilot sistem görünümü .....	68
Şekil 3.5. Modifiye edilmiş UF pilot sistem şematik gösterimi .....	68
Şekil 3.6. TOK ve TİK küvetlerinin termoreaktörde bekletilmesi .....	71
Şekil 3.7. TOK ve TİK küvetlerinin soğutulması .....	71
Şekil 3.8. THM Plus reaksiyon mekanizması .....	73
Şekil 3.9. THM Plus renklenme aşaması .....	74
Şekil 3.10. Analizlerin gerçekleştirildiği laboratuvar .....	74

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Sulara bulunabilecek maddeler .....	8
Çizelge 2.2. Suların dezenfeksiyon yöntemleri .....	9
Çizelge 2.3. Suların dezenfeksiyonunda kullanılan kimyasal maddeler ve özellikleri .....	10
Çizelge 2.4. HOCl ve OCl <sup>-</sup> oranlarının pH'a göre değişimi .....	12
Çizelge 2.5. Suda bulunabilecek DOM'in kimyasal grupları.....	17
Çizelge 2.6. USEPA'ya göre suda bulunabilecek yan ürünler .....	18
Çizelge 2.7. THM türleri ve özellikleri .....	20
Çizelge 2.8. Dünyada ve Türkiye'de DYÜ sınır değerleri.....	26
Çizelge 2.9. Alternatif dezenfektanlar ve oluşturdukları yan ürünler .....	30
Çizelge 2.10. Standart çözelti 1 için doğrulama değerleri.....	31
Çizelge 2.11. Standart çözelti 2 için doğrulama değerleri.....	32
Çizelge 2.12. Standart çözelti 3 için doğrulama değerleri.....	32
Çizelge 2.13. Ortalama değerlerin kontrol listesi .....	32
Çizelge 2.14. Ortalama değerlerin kontrol kartı grafiği .....	33
Çizelge 2.15. Membranların yapısal özellikleri ve önemi.....	39
Çizelge 2.16. Membran üretiminde kullanılan maddeler .....	39
Çizelge 2.17. Membran materyali ve özellikleri.....	40
Çizelge 2.18. Membran ayırma tekniklerinin sürücü kuvvetleri ve ayırma mekanizması .....	42
Çizelge 2.19. Membran yüzeyinde konsantrasyon polarizasyonunu azaltmak için uygulanan metotlar .....	48
Çizelge 2.20. Tıkanma türüne göre membran temizlemede kullanılan kimyasallar .....	50
Çizelge 2.21. UF membranlarının kullanım alanları.....	57
Çizelge 2.22. Doğal zeolitlerin birim hücre formülü .....	62
Çizelge 4.1. Çalışma aralıkları .....	75
Çizelge 4.2. Şebeke ve havuz suyunun pH, serbest klor ve bağlı klor değerleri .....	75
Çizelge 4.3. 1. Hafta (N1) THM, TOK ve TİK değişimleri .....	76
Çizelge 4.4. 1. Hafta (N1) THM, TOK ve TİK değişim grafiği .....	76
Çizelge 4.5. 2. Hafta (N2) THM, TOK ve TİK değişimleri .....	77
Çizelge 4.6. 2. Hafta (N2) THM, TOK ve TİK değişim grafiği .....	77
Çizelge 4.7. 3. Hafta (N3) THM, TOK ve TİK değişimleri .....	78
Çizelge 4.8. 3. Hafta (N3) THM, TOK ve TİK değişim grafiği .....	78
Çizelge 4.9. 4. Hafta (N4) THM, TOK ve TİK değişimleri .....	79
Çizelge 4.10. 4. Hafta (N4) THM, TOK ve TİK değişim grafiği .....	79
Çizelge 4.11. 5. Hafta (N5) THM, TOK ve TİK değişimleri .....	80
Çizelge 4.12. 5. Hafta (N5) THM, TOK ve TİK değişim grafiği .....	80
Çizelge 4.13. 6. Hafta (N6) THM, TOK ve TİK değişimleri .....	81
Çizelge 4.14. 6. Hafta (N6) THM, TOK ve TİK değişim grafiği .....	81
Çizelge 4.15. 7. Hafta (N7) THM, TOK ve TİK değişimleri .....	82
Çizelge 4.16. 7. Hafta (N7) THM, TOK ve TİK değişim grafiği .....	82
Çizelge 4.17. 8. Hafta (N8) THM, TOK ve TİK değişimleri .....	83
Çizelge 4.18. 8. Hafta (N8) THM, TOK ve TİK değişim grafiği .....	83
Çizelge 4.19. Yüzme havuz suyu ve UF çıkış suyu THM değerleri.....	84
Çizelge 4.20. Modifiye edilmiş UF pilot sistem THM giderim % oranları.....	84
Çizelge 4.21. Havuz suyunun pH ve THM değerleri.....	85
Çizelge 4.22. Havuz suyu pH ve THM korelasyon grafiği .....	85
Çizelge 4.23. Havuz suyunun serbest klor ve THM değerleri.....	86
Çizelge 4.24. Havuz suyu serbest klor ve THM korelasyon grafiği .....	86
Çizelge 4.25. Havuz suyunun bağlı klor ve THM değerleri.....	87
Çizelge 4.26. Havuz suyu bağlı klor ve THM korelasyon grafiği .....	87
Çizelge 4.27. Analizlerin toplu gösterimi .....	88
Çizelge 4.28. THM için yapılan standart ekleme metodu grafiği.....	89

# 1. GİRİŞ

## 1.1. Amaç ve Kapsam

Su, canlı organizmaların yaşamını sürdürebilmesi açısından hayatın vazgeçilmez bir unsurudur. Nüfusun hızlı artışı, küresel ısınma ve endüstriyel sanayinin giderek yükselişi, mevcut su kaynaklarının dramatik şekilde tükenmesine ve kirlenmesine sebep olmaktadır. Bu sorun, insanları yeni ve güvenilir su kaynakları arayışına yöneltmektedir. Fakat mevcut su kaynaklarının çok küçük bir miktarı kullanılabilir. Bu nedenle mevcut tatlı su kaynaklarını en verimli şekilde kullanmak, ekolojik çevre ile uyumlu teknolojileri geliştirilerek ve yaygın hale getirmek su kıtlığının derinleşmesini önlemede hayati önem taşımaktadır (Bruyninckx, 2018).

Dünyadaki mevcut tatlı su kaynakları, sulama, içme ve kullanma, yüzme havuz suyu... vb. birçok amaçla kullanılabilir. Bu sular, içeriklerindeki olası kimyasal ve mikrobiyolojik kirliliklerden arındırmak amacıyla canlıların kullanımından önce bir dizi arıtma ve dezenfeksiyon işlemlerine tabi tutulmaktadır (Sünbül, 2014).

Dezenfeksiyon işlemleri, genel olarak klor ve türevleriyle gerçekleştirilmektedir. Dezenfeksiyon sırasında, suyun içerisindeki organik kirliliklerle aktif klor reaksiyona girerek 'Dezenfeksiyon Yan Ürünleri' şeklinde ifade edilen TriHaloMetan (THM) ve HaloAsetikAsit (HAA) gibi safsızlıkları meydana getirir. Son yıllarda yapılan araştırmalar, dezenfeksiyon yan ürünlerinin kanserojen etkiye sahip olduklarını ortaya çıkarmıştır (Sünbül, 2014).

Son yıllarda, içeriğinde fiziksel, kimyasal ya da mikrobiyolojik olarak kirlilik barındıran suların daha gelişmiş yöntemlerle içilebilir hale getirilmesine yönelik çalışmalar hızlanmıştır. Özellikle su arıtımında kimyasal kullanımının azaltılmasında ve daha güvenilir çıkış suyu elde edilmesinde membran arıtma sistemleri öne çıkmaktadır. Membran arıtma sistemleri gözenek genişliklerine göre genişten dar doğru sırasıyla mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF) ve ters osmoz (TO) şeklinde dört tanedir (Aksu, 2019).

Temel olarak, kaynak olarak kullanılan suyun barındırdığı kirliliğin yoğunluğu ve türü, hangi membran arıtma sisteminin arıtma için kullanılacağını belirler. Mikrofiltrasyon su içerisindeki çamur, büyük boyutlardaki partiküller ile bakteri ve mikroorganizmaların bir kısmını filtre ederken ultrafiltrasyon, bunlara ek olarak bulanıklık, askıdaki katı madde, organik maddenin bir kısmı, bakteri ve virüslerin hemen hemen tamamını sudan ayırır. Nanofiltrasyon tüm bunlara ek olarak çok

değerlikli iyonları, ters osmoz ise tek değerlikli iyonlara kadar tamamını sudan ayırıştırır (Naharcı, 2007).

Büyük boyutları sebebiyle organik kirliliklerin membran sistemler ile ayrılması mümkündür. Ama bu organik maddeler, membran gözeneklerinde adsorplandıkları için membran gözeneklerinin tıkanmasına ve membran performansının düşmesine sebep olurlar. Bu yüzden su, membrana girmeden önce aktif karbon ve farklı adsorbanlarla adsorplanmalıdır (Soylu, 2011). Bazen bu ön filtreleme, aktif karbonun yanına bir başka filtre eklenerek karışık yataklı bir ön filtre şeklinde de kullanılabilir. Zeolit kumlar, bu amaçla kullanılabilir malzemelerden birisidir. Zeolitlerin temel özellikleri olan; iyon değiştirme kabiliyeti, adsorpsiyon özelliğine bağlı olarak gözenekli ayırma yeteneği, çok çeşitli su arıtma alanlarında kullanılmalarına neden olmuştur (Uludağ, 2009).

Bu doktora çalışmasında, Selçuklu bölgesindeki bir yüzme havuz suyunda, haftada bir gün ve toplamda 8 hafta olmak üzere, havuzu besleyen şebeke suyundan ve seanslar sonrası yüzme havuz suyundan numuneler alınmış, bu sulara, başta Toplam Organik Karbon (TOK) ve Trihalometan (THM) analizleri olmak üzere, serbest klor, bağlı klor ve Toplam İnorganik Karbon (TİK) analizleri yapılmış, Aynı havuz suyunun 80-100 litresi, pilot ölçekteki modifiye edilmiş ultrafiltrasyon sisteminden geçirilmiş ve filtre edilen bu suda TOK, THM ve TİK analizleri yapılarak şebeke ve kullanılmış havuz suyu değerleriyle karşılaştırılmıştır. Yüzme havuzundan alınan bu 8 numunenin 2 haftası salı, 2 haftası çarşamba, 2 haftası perşembe, 2 haftası cuma seansından sonra olacak şekilde alınmasına dikkat edilmiştir. Çalışmada kullanılan su, bulanıklığa sebep olabilecek partiküller ve organik madde barındırdığından, filtreleme için ön filtrelemede mikrofiltrasyon, sonra aktif karbon- zeolitten oluşan karışık yataklı filtre ve son olarak da ultrafiltrasyon membran filtre tercih edilmiştir.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Su ve İnsan Hayatındaki Önemi

İnsan bedeninin %75 kadarını su oluşturur. Vücuttaki suyun 25'te 1'lik bir kaybı bile dehidrasyona yol açar ve 6'da 1'lik bir kayıp ise ölümcül olabilir. Benzer olarak bir insan yemek yemeden 30 gün hayatta kalabilir fakat su içmeden 3 gün yaşayamaz. Suyu alan bu hayati bağımlılık, genel manada tüm yaşam türlerini yönetir. Su, hayatta kalabilmek için dramatik bir öneme sahiptir (Sargen, 2019). Dünyanın %70'inden fazlasını kapsayan su, insanlar açısından sadece vücut fonksiyonlarının devamı için hayati bir ihtiyaç değil, aynı zamanda her gün yararlandıkları bir kaynaktır. Örneğin yemek pişirmek, temizlik yapmak, duş almak ve sifon çekmek yüzmek... vb. Günlük hayatımızda kullandığımız birçok eşyanın üretiminde su kullanılıyor. Ayrıca su, evlerin, okulların, yolların inşa edilmesinde, binaların ısıtılması ve elektrik santrallerini soğutulmasına kadar hayatın içindeki birçok alanda kullanılıyor (Bruyninckx, 2018). İnsanoğlu suyu içmek, sulama amaçlı tarımda tüketmek, her türlü temizlik işlerinde sarfetmek dışında yüzme vb. birçok amaçla da kullanabilmektedir (Zoroğlu, 2019).

Yerine herhangi bir maddenin kullanılmasının mümkün olmadığı su, yaşayan tüm canlılar için en hayati doğal kaynaklardan biridir. Özetle su yaşamın ve canlıların kaynağıdır (Aksungur ve Firidin, 2008).

Bu değerli kaynağı kullanma ve işleme biçimimiz sadece sağlığımızı değil, suya bağlı tüm yaşamı da etkiliyor. Kirlilik, aşırı kullanım, su habitatlarındaki fiziksel değişiklikler ve iklim değişikliği, suyun kalitesini ve mevcudiyetini baltalamaya devam ediyor. Temiz suyun ve sağlıklı okyanusların ve nehirlerin faydalarından yararlanmaya devam etmek için suyu kullanma ve arıtma şeklimizi temelden değiştirmemiz gerekiyor (Bruyninckx, 2018).

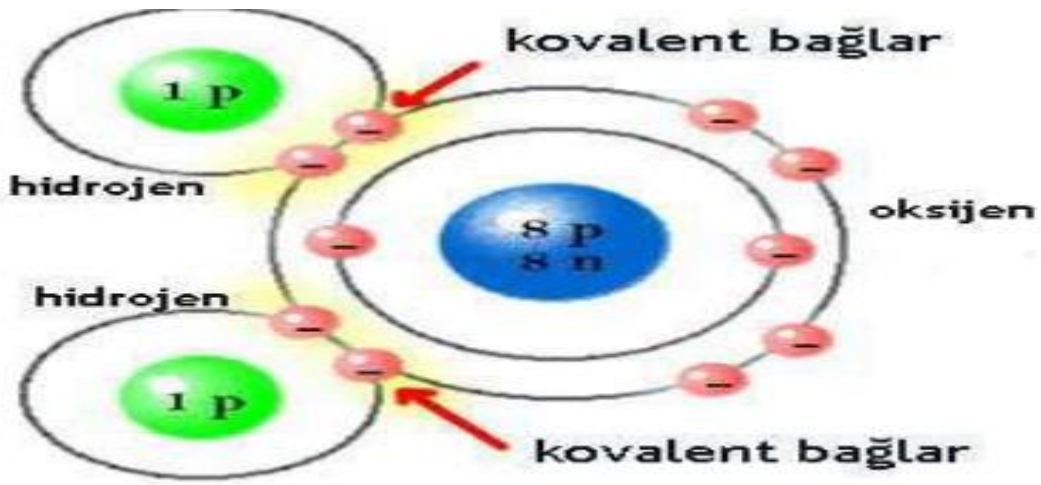
### 2.2 Suyun Yapısı

Oksijen ve hidrojen, serbest şekilde olduklarında; moleküler haldedirler. Bu moleküller, su molekülünü oluşturmak için, yalnızca çarpışarak birleşirler. Söz konusu etkileşim sonucunda oksijen ve hidrojen moleküllerini oluşturan bağlar zayıfladığı için oksijen ve hidrojenin birleşmesine herhangi bir engel kalmaz (Bayraktar ve Aras, 2018).

Hidrojen atomunun çekirdek yapısının çevresinde, sadece bir elektron vardır. Fakat bu tabakada normalde iki elektron bulunmalıdır. Hidrojen atomu bir elektron daha alırsa; söz konusu tabaka, elektron açısından dolacak ve hidrojen daha kararlı hale gelecektir. Oksijen atomununsa birinci yörüngesinde iki, ikinci yörüngesinde altı tane

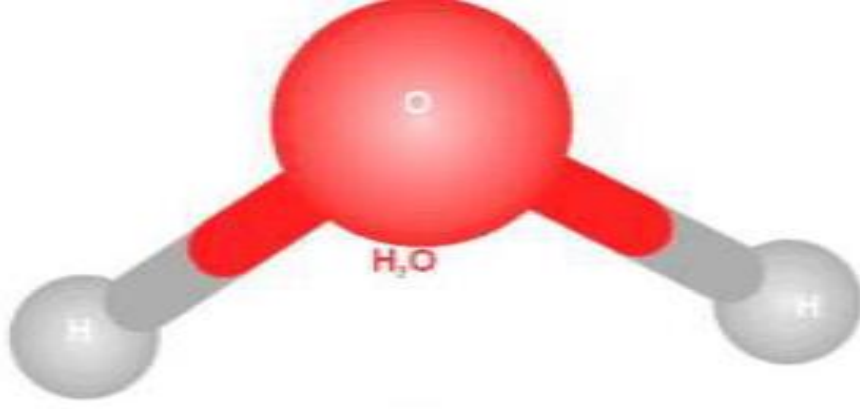
olmak üzere toplamda 8 elektronu vardır. Ama oksijenin daha kararlı bir hale gelebilmesi için, son yörüngesini 8 elektrona tamamlaması gerekmektedir. Oksijen atomu, dış yörüngesindeki boş iki elektronun yerini, iki farklı hidrojen atomunun elektronlarıyla doldurur. Aynı anda oksijen atomunun dış yörüngesindeki iki elektron, iki hidrojen atomunun yörüngelerinde boş birer elektronun yerini doldurur. Böylelikle hidrojen ve oksijen atomları elektronlarını ortaklaşa kullanarak; fazlasıyla kararlı bir su molekülünü oluştururlar (Bayraktar ve Aras, 2018).

Şekil 2.1.'de suyun Bohr atom modeli ve kovalent bağ yapılıması görülmektedir.



Şekil 2.1. Suyun bohr atom modeli (Bayraktar ve Aras, 2018)

Kovalent bağlar, iki hidrojen atomunu, oksijen atomuna  $0.96^{\circ}\text{A}$  uzaklıkta bir bağla bağlar ve yaklaşık  $105^{\circ}\text{C}$ 'lik bir açı ile ayrılırlar. Su molekülü, V şeklindedir ve oluşan kovalent bağın türü polar kovalent bağdır (Bayraktar ve Aras, 2018). En kararlı dizilim, elektronları birbirinden en uzak tutan dizilimdir. Paylaşılmayan elektron çiftleri, bağ elektronlarına kıyasla nispeten daha itici oldukları için, O-H bağları arasında kalan açı, normal bir dört yüzlüdeki  $109^{\circ}$  açısından daha küçük olur: yaklaşık olarak,  $104,5^{\circ}$ . Şekil 2.2.'de bu yapı verilmiştir. Oksijenin hidrojenden daha elektronegatif (elektron almak isteyen) olması sebebiyle, oksijen atomu, elektronları çalar ve hidrojen atomlarından uzak tutar. Böylelikle su molekülünün oksijen bulunan tarafı kısmi olarak negatif, hidrojen bulunan tarafı ise kısmi olarak pozitif yüklü olur. Su, polar kovalent bağlarından ve bükülmüş şeklinden dolayı polar molekül olarak sınıflandırılır (Anonim, ty-a).



**Şekil 2.2.** Su molekülündeki hidrojen atomlarının 105 derecelik açısı (Bayraktar ve Aras, 2018)

Suda, polar kovalent bağdan başka zayıf hidrojen bağı da vardır. Oksijen atomu, hidrojenden büyük olduğundan hidrojen elektronlarına yaptığı çekim etkisi nispeten büyüktür. Böylelikle elektronlar, daha büyük olan oksijen atomuna yakın, hidrojen atomundan uzakta olacak biçimde çekilmektedirler. Sonuç olarak suyun, oksijen tarafında eksi yüklü iki bölge ile hidrojen tarafında artı yüklü iki bölge meydana gelir. Birden fazla su molekülü bir araya geldiğinde, artı ve eksi yükler birbirine çekme uygulayarak; işte bu "hidrojen bağı" denen özel bağı oluştururlar. Dolayısıyla her su molekülündeki oksijen, iki hidrojen bağının alıcısı, ikisinin de vericisi konumundadır. Bir hidrojen atomu, kendi molekülünün oksijenine kovalent bağla bağlıken, diğer bir molekülün oksijeniyle, zayıf bir bağ oluşturabilmektedir. Buna benzer biçimde, bir molekülün oksijeni, diğer moleküllerin hidrojen taraflarıyla zayıf bir bağ oluşturabilmektedir. Su moleküllerinin, bu polar (kutuplu) yapıya sahip olmaları ona, sürekli aktif olan bir kimyasal oluşum özelliği kazandırmıştır (Bayraktar ve Aras, 2018).

### **2.3 Yüzme Havuz Suları**

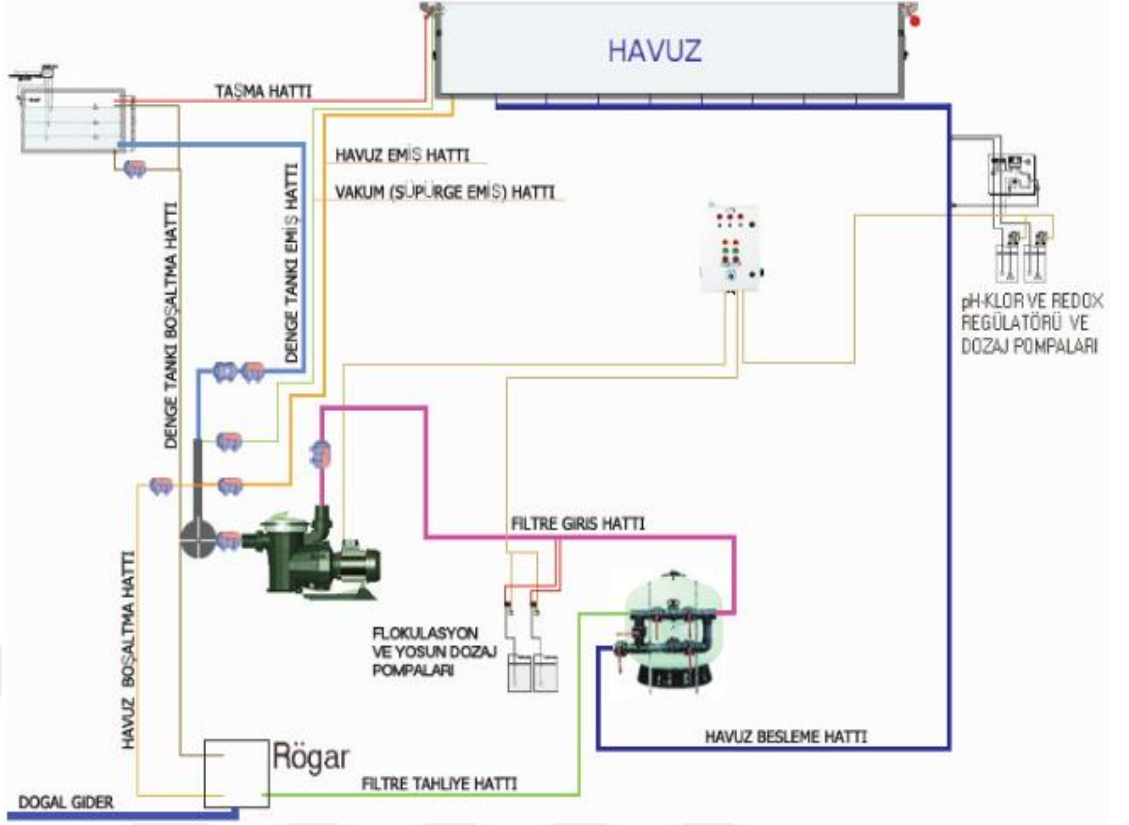
Yüzme havuzu suları, genellikle kaynağı şebeke suyu olan ve kapalı bir sirkülasyon sistemiyle sürekli arıtılan ve dezenfekte edilen sulardır (Dudziak ve ark., 2019). Yüzme Havuzlarının Tabii Olacağı Sağlık Esasları ve Şartları Hakkındaki Yönetmelikte ise yüzme havuzu, “Yüzme, serinleme, eğlenme veya spor amaçlı kullanılan; tabanı, duvarları, taşma kanalları, rezerv deposu su kalitesini etkilemeyen ve güvenlik gereklerini yerine getiren uygun malzeme ile kaplanan ve bu yönetmelikte belirtilen niteliklere uygun su ile dolu olan, sürekli bir devridaim akışı olan ve halkın kullanımına açık yapıları” şeklinde tanımlanmıştır (SAĞLIK, 2011).



### 2.3.1. Yüzme havuz sularının arıtılması

Yüzme havuzlarında havuz suyunun ne derece temiz olduğu su içindeki safsızlıkların niceliğiyle orantılıdır. Yüzücülerden ve ortamdan kaynaklanan mikroorganizmalar; suya dozajlanan oksitleyici dezenfeksiyon maddeleri tarafından etkisizleştirilir. Yüzücülerden ve etraftan kaynaklanan diğer partiküller, suda asılı halde bulunan mikroorganizmalar ve organik esaslı kirlleticiler, genellikle filtreleme, topaklayıcı, pH düzenleyici ve dezenfektan maddelerinin de dahil olduğu bir arıtma işleminden sonra yüzme suyundan uzaklaştırılır. Su arıtma işleminde, sistemden yeterince uzaklaştırılmayan kimyasal maddelerin derişimi, sisteme taze su ilave edilmesiyle arzu edilen aralığa getirilir (Uludağ, 2009).

Şekil 2.3.'de görüldüğü üzere, şebeke hattından alınan su, önce dezenfeksiyon verimine uygun pH aralığına getirmek için asitle muamele edilir ve genellikle klor ve türevi olan bir dezenfektanla klorlanarak havuza verilir. Kullanım sırasında taşma kanallarından taşan ve vakum hattından emilerek denge tankına toplanan havuz suyu, yüzme esnasında suda oluşan kirlilik ve partikülleri uzaklaştırmak için flokülasyon kimyasalı ve gerekiyorsa yosun önleyici ilave edilerek kum filtrelerine gönderilir. Filtre edilen havuz suyuna, kullanım esnasından tükettiği klor miktarını telafi etmek için asit ve klor ilavesi yapılır ve yeniden havuza gönderilir. Sistemde suyun kirlilik durumuna göre havuzun tamamen ya da kısmen boşaltılması durumunda kullanılmak üzere gider hattı da bulunur. Bu hat aynı zamanda kum filtresinin geri yıkanması sırasında çıkan kirliliğin tahliyesinde kullanılır (Uludağ, 2009).



Şekil 2.3. Yüzme havuzu akış şeması (Uludağ, 2009)

Filtre malzemesi olarak kullanılabilen maddeler genelde,  
 Kum ve antrasit  
 Kum ve bims  
 Kum ve kok kömürü  
 Kum ve zift veya petrol koku kombinasyonlarıdır.  
 Eğer tek tabakalı filtre kullanılacaksa genelde kuvars kumlar tercih edilmektedir.  
 Bunların dışında aktif karbon da filtre malzemesi olarak kullanılabilir (Uludağ, 2009).

Topaklama ya da flokleştirme, suyun içerisindeki kolloidal kirliliklerin demir ve alüminyum tuzlarının eklenmesi sayesinde kararsızlaştırılması ve bir araya getirilip çöktürülmesi ile filtrede tutulabilmesine olanak sağlayan işlemdir (Zoroğlu, 2019).

Havuz sularında, alüminyum klorür-heksahidrat, alüminyumhidroksi klorür, demirklorür-heksahidrat, demirklorürsülfat, sodyum alüminat, demir-sülfat, alüminyum sülfat, alüminyumhidroksi klorürsülfat, ozon, aktif kömür tozu, kizelgur gibi birçok topaklayıcı (flokleştirici) kullanılabilir (Zoroğlu, 2019).

### 2.3.2. Yüzme havuz sularında bulunabilecek maddeler

Sularda birçok farklı kaynaktan farklı madde türleri bulunabilir. Çizelge 2.1.'de görüldüğü üzere, doğadaki sular, içeriğinde organik ve inorganik safsızlıklardan bakteri ve virüslere kadar çok çeşitli safsızlıklar bulundurabilir.

Çizelge 2.1. Sularda bulunabilecek maddeler (Güllüoğlu, 2010)

KAYNAĞI	İYONİK ÇÖZÜNÜMÜŞ		NON-İYONİK ÇÖZÜNÜMÜŞ		
	POZİTİF İYONLAR	NEGATİF İYONLAR	ASKIDA KATI MADDE	KOLLOİDAL	GAZLAR
Mineraller, katılar ve kayalar	Sodyum Kalsiyum Magnezyum Potasyum Alüminyum Demir Manganez Bakır Çinko vs...	Bikarbonat Karbonat Klorür Florür Nitrat Fosfat Hidroksitler Boratlar Silikatlar Sülfat	Kil, Kum ve diğer inorganik katılar	Kil Silikat Ferrikoksit Alüminyumoksit Magnezyumdioksit	Karbondioksit
Atmosfer	Hidrojen	Bikarbonat Klorür Florür	Toz - Polen		Karbondioksit Nitrojen Oksijen Sülfürdioksit
Organik madde parçalanm.	Amonyak Hidrojen Sodyum	Klorür Bikarbonat Hidroksit Nitrik Nitrat Sülfür Organik radikaller	Organik katı, organik atıklar	Hümitik madde içeren, doğal organik bileşikler, sebze rengini veren maddeler, diğer organik atıklar	Karbondioksit Hidrojen Sülfür Amonyak Hidrojen Metan Nitrojen Oksijen
Yaşayan organizma			Algler, Diatomlar, Protozoa, Balıklar vb.	Virüsler, Bakteriler, Algler vb.	Karbondioksit Amonyak Metan
Endüstriyel Alanlar	Ağır metaller içeren inorganik iyonlar	Inorganik iyonlar, Organik moleküller	Kil, silt ve diğer inorganik katılar, Organik bileşikler Yağ, korozyon ürünleri, prozoa vb.	Inorganikler VOC içeren doğal ve sentetik organik bileşikler pestisitler, virüsler, bakteriler	Klorür Sülfürdioksit

Yüzme havuz sularında bulunabilecek maddeler ise genel olarak;

- **Katyonlar:** Kalsiyum, sodyum, magnezyum, potasyum, alüminyum, demir, bakır, mangan, çinko, kurşun, amonyum, hidrojen
- **Anyonlar:** Bikarbonat, karbonat, klorür, florür, hidroksitler, fosfat, boratlar, silikatlar, sülfat, nitrit, nitrat, sülfür
- **Kolloidler:** Kil, kum, toprak, silikat, alüminyumoksit, ferrikoksit, magnezyumdioksit, hümitik asitler, taninler

- **Gazlar:** Karbondioksit, hidrojen sülfür, metan, hidrojen, azot, oksijen
- **Canlılar:** Virüsler, bakteriler, mantarlar, protozoalar, canlı–cansız böcekler, algler, kuş, kedi, köpek vb. tüy ve dışkıları, bitkiler, yapraklar, polenler
- **İnsan kaynaklı kirlilikler:** Vücut kiri, teri ve yağı, cerahat, kan tükürük, idrar, dışkı, sümük, saç, kozmetikler
- **Diğerleri:** Tarım ilaçları, boyalar, gübreler, klorlu bileşik şeklindedir (Güllüoğlu, 2010).

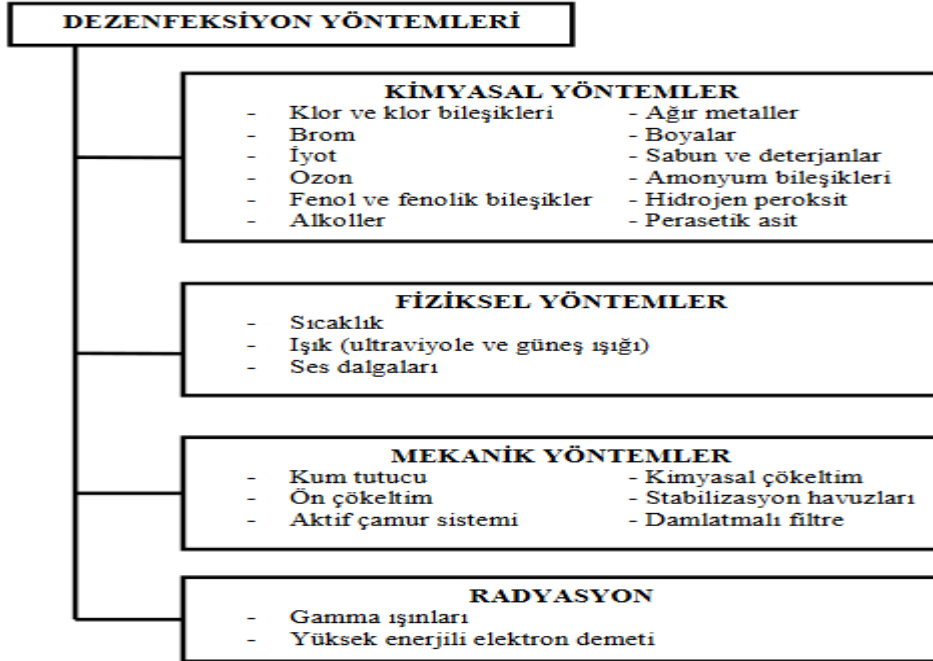
### 2.3.3. Yüzme sularının dezenfeksiyonu

Suyun dezenfeksiyonu; su içeriğindeki hastalık yapıcı mikroorganizmaların çeşitli metotlarla giderilmesi ve suyun mikrobiyolojik bakımdan içilebilir hale getirilmesidir (Sünbül, 2014).

Suların dezenfeksiyonu için birden çok fiziksel ve kimyasal yöntem bulunmaktadır.

Çizelge 2.2.'de su dezenfeksiyon yöntemlerinin tümü bir arada görülmektedir.

Çizelge 2.2. Suların dezenfeksiyon yöntemleri



Suyun kimyasal yöntemlerle dezenfeksiyonunda kullanılan bazı maddelerin avantaj ve dezavantajları aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir.

Çizelge 2.3.'de görüldüğü üzere, klor ve kloramin, dezenfeksiyon için birçok avantaja sahip olsalar da DYÜ oluşturma potansiyelleri diğer yöntemlere göre fazladır (Taşkın, 2016). Ozon sistemi, klorun bile yok edemediği bakteri ve virüsleri bertaraf edebiliyor olsa da pahalı bir sistem olduğundan pek tercih edilmemektedir (Anonim, ty-b)

**Çizelge 2.3.** Suların dezenfeksiyonunda kullanılan kimyasal maddeler ve özellikleri (Taşkın, 2016)

Şartlar	Klor	Ozon	Klor dioksit	Permanganat	Kloramin	Ozon/peroksit
TOK ile THM oluşumu	+	~	-	-	+	~
Okside olmuş organiklerin oluşumu	~	+	~	~	-	+
Halojenli organiklerin oluşumu	+	~	-	-	+	~
İnorganik yan ürünlerin oluşumu	-	~	+	-	-	~
BOM oluşumu	~	+	~	-	-	+
MRDL uygulanması	+	-	+	-	+	-
Kireçle sertlik gidermenin etkisi	+	-	-	-	+	-
Bulanıklığın etkisi	-	~	-	-	-	~
<i>Giardia</i> için < 2-log'un sağlanması	+	+	+	-	-	-
<i>Giardia</i> için > 2-log'un sağlanması	-	+	+	-	-	-
<i>Crypto</i> için < 2-log'un sağlanması	-	+	+	-	-	-
<i>Crypto</i> için > 2-log'un sağlanması	-	+	-	-	-	-
Virüsler için < 2-log'un sağlanması	+	+	+	-	-	-
Virüsler için > 2-log'un sağlanması	+	+	+	-	-	-
Son dezenfeksiyon	+	-	~	-	+	-
Operatör gerekliliği (1=düşük, 5=yüksek)	1	5	5	1	2	5
Büyük kaynaklara uygulanabilirliği	+	+	+	+	+	+
Küçük kaynaklara uygulanabilirliği	+	+	+	+	+	+

+: evet, -: hayır, ~: bazen

Suların fiziksel dezenfeksiyon yöntemlerinde ise özellikle UV ışınları ön plana çıksa da kullanılan lambaların kontrolü iyi yapılmazsa suda olası mikroorganizma üremesi riski vardır (Anonim, ty-b)

Klor, insan sağlığına ve gıda maddesine hasar verebilecek birçok mikroorganizmayı etkisiz hale getirdiği ve diğer yöntemlere göre çok daha ucuza temin edildiği için tercih edilmektedir. Klorun tam olarak etki edemediği ve insan sağlığına olumsuz etkisi olan birçok mikroorganizma da bulunmaktadır. Fakat klorun etkisiz hale getirdiği mikroorganizmalar, etkisiz hale getiremediklerinden daha fazla olduğu için hâlâ kullanışlı bir dezenfektan maddesi olarak görülüyor (Burkut, 2006).

### 2.3.3.1. Dezenfektan olarak kullanılan klor tipleri

Su dezenfeksiyonunda kullanılan klor, temel olarak üçe ayrılır. Bunlar

- Sıvı klor (Sodyum hipoklorit),
- Gaz klor (Saf klor), ve
- Toz klor (Kalsiyum hipoklorit)'tir.

Bu üç tür klorlu maddeden biri, dezenfeksiyon amacıyla suya verildiğinde, hangisi kullanılırsa kullanılsın, su içerisinde ‘Aktif Klor’ olarak da bilinen Hipokloröz Asit (HOCl) oluşur ve bu asit içindeki hipoklorit iyonu (OCl<sup>-</sup>) bir oksitleyici olarak dezenfeksiyon görevini yapar.

Sıvı klor (Sodyum Hipoklorit) suya girdiğinde aşağıdaki kimyasal reaksiyon oluşur:



Görüldüğü gibi, aktif klor ile beraber kostik (NaOH) de oluşuyor, bu nedenle suya sıvı klor verildiğinde suyun pH derecesi yükselir.

Gaz klor suya girince aşağıdaki kimyasal reaksiyon oluşur:



Görüldüğü gibi, aktif klor ile beraber hidroklorik asit (HCl) de oluşuyor, bu nedenle suya gaz klor verildiğinde suyun pH derecesi azalır.

Kalsiyumlu toz klor suya girdiğinde aşağıdaki reaksiyon oluşur:



Bu reaksiyon sonucunda istenen aktif klor ve kalsiyum hidroksit oluşur, suyun pH derecesi değişmez (Burkut, 2006).

### **2.3.3.2. Klorla dezenfeksiyonun mekanizması**

Klor ve klorlu bileşikler, dezenfeksiyonu mikroorganizmaların yapısındaki organik yapıları okside ederek sağlarlar. Dezenfektan olarak kullanılan kimyasal maddelerin, organizmaları tahrip ederek yok etmeleri, öncelikle hücre duvarlarının tahrip olması, hücre zarının geçirgenleşmesi, plazmanın yapısında dejenerasyon ve enzim inhibisyonu sırasını takip eder (Taşkın, 2016).

Suya klor ilave edilmesi sonucu oluşan tepkimeler ve bu tepkimelerin mekanizması, su içerisindeki hayvan, bitki ve sentetik kaynaklı farklı türde organik maddeler ile değişik bileşiklerin varlığına bağlı olarak karmaşılaşır. İçinde artık madde ihtiva eden suların klorlanması ise, çok daha karmaşık durumlar meydana getirir. Klor sulu ortamda orta derecede çözünen ve kontrollü bir şekilde basitçe kullanılabilen bir maddedir (Oğur ve ark., 2004).

Hipokloröz asit (HOCl) ile hipoklorit iyonlarının (OCl<sup>-</sup>) ortamdaki konsantrasyonuna “serbest klor” denilir ve bu maddelerin miktarları temel olarak pH tarafından belirlenir. Yukarıdaki denge denklemine göre pH’nın 3’ün üzerinde ise klor moleküler halde (Cl<sub>2</sub>) bulunmaz. Hipokloröz asit, 6–8.5 değerleri arasındaki pH’larda tamamen ayrışır. pH 6’ya eşit ise klor, “hipokloröz asit” şeklinde

bulunur. pH 7.5 değerinin üzerinde ise hipoklorit iyonları ( $\text{OCl}^-$ ) hakimdir. pH 9.5 değerinin üzerinde ise klor neredeyse tamamen hipoklorit iyonları ( $\text{OCl}^-$ ) şeklindedir. Su dezenfeksiyonu genel olarak pH 7.0–8.0 arasında meydana gelir ve bu aralıkta  $\text{HOCl}$   $\text{OCl}^-$ 'ye dönüşür. Bu pH aralığında  $\text{HOCl}$ 'nin biosidal aktivitesi  $\text{OCl}^-$ 'den daha yüksektir (Oğur ve ark., 2004). Bu yüzden hidroliz tepkimelerinin saç tarafa, iyonizasyon tepkimesinin ise sol tarafa doğru olması arzu edilir. Çünkü hipokloröz asit, hipokloritten neredeyse 100 kat daha etkili bir dezenfektandır. Bu durum, ortamın pH aralığı ile bağlantılıdır (Taşkın, 2016). Klor suya girdiğinde sırasıyla;

- $\text{Fe}^{+2}$  ve  $\text{Mn}^{+2}$  oksidasyonunu,
- Amonyum iyonları ile bağlı klor oluşumunu
- Organik maddelerin oksidasyonunu tamamladıktan sonra,
- Dezenfeksiyonu işlemini gerçekleştirir (Güllüoğlu, 2010).

Çizelge 2.4.'de görüldüğü gibi  $\text{HOCl}$ 'nin en aktif olduğu pH değeri 6 civarı olsa da, ideal pH değerinin 7.2-7.6 olması önerilir. Burada hipokloröz asit konsantrasyonu, maksimum değerinde %70'tir. pH 7.2-7.6 arasında ise gözlerde yanma, kızarma ve sulanma şikayetleri en az düzeyde görülmekte ve daha güvenilir mikrobiyolojik sonuçlar alınmaktadır (Oğur ve ark., 2004).

**Çizelge 2.4.**  $\text{HOCl}$  ve  $\text{OCl}^-$  oranlarının pH'a göre değişimi (Taşkın, 2016)

pH	Toplam serbest klor yüzdesi (%)	
	$\text{HOCl}$	$\text{OCl}^-$
6	96.8	3.2
7	75.2	24.8
7.5	49.1	50.9
8	23.2	76.8
9	2.9	97.1

Klor, endüstriyel atık suların, evsel atık suların, yüzme havuzu sularının, kirlenmiş su kaynaklarının vs. arıtılmasında kullanıldığında yukarıda bahsedilen iki reaksiyonun (hidroliz ve iyonlaşma) dışında da çeşitli reaksiyonlar meydana gelir. Bu reaksiyonlar suya eklenen serbest kloru kısmen veya tamamen tüketirler. Amino asitler,

proteinler gibi azot ihtiva eden organik bileşikler (organik azot), klor ile reaksiyona giren organik maddeler arasındadır. İdrarda mevcut olan üre ve insan-hayvan dışkılarındaki proteinler ve diğer organik azot bileşikleri tabii sulara mevcut bakteriler tarafından amonyak ve amonyuma çevrilir (Akgiray, 2003). Bu reaksiyonlar sonucunda sırasıyla, monokloramin ( $\text{NH}_2\text{Cl}$ ), dikloramin ( $\text{NHCl}_2$ ) ve trikloramin ( $\text{NCl}_3$ ) oluşur (YTÜ, ty).



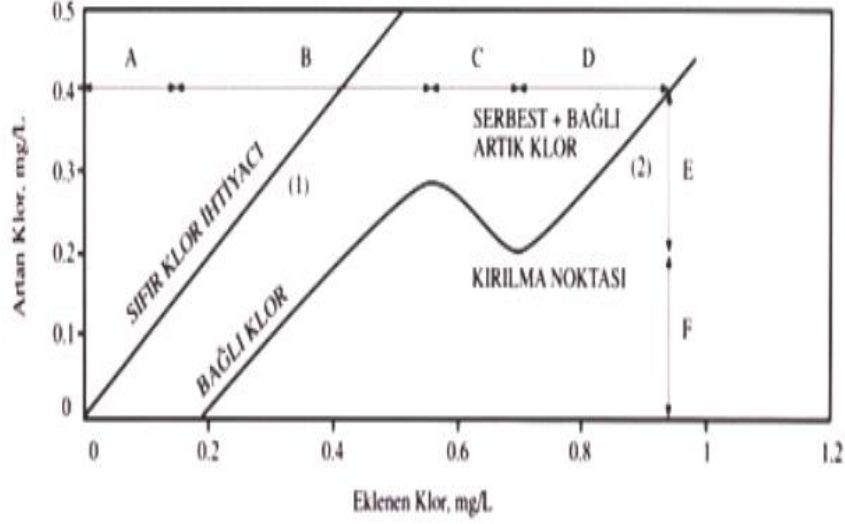
Kloraminler, suya eklenen klor miktarı (1 mol  $\text{Cl}_2$ )/(1 mol  $\text{NH}_3$ ) oranı civarında veya daha az ise meydana gelir. Klor dozajı (1.5 mol  $\text{Cl}_2$ )/(1 mol  $\text{NH}_3$ ) oranında veya daha fazla ise önemli miktarda kloramin oluşmaz; bu durumda amonyak azota dönüşür:



Bu reaksiyonla meydana gelen azot gazı sudan ayrılır ve havaya geçer. Bu reaksiyon, amonyak giderimi amacıyla kullanılabilir. Bu işleme ‘kırılma noktası klorlaması’ denmektedir (Akgiray, 2003).

Eğer klorlama yapılacak su, organik kirlilik ve mikrobiyolojik bakımından temiz ise suya verilen klor, “serbest kalıntı klor” şeklinde suda birikir. Yani hiçbir indirgen madde içermeyen sulara klor miktarına karşı, kalıntı klor miktarının eğrisi, şekil 2.4.’teki ilk eğride olduğu gibi  $45^\circ$ lik açı meydana getirir. Amonyak ile demir, mangan gibi indirgenleri ihtiva eden sulara klor dozlandığında ise şekil 2.4.’teki ikinci eğri olan “kırılma noktası klorlaması” denilen eğri meydana gelir. Kirlilik içeren suya eklenecek klor miktarı belirlenirken verilen klor dozunun meydana getirdiği kalıntı klor değişim grafiğinden faydalanılabilir (Taşkın, 2016).





Şekil 2.4. Kırılma noktası grafiği (YTÜ, ty)

İnorganik kloraminlerin toplamına bağlı klor denir. Bağlı klor, (mg/L  $Cl_2$  olarak) = 70906 ( $[NH_2Cl] + [NHCl_2] + [NCl_3]$ ) (2.8)

Trikloramin çok az miktarda oluşur, bağlı klorun önemli bir kısmı monokloramin ve dikloramin bileşikleri olarak bulunur. Bağlı klor da oksitleyici ve dezenfektan olarak etki eder.

Dezenfektan gücü açısından klor bileşikleri şu şekilde sıralanır:  $HOCl > OCl^- > \text{Bağlı klor}$

Dezenfeksiyon açısından serbest klorun bağlı klordan daha etkili olduğu kabul edilmektedir. Kloramin bileşiklerinin hangisinin en kuvvetli dezenfektan olduğu konusunda literatürde çelişkili bilgiler bulunsa da dikloramin suya arzu edilmeyen bir tat ve koku verdiği için, dezenfeksiyon için monokloramin tercih edilir. Serbest klor konsantrasyonu ile bağlı klor konsantrasyonunun toplamına toplam klor denir (Akgiray, 2003).

### 2.3.3.3. Şok (süper) klorlama

Yüzme havuzlarında eğer sudaki bağlı klor miktarı 0.2 mg/L ve üzerinde ise organik kirlilikleri oksitlemek için havuzda “şok klorlama” uygulanmalıdır (Gürses, 2006). Süperklorlama (Superchlorination), kısa sürede çok yüksek miktarlarda klorlama yapılması işlemidir, sürenin hemen sonunda deklorlama (sudaki klorun alınması) yapılmalıdır. Sudaki rengi, demiri, manganezi, belirli bazı vertebrasız büyük canlıları yok etmek veya etkisiz hale getirmek

gibi amaçlarla da yapılır. Süperklorlama suda en az 5 ppm klor olacak şekilde dozlanır (Oğur ve ark., 2004).

#### **2.3.3.4. Klorla dezenfeksiyona etki eden başlıca faktörler**

Suların klorla dezenfeksiyon mekanizmasına etki eden etkenler pH, sıcaklık, temas süresi ve kullanılan klorun cinsi olmak üzere dört tanedir.

- **pH:**

Klor, su pH'ını alkaliniteyi azaltır. Hipoklorit kullanılırsa su pH'ında biraz yükselme görülür. Klorun bakteri öldürücü etkisi, suda hangi şekilde bulunduğuna bağlı olarak değişir. Serbest haldeyken hipoklorit asit (pH 6.0 ile 7.5 değerleri arasında) ve bağlı haldeyken de dikloramin (pH 4.4 ile 6.5 değerleri arasında) en etkili klor yapılarıdır. Kısacası suların genel olarak bulunduğu pH aralıklarında, su pH'ı yükseldikçe, kloraminlerin ve sersbest klorun bakteri giderme güçlerinde azalma görülür. Dezenfeksiyon işleminin daha etkili olması için pH, uygun bir seviyeye düşürülse bile, topaklama, korozyonun kontrolü vb. nedenlere bağlı olarak pH'ın artırılması söz konusu olabilir (Oğur ve ark., 2004).

- **Sıcaklık:**

Serbest ya da bağlı klorun bakteri öldürücü etkisi sıcaklıkla orantılı olarak yükselir. Düşük sıcaklık ve yüksek pH şartlarında bu özellik azalır (Oğur ve ark., 2004)

- **Temas Süresi:**

Tüm bu özelliklere ek olarak patojen ve diğer organizmaların etkisiz hale getirilmesi için temas süresi de yeterli düzeyde olmalıdır. Diğer şartlar aynı kalmak şartı ile, serbest klorun etkili olması için gerekli temas süresi, kloramin türlerine göre çok daha azdır. Genelde aynı miktarda artık elde etmek ve eşit miktarda patojeni yok etmek için, kloraminler serbest klorla göre 100 kat fazla temas süresine ihtiyaç duyarlar (Oğur ve ark., 2004).

- **Klor Cinsi:**

Bağlı klor yapıları ile kloraminlerin aktiflikleri, serbest klorla ve özellikle de hipoklorit asite göre çok daha düşüktür. Bunun kloraminlerin oldukça düşük olan oksidan kapasiteleri nedeniyle olduğu düşünülür. Aynı temas süresinde, aynı miktarda bakterisit etkisi için de serbest klorla göre 25 kat daha fazla kloramine ihtiyaç vardır (Oğur ve ark., 2004).

## 2.4. Dezenfeksiyon Yan Ürünleri

Dezenfeksiyon yan ürünleri (DYÜ), suda doğal olarak bulunan ya da insan kaynaklı organik maddelerin ve inorganik maddelerin dezenfektanlarla reaksiyonu sonucu oluşan, trihalometanlar (THM), haloasetik asitler (HAA), bromlu ve brom-klor karışımli asetik asitler, bromat, bromlu trihalometanlar gibi yapılar olarak tanımlanır (Gürses, 2006), (Şengül, 2009), (Sünbül, 2014), (Atalay, 2016), (Garcia ve ark., 2016), (Taşkın, 2016), (Bekaroğlu ve ark., 2018), (Özdoğan ve Özdemir, 2019).

Yüzme havuzlarında kullanılan dezenfektanlar patojen mikroorganizmaları etkisiz hale getirirken, doğal organik maddeler (DOM) ve insan vücut artıkları (ter ve üre bileşenleri, deri parçaları, saç, kozmetikler ve diğer kişisel bakım ürünleri) ile reaksiyona girerek dezenfeksiyon yan ürünleri (DYÜ) oluşturur (Weisel ve ark., 2009).

### 2.4.1. Yüzme havuzlarında DYÜ oluşum mekanizması

Tüm kimyasal dezenfektanların çeşitli yan ürünler oluşturdukları bilinen bir gerçektir. Dezenfeksiyon yan ürünleri oluşumu, kısaca aşağıdaki denklem ile gösterilebilir:



Yüzme havuzları gibi klorlamanın yoğun olduğu yerlerde DYÜ öncülleri; doldurma suyu ile gelen DOM ve yüzücüler ile havuza taşınan organik ve inorganik kirleticiler olmak üzere iki şekilde yüzme suyuna ulaşırlar. Yüzücülerden gelen kir, ter, idrar, vücut hücreleri, tükürük, vücut hücreleri ve kozmetik maddelerinden (güneş kremleri, sabun artıkları, losyonlar gibi sentetik kimyasallar), DOM ve kesintisiz dezenfeksiyon sebebiyle, hava ve su ortamında büyük miktarlarda DYÜ bulunur. Günümüzde, yüzme havuzlarında; trihalometanlar (THM), haloasetik asitler (HAA), halodiasitler, haloasitler, iyotlu-THM, halonitriller, haloaldehitler, haloketolar, halonitrometanlar, bromat, halomitler, haloalkoller, nitrozaminler, serbest klorla bileşik oluşturan 3-kloro-4-(diklorometil)-5hidroksi-2(5H)-furanon (MX) ve MX türevleri vb. tespit edilmiştir (Bekaroğlu ve ark., 2018). Doldurma suyuyla gelen en önemli öncüller ise doğal organik madde ve bromürdür (Şengül, 2009).

Doldurma suyuyla gelebilecek doğal organik maddelerin suyu sevme durumları ile asidiklik seviyeleri çizelge 2.5.'te verilmiştir (Özden, 2002).

**Çizelge 2.5.** Suda bulunabilecek DOM'in kimyasal grupları

	Kimyasal Grup
<b>Hidrofobik</b>	
Kuvvetli asit	Hümik ve fülvik asitler, yüksek molekül ağırlıklı alkoller, monokarboksilik ve dikarboksilik asitler, aromatik asitler
Zayıf Asit	Fenoller, taninler, araürün yüksek molekül ağırlıklı alkoller ile monokarboksilik ve dikarboksilik asitler
Bazlar	Proteinler, aromatik aminler, yüksek molekül ağırlıklı alkil aminler
Nötraller	Hidrokarbonlar, aldehitler, yüksek molekül ağırlıklı metil karbonlar ve alkil alkoller, eterler, furanlar
<b>Hidrofilik</b>	
Asitler	Hidroksi asitler, şekerler, düşük molekül ağırlıklı alkil monokarboksilik ve dikarboksilik asitler
Bazlar	Aminoasitler, purinler, pyrimidinler, düşük molekül ağırlıklı alkil aminler
Nötraller	Polisakkaritler, düşük molekül ağırlıklı alkoller ile alkol ve ketonlar

DYÜ oluşumundaki ana öncül, şebeke suyundan gelen DOM olarak kabul edilmektedir. Fakat, bu olgu yüzme havuzları için geçerli değildir. Çünkü; DOM, DYÜ oluşumuna katkı sağlasa da bu katkı, yüzücülerden gelen organik yüklemelere kıyasla ihmal edilebilecek kadar düşük miktarlarda olmaktadır (Bekaroğlu ve ark., 2018).

(Bekaroğlu ve ark., 2018)'nin verdiği bilgiye göre, (Judd ve Black, 2000) yılında yaptıkları çalışmada, üre ve ter konsantrasyonunu sırası ile 50 mL/L ve 200 mL/L olarak bulduklarını dolayısıyla olimpik havuzun 1000 m<sup>3</sup> kadar su aldığı göz önüne alındığında, havuzda 50 litre idrar ve 200 litre ter olabileceğini aktarmıştır.

DYÜ'lerin birçok türü olsa da, Güney Kore'de dört önemli yüzey suyu kaynağının birbirinden farklı dezenfektan türleriyle dezenfekte edilmiş su örneklerinde DYÜ'nin % 69-79'nu THM ve HAA bileşiklerinin oluşturduğu tespit edilmiştir (Son ve Jung, 2008). Klorlu içme suyundaki en yaygın DYÜ türleri ise, kloroform (CHCl<sub>3</sub>), bromodiklorometan (CHCl<sub>2</sub>Br), dibromoklorometan (CHClBr<sub>2</sub>) ve bromoform (CHBr<sub>3</sub>) içeren THM'lerdir (Krasner ve ark., 2006). Çizelge 2.6.'da suda bulunabilecek DYÜ bir arada verilmiştir.

**Çizelge 2.6.** USEPA'ya göre suda bulunabilecek yan ürünler (Atalay, 2016)

İnorganik Yan Ürünler	Halojenli Yan Ürünler
Klorat İyonu	Trihalometanlar
Klorit İyonu	Kloroform
Bromat İyonu	Bromodiklorometan
İyodat İyonu	Dibromoklorometan
Hidrojen Peroksit	Bromoform
Amonyak	Haloasetik Asitler
Organik Yan Ürünler	Monokloroasetik Asit
Aldehitler	Dikloroasetik Asit
Formaldehit	Dibromoasetik Asit
Asetaldehit	Haloasetonitriller
Gliksal	Dikloroasetonitril
Heksanal	Bromokloroasetonitril
Heptanol	Dibromoasetonitril
Karboksilik Asitler	Trikloroasetonitril
Heksanoik Asit	Haloketonlar
Heptanoik Asit	1,1-Dikloropropanon
Oksalik Asit	1,1,1-Trikloroopropanon
Asimile Olabilen Organik Karbon	Klorofenollar
	2-Klorofenol
	2,4-Diklorofenol
	2,4,6-Triklorofenol
	Kloropikrin
	Kloral Hidrat
	Siyanojen klorit
	N-Organokloraminler
	MX

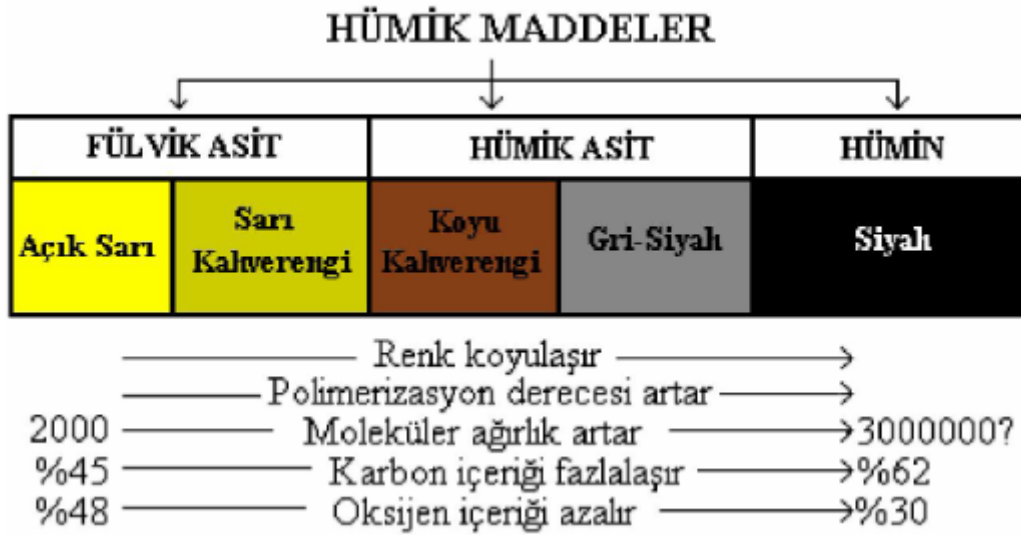
#### 2.4.2. Trihalometanlar ve haloasetikasitler

HAA ve THM grupları, içme ve havuz sularında da en çok karşılaşılan dezenfeksiyon yan ürünleridir (Peng ve ark., 2016).

Sularda fazlaca bulunan trihalometanlar, bünyelerinde bir veya daha fazla halojen bulunduran karbonlu yapılardır. Genel formülü  $CHX_3$  olan THM'ler klor ve brom elementlerinin karbona farklı sayılarda bağlanmaları sonucu meydana gelir (Oruç, 2018). Fulvik ve hümitik asitlerin klorlanması sonucu oluşan THM ile klorun genelde birlikte anılmasının sebebi; klorun dünyada yaygın olarak kullanımınıdır (Najm ve ark., 1994).

Şekil 2.5.'de sudaki organik maddelerin büyük çoğunluğunu kapsayan hümitik maddelerin özellikleri verilmiştir. DOM genel olarak bünyelerinde amin, karbonil, hidroksil, karboksil, gruplarını bulunduran aromatik halkalara bağlı olan alifatik zincirli yapılardan meydana gelir. Genel olarak, ağırlıklarının hemen hemen yüzde altmış karbon atomlarından oluşurken, organik yapısında fosfor, azot, oksijen, hidrojen ve kükürt elementeri mevcuttur. Hümitik olmayan yapılar, küçük yapıları sebebiyle

hidrofilik olan lignin, polisakkarit ve protein türevleridir. Hümik maddeler ise, toplam organik karbon miktarının yaklaşık yüzde sekseni gibi büyük bir bölümünü meydana getiren, hidrofobik ve bozunmaya karşı dayanıklı yapılardır. Hümin, hümik maddelerin çözünmeyen ve alkali çözeltilerle ekstraksiyonu sonucunda doğal organik maddenin kalan katı fazlı yapısıdır. Fulvik ve hümik asitler ise çözünebilir ve birbirlerinden asidik çözeltilerdeki çözünürlük farklılıklarına göre ayrılabilir yapılardır. Fulvik asitler, düşük pH'larda çözünürken; hümik asitler, büyük moleküler ağırlıklarına karşı düşük karboksilik asit içerdiklerinden yüksek pH'larda çözünürler. Fulvik asitlerin ağırlıkları, hümik asitlerin ağırlıklarının üç katından daha yüksektir. Bu sebeple doğal organik maddelerin büyük bir kısmını hümik ve fulvik asitler meydana getirmektedir (Soylu, 2011).



**Şekil 2.5.** Hümik maddelerin özellikleri (Soylu, 2011)

Doğal suların dezenfeksiyonu esnasında klorun THM oluşturmasında suyun brom ihtiva etmesi önemli bir etkidir. Eğer suda brom mevcut değilse, klor organik yapılarla tepkime vererek kloroformu oluşturur. Ama suda brom mevcutsa, klor öncelikle brom ile tepkime vererek serbest brom meydana getirmekte, oluşan serbest brom da organik maddelerle tepkimeye girerek bromlu THM yapılarını meydana getirmektedir (Summers ve ark., 1993).

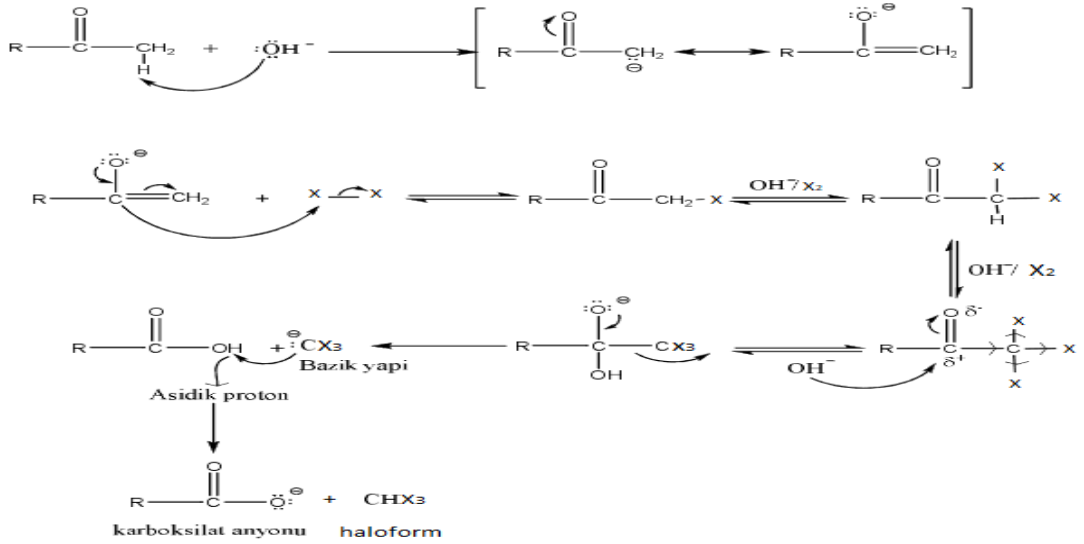
Çizelge 2.7'de suda sıklıkla bulunabilen THM yapıları ve özellikleri bir arada verilmiştir (Sünbül, 2014).

Çizelge 2.7. THM türleri ve özellikleri

THM TÜRÜ	SEMBOL	FORMÜL	MOLEKÜL AĞIRLIĞI(g/mol)	KAYNAMA NOKTASI (°C)
KLOROFORM	CFM	CHCl <sub>3</sub>	119,5	61
BROMODİKLOROMETAN	BDCM	CHBrCl <sub>2</sub>	163,9	87
KLORODİBROMOMETAN	DBCM	CHBr <sub>2</sub> Cl	208,3	116
BROMOFORM	BFM	CHBr <sub>3</sub>	252,7	151

Şekil 2.6.'da trihalometanların oluşum mekanizması verilmiştir.

Hüyük fraksiyonu, klor ile daha çabuk tepkime verdiğiinden fulvik fraksiyonuna göre daha çok THM oluşturduğu bilinmektedir (Tokmak, 1999).



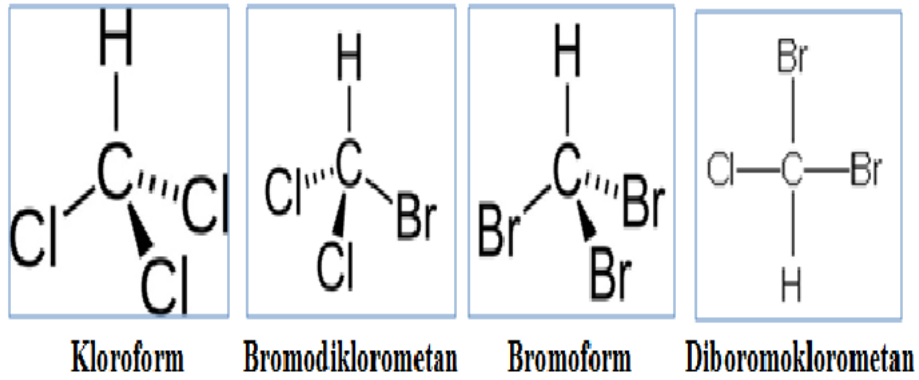
Şekil 2.6. Trihalometan oluşum reaksiyonu (Alpat, ty).

Trihalometan oluşumu, haloform reaksiyonudur. Metil ketonlar, halojenlerle bazik ortamda tepkimeye girdiklerinde metil grubunun karbon atomunda daima çoklu halojenlenme meydana gelir.  $\alpha$ -Karbonuna bağlı hidrojen içeren ketonlar, hidrojen atomlarını halojenlerle yer değiştirirler. Çoklu halojenlenme, ilk halojenin (elektonegatif) katılmasıyla bu halojenin metil karbonundaki kalan tüm hidrojenlerini daha asidik yapması nedeniyle gerçekleşir. Bazlı ortamda bir protonun halojenle yer değiştirmesinden sonra reaksiyon durmaz (Alpat, ty).

Birden fazla  $\alpha$ -protonu varsa, bu protonların tümü halojen ile yer değiştirir. İkinci, üçüncü ve diğer protonların değişme hızı birinciye göre daha fazladır. Çünkü  $\alpha$ -

karbonuna bir halojen bağlandığı zaman diğer protonların asitliği daha da artacağından enol daha kolay oluşur. Halojenler elektron çekici olduklarından, C-C δ-bağ elektronlarını çekerler böylece karbonil grubunun polarizasyonu artar. Ortamda bulunan baz (OH<sup>-</sup>) karbonil grubuna nükleofil olarak saldırır ve C-C bağı çözünür. CX<sub>3</sub> grubu kolay çıkan bir gruptur (Alpat, ty)

Şekil 2.7.'de sulara en çok karşılaşılan THM türlerinin molekül yapısı verilmiştir (Oruç, 2018).



Şekil 2.7. Dört farklı THM türünün molekül yapısı

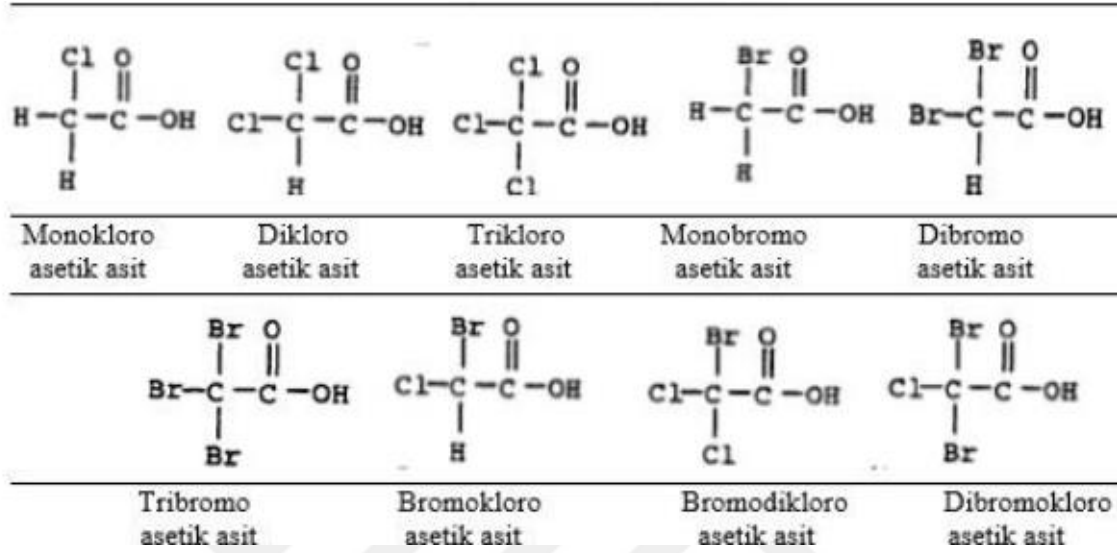
Yüzme havuzlarındaki HAA sonuçlarının yer aldığı çalışmalar, THM sonuçlarının yer aldığı çalışmalara göre daha az sayıdadır. HAA; kloroasetik asit (CAA), dikloroasetik asit (DCAA), trikloroasetik asit (TCAA), bromoasetik asit (BAA), bromokloroasetik asit (BCAA), bromodikloroasetik asit (BDCAA), dibromoasetik asit (DBAA), dibromokloroasetik asit (DBCAA) ve tribromoasetik asit (TBAA) olmak üzere toplamda dokuz ayrı bileşikten oluşmaktadır. CAA, DCAA, TCAA, BAA ve DBAA havuz sularında en yaygın bulunan HAA türleridir (Bekaroğlu ve ark., 2018).

THM, yüzme havuzlarında bulunan en sık bulunan DYÜ tipi olmasına rağmen HAA havuz sularında THM'e göre daha yüksek derişimlerde bulunmaktadır. Bunun nedeni THM'nin uçucu organik yapılar olmasıdır. HAA yapılarının oluşum miktarı, klor/toplam organik karbon (TOK) oranı ve pH ile doğru orantılı olarak artış göstermektedir. Aynı zamanda sıcaklık artışının HAA oluşumunu önemli derecede gösterdiği bulunmuştur. HAA'lerin buhar basıncı THM'lere göre düşük olduğundan HAA'lerin sudaki konsantrasyonları THM'lere göre fazla, havadaki konsantrasyonları THM'lere göre azdır. Bu yüzden insanlar THM'lere soluma, cilt yoluyla ve yutma



yoluyla maruz kalabilirken, HAA'lere soluma yoluyla maruz kalma durumu çok daha azdır (Bekaroğlu ve ark., 2018).

Şekil 2.8.'de klorlanmış sularda bulunabilecek HAA'lerin formülleri gösterilmiştir (Atalay, 2016).



Şekil 2.8. Haloasetik asit türlerinin formülleri

Bu yapılardan DCAA ve TCAA'nın toplam HAA konsantrasyonu içindeki oranının %93-95 arasında olduğu tespit edilmiştir (Bekaroğlu ve ark., 2018).

#### 2.4.3. Trihalometanların sağlığa etkileri

İçme suyundaki DYÜ'ler üzerine yapılan çalışmalar havuz sularında yapılan çalışmalara oranla fazladır. İçme suyu sistemleri ile yüzme havuzlarının çalışma tasarımları birbirinden farklıdır. İçme suyu sistemleri, arıtılan suyu doğrudan kullanıcıya ulaştırır. Ancak yüzme havuz sistemleri döngüsel bir sisteme sahip oldukları için, DYÜ oluşum şekilleri farklıdır. Kesintisiz dezenfeksiyon ve yüzücüler tarafından sürekli olarak organik yükleme yapılması nedeniyle havuzlarda içme sularına oranla yüksek konsantrasyonlarda DYÜ oluşabilmektedir. Yutma, deri yüzeyine adsorpsiyon ve solunum yolu ile yüzücülerin ve havuz çalışanlarının bu DYÜ'lere maruz kalması kaçınılmazdır (Bekaroğlu ve ark., 2018)

İçme sularında insanlar DYÜ'lere, yutma ile maruz kalırken havuzlarda ise soluma, cilt yoluyla adsorpsiyon ve kaza ile yutma şeklinde bu yapılardan etkilenirler (Cothorn ve ark., 1986; Kanan ve Karanfil, 2011).

Son otuz yılda içme suyu kaynaklarındaki DYÜ'lerin zararlı etkileri üzerine çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların ortak sonucuna göre, THM'lar kanserojendir

(Craun, 1986), (Pereira ve ark., 1984), (Morrow ve Minear, 1987), (Al-Fatlawi ve Abd Al-Hussein, 2004), (Steenderen ve ark., 1991), (Tmkılıç, 1993), (Waller ve ark., 1998), (Dodds ve ark., 1999), (Fawell, 1999), (Luks-Betlej ve Bodzek, 2002), (Cedergren ve ark., 2002), (Özden, 2002), (Waniek ve ark., 2001), (Lee ve ark., 2004), (Villanueva ve ark., 2004), (Avşar, 2005), (Richardson ve ark., 2007), (Özdemir ve Toröz, 2010), (Costet ve ark., 2011), (Florentin ve ark., 2011), (Kogevinas, 2011), (Soylu, 2011), (Gümüş ve Akbal, 2013), (Chowdhury ve ark., 2014), (Rahman ve ark., 2014), (Villanueva ve ark., 2015), (Villanueva ve ark., 2016), (Zainudin ve ark., 2016), (Jones ve ark., 2017), (Bożym ve ark., 2018), (Imran Ali ve ark., 2019), (Evlampidou ve ark., 2022), (Serajuddin ve ark., 2022).

DYÜ'nin özellikle kan kanseri, mide, kalın bağırsak ve mesane gibi kanser türleri ve düşük gibi doğum anomalileriyle de bağlantılı olduğu tespit edilmiştir (Baytak ve ark., 2007).

Bu kanserojen maddelerin sağlığa olan etkilerinin mekanizması son zamanlarda daha iyi anlaşılmaktadır. Vücut, hidrokarbonlardan kurtulmak için onları yükseltger ve suda çözünebilir yapılar haline getirir. Böylece hidrokarbonlar vücuttan tahliye olurlar. Kansere sebep olan asıl maddeler, yükseltgenme esnasında oluşan ara ürünlerdir. Ara ürünler, hücrel DNA ile tepkime vererek, hücrelerin üremelerinde anomaliye ve mutasyona sebep olurlar (Akçay, 2008).

#### **2.4.4. DYÜ oluşumuna etki eden faktörler**

Dezenfeksiyon yan ürünleri oluşumuna etki eden başlıca 6 etken vardır.

- Doğal organik madde türü ve derişimi
- Klor dozu ve klor bakiyesi
- Sıcaklık ve mevsim
- pH
- Temas süresi
- Bromür gibi inorganik iyonların varlığı

Bu faktörler hem DYÜ oluşum hızını hem de DYÜ türlerinin derişimini etkiler (Özden, 2002).

##### **2.4.4.1. DOM türü ve derişiminin etkisi**

Doğal organik maddeler, klorla reaksiyon vererek THM ve HAA gibi yan ürünlerin oluşumuna neden olan temel yapılardır. Kısaca DYÜ denilen bu yapıların meydana gelmesi, doğal organik maddelerin derişimi ile doğru orantılıdır. DYÜ

oluşumunu, DOM'nin özellikleri de etkiler. Sudaki alg tiplerine ve su havzasındaki bitki çeşitlerine bağlı olarak hidrofilik ve hidrofobik maddelerin dağılımı farklılık gösterir. TOK derişimi ile ultraviyole absorbanı, dezenfeksiyon yan ürün öncü maddelerin derişimi için gösterge parametresi olarak görev yapar (Özden, 2002). Hümik yapılar, fulvik yapılara oranla daha çok THM oluşturur (Babcock ve Singer, 1979). Hümik yapıların çoğunluğunu oluşturan çözünmüş organik karbonun miktarı ile THM oluşumunun doğru orantılı olduğu birçok araştırmacı tarafından bulunmuştur. Eğer su klorla dezenfeksiyona uğramadan su içeriğindeki organik madde seviyesi düşürülebilirse trihalometan derişimi (TTHM) düşer. Yapılan çalışmalarda, TOK derişiminin azalmasıyla, kanser riskinin düştüğü gözlenmiştir (Kavanaugh ve ark., 1980).

#### **2.4.4.2. Klor dozu ve klor bakiyesinin etkisi**

Birçok araştırmacının ortak sonucuna göre, dezenfeksiyon yan ürünlerinin oluşma miktarı, hızı ve dağılımı, uygulanan klorlama dozu ve serbest klorun miktarına göre değişmekte ve klor dozu arttıkça artış göstermektedir (Özden, 2002).

Suyun dezenfeksiyonunda ilk klor ihtiyacı sona erdikten sonra eklenen klor, sudaki organik madde ile tepkime vermeye başlar. Bu tepkime esnasında klor dozunun miktarı ile THM miktarı neredeyse doğrusal bir şekilde ilerler. Bu kısa süreli organik klor ihtiyacı tamamlandıktan sonra serbest klor bakiyesi oluşur. Bu adımdan sonra THM oluşumu yavaşlar. Bu sebeple serbest klor bakiyesi oluşumundan sonra klor dozlama miktarını düşürmek, THM oluşumunda bir düşmeye sebep olmaz (Trussell ve M.D., 1978). Ayrıca (John ve ark., 1979)'da yaptıkları çalışmada aynı sonucu elde etmişlerdir.

#### **2.4.4.3. Sıcaklık ve mevsimin etkisi**

Yaz aylarında reaksiyon hızının artması sebebiyle suyun klora talebi artış gösterir. Uygulanan klor miktarı arttığında böyle havalarda oluşan dezenfeksiyon yan ürünlerinin miktarı artar. Diğer bir durum, DYÜ öncüllerinin bileşimi ve bromür derişiminin mevsimlere göre farklılık göstermesidir. Kloroform oluşumundaki mevsimsel farklılıkların, ham suyun sıcaklık değişimiyle orantılı olduğu ispatlanmıştır. Yaz mevsiminde artış gösteren sıcaklık nedeniyle tepkime hızının ve alg oluşumunun artmasına bağlı olarak sudaki organik madde miktarı artmakta ve bunun sonucunda HAA, THM gibi DYÜ'lerin derişimleri yaz aylarında yükselişe geçmektedir (Özden, 2002).

(Arguello ve ark., 1979), suların klorlanmasında, kloroform oluşumunun 25°C'de 3°C'ye göre yaklaşık iki kat fazla olduğunu görmüşler ve 12 ay süreyle arıtılmış içme sularında yaptıkları çalışmalarda, kış aylarında, daha düşük konsantrasyonlarda THM meydana geldiğini bulmuşlardır (Soylu, 2011).

#### **2.4.4.4. pH'in etkisi**

pH'in yükselmesiyle THM oluşum miktarı artarken HAA ve toplam organik halojen (TOX) oluşumu düşer. Buradan klor tepkimesinin pH'a bağlı olduğu anlaşılabilir. Yapısında halojen bulunan dezenfeksiyon yan ürünlerinin çoğu, özellikle 8'in üzerindeki bazı pH değerlerinde hidrolize uğrarlar. Daha önce yapılan çalışmalarda ve THM oluşum mekanizmalarında pH değerinin önemi görülmektedir. Buna göre, pH'taki yükselişin suda daha yüksek miktarlarda THM oluşumu sağladığını göstermektedir. pH değerinin 9'dan 7'ye çekilmesi ile THM oluşumunda %50'ye varan bir azalma sağlanabileceği bulunmuştur. (Trussell ve M.D., 1978). (Rook ve Evans, 1979), 8-10 pH aralığında reaksiyon hızında önemli bir sıçrama olduğunu göstermişler ve böyle yüksek pH değerlerinde, reaksiyon hızındaki artışı, ortamdaki fenol yapılarının artmasıyla açıklamışlardır. (Urano ve ark., 1983), THM oluşum hızının hidroksit iyonunun logaritmik konsantrasyonu ile arttığını bulmuşlardır (Soylu, 2011).

#### **2.4.4.5. Temas süresinin etkisi**

Temas süresi arttıkça THM ve HAA oluşumu artış gösterdiği için ortamda serbest klor varlığı devam ettikçe şebeke dağıtım sisteminde DYÜ oluşumunu sürer. Yapılan çalışmalarda, THM oluşumunun zamanla dramatik şekilde arttığı görülmüş, bu artışın ilk saatlerde hızlı, sonraki süreçte ise yavaş bir artış olduğu bulunmuştur (Singer, 1994).

#### **2.4.4.6. Bromürün varlığı**

THM oluşumunun kontrolü için son parametre bromür iyonudur. Bromür bulunan içme sularının klorlanması esnasında bromlu THM yapıları meydana gelir. Serbest klor bromürü hipobromöz asit oksitler. Meydana gelen bu asit, DYÜ öncülleri ile tepkime vererek klorlu bromo yapılarını oluşturur. Bromür iyonu derişiminin, suya verilen klor miktarına oranı arttıkça bromlu THM oluşum miktarı artar. Ama birçok çalışmacı, hesaplama işlemlerinde brom derişimini en az seviyede (0.05-0.1 mg/L) almış ve oluşan THM konsantrasyonunun önemli bir çoğunluğunun kloroform olduğunu kabul etmiştir (Özden, 2002).

(Krasner ve Amy, 1995), yaptıkları çalışmada, bromür içermeyen, 4 mg/L TOK derişimine sahip olan bir su numunesinde, standart olarak 80 µg/L'ye kadar THM

meydana gelirken, ortama bromür konsantrasyonu 4 mg/L'ye olacak şekilde bromür eklendiğinde THM konsantrasyonununun 243 µg/L'ye kadar tırmandığını bulmuşlardır (Soylu, 2011).

#### 2.4.5. DYÜ standart sınırları

Kloroform ve diğer trihalometanlar, 1974'te klorlanmış içme suyunda belirlenen ilk DYÜ olmuştur. Bundan bir müddet süre sonra, THM'in laboratuvar hayvanlarında kansere yol açtığı bulunmuş ve bunun sonucunda 1979 yılı ve sonrasında öncelikle ABD olmak üzere birçok ülkede yönetmeliklerle THM'ler için sınır değerleri belirlenmiştir. ABD'de bunlara ek olarak beş haloasetik asit (HAA), klorit ve bromat dahil olmak üzere birkaç DYÜ için daha sınır değerler belirlenmiştir (Has, 2019). Ülkemizde yalnızca toplam THM değeri sınırlandırılmış olup, bu sınır 100 µg/L'dir.

Çizelge 2.8.'de ülkemizde, ABD ve Avrupa'daki sınır değerler ile Dünya Sağlık Örgütü (WHO) sınır değerleri görülmektedir (Has, 2019).

**Çizelge 2.8.** Dünyada ve Türkiye'de DYÜ sınır değerleri

USEPA Yönetmelikleri	mg/L
Toplam THM	0,08
5 haloasetik asit (kloro-, bromo-, dikloro-, dibromo-,trikloroasetik asit)	0,06
Bromat	0,01
Klorit	1
Dünya Sağlık Örgütü (WHO)	Standart değer (mg/L)
Kloroform	0,3
Bromodiklorometan	0,06
Klorodibromometan	0,1
Bromoform	0,1
Karbon tetraklorür	0,004
Kloroasetik asit	0,02
Dikloroasetik asit	0,05
Trikloroasetik asit	0,2
Bromat	0,01
Klorit	0,7
Dikloroasetonitril	0,02
Dibromoasetonitril	0,07
Siyanojen klorür	0,07
2,4,6-triklorofenol	0,2
N-nitrosodimetilamin (NMDA)	0,1
Avrupa Birliği Standartları	Standart değer <sup>2</sup> (mg/L)
Toplam THM	0,1
Bromat	0,01
Türkiye	mg/L
Toplam THM	0,1

#### **2.4.6. DYÜ oluşumunu kontrol yöntemleri**

DYÜ oluşumunu kontrol altında tutmanın birden çok yolu vardır. Bunlar;

- Kaynak kontrolü
- DYÜ öncü bileşiklerinin giderimi
- Koagülasyonun geliştirilmesi
- Aktif karbon adsopsiyonu
- Membran filtrasyon
  - Alternatif oksidantlar ve dezenfektanlar
- Monokloramin
- Ozon
- Klordioksit
- Permanganat
- UV ışığı
  - Gaz sıyırma (Özden, 2002).

##### **2.4.6.1. Kaynak kontrolü**

Alg üremesi, dezenfeksiyon yan ürününü oluşturan öncü maddelerin oluşumuna sebep olur. Dezenfeksiyon yan ürünlerinin oluşumunu kontrol altına almak amacıyla, su kaynağındaki alg üreme potansiyelini düşürmek için bu sulara nutrient girişinin kontrolü yapılabilir. Kaynak kontrolünün bir başka yöntemi, su kaynağındaki ortama tuzlu suyun girişini kontrol altına alarak bromür miktarının belirli bir seviyede kalmasını amaçlar. Nutrient yönetimi ve su kaynağındaki tuzlu suyun kontrol altına alınması şeklindeki önlemler, arıtma işlemi sırasında THM oluşumunu en aza indirmek adına önemlidir. İkitelli İçme Suyu Arıtma Tesisi'nde gerçekleştirilen bir çalışmada, giriş suyunu Sazlıdere'den sağlayan tesisin kaynağını Terkos olarak değiştirmesi ile birlikte, düşen TOK miktarına bağlı olarak TTHM değerlerinde azalma olduğu görülmüştür (Özden, 2002).

##### **2.4.6.2. DYÜ öncü bileşiklerinin giderimi**

Dezenfeksiyon yan ürünlerinin oluşumuna neden olan öncü maddelerin giderilmesi için temel işlemler; granül aktif karbon adsopsiyonu, koagülasyonun geliştirilmesi, membran filtrasyon kullanımıdır (Özden, 2002).

Doğal organik madde, alüminyum ve demirin tuzları ile kolayca floklaşır. Alüminyum tuzları için optimum pH 5.5 ile 6.0 arasındadır. Alkalinitesi düşük sularda (örneğin 50 mg/L CaCO<sub>3</sub>'dan daha az), alüminyum tuzu eklenmesi, pH'ın optimum

sınıra düşmesini sağlar. Böylece verimli DOM koagülasyonu gerçekleşir. Düşük alkaliniteli bu tür sularda, pH'ı optimum düzeyde tutmak için kireç veya kostik soda ilavesi gerekebilir. Alkalinitesi yüksek olan sularda ise örneğin  $>100$  mg/L  $\text{CaCO}_3$ , pH'ı ayarlanması için düşük alkaliniteli sulara göre daha çok alüminyum tuzu kullanmak gerekebilir ya da en iyi DOM giderimini sağlamak amacıyla alüminyum tuzunun yanında sülfürik asit ilave edilebilir. Hidrofobik organik karbonlu yapılar, örneğin hümic maddeler, koagülasyon işlemine hidrofilik olanlara göre daha duyarlıdır. Birçok su kaynağında hidrofilik/hidrofobik oranı çoğu su kaynağında bilinmez fakat içme suyu sağlamak için kullanılan çoğu doğal su kaynağının hidrofobik fraksiyonunun TOK miktarının %30 ile %70 arasında olduğu düşünülür. Bunun yanında koagülasyon işlemi ile TOK gideriminin verimliliği; ham suyun alkalinitesi, TOK içeriği, koagülasyon sırasındaki pH, TOK'un hidrofilik/hidrofobik oranına bağlıdır. DYÜ oluşumuna sebep olan organik maddelerin giderimi amacıyla yapılan koagülasyonun geliştirme yönteminde çamur oluşumu önemli bir detaydır. Koagülant dozu arttıkça alüminyum ve demir iyileştirme teknolojileri de düşünülmelidir (Özden, 2002).

Koagülasyon yöntemine göre daha pahalı olsalar da granül aktif karbon (GAK) adsorpsiyonu ve membran arıtma sistemi, doğal ve sentetik organik madde giderimi için alternatif teknolojilerdir. Ön arıtım sırasında alüminyum tuzu miktarını artırmak ve suyun pH'ını düşürmek, GAK adsorpsiyonu ile DOM gideriminin maliyeti azaltabilir. %75'ten fazla TOK giderimi için membran filtrasyonda nanofiltreler kullanılabilir. Ancak uygulamaların çoğunda, membran tıkanmasını önlemek için ön arıtma gereklidir (Özden, 2002).

Ultrafiltrasyon (UF), su arıtımında ileri teknolojilerden biridir. Suyun dezenfeksiyonunda kullanılan klor sudaki organik maddelerle etkileşerek kanserojenik etkileri olan THM'leri oluşturmaktadır. Bu nedenle, THM oluşumuna neden olan organik maddelerin klorlama öncesinde arıtılması gerekir. UF membranları organik madde gideriminde kullanıldığı zaman, THM oluşumunun %20 ile %50 arasında azaldığı gözlenmiştir. Sen nehir suyunda UF membranları ile yapılan çalışmalarda, su UF membranlarına girmeden önce, ön arıtma amaçlı olarak flokülasyon ve koagülasyon işlemi uygulanmıştır. Ön arıtmanın, UF membranlarında akı değerini artırdığı görülmüştür. (Lainé ve ark., 1989), araştırmalarında, göl sularını arıtmak için UF membranları kullanmışlar ve ön arıtma olarak da flokülasyon ve koagülasyon ile toz aktif karbonu, hem birlikte hem ayrı ayrı denemişlerdir. En iyi sonucun, her ikisinin birlikte kullanıldığı zaman olduğunu bulmuşlardır Bu sonuca benzer olarak (Darby ve

ark., 1995) tarafından yapılan çalışmada, UF arıtmadan önce toz aktif karbon kullanmanın THM giderimini olumlu etkilediği bulunmuştur (Özden, 2002)

#### **2.4.6.3. Alternatif oksidantlar ve dezenfektanlar**

- Monokloramin
- Klordioksit
- Ozon
- Permanganat
- UV ışığı

Bağlı klor bakiyeleri ve kloraminler sudaki amonyak, organik azot ve serbest klor arasındaki tepkimeler sonucu meydana gelir. Monokloramin serbest klora oranla daha yüksek klor derişimi \*temas süresi (C.T) içerdiği için su arıtmada kullanılan zayıf bir oksidant ve dezenfektandır. Bunun yanında, koku ve tat kontrolü ile mangan ve demirin oksidasyonunda pek verimli değildir. Ancak kalıcı olması sebebiyle, su dağıtım şebeke sisteminde kararlı yapısıyla bakteri üremesini önlemek için iyi bir ikincil dezenfektandır. Su dağıtım şebeke sisteminde nitrifikasyon sorunuyla karşılaşmamak için ideal amonyak/klor oranı 1:4 veya 1:4.5 şeklindedir (N:C<sub>12</sub> ağırlık olarak) (Özden, 2002).

Monokloramin ile karşılaştırıldığında klordioksit (ClO<sub>2</sub>), su kaynağındaki mevcut pH aralıklarında çok daha iyi bir dezenfektandır. Oldukça düşük C.T değerine sahiptir ve mangan, demirin oksidasyonu, koku ve kontrolü için uygundur. Dağıtım ve üretimi zor değildir. İçeriğinde amonyak bulunan sular klordioksit harcamaz. Fakat klordioksit, doğal organik madde ile tepkime vererek oksidasyon yan ürünleri meydana getirir. Klordioksidin oksidasyon yan ürünleri üzerinde pek fazla çalışma olmadığından klorit (ClO<sub>2</sub><sup>-</sup>) haricindeki yan ürünleri hakkında bilgi yoktur (Özden, 2002).

Ozon (O<sub>3</sub>), su arıtma sisteminde kullanılan en verimli dezenfektan ve oksidanttır. En düşük C.T değerlerine sahip olup, ham suyun pH'ından bağımsız şekilde görevini yapar. Suya koku ve tat vermez. Askıda katı maddenin giderimi ile mikroflokülasyon üzerinde olumlu etkileri vardır. Fakat moleküler ozon kararsız olduğu için kalıcı dezenfektan bakiyesi üretmez. Serbest klora göre ön dezenfektan şeklinde kullanım için iyi bir alternatif gibi görünse de kalıcı özelliği olan ikincil bir dezenfektanla birlikte kullanılmasında fayda vardır. Su arıtmada ön ve son dezenfektan olarak sırasıyla ozon ve monokloramin kullanımı verimli bir dezenfeksiyonun yanında DYÜ oluşumunu en aza indirgeme konusunda iyi bir seçenektir (Özden, 2002).



Permanganat ( $MnO_4^-$ ) mangan ve demirin oksidasyonunun yanında, tat ve kokuyu kontrol altına almak için iyi bir oksidanttır. Fakat diğerlerine kıyasla dezenfektan özelliğinin düşük olması nedeniyle dezenfeksiyon amacıyla kullanım için pek uygun sayılmaz. Bunun yanında permanganat tüketimi sonucu oluşan çözilemeyen mangan dioksit  $MnO_2$  (s) su dağıtım sisteminde sorunlara neden olur (Soylu, 2011).

Ultraviyole (UV) ışığı, virüs ve bakterileri etkisiz hale getirmek için verimli bir dezenfektandır. Ayrıca DYÜ oluşumu görülmez. Fakat bakiye bırakma özelliği olmadığından ön dezenfeksiyon için tavsiye edilmez. Bunun yanında bulanık olan sularda etkisi azalır (Özden, 2002).

Tüm bunların yanında, alternatif olarak kullanılan dezenfektanlar oluşturdukları DYÜ sebebiyle insan sağlığı açısından risklidir. Çizelge 2.9.'da alternatif dezenfektanların oluşturduğu yan ürünler verilmiştir (Soylu, 2011).

**Çizelge 2.9.** Alternatif dezenfektanlar ve oluşturdukları yan ürünler

Dezenfektan	Yan Ürün
Klor	THM HAA
Ozon	Bromat Formaldehit Asetalaldehit Klorlu olmayan aldehitler Karboksilik asitler Hidrojen peroksit
Klordioksit	Klorit Klorat
Kloraminler	Siyanür klorür (CNCl)

#### 2.4.6.4. Gaz sıyırma

Gaz sıyırma metodu, uçucu özellikteki THM yapılarının giderilmesini amaçlar. Bu yöntem, yalnızca söz konusu DYÜ uçucu tipte ise fayda sağlar. Yani uçucu özedeelikte olmayan halojenli DYÜ kontrolü için uygulanamaz. Bu sebeple gaz sıyırma yöntemi kullanımı pek önerilmez. Ayrıca THM yapılarının oluştuktan sonra giderilmesi çok maliyetlidir (Özden, 2002).

#### 2.4.7. DYÜ analiz yöntemleri

Dezenfeksiyon yan ürünlerinin analizleri için genel olarak EPA 551, 552, 524'de verilen yöntemler kullanılır. Bunlar;

- Gaz kromatografik ayırma, (GS)
- Kütle ile algılamaya dayalı bu kütle spektrometrisi (MS) veya

- Elektron yakalama tespiti (ECD) şeklindedir

Söz konusu cihazların maliyeti oldukça fazla olduğundan, birçok su analiz laboratuvarında bu yöntemler kullanılamamaktadır. Bunun dışında bu cihazlarda dezenfeksiyon yan ürünlerinin hazırlık aşamasından sonuçlanana kadar geçen süre fazla olduğu için analiz sonucunu almak süre alıcı ve zahmetlidir. Son yıllarda kullanılmaya başlanan THM Plus metodu, spektrofotometrik analize dayalı olup analiz süresi kısadır (Lord, 2004), (Koltsova, 2019).

Bulgaristan'ın iki şehri Razgrad ve Targovishte'de bulunan arıtma tesislerinde, THM Plus yöntemi kullanılarak yapılan THM analizlerinde uygulanan validasyon deneylerine bağlı olarak, her iki analiz laboratuvarında da güven veren sonuçlar elde edilmiştir. Bulgaristan'ın Akreditasyon Servisi (BAS), bu laboratuvarlarda BS EN ISO/IEC 17025 standardı ışığında yürüttükleri denetim sonucunda THM Plus yöntemi standart bir yöntem olarak kabul etmiş ve akreditasyon kapsamına dahil etmiştir. Laboratuvarlar bu doğrulama işleminde, CRM yani sertifikalı referans malzemesi kullanılmışlardır (Hach, 2017).

Yöntemde, üç farklı konsantrasyon kullanılmış ve her bir konsantrasyon için on ölçüm uygulanmıştır.

Çizelge 2.10.'da yöntem validasyonu için kullanılan ilk konsantrasyon çözeltisine ait değerler gösterilmiştir (Hach, 2017).

**Çizelge 2.10.** Standart çözelti 1 için doğrulama değerleri

*Standart solüsyon 1 – Konsantrasyon 1,6 µg/L trihalometan*

STSAP	0,48	Standart sapma
Ortalama	-1,7	
RSD r	28,41	Göreceli standart sapma (değişim katsayısı – CV)
CI	0,31	Güven aralığı
Hata µg/L	0,10	
Hata %	6,25	
Tekrarlanabilirlik	$r = 2,8 \times sr = -1,35$	

Çizelge 2.11.'de yöntem validasyonu için kullanılan ikinci konsantrasyon çözeltisine ait değerler gösterilmiştir (Hach, 2017).

**Çizelge 2.11.** Standart çözelti 2 için doğrulama değerleri

*Standart solüsyon 2 – Konsantrasyon 40,10 µg/L trihalometan*

STSAP	0,79	Standart sapma
Ortalama	40,2	
RSD r	-1,96	Göreceli standart sapma (değişim katsayısı – CV)
CI	0,50	Güven aralığı
Hata µg/L	0,10	
Hata %	0,25	
Tekrarlanabilirlik	$r = 2,8 \times sr = 2,21$	

Çizelge 2.12.'de yöntem validasyonu için kullanılan üçüncü konsantrasyon çözeltisine ait değerler gösterilmiştir (Hach, 2017).

**Çizelge 2.12.** Standart çözelti 3 için doğrulama değerleri

*Standart solüsyon 3 – Konsantrasyon 80,20 µg/L trihalometan*

STSAP	-1,17	Standart sapma
Ortalama	79,60	
RSD r	-1,47	Göreceli standart sapma (değişim katsayısı – CV)
CI	0,74	Güven aralığı
Hata µg/L	-0,60	
Hata %	-0,75	
Tekrarlanabilirlik	3,29	

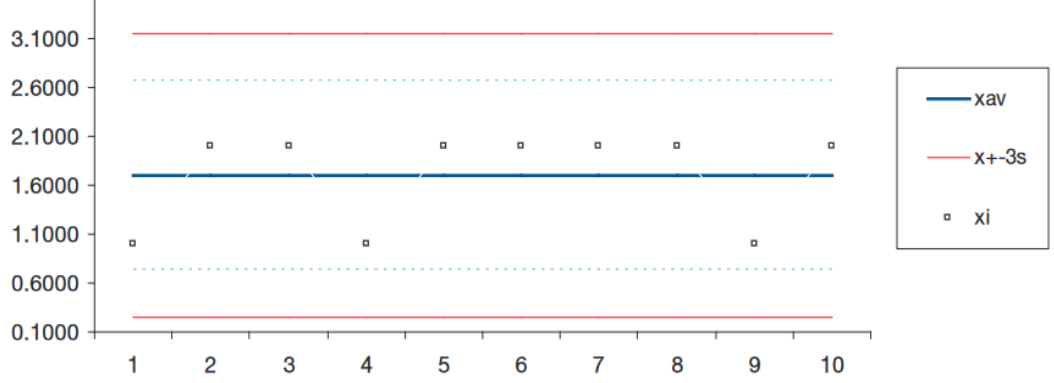
Çizelge 2.13.'de üç standart çözeltinin ortalama değerlerinin kontrol listesi verilmiştir (Hach, 2017).

**Çizelge 2.13.** Ortalama değerlerin kontrol listesi

CRM değeri:	1,6 µg/L
Öçümlerdeki ortalama değer:	-1,70
Standart sapma:	0,48
Puanlar:	10
Birim:	mg/L

Çizelge 2.14.'de üç standart çözeltinin ortalama değerlerinin kontrol kartı grafiği verilmiştir (Hach, 2017).

**Çizelge 2.14.** Ortalama değerlerin kontrol kartı grafiği



## 2.5. Membran Arıtma Teknikleri

İki farklı fazı birbirinden ayırmak için seçici bariyerler olarak tanımlanan membranlar, ilk olarak 1748’de Abbe Nolet tarafından osmoz olayının bulunmasıyla ortaya çıkmıştır (Ünal, 2015). 19. yüzyılın tamamı ile 20. yy’ın başlarında membranlar her ne kadar endüstriyel alanda kullanılıyor olmasa da laboratuvar ölçekli çalışmalar fazladır. 1953 ile 1959 yılları arasında yaptıkları çalışmalarla C. E. Reid ve J. E. Breton ilk RO membranlarını yaptılar, fakat yapılan membranın akı değeri oldukça düşüktür. 1960’lı yıllar itibarıyla modern membran biliminde gelişmeler olmuş ve küçük ölçekli de olsa endüstriyel membran uygulamaları yapılmaya başlanmıştır. 1960’da S. Sourirajan ve S. Loeb, selüloz asetat materyalinden üretilen membranlarını yaptılar. Membranlar, su arıtmada ilk kez 1965 yılında kullanılmıştır. 1970’lerde ilk olarak endüstriyel su üretim amaçlı kullanılan membranlar, daha sonra endüstriyel alanlarda yoğun şekilde kullanılmaya başlanmıştır (Baker ve 2004).

### 2.5.1. Membran arıtma sistemlerinin kullanım alanları

Membran arıtma sistemlerinin genel olarak içme ve kullanma sularının arıtılması, endüstriyel ve evsel atıksuların arıtılması, endüstriyel kullanma suyu üretimi ve geri kullanımı, deniz suyundan proses ve içme suyu elde edilmesi, metal giderimi ve geri kazanımı, gazların ayrılması, kontrollü ilaç salınımı, elektrokimyasal prosesler, biyomedikal alanda kan ve idrarın diyalizi, oksijence zenginleştirme, membran bazlı sensörlerde vb. gibi çok çeşitli alanlarda kullanım alanı bulmuştur. (Ravanchi ve ark., 2009), (Baker, 2012), (Bodzek ve ark., 2012), (Aslan, 2016), (AMTA, 2014), (Aksu, 2019).

### 2.5.2. Membran arıtma sistemlerinin avantaj ve dezavantajları

Membran arıtma sistemlerinin uygulandığı içme suyu üretim tesislerinde sistem çıkış suyu kalitesinin diğer yöntemlere göre daha iyi olması, alan bakımından az yer kaplaması, işletilmesinin olması, diğer sistemlere oranla daha az kimyasal maddeye

ihtiyaç duyması, modüler olarak dizaynının yapılabilir olması, kirleticinin kimyası ve formuna etki etmeden giderim sağlaması ve maliyetinin zaman içinde azalması gibi önemli avantajları vardır.

Bunun yanı sıra membran arıtma tekniklerinde en önemli sorunlardan biri olan tıkanma problemine ek olarak ilk kurulum maliyeti önemli dezavantajlarından biridir. Eğer membran üretim işleminin kontrolü iyi yapılmazsa membran por boyutu dağılımı tekdüze olmaz ve membran performansı düşer (Aksu, 2019).

### **2.5.3. Membranların sınıflandırılması**

Membranlar,

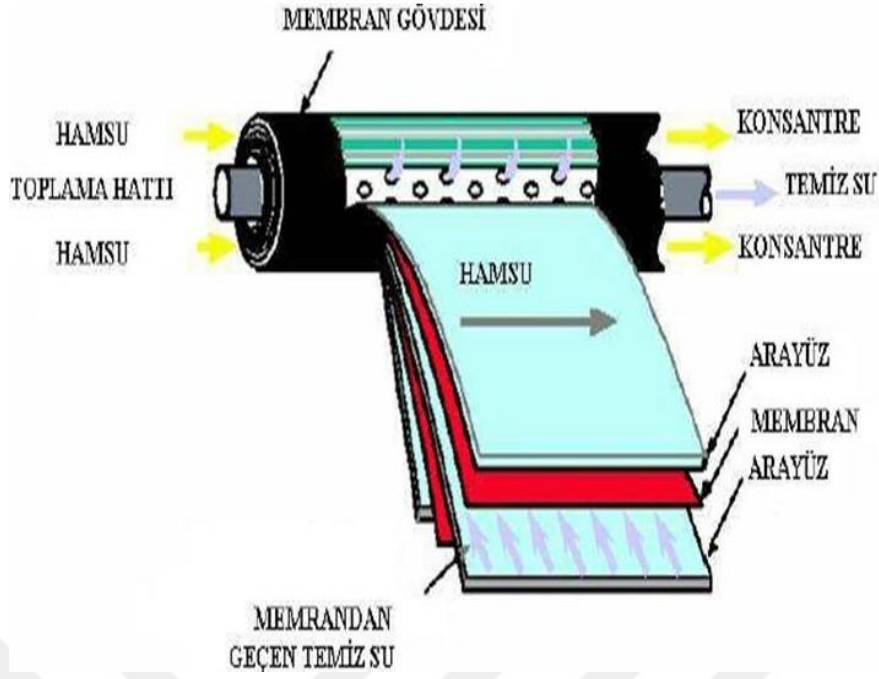
- Geometrik şekillerine
- Yapısı ve materyallerine
- Gözenek çaplarına göre çeşitli sınıflandırmalara tabi tutulmuşlardır.

#### **2.5.3.1. Geometrik şekillerine göre membranlar**

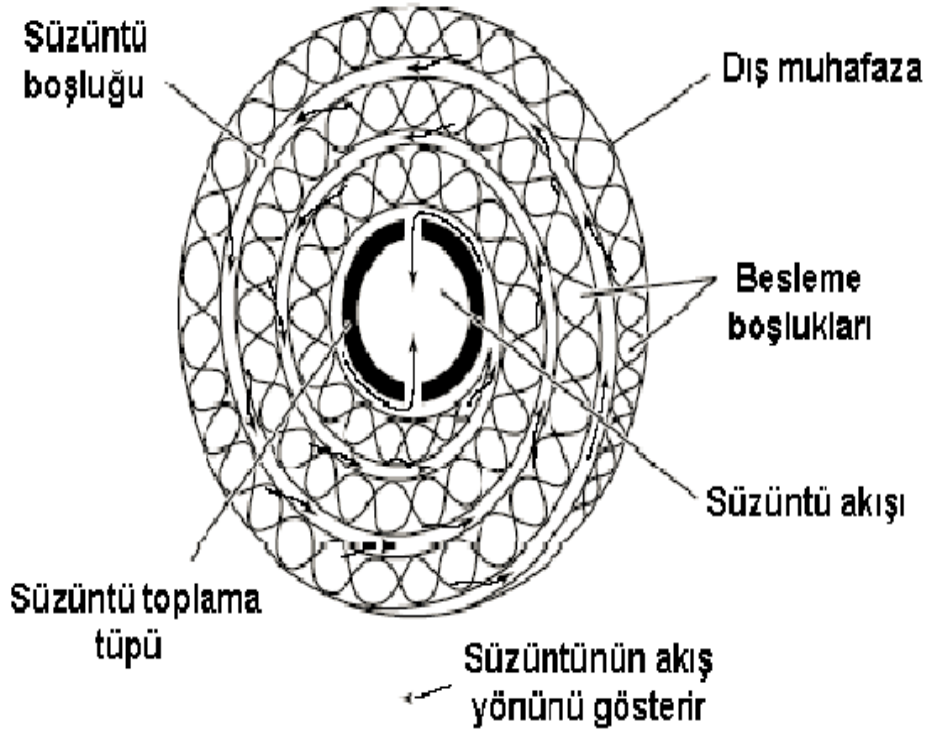
Günümüzde içme suyu arıtımında en geniş kullanım alanı bulan dört farklı membran modül tipi bulunmaktadır. Bunlar;

- Spiral sargılı membran
- Hollow fiber membran
- Levha çerçeve membran
- Tübüler (Borusal) membran

Spiral sargılı membranlar, delikli bir çelik borunun çevresine, art arda gelen membran tabakaları ve destek malzemelerinin zarf şeklinde sarılması ile oluşturulmuştur. Bu tasarım sayesinde birim hacimde en yüksek yüzey alanı elde edilir. Bu tipteki modüller nispeten maliyetli olmalarına rağmen üretim proseslerinde kirlilik giderim oranları iyidir. Bu tipteki membranlar yalnızca RO ve NF uygulamalarında kullanım alanı bulurlar (Karali, 2013). Şekil 2.9.'da spiral sargılı membran modülünün şematik görünümü ve Şekil 2.10.'da spiral sargılı membran modülünün üst kesitten gösterimi verilmiştir (Aksu, 2019).



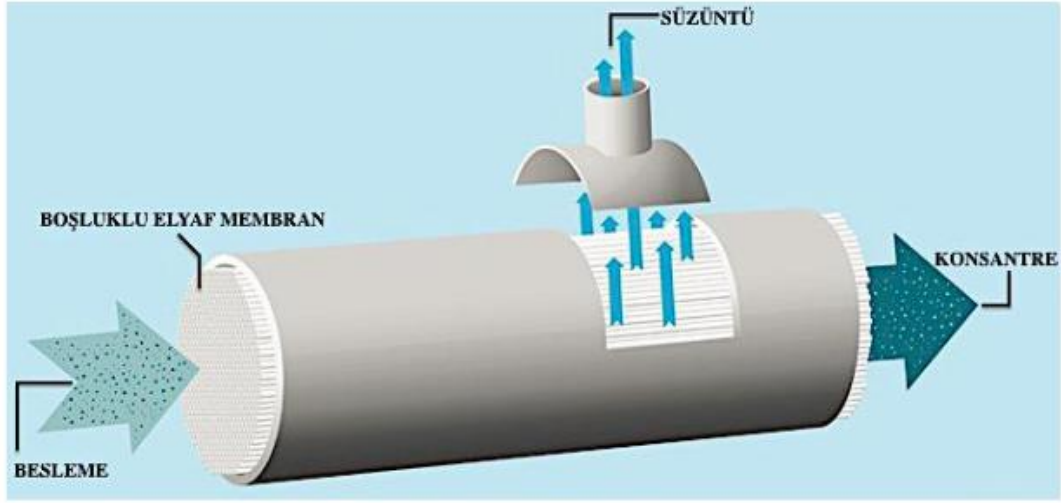
Şekil 2.9. Spiral sargılı membran modülü



Şekil 2.10. Spiral sargılı membran modülü üst kesit

Hollow fiber tipindeki membran modülü, ultrafiltrasyon (UF) ve mikrofiltrasyon (MF) uygulamalarında en sık kullanılan modül biçimidir. Bu modüldeki ince yapılı boşlukların iç çapları 0.5 mm ile 1.5 mm olup, şekil 2.11.'de olduğu gibi yüzlercesi bir araya gelirler ve modülün içerisinde toplu halde bulunurlar (Şekil 2.11.) İçme suyu arıtmada kullanılan bu modül tipinin en önemli özelliği otomatik olarak geri

yıkabilir olması kadar ön arıtmaya ihtiyacının da olmamasıdır (Karali, 2013). Hollow fiber membran modülü üst kesiti ise şekil 2.12.'de verilmiştir (Aksu, 2019).



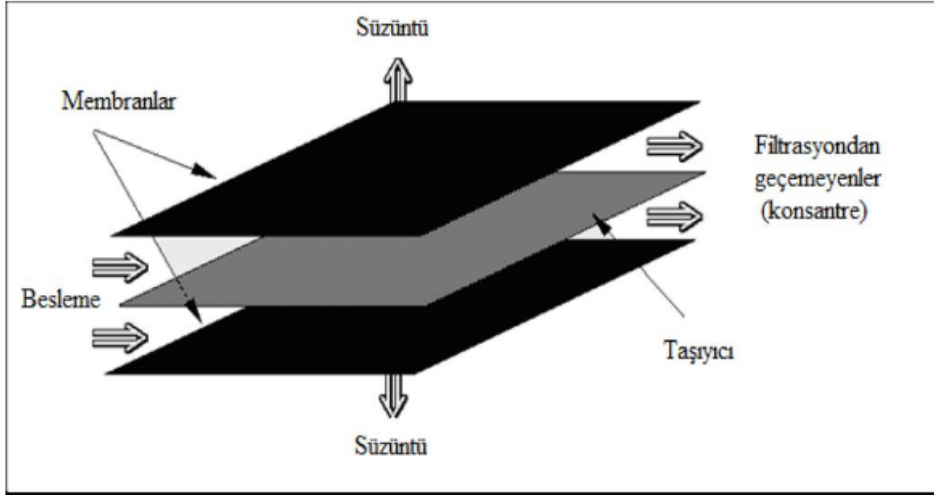
Şekil 2.11. Hollow fiber membran modülü



Şekil 2.12. Hollow fiber modülünün üst kesiti

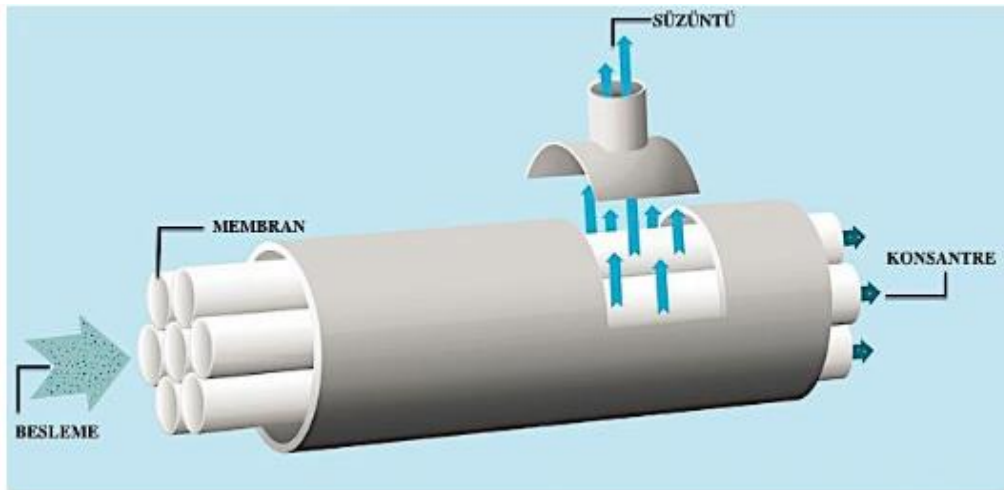
Levha çerçeve tipindeki membran modülleri genelde kalitesi iyi olmayan teminlerinde kullanılırlar. Bu tür membranlar plaka şeklinde kurulmaktadır. Çerçeve ve levha ünitesinin kapasite yoğunluğu hemen hemen  $100-400 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 'tür. Levhalar membrana mekanik olarak destek olmalarının yanında süzütünün drenajını da sağlarlar. Bu membran modülüne ait şematik gösterim Şekil 2.13.'de verilmektedir (Karali, 2013).





Şekil 2.13. Levha çerçeve membran modülü

Tübüler membran tipindeki modüller, hollow fiber modüllerden daha uzun olmakla beraber 25 mm'den daha geniş çapa sahiptirler. Yüksek askıdaki katı madde içerikli suların arıtılmasında avantaj sağlarlar. Tıpkı hollow fiber membranlarda olduğu gibi içten dışa akış olanağı vardır. Sistemin mekanik olarak temizlenebilmesi kolay olmakla birlikte en önemli dezavantajları ise düşük membran yüzey alanına sahip olduklarından fazla yer kaplamaları ve büyük kapasitelerde maliyetlerinin artmasıdır. Bu modül tipleri, endüstriyel atık suların arıtımı ve gıda ve içki endüstrisinde geniş kullanım alanı bulur. Şekil 2.14.'de tübüler membran modüllerinin yapısı verilmiştir (Karali, 2013).



Şekil 2.14. Tübüler membran modülü

### 2.5.3.2. Yapısı ve materyallerine göre membranlar

Membranların materyali, membranın üretiminde hangi tür maddelerin kullanıldığını ifade eder. Materyal olarak genelde sentetik polimer kullanılmakta olup



nadiren de metalik ve seramik kullanım alanı bulabilmektedir. İçme suyu arıtma amaçlı üretilen membranların hemen hemen tamamı polimer malzemeden elde edilmektedir. Diğer materyaller ile kıyaslandığında daha az maliyetli olması ile öne çıkar. NF ve RO membranları genelde poliamit veya selüloz asetat materyalden üretilirken, selüloz asetat membranların biyolojik olarak bozunmaya karşı direnci düşüktür. 4-8 pH değerleri arasında kullanılması önerilir. UF ve MF membranları ise selüloz asetat, polipropilen, polivinil florür, polieter sülfon, poliakrilonitril gibi polimerlerden üretilmektedir. Bütün bu materyallerin hidrofobiklik, yüzey yükü, dayanıklılık ve esneklik pH ve oksidan toleransı gibi birbirinden ayrı özellikleri vardır (Özden, 2002).

Tüm membran tiplerinin giderim verimini etkileyen bir özellik ise trans-wall simetrisi şeklinde ifade edilen ve membranın çapraz kesiti boyunca homojenliğini bildiren özelliktir. Yapısal olarak değişik membran türleri bulunur. Bunlar;

- Simetrik,
- Asimetrik
- Kompozit membranlar şeklinde üç tiptir.

Simetrik membranlar tek bir materyalden üretilirler, kompozit membranlar, farklı materyaller ile üretilirken, asimetrik membranlar heterojen ya da homojen olabilir. Simetrik membranlarda gözenek yapısı ve yoğunluk gibi özelliklerde kesit alanı boyunca benzerlik ve tek biçimlilik söz konusu iken, asimetrik membranlarda yoğunluk farklılık gösterebilmektedir (Özkal, 2010).

Membran malzemesinin karakteristiğinin, filtrasyon sisteminin dizaynında ve işletmesinde önemli etkileri vardır. Çünkü termal ve kimyasal stabilite, materyalin tipi, ıslanabilirlik ve adsorpsiyon gibi yüzey özelliklerini etkiler. Ayrıca membranın yıkanması sırasında kullanılan temizlik kimyasalının seçimi tamamıyla membran malzemesine bağlıdır. Çünkü bazı temizlik kimyasalları, membranın polimer yapısını hasara uğratabilir (Mulder, 1996). Çizelge 2.15.'de membranların yapısal özellikleri ve önemi gösterilmiştir (Aksu, 2019).

Çizelge 2.15. Membranların yapısal özellikleri ve önemi

Özellik	Akıya Olan Etkisi	Önemi
<b>Asimetrik</b>	Yüksek	Akı değerleri simetrik membran ile karşılaştırıldığında yüksektir.
<b>Simetrik</b>	Yüksek	Partiküllerin tutunması geri dönüşsüz kirlenmeye sebep olabilir.
<b>Gözenek Boyutu</b>	Yüksek	Yüksek tutunma verimini sağlayan, yüksek akı değerlerinin optimize edilmesi aşamasında uygun gözenek boyutunun seçilmesi önemlidir.
<b>Gözenek Boyutu Dağılımı</b>	Düşük	Dar gözenek boyutu dağılımı iyi bir ayırma verimi sağlar.
<b>Boşluk oranı</b>	Yüksek	Yüksek boşluk oranına sahip membran, yüksek geçirgenliğe sahiptir. Buda doğal olarak akımın artmasına sebep olur.
<b>Zeta Potansiyeli</b>	Düşük	Membran yüzey yükleri, adsorbsiyon nedeniyle oluşan kirlenmeyi etkiler.
<b>Hidrofobik</b>	Yüksek	Genellikle sterilizasyon sistemlerinde avantaj sağlamaktadır. Atıksu arıtımında kirlenme problemi yüksektir.
<b>Hidrofilik</b>	Yüksek	Membranların ıslanabilirliği sulu çözeltilerin taşınımını artırır. Aynı zamanda organik maddeler nedeniyle oluşan kirliliği azaltabilir.

Çizelge 2.16.'da membran yapımında kullanılan maddeler ve verilmiştir (Ünal, 2015).

Çizelge 2.16. Membran üretiminde kullanılan maddeler

Alümina	Zirkonya	Paslanmaz çelik
Aromatik poliamid	Polistiren	Polieterüre
Naylon 6.6	Sülfolanmış polisülfon	Polieteramid
Naylon 6	Karbon	Polivinilklorid
Poliakrilonitril	Akrilikler	Polimetilmetaakrilat
Polivinilidendiflorid	Polieterimid	Sülfolanmış polistiren
Polikarbonat	Selüloz nitrat	Polialkilsülfon
Polisülfon-Polietersülfon	Selüloz asetat	Hidrofilik poliolefinler
Silikon	Polipropilen	Polifuran

Çizelge 2.17.'da membran üretiminde kullanılan bazı kimyasal maddelerin özellikleri verilmiştir (Özkal, 2010).

Çizelge 2.17. Membran materyali ve özellikleri

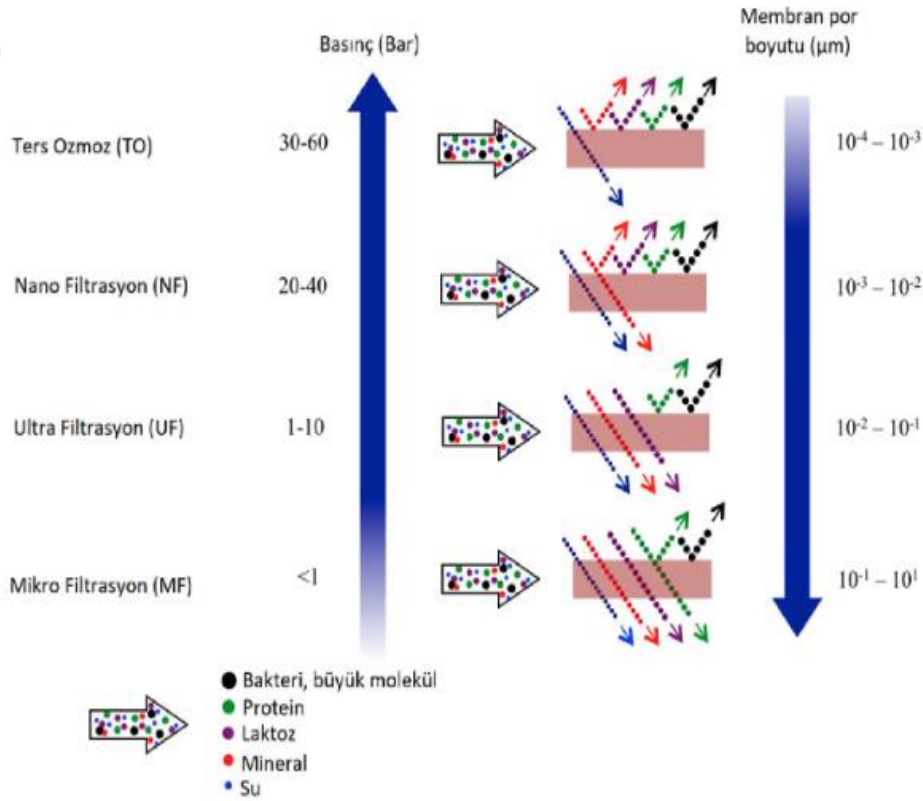
Materyal	Tür	Hidroforbiklik	Oksidanlara Toleransı	pH aralığı	Kirlenmeye karşı direnci ve temizlenebilirliği
Polivinildien Florid	MF / UF	Modifikasyon sonic hidrofilik	Çok yüksek	2-11	Mükemmel
Polipropilen	MF	Hafif hidroforbik	Düşük	2-13	Kabul edilebilir
Polieter sülfon	UF	Çok hidrofilik	yüksek	2-13	Çok iyi
Polisülfon	UF	Modifikasyon sonic hidrofilik	normal	2-13	iyi
Selüloz asetat	UF	Doğal hidrofilik	Normal	6-8	iyi

### 2.5.3.3. Gözenek çaplarına göre membranlar

Membran prosesler, gözenek çaplarına göre dört tiptir. Bunlar;

- Mikrofiltrasyon (MF),
- Ultrafiltrasyon (UF),
- Nanofiltrasyon (NF) ve
- Ters osmoz (TO) şeklindedir

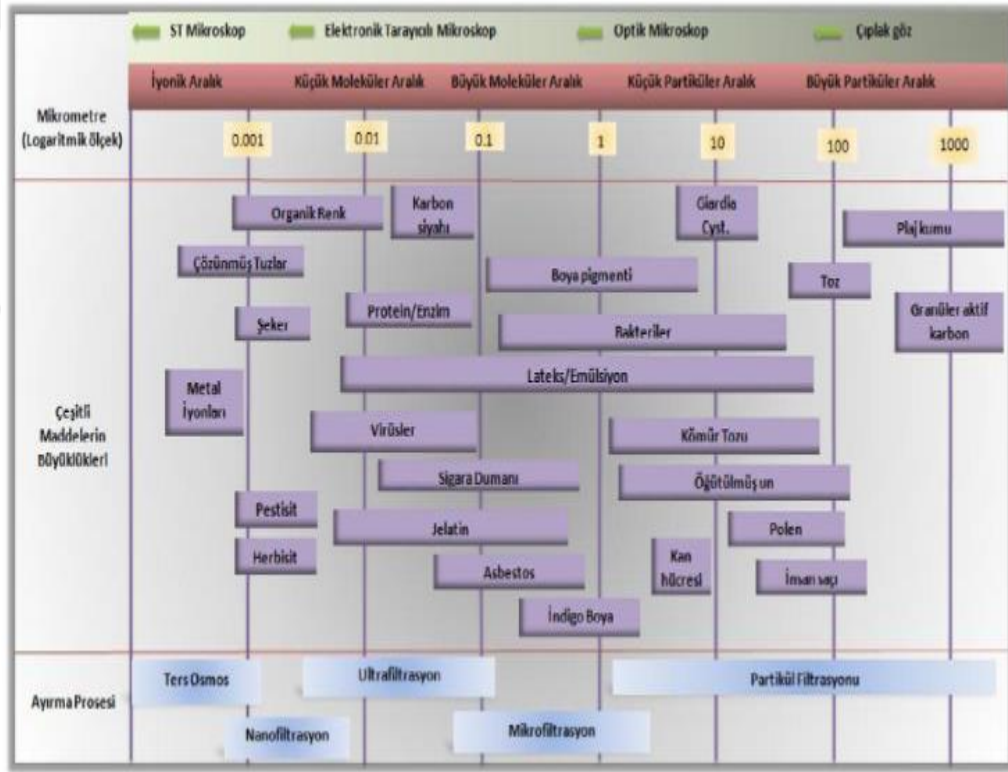
Şekil 2.15.'de gözenek çaplarına göre membran tipleri görülmektedir (Can, 2019).



Şekil 2.15. Gözenek çaplarına göre membran tipleri

Ultrafiltrasyon ve mikrofiltrasyon membranları sırasıyla genellikle organik maddeler ve katı/kolloidal parçacıklar gibi büyük molekülleri ayırmak için kullanılırken, ters osmoz ve nanofiltrasyon membranları temel olarak çözünmüş inorganik maddeleri ayırmak için kullanılmaktadır. Nanofiltrasyon membranlarda işlevsellik, çok değerlikli çözünmüş inorganik maddelerin tek değerlikli iyonlardan seçici ayırımı esasına dayanırken ters osmoz membranlarda tek değerlikli çözünmüş inorganik maddeler ile çok düşük molekül ağırlıklı organik maddelerin arıtılmış su ortamından ayrıştırılması ve giderimi esasına dayanır (Mulder, 1996).

Membran ayırma tekniklerinin her biri, belirli bir ayırma performansı gösterirler. Söz konusu teknikler, gözenek büyüklükleri ve parçacıkların madde çaplarına göre ayırma spektrumlarına sahiptirler. Membran sistemlere ait bu spektrumlar Şekil 2.16.'da verilmiştir (Can, 2019).



Şekil 2.16. Membran ayırma tekniklerine ait ayırma spektrumu

Çizelge 2.18.'de membran ayırma tekniklerine ait sürücü kuvvetler ve ayırma mekanizması verilmiştir (Saleh ve Gupta, 2016).

**Çizelge 2.18.** Membran ayırma tekniklerinin sürücü kuvvetleri ve ayırma mekanizması

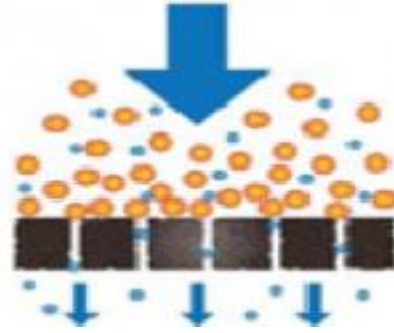
Sürücü Kuvvet	Besleme Fazı	Süzüntü Fazı	Membran Prosesi	Ayırma Mekanizması
$\Delta P$	Sıvı	Sıvı	Mikrofiltrasyon Ultrafiltrasyon Nanofiltrasyon Ters osmoz	Boyut Boyut Boyut ve çekim Boyut ve çekim
	Gaz	Gaz	Gaz ayırma Buhar geçirgenliği	Boyut ve Çekim
$\Delta E$	Sıvı	Gaz	Pervaporasyon	Çekim
	Sıvı	Sıvı	Elektrodiyaz Membran elektrolizi	Elektrik yükü Elektrik yükü
$\Delta C$	Sıvı	Sıvı	Diyaliz Difüzyon diyalizi Membran kontaktör Osmoz Sıvı membranlar	Boyut Boyut ve çekim Çekim Çekim Kimyasal özellik
	$\Delta C/\Delta P$	Gaz	Sıvı	Membran kontaktör
$\Delta T/\Delta P$	Sıvı	Sıvı	Termo-osmoz Membran distilasyonu	Buhar basıncı Buhar basıncı

Boyut, moleküllerin donma noktası, yoğunluk ve buhar basıncı gibi fiziksel karakteristikler, membranlarla arıtma işlemine kolaylık sağlarlar. Elektriksel yük, çekim gibi kimyasal özellikler de önemlidir. Moleküllerin kimyasal yapısı, ayırma proses tipinin belirlenmesinde önemlidir. Dolayısıyla, ayırma yapılacak bileşenlerin özelliklerini bilmek, uygun ayırma proseslerinin seçimi için önem arz etmektedir (Saleh ve Gupta, 2016).

#### 2.5.4. Membranlarda akım yönü

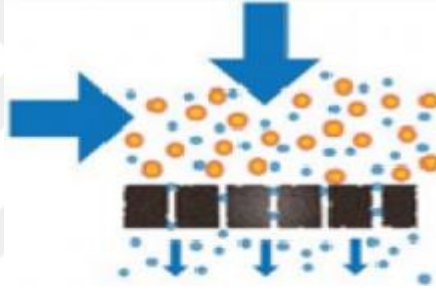
Membran filtrasyonu, dikey yönlü filtrasyon (dead-end cell filtration) ve çapraz akışlı (crossflow) filtrasyon olmak üzere iki biçimde olabilir. Dikey yönlü filtrasyonda beslemenin akım yönü membrana dik olacak biçimde gerçekleşir. Bu akımın en önemli dezavantajı filtrelemenin hızlı şekilde gerçekleşmesidir. Bu tip akışta, membran yüzeyinde birikmiş kir tabakası, besleme akımının kaynaklanan basınç ile sıkışarak akıma karşı dirençli hale gelir. Çapraz akışlı filtrelemede, besleme akımı membrana paralel olarak yürür ve oluşan kirlilik, filtre tabakası üzerinden süpürme etkisi ile normal filtrelemeye göre daha yavaş kirlenir (Aksu, 2019).

Şekil 2.17.'de dikey yönlü filtrasyon akım yönü gösterilmiştir. Filtrelenen maddenin membran gözeneklerinde birikip onları tıkaması nedeniyle filtreleme kapasitesi zamanla azalır. Birikmiş kirliliği uzaklaştırmak için membranı temizlemek gerekir. Bu yöntem, bileşiklerin konsantre edilmesi için çok verimlidir (Munir, 2006).



Şekil 2.17. Dikey yönlü filtrasyon

Şekil 2.18.'de çapraz akışlı filtrasyonun şematik gösterimi verilmiştir. Çapraz akışlı filtrasyon yönteminde, yüksek geri devir hızından kaynaklanan çapraz akış hızının, membran yüzeyinde türbülansı artırmasından dolayı besleme tarafındaki katıların membran yüzeyinde birikmelerini azaltır. Bu olay, yüzeydeki konsantrasyon polarizasyon tabakasının kontrol edilmesine de olanak sağlar (Naharcı, 2007).



Şekil 2.18. Çapraz akış filtrasyon

### 2.5.5. Membran arıtma tekniklerinde işletme faktörleri

Membran performansını ya da verimini ifade eden iki parametre giderme verimi ve akıdır. Akı, birim zamanda birim alandan geçiş yapan madde miktarı şeklinde ifade edilir ve  $m^3/m^2.sn$  ya da  $L/m^2.saat$  şeklinde gösterilir. Giderme verimi ise membranın tutma kapasitesinin bir ifade biçimidir. Membran proseslerde istenen, akı ve yüksek giderme veriminin yüksek olmasıdır (Aksu, 2019).

Membran proseslerde işletme parametreleri;

- Besleme konsantrasyonu
- Akı
- Basınç veya trans membran basıncı
- Çapraz akım hızı ve türbülans
- Sıcaklık
- pH
- Membran tabaka yoğunluğu

- Ön arıtma
- Hava/su resirkülasyonu şeklindedir.

Besleme suyunun konsantrasyonu, membran verimini doğrudan etkileyen bir özelliktir. Bu derişim arttıkça membranın kirlenme miktarı da o oranda hızlanır ve membran arıtma tekniğinde çok önemli bir parametre olan akının düşmesine sebebiyet verir. Membranın kirlenmesiyle giderme verimi de düşer (Aksu, 2019).

Akı, birim yüzey alanından birim zamanda geçiş yapan madde miktarıdır. Membran arıtma teknikleri, günümüzde, 5 ila 100 L/m<sup>2</sup>.saat aralığındaki akı değerlerinde uygulanabilmektedir. Arzu edilen akı değerinde ulaşmak, Trans membran basıncı (TMP)'nin iyi ayarlanmasına bağlıdır (Aksu, 2019).

Membran arıtma tekniğinde, membrandan geçen akım, membrana uygulanan basıncın miktarı ile doğru orantılıdır. Akı formülü, denklem 2.10'de verilmiştir.

$$Akı = Q_p / A \quad (2.10)$$

$Q_p$  = permeyitin (süzüntü) debisi (L/sa)

$A$  = membranın toplam alanı (m<sup>2</sup>)

Transmembran basıncı, membran arıtma tekniğinde membranın iç ve dış yüzeyindeki basınç farkından hesaplanan membran geçiş basıncıdır. Bir membran arıtma tekniğinin işletilmesinde en önemli etken stabil bir TMP sağlamaktır. TMP artışıyla akının da artması beklenir. Fakat zaman içinde membran yüzeyinde oluşan kirlenme sonucu akıda azalma görülür (Aslan, 2016).

Hızın yüksek olması daha yüksek kütle transfer katsayısına olanak sağlar ve böylelikle daha fazla süzüntü akısı elde edilir. Çapraz akışın yüksek hızında membran yüzeyinde kirliliğin daha az birikmesi nedeniyle daha yüksek akıya olanak sağlanmış olur. Türbülans membran prosesinde hayati önemdedir. Membran yüzeyinde meydana gelen türbülans, konsantrasyon polarizasyonunu azaltarak membran verimine olumlu katkı sağlar (Aslan, 2016).

Sıcaklık, su akışını ve osmotik basıncına etki eder. Besleme suyunun sıcaklığı ile akı doğru orantılıdır. Organik membran proseslerde uygun sıcaklık aralığı 20 °C ila 40 °C'dir. Daha yüksek sıcaklıklarda membranlarda bozulma ve aşınmalar görülebilmektedir. Özellikle organik malzemedeki üretilen membranlarda bu durum sakıncalıdır. Fakat inorganik membranlar, 300 °C'ye kadar dayanıklıdır. Sıcaklığın her

bir 1 derecelik artması ile akı değerinde, %3'lük artış görülür (Aslan, 2016). Ters osmoz sistemi, UF sistemine göre sıcaklığa daha hassastır (Naharcı, 2007).

Baziklik ya da astlığın bir ölçüsü olan pH, membranların ömrü açısından önem arz eder. Genelde kullanılan pH aralığı 2-8 'dir. Optimum işletme pH aralığı ise 4.5 ile 8.5 arasındır. Bu bakımdan pH, kullanım amacına göre membran seçiminde dikkat edilmesi gereken bir özelliktir. Sentetik polimer tipteki membranlardan daha çok poliamid ve polisulfon malzemeler pH'a karşı dirençlidir. Daha pahalı olan seramik membranlar ise geniş pH çalışma aralığı sunar. Selüloz asetat membranlar, pH'a oldukça hassastırlar (Aksu, 2019).

Membran tabaka yoğunluğu, birim hacim modül içerisine yerleştirilen tabaka yoğunluğu ya da membran alanı şeklinde ifade edilir. Bu özellik ne kadar büyükse sistemden çıkan toplam akı da o derece büyük olur. Tipik olarak membran yoğunluğu 160 ila 1640 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> şeklindedir (Aslan, 2016).

UF ve MF için konsantrasyon polimerizasyon özelliğinden dolayı inorganik kirlenme çok daha yüzeysel olabilirken, kimyasal bağlar aracılığıyla organik polimer maddeler ve iyonlar gibi diğer kirlenici maddeler arasındaki etkileşim sonucu oluşan kirlenmenin, oldukça fazla olması beklenir. Membran arıtma tekniğinde ön arıtma için kullanılan oksidasyon ve koagülasyon gibi bazı işlemler, eğer uygun dizayn edilmez ve düzgün işletilmezse, membran gözenek yapıları içinde ya da membran yüzeyinde metal hidroksitlerin oluşmasına sebep olabilir. Ayrıca geri yıkama membran temizleme metotları, doğru uygulanmazsa, UF sisteminde kireçlenmeye yol açabilir. Örneğin, kalsiyum ve yüksek bikarbonat içeren besleme suları ve yüksek pH'ta gelişmiş geri yıkama uygulaması, membranın süzüntü çıkış yolunda CaCO<sub>3</sub> çökeltisinin oluşmasına yol açabilir (Aksu, 2019).

Geri yıkama, membran üzerinde birikmiş olan kirliliklerin temizlenmesi için uygulanması gereken bir işlemdir. Geri yıkama işleminde akış, filtrelemenin tersi yönde uygulanır. Bu işlem, sisteme ters yönde süzüntü suyu verilerek yapılabildiği gibi su-hava karışımı geri verilerek de uygulanabilir. Bunun sonucunda, kirlenmeye bağlı akı azalması giderilmiş olur ve TMP'da artış da kontrol altına alınabilir. Membrandan geçen süzüntü suyu sisteme geri verileceğinden, sistemin verimi düşmüş olur (Aksu, 2019).

Geri ya da ters yıkama işlemi, hollow-fiber tipindeki UF ve MF membranlar ile özdeşleşmiştir. Spiral tipteki RO ve NF membran sistemlerde ters akım olmadığı için



geri yıkama işlemine ihtiyaç yoktur. Bu membranlarda membran kirliliği, akı kontrolü, çapraz akım hızı ve kimyasal temizleme yoluyla sağlanır (Aslan, 2016).

### 2.5.6. Membran arıtma tekniklerinde arıtma verimi ve su kazanımı

Giderme ya da arıtma verimi, membran tarafından alıkoyulan miktarın bir ölçüsüdür. Membranın giderme verimi (R) ile ifade edilir. R boyutu olmayan bir büyüklüktür ve 0 ile 1 arasında bir değerdir. “0” bütün çözülmüş maddelerin membrandan geçiş yaptığını, “1” ise membranın hiçbir madde geçişine müsaade etmediğini gösterir (Aslan, 2016).

Membran performansının belirlenmesinde temel özellikler;

- Yüksek akı geçişi ve yüksek oranda seçicilik,
- İşletme koşullarında kimyasal, mekanik ve termal stabilite,
- Düşük tıkanma ve kirlenme,
- Düşük maliyet ve hatasız üretim,
- Çalışma ortamıyla uyum, vs.

İki tip giderme verimi vardır. Bunlar, gerçek giderme verimi (R gerçek) ve gözlenen giderme verimi (R<sub>Gözlenen</sub>)’dir. Gözlenen giderme verimi, oluşan süzüntü akımı derişimi ile besleme akımı derişimi arasındaki giderme verimini ifade eder ve denklem (2.11) ile bulunur (Aslan, 2016).

$$R_{Gözlenen} (\%) = (C_f - C_p) / C_f = 1 - (C_p / C_f) \quad (2.11)$$

Gerçek giderme verimi, oluşan süzüntü akımı derişimi ile çözeltinin membran yüzeyindeki derişiminden hesaplanan giderme verimini ifade eder ve denklem (2.12) ile bulunur (Aslan, 2016).

$$R_{Gerçek} (\%) = (C_m - C_p) / C_m = 1 - (C_p / C_m) \quad (2.12)$$

Burada;

C<sub>p</sub>: Süzüntü akımının derişimini

C<sub>f</sub>: Besleme suyunun derişimini

C<sub>m</sub>: Membran yüzeyindeki derişimi

Çapraz akışlı membran arıtma tekniklerinde sisteme verilen besleme suyunun bir miktarı membrandan geçerek (permeat=süzüntü) arıtılır, geri kalan kısmı ise membran yüzeyinden arıtma işlemine tabi olmadan konsantre hattına geçer. Çapraz akışlı tekniklerde arıtılan su miktarının toplam besleme suyuna oranına membran arıtma tekniğinin su kazanımını (recovery) adı verilir. (2.13)’de verilen eşitlikle hesaplanır (Ardalı, ty).

$$\text{Su kazanımı} (\%) (\text{recovery}) = (Q_p / Q_f) \cdot 100 \quad (2.13)$$

$Q_p$ =permeyt (süzüntü) debisi (Litre/saat)

$Q_f$ =giriş/besleme debisi (Litre/saat)

### 2.5.7. Membranların kirlenmesi

Membran arıtma tekniklerinin uygulandığı arıtma sistemlerinde karşılaşılan en büyük sorun membran kirliliğidir. Membran kirlendiği zaman ya akıda azalma ya da aynı akıda çalıştığı zaman sistem basıncında yükselme görülür. Bu da kirleticilerin membran yüzeyinde birikip sıkışması anlamına gelir. Basıncın artması işletme maliyetini de artırır. Kirlenen membranın bu şekilde uzun bir süre çalışması durumunda membrana daha yoğun temizleme işlemi uygulanmak zorunda kalınır ve bu da membranın ömrünün kısılmasına sebep olur. Kirlenmeyi en çok etkileyen iki unsur, membranın fizikokimyasal özelliği ve morfolojisidir. Membran kirlilik sebepleri ve önlenmesi çoğunlukla besleme suyunun özelliklerine ve bu özelliklere göre seçilecek olan çalışma şartlarına bağlıdır (Aksu, 2019).

- Konsantrasyon polarizasyonu

Batık membran proseslerde besleme suyu içeriğindeki kirlilik kaynakları taşınma yoluyla membran yüzeyine geçer ve membran yüzeyi etrafında kirletici maddeler birikerek daha konsantre hale gelir. Membran yüzeyine yaklaştıkça bu kirlilikler artar ve en üst düzeye ulaşır (Şengül, 2014). Konsantrasyon polarizasyonu temel olarak adsorpsiyon, gözeneklerin tıkanması ve jel tabakası meydana gelmesi gibi sebeplerden dolayı oluşur. Tüm bu durumlar, membran içindeki taşınım esnasında besleme çözeltisi tarafında ek dirençlere sebep olur. Membran, çözelti içindeki çözünmüş maddeleri geri gönderdiği için membran yakınında çözünmüş madde konsantrasyonunda artış görülür. Bu da konsantrasyon polarizasyonu direnci ( $R_{cp}$ ) adı verilen ek bir dirence sebep olur (Aksu, 2019).

Membranların tıkanmaya karşı dayanıklılığı ve kolay temizlenebiliyor olması, membran seçiminde önemli etkenlerdendir (Ormancı, 2011). Konsantrasyon polarizasyonunu azaltarak kütle transferini artırmak için farklı yöntemler denenmiştir. Çizelge 2.19.'da membran yüzeyinde konsantrasyon polarizasyonunu azaltmak amacıyla kullanılan farklı yöntemler verilmiştir (Aksu, 2019).

**Çizelge 2.19.** Membran yüzeyinde konsantrasyon polarizasyonunu azaltmak için uygulanan metotlar

Metot	Etki
<b>İyi bir ön arıtma</b>	Su kalitesi iyileştiğinden membran tarafından tutulan kirletici konsantrasyonu azaldığı için polarizasyon etkisi azalır.
<b>Yatay hızın artırılması</b>	Yatay hızın artışı ile membran yüzeyinde biriken kirleticiler süpürülür ve konsantrasyon polarizasyonunun etkisi azalır.
<b>Türbülans etkenleri oluşturmak</b>	Türbülans akımdan dolayı kirletici konsantrasyonu azalır fakat basınç azalması yüksek olabilir.
<b>Akım kararsızlıkları</b>	Şaşırtıcılar ile akım oluşturmak.
<b>Aşırı ses dalgaları</b>	Aşırı ses dalgaları membran yüzeyinde kavitasyona sebep olur. Kompleks modül tasarımı meydana getirir.
<b>Elektriksel yük</b>	Elektrik alanları, makro molekül yüklerini etkiler.
<b>Kimyasal metot</b>	Membran yüzeyinde yük değişiklikleri meydana getirir.

### 2.5.7.1. Membran kirletici çeşitleri

- Organik kirleticiler

Membranların büyük oranda kirlenmesine neden olabilecek bol miktarda doğal organik madde vardır. Fulvik ve hümitik maddeler, yüzey sularındaki bitki ve hayvan atıklarının kimyasal ve biyolojik olarak parçalanması sonucunda meydana gelirler. Bu maddeler, neredeyse tüm yüzey suyu kaynaklarında vardır. Çözünmüş organik madde, tek başına membran tıkanmasında etkili değildir fakat yapısal olarak küçük molekül tipindeki organik maddeler membran gözenekleri tarafından adsorplanarak membranın tıkanmasına sebep olabilmektedir (Özkal, 2010). Membran arıtma teknikleri, DOM'in çoğunluğunun giderimi için uygulanması gereken sistemlerdir (Özkal, 2010). Büyük boyutlu olmaları nedeniyle DOM'in membran arıtma tekniği ile giderilmesi mümkündür. Ancak membran gözenekleri tarafından adsorplanmaları nedeniyle membran performansının azalmasına neden olurlar. Böyle bir tıkanmayı önlemek için, su membrana girmeden önce aktif karbon ve farklı adsorban maddelerle adsorplanma işlemi uygulanabilir (Aksu, 2019).

- İnorganik kirleticiler

İnorganik kirlenme daha çok inorganik yapıdaki tuzlar nedeniyle oluşur. Besleme suyunda çözünmemiş halde bulunan metal tuzlarının membran yüzeyine

çökmesi ile kabuklanma meydana gelir. Genelde bu şekilde kabuklanma yapan tuzlar demir hidroksitler, silikon dioksit, kalsiyum fosfat, kalsiyum sülfat, kalsiyum karbonat, metal oksitler ve alüminyum hidroksit şeklindedir (Şengül, 2014). Besleme suyunda bulunan tuzlar suyun membrandan geçirilmesi ile birlikte konsantre hale gelirler ve besleme suyundaki tuz derişimi artar. Tuz konsantrasyonunun artması çözünürlük sınırını geçer ve tuz, membran yüzeyinde çökme yaparak kabuklanmaya neden olur (Akın, 2010).

Kalsiyum sülfat ve kalsiyum karbonat gibi maddeler, membran yüzeyinde çöklerler. Bu çökeltinin miktarı, kalsiyumun çözünürlüğündeki düşmeye bağlı olarak artan pH ile orantılı olarak artar. Yüksek miktarda kalsiyum içeren sularda membran arıtımı yapılırken ortam sıcaklığı fazlaysa ilave tedbirler gereklidir. Konsantrasyon faktörünün 2'nin üzerinde olmadığı RO sistemlerde kabuklanma sorunu ile karşılaşılmaz (Akın, 2010). Kalsiyum çökeltisi, besleme çözeltilisine EDTA (Etilen Diamin Tetra Asetik Asit) tipinde bir şelatlaştırıcı ilave edilerek ve membran filtrasyondan önce kalsiyumun bir kısmını ortadan kaldırarak önemli düzeyde giderilebilir. Kalsiyum karbonatın çökmesi sorunu, su içerisine yeteri kadar sitrik asit ya da hidroklorik asit eklenerek engellenebilir (Şengül, 2014).

- **Biyokirlenme**

Biyolojik kirlenme, membran yüzeyinde bakteri üremesi ile meydana gelir. Biyolojik kirlenmeye karşı membran direnci çok önemlidir. Örneğin selüloz asetat membranların, bakterilere karşı hiç direnci yoktur. Dolayısıyla bu tür membranların kullanıldığı durumlarda besleme suyu bakterilerden temizlenmelidir. Poliamid hollow lif yapısındaki membranlar, selüloz membranlara kıyasla bakterilere daha dayanıklıdır. Uygun olan bir ön arıtma ve UV dezenfeksiyon sistemiyle besleme suyundaki patojen maddeler uzaklaştırılır ve biyokirlenme verimli bir biçimde kontrol altına alınabilir (Aksu, 2019).

### **2.5.8. Membranların temizlenmesi**

Membran temizliği neredeyse tüm membran arıtma tekniklerinde gerekli olan işlemlerden biridir. Kirlilikler uygun bir temizleme metoduyla membrandan uzaklaştırılır. Membran temizliği fiziksel ya da kimyasal şekilde yapılabilir (Aksu, 2019). Membran sistemler kullanıldığı zaman, kirlilikler zaman içinde membranın yüzeyi ile su akış yolları üzerinde toplanırlar. Biriken kirlilikler, kullanılan membranın yüzeyinde bir kek katmanı oluştururken bunun yanında membran gözeneklerinin de tıkanmasına sebep olabilirler. Bu kek katmanı, akının düşmesine sebep olur ve

membran sistemin verimini azaltır. Dolayısıyla, membran yüzeyindeki ve gözeneklerdeki birikmiş yapıları uzaklaştırmak için uygun zamanlarda temizlik işlemlerini gerçekleştirmek gerekir. Membran temizlenmesi fiziksel ve kimyasal yöntemlerle sağlanabilmektedir (Aslan, 2016).

- Fiziksel temizleme işlemi,

Sünger veya benzeri bir malzeme ile silme, geri yıkama, su ile yıkama, hava püskürtme vb. yöntemlerle gerçekleştirilir. Burada geri yıkama ve hava püskürtme yöntemleri UF ve MF membranların temizliği için kullanılır (Aksu, 2019).

- Kimyasal yöntemlerle temizleme,

Membran ve kirliliğin durumuna göre ideal kimyasal çözeltilerle (seyreltik asit, alkol, NaOH vb.) yapılmaktadır. Filtrasyon sürdüğü sürece, gözenekleri tıkayan maddeler fiziksel temizleme yöntemleri ile tümüyle uzaklaştırılmaz. Membran yüzeyinde veya membranın içerisinde birikmiş kirlilikler kalır. Kimyasal temizleme işlemi, bu tür maddeleri uzaklaştırarak ve membran performansını eski haline getirmek için uygulanır. Asitler ve benzer kimyasal temizleyiciler, inorganik kirlilikleri gidermede kullanılırken, sodyum hipoklorit vb. yapılardan, organik kirlilikler ile patojen canlıları uzaklaştırmada faydalanılır. Bir membranın temizlenmesinde, geri yıkama işlemi ve kimyasal maddeler ile temizlik genelde birlikte kullanılır. Kimyasal temizleme amacıyla sıkça kullanılan kimyasal maddeler Çizelge 2.20.'da verilmiştir (Aslan, 2016).

**Çizelge 2.20.** Tıkanma türüne göre membran temizlemede kullanılan kimyasallar

<b>Tıkanma Türü</b>	<b>Kullanılabilecek kimyasallar</b>
Kolloidal	NaOH çözeltileri, kısıpçayıcı ve deterjanlar
Organik	NaOH çözeltileri, kısıpçayıcı ve deterjanlar
Metal oksitler	Düşük pH'da sitrik asit veya Sodyum ditiyonit (Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub> )
Silika	Yüksek pH'da NaOH çözeltileri
Karbonat çökelekleri	Sitrik asit veya düşük pH'da HCl
Sülfat çökelekleri	HCl çözeltileri veya EDTA gibi kompleks oluşturucu ajanlar
Biyofilm	NaOH çözeltileri, kısıpçayıcı ya da kompleks oluşturucu ajanlar, sürfaktanlar ve dezenfektanlar

UF ve MF membranların kimyasal maddelerle yıkanması ortalama bir ayda, RO ve NF sistemlerde 3 ay ile 1 yıl aralığında yapılabilir. Daha uygun olan, membran temizliğinin sabit bir zaman aralığından öte, membran durumu ışığında yapılmasıdır. Böylece maliyet ve temizleme kimyasallarının kullanımı azalırken membranın ömrü uzar. Genellikle kirlenmiş membranın temizlenmesi için;

- Süzüntü akındaki düşüşün en az %10 ve üzerinde olması,
- Süzüntüdeki çözülmüş madde konsantrasyonunun %10-15 oranında artması,
- Basınç artışının %15 civarında olması gerekir.

Bu sorunların görülmesi durumunda arıtma verimini eski haline getirebilmek için membranların temizlenmesi gereklidir. Temizleme işlemi, tamamıyla tıkanmanın tipine göre yapılmalıdır (Aksu, 2019).

Temizleme işlemi, membranların girişleri, konsantre hattı ve kademeler arası basınç farklılıkları online takip edilerek otomasyon ile de gerçekleştirilebilir (Aksu, 2019).

### **2.5.9. Ultrafiltrasyon**

Membran arıtma teknikleri genel olarak ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon, mikrofiltrasyon, ters ozmos, elektrodializ, membran elektroliz, membran kartuş filtrasyonu, difüzyon diyaliz vb. şekildedir. Bu sistemler arasında en yaygın kullanım alanı bulanlar, nanofiltrasyon, ters ozmos, ultrafiltrasyon ve mikrofiltrasyon membran arıtma teknikleridir (Mulder, 1996), (Allgeier ve 2005).

Ultrafiltrasyon arıtma tekniği 0.1 ile 0.01 µm çap aralığında bulunan partikülleri ayırmada kullanılır. Membranlarda ayırma işlemi, ayrılacak türlerin partikül çapına bağlı olsa da membranın yapısı, membran ve tutulan maddeler arasındaki ilişkiler ve molekül ve kolloid şekillerine de bağlıdır. MF'a göre uygulanan basınç daha büyüktür ve 0.5 ile 10 bar arasında değişir (Bayar, 2017). Safsızlıkların tutulma düzeyleri, akıyı durduran molekül ağırlığı değeri olan (MWCO) ile ifade edilir. MWCO miktarı belirli bir seviyenin altında olan maddeler membran tarafından ayrılamaz. UF arıtma sistemleri, molekül ağırlıkları 1.000 ile 100.000 Da (Dalton) aralığındaki maddeleri tutarlar (Rautenbach, 1997). UF, moleküler ağırlıkları 1000 Da'dan büyük maddeleri, makromolekülleri, kolloidleri, virüsleri, bakterileri, askıda katı maddeleri ayırmak için kullanılırlar. Osmotik basınca neden olan bu maddelerin sebep olduğu bu basınç, yalnızca bir iki bardır. UF arıtma tekniklerindeki ayırma

mekanizması, 1 ile 10 bar arasında değişen hidrostatik basınç farklılığı ile sağlanır. Taşınım mekanizmasının temeli, moleküler ayırma ve difüzyon ve moleküler ayırmaya dayanan sistemde besleme akımının durumu önemlidir. UF membranının seçiciliği, membranın özelliklerine, ayrılmak istenen maddenin boyut farkına, hidrodinamik şartlara ve bileşenlerin yüzey yüküne bağlıdır (Yang ve ark., 2012).

UF membranları, gözenekli ve asimetrik bir yapıdadır ve genelde faz dönüşümü metoduyla üretilirler. En çok kullanılan polimerler, aromatik poliamidler (PA), poliakrilonitril (PAN), polietersülfon (PES), polivinil klorür (PVC), polivinilidin florür (PVDF) ve polisülfon (PSf)'dir. Bu materyallerden hazırlanan membranlar, iyi bir klor ve sıcaklık direnci ile geniş pH aralığına sahiptirler. Bu sayede geniş bir kullanım alanı bulurlar (Koyuncu ve ark., 2018).

Membran mekanizması, basınç artırıldığında akının da arttığı bir elek olarak düşünülebilir. Fakat, konsantrasyon polarizasyonunun etkisi akıyı sınırlandırır. Bunun sebebi, sınır tabakası içinde membran üst yüzeyinde çözünen maddelerin birikmesidir. Makromoleküller, yüksek basınç altında, ince tabaka formunda yüzey üzerinde oluşacak ikinci bir membran gibi davranırlar. Bu durum, daha sonra membran yüzeyinin tıkanmasına neden olur (Koyuncu ve ark., 2018).

#### **2.5.9.1. Ultrafiltrasyon membranların yapısı ve çalışma prensibi**

UF, por çapından büyük partiküller için (bakteri ve virüs) tam bir bariyerdir. MF ise iyi bir virüs bariyeri değildir. Granül medya filtreleri gibi örnekler göz önüne alındığında UF ve MF farklılık gösterir. Medya filtreler önemli derecede büyük nominal por çapına sahiptir ve yerçekimsel filtrasyon mekanizmasına dayanır. Karşılaştığımızda UF ve MF'nin yüzeysel arıtma mekanizmasını kaliteli ve yüksek derecede homojen bir eleğe benzetebiliriz. Por çapından büyük tüm partiküller geri çevrilir. Bu karakteristik UF membranlarının kesin filtrasyon kalitesi talepleri açısından besleme suyundan bağımsız olarak güvenilirliğinin bozulmadan kalmasını sağlar. Yüksek arıtma verimi ve kesin arıtma oranı, UF membranlarını daha kompakt olmaya yönlendirir. Bu durumda yalnız operasyonlarda yüksek otomasyon sağlar ve daha düşük kimyasal kullanımı yaratır (İnge, ty).

UF membranları ince tabakalar halinde ya da delik fiberler şeklinde yapılır. İnce tabakalar genelde bazı özel proseslerde ve ağır atık uygulamalarında kullanılır. Boru fiberler şeklinde olan sistem, su arıtma uygulamalarında sıkça kullanılır. Çoğu ticari boru fiberler, iç çapı 0,8 mm veya daha küçük olmak üzere tek fiber olarak şekillendirilir. Fakat yüksek AKM (askıda katı madde) yüküne sahip sular için iç çapı

1,5 mm'ye kadar olan fiberler de kullanılabilir. Fiber boru çapı, ideal olarak hedeflenen değerleri işaret eder. Yüksek sarma yoğunluğu, düşük kirlenme (fouling) eğilimi, kolay geri yıkanabilirlik, düşük operasyon maliyetleri, yüksek geçirgenlik ve aynı zamanda iyi mekanik dayanıklılık gibi optimum hedefleri sağlayacak membran güvenilirliğini temsil eder. En büyük endişe, membran güvenilirliğidir ki bu da kırık fiberler ile direkt bağlantılıdır. Çaplarına bağlı olarak tek por olan fiberler, geri yıkama stresine maruz kaldıklarında daha kırılabilir olurlar. Çoklu yani birden çok kılcalı birleştirilerek oluşan konfigürasyonlar, fiberin kırılma olasılığını azaltır. Böylece fiber başında mekanik dayanım kuvveti ve güvenilirliği artar (İnge, ty).

Ticari UF membranları, tam hidrofiliten, tam hidrofobiğe uzanan bir aralıkta dağılırlar. Bu aralıkta polietersülfon (PES) iki uç nokta arasındadır. Bununla beraber PES'in karakteristik yapısı onu diğer polimerlerle karıştırmak için ideal olduğundan membran özellikleri ihtiyaç duyulduğu gibi modifiye edilebilir. Hidrofilik polimerlerle karıştırılarak PES'in hidrofiliti yükseltilir. Bu yol ile selüloz asetat (CA)'ın avantajları kazanılabilir. Ayrıca dezavantajlardan da kaçınılması sağlanır. Bu dezavantajlara örnek olarak zayıf pH toleransı gösterilebilir. Zayıf pH toleransı da yıkamaları zorlaştırır. PES klorine karşı su arıtma prosesinde hiç kullanılmayan seviyelere kadar tolerans gösterir. Ayrıca pH 1'den pH 13'e kadar çok geniş bir aralıkta pH toleransı vardır. Bu sayede organik ve inorganik kirlilikler çok daha kolay temizlenebilir. Organik kirliliklerde en çok karşılaşılan sorun, çözünmüş organik maddeler nedeniyle oluşur. PES, geri yıkamalarda pH'ı 12 ve üstünde olmasına izin veren bir materyal olduğu için çok verimli bir şekilde temizlenir (İnge, ty).

Bir avantaj olarak besleme suyu, kılcalların dışından içeriye doğru (dıştan içe) ya da kılcalların içinden dışarı doğru (içten dışa) geçirilebilir. İçten dışa doğru olan dizaynda geri yıkama esnasında suyun yönü ters tarafa çevrilir. Dolayısıyla filtrasyondan oldukça fazla olan bir basınç fiberin dış kısmına etki eder. Bu şekilde basıncın fiberin dış kısmına ve tamamına etki etmesi ise kirliliklerin yapıdan uzaklaştırılması için hayattır. İçten dışa doğru olan dizaynda, fiberin içine giren ham suyun hacmi, fiberin dış yüzeyindeki besleme suyuna kıyasla oldukça azdır. Bu durum, kirlilik tabakasının kolayca ve kısa zamanda ters yıkama ile tahliyesini sağlar. Bu sistem, düşük operasyon basıncına ihtiyaç duyar. Sistemde ters yıkama atığı, tümüyle kılcal kanallar vasıtasıyla tahliye olur (İnge, ty).

UF membranlar, basınçlı ya da dalgıç şeklinde olabilir. Basınçlı modülde membranlar bir kılıf içindedir. Modül ters basınca karşı besleme pompasıyla işletmeye



alınabilir. Dalgıç sistemler ise genellikle tank içine daldırılmış membrana vakum uygulanması yöntemiyle çalıştırılır. Membranda vakum ürün kısmına uygulanarak filtrenin içinden geçiş sağlanır. Dalgıç membranlar genelde daha düşük akı değerlerinde çalışır. Basınçlı sistemler, yüksek akı değerleri sebebiyle daha az membran alanına ihtiyaç duyarlar. İmalattan sonra taşınabilir, bakım, temizlik ya da değiştirme ihtiyacında modüllere direkt ulaşılabilir. Dalgıç olanlarda ise tankın dışına çıkarmak gereklidir (İnge, ty).

Başlarda UF sistem dizaynı, tıpkı NF ve RO sistemin yatay dizaynı gibiydi. Bu yatay dizaynda membranlar dört modüle kadar bir kılıfın içine yerleştirilirler, ham su, modülün iki tarafından girdiği için ve merkezde bir ölü bölge meydana gelirdi. Birçok dezavantajı bulunan yatay çok modüllü dizaynın, en kritik sorunu, geri yıkama veriminin az olmasıdır. Geri yıkama esnasında akı, tüm kılıf boyuna dağıtlamadığı için kılıfın ortasında konumlanan ve çöküntünün en çok olduğu ölü bölgenin yıkanması olanaksızdır. Güvenilirlik testlerinde ise tek kılıfta dört membran bulunması hasarlı modülü bulma işi, çokça özen ve zahmet gerektirir. Böyle bir dizaynda su kaçaqları için o-ringlerin kullanılması, kaçaqlar için potansiyel risk oluşturur (İnge, ty).

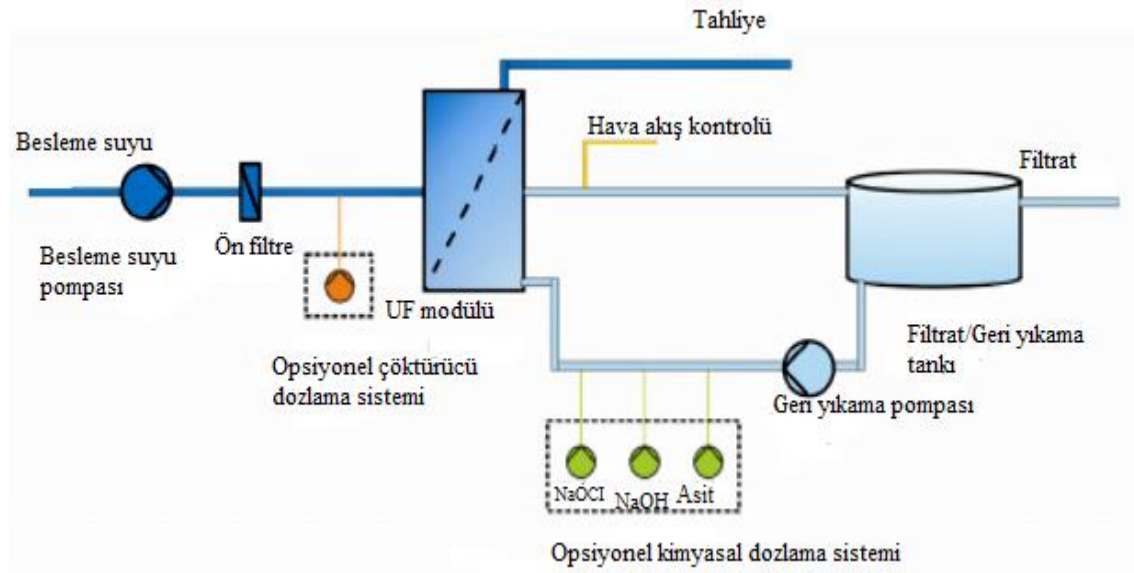
Dikey konfigürasyonlarda, tekli ya da çiftli membranlar kıyaslandığında yatay dizaynın kısıtlamalarından kaynaklanan kalite azalması görülmez. Çünkü besleme ve geri yıkama suyu üstten veya alttan birbirini takip edecek şekilde veya değişik sıralamada çalıştırılabilir. Modüllerin bakım amacıyla çıkartılması pratiktir. Çift dizilim dizaynı tren sistemi, yatay sisteme göre ya daha az bakım ister ya da yatay sisteme eşittir. En büyük avantajı ise güvenilirlik testinin kolayca ve hassasiyetle gerçekleştirilebilmesi nedeniyle su ve havanın sebep olduğu basınç değişimine dayanan mekanik stresi daha iyi kaldırabilmesidir. Fakat yatay konfigürasyonlarda düzgün bir menfezleme meydana gelmez (İnge, ty).

Hollow fiber tipindeki UF membranları iki ana akış biçimiyle şekillendirilir. Bunlar kapalı sonlu akış ve çapraz akıştır. Kapalı sonlu akış, direkt akış ya da düz akış olarak da bilinir. Düz akışta membranın içine giren tüm su ürün tarafından geçerek filtrelendir. Besleme suyundaki tüm kirlilikler, membran yüzeyinde tutulur ve ters yıkama ile uzaklaştırılır. Hemen hemen tüm su kaynaklarındaki kirliliklerin yapıları, çapraz akış uygulamalarındaki moleküllere göre çok daha küçük boyutta olduğu için düz akış modu neredeyse her tipteki suyun arıtılmasında kullanılabilir. MF ya da UF membranların bazı uygulamalarında çapraz akış kullanılmıştır. Bunun nedeni kirliticilerin membran yüzeyinde fazla miktarda bulunmasının önüne geçmektir.

Yüksek çapraz akış hızları besleme kanalında düzensiz şartlar oluşturur. Bu türbülans, partikül yoğunluğunun fazla olduğu sularda membran yüzeyinin bu kirliliklerden kurtulmasını kolaylaştırır. En büyük olumsuzluğu ise besleme hattında fazlaca düşen basınçtan kaynaklanan hız düşmesini eski haline getirmek için çapraz akış borulama ve pompasının özenli ve yeterince büyük seçilmesi gerekmektedir (İnge, ty).

### 2.5.9.2. Ultrafiltrasyon sisteminin işletilmesi

UF sistemi temel olarak besleme pompası, ürün/geri yıkama tankı, ayırıcı, geri yıkama pompası ve UF modüllerinden meydana gelir. Besleme suyunun durumuna göre geri yıkama için dozlama sistemi ile koagülasyon sistemi ilave edilebilir. Besleme suyu yapısına göre klor ( $\text{NaOCl}$ ), asit ( $\text{HCL}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) ve kostik ( $\text{NaOH}$ ) geri yıkama temizleme kimyasalları kullanılabilir. Şekil 2.19.'da UF sisteminin şematik gösterimi verilmiştir (İnge, ty).



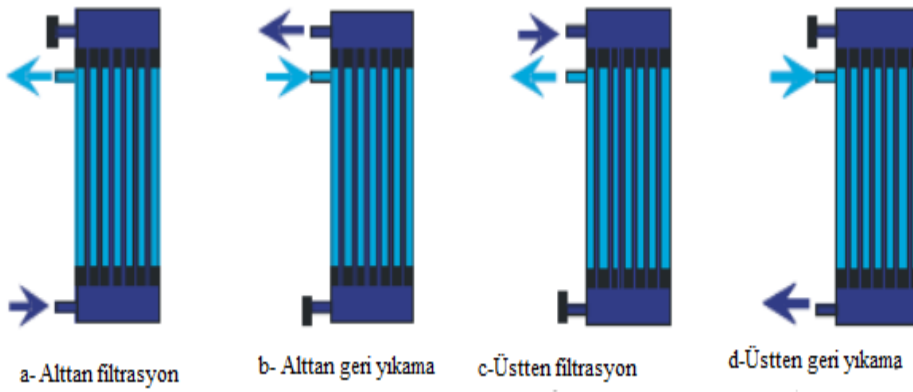
Şekil 2.19. UF sistemi şematik gösterimi

Besleme suyu UF modülüne besleme pompası aracılığıyla beslenir. Su, modüllere girmeden önce kaba partiküllerin modüle girişini engellemek için ayırıcı filtreden geçirilir. Suyun tipine göre filtreleme performansını ve geri yıkama verimini arttırmak için hat üzerine koagülant dozaj pompası eklenebilir. Besleme suyu UF membranlarından geçtikten sonra ürün/geri yıkama suyu tankına aktarılır (İnge, ty).

Membranların yüzeyinde kalan artığın temizlenmesi için sistemde periyodik aralıklarla geri yıkama işlemi yapılır. Geri yıkamada su, geri yıkama tankından geri yıkama pompası yardımıyla alınır ve modüllerin üretim çıkış yönünden beslenir.

Membrana filtrasyonun tersi yönünde yani dıştan iç tarafa doğru giren su, kir tabakasının membran yüzeyinden ayrılarak tahliye olmasına olanak sağlar. Bu tahliyeden sonra geri yıkama suyu, fiberlerden ve besleme kanalı vasıtasıyla boşaltılır. Etkili bir geri yıkamada geri yıkama suyu, filtre suyundan ortalama olarak 2/3 oranında daha fazla olmalıdır. Verimi artırmak için temizleme kimyasalı dozlanabilir (İnge, ty).

UF işletme döngüsü, otomatik işletme kontrol sistemi ile kontrol edilen ardışık farklı süreç basamaklarından oluşur. İşletme döngüsünün biçimi, genellikle besleme suyu parametrelerinin durumuna dayanır. UF sistemlerinde hem üstten alta hem alttan üste doğru filtrasyon ve geri yıkama yapılabilir. Bu farklı yönde filtrasyon ve geri yıkama opsiyonlarındaki suyun akış yönü şekil 2.20’de görülmektedir (İnge, ty).



Şekil 2.20. Filtrasyon ve geri yıkama seçenekleri

### 2.5.9.3. Ultrafiltrasyon kullanım alanları

UF membranları, yüzey sularının arıtımında doğrudan kullanılabildiği gibi flokülasyon, koagülasyon sistemleri ile birlikte değerlendirilebilmektedir. Bu membranlar ters osmoz sistemlerinde ön arıtıcı olarak da sıkça kullanılır. Endüstride belirli moleküler ağırlığa sahip maddelerin geri kazanımında ve protein saflaştırmak için kullanılmaktadırlar. Atık su arıtımında doğrudan kullanılabildikleri gibi membran biyoreaktör sistemleri içerisinde de kullanılabılırler. UF membranlarının kullanıldığı farklı uygulama örnekleri Çizelge 2.21’de verilmiştir (Koyuncu ve ark., 2018).

MF ve UF teknolojilerinden, içme suyundan virüs ve bakterilerin uzaklaştırılmasında, yüksek bulanıklığa sahip suların arıtılmasında, nanofiltrasyon ve ters osmoz sistemlerinin ön arıtmasında yararlanılabilmektedir. Böylece, TO membranlarının ömürleri artmaktadır. UF sistemlerinin TO öncesinde ön arıtma amaçlı olarak kullanılması sayesinde, kesintisiz ve pratik otomatik işletme imkânı, TO

membranları için daha iyi kalitede suyun üretimi, daha az kimyasal maddeye ihtiyaç gibi avantajlar sağlanmaktadır (Koyuncu ve ark., 2018).

**Çizelge 2.21.** UF membranlarının kullanım alanları

<b>Endüstri</b>	<b>Uygulamalar</b>
Otomotiv ve ev aletleri	Elektroforetik boyaların durulama sularından ayrılması
Metal işleme	Metal işlemede kullanılan emülsiyonların geri kazanımı
Tekstil endüstrisi	Atıksu arıtımı
Gıda endüstrisi	Peyniraltı suyundan proteinlerin kazanımı nişasta ve maya işleme artıklarından madde kazanımı, diyet süt üretimi, yumurta beyazının konsantre edilmesi, içeceklerin sterilize edilmesi ve durulaştırılması
Kağıt endüstrisi	Atıksu arıtımı
İlaç endüstrisi	Çözeltilerin veya suların steril - filtrasyonu, biyolojik olarak aktif maddelerin izolasyonu, safsızlaştırılması ve konsantre hale getirilmesi (enzimler, virüsler, nükleik asitler, spesifik proteinler) ve kanın fraksiyonlarına ayrılması
Su sektörü	NF veya TO öncesi ön arıtma, doğrudan su arıtımı için kullanım ve organik madde giderimi

Bunların dışında UF membranları;

- Makromoleküller, koloidal parçacıklar giderilmesinde,
- Sadece belirli boy ve ağırlıktaki molekülleri filtrelenmesinde,
- Mikroorganizmaların giderilmesinde,
- Evsel ve endüstriyel atık sularının sterilizasyonu, temizlenmesi ve arıtımında,
- Klorlama sonucu oluşan trihalometanların (THM) giderilmesinde,
- İlaç ve gıda endüstrisinde,
- Meyve suyu ve süt üretiminde,
- Kâğıt ve boya endüstrisinde,
- Mikrofiltrasyon yerine,
- Peynir altı suyunun değerlendirilmesinde,
- RO prosesi öncesinde ön arıtma prosesi olarak,
- Yağ içeren atıksuların arıtımında,
- Çeşitli virüslerin giderilmesinde,
- Elektro-kaplama boyama endüstrisinde,

- Peynir üretiminde,
- Tekstil endüstrisinde yün yıkama sularının geri kazanımında,
- Deniz suyu arıtma tesislerinde, ters ozmos sisteminin önünde, ön arıtma amaçlı olarak kullanılmaktadırlar (Aslan, 2016).

#### **2.5.10. Aktif karbon**

Aktif karbon, sudaki organik kirleticilerin uzaklaştırılması için oldukça etkili olan, bol miktarda ve ucuz bulunduğu için sıkça kullanılan bir yöntemdir (Pürçüklü ve ark., 2003). Aktif karbon, bitki kökenli organik bileşiklerin karbonizasyon ve aktivasyonu yöntemiyle elde edilen porlu karbon özlü bir materyaldir. Ham lignoselülozik yapının karbonizasyonu aşamasında katı aktif kömür ve uçucu gazlar elde edilir. Bu aşamadan hemen sonra porlar oluşur. Aktivasyon kimyasal ya da fiziksel olabilir. Aktivasyon aşamasında por sayısı ve boyutu artar. Gelişmiş por yapısından dolayı granül aktif karbonlar çok iyi bir adsorplama yeteneğine sahiptir (Jaguaribe ve ark., 2004). Aktif karbonun performansı, por boyutu, spesifik yüzey alanı, karbonun por hacminden türetilen adsorptif özellikleri ile belirlenebilir. Aktif karbon ilk olarak 1910'da İngiltere'de şehir su arıtma tesisinde klor giderimi için kullanılmıştır. Karbon filtreler 60 gün süreyle koku eşliğini 70'den 42' ye düşürmüştür, aynı zamanda bulanıklığı da 0.07 Jackson biriminden aşağı çekmiştir ve serbest aktif kloru 1.4-2.8 mg/L'den 0.25 mg/L'nin aşağısına düşürmüştür (Muna, 2008).

Aktif karbon, adsorpsiyon kapasitesinin büyük olması nedeniyle organik maddeleri uzaklaştırmak amacıyla içme suyu arıtımında yaygın olarak kullanılan bir adsorbenttir. 600 ile 2000 m<sup>2</sup>/g arasında değişen geniş bir yüzey alanına sahip yüksek poroz yapılı bir üründür (Bhatnagar ve Sillanpaa, 2017). Aktif karbon su arıtımında; toz aktif karbon ya da granül aktif karbon (GAK) şeklinde olarak uygulanabilir. Toz aktif karbon su arıtımının çeşitli evrelerinde uygulanabilirken, GAK tipik olarak koagülasyon-filtrasyon-çökeltimden sonra veya son dezenfeksiyondan önce kullanılır (Bond ve ark., 2011), (Bhatnagar ve Sillanpaa, 2017). Aktif karbon adsorpsiyonu, sulardan doğal organik maddenin uzaklaştırılması için EPA tarafından uygun bir arıtma tekniği olarak önerilir (USEPA, 2006). Yapılan araştırmalar, aktif karbonun sulardan hümkik maddeler ile dezenfeksiyon yan ürünlerini gidermede kullanılabileceğini göstermiştir (Çapar ve Yetiş, 2001), (Watson ve ark., 2016), (Gündağ, 2017). Aktif karbonlar, DOM'un farklı fraksiyonlarını farklı oranda giderir. Yüksek moleküler ağırlıklı fraksiyonlar, karbon yüzeyine daha az adsorbe edilirken daha düşük moleküler ağırlıklı bileşenler daha fazla adsorbe edilir (Matilainen, 2007).

Granül aktif karbon (GAK), ağaç, hindistan cevizi kabuğu, kemik, şeftali çekirdeği, zift kömürü ve çok yüksek sıcaklığa (proliz) maruz kalmış linyit gibi çeşitli organik yapılardan elde edildikten sonra küllerle kaplanmış yüzeyi asitle yıkanarak adsorplama yeteneği artırılır. Granül aktif karbon, klor gidermede yaygın olarak etkili ve güvenilirdir. Aktif karbonun klor giderim yeteneği yalnızca adsorpsiyon özelliğiyle açıklanamaz. GAK, hipokloröz asidin ve klorür iyonunun indirgenmesi sırasında katalizör olarak davranır. Bazı suyla çalışan tesisler, şok klorlama işlemine (>10 ppm) ihtiyaç duyabilmektedir (Yılmaz, 2017).

Aktif karbon, suyun tadında ve kokusunda bozulmaya neden olan çözünmüş organik maddelerin adsorpsiyonunda yaygın olarak kullanılır. Deklorinasyon aşamasında yalnızca adsorpsiyon değil kimyasal tepkime de meydana gelir. Magee ve Puri, karbon ve serbest klor arasındaki tepkimeyi incelemiş ve aşağıdaki denge reaksiyonu tavsiye etmiştir (Magee, 1956), (Puri, 1970).



Bu adımdan sonra aşağıdaki tek yönlü bozunma reaksiyonu olur;



Tepkimelerde  $C^*$  aktif karbonu,  $CO^*$  karbonun yüzey oksidini ve  $CHOCl^*$  de karbonun yüzeyine adsorbe edilen  $HOCl$  molekülünü ifade eder. Karbon yüzeyinde oksit oluşumları meydana geldikçe reaksiyon hızında azalma olacaktır. Magee, aktif karbonla serbest klor bir arada olduğunda, karbonun yüzeyi üzerinde klor içeren türlerin birikme yaptığını göstermiştir (Yılmaz, 2017).

Granül aktif karbon olarak söz edilen karbon ortamı, adsorpsiyon olarak belirtilen bir kimyasal süreç sayesinde besleme suyundan neredeyse tüm klor, kloramin, pestisitler ve büyüklüğü 60-300 Da olan organik kirleticileri tutacak biçimde dizayn edilmiştir. Giriş suyunun akış hızı, GAK aracılığıyla azaldığı için sözü edilen maddeler, karbonun por yapıları içinde difüzyona uğrar ve adsorplanır ya da yapıya tutunur. GAK, besleme suyundan 0.1 ppm'den daha az kloramin ve klor konsantrasyonunu azaltma kapasitesinde olmalıdır. Aktif karbon bu değeri sağlayamazsa doygunluğa ulaşmıştır ve yenilenmelidir. Fakat rejenere edilmiş aktif karbon filtrenin diyaliz hastaları için toksin olabilecek kirlilikleri tutma ihtimali olduğundan kullanımı tavsiye edilmez (Water Guidelines, 2008).

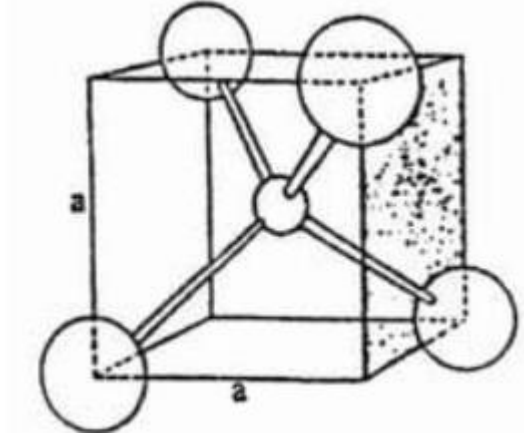
Aktif karbon filtrelerde yeterli boş yatak temas süresi (BYTS), kloramin ve klorları adsorplamak için ön şarttır. BYTS değerinin kloramin giderimi için 10, klor giderimi için 6 dakikadan az olması önerilmez. BYTS, kloramin ve klorun giderilmesi için AAMI tarafından tavsiye edilir (Canaud ve Mion, 1996).

GAK zaman içinde doygunluğa ulaştığı için klor giderim verimini kaybeder. Bazen bu doygunluk aniden de meydana gelebilir. Bu durumda karbon filtreden sonra klor seviyesinin arttığı görülür. Bunun yanında karbon filtrede muhtemel patojen ihtimaline 6 aydan fazla süre klorlu suya maruz bırakılmaması tavsiye edilir. Klor giderilmiş ortam ve yüksek organik kirlilik içeriği nedeniyle oluşabilen biyolojik kirlenme, GAK için önemli bir sorundur (Yılmaz, 2017).

### **2.5.11. Zeolit filtreler**

Zeolitler, İsviçreli mineralog Cronstedt tarafından 1756'da bulunmuşlardır. Söz konusu maddeyi ısıttığında kaynama benzeri bir durum gören Cronstedt bu minerali Yunanca'da "kaynama" ve "taş" anlamlarına gelen "zeo" ve "lithos" kelimelerinden oluşan "zeolit" şeklinde isimlendirmiştir (Breck, 1974). Zeolitlerden nasıl faydalanılacağı, zeolit mineralinin bulunmasından iki yüzyıl kadar sonra, kimyacı Weigel ve Steinhoff'un çalışmalarıyla ortaya çıkmıştır. Sudan arındırılmış zeolitlerin, küçük yapıları organik molekülleri adsorpladıkları ancak büyük moleküllü olanları reddettikleri görülmüştür. Zeolitlerin, moleküllerin boyutlarına göre ayırma yapma özelliklerinden sebebiyle bu yapılar, Mc Bain tarafından 1932'de "moleküler elek" olarak tanımlanmıştır. ABD'de Union Carbide firmasından Milton ve arkadaşları 1948'in başında ilk kez sentetik zeolit sentezi yapmayı başarmışlardır (Richard, 1983). Günümüze kadar yapılan araştırmalarda, 200'ün üzerinde zeolit çeşidi sentezlenebilmiştir. Günümüzde, kendine has özellikleri olan ve yaygın kullanım alanı bulan zeolitler, birçok araştırmaya konu olmuştur (Ata, 2003).

Zeolitler, toprak alkali ve alkali metallerin alüminasilikat kristal şekilleridir. Kristal yapıları, birincil yapı birimi  $AlO_4$  ve  $SiO_4$  dörtyüzlülerinden ( $TO_4$ ) oluşan üç boyutlu bir ağ örgüsünden meydana gelmiştir. Birincil yapı birimleri birleşerek hegzagonal prizma, küp veya oktahedral gibi Şekil 2.21.'de gösterilen ikincil yapı birimlerini oluştururlar.



Şekil 2.21. TO<sub>4</sub> dörtyüzlüsü (Ata, 2003)

SiO<sub>4</sub> veya AlO<sub>4</sub>'den meydana gelen her dört yüzünün merkezinde Al<sup>+3</sup> veya Si<sup>+4</sup> iyonu ve köşelerinde ise O<sup>-2</sup> iyonları bulunur. Eğer, merkezde Al<sup>+3</sup> iyonu varsa, kristal yapıdaki yükü dengelemek amacıyla artı yüklü değiştirilebilir katyonlar Al<sup>+3</sup>'e bağlı şekilde bulunur. Zeolitin gözenekleri içinde bulunan bu katyonlar sürekli hareket halindedirler ve farklı iyonları içeren çözeltilerle temas ettiklerinde katyonlarla yer değiştirebilirler. Merkezde Si<sup>+4</sup> iyonu bulunuyorsa, dörtyüzlü nötral yapıdadır (Bekkum ve ark., 1991).

Zeolitlerin basit formülleri;  $M_{2/n}Al_2O_3 \cdot xSiO_2 \cdot yH_2O$  şeklindedir. Burada M ifadesi, Ca, K, Na, Ba, Mg gibi toprak alkali ve alkali metalleri simgeler. n katyonun değerliğini, y birim hücredeki su molekülü miktarını ifade eder. x ise yapıdaki silisyumun sayısıdır. Komşu dörtyüzlülerdeki iki Al atomunun aynı oksijeni paylaşamayacağından yola çıkarak bulunan Lowenstein kuralına göre x, 2 veya ikiden fazla olmalıdır (Zhidomirov ve ark., 1992). Doğal zeolitlere ait birim hücre formülleri Çizelge 2.22.'de verilmiştir (Ata, 2003).



**Çizelge 2.22.** Doğal zeolitlerin birim hücre formülü

Doğal Zeolit Türü	Birim Hücre Formülü
Analsim	$\text{Na,Al,Si}_2\text{,O}_6\text{,H}_2\text{O}$
Çabazit	$(\text{Na}_2\text{,Ca),Al}_2\text{,Si}_4\text{,O}_{12}\text{,6H}_2\text{O}$
Klinoptilolit	$(\text{Na}_2\text{,K}_2\text{,Ca})_3\text{,Al}_6\text{,Si}_{30}\text{,O}_{72}\text{,24H}_2\text{O}$
Epistilbit	$(\text{Na}_2\text{,Ca),Al}_6\text{,Si}_{18}\text{,O}_{48}\text{,16H}_2\text{O}$
Eriyonit	$(\text{Na}_2\text{,K}_2\text{,Ca})_4\text{,5,Al}_9\text{,Si}_{27}\text{,O}_{72}\text{,27H}_2\text{O}$
Fojasit	$(\text{Na}_2\text{,Ca})_{1,75}\text{,Al}_{3,5}\text{,Si}_{8,5}\text{,O}_{24}\text{,16H}_2\text{O}$
Ferrierit	$(\text{Na,K})_2\text{,(Ca,Mg)}_2\text{,Al}_6\text{,Si}_{30}\text{,O}_{72}\text{,18H}_2\text{O}$
Gismondin	$(\text{Na}_2\text{,K}_2\text{,Ca})_4\text{,Al}_8\text{,Si}_8\text{,O}_{32}\text{,16H}_2\text{O}$
Gonnardit	$\text{Na}_2\text{,Ca,Al}_4\text{,Si}_6\text{,O}_{20}\text{,5H}_2\text{O}$
Harmatom	$(\text{Na}_2\text{,Ba})_2\text{,Al}_4\text{,Si}_{12}\text{,O}_{32}\text{,12H}_2\text{O}$
Hölandit	$(\text{Na}_2\text{,Ca})_4\text{,Al}_8\text{,Si}_{28}\text{,O}_{72}\text{,24H}_2\text{O}$
Lomontit	$\text{Ca}_4\text{,Al}_8\text{,Si}_{16}\text{,O}_{48}\text{,16H}_2\text{O}$
Mordenit	$(\text{Na}_2\text{,K}_2\text{,Ca),Al}_2\text{,Si}_{10}\text{,O}_{24}\text{,7H}_2\text{O}$
Natrolit	$\text{Na}_4\text{,Al}_4\text{,Si}_6\text{,O}_{20}\text{,4H}_2\text{O}$
Filipsit	$(\text{Na}_2\text{,K}_2\text{,Ca})_2\text{,Al}_4\text{,Si}_{12}\text{,O}_{32}\text{,16H}_2\text{O}$
Skolesit	$\text{Ca}_2\text{,Al}_4\text{,Si}_6\text{,O}_{20}\text{,6H}_2\text{O}$
Stilbit	$(\text{Na}_2\text{,Ca})_4\text{,Al}_8\text{,Si}_{28}\text{,O}_{72}\text{,28H}_2\text{O}$
Thompsonit	$\text{NaCa}_2\text{,Al}_5\text{,Si}_5\text{,O}_{20}\text{,6H}_2\text{O}$
Wairakit	$\text{Ca,Al}_2\text{,Si}_4\text{,O}_{12}\text{,2H}_2\text{O}$
Yugawaralit	$\text{Ca,Al}_7\text{,Si}_6\text{,O}_{16}\text{,4H}_2\text{O}$

Zeolitlerdeki Si/Al oranı, zeolitlerin kimyasal ve fiziksel karakteristiğine yön veren en önemli etkenlerden biridir. Silika bakımından fakir olan zeolitler 700°C'ye kadar dirençli ve hidrofilik bir yapıya sahiptirler. Silika bakımından zengin olan zeolitler ise 1300°C'ye kadar dirençli olup hidrofobik bir yapıya sahiptirler ve bu yapıları nedeniyle endüstri sanayide yaygın bir kullanım alanları vardır. Si/Al oranının büyümesiyle, zeolitlerin aside karşı direncinin arttığı görülmüştür. Bunun sebebi yapılarındaki katyonlardan dolayı oluşan yüksek elektrostatik alan gradyeninin, su, asit gibi polar moleküllere karşı yüksek seçicilik göstermesine katkı sağlamasıdır (Bekkum ve ark., 1991).

#### 2.5.11.1 Doğal zeolitlerin oluşumu

20. yy'nın ortalarından itibaren XRD tekniğinin gelişmesiyle zeolitlerin volkanosedimanter yapılarda ve sedimanter kayalarda oluştuğu belirlenmiştir. Zeolitlerin oluşumu, pH, silis aktivitesi, zaman, katyon oranı, basınç, tuzluluk, sıcaklık, oluşum kayacının morfolojisi ve bileşimi, Si/Al oranı ve gözenek suyu basıncına bağlıdır (Çelenli, 1993). Tortul kayalar üzerindeki zeolitler, tortulların gömülmesinden sonra gözenekteki suyun alüminosilikatlarla reaksiyonu sonucu meydana gelmiştir. Sulu ortamda tortul kayaç yapılarından oluşan zeolitlerin oluşumunda su sığ olduğunda

sıcaklığın düşüşü, su derin olduğunda ise sıcaklığın yükselişi etkilidir. Bu tip oluşumlarda zeolitten başka sepiolit, smektit kuvars ve kristobalit oluşumu da görülmüştür (Sirkecioğlu, 1993).

Dünyada ticari olarak değerlendirilebilecek nadir doğal zeolit vardır. filipsit, eryonit, çapazit ve mordenit gibi bol rezervli doğal zeolitler adsorban ve katalizör olarak kullanılamamaktadır çünkü doğal zeolit örneklerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri, rezervden rezerve değişebilmektedir. Bu nedenle doğal zeolitler genel olarak iyon değişimi amacıyla kullanılmaktadır (Ata, 2003).

Klinoptilolit, ismini Yunancada eğik kuşüyü taşı manasına gelen oblique feather stone'dan alan pembe, beyaz, sarı, renksiz olarak bulunabilen bir zeolit türüdür. Tortul kayalarda bol miktarda bulunan klinoptilolit, 1890 yılında Pirsson tarafından bulunmuştur. 1932'de Schaller, Pirsson'ın gözlemlerine dayanarak bu minerali klinoptilolit şeklinde isimlendirmiştir (Sirkecioğlu, 1993).

Yüksek sıcaklığa dirençli olması ve gözeneklerinin geniş olması nedeniyle klinoptilolit, su arıtma, iyon değiştirme, koku giderme ve filtrelemeye uygun bir zeolittir (Ata, 2003).

Kimyasal formülü  $(Na,K)_6[Al_6Si_{30}O_{72}].20H_2O$  olan klinoptilolitte K ve Na'nın yanı sıra Ba, Mg, Ca ve Sr gibi katyonlar da az düzeyde de olsa bulunmaktadır. K ve Na gibi tek değerlikli katyonların toplamı M ile; Ba, Mg, Ca, Sr gibi iki değerlikli katyonların toplamı ise D ile gösterilir.  $M/(M+D)$  oranı 0.07 ile 1.0 aralığında değişebilir (Bish ve Ming, 2001). Klinoptilolit 4-4=1 ikincil yapı biriminden meydana gelmiştir. İki ikincil yapı birimi birbirine bağlanıp dört beş üyeli, iki de dört üyeli halkaya sahip olan çok yüzlü yapıyı oluşturur (Ata, 2003).

#### **2.5.11.2. Zeolitlerin kullanım alanları**

- Zeolitlerin iyon değiştirici olarak kullanımı
- ✓ Amonyum giderimi

Şehir atıksularından amonyum iyonunun uzaklaştırılmasında zeolitlerin iyon değiştirme özelliklerinden faydalanılmaktadır. Doğada çokça bulunan klinoptilolit ve filipsitin kararlılığı ve yüksek amonyum iyonu seçiciliği bu zeolitlerin diğer iyon değiştiricilerden daha fazla kullanılmasına sebep olmuştur. Atıksulardan amonyum giderme işlemi Japonya, İtalya ve ABD'de doğal zeolitlerden faydalanılarak yapılmaktadır (Sirkecioğlu, 1993).

- ✓ Su terbiyesi

Zeolitler atık sulardaki amonyum giderilmesinde, suların filtrelenmesinde, yüzme havuzlarında, sudaki ağır metallerin giderilmesinde kullanılmaktadır (Ata, 2003).

- ✓ Nükleer atıkların tutulması
- ✓ Deterjanlarda kullanım
- Adsorban olarak kullanımı
- ✓ Ayırma özelliği

Kendilerine has kanal genişlikleri, zeolitlerin gaz molekül eleği gibi gören görmesine sebep olur. Değişik bileşimdeki gaz akımından formaldehit, hidrojen sülfür, oksijeni karbondioksit, karbonmonoksit, sülfür oksit, azot, gibi zeolitın seçici olduğu bir gazı ayrılabilir (Ata, 2003).

- ✓ Su adsorpsiyonu/desorpsiyonu ve ısı depolanması

Zeolitlerin suya ilgileri fazladır. Suyu desorbe veya adsorbe ederken kristal yapısında herhangi bir tahribat oluşmaz. Bu özellikleri nedeniyle kusursuz bir ısı depolama kabiliyetleri vardır. Zeolitler artan ya da fazla olan enerjiyi sonradan kullanmak üzere etkili biçimde depolayabilir (Ata, 2003).

- ✓ Koku giderici
- Katalizör olarak kullanımı

Mordenit gibi bazı doğal zeolitler, doğal gazların bünyesindeki karbondioksitin ve suların uzaklaştırılmasında kullanılmaktadır. Özellikle Japonya ve ABD'de birçok petrol şirketi çeşitli yöntemlerle arındırılmış ve asitle aktifleştirilmiş doğal zeolitleri petrol rafinerisi sektöründe katalizör amacıyla kullanmaktadır (Çelenli, 1993).

- Diğer kullanım alanları
- ✓ Tarım ve hayvancılıkta

Hayvan yemlerinde katkı maddesi olarak kullanılan zeolitler hem yemlerin nemini almada hem hayvanların daha kısa sürede kilo almasında hem de hayvanların etinin ve dışkısının daha az kokmasında fayda sağlamaktadır (Çelenli, 1993).

Tarla ve ağaçlara azotlu gübre verilirken zeolit katkılı gübre kullanmak, azot zehirlenmesinin azalması, potasyum ve azot kaybının en az seviyeye indirilmesi, azotun yavaş salınımı gibi faydalar sağlar (Ata, 2003).

- ✓ Hafif yapı malzemesi olarak
- ✓ Pozzolan çimentosu eldesinde
- ✓ Kaliteli kâğıt üretiminde

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Modifiye Edilmiş UF Membran Arıtma Sistemi ve Özellikleri

Çalışma kapsamında pilot ölçekteki UF arıtma sistemi olarak İnge dizzer® 4040 6.1 model, polietersülfon (PES) modülünden oluşan membran kullanılmıştır. Sistem,

- Saatte 200 L kapasiteli
- 0.02 mikron por çapı
- İleri çalkalama (forward flush) ile yüksek partikül temizleme kabiliyeti
- İçten dışa filtrasyon özelliği ile geri yıkamaya kolaylık sağlaması
- Basıncılı dizayn ile birlikte esnek çalışma özelliği
- Kapalı sonlu (Düz akış) filtrasyon
- Dikey dizayn

Temizleme ve dezenfeksiyon için kimyasallar:

- NaOCl (aktif klor olarak) maksimum 200 mg/L (40°C'de);
- 200,000 ppm.saate kadar dayanıklı
- H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> maksimum 500 mg/L (40°C 'de)
- NaOH maksimum pH 13
- HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, sitrik asit minimum pH 1

Sistemde adsorban olarak granül aktif karbon kullanılmıştır.

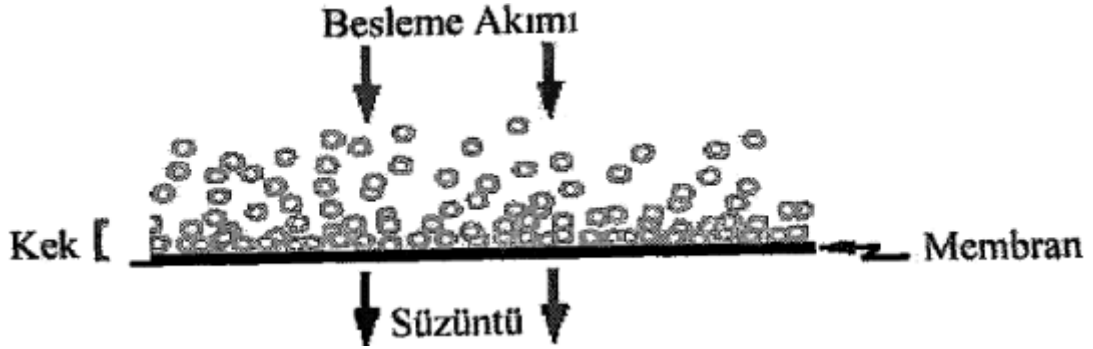
Karışık yatak filtrelemede aktif karbonla birlikte 1-3 mm boyutlarında doğal bir zeolit türü olan klinoptilolit kullanılmıştır.

Sistem içten dışa doğru filtrasyon dizaynı olup bu dizaynda geri yıkama esnasında suyun yönü ters tarafa döner. Böylece filtrasyona göre oldukça yüksek bir basınç fiberin dış kısmına etki yapar. Bu da membran kirleticilerin uzaklaştırılması konusunda olumlu sonuç verir. Geri yıkama sırasında fibere giren kirli besleme suyu, fiberin dış yüzeyindeki besleme suyuna kıyasla oldukça küçük hacimdedir. Bu özellik kirliliğin geri yıkama sırasında hızla atılmasını sağlar (İnge, ty).

Sistemin dikey dizayn edilmiş olması, yatay dizaynda görülen çıkış suyu kalite düşüşünün önüne geçer. Çünkü sistem alttan ya da üstten veya arka arkaya bu iki yönlü geri yıkamanın yapılmasına olanak sağlar. Modüllerin çıkarılması kolaydır. Genel olarak yatay dizayna göre daha az bakım ister. Güvenilirlik testi kolayca yapılabilir ve mekanik strese dayanıklılık artar (İnge, ty).

Sistem düz akışlı olarak dizayn edildiğinden, membrana giren suyun tamamı ürün kısmına geçer ve besleme suyundaki tüm partiküller membranın yüzey kısmında

kalır. Bu partiküller geri yıkama ile kolayca sistemden uzaklaştırılır. Şekil 3.1.'de düz akış membran dizaynı gösterilmiştir (İnge, ty).



Şekil 3.1. Düz akış membran dizaynı

UF modülünün diğer teknik özellikleri Şekil 3.2. ve Şekil 3.3.'de verilmiştir (İnge, ty).

Modül tipi		dizzer® P 4040-6.0
Ürün kod numarası		EP-0049
Membran Alanı	m <sup>2</sup>	6.0
Uzunluk (L)	mm	960 ± 1.5
Modül Dış Çapı (D)	mm	100
Üretim bağlantısı iç çapı (d1)	mm	28.4
Ağırlık * (ıslak)	kg	4.5

Şekil 3.2. UF modülünün teknik özellikleri

Malzeme		
Membran Kılıfı		PVC-U, beyaz
Merkezi ürün suyu toplama borusu		PVC-U, beyaz
Üretim çıkış bağlantı aparatları		PVC-U, beyaz
İşletme Parametreleri		
Maksimum TMP **	bar	3
İşletme sıcaklık aralığı **	°C	0 - 40

Şekil 3.3. İşletme parametreleri ve membran kılıfı

### 3.2. Yüzme Havuz Suyunun Modifiye Edilmiş UF Sistemiyle Arıtılması

Çalışmanın amacı, yüzme havuz suyunun TOK ve THM seviyelerinin belirlenerek mevcut miktarların aktif karbon ve zeolit karışık yataklı UF membran arıtma tekniği ile ne derece giderilebildiğini araştırmaktır. Bu amaçla, 200 L kapasiteli besleme suyu tankı, besleme suyu pompası, kaba filtreleme için kartuş mikrofiltrasyon ünitesi, aktif karbon ve zeolitten oluşan karışık yataklı kum filtresi, 200 L kapasiteli geri yıkama

tankı, geri yıkama pompası ve UF membrandan oluşan bir pilot sistem dizayn edilmiştir.

Çalışmada 8 hafta boyunca 2 haftası salı, 2 haftası çarşamba, 2 haftası perşembe, 2 haftası cuma seansından sonra olacak şekilde seans sonlarında hem yüzme havuz suyundan hem de yüzme havuzunu besleyen şebeke suyundan numuneler alınmıştır ve her iki numunede de klor, bağlı klor ve pH değerleri ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Alınan numunelerin bir kısmı, daha sonra TOK ve THM ölçümü yapılmak üzere, 6 santigrat derecede muhafaza edilmiştir. Daha sonra yüzme havuz suyundan 80-100 L kadar alınarak Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi içerisindeki Membran sistemler laboratuvarında bulunan modifiye edilmiş UF pilot arıtma sisteminde arıtılarak çıkış suyundan numune alınmış ve bekletilmeksizin daha önce alınmış olan şebeke ve havuz suyu ile birlikte TOK, THM, TİK analizleri yapılmıştır. Şebeke suyu ve havuz suyu numuneleri, 6 santigrat derecede muhafaza edildikleri için, analize alınmadan önce uygun yöntemlerle oda sıcaklığına getirilmiştir. Son olarak şebeke suyu, yüzme havuz suyu ve modifiye edilmiş UF pilot arıtma sistemi çıkış suyundaki analiz değerleri değerlendirilmiştir.

### **3.2.1. UF pilot sistem filtrasyon işlemi**

UF sistemlerinin işletilmesi filtrasyon ve geri yıkama olarak iki temel işlemden oluşur. Membran, filtrelemeye geçmeden önce her seferinde hızlı yıkama işlemi yapılır. Bu, membran yüzeyindeki kimyasal kirlilikler ve partiküllerin giderilmesi için gerekli bir işlemdir. Hızlı yıkamada ortalama süre 30 sn olarak kabul edilir ve su doğrudan tahliye edilir. Hızlı yıkama işleminden sonra modül filtrasyon işlemine geçilir.

### **3.2.2. UF pilot sistem geri yıkama işlemi**

Geri yıkama işlemi, süzüntü suyunun geri yıkama pompasıyla membranlara tekrar beslenmesi esasına dayanır. Genellikle 20-30 sn aralığında yapılması yeterlidir. Geri yıkama işleminde ilk olarak modülde kalan su tahliye edilir Daha sonra modüle temiz su verilir ve kılcallar dıştan içe su akışıyla temizlenir. Burada ilk önce modül üstten geri yıkanarak boşaltılır. Sonra ise üstten altta doğru yıkanarak boşaltılır. Geri yıkama işleminde alttan üste doğru ya da üstten alta doğru temizleme olanağı vardır.

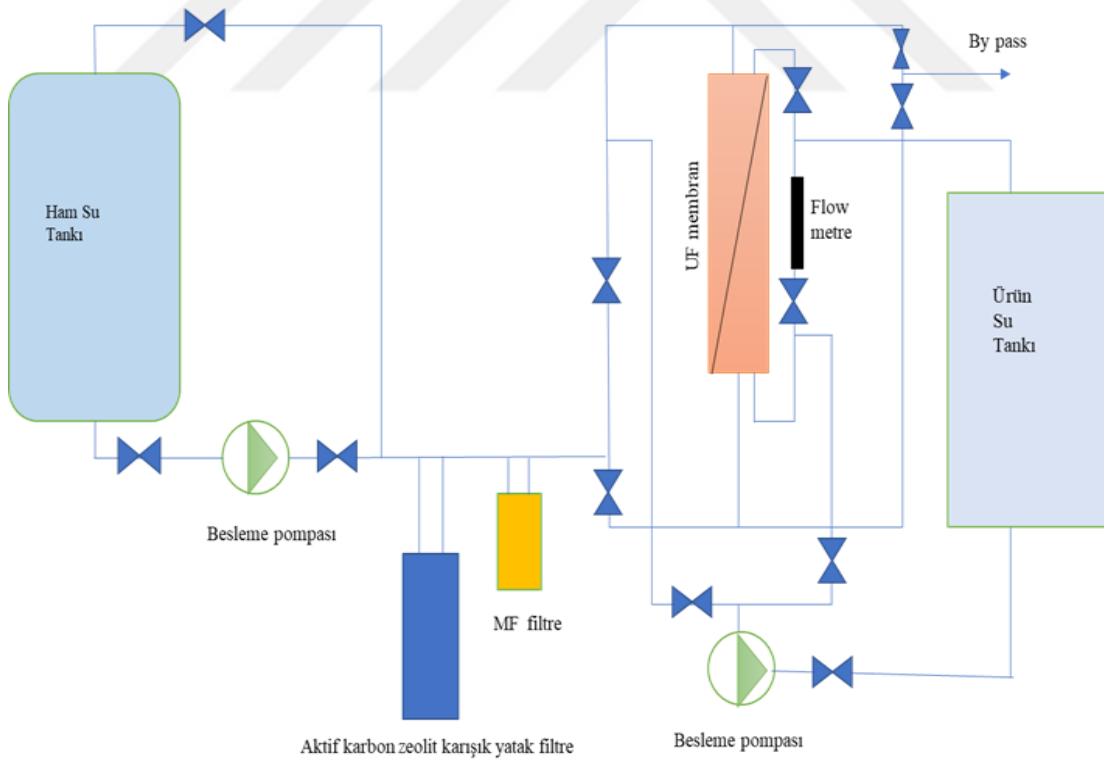
Sistemde, filtrasyon aşamasında karışık yatak filtrenin üzerindeki kontrol vanası 'filtre' konumuna, geri yıkama aşamasında 'geri yıkama' konumuna, durulama aşamasında ise 'durulama' konumuna getirilmelidir.

Modifiye edilmiş UF pilot arıtma sisteminin görünümü Şekil 3.4. (a) ve (b)'de verilmiştir.



Şekil 3.4. (a) ve (b) UF pilot sistem görünümü

Kurulumu yapılan modifiye edilmiş UF pilot arıtma sisteminin şematik gösterimi Şekil 3.5.'te verilmiştir.



Şekil 3.5. Modifiye edilmiş UF pilot sistem şematik gösterimi

### 3.3. Analitik Ölçümler

#### pH:

pH Standart metot 4500-H<sup>+</sup> (Elektrometrik) metoda göre yapılmıştır. Ölçümler Hach Lange HQ 40 model pH metre cihazıyla gerçekleştirilmiştir.

#### İşlem:

- Cihaz açma kapama tuşundan açılır.
- Elektrot saf suyla temizlenir ve kuru temiz bir bezle silinir.
- Ölçüm modunu seçilir.
- Numune değerini ölçmek için Oku ögesini seçilir.
- Sonuç otomatik olarak ekranda görünür.
- Elektrot saf suya yıkanıp kuru ve temiz bir bezle temizlenir.
- Elektrot tampon çözelti içerisinde saklanır.

#### Serbest ve bağlı klor:

Serbest ve bağlı klor ölçümleri TS EN İSO 7393-2 Su kalitesi- Serbest klor ve toplam klor tayini -Bölüm 2: Rutin kontroller için- N, N- Dialkil- 1,4- Fenilendiamin kullanılan kolorimetrik yöntem kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçüm için Lovibond MD 600 model cihaz kullanılmıştır.

#### İşlem:

- Açma kapama tuşuyla cihaz açılır.
- Shift tuşuna basılı tutarak 101 kodu girilir.
- Silindirik şeklindeki 24 mm ölçüm küvetine 10 ml numune konulur.
- Kapağı sıkıca kapatılır.
- Küvetin dışı temiz ve kuru bir bezle temizlenir.
- Küvet ölçüm yuvasına yerleştirilir.
- Zero tuşuna basılarak sıfırlama işlemi yapılır.
- Küvet yuvadan çıkartılır.
- Kapağı açılır.
- DPD 1 numaralı hap numuneye eklenir ve hap iyice çözülünceye kadar ezme çubuğuyla ezilir.
- Kapağı kapatılır.
- Kalan partiküllerin çözünmesi için küvet iyice çalkalanır.
- Küvetin dışı kuru ve temiz bir bezle temizlenir.
- Küvet yuvaya konulur ve oku tuşuna basılır.



- Küvet yuvadan çıkartılır
- Kapağı açılır.
- DPD 3 numaralı hap numuneye eklenir ve hap iyice çözülünceye kadar ezme çubuğuyla ezilir.
- Kapağı kapatılır.
- Kalan partiküllerin çözünmesi için küvet iyice çalkalanır.
- Küvetin dışı kuru ve temiz bir bezle temizlenir.
- Küvet yuvaya konulur ve oku tuşuna basılır.
- 2 dk bekleme sresinden sonra sonuç ekranda serbest, bağlı ve toplam klor olarak ayrı ayrı görünür.
- lm bittikten sonra küvet saf suyla temizlenip kurulanır.

### **TOK ve TİK:**

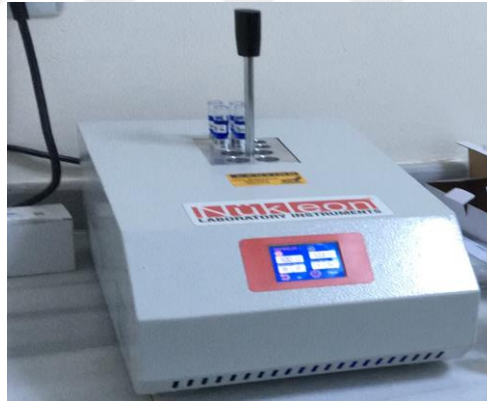
TOK ve TİK analizleri, DIN 38409-H3 Persülfat sindirimi metoduna göre yapılmıştır. Ölçümler Hach Lange DR 1900 model cihazda gerçekleştirilmiştir.

### **İŞlem:**

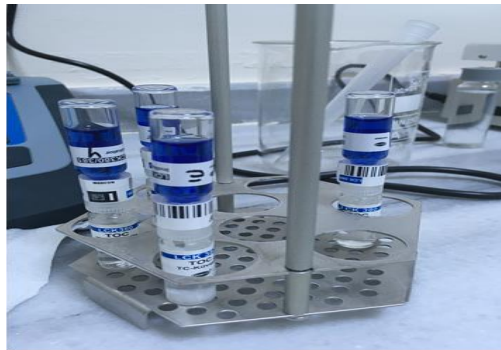
- İŐlemlere baŐlamadan önce termoreaktör açılır ve 100 santigrat dereceye ayarlanır.
- Sadece TK küvetine 1 doz toz reaktiften eklenir silindir küvetin kapağı hemen kapatılır.
- 2 mL numune hem TK hem TİK küvetine ayrı ayrı eklenir.
- Kapaklar hemen kapatılıp küvetler birkaç kez ters düz edilir.
- Mavi renkteki TK ve TİK indikatör küvetlerine çift taraflı membran kapaklar, barkodlar mavi indikatör küvetine bakacak Şekilde takılır.
- Hemen sonra beyaz kvetle mavi küvet çift taraflı kapak vasıtasıyla birleŐtirilir.
- BirleŐtirme sırasında beyaz renkteki TK ve TİK küvetleri ağızları yukarı bakacak Şekilde olmalıdır.
- İndikatrleriyle birleŐtirilen TK ve TİK küvetleri, beyaz küvetler aşağıda olacak Şekilde termoreaktre yerleştirilir.
- Küvetler termoreaktörde 2 saat bekletildikten sonra oda sıcaklığına soğumaları için standa alınır.
- Küvetler ters çevrilmeden önce kapakları gevŐemiŐse sıkılır.
- Küvetler oda sıcaklığına kadar soğuduktan sonra ters çevrilir
- Cihaz açma tuşundan açılarak LCK 380 metodu seçilir.

- Önce TK küveti mavi indikatör kısmı aşağı gelecek şekilde yuvaya yerleştirilir.
- Gelişmiş seçeneklerden Kimyasal formül menüsüne girilir ve TK seçilir.
- Koruma kapağı kapatılır.
- Oku 1 tuşuna basılır.
- Küvet çıkarılır
- Daha sonra TİK küveti mavi indikatör kısmı aşağı gelecek şekilde yerleştirilir.
- Gelişmiş seçeneklerden Kimyasal formül menüsüne girilir ve TİK seçilir.
- Koruma kapağı kapatılır.
- Oku 2 tuşuna basılır.
- Ekranda çıkan sonuç TİK değeridir.
- Küvet cihazın içindeyken gelişmiş seçenekler ve kimyasal formül menüsünde TOK seçilir.
- Herhangi bir tuşa basılmaz
- Ekranda çıkan sonuç TOK değeridir.

Şekil 3.6.'da küvetlerin termoreaktörde bekletilmesi, Şekil 3.7.'de ise küvetlerin soğutulma aşaması gösterilmiştir.



Şekil 3.6. TOK ve TİK küvetlerinin termoreaktörde bekletilmesi



Şekil 3.7. TOK ve TİK küvetlerinin soğutulması

**THM:**

Trihalometan analizleri, Su Banyosu (Water Bath) metodu ile Hach Lange DR 1900 MODEL cihazda gerçekleştirildi. Son 4-5 yıldır tanıtıma çıkan yöntemin validasyon verileri açıklanmıştır. Bulgaristan'da THM Plus metoduyla ölçümler yapan 2 ayrı arıtma tesisinde, Bulgaristan Akreditasyon Servisi (BAS) tarafından BS EN ISO/IEC 17025 standardı uyarınca yürütülen denetleme sonucunda, THM Plus metodu rutin bir analiz olarak kabul edilerek akredite kapsamına dahil edilmiştir.

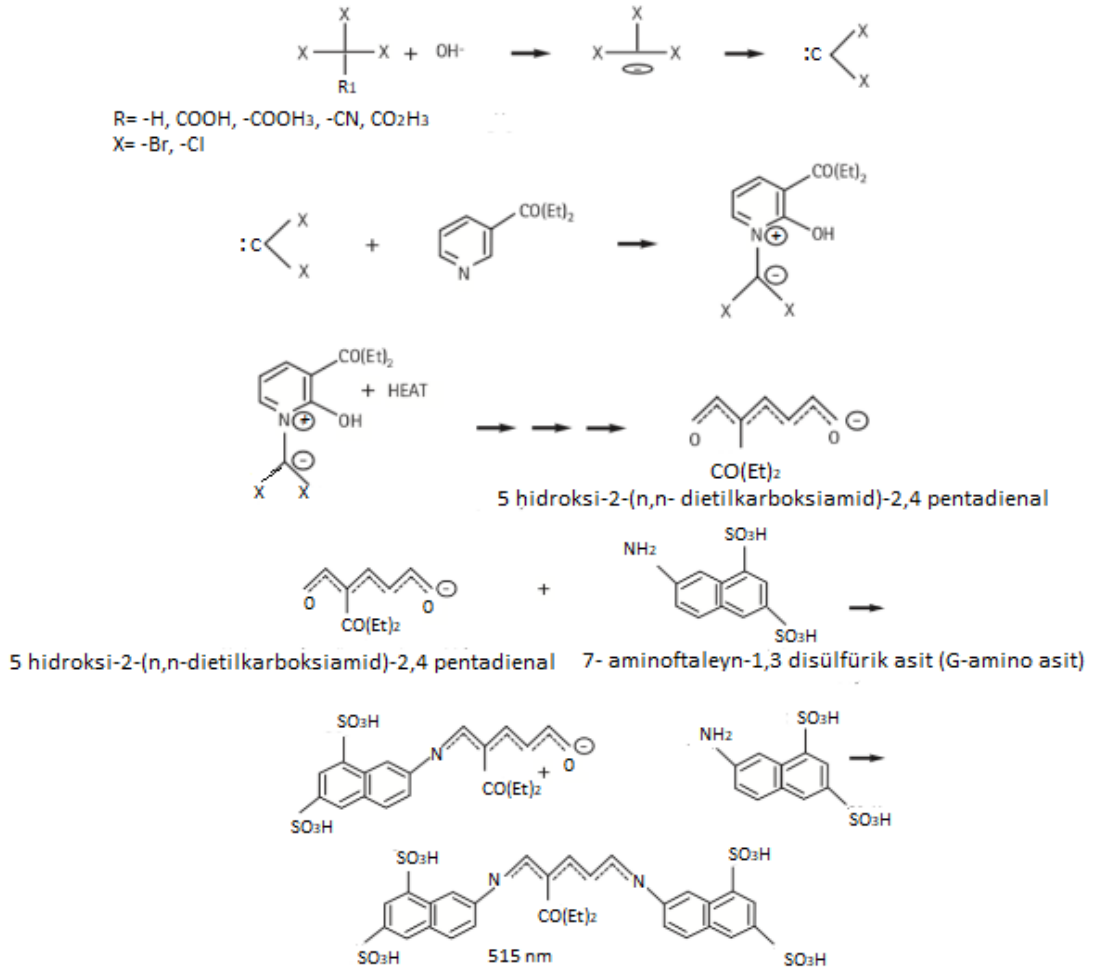
**Metodun özeti;** THM Plus yönteminde, numunedeki THM bileşikleri, ısıtılmış alkali koşullar altında N, N,-dietilnikotinamid ile reaksiyona girerek bir dialdehit ara maddesi oluşturur. Numune soğutulur ve pH 2.5'e asitleştirilir. Dialdehit ara maddesi, bir Schiff bazı oluşturmak üzere 7-amino-1,3 naftalin disülfonik asit ile reaksiyona girer. Oluşan renk, numunedeki THM bileşiklerinin toplam miktarı ile doğru orantılıdır. Test sonuçları 515 nm'de ölçülür ve ppb cinsinden verilir.

**İşlem:** Not: THM bileşikleri son derece uçucu olduğundan, işlem basamakları hızlı ve dikkatli yapılmalı, olası THM kaybını en aza indirmek için işlem aralarında kapakların hemen kapatılmasına özen gösterilmelidir. Numuneler hemen ölçülmeyecekse 6 santigrat derecede muhafaza edilmelidir.

- Numuneler teflon astarlı, septa kapaklı 40 mL'lik cam şişelerle alınır.
- Sıcak su banyosu için 600 ml'lik erlene 500 ml şebeke suyu konulur.
- Düz ısıtıcının ısıtma ayar düğmesi son noktaya getirilir.
- Bir başka 600 mL'lik erlene 18-25 santigrat derecedeki soğuk şebeke suyu eklenir kenarda bekletilir.
- Yuvarlak küvete organik madde içeriği olmayan saf sudan 10 mL eklenir.
- Bir başka yuvarlak küvete 10 mL numune eklenir.
- Her bir küvetin içerisine 3'er damla THM Plus 1 reaktifinden eklenir, kapağı kapatılır.
- Sıvının karışması için her bir küvet 3 kez hafifçe çevrilir.
- Her bir küvete 3 mL reaktif 2 eklenir.
- Kapaklar hemen ve sıkıca kapatılır.
- Küvetler tutucu tertibata yerleştirilir.
- Tutucu tertibat, kaynamakta olan su banyosuna yerleştirilir.
- Reaksiyon süresi olan 5 dk bekletilir. (Numuneler önceden soğutulmuşsa bu süre 7 dk'dır.)

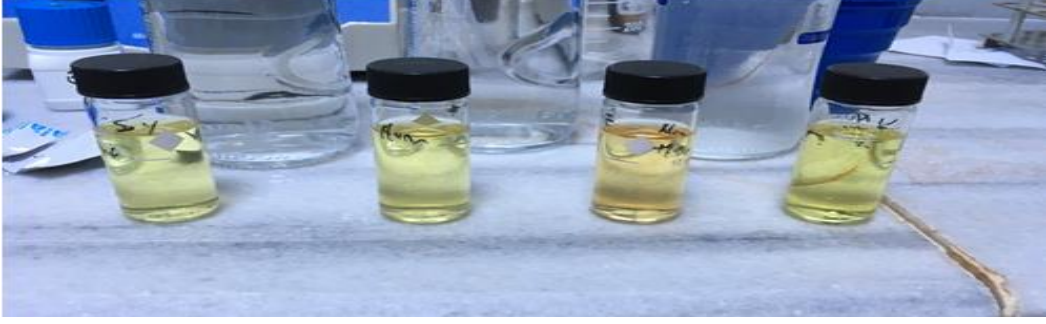
- Tutucu tertibat sıcak su banyosundan alınıp soğuk su banyosuna konulur. (3 dk.)
- Soğuk su banyosundan alınan numuneler en az 3 kez ters düz edilir.
- Her bir küvete 1 ml THM Plus 3 reaktifinden eklenir. (Numuneler ısınacaktır.)
- Her bir küvet, yeni hazırlanmış soğuk su banyosuna alınır. (3 dk.)
- Her bir numuneye 1'er adet toz reaktif paketi eklenir.
- Reaksiyon süresi 15 dk olup ilk 5 dk'da aralıklı karıştırma ile toz çözülür.
- 15 dk sonunda her bir numune kare okuma hücreğine alınır.
- Cihazda THM Plus metodu seçilerek önce saf su yuvaya konulur.
- Sonra koruma kapağı kapatılır.
- Sıfırlama yapılır.
- Sonra numune yuvaya konulup koruma kapağı kapatılır.
- Sonuç ppb TTHM cinsinden ekranda çıkacaktır.

THM Plus metodundaki reaksiyon mekanizması Şekil 3.8.'de verilmiştir.



Şekil 3.8. THM Plus reaksiyon mekanizması (Koltsova, 2019)

Ölçümlerde 10 ppm'lik kloroform standardı kullanılarak spike yöntemiyle geri kazanım miktarı hesaplanmış ve geri kazanımlar % 80-120 arasında bulunmuştur. Şekil 3.9'da THM Plus analizinin son basamağı olan renklenme aşaması görülmektedir.



Şekil 3.9. THM Plus renklenme aşaması

Şekil 3.10.'da analizlerin gerçekleştirildiği laboratuvar görülmektedir.



Şekil 3.10. Analizlerin gerçekleştirildiği laboratuvar

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Doktora tezi çalışması sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

18 Ekim 2022 ve 9 Aralık 2022 tarihleri arasında, haftada bir gün olmak üzere yüzme havuzunu besleyen şebeke suyunun ve kullanım sonrası yüzme havuz suyunun serbest klor, bağlı klor, pH parametrelerinin ölçüldüğü tarihler (Çizelge 4.1.) ile o tarihlerdeki değerleri (Çizelge 4.2.) aşağıdaki çizelgelerde gösterilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Çalışma aralıkları

18.10.2022 Salı	Numune 1	N 1
25.10.2022 Salı	Numune 2	N 2
02.11.2022 Çarşamba	Numune 3	N 3
09.11.2022 Çarşamba	Numune 4	N 4
17.11.2022 Perşembe	Numune 5	N 5
24.11.2022 Perşembe	Numune 6	N 6
02.12.2022 Cuma	Numune 7	N 7
09.12.2022 Cuma	Numune 8	N 8

Çizelge 4.2.'de 'Şbk' ifadesi havuzu besleyen şebeke suyunu temsil ederken, 'Hvz' ifadesi, yüzme havuz suyunu temsil etmektedir.

**Çizelge 4.2.** Şebeke ve havuz suyunun pH, serbest klor ve bağlı klor değerleri

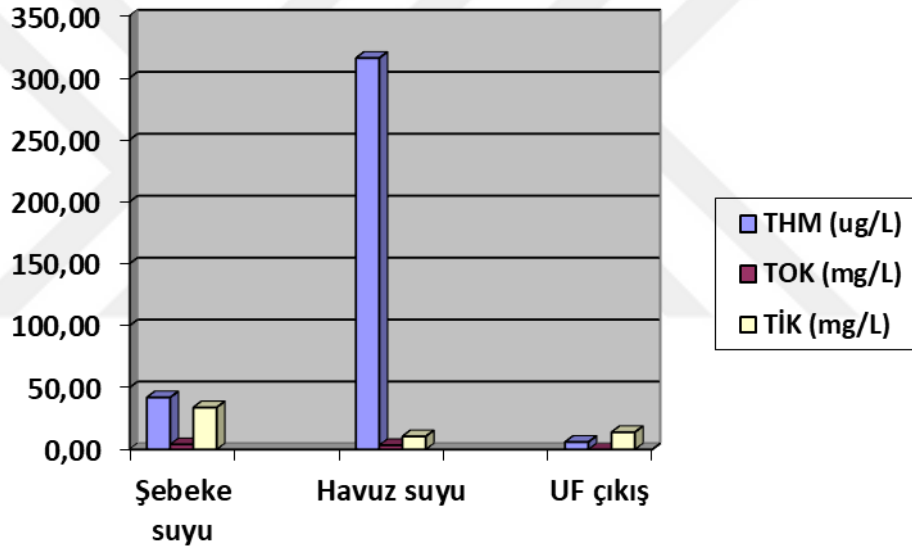
	N1		N2		N3		N4		N5		N6		N7		N8	
	Şbk	Hvz	Şbk	Hvz	Şbk	Hvz	Şbk	Hvz	Şbk	Hvz	Şbk	Hvz	Şbk	Hvz	Şbk	Hvz
Serbest klor (mg/L)	0.41	2.52	0.33	2.28	0.30	2.14	0.32	1.73	0.39	2.34	0.34	2.29	0.36	1.85	0.32	1.77
Bağlı Klor (mg/L)	0.1	0.70	0.08	0.66	0.07	0.55	0.06	0.58	0.11	0.67	0.07	0.62	0.08	0.54	0.06	0.57
pH	7.96	7.29	7.90	7.27	7.32	7.13	7.84	7.17	7.98	7.25	7.93	7.22	7.87	7.20	7.86	7.16

Çizelge 4.3. ve 4.4.'te 1. haftadaki şebeke suyu, havuz suyu ve modifiye ayırma sisteminde arıtılmış havuz suyuna ait THM, TOK ve TİK değerleri ile bu değerlerin değişim grafikleri verilmiştir. THM değerleri %95 güven aralığında ( $k=2$ ) verilmiştir.

**Çizelge 4.3.** 1. Hafta (N1) THM, TOK ve TİK değişimleri

18.10.2022	Şebeke suyu	Havuz suyu	Modifiye ayırma sistemi çıkış
THM ( $\mu\text{g/L}$ )	42 $\pm$ 3	313 $\pm$ 8	6 $\pm$ 1
TOK (mg/L)	4.09	3.43	<2
TİK (mg/L)	33.91	10.56	13.92

**Çizelge 4.4.** 1. Hafta (N1) THM, TOK ve TİK değişim grafiği



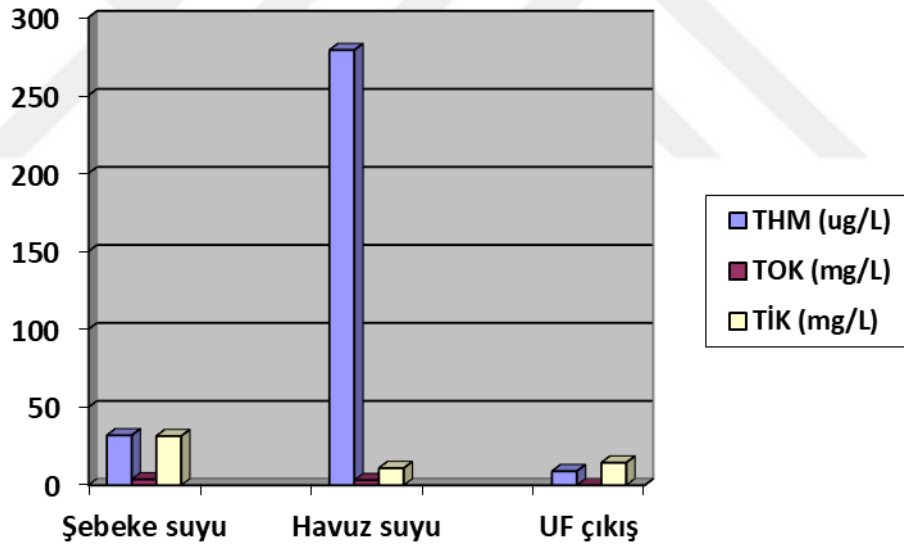
Çizelge 4.3. ve Çizelge 4.4.'te görüldüğü üzere, modifiye edilmiş UF sistemi, havuz suyu içerisindeki TOK ve THM değerlerini önemli derecede azaltmıştır. THM giderim oranı %98.08'dir. Modifiye ayırma sistemi çıkış suyunda Toplam İnorganik Karbon (TİK) değerindeki artışın kaba filtrelemede kullanılan mikrofiltrasyon membranında tutunmuş olan karbonat çökeltisinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 4.5. ve 4.6.'da 2. haftadaki şebeke suyu, havuz suyu ve modifiye ayırma sisteminde arıtılmış havuz suyuna ait THM, TOK ve TİK değerleri ile bu değerlerin değişim grafikleri verilmiştir. THM değerleri %95 güven aralığında ( $k=2$ ) verilmiştir.

**Çizelge 4.5.** 2. Hafta (N2) THM, TOK ve TİK değişimleri

25.10.2022	Şebeke suyu	Havuz suyu	Modifiye ayırma sistemi çıkış
THM ( $\mu\text{g/L}$ )	$32 \pm 5$	$274 \pm 10$	$9 \pm 2$
TOK (mg/L)	3.76	3.22	<2
TİK (mg/L)	31.49	10.96	14.48

**Çizelge 4.6.** 2. Hafta (N2) THM, TOK ve TİK değişim grafiği



Çizelge 4.5. ve Çizelge 4.6.'da görüldüğü üzere, modifiye edilmiş UF sistemi, havuz suyu içerisindeki TOK ve THM değerlerini önemli derecede azaltmıştır. THM giderim oranı % 96.72'dir. Modifiye ayırma sistemi çıkış suyunda Toplam İnorganik Karbon (TİK) değerindeki artışın kaba filtrelemede kullanılan mikrofiltrasyon membranında tutunmuş olan karbonat çökeltisinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

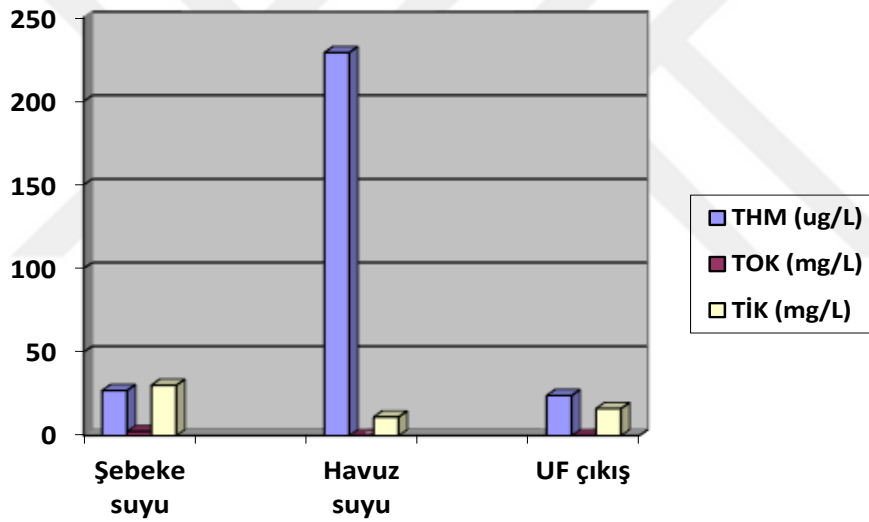


Çizelge 4.7. ve 4.8.'de 3. haftadaki şebeke suyu, havuz suyu ve modifiye ayırma sisteminde arıtılmış havuz suyuna ait THM, TOK ve TİK değerleri ile bu değerlerin değişim grafikleri verilmiştir. THM değerleri %95 güven aralığında (k=2) verilmiştir.

**Çizelge 4.7.** 3. Hafta (N3) THM, TOK ve TİK değişimleri

02.11.2022	Şebeke suyu	Havuz suyu	Modifiye ayırma sistemi çıkış
THM ( $\mu\text{g/L}$ )	27 $\pm$ 4	226 $\pm$ 9	24 $\pm$ 3
TOK (mg/L)	2.51	<2	<2
TİK (mg/L)	30.16	11.20	16.21

**Çizelge 4.8.** 3. Hafta (N3) THM, TOK ve TİK değişim grafiği



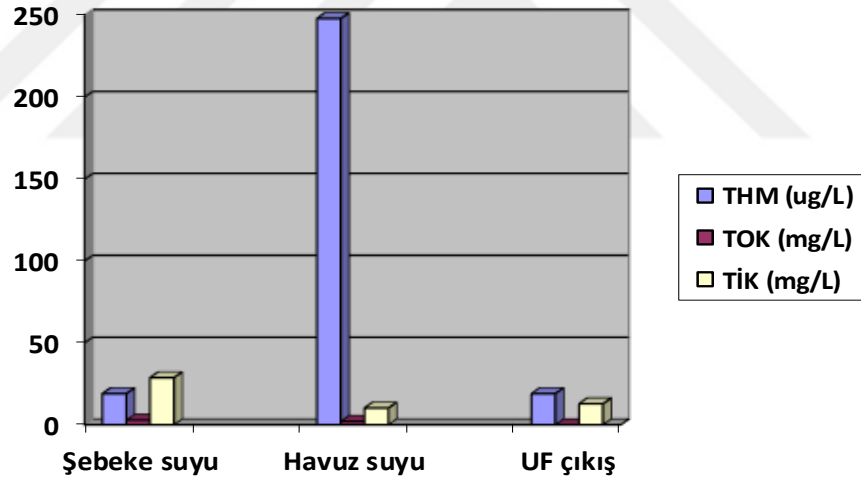
Çizelge 4.7. ve Çizelge 4.8.'de görüldüğü üzere, modifiye edilmiş UF sistemi, havuz suyu içerisindeki TOK ve THM değerlerini önemli derecede azaltmıştır. THM giderim oranı %89.38'tir. Modifiye ayırma sistemi çıkış suyunda Toplam İnorganik Karbon (TİK) değerindeki artışın kaba filtrelemede kullanılan mikrofiltrasyon membranında tutunmuş olan karbonat çökeltisinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 4.9. ve 4.10.'da 4. haftadaki şebeke suyu, havuz suyu ve modifiye ayırma sisteminde arıtılmış havuz suyuna ait THM, TOK ve TİK değerleri ile bu değerlerin değişim grafikleri verilmiştir. THM değerleri %95 güven aralığında (k=2) verilmiştir.

**Çizelge 4.9.** 4. Hafta (N4) THM, TOK ve TİK değişimleri

09.11.2022	Şebeke suyu	Havuz suyu	Modifiye ayırma sistemi çıkış
THM (µg/L)	19 ±3	246 ±10	19 ±2
TOK (mg/L)	2.82	2.10	<2
TİK (mg/L)	28.71	10.22	12.81

**Çizelge 4.10.** 4. Hafta (N4) THM, TOK ve TİK değişim grafiği



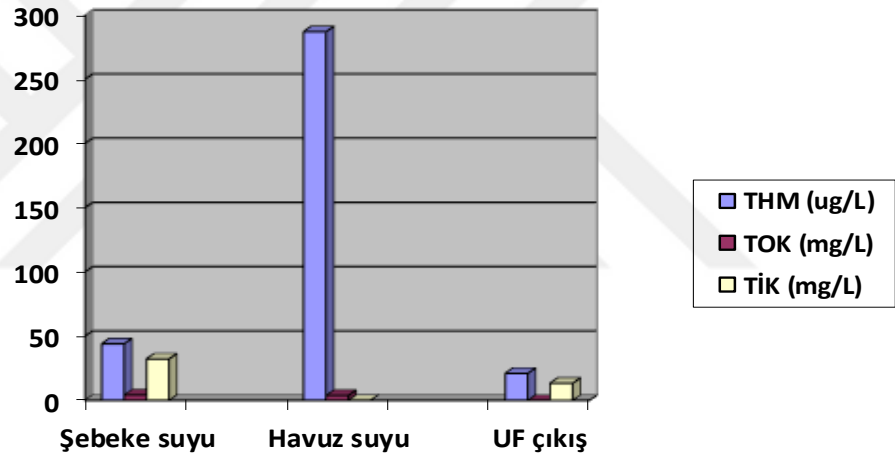
Çizelge 4.9. ve Çizelge 4.10.'da görüldüğü üzere, modifiye edilmiş UF sistemi, havuz suyu içerisindeki TOK ve THM değerlerini önemli derecede azaltmıştır. THM giderim oranı %92.28'dir. Modifiye ayırma sistemi çıkış suyunda Toplam İnorganik Karbon (TİK) değerindeki artışın kaba filtrelemede kullanılan mikrofiltrasyon membranında tutunmuş olan karbonat çökeltisinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 4.11. ve 4.12.'de 5. haftadaki şebeke suyu, havuz suyu ve modifiye ayırma sisteminde arıtılmış havuz suyuna ait THM, TOK ve TİK değerleri ile bu değerlerin değişim grafikleri verilmiştir. THM değerleri %95 güven aralığında ( $k=2$ ) verilmiştir.

**Çizelge 4.11.** 5. Hafta (N5) THM, TOK ve TİK değerleri

17.11.2022	Şebeke suyu	Havuz suyu	Modifiye ayırma sistemi çıkış
THM ( $\mu\text{g/L}$ )	44 $\pm$ 4	282 $\pm$ 9	21 $\pm$ 2
TOK (mg/L)	4.19	3.81	<2
TİK (mg/L)	32.24	<10	13.25

**Çizelge 4.12.** 5. Hafta (N5) THM, TOK ve TİK değişim grafiği



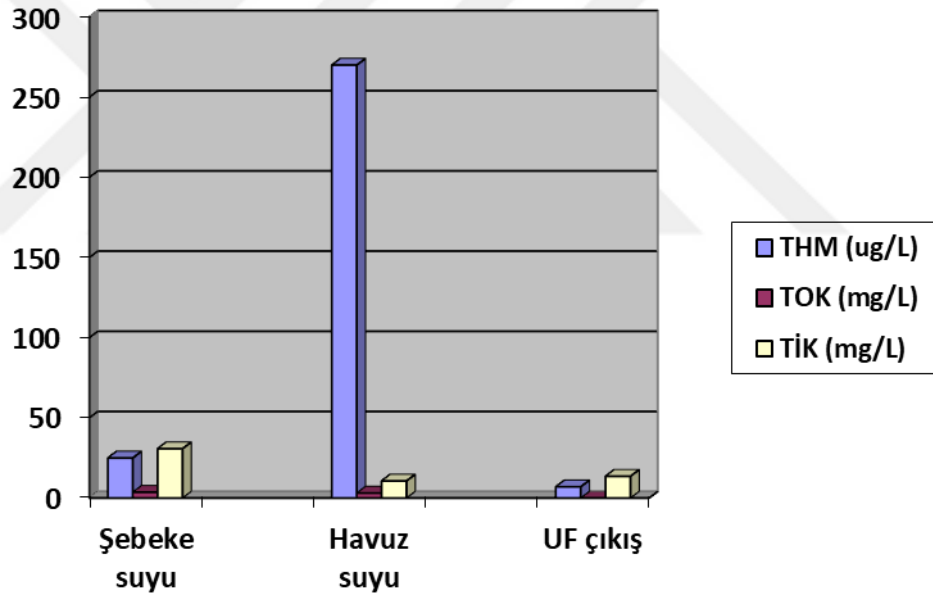
Çizelge 4.11. ve Çizelge 4.12.'de görüldüğü üzere, modifiye edilmiş UF sistemi, havuz suyu içerisindeki TOK ve THM değerlerini önemli derecede azaltmıştır. THM giderim oranı %92.55'tir. Modifiye ayırma sistemi çıkış suyunda Toplam İnorganik Karbon (TİK) değerindeki artışın kaba filtrelemede kullanılan mikrofiltrasyon membranında tutunmuş olan karbonat çökeltisinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 4.13. ve 4.14.'te 6. haftadaki şebeke suyu, havuz suyu ve modifiye ayırma sisteminde arıtılmış havuz suyuna ait THM, TOK ve TİK değerleri ile bu değerlerin değişim grafikleri verilmiştir. THM değerleri %95 güven aralığında ( $k=2$ ) verilmiştir.

**Çizelge 4.13.** 6. Hafta (N6) THM, TOK ve TİK değişimleri

24.11.2022	Şebeke suyu	Havuz suyu	Modifiye ayırma sistemi çıkış
THM ( $\mu\text{g/L}$ )	25 $\pm$ 4	265 $\pm$ 8	7 $\pm$ 2
TOK (mg/L)	3.62	3.10	<2
TİK (mg/L)	30.78	10.65	13.58

**Çizelge 4.14.** 6. Hafta (N6) THM, TOK ve TİK değişim grafiği



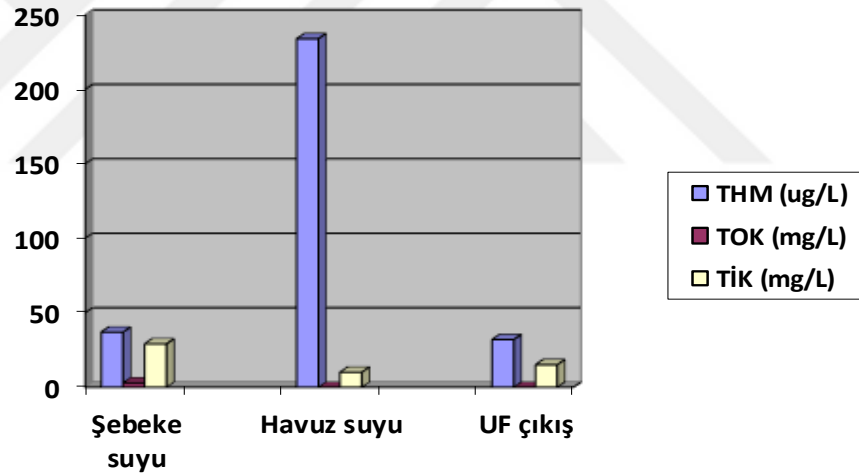
Çizelge 4.13. ve Çizelge 4.14.'te görüldüğü üzere, modifiye edilmiş UF sistemi, havuz suyu içerisindeki TOK ve THM değerlerini önemli derecede azaltmıştır. THM giderim oranı %97.36'dır. Modifiye ayırma sistemi çıkış suyunda Toplam İnorganik Karbon (TİK) değerindeki artışın kaba filtrelemede kullanılan mikrofiltrasyon membranında tutunmuş olan karbonat çöktürülmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 4.15. ve 4.16.'da 7. haftadaki şebeke suyu, havuz suyu ve modifiye ayırma ayırma sisteminde artırılmış havuz suyuna ait THM, TOK ve TİK değerleri ile bu değerlerin değişim grafikleri verilmiştir. THM değerleri %95 güven aralığında ( $k=2$ ) verilmiştir.

**Çizelge 4.15.** 7. Hafta (N7) THM, TOK ve TİK değişimleri

02.12.2022	Şebeke suyu	Havuz suyu	Modifiye ayırma sistemi çıkış
THM ( $\mu\text{g/L}$ )	$37 \pm 3$	$223 \pm 8$	$32 \pm 4$
TOK (mg/L)	2.91	<2	<2
TİK (mg/L)	29.11	10.09	15.11

**Çizelge 4.16.** 7. Hafta (N7) THM, TOK ve TİK değişim grafiği



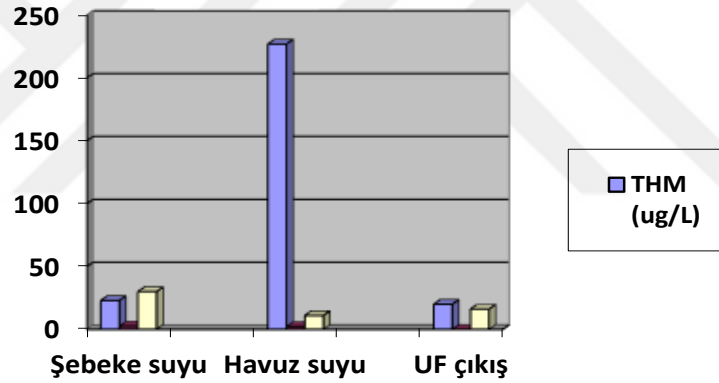
Çizelge 4.15. ve Çizelge 4.16.'da görüldüğü üzere, modifiye edilmiş UF sistemi, havuz suyu içerisindeki TOK ve THM değerlerini önemli derecede azaltmıştır. THM giderim oranı %85.65'tir. Modifiye ayırma sistemi çıkış suyunda Toplam İnorganik Karbon (TİK) değerindeki artışın kaba filtrelemede kullanılan mikrofiltrasyon membranında tutunmuş olan karbonat çökeltisinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 4.17. ve 4.18.'de 8. haftadaki şebeke suyu, havuz suyu ve modifiye ayırma sisteminde arıtılmış havuz suyuna ait THM, TOK ve TİK değerleri ile bu değerlerin değişim grafikleri verilmiştir. THM değerleri %95 güven aralığında (k=2) verilmiştir.

**Çizelge 4.17.** 8. Hafta (N8) THM, TOK ve TİK değişimleri

09.12.2022	Şebeke suyu	Havuz suyu	Modifiye ayırma sistemi çıkış
THM ( $\mu\text{g/L}$ )	23 $\pm$ 3	223 $\pm$ 7	20 $\pm$ 3
TOK (mg/L)	2.57	2.21	<2
TİK (mg/L)	30.02	11.02	16.12

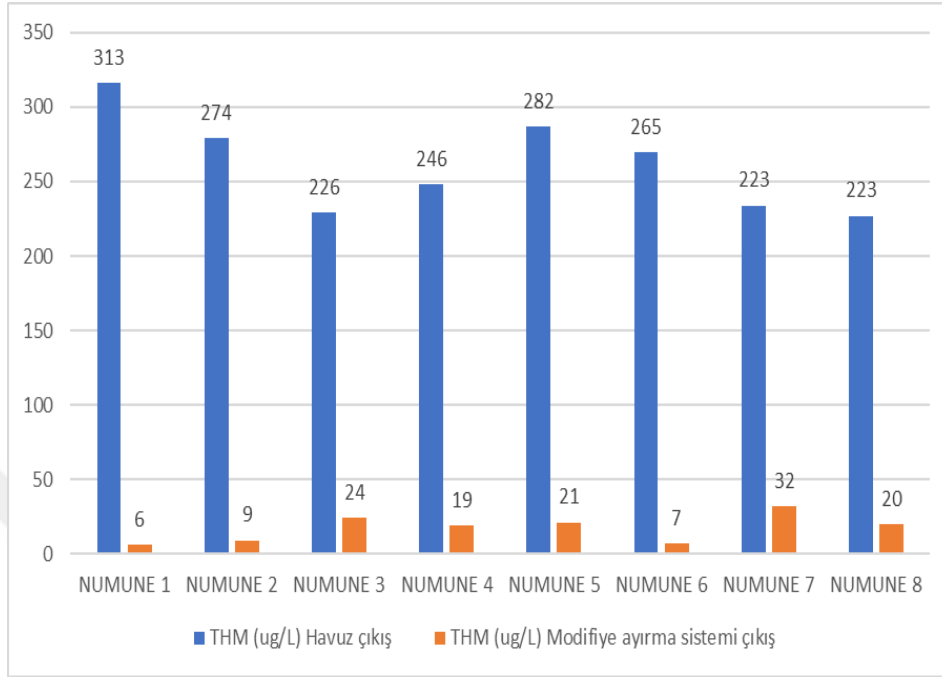
**Çizelge 4.18.** 8. Hafta (N8) THM, TOK ve TİK değişim grafiği



Çizelge 4.17. ve Çizelge 4.18.'de görüldüğü üzere, modifiye edilmiş UF sistemi, havuz suyu içerisindeki TOK ve THM değerlerini önemli derecede azaltmıştır. THM giderim oranı %91.03'tür. Modifiye ayırma sistemi çıkış suyunda Toplam İnorganik Karbon (TİK) değerindeki artışın kaba filtrelemede kullanılan mikrofiltrasyon membranında tutunmuş olan karbonat çökeltisinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

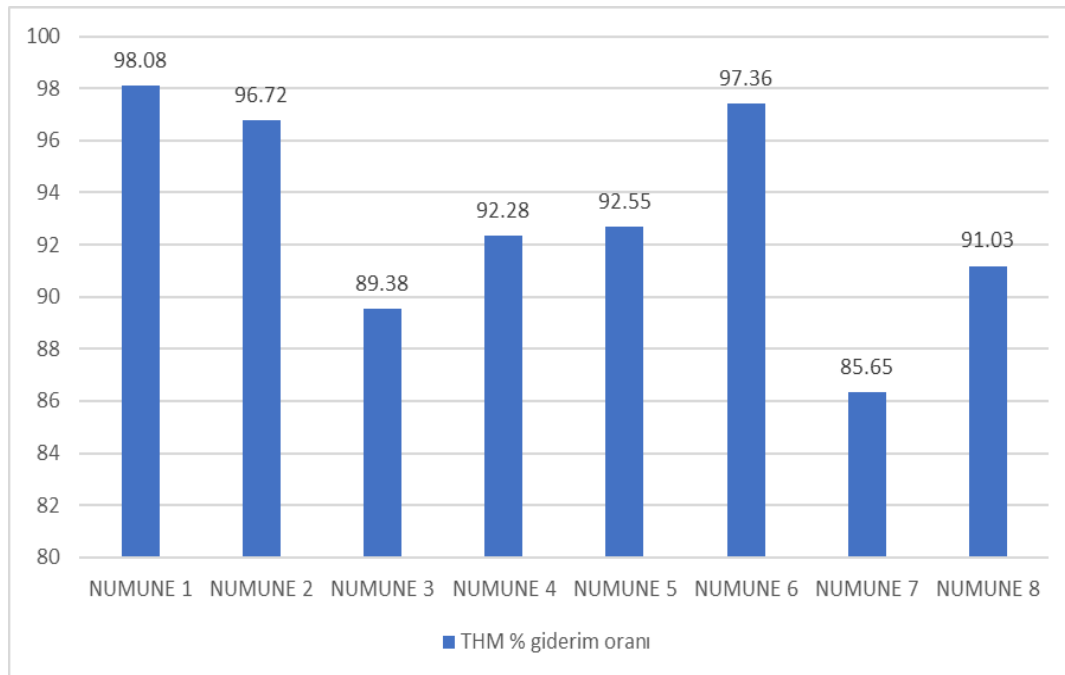
Çizelge 4.19.'da yüzme havuzu ve modifiye edilmiş UF pilot sistem çıkış suyunun THM değerleri toplu halde verilmiştir.

**Çizelge 4.19.** Yüzme havuz suyu ve UF çıkış suyu THM değerleri



Çizelge 4.20.'de modifiye edilmiş UF pilot sistemin THM giderim yüzdeleri toplu halde verilmiştir. Ortalama THM giderim oranı % 93'tür.

**Çizelge 4.20.** Modifiye edilmiş UF pilot sistem THM giderim % oranları

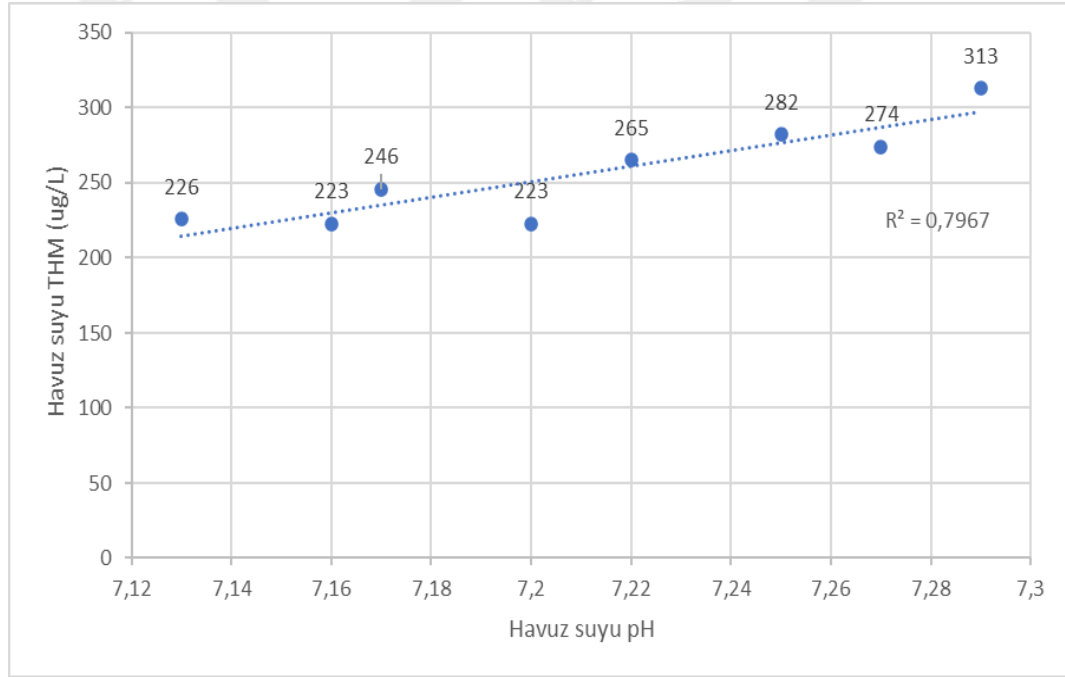


Çizelge 4.21. ve Çizelge 4.22.'de 8 haftadaki havuz suyu numunelerinin pH ve THM değerleri ile bu iki parametre arasındaki korelasyon grafiği verilmiştir. THM değerleri %95 güven aralığında ( $k=2$ ) verilmiştir.

**Çizelge 4.21.** Havuz suyunun pH ve THM değerleri

	N1 Havuz suyu	N2 Havuz suyu	N3 Havuz suyu	N4 Havuz suyu	N5 Havuz suyu	N6 Havuz suyu	N7 Havuz suyu	N8 Havuz suyu
pH	7.29	7.27	7.13	7.17	7.25	7.22	7.20	7.16
THM ( $\mu\text{g/L}$ )	313 $\pm$ 8	274 $\pm$ 10	226 $\pm$ 9	246 $\pm$ 10	282 $\pm$ 9	265 $\pm$ 8	223 $\pm$ 8	223 $\pm$ 7

**Çizelge 4.22.** Havuz suyu pH ve THM korelasyon grafiği



Çizelge 4.22.'de görüldüğü üzere, genel olarak havuz suyunun pH'ı arttıkça THM miktarı da artış göstermektedir.

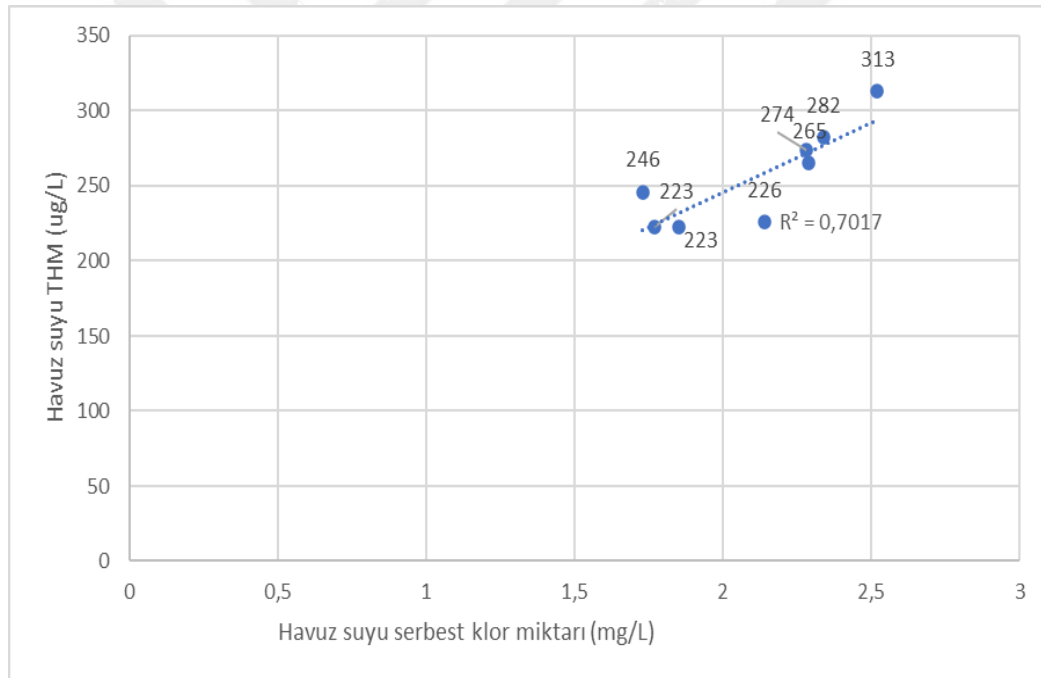


Çizelge 4.23. ve Çizelge 4.24.'te 8 haftadaki havuz suyu numunelerinin serbest klor ve THM değerleri ile bu iki parametre arasındaki korelasyon grafiği verilmiştir. THM değerleri %95 güven aralığında ( $k=2$ ) verilmiştir.

**Çizelge 4.23.** Havuz suyunun serbest klor ve THM değerleri

	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8
Serbest klor (mg/L)	2.52	2.28	2.14	1.73	2.34	2.29	1.85	1.77
THM ( $\mu\text{g/L}$ )	313 $\pm$ 8	274 $\pm$ 10	226 $\pm$ 9	246 $\pm$ 10	282 $\pm$ 9	265 $\pm$ 8	223 $\pm$ 8	223 $\pm$ 7

**Çizelge 4.24.** Havuz suyu serbest klor ve THM korelasyon grafiği



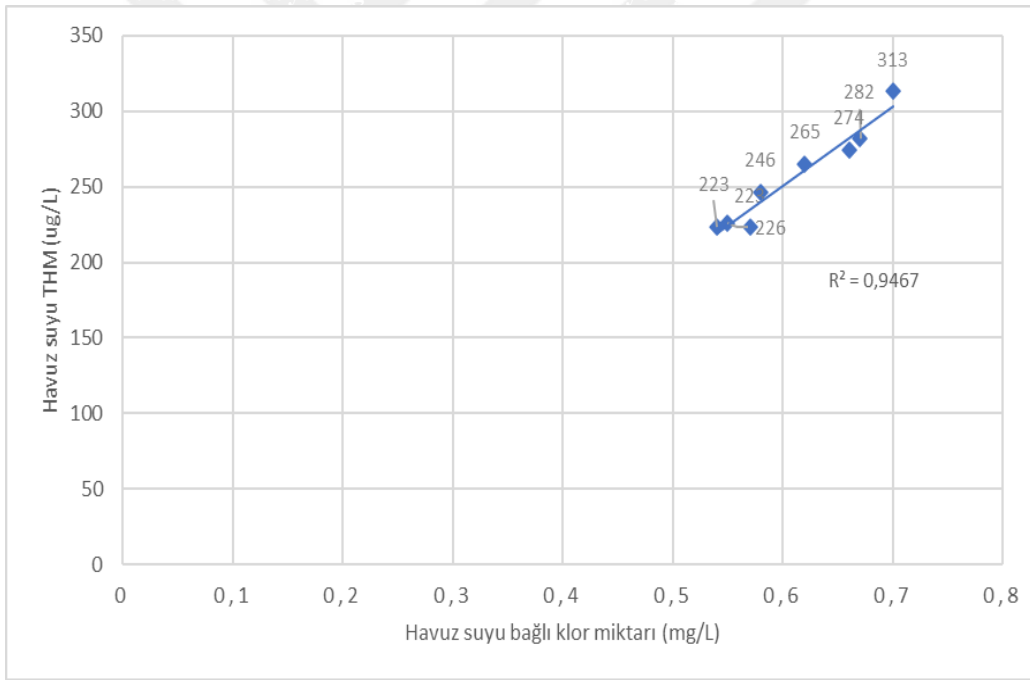
Çizelge 4.24.'te görüldüğü üzere, havuz suyundaki serbest klor değeri ile THM miktarı arasında düzenli bir ilişki yoktur.

Çizelge 4.25. ve Çizelge 4.26.'da 8 haftadaki havuz suyu numunelerinin bağlı klor ve THM değerleri ile bu iki parametre arasındaki korelasyon grafiği verilmiştir. THM değerleri %95 güven aralığında ( $k=2$ ) verilmiştir.

**Çizelge 4.25.** Havuz suyunun bağlı klor ve THM değerleri

	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8
Bağlı klor (mg/L)	0.70	0.66	0.55	0.58	0.67	0.62	0.54	0.57
THM ( $\mu\text{g/L}$ )	313 $\pm$ 8	274 $\pm$ 10	226 $\pm$ 9	246 $\pm$ 10	282 $\pm$ 9	265 $\pm$ 8	223 $\pm$ 8	223 $\pm$ 7

**Çizelge 4.26.** Havuz suyu bağlı klor ve THM korelasyon grafiği



Çizelge 26.'da görüldüğü üzere, genel olarak havuz suyunun bağlı klor değeri ile THM değeri arasında doğru orantı bulunmaktadır.

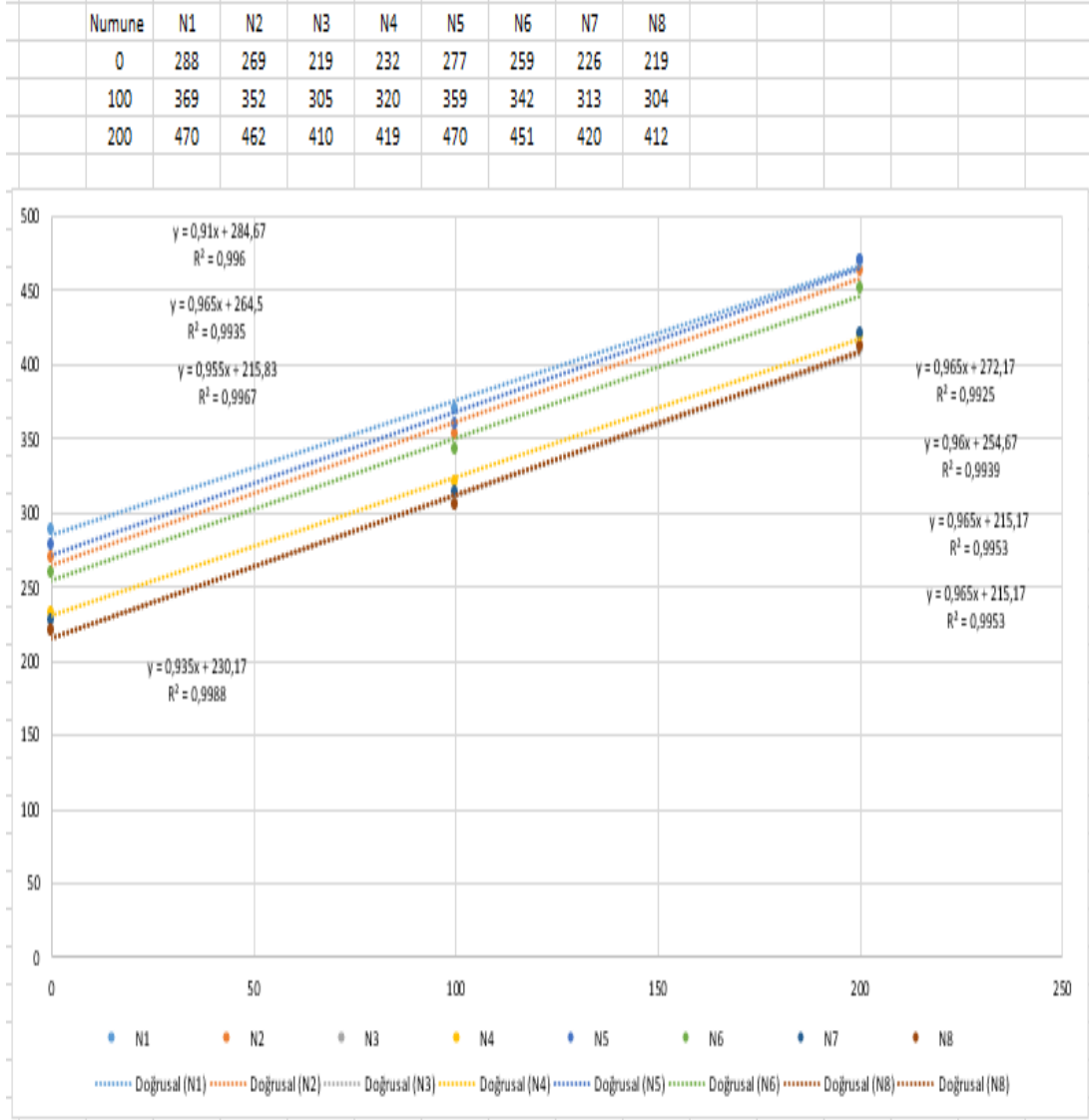
Çizelge 4.27.'de yüzme havuzunu besleyen şebeke suyu, havuz suyu ve modifiye edilmiş UF sistemi çıkış suyuunda yapılan tüm analizlerin sonuçları toplu halde gösterilmiştir.

Çizelge 4.27. Analizlerin toplu gösterimi

	N1		N2		N3		N4		N5		N6		N7		N8								
	Şbk	Hvz	Şbk	UF	Şbk	Hvz	Şbk	UF	Şbk	UF	Şbk	Hvz	Şbk	UF	Şbk	Hvz							
THM (ug/L)	42±3	313±8	32±5	274±10	9±2	27±4	226±9	24±3	246±10	19±2	44±4	287±9	21±2	25±4	265±8	7±2	37±3	223±8	32±4	23±3	223±7	20±3	
TOK (mg/L)	4.09	3.43	<2	3.76	3.22	<2	2.51	<2	2.82	2.10	<2	4.19	3.81	<2	3.62	3.10	<2	2.91	<2	2.57	2.21	<2	
TİK (mg/L)	33.91	10.56	13.92	31.49	10.96	14.48	30.16	11.20	16.21	28.71	10.22	12.81	32.24	<10	13.25	30.78	10.65	13.58	29.11	10.09	15.11	16.12	
pH	7.96	7.29	-	7.90	7.27	-	7.82	7.13	7.84	7.17	-	7.98	7.25	-	7.93	7.22	-	7.87	7.20	-	7.86	7.16	-
Serbest klor (mg/L)	0.41	2.52	-	0.33	2.28	-	0.30	2.14	0.32	1.73	-	0.39	2.34	-	0.34	2.29	-	0.36	1.85	-	0.32	1.77	-
Bağlı klor (mg/L)	0.10	0.70	-	0.08	0.66	-	0.07	0.55	0.06	0.58	-	0.11	0.67	-	0.07	0.62	-	0.08	0.54	-	0.06	0.57	-

Çizelge 4.28.'de THM ölçümleri için yapılan standart ekleme metodu grafiği verilmiştir.

**Çizelge 4.28.** THM için yapılan standart ekleme metodu grafiği



## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

### 5.1. Sonuçlar

Çalışmada yüzme havuzunu besleyen şebeke suyunun, kullanım sonrası havuz suyunun ve modifiye edilmiş UF pilot sistem çıkış suyunun analiz değerleri kıyaslandığında;

**TOK:** Yüzme havuzunu besleyen şebeke suyunda ortalama olarak 3.31 mg/L seviyelerinde olan toplam organik karbonun, yüzme havuz sirkülasyonuna girdikten sonra verilen topaklayıcı kimyasalın etkisiyle bir miktar azaldığı kanısına varılmıştır. Her ne kadar yüzme havuz suyuna yüzücülerden kaynaklanan organik madde girişi olsa da bu organik maddelerin bir kısmının, suyun içerisindeki klorla reaksiyonu sonucu oluşan THM bileşikleri tarafından kullanıldığı düşünülmektedir. Yüzme havuzunda seans sonraları alınan numunelerde yüksek miktarlarda bulunan THM parametresi, yüzücülerden kaynaklanan ve yan ürün oluşturmada kullanılan organik maddenin oranı hakkında bilgi vericidir. Yüzme havuz suyunda TOK ile THM arasında doğrudan bir ilişki kurulamasa da genel olarak artan TOK değerinin sudaki THM miktarında artışa neden olduğu gözlemlenmiştir.

Yüzme havuzunda ortalama 3 mg/L seviyelerinde olan toplam organik karbon değerinin, yüzme havuz suyunun modifiye edilmiş UF pilot sistemde arıtılmasından sonra 2 mg/L'nin altına indiği gözlemlenmiştir.

**TİK:** Yüzme havuz suyunu besleyen şebeke suyunda ortalama 30.80 mg/L gibi yüksek bir oranda bulunan toplam inorganik karbonun, yüzme havuzunun arıtma sistemi içerisindeki topaklayıcı kimyasalı ve kum filtrelerin etkisiyle yüzme havuzunda 10 mg/L seviyelerine kadar düştüğü gözlenmiştir. Modifiye edilmiş UF arıtma sisteminde arıtıldıktan sonra sudaki TİK oranı 14 mg/L seviyelerine kadar yükselmiştir. Bu artışın, havuz suyunun pilot sisteme girmeden önce uğradığı ön filtreleme amaçlı kullanılan mikrofiltrasyon membranının üzerinde birikmiş olan karbonat çökeltisinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

**THM:** Havuz suyunu besleyen şebeke suyunda ortalama 31.13 µg/L seviyelerinde bulunan trihalometan parametresi, yüzme havuz sirkülasyonunda yüzücülerden gelen organik maddeler kaynakları olan idrar, ter, kir, kozmetikler vb. ile kesintisiz dezenfeksiyon amaçlı kullanılan klorun miktarıyla orantılı olarak  $313 \pm 8$  µg/L seviyelerine kadar yükselmiştir. Yüzme havuz suyunun 8 haftalık THM ortalaması 257 µg/L'dir.

Modifiye edilmiş UF arıtma sisteminde arıtılan yüzme havuz suyunda THM değerinin 6 µg/L'ye kadar düştüğü görülmüştür. Modifiye edilmiş UF sistemi çıkış suyunun ortalama THM değeri 17.25 µg/L seviyesindedir. Sistem, THM değerlerinde ortalama %93 oranında giderim sağlamıştır.

Genel sonuçlara bakıldığında,

Yüzme havuzundaki THM değerlerinin, Sağlık Bakanlığı'nın içme ve kullanma suları için belirlediği standart değer olan 100 µg/L'nin üzerinde olduğu,

Yüzme havuz suyunun pH değeri arttıkça THM miktarının artış gösterme eğiliminde olduğu ve su pH'ı ile THM miktarı arasında sıkı bir ilişki olduğu,

Yüzme havuz suyunun serbest klor değeri ile THM miktarı arasında düzensiz bir ilişki olduğu,

Yüzme havuz suyunun bağlı klor değeri ile oluşan THM miktarı arasında sıkı bir ilişki olduğu ve bağlı klor seviyesi arttıkça THM değerinin artış gösterdiği,

Ön arıtmasında granül aktif karbon ve zeolit kullanılarak modifiye edilmiş ultrafiltrasyon membran sisteminin, sudaki TOK ve THM giderimi için oldukça verimli bir alternatif olduğu,

Yüzme havuz suyundaki THM'nin bir kısmının, yüzme havuzunu besleyen şebeke suyundan kaynaklandığı görülmüştür.

## 5.2. Öneriler

Bu çalışmalar ışığında; yapı itibarıyla oldukça uçucu bileşikler olduğu için, başta solunma olmak üzere, yutma ve cilt yoluyla da vücuda nüfuz ederek uzun vadede hem yüzücüler hem de çalışanlar açısından önemli sağlık sorunlarına neden olabilecek dezenfeksiyon yan ürünleri olan THM'lerin mevcut seviyelerinin düşürülmesi gerektiği, Bu amaçla;

Yüzme havuzlarında sudaki serbest klor ile reaksiyona girerek THM'ye sebep olabilen, (havuzu besleyen şebeke suyundan ve yüzücülerden kaynaklanan) organik maddelerin, havuz sirkülasyonu içerisinde mümkün olduğunca giderilebilmesi amacıyla aktif karbon vb adsorban maddelerin kullanılması,

Havuz kullanıcıları ve çalışanlarının, uçucu yapıdaki bağlı klor ile THM bileşiklerinden en az şekilde etkilenmesini sağlamak amacıyla iyi bir havalandırma sisteminin temin edilmesi,

Havuz suyundaki THM'nin bir kısmı havuzu besleyen şebeke suyundan kaynaklandığı için, içme ve kullanma suyu sağlanmasında yetkili kurumlara, suyun

arıtımı ve dağıtımının yapıldığı içme suyu arıtma tesislerinde, ön dezenfeksiyon aşamasında klor yerine ozon gibi THM riski oluşturmayacak dezenfektanların kullanılmasının önerilmesi,

Tez çalışmasında THM ve TOK giderimi konusunda olumlu sonuçlar verdiği görülen, aktif karbon ve zeolitle entegre edilmiş modifiye UF sisteminin alternatif bir arıtma sistemi olarak düşünülebileceği,

Yüzücülerin havuz suyunu kullanmadan önce duş almalarının sağlanması,

Filtre geri yıkama sürelerinin havuz suyunun organik kirlilik oranına göre ayarlanması,

Kullanılan filtre kumunun değişim zamanına dikkat edilmesi,

Acil durumlarda sistemin birkaç saatte tamamen boşaltılıp taze suyla yenilenmesine olanak sağlayan tahliye ve doldurma yapısının eklenmesi,

İki seans arasındaki sürenin, sistemdeki suyun kendisini yenilemesine imkân verecek şekilde tutulması,

Klor seviyelerinin standart değerlerin üzerine çıktığı ya da şok klorlama sonucu en üst seviyeye çıktığı durumlarda, klor değerinin yeniden sınır seviyelerine çekilmesine kadar geçen sürenin minimum seviyede tutulması,

Sudaki dezenfeksiyon yan ürününü en aza indirecek alternatif dezenfeksiyon yöntemlerinin, diğer avantaj ve dezavantajları da düşünülerek değerlendirilmesi,

THM'ler, her ne kadar Sağlık Bakanlığı'nın yüzme havuzları için belirlediği periyodik olarak bakılması gereken parametreler arasında sayılmasa da söz konusu parametrenin havuzlarda standart bir prosedür olarak belirli aralıklarla kontrol edilmesinin sağlanması,

Dezenfeksiyon yan ürünlerinin gösterge parametresi olarak kabul edilen TOK (toplam organik karbon) değerinin periyodik aralıklarla kontrol edilmesinin sağlanması gibi tedbirlerin tüm yüzme havuzlarında dezenfeksiyon yan ürünleri ve THM oluşumunun kontrol altına alınabilmesi adına tavsiye edilebileceği değerlendirilmiştir.

## KAYNAKLAR

- Akçay, M. U., 2008, Ozon Ve Biyofiltrasyonla Doğal Organik Madde Giderimi Ve Dezenfeksiyon Yan Ürünleri Oluşum Potansiyellerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi Eskişehir*.
- Akgiray, Ö., 2003, Su ve atık sularının arıtılmasında klor kullanımı, *tesisat*, 7-8.
- Akın, İ., 2010, Membran Prosesler Kullanarak İçme suyundan Arseniğin Giderilmesi, Yüksek Lisans, *Selçuk Üniversitesi, Konya*.
- Aksu, H., 2019, Türkiye’de içmesuyu arıtımında membran uygulamaları ve uygulama aşamasında karşılaşılan işletme problemleri, Ankara.
- Aksungur, N. ve Firidin, Ş., 2008, Su kaynaklarının kullanımı ve sürdürülebilirlik, *dergipark*, 8 (2), 9.
- Al-Fatlawi, A. H. ve Abd Al-Hussein, N. A., 2004, THMs Reduction in water treatment plant by using chlorine dioxied as disinfectant, *Mesopotamia Environmental* 1(1), 18-29.
- Allgeier, S. ve 2005, Membrane filtration guidance manual, Office of Water, *United States Environmental Protection Agency*, p. 1.
- Alpat, Ş., ty, Haloform Tepkimesi, [http://hilminamli.baun.edu.tr/lisanssem/ls2008-2009/Sukru\\_ALPAT\\_Haloform\\_Tepkimesi.pdf](http://hilminamli.baun.edu.tr/lisanssem/ls2008-2009/Sukru_ALPAT_Haloform_Tepkimesi.pdf)
- [15 Ocak].
- AMTA, 2014, Industrial Applications of Membranes, [https://www.amtaorg.com/wp-content/uploads/20\\_Industrial\\_Applications\\_of\\_Membranes.pdf](https://www.amtaorg.com/wp-content/uploads/20_Industrial_Applications_of_Membranes.pdf) [15 Aralık 2022].
- Anonim, ty-a, sudaki hidrojen bağları, <https://tr.khanacademy.org/science/biology/water-acids-and-bases/hydrogen-bonding-in-water/a/hydrogen-bonding-in-water> [15 Aralık 2022].
- Anonim, ty-b, Ozon, UV, tuzdan klor üreten sistemlerin dezavantajları, <http://www.iyoncel.com/ozon-uv-tuzdan-klor-ureten-sistemlerin-dezavantajlari/> [15 Aralık 2022].
- Ardalı, Y., ty, İleri arıtım prosesleri, [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiGy-FtZD8AhWeS\\_EDHYBmCpYQFnoECAkQAQ&url=https%3A%2F%2Fayyys.omu.edu.tr%2Fstorage%2Fapp%2Fpublic%2Fyuksel.ardali%2F110641%2F%25C4%25B0LER%25C4%25B0%2520ARITIM%2520PROSESLER%25C4%25B0-SATEK.pdf&usg=AOvVaw3N4LqPVEsfD4JeuShJh5At](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiGy-FtZD8AhWeS_EDHYBmCpYQFnoECAkQAQ&url=https%3A%2F%2Fayyys.omu.edu.tr%2Fstorage%2Fapp%2Fpublic%2Fyuksel.ardali%2F110641%2F%25C4%25B0LER%25C4%25B0%2520ARITIM%2520PROSESLER%25C4%25B0-SATEK.pdf&usg=AOvVaw3N4LqPVEsfD4JeuShJh5At) [15 Aralık 2022].
- Arguello, M. D., Chrisweii, C. D., Fritz, J. S., Kissinger, L. D., Lee, K. W., Richard, J. J. ve Svec, H. J., 1979, Trihalomethanes in water: a Report on the occurrence, seasonal variation in concentrations, and precursors of trihalomethanes, *Awwa*, 71 (9), 504-508.
- Aslan, M., 2016, Membran Teknolojileri, *Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Türkiye Çevre Koruma Vakfı*, p. 4, 57-67, 217-218.
- Ata, U. H., 2003, Antibakteriyel Klinoptilolit, Yüksek Lisans, *İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul*.
- Atalay, H., 2016, İstanbul’daki ham su kaynaklarında dezenfeksiyon yan ürünlerinden haloasetik asitlerin oluşum potansiyellerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul*.



- Avşar, E., 2005, Yüzeysel sulardaki doğal organik maddelerin kimyasal karakterizasyonu ve THM oluşumuna etkileri, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul.
- Babcock, D. ve Singer, P. C., 1979, Chlorination and coagulation of humic and fulvic acids, *Journal of American Water Works Association*, 71, 149-152.
- Baker, R., 2012, Membrane Technology and Applications, *Wiley and Sons Ltd.*, p.
- Baker, R. W. ve 2004, Membrane technology and applications, *Wiley&Sons Ltd*, p. 1-14.
- Bayar, S., 2017, Batık membran biyoreaktörlerde (mbr) eş zamanlı elektrofiltrasyon ve elektrokoagülasyon uygulamaları ile membran kirlenmesinin azaltılması, Doktora, *Gebze Teknik Üniversitesi* Gebze.
- Bayraktar, H. ve Aras, H., 2018, Su molekülü, canlılığın hayatı özü:su, *Yenidoğan*, 56-57.
- Baytak, D., İnal, F., Sofuoğlu, A. ve Sofuoğlu, S. C., 2007, İzmir İçme Suyundaki Dezenfeksiyon Yan ürünü derişimlerinin mevsimsel ve kaynağa göre değişkenliği, 7. *Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi*, İzmir, 224.
- Bekaroğlu, Ş. Ş., Yiğit, N. Ö., Ateş, N. ve Köseoğlu, T., 2018, Kapalı yüzme havuzlarında klorlu organik yan ürünlerin oluşumu ve kontrolü, *Isparta*, 1-30.
- Bekkum, H. V., Flanigen, E. M., Jansen, J. C. ve 1991, Introduction to zeolite science, *Amsterdam*, Elsevier, p.
- Bhatnagar, A. ve Sillanpaa, M., 2017, Removal of natural organic matter (NOM) and its constituents from water by adsorption — A review, *Chemosphere*, 166, 497-510.
- Bish, D. L. ve Ming, D. W., 2001, Natural zeolites: occurrence, properties, applications, *State University*, Blacksburg, Virginia.
- Bodzek, M., Konieczny, K. ve Kwiecinska, A., 2012, Application of membrane processes in drinking water treatment—state of art, *desalination and water treatment*, 35 (13), 164-184.
- Bond, T., Goslan, E. H., Parsons, S. A. ve Jefferson, B., 2011, Treatment of disinfection by- product precursors, *Environmental Technology*, 32, 1-25.
- Bożym, M., Kłosok-Bazan, I. ve Wzorek, M., 2018, Analyzing THM concentrations in selected indoor swimming pool waters in the opole region, *Pol. J. Environ. Stud.*, 27 (3), 1001-1008.
- Breck, D. W., 1974, Zeolite Molecular Sieves, *New York*, Wiley, p.
- Bruyninckx, H., 2018, Clean water is life, health, food, leisure, energy, <https://www.eea.europa.eu/signals/signals-2018-content-list/articles/clean-water-is-life-health>: [15 Aralık 2022].
- Burkut, E., 2006, Klor ile dezenfeksiyonu iyi tanıyalım, [https://www.suvecevre.com/yayin/525/klor-ile-dezenfeksiyonu-iyi-taniyalim\\_15601.html](https://www.suvecevre.com/yayin/525/klor-ile-dezenfeksiyonu-iyi-taniyalim_15601.html) [15 Aralık 2022].
- Can, A. O., 2019, Manyetik nano parçacık katkılı kompozit membranların eldesi ve özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi* Konya.
- Canaud, B. J. M. ve Mion, C. M., 1996, Water treatment for contemporary hemodialysis için replacement of renal function by dialysis, *Netherlands*, Kluwer, p. 231-235.
- Cedergren, M. I., Selbing, A. J., Löfman, O. ve Bengt, A. J., 2002, Chlorination by products and nitrate in drinking water and risk for congenital cardiac defects, *Environmental Research*, 89 (2), 124-130.
- Chowdhury, S., Al-Hooshani, K. ve Karanfil, T., 2014, Disinfection by products in swimming pool: occurrences, implications and future needs, *Water Research*, 53, 68-109.

- Costet, N., Villanueva, C. M., Jaakkola, J. J. K., Kogevinas, M., Cantor, K. P., King, W. D., Lynch, C. F., Nieuwenhuijsen, M. J. ve Cordier, S., 2011, Water disinfection by-products and bladder cancer: Is there a European specificity? A pooled and meta-analysis of European case-control studies, *Occup. Environ. Med*, 68, 379-385.
- Cothorn, C. R., Coniglio, W. A. ve Marcus, W., 1986, Estimating risk to human health, *Environ. Sci. Technol*, 20 (2), 111-116.
- Craun, C. F., 1986, Epidemiologic considerations for evaluating associations between disinfection of drinking water and cancer in humans, *Water chlorination: environmental impact and health effects*, 5 (1), 229-236.
- Çapar, G. ve Yetiş, Ü., 2001, Ankara içme suyunda aktif karbon ile doğal organik madde ve trihalometan giderimi, *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 25, 527-535.
- Çelenli, A., 1993, Bigadiç bölgesi (Balıkesir) zeolitlerinin jeokimyası ve iyon değiştirme özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İ.T.Ü.* , İstanbul.
- Darby, J., Heath, M., Jacangalo, J., Loge, F., Swaim, P. ve Tchobanoglous, G., 1995, Comparison of UV irradiation to chlorination: guidance for achieving optimal uv performance (disinfection), *Water Environment Research Foundation*, 44.
- Dodds, L., King, W., Woolcott, C. ve Pole, J., 1999, Trihalomethanes in public water supplies and adverse birth outcomes, *Epidemiology*, 10 (3), 233-241.
- Dudziak, M., Wyczarska-Kokot, J., Łaskawiec, E. ve Stolarczyk, A., 2019, Application of Ultrafiltration in a Swimming Pool Water Treatment System, *Membranes*, 9 (3), 44.
- Evlampidou, I., Ribera, L. F., Rueda, D. R., Lavedan, E. G., Costet, N., Pearce, N., Vineis, P., Jaakkola, J. J. K., Delloye, F., Makris, K. C., Stephanou, E. G., Kargaki, S., Kozisek, F., Sigsgaard, T., Hansen, B., Schullehner, J., Nahkur, R., Galey, C., Zwiener, C., Vargha, M., Righi, E., Aggazzotti, G., Kalnina, G., Grazuleviciene, R., Polanska, K., Gubkova, K., Bitenc, K., Goslan, E. H., Kogevinas, M. ve Villanueva, C. M., 2022, Trihalomethanes in drinking water and bladder cancer burden in the european union *Environmental Health Perspectives* 130 (8), 1.
- Fawell, J. K., 1999, Disinfection by-products in drinking water, current issues, *Cambridge, UK*, Woodhead Publishing, p. 157-164.
- Florentin, A., Hautemanie`re, A. ve Hartemann, P., 2011, Health effects of disinfection by-products in chlorinated swimming pools, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 214, 461-469.
- Garcia, M. V., Weir, P., Frogbrook, Z., Graham, D. W. ve Werner, D., 2016, Climatic, geographic and operational determinants of trihalomethanes (THMs) in drinking water systems, *scientific reports*, 6, 17-25.
- Güllüoğlu, S., 2010, Havuz çocuk ve dezenfeksiyon, disinfection of swimming pool water, *Bodrum*, p. 17-18.
- Gümüş, D. ve Akbal, F., 2013, Removal of natural organic matter in drinking waters and prevention of trihalomethanes formation, *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 31, 529-553.
- Gündağ, Ö., 2017, İçme sularında hümik asit giderim verimlerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Namık Kemal Üniversitesi Tekirdağ*.
- Gürses, F. P., 2006, Klorlanmış içme ve havuz sularında sıvı-sıvı ekstraksiyonu ve iyon kromatografisi ile karsinojenik dezenfeksiyon yan ürünlerinin tayini, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Adana*.

- Hach, 2017, THM Plus yöntemini kullanarak içme suyunda aktif klor dezenfeksiyon yan ürünleri (DBP'ler) kontrolü  
[https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwixaHsII38AhXkRvEDHc\\_zBLwQFnoECAsQAQ&url=https%3A%2F%2Ftr.hach.com%2Fasset-get.download.jsa%3Fid%3D50617269003&usg=AOvVaw2CxX3IyXdlsqgnj4B-BsKL](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwixaHsII38AhXkRvEDHc_zBLwQFnoECAsQAQ&url=https%3A%2F%2Ftr.hach.com%2Fasset-get.download.jsa%3Fid%3D50617269003&usg=AOvVaw2CxX3IyXdlsqgnj4B-BsKL): [15 Aralık 2022].
- Has, M., 2019, Sakarya ili şebeke suyunda thm miktarının belirlenmesi ve risk analizi, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Sakarya*.
- Imran Ali, S., Arnold, M., Liesner, F. ve Fesselet, J. F., 2019, Characterization of Disinfection By-Products levels at an emergency surface water treatment plant in a refugee settlement in Northern Uganda, *Water*, 11 (4), 1-12.
- İnge, ty, Operator's Manual,  
[https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjI16f2-JL8AhV4XvEDHXqTCEoQFnoECCUQAQ&url=http%3A%2F%2Fdb-service.ir%2Fwp-content%2Fuploads%2F2019%2F10%2FOperators-Manual-2.32016-12-E-inge.pdf&usg=AOvVaw0pMQiFEXxZh\\_8ssUm2xFLE](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjI16f2-JL8AhV4XvEDHXqTCEoQFnoECCUQAQ&url=http%3A%2F%2Fdb-service.ir%2Fwp-content%2Fuploads%2F2019%2F10%2FOperators-Manual-2.32016-12-E-inge.pdf&usg=AOvVaw0pMQiFEXxZh_8ssUm2xFLE): [15 Aralık 2022].
- Jaguaribe, E. F., Medeiros, L. L., Barreto, M. C. S. ve Araujo, L. P., 2004, The performance of activated carbons from sugarcane bagasse, babassu, and coconut shells in removing residual chlorine, *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 22 (01), 41-47.
- John, S., Young, J. R. ve Singer, P. C., 1979, Chloroform Formation in Public Water Supplies: A Case Study, *American Water Works Association*, 71 (2), 87-95.
- Jones, R. R., Weyer, P. J., Dellavalle, C. T., Robien, K., Cantor, K. P., Krasner, S., Beane Freeman, L. E. ve Ward, M. H., 2017, Ingested nitrate, disinfection by-products, and kidney cancer risk in older women, *Epidemiology*, 28, 703-711.
- Judd, S. J. ve Black, S. H., 2000, Disinfection by-products formation in swimming pool waters: a simple mass balance, *Water Research*, 34 (5), 1611-1619.
- Kanan, A. ve Karanfil, T., 2011, Formation of disinfection byproducts in indoor swimming pool water: the contribution from filling water natural organic matter and swimmer body fluids, *Water Research*, 45, 926-932.
- Karali, İ., 2013, İstanbul yüzeysel sularının düşük basınçlı uf membranları ile arıtılması, *Yıldız Teknik Üniversitesi İstanbul*.
- Kavanaugh, M. C., Sell, A. R., Cromer, J. ve R.R., T., 1980, An Emprical knetic model of trihalomethane formation: application to meet the proposed THM standard, . *Journal of American Water Works Association*, 81 (8), 41-53.
- Kogevinas, M., 2011, Epidemiological approaches in the investigation of environmental causes of cancer: The case of dioxins and water disinfection by-products, *Environ. Health*, 10, 3.
- Koltsova, E., 2019, Prediction of THMs formation potential in disinfection of drinking water, Yüksek Lisans Tezi, *Norwegian University*.
- Koyuncu, İ., Hasar, H., H, K., Uyak, V., Öztürk, İ., Köseoğlu-İmer, D. Y., Taşkan, E., Erşahin, M. E., Özgün, H., Eyvaz, M., Dereli, R. K., Mutlu, B. K., Zeytuncu, B., Güçlü, S., Türken, T., Şengür-Taşdemir, R., Kaya, R., Paşaoğlu, M. E., Yüksekdağ, A., Ağtaş, M., Ürper, M., Özbey-Ünal, B., Salmanlı, Ö. M., Korkut, S. ve Yazaga, A., 2018, Su/atıksu arıtılması ve geri kazanılmasında membran teknolojileri ve uygulamaları Cilt 1, *Ankara, yıldızlar ofset mat yay rek iç dış tic ltd şti*, p. 64-65.

- Krasner, S. W. ve Amy, G. L., 1995, Jar test Evaluations of Enhanced Coagulation, *Awwa*, 87 (10), 93-107.
- Krasner, S. W., Weinberg, H. S., Richardson, S. D., Pastor, S. J., Chinn, R., Scimenti, M. J., Onstad, G. D. ve Thruston, A. D., 2006, Occurrence of a new generation of disinfection byproducts, *Environ. Sci. Technol*, 40 (23), 7175-7185.
- Laîné, J. M., Hagstrom, J. P., Clark, M. M. ve Mallevalle, J., 1989, Effects of Ultrafiltration Membrane Composition, *American Water Works Association*, 81 (11), 61-67.
- Lee, S. C., Guo, H., Lam, S. M. J. ve Lau, S. L. A., 2004, Multipathway risk assessment on disinfection by-products of drinking water in Hong Kong, *Environmental Research*, 94, 47-56.
- Lord, T., 2004, Determination of trihalomethanes (THMs), trihaloacetic acids (THAAs) and other disinfection by-products (DBPs) in drinking water, 23.
- Luks-Betlej, K. ve Bodzek, D., 2002, Occurrence of trihalomethanes, particularly those containing bromide, in Polish drinking waters, *Polish J. Environ. Studies*, 11 (3), 255-260.
- Magee, V., 1956, *Proc. Soc. Water Treat*, 5 (17).
- Matilainen, A., 2007, Removal of the natural organic matter in the different stages of the drinking water treatment process, Doktora Tezi, *Tampere University of Technology*.
- Morrow, C. M. ve Minear, R. A., 1987, Regression models to link raw water characteristics to trihalometane concentrations in drinking water, *Water Research*, 21 (1), 41-48.
- Mulder, M., 1996, Basic principles of membrane technology, Kluwer Academic Publishers, p.
- Muna, Y. A., 2008, Desing criteria of an activated carbon bed for dechlorination of water'iragi, *Journal Of Chemical And Petroleum Engineering*, 9 (4), 41-49.
- Munir, A., 2006, Dead end membrane filtration, *Lab feasibility studies in Environmental Engineering* 3.
- Naharcı, B., 2007, Ters osmoz yöntemi ile içme suyu elde edilmesinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi*, Bursa.
- Najm, I. N., Patania, N. L., Jacangelo, J. G. ve Krasner, S. W., 1994, Evaluating surrogates for disinfection by-products, *American Water Works Association*, 86, 98-106.
- Oğur, R., Tekbaş, Ö. F. ve Hasde, M., 2004, Klorlama rehberi, İçme ve kullanma sularının klorlanması, Ankara, <http://www.bilginlerdanismanlik.com/documents/MixRiteDozajPompasi-KlorlamaRehberi.pdf>: [15 Aralık 2022].
- Ormancı, T., 2011, İçmesuyunda Fülvik Asit Varlığında Fe(II) ve Mn(II)'nin Batık Membran Sistemi İle Giderilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi*, İstanbul.
- Oruç, F., 2018, İçme suyunda trihalometanlar (thm) ve diğer uçucu organik bileşiklerin (uob) birlikte analizi, Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi* Bursa.
- Özdemir, K. ve Toröz, İ., 2010, İçme suyu kaynaklarında klorlama yan ürünlerinin diferansiyel UV spektroskopi yöntemi ile izlenmesi, *İTÜ dergisi*, 20 (2), 59-69.
- Özden, S., 2002, İçme sularında trihalometan oluşumu ve organik maddelerin giderilmesi, *İstanbul Teknik Üniversitesi* İstanbul.
- Özdoğan, N. ve Özdemir, K., 2019, İçme suyu kaynaklarındaki trihalometan oluşumunun incelenmesi, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 17, 776-785.

- Özkal, C. B., 2010, Batık membran sistemleri ile içme suyu arıtımına nanopartiküllerin etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul.
- Peng, D., Saravia, F., Abbt-Braun, G. ve Horn, H., 2016, Occurrence and simulation of trihalomethanes in swimming pool water: A simple prediction method based on DOC and mass balance, *Water Research*, 88, 634-642.
- Pereira, M. A., Daniel, F. B. ve Lin, E. L. C., 1984, Relationship between the metabolism of haloacetonitriles and chloroform and their carcinogenic activity, *Water chlorination: enviromental impact and health effects*, 5 (1), 229-236.
- Puri, B. R., 1970, Chemistry and physics of carbon, Marcel-Dekker, p. 2.
- Pürçüklü, S., Demirgöz, D., Şahin, E. ve Taralt, A., 2003, Aktif karbon yüzeyinin kimyasal süreçlerle modifikasyonunun incelenmesi.
- Rahman, M. B., Cowie, C., Driscoll, T., Summerhayes, R. J., Armstrong, B. K. ve Clements, M. S., 2014, Colon and rectal cancer incidence and water trihalomethane concentrations in New South Wales, *BMC Cancer*, 14 (445).
- Rautenbach, R., 1997, membranverfahren grundlagen der modul und anlagenauslegung, *Springer*, 3, 540-615.
- Ravanchi, M. T., Kaghazchi, T. ve Kargari, A., 2009, Application of membrane separation processes in petrochemical industry: a review, *Desalination* 235 (1-3), 199-244.
- Richard, H., 1983, Zeolites in Industrial Minerals and Rocks *Metalurgical and Petroleum Engineers Inc*, 2.
- Richardson, S. D., Plewa, M. J., E.D., W., Schoeny, R. ve Demarini, D. M., 2007, Occurrence, genotoxicity, and carcinogenicity of regulated and emerging disinfection by- products in drinking water: a review and roadmap for research, *Mutation Research - Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis (MRGTEM)*, 636 (1-3), 178-242.
- Rook, J. J. ve Evans, S., 1979, Removal of trihalomethane precursors from surface waters using weak base resins, *American Water Works Association*, 71 (9), 520-524.
- SAĞLIK, B., 2011, Yüzme havuzlarının tabii olacağı sağlık esasları hakkında yönetmelik, <https://www.mevzuat.gov.tr/File/GeneratePdf?mevzuatNo=14777&mevzuatTur=KurumVeKurulusYonnetmeliği&mevzuatTertip=5>: [15 Aralık 2022].
- Saleh, T. A. ve Gupta, V. K., 2016, Membrane classification and membrane operations, nanomaterial and polymer membranes, Elsevier, p. 55-79.
- Sargen, M., 2019, Biological roles of water: Why is water necessary for life?, <https://sitn.hms.harvard.edu/uncategorized/2019/biological-roles-of-water-why-is-water-necessary-for-life/> [15 Aralık 2022].
- Serajuddin, Aktarul Islam, C., Mehedi, H. ve Ehteshamul, H., 2022, effect of ammonia on the formation of THMs in drinking water chlorination-a case study. *Proceedings of the 6th International Conference on Civil Engineering for Sustainable Development*. Khulna Bangladesh: 1-7.
- Singer, P. C., 1994, Control of Disinfection by Product in Drinking water, *Environmental Engineering*, 120 (4), 727-741.
- Sirkocioğlu, A., 1993, Bigadiç klinoptilolit rezervinin amonyum değişimi ve karbon dioksit adsorpsiyonu yardımıyla karakterizasyonu, Doktora Tezi, *İ.T.Ü.* , İstanbul.
- Son, H. J. ve Jung, C. W., 2008, The relation between disinfection by- products formation and characteristics of natural organic matter in raw water, *in Korean Journal of Chemical Engineering* 25 (4), 714-720.



- Soylu, Ş., 2011, İçme sularındaki doğal organik maddelerin fiziksel karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Denizli*.
- Steenderen, R. A., Pieterse, M. J., Bourne, D. ve 1991, THM formation in potable waters with reference to related variables and health data bases, *Water*, 17 (4).
- Summers, R. S., Benz, M. A., Shukairy, H. M. ve Cummings, L., 1993, Effects of separation processes on the formation of brominated THMs. research and thecnology, *American Water Works Association*, 85 (1), 88-95.
- Sünbül, B., 2014, Sapanca gölünde dezenfeksiyon yan ürünlerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Sakarya*.
- Şengül, A. B., 2014, İçmesuyundaki siyanotoksinlerin aktif karbon ile zenginleştirilmiş koagülasyon-batık membran sistemi ile arıtımı, Doktora Tezi, *İstanbul Üniversitesi, İstanbul*.
- Şengül, B., 2009, İçme suyu dezenfeksiyonunda yan ürün oluşturmeyen metotların verimliliği, *Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Bursa*.
- Taşkın, N., 2016, Suların dezenfeksiyonunda kullanılan yükseltgen cinsine bağlı olarak oluşan istenmeyen yan ürünlerin uygun yöntemlerle giderilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Hitit Üniversitesi, Çorum*.
- Tıncılıç, N., 1993, Serbest klor ve toplam organik karbon derişimlerinin içme sularında trihalometanların (THM) oluşuma etkilerinin incelenmesi ve Samsun ve Ondokuz Mayıs Üniversitesi içme sularında THM'lerin gaz kromatografisi ile tayini, Doktora Tezi, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Samsun*.
- Tokmak, B., 1999, Existing situation in Ankara water distribution system in terms of total trihalomethanes and organic matter, Yüksek Lisans Tezi, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara*.
- Trussell, R. R. ve M.D., U., 1978, The Formation of Trihalomethanes, *American Water Works Association*, 70 (11), 604-612.
- Uludağ, Ü., 2009, Yüzme havuzlarında hijyen ve filtrasyon, [http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya\\_ekler/80cec73141b683e\\_ek.pdf?dergi=941](http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/80cec73141b683e_ek.pdf?dergi=941) [15 Aralık 2022].
- Urano, K., Wada, H. ve Takemasa, T., 1983, Empirical rate equation for trihalomethane formation with chlorination of humic substances in water, *Water*, 17 (12), 1797-1802.
- USEPA, 2006, National primary drinking water regulations: stage 2 disinfection and disinfection byproducts rule, p.
- Ünal, S., 2015, Nihai kullanım amacına göre uygulanan membran prosesler ve diğer su arıtma yöntemleri ile içme ve proses suyu üretiminin maliyet analizi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi İstanbul*.
- Villanueva, C. M., Cantor, K. P., Cordier, S., Jaakkola, J. J. K., King, W. D., Lynch, C. F., Porru, S. ve Kogevinas, M., 2004, Disinfection byproducts and bladder cancer: A pooled analysis, *Epidemiology*, 15, 357-367.
- Villanueva, C. M., Cordier, S., Font-Ribera, L., Salas, L. A., Levallois, P. ve 2015, Overview of disinfection by-products and associated health effects, *Curr Environ Health*, 2 (1), 107-115.
- Villanueva, C. M., Gracia-Lavedan, E., Bosetti, C., Righi, E., Molina, A. J., Martín, V., Boldo, E., Aragonés, N., Perez-Gomez, B., Pollan, M., Acebo, I. G., Altzibar, J. M., Zabala, A. J., Ardanaz, E., Peiró, R., Tardón, A., Chirlaque, M. D., Tavani, A., Polesel, J., Serraino, D., Pisa, F., Castaño-Vinyals, G., Espinosa, A., Espejo-Herrera, N., Palau, M., Moreno, V., La Vecchia, C., Aggazzotti, G., Nieuwenhuijsen, M. ve Kogevinas, M., 2016, Colorectal Cancer and Long-Term

- Exposure to Trihalomethanes in Drinking Water: A Multicenter Case–Control Study in Spain and Italy, *Environ. Health Perspect.*, 125, 56-65.
- Waller, K., Swan, S. H., De Lorenzo, G. ve Hopkins, B., 1998, Trihalomethanes in drinking water and spontotion abortion, *Epidemiology*, 9 (2), 134-140.
- Waniek, A., Bodzek, M. ve Konieczny, K., 2001, Trihalomethane removal from water using membrane processes, *Pol. J. Environ. Stud.*, 11 (2), 171-178.
- Water Guidelines, N. S. W., 2008, Water Pre-Treatment, For Dialysis In-Centre and Satellite, *E.U.*, p. 21-22.
- Watson, K., Farré, M. J. ve Knight, N., 2016, Comparing a silver-impregnated activated carbon with an unmodified activated carbon for disinfection by-product minimisation and precursor removal, *Science of the Total Environment*, 542, 672-684.
- Weisel, C. P., Richardson, S. D., Nemery, B., Aggazzotti, G., Baraldi, E., Blatchley, E. R., Blount, B. C., Carlsen, K. H., Eggleston, P. A., Frimmel, F. H., Goodman, M., Gordon, G., Grinshpun, S. A., Heederik, D., Kogevinas, M., LaKind, J. S., Nieuwenhuijsen, M. J., Piper, F. C. ve Sattar, S. A., 2009, Childhood asthma and environmental exposures at swimming pools: state of the science and research recommendations, *Environmental Health Perspectives*, 117 (4), 500-507.
- Yang, X., Yu, H., Wang, R. ve Fane, A. G., 2012, Analysis of the effect of turbulence promoters in hollow fiber membrane distillation modules by computational fluid dynamic (CFD) simulations, *Journal of Membrane Science*, 415-416, 758–769.
- Yılmaz, N., 2017, Modifiye aktif karbonla klor gideriminin sürekli sistemde incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Firat Üniversitesi Elazığ*.
- YTÜ, ty, Kimyasal temel işlemler laboratuvarı, klorla dezenfeksiyon [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwj746DAy6b8AhWFSPEdHc9RB3oQFnoECBAQAQ&url=https%3A%2F%2Favesis.yildiz.edu.tr%2Fresume%2Fdownloadfile%2Ffilhan%3Fkey%3D200aa746-7f3a-4a20-b90c-131c151d9d4c&usq=AOvVaw2BEVP8iuR\\_VdORIQKy09Gz](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwj746DAy6b8AhWFSPEdHc9RB3oQFnoECBAQAQ&url=https%3A%2F%2Favesis.yildiz.edu.tr%2Fresume%2Fdownloadfile%2Ffilhan%3Fkey%3D200aa746-7f3a-4a20-b90c-131c151d9d4c&usq=AOvVaw2BEVP8iuR_VdORIQKy09Gz) [15 Aralık 2022].
- Zainudin, F. M., Abu Hasan, H. ve Sheikh Abdullah, S. R., 2016, Characterization of Trihalomethanes (THMs) levels in surface water, domestic and industrial wastewater, *Journal of Environmental Science and Technology*, 9 (3), 268-276.
- Zhidomirov, G. M., Pelmenschikov, A. G., Paukshtis, E. A. ve Edisherashvili, M. O., 1992, On the lowenstein rule and mechanism of zeolite dealumination, *Journal of Physical Chemistry*, 96 (17).
- Zoroğlu, A., 2019, Kapalı yüzme havuzu sularının dezenfeksiyonunda kullanılan venturi ozon sisteminin toksikolojik açıdan incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Medipol Üniversitesi İstanbul*.

## EKLER

### EK-1 Yüzme Havuzlarının Tabi Olacağı Sağlık Esasları Hakkında Yönetmelik

Tarih: 06.03.2011 Sayı: 27866

Değiştirilme Tarihi: 15.12.2011 Sayı: 28143

#### Kimyasal Özellikler

Parametre	Analiz Aralığı	Birim	Sınır Değerler		
			En az	En çok	
Siyanürik asit <sup>(1)</sup>	Ayda bir defa	mg/L	-	100	
Biguanid <sup>2</sup>			2	30	
Hidrojen Peroksit <sup>(2)</sup>			40	80	
pH <sup>(2)</sup>			6,5	7,8	
Amonyum <sup>(2)</sup>				0,5	
Nitrit				0,5	
Nitrat				50	
Bakır				1	
Alüminyum				0,2	
Toplam alkalinite <sup>(2)</sup> (CaCO <sub>3</sub> )				30	180
Bağlı klor <sup>(3)</sup>					0,2
Kapalı yüzme havuzu suyu serbest klor <sup>(3)</sup>				1	1,5
Açık yüzme havuzu suyu serbest klor <sup>3</sup>				1	3
Serbest klor <sup>(4)</sup>				0,3	0,6

<sup>(1)</sup> Suyun dezenfeksiyonunda stabilizatörlü klor bileşiklerinin kullanıldığı havuzlarda bakılır.

<sup>(2)</sup> Suyun dezenfeksiyonunda “hidrojen peroksit + biguanide” kullanılması halinde hidrojen peroksit 40-80 aralığında olmalıdır. Bu durumda pH 8,2 , amonyum 1,5 ve toplam alkalinite 220 düzeyine kadar uygun kabul edilir. Bu havuzlarda serbest klor ölçümü yapılmaz, hidrojen peroksit ve biguanide ölçümü yapılır.

<sup>(3)</sup> Suyun dezenfeksiyonunda klor ve klorlu bileşiklerin kullanıldığı havuzlarda bakılır.

<sup>(4)</sup> Suyun dezenfeksiyonu için ozon, UV, klordioksit ve diğer dezenfeksiyon sistemlerinin kullanıldığı havuzlarda aranacak düzeydir.

NOT: Hidrojen peroksit, biguanide ve serbest klor ölçümleri havuz mahallinde yapılır.

#### Fiziksel Özellikler



Parametre	Analiz Aralığı	İstenen Değer		
Renk	Ayda bir defa	Pt/Co olarak 10 birim		
Bulanıklık	Ayda bir defa	SiO <sub>2</sub> veya Jakson birimi olarak 5 birim ya da NTU veya FNU olarak 0,5 birim		
Sıcaklık <sup>(1)</sup>	Ayda bir defa		<b>En az</b>	<b>En çok</b>
		<b>Kapalı havuz</b>	26 °C	28 °C
		<b>Açık havuz</b>	26 °C	38 °C

(1) Sıcaklık ölçümü havuz mahallinde yapılır.

#### Mikrobiyolojik Özellikler

Parametre	Önerilen Metot <sup>(1)</sup>	Analiz Sıklığı <sup>(2)</sup>	Sınır Değerler
Toplam koloni (jerm) sayısı	TS EN ISO 6222	Ayda bir defa	200 CFU <sup>(3)</sup> /mL
Toplam koliform bakteri	TS EN ISO 9308-1		0/100 mL
Escherichia coli (E. Coli)	TS EN ISO 9308-1		0/100 mL
Pseudomonas aeruginosa	TS EN ISO 16266		0/100 mL

<sup>(1)</sup> Laboratuvarlar önerilen metot dışında, referanslarını göstermek şartı ile başka bir metodu da kullanabilir.

<sup>(2)</sup> Yüzme havuzu kullanımının yoğun olduğu dönemlerde analiz sıklığı ayda iki defa olmalıdır.

<sup>(3)</sup> CFU Colony Forming Unit (koloni oluşturan birim).

## İşletmeci Tarafından Yapılacak Analizler

Parametre		Analiz Aralığı	Birim	Sınır Değerler		
				En az	En çok	
Sıcaklık	Kapalı Yüzme Havuzu	İlki havuzun kullanımından önce ve izleyen 4'er saatlik aralıklarla olmak üzere günde en az 3 defa	°C	26	28	
	Açık Yüzme Havuzu			26	38	
Biguanid <sup>1</sup>			mg/L	2	30	
Hidrojen Peroksit <sup>(1)</sup>			mg/L	40	80	
pH <sup>(1)</sup>	Tatlı ve Deniz suyu			6,5	7,8	
	Açık ve kapalı yüzme havuzları					
Serbest klor <sup>(2)</sup>	Kapalı yüzme havuzu			mg/L	1	1,5
	Açık yüzme havuzu			mg/L	1	3
Serbest klor <sup>(3)</sup>	Açık ve kapalı yüzme havuzları			mg/L	0,3	0,6
Siyanürik asit <sup>(4)</sup>			Her gün	mg/L	--	100
Toplam alkalinite <sup>(1)</sup> (CaCO <sub>3</sub> )		Haftada bir defa	mg/L	30	180	
Renk		Her gün	Pt/Co olarak 10 birim			
Bulanıklık		Her gün	SiO <sub>2</sub> veya Jakson birimi olarak 5 birim ya da NTU veya FNU olarak 0,5 birim			

(1) Suyun dezenfeksiyonunda hidrojen peroksit+biguanide kullanılması halinde hidrojen peroksit 40-80 aralığında olmalıdır. Bu durumda pH 8,2 ve toplam alkalinite 220 düzeyine kadar uygun kabul edilir. Bu havuzlarda serbest klor ölçümü yapılmaz, hidrojen peroksit ve biguanide ölçümü yapılır.

(2) Suyun dezenfeksiyonunda klor ve klorlu bileşiklerin kullanıldığı havuzlarda bakılır.

(3) Suyun dezenfeksiyonu için ozon, UV, klordioksit ve diğer dezenfeksiyon sistemlerinin kullanıldığı havuzlarda bakılır.

(4) Suyun dezenfeksiyonunda stabilizatörlü klor bileşiklerinin kullanıldığı havuzlarda aranacak düzeydir.

NOT: Hidrojen peroksit, biguanide ve serbest klor ölçümleri havuz mahallinde yapılır.

## EK-2 İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik

Tarih: 17.02.2015 Sayı: 25730

Değişiklik Tarihi: 07.03.2013 Sayı: 28580

### Parametreler ve Sınır Değerleri

İçme-Kullanma Suları için:

a) Mikrobiyolojik Parametreler

Parametre	Parametrik değer (sayı/100 mL)
Escherichia coli (E. coli)	0
Enterokok	0
Koliform bakteri	0

İçme Suları için:

Parametre	Parametrik değer
E. coli	0/250 mL
Enterokok	0/250 mL
Koliform bakteri	0/250 mL
P. aeruginosa	0/250 mL
Anaerob sporlu sülfid redükte eden bakteriler	0/50mL
Patojen Stafilokoklar	0/100mL
Kaynaktan alınan numunede maksimum: 22 °C'de koloni sayımı 37 °C'de koloni sayımı	20/mL 5/mL
İmlâhanede ambalajlandıktan sonra alınan numunede; 22 °C'de koloni sayımı 37 °C'de koloni sayımı	100/mL 20/mL
Piyasada satılan ambalajlı sulardan alınan numunede maksimum: 22 °C'de koloni sayımı 37 °C'de koloni sayımı	İmlâhane için belirlenen sınır değerinin on katını geçemez.
Parazitler	0/5 L

Kaynak Suları için

Parametre	Parametrik değer
E. coli	0/250 mL
Enterokok	0/250 mL
Koliform bakteri	0/250 mL
P. aeruginosa	0/250 mL
Anaerob sporlu sülfite redükte eden bakteri	0/50 mL
Patojen Stafilokok	0/100 mL
Kaynaktan alınan numunede maksimum: 22 °C'de koloni sayımı 37 °C'de koloni sayımı	20/mL 5/mL
İmlâhanede ambalajlandıktan sonra; 22 °C'de koloni sayımı 37 °C'de koloni sayımı	100/mL 20/mL
Piyasada satılan ambalajlı sulardan alınan numunede maksimum: 22 °C'de koloni sayımı 37 °C'de koloni sayımı	İmlâhane için belirlenen sınır değerinin on katını geçemez.
Parazitler	0/5 L

b) Kimyasal Parametreler

Parametre	Parametrik değer	irim	Notlar
Akrilamid	0.1	g/L	Not 1 ve 2
Antimon	5.0	g/L	
Arsenik	10	g/L	
Benzen	1.0	g/L	
Benzo (a) piren	0,010	g/L	
Bor	1	g/L	
Bromat	10	g/L	
Kadmiyum	5,0	g/L	
Krom	50	g/L	
Bakır	2	g/L	Not 3
Siyanür	50	g/L	

1,2-dikloreten	3,0	g/L	
Epikloridin	0,10	g/L	Not 1 ve 2
Florür	1,5	g/L	
Kurşun	10 (içme- kullanma suları için 31 Aralık 2012 tarihine kadar 25 $\mu\text{g/L}$ olarak uygulanır)	g/L	Not 3 ve 4
Cıva	1,0	g/L	Not 2
Nikel	20	g/L	Not 3
Nitrat	50	g/L	Not 5
Nitrit	0,50	g/L	Not 5
Pestisitler	0,10	g/L	Not 2, 6 ve 7
Toplam pestisitler	0,50	g/L	Not 2, 6 ve 8
Polisiklik aromatik hidrokarbonlar	0,10	g/L	Belli bileşiklerin konsantrasyonları toplamı; Not 9
Selenyum	10	g/L	Not 2
Tetrakloreten ve trikloreten	10	g/L	Belli parametrelerin konsantrasyonları toplamı
Trihalometanlar- toplam	100 (içme- kullanma suları için 31 Aralık 2012 tarihine kadar 150 $\mu\text{g/L}$ olarak uygulanır)	g/L	Belli bileşiklerin konsantrasyonları toplamı; Not 10
Vinil Klorür	0,50	g/L	Not 1 ve 2

Not 1: Bu parametrik değer; suyla temas eden polimerden kaynaklanan sudaki monomer kalıntılarının konsantrasyonunu ifade eder.

Not 2: İzinli kaynak ve içme suyu tesislerinde bu parametrelerin yılda bir kez izlenmesi yeterlidir.

Not 3: Bu değer yeterli örnekleme metoduyla musluktan alınan içme-kullanma sularından alınacak su numunelerine ve yine tüketici tarafından

içilen, haftalık ortalama değeri temsil eden içme-kullanma amaçlı sulardan alınacak su numunelerine uygulanır. Örnekleme ve izleme metotları, 10 uncu maddenin dördüncü fıkrasına uyumlu olarak uygulanır. Kurum, bu parametrelere ilişkin, insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiye neden olabilecek izleme ve analiz sonuçları değerlerinin en üst düzeye ulaştığı dönemleri dikkate alır.

Not 4: Kurşun parametresi için belirtilen değerlere uyum sağlamak amacı ile verilen süre boyunca insani tüketim amaçlı suların kurşun miktarını mümkün olduğu kadar azaltmak için bütün tedbirlerin alınması sağlanır.

Bu değere uyumun sağlanmasına yönelik önlemlerin alınması sırasında Kurum, içilebilir nitelikteki sularda kurşun miktarının en yüksek olduğu yerlere öncelik vermelidirler.

Not 5: Kurum, kullanılmış su arıtma işleminde  $[nitrat]/50 + [nitrit]/3 \leq 1$  formülünü esas alınır ve nitrat (NO<sub>3</sub>) ve nitrit (NO<sub>2</sub>) miktarları için mg/L birimi kullanılır. Nitritler için de 0,10 mg/L değerine uyulur.

Not 6: Pestisitler;  
Organik insektisitler (böcek öldürücüler),  
Organik herbisitler (bitki öldürücüler),  
Organik fungusitler (mantar öldürücüler),  
Organik nematositler (solucan, kurt öldürücüler),  
Organik akarisitler,  
Organik algisitler (yosun öldürücüler),  
Organik rodentisitler (kemirici öldürücüler),  
Organik slimisitler (balçık, salgı öldürücüler) ile,  
bunlarla bağlantılı ürünleri (diğerlerinin yanı sıra, büyüme kontrol edicileri) ve bunların ilgili metabolitlerini, parçalanma yada reaksiyon ürünlerini ifade eder.

Söz konusu pestisitlerden suda bulunması muhtemel pestisitler izlenir.

Not 7: Parametrik değer her bir pestisit için uygulanır. Aldrin, dieldrin, heptaklor ve heptaklor epoksit için parametrik değer 0,030 µg/L'dir.

Not 8: "Toplam pestisitler" izleme süreci içinde tespit edilen ve sayılan her bir pestisitinin toplamını ifade eder.

Not 9: Belirtilen bileşikler şunlardır:

Benzo (b) floranten,  
Benzo (k) floranten,  
Benzo (ghi) perilen,  
İndeno (1,2,3- cd) piren

Not 10: Belirtilen bileşikler şunlardır: kloroform, bromoform, dibromoklorometan, bromodiklorometan.

9 uncu maddenin (c) bendinde belirtildiği üzere, mümkün olan hallerde, dezenfeksiyondan ödün vermemek kaydıyla trihalometanlar için Ek-1 (b)'de belirtilen parametre değerinden daha düşük bir değer elde etmek hedeflenir.

c) Gösterge Parametreleri

Parametre	Parametrik Değer	Birim	Notlar
Alüminyum	200	µg/L	
Amonyum	0,50	mg/L	
Klorür	250	mg/L	Not 1
C. perfringens (sporlular dahil)	0	sayı/100 mL	Not 2
Renk	Tüketicilerce kabul edilebilir ve herhangi bir anormal değişim yok		
İletkenlik	2500	20 °C'de µS/cm <sup>-1</sup>	Not 1
pH	≤ 9,5-6,5≤	pH birimleri	Not 1 ve 3
Demir	200	µg/L	
Mangan	50	µg/L	
Koku	Tüketicilerce kabul edilebilir ve herhangi bir anormal değişim yok		
Oksitlenebilirlik	5,0	mg/L O <sub>2</sub>	Not 4
Sülfat	250	mg/L	Not 1
Sodyum	200	mg/L	
Tat	Tüketicilerce kabul edilebilir ve herhangi bir anormal değişim yok		
22 °C'de koloni sayımı	Anormal değişim yok		Not 11
Koliform bakteri	0	Sayı/100 mL	Not 5
Toplam Organik Karbon (TOC)	Anormal değişim yok		Not 6
Bulanıklık	Tüketicilerce kabul edilebilir ve herhangi bir anormal değişim yok		Not 7

d) Radyoaktivite

Parametre	Parametrik değer	Birim	Notlar
Tritiyum	100	Bq/L	Not 8 ve 10
Toplam gösterge dozu	0,10	mSv/yıl	Not 9 ve 10

Not 1: Su aşındırıcı olmamalıdır.

Not 2: Suyun yüzeyden alınmaması ya da yüzey suyundan etkilenmemesi halinde bu parametrenin ölçülmesi gerekmez. Suyun parametrik değere uymaması halinde, Kurumun tedarik edilen suda patojen mikroorganizmalar (örneğin cryptosporidium) bulunmasından kaynaklanan insan sağlığına yönelik potansiyel bir tehlike olmadığını belirlemek için araştırması gerekir.

Not 3: Şişelere ya da kaplara konulan sular için minimum pH değeri 4.5

olarak belirlenebilir.

- Not 4: TOC parametresinin analiz edilmesi halinde bu parametrenin ölçülmesi gerekli değildir.
- Not 5: Şişelere ya da kaplara konulan su için birim sayı/250 mL'dir.
- Not 6: Günde 10.000 m<sup>3</sup>'ten az su verilmesinde bu parametrenin ölçülmesine gerek yoktur.
- Not 7: Yüzeysel suyun arıtılması durumunda Kurum, arıtılmış sudaki bulanıklığın 1.0 NTU (Nephelometrik bulanıklık ünitesi) değerini aşmamasına dikkat eder.
- Not 8: İzleme aralıkları daha sonra Ek-2'de belirlenir.
- Not 9: Trityum, potasyum -40, radon ve radonun bozunmasından oluşan ürünler hariç; izleme frekansları, izleme metotları ve izleme noktaları için en doğru yerler daha sonra Ek-2'de belirtilecektir.
- Not 10: 1- İzleme frekansları hakkında Not 8'de öngörülen teklifler ve Ek-2'de yer alacak olan ve Not 9'da belirtilen izleme frekansları, izleme metotları ve izleme noktaları için en uygun yerler, Birliğin bu konudaki düzenlemeleri dikkate alınarak belirlenecektir.
- 2- Kurum, diğer izlemelere dayalı olarak, hesaplanan toplam gösterge dozu veya trityum düzeylerinin parametrik değerinin çok altında olduğunu belirlemesi halinde, içme-kullanma suyunu trityum veya toplam gösterge dozunu hesaplanmasına esas teşkil eden radyoaktivite açısından izlemeyebilir. Böyle bir durumda bu kararın gerekçelerini, diğer izlemelerden elde edilen sonuçlarla birlikte, Komisyona bildirir.

Not 11: İçme-kullanma suyunda bir yıl boyunca alınan numunede tespit edilen koloni sayısının ortalamasının on katını ifade eder. Kaynak ve içme sularında ise suyun kaynağında veya imlahanesinde tespit edilen koloni sayısının on katını ifade eder.

## İZLEME

### Analizi Yapılacak Parametreler

#### 1) Kontrol için izleme:

Kontrol izlemesinin amacı; insani kullanım amaçlı suyun bu Yönetmelikteki parametrik değerlere uyup uymadığını belirlemek amacıyla, tüketime verilen suyun organoleptik ve mikrobiyolojik kalitesi ve aynı zamanda içme-kullanma suyunda arıtım yapılması durumunda, bu arıtımın (özellikle dezenfeksiyon) etkili olup olmadığı hakkında düzenli bilgi sağlamaktır.

Kontrol izlemesinde Tablo A'da yer alan parametrelerin mutlaka dikkate alınması gereklidir. Kurum bu listeye uygun gördüğü diğer parametreleri de ekleyebilir.



Tablo A. Kontrol izleme parametreleri.

İçme-Kullanma Suları	İçme Suları	Kaynak Suları*	Notlar
Renk	Renk	Renk	
Bulanıklık	Bulanıklık	Bulanıklık	
Koku	Koku	Koku	
Tat	Tat	Tat	
İletkenlik	İletkenlik	İletkenlik	
Hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH)	Hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH)	Hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH)	
Nitrit			Not 3
Amonyum	Amonyum	Amonyum	
Alüminyum	Alüminyum		Not 1
Demir	Demir		Not 1
C. perfringens (Sporlar dâhil)	C. perfringens (Sporlar dâhil)	C. perfringens (Sporlar dâhil)	Not 2
E. coli	E. coli	E. coli	
Koliform bakteri	Koliform bakteri	Koliform bakteri	
	P. aeruginosa	P. aeruginosa	
	22 ve 37 °C'de koloni sayımı	22 ve 37 °C'de koloni sayımı	

\*Kaynak sularında, demir, kükürt, mangan ve arseniğin ozonla zenginleştirilmiş hava kullanılarak ayrıştırılması halinde, ozon, bromat ve bromoform parametrelerine, aktif alüminyum kullanılarak florürün ayrıştırılması halinde florür parametresine de bakılır.

- Not 1: Yalnızca arıtımda kullanıldığında gereklidir. Diğer tüm durumlarda, parametreler denetleme izlemesine dâhil edilir.
- Not 2: Suyun sadece yüzey suyundan alınması ya da yüzey suyundan etkilenmesi halinde gereklidir. Diğer tüm durumlarda, parametreler denetleme izlemesine dâhil edilir.
- Not 3: Dezenfeksiyon yöntemi olarak kloraminasyon kullanıldığında gereklidir. Diğer tüm durumlarda, parametreler denetleme izlemesine dâhil edilir.

## 2) Denetleme İzlemesi:

Denetleme izlemesinin amacı; bu Yönetmelikteki bütün parametrik değerlere uyulup uyulmadığını belirlemek için gerekli verileri temin etmektir. Sular Ek-1 (d)'deki 8, 9 ve 10 uncu notlara tabi olan radyoaktivite ile ilgili parametreler ve herhangi bir parametrenin belirli bir süre boyunca, parametrik değerinin ihlaline yol açacak miktarlarda bulunmayacağını yetkili otoritelerce belirlendiği parametreler dışında, Ek-1 de belirtilen parametreler ile 7 nci maddenin ikinci fıkrası uyarınca belirlenen bütün parametreler için denetleme izlemesine tabi tutulur.

Tablo B1. Bir dağıtım şebekesinden ya da bir tankerden sağlanan ya da gıda üretiminde kullanılan içme-kullanma amaçlı su için minimum numune alma ve analiz sıklığı.

Bir su şebekesi bölgesi içinde her gün dağıtılan ya da üretilen suyun miktarı (m <sup>3</sup> ) (Not 1 ve 2)	Her yıl için kontrol izlemesi sayısı (Not 3, 4 ve 5)	Her yıl için denetleme izlemesi sayısı (Not 3 ve 5)
≤100	2	1
(>100)-(<=1000)	4	1
(>1000)-(<=10 000)	4 1000 m <sup>3</sup> üzerindeki her 1000 m <sup>3</sup> /gün için 3 kontrol izlemesi daha ilave edilecektir.	1 1000 m <sup>3</sup> üzerindeki her 3300 m <sup>3</sup> /gün için 1 denetim izlemesi daha ilave edilecektir.
(>10000)-(<=100000)	31 10.000 m <sup>3</sup> üzerindeki her 1000 m <sup>3</sup> /gün için 3 kontrol izlemesi daha ilave edilecektir.	3 10.000 m <sup>3</sup> üzerindeki her 10 000 m <sup>3</sup> /gün için 1 denetim izlemesi daha ilave edilecektir.
>100.000	301 100.000 m <sup>3</sup> üzerindeki her 1000 m <sup>3</sup> /gün için 3 kontrol izlemesi daha ilave edilecektir.	10 100.000 m <sup>3</sup> üzerindeki her 25 000 m <sup>3</sup> /gün için 1 denetim izlemesi daha ilave edilecektir.

- Not 1: Bir su şebekesi bölgesi içme-kullanma suyunun bir ya da daha fazla kaynaktan geldiği ve içindeki su kalitesinin yaklaşık olarak aynı olduğu coğrafi bölgedir.
- Not 2: Miktarlar bir takvim yılı üzerinden ortalama olarak hesaplanır. Müdürlük minimum sıklığı, 200 L/gün/kişi olarak varsaymak kaydıyla, su miktarı yerine bir su şebekesi bölgesindeki nüfusun sayısını kullanarak belirleyebilir.
- Not 3: Aralıklı olarak kısa dönem su verilmesi halinde tankerlerle dağıtılan suyun izleme sıklığı Müdürlük tarafından kararlaştırılır.
- Not 4: Ek-1'de yer alan parametreler için, Müdürlük tabloda belirtilen numune ve parametrelerin sayısını aşağıdaki hususlara göre gözden geçirebilir.  
(a) En azından birbirini izleyen iki yıl boyunca alınan numunelerin analiz sonuçları değişmez veya Ek-1'de belirtilen limitlerden belirgin biçimde daha iyi ise,  
(b) Suyun kalitesinin bozulmasına neden olacak olası bir faktör yoksa azaltılabilir. Bu sayı tabloda belirtilen numune sayısının %50'sinden az olamaz. Bu konuda Kurum bilgilendirilir.
- Not 5: Numunelerin sayısı zaman ve yer bakımından mümkün olduğu kadar eşit dağılmış olmalıdır.

Tablo B2. Satış amacıyla ambalajlanan suların minimum numune alma ve analiz sıklıkları

Her bir gün için satışa sunulmak üzere şişede ya da kaptaki üretilen suyun miktarı (m <sup>3</sup> ) (Hacimler, takvim yılına göre alınmış ortalama değerlerdir).	Her yıl için kontrol izlemesi sayısı	Her yıl için denetim izlemesi sayısı
≤10	1	1
(>10)-(≤60)	12	1
>60	12 60 m <sup>3</sup> üzerindeki her 5 m <sup>3</sup> /gün için 1 kontrol izlemesi daha ilave edilir.	1 60 m <sup>3</sup> üzerindeki her 100 m <sup>3</sup> /gün için 1 denetim izlemesi daha ilave edilir.

#### PARAMETRELERİN ANALİZ ÖZELLİKLERİ

Kurum, numunelerin analizinde akredite olmuş ve analitik kontrol sistemine sahip, denetim yetkileri yetkili kuruluşlarca onaylanmış bağımsız kişi veya kurumlarca belirli aralıklarla denetlenen laboratuvarlar arasında, Kurumca yetki verilecek laboratuvarları tercih eder.

##### 1) Analiz Metotlarının Belirleneceği Parametreler

Aşağıda belirtilen mikrobiyolojik parametrelere, yine aşağıda belirtilen analiz metodu uygulanabileceği gibi 10 uncu maddenin yedinci, sekizinci ve dokuzuncu fıkralarındaki hükümlere uyulması kaydıyla alternatif metotlar da kullanılabilir.

Koliform bakteri ve E. coli (TS EN ISO 9308-1)

Enterokok (TS EN ISO 7899-2)

P. aeruginosa (TS EN ISO 16266)

Total jerm sayımı 22 °C ve 37 °C’de koloni sayımı (TS EN ISO 6222)

C. perfringens (sporlar dahil)

Analizi yapılacak su, membran filtrasyona tabi tutularak m-CP agara ekim yapılır 44±1°C’de anaerobik ortamda 21±1 saatlik inkübasyona tabi tutulur. İnkübasyon sonrası 20-30 saniye süresince amonyum hidroksit buharına tutularak pembe ya da kırmızıya dönen opak sarı koloniler sayılır.

m-CP agar'ın bileşiminde aşağıdaki maddeler bulunur:

Triptoz	30 g
Maya ekstresi	20 g
Sakkaroz	5 g
L-sistin hidroklorür	1 g
MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0,1 g
Brom kresol purple	40 mg
Agar	15 g
Distile su	1000mL

Çözülerek hazırlanan kimyasal maddelerin pH'sı 7.6'ya ayarlanır, otoklavda 121 °C'de 15 dakika sterilize edilir ve orta sıcaklığa gelince aşağıdaki maddeler ilave edilir.

D-siloserin	400 mg
Polimiksin B sülfat	25 mg
İndoksil-D-β-glukosit (İlave edilmeden önce 8 mL steril suda çözülür)	60 mg
Filtre- sterilize edilmiş %0,5 fenolfitalein difosfat solüsyonu	20 mL
Filtre- sterilize edilmiş %4,5 FeCl <sub>3</sub> .6H <sub>2</sub> O	2 mL

## 2) Performans Karakteristiklerinin Belirlendiği Parametreler

Aşağıdaki parametreler için, kullanılan analiz metodunun belirli performans karakteristikleri en azından parametrik değere eş konsantrasyonları doğru, hassas ve belirlenen tespit limiti dâhilinde ölçülebilmelidir. Kullanılan analiz metodunun hassasiyeti ne olursa olsun sonuç en azından Ek-1 (b) ve (c)'de değerlendirilen parametre değerleri için aynı desimal sayısı kullanılarak ifade edilmelidir.

Parametreler	Parametrik değerin doğruluk yüzdesi (Not 1)	Parametrik değerin hassasiyet yüzdesi (Not 2)	Parametrik değerin deteksiyon limiti (Not 3)	Şartlar	Notlar
Akrilamid				Ürün belirleme ile kontrol edilecektir.	
Alüminyum	10	10	10		
Amonyum	10	10	10		
Antimon	25	25	25		
Arsenik	10	10	10		
Benzoprın	25	25	25		
Benzen	25	25	25		
Bor	10	10	10		
Bromat	25	25	25		
Kadmiyum	10	10	10		
Klorür	10	10	10		
Krom	10	10	10		
İletkenlik	10	10	10		
Bakır	10	10	10		
Siyanür	10	10	10		Not 4
1,2 dikloreten	25	25	10		
Epikloridin				Ürün belirleme ile kontrol edilecektir.	
Florür	10	10	10		
Demir	10	10	10		
Kurşun	10	10	10		
Mangan	10	10	10		
Cıva	20	10	20		
Nikel	10	10	10		
Nitrat	10	10	10		
Nitrit	10	10	10		
Oksitlenebilirlik	25	25	10		Not 5
Pestisitler	25	25	25		Not 6
Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar	25	25	25		Not 7
Selenyum	10	10	10		
Sodyum	10	10	10		
Sülfat	10	10	10		
Tetrakloreten	25	25	10		Not 8
Triklöreten	25	25	10		Not 8
Trihalometanlar-toplam	25	25	10		Not 7
Vinil klorür				Ürün belirleme ile kontrol edilecektir.	

Analiz metodu için kullanılacak hidrojen iyon konsantrasyonu için belirlenmiş performans karakteristikleri, parametre değeri 0,2 pH'ya eşit doğrulukta olmalı ve 0,2 pH hassasiyete eşit konsantrasyonları ölçülebilmelidir.

Not 1 Doğruluk, sistematik hatayı ve çok sayıda tekrarlanan ölçümlerin (\*): ana değeri ve gerçek değeri arasındaki farkı ifade eder.

Not 2 Hassasiyet, rast gele hatayı ve genellikle (grup içinde ve gruplar (\*): arasında) ortalama etrafında dağılan sonuçların standart sapmasını ifade eder.

(\*): Bu terimler daha ayrıntılı olarak ISO 5725'te tanımlanmıştır.

Not 3: Tespit limiti; düşük parametre konsantrasyonu içeren doğal bir numunenin grup içinde standart sapmasının üç katını ya da Sabit numuneden grup içinde üç kez rölatif standart sapmayı ifade eder.

Not 4: Metot tüm formlarında toplam siyanürü tayin eder.

Not 5: Oksitlendirme, asidik şartlarda, permanganat kullanılarak 100 °C'de 10 dakikada gerçekleştirilmelidir.

Not 6: Performans karakterleri her bir pestisit için ayrı uygulanır.

Not 7: Performans karakteristikleri Ek-1'deki parametre değerinin %25'i olarak belirlenmiş her bir maddeye uygulanır.

Not 8: Performans karakteristikleri Ek-1'deki parametre değerinin %50'si olarak belirlenmiş her bir maddeye uygulanır.

### 3) Analiz Metodunun Belirlenmediği Parametreler

Renk

Koku

Tat

Toplam organik karbon

Bulanıklık (Not 1)

Not 1: Analiz metodunda kullanılacak arıtılmış yüzey suyunun bulanıklığını izlemek için belirlenmiş performans karakteristikleri, en azından, parametre değerini %25 doğrulukta, %25 hassasiyetle ve %25 tespit limitine eşit yoğunlukta ölçülebilmelidir.