

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BATIK MEMBRAN SİSTEMLERİ İLE İÇME SUYU ARITIMI:  
MEMBRAN TIKANIKLIĞINI AZALTMAK İÇİN FARKLI  
YÖNTEMLERİN KULLANILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Çevre Müh. Selin TAŞIYICI**

**Anabilim Dalı : Çevre Mühendisliği**

**Programı : Çevre Bilimleri ve Mühendisliği**

**OCAK 2009**



**BATIK MEMBRAN SİSTEMLERİ İLE İÇME SUYU ARITIMI:  
MEMBRAN TIKANIKLIĞINI AZALTMAK İÇİN FARKLI  
YÖNTEMLERİN KULLANILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Çevre Müh. Selin TAŞIYICI**  
**(501071724)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 6 Ocak 2009**  
**Tezin Savunulduğu Tarih : 22 Ocak 2009**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. İsmail KOYUNCU**  
**Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Fatoş GERMİRLİ BABUNA (İ.T.Ü)**  
**Prof. Dr. Bülent KESKİNLER (G.Y.T.E)**

**OCAK 2009**



## ÖNSÖZ

Bilgi ve tecrübeleri ile bana yol gösteren ve tezimin her aşamasında değerli görüşlerinden yararlandığım Sayın hocam Doç. Dr. İsmail KOYUNCU'ya,

Çalışmamda gösterdikleri ilgi ve desteklerinden dolayı, Araş. Gör. Esra ERDİM ve Araş. Gör. Dr. Elif SOYER'e,

Laboratuvarla ilgili her türlü sorunumda danıştığım ve bana büyük yardımları olan Sayın Nursen Eldem ve diğer laboratuvar çalışanlarına,

Özveri, destek ve sabırlarından dolayı sevgili aileme,

Çok teşekkür ederim.

Aralık, 2008

Selin TAŞIYICI

Çevre Mühendisi



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÇİZELGE LİSTESİ .....</b>	<b>ix</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ .....</b>	<b>xi</b>
<b>ÖZET .....</b>	<b>xxiii</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>xxv</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Çalışmanın Anlam ve Önemi .....	1
1.2 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı .....	2
<b>2. LİTERATÜR ÖZETİ .....</b>	<b>5</b>
2.1 Membran Sistemler .....	5
2.2 İçme Suyu Arıtımında Membran Sistemler .....	11
2.3 İçme Suyu Arıtımında Batık Membran Sistemleri.....	17
2.4 Membran Tıkanmasının Azaltılması İçin Yöntemler.....	18
2.4.1 Toz aktif karbon .....	23
2.4.2 UV/TiO <sub>2</sub> .....	27
2.4.3 Koagülant ilavesi.....	30
2.4.4 Ses dalgası.....	32
2.4.5 İyon değiştirici reçineler .....	35
2.4.6 Zeolit .....	36
<b>3. MATERYAL VE METOT .....</b>	<b>39</b>
3.1 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Sentetik ve Doğal Ham su Özellikleri.....	39
3.1.1 Sentetik ham su özellikleri .....	39
3.1.2 Doğal ham su özellikleri .....	41
3.2 Membran Özellikleri .....	41
3.2.1 Mikrofiltrasyon (MF) membran özellikleri.....	41
3.2.1.1 MF membranların hazırlanması .....	42
3.2.2 Ultrafiltrasyon (UF) membran özellikleri .....	43
3.3 Membranların Temizlemesi .....	44
3.3.1 MF membranlarının temizlemesi .....	44
3.3.2 UF membranların temizlemesi.....	49
3.4 Batık Membran Sistemi Deney Düzeneği .....	50
3.5 Modifiye Zeolitin Hazırlanması .....	54
3.6 İzoterm Çalışmaları .....	55
3.7 UV/TiO <sub>2</sub> Düzeneği .....	58
3.8 Toz Aktif Karbon .....	59
3.9 Ses Dalgası Düzeneği .....	60
3.10 Deneysel Düzeneğin Çalışma Prensipleri .....	61
<b>4. DENEYSEL ÇALIŞMALARIN SONUÇLARI .....</b>	<b>63</b>
4.1 Zeolit Çalışmaları .....	63
4.1.1 Sentetik suda MF membranı kullanılarak yürütülen çalışmalar .....	63
4.1.1.1 Zeolit ilavesinin olmadığı durum .....	63
4.1.1.2 Modifiye edilmemiş zeolit ve modifiye edilmiş zeolit durumlarının karşılaştırılması .....	65

4.1.1.3 Modifiye zeolit konsantrasyonunun etkisi .....	67
4.1.1.4 Organik madde konsantrasyonunun etkisi .....	71
4.1.1.5 Bulanıklık konsantrasyonunun etkisi .....	76
4.1.2 Sentetik suda UF membranı kullanılarak yürütülen çalışmalar .....	80
4.1.2.1 Zeolitsiz ve modifiye edilmiş zeolit durumlarının karşılaştırılması ..	80
4.1.2.2 Organik madde konsantrasyonunun etkisi .....	82
4.1.2.3 Bulanıklık konsantrasyonunun etkisi .....	86
4.1.3 Göl suyunda MF membranı kullanılarak yürütülen çalışmalar .....	90
4.1.3.1 Modifiye zeolit konsantrasyonunun etkisi .....	91
4.1.3.2 FeCl <sub>3</sub> 'ün ilave edilmesi ve edilmemesi durumlarının karşılaştırılması .....	95
4.1.4 Göl suyunda UF membranı kullanılarak yürütülen çalışmalar .....	97
4.1.4.1 Modifiye zeolit konsantrasyonunun etkisi .....	97
4.1.4.2 FeCl <sub>3</sub> 'ün ilave edilmesi ve edilmemesi durumlarının karşılaştırılması .....	101
4.2 UV/TiO <sub>2</sub> Çalışmaları .....	103
4.2.1 Sentetik suda MF membranı kullanılarak yürütülen çalışmalar .....	103
4.2.1.1 Sadece UV ışını, sadece TiO <sub>2</sub> ve UV ışını ile TiO <sub>2</sub> 'nin birlikte kullanılmasının (UV/TiO <sub>2</sub> ) etkisi .....	103
4.2.1.2 TiO <sub>2</sub> konsantrasyonunun etkisi (UV ışınının sürekli olması durumunda) TiO <sub>2</sub> ilavesinin olmadığı durum .....	108
4.2.1.3 UV ışını çalışma süresinin etkisi .....	113
4.2.1.4 Organik madde konsantrasyonunun etkisi (UV ışınının sürekli çalışması ve 0,5 g/l TiO <sub>2</sub> olması durumunda) .....	117
4.2.1.5 UV/TiO <sub>2</sub> ile zeolitin birlikte kullanılmasının etkisi .....	121
4.2.2 Sentetik suda UF membranı kullanılarak yürütülen çalışmalar .....	126
4.2.2.1 UV ışınının sürekli ve kesikli çalışması durumlarının karşılaştırılması .....	126
4.2.3 Göl suyunda MF membranı kullanılarak yürütülen çalışmalar .....	128
4.2.3.1 UV/TiO <sub>2</sub> etkisinin karşılaştırılması .....	129
4.2.4 Göl suyunda UF membranı kullanılarak yürütülen çalışmalar .....	131
4.2.4.1 UV/TiO <sub>2</sub> etkisinin karşılaştırılması .....	131
4.3 Toz Aktif Karbon (PAC) Çalışmaları .....	134
4.3.1 Sentetik suda MF membranı kullanılarak yürütülen çalışmalar .....	134
4.3.1.1 PAC konsantrasyonunun etkisi .....	134
4.3.2 Sentetik suda UF membranı kullanılarak yürütülen çalışmalar .....	138
4.3.2.1 PAC konsantrasyonunun etkisi .....	138
4.3.3 Göl suyunda MF membranı kullanılarak yürütülen çalışmalar .....	142
4.3.3.1 PAC konsantrasyonunun etkisi .....	142
4.3.4 Göl suyunda UF membranı kullanılarak yürütülen çalışmalar .....	146
4.3.4.1 PAC konsantrasyonunun etkisi .....	146
4.4 Ses Dalgası Çalışmaları .....	150
4.4.1 Sentetik suda MF membranı kullanılarak yürütülen çalışmalar .....	150
4.4.1.1 Ses dalgası kullanımının karşılaştırılması .....	151
4.4.2 Göl suyu ile MF membranı kullanılarak yürütülen çalışmalar .....	153
4.4.2.1 Ses dalgası süresinin etkisi .....	153
4.4.2.2 Farklı bölmelerde ses dalgası kullanımının karşılaştırılması .....	157
4.5 Membran Tıkanıklığını Azaltmak İçin Kullanılan Farklı Yöntemlerin Karşılaştırmaları .....	160



4.5.1 Sentetik su kullanılarak yürütülen MF Membran deneylerinde membran tıkanıklığını azaltmak için kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması .....	160
4.5.2 Göl suyu kullanılarak yürütülen MF membran deneylerinde membran tıkanıklığını azaltmak için kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması .....	161
4.5.3 Sentetik su kullanılarak yürütülen UF membran deneylerinde membran tıkanıklığını azaltmak için kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması .....	163
4.5.4 Göl suyu kullanılarak yürütülen UF membran deneylerinde membran tıkanıklığını azaltmak için kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması .....	164
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>167</b>
5.1 Zeolit Çalışmaları .....	167
5.2 UV/TiO <sub>2</sub> Çalışmaları .....	168
5.3 Toz Aktif Karbon Çalışmaları .....	169
5.4 Ses Dalgası Çalışmaları .....	169
5.5 Farklı Yöntemlerin Karşılaştırılması .....	170
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>173</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>179</b>



## ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
<b>Çizelge 2.1</b> : Sürücü kuvvetlerine göre membranlar.....	7
<b>Çizelge 2.2</b> : Mikrofiltrasyon ve Ultrafiltrasyon membranlarının genel özellikleri.....	8
<b>Çizelge 2.3</b> : Membran tıkanma tipleri (Singh, 2006).....	19
<b>Çizelge 3.1</b> : Sentetik ham su özelliği.....	39
<b>Çizelge 3.2</b> : Sentetik ham su karakterizasyonu.....	40
<b>Çizelge 3.3</b> : Ham su karakterizasyonu.....	41
<b>Çizelge 3.4</b> : Membran teknik özellikleri.....	42
<b>Çizelge 4.1</b> : Reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV <sub>254</sub> absorban değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri (sentetik su, MF, zeolit konsantrasyonu etkisi).....	70
<b>Çizelge 4.2</b> : Reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV <sub>254</sub> absorban değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri (sentetik su, MF, zeolit: 10 g/l, organik madde konsantrasyonu etkisi).....	74
<b>Çizelge 4.3</b> : Reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV <sub>254</sub> absorban değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri (sentetik su, MF, zeolit: 10 g/l, bulanıklık etkisi).....	79
<b>Çizelge 4.4</b> : Reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV <sub>254</sub> absorban değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri (sentetik su, UF, zeolit: 10 g/l, organik madde konsantrasyonu etkisi).....	85
<b>Çizelge 4.5</b> : Reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV <sub>254</sub> absorban değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri (sentetik su, UF, zeolit: 10 g/l, bulanıklık etkisi).....	89
<b>Çizelge 4.6</b> : Reaktördeki TOK konsantrasyonları ve UV <sub>254</sub> absorban değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri (göl suyu, MF, zeolit konsantrasyonu etkisi).....	93
<b>Çizelge 4.7</b> : Reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV <sub>254</sub> absorban değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri (göl suyu, UF, zeolit konsantrasyonu etkisi).....	100
<b>Çizelge 4.8</b> : Reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV <sub>254</sub> absorban değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri (sentetik su, MF, UV/TiO <sub>2</sub> etkisi).....	107
<b>Çizelge 4.9</b> : Reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV <sub>254</sub> absorban değerlerinin artış yüzdeleri (sentetik su, MF, UV (sürekli), TiO <sub>2</sub> konsantrasyonu etkisi).....	112
<b>Çizelge 4.10</b> : Reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV <sub>254</sub> absorban değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri (sentetik su, MF, UV ışını süresinin etkisi).....	116
<b>Çizelge 4.11</b> : Reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV <sub>254</sub> absorban değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri (sentetik su, MF, UV/TiO <sub>2</sub> ve zeolit etkisi).....	125

<b>Çizelge 4.12</b>	: Reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV <sub>254</sub> absorbans değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri (sentetik su, MF, PAC konsantrasyonu etkisi).....	137
<b>Çizelge 4.13</b>	: Reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV <sub>254</sub> absorbans değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri (sentetik su, UF, PAC konsantrasyonu etkisi).....	141
<b>Çizelge 4.14</b>	: Reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV <sub>254</sub> absorbans değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri (göl suyu, MF, PAC konsantrasyonu etkisi).....	145
<b>Çizelge 4.15</b>	: Reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV <sub>254</sub> absorbans değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri (göl suyu, UF, PAC konsantrasyonu etkisi).....	149
<b>Çizelge 4.16</b>	: Reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV <sub>254</sub> absorbans değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri (göl suyu, UF, PAC konsantrasyonu etkisi).....	151
<b>Çizelge 4.17</b>	: Reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV <sub>254</sub> absorbans değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri (göl suyu, MF, ses dalgası süresinin etkisi).....	156

## ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1	: Membran ayırma prosesi..... 6
Şekil 2.2	: Membran proseslere ait filtrasyon spektrumu..... 8
Şekil 2.3	: UF membran tıkanması..... 10
Şekil 2.4	: Konvansiyonel (a) ve membran sistemine (b) dayanan içme suyu arıtma sistemleri..... 13
Şekil 2.5	: Membranların su arıtımında kullanılış biçimleri..... 17
Şekil 3.1	: Deiyonize su üretim sistemi..... 40
Şekil 3.2	: Deneysel çalışmalarda kullanılan MF membranının ticari şekli..... 41
Şekil 3.3	: Deneysel çalışmalar için hazırlanmış MF membranlar..... 42
Şekil 3.4	: Temizleme işlemi öncesinde MF membranların görünümü... 44
Şekil 3.5	: Baz çözeltisi içinde MF membranların görünümü..... 44
Şekil 3.6	: Temizleme işlemi sonrasında MF membranların görünümü... 44
Şekil 3.7	: Temiz MF membrana ait SEM resimleri..... 45
Şekil 3.8	: Kirlenmiş MF membrana ait SEM resimleri..... 46
Şekil 3.9	: Temizlenmiş bir MF membrana ait SEM resimleri..... 47
Şekil 3.10	: MF membranların FT-IR ile analizi..... 48
Şekil 3.11	: MF membrana ait akı deney sonuçları..... 48
Şekil 3.12	: Temizleme işlemi öncesinde UF membranların görünümü... 49
Şekil 3.13	: Temizleme işlemi sonrasında UF membranların görünümü... 49
Şekil 3.14	: UF membrana ait akı deney sonucu. .... 50
Şekil 3.15	: Büyük ham su tankı..... 50
Şekil 3.16	: Küçük ham su besleme tankları..... 50
Şekil 3.17	: Reaktörler..... 51
Şekil 3.18	: MF-UF membranlar..... 51
Şekil 3.19	: Çıkış suyu toplama ve geri yıkama suyu besleme tankları.. 51
Şekil 3.20	: Geri yıkama pompaları..... 51
Şekil 3.21	: Basınç ölçerler..... 52
Şekil 3.22	: Rotometreler..... 52
Şekil 3.23	: Bulanıklık ölçerler..... 52
Şekil 3.24	: pH ve sıcaklık ölçerler..... 52
Şekil 3.25	: İletkenlik ölçerler..... 52
Şekil 3.26	: Ham su besleme ve vakum pompası..... 52
Şekil 3.27	: SC1000 veri aktarım ve depolama ünitesi..... 53
Şekil 3.28	: Batık membran deney düzeneği..... 53
Şekil 3.29	: Deney düzeneğinin şematik görünümü..... 54
Şekil 3.30	: Modifiye edilmemiş zeolit (Enli Maden, İzmir) ..... 55
Şekil 3.31	: Modifiye edilmiş, kurutulmuş zeolit..... 55
Şekil 3.32	: Doğal zeolit üzerinde yürütülen izoterm deneyi sonuçları.... 56
Şekil 3.33	: HDTMA modifiye zeolit üzerinde yürütülen izoterm deneyi sonuçları..... 57

Şekil 3.34	: 250-350 mikron fraksiyona ait izoterm deneyi sonuçları.....	57
Şekil 3.35	: 500-600 mikron fraksiyona ait izoterm deneyi sonuçları.....	57
Şekil 3.36	: UV lambası.....	58
Şekil 3.37	: Reaktörün siyah PVC ile kaplı görünümü.....	58
Şekil 3.38	: Reaktörün alüminyum kaplı hali.....	58
Şekil 3.39	: Quartz içerisine folyo ile yerleştirilmiş UV lambası.....	58
Şekil 3.40	: UV deneylerinin yürütüldüğü sistem ve reaktörlerin görünümü.....	59
Şekil 3.41	: Toz aktif karbon çalışması.....	59
Şekil 3.42	: Ses dalgası jeneratörü.....	60
Şekil 3.43	: Ses dalgası dönüştürücü.....	60
Şekil 3.44	: Ses dalgasını ileten prob.....	60
Şekil 3.45	: Ses dalgası üreten cihazın batık membran sistemine adapte edilmiş hali.....	61
Şekil 3.46	: Numune örnekleri.....	62
Şekil 4.1	: TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolitsiz).	63
Şekil 4.2	: UV <sub>254</sub> absorbans değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolitsiz).....	64
Şekil 4.3	: TOK ve UV <sub>254</sub> giderim verimlerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolitsiz).....	64
Şekil 4.4	: Basınç değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolitsiz).....	64
Şekil 4.5	: TOK değerinin zamanla değişimi z(sentetik su, MF, modifiye edilmemiş zeolit).....	65
Şekil 4.6	: TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, modifiye zeolit).....	65
Şekil 4.7	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, modifiye edilmemiş zeolit).....	66
Şekil 4.8	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, modifiye zeolit).....	66
Şekil 4.9	: TOK giderim verimlerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit&modifiye zeolit).....	66
Şekil 4.10	: UV <sub>254</sub> giderim verimlerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit&modifiye zeolit).....	67
Şekil 4.11	: Basınç değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit&modifiye zeolit).....	67
Şekil 4.12	: TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit: 4 g/l).....	68
Şekil 4.13	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit: 4 g/l).....	68
Şekil 4.14	: TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit: 10 g/l).....	68
Şekil 4.15	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit: 10 g/l).....	69
Şekil 4.16	: TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit: 40 g/l).....	69
Şekil 4.17	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit: 40 g/l).....	69
Şekil 4.18	: TOK giderim verimlerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit konsantrasyonu etkisi) .....	71

<b>Şekil 4.19</b>	: UV <sub>254</sub> giderim verimlerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit konsantrasyonu etkisi).....	71
<b>Şekil 4.20</b>	: Basınç değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit konsantrasyonu etkisi).....	71
<b>Şekil 4.21</b>	: TOK giderim verimlerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit: 10 g/l, TOK: 1.1 mg/l).....	72
<b>Şekil 4.22</b>	: TOK konsantrasyonu için TOK giderim verimlerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit: 10 g/l, TOK: 1.1 mg/l).....	72
<b>Şekil 4.23</b>	: TOK giderim verimlerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit: 10 g/l, TOK: 3.1 mg/l).....	73
<b>Şekil 4.24</b>	: UV <sub>254</sub> giderim verimlerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit: 10 g/l, TOK: 3.1 mg/l).....	73
<b>Şekil 4.25</b>	: TOK giderim verimlerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit: 10 g/l, TOK: 5.4 mg/l).....	73
<b>Şekil 4.26</b>	: UV <sub>254</sub> giderim verimlerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit: 10 g/l, TOK: 5.4 mg/l).....	74
<b>Şekil 4.27</b>	: TOK giderim verimlerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit: 10 g/l, organik madde konsantrasyonu etkisi).....	75
<b>Şekil 4.28</b>	: UV <sub>254</sub> giderim verimlerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit: 10 g/l, organik madde konsantrasyonu etkisi).....	75
<b>Şekil 4.29</b>	: Basınç değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit: 10 g/l, organik madde konsantrasyonu etkisi).....	76
<b>Şekil 4.30</b>	: TOK giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit: 10 g/l, bulanıklık: 5 NTU).....	76
<b>Şekil 4.31</b>	: UV <sub>254</sub> giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit: 10 g/l, bulanıklık: 5 NTU).....	77
<b>Şekil 4.32</b>	: TOK giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit: 10 g/l, bulanıklık: 10 NTU).....	77
<b>Şekil 4.33</b>	: UV <sub>254</sub> giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit: 10 g/l, bulanıklık: 10 NTU).....	77
<b>Şekil 4.34</b>	: TOK giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit: 10 g/l, bulanıklık: 20 NTU).....	78
<b>Şekil 4.35</b>	: UV <sub>254</sub> giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit: 10 g/l, bulanıklık: 5 NTU).....	78
<b>Şekil 4.36</b>	: TOK giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit: 10 g/l, bulanıklık etkisi).....	79
<b>Şekil 4.37</b>	: UV <sub>254</sub> giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit: 10 g/l, bulanıklık etkisi).....	79
<b>Şekil 4.38</b>	: Basınç değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit: 10 g/l, bulanıklık etkisi).....	80
<b>Şekil 4.39</b>	: TOK giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, UF, zeolitsiz).....	80
<b>Şekil 4.40</b>	: TOK giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, UF, modifiye zeolit) .....	81
<b>Şekil 4.41</b>	: UV <sub>254</sub> giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, UF, zeolitsiz).....	81
<b>Şekil 4.42</b>	: UV <sub>254</sub> giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, UF, modifiye zeolit).....	81

<b>Şekil 4.43</b>	: TOK giderim verimlerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, zeolit etkisi).....	81
<b>Şekil 4.44</b>	: UV <sub>254</sub> giderim verimlerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, zeolit etkisi).....	82
<b>Şekil 4.45</b>	: Basınç değerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, zeolit etkisi).....	82
<b>Şekil 4.46</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, zeolit: 10 g/l, TOK: 1.1 mg/l).....	83
<b>Şekil 4.47</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, zeolit: 10 g/l, TOK: 1.1 mg/l).....	83
<b>Şekil 4.48</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, zeolit: 10 g/l, TOK: 3.1 mg/l).....	83
<b>Şekil 4.49</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, zeolit: 10 g/l, TOK: 3.1 mg/l).....	84
<b>Şekil 4.50</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, zeolit: 10 g/l, TOK: 5.4 mg/l).....	84
<b>Şekil 4.51</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, zeolit: 10 g/l, TOK: 5.4 mg/l).....	84
<b>Şekil 4.52</b>	: TOK giderim verimlerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, zeolit: 10 g/l, organik madde konsantrasyonu etkisi) .....	86
<b>Şekil 4.53</b>	: UV <sub>254</sub> giderim verimlerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, zeolit: 10 g/l, organik madde konsantrasyonu etkisi) .....	86
<b>Şekil 4.54</b>	: Basınç değerlerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, zeolit: 10 g/l, organik madde konsantrasyonu etkisi) .....	86
<b>Şekil 4.55</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, zeolit: 10 g/l, bulanıklık: 5 NTU) .....	87
<b>Şekil 4.56</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, zeolit: 10 g/l, bulanıklık: 5 NTU) .....	87
<b>Şekil 4.57</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, zeolit: 10 g/l, bulanıklık: 10 NTU) .....	88
<b>Şekil 4.58</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, zeolit: 10 g/l, bulanıklık: 10 NTU) .....	88
<b>Şekil 4.59</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, zeolit: 10 g/l, bulanıklık: 20 NTU) .....	88
<b>Şekil 4.60</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, zeolit: 10 g/l, bulanıklık: 5 NTU) .....	89
<b>Şekil 4.61</b>	: TOK giderim verimlerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, zeolit: 10 g/l, bulanıklık etkisi) .....	90
<b>Şekil 4.62</b>	: UV <sub>254</sub> giderme verimlerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, zeolit: 10 g/l, bulanıklık etkisi) .....	90
<b>Şekil 4.63</b>	: Basınç değerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, zeolit: 10 g/l, bulanıklık etkisi) .....	90
<b>Şekil 4.64</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, zeolitsiz)...	91
<b>Şekil 4.65</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, zeolitsiz)..	91
<b>Şekil 4.66</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, zeolit: 10 g/l) .....	92
<b>Şekil 4.67</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, zeolit: 10 g/l) .....	92
<b>Şekil 4.68</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, zeolit: 40 g/l) .....	92



<b>Şekil 4.69</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, zeolit: 40 g/l) .....	93
<b>Şekil 4.70</b>	: TOK giderim verimlerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, zeolit konsantrasyonu etkisi) .....	94
<b>Şekil 4.71</b>	: UV <sub>254</sub> giderim verimlerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, zeolit konsantrasyonu etkisi) .....	94
<b>Şekil 4.72</b>	: Basınç değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, zeolit konsantrasyonu etkisi) .....	94
<b>Şekil 4.73</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, FeCl <sub>3</sub> : yok)	95
<b>Şekil 4.74</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, FeCl <sub>3</sub> ilaveli) .....	95
<b>Şekil 4.75</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, FeCl <sub>3</sub> : yok) .....	95
<b>Şekil 4.76</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, FeCl <sub>3</sub> ilaveli) .....	96
<b>Şekil 4.77</b>	: TOK giderim verimlerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, FeCl <sub>3</sub> etkisi) .....	96
<b>Şekil 4.78</b>	: UV <sub>254</sub> giderim verimlerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, FeCl <sub>3</sub> etkisi) .....	96
<b>Şekil 4.79</b>	: Basınç değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, FeCl <sub>3</sub> etkisi) .....	97
<b>Şekil 4.80</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, zeolitsiz)....	97
<b>Şekil 4.81</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, zeolitsiz)...	98
<b>Şekil 4.82</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, zeolit: 10 g/l) .....	98
<b>Şekil 4.83</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, zeolit: 10 g/l) .....	98
<b>Şekil 4.84</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, zeolit: 40 g/l) .....	99
<b>Şekil 4.85</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, zeolit: 40 g/l) .....	99
<b>Şekil 4.86</b>	: TOK giderim verimlerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, zeolit konsantrasyonu etkisi) .....	100
<b>Şekil 4.87</b>	: UV <sub>254</sub> giderim verimlerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, zeolit konsantrasyonu etkisi) .....	100
<b>Şekil 4.88</b>	: Basınç değerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, zeolit konsantrasyonu etkisi) .....	101
<b>Şekil 4.89</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, FeCl <sub>3</sub> : yok)	101
<b>Şekil 4.90</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, FeCl <sub>3</sub> ilaveli) .....	102
<b>Şekil 4.91</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, FeCl <sub>3</sub> : yok) .....	102
<b>Şekil 4.92</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, FeCl <sub>3</sub> ilaveli) .....	102
<b>Şekil 4.93</b>	: TOK giderim verimlerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, FeCl <sub>3</sub> etkisi) .....	102
<b>Şekil 4.94</b>	: UV <sub>254</sub> giderim verimlerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, FeCl <sub>3</sub> etkisi) .....	103
<b>Şekil 4.95</b>	: Basınç değerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, FeCl <sub>3</sub> etkisi) .....	103

<b>Şekil 4.96</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, kontrol reaktörü) .....	104
<b>Şekil 4.97</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, kontrol reaktörü) .....	104
<b>Şekil 4.98</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV (sürekli)) .....	105
<b>Şekil 4.99</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV (sürekli)) .....	105
<b>Şekil 4.100</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, 0,5 g/l TiO <sub>2</sub> ) .....	105
<b>Şekil 4.101</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, 0,5 g/l TiO <sub>2</sub> ) .....	106
<b>Şekil 4.102</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV+TiO <sub>2</sub> ) .....	106
<b>Şekil 4.103</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV+TiO <sub>2</sub> ) .....	106
<b>Şekil 4.104</b>	: TOK giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV/TiO <sub>2</sub> etkisi) .....	108
<b>Şekil 4.105</b>	: UV <sub>254</sub> giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV/TiO <sub>2</sub> etkisi) .....	108
<b>Şekil 4.106</b>	: Basınç değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV/TiO <sub>2</sub> etkisi) .....	108
<b>Şekil 4.107</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV (sürekli), TiO <sub>2</sub> : 0 g/l) .....	109
<b>Şekil 4.108</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV (sürekli), TiO <sub>2</sub> : 0 g/l) .....	109
<b>Şekil 4.109</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV (sürekli), TiO <sub>2</sub> : 0,1 g/l) .....	110
<b>Şekil 4.110</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV (sürekli), TiO <sub>2</sub> : 0,1 g/l) .....	110
<b>Şekil 4.111</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV (sürekli), TiO <sub>2</sub> : 0,25 g/l) .....	110
<b>Şekil 4.112</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV (sürekli), TiO <sub>2</sub> : 0,25 g/l) .....	111
<b>Şekil 4.113</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV (sürekli), TiO <sub>2</sub> : 0,5 g/l) .....	111
<b>Şekil 4.114</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV (sürekli), TiO <sub>2</sub> : 0,5 g/l) .....	111
<b>Şekil 4.115</b>	: TOK giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV (sürekli), TiO <sub>2</sub> konsantrasyonu etkisi) .....	112
<b>Şekil 4.116</b>	: UV <sub>254</sub> giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV (sürekli), TiO <sub>2</sub> konsantrasyonu etkisi) .....	113
<b>Şekil 4.117</b>	: Basınç değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV (sürekli), TiO <sub>2</sub> konsantrasyonu etkisi) .....	113
<b>Şekil 4.118</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV ışını: yok) .....	114
<b>Şekil 4.119</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV ışını: yok) .....	114
<b>Şekil 4.120</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV ışını: sürekli) .....	114

<b>Şekil 4.121</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV ışını: sürekli) .....	115
<b>Şekil 4.122</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV ışını: kesikli) .....	115
<b>Şekil 4.123</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV ışını: kesikli) .....	115
<b>Şekil 4.124</b>	: TOK giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV ışını süresinin etkisi) .....	116
<b>Şekil 4.125</b>	: UV <sub>254</sub> giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV ışını süresinin etkisi) .....	117
<b>Şekil 4.126</b>	: Basınç değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV ışını süresinin etkisi) .....	117
<b>Şekil 4.127</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV+TiO <sub>2</sub> , TOK: 1,1 mg/l) .....	118
<b>Şekil 4.128</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV+TiO <sub>2</sub> , TOK: 1,1 mg/l) .....	118
<b>Şekil 4.129</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV+TiO <sub>2</sub> , TOK: 3,1 mg/l) .....	118
<b>Şekil 4.130</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV+TiO <sub>2</sub> , TOK: 3,1 mg/l) .....	119
<b>Şekil 4.131</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV+TiO <sub>2</sub> , TOK: 5,4 mg/l) .....	119
<b>Şekil 4.132</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV+TiO <sub>2</sub> , TOK: 5,4 mg/l) .....	119
<b>Şekil 4.133</b>	: TOK giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV+TiO <sub>2</sub> , organik madde konsantrasyonu etkisi) .....	120
<b>Şekil 4.134</b>	: UV <sub>254</sub> giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV+TiO <sub>2</sub> , organik madde konsantrasyonu etkisi) .....	120
<b>Şekil 4.135</b>	: Basınç değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV+TiO <sub>2</sub> , organik madde konsantrasyonu etkisi) .....	121
<b>Şekil 4.136</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, kontrol reaktörü) .....	121
<b>Şekil 4.137</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, kontrol reaktörü) .....	122
<b>Şekil 4.138</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit)....	122
<b>Şekil 4.139</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit)...	122
<b>Şekil 4.140</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit+TiO <sub>2</sub> ) .....	123
<b>Şekil 4.141</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit+TiO <sub>2</sub> ) .....	123
<b>Şekil 4.142</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit+TiO <sub>2</sub> +UV ışını) .....	124
<b>Şekil 4.143</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit+TiO <sub>2</sub> +UV ışını) .....	124
<b>Şekil 4.144</b>	: TOK giderme veriminin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV/TiO <sub>2</sub> ve zeolit etkisi) .....	125
<b>Şekil 4.145</b>	: UV <sub>254</sub> giderme veriminin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV/TiO <sub>2</sub> ve zeolit etkisi) .....	125
<b>Şekil 4.146</b>	: Basınç değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV/TiO <sub>2</sub> ve zeolit etkisi) .....	126

<b>Şekil 4.147</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, UV ışını: sürekli) .....	126
<b>Şekil 4.148</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, UV ışını: kesikli) .....	127
<b>Şekil 4.149</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, UV ışını: sürekli) .....	127
<b>Şekil 4.150</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, UV ışını: kesikli) .....	127
<b>Şekil 4.151</b>	: TOK giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, UF, UV ışını süresi etkisi) .....	128
<b>Şekil 4.152</b>	: UV <sub>254</sub> giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, UF, UV ışını süresi etkisi) .....	128
<b>Şekil 4.153</b>	: Basınç değerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, UV ışını süresi etkisi) .....	128
<b>Şekil 4.154</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, UV+TiO <sub>2</sub> )..	129
<b>Şekil 4.155</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, kontrol reaktörü) .....	129
<b>Şekil 4.156</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, UV+TiO <sub>2</sub> )	130
<b>Şekil 4.157</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, kontrol reaktörü) .....	130
<b>Şekil 4.158</b>	: TOK giderim veriminin zamanla değişimi (göl suyu, MF, UV/TiO <sub>2</sub> etkisi) .....	130
<b>Şekil 4.159</b>	: UV <sub>254</sub> giderim veriminin zamanla değişimi (göl suyu, MF, UV/TiO <sub>2</sub> etkisi) .....	131
<b>Şekil 4.160</b>	: Basınç değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, UV/TiO <sub>2</sub> etkisi) .....	131
<b>Şekil 4.161</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, UV+TiO <sub>2</sub> )..	132
<b>Şekil 4.162</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, kontrol reaktörü) .....	132
<b>Şekil 4.163</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, UV+TiO <sub>2</sub> )	132
<b>Şekil 4.164</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, kontrol reaktörü) .....	133
<b>Şekil 4.165</b>	: TOK giderim veriminin zamanla değişimi (göl suyu, UF, UV/TiO <sub>2</sub> etkisi) .....	133
<b>Şekil 4.166</b>	: UV <sub>254</sub> giderim veriminin zamanla değişimi (göl suyu, UF, UV/TiO <sub>2</sub> etkisi) .....	133
<b>Şekil 4.167</b>	: Basınç değerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, UV/TiO <sub>2</sub> etkisi) .....	134
<b>Şekil 4.168</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, PAC: 2 g/l) .....	135
<b>Şekil 4.169</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, PAC: 2 g/l) .....	135
<b>Şekil 4.170</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, PAC: 4 g/l) .....	135
<b>Şekil 4.171</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, PAC: 4 g/l) .....	136
<b>Şekil 4.172</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, PAC: 10 g/l) .....	136
<b>Şekil 4.173</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, PAC: 10 g/l) .....	136

<b>Şekil 4.174</b>	: TOK giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, MF, PAC konsantrasyonu etkisi) .....	137
<b>Şekil 4.175</b>	: UV <sub>254</sub> giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, MF, PAC konsantrasyonu etkisi) .....	138
<b>Şekil 4.176</b>	: Basınç değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, PAC konsantrasyonu etkisi) .....	138
<b>Şekil 4.177</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, PAC: 4 g/l) .....	139
<b>Şekil 4.178</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, PAC: 4 g/l) .....	139
<b>Şekil 4.179</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, PAC: 10 g/l) .....	139
<b>Şekil 4.180</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, PAC: 10 g/l) .....	140
<b>Şekil 4.181</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, PAC: 40 g/l) .....	140
<b>Şekil 4.182</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, PAC: 40 g/l) .....	140
<b>Şekil 4.183</b>	: TOK giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, UF, PAC konsantrasyonu etkisi) .....	141
<b>Şekil 4.184</b>	: UV <sub>254</sub> giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, UF, PAC konsantrasyonu etkisi) .....	142
<b>Şekil 4.185</b>	: Basınç değerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, PAC konsantrasyonu etkisi) .....	142
<b>Şekil 4.186</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, PAC: 4 g/l) .....	143
<b>Şekil 4.187</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, PAC: 4 g/l) .....	143
<b>Şekil 4.188</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, PAC: 4 g/l) .....	143
<b>Şekil 4.189</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, PAC: 10 g/l) .....	144
<b>Şekil 4.190</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, PAC: 40 g/l) .....	144
<b>Şekil 4.191</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, PAC: 40 g/l) .....	144
<b>Şekil 4.192</b>	: TOK giderim veriminin zamanla değişimi (göl suyu, MF, PAC konsantrasyonu etkisi) .....	145
<b>Şekil 4.193</b>	: UV <sub>254</sub> giderim veriminin zamanla değişimi (göl suyu, MF, PAC konsantrasyonu etkisi) .....	146
<b>Şekil 4.194</b>	: Basınç değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, PAC konsantrasyonu etkisi) .....	146
<b>Şekil 4.195</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, PAC: 4 g/l) .....	147
<b>Şekil 4.196</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, PAC: 4 g/l) .....	147
<b>Şekil 4.197</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, PAC: 10 g/l) .....	147
<b>Şekil 4.198</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, PAC: 10 g/l) .....	148
<b>Şekil 4.199</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, PAC: 40 g/l) .....	148

<b>Şekil 4.200</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, PAC: 40 g/l) .....	148
<b>Şekil 4.201</b>	: TOK giderim veriminin zamanla değişimi (göl suyu, UF, PAC konsantrasyonu etkisi) .....	150
<b>Şekil 4.202</b>	: UV <sub>254</sub> giderim veriminin zamanla değişimi (göl suyu, UF, PAC konsantrasyonu etkisi) .....	150
<b>Şekil 4.203</b>	: Basınç değerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, PAC konsantrasyonu etkisi) .....	150
<b>Şekil 4.204</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, kontrol reaktörü) .....	152
<b>Şekil 4.205</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, ses dalgası: kesikli) .....	152
<b>Şekil 4.206</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, kontrol reaktörü) .....	152
<b>Şekil 4.207</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, ses dalgası: kesikli) .....	152
<b>Şekil 4.208</b>	: TOK giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, MF, ses dalgası etkisi) .....	153
<b>Şekil 4.209</b>	: UV <sub>254</sub> giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, MF, ses dalgası etkisi) .....	153
<b>Şekil 4.210</b>	: Basınç değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, ses dalgası etkisi) .....	153
<b>Şekil 4.211</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, kontrol reaktörü) .....	154
<b>Şekil 4.212</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, kontrol reaktörü) .....	154
<b>Şekil 4.213</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, ses dalgası: kesikli) .....	154
<b>Şekil 4.214</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, ses : dalgası: kesikli) .....	155
<b>Şekil 4.215</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, ses dalgası: sürekli) .....	155
<b>Şekil 4.216</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, ses dalgası: sürekli) .....	155
<b>Şekil 4.217</b>	: TOK giderim veriminin zamanla değişimi (göl suyu, MF, ses dalgası süresinin etkisi) .....	156
<b>Şekil 4.218</b>	: UV <sub>254</sub> giderim veriminin zamanla değişimi (göl suyu, MF, ses dalgası süresinin etkisi) .....	157
<b>Şekil 4.219</b>	: Basınç değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, ses dalgası süresinin etkisi) .....	157
<b>Şekil 4.220</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, membran olmadığı bölme) .....	158
<b>Şekil 4.221</b>	: TOK değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, membran olduğu bölme) .....	158
<b>Şekil 4.222</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, membran olmadığı bölme) .....	158
<b>Şekil 4.223</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, membran olduğu bölme) .....	158
<b>Şekil 4.224</b>	: TOK giderim verimlerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, membran yerinin etkisi). .....	159

<b>Şekil 4.225</b>	: UV <sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, membran yerinin etkisi) .....	159
<b>Şekil 4.226</b>	: Basınç değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, membran yerinin etkisi) .....	159
<b>Şekil 4.227</b>	: Membran tıkanıklığını azaltmak için kullanılan yöntemlerin TOK giderim verimi açısından karşılaştırması (sentetik su, MF) .....	160
<b>Şekil 4.228</b>	: Membran tıkanıklığını azaltmak için kullanılan yöntemlerin UV <sub>254</sub> giderim verimi açısından karşılaştırması (sentetik su, MF) .....	161
<b>Şekil 4.229</b>	: Membran tıkanıklığını azaltmak için kullanılan yöntemlerin basınç artışına etkisi açısından karşılaştırması (sentetik su, MF) .....	161
<b>Şekil 4.230</b>	: Membran tıkanıklığını azaltmak için kullanılan yöntemlerin TOK giderim verimi açısından karşılaştırması (göl suyu, MF) .....	162
<b>Şekil 4.231</b>	: Membran tıkanıklığını azaltmak için kullanılan yöntemlerin UV <sub>254</sub> giderim verimi açısından karşılaştırması (göl suyu, MF) .....	162
<b>Şekil 4.232</b>	: Basınç artışına etkisi açısından karşılaştırması (göl suyu, MF) .....	163
<b>Şekil 4.233</b>	: Membran tıkanıklığını azaltmak için kullanılan yöntemlerin TOK giderim verimi açısından karşılaştırması (sentetik su, UF) .....	163
<b>Şekil 4.234</b>	: Membran tıkanıklığını azaltmak için kullanılan yöntemlerin UV <sub>254</sub> giderim verimi açısından karşılaştırması (sentetik su, UF) .....	164
<b>Şekil 4.235</b>	: Membran tıkanıklığını azaltmak için kullanılan yöntemlerin basınç artışına etkisi açısından karşılaştırması (sentetik su, UF) .....	164
<b>Şekil 4.236</b>	: Membran tıkanıklığını azaltmak için kullanılan yöntemlerin TOK giderim verimi açısından karşılaştırması (göl suyu, UF) .....	165
<b>Şekil 4.237</b>	: Membran tıkanıklığını azaltmak için kullanılan yöntemlerin UV <sub>254</sub> giderim verimi açısından karşılaştırması (göl suyu, UF).....	165
<b>Şekil 4.238</b>	: Membran tıkanıklığını azaltmak için kullanılan yöntemlerin basınç artışına etkisi açısından karşılaştırması (göl suyu, UF) .....	165





## **BATIK MEMBRAN SİSTEMLERİ İLE İÇME SUYU ARITIMI: MEMBRAN TIKANIKLIĞINI AZALTMAK İÇİN FARKLI YÖNTEMLERİN KULLANILMASI**

### **ÖZET**

İçme suyu arıtımında konvansiyonel sistemlere alternatif olarak daha az yer kaplayan ve işletmesi daha kolay olan membran sistemler kullanılmaktadır. İçme suyu arıtımı açısından, membran sistemlerde karşılaşılan en büyük problem membranların çok kısa bir sürede tıkanmasıdır. Bu durum membran maliyetini arttırmakta, işletme güçlükleri meydana getirmekte ve membran sistemlerinin yaygın olarak kullanımını kısıtlamaktadır.

Su arıtımında membran sistemler iki farklı konfigürasyonda kullanılabilirler. Bunlardan ilki olan basınçlı sistemlerde su, basınç altında membrandan geçirilerek süzüntü ve konsantre akım olarak ikiye ayrılır. Diğer sistem ise batık membran sistemleridir. Bu sistemde membranların bir tanka yerleştirilerek suyun vakum ile çekilmesi sağlanır. Membrandan geçemeyen konsantre kısım ise tank içerisinde kalmaktadır. Bu sistemin avantajı, konsantre kısmın debisinin azalması ve vakum altında çalıştığı için basınç altında çalışan sistemlere göre enerji maliyetinin daha az olmasıdır.

Bu çalışmanın amacı, laboratuvar ölçekli batık membran sisteminde, farklı yöntemlerin ön arıtma amaçlı olarak kullanılması ve bu yöntemlerin membran tıkanıklığına etkisinin araştırılmasıdır. Deneysel çalışmalarda, sentetik olarak hazırlanan su ve Terkos göl suyu kullanılmıştır. Mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon membranları ile yürütülen çalışmalarda, organik madde konsantrasyonunu temsil etmesi bakımından besleme suyu, reaktör içi ve çıkış suyundan alınan numunelerde TOK ve UV<sub>254</sub> absorbans ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca, membran tıkanıklığının göstergesi olan vakum basıncındaki artış, deney boyunca sürekli olarak kaydedilmiştir.

Deneysel çalışmalar dört aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada, doğal zeolit modifiye edilerek adsorpsiyon kapasitesinin artırılması sağlanmış ve modifiye edilmiş olarak deneysel çalışmalarda kullanılmıştır. Membran tıkanıklığına etkisini araştırmak üzere farklı modifiye zeolit konsantrasyonlarında çalışmalar yürütülmüştür.

İkinci aşamada, membran tıkanıklığının azaltılmasında fotokatalitik etkinin rolü araştırılmıştır. UV ışını ve TiO<sub>2</sub> birlikte kullanılarak deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Üçüncü aşamada, toz aktif karbon adsorpsiyonunun membran tıkanmasının azaltılmasındaki etkisini araştırmak üzere farklı toz aktif karbon konsantrasyonları ile deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Son aşamada ise, ses dalgası kullanımının etkisi araştırılmıştır.

Bu çalışmaların sonunda, tüm ön arıtma yöntemlerinin birbirleri ile karşılaştırması yapılarak, batık membran sisteminde membran tıkanıklığını azaltmak için kullanılabilir en uygun yöntem belirlenmiştir.

## **TREATMENT OF DRINKING WATERS BY SUBMERGED MEMBRANES: EVALUATION OF DIFFERENT METHODS TO DECREASE MEMBRANE FOULING**

### **SUMMARY**

Membrane systems can be used an alternative system in drinking water treatment to conventional system, because of its low field requirements and easier operating. However, the main problem of membrane systems is rapid membrane fouling. This situation increases membrane cost, causes operating problems and limits the usage of membrane systems for drinking water treatment purposes.

Membrane systems are used in two different configurations for water treatment. The first one is pressurized system. Two different streams, which called permeate and concentrate are produced under pressure in this system. The other system is submerged membrane systems. Treated water is vacuumed from membrane which is in the tank at this system and concentrate stream is accumulated in the tank. The advantages of this system are decrease in concentrate flow and lower energy consumption compared to membrane system which works under pressure.

The aim of this study is using different methods as a pretreatment in laboratory scale submerged membrane system and remarked the effects of these methods on membrane fouling. Synthetic and lake water were used in microfiltration and ultrafiltration studies. Samples were collected from feed water, inside of reactor and permeate water. TOC and UV<sub>254</sub> absorbance were measured as a representation of organic matter concentration with using these samples. Additionally, vacuum pressure was monitored continuously with online monitoring system.

Experimental studies were consisting of four parts. At the first part, natural zeolite was modified because of their increasing adsorptive capacity and modified zeolite was used in the experiments. The effects of different modified zeolite concentration on membrane fouling were investigated.

In the second part, photocatalysis effects on the decreasing of membrane fouling were investigated. Combination of UV irradiation and TiO<sub>2</sub> was used in the experiments.

In the third part, the effects of different powdered activated carbon concentration on membrane fouling were investigated.

At the last part, ultrasound in submerged membrane system was investigated.

In conclusion, all the pretreatment methods were compared with each other, and the best suitable method for reduced membrane fouling in submerged membrane system was remarked.



# 1. GİRİŞ

## 1.1 Çalışmanın Anlam ve Önemi

İçme suyu arıtımı, doğal suların içeriğinde bulunan çeşitli organik, inorganik ve kimyasal maddeler ile mikroorganizmaların uzaklaştırılması amacıyla yapılmaktadır. İçme suyunun yeterli ve iyi arıtılmaması sonucu pek çok bulaşıcı hastalık ortaya çıkmaktadır. Ülkemizde içme suyu arıtımında yaygın olarak kullanılan konvansiyonel arıtma sistemlerinde suyun klor ile dezenfeksiyonu sırasında, suda bulunan organik maddeler ile klor reaksiyona girerek dezenfeksiyon yan ürünü adı verilen insan sağlığına zararlı olabilecek maddeler oluşmaktadır (Rook, 1974; Gray, 2008).

Membran sistemleri, içme suyu arıtımında konvansiyonel sistemlere alternatif olarak özellikle daha az alana ihtiyaç duyması ve dezenfeksiyon ihtiyacının olmaması sebebiyle öne çıkan teknolojilerdendir. Bu sistemler, basınçlı ve batık sistemler olarak kullanılabilir. Bunlardan batık membran sistemlerinde membranların tanka batırılması ile alan ihtiyacı daha da azaltılmıştır. Ayrıca bu sistemler vakum basıncı altında çalıştığı için basınçlı sistemlere göre enerji maliyeti daha da az olmaktadır.

Doğal sularda bulunan organik maddeler membran yüzeyinde birikerek membran tıkanmasına sebep olmakta ve bu da membranın kullanım ömrünü azaltarak maliyetini arttırmaktadır. Membran tıkanıklığının azaltılması ile membran sistemlerin içme suyu arıtımında yaygın olarak kullanımını kısıtlayan engel ortadan kalkmış olacaktır. Bu amaçla batık membran sisteminde farklı ön arıtma yöntemleri uygulanmaktadır. Adsorpsiyon yoluyla organik maddelerin giderilerek membran tıkanıklığının azaltılmasını sağlamak amacıyla toz aktif karbonla yürütülmüş çalışmalar vardır (Seo ve diğ., 2005; Guo ve diğ., 2005; Kim ve diğ., 2007; Jia ve diğ., 2008). Yine ön arıtma amacıyla UV/TiO<sub>2</sub> kullanımının membran tıkanıklığını azaltmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır (Le-Clech, 2006; Fu ve diğ., 2006; Chin ve diğ., 2007; Huang ve diğ., 2008). Bu çalışmalar, bir ön çalışma niteliğinde olup

detaylı çalışmalar değildir. Son yıllarda ses dalgalarının da membran tıkanıklığının azaltılmasına etkisinin araştırıldığı çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Chen ve diğ., 2006; Genkin ve diğ., 2006; Muthukumaran ve diğ., 2007; Maskooki ve diğ., 2008). Batık membran sistemlerinde, membran tıkanıklığını azaltmak amacıyla zeolit kullanımına yönelik ise herhangi bir literatür çalışmasına rastlanmamış, sadece doğal sulardan arsenik giderimiyle ilgili yapılmış bir tek çalışmaya rastlanmıştır (Ujang ve Ng, 2004).

Literatürdeki bu boşluğu doldurmak üzere, batık membran sisteminde ön arıtma amacıyla zeolit, UV/TiO<sub>2</sub>, toz aktif karbon ve ses dalgası kullanımının membran tıkanıklığına olan etkileri detaylı olarak araştırılmıştır.

## **1.2 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı**

Bu tez çalışmasının amacı, içme suyu arıtımında batık membran sistemlerinin kullanımı ve membran tıkanıklığının azaltılması için farklı ön arıtma yöntemlerin kullanılması ve bunların karşılaştırılmasıdır. Bu amaç doğrultusunda zeolit, UV/TiO<sub>2</sub>, toz aktif karbon ve ses dalgaları ön arıtma amacıyla kullanılmıştır.

Birinci bölümde, çalışmanın anlam ve önemi vurgulanarak, amaç ve kapsam verilmiştir.

İkinci bölümde, içme suyu arıtımının önemi, içme suyu arıtımında membran sistemlerin yeri ve önemi, batık membran sistemlerinde membran tıkanıklığının azaltılması için uygulanan yöntemleri içerecek şekilde literatür araştırması yapılmıştır.

Üçüncü bölümde, deneysel çalışmalarda kullanılan laboratuvar ölçekli batık membran sisteminin düzeneği ve işletilmesi, mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon membran özellikleri, sentetik su ve göl suyu karakteristikleri ve membran tıkanıklığını azaltmak için ön arıtma yöntemlerinin membran sistemine nasıl uygulandığı hakkında bilgi verilmiştir.

Dördüncü bölümde çalışmanın amaçlarına yönelik yapılan deneysel çalışmalara yer verilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda her bir yöntem için elde edilen veriler, tablo ve grafikler halinde gösterilmiş olup, uygulanan yöntemler birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

Beşinci bölümde ise, deneysel çalışmaların genel bir değerlendirilmesi yapılmış ve sonuçlara yer verilmiştir.



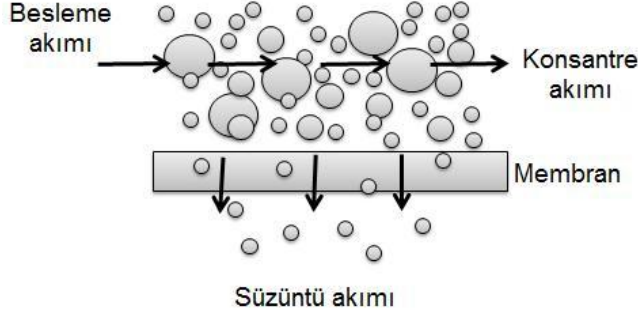


## 2. LİTERATÜR ÖZETİ

### 2.1 Membran Sistemler

Günümüzde su ve atıksu arıtımına alternatif bir teknoloji olarak öne çıkan membranlar, 18. yüzyılın sonlarına doğru osmoz kavramının tanımlanmasıyla ortaya çıkmıştır. 19. ve 20. yüzyılın başlarında, membran sistemler ile sadece laboratuvar ölçekli çalışmalar gerçekleştirilmiş olup 1960'lı yıllardan itibaren laboratuvar ölçekli sistemlerden büyük ölçekli sistemlere geçiş olmuştur. 1980'li yıllardan itibaren ise mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF), ters osmoz (RO) ve elektrodializ (ED) prosesleri dünyada yaygın olarak arıtma tesislerinde kullanılmaya başlanmıştır. Son yıllarda, membran üretim teknolojisindeki gelişmeler, membran proseslerin, gıda, kimya, petrokimya, maden, metal işleme, biyoteknoloji, eczacılık, elektronik vb. birçok endüstride kullanımını artırmıştır. Başlangıçta çok pahalı bir proses olan membran prosesler, bu gelişmeler ile, diğer fiziksel ayırma yöntemleri olan adsorpsiyon, solvent ayırımı, distilasyon, kristalizasyon ve gaz ayırımı gibi proseslerle karşılaştırılabilir hale gelmiştir.

Membran, iki fazı birbirinden ayıran geçirgen veya yarı geçirgen bir malzeme olarak tanımlanmaktadır. Membran filtrasyonu, partikül maddelerin, kolloidlerin, büyük moleküllerin, iyonların, askıda katı maddelerin ve çözünmüş maddelerin ayırımı amacıyla kullanılan bir teknolojidir. Filtrasyon sırasında besleme çözeltisi membrandan geçerken, süzüntü ve konsantre olmak üzere iki akıma ayrılmaktadır. Membranın gözenek çapından daha küçük olan maddeler membrandan geçerek süzüntüye karışmakta, bu sırada daha büyük moleküller veya çözünmüş maddeler tutularak konsantre akımında kalmaktadırlar. Basit bir membran ayırma prosesi Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



**Şekil 2.1** : Membran ayırma prosesi.

Membran filtrasyonunda, eğer konsantre akım ayrı bir akım olarak membrandan uzaklaşıyorsa yatay akışlı (çapraz akış) filtrasyon, konsantre akım ayrı olarak çıkmayıp havuz içinde birikiyorsa dik akışlı (ölü uç) filtrasyon olarak isimlendirilmektedir.

Membranlar yapılarına göre ikiye ayrılmaktadır. Bunlar;

1. Gözenekli membranlar (mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF))
  - Büyük gözenekli (>50nm)
  - Orta gözenekli (2nm-50nm)
  - Küçük gözenekli (<2nm)
2. Gözeneksiz (yoğun) membranlar (nanofiltrasyon (NF), ters osmoz (RO)) olarak sınıflandırılır.

Membran performansı, membranın yüksek seçiciliğine, akısına, membran malzemesinin mekanik, kimyasal ve termal stabilitesinin iyi olmasına ve ayrıca işletme sırasında membran tıkanmasının minimum olmasına bağlıdır. İdeal bir membranda, yüksek seçicilik veya tutma ile yüksek akı veya geçirimsizlik istenmektedir.

Membranlar üretildikleri malzemeye göre; organik (polyethylene, polypropylene, cellulose acetate, polysulphone), inorganik membranlar (seramik membranlar, sinterlenmiş metal, cam ve zeolit) ya da yüklü membranlar (iyon değiştirici membranlar) olabilirler. Gözenekli MF ve UF membranlarda polimerler, proses ihtiyacına, tıkanma eğilimine ve membranın termal ya da kimyasal stabilitesine göre seçilmektedir.

Sürücü kuvvetlerine göre membranlar Çizelge 2.1’de verilmiştir.

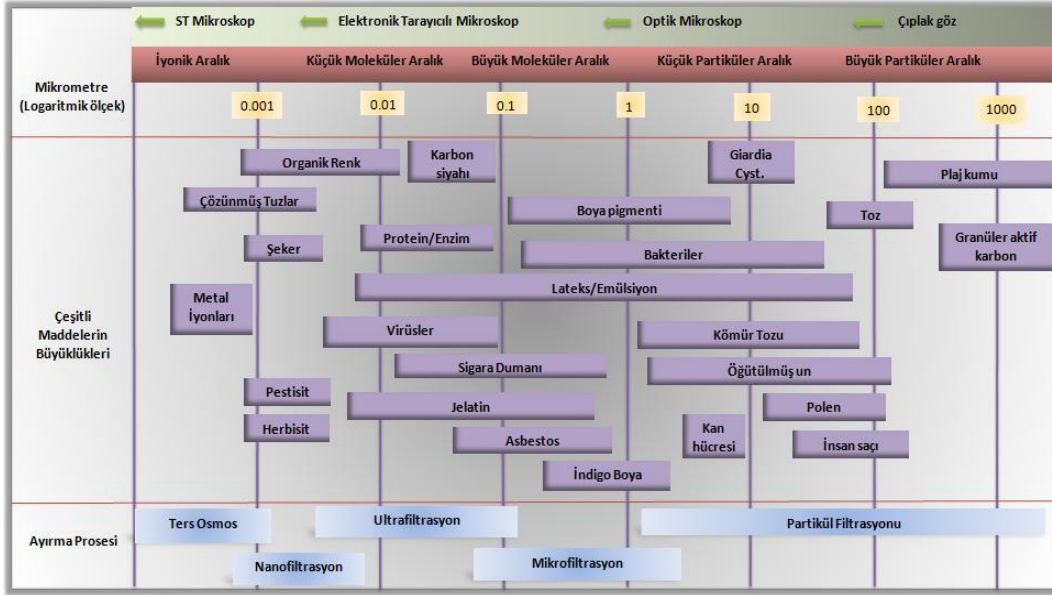
**Çizelge 2.1 : Sürücü kuvvetlerine göre membranlar.**

Membran Prosesi	Faz I	Faz II	Sürücü Kuvvet
Mikrofiltrasyon (MF)	Sıvı	Sıvı	Basınç
Ultrafiltrasyon (UF)	Sıvı	Sıvı	Basınç
Nanofiltrasyon (NF)	Sıvı	Sıvı	Basınç
Ters Osmos (RO)	Sıvı	Sıvı	Basınç
Gaz ayırma	Gaz	Gaz	Basınç
Diyaliz	Sıvı	Sıvı	Konsantrasyon farklılığı
Osmoz	Sıvı	Sıvı	Konsantrasyon farklılığı
Pervaporasyon	Sıvı	Gaz	Basınç
Elektrodiyaliz (ED)	Sıvı	Sıvı	Elektriksel potansiyel farklılığı
Termo-osmoz	Sıvı	Sıvı	Sıcaklık/Basınç
Membran distilasyonu	Sıvı	Sıvı	Sıcaklık/Basınç

Membranlar, modül olarak adlandırılan ünitelere yerleştirilerek, membranın dışarıdan gelebilecek zararlara karşı korunması sağlanmaktadır. Ayrıca, daha çok membran alanı, daha küçük ünitelere yerleştirildiğinden daha ekonomiktir. 1960 ve 1970’li yıllarda düşük ücretli membran modüllerinin oluşturulmasıyla membranlar endüstriyel alanlarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Singh, 2006). Membran modülleri; kapiler, ince boşluklu, levha-çerçeve, spiral sargılı ve borsal olarak hazırlanabilirler. İnce boşluklu modüller özellikle içme suyu arıtımında mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon membranlarında kullanılırlar (EPA, 2005). Bu modül, esas olarak aynı liflerden oluşan paketin basınçlı bir kap içine yerleştirilmesiyle oluşur. Liflerin açık uçları bir baş levhasına tutturulmuştur. Tipik bir ince boşluklu modülün iç çapı 30-100 µm, dış çapı ise 50-200 µm aralığında değişmektedir. Bu modüllerdeki membran alanı 0.2-1 m<sup>2</sup> arasındadır. Besleme çözeltisi liflerin dışından gönderilmekte olup, liflerden radyal veya paralel akabilmektedir.

Gelişmiş ve halen gelişmekte olan birçok membran ayırma prosesi mevcuttur. Bunlar, MF, UF, NF, RO ve ED’dir. Pervaporasyon ve membran kontaktörler gibi membran ayırma yöntemleri ise, endüstriyel uygulamalarının yanı sıra, laboratuvar ve pilot ölçekte halen gelişimlerine devam etmektedirler. Membran proseslere ait filtrasyon spektrumu Şekil 2.2’de verilmiştir. MF ve UF membranda ayırma

mekanizması birbirine benzerdir ve eleme prensibine dayanır. MF ve UF proseslerinin karşılaştırması Çizelge 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 : Membran proseslere ait filtrasyon spektrumu.

Çizelge 2.2 : Mikrofiltrasyon ve Ultrafiltrasyon membranlarının genel özellikleri.

Proses	Sürücü kuvvet	Ayrırma mekanizması	Geçebilen maddeler
Mikrofiltrasyon	Basınç, 1-2 bar	Eleme	Su ve çözünmüş maddeler
Ultrafiltrasyon	Basınç, 2-5 bar	Eleme	Su ve tuzlar

Mikrofiltrasyon membranları, gözenek çapı 0.1  $\mu\text{m}$ 'den 10  $\mu\text{m}$ 'ye kadar olan kolloidal maddeleri ve bakterileri tutabilirler (Baker, 2004 ). Ayrırma mekanizması boyut farklılığına dayandığından çapı, membran gözenek çapından küçük olan partiküller membrandan doğrudan geçerken, büyük olanlar membran tarafından tutulmaktadır. Çapın, membran gözenek çapıyla aynı olması durumunda ise, maddeler gözenek içinde adsorplanmaktadır. Membrandan geçemeyip yüzeyde biriken maddeler ise ikinci bir filtre görevi gören kek tabakasını oluşturmaktadır. Bu durumda, membran gözeneklerinden daha küçük çapta olan maddeler de membranda tutulabilmektedir. MF membranı, fermentasyon ürünlerinden mikroorganizmaları uzaklaştırmak için kullanılabilirdiği gibi, kolloidler, yağ molekülleri ve hücreler gibi heterojen dağılmış parçacıkları da ayrıştırabilir. İçme suyu arıtımında ise mikroorganizmaların büyük oranda tutulmaları, konvansiyonel arıtma sistemlerine

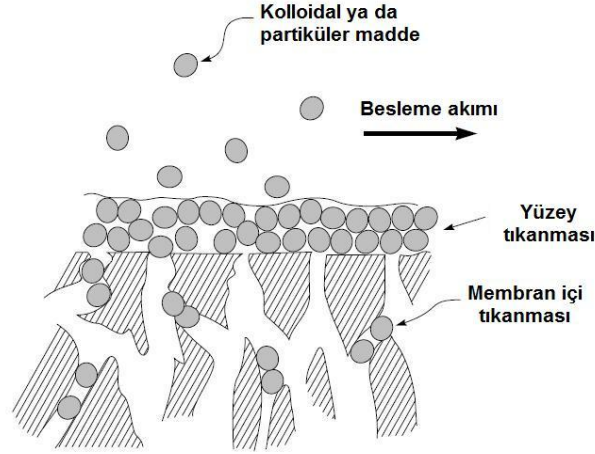
göre daha az dezenfektan ihtiyacını gerektirmektedir. Dolayısıyla MF membranlar ile dezenfeksiyon yan ürünü oluşumu azaltılmaktadır. MF membranlar genel olarak;

- içme suyu arıtma tesislerinde
- soğutma sularında
- göl ve balık çiftliklerinde chlorophyceae gideriminde
- endüstriyel atıksulardan AKM gideriminde
- evsel atıksu arıtma tesislerinin çıkışında AKM ve BOİ gideriminde
- atıksuyun tekrar kullanımında
- membran prosesler için ön arıtma (RO/NF) da
- meyve suyu, şarap ve bira üretiminde
- yarı iletken endüstrisinde saf su üretiminde
- metal geri kazanımında
- meşrubat ve ilaç endüstrisinde ve
- yağlı su karışımlarının ayırımı için

kullanılmaktadırlar.

1930'lu yıllardan beri kullanılan UF membranlarının ise gözenek boyutu 0.001-0.1 µm ve işletme basıncı 2-5 bar arasında değişmektedir. UF membranları, üst tabaka kalınlığı 50-250 µm arasında değişen ve yüksek geçirgenlik ile seçiciliği olan bir alt tabaka ile desteklenmiştir. Farklı çaplardaki çözülmüş büyük molekülleri gidermekte ve moleküler ağırlık engelleme sınırına (MWCO) göre karakterize edilmektedirler. MWCO, membranın bir özelliği olup, bilinen bir çözeltinin çok az miktarda reddedilmesi veya moleküler ağırlığı yüksek olan türlerin bu membran tarafından tutulmasıdır. Bu da membran üreticilerine, moleküler ağırlığı verilmiş olan bir çözelti için membranın tutma yüzdesini belirleme imkanı vermektedir. UF membranlarında moleküler ağırlık engelleme sınırı, çözülmüş maddenin moleküler ağırlığına göre karakterize edilmekte, ancak parçacığın boyutuna, şekline ve yüküne göre değişmektedir. Membran tutma mekanizmasında küresel şekiller (protein vb.) doğrusal şekillere (polimer vb.) göre daha fazla tutulmaktadır. Moleküler ağırlığı daha fazla olmasına rağmen doğrusal olan bir madde membran gözeneklerinden geçebildiğinden, küresel olanlara göre membranın tutma verimi doğrusal maddeler için daha azdır. UF membran performansını belirlemekteki etkin faktör, kolloidlerin ve büyük moleküllerin membran yüzeyinde birikerek membran tıkanmasına sebep olan konsantrasyon polarizasyonudur. Konsantrasyon polarizasyonu nedeniyle

membran yüzeyinde biriken maddeler jel tabakası oluşumuna neden olmaktadır. Bu jel tabakası, membrana gelen akıma karşı ikinci bir bariyer oluşturmaktadır. Şekil 2.3’de UF membran tıkanmasına ait gösterim verilmiştir.



**Şekil 2.3 : UF membran tıkanması.**

Yüzey tıkanması, katı maddelerin zamanla membran yüzeyinde birikmesiyle oluşmaktadır. Yüksek türbülans, düzenli temizleme ve hidrofilik ya da yüklü membranların kullanımı ile membran yüzeyinde olan birikmenin en aza indirilmesiyle kontrol edilebilmektedir. Yüzey tıkanması genellikle tersinir bir tıkanmadır. Membran içinde oluşan tıkanma ise katı maddenin membran içine girerek gözenekleri tıkanmasıyla meydana gelmekte ve genellikle tersinmez bir tıkanmadır.

UF membranlar;

- gıda ve süt endüstrisi
- ilaç endüstrisi (enzimler, antibiyotikler)
- tekstil endüstrisi
- kimya endüstrisi (yağ-su karışımları, boya geri kazanımı)
- kağıt endüstrisi
- deri endüstrisi
- içme suyu arıtımı ve
- RO ve NF öncesinde ön arıtma amaçlı

kullanılmaktadırlar.

## 2.2 İçme Suyu Arıtımında Membran Sistemler

Su, bütün canlılar için en önemli doğal kaynaklardan biridir. Ancak dünyada su kaynaklarına bakıldığında sadece % 3'ünün tatlı su ve bunun da sadece % 1'inin kullanılabilir olduğu görülmektedir. 1999 yılında 6 milyara ulaşan dünya nüfusu, Birleşmiş Milletler (BM) tarafından 2002'de yayınlanan rapora göre 2050 yılında sayısını ikiye katlayarak 12 milyara ulaşacaktır (URL-1). Artan nüfusla birlikte dünya üzerindeki mevcut tatlı su kaynaklarının, ihtiyaçları karşılayamayacak hale gelmesi söz konusudur. Su sorunu, Birleşmiş Milletler başta olmak üzere birçok uluslararası kuruluşta ele alınmaktadır. 2030 yılında nüfusu 80 milyona ulaşacak olan Türkiye'de, kişi başına düşen 1100 m<sup>3</sup> kullanılabilir su miktarıyla, su sıkıntısı çeken bir ülke durumuna gelecektir (URL-2). Muhtemel su sorunlarının yanı sıra endüstriyel, tarımsal ve insan faaliyetlerinden kaynaklanan çevresel kirliliklere bağlı olarak mevcut temiz su kaynakları da kirlenmekte ve suyun kalitesi kötüleşmektedir. BM verilerine göre, dünyada 1 milyar 400 milyon kişi temiz içilebilir sudan mahrumdur. Yine dünya nüfusunun % 40'ına denk gelen 2 milyar 600 milyon kişi de arıtılmamış sağlık açısından sakıncalı suyu tüketmek zorundadır. Günümüzde temiz ve içilebilir su bulma endişesi içme suyu arıtımının önemini arttırmaktadır. İçme suları; tortusuz, kokusuz, renksiz olup içerisinde fenoller ve yağlar gibi suya kötü koku ve tat veren maddeler, hastalık yapan mikroorganizmalar, sağlığa zararlı kimyasal maddeler (arsenik, krom, kurşun vb.) bulunmamalıdır.

İçme suyu arıtma tesislerinde amaç, suyun fiziksel ve estetik kalitesinin sağlanması, bulunması muhtemel zehirli veya sağlığa zararlı maddelerin giderilmesi, sudaki hastalık yapıcı mikroorganizmaların etkisiz hale getirilmesidir. İçme suyu arıtımında kullanılan yöntemlerden bazıları aşağıdaki gibidir:

- Koagülasyon-Flokülasyon
- Yumuşatma
- Kum filtrasyonu
- Aktif karbon filtrasyonu
- Kimyasal oksidasyon
- Dezenfeksiyon

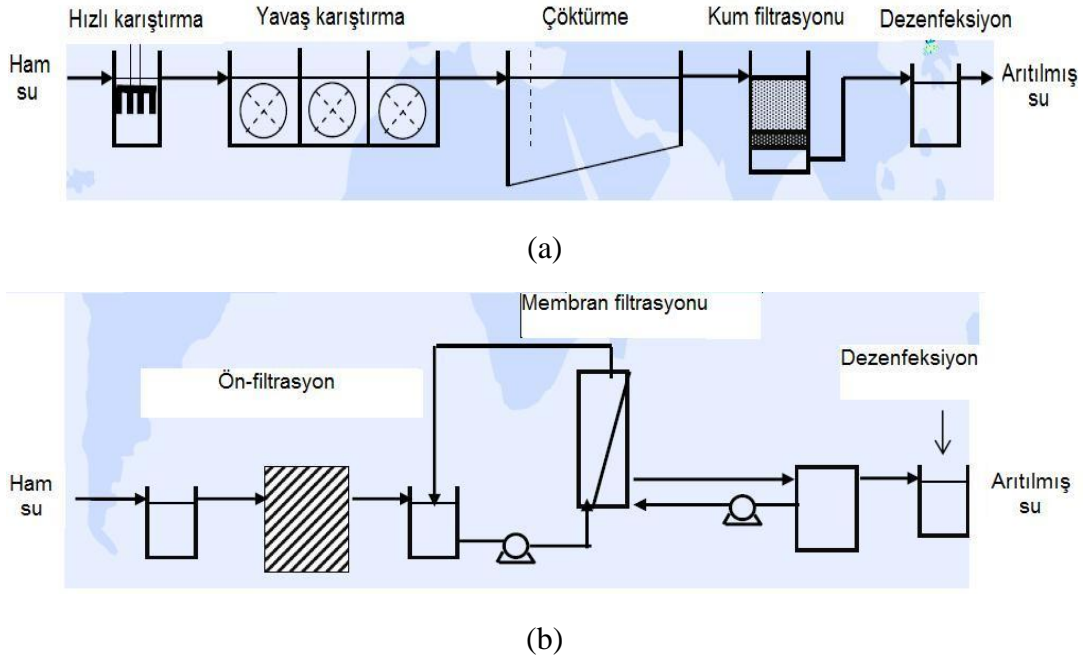
- İyon değiştirici reçineler
- Membran filtrasyonu

Bu yöntemlerden membran filtrasyonu, teknolojinin hızla ilerlemesiyle gelişmekte ve içme suyu arıtımında kullanımı daha yaygın hale gelmektedir. Yapılan çalışmalarda, membran filtrasyonu ile içme suyu arıtma tesislerinde çöktürme ve kum filtrasyonu kademelerinin kaldırılarak hem daha iyi kalitede su elde edilmesi hem de çöktürme ve kum filtrasyonundan kaynaklanan işletme problemlerinin ortadan kaldırılması hedeflenmektedir (Hugaboom ve diğ., 2005, Schideman ve diğ., 2005, McChelland ve diğ., 2005). Özellikle son yıllarda mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon prosesleri, koagülasyon, çöktürme ve kum filtrasyonu gibi konvansiyonel arıtma sistemleri yerine uygulanabilir bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Şekil 2.4’de konvansiyonel bir içme suyu arıtma tesisi ile membran sisteminin şematik gösterimi verilmiştir. Membran proseslerinin, konvansiyonel sistemlere göre avantajları olarak (Capannelli, 2005):

- Süzüntü suyu kalitesinin ham su karakteristiğindeki değişimlerden etkilenmemesi,
- Daha etkin bakteri ve virüs giderimi,
- Tesis işletilmesinin daha kolay ve otomatik olması,
- Kimyasal madde kullanımının olmaması ya da çok az olması,
- Teknolojik açıdan modern ve sürekli gelişmekte olması,
- Alan ihtiyacının daha az olması ve
- Dezenfeksiyon yan ürünlerin oluşumunun azalması

sayılabılır.





**Şekil 2.4 :** Konvansiyonel (a) ve membran sistemine (b) dayanan içme suyu arıtma sistemleri.

İçme sularında bulunan kirleticileri dört ana grupta toplamak mümkündür. Bunlar;

- Partiküler maddeler (kum vb.),
- Organik maddeler (solvent, pestisit, hümik asit, fülvik asit vb.),
- İnorganik maddeler (arsenik, civa, kurşun vb.) ve
- Mikrobiyolojik organizmalar (bakteri, virüs, protozoa, alg vb.)'dır.

Bu kirleticilerden organik maddeler, bitki ve hayvan kalıntılarının biyolojik olarak ayrışması ile oluşmakta ve yağışlar ile alıcı ortama taşınmaktadır. Dolayısıyla yağışlı mevsimlerde sulardaki organik madde konsantrasyonu artmaktadır. Konvansiyonel arıtma sistemlerinde dezenfeksiyon prosesi sırasında, sudaki bazı organik maddeler klor ile reaksiyona girerek trihalometan (THM) ve haloasetik asit gibi dezenfeksiyon yan ürünleri adı verilen kompleks yapıda, yeni ve tehlikeli bileşiklere dönüşmektedir. THM'ler basit, tek karbonlu bileşiklerdir ve kanserojen etkisi olduğundan içme sularında bulunmaları istenmez. Klor ile dezenfeksiyonda kullanılan klor miktarı artışına bağlı olarak THM oluşumu da artmaktadır. Membran filtrasyonu ile dezenfeksiyon ihtiyacının olmaması ya da daha az olmasından dolayı sudaki THM oluşumu azaltılmaktadır (Gray, 2008). Uyak ve diğ. (2008) NF membranını

kullanarak (NF200 ve DS5) hazırlanan farklı sentetik su konsantrasyon ve basınçlarında dezenfeksiyon yan ürünlerinin giderilmesini araştırmışlardır. Maksimum THM giderme verimi tüm konsantrasyonlarda (20, 40, 80 ve 200 µg/l) 10 bar basınçta elde edilmiştir. İşletme basıncının arttırılmasıyla süzüntü akısı artmış ancak THM giderimine etkisi olmamıştır. THM konsantrasyonunun artışına bağlı olarak ise akıntıda herhangi bir azalma görülmemiştir. Deneysel çalışmaların sonucunda, THM gideriminde en iyi teknolojilerden birinin NF prosesi olduğu görülmüştür. Lowe ve Hossain (2008) ise 3 kDa, 5 kDa ve 10 kDa MWCO UF membranlarını kullanarak hazırladıkları sentetik sudan hümik asidi gidermeye çalışmışlardır. Çalışmalarda kullanılan her üç membran ile de 15 mg/l'lik organik maddenin yaklaşık % 90'ının giderildiği görülmüştür. Ayrıca, besleme suyundaki hümik asit konsantrasyonu arttırıldıkça (10 mg/l'den 50 mg/l'ye), membran gözeneklerinde oluşan tıkanmaya bağlı olarak önceden membrandan geçebilen kirleticiler daralan gözeneklerden geçemediğinden organik madde giderimi artmıştır. Daha küçük yapıdaki alifatik bileşikler ise gözeneklerden geçebildiğinden, UV<sub>254</sub> absorbans giderim verimi TOK giderim verimine göre daha fazla olmuştur. 10 kDa UF membranında minimum tıkanma ve daha yüksek süzüntü akısı elde edilip çıkış suyunda istenilen standartları da sağladığından, içme suyu arıtımında kullanılmasının uygun olduğu görülmüştür.

Yüzeysel sulara, azot (N) ve fosforca (P) zengin olan evsel atıksuların, tarımsal drenaj sularının ve bazı endüstriyel atıksuların karışmasıyla suda aşırı fotosentetik bakteri ve alg üremesi meydana gelmektedir. Bu durum, su yüzeyinin kaplanarak güneş ışığının su altındaki canlılara ulaşamamasına ve onların ölmesine neden olmaktadır. Zamanla sudaki çözünmüş oksijen miktarının azalmasıyla, ötrofikasyon adı verilen kirlilik meydana gelmektedir. Mierzwa ve diğ. (2008), pilot ölçekli bir tesiste yürüttükleri çalışmada N ve P içeriği yüksek olan ham suyu, çapraz akışlı UF membran (3500 MWCO) sisteminde arıtarak yüksek kalitede çıkış suyu elde etmeyi amaçlamışlardır. Yaptıkları çalışmada, TOK giderim verimi % 85, UV<sub>254</sub> absorbans giderim verimi % 56 ve bulanıklık giderim verimi % 95 olarak bulunmuştur. Çalışmanın sonucunda konvansiyonel sistemlere alternatif olarak özellikle ötrofikasyon problemi olan sular için içme suyu arıtma tesislerinde UF membranının kullanılmasının uygun olacağı görülmüştür. Heng ve diğ. (2008) de alg problemi olan sularda, membran tıkanmasını önlemek ve membranın kullanım ömrünü

arttırmak için ön arıtma olarak permanganat/klor kullanmışlardır. Bu kimyasal ön arıtma ile alg hücrelerinin, kimyasal maddenin yüzeyinde adsorplandığı ve dolayısıyla UF membranının daha geç tıkanacağı görülmüştür. Ayrıca, ön arıtma ile UF membran sistemlerinde süzüntü suyu kalitesi, akı ve basınç için daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Membran malzemesinin maliyetinin azalmasına rağmen çabuk tıkanması, yaygın kullanımının önündeki en büyük engeldir. Bu durum işletme güçlükleri meydana getirmekte ve membran sistemlerinin kullanımını kısıtlamaktadır. Bu engeli aşmak amacıyla sürekli yeni yöntemler denenmektedir. İki veya daha fazla metodun bir arada kullanıldığı hibrit sistemler de bu yöntemlerden biridir. Hibrit sistem olarak adsorpsiyon, koagülasyon, UV ışını ya da ses dalgalarının membranlarla birlikte kullanıldığı çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Shengji ve diğ. (2008), UF membran öncesi koagülasyon kullanarak göl suyu arıtımını araştırmışlardır. Deneysel çalışmalarda ince boşluklu ve çapraz akışlı UF membranı kullanılmıştır. UF öncesi koagülasyonun hem süzüntü akısını arttırdığı hem de akının azalmasını geciktirdiği gözlenmiştir. Tıkanma meydana geldikçe kimyasal yıkama (%0,1'lik sitrikasit çözeltisi) yapılarak akının artması sağlanmıştır. Chen ve diğ. (2007) de yaptıkları çalışmada, farklı fraksiyon ve moleküler ağırlıktaki doğal organik madde bileşenlerinin UF öncesi koagülasyon (alum) ile giderilerek membran tıkanıklığının azaltılmasına etkilerini araştırmışlardır. Deneysel çalışmalarda sadece UF prosesinde, yüksek moleküler ağırlıktaki hidrofobik kısmın kısa sürede membran akısını azalttığı görülmüştür. Hibrit sistemde ise koagülasyon ile hidrofobik kısım tutulduğundan akıda artış ve membran tıkanmasında azalma görülmüştür. Ayrıca oluşan floklar ile membran yüzeyinde kek tabakası oluşmuş ve bu tabaka sayesinde daha küçük boyuttaki hidrofilik kısım da tutulmuştur.

Adsorpsiyon-membran hibrit sistemi kullanılarak yürütülen bir çalışmada ise toz aktif karbonun (PAC) UF performansı ve organik madde giderim verimi üzerindeki etkisi araştırılmıştır (Mozia ve Tomaszewska, 2004). Giriş akımına PAC ilavesi, membran arıtma performansı üzerinde oldukça etkili olmuştur. Sadece UF kullanımında TOK giderim verimi % 30 ve UV<sub>254</sub> absorbans giderim verimi % 30 olurken, hibrit sistem ile bu değerler sırasıyla % 36 ve % 64 değerine çıkmıştır. Oh ve diğ. (2006) de PAC ilavesinin ince boşluklu UF membran tıkanmasına etkisini araştırmışlardır. Çeşitli geri yıkama şekillerinde (saf su, su ve hava, asit, baz)

ekstrakte edilen organik madde miktarının PAC ilavesi ile çok daha az olduğu görülmüştür. Dolayısıyla, hibrit sistem ile sadece UF membran sistemine göre daha fazla organik madde giderildiği ve membran tıkanmasının azaldığı anlaşılmıştır. Ayrıca PAC ilavesi ile metal iyonlarının da giderildiği görülmüştür (Oh ve diğ., 2006).

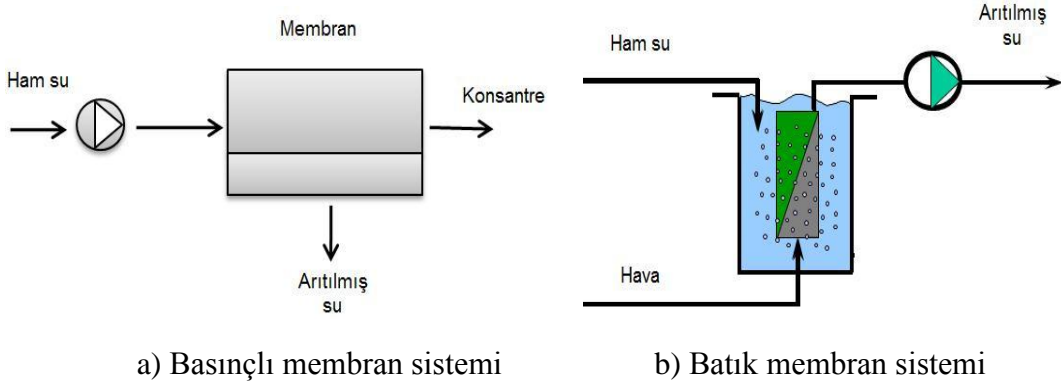
Kolera mikrobi, Hepatit A virüsü ve mikroskopik parazitlerden tifo, dizanteri mikrobi gibi bakterilerin yanı sıra, çeşitli virüsler ve parazitler su kaynaklarına bulaşabilir ve pek çok salgın hastalığa neden olabilirler. Fiksdal ve Leikness (2006), ön koagülasyon ile UF ve MF membran sisteminde MS2 virüsünü gidermeye çalışmışlardır. Süzüntü suyunda çok düşük miktarda ( $\leq 1-30$  pfu/mL) virüsün bulunması, ön-koagülasyon flokülasyon yönteminin MF ve UF membranları ile kullanılmasının, MS2 virüsünü gidermede etkin olduğunu göstermiştir. Ön arıtma olmadığında ise MF membranında virüs giderimi görülmezken UF membranında da çok az sayıda virüsün giderildiği görülmüştür. Ayrıca renk gideriminde de koagülantların etkisi görülmüştür (Fiksdal ve Leikness, 2006).

İçme suyunda istenmeyen maddelerden bir diğeri de zehirli ve insan sağlığına zararlı olan toksik maddelerdir. Choo ve diğ. (2008a) yaptıkları çalışmada, trikloroetilen (TCE) gibi toksik organik maddelerin fotokataliz/MF membran sistemi ile sudan giderimini araştırmışlardır. Hibrit sistemin performansı, membran geçirimsizliği ve TCE giderim verimi, hümik asit ve alkalinitenin olduğu durumlar için araştırılmıştır. Fotokatalitik membran reaktöründe  $TiO_2$  dozajının 1.5 g/l'ye kadar artmasıyla daha fazla TCE giderimi (>60%) görülürken daha yüksek  $TiO_2$  dozlarında TCE giderim verimi azalmıştır. Nötral ve alkali pH'lara göre asidik pH'da TCE'nin daha fazla parçalandığı görülmüştür. Besleme suyuna alkalinite ya da hümik asit ilave edilmesinin ise TCE giderimine herhangi bir etkisi olmamıştır.

Humbert ve diğ. (2007), yüksek DOC (~6 mg/l) içerikli yüzeysel suları, UF membran öncesi anyon değiştirici reçineler kullanarak arıtmaya çalışmışlar ve 45 dk.'dan daha kısa sürede % 80'den fazla DOC giderimi elde etmişlerdir. Reçinelerin öncesinde ya da sonrasında koagülasyonun organik madde giderimini az etkilediği (0.2-0.3mg/l) ancak, sadece reçineler kullanıldığında giderilemeyen ve UF membranda tersinir tıkanmaya sebep olan, biyopolimerlere (protein ve polisakkarit) bağlanmış yüksek moleküler ağırlıktaki (>20kDa) organik bileşikler azalttığı görülmüştür.

### 2.3 İçme Suyu Arıtımında Batık Membran Sistemleri

Su arıtımında membran sistemler iki farklı konfigürasyonda kullanılabilirler. Bunlardan ilki olan basınçlı sistemlerde su, basınç altında membrandan geçirilerek süzüntü ve konsantre akım olarak ikiye ayrılır. Diğer sistem ise batık membran sistemleridir. Bu sistemde membranlar, bir tanka yerleştirilerek suyun vakum ile çekilmesi sağlanır. Membrandan geçemeyen konsantre kısım ise tank içerisinde kalmaktadır. Bu sistemin avantajı, konsantre kısmın debisinin azalması ve vakum altında çalıştığı için basınç altında çalışan sistemlere göre enerji maliyetinin daha az olmasıdır. Membranların içme suyu arıtımında kullanılış biçimleri Şekil 2.5’de gösterilmiştir.



Şekil 2.5 : Membranların su arıtımında kullanılış biçimleri.

Son yıllarda basınçlı sistemlere göre maliyetinin daha az olmasından dolayı batık membran sistemleri, içme suyu arıtımında öne çıkmaktadır. Bu sistemlerin ters osmoz membranları öncesinde kullanılmasının, hem kuyu suyunda hem de deniz suyunda ters osmoz membranlarının verimini arttırdığı görülmüştür (Cote ve diğ., 2001). Ayrıca, içme suyu arıtımında batık membran sistemlerinin kullanılmasının daha kolay ve ucuz olmasının yanı sıra, % 30'luk yer kazanımı sağlaması gibi avantajlarının da olduğu belirtilmiştir (US Filter, 1999).

İçme suyu arıtımında batık membran sistemler;

- Yüzeysel suların doğrudan filtrasyonu amacıyla,
- Doğal organik madde gideriminde koagülasyon sonrası filtrasyon amacıyla,
- Demir ve mangan gideriminde oksidasyon sonrası filtrasyon amacıyla,

- Ters osmos öncesi yüzeysel suların ön arıtımı amacıyla

kullanılmaktadır.

Best ve diğ. (2001), yüksek bulanıklık ve TOC içeren suların arıtımı için batık membran sistemlerinin ekonomik olarak da uygulanabilir bir alternatif olduğunu göstermişlerdir. Yapılan çalışmada, bulanıklık değeri 0.1 NTU'nun altına düşmüş ve organik maddedeki yüksek giderme verimi dezenfeksiyon yan ürün oluşumunu azaltmıştır. Li ve Chu (2003) tarafından yapılan çalışmada da batık membran sistemlerinin TOC ve amonyak değerlerini büyük oranda giderdiği görülmüş ve membran üzerinde oluşan ilave kek tabakasının, dezenfeksiyon yan ürünleri için ilave bir süzme tabakası olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca batık membran sisteminin, nitrat ve endokrin bozucu bileşiklerinin giderimi üzerinde bir çok avantajları olduğu da belirtilmiştir (Yang ve dğr., 2005). Kum filtrasyonu ile giderilemeyen manganın uzaklaştırılması için batık membranlar ile yapılan bir çalışmada mangan değeri standartların altına düşürülmüştür (Zenon, 2003).

#### **2.4 Membran Tıkanmasının Azaltılması İçin Yöntemler**

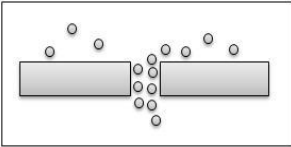
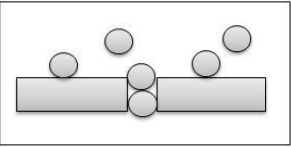
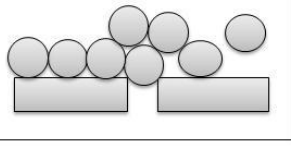
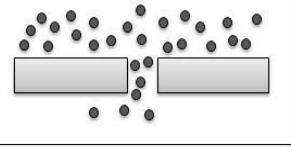
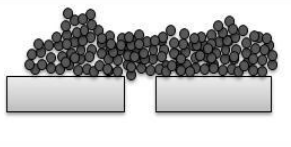
Membran filtrasyonunun gelişimini etkileyen en önemli nedenlerden biri tıkanma problemidir (AWWA, 1998; Howe ve Clark., 2002). Membran filtrasyonunda, ham sularda bulunan farklı yapıdaki bileşenlerin birbirleri ya da membran yüzeyi ile olan etkileşimleri sonucu membran tıkanmaları ve buna bağlı olarak akı azalması görülmektedir. Tıkanmaya sebep olan bileşenler aşağıda verilmiştir:

- *Partiküller*; organik ya da inorganik yapıda olup membran yüzeyini tıkarlar.
- *Organik maddeler*; membran yüzeyini adsorpsiyon yoluyla tıkayan çözünmüş bileşenleri ve kolloidleri içerirler.
- *Inorganik maddeler*; pH değişimine bağlı olarak membran yüzeyinde çökelmeye sebep olan ya da oksitlenen çözünmüş maddeleri içerirler.
- *Mikrobiyolojik organizmalar* ise; biyolojik tıkanmaya sebep olan algler ve bakterilerdir.

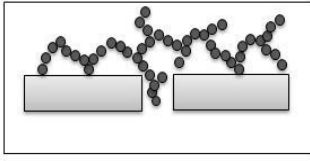
Membran tıkanması, kimyasal ve fiziksel etkileşimler sonucu ortaya çıkmaktadır. Besleme akımındaki kirletici maddeler, membranın yüzey özelliklerine bağlı olarak (hidrofilik yapısı ya da yüklü olup olmaması gibi) çeşitli etkileşimlerle membranı

tıkayabilirler. Ayrıca kirletici maddeler fiziksel olarak gözenekleri tıkayarak ya da kek tabakası oluşumu ile yüzeye taşınımını önleyerek membran tıkanmasına sebep olabilirler. Membranlarda gözlenen tıkanmalara ait Çizelge 2.3'de özet bilgi verilmiştir.

**Çizelge 2.3 : Membran tıkanma tipleri (Singh, 2006).**

A	Yüzeysel tıkanmada gözeneklerin etkisi
	<p>Gözenek Adsorpsiyonu (<math>d_{\text{çözünen}} \ll d_{\text{gözenek}}</math>): Kolloidler ya da çözünmüş maddeler membran çeperlerine tutunarak, gözenek çapını daraltır ve akı azalması görülür.</p>
	<p>Gözenek Tıkanması (<math>d_{\text{çözünen}} = d_{\text{gözenek}}</math>): Gözenek çapıyla aynı çaptaki kolloidler ya da çözünmüş maddeler gözenekleri tamamen tıkırlar. Membran porozitesinde düşme ve ciddi bir akı azalması görülür.</p>
	<p>Kek Oluşumu (<math>d_{\text{çözünen}} \gg d_{\text{gözenek}}</math>): Gözenek çapından büyük olan kolloidler ya da çözünmüş maddeler, gözeneklerden geçemediklerinden membranda tutulur ve membran yüzeyinde kek oluşumuna sebep olurlar. Gözenek ile partikül çapının oranına bağlı olarak akı azalması görülür (Kek tabakasının kalınlığının yanı sıra geçirimsizliği de önemlidir).</p>
B	Kolloidlerin ve çözünmüş maddelerin stabilitesinin etkisi
	<p>Kararlı kolloidler membran gözenek çapından daha küçüktür ve membran malzemesi tarafından adsorplanmadığı sürece tutulamazlar.</p>
	<p>Kararlı haldeki maddeler, yavaş koagülasyon sonucu yoğun kütleler haline gelirler ve membran yüzeyinde kek tabakası oluşturarak tutulurlar. Bu kümelenmiş yapı, yığın üzerindeki kuvvetlerin ve yığının stabilitesinin etkisiyle çökeildiğinde akıda azalma görülür.</p>

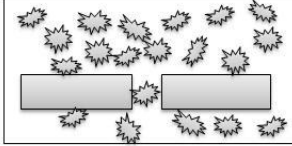
**Çizelge 2.3 : Membran tıkanma tipleri (devam)**



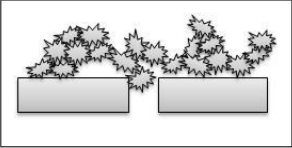
Hızlı koagülasyon sonucu ise seyrek kütleler oluşur ve membranda tutularak membran yüzeyinde kek tabakası oluştururlar. Bu kümeleşme de yığının stabilitesi ve üzerindeki kuvvetlere bağlıdır. Filtrasyon süresince oluşan bu yapı korunuyorsa, boşluklardan geçebilen akı yüksek olur.

C

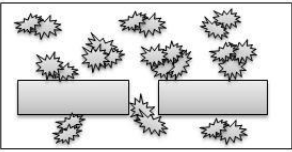
Çözünmüş maddeler arasındaki etkileşim



Kolloidler gözeneklerden küçük olup organik maddelerle kararlı hale geliyorsa ve eğer membran malzemesi tarafından adsorplanmaz ya da yüksek tuz konsantrasyonu ile kararsız hale getirilemezse, membran tarafından tutulamazlar.



Maddelerin yığınlar oluşturmasıyla organik maddeler de bu yığınlarda adsorplanır ve tamamen membran tarafından tutulurlar. Ancak membranın üst tabakasından içeri doğru geçebilir.



Kısmen kararsız ve yığınlar haline gelen kolloidler: Çözeltide tuzların, kolloidlerin ve çözünmüş organik maddelerin bulunmasıyla pek çok çözünmüş madde birbirleri ile etkileşim haline girer ve birbirinden farklı küçük yığınları oluştururlar ki bu durum da gözeneklerin tıkanmasına sebep olur.

Tıkanma mekanizmasının belirlenmesinde önemli olan membran gözenek büyüklüğünün tıkanmaya neden olan kirletici büyüklüğüne oranıdır. MF membranı için membran tıkanmasının sebebi, gözeneklerin daralması ve oluşan kek tabakasıdır. (Schafer ve diğ., 2000). Batık membran filtrasyonunda tıkanmanın en aza indirilmesi, böylelikle membran ömrünün uzatılması ve enerji tüketiminin azaltılması için çeşitli konfigürasyonlar ve işletme metodları araştırılmıştır. Membran tıkanmasını önlemek ya da azaltmak için aşağıdaki yöntemler uygulanmaktadır.

- *Fiziksel yöntemler:* Membran tıkanmasını önlemek için geri yıkama, havalandırma gibi fiziksel yöntemler kullanılabilir. Membranın havalandırılması, katı maddelerin askıda kalmasını sağlarken membran yüzeyinin de temizlenmesine yardımcı olur. Yükselen hava kabarcıkları, membran yüzeyinde oldukça yüksek kesme kuvveti yaratırlar. Hava debisine bağlı olarak süzüntünün akışı da önemli ölçüde değişir. Geri yıkama yöntemi



ile membran üzerindeki kek tabakası kolaylıkla uzaklaştırılabilmektedir (Ng ve dğr., 2004).

- *Kimyasal yıkama:* Membran tıkanmasını azaltmak için belirli periyotlarda (günde birkaç defadan haftada bire kadar) kimyasal yıkama yapılabilir. Alkali çözeltiler (NaOH gibi) organik kirliliği, asit çözeltiler (HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> gibi) inorganik kirliliği ve biyositler (Cl<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> gibi) biyolojik tıkanmayı giderirler.
- *Yerinde temizleme:* Daha seyrek yapılan kimyasal yıkamadır (haftada birden birkaç ayda bire kadar).
- *Sistemi kritik akıdan daha düşük bir akıda çalıştırmak:* Kritik akı sistemin hidrolük verimini azaltmadan uygulanabilecek maksimum akı olarak tanımlanmaktadır. Teorik olarak sistemin bu kritik akıdan daha düşük bir akı ile işletilmesi halinde membran yüzeyinde veya içinde hiçbir kirlitici birikmeyecek ve hidrolük verim azalmayacaktır. Pratikte ise hibrit batık membran sistemlerde tıkanmanın, kritik akıdan daha düşük akı uygulanması durumunda bile kısa bir süre sonra başladığı gözlenmiştir.

İçme suyu arıtımında, ham su karakteristiği (tuz konsantrasyonu, organik madde içeriği vb.) ile membran işletme parametreleri ve karakteristiği membran performansını etkilemektedir (Aoustin ve diğ., 2001). Zularisam ve diğ. (2007) yaptıkları çalışma ile ultrafiltrasyon membranlarında farklı NOM fraksiyonlarının membran tıkanmasına etkisini araştırmışlardır. Batık UF membranı olarak 68 kDa MWCO polysulfone (PSF) ve 50 kDa MWCO CA membranları kullanılmıştır. Göl suyu, DAX-8 ve XAD-4 iyon değiştirici reçineler kullanılarak hidrofobik, transfilik ve hidrofilik fraksiyonlara ayrılmıştır. Doğal organik madde fraksiyonlarının membranı farklı mekanizmalarla tıkadıkları belirlenmiştir. Buna göre, membran tıkanıklığına sebep olan mekanizmalar hidrofobik fraksiyon için konsantrasyon polarizasyonu, transfilik fraksiyon için kek tabakası ve hidrofilik fraksiyon için adsorpsiyon olmuştur. En fazla akı azalmasına neden olan öncelikle hidrofilik fraksiyon, daha sonra hidrofobik fraksiyon ve en son da transfilik fraksiyon olmuştur. Hidrofilik fraksiyon tıkanmanın birincil öncelikli bileşeni olduğundan membran tıkanmasında baskın mekanizma adsorpsiyondur. En fazla akı azalmasına sebep olmasına rağmen hidrofilik fraksiyonun düşük DOC ve UV<sub>254</sub> giderimine neden olduğu görülmüştür. DOC ve UV<sub>254</sub> giderimi ile akı azalması arasında bir korelasyon

olmadığı sonucuna varılmıştır. Membran tıkanmasında organik madde fraksiyonlarının rolünü anlamak için Gray ve diğ., (2007) de deneysel çalışmalarda bulunmuşlardır. Çalışmalarda hidrofobik ve hidrofilik membran tipleri kullanılmıştır. Hidrofilik fraksiyon, akının hızlı azalmasına ve kek tabakası oluşumuna sebep olurken, hidrofobik fraksiyon sabit akı azalmasına sebep olmuş ve herhangi bir kek tabakası oluşumu gözlenmemiştir. Nötral ve yüklü hidrofilik bileşiklerin, hidrofobik ve küçük gözenekli membranlarda hızlı tıkanmaya neden olan baskın kirlenmelerdir. Hidrofobik bileşikler membran gözeneklerinde adsorbe olurken, hidrofilik kısım yüzeyde kek tabakası oluşumuna neden olmuştur. Koagülasyon ön arıtımı ile gözeneklerin tıkanıp daralması önlenmiş böylece membran tıkanıklığı azaltılmıştır. Koagülantlar, daha çok hidrofobik fraksiyonun giderilmesini ve az da olsa nötral hidrofilik kısmın giderilmesini sağlamıştır. Daha küçük gözenekleri olduğundan hidrofobik membranlar hidrofilik membranlara göre daha çabuk tıkanmıştır. Lee ve diğ. (2008), ham su ve benzer karakterde hazırlanan sentetik suların batık MF filtrasyonunda baskın kirlenme mekanizmasının hidrofilik membran için kek tabakası ve hidrofobik membran için gözeneklerin daralması olduğunu belirtmişlerdir. SEM mikroskobu ile de bu tıkanma mekanizmaları görülmüştür.

Choi ve diğ. (2008), çalışmalarında koagülasyon sonucu oluşan flokların membran tıkanmasına etkilerini araştırmışlardır. Düşük hümik asit (2 mg/l) içerikli doğal sular ve yüksek hümik asit (6 mg/l) içerikli sentetik sular ile deneysel çalışmalar yürütülmüştür. Koagülasyon sonucu oluşan flokların fiziksel özellikleri analiz edilmiş ve yüksek hümik asit içeren sularda oluşan flokların, düşük hümik asit içeren sulara göre daha kolay sıkıştırılabilir kek tabakası oluşturduğu görülmüştür. Membran tıkanması, spesifik kek tabakası direncinin artması ve akı azalması ile oluşurken, tıkanma derecesinin oluşan flokların fiziksel özelliklerine bağlı olduğu anlaşılmıştır. Mousa (2007), yaptığı çalışmada hümik asitin UF membran tıkanmasına etkisini araştırmıştır. Çalışmalarında PAN 20 kDa (Rhone-Poulenc), PAN 100 kDa (Osmonics), PES 150 kDa (Microdyn-Nadir) ile PS 10, 50 ve 100 kDa (Permionics) membranları olmak üzere 6 farklı tip membran kullanmıştır. Çalışmalar sonucu küçük partiküllerin gözenek yüzeyine adsorplanması ile membran tıkanmasının daha fazla olduğu anlaşılmıştır. Kek direncinin besleme suyunun konsantrasyonu ile doğru orantılı olduğu görülmüştür. Test edilen membranlar

karşılaştırıldıklarında ortalama membran gözenek çapının spesifik kek direnci ile ters orantılı olduğu görülmüştür.

Lohwacharin ve Takizawa (2008) ise, nanopartiküllerin UF membran tıkanıklığına etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarında doğal sularda bulunan nanopartiküllerden karbon siyahını (70-200 nm) model olarak kullanmışlardır. Organik maddenin gözenek içine adsorplanması ve gözeneklerin tıkanmasının akı azalmasında etkin olduğu görülmüştür. PAC ilavesi ile organik küçük moleküllerin gözenek içini tıkaması azalmış, fakat genel olarak akı azalmasına pek etkisi olmamıştır. Membran filtrasyonunda oluşan kek tabakası membran tıkanıklığında baskın mekanizma olmuştur.

#### **2.4.1 Toz aktif karbon**

Adsorpsiyon, bir fazda bulunan iyon ya da moleküllerin, bir diğer fazın yüzeyinde konsantre olmasıdır. Diğer faz üzerindeki bu konsantrasyon değişimi, artış halinde ise pozitif adsorpsiyon, azalış halinde ise negatif adsorpsiyon olarak adlandırılır. Proses, sıvı-sıvı, gaz-sıvı, gaz-katı, ve katı-sıvı gibi iki ayrı fazın ara yüzeylerinde gerçekleşmektedir. Birikim gösteren maddeye adsorbat, adsorplayan maddeye ise adsorban denilmektedir. Adsorpsiyonun tipi, adsorplayıcı kuvvetlerin cinsine göre üçe ayrılır. Bunlar;

1. *Fiziksel adsorpsiyon:* Fiziksel adsorpsiyon, moleküller arası düşük çekim gücünden veya Van der Waals kuvvetlerinden dolayı meydana gelmektedir. Adsorbe olan molekül katı yüzeyinde belirli bir yere bağlanmamıştır, yüzey üzerinde hareketli bir durumdadır. Bununla birlikte, adsorbat adsorbanın yüzeyinde birikir ve gevşek bir tabaka oluşturur. Fiziksel adsorpsiyon genellikle tersinirdir.
2. *Kimyasal adsorpsiyon:* Kimyasal adsorpsiyon daha kuvvetli güçlerin etkisi sonucu oluşur (kimyasal bileşiklerin oluşumu). Genellikle adsorbat yüzey üzerinde bir molekül kalınlığında bir tabaka oluşturur, moleküller yüzey üzerinde hareket etmezler. Adsorban yüzeyinin tamamı bu mono moleküler tabaka ile kaplandığında, adsorbanın adsorplama kapasitesi bitmiş olur. Bu tür adsorpsiyon çok nadir olarak geri dönüşümlüdür (tersinmez).
3. *İyonik adsorpsiyon:* Elektrostatik kuvvetlerin etkisiyle, yüzeydeki yüklü bölgelere, iyonik özelliklere sahip adsorbanın tutulması işlemidir. Maddelerin

iyonik güçleri ve moleküllerin büyüklüklerine göre seçimli olarak meydana gelir. Ortamın iyonik şiddeti ve pH'ı bu tür adsorpsiyonu oldukça etkiler.

Sıcaklık, pH, yüzey alanı, çözünen maddenin cinsi ve özellikleri adsorpsiyonu etkileyen önemli faktörlerdendir. Adsorpsiyonu etkileyen diğer bir faktör de, adsorbatın özellikleridir. Suda çözünebilir (hidrofilik) bir madde, suda daha az çözünen (hidrofobik) diğer bir maddeye göre daha az adsorbe olacaktır. Ayrıca, adsorbanın gözenek büyüklüğüne en uygun büyüklükte olan molekül daha iyi adsorbe olacaktır. Genel olarak, maddelerin nötral olduğu pH aralıklarında adsorpsiyon hızı artmaktadır. Çok bileşenli çözeltiler içerisinde bulunan madde, saf olarak bulunduğu çözeltideki durumuna göre daha az adsorbe olmaktadır.

Adsorpsiyon, adsorban yüzeyinde biriken madde konsantrasyonu ve çözeltide kalan madde konsantrasyonu arasında bir denge oluşuncaya kadar devam etmektedir. Matematiksel olarak bu denge adsorpsiyon izotermi ile açıklanmaktadır. Freundlich ve Langmuir izotermi en yaygın olarak kullanılan izotermilerdir. Bu izotermilere ait denklemler (2.1–2.3) aşağıda verilmiştir.

Freundlich:

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (2.1)$$

$$\log q_e = \log K_F + (1/n) \log C_e \quad (2.2)$$

Langmuir:

$$q_e = (K_L C_e) / (1 + a_L C_e) \quad (2.3)$$

Burada;

$q_e$ : birim adsorban üzerine adsorplanan madde miktarını (mg/g)

$C_e$ : adsorpsiyon sonrası çözeltide kalan maddenin konsantrasyonunu (mg/dm<sup>3</sup>)

$K_F$ : Deneysel olarak hesaplanan adsorpsiyon kapasitesini

$n$ : adsorpsiyon yoğunluğunu

$K_L$ : Adsorbatın adsorptivitesine bağlı olan sabiti (dm<sup>3</sup>/g)

$a_L$ : adsorpsiyon enerjisine bağlı olan sabiti (dm<sup>3</sup>/mg)

göstermektedir.

İçme suyu arıtımında aktif karbon, adsorban olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Aktif karbonlar ticari olarak, odun, turba, linyit, kömür, mangal kömürü, kemik, Hindistan cevizi kabuğu, pirinç kabuğu, fındık kabuğu ve yağ ürünlerinden elde edilen karbonların çeşitli işlemlerden geçirilerek aktive edilmesiyle elde edilirler. Aktif karbon, büyük kristal formu ve oldukça geniş iç gözenek yapısı ile karbonlu adsorbanlar ailesini tanımlamada kullanılan genel bir terimdir. Aktif karbonlar, insan sağlığına zararsız, kullanışlı ürünler olup oldukça yüksek bir gözenekliliğe ve iç yüzey alanına sahiptirler. Su arıtımında kullanılan aktif karbon taneciklerinin iç yüzey alanının yaklaşık 1000 m<sup>2</sup>/g olması istenmektedir. Kirlilik oluşturan maddeler, aktif karbonun yüzeyinde tutulacağından, yüzey alanının büyüklüğü kirliliklerin giderilmesinde oldukça etkili bir faktördür. Adsorpsiyon için gözenek yapısı, toplam iç yüzeyden daha önemli bir parametredir. Gözeneklerin büyüklükleri, uzaklaştırılacak olan kirliliklerin tanecik çaplarına uygun olmalıdır. Çünkü karbon ve adsorplanan moleküller arasındaki çekim kuvveti, molekül büyüklüğü gözeneklere yakın olan moleküller arasında daha büyüktür.

Aktif karbonlar değişik özelliklere sahip şekillerde üretilebilirler. Bunlar;

1. Toz aktif karbonlar (PAC)
2. Granüler aktif karbonlar (GAC)
3. Pelet halindeki aktif karbonlardır.

Toz haldeki aktif karbon, karbonun kimyasal aktivasyonu ile elde edilir. İçme suyu arıtımında, organik ve inorganik maddelerin uzaklaştırılmasında oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Toz aktif karbon-membran hibrit sisteminde, yüksek PAC konsantrasyonunun, membranda oluşan organik tıkanmayı önlediği ve işletme süresini arttırdığı bilinmektedir (Kim ve diğ., 2000; Seo ve diğ., 2005).

Yüzeysel suların arıtımında batık membran filtrasyonu ve toz aktif karbonun birlikte kullanılması ile oluşturulan hibrit sistemde yüksek verimle doğal organik madde, renk ve sentetik kimyasal madde giderimi sağlanmıştır (Ng ve diğ., 2004). Omer ve diğ. (2008) yaptıkları çalışmada membran biyoreaktör (MBR) ve MBR-PAC hibrit sistemini ile göl suyundan mikro kirliticileri gidererek çıkış su kalitesini arttırmayı amaçlamışlardır. PAC ilavesi ile biyoreaktördeki mikrobiyal aktivitenin arttığı ve membran tıkanmasının azaldığı görülmüştür. İçme suyu arıtımında MBR kullanımı ile daha iyi çıkış suyu kalitesi elde edilmekte ve PAC, arıtılmış suyun kalitesinin

artmasına yardımcı olmaktadır. Yapılan deneysel çalışmaların sonunda  $\text{NH}_3\text{-N}$  gideriminin her iki tip proseste de % 80'in üzerinde olduğu görülmüştür. SUVA değeri ( $\text{UV}_{254}/\text{TOK}$ ), PAC ilavesi ile % 40 azalmıştır. Sonuç olarak MBR-PAC hibrit sistemi ile MBR sistemine göre daha iyi kalitede arıtılmış su elde edilmiştir. MBR-PAC sistemi ile membran tıkanması daha geç olduğundan, daha yüksek akı değerleri elde edilmiş olup, sistem daha uzun süre işletilebilmiştir. Renk ve sentetik kimyasal madde giderimi sağlanmıştır.

Kim ve diğ. (2007), laboratuvar ölçekli batık MF membran sisteminde, toz aktif karbonun çıkış suyu kalitesi ve süzüntü suyu akısına etkisini araştırmışlardır. Çalışmada ikincil arıtma çıkış suyu karışan bir nehir suyu kullanılmıştır. PAC ilavesi yokken ve 4 ile 40 g/l PAC konsantrasyonları varken 1 m/gün'lük filtrasyon hızıyla ayrıca PAC konsantrasyonu 40 g/l iken 0,5 m/gün'lük filtrasyon hızıyla çalışılmıştır. Tüm deneysel çalışmalarda bulanıklık % 90'nın üzerinde giderilerek 0,1 NTU'nun altına düşmüştür. PAC ilave edilmeyen çalışmada, TOK giderimi görülmemiş, ancak PAC artışına bağlı olarak TOK giderimi artmıştır. Filtrasyon hızının TOK giderimine etkisi olmamış, her iki çalışmada da % 85'lik giderim verimi elde edilmiştir.  $\text{UV}_{254}$  absorbans giderimi de TOC giderimine benzer olmuştur. PAC ilavesi olmayan çalışmada % 13 iken, 40 g/l'lik PAC ilavesi ile % 90'lık giderim elde edilmiştir. Filtrasyon süresi arttıkça akı azalmış ve vakum basıncı artmıştır. PAC dozajının akıya etkisi görülmemiştir. Guo ve diğ. (2005) ise, batık membran-adsorpsiyon hibrit sisteminde, PAC ilavesi ve diğer işletme parametrelerinin çözünmüş organik madde giderimine etkilerini incelemişlerdir. Çalışmalarında, biyolojik olarak arıtılmış atıksu karakteristiğinde; hümik asit, tanik asit, lignin, polisakkarit ve diğer yüksek moleküler ağırlıktaki organik maddeleri içeren sentetik su kullanmışlardır. Deneysel çalışmalar sonucunda, adsorpsiyonun, PAC dozunun, hava debisinin ve akının organik madde gideriminde etkili olduğu görülmüştür. Hazırlanan sentetik su karakteristiği için optimum hava debisi 16 l/dk, filtrasyon akısı  $< 24 \text{ l/m}^2\cdot\text{sa}$  ve uygulanan PAC dozu 5 g/l olarak belirlenmiştir. Adsorpsiyon ile organik madde giderimi daha fazla olduğundan, membran yüzeyinde biriken kirletici madde miktarı daha az olmuştur.

Seo ve diğ. (2005) yüksek konsantrasyonlarda PAC kullanımının membranların tıkanması üzerine etkilerini araştırmak amacıyla deneyler yürütmüşlerdir. Deneysel çalışmalar pilot ölçekli sistemde, hızlı kum filtresi çıkış suyu kullanılarak

gerçekleştirilmiştir. Sistem, PAC biyoreaktörü, ince boşluklu batık membran modülü ve bir hava kaynağından oluşmaktadır. Proses, 12 dk. filtrasyon ve 3 dk. durma şeklinde gerçekleştirilmiş ve PAC sisteme başlangıçta 40 g/l olarak verilmiştir. Başlangıç akısı 0,36 m/gün olmak üzere sistem, 40 kPa basınçta kararlı olarak yaklaşık 90 gün boyunca işletilmiştir. Kek ve jel tabakası dirençlerinin filtrasyon basıncını arttıran en baskın fraksiyonlar (toplamın % 90'ından fazla) oldukları görülmüştür. Bu sonuca göre, PAC kek tabakası ile filtrasyon direncinin kontrol edilebileceği ve kalıcı membran tıkanıklığının önlenilebileceği düşünülmüştür. Her 3 günde bir 3 dk'lık hava ile geri yıkama sonucu işletme süresi 127 güne kadar uzatılmıştır. Organik maddeler moleküler ağırlık yapılarına göre analiz edilmiş ve sistem giriş suyunun % 15 hidrofobik ve % 74,4 hidrofilik doğal organik madde içerdiği bildirilmiştir. Hidrofobik ve hidrofilik (elektrostatik) etkileşimin, membran üzerinde tıkanmadaki en temel etken olduğu görülmüştür. Hidrofobik fraksiyonun çıkış suyunda azalmasından dolayı, reaktörde adsorpsiyon ile organik maddenin hidrofobik kısmının giderildiği anlaşılmıştır. Belirli bir işletme süresi sonrasında membranda biriken organik maddeler analiz için ekstrakte edilmiştir. Hidrofobik ve hidrofilik organiklerin fraksiyonu sırasıyla % 41,1 ve % 38,9 olmuştur. Deneysel çalışmaların neticesinde, hidrofobik fraksiyonun membranda tıkanıklığa sebep olan en önemli maddeler olduğu anlaşılmıştır.

Jia ve diğ. (2008) ise matematiksel bir model geliştirerek, PAC-batık membran hibrit sisteminde farklı işletme koşullarının, suda bulanık organik madde giderimi üzerine etkilerini araştırmışlardır. Sistemde, toz aktif karbonun sürekli ve kesikli verildiği durumlar karşılaştırılmıştır. Araştırmacılar çalışmaları sonucunda, kesikli PAC dozlamasında, hava debisinin ya da akının artırılmasıyla daha fazla organik madde giderildiği sonucuna varmışlardır. Buna karşın sürekli PAC dozlamasında, giderim veriminin havalandırma debisinden bağımsız olduğu görülmüştür ki bu da daha az hava debisiyle daha az enerji tüketimini mümkün kılmaktadır.

#### **2.4.2 UV/TiO<sub>2</sub>**

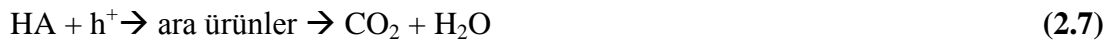
Fotoliz, fotonların moleküller tarafından tutulduğu ve enerjinin açığa çıktığı yükseltgenme-indirgenme prosesleridir. 200–400 nm dalga boyundaki fotonlar fotolitik reaksiyonlar için gerekli enerjiyi sağlarlar. Üç önemli UV lambası vardır.

Bunlar; (1) düşük basınçlı, düşük yoğunluklu, (2) orta basınçlı, orta yoğunluklu ve (3) yüksek basınçlı, yüksek yoğunluklu lambalardır. Bunlardan düşük basınçlı olan lamba 254 nm dalga boyunda tüm enerjisini yaymaktadır. Fotolizde, reaksiyon için gerekli enerjiyi ışık kaynağından çıkan fotonlar sağlamaktadır. Reaksiyon sırasında, orbitalin dışındaki bir elektron fotonu absorplar ve kararsız bileşik haline gelir (Montgomery, 1985).

UV/TiO<sub>2</sub> fotokatalitik reaksiyonları pek çok organik maddenin oksidasyonunda etkilidir. TiO<sub>2</sub>, ZnO, ZnS, CdS, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gibi diğer yarı iletken maddelerle karşılaştırıldığında daha hızlı etki etmektedir (Wang ve diğ., 2006). TiO<sub>2</sub>'nin en önemli avantajı, organik maddelerin TiO<sub>2</sub> yüzeyinde adsorplanması ve yarı ömrü kısa olan hidroksil radikalının çözeltiye geçmesidir. Fotokatalitik reaksiyonların adımları (2.4–2.6) aşağıda verilmiştir:



Fotokatalitik reaksiyonlar, hümik asitin sulu çözeltilerden gideriminde etkili bir alternatif çözümdür (Wiszniewski ve diğ., 2002). Bu proses ile fotokataliz dışında herhangi bir kimyasala ihtiyaç duyulmadan organik maddenin giderimi mümkün olmaktadır. Hümik asitin fotokatalitik olarak parçalanma adımları denklem 2.7–2.8'de verilmiştir.



1990'lı yılların ortasından bu yana fotokatalizle içme suyu arıtımında çok sayıda çalışma yapılmıştır. Fotokatalitik prosesler ile optimizasyon sağlandığında çok sayıda doğal ve sentetik organik bileşikleri tamamen parçalanabilmektedir. Le-Clech ve diğ. (2006), fotokataliz-membran hibrit sistemi ile koagülasyonu ya da konvansiyonel sistemlerle arıtılması güç olan düşük organik madde konsantrasyonlu yüzeysel suların arıtımı ile ilgili çalışmalarda bulunmuşlardır. Optimum pH 4.5 ve TiO<sub>2</sub> konsantrasyonu 0,1 g/l olarak belirlenmiştir. Sadece membran filtrasyonu ile % 18, TiO<sub>2</sub> ile % 5'den daha az TOC giderimine karşın, sadece UV ışığı ile % 70'in üzerinde TOC giderimi görülmüştür. Deneysel çalışmalarda UV/TiO<sub>2</sub>'nin birlikte kullanımı ile % 90 TOC giderim verimi elde edilmiştir.



Doğal organik maddenin fotokatalitik yöntemle giderilmesi içme suyu arıtımında alternatif bir seçenek olmuştur. Choo ve diğ. (2008b), yaptıkları çalışmada batık fotokatalitik membran reaktör (PMR) performansının, organik madde giderim verimi ve membran tıkanıklığına etkisini araştırmışlardır. PMR sisteminde,  $TiO_2$  tarafından adsorplanan hümik asit, fotokatalitik ayrışması sonucu  $TiO_2$  partiküllerine daha az tutunabildiğinden desorpsiyona uğrayarak tekrar suya geçmektedir. Ancak,  $TiO_2$  fotokatalizi ve FH (ferrihydrite) adsorpsiyonunun birlikte kullanımı ile organik maddenin desorpsiyonu minimize edilerek sudan daha fazla giderimi sağlanmıştır. Fotokatalitik ayrışma görüldüğü sürece yüksek akılarda ( $>25 L/m^2.sa$ ) işletilen batık PMR sisteminde önemli bir membran tıkanması gözlenmemiştir. FH ilavesi ile sentetik sudan hümik asit giderilmiş, fakat düşük SUVA ve yüksek pH içerikli göl suyunda organik madde giderilememiştir. Bunun da askıdaki FH partiküllerinin UV ışığı ile saçılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Batık membranın yüzeyine FH'nin tutunması ile göl suyundan NOM giderimi gerçekleşmiştir. Demir hidroksit membran yüzeyinde birikerek adsorpsiyon kapasitesi artmakta ve  $TiO_2$ 'den desorpsiyon olan parçalanmış hümik asitin giderilmesini sağlamaktadır. Huang ve diğ. (2008) ise UV/ $TiO_2$  fotokatalitik oksidasyonunun doğal organik maddelerin sebep olduğu membran tıkanıklığına etkisini araştırmışlardır. TOC giderim hızı düşük olsa da, UV/ $TiO_2$  prosesi ile membran tıkanıklığı kontrol edilebilmiştir. 0,5 g/l  $TiO_2$  konsantrasyonunda hem MF hem de UF membran tıkanıklığı azalmıştır. Yüksek moleküler ağırlıklı ve hidrofobik olan kısmın tutulmasıyla membran tıkanıklığı azaltılmıştır. Araştırmacılar, doğal organik maddelerin sebep olduğu membran tıkanıklığının giderilmesi için UV/ $TiO_2$  prosesinin uygulanabilir bir alternatif olduğunu belirtmişlerdir.

Fu ve diğ. (2006), yaptıkları çalışmada batık membran fotokatalitik reaktöründe (SMPR) işletme parametrelerinin, fulvik asitin fotokatalitik ayrışmasına etkilerini araştırmışlardır. SMPR'de, 0,5 g/l  $TiO_2$  ile 0,06  $m^3/sa$  hava debisinin fulvik asitin giderilmesinde optimum şartlar olduğu görülmüştür. Ayrıca asidik şartlarda fulvik asit parçalanmasının daha fazla olduğu belirtilmiştir. Çalışmalarda  $TiO_2$  ilavesi ile membran tıkanmasının azaldığı ve süzüntü akısının arttığı sonucuna varılmıştır.

Chin ve diğ. (2007), bisphenol-A (BPA) içeren sularda suyun safsızlaştırılması için fotokatalitik batık membran sistemlerin kullanılmasını araştırmışlardır. pH, havalandırma debisi,  $TiO_2$  ve başlangıç BPA konsantrasyonunun BPA giderim

verimine etkileri incelenmiştir. Bu çalışmalarda, pH 4, 0,5 g/L TiO<sub>2</sub> ve 0,5 L/dk. hava debisinin sürekli batık membran fotokatalitik reaktörü (SMPR) için optimum şartlar olduğu belirlenmiştir. BPA başlangıç konsantrasyonu 5–50 ppm arasında değiştirilmiştir. 10 ppm konsantrasyonundaki BPA'nın 90–120 dk. sonunda % 90'ından fazlasının mineralize olduğu ve % 97'sinin ayrıştığı, bununla beraber bu süre sonunda süzüntü akısının 100 L/m<sup>2</sup>.sa olduğu görülmüştür. Yüksek giderim ve akıya rağmen, bu koşullarda membran tıkanıklığı gözlenmiştir. Akının azaltılması ya da havalandırmanın artırılması ile membran tıkanıklığının azaltılabileceği ancak bu durumun daha maliyetli olacağı düşüncesiyle farklı işletme şartlarında deneyler yürütülmüştür. Vakum pompasının 2 dk. kapanıp 5 dk. çalışması ile süzüntünün kesikli toplandığı durum, vakum pompasının sürekli çalışması durumu ile karşılaştırılmıştır. Vakum pompası çalışmadığı zamanlarda, havalandırma ile membran yüzeyinde tıkanmaya neden olabilecek TiO<sub>2</sub> partikülleri daha fazla uzaklaştırıldığından, kesikli çalışmanın tıkanmayı geciktirdiği görülmüştür. Batık membran sistemlerinin kesikli çalıştırılması, membran tıkanıklığını önlemede uygulanabilir bir yöntem olarak bilinmektedir (Hong ve diğ., 2002; Howell ve diğ., 2004; Chin ve diğ., 2007).

### **2.4.3 Koagülant ilavesi**

Sulara bazı kimyasal maddeler ekleyerek çökme özellikleri iyi olmayan çok ince askıda katı madde veya kolloidlerin daha iyi çökebilen yumaklar haline getirilmesi yöntemine koagülasyon adı verilir. Koagülasyon (pıhtılaştırma) kolloidal taneciklerin etrafındaki elektriksel tabakanın bozulması ve elektriksel denge stabilizasyonudur. Suda istenmeyen maddelerin büyük bir kısmı kolloidal halde bulunmaktadır. Bu maddelerin boyutları 10<sup>-3</sup>-10<sup>-6</sup> mm arasında değişmektedir ve çöktürme veya filtrasyonla uzaklaştırılmazlar. Kolloidler suya renk, koku, ve tat veren etkenler olduğundan, bu maddelerin sudan uzaklaştırılması gerekmektedir. Koagülasyon kolloidleri sudan uzaklaştırmak için etkili bir yöntemdir. Doğal suların içerdiği askıda ve kolloidal katı maddeler, negatif elektrik yüklü kil ve silt mineralleridir. Yumaklaşmayı sağlamak üzere suya pozitif yüklü değerliği yüksek Al<sup>3+</sup> veya Fe<sup>3+</sup> eklemek gerekmektedir. Bu elementlerin özellikle sülfat, klorür gibi bileşiklere suya eklendiğinde, sudaki alkalinite ile birleşerek metal hidroksitleri oluştururlar. Koagülant türü, dozu ve optimum sıcaklık, pH gibi parametreler koagülasyon verimini etkilemektedirler. Bu parametrelerin verimli koagülasyon için gerekli

değerleri ham suyun özelliklerinde göre değişir. Bu nedenle koagülasyon konusunda en iyi kimyasal veya kimyasal bileşeni belirlemede istenen hedefe ulaşmak için gerekli miktarların belirlenmesinde laboratuvar çalışmalarına ihtiyaç duyulmaktadır.

İçme suyu arıtımında koagülasyon-membran hibrit sistemlerinde, filtrasyon öncesi koagülasyon için optimum koagülant dozu henüz tam olarak belirlenememiştir. Konvansiyonel sistemlerdeki optimum doz, membran sistemler için uygulanamamaktadır. Kimura ve diğ. (2008), alüminyum tuzlarının koagülant olarak kullanıldığı çalışmada, fiziksel olarak geri dönüşü olmayan membran tıkanmalarının azaltılmasını araştırmışlardır. Yüzeysel sulardan alınan organik madde ya da hümik asit içeren ham su polialüminyum klorür (PACl) koagülantı ilavesinden sonra 0,1 mikron gözenek çapındaki MF membrandan filtre edilmiştir. Koagülasyonun fiziksel olarak geri dönüşümü olmayan membran tıkanmasına büyük etkisi olduğu görülmüştür. Asidik koşulların da arıtılmış suyun kalitesini arttırdığı, ancak nötral ve alkali koşullara göre daha fazla tıkanmaya neden olduğu anlaşılmıştır. Yüksek dozajlarda koagülant kullanımı, tıkanmaya daha fazla sebep olmuştur. Asidik şartlarda floklar daha küçük olduğundan, süzöntü suyunda yüksek konsantrasyonda alüminyuma rastlamıştır. Ayrıca bu koşullarda oluşan küçük floklar membranın gözeneklerini tıkayarak ya da adsorplanarak membran tıkanmasına neden olmaktadır. Laboratuvar ölçekli çalışmalar, uzun süreli pilot ölçekli sistemde de denenmiş ve benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Sundaramoorthy ve diğ. (2005) yaptıkları çalışmada doğal organik maddenin farklı fraksiyonlarının, koagülasyon ile ön arıtımı ve batık MF membran tıkanmasına etkilerini araştırmışlardır. Çalışmalarda 3-5 mg/l TOC içeren, yüksek bulanıklığa sahip ve yeşilimsi renkli yüzeysel su kullanılmıştır. Koagülasyon, pH 7.5'de polialüminyum klorür (PACl) koagülantı ile yapılmıştır. Membran performansı akının azalmasına ve geri yıkamadan sonra geri kazanımına bağlı olarak değerlendirilmiştir. Çalışmada, partiküler kısmın kalıcı tıkanmayı azalttığı, kolloidlerin ise kalıcı tıkanmaya en çok sebep olan fraksiyon olduğu sonucuna varılmıştır.

Konieczny ve diğ. (2006), koagülasyon-ultrafiltrasyon ve koagülasyon-çöktürme-UF hibrit sistemleri ile deneysel çalışmaları yürütmüşlerdir. Çalışmada kullanılan sentetik su, 30 mg/l hümik asit içermekte ve süzöntü akısı  $5,7 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{sa}$ 'dır. Çalışmalarda dört farklı koagülant kullanılmış, süzöntü akısı ve fizikokimyasal

analizler ile membranın performansı değerlendirilmiştir. Süzüntü suyunda alüminyum ve demir gibi metal iyonlarına rastlanmıştır, ancak standartlara uygun seviyede olduğu belirtilmiştir. Hibrit sistem ile organik maddenin daha fazla giderildiği görülmüştür. Koagülasyon tek başına organik madde gideriminin hepsini sağlayamamakta, koagülant tipine bağlı olarak organik maddenin sadece % 37-63'ü giderilmektedir. Koagülasyon ile bulanıklık giderimi TOC giderimine göre daha fazla olmaktadır. Sadece UF membranının kullanılması ile bulanıklık gideriminde yüksek verim (% 98.3) elde edilirken, organik madde giderimi düşük kalmıştır (% 43). Hibrit sistemin uygulanması ile koagülant tipine ve uygulanma şekline bağlı olarak daha yüksek organik madde giderim verimleri elde edilmiştir.

Zularisam ve diğ. (2008), batık UF membran öncesi koagülasyonun ve diğer işletme parametrelerinin doğal organik madde giderimi üzerine etkilerini araştırmışlardır. Alum ile koagülasyon ve ardından UF membran filtrasyonu ile yürütülen çalışmalar sonucunda >% 96 renk giderimi, % 87 UV<sub>254</sub> giderimi, >% 99 askıda katı madde giderimi elde edilmiş olup çıkış bulanık değeri 0.2 NTU'nun altına düşmüştür.

Chiemchaisri ve diğ. (2008), PACI kimyasalının koagülant olarak kullanıldığı çalışmada, koagülasyondan sonra granüler filtreden ve ardından batık MF membran sistemin ile NOM giderimini araştırmışlardır. Çalışmada kullanılan granüler filtre yatağında optimum filtrasyon hızı 11 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/sa olduğunda giderim veriminin % 82,2 olduğu görülmüştür. Bu adımı takip eden 0,45 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>/gün filtrasyon hızlı MF membran sisteminde giderim verimi %85,7–86,6'ya ulaşmıştır. Bulanıklığın ve organik maddenin vakum basıncını etkilediği, ancak partiküler tıkanmanın, organik maddenin membran yüzeyinde adsorplanmasıyla meydana gelen tıkanmayla karşılaştırıldığında basıncı daha fazla etkilediği belirtilmiştir.

Choksuchart ve diğ. (2002), UF membran filtrasyonu ile yüzeysel suların arıtımında optimum işletme şartlarının belirlenmesini araştırmışlardır. Batık membran konfigürasyonunda, koagülasyon ile daha büyük floklar olduğundan yüksek süzüntü akısı (200 l/m<sup>2</sup>/sa/bar) elde edilmiştir.

#### **2.4.4 Ses dalgası**

Ses dalgaları; pestisitler, atrazin, aromatik bileşikler ve hümik asit gibi çeşitli bileşiklerin parçalanmasında etkin bir metottur. Kavitasyon ile oluşan küçük

kabarcıklar organik maddeleri parçalamaktadır. Kabarcıkların yok olması esnasında yüksek basınç ve sıcaklık açığa çıkmaktadır (Montgomery, 1985).

Ses dalgasının, ürünler üzerindeki kimyasal etkisi veya proseslerdeki mekanik ve fiziksel etkisinden kaynaklanan faydalı bir kullanımı vardır. Genel uygulamalar, kimyasal reaksiyonları, polimerlerin parçalanmasını ve polimerizasyon reaksiyonlarını hızlandırma şeklindedir (Henglein, 1987; Price, 1996). Ses dalgasının fiziksel ve kimyasal etkileri, yüzeyleri temizlemek amacıyla membran teknolojisinde (Crawford, 1963), filtre kek oluşumunu önlemek ve filtrasyon hızını arttırmada (Sammelink, 1973) da kullanılmaktadır. Ses dalgası etkisiyle oluşan oyulma ve akustik akım nedeniyle, temizleme işlemlerinin performansı oldukça artmaktadır (Boudjouk, 1988).

Membran tıkanıklığının temizlenmesi için düşük frekanslı ses dalgaları geliştirilmiştir. Maskooki ve diğ. (2008), çalışmalarında ses dalgasının MF membran temizlenmesinde, temizleme sırasında ve sonrasındaki etkilerini araştırmışlardır. Farklı frekanslardaki ses dalgalarının % 1'lik süt çözeltisi ile kirletilmiş MF membranının farklı iki EDTA konsantrasyonunda arıtımı üzerine etkileri araştırılmıştır. 28, 45, 100 kHz ve karışık dalga boyundaki titreşimler ile 1 mmol ve 3 mmol konsantrasyonlarındaki EDTA kullanılarak akı geri kazanımı, temizlenmiş membran direnci ve temizleme verimi araştırılmıştır. Karışık dalga boyundaki titreşimlerin tek başına ve 1 mmol'luk EDTA ile birlikte kullanıldığı zamanlarda diğer arıtma konfigürasyonlarına göre daha yüksek temizleme verimi gösterdiği belirtilmiştir. Titreşimler verilirken 5dk'lık membran yıkanması ve peşinden EDTA ilavesi ile maksimum temizleme verimi elde edilmiş ve başka bir temizlemeye ihtiyaç görülmemiştir.

Muthukumaran ve diğ. (2007) çeşitli işletme koşullarının membran geri yıkama üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla kesikli ve sürekli ses dalgası ile ses dalgası frekansının etkisi araştırılmıştır. Yapılan çalışma neticesinde, doğru şartlarda çalışılmadığı takdirde akıda iyileşme yerine kötüleşme görüldüğü belirtilmiştir. Örneğin yüksek frekanslı ve kesikli ses dalgası hem akıyı kötüleştirmekte hem de geri yıkama performansını düşürmektedir. Çalışma neticesinde düşük frekanslı ve sürekli ses dalgası üretmenin en uygun yöntem olacağı belirtilmiştir.

Chen ve diğ. (2006), organik maddenin ve silika partiküllerinin sebep olduğu membran tıkanıklığının giderilmesi için ses dalgalarının kullanımını araştırmışlardır. 20 kHz'lik ses dalgası, ultrafiltrasyon sisteminde  $\gamma$ -aluminium membranları kullanılarak farklı kimyasal yapıdaki çözeltilerde uygulanmıştır. Deneysel sonuçlar, farklı kimyasal özellikteki çözeltilerin membran tıkanıklığı kontrolünde ses dalgasının etkisini değiştirmemiştir. Membran tıkanıklığı, yüksek pH, düşük iyonik şiddet ve çift değerli katyonların bulunması halinde daha etkili kontrol edilebilmektedir. Ses dalgasının membranlara zararı görülmemiştir. Ultrasound, NOM ve silika partiküllerine bağlı membran tıkanmasını azaltmıştır. Yüksek pH'da düşük pH'ya göre, NOM, silika partikülleri ve membran arasındaki elektrostatik çekim kuvveti, ses dalgası ile membranı tıkayan kirleticilerin daha hızlı giderilmesini sağlamıştır. Bu durum, yüksek pH da karboksil ve alifatik grubun daha az olmasına bağlanmıştır.  $Ca^{2+}$  iyonunun bulunması halinde membran tıkanması artmış ve yük nötralizasyonu ultrasonik kontrolü azaltmıştır. Ultrasound ile pH 9,2 de pH 4,0'a göre daha yüksek NOM giderimi görülmüştür.

Genkin ve diğ. (2006), 60–80 L/sa.m<sup>2</sup>'lik akıda ince boşluklu batık membran sisteminde, akıyı 10 Hz'lik ses dalgası kullanmışlardır. Özellikle düşük titreşimlerde koagülasyon ilavesi ile akının arttığı görülmüştür. 1.7 Hz titreşim ve 34 mg/l'lik alüminyum klorhidrat ilavesi ile akı değeri 17'den 46 L/sa.m<sup>2</sup>'ye çıkmıştır. Hem enlemesine hem boylamasına titreşim uygulandığında, aynı titreşim sıklığı ve koagülant ilavesinde akının beşe katlanarak 86 L/sa.m<sup>2</sup>'ye çıktığı gözlenmiştir. Yüksek titreşimlerde oluşan türbülans ile floklar parçalandığından akının artışına pek bir etkisi olmamıştır. Kimyasal temizlemeye ihtiyaç duyulmamıştır.

Maaselin ve diğ. (2001) çalışmalarında 47 kHz ses dalgasının batık polimerik membranlar üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışmada moleküler ağırlık engelleme sınırları farklı olan üç tip polimer (PES, PVDF, PAN) membran kullanılmıştır. Araştırmacılar kullandıkları membranları SEM mikroskopunda incelemiş ve neticesinde sadece PES tipli membranının tüm yüzeyinin ses dalgasından etkilendiğini, PVDF ve PAN tipli membranların ise daha dirençli olup daha az zarar gördüğünü ortaya koymuştur. PAN50a ve PVDF40 membranlarının cidara yakın kısımlarının zarar gördüğü bildirilmiştir. Ayrıca ses dalgası etkisiyle membranlarda meydana gelen bozulmanın, membranlardaki büyük çaplı gözeneklerin çapının artması, gözenek yoğunluğu ve porozitede net bir artışın

meydana gelmesi ve genellikle membranların kenarlara yakın yerlerinde geniş çatlakların oluşması şeklinde olduğunu belirtmişlerdir. Bu geniş çatlakların permeabilite ve porozitede artışa neden olduğu belirlenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, ses dalgası her ne kadar kirlenmiş membranların akısını iyileştirmede etkili ise de dikkatle kullanılması gerektiği ve polimerik malzeme türünün yanında kullanılan ses dalgası frekansının ve yoğunluğunun dikkate alınması gerektiği ifade edilmiştir.

Lauterborn ve Urban (2008), pilot ölçekli batık membran sisteminde yüzeysel suların ses dalgaları ile arıtımını araştırmışlardır. 130 kHz ses dalgası kullanımıyla 30 dk filtrasyon, 30 sn geri yıkama şeklindeki işletme periyodunun sadece geri yıkama sürelerinde en yüksek membran performansı elde edildiği sonucuna varılmıştır. Membranda herhangi bir hasar görülmemiştir. Ses dalgasının kısa süreli kullanımı nedeniyle enerji tüketimi az olduğundan, ekonomik olarak da uygulanabilir bir yöntem olduğu belirtilmiştir.

#### **2.4.5 İyon değiştirici reçineler**

Bir katı maddenin etrafındaki sıvıdan belirli iyonların alınıp, buna karşılık eş değer miktarda diğer iyonların sıvıya verilmesi esasına dayanan fizikokimyasal olaya “iyon değişimi” denir. Bu değişim, eşdeğer miktardaki iyonlar arasında çoğunlukla geri dönüşlü olarak gerçekleşir. Böylece uygulanan reaksiyonun tam tersi gerçekleştirilerek bağlanan iyonlar tekrar çözültüye alınırlar. İyon değişimi olayı, kütlelenin etkimesi kanununa uygun olarak yürüyen bir denge reaksiyonudur. Bu olayın hızı, iyonların gözenekler içine difüzyonuna bağlı olarak değişir. İyon değişimine hem canlılarda hem de kum ve toprak gibi cansız varlıklarda sıkça rastlanır. 1945’li yıllardan itibaren çevre bilincinin artmasıyla beraber iyon değiştiricilerin önemi daha da artmıştır. İyon değiştiriciler fonksiyonel gruplara göre katyon değiştiriciler ve anyon değiştiriciler olmak üzere iki ana kategoriye ayrılırlar.

- Katyon Değiştiriciler:  $\text{SO}_3\text{H}$  veya  $\text{COOH}$  gruplarını içeren, anorganik veya organik katyonları tutarak onları hidrojen iyonları ile değiştirebilen iyon değiştiriciler.
- Anyon Değiştiriciler: Bazik grupları (örneğin  $\text{NH}_2$  tipi amin fonksiyonları) içeren, anorganik veya organik anyonları tutarak onları hidroksil iyonları ile değiştirebilen iyon değiştiriciler.

İçme suyu arıtımında iyon değiştirici reçineler;

- Yumuşatma amaçlı; suda sertlik oluşturan kalsiyum ve magnezyum iyonlarının su yumuşatıcı reğinelerdeki sodyum iyonu ile yer değiştirerek suyun sertliğinin giderilmesi için kullanılır.
- Demineralizasyon amaçlı; katyon ve anyon değiştirici reçineler, suyun iğeriğindeki katyon ve anyonların reğinelerdeki H ve OH iyonları ile yer değiştirerek suyun demineralizasyonu için kullanılır.

Yılmaz ve diğ. (2006) yaptıkları ęalıřmada Diaion CRB02 (Mitsubishi) and Dowex XUS 43594.00 (Dow Chemical) reğinelerini kullanarak batık membran filtrasyonu ile boron giderimini araştırmışlardır. 0,4 µm gözenek ęapındaki ince boşluklu polipropilen mikrofiltrasyon membranı kullanılmıştır. İlk reğine ile boron konsantrasyonunun başlangığ konsantrasyonunun yarısına inmesi 5 dk sürerken ikinci reğinede bu süre 30 dk olmuştur.

#### **2.4.6 Zeolit**

Zeolitler, üç boyutlu kristal yapıya sahip silikatlar olan tektö silikatlar grubuna dahil, yapısında alkali (Na, K vb.) ve toprak alkali (Mg, Ca, Ba vb.) elementler bulunan kristal yapıda sulu alümina silikatlardır. Doğal ve sentetik zeolitler olarak sınıflandırılabilirler. Doğal zeolitler oluşum bakımından volkanik ve sedimanter zeolitler olmak üzere iki ana gruba ayrılabilirler. Volkanik zeolitler, bazaltların oyuk ve ęatlaklar boyunca yerleşmiş ve magmatik aktivitenin son aşamasını temsil eden sıvı çözeltilerin etkisiyle kristal hale gelmişlerdir. Sedimanter zeolitler ise, sedimanter kayağlarda genelde volkanik esaslı sedimanların göl veya yüzey suyu ile alterasyonu sonucu oluşmuştur. Önemli zeolit mineralleri, analsim, klinoptilolit, mordenit, filipsit, erionit, lömontit, şabazit, wairakit ve ferrierittir.

İçme suyu arıtımında zeolitler, iyon değiştirme özelliği, adsorplayıcı özelliği, moleküler elek özelliği ve katalitik özelliği gibi kendinde var olan bazı özelliklerinden dolayı kullanılır (Gonzalez ve diğ., 2001; Smit ve Krishna, 2003; Ng ve diğ., 2004). Klinoptilolit, sahip olduğu düzenli yapı ve belirli ęaplardaki mikro gözenekli kanalları ve oyukları sayesinde adsorpsiyon kapasitesi yüksek zeolit türüdür. Kanallarda yer alan ve moleköl geçişlerini engelleyen su molekülleri uzaklaştırılarak dehidrate hale getirilen klinoptilolitin, genelde adsorplayıcı ve elek özelliği artmaktadır. Klinoptilolit, radyoaktif atıksulardan Cs, Sr ve Rb gibi



radioaktif maddelerin uzaklaştırılmasında, endüstriyel atıksulardaki ağır metallerin giderilmesinde, kentsel atıksulardan ve içme sularından amonyum iyonunun uzaklaştırılmasında kullanılmaktadır (Özdemir, 2007).

Batık membran sistemlerinde içme suyu arıtımına ait zeolit ile yapılmış sadece bir çalışma bulunabilmiştir. Ujang ve Ng (2004) yaptıkları çalışmada, batık membran filtrasyonu ile yüksek arsenik konsantrasyonlu içme sularının arıtımını incelemişlerdir. Araştırmacılar çalışmalarını, küçük ölçekli ve pilot ölçekli olmak üzere hem PAC-batık membran hibrit sistemi hem de zeolit-batık membran hibrit sistemi ile yürütmüşlerdir. İki adsorban ile de giderim veriminin arttığı gözlenmiştir. Besleme suyundaki 2 mg/l arsenik konsantrasyonu, 5 mg/l PAC ile % 41 giderilirken, 5 mg/l zeolit ile % 20 giderilebilmiştir.

Batık membran sistemlerinde atıksu arıtımına ait ise zeolit ile yapılmış birkaç çalışma bulunmaktadır. Lee ve diğ. (2001), batık MBR sistemine doğal zeolit (klinoptilolit) ilavesinin hem membran tıkanıklığını azaltacağını hem de organik madde giderimi ile nitrifikasyon verimini arttıracığını belirtmişlerdir.

He ve diğ. (2006) ise çalışmalarında; toz halinde zeolit ilavesinin, batık membran biyoreaktörlerde membran geçirgenliği ve KOİ, amonyak azotu, toplam azot giderimi üzerindeki etkilerini araştırmak amaçlı sadece batık membran sistemini (kontrol reaktörü) ve toz halinde zeolit ilave edilmiş batık membran sistemini (test reaktörü) paralel olarak işletmişlerdir. Çalışmada sentetik evsel atıksu kullanılmıştır. 1 g/L olacak şekilde sisteme sürekli olarak dozlanan 0.5 mm çaplı zeolit, amonyum iyonu için iyon değiştirici olarak kullanılmasının yanı sıra, asılı büyüyen mikroorganizmalar için de uygun bir büyüme ortamı oluşturmuştur. Batık membran sisteminde küçük kolloidlerin ve çözünmüş organik maddelerin membran yüzeyinde adsorbsiyonu ve partiküllerin veya mikroorganizmaların membran yüzeyine çökmesi sonucu membran içinde tıkanmalar oluşmuştur. Toz halinde zeolit ilavesi sonucu çözünmüş organik maddelerin zeolit tarafından adsorblanması veya zeolit üzerinde biriken çamura bağlı olarak kolloidal ve çözünmüş formların membran gözeneklerine ulaşamaması sonucu tıkanmada azalma gözlenmiştir. Tıkanma belirli sürelerde basınç kayıpları kontrol edilerek belirlenmektedir. Zeolit ilavesinin koruyucu örtü tabakası oluşturması ile küçük moleküllerin membran ile teması azalmakta böylece membran tıkanmaları engellenmekte ve membran geçirgenliği artmaktadır. Zeolit ilave edilen sistemde; zeolit yüzeyi üzerinde asılı büyüyen mikroorganizmalara bağlı

olarak membran geçirgenliği artmaktadır. Mikroorganizmalar doğal zeolite uyum sağlayınca, çamur flokları gevşek yapıdan daha kararlı ve sıkı bir yapıya dönüşmektedir. Kararlı yapı da daha az sıkıştırılabilir bir tabaka oluşturarak membran tıkanmalarını azaltmaktadır. KOİ ve azot giderimi açısından iki sistem karşılaştırıldığında; zeolit ilaveli sistemde tıkanmadaki azalma, nitrifikasyon ve iyon-değişiminin etkisiyle KOİ ve N giderim verimlerinin önemli seviyede arttığı, fosfor giderimindeki artışın ise ihmal edilebilir olduğu sonucuna varılmıştır.

### 3. MATERYAL VE METOT

Deneysel çalışmalar kısmı, dört değişik aşamadan oluşmaktadır Bunlar, membran tıkanıklığının azaltılmasına zeolit, UV/TiO<sub>2</sub>, toz aktif karbon ve ses dalgalarının etkilerinin araştırılmasıdır. Çalışmalarda, sentetik olarak hazırlanan su ile Kağıthane arıtma tesisi giriş suyu (Terkos göl suyu) kullanılmıştır.

#### 3.1 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Sentetik ve Doğal Ham su Özellikleri

##### 3.1.1 Sentetik ham su özellikleri

Deneysel çalışmaların bir bölümünde sentetik olarak hazırlanan ham su kullanılmıştır. Sentetik ham su, 425 L hacmindeki deiyonize suya Çizelge 3.1’de miktarları belirtilen kimyasal maddeler ilave edilerek hazırlanmıştır. Buna göre elde edilen sentetik ham su numunesinin karakterizasyonu, Çizelge 3.2’de verilmiştir. Aksi belirtilmedikçe deneyler bu konsantrasyonda hazırlanan ham su ile gerçekleştirilmiştir. Organik madde etkisinin araştırılacağı çalışmalar için hümik asit miktarı, bulanıklık etkisinin araştırılması için ise kil miktarı değiştirilmiştir.

**Çizelge 3.1** : Sentetik ham su özelliği.

<b>Bileşen</b>	<b>Konsantrasyon</b>
CaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	111.76 mg/L
MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	70.50 mg/L
NaHCO <sub>3</sub>	127.06 mg/L
KBr	0.235 mg/L
Hümik asit	7.05 mg/L
Kil	5 g/L*

\*5gr/l konsantrasyonunda stok olarak hazırlanan kil çözeltisi yaklaşık 30 dakika bekletilmiş, üst fazdan istenen bulanıklık değeri sağlanacak şekilde kontrollü olarak ilave edilmiştir.

**Çizelge 3.2 : Sentetik ham su karakterizasyonu.**

Parametre	Konsantrasyon	Birim
Toplam Sertlik	110-120	mg/L CaCO <sub>3</sub>
Ca <sup>2+</sup>	30-32	mg/L
Mg <sup>2+</sup>	8.5-9.5	mg/L
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	25-30	mg/L
Alkalinite	95-100	mg/L CaCO <sub>3</sub>
TOK*	1.1	mg/L
UV <sub>254</sub>	0.13-0.14	1/cm
pH	7.8-8.0	
İletkenlik	400-450	µS/cm
Bulanıklık	5	NTU

\*TOK olarak ifade edilen parametre ölçümünde numuneler 0.45µ'luk filtreden süzüldüğü için gerçekte çözülmüş organik maddeyi (DOC) yansıtmaktadır.

Sentetik ham suyun hazırlanmasında kullanılan hümik asit Sigma Aldrich, diğer kimyasal maddeler Merck marka olup hepsi analitik saflıktadır. Hümik asidin diğer kimyasal maddelerle birleşerek kompleks oluşturmasını engellemek amacıyla her bir çözelti ayrı ayrı hazırlanmış ve içinde deiyonize su bulunan ham su tankına ilave edilmiştir. 425 lt'lik tankta su belli bir süre bekletilmiş ve bu şekilde hümik asitin iyi bir şekilde çözünmesi sağlanmıştır. Deiyonize su, deniz suyu ters osmoz membranı kullanılarak elde edilmiştir (Şekil 3.1). Deiyonize suyun iletkenlik değeri, 40 µS/cm civarında değişmiştir.



**Şekil 3.1 : Deiyonize su üretim sistemi.**

### 3.1.2 Doğal ham su özellikleri

Deneysel çalışmaların bir bölümünde ise Terkos gölünden temin edilen ham su kullanılmıştır. Ham su numunesinin karakterizasyonu Çizelge 3.3’de verilmiştir.

**Çizelge 3.3 : Ham su karakterizasyonu.**

Parametre	Değer	Birim
Bulanıklık	7-8	NTU
Toplam Sertlik	150-160	mg/l
Ca Sertliği	85-90	mg/l
Mg Sertliği	65-70	mg/l
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	35-40	mg/l
TOK	4,0-5,0	mg/l

### 3.2 Membran Özellikleri

Deneysel çalışmalarda mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon membranları kullanılmıştır.

#### 3.2.1 Mikrofiltrasyon (MF) membran özellikleri

Deneysel çalışmalarda, ince boşluklu (Hollow fiber) membranlar kullanılmıştır. Polypropylene maddeden imal edilmiş olan ince boşluklu membranın iç çapı 0.24 mm ve dış çapı 0.31 mm’dir. Ticari olarak 150 cm uzunlukta hazırlanan fiberlerin gözenek çapı 0.1 mikron olarak belirtilmiştir (Şekil 3.2). Membranlar Zena Membranes (Çekoslovakya) firmasından temin edilmiştir. Membranların teknik özellikleri ise Çizelge 3.4’de verilmiştir.



**Şekil 3.2 : Deneysel çalışmalarda kullanılan MF membranının ticari şekli.**

**Çizelge 3.4 : Membran teknik özellikleri.**

Özellik	Nominal değer	Minimum değer	Maksimum değer	Birim
Polipropilen hammadde				
Fiber iç çapı	0.240	0.220	0.260	mm
Fiber dış çapı	0.310	0.290	0.320	mm
Fiber et kalınlığı	0.035	0.030	0.040	mm
Fiber uzunluğu	150	145	155	cm
Fiber gözenek boyutu	0.1x0.7		0.2x0.9	Mikron
Kabarcık (bubble) testi (2 Bar Lumen Press in IPA)		Hızlı kabarcık yok		
Fiber hacimsel porozite	50	43	57	%
Musluk suyu akısı	300	250	400	l/m <sup>2</sup> /sa (1.0 bar, 25°C)
Dayanıklılığı	2	1.7		N/fiber

### 3.2.1.1 MF membranların hazırlanması

Her bir reaktörde toplam 200 adet fiber bulunacak şekilde (yüzey alanı ~ 0.047 m<sup>2</sup>) düzenleme yapılmıştır. 200 adet membran fiberlerinin hepsini verimli şekilde yapıştırmak ve sisteme adapte etmek mümkün olmadığından bu membranların 100'er adeti bir arada olacak şekilde yapıştırılmış ve her bir reaktöre 2 adet 100 telden oluşan membran çifti yerleştirilmiştir (Şekil 3.3). Her bir fiberin uzunluğu 24 cm'dir. 40 cm uzunluğunda kesilen membranların uç kısımlarının yapıştırılması işlemi için şu sıra takip edilmiştir.



**Şekil 3.3 : Deneysel çalışmalar için hazırlanmış MF membranlar.**

40 cm uzunluğunda kesilen 100 adet membran telinin uçları mümkün olduğu kadar bir araya getirilmeye çalışılmıştır. U oluşturacak şekilde membranlar ikiye katlanmış ve uç kısımları birleştirilmiştir. Hepsinin aynı boyda olmasını sağlamak için fazla kısımlar kesilmiştir. Poliüretan esaslı yapıştırıcı olarak iki bileşenli Henkel Macroplast UK 8103 kullanılmıştır. Membran destesinin ucunun yaklaşık 10 cm'lik kısmı geniş bir kap içinde hazırlanan yapıştırıcıya batırılarak yapıştırıcının tüm tellere nüfuz etmesi sağlanmıştır. Daha sonra yapışkanlı kısım 10 cm çapında 5 cm uzunluğunda pnömatik hortumun içinden dikkatli bir şekilde geçirilmiştir. Tüm membran tellerinin hortumun diğer ucundan çıktığına emin oluncaya kadar teller çekilmiştir. Hortumun içinin tamamının yapıştırıcı ile dolması için bir enjektör vasıtasıyla yapıştırıcı hortuma üst kısımdan alttan taşınmaya kadar enjekte edilmiştir. Reaktörde kullanılacak membranların uzunluğunun toplam 24 cm olması planlanmıştır. Bu uzunluk korununcaya kadar hortumun dışındaki kısımlara da yapıştırıcı sürülmüştür. Daha sonra membranlar oda sıcaklığında 2 gün kurumaya bırakılmıştır.

Membranlar kuruduktan sonra hortumun alt ucundan itibaren 2 cm'lik kısım kesilerek atılmıştır. Kesilen kısım incelenerek, membranların yapıştırıldığı bölümde hiç hava kabarcığı kalmadığı, yapıştırıcının bu bölümün tamamına nüfuz ettiği de teyit edilmiştir. Daha sonra membranların sızdırmazlığını test etmek üzere membranlar 1 lt hacminde su dolu bir behere daldırılarak pompa ile bu membranlardan vakum etkisi altında su çekilmeye çalışılmıştır. Hiç su çıkmadığı gözlemlendiğinde yapıştırma işleminin başarılı bir şekilde gerçekleştirildiğine ve membranların sızdırmaz olduğuna karar verilmiştir.

Membranları sistemde kullanmaya başlamadan önce, yüzeylerini hidrofilik hale getirmek amacıyla 20 dakika içlerinden 1+1'lik etil alkol+distile su karışımı sirküle ettirilmiştir. Takip eden 10 dakika boyunca da distile su sirküle ettirilmiştir.

### **3.2.2 Ultrafiltrasyon (UF) membran özellikleri**

Zenon marka ZW-1 model UF membranı Zenon Environmental Inc. (Kanada)'dan ithal edilmiştir. Membran batık konumda çalışmak üzere tasarlanmıştır. Dış çapı 2 mm, gözenek çapı ise 0.04 mikron olan hidrofilik karakterdeki membranın yüzey alanı 0.047 m<sup>2</sup>'dir. Uzunluğu 17.5 cm ve çapı 5.8 cm olan modülün iç hacmi 10 ml'dir.

### 3.3 Membranların Temizlemesi

Her bir membran tipi için farklı temizleme prosedürü uygulanmıştır. Aşağıda sırasıyla membran temizleme prosedürleri verilmiştir.

#### 3.3.1 MF membranlarının temizlemesi

MF membranlar her deney sonunda reaktörlerden çıkartılarak sırasıyla % 2'lik hidroklorik asit (HCl) çözeltisinde 2 saat, 1 N sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisinde 1 gün ve % 0,4'lük sodyum hipoklorit (NaOCl) çözeltisinde 2 saat bekletilmiştir. Her bir çözelti değişiminde ve reaktörlere konulmadan önce membranlar distile su ile yıkanmıştır. Yıkama öncesi ve yıkama sonrasındaki membranların görünümü Şekil 3.4–3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.4 : Temizleme işlemi öncesinde MF membranların görünümü.



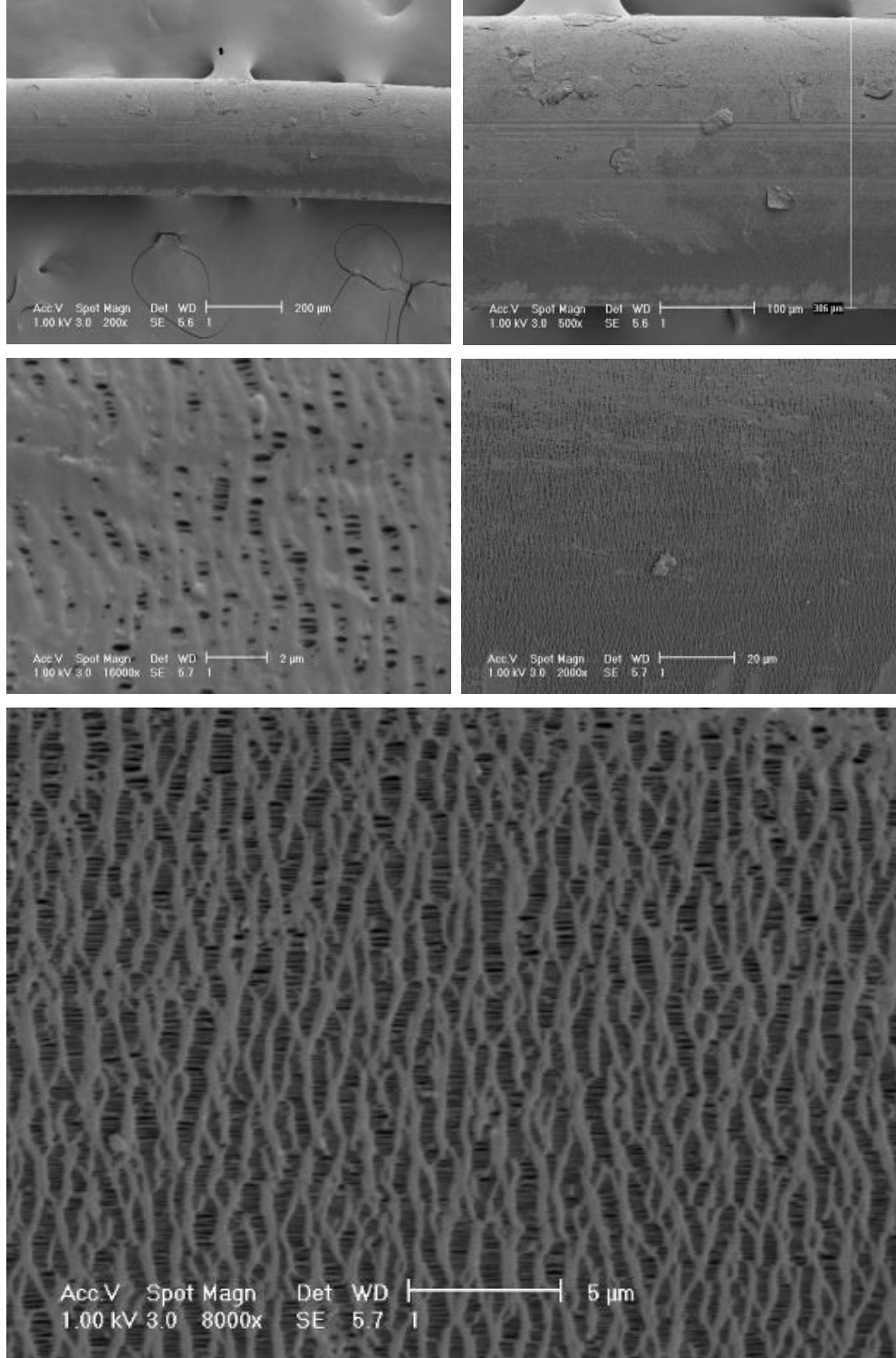
Şekil 3.5 : Baz çözeltisi içinde MF membranların görünümü.



Şekil 3.6 : Temizleme işlemi sonrasında MF membranların görünümü.

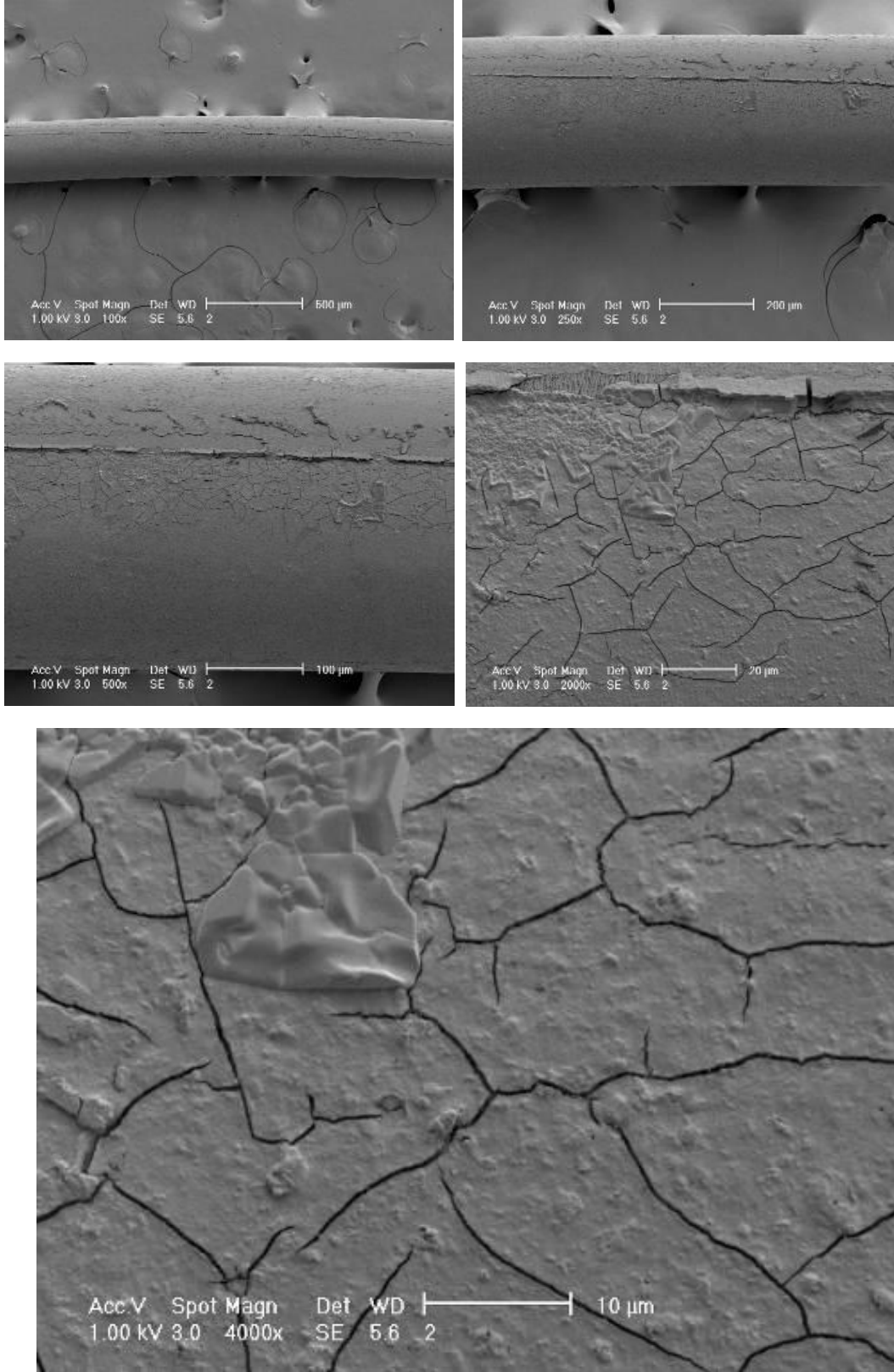


Şekil 3.7–3.9’da ise deneysel çalışmalarda kullanılan membranların SEM (Scanning Electron Microscopy) mikroskobu ile çekilmiş resimleri verilmiştir. Bu resimlerden de görüldüğü üzere, membranların dış çapı 0,310 mm civarında olup, gözenek çapı da 0,1 µm civarındadır.

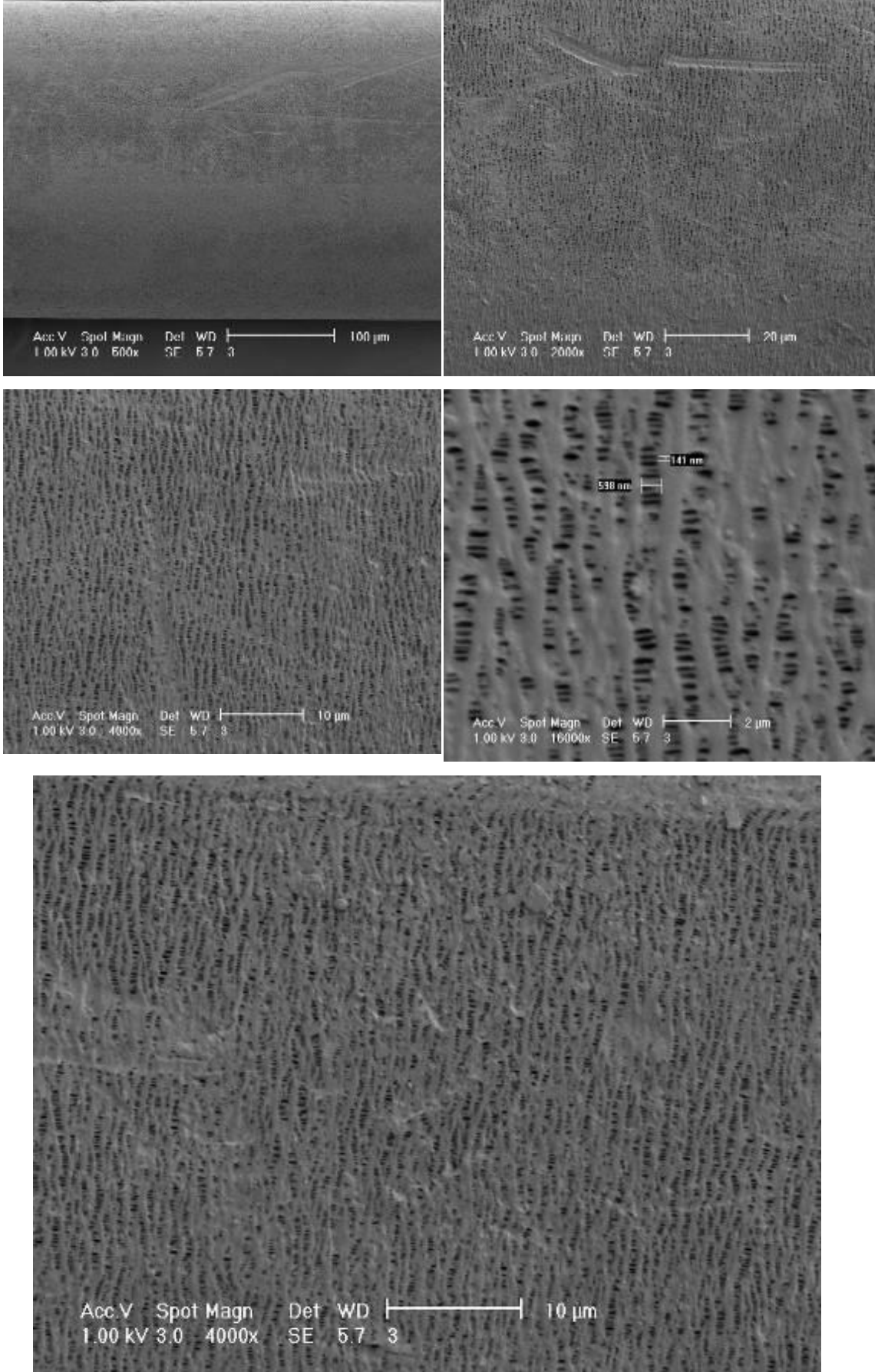


Şekil 3.7 : Temiz MF membrana ait SEM resimleri.

Kirlenmiş membranda, membran üzerinde katı bir kek tabakası oluşmuştur (Şekil 3.8). Membran temizlendikten sonra ise bu kek tabakası kaybolmuştur (Şekil 3.9).

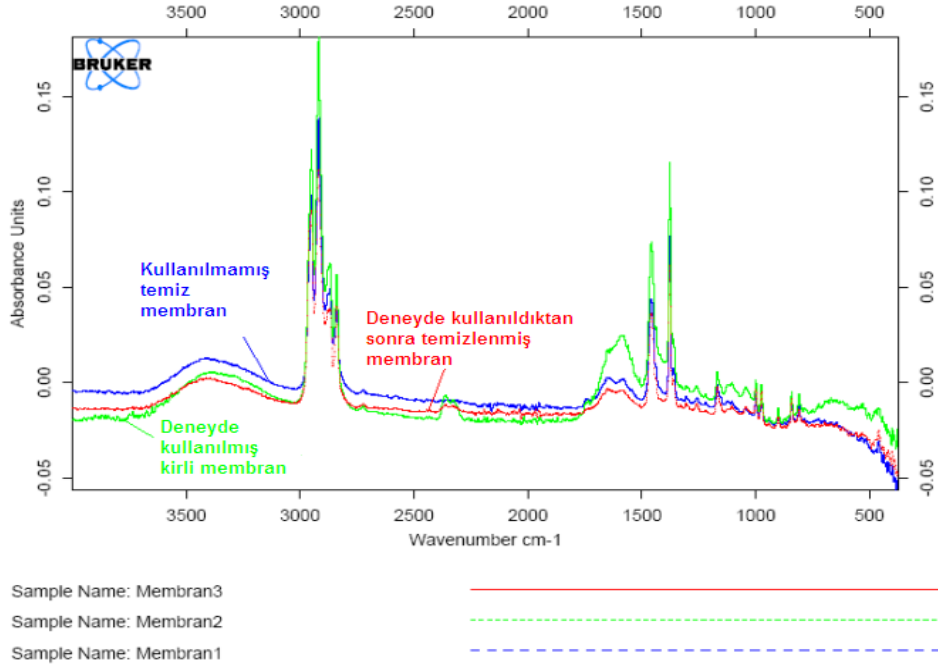


Şekil 3.8 : Kirlenmiş MF membrana ait SEM resimleri.



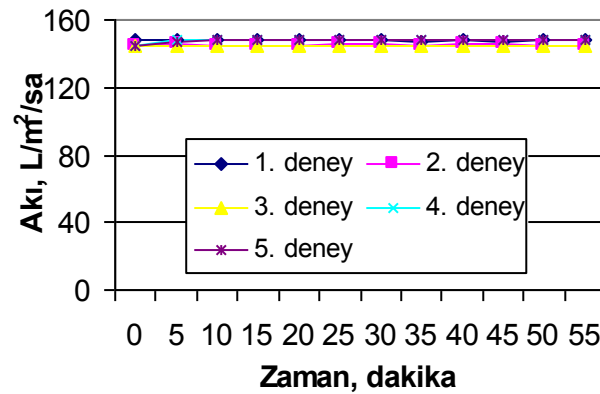
Şekil 3.9 : Temizlenmiş bir MF membrana ait SEM resimleri.

Şekil 3.10’da membranların temiz, kirlenmiş ve kirlendikten sonra temizlenmiş hallerine ait FT-IR cihazı ile elde edilen spektrum gösterilmiştir. Kirlenmiş membranda organik maddeden ileri gelen pikler görülmüştür. Temizlenmiş membranda ise bu pikler hemen hemen kaybolmuş ve temiz membrana ait spektrum ile hemen hemen aynı spektrum elde edilmiştir.



Şekil 3.10 : MF membranların FT-IR ile analizi.

Deney sonunda MF membranlar temizlendikten sonra, saf su ile akı deneyleri yürütülmüş ve Şekil 3.11’de sonuçları verilmiştir.



Şekil 3.11 : MF membrana ait akı deney sonuçları.

### 3.3.2 UF membranlarının temizlemesi

UF membranlar her deney sonunda reaktörlerden çıkartılarak önce 0,5 g/l konsantrasyonda hazırlanmış iyonik bir deterjan olan Sodium dodecyl sulphate (SDS) ( $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{OSO}_3\text{Na}$ ) çözeltisinde 1 saat ve ardından % 0,4'lük sodyum hipoklorit ( $\text{NaOCl}$ ) çözeltisinde 1 saat bekletilmiştir. Her bir çözelti değişiminde membranlar distile su ile yıkanmıştır ve reaktörlere koyulmadan önce içlerinden distile su ile geçirilmiştir. Yıkama öncesi ve yıkama sonrasında membranların görünümü Şekil 3.12–3.13'de verilmiştir.

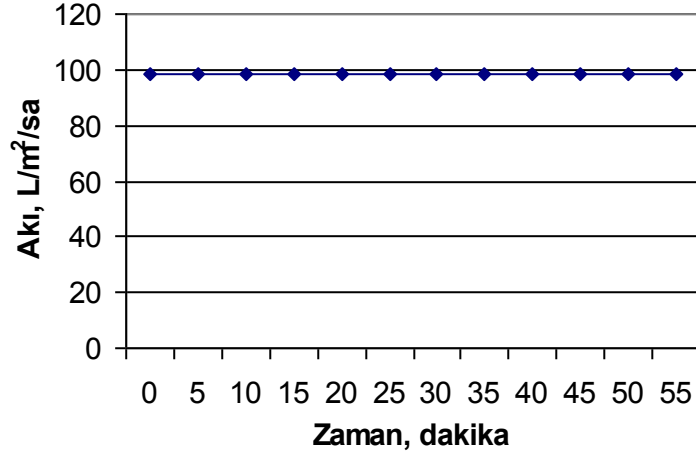


Şekil 3.12 : Temizleme işlemi öncesinde UF membranların görünümü.



Şekil 3.13 : Temizleme işlemi sonrasında UF membranların görünümü.

Deney bitiminde UF membranlar temizlendikten sonra, saf su ile akı deneyi yürütülmüş ve Şekil 3.14'de sonucu verilmiştir.



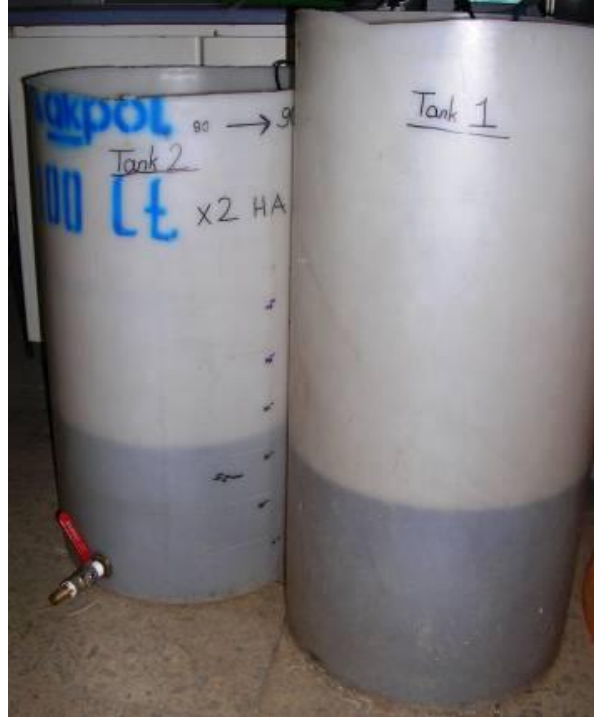
Şekil 3.14 : UF membrana ait akı deney sonucu.

### 3.3 Batık Membran Sistemi Deney Düzenegi

DeneySEL düzenek; 1 adet 425 L'lik PE ham su besleme tankı (Şekil 3.15), 2 adet 100 L'lik PE ham su besleme tankı (Şekil 3.16), 2 adet 10cmx10cmx45cm boyutlarında pleksiglas reaktör (Şekil 3.17), küçük tanklardan reaktörlere suyu beslemek üzere Watson Marlow 323 E model peristaltik pompa, her bir reaktörde 2 çift olmak üzere fiber MF membranı/UF membranı (Şekil 3.18), 2 adet 50 L hacminde PE çıkış suyu biriktirme ve geri yıkama suyu besleme tankı (Şekil 3.19), 2 adet Alldos marka geri yıkama pompasından (Şekil 3.20) oluşmaktadır.



Şekil 3.15 : Büyük ham su tankı.



Şekil 3.16 : Küçük ham su besleme tankları.





**Şekil 3.17** : Reaktörler.



**Şekil 3.18** : MF-UF membranlar.



**Şekil 3.19** : Çıkış suyu toplama ve geri yıkama suyu besleme tankları.



**Şekil 3.20** : Geri yıkama pompaları.

Sistem ayrıca, 2 adet Siemens marka 0–2 bar aralığında ölçüm yapabilen basınç ölçer (Şekil 3.21), verilen hava debisini ölçmek üzere 2 adet rotometre (Şekil 3.22), 2 adet Hach-Lange marka on-line bulanıklık ölçüm probu (Şekil 3.23), 2 adet Hach-Lange marka on-line iletkenlik ve sıcaklık ölçüm probu (Şekil 3.24), 2 adet Hach-Lange marka on-line pH metre (Şekil 3.25), arıtılmış suyun vakum ile toplandığı Watson Marlow 323 E model peristaltik pompa (Şekil 3.26) ve on-line ölçülen verilerin aktarılıp saklandığı Hach-Lange SC1000 kontrol ünitesinden oluşmaktadır (Şekil 3.27).



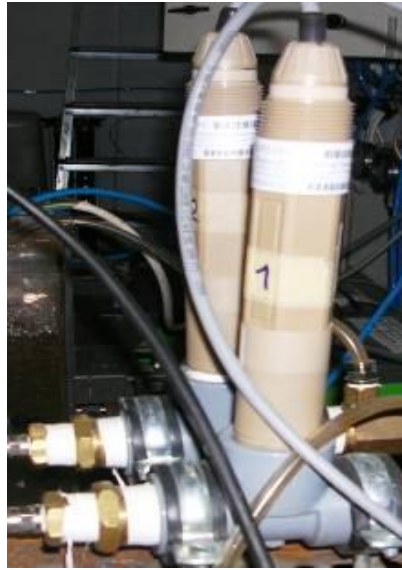
Şekil 3.21: Basınç ölçerler.



Şekil 3.22 : Rotometreler.



Şekil 3.23 : Bulanıklık ölçerler.



Şekil 3.24 : pH ve sıcaklık ölçerler.



Şekil 3.25 : İletkenlik ölçerler.



Şekil 3.26 : Ham su besleme ve vakum pompası.



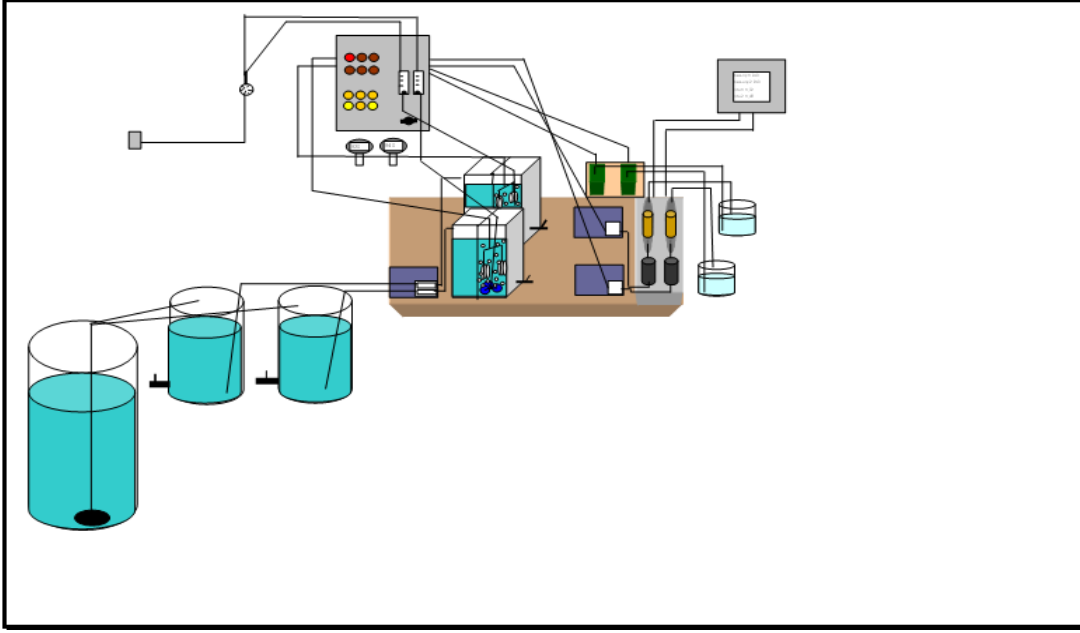


**Şekil 3.27** : SC1000 veri aktarım ve depolama ünitesi.

Büyük ham su tankı Pedrollo marka 0.5 HP gücünde dalgıç pompa, küçük tanklar ise sirkülasyon pompaları ile sürekli karıştırılarak dipte çökelti oluşması engellenmiştir. Ayrıca elektrik kesilmesi durumunda sistemin çalışmasında aksaklık olmaması için sistem UPS kesintisiz güç kaynağına ve jeneratöre bağlanmıştır. Sistem bütünüyle Şekil 3.28’de gösterilmektedir. Ayrıca akım şeması da, Şekil 3.29’da verilmiştir.



**Şekil 3.28** : Batık membran deney düzeneği.



Şekil 3.29 : Deney düzeneğinin şematik görünümü.

### 3.4 Modifiye Zeolitin Hazırlanması

Zeolit (klinoptinolit), Enli Madencilik San. ve Tic. A.Ş (İzmir)'den temin edilmiştir (Şekil 3.30). Zeolit, HDTMA (Hexadecyltrimethylammonium) ile modifiye edilmiştir. Bunun için, 5 lt'lik balon jodede, 2 lt distile su içerisine 6 gr analitik saflıkta Merck marka HDTMA (Hexadecyltrimethylammonium) tartılarak konulmuştur. İyi bir karışım olması açısından çözelti 5 lt'lik balonda hazırlanmıştır. Çözelti ısıtıldığında daha kolay çözüldüğünden, manyetik karıştırıcı ile ısıtıcısı birlikte kullanılmıştır. Manyetik karıştırıcı beyaz bulanık renk şeffaf oluncaya kadar çalıştırılmıştır. Üzeri bol miktarda köpük olan çözeltinin içerisine daha önceden yıkılarak etüvde kurutulmuş zeolitten 400 gr alınarak ilave edilmiştir. Balon joje çalkalayıcıya konularak 2 saat boyunca yeterli karışım sağlanmış ve sonra çözelti dekantasyon ile boşaltılmıştır. Kalan zeolitin üzerine her seferinde 1'er litre distile su koyulup karıştırılarak yıkama işlemine devam edilmiştir. Yaklaşık 10 lt su ile yıkandıktan sonra zeolit içine koyulan distile suyun köpürmediği gözlenmiş ve malzeme kurutma kağıdına boşaltılarak etüvde kurumaya bırakılmıştır (Şekil 3.31).



**Şekil 3.30** : Modifiye edilmemiş zeolit (Enli Maden, İzmir).

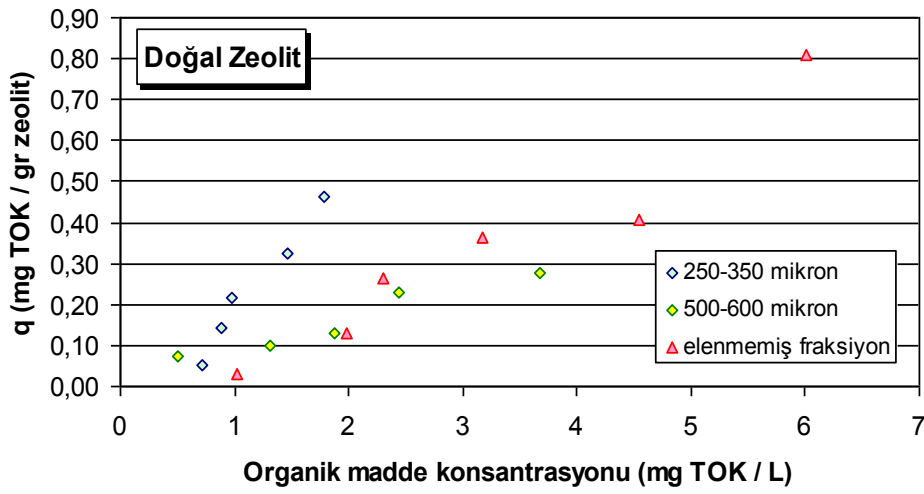


**Şekil 3.31** : Modifiye edilmiş, kurutulmuş zeolit.

### **3.5 İzoterm Çalışmaları**

Bu bölümde doğal zeolit, elenmiş fraksiyonlar ve modifiye edilmiş fraksiyonlar üzerinde ayrı ayrı yürütülen izoterm deneyleri sunulmuştur. Organik madde konsantrasyonu TOK parametresi cinsinden ölçülmüştür. Değerlendirmelerde ayrıca, organik maddenin bir göstergesi olan 254 nm’de UV absorbansı da kullanılmıştır.

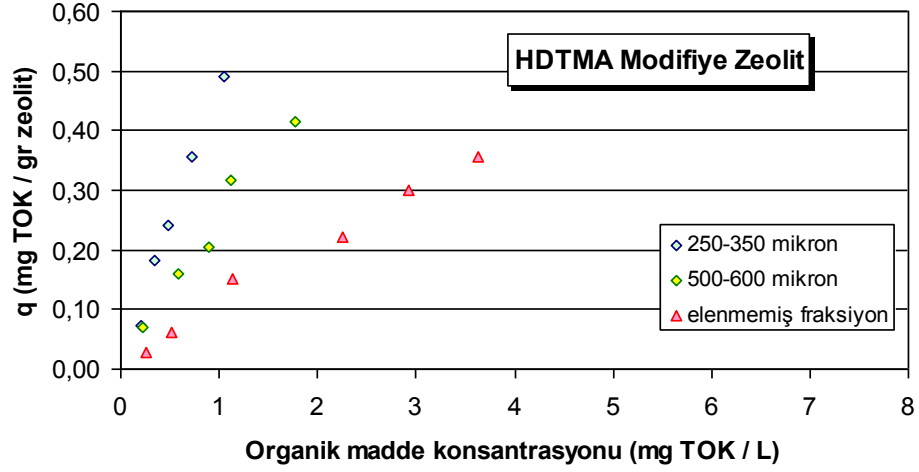
Şekil 3.32, doğal zeolitin karışık fraksiyonu ile elenmiş fraksiyonlarının izoterm eğrilerini göstermektedir. Şekil 3.32’de görüldüğü gibi homojen bir şekilde karışık fraksiyondan ayrılmış ince tanelerin (250-350 mikron) adsorpsiyon kapasiteleri yüksektir. Membran deneylerinde kullanılan yaklaşık 1.5 mg/L TOK değerinde, elenmemiş ve 500-600 mikron fraksiyonları gr zeolit başına yaklaşık 0.10 mg TOK adsorbe ederken 250-350 mikronluk fraksiyonda bu değer diğerlerinin 3 katından fazla olmuştur. 500-600 mikronluk fraksiyonun ve karışık fraksiyonun yaklaşık olarak benzer adsorpsiyon kapasitesi göstermeleri karışık fraksiyon içinde bulunan 500-600 mikrondan ince tanelerin de katkıları şeklinde yorumlanabilir.



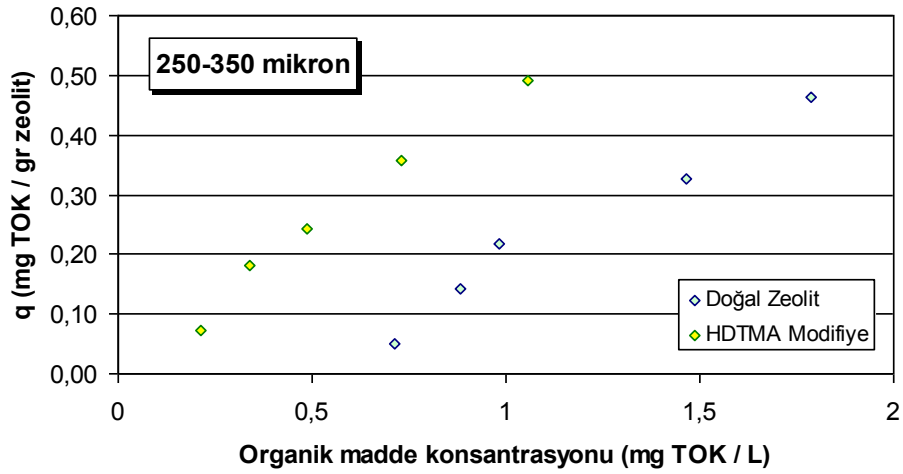
Şekil 3.32 : Doğal zeolit üzerinde yürütülen izoterm deneyi sonuçları.

Şekil 3.33, zeolit fraksiyonlarının yüzeylerinin HDTMA ile modifikasyonu sonrasında yürütülen izoterm deneyleri sonuçlarını göstermektedir. Modifikasyon sonrasında fraksiyonlar arasındaki adsorpsiyon kapasitesi farkı daha belirgin olarak gözükmemektedir.

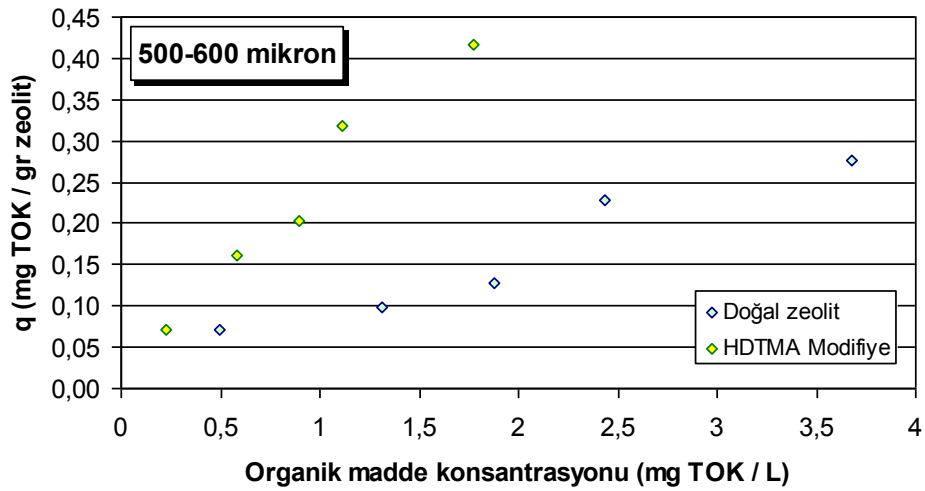
Elenerek hazırlanmış 250-350 ve 500-600 mikronluk fraksiyonların doğal halleri ile ve modifikasyon sonrasında kullanımlarına ait değerlendirmeler daha net olarak, Şekil 3.34 ve Şekil 3.35’de verilmiştir. HDTMA kullanılarak fraksiyonların adsorpsiyon kapasitelerinin arttığı net bir şekilde görülmektedir. 500-600 mikron fraksiyonda bu etki daha belirgindir çünkü 250-350 mikron zeolit tane boyutunun da küçük olması nedeniyle doğal hali ile de yüksek bir adsorpsiyon kapasitesine sahiptir.



Şekil 3.33 : HDTMA modifiye zeolit üzerinde yürütülen izoterm deneyi sonuçları.



Şekil 3.34 : 250-350 mikron fraksiyona ait izoterm deneyi sonuçları.

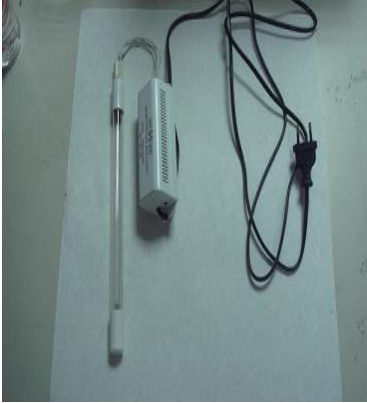


Şekil 3.35 : 500-600 mikron fraksiyona ait izoterm deneyi sonuçları.

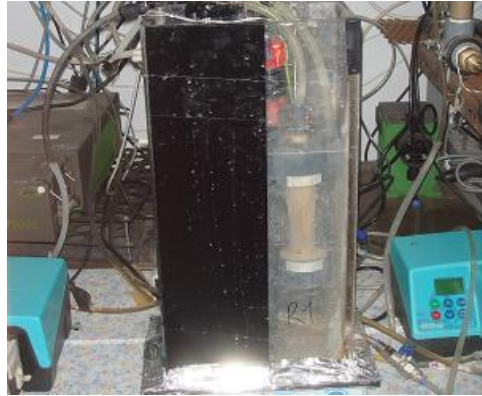
Bu sonuçların ışığında, daha küçük fraksiyonlar ile daha yüksek organik madde giderimi görülmüş olsa da, ekonomik yönden daha uygulanabilir olması sebebiyle karışık fraksiyon ile batık membran sisteminde deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Koyun, 2008).

### 3.6 UV/TiO<sub>2</sub> Düzenegi

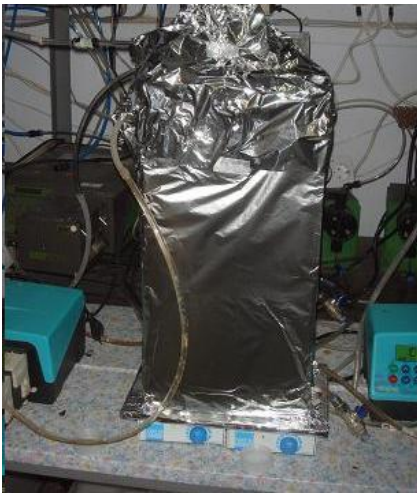
UV ışını ile yürütülen deneylerde, öncelikle reaktörlerin UV lambasının (Şekil 3.36) bulunacağı bölmesi siyah PVC ile kaplanmış (Şekil 3.37), daha sonra ışığın dışarı sızmasını engellemek için ilave olarak tüm reaktör alüminyum folyo ile kaplanmıştır (Şekil 3.38). UV lambası suya direk daldırılmamış, quartz içine yerleştirilerek (Şekil 3.39) reaktöre sabitlenmiştir. Reaktörlerin deney başlatılmadan önceki son halleri Şekil 3.40'da gösterilmiştir. Çalışmalarda fotokataliz olarak TiO<sub>2</sub> (Degussa P25) kullanılmıştır.



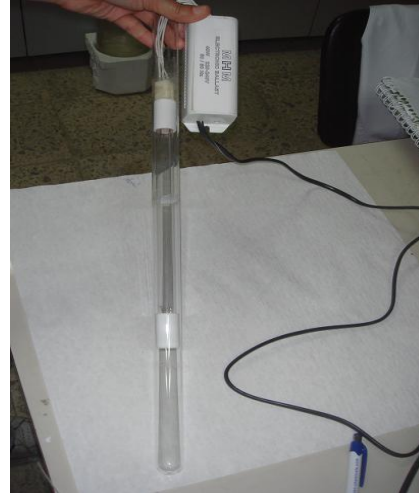
Şekil 3.36 : UV lambası.



Şekil 3.37 : Reaktörün siyah PVC ile kaplı görünümü.

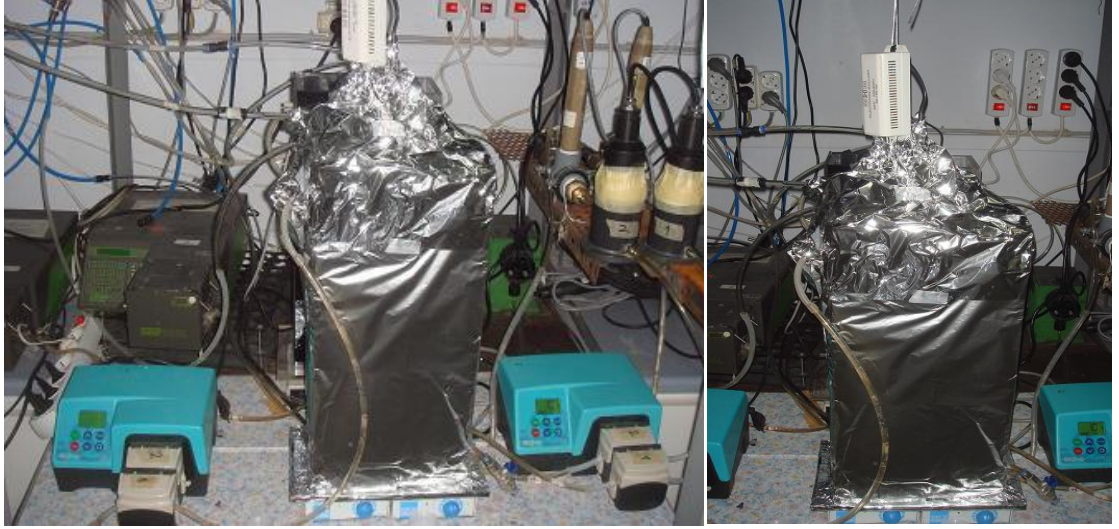


Şekil 3.38 : Reaktörün alüminyum kaplı hali.



Şekil 3.39 : Quartz içerisine folyo ile yerleştirilmiş UV lambası.

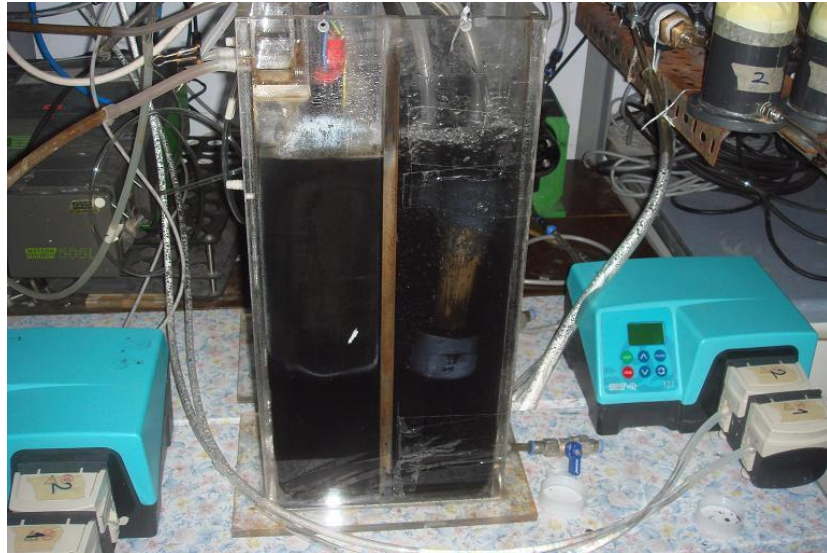




**Şekil 3.40 :** UV deneylerinin yürütüldüğü sistem ve reaktörlerin görünümü.

### **3.7 Toz Aktif Karbon**

AquoSorb BP2 toz aktif karbon Kağıthane arıtma tesisinden temin edilmiştir. Toz aktif karbon çok uçucu olduğundan, öncelikle behere alınan bir miktar ham suya ilave edilerek çözelti haline getirilmiş, daha sonra reaktörün birinci bölümüne ilave edilmiştir. Toz aktif karbon ile yürütülen deneye ait bir fotoğraf Şekil 3.41’de gösterilmiştir.



**Şekil 3.41 :** Toz aktif karbon çalışması.

### 3.8 Ses Dalgası Düzenegi

Bandelin firmasından temin edilen SONOPULS Ultrasonic Homogenizers HD 3200 model cihaz; jeneratör (Şekil 3.42), ses dalgası dönüştürücü (Şekil 3.43) ve ses dalgasını sıvıya ileten probdan (Şekil 3.44) oluşmaktadır. Jeneratör, 20–150 W gücünde ayarlanabilmekte ve 20 kHz titreşim sıklığında çalıştırılabilmektedir. KE 76 model, titanyum kaplı prob, 137 mm uzunluğunda ve ucunun çapı 6 mm'dir. Maksimum uygulanabilir genlik  $255 \mu_{ss}$ 'dir. Sıvıları homojen hale getirmek için uygun olan hacim aralığı ise 10–350 ml arasında değişmektedir. Probu ucun maksimum 2 mm suyun içinde olacak şekilde, reaktörün birinci bölümüne yerleştirilmiştir (Şekil 3.45).



Şekil 3.42 : Ses dalgası jeneratörü.

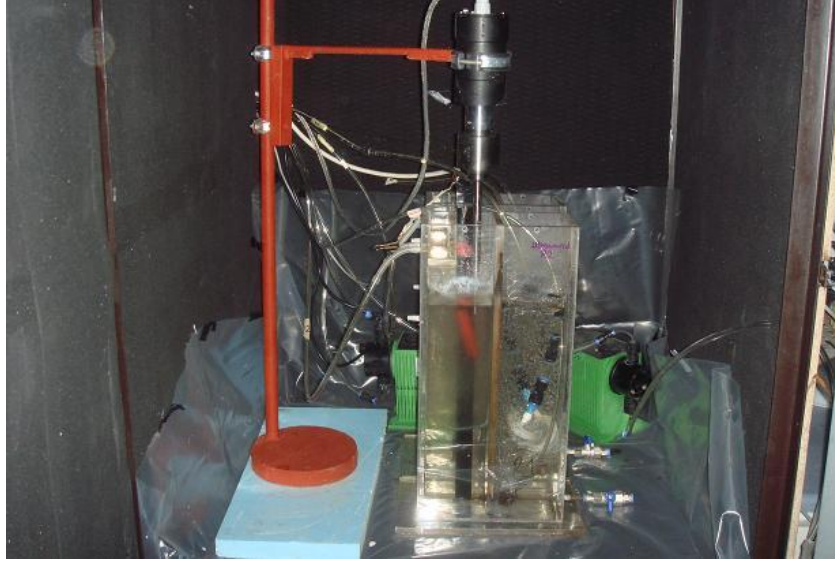


Şekil 3.43 : Ses dalgası dönüştürücü.



Şekil 3.44 : Ses dalgasını ileten prob.





**Şekil 3.45 :** Ses dalgası üreten cihazın batık membran sistemine adapte edilmiş hali.

### **3.9 Deneysel DüzenegİN Çalışma Prensibi**

Sistem, kurulan otomasyon düzenegi ile 24 saat kesintisiz olarak çalıştırılabilir. Küçük tanktan reaktörlere su beslenmesi bir seviye şalterinden gönderilen sinyale bağlı olarak pompa ile sağlanmaktadır. Reaktörlerdeki su seviyesi, belirlenen seviyenin altına indiğinde pompa 80 mL/dk debi ile su basmakta, yine önceden belirlenen seviyeye ulaştığında ise besleme durmaktadır. Ham su, reaktördeki birinci bölmenin üst kısmında bulunan giriş yapısına geldikten sonra savaklanarak dökülmektedir. Birinci bölme, suyun membran ile karşılaşmadan önce iyi bir karışımına uğraması amacıyla kullanılmaktadır. Buradan membranların bulunduğu ikinci bölmeye su geçişi alttan sağlanmaktadır. Membranlardan peristaltik pompa ile çekilmekte olan çıkış suyu on-line ölçüm yapabilen ve seri halde birbirine bağlı olan bulanıklık, iletkenlik, sıcaklık ve pH problemlerine iletilmektedir. Arıtılmış suların toplandığı tanklar aynı zamanda geri yıkama suyu besleme tankı olarak kullanılmaktadır. Zaman rölesi ile kontrol edilen sistemde 60 dakika boyunca membranlardan su çekişi devam ederken, takip eden 5 dakika süresince geri yıkama yapılmaktadır. Bu süreler değiştirilebilir. Basınçlı hava sisteme sürekli olarak difüzörler ile verilmektedir. Her bir reaktörde membranların olduğu bölmede 4 adet difüzör bulunmaktadır. Kompresörden 6 bar basınç altında gelen havanın basıncı regülatör ile yaklaşık 3 bara düşürülmektedir. Hava debisi 300 lt/saat olacak şekilde MBLD marka rotometreler ile kontrol edilmektedir. Her seri çalışmadan önce bulanıklık problemleri temizlenmiş ve Hach Lange firmasından temin edilen standart 20

NTU'luk formazin çözeltilerinden seyreltilerek hazırlanan 1 NTU, 5 NTU ve 20 NTU luk çözeltilerle kalibre edilmiştir. Tüm deneyler boyunca her gün ham sudan, reaktör çıkışlarından ve reaktör içlerinden numune alınmıştır (Şekil 3.46).



**Şekil 3.46 :** Numune örnekleri.

Reaktör içinden alınan numuneler önce santrifüjden geçirilmiş, üst faz 0.45 mikron filtreden süzülerek TOK ve UV ölçümleri için hazırlanmıştır. Debi ölçümü sabah ve akşam olmak üzere günde iki kere manuel olarak gerçekleştirilmiştir.

TOK ölçümleri için, İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü'nde bulunan Shimadzu TOK-V<sub>CPH</sub> cihazı kullanılmıştır. TOK ölçümleri, Standart Metot'larda belirtilen 5310 B nolu Yanma Infrared metoduna göre gerçekleştirilmiştir (APHA, 1998). TOK analizleri otomatik bir numune alıcı ile donatılmış Shimadzu TOK-V<sub>CPH</sub> cihazı ile yapılmıştır. Numuneler platinyum oksit katalizörü ile kaplı bir ısıtılmış reaksiyon çemberine enjekte edilmiştir. Ardından numunedeki tüm organik karbon CO<sub>2</sub> gazına dönüştürülmüş ve bu inorganik gaz nondispersif infrared analizörü ile ölçülmüş ve ppm olarak kaydedilmiştir.

UV<sub>254</sub> absorbans ölçümleri 254 nm dalga boyunda 1 cm'lik kuvars hücreye sahip Perkin Elmer Lambda 25 UV Visible Spektrofotometre kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Numunelerde girişime sebep olabilecek safsızlıklar 0,45 µm membran filtreden süzme işlemi sayesinde elimine edilmiştir. Cihaz ultra saf su kullanılarak sıfırlanmış ve ardından ölçüm hücresi 2 kez numune ile yıkanmış ve daha sonra numune ile ağzına kadar içinde hiç hava boşluğu kalmayacak şekilde doldurulmuştur. Bu işlemin ardından 254 nm'de absorbans değerleri ölçülmüştür.

## 4. DENEYSEL ÇALIŞMALARIN SONUÇLARI

### 4.1 Zeolit Çalışmaları

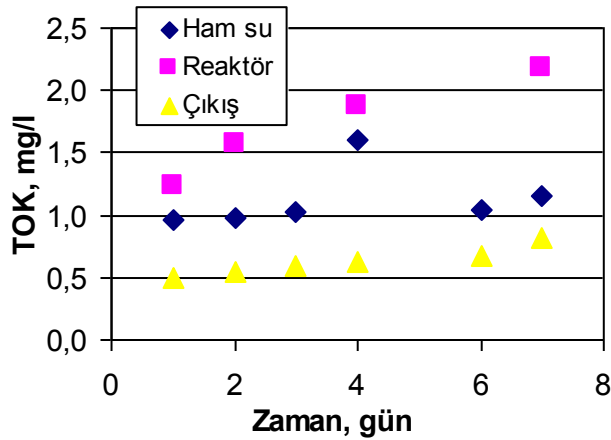
Membran tıkanıklığını azaltmak için zeolit kullanılarak sentetik ve göl suyunda MF ve UF membranları ile deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

#### 4.1.1 Sentetik suda MF membranı kullanılarak yürütülen çalışmalar

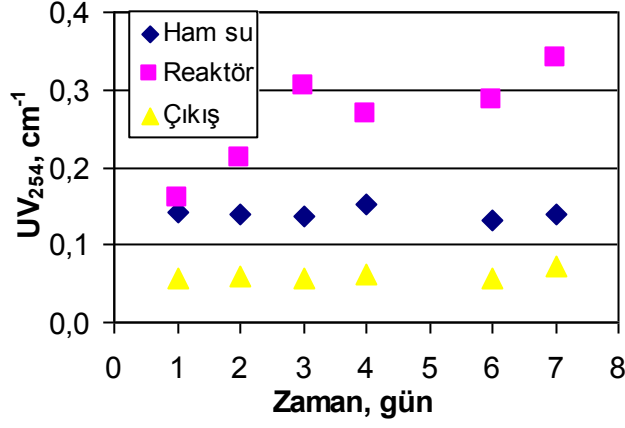
Sentetik su ile teknik özellikleri Bölüm 3’de verilen 0,1 µm gözenekli MF membranı kullanılarak deneyler yürütülmüştür. Öncelikle zeolit olmaması ve modifiye edilmiş zeolit olması durumları için değerlendirmeler yapılmıştır. Modifiye zeolit olması durumunda organik madde ve bulanıklık konsantrasyonunun etkileri araştırılmıştır.

##### 4.1.1.1 Zeolit ilavesinin olmadığı durum

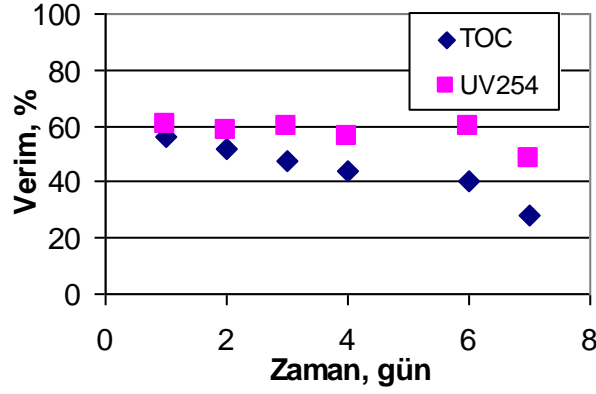
Reaktöre zeolit ilavesi yapılmadan, sadece membranın bulunduğu durumda elde edilen TOK ve UV<sub>254</sub> absorbans değerleri, Şekil 4.1 ve 4.2’de, verim değerleri ise Şekil 4.3’de verilmiştir. TOK ve UV<sub>254</sub> absorbans değerleri, Ham suda, reaktör içerisinde ve artırılmış suda ölçülmüştür. Zamanla membranda meydana gelen basınç artışı Şekil 4.4’de verilmiştir. TOK ve UV<sub>254</sub> giderme verimleri, % 40–60 aralığında değişmiştir. Basınç artışı ise 140 saat sonra, 230 mbar değerine ulaşmıştır.



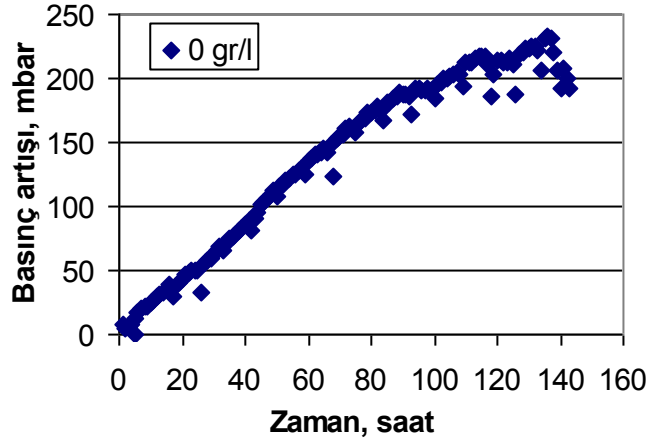
Şekil 4.1 : TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolitsiz).



Şekil 4.2 : UV<sub>254</sub> absorbans değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolitsiz).



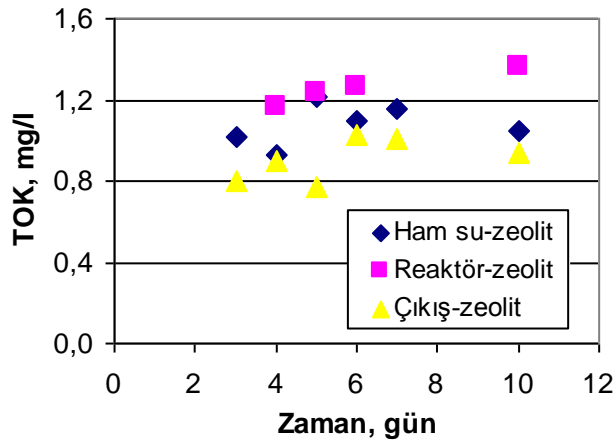
Şekil 4.3 : TOK ve UV<sub>254</sub> giderim verimlerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolitsiz).



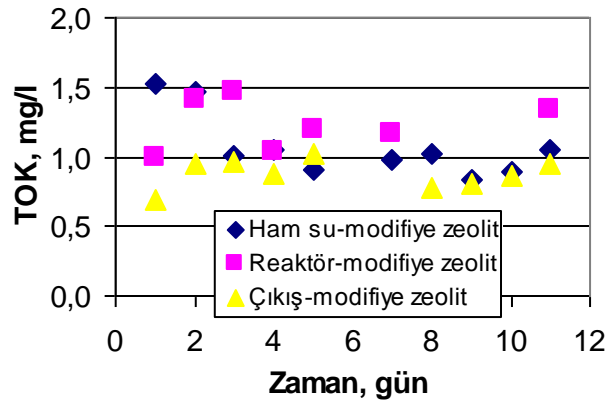
Şekil 4.4 : Basınç değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolitsiz).

#### 4.1.1.2 Modifiye edilmemiş zeolit ve modifiye edilmiş zeolit durumlarının karşılaştırılması

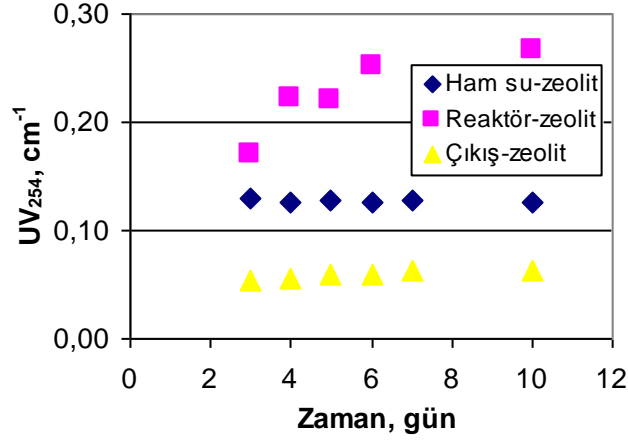
Zeolitin modifiye edilmemiş ve edilmiş durumlarının karşılaştırılması için 40 gr/l zeolit konsantrasyonunda iki deney yapılmıştır. Aşağıda sırasıyla TOK (Şekil 4.5-4.6),  $UV_{254}$  absorban (Şekil 4.7-4.8) değerleri ve giderme verimleri (Şekil 4.9-4.10) verilmiştir. Modifiye zeolit olması durumundaki TOK ve  $UV_{254}$  giderme verimleri, modifiye edilmemiş duruma göre çok az bir artış göstermiştir. Modifiye zeolitin esas etkisi, basınç artışı azalmada görülmüş ve 140 saat sonra modifiye edilmemiş zeolit ile 225 mbar civarında bir basınç artışı görülürken, modifiye edilmiş zeolit ile 100 mbar civarında bir basınç artışı olmuştur (Şekil 4.11). Modifiye zeolit ile basınç artışı azalmıştır. Bunun sebebi, modifiye zeolit kullanımı ile artan organik madde gideriminden kaynaklanmaktadır.



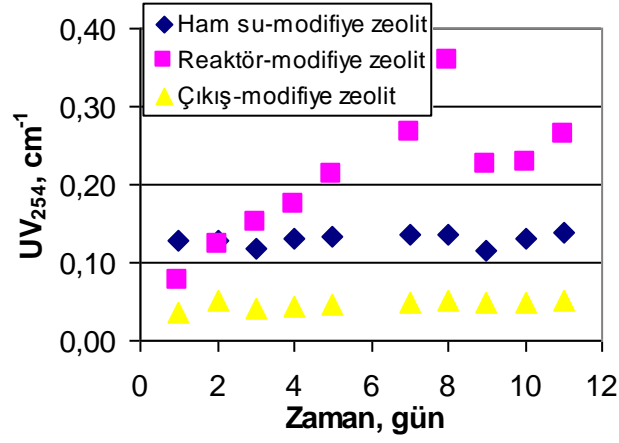
Şekil 4.5 : TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, modifiye edilmemiş zeolit).



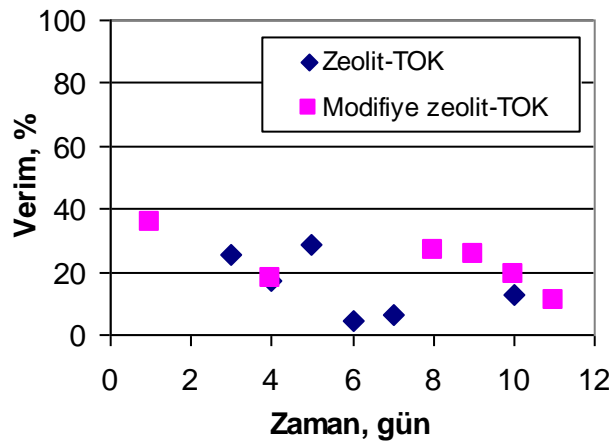
Şekil 4.6 : TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, modifiye zeolit).



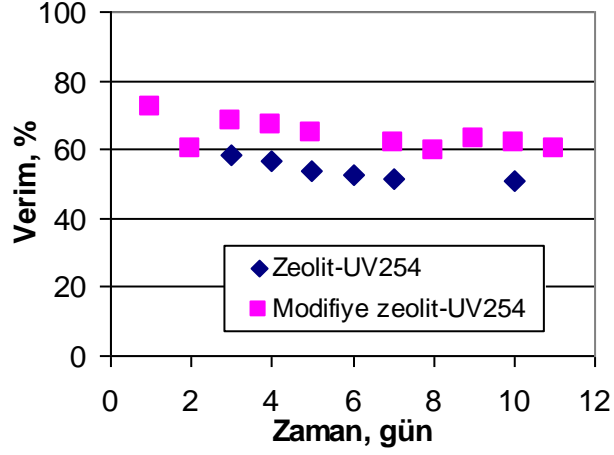
Şekil 4.7 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, modifiye edilmemiş zeolit).



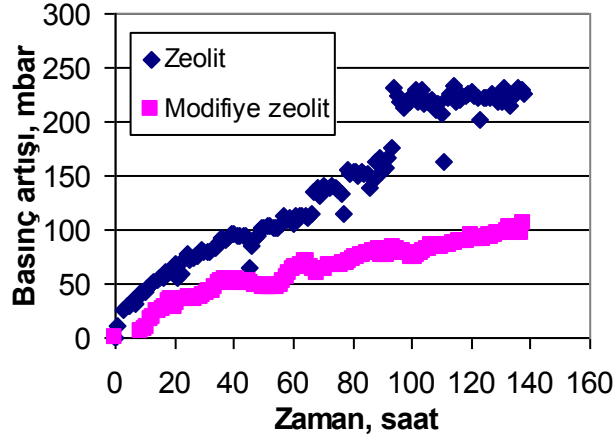
Şekil 4.8 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, modifiye zeolit).



Şekil 4.9 : TOK giderim verimlerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit&modifiye zeolit).



Şekil 4.10 : UV<sub>254</sub> giderim verimlerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit&modifiye zeolit).



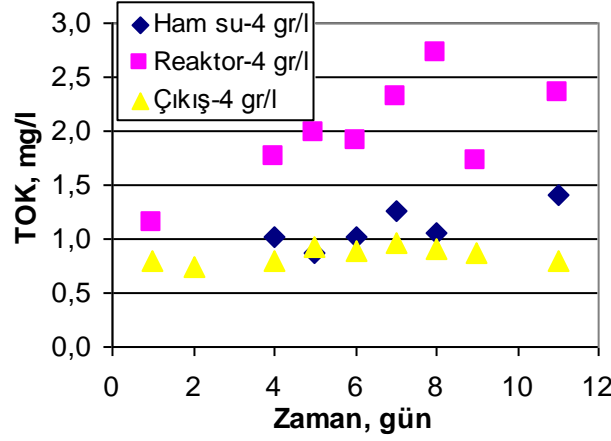
Şekil 4.11 : Basınç değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit&modifiye zeolit).

#### 4.1.1.3 Modifiye zeolit konsantrasyonunun etkisi

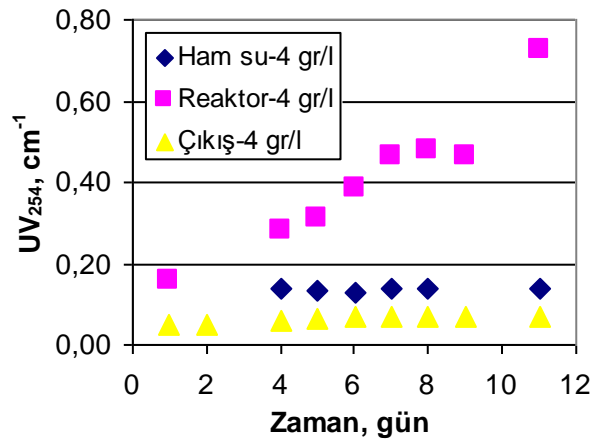
Zeolit konsantrasyonu olarak, 4, 10 ve 40 gr/l'lik zeolit konsantrasyonları kullanılmıştır. Aşağıda sırasıyla her bir zeolit konsantrasyonu için organik madde giderimini temsil edici TOK ve UV<sub>254</sub> absorbans değerleri ile basınç artışları ve sonrasında zeolit konsantrasyonu etkilerinin karşılaştırılması verilmiştir.

##### a) Modifiye zeolit konsantrasyonu: 4 gr/l

4 gr/l modifiye edilmiş zeolit ile yapılan çalışmalarda elde edilen TOK ve UV<sub>254</sub> absorbans değerleri, Şekil 4.12–4.13'de verilmiştir. Reaktör içerisindeki TOK konsantrasyonu % 102 oranında artar iken, UV<sub>254</sub> absorbans değeri, % 360 oranında artmıştır.



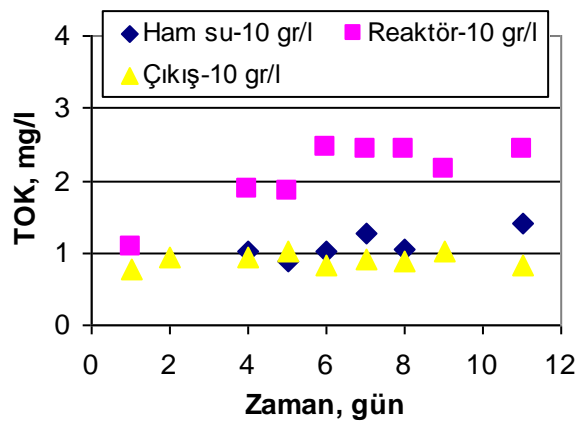
Şekil 4.12 : TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit: 4 g/l).



Şekil 4.13 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit: 4 g/l).

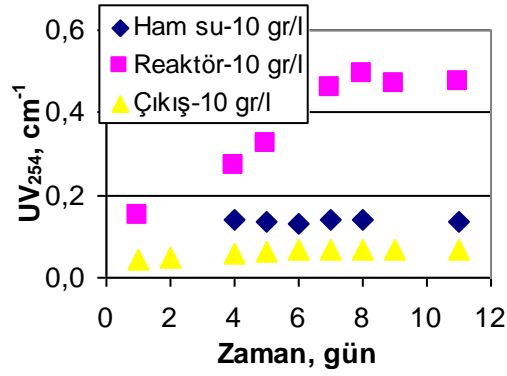
b) Modifiye zeolit konsantrasyonu: 10 gr/l

10 gr/l modifiye edilmiş zeolit ile yapılan çalışmalarda elde edilen TOK ve UV<sub>254</sub> absorbans değerleri, Şekil 4.14–4.15’de gösterilmiştir. Reaktör içerisindeki TOK konsantrasyonu % 123 oranında artmıştır. UV<sub>254</sub> absorbans değeri ise, % 215 oranında artmıştır.



Şekil 4.14 : TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit: 10 g/l).

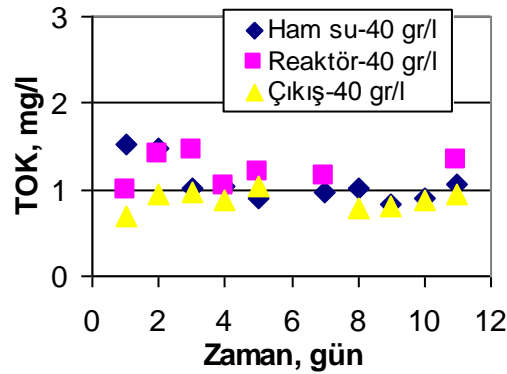




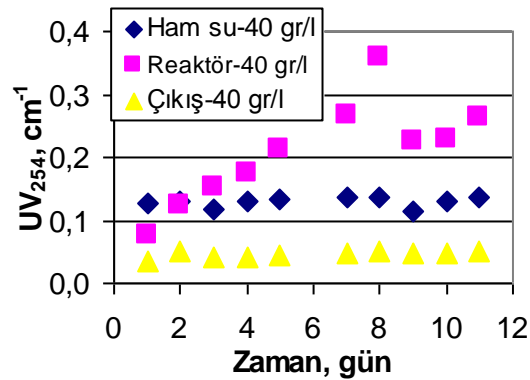
Şekil 4.15 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit: 10 gr/l).

c) Modifiye zeolit konsantrasyonu: 40 gr/l

40 gr/l modifiye edilmiş zeolit ile yapılan çalışmalarda elde edilen TOK ve UV<sub>254</sub> absorbans değerleri Şekil 4.16–4.17’de gösterilmiştir. Reaktör içerisindeki TOK konsantrasyonu % 34 ve UV<sub>254</sub> absorbans değeri ise % 115 artmıştır. 40 gr/l’de reaktör içerisindeki konsantrasyon artışı, 4 ve 10 gr/l zeolit konsantrasyonlarına göre daha az miktarda gerçekleşmiştir. Bunun nedeni, fazla miktardaki zeolitten ileri gelen adsorpsiyon kapasitesindeki artıştan kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.16 : TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit: 40 gr/l).



Şekil 4.17 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit: 40 gr/l).

d) Zeolit konsantrasyonu etkisinin karşılaştırılması

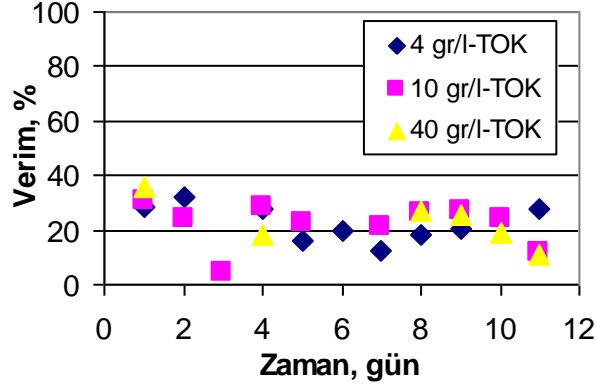
Aşağıda sırasıyla, üç ayrı zeolit konsantrasyonunda yapılan deneylerde elde edilen sonuçlarda, zeolit konsantrasyonunun etkisi karşılaştırılmıştır. Tüm deneylerde ham sudaki TOK değerleri, ortalama 1 mg/l civarında seyretmiştir. UV<sub>254</sub> absorbans değeri ise ortalama, 0,12–0,14 cm<sup>-1</sup> aralığında değişmiştir. Reaktördeki TOK ve UV<sub>254</sub> absorbans değerinin deney süresi boyunca değişimi, Çizelge 4.1’de toplu olarak verilmiştir. Buna göre, 4 ve 10 gr/l’de, adsorpsiyon kapasitesinin düşük olmasından dolayı, reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV<sub>254</sub> absorbans değerlerinde, ham su değerlerine kıyasla aşırı bir artış meydana gelmiştir. Ancak, 40 gr/l’de yapılan deneyde, artış oranı azalmıştır. TOK için 10 gr/l’de ortalama % 110’lık bir artış olurken, 40 gr/l’de artış oranı % 34 olmuştur. UV<sub>254</sub> absorbans değeri ise 10 gr/l’de ortalama % 247 artar iken, 40 gr/l’deki artış oranı ortalama % 115 olmuştur.

**Çizelge 4.1 :** Reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV<sub>254</sub> absorbans değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri (sentetik su, MF, zeolit konsantrasyonu etkisi).

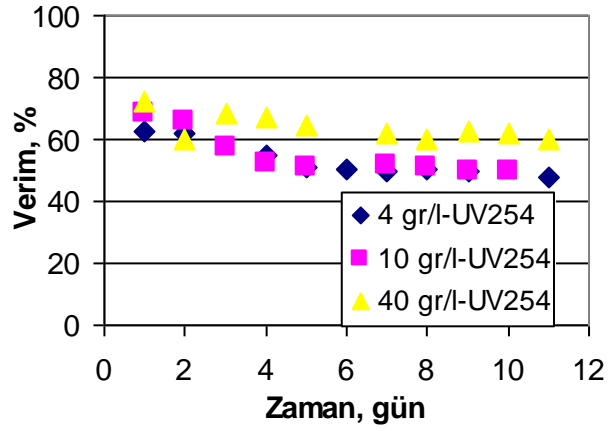
Parametre	4 gr/l	10 gr/l	40 gr/l
TOK	100	123	34
UV <sub>254</sub>	360	215	115

Çıkış TOK konsantrasyonlarında, zeolit konsantrasyonunun etkisi çok belirgin değildir. Ancak, çıkış UV<sub>254</sub> absorbans değerlerinde zeolit konsantrasyonunun etkisi çok belirgindir. Özellikle, 40 gr/l zeolit konsantrasyonunda, çıkış UV<sub>254</sub> absorbans değeri, 4 gr/l ile 10 gr/l konsantrasyonlarında elde edilen değerlere göre çok düşmüştür. 4 gr/l ile 10 gr/l arasında ise çok belirgin bir fark elde edilmemiştir. Çıkış değerlerindeki bu değişim verimi de etkilemiş ve TOK giderme veriminde belirgin bir fark gözlenmemiş iken (Şekil 4.18), 40 gr/l’deki UV<sub>254</sub> giderme verimi artmıştır (Şekil 4.19).

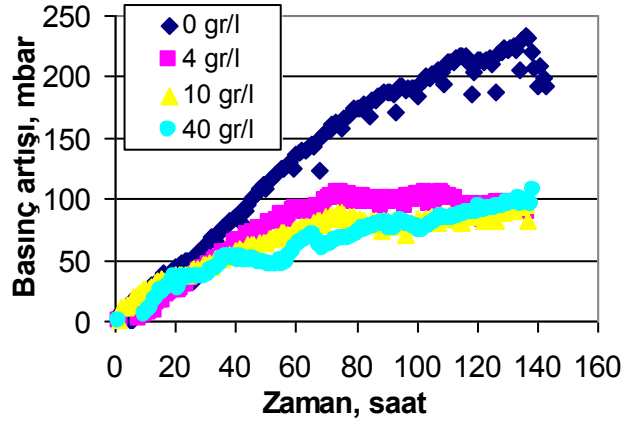
Şekil 4.20’de, zeolit konsantrasyonlarına bağlı olarak, basınç artışının değişimi verilmiştir. Zeolit konsantrasyonu arttıkça, oluşan vakum basıncı artışı da azalmıştır. Bu durum, zeolit konsantrasyonu arttıkça daha fazla organik madde adsorplanmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.18 : TOK giderim verimlerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit konsantrasyonu etkisi).



Şekil 4.19 : UV<sub>254</sub> giderim verimlerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit konsantrasyonu etkisi).



Şekil 4.20 : Basınç değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit konsantrasyonu etkisi).

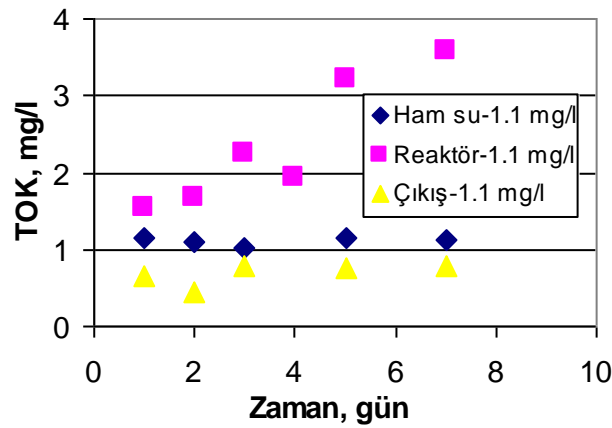
#### 4.1.1.4 Organik madde konsantrasyonunun etkisi

Organik madde konsantrasyonunun etkisini araştırmak üzere, ham su TOK konsantrasyonları ortalama 1,1, 3,1 ve 5,4 mg/l olan sentetik çözeltiler ile

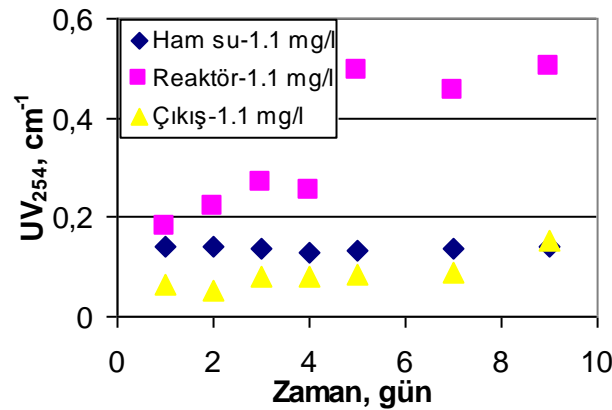
çalışılmıştır. Deneilerin tamamında, 10 gr/l modifiye zeolit konsantrasyonu kullanılmıştır. Aşağıda sırasıyla her bir organik madde konsantrasyonu için TOK ve  $UV_{254}$  değerleri ile organik madde konsantrasyonu etkisinin karşılaştırılması verilmiştir.

a) TOK konsantrasyonu: 1,1 mg/l

1,1 mg/l TOK konsantrasyonu ile yapılan çalışmalarda elde edilen TOK ve  $UV_{254}$  değerleri, Şekil 4.21–4.22’de verilmiştir. Reaktör içerisindeki TOK konsantrasyonu, % 130 oranında artmıştır.  $UV_{254}$  absorbands değeri ise % 177 oranında artmıştır.



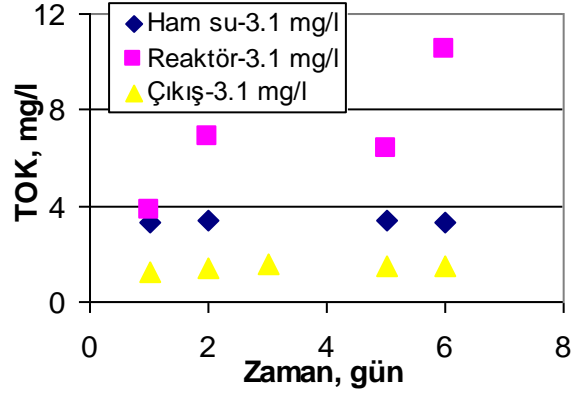
Şekil 4.21 : TOK giderim verimlerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit: 10 g/l, TOK: 1.1 mg/l).



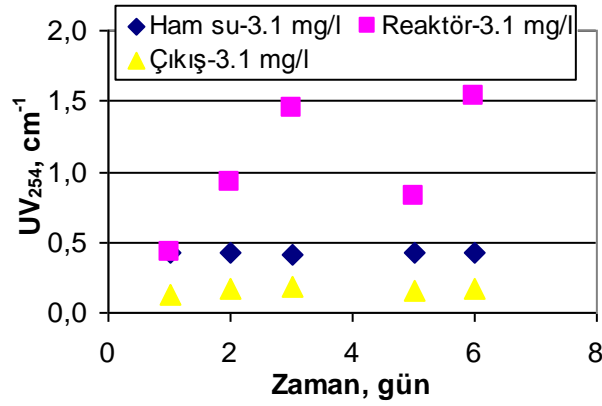
Şekil 4.22 : TOK konsantrasyonu için TOK giderim verimlerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit: 10 g/l, TOK: 1.1 mg/l).

b) TOK konsantrasyonu: 3,1 mg/l

3,1 mg/l TOK konsantrasyonu ile yapılan çalışmalarda elde edilen TOK ve  $UV_{254}$  değerleri, Şekil 4.23–4.24’de verilmiştir. Reaktör içerisindeki TOK konsantrasyonu % 177 oranında artmıştır.  $UV_{254}$  absorbands değeri ise % 256 oranında artmıştır.



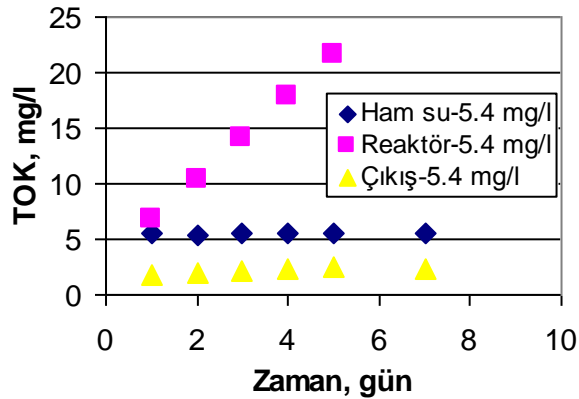
Şekil 4.23 : TOK giderim verimlerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit: 10 g/l, TOK: 3.1 mg/l).



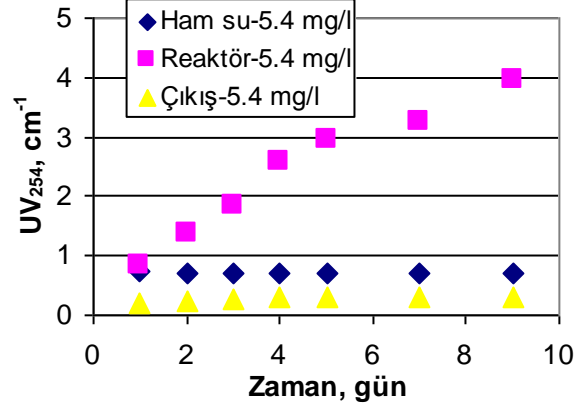
Şekil 4.24 : UV<sub>254</sub> giderim verimlerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit: 10 g/l, TOK: 3.1 mg/l).

c) TOK konsantrasyonu: 5,4 mg/l

5,4 mg/l TOK konsantrasyonu ile yapılan çalışmalarda elde edilen TOK ve UV<sub>254</sub> değerleri, Şekil 4.25–4.26'da verilmiştir. Reaktör içerisindeki TOK konsantrasyonu % 220 oranında artmıştır. UV<sub>254</sub> absorbans değeri ise % 376 oranında artmıştır.



Şekil 4.25 : TOK giderim verimlerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit: 10 g/l, TOK: 5.4 mg/l).



**Şekil 4.26 :** UV<sub>254</sub> giderim verimlerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit: 10 g/l, TOK: 5.4 mg/l).

*d) Organik madde konsantrasyonu etkisinin karşılaştırılması*

Modifiye zeolit konsantrasyonunun 10 gr/l ve üç değişik organik madde konsantrasyonunda yapılan deneylerde, organik madde konsantrasyonunun etkisi karşılaştırılmıştır. Ham sudaki UV<sub>254</sub> absorbans değerleri, 1,1, 3,1 ve 5,4 mg/l TOK konsantrasyonları için sırasıyla, ortalama 0,14, 0,42 ve 0,70 cm<sup>-1</sup> olmuştur. Reaktördeki TOK ve UV<sub>254</sub> değerlerinin deney süresi boyunca değişimi, Çizelge 4.2’de toplu olarak gösterilmiştir. TOK konsantrasyonu arttıkça reaktördeki artış oranı da bir miktar artmıştır. Reaktördeki TOK, 1,1 mg/l ham su TOK konsantrasyonunda ortalama % 130 artar iken, 3,1 mg/l ham su TOK konsantrasyonunda ortalama % 177 ve 5,4 mg/l ham su TOK konsantrasyonunda ise ortalama % 220 artmıştır. UV<sub>254</sub> absorbans değeri ise 1,1 mg/l ham su TOK konsantrasyonunda ortalama % 177, 3,1 mg/l ham su TOK konsantrasyonunda ortalama % 256 ve 5,4 mg/l ham su TOK konsantrasyonunda ise ortalama % 376 artmıştır.

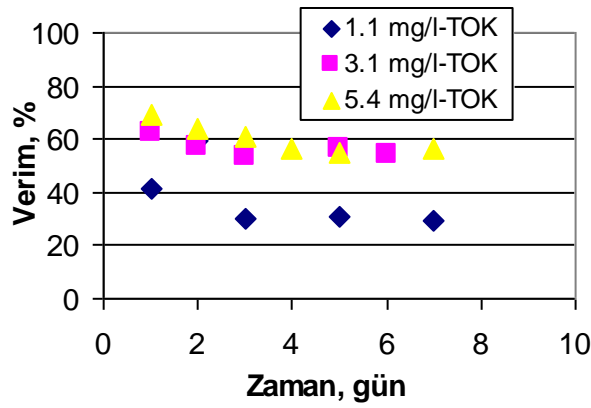
**Çizelge 4.2 :** Reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV<sub>254</sub> absorbans değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri (sentetik su, MF, zeolit: 10 g/l, organik madde konsantrasyonu etkisi).

Parametre	1,1 mg/l	3,1 mg/l	5,4 mg/l
TOK	130	177	220
UV <sub>254</sub>	177	256	376

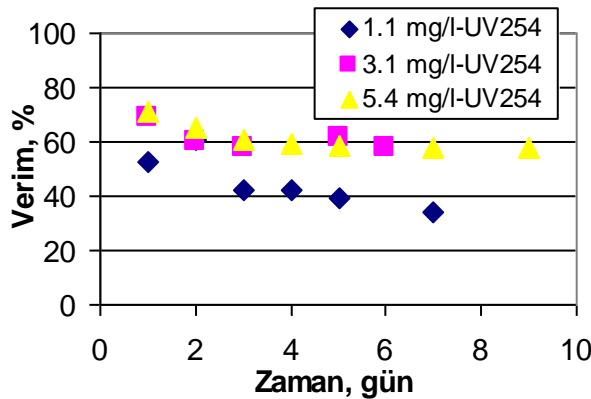
Çıkış TOK konsantrasyonlarında, ham su TOK değerinin etkisi belirgindir. TOK konsantrasyonu arttıkça, çıkıştaki TOK değerindeki artış da artmıştır. Benzer etki,

çıkış  $UV_{254}$  absorbans değerlerinde de gözlemlenmiştir. Ayrıca, düşük ham su TOK konsantrasyonlarındaki giderme verimleri, yüksek ham su TOK konsantrasyonlarına göre daha düşük olmuştur (Şekil 4.27–4.28). Bunun sebebi, artan organik madde konsantrasyonlarında, oluşan kek tabakası kalınlığının ilave bir bariyer görevi görerek verimin artmasıdır.

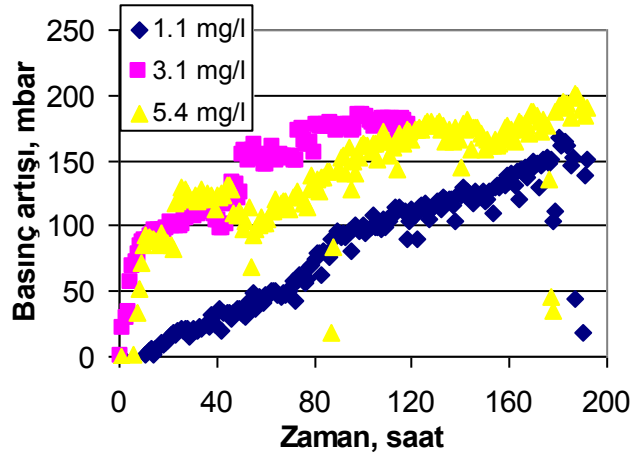
Şekil 4.29’da, organik madde konsantrasyonuna bağlı olarak, basınç artışının değişimi verilmiştir. Organik madde konsantrasyonu arttıkça, basıncı artışı da artmıştır. Ancak, 3,1 ve 5,4 mg/l TOK konsantrasyonlarındaki basınç artışı hemen hemen aynı olmuştur. Bu durum, organik madde konsantrasyonu arttıkça, membran yüzeyinde oluşan kek tabakasının arttığını ve daha fazla basınç artışına sebep olduğunu göstermektedir. 3,1 mg/l TOK konsantrasyonundan sonra, basınç artışı, organik madde konsantrasyonundan bağımsız hale gelmiştir.



Şekil 4.27 : TOK giderim verimlerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit: 10 g/l, organik madde konsantrasyonu etkisi).



Şekil 4.28 :  $UV_{254}$  giderim verimlerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit: 10 g/l, organik madde konsantrasyonu etkisi).



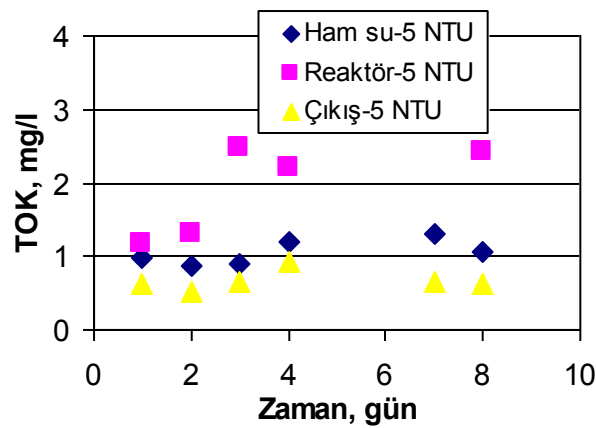
Şekil 4.29 : Basınç değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit: 10 g/l, organik madde konsantrasyonu etkisi).

#### 4.1.1.5 Bulanıklık konsantrasyonunun etkisi

Bulanıklık konsantrasyonu etkisini araştırmak üzere, ham su bulanıklık değerleri sırasıyla 5, 10 ve 20 NTU olan sentetik çözeltiler ile çalışılmıştır. Deneilerin tamamında, 10 gr/l modifiye zeolit konsantrasyonu kullanılmıştır. Aşağıda sırasıyla her bir bulanıklık konsantrasyonu için TOK ve  $UV_{254}$  absorbans değerleri verilmiştir.

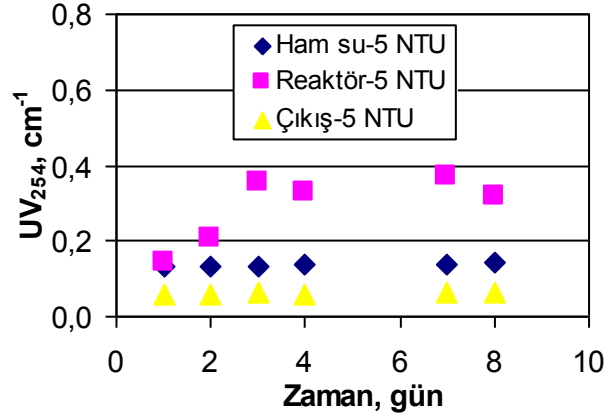
##### a) Bulanıklık konsantrasyonu: 5 NTU

5 NTU bulanıklık konsantrasyonu ile yapılan çalışmalarda elde edilen TOK ve  $UV_{254}$  değerleri, Şekil 4.30–4.31’de verilmiştir. Reaktör içerisindeki TOK konsantrasyonu % 105 ve  $UV_{254}$  absorbans değeri ise % 125 oranında artmıştır.



Şekil 4.30 : TOK giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit: 10 g/l, bulanıklık: 5 NTU).

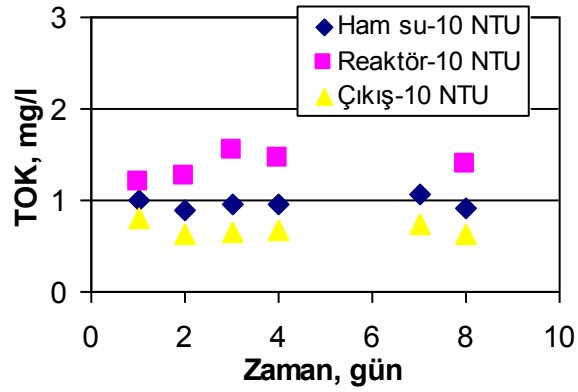




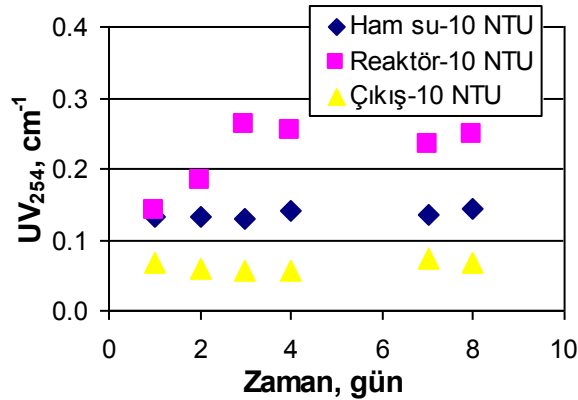
Şekil 4.31 : UV<sub>254</sub> giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit: 10 g/l, bulanıklık: 5 NTU).

b) Bulanıklık konsantrasyonu: 10 NTU

10 NTU bulanıklık konsantrasyonu ile yapılan çalışmalarda elde edilen TOK ve UV<sub>254</sub> değerleri Şekil 4.32–4.33’de verilmiştir. Reaktör içerisindeki TOK konsantrasyonu % 15 ve UV<sub>254</sub> absorbans değeri ise % 74 oranında artmıştır.



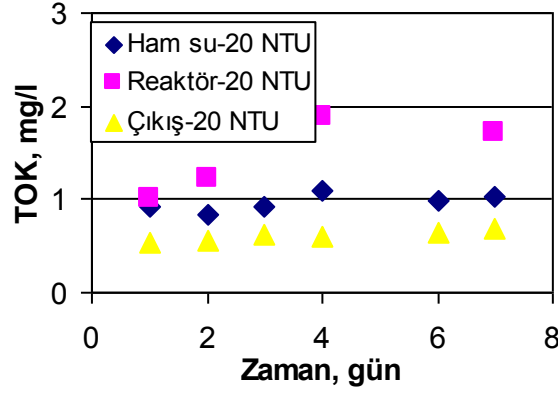
Şekil 4.32 : TOK giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit: 10 g/l, bulanıklık: 10 NTU).



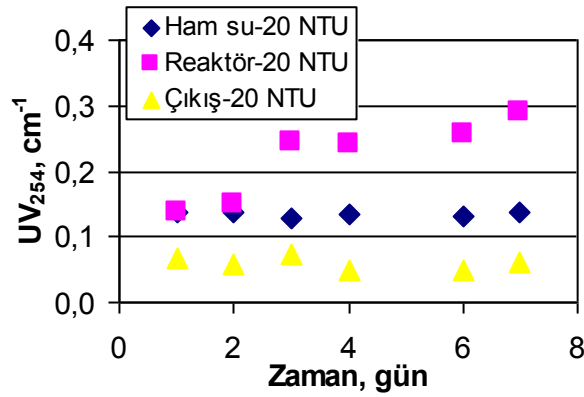
Şekil 4.33 : UV<sub>254</sub> giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit: 10 g/l, bulanıklık: 10 NTU).

c) Bulanıklık konsantrasyonu: 20 NTU

20 NTU bulanıklık konsantrasyonu ile yapılan çalışmalarda elde edilen TOK ve  $UV_{254}$  değerleri Şekil 4.34–4.35’de verilmiştir. Reaktör içerisindeki TOK konsantrasyonu % 71 ve  $UV_{254}$  absorbans değeri ise % 111 oranında artmıştır.



Şekil 4.34 : TOK giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit: 10 g/l, bulanıklık: 20 NTU).



Şekil 4.35 :  $UV_{254}$  giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit: 10 g/l, bulanıklık: 5 NTU).

d) Bulanıklık konsantrasyonu etkisinin karşılaştırılması

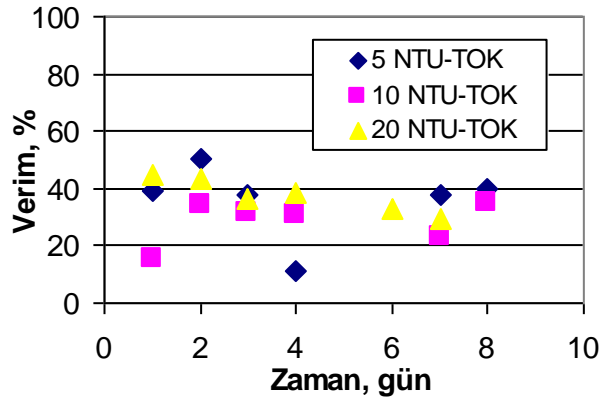
Modifiye zeolit konsantrasyonunun 10 gr/l olduğu üç değişik organik madde konsantrasyonunda yapılan deneylerde, bulanıklık konsantrasyonlarının etkisi karşılaştırılmıştır. Reaktördeki TOK konsantrasyonu ve  $UV_{254}$  absorbans değerinin deney süresi boyunca değişimi, yüzde olarak Çizelge 4.3’de toplu olarak gösterilmiştir. Reaktördeki TOK değeri, 5 NTU’da % 105 artar iken, 10 NTU’da % 15 ve 20 NTU’da % 71 artmıştır.  $UV_{254}$  absorbans değeri ise 5 NTU’da % 125 artar iken, 10 NTU’da % 74 ve 20 NTU’da % 111 artmıştır.

**Çizelge 4.3 :** Reaktördeki TOK konsantrasyonu ve  $UV_{254}$  absorbands değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri (sentetik su, MF, zeolit: 10 g/l, bulanıklık etkisi).

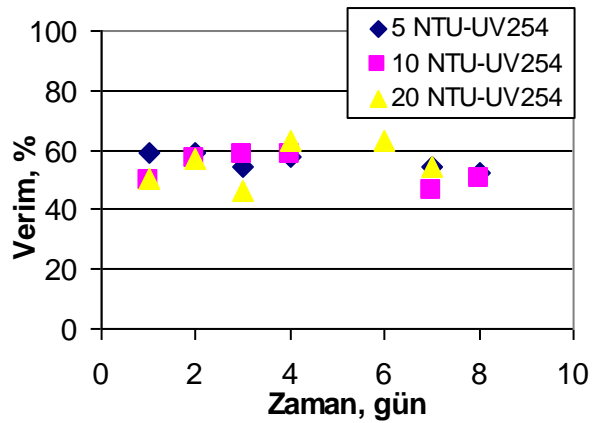
Parametre	5 NTU	10 NTU	20 NTU
TOK	105	15	71
$UV_{254}$	125	74	111

Giderme verimleri açısından bulanıklık konsantrasyonunun belirgin bir etkisi görülmemiştir. (Şekil 4.36–4.37).

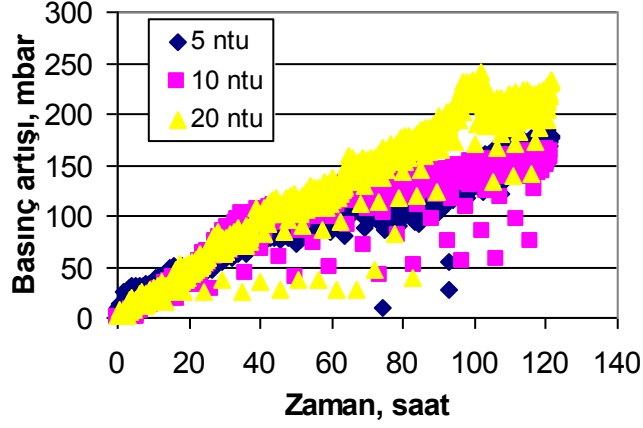
Şekil 4.38’de, bulanıklık konsantrasyonuna bağlı olarak, basınç artışının değişimi verilmiştir. Bulanıklık konsantrasyonunun basınç artışı üzerinde çok belirgin bir etkisi görülmemiştir.



**Şekil 4.36 :** TOK giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit: 10 g/l, bulanıklık etkisi).



**Şekil 4.37 :**  $UV_{254}$  giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit: 10 g/l, bulanıklık etkisi).



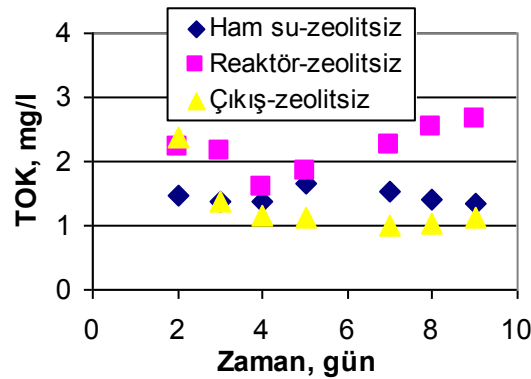
Şekil 4.38 : Basınç değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit: 10 g/l, bulanıklık etkisi).

#### 4.1.2 Sentetik suda UF membranı kullanılarak yürütülen deneyler

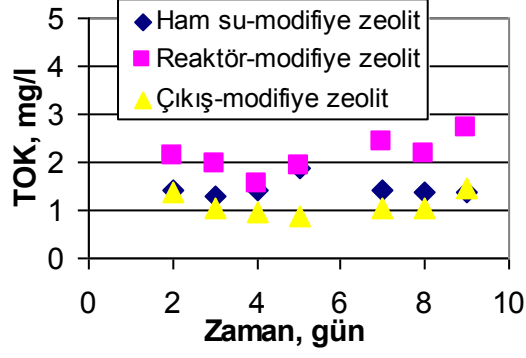
Sentetik su ile teknik özellikleri Bölüm 3’de verilen 0,04 µm gözenekli UF membranı kullanılarak deneyler yürütülmüştür. Öncelikle zeolit olmaması ve modifiye edilmiş zeolit olması durumları için değerlendirmeler yapılmıştır. Modifiye zeolit olması durumunda organik madde ve bulanıklık konsantrasyonunun etkileri araştırılmıştır.

##### 4.1.2.1 Zeolitsiz ve modifiye edilmiş zeolit durumlarının karşılaştırılması

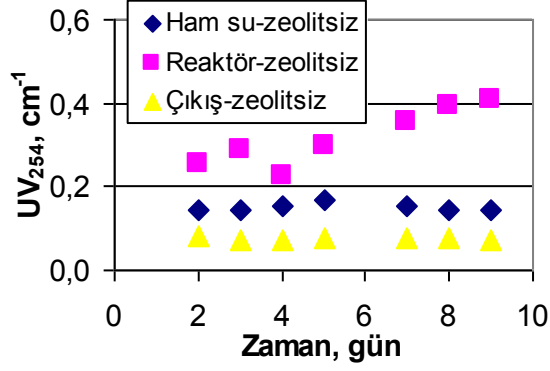
Zeolitin ilave edilmediği ve 10 g/l modifiye zeolitin ilave edildiği durumlarının karşılaştırılması için iki deney yapılmıştır. Aşağıda sırasıyla TOK (Şekil 4.39–4.40), UV<sub>254</sub> (Şekil 4.41–4.42) absorbans değerleri ve giderme verimleri (Şekil 4.43–4.44) verilmiştir. Modifiye zeolit olması durumunda, TOK ve UV<sub>254</sub> giderme verimleri çok az bir artış göstermiştir. Ayrıca modifiye zeolitin kullanılması ile basınç artışında, MF membranında elde edildiği şekilde azalma görülmüştür (Şekil 4.45).



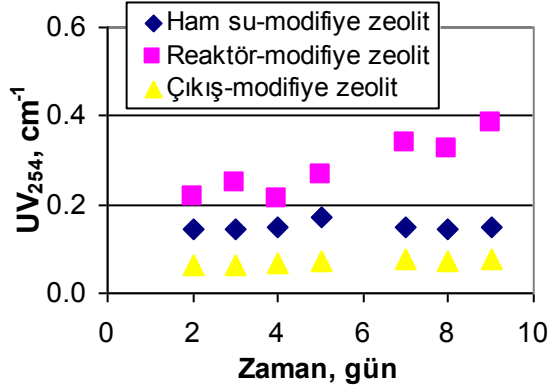
Şekil 4.39 : TOK giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, UF, zeolitsiz).



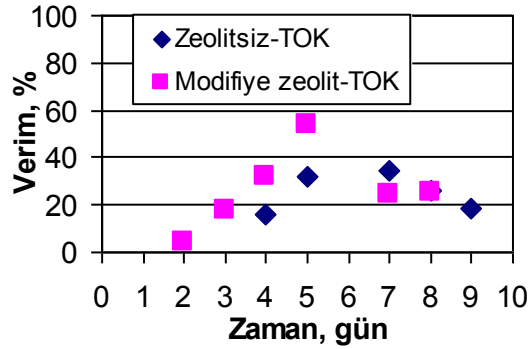
Şekil 4.40 : TOK giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, UF, modifiye zeolit).



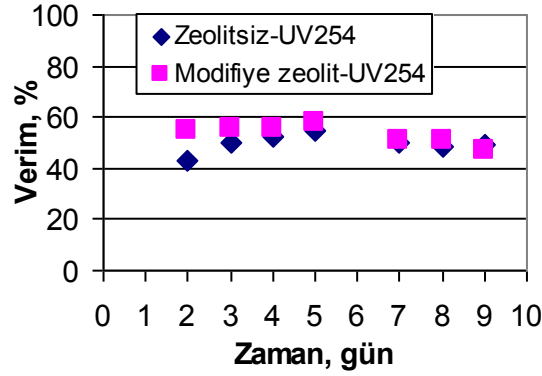
Şekil 4.41 : UV<sub>254</sub> giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, UF, zeolitsiz).



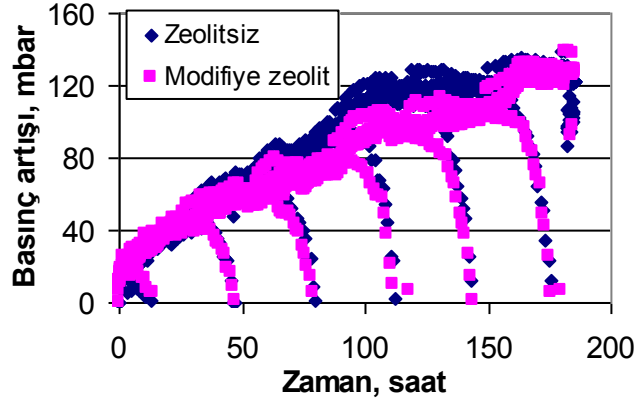
Şekil 4.42 : UV<sub>254</sub> giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, UF, modifiye zeolit).



Şekil 4.43 : TOK giderim verimlerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, zeolit etkisi).



Şekil 4.44 : UV<sub>254</sub> giderim verimlerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, zeolit etkisi).



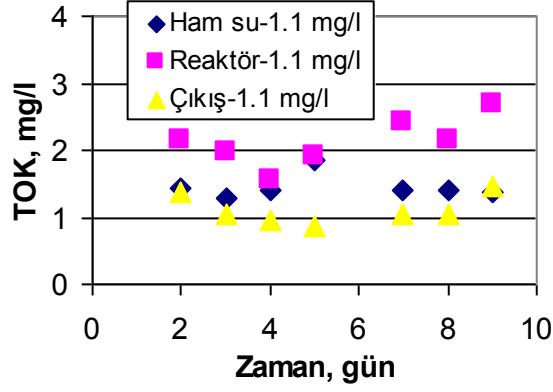
Şekil 4.45 : Basınç değerinin zamanla değişim (sentetik su, UF, zeolit etkisi).

#### 4.1.2.2 Organik madde konsantrasyonunun etkisi

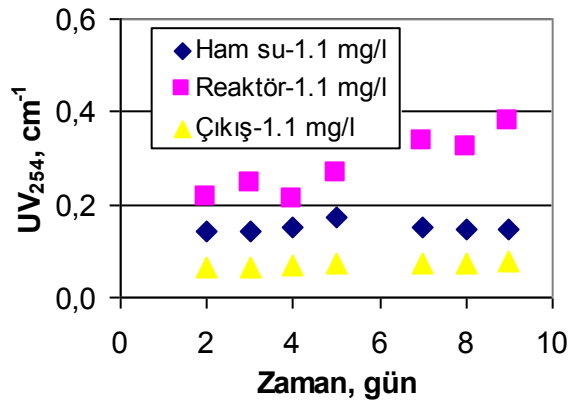
Organik madde konsantrasyonu etkisini araştırmak üzere, ham su TOK konsantrasyonları ortalama 1,1, 3,1 ve 5,4 mg/l olan sentetik çözeltiler ile çalışılmıştır. Deneylerin tamamında, 10 gr/l modifiye zeolit konsantrasyonu kullanılmıştır. Aşağıda sırasıyla her bir organik madde konsantrasyonu için TOK ve UV<sub>254</sub> giderimi değerleri ve organik madde konsantrasyonu etkisinin karşılaştırılması verilmiştir.

a) TOK konsantrasyonu: 1,1 mg/l

1,1 mg/l TOK konsantrasyonu ile yapılan çalışmalarda elde edilen TOK ve UV<sub>254</sub> değerleri Şekil 4.46–4.47’de verilmiştir. Reaktör içerisindeki TOK konsantrasyonu % 86, UV<sub>254</sub> absorbands değeri ise % 154 oranında artmıştır.



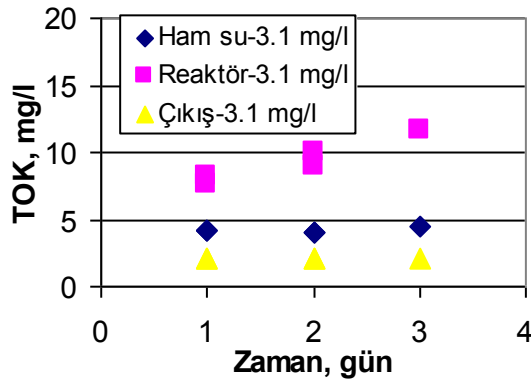
Şekil 4.46 : TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, zeolit: 10 g/l, TOK: 1.1 mg/l).



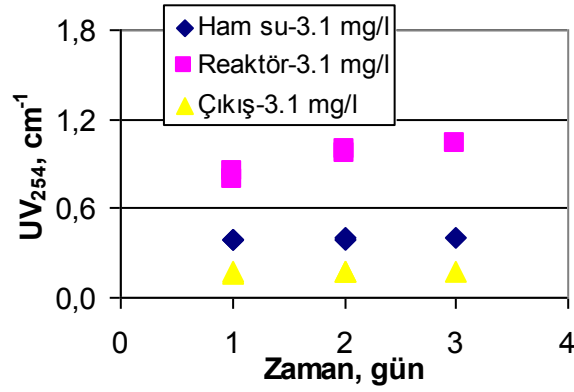
Şekil 4.47 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, zeolit: 10 g/l, TOK: 1.1 mg/l).

b) TOK konsantrasyonu: 3,1 mg/l

3,1 mg/l TOK konsantrasyonu ile yapılan çalışmalarda elde edilen TOK ve UV<sub>254</sub> değerleri Şekil 4.48–4.49'da verilmiştir. Reaktör içerisindeki TOK konsantrasyonu % 180, UV<sub>254</sub> absorbans değeri ise % 160 oranında artmıştır.



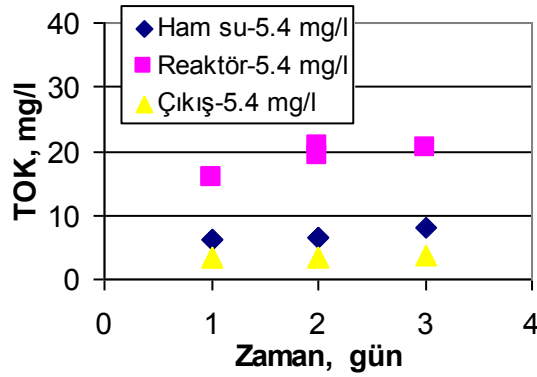
Şekil 4.48 : TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, zeolit: 10 g/l, TOK: 3.1 mg/l).



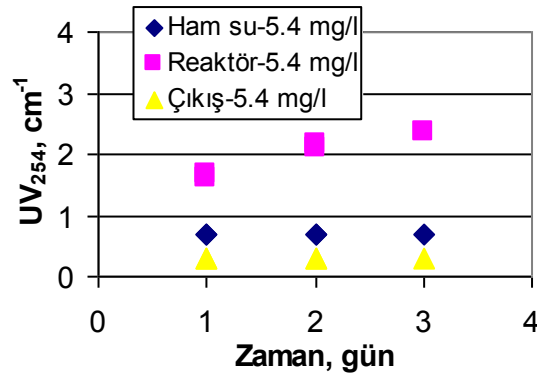
Şekil 4.49 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, zeolit: 10 g/l, TOK: 3.1 mg/l).

c) TOK konsantrasyonu: 5,4 mg/l

5,4 mg/l TOK konsantrasyonu ile yapılan çalışmalarda elde edilen TOK ve UV<sub>254</sub> değerleri Şekil 4.50–4.51’de verilmiştir. Reaktör içerisindeki TOK konsantrasyonu % 207, UV<sub>254</sub> absorbans değeri ise % 239 oranında artmıştır.



Şekil 4.50 : TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, zeolit: 10 g/l, TOK: 5.4 mg/l).



Şekil 4.51 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, zeolit: 10 g/l, TOK: 5.4 mg/l).



*d) Organik madde konsantrasyonu etkisinin karşılaştırılması*

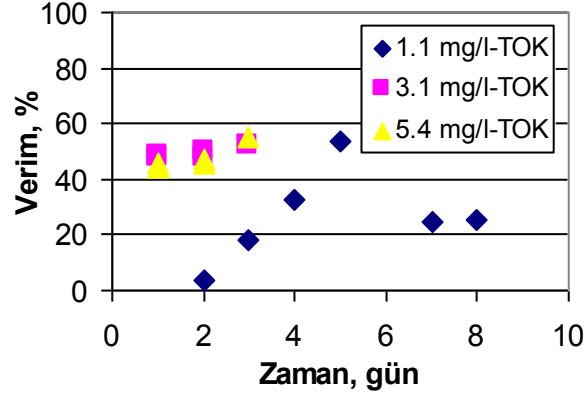
Modifiye zeolit konsantrasyonunun 10 gr/l olarak sabit tutulduğu çalışmalarda organik madde konsantrasyonu etkisini araştırmak üzere üç değişik organik madde konsantrasyonu ile deneyler yürütülmüştür. Ham sudaki UV<sub>254</sub> absorbans değerleri, 1,1, 3,1 ve 5,4 mg/l TOK konsantrasyonları için sırasıyla, ortalama 0,15, 0,40 ve 0,69 cm<sup>-1</sup> olmuştur. Reaktördeki TOK ve UV<sub>254</sub> değerlerinin deney süresi boyunca değişimi, Çizelge 4.4'de toplu olarak gösterilmiştir. Organik madde konsantrasyonunun artışına bağlı olarak reaktör içi TOK konsantrasyonu artmıştır. Reaktördeki TOK, 1,1 mg/l ham su TOK değerinde ortalama % 86 artar iken, 3,1 mg/l ham su TOK değerinde ortalama % 180 ve 5,4 mg/l ham su TOK değerinde ise ortalama % 207 oranında artmıştır. UV<sub>254</sub> absorbans değeri ise 1,1 mg/l ham su TOK değerinde ortalama % 154, 3,1 mg/l ham su TOK değerinde ortalama % 160 ve 5,4 mg/l ham su TOK değerinde ise ortalama % 239 oranında artmıştır.

**Çizelge 4.4 :** Reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV<sub>254</sub> absorbans değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri (sentetik su, UF, zeolit: 10 g/l, organik madde konsantrasyonu etkisi).

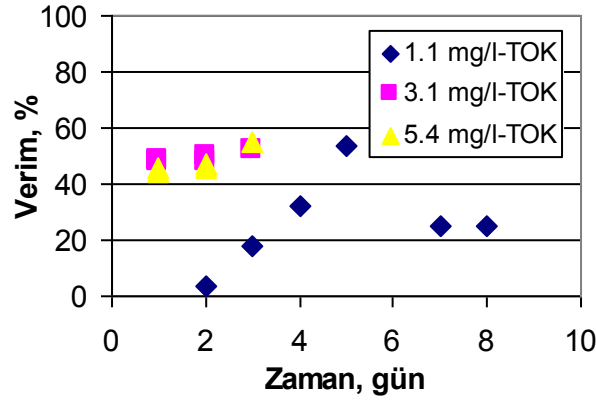
Parametre	1,1 mg/l	3,1 mg/l	5,4 mg/l
TOK	86	180	207
UV <sub>254</sub>	154	160	239

Çıkış TOK konsantrasyonlarında, ham su TOK değerinin etkisi belirgindir. TOK konsantrasyonu arttıkça, çıkıştaki TOK değerindeki artış da artmıştır. Benzer etki, çıkış UV<sub>254</sub> absorbans değerlerinde de gözlemlenmiştir. 1,1 mg/l TOK konsantrasyonundaki TOK giderme verimi, yüksek ham su TOK konsantrasyonlarına göre daha az olmuştur (Şekil 4.52). Buna karşın UV<sub>254</sub> absorbans giderme verimleri benzer olmuştur (Şekil 4.53).

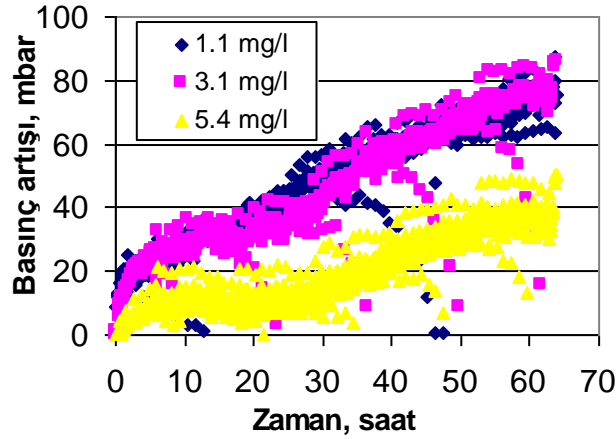
Şekil 4.54'de, organik madde konsantrasyonuna bağlı olarak, basınç artışının değişimi verilmiştir. 1,1 ve 3,1 mg/l TOK konsantrasyonlarındaki basınç artışı hemen hemen aynı olurken 5,4 mg/l TOK konsantrasyonundaki basınç artışı azalmıştır. MF membrana göre UF membran gözenek çapının daha küçük olmasından dolayı organik madde konsantrasyonu arttıkça membran üzerinde oluşan kek tabakası kalınlığı artmış, ilave bir giderim gerçekleştiğinden basınç artışı daha az olmuştur.



Şekil 4.52 : TOK giderim verimlerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, zeolit: 10 g/l, organik madde konsantrasyonu etkisi).



Şekil 4.53 : UV<sub>254</sub> giderim verimlerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, zeolit: 10 g/l, organik madde konsantrasyonu etkisi).



Şekil 4.54 : Basınç değerlerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, zeolit: 10 g/l, organik madde konsantrasyonu etkisi).

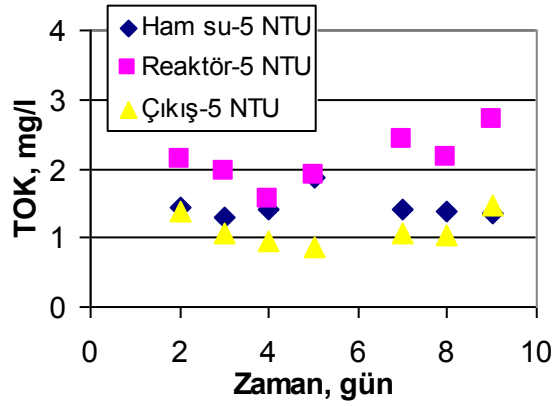
#### 4.1.2.3 Bulanıklık konsantrasyonunun etkisi

Bulanıklık konsantrasyonu etkisini araştırmak üzere, ham su bulanıklık değerleri sırasıyla 5, 10 ve 20 NTU olan sentetik çözeltiler ile çalışılmıştır. Deneyleerin

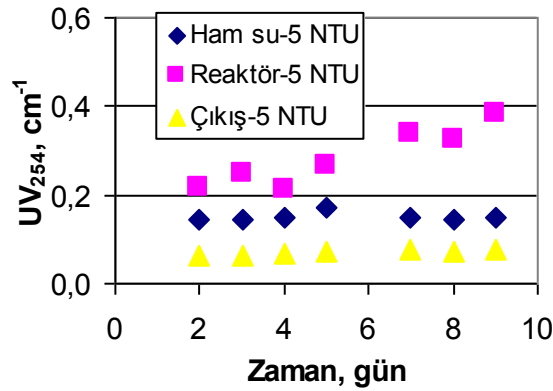
tamamında, 10 gr/l modifiye zeolit konsantrasyonu kullanılmıştır. Aşağıda sırasıyla her bir bulanıklık konsantrasyonu için TOK ve  $UV_{254}$  değerleri verilmiştir.

a) *Bulanıklık konsantrasyonu: 5 NTU*

5 NTU bulanıklık konsantrasyonu ile yapılan çalışmalarda elde edilen TOK ve  $UV_{254}$  değerleri Şekil 4.55-4.56'da verilmiştir. Reaktör içerisindeki TOK konsantrasyonu % 86 ve  $UV_{254}$  absorbans değeri ise % 154 oranında artmıştır.



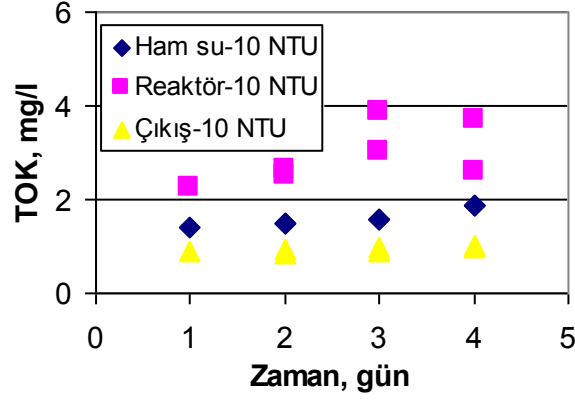
Şekil 4.55 : TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, zeolit: 10 g/l, bulanıklık: 5 NTU).



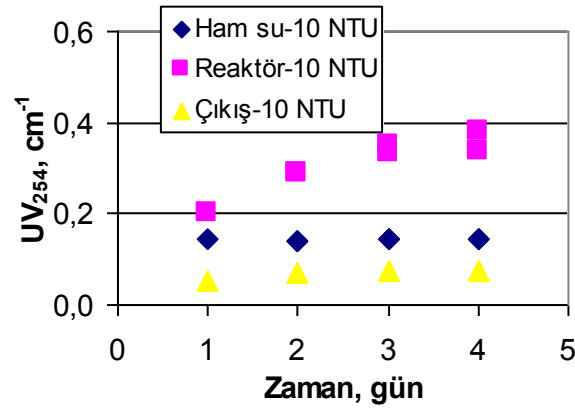
Şekil 4.56 :  $UV_{254}$  değerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, zeolit: 10 g/l, bulanıklık: 5 NTU).

b) *Bulanıklık konsantrasyonu: 10 NTU*

10 NTU bulanıklık konsantrasyonu ile yapılan çalışmalarda elde edilen TOK ve  $UV_{254}$  değerleri Şekil 4.57–4.58'de verilmiştir. Reaktör içerisindeki TOK konsantrasyonu % 60 ve  $UV_{254}$  absorbans değeri ise % 136 oranında artmıştır.



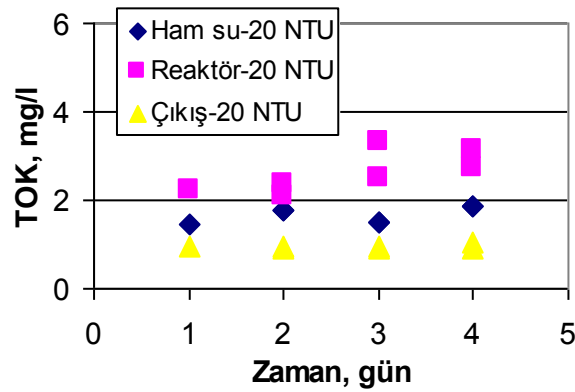
Şekil 4.57 : TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, zeolit: 10 g/l, bulanıklık: 10 NTU).



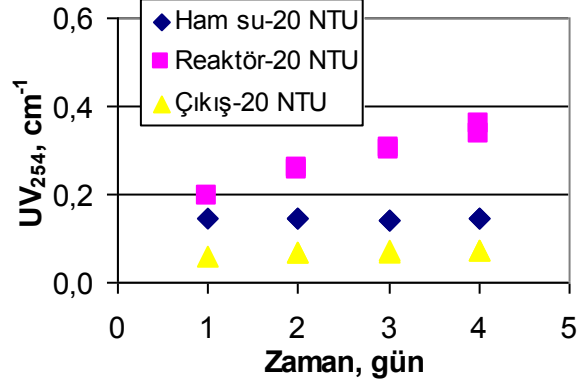
Şekil 4.58 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, zeolit: 10 g/l, bulanıklık: 10 NTU).

c) Bulanıklık konsantrasyonu: 20 NTU

20 NTU bulanıklık konsantrasyonu ile yapılan çalışmalarda elde edilen TOK ve UV<sub>254</sub> değerleri Şekil 4.59–4.60'da verilmiştir. Reaktör içerisindeki TOK konsantrasyonu % 62 ve UV<sub>254</sub> absorbans değeri ise % 134 oranında artmıştır.



Şekil 4.59 : TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, zeolit: 10 g/l, bulanıklık: 20 NTU).



**Şekil 4.60** :  $UV_{254}$  değerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, zeolit: 10 g/l, bulanıklık: 5 NTU).

*d) Bulanıklık konsantrasyonu etkisinin karşılaştırılması*

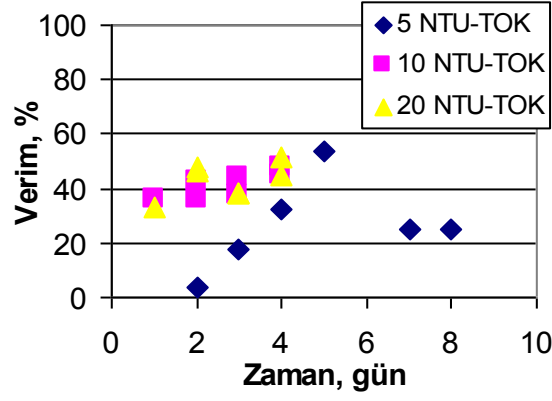
Modifiye zeolit konsantrasyonunun 10 gr/l ve üç değişik bulanıklık konsantrasyonunda yapılan deneylerde, bulanıklık konsantrasyonlarının etkisi karşılaştırılmıştır. Reaktördeki TOK konsantrasyonu ve  $UV_{254}$  absorbans değerinin deney süresi boyunca değişimi, yüzde olarak Çizelge 4.5'de toplu olarak gösterilmiştir. Reaktördeki TOK değeri, 5 NTU'da % 86 artarken, 10 NTU'da % 60 ve 20 NTU'da % 62 oranında artmıştır.  $UV_{254}$  absorbans değeri ise 5 NTU'da % 154 artarken, 10 NTU'da % 136 ve 20 NTU'da % 134 oranında artmıştır.

**Çizelge 4.5** : Reaktördeki TOK konsantrasyonu ve  $UV_{254}$  absorbans değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri (sentetik su, UF, zeolit: 10 g/l, bulanıklık etkisi).

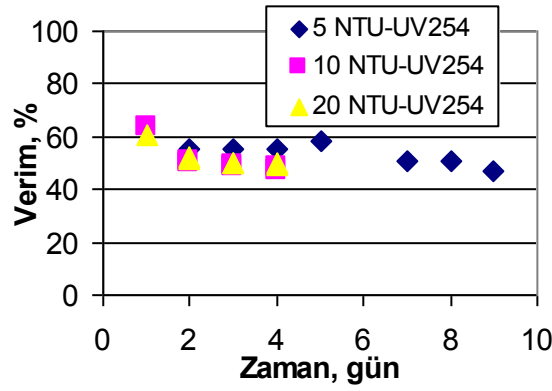
Parametre	5 NTU	10 NTU	20 NTU
TOK	86	60	62
$UV_{254}$	154	136	134

TOK giderme verimleri karşılaştırıldığında, 5 NTU bulanıklık konsantrasyonunda % 25 civarında giderim görülürken, 10 ve 20 NTU'da TOK giderimi % 50 civarında olmuştur (Şekil 4.61).  $UV_{254}$  giderme verimi açısından ise bulanıklık konsantrasyonunun belirgin bir etkisi görülmemiştir (Şekil 4.62).

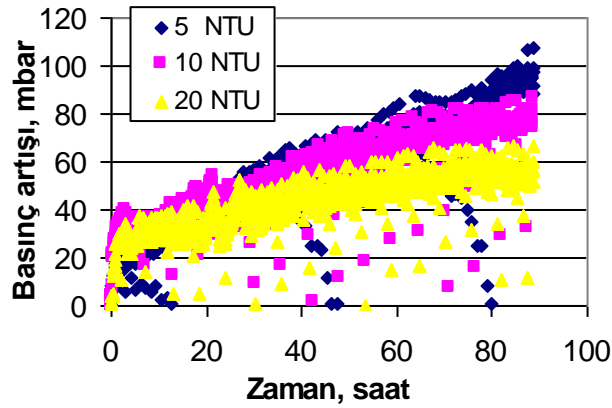
Bulanıklık konsantrasyonu artışına bağlı olarak basınç artışı bir miktar azalmıştır (Şekil 4.63). MF membrana göre UF membran gözenek çapının daha küçük olmasından dolayı bulanıklık artıkça membran üzerinde oluşan kek tabakası kalınlığı artmış, ilave bir giderim gerçekleştiğinden basınç artışı daha az olmuştur.



Şekil 4.61 : TOK giderim verimlerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, zeolit: 10 g/l, bulanıklık etkisi).



Şekil 4.62 : UV<sub>254</sub> giderme verimlerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, zeolit: 10 g/l, bulanıklık etkisi).

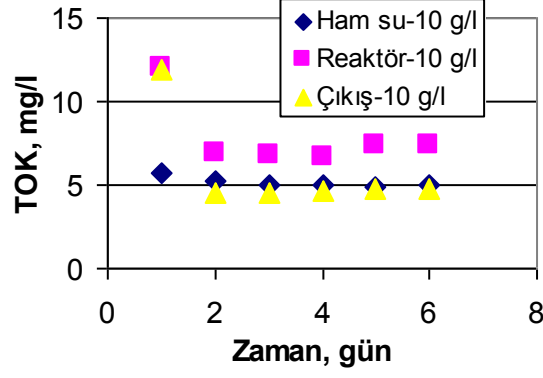


Şekil 4.63 : Basınç değerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, zeolit: 10 g/l, bulanıklık etkisi).

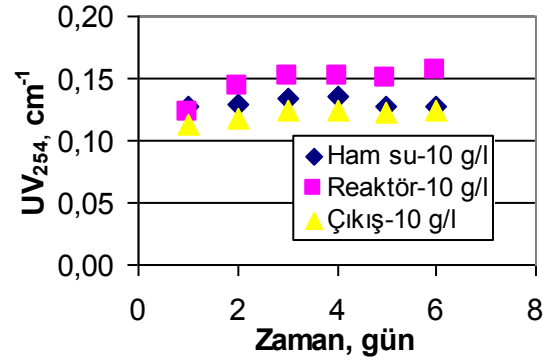
#### 4.1.3 Göl suyunda MF membranı kullanılarak yürütülen çalışmalar

Terkos gölünden getirtilen ham su kullanılarak MF membranı ile bir takım deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Aşağıda bu deneysel çalışmaların sonuçları verilmiştir.





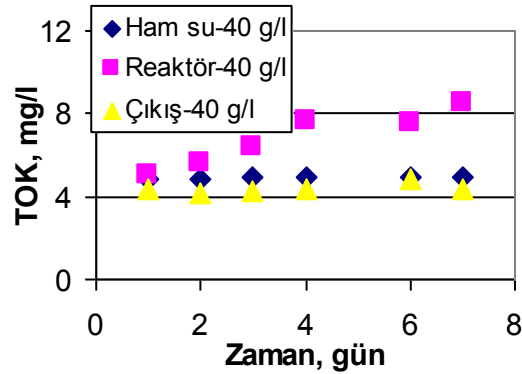
Şekil 4.66 : TOK değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, zeolit: 10 g/l).



Şekil 4.67 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, zeolit: 10 g/l).

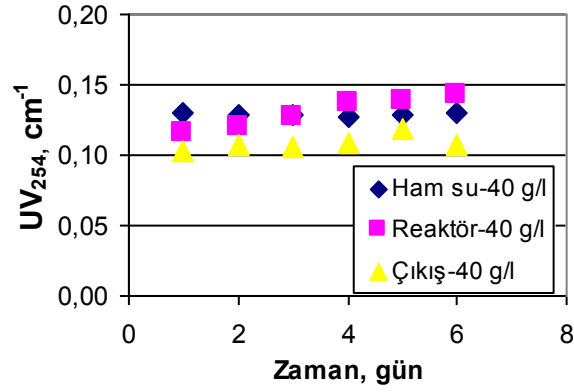
c) Modifiye zeolit konsantrasyonu: 40 g/l

40 g/l modifiye edilmiş zeolit ile yapılan çalışmalarda elde edilen TOK ve UV<sub>254</sub> absorbans değerleri Şekil 4.68–4.69’da verilmiştir. Reaktör içerisindeki TOK konsantrasyonu % 70 ve UV<sub>254</sub> absorbans değeri % 11 oranında artmıştır.



Şekil 4.68 : TOK değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, zeolit: 40 g/l).





**Şekil 4.69** : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, zeolit: 40 g/l).

*d) Zeolit konsantrasyonu etkisinin karşılaştırılması*

Aşağıda sırasıyla, üç ayrı zeolit konsantrasyonunda yapılan deneylerle elde edilen sonuçlarda, zeolit konsantrasyonlarının etkisi karşılaştırılmıştır. Ham su TOK değerleri, ortalama 5 mg/l civarında seyretmiştir. UV<sub>254</sub> absorbans değeri ise ortalama, 0,127–0,135 cm<sup>-1</sup> aralığında değişmiştir. Reaktördeki TOK ve UV<sub>254</sub> absorbans değerinin deney süresi boyunca değişimi, Çizelge 4.6’da toplu olarak verilmiştir.

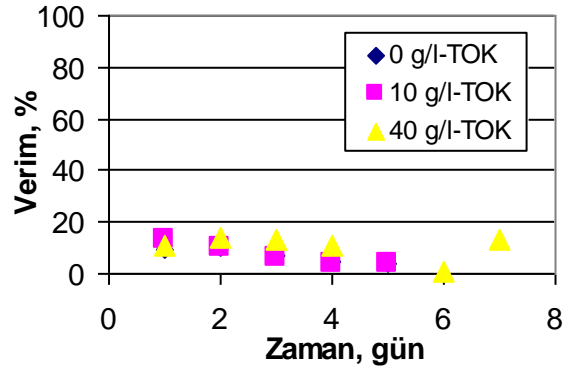
**Çizelge 4.6** : Reaktördeki TOK konsantrasyonları ve UV<sub>254</sub> absorbans değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri (göl suyu, MF, zeolit konsantrasyonu etkisi).

Parametre	0 gr/l	10 gr/l	40 gr/l
TOK	46	43	70
UV <sub>254</sub>	27	21	11

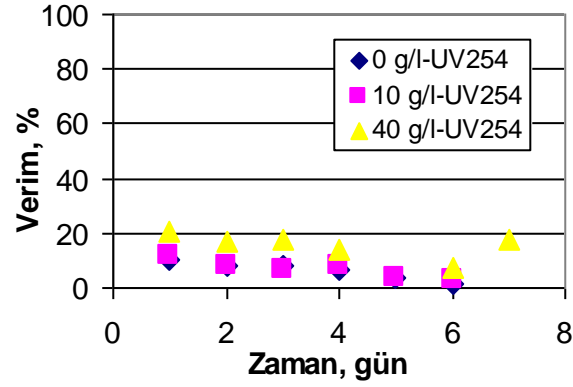
Çıkış TOK konsantrasyonlarında, zeolit konsantrasyonunun etkisi çok belirgin değildir. Farklı zeolit konsantrasyonları olmasına rağmen çıkış TOK değeri 5 mg/l civarında değişmiştir. 40 gr/l zeolit konsantrasyonundaki verim bir miktar artmıştır (Şekil 4.70). Benzer şekilde, çıkış UV<sub>254</sub> absorbans değerlerinde 0 ve 10 gr/l zeolit konsantrasyonlarının etkisi çok belirgin değildir. UV<sub>254</sub> absorbans değerleri 0,11–0,13 cm<sup>-1</sup> arasında değişmiştir. 40 gr/l zeolit konsantrasyonunda ise giderim verimi artmıştır (Şekil 4.71).

Şekil 4.72’de, zeolit konsantrasyonlarına bağlı olarak, basınç artışının değişimi verilmiştir. Zeolit konsantrasyonu arttıkça, oluşan vakum basıncı artışı da azalmıştır. Bu durum, zeolit konsantrasyonu arttıkça daha fazla organik madde adsorplanmasına

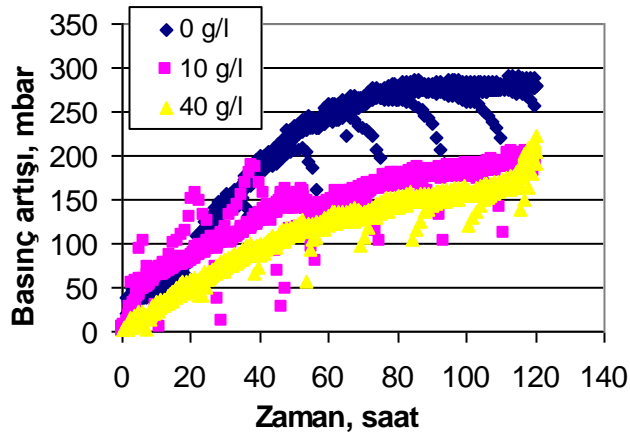
bağlı olarak Membran tıkanıklığının azaldığını ve daha az bir basınç artışına sebep olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.70 : TOK giderim verimlerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, zeolit konsantrasyonu etkisi).



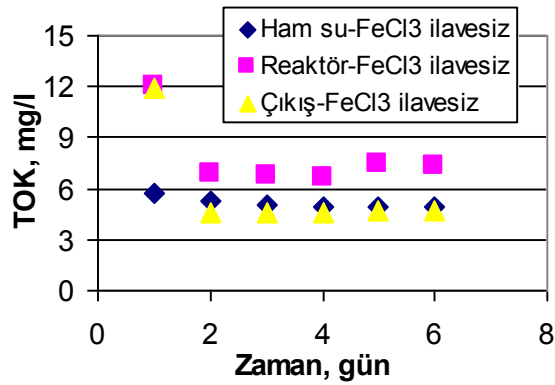
Şekil 4.71 : UV<sub>254</sub> giderim verimlerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, zeolit konsantrasyonu etkisi).



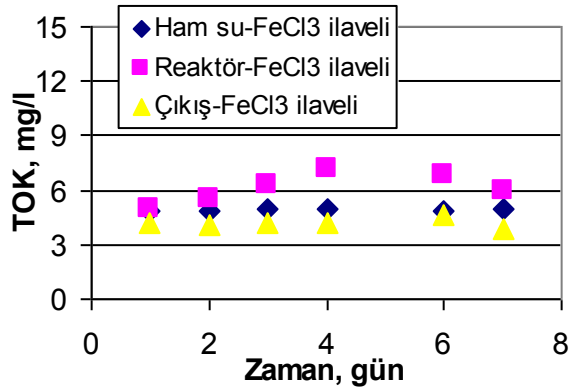
Şekil 4.72 : Basınç değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, zeolit konsantrasyonu etkisi).

#### 4.1.3.2 FeCl<sub>3</sub>'ün ilave edilmesi ve edilmemesi durumlarının karşılaştırılması

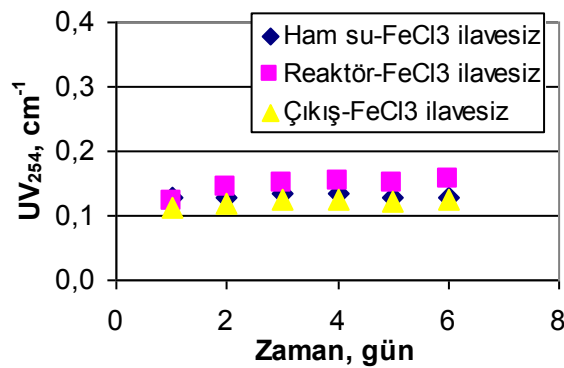
FeCl<sub>3</sub>'ün ilave edildiği ve edilmediği durumlarının karşılaştırılması için iki deney yapılmıştır. Aşağıda sırasıyla TOK (Şekil 4.73-4.74), UV<sub>254</sub> (Şekil 4.75-4.76) absorbans değerleri ve giderme verimleri (Şekil 4.77-4.78) verilmiştir. FeCl<sub>3</sub>'ün ilave edilmesi durumunda TOK ve UV<sub>254</sub> giderme verimleri biraz artış göstermiştir. FeCl<sub>3</sub>'ün ilave edilmesi durumunda basınç artışında 120. dk.ya daha az bir artış görülürken, 120 dk.dan sonra basınç artışı hızla artmıştır (Şekil 4.79).



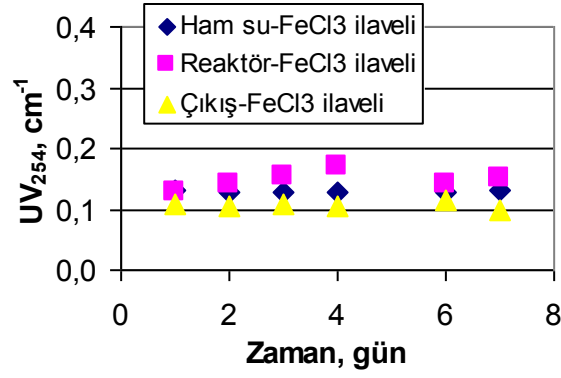
Şekil 4.73 : TOK değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, FeCl<sub>3</sub>: yok).



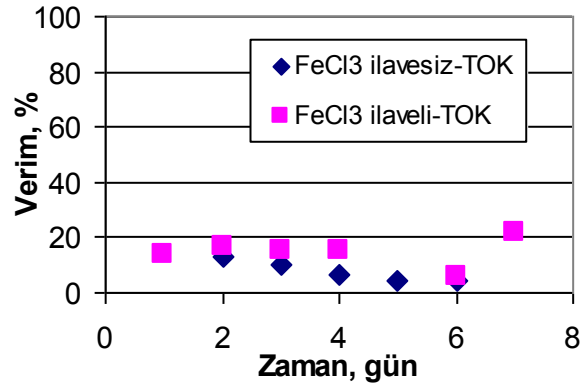
Şekil 4.74 : TOK değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, FeCl<sub>3</sub> ilaveli).



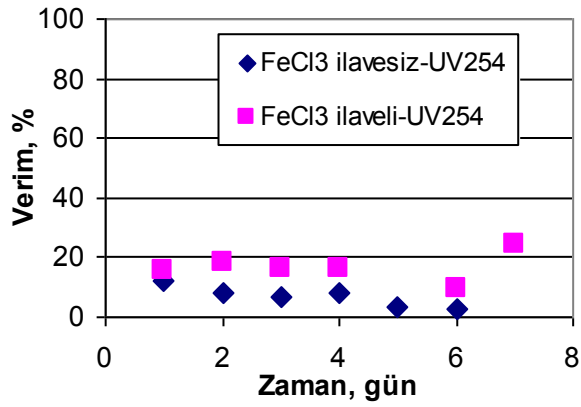
Şekil 4.75 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, FeCl<sub>3</sub>: yok).



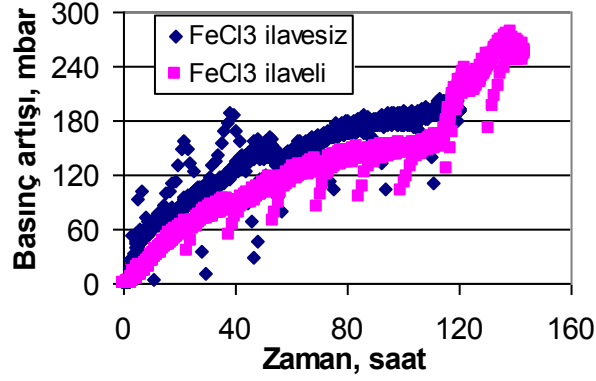
Şekil 4.76 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, FeCl<sub>3</sub> ilaveli).



Şekil 4.77 : TOK giderim verimlerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, FeCl<sub>3</sub> etkisi).



Şekil 4.78: UV<sub>254</sub> giderim verimlerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, FeCl<sub>3</sub> etkisi).



Şekil 4.79 : Basınç değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, FeCl<sub>3</sub> etkisi).

#### 4.1.4 Göl suyunda UF membranı kullanılarak yürütülen çalışmalar

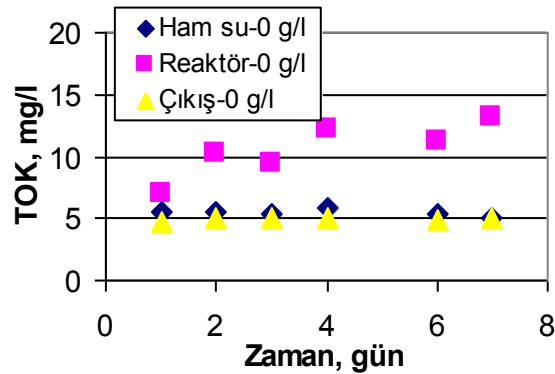
Terkos gölü suyu üzerinde UF membranı ile bir takım deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Aşağıda bu deneysel çalışmaların sonuçları verilmiştir.

##### 4.1.4.1 Modifiye zeolit konsantrasyonunun etkisi

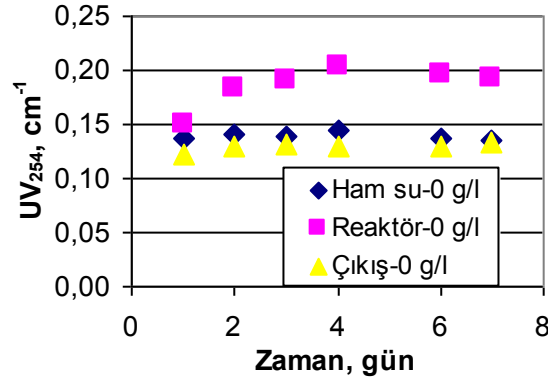
Modifiye zeolit etkisini araştırmak üzere zeolit olmaması durumu ile 10 ve 40 gr/l'lik modifiye zeolit konsantrasyonlarıyla deneysel çalışmalar yürütülmüştür. Aşağıda sırasıyla her bir zeolit konsantrasyonu için organik madde giderimini temsil edici TOK ve UV<sub>254</sub> değerleri ve sonrasında zeolit konsantrasyonu karşılaştırılması verilmiştir.

##### a) Zeolit ilavesinin olmadığı durum

Zeolitsiz yapılan çalışmalarda elde edilen TOK ve UV<sub>254</sub> absorbans değerleri Şekil 4.73–4.74'de verilmiştir. Reaktör içerisindeki TOK konsantrasyonu % 141 ve UV<sub>254</sub> absorbans değeri % 38 oranında artmıştır.



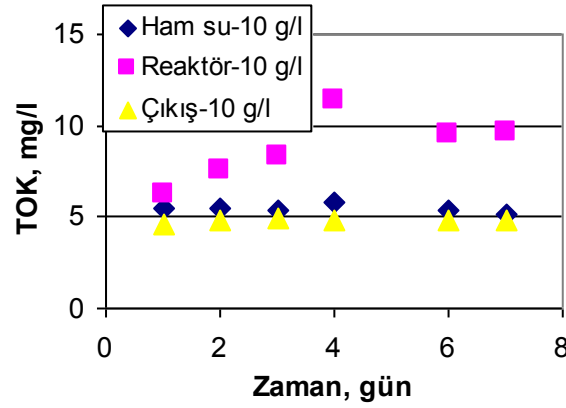
Şekil 4.80 : TOK değerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, zeolitsiz).



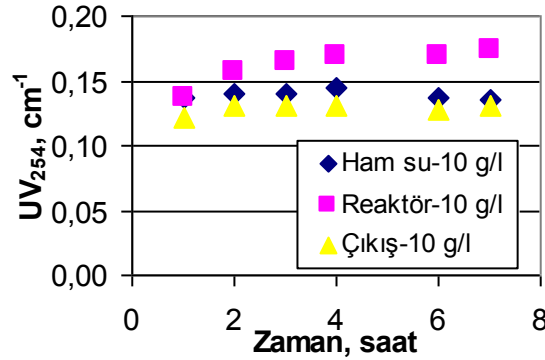
Şekil 4.81 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, zeolitsiz).

b) Modifiye zeolit konsantrasyonu: 10 g/l

10 g/l modifiye zeolit ile yapılan çalışmalarda elde edilen TOK ve UV<sub>254</sub> absorbans değerleri Şekil 4.75–4.76’da verilmiştir. Reaktör içerisindeki TOK konsantrasyonu % 78 ve UV<sub>254</sub> absorbans değeri % 25 oranında artmıştır.



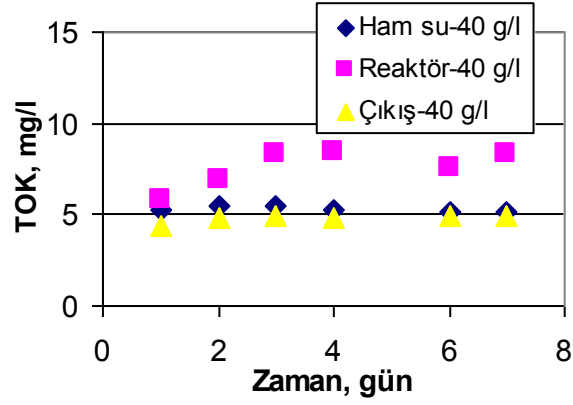
Şekil 4.82 : TOK değerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, zeolit: 10 g/l).



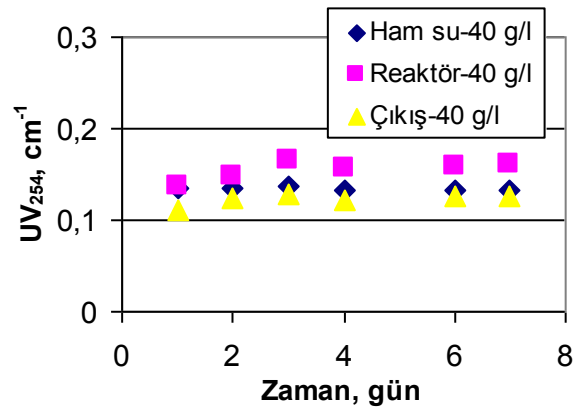
Şekil 4.83 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, zeolit: 10 g/l).

c) Modifiye zeolit konsantrasyonu: 40 g/l

40 g/l zeolit ile yapılan çalışmalarda elde edilen TOK ve  $UV_{254}$  absorbans değerleri Şekil 4.77–4.78’de verilmiştir. Reaktör içerisindeki TOK konsantrasyonu % 58 ve  $UV_{254}$  absorbans değeri % 20 oranında artmıştır.



Şekil 4.84 : TOK değerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, zeolit: 40 g/l).



Şekil 4.85 :  $UV_{254}$  değerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, zeolit: 40 g/l).

d) Zeolit konsantrasyonu etkisinin karşılaştırılması

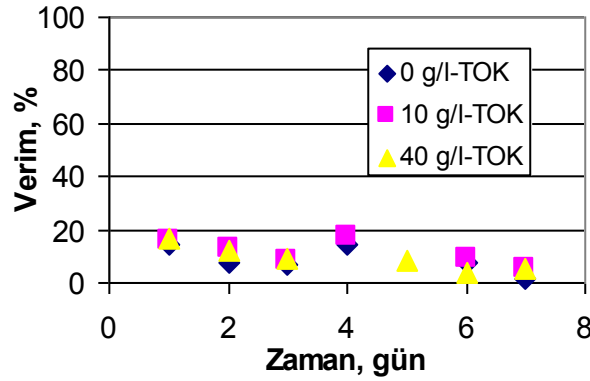
Aşağıda sırasıyla, üç ayrı zeolit konsantrasyonunda yapılan deneylerle elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ham su TOK değerleri, ortalama 5,4 mg/l civarında değişmiştir.  $UV_{254}$  absorbans değeri ise ortalama, 0,132–0,142  $cm^{-1}$  aralığında değişmiştir. Reaktördeki TOK ve  $UV_{254}$  absorbans değerinin deney süresi boyunca değişimi, Çizelge 4.7’de toplu olarak verilmiştir. Artış oranı, zeolit konsantrasyonu arttıkça azalmıştır. Bunun sebebi, artan zeolit konsantrasyonu ile artan adsorpsiyon kapasitesidir.

**Çizelge 4.7 :** Reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV<sub>254</sub> absorbands değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri (göl suyu, UF, zeolit konsantrasyonu etkisi).

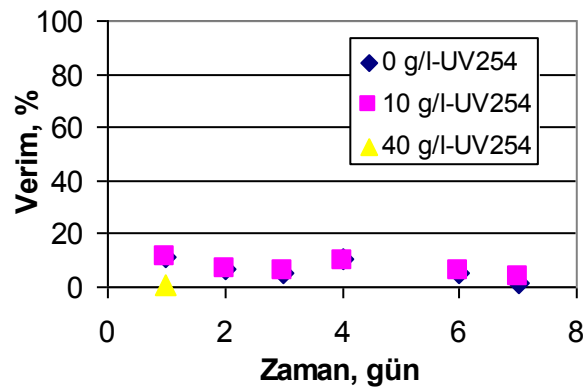
Parametre	0 gr/l	10 gr/l	40 gr/l
TOK	141	78	58
UV <sub>254</sub>	38	25	20

Göl suyunun organik madde karakteristiğinin farklı olmasından dolayı, zeolit konsantrasyonu artmasına rağmen TOK ve UV<sub>254</sub> giderim verimlerinde herhangi bir değişiklik olmamıştır (Şekil 4.79–4.80).

Şekil 4.81’de, zeolit konsantrasyonlarına bağlı olarak, basınç artışının değişimi verilmiştir. Zeolit konsantrasyonunun basınç artışı üzerine belirgin bir etkisi görülmemiştir. Bunun nedeni, göl suyu organik madde karakteristiğinin farklı olmasına bağlı olarak organik madde giderim veriminin düşük olmasıdır.

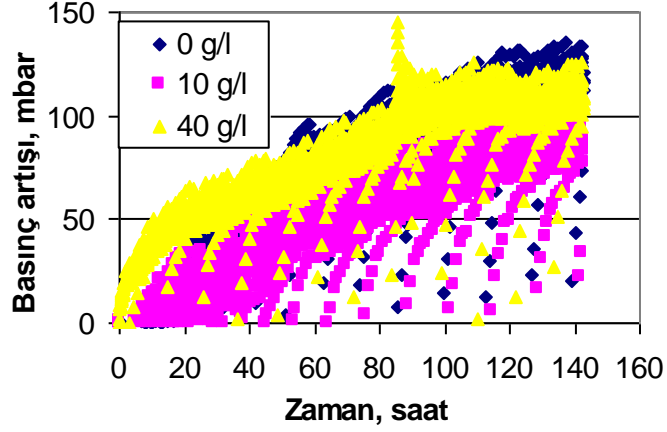


**Şekil 4.86 :** TOK giderim verimlerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, zeolit konsantrasyonu etkisi).



**Şekil 4.87 :** UV<sub>254</sub> giderim verimlerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, zeolit konsantrasyonu etkisi).

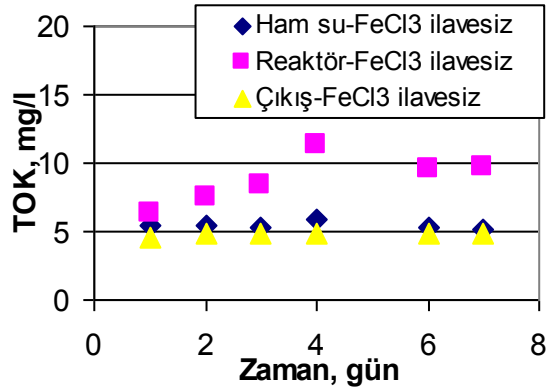




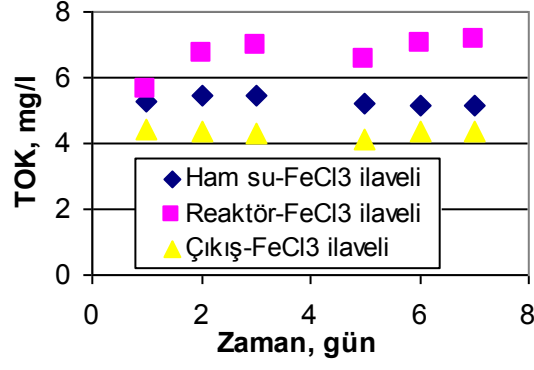
Şekil 4.88 : Basınç değerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, zeolit konsantrasyonu etkisi).

#### 4.1.4.2 FeCl<sub>3</sub>'ün ilave edilmesi ve edilmemesi durumlarının karşılaştırılması

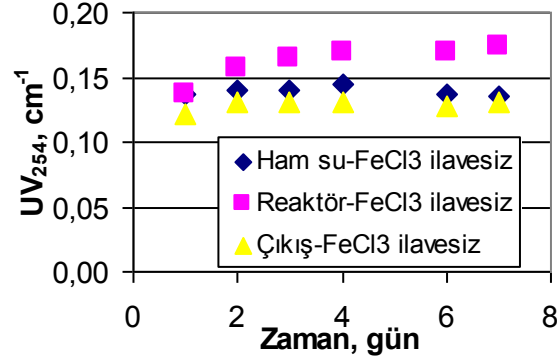
Ham su ile yapılan UF membran deneylerinde FeCl<sub>3</sub>'ün ilave edildiği ve edilmediği durumlarının karşılaştırılması için iki deney yapılmıştır. Aşağıda sırasıyla TOK (Şekil 4.89-4.90), UV<sub>254</sub> (Şekil 4.91-4.92) absorbans değerleri ve giderme verimleri (Şekil 4.93-4.94) verilmiştir. FeCl<sub>3</sub>'ün ilave edilmesi durumunda TOK ve UV<sub>254</sub> giderme verimleri biraz artış göstermiştir. FeCl<sub>3</sub>'ün ilave edilmesi durumunda basınç artışı daha fazla olmuştur (Şekil 4.95). Basınç artışının fazla olması, oluşan flokların düşük porozitesi ile ilgili olabilir.



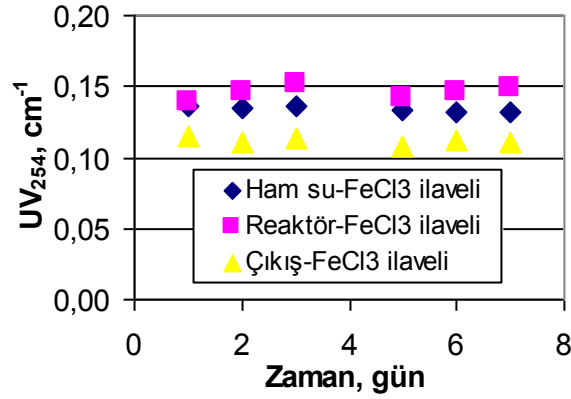
Şekil 4.89 : TOK değerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, FeCl<sub>3</sub>: yok)



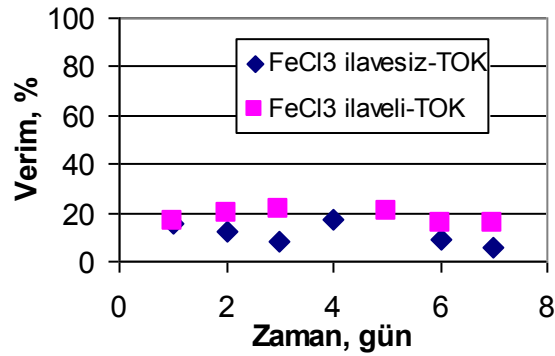
Şekil 4.90 : TOK değerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, FeCl<sub>3</sub> ilaveli).



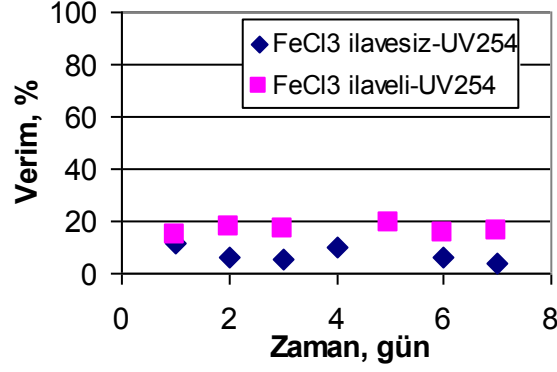
Şekil 4.91 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, FeCl<sub>3</sub>: yok).



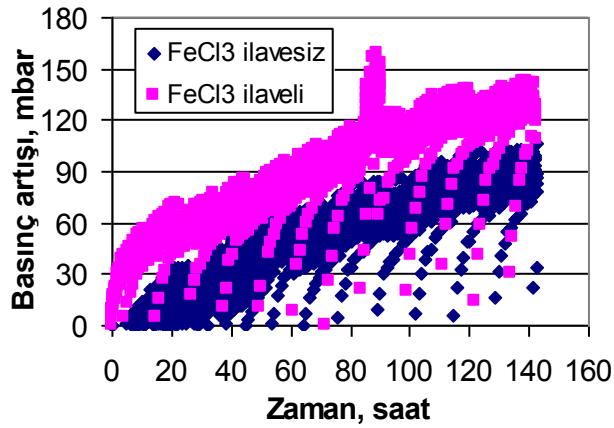
Şekil 4.92 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, FeCl<sub>3</sub> ilaveli).



Şekil 4.93 : TOK giderim verimlerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, FeCl<sub>3</sub> etkisi).



Şekil 4.94 : UV<sub>254</sub> giderim verimlerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, FeCl<sub>3</sub> etkisi).



Şekil 4.95 : Basınç değerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, FeCl<sub>3</sub> etkisi).

## 4.2 UV/TiO<sub>2</sub> Çalışmaları

Membran tıkanıklığını azaltmak için UV ışını ve TiO<sub>2</sub> kullanılarak sentetik su ve göl suyunda MF ve UF membranları ile deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

### 4.2.1 Sentetik suda MF membranı kullanılarak yürütülen çalışmalar

Sırasıyla MF ve UF membranları kullanılarak deneysel çalışmalar yürütülmüştür. Hazırlanan sentetik su kullanılarak MF membranı ile bir takım deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Aşağıda bu deneysel çalışmaların sonuçları verilmiştir.

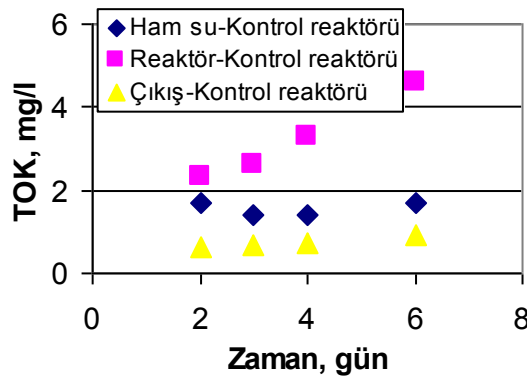
#### 4.2.1.1 Sadece UV ışını, sadece TiO<sub>2</sub> ve UV ışını ile TiO<sub>2</sub>'nin birlikte kullanılmasının (UV/TiO<sub>2</sub>) etkisi

Bu çalışmada, UV ışını, TiO<sub>2</sub> ve UV ışını ile TiO<sub>2</sub>'nin birlikte kullanılmasının (UV/TiO<sub>2</sub>) membran tıkanıklığının azaltılmasına etkisi araştırılmıştır. Aşağıda sırasıyla

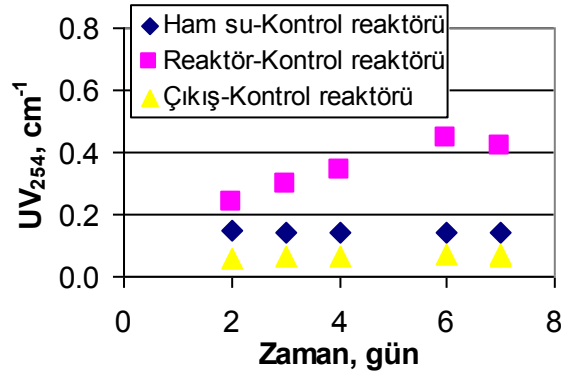
her bir işletme koşulu için organik madde giderimini temsil edici TOK ve  $UV_{254}$  değerleri ve sonrasında  $UV/TiO_2$  etkisinin karşılaştırılması verilmiştir.

a) Sadece ham su beslenmesi durumu (kontrol deneyi)

Kontrol reaktörü olarak diğer işletme koşullarının etkilerini karşılaştırabilmek için UV ışını ve  $TiO_2$ 'nin kullanılmadığı deneyler yürütülmüştür. Çalışmada elde edilen TOK ve  $UV_{254}$  absorbans değerleri Şekil 4.82–4.83’de gösterilmiştir. Reaktör içerisindeki TOK konsantrasyonu % 200 oranında artar iken,  $UV_{254}$  absorbans değeri, % 230 oranında artmıştır.



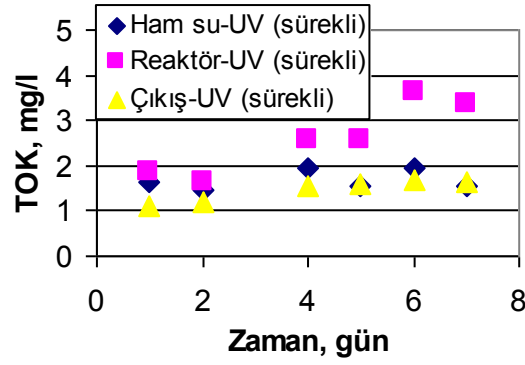
Şekil 4.96 : TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, kontrol reaktörü).



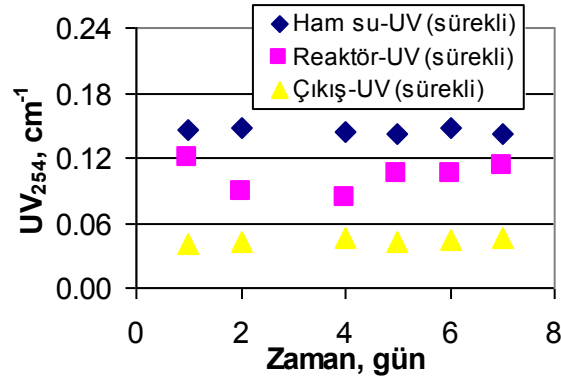
Şekil 4.97 :  $UV_{254}$  değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, kontrol reaktörü).

b) Sadece UV ışınının sürekli çalışması durumu

Sadece UV ışınının sürekli olarak kullanıldığı ve  $TiO_2$ 'nin kullanılmadığı deneylere ait TOK ve  $UV_{254}$  absorbans değerleri Şekil 4.84–4.85’de gösterilmiştir. Reaktör içerisindeki TOK konsantrasyonu % 130 oranında artar iken,  $UV_{254}$  absorbans değeri azalmıştır.



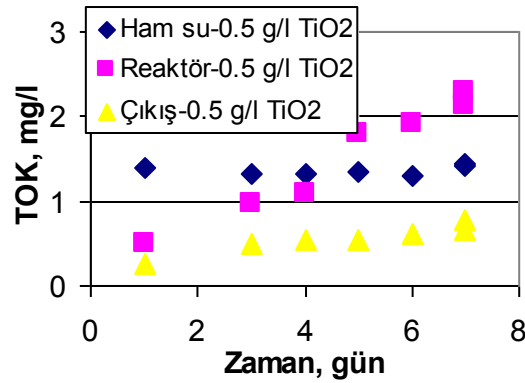
Şekil 4.98 : TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV (sürekli)).



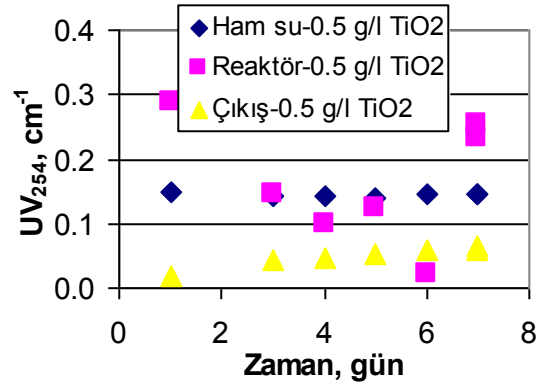
Şekil 4.99 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV (sürekli)).

c) Sadece TiO<sub>2</sub> olması durumu

Reaktörün ilk bölmesine tek seferde verilen 0,5 g/l'lik TiO<sub>2</sub>'nin olduğu (UV ışını kullanılmamıştır) çalışmaya ait TOK ve UV<sub>254</sub> absorbans değerleri Şekil 4.86-4.87'de gösterilmiştir. Reaktör içerisindeki TOK konsantrasyonu % 35 oranında, UV<sub>254</sub> absorbans değeri ise, % 66 oranında artmıştır.



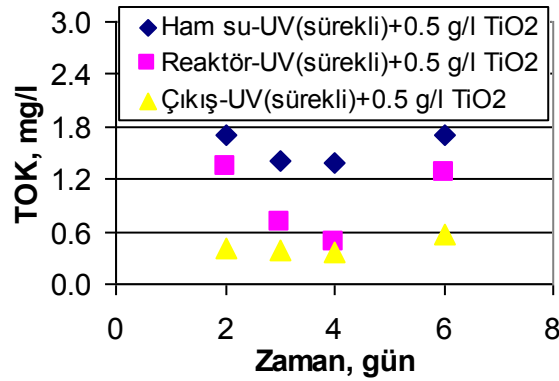
Şekil 4.100 : TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, 0,5 g/l TiO<sub>2</sub>).



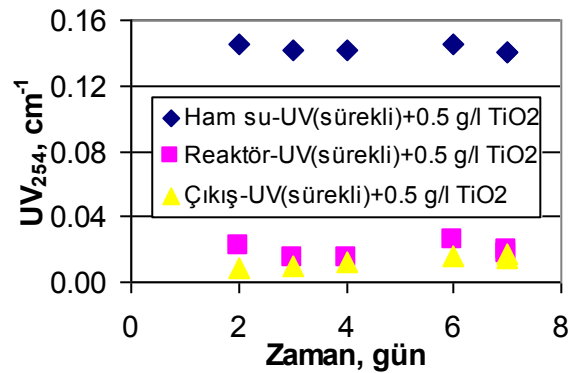
Şekil 4.101 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, 0,5 g/l TiO<sub>2</sub>).

d) UV ışını ile TiO<sub>2</sub>'nin birlikte olması durumu (UV/TiO<sub>2</sub>)

UV ışınının sürekli olarak çalıştığı ve reaktörün ilk bölmesine tek seferde verilen 0,5 g/l'lik TiO<sub>2</sub>'nin birlikte olduğu çalışmaya ait TOK ve UV<sub>254</sub> absorbans değerleri Şekil 4.88–4.89'da gösterilmiştir. Reaktör içerisindeki TOK konsantrasyonu ham su TOK konsantrasyonunun altında kalmıştır. UV<sub>254</sub> absorbans değeri ise 0,02 cm<sup>-1</sup> civarında değişmiştir.



Şekil 4.102 : TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV+TiO<sub>2</sub>).



Şekil 4.103 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV+TiO<sub>2</sub>).

e) UV/TiO<sub>2</sub> etkisinin karşılaştırılması

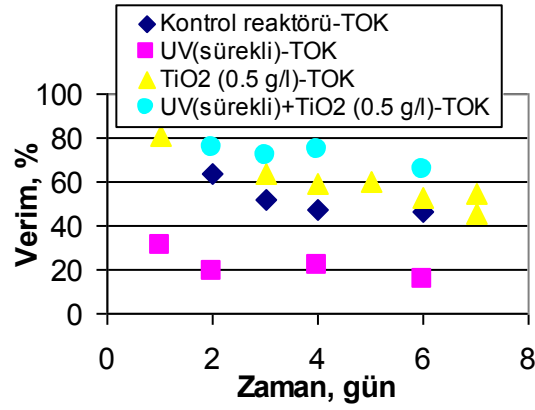
UV ışını ve TiO<sub>2</sub>'nin ayrı ayrı ve birlikte kullanıldığı durumlarda yürütülen deneylerde UV/TiO<sub>2</sub> etkisi karşılaştırılmıştır. Reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV<sub>254</sub> absorbans değerinin deney süresi boyunca değişimi yüzde olarak Çizelge 4.8' de toplu olarak gösterilmiştir. Reaktördeki TOK değeri, sadece ham su beslenmesi durumunda % 200, UV ışınının sürekli olması durumunda % 130 ve 0,5 g/l TiO<sub>2</sub> ilave edilmesi durumunda % 35 artarken, UV ışınının ve TiO<sub>2</sub>'nin birlikte kullanılması durumunda artış olmamış, hatta ham su değerinin altında kalmıştır. UV<sub>254</sub> absorbans değeri ise sadece ham su beslenmesi durumunda % 230, UV ışınının sürekli olması durumunda % 0 ve 0,5 g/l TiO<sub>2</sub> ilave edilmesi durumunda % 66 artarken, UV ışınının ve TiO<sub>2</sub>'nin birlikte kullanılması durumunda ise artmamış, ham su değerinde altında kalmıştır.

**Çizelge 4.8 :** Reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV<sub>254</sub> absorbans değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri (sentetik su, MF, UV/TiO<sub>2</sub> etkisi).

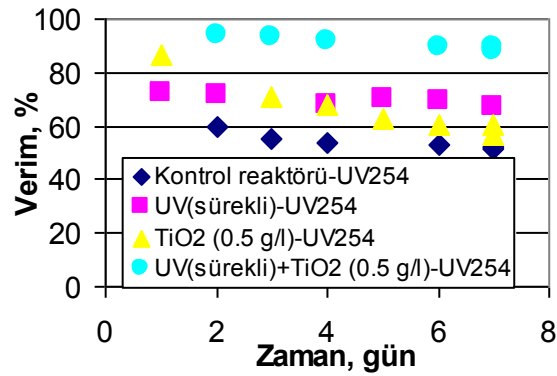
Parametre	Ham su	UV(sürekli)	0,5 g/l TiO <sub>2</sub>	UV+TiO <sub>2</sub>
TOK	200	130	35	-
UV <sub>254</sub>	230	0	66	-

TOK giderme verimlerine bakıldığında, UV ışını ve TiO<sub>2</sub>'nin birlikte kullanılması ile en yüksek giderimin elde edildiği görülmüştür (Şekil 4.90). UV<sub>254</sub> giderme verimleri açısından da benzer şekilde UV ışını ve TiO<sub>2</sub>'nin birlikte kullanılması ile en yüksek verim değerleri elde edilmiştir (Şekil 4.91).

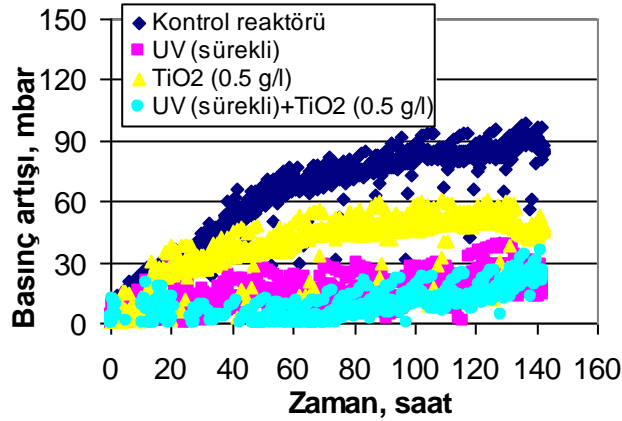
Şekil 4.92'de UV/TiO<sub>2</sub> etkisine bağlı olarak basınç artışının değişimi verilmiştir. UV/TiO<sub>2</sub>'nin basınç üzerine etkisi karşılaştırıldığında, en az artışın UV ışını ile UV/TiO<sub>2</sub>'de olduğu görülmüştür. Sadece 0,5 g/l TiO<sub>2</sub>'nin kullanıldığı deneyde ise, basınç artışı fazla olmuştur. Benzer şekilde, sadece ham su ile yürütülen çalışmada da membran daha çabuk tıkanmış için basınç artışı da daha fazla olmuştur.



Şekil 4.104 : TOK giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV/TiO<sub>2</sub> etkisi).



Şekil 4.105 : UV<sub>254</sub> giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV/TiO<sub>2</sub> etkisi).



Şekil 4.106 : Basınç değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV/TiO<sub>2</sub> etkisi).

#### 4.2.1.2 TiO<sub>2</sub> konsantrasyonunun etkisi (UV ışınının sürekli olması durumunda)

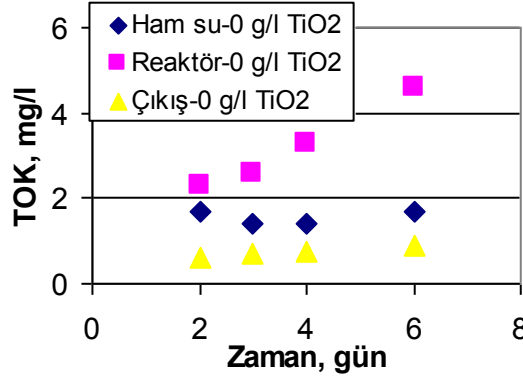
Sentetik suyun kullanıldığı MF membranı ile, UV ışını sürekli çalıştırılıp, TiO<sub>2</sub> konsantrasyonları değiştirilerek bir takım deneyler yürütülmüştür. Aşağıda sırasıyla; TiO<sub>2</sub> olmaması, 0,10, 0,25 ve 0,5 g/l konsantrasyonunda TiO<sub>2</sub> olması durumları için



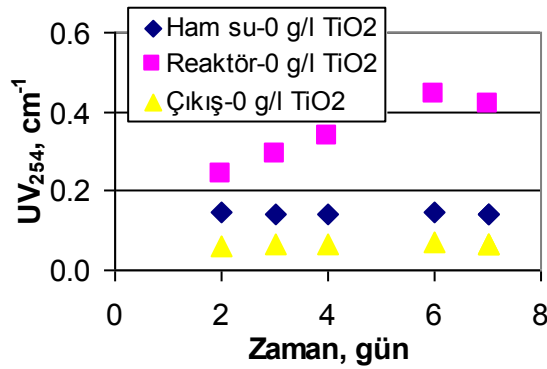
yapılan deneylere ait organik madde giderimini temsil edici TOK ve  $UV_{254}$  değerleri ve sonrasında farklı  $TiO_2$  konsantrasyonlarının karşılaştırılması verilmiştir.

a)  $TiO_2$  ilavesinin olmadığı durum

$TiO_2$ 'nin ilave edilmediği çalışmalarda elde edilen TOK ve  $UV_{254}$  değerleri Şekil 4.93–4.94'de verilmiştir. Reaktör içerisindeki TOK konsantrasyonu % 200 ve  $UV_{254}$  absorbans değeri ise % 230 oranında artmıştır.



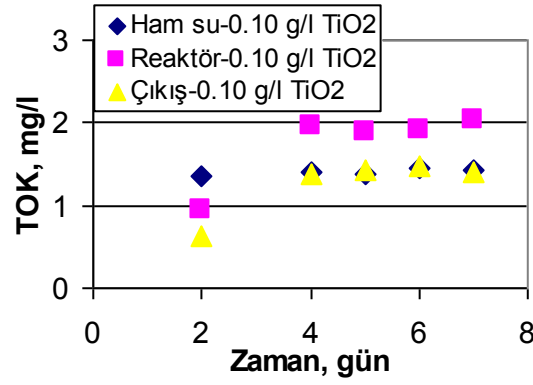
Şekil 4.107 : TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV (sürekli),  $TiO_2$ : 0 g/l).



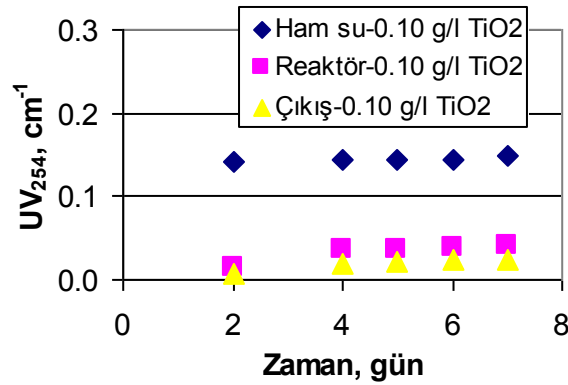
Şekil 4.108 :  $UV_{254}$  değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV (sürekli),  $TiO_2$ : 0 g/l).

b)  $TiO_2$  konsantrasyonu: 0,10 g/l

UV ışınının sürekli olup 0,10 g/l  $TiO_2$ 'nin ilave edildiği çalışmalarda elde edilen TOK ve  $UV_{254}$  değerleri Şekil 4.95–4.96'da verilmiştir. Reaktör içerisindeki TOK konsantrasyonu % 50 artarken  $UV_{254}$  absorbans değeri artmamış, ham su değerinin altında kalmıştır.



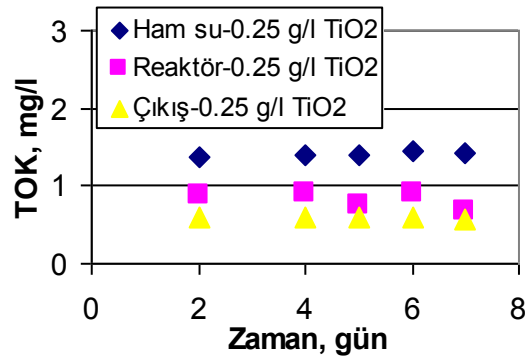
Şekil 4.109 : TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV (sürekli), TiO<sub>2</sub>: 0,1 g/l).



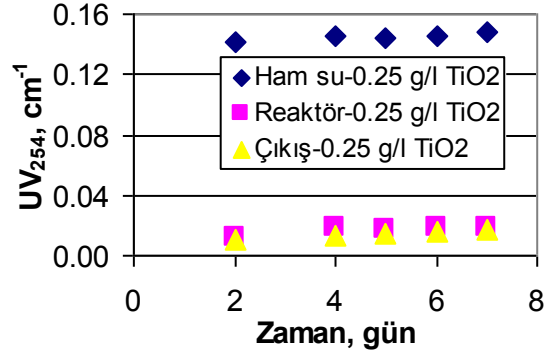
Şekil 4.110 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV (sürekli), TiO<sub>2</sub>: 0,1 g/l).

c) TiO<sub>2</sub> konsantrasyonu: 0,25 g/l

UV ışınının sürekli olup 0,25 g/l TiO<sub>2</sub>'nin ilave edildiği çalışmalarda elde edilen TOK ve UV<sub>254</sub> değerleri Şekil 4.97–4.98'de verilmiştir. Reaktör içerisindeki TOK konsantrasyonu ve UV<sub>254</sub> absorbans değeri artmamış, ham su değerlerinin altında kalmıştır.



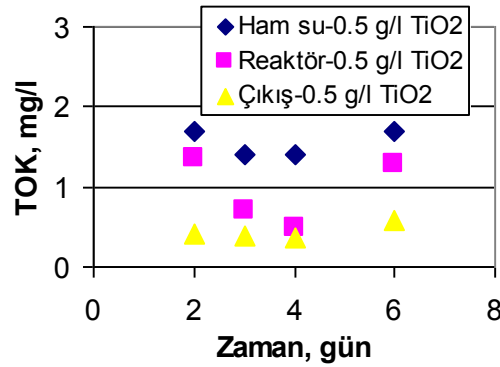
Şekil 4.111 : TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV (sürekli), TiO<sub>2</sub>: 0,25 g/l).



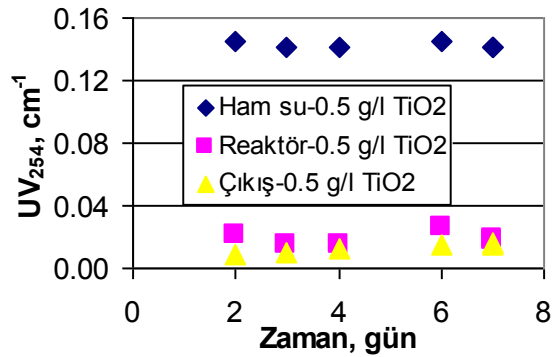
Şekil 4.112 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV (sürekli), TiO<sub>2</sub>: 0,25 g/l).

d) TiO<sub>2</sub> konsantrasyonu: 0,5 g/l

UV ışınının sürekli olup 0,5 g/l TiO<sub>2</sub>'nin ilave edildiği çalışmalarda elde edilen TOK ve UV<sub>254</sub> değerleri Şekil 4.99–4.100'de verilmiştir. Reaktör içerisindeki TOK konsantrasyonu ve UV<sub>254</sub> absorbans değerleri artmamış, ham su değerinin altında kalmıştır.



Şekil 4.113 : TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV (sürekli), TiO<sub>2</sub>: 0,5 g/l).



Şekil 4.114 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV (sürekli), TiO<sub>2</sub>: 0,5 g/l).

e)  $TiO_2$  konsantrasyonu etkisinin karşılaştırılması

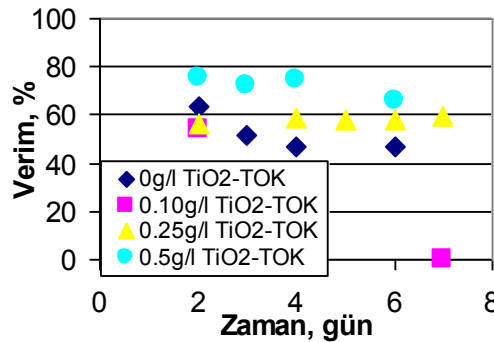
Sadece ham su ve UV ışınının sürekli olup farklı  $TiO_2$  konsantrasyonlarının kullanılması ile yürütülen deneylerde  $TiO_2$  konsantrasyonu etkisi karşılaştırılmıştır. Reaktördeki TOK konsantrasyonu ve  $UV_{254}$  absorbans değerinin deney süresi boyunca değişimi, yüzde olarak Çizelge 4.9'da toplu olarak gösterilmiştir. Reaktördeki TOK değeri, hiç  $TiO_2$ 'nin ilave edilmemesi durumunda % 200 ve 0,10 g/l  $TiO_2$ 'nin olması durumunda % 50 artarken, 0,25 g/l  $TiO_2$ 'nin olması durumunda sabit gitmiş ve 0,50 g/l  $TiO_2$ 'nin olması durumunda başlangıçta artıp deneyin sonlarında başlangıç seviyesine gelmiştir.  $UV_{254}$  absorbans değeri ise  $TiO_2$ 'nin ilave edilmemesi durumunda % 230, 0,10 g/l, 0,25 g/l ve 0,50 g/l  $TiO_2$ 'nin olması durumunda artmamış, ham su konsantrasyonunun altında kalmıştır.

**Çizelge 4.9 :** Reaktördeki TOK konsantrasyonu ve  $UV_{254}$  absorbans değerlerini artış yüzdeleri (sentetik su, MF, UV (sürekli),  $TiO_2$  konsantrasyonu etkisi).

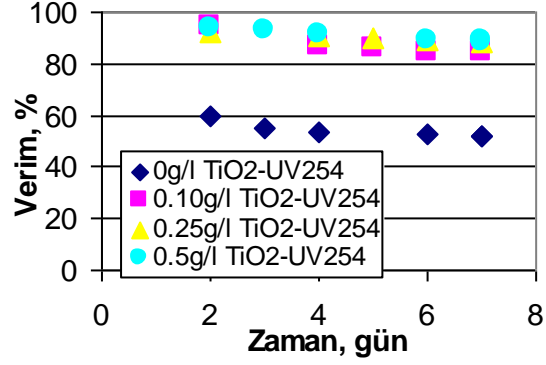
Parametre	0 g/l	0,10 g/l	0,25 g/l	0,5 g/l
TOK	200	50	-	-
$UV_{254}$	230	-	-	-

TOK giderme verimleri açısından 0,5 g/l  $TiO_2$  ilavesinin en yüksek giderme verimini sağladığı görülmüştür. 0,10 g/l  $TiO_2$  konsantrasyonu ile yürütülen deneyde verim zamanla % 0'ın altına düşmüştür (Şekil 4.101).  $UV_{254}$  giderme verimleri ise farklı  $TiO_2$  konsantrasyonlarında % 80'in üstündeyken,  $TiO_2$ 'nin olmaması durumunda % 55'ler civarında değişmiştir (Şekil 4.102).

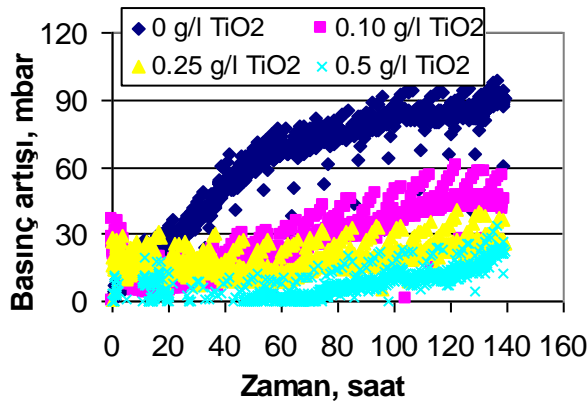
Şekil 4.103'de  $TiO_2$  konsantrasyonunun etkisine bağlı olarak basınç artışının değişimi verilmiştir. Konsantrasyon artışına bağlı olarak basınç artışında azalma görülmüştür. Bunun sebebi de  $TiO_2$  konsantrasyonu arttıkça adsorpsiyon kapasitesinin de artıyor olmasıdır.



**Şekil 4.115 :** TOK giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV (sürekli),  $TiO_2$  konsantrasyonu etkisi).



**Şekil 4.116 :** UV<sub>254</sub> giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV (sürekli), TiO<sub>2</sub> konsantrasyonu etkisi).



**Şekil 4.117 :** Basınç değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV (sürekli), TiO<sub>2</sub> konsantrasyonu etkisi).

#### 4.2.1.3 UV ışını çalışma süresinin etkisi

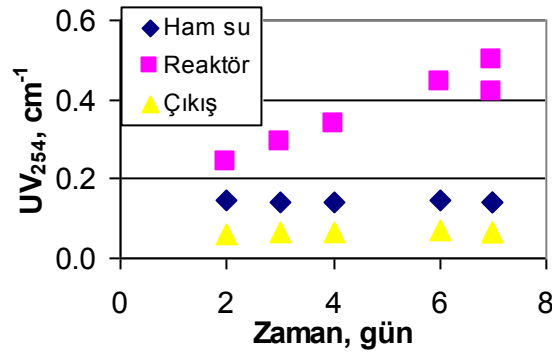
Sentetik su ile yapılan MF membran deneylerinde UV ışınının olmaması ile UV ışınının sürekli ve kesikli olması durumlarının membran tıkanmasına etkisi araştırılmıştır. Aşağıda sırasıyla her bir işletme koşulu için, organik madde giderimini temsil edici TOK ve UV<sub>254</sub> değerleri ile sonrasında UV ışını süresi etkisinin karşılaştırılması verilmiştir.

##### a) UV ışınının çalışmaması durumu

UV ışınının kullanılmadığı deneye ait TOK ve UV<sub>254</sub> absorbans değerleri Şekil 4.104–4.105’de gösterilmiştir. Reaktör içerisindeki TOK konsantrasyonu % 200 oranında ve UV<sub>254</sub> absorbans değeri ise % 230 oranında artmıştır.



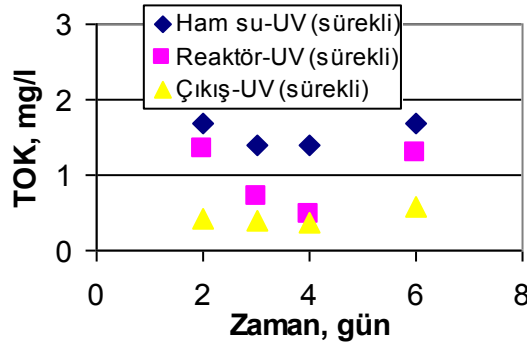
Şekil 4.118 : TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV ışını: yok).



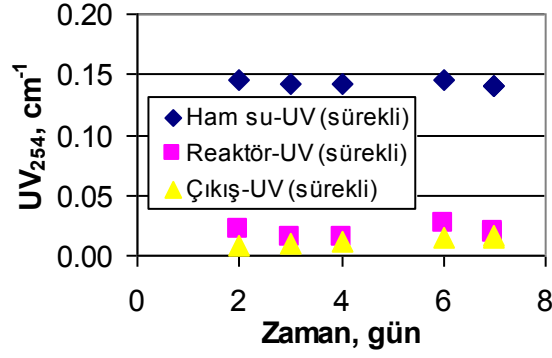
Şekil 4.119 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV ışını: yok).

b) UV ışınının sürekli çalışması durumu

UV ışınının sürekli çalıştırılması ile yürütülen deneye ait elde edilen TOK ve UV<sub>254</sub> absorbans değerleri Şekil 4.106–4.107'de verilmiştir. Reaktör içerisindeki TOK konsantrasyonu deneyin ilk günleri azalıp deneyin sonlarında yine başlangıç değerine gelmiştir. UV<sub>254</sub> absorbans değerleri ise ham su değerinin çok altında kalmış, 0,02 cm<sup>-1</sup> civarında değişmiştir.



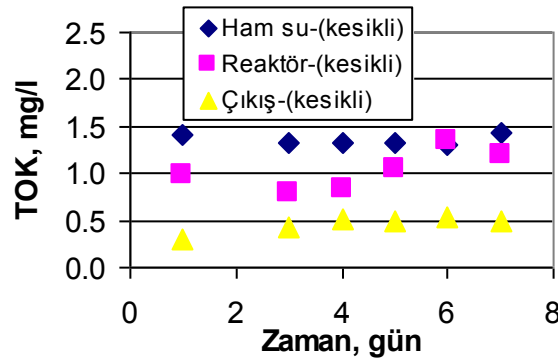
Şekil 4.120 : TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV ışını: sürekli).



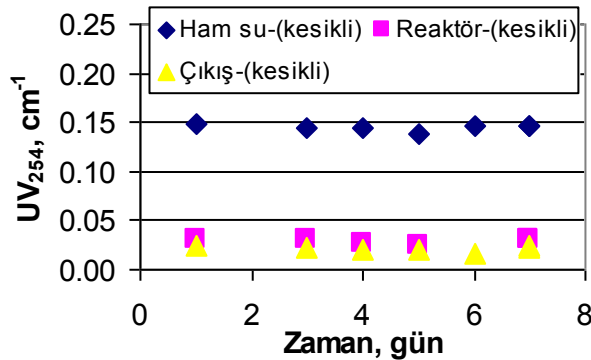
Şekil 4.121 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV ışını: sürekli).

c) UV ışınının kesikli çalışması durumu (15 dakika çalışıp 15 dakika durması)

UV ışınının 15 dakika çalıştırılıp 15 dakika durdurulması şeklinde yürütülen deneye ait elde edilen TOK ve UV<sub>254</sub> absorbans değerleri Şekil 4.108–4.109’da verilmiştir. Reaktör içerisindeki TOK konsantrasyonu, ham su TOK konsantrasyonunun altında kalmış ve UV<sub>254</sub> absorbans değeri, 0,03 cm<sup>-1</sup> civarında değişmiştir.



Şekil 4.122 : TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV ışını: kesikli).



Şekil 4.123 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV ışını: kesikli).

d) UV ışını çalışma süresi etkisinin karşılaştırılması

UV ışınının hiç olmaması ve UV ışınının çalışma süresinin değiştirilmesi ile yapılan deneylerde elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Reaktördeki TOK konsantrasyonu

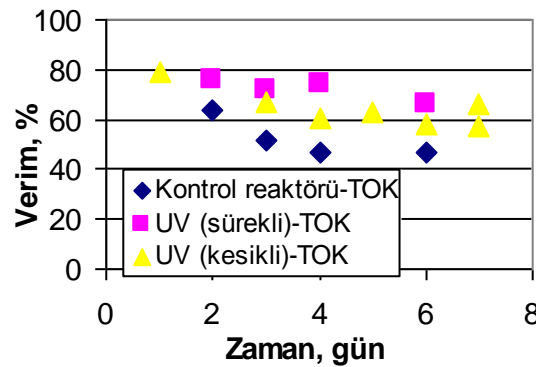
ve  $UV_{254}$  absorbans değerinin deney süresi boyunca değişimi, yüzde olarak Çizelge 4.10'da toplu olarak gösterilmiştir. Reaktördeki TOK değeri, sadece ham su olması durumunda % 200 artarken, UV ışınının sürekli olması durumunda önce azalmış, sonra deneyin başlarındaki değerine gelmiştir. UV ışınının kesikli olduğu durumda ise reaktör içi konsantrasyon zamanla fazla değişmemiştir. Benzer şekilde,  $UV_{254}$  absorbans değeri sadece ham su olması durumunda % 230 oranında artarken, UV ışını süresinin değişmesi ile ham su değerinin altına düşmüş ve sabit kalmıştır.

**Çizelge 4.10 :** Reaktördeki TOK konsantrasyonu ve  $UV_{254}$  absorbans değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri (sentetik su, MF, UV ışını süresinin etkisi).

Parametre	Ham su	UV (sürekli)	UV (15-15)
TOK	200	-	-
$UV_{254}$	230	-	-

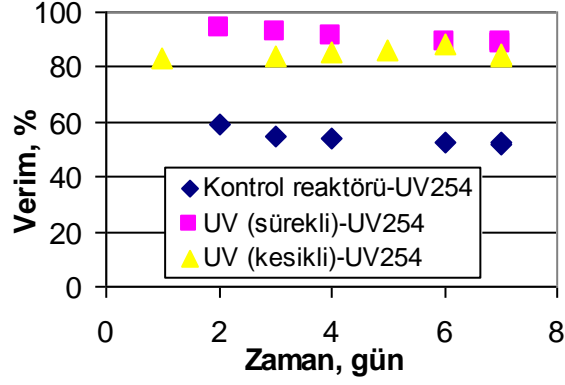
TOK giderme verimlerine bakıldığında, en yüksek değerin UV ışınının sürekli çalıştığı durumda elde edildiği görülmüştür (Şekil 4.110).  $UV_{254}$  giderme veriminde de en yüksek değer, UV ışınının sürekli olması durumunda görülmüştür. UV ışınının uygulanmadığı durumda ise verim ortalama % 55 seviyelerinde kalmış ve UV ışınının kesikli olarak çalıştırıldığı durumda giderim % 80'in üstüne çıkmıştır (Şekil 4.111).

UV süresinin etkisine bağlı olarak basınç artışında değişim Şekil 4.112'de gösterilmiştir. Basınç artışı en fazla UV ışınının kullanılmadığı deneyde görülmüştür. En az basınç artışının görüldüğü deney ise UV ışınının sürekli çalıştığı deneydir.

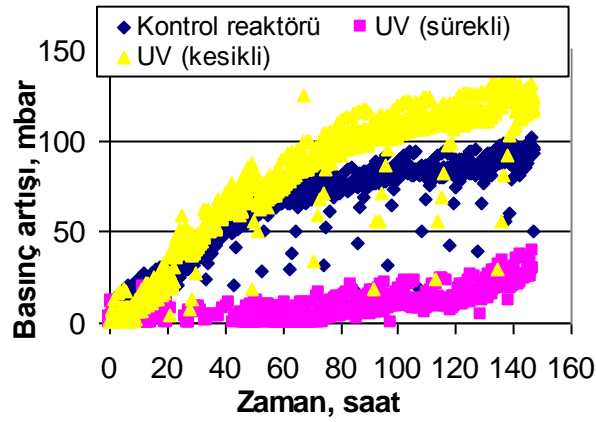


**Şekil 4.124 :** TOK giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV ışını süresinin etkisi).





Şekil 4.125 : UV<sub>254</sub> giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV ışını süresinin etkisi).



Şekil 4.126 : Basınç değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV ışını süresinin etkisi).

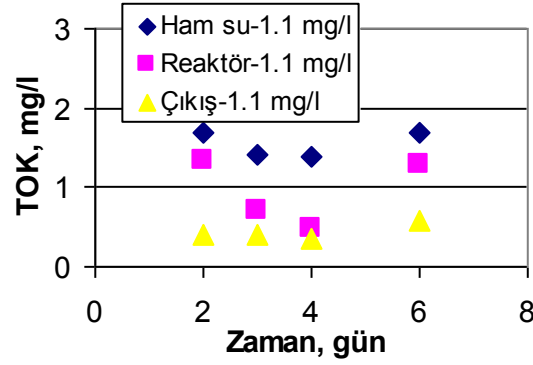
#### 4.2.1.4 Organik madde konsantrasyonunun etkisi (UV ışınının sürekli çalışması ve 0,5 g/l TiO<sub>2</sub> olması durumunda)

Organik madde konsantrasyonu etkisini araştırmak üzere, ham su TOK konsantrasyonları ortalama 1,1, 3,1 ve 5,4 mg/l olan sentetik çözeltiler ile çalışılmıştır. Deneylerin tamamında, UV ışını (sürekli) ve 0,5 g/l konsantrasyonunda TiO<sub>2</sub>'nin birlikte kullanılması esas alınmıştır. Aşağıda sırasıyla her bir organik madde konsantrasyonu için TOK ve UV<sub>254</sub> absorbans değerleri ile organik madde konsantrasyonu etkisinin karşılaştırılması verilmiştir.

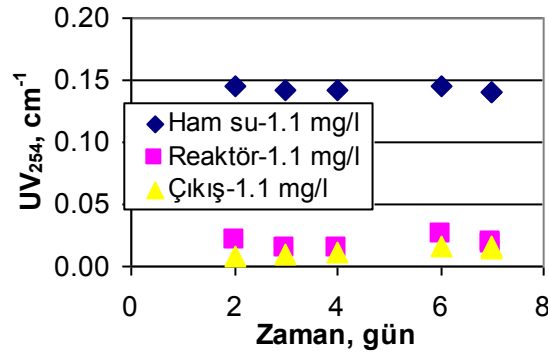
a) TOK konsantrasyonu: 1,1 mg/l

1,1 mg/l TOK konsantrasyonu ile yapılan çalışmalarda elde edilen TOK ve UV<sub>254</sub> değerleri Şekil 4.113–4.114'de verilmiştir. Reaktör içerisindeki TOK konsantrasyonu başlangıçta azalıp sonra tekrar yükselmeye başlamış, ancak ham su TOK değerinin

altında kalmıştır.  $UV_{254}$  absorbans değeri ise ham su değerinin altına düşmüş ve  $0,02 \text{ cm}^{-1}$  civarında değişmiştir.



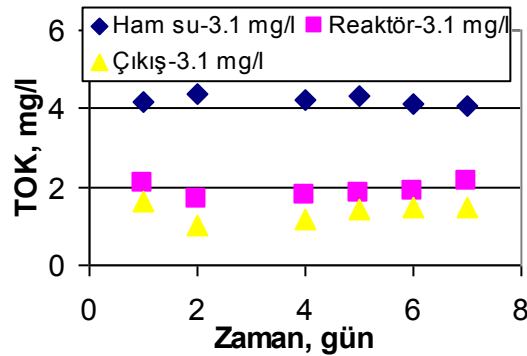
Şekil 4.127 : TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV+TiO<sub>2</sub>, TOK: 1,1 mg/l).



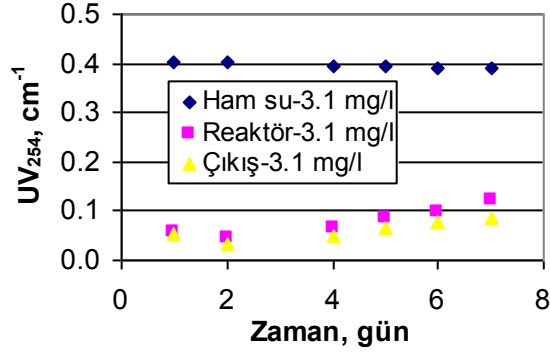
Şekil 4.128 :  $UV_{254}$  değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV+TiO<sub>2</sub>, TOK: 1,1 mg/l).

b) TOK konsantrasyonu: 3,1 mg/l

3,1 mg/l TOK konsantrasyonu ile yapılan çalışmalarda elde edilen TOK ve  $UV_{254}$  değerleri Şekil 4.115–4.116'da verilmiştir. Reaktör içerisindeki TOK konsantrasyonu 2 mg/l civarında sabit giderken,  $UV_{254}$  absorbans değeri ise başlangıçta ham su değerinin altına düşmüş ve deneylerin sonunda çok az bir artış göstermiştir.



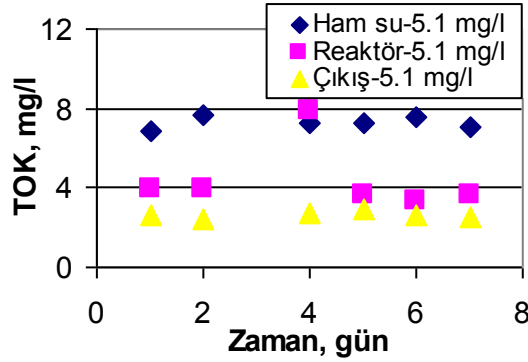
Şekil 4.129 : TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV+TiO<sub>2</sub>, TOK: 3,1 mg/l).



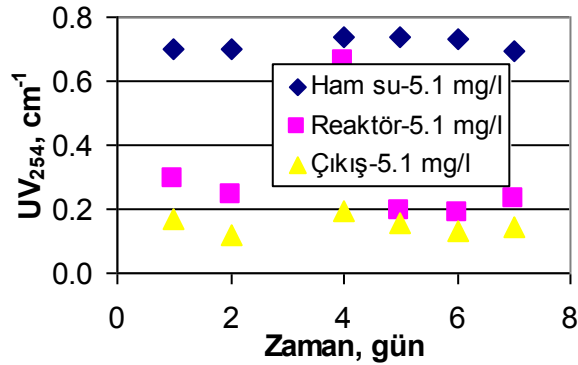
Şekil 4.130 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV+TiO<sub>2</sub>, TOK: 3,1 mg/l).

c) TOK konsantrasyonu: 5,4 mg/l

5,4 mg/l TOK konsantrasyonu ile yapılan çalışmalarda elde edilen TOK ve UV<sub>254</sub> değerleri Şekil 4.117–4.118’de verilmiştir. Reaktör içerisindeki TOK konsantrasyonu 3.5 mg/l civarında, UV<sub>254</sub> absorbans değeri ise zamanla azalmakla beraber, 0,025 cm<sup>-1</sup> civarında değişmiştir. Her iki değerde ham su konsantrasyonunun altında kalmıştır.



Şekil 4.131 : TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV+TiO<sub>2</sub>, TOK: 5,4 mg/l).



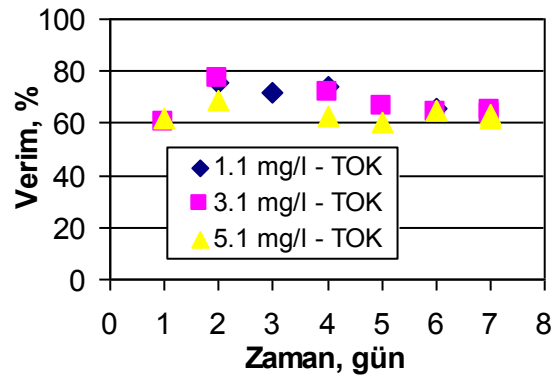
Şekil 4.132 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV+TiO<sub>2</sub>, TOK: 5,4 mg/l).

d) Organik madde konsantrasyonu etkisinin karşılaştırılması

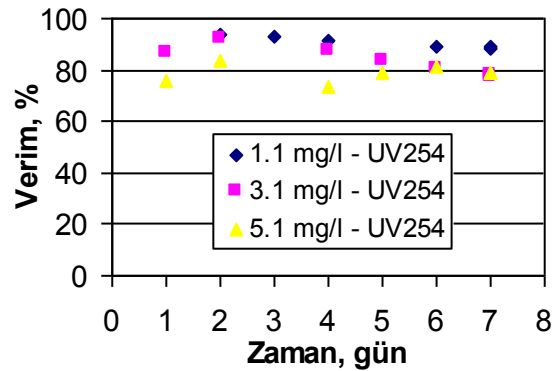
UV ışını (sürekli) ile 0,5 g/l TiO<sub>2</sub>'nin birlikte kullanıldığı ve üç değişik organik madde konsantrasyonunda yapılan deneylerde, organik madde konsantrasyonlarının etkisi karşılaştırılmıştır. Ham sudaki UV<sub>254</sub> absorbans değerleri, 1,1, 3,1 ve 5,4 mg/l TOK konsantrasyonları için sırasıyla, ortalama 0,14, 0,40 ve 0,71 cm<sup>-1</sup> olmuştur. 3,1 mg/l konsantrasyonunda UV<sub>254</sub> absorbans değeri biraz artış gösterse de, genel olarak reaktördeki TOK ve UV<sub>254</sub> absorbans değerleri ham su değerinin altında kalmıştır.

TOK giderme verimleri 1,1 ve 3,1 mg/l konsantrasyonlarında zamanla azalırken 5,4 mg/l konsantrasyonunda % 65 seviyelerinde sabit kalmıştır (Şekil 4.119). UV<sub>254</sub> giderme verimi de konsantrasyon artışına bağlı olarak azalmıştır. En yüksek verim değerleri 1,1 mg/l TOK konsantrasyonunda elde edilmiştir (Şekil 4.120).

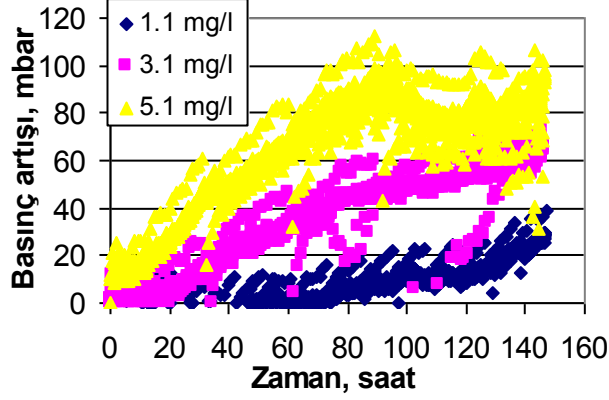
Şekil 4.121'de, organik madde konsantrasyonuna bağlı olarak, basınç artışının değişimi verilmiştir. Ham su TOK konsantrasyonu arttıkça, reaktörde biriken organik madde konsantrasyonu artmakta, dolayısıyla membran daha çabuk tıkanığundan basınç artışı fazla olmaktadır.



Şekil 4.133 : TOK giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV+TiO<sub>2</sub>, organik madde konsantrasyonu etkisi).



Şekil 4.134 : UV<sub>254</sub> giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV+TiO<sub>2</sub>, organik madde konsantrasyonu etkisi).



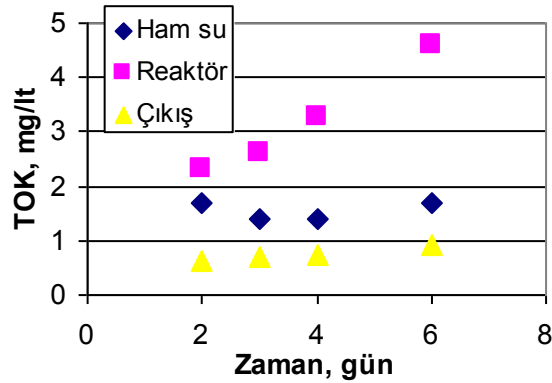
Şekil 4.135 : Basınç değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV+TiO<sub>2</sub>, organik madde konsantrasyonu etkisi).

#### 4.2.1.5 UV/TiO<sub>2</sub> ile zeolitın birlikte kullanılmasının etkisi

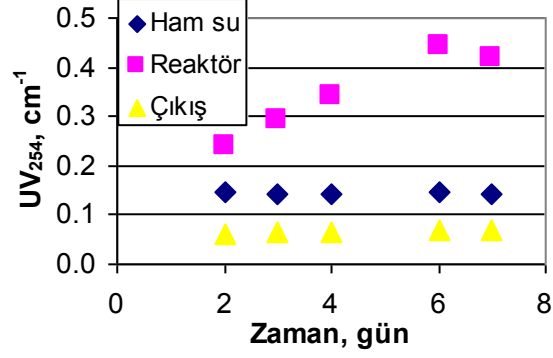
Sentetik su ile yapılan MF membranı çalışmasının bu aşamasında, sadece 250–350 µm partikül çapı aralığındaki modifiye zeolit kullanılmasının, zeolit ve 0,5 g/l TiO<sub>2</sub>'nin birlikte kullanılmasının, zeolit, TiO<sub>2</sub> ve UV ışının birlikte kullanılmasının membran tıkanıklığının azaltılmasına etkisi araştırılmıştır. Aşağıda sırasıyla her bir işletme koşulu için organik madde giderimini temsil edici TOK ve UV<sub>254</sub> değerleri ve sonrasında UV/TiO<sub>2</sub> etkisinin karşılaştırılması verilmiştir.

##### a) Sadece ham su beslenmesi durumu (kontrol deneyi)

Kontrol reaktörü olarak diğer işletme koşullarının etkilerini karşılaştırabilmek için reaktöre sadece ham su beslenerek deney yürütülmüştür. Çalışmada elde edilen TOK ve UV<sub>254</sub> absorbans değerleri Şekil 4.122–4.123'de gösterilmiştir. Reaktör içerisindeki TOK konsantrasyonu % 200 oranında artar iken, UV<sub>254</sub> absorbans değeri, % 230 oranında artmıştır.



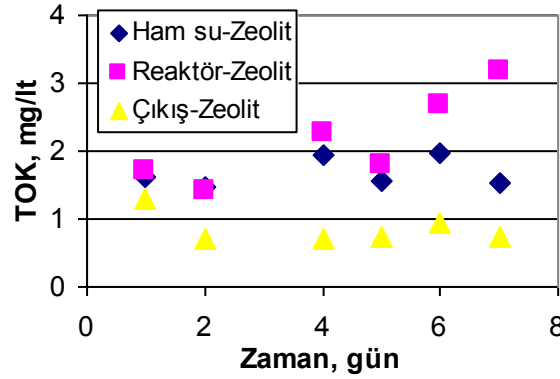
Şekil 4.136 : TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, kontrol reaktörü).



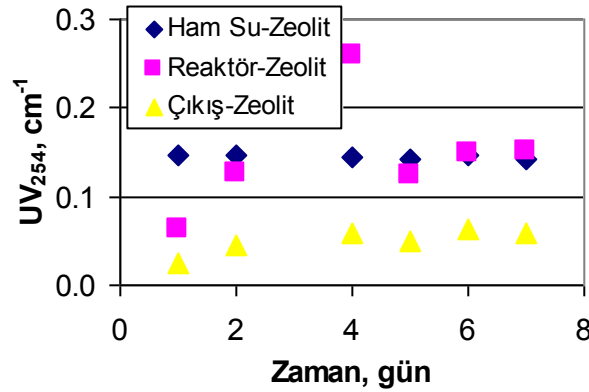
Şekil 4.137 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, kontrol reaktörü).

b) Sadece zeolit olması durumu

Sadece 250–350 µm gözenek çapındaki zeolitin kullanılmasına ait çalışmada TOK ve UV<sub>254</sub> absorbans değerleri Şekil 4.124–4.125’de gösterilmiştir. Reaktör içerisindeki TOK konsantrasyonu % 125 oranında artar iken, UV<sub>254</sub> absorbans değeri artmamış, hatta ham su değerinin altında kalmıştır.



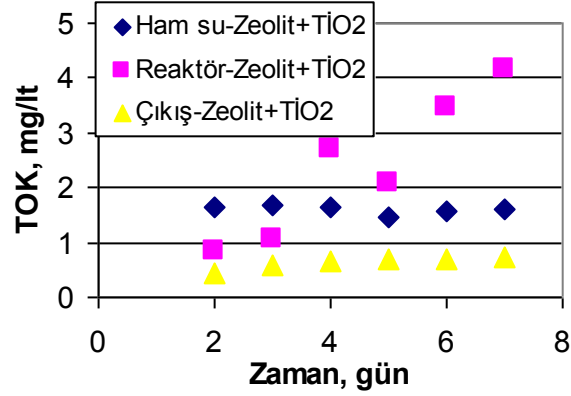
Şekil 4.138 : TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit).



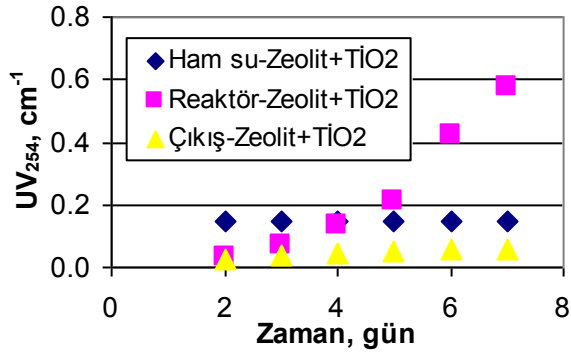
Şekil 4.139 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit).

c) Zeolit ile  $TiO_2$ 'nin birlikte kullanılması durumu

250–350  $\mu m$  partikül çapı zeolit ile 0,5 g/l  $TiO_2$ 'nin birlikte kullanılmasına ait çalışmada TOK ve  $UV_{254}$  absorbans değerleri Şekil 4.126–4.127'de gösterilmiştir. Reaktör içerisindeki TOK konsantrasyonu % 135 oranında artar iken,  $UV_{254}$  absorbans değeri, yaklaşık olarak % 263 oranında artmıştır.



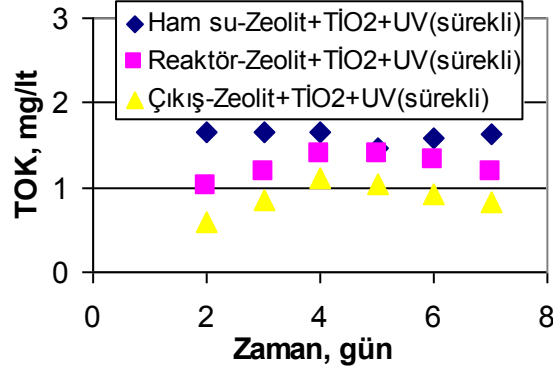
Şekil 4.140 : TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit+ $TiO_2$ ).



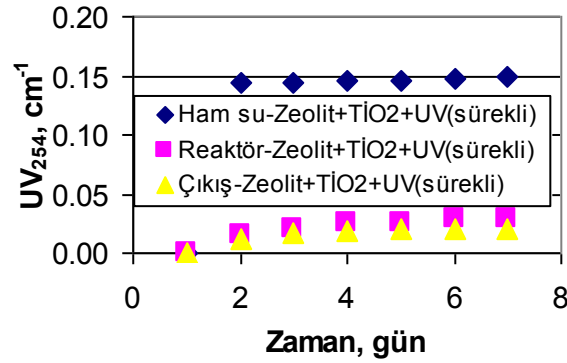
Şekil 4.141 :  $UV_{254}$  değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit+ $TiO_2$ ).

d) Zeolit,  $TiO_2$  ve UV ışınının birlikte kullanılması durumu

250–350  $\mu m$  partikül çapındaki zeolit ve 0,5 g/l  $TiO_2$  ile UV ışınının birlikte kullanılmasına ait çalışmada TOK ve  $UV_{254}$  absorbans değerleri Şekil 4.128–4.129'da gösterilmiştir. Reaktör içerisindeki TOK konsantrasyonu ve  $UV_{254}$  absorbans değeri, ham su değerlerinin altında kalmıştır.



Şekil 4.142 : TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit+TiO<sub>2</sub>+UV ışını).



Şekil 4.143 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, zeolit+TiO<sub>2</sub>+UV ışını).

e) UV/TiO<sub>2</sub> ile zeolitin birlikte kullanılması durumlarının karşılaştırılması

Zeolitin tek başına, TiO<sub>2</sub> ile birlikte ve hem TiO<sub>2</sub> hem UV ışını ile birlikte kullanılması şeklinde yürütülen deneylerde adsorpsiyon/fotokatalitik oksidasyon etkileri karşılaştırılmıştır. Reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV<sub>254</sub> absorbans değerinin deney süresi boyunca değişimi, yüzde olarak Çizelge 4.11'de toplu olarak. Reaktördeki TOK değeri, sadece ham su beslenmesi durumunda % 200, sadece zeolit olması durumunda % 125, zeolit ile TiO<sub>2</sub>'nin birlikte olması durumunda % 135 ve zeolit, TiO<sub>2</sub> ile UV ışınının birlikte olması durumunda ise hiç bir artış olmamış, ham su başlangıç değerlerinin de altına düşmüştür. UV<sub>254</sub> absorbans değeri ise sadece ham su beslenmesi durumunda % 230, sadece zeolit olması durumunda % 0, zeolit ile TiO<sub>2</sub>'nin birlikte olması durumunda % 264 artmış ve zeolit, TiO<sub>2</sub> ile UV ışınının birlikte olması durumunda bir artış olmamıştır.

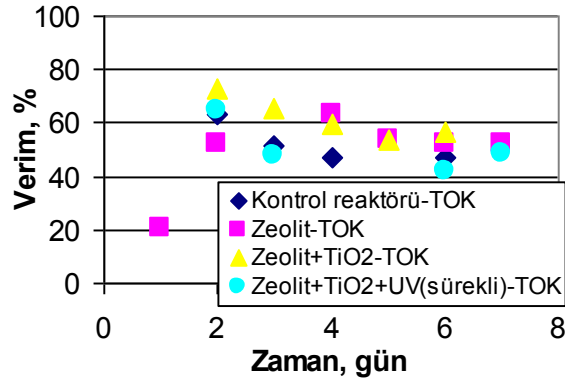


**Çizelge 4.11** : Reaktördeki TOK konsantrasyonu ve  $UV_{254}$  absorbans değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri (sentetik su, MF, UV/TiO<sub>2</sub> ve zeolit etkisi).

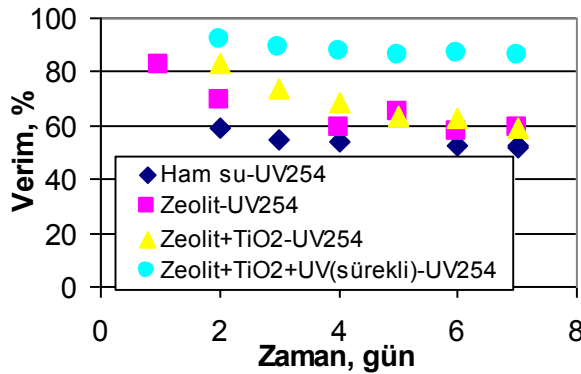
Parametre	Kontrol deneyi	Zeolit	Zeolit/TiO <sub>2</sub>	Zeolit/TiO <sub>2</sub> /UV
TOK	200	125	135	-
$UV_{254}$	230	-	263	-

TOK giderme verimleri açısından zeolit ile TiO<sub>2</sub>'nin birlikte kullanılmasının en iyi sonucu verdiği görülmüştür (Şekil 4.130).  $UV_{254}$  giderme verimleri açısından ise zeolit+TiO<sub>2</sub>+UV ışınının birlikte kullanılması ile en iyi değerler elde edilmiştir (Şekil 4.131).

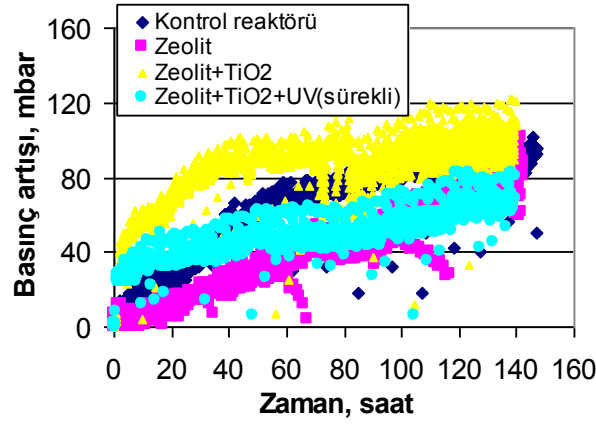
Şekil 4.132'de UV/TiO<sub>2</sub> ile zeolitinin birlikte kullanımına bağlı olarak basınç artışının değişimi verilmiştir. Zeolit+TiO<sub>2</sub>+UV ışınının birlikte kullanılması ile basınç artışı daha az olmuştur. Zeolit ile TiO<sub>2</sub>'nin birlikte kullanılması ile basınç değerinde başlangıçta daha hızlı bir artış olurken daha sonra artış hızı azalmıştır. Kontrol deneyi ile sadece zeolit kullanıldığı deneylerde nihai basınç artışı aynı olmuştur.



**Şekil 4.144** : TOK giderme veriminin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV/TiO<sub>2</sub> ve zeolit etkisi).



**Şekil 4.145** :  $UV_{254}$  giderme veriminin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV/TiO<sub>2</sub> ve zeolit etkisi).



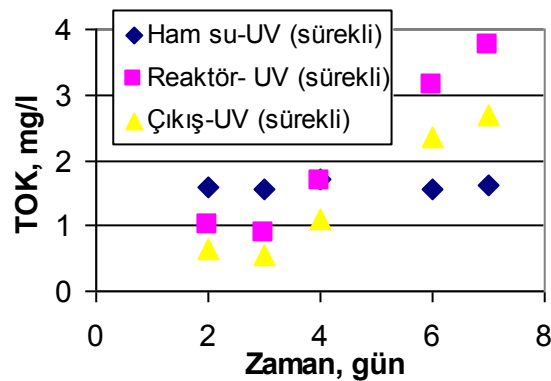
Şekil 4.146 : Basınç değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, UV/TiO<sub>2</sub> ve zeolit etkisi).

#### 4.2.2 Sentetik suda UF membranı kullanılarak yürütülen deneyler

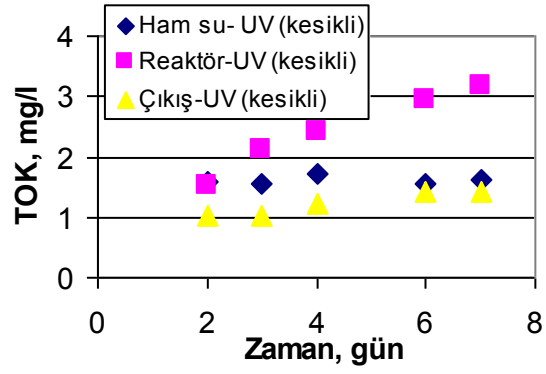
UV/TiO<sub>2</sub> etkisinin incelenmesi için sentetik su ile 0,04 µm gözenekli UF membranı kullanılarak deneyler yürütülmüştür. Bu çalışmada UV ışınının sürekli ve kesikli çalışması durumlarının membran tıkanmasına etkileri araştırılmıştır.

##### 4.2.2.1 UV ışınının sürekli ve kesikli çalışması durumlarının karşılaştırılması

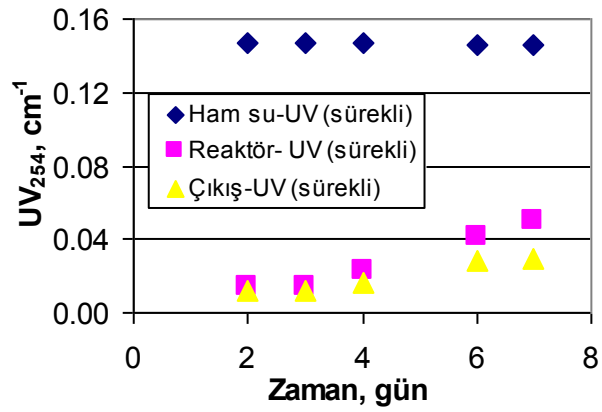
UV ışınının sürekli ve kesikli olduğu durumlarının karşılaştırılması için iki deney yapılmıştır. Aşağıda sırasıyla TOK (Şekil 4.133–4.134), UV<sub>254</sub> (Şekil 4.135–4.136) absorbans değerleri ve giderme verimleri (Şekil4.137–4.138) verilmiştir. UV ışınının sürekli olması durumunda reaktör içi artışa bağlı olarak çıkış TOK değerlerinin de artması ile TOK giderme verimi zamanla eksi (-) değerlere düşmüştür. UV<sub>254</sub> giderme verimi açısından UV ışınının sürekli olması durumunda daha yüksek değerler elde edilmiştir. UV ışınının kesikli olması durumunda basınç artışı daha hızlı olmakla beraber deneyin sonunda nihai basınç artışları aynı olmuştur (Şekil 4.).



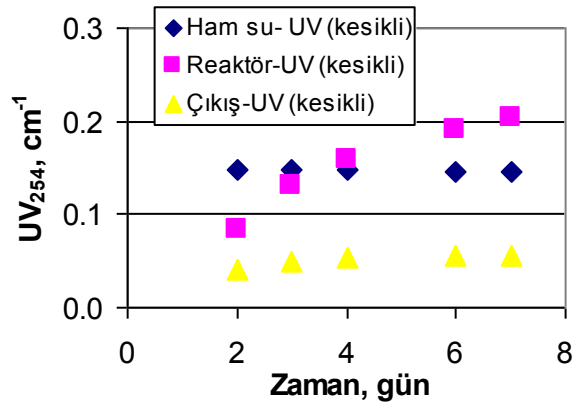
Şekil 4.147 : TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, UV ışını: sürekli).



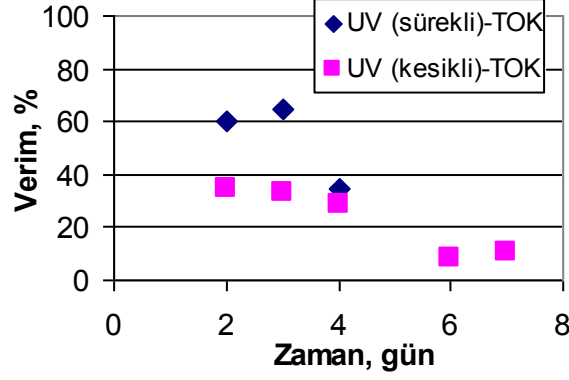
Şekil 4.148 : TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, UV ışını: kesikli).



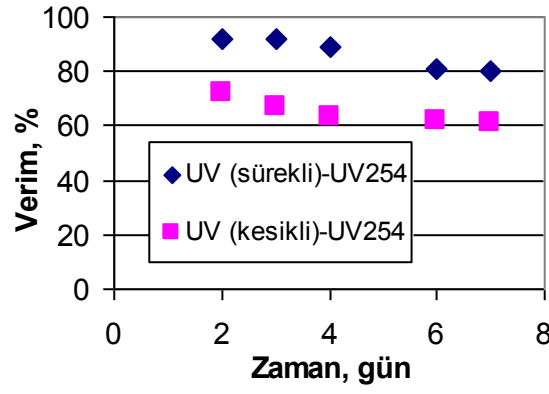
Şekil 4.149 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, UV ışını: sürekli).



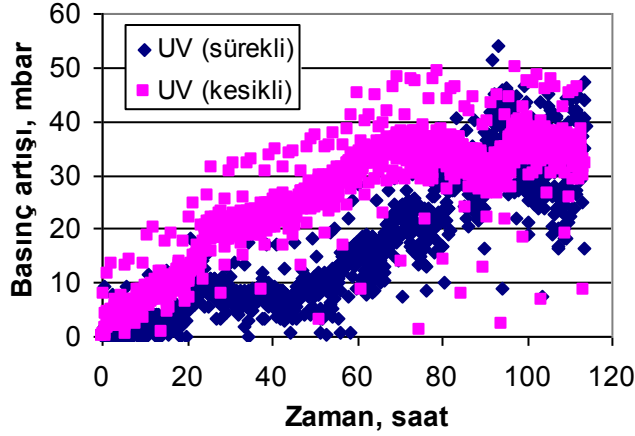
Şekil 4.150 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, UV ışını: kesikli).



Şekil 4.151 : TOK giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, UF, UV ışını süresi etkisi).



Şekil 4.152 : UV<sub>254</sub> giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, UF, UV ışını süresi etkisi).



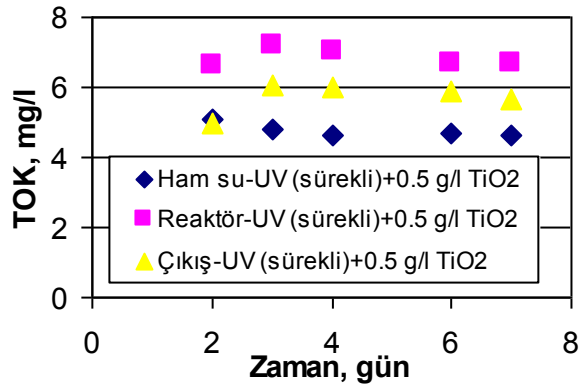
Şekil 4.153 : Basınç değerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, UV ışını süresi etkisi).

#### 4.2.3 Göl suyunda MF membranı kullanılarak yürütülen çalışmalar

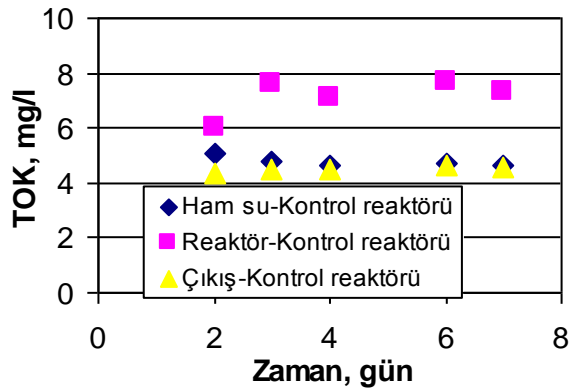
Terkos gölünden getirtilen ham su üzerinde MF membranı ile bir takım deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Aşağıda bu deneysel çalışmaların sonuçları verilmiştir.

#### 4.2.3.1 UV/TiO<sub>2</sub> etkisinin karşılaştırılması

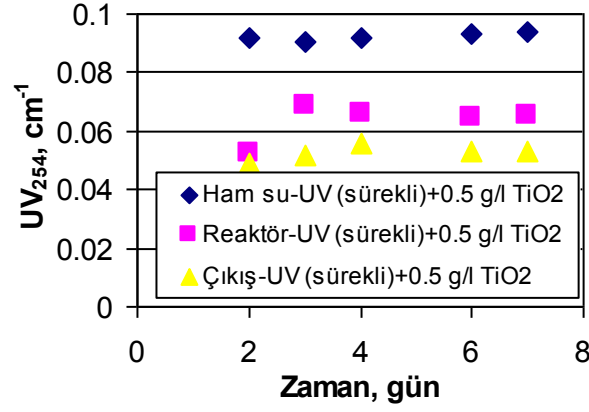
Fotokatalitik oksidasyon etkisinin karşılaştırılması için biri kontrol reaktörü olmak üzere iki deney yürütülmüştür. Fotokatalitik oksidasyon etkisini araştırmak için UV ışını sürekli ve 0,5 g/l TiO<sub>2</sub> konsantrasyonunda çalışılmıştır. Aşağıda sırasıyla TOK (Şekil 4.140–4.141), UV<sub>254</sub> (Şekil 4.142–4.143) absorbands değerleri ve giderme verimleri (Şekil 4.144–4.145) verilmiştir. Fotokatalitik oksidasyon etkisinin araştırıldığı reaktörde, TOK giderme verimleri çıkış organik madde konsantrasyonunun ham su konsantrasyonundan fazla olması sebebiyle eksi (-) değerlere düşmüştür. Sadece ham suyun membrandan geçirildiği kontrol reaktöründe ise TOK giderme verimi zamanla 0'a düşmüştür. Buna karşın UV<sub>254</sub> giderme verimi, fotokatalitik oksidasyon etkisinin araştırıldığı reaktörde % 40–45 civarında değişirken, kontrol reaktöründe % 5 civarında değişmiştir. Kontrol reaktöründe basınç zamanla hızla artarken, UV/TiO<sub>2</sub>'nin olduğu reaktörde çok az artış göstermiştir (Şekil 4.146).



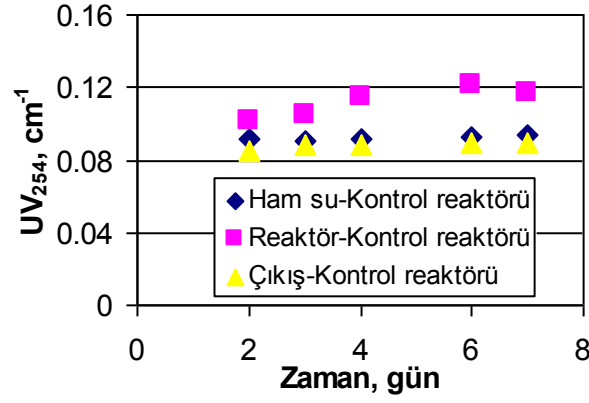
Şekil 4.154 : TOK değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, UV+TiO<sub>2</sub>).



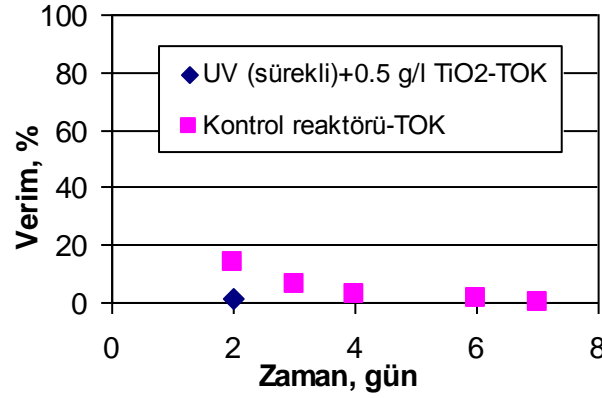
Şekil 4.155 : TOK değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, kontrol reaktörü).



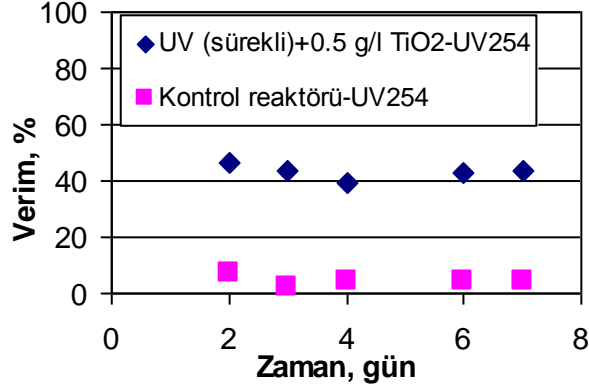
Şekil 4.156 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, UV+TiO<sub>2</sub>).



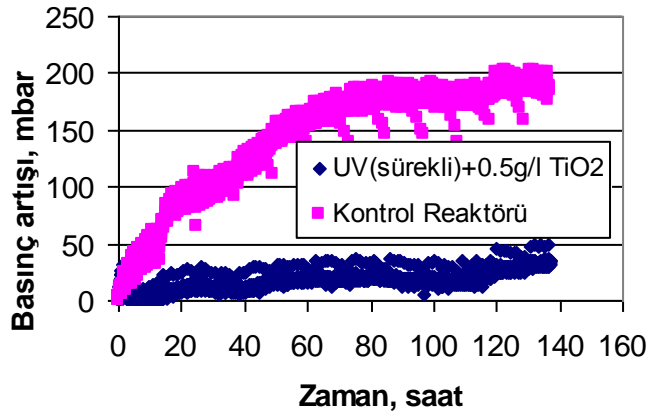
Şekil 4.157 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, kontrol reaktörü).



Şekil 4.158 : TOK giderim veriminin zamanla değişimi (göl suyu, MF, UV/TiO<sub>2</sub> etkisi).



Şekil 4.159 : UV<sub>254</sub> giderim veriminin zamanla değişimi (göl suyu, MF, UV/TiO<sub>2</sub> etkisi).



Şekil 4.160 : Basınç değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, UV/TiO<sub>2</sub> etkisi).

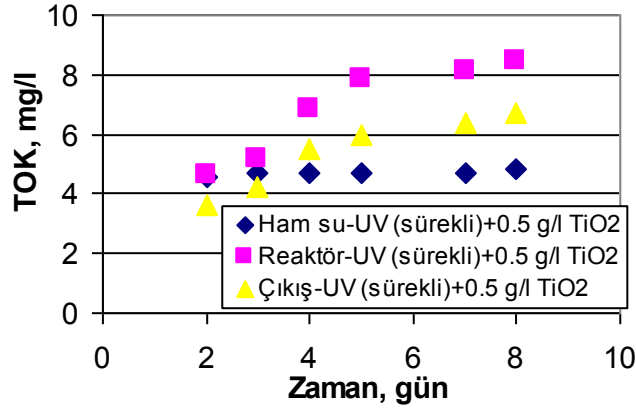
#### 4.2.4 Göl suyunda UF membran kullanılarak yürütülen çalışmalar

Terkos gölünden getirilen ham su üzerinde UF membranı ile bir takım deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Aşağıda bu deneysel çalışmaların sonuçları verilmiştir.

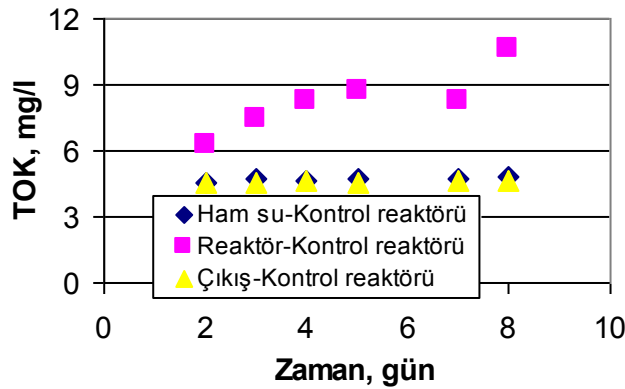
##### 4.2.4.1 UV/TiO<sub>2</sub> etkisinin karşılaştırılması

Fotokatalitik oksidasyon etkisinin karşılaştırılması için biri kontrol reaktörü olmak üzere iki deney yürütülmüştür. Fotokatalitik oksidasyon etkisini araştırmak için UV ışını sürekli ve 0,5 g/l TiO<sub>2</sub> konsantrasyonunda çalışılmıştır. Aşağıda sırasıyla TOK (Şekil 4.147–4.148), UV<sub>254</sub> (Şekil 4.149–4.150) absorban değerleri ve giderme verimleri (Şekil 4.151-4.152) verilmiştir. Fotokatalitik oksidasyon etkisinin araştırıldığı reaktörde, TOK giderme verimleri çıkış organik madde konsantrasyonunun ham su konsantrasyonundan fazla olması sebebiyle eksi (-) değerlere düşmüştür. Sadece ham suyun membrandan geçirildiği kontrol reaktöründe ise TOK giderme verimi % 0 civarında değişmiştir. Buna karşın UV<sub>254</sub> giderme

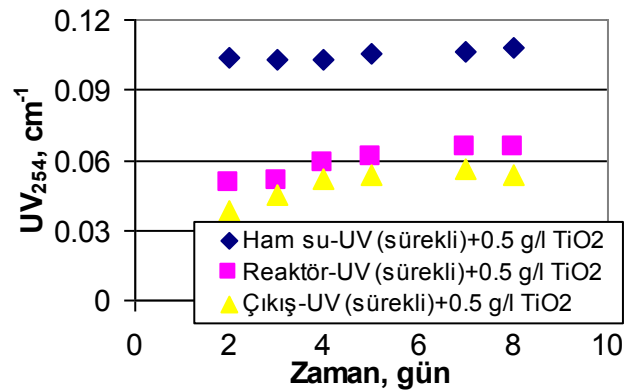
verimi açısından fotokatalitik oksidasyon etkisinin araştırıldığı reaktörde ortalama olarak % 50 civarında değişirken, kontrol reaktöründe ise % 5 civarında değişmiştir. Fotokatalitik oksidasyon etkisinin araştırıldığı deneyde basınç artışında herhangi bir değişiklik görülmemiştir (Şekil 4.153).



Şekil 4.161 : TOK değerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, UV+TiO<sub>2</sub>).

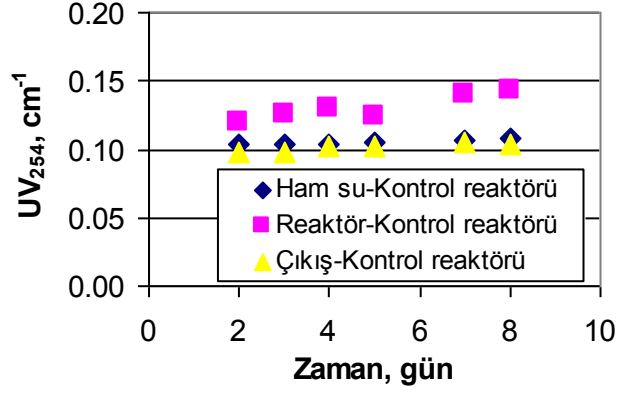


Şekil 4.162 : TOK değerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, kontrol reaktörü).

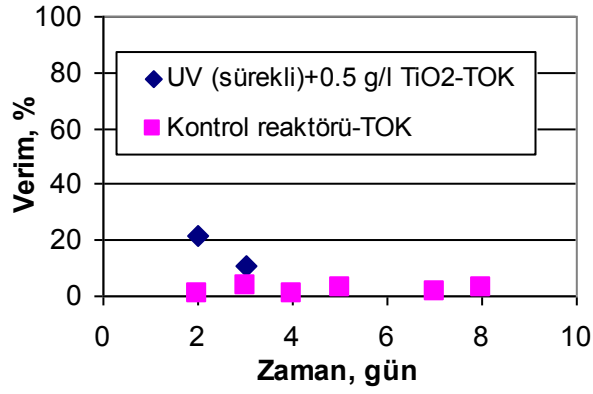


Şekil 4.163 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, UV+TiO<sub>2</sub>).

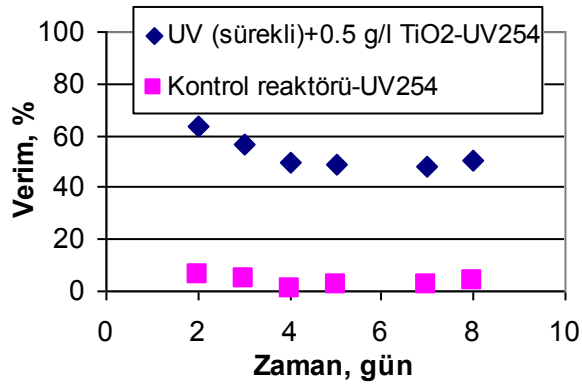




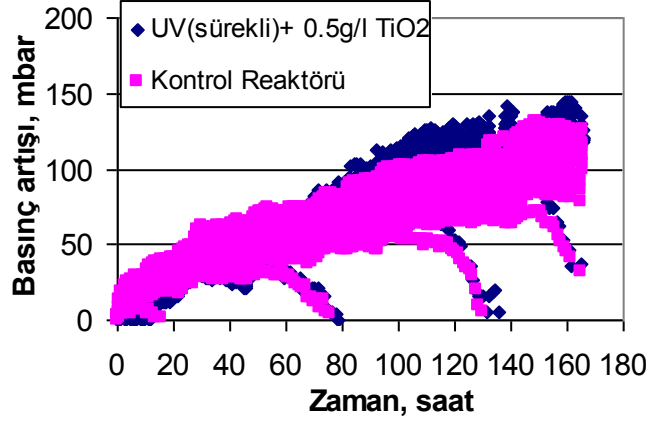
Şekil 4.164 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, kontrol reaktörü).



Şekil 4.165 : TOK giderim veriminin zamanla değişimi (göl suyu, UF, UV/TiO<sub>2</sub> etkisi).



Şekil 4.166 : UV<sub>254</sub> giderim veriminin zamanla değişimi (göl suyu, UF, UV/TiO<sub>2</sub> etkisi).



Şekil 4.167 : Basınç değerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, UV/TiO<sub>2</sub> etkisi).

### 4.3 Toz Aktif Karbon (PAC) Çalışmaları

Membran tıkanıklığını azaltmak için toz aktif karbon (PAC) kullanılarak sentetik ve göl suyunda MF ve UF membranları ile deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

#### 4.3.1 Sentetik suda MF membranı kullanılarak yürütülen çalışmalar

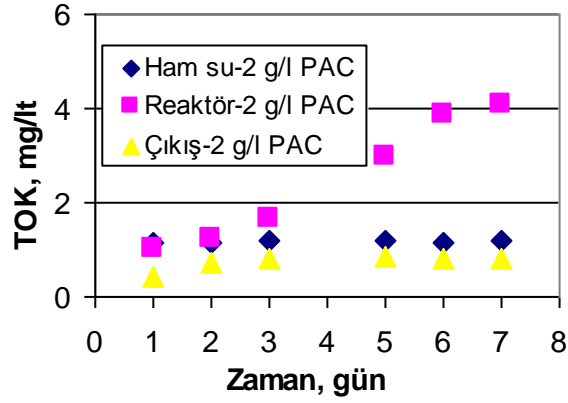
MF membranı kullanılarak, sentetik suda bir takım deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

##### 4.3.1.1 PAC konsantrasyonunun etkisi

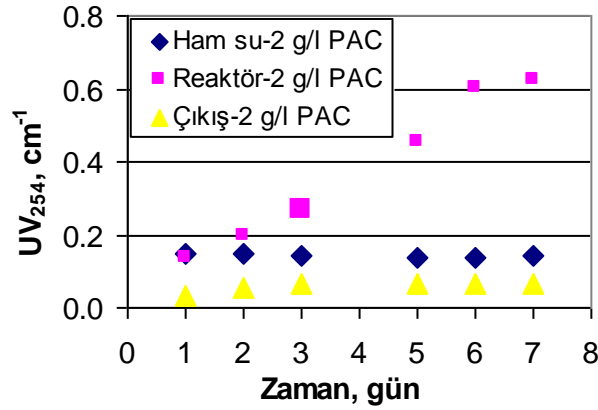
Sentetik suyun kullanıldığı MF membranı ile PAC konsantrasyonları değiştirilerek bir takım deneyler yürütülmüştür. Aşağıda sırasıyla; 2, 4 ve 10 g/l PAC konsantrasyonları için TOK ve UV<sub>254</sub> giderim değerleri ile PAC konsantrasyonu etkisinin karşılaştırılması verilmiştir.

##### a) PAC konsantrasyonu: 2 g/l

2 g/l PAC, bir behere alınan sentetik suyun içerisine atılarak çözelti halinde tek seferde reaktörün ilk bölmesine verilmiştir. 2 g/l PAC konsantrasyonunun olduğu çalışmaya ait TOK ve UV<sub>254</sub> absorbans değerleri Şekil 4.154–4.155’de gösterilmiştir. Reaktör içerisindeki TOK konsantrasyonu % 246 oranında, UV<sub>254</sub> absorbans değeri ise, % 338 oranında artmıştır.



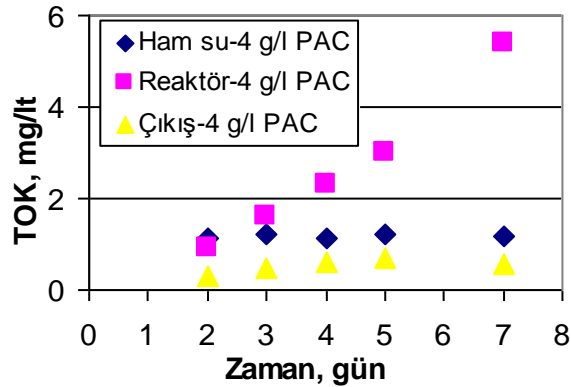
Şekil 4.168 : TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, PAC: 2 g/l).



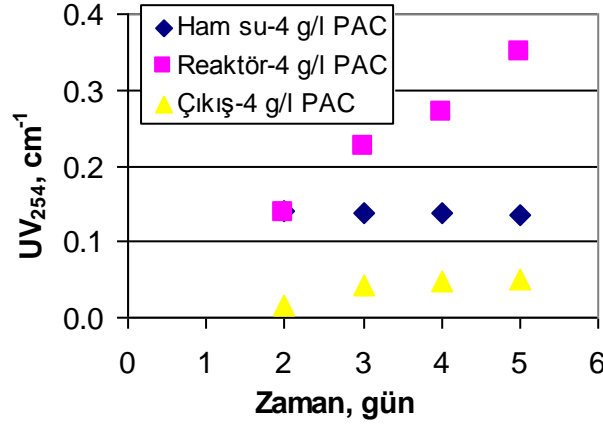
Şekil 4.169 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, PAC: 2 g/l).

b) PAC konsantrasyonu: 4 g/l

4 g/l PAC, bir behere alınan sentetik suyun içerisine atılarak çözelti halinde tek seferde reaktörün ilk bölmesine verilmiştir. 4 g/l PAC konsantrasyonunun olduğu çalışmaya ait TOK ve UV<sub>254</sub> absorbans değerleri Şekil 4.156-4.157'de gösterilmiştir. Reaktör içerisindeki TOK konsantrasyonu % 358 oranında, UV<sub>254</sub> absorbans değeri ise, % 153 oranında artmıştır.



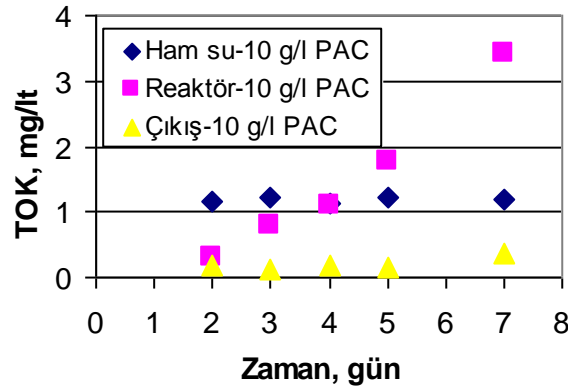
Şekil 4.170 : TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, PAC: 4 g/l).



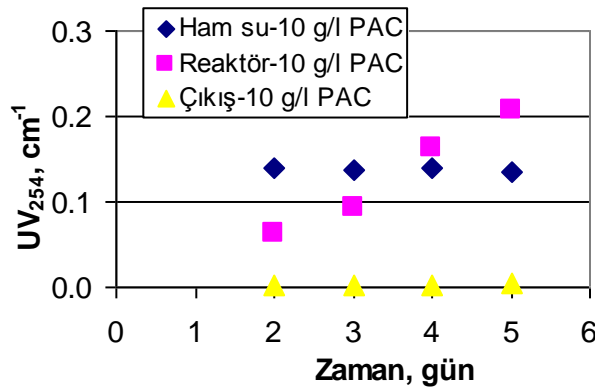
Şekil 4.171 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, PAC: 4 g/l).

c) PAC konsantrasyonu: 10 g/l

10 g/l PAC, bir behere alınan sentetik suyun içerisine atılarak çözelti halinde tek seferde reaktörün ilk bölmesine verilmiştir. 10 g/l PAC konsantrasyonunun olduğu çalışmaya ait TOK ve UV<sub>254</sub> absorbans değerleri Şekil 4.158–4.159’da gösterilmiştir. Reaktör içerisindeki TOK konsantrasyonu % 191 oranında, UV<sub>254</sub> absorbans değeri ise, % 49 oranında artmıştır.



Şekil 4.172 : TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, PAC: 10 g/l).



Şekil 4.173 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, PAC: 10 g/l).

d) PAC konsantrasyonu etkisinin karşılaştırılması

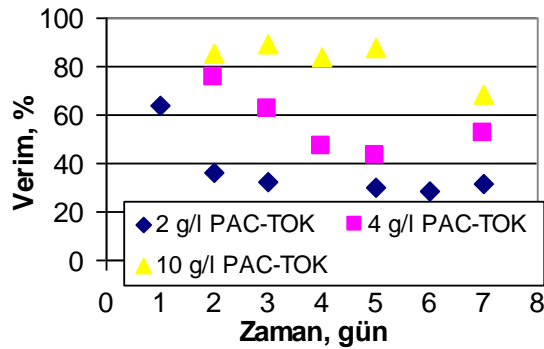
PAC konsantrasyonu etkisinin karşılaştırılması için 2, 4 ve 10 g/l PAC konsantrasyonları ile deneyler yürütülmüştür. Reaktördeki TOK ve UV<sub>254</sub> absorbans değerinin deney süresi boyunca değişimi, Çizelge 4.12’de toplu olarak verilmiştir. Buna göre, 2 ve 4 gr/l’de, adsorpsiyon kapasitesinin düşük olmasından dolayı, reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV<sub>254</sub> absorbans değerlerinde, ham su değerlerine kıyasla aşırı bir artış meydana gelmiştir. Ancak, 10 gr/l’de yapılan deneyde, artış oranı azalmıştır. TOK için 2 gr/l’de ortalama % 246’lık bir artış olurken, 10 gr/l’de artış oranı % 191 olmuştur. UV<sub>254</sub> absorbans değeri ise 2 gr/l’de ortalama % 338 artar iken, 10 gr/l’deki artış oranı ortalama % 49 olmuştur.

**Çizelge 4.12 :** Reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV<sub>254</sub> absorbans değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri (sentetik su, MF, PAC konsantrasyonu etkisi).

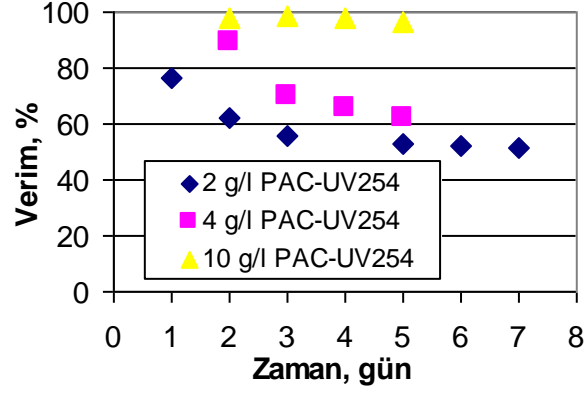
Parametre	2 g/l	4 g/l	10 g/l
TOK	246	358	191
UV <sub>254</sub>	338	153	49

Aşağıda sırasıyla TOK ve UV<sub>254</sub> absorbans giderme verimleri (Şekil 4.160-4.161) verilmiştir. PAC konsantrasyonu artışına bağlı olarak TOK ve UV<sub>254</sub> absorbans giderim verimleri artmıştır. 10 g/l PAC konsantrasyonunda % 90 civarında TOK ve % 95’in üzerinde UV<sub>254</sub> giderim verimi elde edilmiştir. Bunun nedeni, adsorpsiyon kapasitesindeki artıştır.

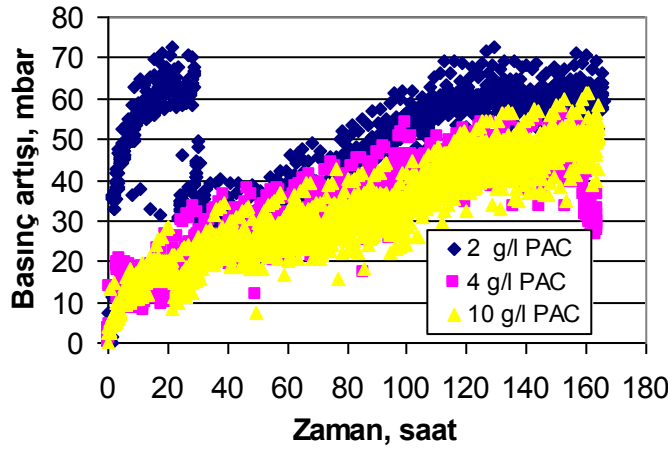
PAC konsantrasyonu etkisinin araştırıldığı deneylerde, basınç artışında çok farklılık olmamakla beraber, konsantrasyon artışıyla basınç artışı daha az olmuştur (Şekil 4.162).



**Şekil 4.174 :** TOK giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, MF, PAC konsantrasyonu etkisi).



Şekil 4.175 : UV<sub>254</sub> giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, MF, PAC konsantrasyonu etkisi).



Şekil 4.176 : Basınç değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, PAC konsantrasyonu etkisi).

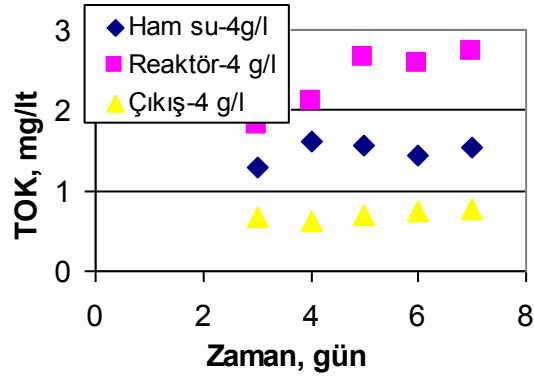
#### 4.3.2 Sentetik suda UF membranı kullanılarak yürütülen deneyler

##### 4.3.2.1 PAC konsantrasyonunun etkisi

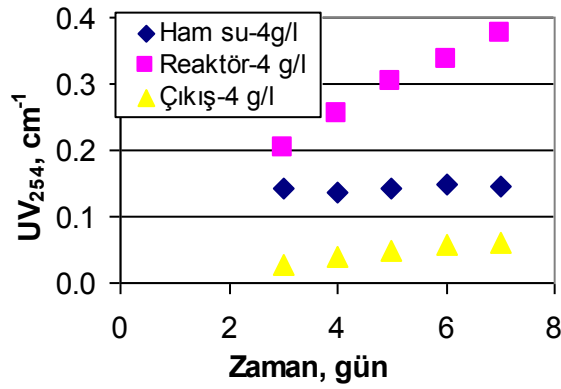
Sentetik suyun kullanıldığı UF membranı ile PAC konsantrasyonları değiştirilerek bir takım deneyler yürütülmüştür. Aşağıda sırasıyla, 4, 10 ve 40 g/l PAC konsantrasyonları için TOK ve UV<sub>254</sub> giderim değerleri ile PAC konsantrasyonu etkisinin karşılaştırılması verilmiştir.

##### a) PAC konsantrasyonu: 4 g/l

4 g/l PAC, bir behere alınan sentetik suyun içerisine atılarak çözelti halinde tek seferde reaktörün ilk bölümüne verilmiştir. 4 g/l PAC konsantrasyonunun olduğu çalışmaya ait TOK ve UV<sub>254</sub> absorbans değerleri Şekil 4.163–4.164’de gösterilmiştir. Reaktör içerisindeki TOK konsantrasyonu % 83 oranında, UV<sub>254</sub> absorbans değeri ise, % 163 oranında artmıştır.



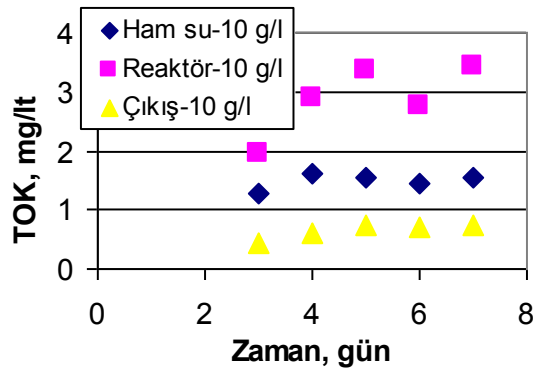
Şekil 4.177 : TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, PAC: 4 g/l).



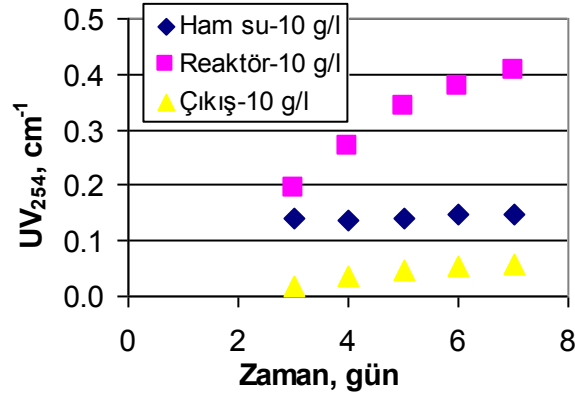
Şekil 4.178 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi

b) PAC konsantrasyonu: 10 g/l

10 g/l PAC, bir behere alınan sentetik suyun içerisine atılarak çözelti halinde tek seferde reaktörün ilk bölmesine verilmiştir. 10 g/l PAC konsantrasyonunun olduğu çalışmaya ait TOK ve UV<sub>254</sub> absorbands değerleri Şekil 4.165–4.166'da gösterilmiştir. Reaktör içerisindeki TOK konsantrasyonu % 130 oranında, UV<sub>254</sub> absorbands değeri ise, % 184 oranında artmıştır.



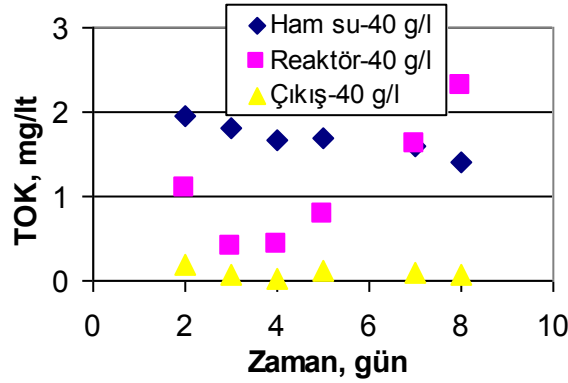
Şekil 4.179 : TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, PAC: 10 g/l).



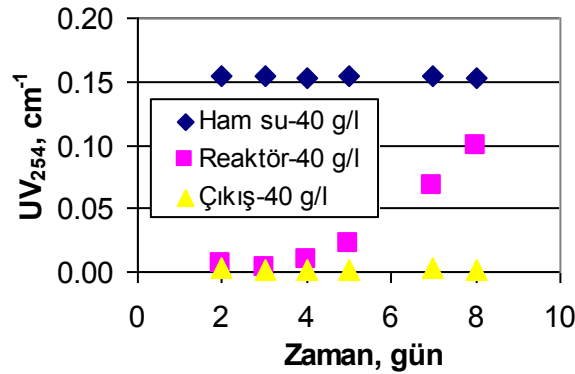
Şekil 4.180 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, PAC: 10 g/l).

c) PAC konsantrasyonu: 40 g/l

40 g/l PAC, bir behere alınan sentetik suyun içerisine atılarak çözelti halinde tek seferde reaktörün ilk bölmesine verilmiştir. 40 g/l PAC konsantrasyonunun olduğu çalışmaya ait TOK ve UV<sub>254</sub> absorbans değerleri Şekil 4.167–4.168’de gösterilmiştir. Reaktör içerisindeki TOK konsantrasyonu % 37 oranında artarken, UV<sub>254</sub> absorbans değeri ise ham su değerinin altında kalmıştır.



Şekil 4.181 : TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, PAC: 40 g/l).



Şekil 4.182 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, PAC: 40 g/l).



d) PAC konsantrasyonu etkisinin karşılaştırılması

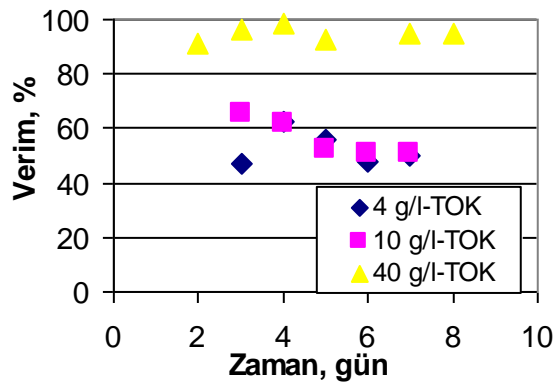
PAC konsantrasyonu etkisinin karşılaştırılması için 4, 10 ve 40 g/l PAC konsantrasyonları ile deneyler yürütülmüştür. Reaktördeki TOK ve UV<sub>254</sub> absorbans değerinin deney süresi boyunca değişimi, Çizelge 4.13’de toplu olarak verilmiştir. Buna göre, 4 ve 10 gr/l’de, adsorpsiyon kapasitesinin düşük olmasından dolayı, reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV<sub>254</sub> absorbans değerlerinde, ham su değerlerine kıyasla bir artış meydana gelmiştir. Ancak, 40 gr/l’de yapılan deneyde, TOK değerlerinde artış oranı azalmış, UV<sub>254</sub> absorbans değeri ise ham su değerinin altında kalmıştır.

**Çizelge 4.13** : Reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV<sub>254</sub> absorbans değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri (sentetik su, UF, PAC konsantrasyonu etkisi).

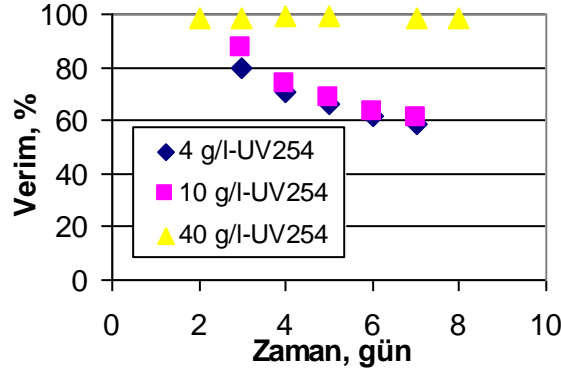
Parametre	4 g/l	10 g/l	40 g/l
TOK	83	130	37
UV <sub>254</sub>	163	184	-

Aşağıda sırasıyla TOK ve UV<sub>254</sub> absorbans giderme verimleri (Şekil 4.169–4.170) karşılaştırmaları verilmiştir. 40 g/l PAC konsantrasyonunda % 90 civarında TOK ve % 95’in üzerinde UV<sub>254</sub> giderim verimi elde edilmiştir. 4 ve 10 g/l PAC konsantrasyonlarında ise hem TOK hem de UV<sub>254</sub> giderim verimleri benzer olmuş ve zamanla azalmıştır.

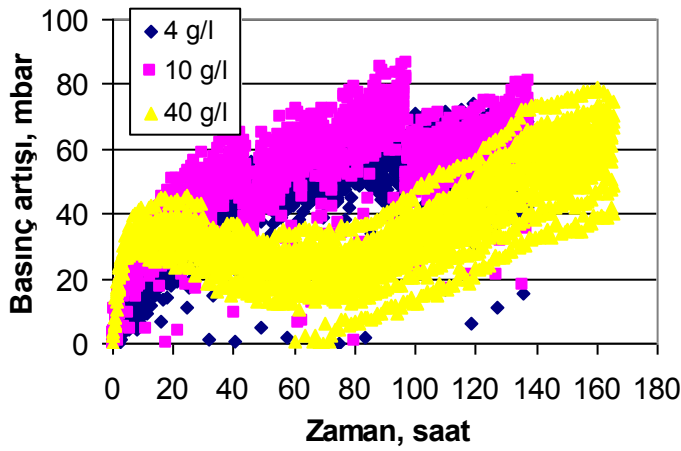
PAC konsantrasyonu etkisinin araştırıldığı deneylerde, 40 g/l PAC konsantrasyonunda basınç artışı diğer konsantrasyonlara göre başlangıçta daha az olmakla beraber, nihai değer her üç konsantrasyonda da benzer olmuştur (Şekil 4.171).



**Şekil 4.183** : TOK giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, UF, PAC konsantrasyonu etkisi).



Şekil 4.184 : UV<sub>254</sub> giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, UF, PAC konsantrasyonu etkisi).



Şekil 4.185 : Basınç değerinin zamanla değişimi (sentetik su, UF, PAC konsantrasyonu etkisi).

### 4.3.3 Göl suyu ile MF membranı kullanılarak yürütülen çalışmalar

MF membranı ile göl suyu kullanılarak deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

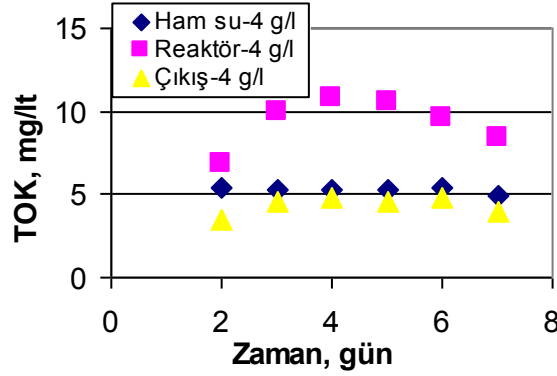
#### 4.3.3.1 PAC konsantrasyonunun etkisi

Ham suyun kullanıldığı MF membranı ile PAC konsantrasyonları değiştirilerek bir takım deneyler yürütülmüştür. Aşağıda sırasıyla, 4, 10 ve 40 g/l PAC konsantrasyonları için TOK ve UV<sub>254</sub> giderim değerleri ile PAC konsantrasyonu etkisinin karşılaştırılması verilmiştir.

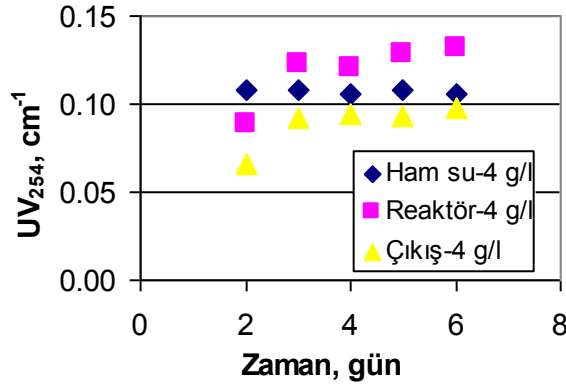
##### a) PAC konsantrasyonu: 4 g/l

4 g/l PAC, bir behere alınan göl suyunun içerisine atılarak çözelti halinde tek seferde reaktörün ilk bölmesine verilmiştir. 4 g/l PAC konsantrasyonunun olduğu çalışmaya ait TOK ve UV<sub>254</sub> absorbans değerleri Şekil 4.172–4.173'de gösterilmiştir. Reaktör içerisindeki TOK konsantrasyonu artışı deneyin ortalarında % 106 oranında olurken

bu artış deneyin sonunda % 59 oranına düşmüştür.  $UV_{254}$  absorbans değeri ise, % 29 oranında artmıştır.



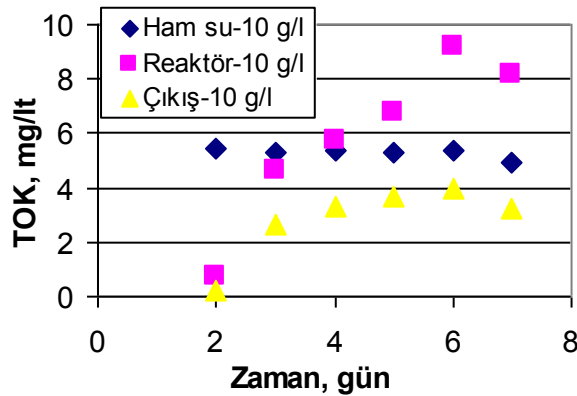
Şekil 4.186 : TOK değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, PAC: 4 g/l).



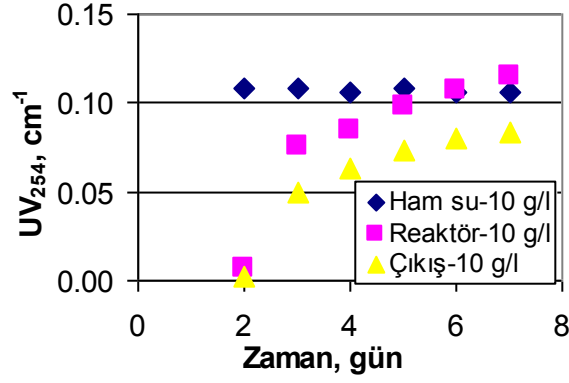
Şekil 4.187 :  $UV_{254}$  değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, PAC: 4 g/l).

b) PAC konsantrasyonu: 10 g/l

10 g/l PAC, bir behere alınan göl suyunun içerisine atılarak çözelti halinde tek seferde reaktörün ilk bölmesine verilmiştir. 10 g/l PAC konsantrasyonunun olduğu çalışmaya ait TOK ve  $UV_{254}$  absorbans değerleri Şekil 4.174–4.175'de gösterilmiştir. Reaktör içerisindeki TOK konsantrasyonu artışı % 55 oranında olurken.  $UV_{254}$  absorbans değeri ise, % 8 oranında artmıştır.



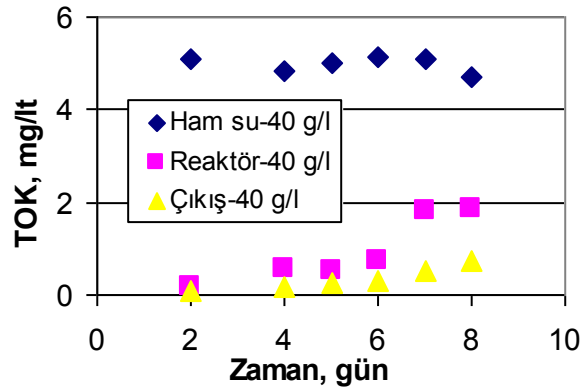
Şekil 4.188 : TOK değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, PAC: 10 g/l).



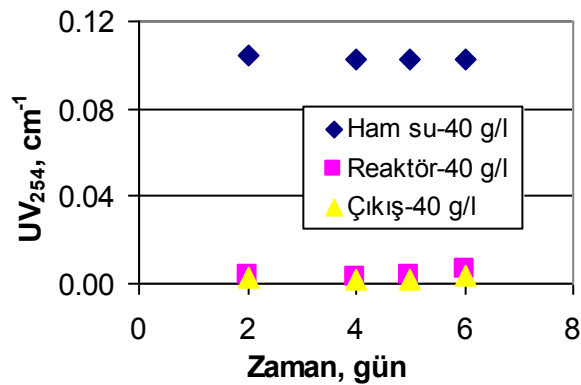
Şekil 4.189 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, PAC: 10 g/l).

c) PAC konsantrasyonu: 40 g/l

40 g/l PAC, bir behere alınan göl suyunun içerisine atılarak çözelti halinde tek seferde reaktörün ilk bölmesine verilmiştir. 40 g/l PAC konsantrasyonunun olduğu çalışmaya ait TOK ve UV<sub>254</sub> absorbans değerleri Şekil 4.176–4.177’de gösterilmiştir. Reaktör içerisindeki TOK konsantrasyonu ve UV<sub>254</sub> absorbans değeri, ham su değerlerinin altında kalmıştır.



Şekil 4.190 : TOK değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, PAC: 40 g/l).



Şekil 4.191 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, PAC: 40 g/l).

d) PAC konsantrasyonu etkisinin karşılaştırılması

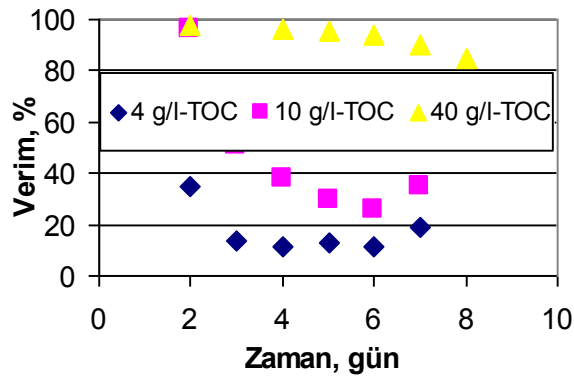
PAC konsantrasyonu etkisinin karşılaştırılması için 4, 10 ve 40 g/l PAC konsantrasyonları ile deneyler yürütülmüştür. Reaktördeki TOK ve UV<sub>254</sub> absorbans değerinin deney süresi boyunca değişimi, Çizelge 4.14’de toplu olarak verilmiştir. Buna göre, 4 gr/l’de, adsorpsiyon kapasitesinin düşük olmasından dolayı, reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV<sub>254</sub> absorbans değerlerinde, ham su değerlerine kıyasla aşırı bir meydana gelmiştir. 10 gr/l’de yapılan deneyde, artış oranı azalmış, 40 g/l’de yapılan deneyde ise TOK ve UV<sub>254</sub> absorbans değerleri ham su değerlerinin altında kalmıştır.. TOK için 4 gr/l’de ortalama % 106’lık bir artış olurken, 10 gr/l’de artış oranı % 55 olmuştur. UV<sub>254</sub> absorbans değeri ise 4 gr/l’de ortalama % 29 artarken, 10 gr/l’deki artış oranı ortalama % 8 olmuştur.

**Çizelge 4.14 :** Reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV<sub>254</sub> absorbans değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri (göl suyu, MF, PAC konsantrasyonu etkisi).

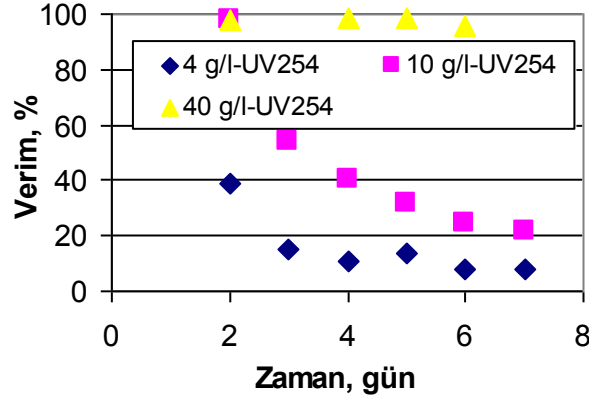
Parametre	4 g/l	10 g/l	40 g/l
TOK	106	55	-
UV <sub>254</sub>	29	8	-

Aşağıda sırasıyla TOK ve UV<sub>254</sub> absorbans giderme verimleri (Şekil 4.178-4.179) ile basınç artışı karşılaştırmaları verilmiştir. PAC konsantrasyonu artışına bağlı olarak adsorpsiyon kapasitesinin artmasından, membran tıkanıklığı azalmış, dolayısıyla en yüksek giderim verimleri 40 g/l PAC konsantrasyonunda elde edilmiştir.

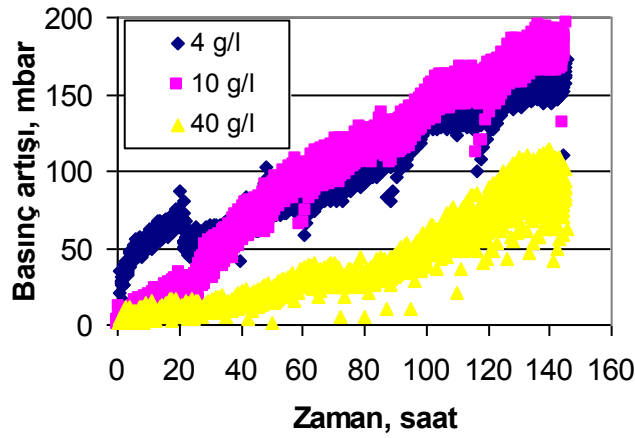
PAC konsantrasyonu etkisinin araştırıldığı deneylerde, 40 g/l PAC konsantrasyonunda basınç artışının çok az olduğu, 4 ve 10 g/l PAC konsantrasyonlarında ise basınç artışlarının benzer olduğu görülmüştür (Şekil 4.180).



**Şekil 4.192 :** TOK giderim veriminin zamanla değişimi (göl suyu, MF, PAC konsantrasyonu etkisi).



Şekil 4.193 : UV<sub>254</sub> giderim veriminin zamanla değişimi (göl suyu, MF, PAC konsantrasyonu etkisi).



Şekil 4.194 : Basınç değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, PAC konsantrasyonu etkisi).

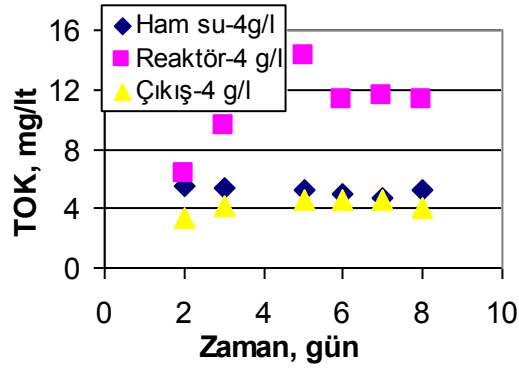
#### 4.3.4 Göl suyunda UF membranı kullanılarak yürütülen deneyler

##### 4.3.4.1 PAC konsantrasyonunun etkisi

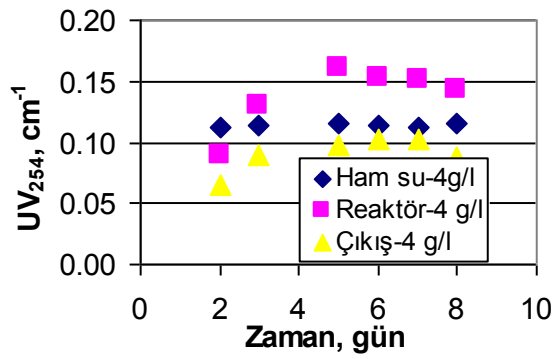
Göl suyunun kullanıldığı UF membranı ile PAC konsantrasyonları değiştirilerek bir takım deneyler yürütülmüştür. Aşağıda sırasıyla, 4, 10 ve 40 g/l PAC konsantrasyonları için TOK ve UV<sub>254</sub> giderim değerleri ile PAC konsantrasyonu etkisinin karşılaştırılması verilmiştir.

##### a) PAC konsantrasyonu: 4 g/l

4 g/l PAC, bir behere alınan göl suyunun içerisine atılarak çözelti halinde tek seferde reaktörün ilk bölmesine verilmiştir. 4 g/l PAC konsantrasyonunun olduğu çalışmaya ait TOK ve UV<sub>254</sub> absorbans değerleri Şekil 4.181–4.182'de gösterilmiştir. Reaktör içerisindeki TOK konsantrasyonu % 117 oranında artarken, UV<sub>254</sub> absorbans değeri ise % 26 oranında artmıştır.



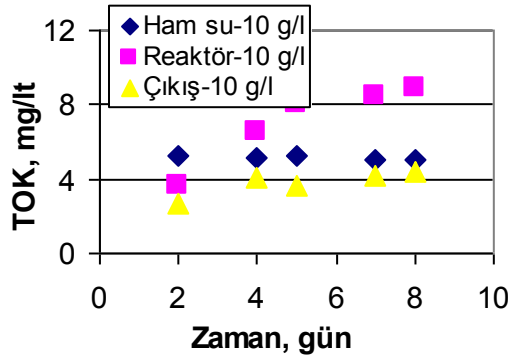
Şekil 4.195 : TOK değerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, PAC: 4 g/l).



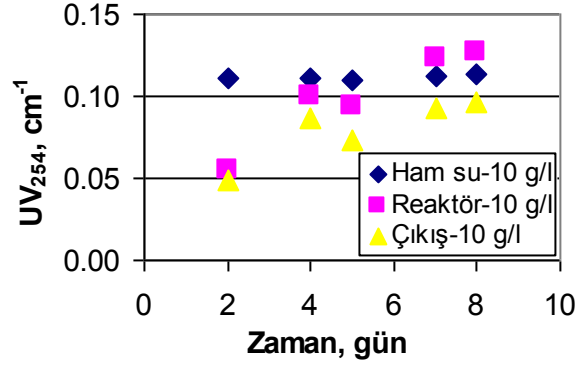
Şekil 4.196 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, PAC: 4 g/l).

b) PAC konsantrasyonu: 10 g/l

10 g/l PAC, bir behere alınan göl suyunun içerisine atılarak çözelti halinde tek seferde reaktörün ilk bölmesine verilmiştir. 10 g/l PAC konsantrasyonunun olduğu çalışmaya ait TOK ve UV<sub>254</sub> absorbans değerleri Şekil 4.183-4.184'de gösterilmiştir. Reaktör içerisindeki TOK konsantrasyonu % 73 oranında artarken, UV<sub>254</sub> absorbans değeri ise % 14 oranında artmıştır.



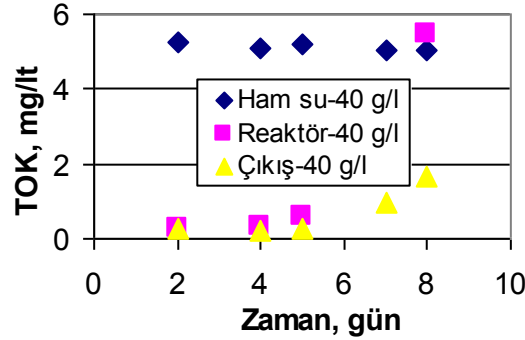
Şekil 4.197 : TOK değerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, PAC: 10 g/l).



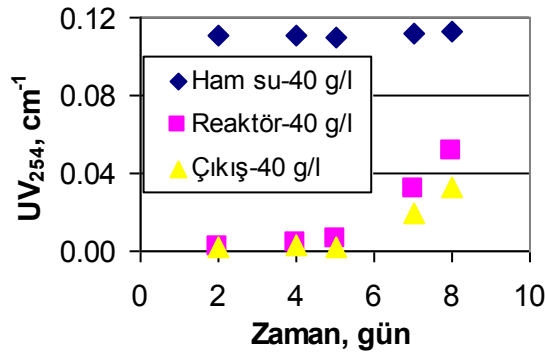
Şekil 4.198 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, PAC: 10 g/l).

c) PAC konsantrasyonu: 40 g/l

40 g/l PAC, bir behere alınan göl suyunun içerisine atılarak çözelti halinde tek seferde reaktörün ilk bölmesine verilmiştir. 40 g/l PAC konsantrasyonunun olduğu çalışmaya ait TOK ve UV<sub>254</sub> absorbans değerleri Şekil 4.185–4.186’da gösterilmiştir. Reaktör içerisindeki TOK konsantrasyonu ve UV<sub>254</sub> absorbans değeri zamanla artmakla birlikte ham su değerlerinin altında kalmıştır.



Şekil 4.199 : TOK değerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, PAC: 40 g/l).



Şekil 4.200 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, PAC: 40 g/l).



*d) PAC konsantrasyonu etkisinin karşılaştırılması*

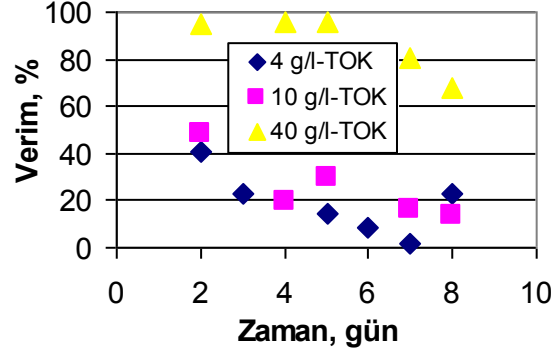
PAC konsantrasyonu etkisinin karşılaştırılması için 4, 10 ve 40 g/l PAC konsantrasyonları ile deneyler yürütülmüştür. Reaktördeki TOK ve UV<sub>254</sub> absorbans değerinin deney süresi boyunca değişimi, Çizelge 4.15’de toplu olarak verilmiştir. Buna göre, 4 gr/l’de, adsorpsiyon kapasitesinin düşük olmasından dolayı, reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV<sub>254</sub> absorbans değerlerinde, ham su değerlerine kıyasla bir artış meydana gelmiştir. Ancak, 10 gr/l’de yapılan deneyde, artış oranı azalmıştır. 40 g/l’de ise TOK ve UV<sub>254</sub> absorbans değerleri ham su değerlerinin altında kalmıştır. TOK için 4 gr/l’de ortalama % 117’lik bir artış olurken, 10 gr/l’de artış oranı % 14 olmuştur. UV<sub>254</sub> absorbans değeri ise 4 gr/l’de ortalama % 26 artarken, 10 gr/l’deki artış oranı ortalama % 14 olmuştur.

**Çizelge 4.15 :** Reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV<sub>254</sub> absorbans değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri (göl suyu, UF, PAC konsantrasyonu etkisi).

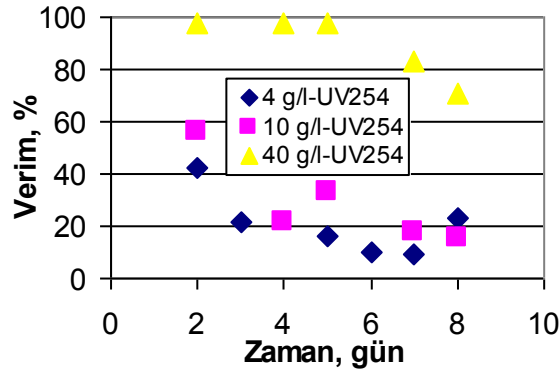
Parametre	4 g/l	10 g/l	40 g/l
TOK	117	73	-
UV <sub>254</sub>	26	14	-

Aşağıda sırasıyla TOK ve UV<sub>254</sub> absorbans giderme verimleri (Şekil 4.187–4.188) ile basınç artışı karşılaştırmaları verilmiştir. PAC konsantrasyonu artışına bağlı olarak adsorpsiyon kapasitesinin artmasından, membran tıkanıklığı azalmış, dolayısıyla en yüksek giderim verimleri 40 g/l PAC konsantrasyonunda elde edilmiştir.

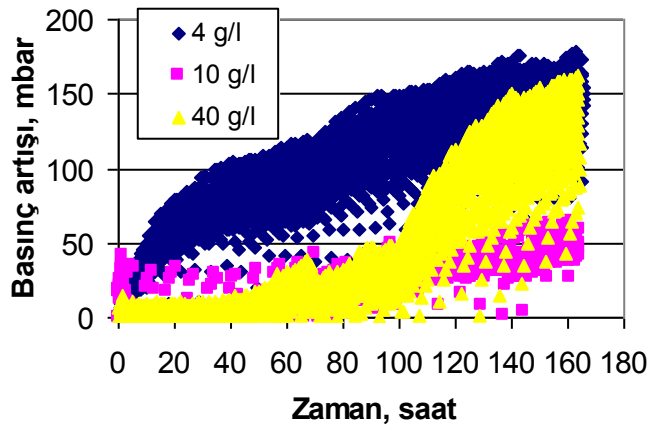
PAC konsantrasyonlarının, basınç artışı üzerine etkisi ise Şekil 4.189’da gösterilmiştir. 10 ve 40 gr/l PAC konsantrasyonlarında, basınç artışı, 4 gr/l’ye göre daha düşük olmuştur. 4. günden sonra, 40 gr/l PAC konsantrasyonunda bilinmeyen bir nedenden dolayı basınçta artış dolayısıyla verimde düşme görülmüştür. Bu durumun, membran gözeneklerinin tıkanmasından dolayı kaynaklandığı tahmin edilmektedir.



Şekil 4.201 : TOK giderim veriminin zamanla değişimi (göl suyu, UF, PAC konsantrasyonu etkisi).



Şekil 4.202 : UV<sub>254</sub> giderim veriminin zamanla değişimi (göl suyu, UF, PAC konsantrasyonu etkisi).



Şekil 4.203 : Basınç değerinin zamanla değişimi (göl suyu, UF, PAC konsantrasyonu etkisi).

#### 4.4 Ses Dalgası Çalışmaları

Membran tıkanıklığını azaltmak için uygulanan diğer bir yöntem ise ses dalgasının kullanımınıdır.

##### 4.4.1 Sentetik suda MF membranı kullanılarak yürütülen çalışmalar

DeneySEL çalışmalar, MF membranı kullanılarak yürütülmüştür.

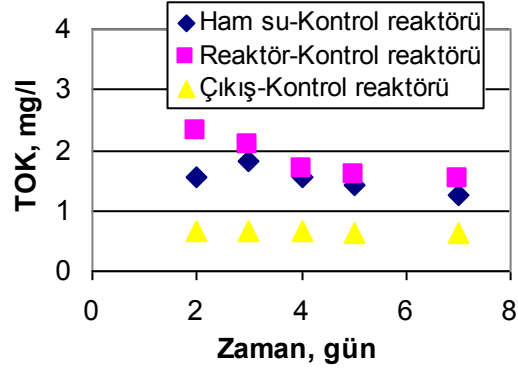
#### 4.4.1.1 Ses dalgası kullanımının karşılaştırılması

Ses dalgasının olmadığı (kontrol deneyi) ve ses dalgasının 3 sn süreyle çalışıp 5 sn durması şeklindeki çalışma sistemi ile gerçekleştirilen deneylere ait TOK (Şekil 4.190–4.191) ve  $UV_{254}$  absorbans değerleri (Şekil 4.192–4.193) aşağıda sırasıyla gösterilmiştir. Çizelge 4.16’da ise reaktörlerdeki TOK konsantrasyonu ve  $UV_{254}$  absorbans değeri artış yüzdeleri verilmiştir. Ses dalgası kullanımı ile reaktör içerisindeki TOK konsantrasyonu % 209 oranında artarken,  $UV_{254}$  absorbans değeri ise % 146 oranında artmıştır. Ses dalgasının kullanılmaması durumunda ise reaktör içi TOK konsantrasyonu ham su değerinden biraz fazla olmakla birlikte zamanla azalmıştır.

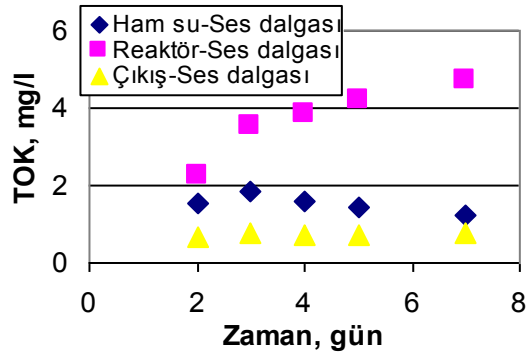
**Çizelge 4.16 :** Reaktördeki TOK konsantrasyonu ve  $UV_{254}$  absorbans değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri (göl suyu, UF, PAC konsantrasyonu etkisi).

Parametre	Kontrol deneyi	Ses dalgası
TOK	-	209
$UV_{254}$	-	146

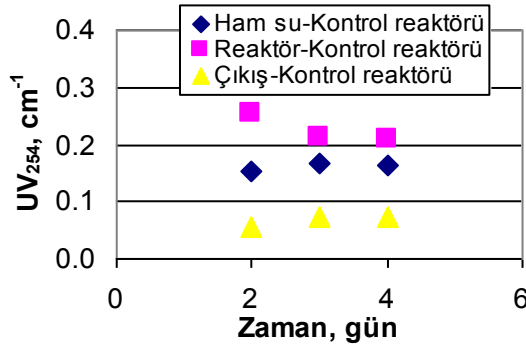
TOK ve  $UV_{254}$  giderim verimlerine bakıldığında (Şekil 4.194–4.195), ses dalgası kullanımı ile daha kötü sonuç elde edildiği görülmüştür. Bunun sebebi, ses dalgaları ile parçalanmış organik maddelerin moleküler yapısındaki küçülmeden olduğu tahmin edilmektedir. Parçalanmış ve moleküler yapısı küçülen organik madde MF membranı gözeneklerinden geçmiş ve bu durum verimi düşürmüştür. Ses dalgası kullanımının basınç üzerine etkisine bakıldığında (Şekil 4.196), kontrol deneyine göre daha az bir basınç artışı elde edildiği görülmüştür. Bunun sebebinin de, daha öncede belirtildiği üzere organik maddelerin moleküler yapısındaki küçülmeden olduğu tahmin edilmektedir. Moleküler yapısı küçülen ve membrandan geçen organik maddeler, membran yüzeyinden daha az birikmiş ve basınç artışını azaltmıştır.



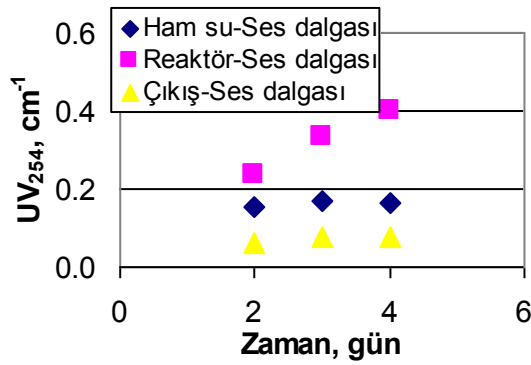
Şekil 4.204 : TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, kontrol reaktörü).



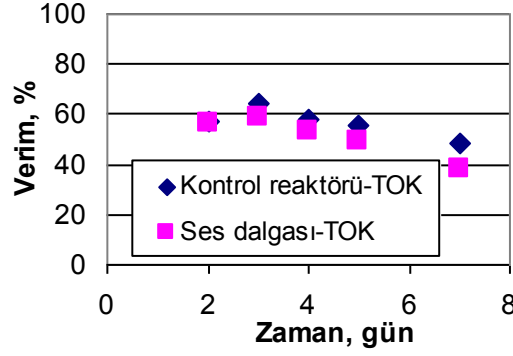
Şekil 4.205 : TOK değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, ses dalgası: kesikli).



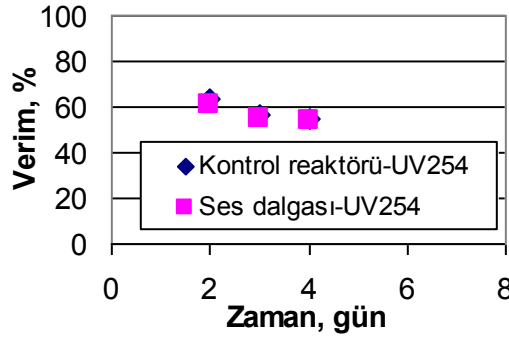
Şekil 4.206 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, kontrol reaktörü).



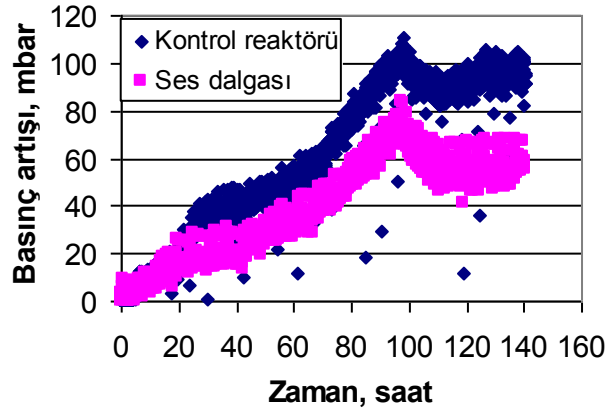
Şekil 4.207 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, ses dalgası: kesikli).



Şekil 4.208 : TOK giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, MF, ses dalgası etkisi).



Şekil 4.209 : UV<sub>254</sub> giderim veriminin zamanla değişimi (sentetik su, MF, ses dalgası etkisi).



Şekil 4.210 : Basınç değerinin zamanla değişimi (sentetik su, MF, ses dalgası etkisi).

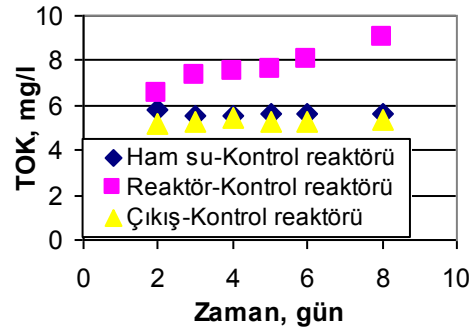
#### 4.4.2 Göl suyu ile MF membranı kullanılarak yürütülen çalışmalar

Göl suyunun kullanıldığı MF membranı ile ses dalgası kullanımının membran tıkanıklığına etkisi araştırılmıştır.

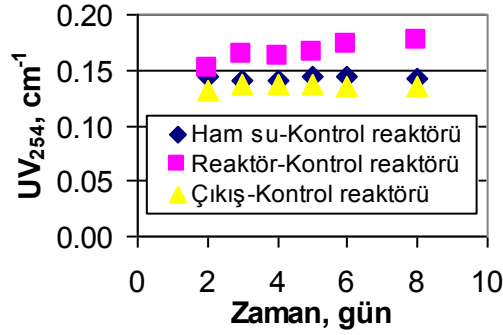
##### 4.4.2.1 Ses dalgası süresinin etkisi

Ses dalgasının olmadığı (kontrol deneyi) deneye ait TOK ve UV<sub>254</sub> absorbans değerleri sırasıyla Şekil 4.197–4.198'de gösterilmiştir. Ses dalgasının kullanılmadığı

durumda reaktör içi TOK konsantrasyonu artış oranının % 61 ve  $UV_{254}$  absorbans değeri artış oranının % 24 olduğu görülmüştür.



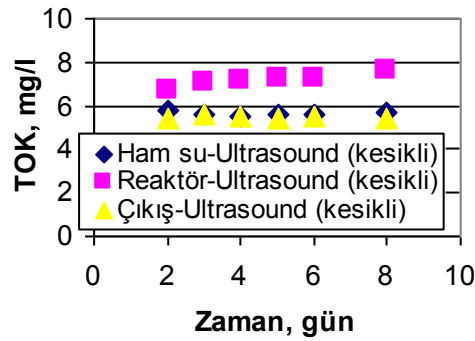
Şekil 4.211 : TOK değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, kontrol reaktörü).



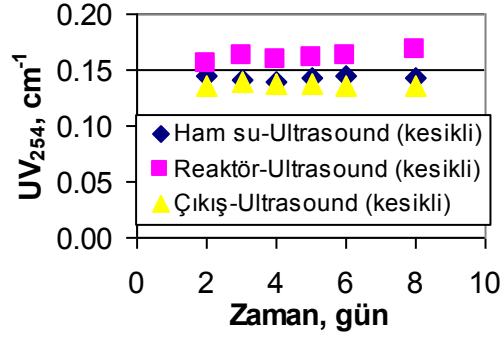
Şekil 4.212 :  $UV_{254}$  değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, kontrol reaktörü).

#### a) Ses dalgasının kesikli çalıştırılması

Ses dalgasının 3 sn çalışıp 5 sn durması şeklinde yürütülen deneye ait TOK ve  $UV_{254}$  absorbans değerleri sırasıyla Şekil 4.199–4.200'de gösterilmiştir. Ses dalgasının kesikli çalıştırılması durumunda reaktör içi TOK konsantrasyonu artış oranının % 36 ve  $UV_{254}$  absorbans değeri artış oranının % 16 olduğu görülmüştür.



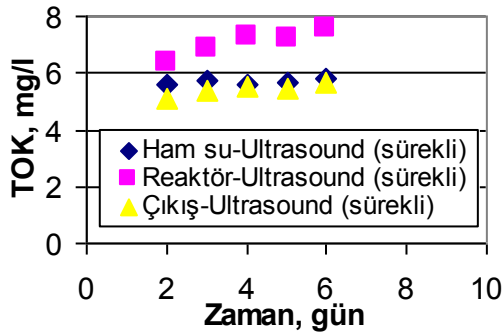
Şekil 4.213 : TOK değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, ses dalgası: kesikli).



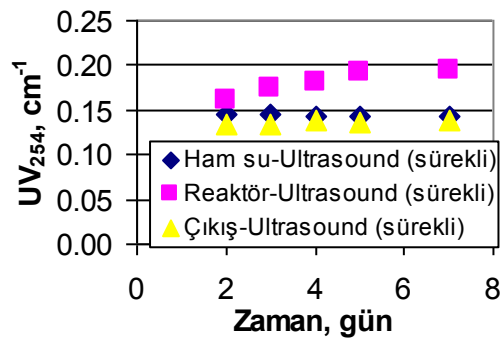
Şekil 4.214 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, ses dalgası: kesikli).

*b) Ses dalgasının sürekli çalıştırılması*

Ses dalgasının sürekli çalıştırılması şeklinde yürütülen deneye ait TOK ve UV<sub>254</sub> absorbans değerleri sırasıyla Şekil 4.201–4.202’de gösterilmiştir. Ses dalgasının sürekli çalıştırılmasıyla reaktör içi TOK konsantrasyonu % 33 ve UV<sub>254</sub> absorbans değeri % 35 oranında artmıştır.



Şekil 4.215 : TOK değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, ses dalgası: sürekli).



Şekil 4.216 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, ses dalgası: sürekli).

*c) Ses dalgası süresi etkisinin karşılaştırılması*

Ses dalgası süresi etkisinin karşılaştırılmak için ses dalgasının kullanılmadığı ve kesikli ile sürekli çalıştırıldığı durumlarda deneyler yürütülmüştür. Çizelge 4.17’de reaktörlerdeki TOK konsantrasyonu ve UV<sub>254</sub> absorbans değeri artış yüzdeleri

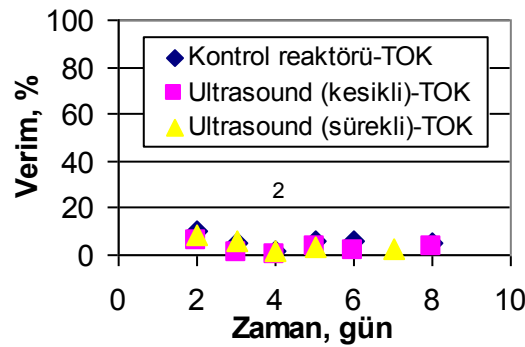
verilmiştir. Buna göre, ses dalgasının çalıştırılma süresine bağlı olarak reaktör içi TOK ve  $UV_{254}$  absorbans değerleri artmıştır. UV ışığının kullanılmaması durumunda reaktör içi TOK artışı % 61 olurken, sürekli çalıştırılması ile bu değer % 33'e düşmüştür.

**Çizelge 4.17 :** Reaktördeki TOK konsantrasyonu ve  $UV_{254}$  absorbans değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri (göl suyu, MF, ses dalgası süresinin etkisi).

Parametre	Kontrol deneyi	Kesikli	Sürekli
TOK	61	36	33
$UV_{254}$	24	16	35

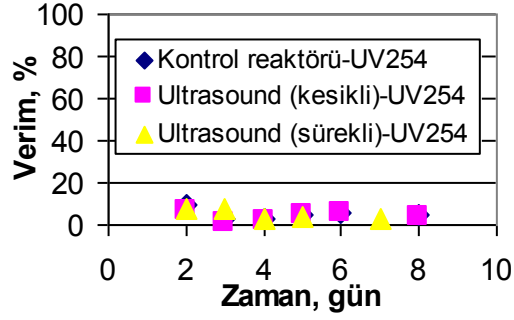
Aşağıda sırasıyla TOK ve  $UV_{254}$  absorbans giderme verimleri (Şekil 4.203–4.204) ile basınç artışı (Şekil 4.205) karşılaştırmaları verilmiştir. Göl suyu ile yürütülen çalışmalarda, ses dalgasının giderim verimi üzerine herhangi bir etkisi görülmemiştir. Her üç deneyde de TOK ve  $UV_{254}$  absorbans giderim verimleri % 10'un altında kalmıştır. Düşük giderme verimleri, göl suyunda bulunan organik madde karakterizasyonundan kaynaklandığı tahmin edilmektedir.

Şekil 4.205'de görüldüğü gibi ses dalgası kullanımının artmasıyla basınç artışı da artmıştır. Burada, giderme verimi değerlerinde de elde edildiği üzere fazla bir değişiklik beklenmemekteydi. Kesikli ve sürekli deneylerde de görüldüğü üzere, basınç artışıdaki değişim çok az olmuştur.

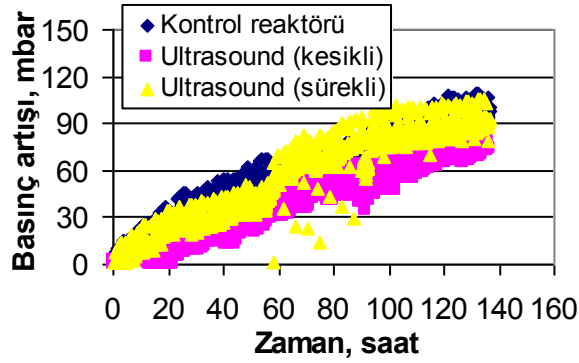


**Şekil 4.217 :** TOK giderim veriminin zamanla değişimi (göl suyu, MF, ses dalgası süresinin etkisi).





Şekil 4.218 : UV<sub>254</sub> giderim veriminin zamanla değişimi (göl suyu, MF, ses dalgası süresinin etkisi).

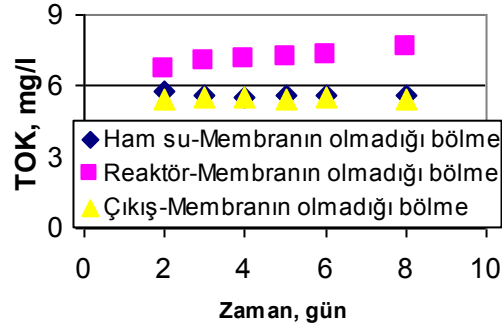


Şekil 4.219 : Basınç değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, ses dalgası süresinin etkisi).

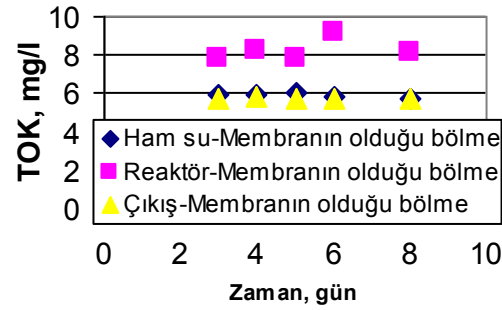
#### 4.4.2.2 Farklı bölmelerde ses dalgası kullanımının karşılaştırılması

Ses dalgasının membranın olmadığı ve olduğu bölmede (reaktör iki bölmeden oluşmaktadır ve membran ikinci bölmede bulunmaktadır.) kullanılması şeklindeki çalışma sistemi ile gerçekleştirilen deneylere ait TOK (Şekil 3.144-3.145) ve UV<sub>254</sub> absorbans değerleri (Şekil 3.146-3.147) aşağıda sırasıyla gösterilmiştir. Ses dalgasının membranın olmadığı bölmede kullanılması ile reaktör içerisindeki TOK konsantrasyonu % 36 oranında artarken, UV<sub>254</sub> absorbans değeri ise % 17 oranında artmıştır. Membranın olduğu bölmede kullanılmaması durumunda ise reaktör içi TOK konsantrasyonu % 38 oranında artarken, UV<sub>254</sub> absorbans değeri ise % 54 oranında artmıştır. Ses dalgasının farklı bölmelerde kullanılmasının TOK ve UV<sub>254</sub> giderim verimleri üzerine herhangi bir etkisi görülmemiştir (Şekil 3.148-3.149). Ses dalgasının farklı bölmelerde kullanılmasının basınç üzerine etkisine bakıldığında (Şekil 3.150), membranın olduğu bölmede basınç artışı daha yüksek olmuştur. Ses dalgasının membranın olmadığı bölmede kullanılması durumunda, organik maddenin parçalanıp ikinci bölmeye geçmesi ile membranın daha az tıkanıp, membranın olduğu bölmede kullanılması durumunda ise, ses dalgası bir ön arıtma olarak görev

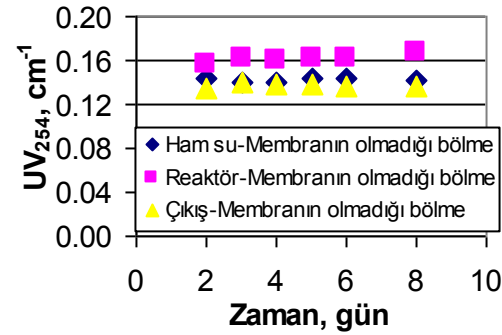
yapamadığından, organik maddenin parçalanmadığı ve membranın daha fazla tıkanacağı düşünülmektedir.



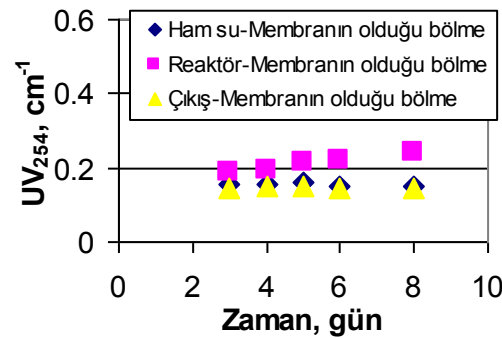
Şekil 4.220 : TOK değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, membranın olmadığı bölme).



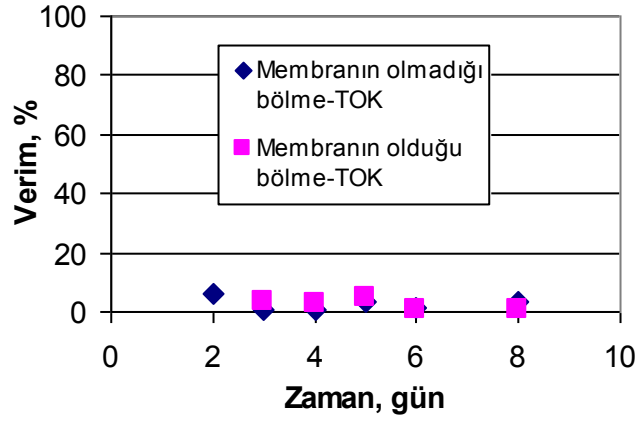
Şekil 4.221 : TOK değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, membranın olduğu bölme).



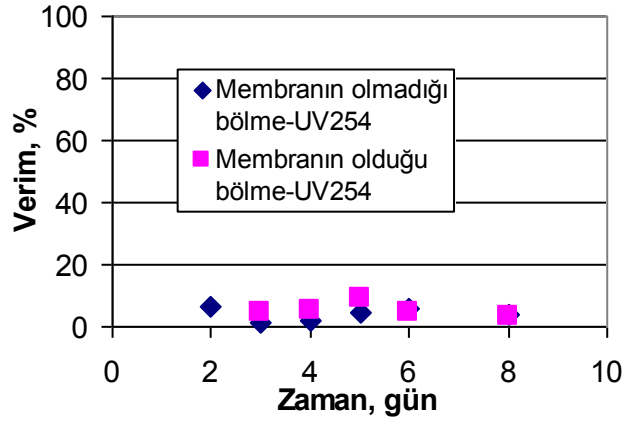
Şekil 4.222 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, membranın olmadığı bölme).



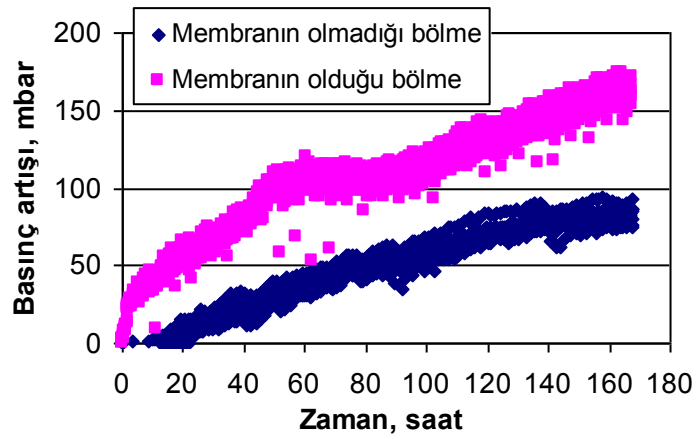
Şekil 4.223 : UV<sub>254</sub> değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, membranın olduğu bölme).



Şekil 4.224 : TOK giderim verimlerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, membran yerinin etkisi).



Şekil 4.225 :  $UV_{254}$  değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, membran yerinin etkisi).



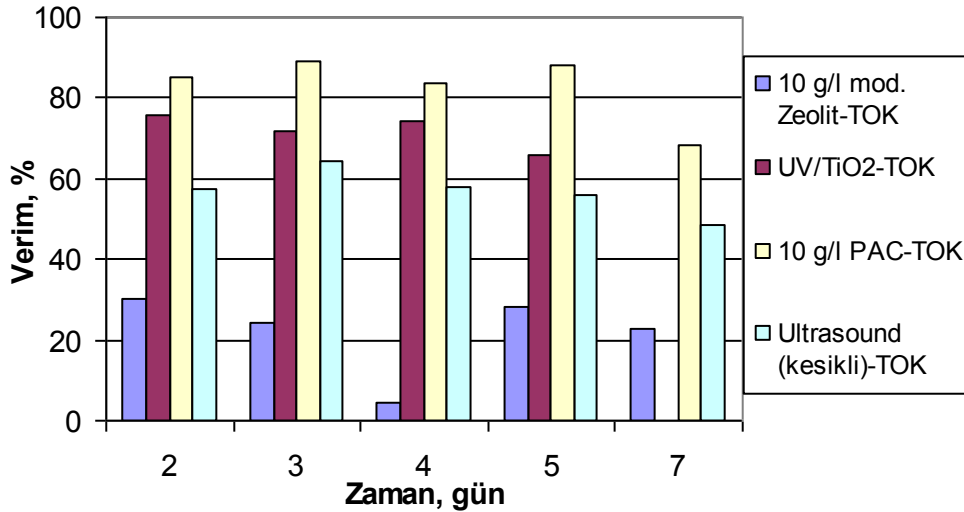
Şekil 4.226 : Basınç değerinin zamanla değişimi (göl suyu, MF, membran yerinin etkisi).

## 4.5 Membran Tıkanıklığını Azaltmak İçin Kullanılan Farklı Yöntemlerin Karşılaştırmaları

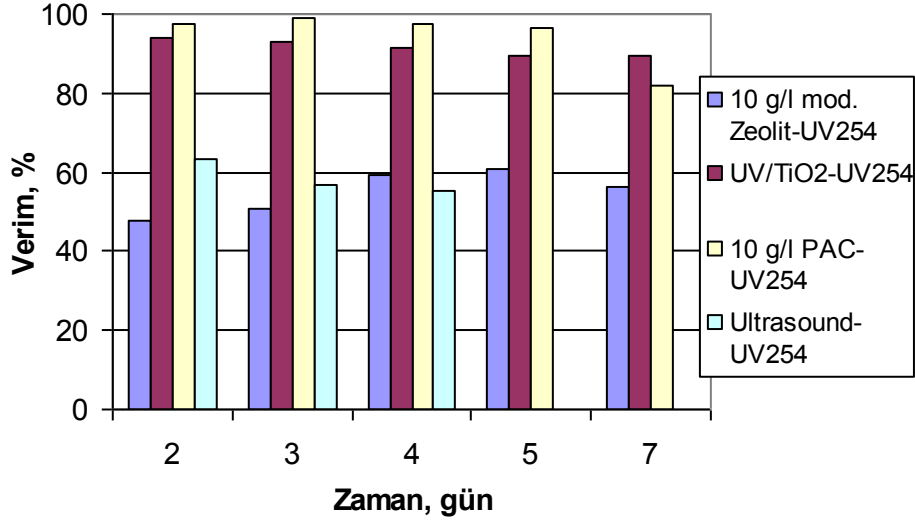
Bu bölümde, batık membran sisteminde, membran tıkanıklığının azaltılması için kullanılan yöntemlerin TOK ve  $UV_{254}$  absorbans giderim verimleri ile basınç artışına etkisi açısından karşılaştırmaları verilmiştir.

### 4.5.1 Sentetik su kullanılarak yürütülen MF Membran deneylerinde membran tıkanıklığını azaltmak için kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması

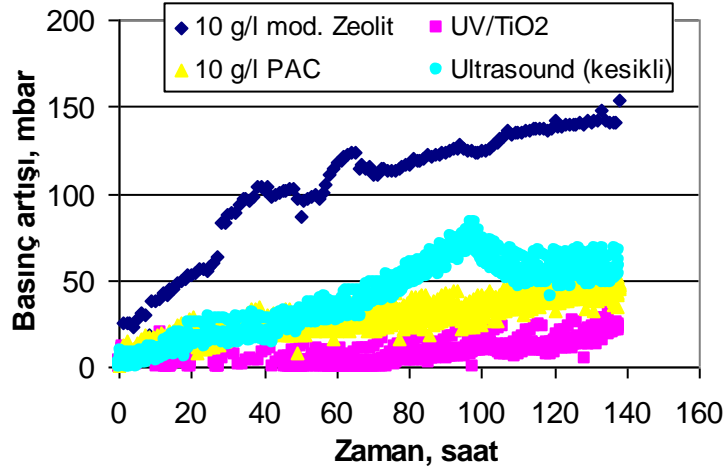
Aşağıda sırayla, sentetik su ile yürütülen çalışmalardaki farklı yöntemlerin TOK giderimine (Şekil 4.206),  $UV_{254}$  absorbans giderimine (Şekil 4.207) ve basınç artışına (Şekil 4.208) etkileri gösterilmiştir. TOK ve  $UV_{254}$  absorbans giderimi açısından en iyi sonuç 10 g/l toz aktif karbon kullanımı ile elde edilmiştir. UV/ $TiO_2$  kullanımıyla elde edilen sonuçların da toz aktif karbon sonuçlarına yakın olduğu görülmektedir. Basınç artışı en az UV/ $TiO_2$  kullanımıyla gerçekleşmiş olup, toz aktif karbon çalışması ile de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Zeolit kullanımının hem verim değerleri hem de basınç artışına etkisi bakımından diğer yöntemlere göre en kötü sonucu verdiği görülmüştür.



Şekil 4.227 : Membran tıkanıklığını azaltmak için kullanılan yöntemlerin TOK giderim verimi açısından karşılaştırması (sentetik su, MF).



**Şekil 4.228 :** Membran tıkanıklığını azaltmak için kullanılan yöntemlerin  $UV_{254}$  giderim verimi açısından karşılaştırması (sentetik su, MF).

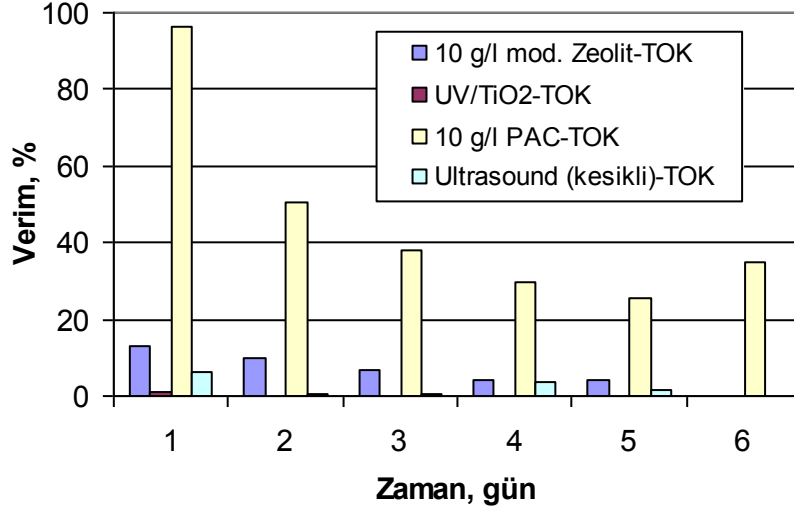


**Şekil 4.229 :** Membran tıkanıklığını azaltmak için kullanılan yöntemlerin basınç artışına etkisi açısından karşılaştırması (sentetik su, MF).

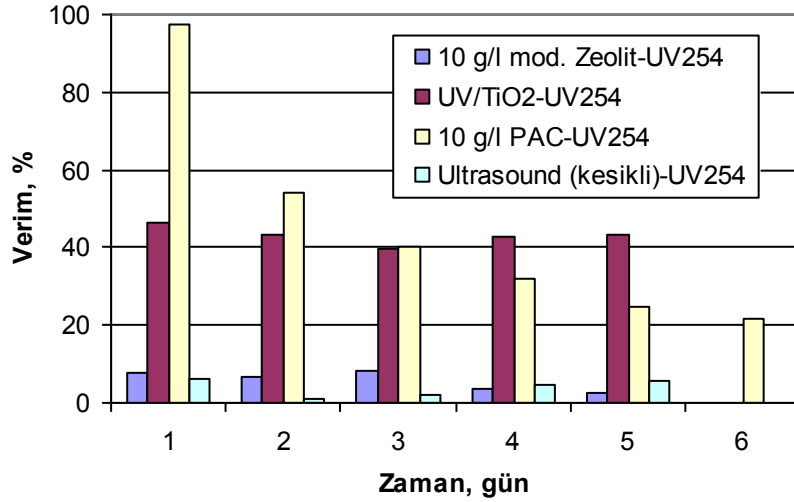
#### 4.5.2 Göl suyu kullanılarak yürütülen MF membran deneylerinde membran tıkanıklığını azaltmak için kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması

Aşağıda sırayla, ham su ile yürütülen çalışmalardaki farklı yöntemlerin TOK giderimine (Şekil 4.209),  $UV_{254}$  absorbans giderimine (Şekil 4.210) ve basınç artışına (Şekil 4.211) etkileri gösterilmiştir. TOK ve  $UV_{254}$  absorbans giderimi açısından en iyi sonuç 10 g/l toz aktif karbon kullanımı ile elde edilmiştir. Sentetik suda elde edilen sonuç aksine  $UV/TiO_2$  kullanımının, göl suyunun farklı organik madde içeriği nedeniyle özellikle TOK giderim verimi açısından bir etkisi görülmemiştir. Daha çok alifatik maddelerin giderimini temsil eden  $UV_{254}$  absorbans giderim verimi ise % 40'larda olmuştur. Ses dalgası ve zeolit ile yürütülen çalışmalarda da organik madde

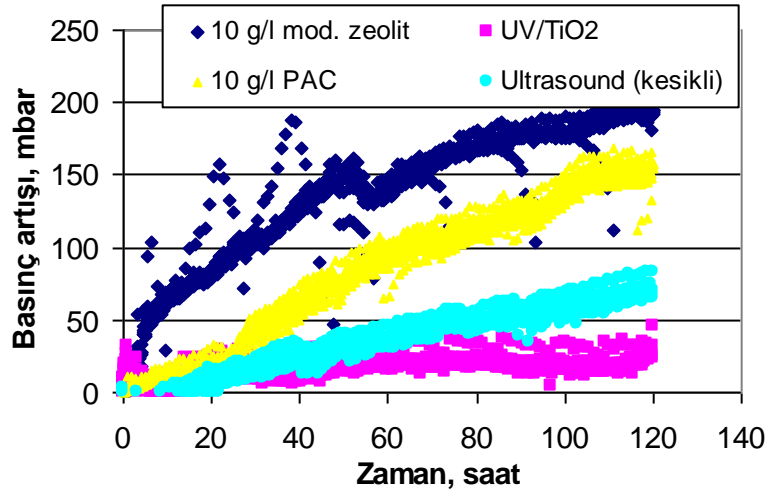
giderimi çok az olmuştur. Basınç artışına bakıldığında, en iyi sonucu UV/TiO<sub>2</sub> kullanımının verdiği, bununla beraber ses dalgası kullanımının da basınç artışını en az etkileyen yöntemlerden biri olduğu görülmüştür.



Şekil 4.230 : Membran tıkanıklığını azaltmak için kullanılan yöntemlerin TOK giderim verimi açısından karşılaştırması (göl suyu, MF).



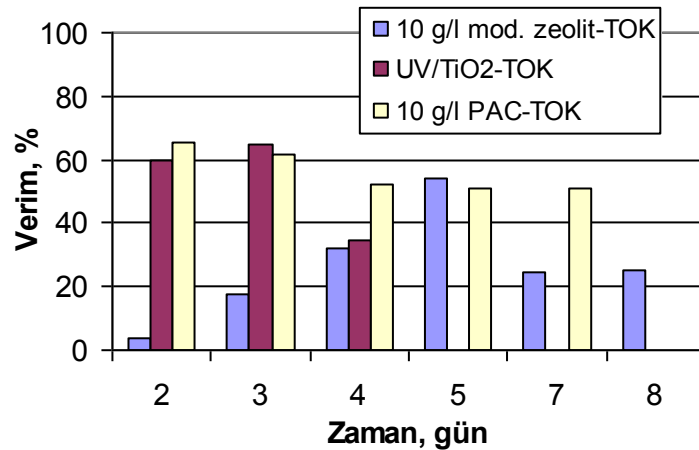
Şekil 4.231 : Membran tıkanıklığını azaltmak için kullanılan yöntemlerin UV<sub>254</sub> giderim verimi açısından karşılaştırması (göl suyu, MF).



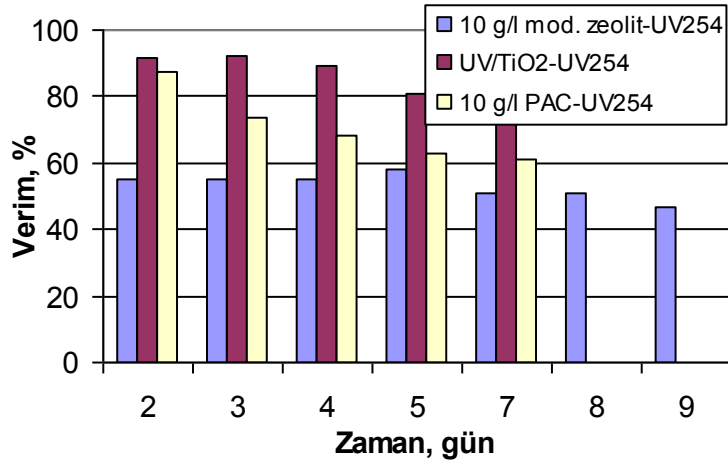
Şekil 4.232 : Basınç artışına etkisi açısından karşılaştırması (göl suyu, MF).

#### 4.5.3 Sentetik su kullanılarak yürütülen UF membran deneylerinde membran tıkanıklığını azaltmak için kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması

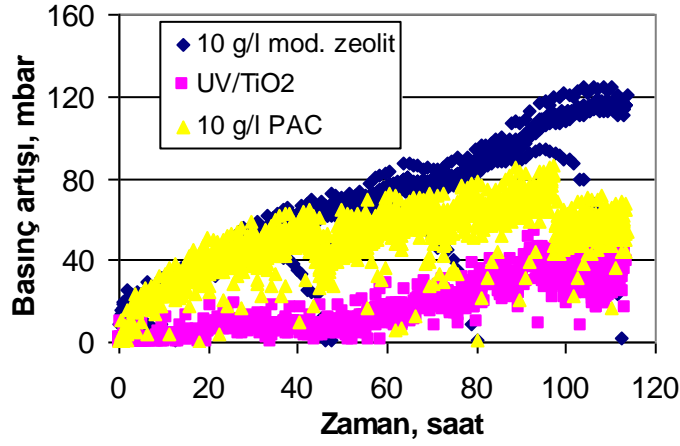
Aşağıda sırayla, sentetik su ile yürütülen çalışmalardaki farklı yöntemlerin TOK giderimine (Şekil 4.212),  $UV_{254}$  absorbans giderimine (Şekil 4.213) ve basınç artışına (Şekil 4.214) etkileri gösterilmiştir. TOK giderimi açısından en iyi sonuç 10 g/l toz aktif karbon kullanımı ile elde edilmiş olup, UV/TiO<sub>2</sub> kullanımıyla da yakın sonuçlar görülmüştür.  $UV_{254}$  gideriminde ise UV/TiO<sub>2</sub> yöntemiyle, toz aktif karbon kullanımına göre biraz daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Zeolit kullanımı ile  $UV_{254}$  giderim verimi ortalama olarak % 50 civarlarında değişmiştir. Basınç artışı, UV/TiO<sub>2</sub> kullanımı ile daha az artmakla birlikte nihai olarak toz aktif karbon çalışmalarındaki sonuçlarla yakın değerler elde edilmiştir.



Şekil 4.233 : Membran tıkanıklığını azaltmak için kullanılan yöntemlerin TOK giderim verimi açısından karşılaştırması (sentetik su, UF).



Şekil 4.234 : Membran tıkanıklığını azaltmak için kullanılan yöntemlerin UV<sub>254</sub> giderim verimi açısından karşılaştırması (sentetik su, UF).

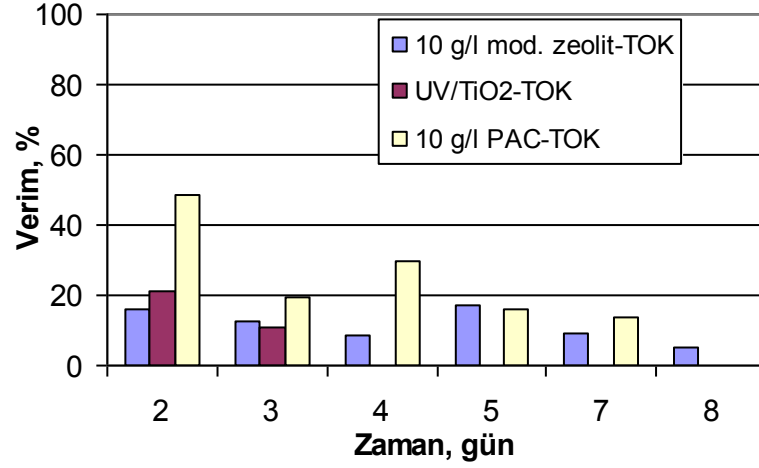


Şekil 4.235 : Membran tıkanıklığını azaltmak için kullanılan yöntemlerin basınç artışına etkisi açısından karşılaştırması (sentetik su, UF).

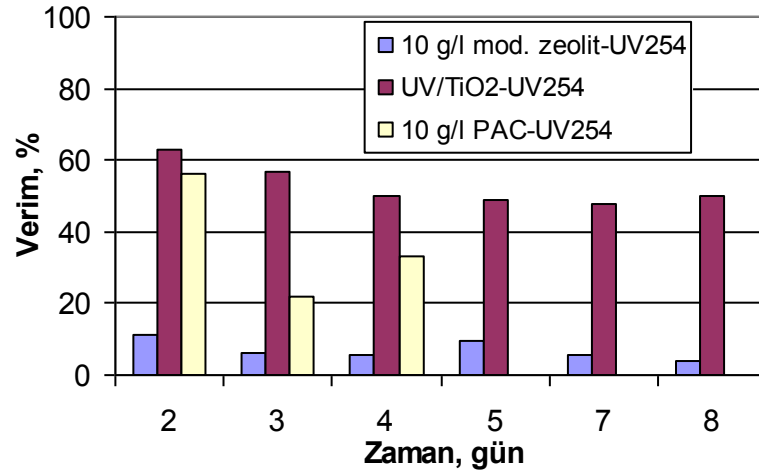
#### 4.5.4 Göl suyu kullanılarak yürütülen UF membran deneylerinde membran tıkanıklığını azaltmak için kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması

Aşağıda sırayla, göl suyu ile yürütülen çalışmalardaki farklı yöntemlerin TOK giderimine (Şekil 4.215), UV<sub>254</sub> absorbans giderimine (Şekil 4.216) ve basınç artışına (Şekil 4.217) etkileri gösterilmiştir. TOK giderimi açısından en iyi sonuç 10 g/l toz aktif karbon kullanımı ile elde edilmiştir. UV<sub>254</sub> giderimi açısından ise, UV/TiO<sub>2</sub> yönteminin daha etkin olduğu görülmüştür. Göl suyunda, zeolit kullanımının giderim verimleri açısından fazla etkisi olmamıştır. Basınç artışına etkisi açısından ise yine en iyi sonucu toz aktif karbonun verdiği görülmüştür.

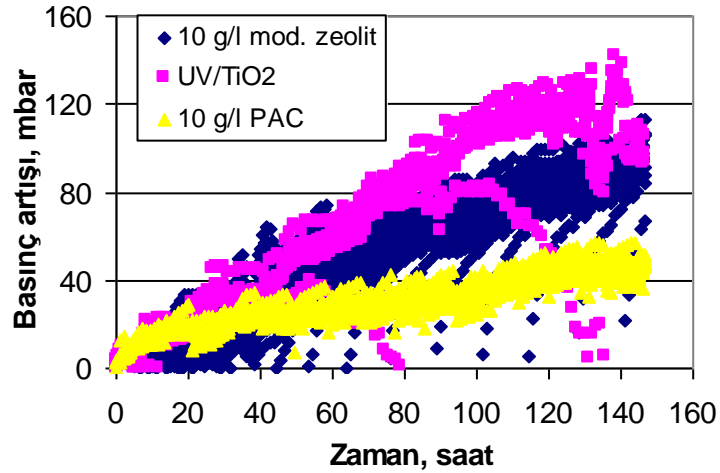




Şekil 4.236 : Membran tıkanıklığını azaltmak için kullanılan yöntemlerin TOK giderim verimi açısından karşılaştırması (göl suyu, UF).



Şekil 4.237 : Membran tıkanıklığını azaltmak için kullanılan yöntemlerin UV<sub>254</sub> giderim verimi açısından karşılaştırması (göl suyu, UF).



Şekil 4.238 : Membran tıkanıklığını azaltmak için kullanılan yöntemlerin basınç artışına etkisi açısından karşılaştırması (göl suyu, UF).



## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Membran tıkanıklığını azaltmak amacıyla; modifiye edilmiş zeolit, UV/TiO<sub>2</sub>, toz aktif karbon ve ses dalgaları ile batık membran sisteminde ayrı ayrı deneyler yürütülmüş, TOK ve UV<sub>254</sub> giderim verimleri ile vakum basıncındaki artışa bağlı olarak bu yöntemlerin membran tıkanıklığına etkileri incelenmiştir. Bu çalışmalar neticesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

### 5.1 Zeolit Çalışmaları

Zeolit ile yürütülen çalışmalarda öncelikle doğal zeolit ve modifiye zeolit karşılaştırması yapılmış olup, modifiye zeolitin özellikle basınç artışına etkisi açısından doğal zeolite göre daha iyi sonuç vermesi nedeniyle modifiye zeolit kullanılmasının uygun olduğuna karar verilmiştir. Sentetik su kullanılarak gerçekleştirilen deneylerde modifiye zeolit konsantrasyonunun arttırılması ile vakum basıncındaki artışta daha iyi sonuçlar elde edilmiş, ancak maliyeti de göz önüne alındığında 10 g/l modifiye zeolit kullanımının optimum değer olduğu sonucuna ulaşılmış ve bu konsantrasyon sabit tutularak farklı organik madde (1,1 mg/l, 3,1 mg/l, 5,4 mg/l) ve bulanıklık konsantrasyonlarında (5 NTU, 10 NTU, 20 NTU) deneyler yürütülmüştür. Farklı organik madde konsantrasyonlarında MF membranı kullanılarak gerçekleştirilen deneylerde, organik madde giderim verimi konsantrasyon artışına bağlı olarak bir miktar artmıştır. Bunun sebebi, organik madde miktarındaki artışa bağlı olarak membran yüzeyinde oluşan kek tabakasının ilave bir bariyer görevi görmesidir. Yine MF membranda organik maddedeki konsantrasyon artışına bağlı olarak vakum basıncında artış görülmüş, ancak 3,1 mg/l TOK konsantrasyonundan sonra basınç artışı, organik madde konsantrasyonundan bağımsız hale gelmiştir. Bulanıklık konsantrasyonunun ise organik madde giderim verimlerine ve basınç artışına belirgin bir etkisi olmamıştır.

UF membranı sisteminde, organik madde ve bulanıklık konsantrasyonlarındaki artışın giderim verimine herhangi bir etkisi olmamış, ancak vakum basıncı daha az

artmıştır. Bunun sebebinin de, daha küçük gözenek çapındaki UF membranında oluşan kek tabakası kalınlığından ileri geldiği düşünülmektedir.

Göl suyu kullanılarak yürütülen MF ve UF membran sistemlerinde ise, zeolit konsantrasyonu artışının organik madde giderimine herhangi bir etkisi olmamış, ancak basınç artışında çok az bir azalma görülmüştür.

## 5.2 UV/TiO<sub>2</sub> Çalışmaları

Membran tıkanıklığının azaltılmasına UV/TiO<sub>2</sub> fotokatalitik etkisini belirlemek üzere öncelikle sentetik su ile MF membranı sisteminde bir takım deneyler yürütülmüştür. UV ışını ve TiO<sub>2</sub>'nin ayrı ayrı ve birlikte yürütülmesiyle gerçekleştirilen çalışmalarda giderim verimi ve basınç artışına en iyi etkinin UV ışını ile TiO<sub>2</sub>'nin birlikte kullanılmasıyla elde edildiği görülmüştür. TiO<sub>2</sub> konsantrasyonu etkisini anlamak üzere; UV ışını sürekli çalıştırılıp, 0,10 g/l, 0,25 g/l ve 0,5 g/l konsantrasyonlarında TiO<sub>2</sub> kullanılmıştır. 0,5 g/l TiO<sub>2</sub> konsantrasyonu ile en yüksek giderim verimi ve en düşük basınç artışı elde edilmiştir. UV ışınının sürekli çalıştırılmasının, kesikli çalışması durumuna göre organik madde giderimini arttırdığı ve basınç artışının çok az olduğu görülmüştür. UV ışınının sürekli çalıştırılıp 0,5 g/l TiO<sub>2</sub> ilavesi şeklinde çalıştırılan MF membranı sisteminde (UV/TiO<sub>2</sub>), farklı organik madde konsantrasyonlarının (1,1 mg/l, 3,1 mg/l ve 5,4 mg/l) etkisi araştırılmış ve verim değerlerinde fazla değişiklik olmazken, basınç artışı konsantrasyon artışına bağlı olarak artmıştır.

Sentetik su kullanılarak yürütülen UF membran deneylerinde, UV ışınının çalışma süresi araştırılmış ve sürekli çalıştığı durumun kesikli çalışması durumuna göre giderme verimi açısından daha iyi olurken, basınç artışına herhangi bir etkisi görülmemiştir.

Göl suyu kullanılarak gerçekleştirilen MF membran çalışmalarında UV/TiO<sub>2</sub> kullanımının organik madde giderim verimine herhangi bir etkisi olmamış, ancak basınç artışı kontrol deneyine göre çok düşük olmuştur. UF membranda ise UV<sub>254</sub> giderim veriminde UV/TiO<sub>2</sub> kullanımıyla daha iyi sonuçlar elde edilirken, basınç artışı kontrol deneyi ile aynı olmuştur.

### 5.3 Toz Aktif Karbon Çalışmaları

Toz aktif karbon etkisini araştırmak üzere öncelikle sentetik su kullanılarak MF membran sisteminde bir takım deneyler yürütülmüştür. PAC konsantrasyonunun 2 g/l, 4 g/l ve 10 g/l olarak kullanıldığı çalışmalarda, PAC konsantrasyonu artışına bağlı olarak organik madde giderim verimi artmış, TOK giderim verimi % 95 civarında olurken,  $UV_{254}$  giderim verimi ise % 100'e yakın olmuştur. Konsantrasyon artışının vakum basıncı üzerinde fazla bir etkisi olmamıştır.

UF membran sisteminde de PAC etkisini araştırmak üzere 4 g/l, 10 g/l ve 40 g/l PAC konsantrasyonları ile çalışılmıştır. 40 g/l PAC konsantrasyonu ile hem TOK gideriminde hem de  $UV_{254}$  gideriminde % 100'e yakın sonuçlar elde edilmiştir. MF membran sistemindeki deney sonucuna benzer olarak konsantrasyon artışının vakum basıncı üzerinde fazla bir etkisi görülmemiştir.

Ham su kullanılarak MF membran sisteminde gerçekleştirilen çalışmalarda 40 g/l PAC konsantrasyonunda TOK giderim verimi ortalama olarak % 95 civarlarında değişirken,  $UV_{254}$  giderim verimi ise % 100'e yakın olmuştur. Yine bu konsantrasyonda en düşük basınç artışı görülmüştür.

Ham suyun kullanıldığı UF membran sisteminde de MF membran sistemindekine benzer sonuçlar elde edilmiş, en yüksek giderim verimleri en yüksek konsantrasyonda sağlanmıştır.

### 5.4 Ses Dalgası Çalışmaları

Ses dalgasının kesikli çalıştırıldığı sentetik su ile yürütölen MF membran sisteminde, ses dalgası kullanımının giderim verimlerine herhangi bir etkisi olmamış, TOK ve  $UV_{254}$  giderim verimleri yaklaşık olarak % 50 civarında değişmiştir. Basınç artışının ise kontrol deneyine göre bir miktar daha az olduğu görülmüştür.

Ham su ile yürütölen deneylerde ise ses dalgasının kullanılmaması, kesikli ve sürekli çalışması durumlarının etkileri araştırılmış ve giderim verimlerinin düşük olup, benzer sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Ses dalgasının sürekli çalıştırılması ile basınç artışı daha yüksek olmuştur.

## 5.5 Farklı Yöntemlerin Karşılaştırılması

Sentetik su kullanılarak yürütülen MF membran deneylerinde 10 g/l modifiye zeolit, UV/TiO<sub>2</sub>, 10 g/l toz aktif karbon ve ses dalgasının kesikli olması durumları karşılaştırılmıştır. Toz aktif karbon ilavesiyle % 80'in üzerinde TOK giderimi ve % 100'e yakın UV<sub>254</sub> giderim verimi elde edilmiştir. UV/TiO<sub>2</sub> yönteminin kullanılmasıyla da toz aktif karbona yakın verim değerleri edilmiş ve basınç artışına etkisi en az olmuştur.

Göl suyu yapılan çalışmalarda ise MF membran sisteminde TOK giderimi bakımından, toz aktif karbon diğer yöntemlere göre çok daha etkili olmuştur. UV<sub>254</sub> gideriminde ise UV/TiO<sub>2</sub> yönteminin de etkili olduğu ve verim değerinin deney süresince % 40 civarında değiştiği görülmüştür. Ses dalgası ya da zeolit organik madde giderimine fazla etkisi olmamıştır. Basınç artışı ise en az UV/TiO<sub>2</sub> kullanımında, en fazla ise modifiye zeolit kullanımında görülmüştür.

UF membran ile sentetik su kullanılarak yürütülen deneylere bakıldığında, TOK gideriminde toz aktif karbon ve UV<sub>254</sub> gideriminde UV/TiO<sub>2</sub> kullanımı ile en yüksek verim değerleri elde edilmiş, ancak her iki yöntem de birbirine yakın sonuçlar vermiştir. UV/TiO<sub>2</sub> kullanımı ile basınç artışı da toz aktif karbona göre daha az olmuştur.

Göl suyu kullanılarak yürütülen UF membran deneylerinde TOK giderim veriminde toz aktif karbon kullanımıyla, UV<sub>254</sub> giderim veriminde ise UV/TiO<sub>2</sub> kullanımıyla daha yüksek değerler elde edilmiştir. Bu durumda, toz aktif karbon ile ham sudaki daha büyük yapıdaki aromatik bileşikler giderilirken, UV/TiO<sub>2</sub> ile daha küçük yapıdaki alifatik bileşiklerin giderildiği ve göl suyu organik madde içeriğinde alifatik bileşiklerin daha az bulunduğu söylenebilir. Aromatik yapıdaki bileşikler membran gözeneklerinden geçemediği için membran yüzeyinde birikerek membran tıkanmasının bir göstergesi olan vakum basıncı artışına sebep olmaktadır. Toz aktif karbon kullanımı ile bu artışın en az olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak, içme suyu arıtımında batık membran sisteminin en büyük problemi olan membran tıkanıklığını azaltmak için toz aktif karbon ve UV/TiO<sub>2</sub> yöntemlerinin zeolit ve ses dalgası yöntemlerine göre daha uygun olduğu görülmüştür. Ancak gerçek sistemlerde uygulaması yapılmadan önce her iki yöntem için de pilot ölçekte daha detaylı çalışma yapılarak maliyet karşılaştırılmasının da yapılması gerekmektedir. Konvansiyonel sistemlere göre daha az yer kaplaması, dezenfektan

kullanımına ihtiyaç duyulmadığından THM oluşumunun azalması ve membran tıkanıklığının azaltılarak membran kullanım ömrünün artırılması, dolayısıyla maliyetinin azalması sebebiyle, batık membran sistemlerinin içme suyu arıtımında konvansiyonel su arıtma sistemlerine alternatif olarak uygulanabilecek bir teknoloji olduğu görülmektedir.





## KAYNAKLAR

- Aoustin, E., Schafer A. I., Fane A. G. and Waite, T. D.,** 2001: Ultrafiltration of natural organic matter. *Separation and Purification Technology*. no. 22-23. pp. 63–78.
- AWWA,** 1998: Membrane Technology Research Committee. *J. AWWA*, Vol. **90**, pp. 91-105.
- Baker, R. W.,** 2004: Membrane Technology and Applications, 2nd edition, ohn Wiley&Sons Ltd, Membrane Technology and Research, Inc., Menlo Park, California.
- Best, G., Mourato, D., Singh, M. and Olson, D.,** 2001: Application of immersed ultrafiltration membranes on high turbidity and high TOC surface waters, *AWWA Membrane Technology Conference*, San Antonio, TX.
- Boudjouk P.,** 1988: Heterogeneous sonochemistry, in: K. S. Suslick (Ed.), *Ultrasound- Its Chemical, Physical, and Biological Effects*, VCH Publishers, New York.
- Capannelli, G.,** 2005: Emerging wastewater treatment and water sanitation technologies: membrane application in this field, “*Technologies for Soil and Water Remediation and for POPs Destruction*” Trieste, 11-13 May 2005.
- Chen, D., Weavers, L. K. and Walker, H. W.,** 2006: Ultrasonic control of ceramic membrane fouling: Effect of particle characteristics. *Water Research*. Vol. **40**, pp. 840 – 850.
- Chen, Y., Dong, B. Z., Gao, N. Y., Fan, J. C.,** 2007: Effect of coagulation pretreatment on fouling of an ultrafiltration membrane. *Desalination*. Vol. **204**, pp. 181–188.
- Chiemchaisri, C., Passananon, S., Ngo, H.H. and Vigneswaran, S.,** 2008: Enhanced natural organic matter removal in floating media filter coupled with microfiltration membrane for river water treatment. *Desalination*. Vol. **234**, pp. 335–343.
- Chin S., Lim T. M., Chiang K. and Fane, A. G.,** 2007: Factors affecting the performance of a low-pressure submerged membrane photocatalytic reactor. *Chemical Engineering Journal*. Vol. **130**, pp.53–63.
- Choi, Y. H., Kim, H. S. And Kweon, J. H.,** 2008: Role of hydrophobic natural organic matter flocs on the fouling in coagulation-membrane processes. *Separation and Purification Technology*. Vol. **62**, pp. 531–536.
- Choksuchart, P., Heran, M., Grasmick, A.,** 2002: Ultrafiltration enhanced by coagulation in an immersed membrane system. *Desalination*. Vol. **145**, pp. 265–272.

- Choo, K., Changa, D., Park, K., Kim, M.,** 2008a: Use of an integrated photocatalysis/hollow fiber microfiltration system for the removal of trichloroethylene in water. *Journal of Hazardous Materials*. Vol. **152**, pp. 183–190.
- Choo, K., Tao, R. and Kim, M.,** 2008b: Use of a photocatalytic membrane reactor for the removal of natural organic matter in water: Effect of photoinduced desorption and ferrihydrite adsorption. *Journal of Membrane Science*. Vol. **322**, pp. 368–374.
- Cote, P., Cadera, J., Coburn, J. and Munro, A.,** 2001: A New Immersed Membrane for Pretreatment to Reverse Osmosis, *European Conference on Desalination and the Environment: Water Shortage Lemosos (Limassol)*, Cyprus, May 28-31.
- Crawford A.E.,** 1963: A practical introduction to ultrasonic cleaning, *Ultrasonics*, pp. 65–69.
- EPA,** 2005: Membrane Filtration Guidance Manual.
- Fiksdal, L. and Leiknes, T.,** 2006: The effect of coagulation with MF/UF membrane filtration for the removal of virus in drinking water. *Journal of Membrane Science*. Vol. **279**, pp. 364–371.
- Fu, J., Ji, M., Wang Z., Jin L. and Ana, D.,** 2006: A new submerged membrane photocatalysis reactor (SMPR) for fulvic acid removal using a nano-structured photocatalyst. *Journal of Hazardous Materials*. Vol. **131**, pp. 238–242.
- Genkin, G., Waite, T.D., Fane, A.G. and Chang, S.,** 2006: The effect of vibration and coagulant addition on the filtration performance of submerged hollow fibre membranes. *Journal of Membrane Science*. Vol. **281**, pp. 726–734.
- Gonzalez, M. P. E, Mattusch J., Einicke, W. D. and Wennrich, R.,** 2001: Sorption on natural solids for arsenic removal. *Chem. Eng. J.* Vol: **81**, pp. 187–195.
- Gray, N. F.,** 2008: Drinking Water Quality, Second Edition, Published in the United States of America by Cambridge University Press, New York.
- Guo W.S., Shim W.G., Vigneswaran S. and Ngo H. H.,** 2005: Effect of operating parameters in a submerged membrane adsorption hybrid system: experiments and mathematical modelling. *Journal of Membrane Science*. Vol. **247**, pp. 65–74.
- He, S., Xua, G. and Kong, H.,** 2006: Zeolite powder addition to improve the performance of submerged gravitation-filtration membrane bioreactor. *Journal of Environmental Sciences*. Vol. **18**, no. 2, pp. 242-247.
- Henglein A.,** 1987: Sonochemistry: historical developments and modern aspects, *Ultrasonics*. Vol. **25**, pp. 6–16.
- Hong, S.P., Bae, T.H., Tak, T.M., Hong, S. and Randall A.,** 2002: Fouling control in activated sludge submerged hollow fiber membrane bioreactors, *Desalination* Vol. **143**, no. 2, pp. 19–228.

- Howe, K. J. and Clark, M. M.**, 2002: Fouling of Microfiltration and Ultrafiltration Membranes by Natural Waters, *Environ. Sci. Technol.* Vol. **36**, pp. 3571-3576.
- Huang, X., Leal, M. and Li, Q.**, 2008. Degradation of natural organic matter by TiO<sub>2</sub> photocatalytic oxidation and its effect on fouling of low-pressure membranes. *Water Research.* Vol. **42**, pp. 1142–1150.
- Hugaboom, D.A., Brown, J.C. ve Crozes, G.F.**, 2005: Retrofitting granular media filter infrastructure with low pressure membranes: costs, layouts and design considerations, *2005 AWWA Membrane Technology Conference and Exposition*, Phoenix, Arizona, USA, March 6-9.
- Humbert H., Gallarda, H., Jacquemet V. and Croue J.**, 2007: Combination of coagulation and ion exchange for the reduction of UF fouling properties of a high DOC content surface water. *Water Research.* Vol. **41**, pp. 3803–3811.
- Jia Y., Wanga, R. and Fane, A. G.**, 2008: Hybrid PAC-submerged membrane system for trace organics removal II: System simulation and application study. *Chemical Engineering Journal.* xxx xxx–xxx.
- Kim, H.S., Seo, G.T., Katayama, H., Takizawa, S. and Ohgaki, S.**, 2000: Operation characteristics of membrane separation system with high dosage of powdered activated carbon. *In Proceedings of 34th JSWA annual conference*, p. 404.
- Kim, H.S., Takizawa, S. and Ohgaki, S.**, 2007: Application of microfiltration systems coupled with powdered activated carbon to river water treatment. *Desalination.* Vol. **202**, pp. 271–277.
- Kimura, K., Maeda, T., Yamamura, H. and Watanabe Y.**, 2008: Irreversible membrane fouling in microfiltration membranes filtering coagulated surface water. *Journal of Membrane Science.* Vol. **320**, pp. 356–362.
- Konieczny, K., Bodzek, M., Kopec, A. and Szczepanek, A.**, 2006: Coagulation–submerge membrane system for NOM removal from water. *Desalination.* Vol. **200** pp. 578–580.
- Lauterborn, S. and Urban, W.**, 2008: Ultrasonic cleaning of submerged membranes for drinking water applications. *The Journal of the Acoustical Society of America.* Vol. **123**, no. 5, pp. 3291.
- Le-Clech P., Lee E.K. and Chen V.**, 2006: Hybrid photocatalysis/membrane treatment for surface waters containing low concentrations of natural organic matters. *Water Research.* Vol. **40**, pp. 323 – 330.
- Lee, J.C., Kim, J.S., Kang, I.J., Cho, M.H., Park, P.K. and Lee, C.H.**, 2001: Potential and limitations of alum or zeolite addition to improve the performance of a submerged membrane bioreactor. *Water Science and Technology.* Vol. **43**, no 11, pp. 59–66.
- Lee, S., Park, P., Kim, J., Yeon K. and Lee, C.**, 2008: Analysis of filtration characteristics in submerged microfiltration for drinking water treatment. *Water Research.* Vol. **42**, pp. 3109–3121.

- Li, X. ve Chu, H. P.**, 2003: Membrane bioreactor for the drinking water treatment of polluted surface water supplies. *Water Research*. Vol. **37**, pp. 4781–4791.
- Lohwacharin, J. and Takizawa, S.**, 2008: Effects of nanoparticles on the ultrafiltration of surface water. *Journal of Membrane Science*. xxx xxx–xxx.
- Lowe, J. and Hossain, M. M.**, 2008: Application of ultrafiltration membranes for removal of humic acid from drinking water. *Desalination*. Vol. **218**, pp. 343–354.
- Maskooki, A., Kobayashi T., Mortazavi S. A. and Maskooki A.**, 2008: Effect of low frequencies and mixed wave of ultrasound and EDTA on flux recovery and cleaning of microfiltration membranes. *Separation and Purification Technology*. Vol. **59**, pp. 67–73.
- McChelland, S., Thomson, D., Jabari, E. ve Rohe, D.**, 2005: Chlorine dioxide submerged MF/UF membranes are in for surface waters with high bromide and reactive TOC, *2005 AWWA Membrane Technology Conference and Exposition*, Phoenix, Arizona, USA, March 6-9.
- Mierzwa, J.C., Hespanhola, I., Silva, M.C.C., Rodrigues, L.D.B. and Giorgi, C.F.**, 2008: Direct drinking water treatment by spiral-wound ultrafiltration membranes. *Desalination*. Vol. **230**, pp. 41–50.
- Montgomery, J.M.**, 1985: *Water Treatment Principles and Design*, Wiley.
- Mousa, H. A.**, 2007: Investigation of UF membranes fouling by humic acid. *Desalination*. Vol. **217**, pp. 38–51.
- Muthukumaran, S., Kentish, S. E., Stevens, G. W., Ashokkumar, M. and Mawson, R.**, 2007: The application of ultrasound to dairy ultrafiltration: The influence of operating conditions. *Journal of Food Engineering*. Vol. **81**, pp. 364–373.
- Moza S. ve Tomaszewska M.**, 2004: Treatment of surface water using hybrid processes-adsorption on PAC and ultrafiltration. *Desalination*. Vol. **162**, pp. 23-31.
- Ng, K., Ujang, Z. and Le-Clech, P.**, 2004: Arsenic removal technologies for drinking water treatment. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*. Vol. **3**, pp. 43–53.
- Ng, K.S., Ujang, Z., Le-Clech, P.**, 2004: Arsenic removal technologies for drinking water treatment. *Reviews in Environmental Science and BioTechnology*. Vol. **3**, pp. 43–53.
- Oh H., Yu M., Takizawa S. and Ohgaki S.**, 2006: Evaluation of PAC behavior and fouling formation in an integrated PAC–UF membrane for surface water treatment. *Desalination*. Vol. **192**, pp. 54–62.
- Omer, S., Yaxi, S., Ailing, H. and Ping, G.**, 2008: Effect of PAC addition on MBR process for drinking water treatment. *Separation and Purification Technology*. Vol. **58**, pp.320–327.

- Özdemir, Ö.**, 2007: Modifiye edilmiş Zeolit Yataklı Reaktörde Tekstil Endüstrisi Boyahane Atıksularında Renk Gideriminin Araştırılması, *Doktora Tezi*.
- Price G.J.**, 1996: Ultrasonically enhanced polymer synthesis. *Ultrasonics Sonochem.* Vol. **3**, pp. 229–238.
- Rook, J.**, 1974: Formation of haloforms during chlorination of natural water, *Journal of American Water Works Association*, Vol. **23**, pp. 234-240.
- Schafer, A.I., Fane, A.G and Waite, T.D.**, 2000: Fouling effects on rejection in the membrane filtration of natural waters. *Desalination*. Vol. **131**, pp. 215-224.
- Schideman, L.C., White, M.C. ve Kosterman, M.**, 2005: Looking forward and Learning from the past: Strategies for dealing with rapid technology evaluation in low pressure membrane, *2005 AWWA Membrane Technology Conference and Exposition*, Phoenix, Arizona, USA, March 6-9.
- Smit, B and Krishna R.**, 2003: Molecular simulation in zeolite process design. *Chem. Eng. Sci.* Vol. **58**, pp. 557–568.
- Semmelink A.**, 1973: Ultrasonically enhanced liquid filtering, in: *Proceedings of Ultrasonics International Conference 7–10*, IPC Science and Technology Press, Guilford, England.
- Seo, G.T., Jang, S.W., Lee, S.H. and Yoon, C.H.**, 2005: The fouling characterization and control in the high concentration PAC membrane bioreactor HCPAC-MBR. *Water Science & Technology*. Vol **51**, No 6–7, pp 77–84.
- Singh, R.**, 2006: Hybrid Membrane Systems for Water Purification:Technology, Systems Design and Operations, Elsevier Science and Technology Books.
- Sundaramoorthy, K., Briigger, A., Panglich S., Lerch A. and Gimbel, R.**, 2005: Studies on the minimisation of NOM fouling of MF/UF membranes with the help of a submerged "single" capillary membrane apparatus. *Desalination*. Vol. **179**, pp. 355–367.
- Tran T., Gray S., Bolto B., Farmer T. D. and Collings T.F.**, 2007: Ultrasound enhancement of microfiltration performance for natural organic matter removal. *Organic Geochemistry*. Vol. **38**, pp. 1091–1096.
- Ujang, Z. and Ng, K.S.**, 2004: “Comparative study immersed membrane microfiltration (IMF) and hybrid systems with powdered activated carbon (PAC) and zeolite (ZEO) on removal of high concentration of arsenic.” In Ujang Z. Henze M. (eds) *Environmental Biotechnology, Water and Environmental Management Series*, IWA Publishing, London, 2004. ISBN 1843395037. pp. 323-330.
- Url-1** <[http://tr.wikipedia.org/wiki/D%C3%BCnya\\_n%C-3%BCfusu](http://tr.wikipedia.org/wiki/D%C3%BCnya_n%C-3%BCfusu)>, alındığı tarih 02.11.2008.
- Url-2** <[http://tr.wikipedia.org/wiki/Su\\_sorunu](http://tr.wikipedia.org/wiki/Su_sorunu)>, alındığı tarih 02.11.2008.

- US Filter**, 1999: MF system tackles large applications. *Membrane Technology*. Vol. **112**, pp. 4.
- Uyak, V., Koyuncu, I., Oktem, I., Cakmakci, M., Toroz, I.**, 2008: Removal of trihalomethanes from drinking water by nanofiltration membranes. *Journal of Hazardous Materials*. Vol. **152**, pp. 789–794.
- Wang, L. K., Hung, Y., Shammass, N. K.**, 2006: Advanced Physicochemical Treatment Processes, Humana Press, Totowa, New Jersey.
- Wiszniewski, J., Robert, D., Surmacz-Gorska, J., Miksch, K. and Weber, J.**, 2002: Photocatalytic decomposition of humic acids on TiO<sub>2</sub> Part I: Discussion of adsorption and mechanism. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*. Vol. **152**, pp. 267–273.
- Xia, S., Li, X., Yao, J., Dong, B. and Yao J.**, 2008: Application of membrane techniques to produce drinking water in China. *Desalination*. Vol. **222**, pp. 497–501.
- Yang, W., Cicek, N. ve Ilg, J.**, 2005: State-of-the-art of membrane bioreactors: Worldwide research and commercial applications in North America. *Journal of Membrane Science (in Press)*.
- Yilmaz, İ., Kabaya, N., Brjyak, M., Yüksel, M., Wolskab, J. and Koltuniewicz, A.**, 2006: A submerged membrane–ion-exchange hybrid process for boron removal. *Desalination*. Vol. 198 pp. 310–315.
- Zenon**, 2003: Immersed membranes treats surface water, *Membrane Technology*, November, 3.
- Zularisam, A.W., Ismail, A.F., Salim M.R., Sakinaha, M., Ozaki, H.**, 2007: The effects of natural organic matter (NOM) fractions on fouling characteristics and flux recovery of ultrafiltration membranes. *Desalination*. Vol. **212**, pp. 191–208.
- Zularisam, A.W., Ismail, A.F., Salim, M. R., Sakinah, M., Matsuura, T.**, 2008: Application of coagulation-ultrafiltration hybrid process for drinking water treatment: Optimization of operating conditions using experimental design. *Separation and Purification Technology*. doi:10.1016/j.seppur.2008.10.018

## **ÖZGEÇMİŞ**

**Ad Soyad:** Selin Taşıyıcı

**Doğum Yeri ve Tarihi:** 13/08/1984 - İstanbul

**Lisans Üniversitesi:** İTÜ