

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PİLOT ÖLÇEKLİ BATIK MEMBRAN SİSTEMLERİ İLE
İÇME SUYU ARITIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müge AKDAĞLI**

Anabilim Dalı : Çevre Mühendisliği

Programı : Çevre Bilimleri ve Mühendisliği

HAZİRAN 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PİLOT ÖLÇEKLİ BATIK MEMBRAN SİSTEMLERİ
İLE İÇME SUYU ARITIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müge AKDAĞLI
(501081723)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 07 Mayıs 2010

Tezin Savunulduğu Tarih : 11 Haziran 2010

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. İsmail KOYUNCU (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Seval Sözen (İTÜ)
Prof. Dr. Bülent KESKİNLER (GYTE)**

HAZİRAN 2010

ÖNSÖZ

İ.T.Ü'deki eğitim-öğretim hayatımda bilgi ve deneyimleriyle bana yol gösteren, tez çalışmamda çok büyük katkısı olan sayın Prof. Dr. İsmail KOYUNCU'ya, yine tez çalışmamda yardım ve desteklerinden dolayı Doç. Dr. Mehmet ÇAKMAKÇI ve Doç. Dr. Vedat UYAK'a,

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

İ.T.Ü'deki öğrenimim boyunca hiçbir desteğini esirgemeyen Prof. Dr. Olcay TUNAY, Araş. Gör. Edip AVŞAR ve Yrd. Doç. Dr. Serdar DOĞRUEL'e,

Laboratuvarla ilgili her türlü sorunumda danıştığım ve bana büyük yardımları olan Araş. Gör. Egemen AYDIN, Teknisyen Hakan KALENDER ve Teknisyen Hakan ÇOBAN'a,

Desteklerini esirgemeyen İleri Teknolojiler Laboratuvarı ve Katı Atık Laboratuvarı çalışma arkadaşlarıma,

Ve beni bugünlere getiren, her zaman yanımda olan AİLEME

Çok teşekkür ederim.

Haziran 2010

Müge AKDAĞLI

Çevre Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER.....	v
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
ÖZET	xxvii
SUMMARY	xxix
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Anlam ve Önemi	1
1.2 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı	2
2. LİTERATÜR ÖZETİ	5
2.1 Membran Sistemler	5
2.1.1 Membranların yapısı.....	11
2.2 Düşük Basıncılı Membran Sistemleri ve Kullanılış Tarzları.....	13
2.2.1 Modül geometrisi.....	13
2.2.2. Temiz MF/UF membranları arasından su geçirme.....	17
2.2.3 Proses dizaynı.....	19
2.2.4 Proses konfigürasyonu.....	20
2.2.5 MF ve UF işletme kavramları.....	22
2.2.6 MF ve UF ile su arıtımı.....	22
2.3. Batık Membran Sistemleri.....	32
2.4 Ön/Son Arıtma.....	39
2.4.1 Ön arıtma yöntemleri.....	41
2.4.2 Son arıtma.....	43
2.5 Toz Aktif Karbon (Powdered Activated Carbon, PAC).....	44
2.6 UV/TiO ₂ Fotokatalitik Prosesi.....	50
3. MATERİYAL ve METOD.....	53
3.1 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Doğal Ham su Özellikleri.....	53
3.2 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Membranların Özellikleri.....	54
3.2.1 Mikrofiltrasyon (MF) membran özellikleri.....	54
3.2.2 Ultrafiltrasyon (UF) membranı özellikleri.....	56
3.3 Membranların Temizlemesi.....	58
3.3.1 MF Membranlarının Temizlemesi.....	58
3.3.2 UF Membranların Temizlemesi.....	60
3.4 Batık Membran Sistemi Deney Düzenegi.....	61
3.4.1 Pilot ölçekli batık membran sistemi.....	61
3.4.1.1 Pilot ölçekli batık membran sisteminin ekipmanları.....	61
3.4.1.2 Pilot ölçekli deney tesisatının çalışma prensibi.....	64
3.4.1.3 Pilot ölçekli deneysel çalışmalarda kullanılan ön arıtma birimleri.....	68
3.5 Ham Su ve Arıtılan Suda Yapılan Analizler.....	71
3.5.1 Toplam Organik Karbon (TOK) cihazı.....	71
3.5.2 UV cihazı.....	72
3.6 Deneysel Çalışma Programı.....	73
4. DENEYSEL ÇALIŞMALARIN SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME.....	77
4.1 UF Membranı ile Yapılan Deneyler.....	77
4.1.1 Terkos göl suyunda yapılan deneyler.....	77

a) Süzüntü Debisi Etkisinin Araştırılması.....	77
b) Geri Yıkama Süresinin Etkisinin Araştırılması.....	89
c) Toz Aktif Karbon (PAC) İlavesinin Etkisinin Araştırılması.....	103
d) UV +TiO ₂ Etkisinin Araştırılması (Farklı TiO ₂ Konsantrasyonları).....	115
4.1.2 Ömerli göl suyunda yapılan deneyler.....	126
a) Geri Yıkama Süresinin Etkisi.....	126
b) Toz Aktif Karbon (PAC) İlavesinin Araştırılması.....	129
c) UV+TiO ₂ ile Yapılan Çalışmalar.....	148
4.1.3 Büyükçekmece göl suyunda yapılan deneyler.....	160
a) Toz Aktif Karbon (PAC) İlavesinin Araştırılması.....	160
b) UV+TiO ₂ İlavesinin Araştırılması.....	179
4.2 MF Membranı ile Yapılan Deneyler.....	191
4.2.1 Terkos göl suyunda yapılan deneyler.....	191
a) Toz Aktif Karbon (PAC) İlavesinin Etkisinin Araştırılması.....	191
4.2.2 Ömerli göl suyunda yapılan deneyler.....	203
a) Toz Aktif Karbon (PAC) İlavesinin Etkisinin Araştırılması.....	203
4.2.3 Büyükçekmece göl suyunda yapılan deneyler.....	214
a) Toz Aktif Karbon (PAC) İlavesinin Etkisinin Araştırılması.....	214
4.3 Yapılan Pilot Ölçekli Deneysel Çalışmaların Farklı Ham Sular Açısından karşılaştırılması.....	226
4.3.1 UF Membranı ile yapılan deneylerin karşılaştırılması.....	226
a) Kontrol deneylerinin karşılaştırılması (Herhangi Bir Ön Aritma Uygulanmaması Durumu).....	226
b) Toz Aktif Karbon (PAC) İlavesi Etkisinin Araştırıldığı Deneylerinin karşılaştırılması.....	228
c) UV/TiO ₂ Fotokatalitik Oksidasyon Etkisinin Araştırıldığı Deneylerin karşılaştırılması.....	231
4.3.2 MF Membranı ile yapılan deneylerin karşılaştırılması.....	235
a) Kontrol deneylerinin karşılaştırılması.....	235
b) Toz Aktif Karbon (PAC) İlavesi Etkisinin Araştırıldığı Deneylerinin Karşılaştırılması.....	237
4.4 Deneysel Çalışma Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	240
5. SONUÇLAR	251
5.1 Pilot Ölçekte Gerçekleştirilen Deneysel Çalışma Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	251
5.2 Genel Sonuçlar ve Öneriler.....	254
KAYNAKLAR.....	257
ÖZGEÇMİŞ.....	263

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 : RO,UF ve MF arasındaki farklar	9
Çizelge 2.2 : Membranların tip ve yapıları.....	12
Çizelge 2.3 : MF için boşluklu elyaf ve tüp şeklindeki konfigürasyonların avantaj ve dezavantajları.....	14
Çizelge 2.4 : Spesifik kirleticilerin önemli miktarda giderimini başarmak için gereken MF ve UF ön arıtmaları.....	23
Çizelge 2.5 : Membran filtrasyonu için temel ön arıtma uygulamaları, etkileri ve mekanizmaları.....	40
Çizelge 3.1 : Terkos, Ömerli ve Büyükçekmece göllerine ait ham su karakterizasyonu.....	53
Çizelge 3.2 : MF membranları teknik özellikleri.....	55
Çizelge 3.3 : Pilot ölçekli deneylerde kullanılan UF membranı (ZW10) teknik özellikleri.....	57
Çizelge 3.4 : Pilot tesiste kullanılan ekipmanlara ait teknik özellikler.....	62
Çizelge 3.5 : Deneysel çalışma programı.....	73
Çizelge 4.1 : Göl suyu kullanılarak yürütülen UF membran deneylerinde farklı debi değerleri için reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV ₂₅₄ absorban değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri.....	84
Çizelge 4.2 : TOK ve UV ₂₅₄ giderme verimi değerlerinin deneyin başlangıcı ve sonundaki değerleri (%).....	84
Çizelge 4.3 : Göl suyu kullanılarak yürütülen UF membran deneylerinde farklı geri yıkama süreleri için reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV ₂₅₄ absorban değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri.....	98
Çizelge 4.4 : TOK ve UV ₂₅₄ giderme verimi değerlerinin deneyin başlangıcı ve sonundaki değerleri (%).....	98
Çizelge 4.5 : Göl suyu kullanılarak yürütülen UF membran deneylerinde farklı PAC konsantrasyonları için reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV ₂₅₄ absorban değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri.....	110
Çizelge 4.6 : TOK ve UV ₂₅₄ giderme verimi değerlerinin deneyin başlangıcı ve sonundaki değerleri (%).....	110
Çizelge 4.7 : Göl suyu kullanılarak yürütülen UF membran deneylerinde farklı TiO ₂ konsantrasyonları için reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV ₂₅₄ absorban değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri.	121
Çizelge 4.8 : TOK ve UV ₂₅₄ giderme verimi değerlerinin deneyin başlangıcı ve sonundaki değerleri (%).....	121
Çizelge 4.9 : Ömerli baraj suyu ve 25 gr/l PAC konsantrasyonu kullanılarak yürütülen UF membran deneylerinde farklı PAC ilave yöntemleri için reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV ₂₅₄ absorban değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri.....	142
Çizelge 4.10 : TOK ve UV ₂₅₄ absorbans giderim verimi değerlerinin deneyin başlangıcı ve sonundaki değerleri (%).....	143

Çizelge 4.11	: Ömerli baraj suyu kullanılarak yürütülen UF membran deneylerinde farklı TiO_2 konsantrasyonları için reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV_{254} absorban değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri.....	155
Çizelge 4.12	: TOK ve UV_{254} giderme verimi değerlerinin deneyin başlangıcı ve sonundaki değerleri (%).....	155
Çizelge 4.13	: Büyük çekmece göl suyu ve 25 gr/l PAC konsantrasyonu kullanılarak yürütülen UF membran deneylerinde farklı PAC ilave yöntemleri için reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV_{254} absorban değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri.....	173
Çizelge 4.14	: TOK ve UV_{254} absorban giderme verimi değerlerinin deneyin başlangıcı ve sonundaki değerleri (%).....	174
Çizelge 4.15	: Büyük çekmece göl suyu kullanılarak yürütülen UF membran deneylerinde farklı TiO_2 konsantrasyonları için reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV_{254} absorban değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri.....	186
Çizelge 4.16	: TOK ve UV_{254} giderme verimi değerlerinin deneyin başlangıcı ve sonundaki değerleri (%).....	186
Çizelge 4.17	: Terkos göl suyu ve 25 gr/l PAC konsantrasyonu kullanılarak yürütülen MF membran deneyinde reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV_{254} absorban değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri.....	197
Çizelge 4.18	: TOK ve UV_{254} absorban giderme verimi değerlerinin deneyin başlangıcı ve sonundaki değerleri (%).....	197
Çizelge 4.19	: Ömerli baraj suyu ve 25 gr/l PAC konsantrasyonu kullanılarak yürütülen MF membran deneyinde reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV_{254} absorban değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri.....	208
Çizelge 4.20	: TOK ve UV_{254} absorban giderim verim değerlerinin deneyin başlangıcı ve sonundaki değerleri (%).....	209
Çizelge 4.21	: Büyükçekmece göl suyu ve 25 gr/l PAC konsantrasyonu kullanılarak yürütülen MF membran deneyinde reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV_{254} absorban değerlerinin ham su değerine göre artış üzdeleri.....	220
Çizelge 4.22	: TOK ve UV_{254} absorban giderme verimi değerlerinin deneyin başlangıcı ve sonundaki değerleri (%).....	220
Çizelge 4.23	: İstanbul su kaynakları ham su kalite parametreleri.....	242
Çizelge 4.24	: Pilot ölçekli deneysel çalışmalarda elde edilen TOK giderme verimi ve basınç artışı değerlerinin toplu olarak gösterilmesi...	243
Çizelge 4.25	: Ön arıtma yöntemlerinin Toplam Organik Karbon (TOK) giderimi açısından karşılaştırılması (%)	246
Çizelge 4.26	: Ön arıtma yöntemlerinin basınç artışı (TMP) ile karşılaştırılması (mbar)	246

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 : Basit membran diyagramı.....	7
Şekil 2.2 : Membran prosesleri ve por büyüklükleri.....	7
Şekil 2.3 : Boşluklu elyaf membran modülü.....	15
Şekil 2.4 : Tüp şeklindeki membran modülü.....	16
Şekil 2.5 : MF ve UF için basınç ve vakum sürüslü membran sistem konfigürasyonları (A) Çapraz akışlı; (B) Direk akışlı; (C) Direk akışlı su içine batırılabilen.....	21
Şekil 2.6 : Literatürden alınan özetlenmiş giriş ve çıkış bulanıklık değerleri.....	24
Şekil 2.7 : Literatürden alınan MF/UF partikül sayısı log giderimleri.....	26
Şekil 2.8 : Batık membran sistemi düzeneği.....	33
Şekil 2.9 : Normal filtrasyon süreci.....	37
Şekil 2.10 : Geri yıkama süreci.....	37
Şekil 2.11 : Membran tıkanması.....	44
Şekil 3.1 : Deneysel çalışmalarda kullanılan MF membranının ticari şekli.....	54
Şekil 3.2 : Pilot ölçekli deneysel çalışmalar için hazırlanmış MF membranlar.....	56
Şekil 3.3 : Pilot ölçekli deneylerde kullanılan UF membranı (ZW10).....	57
Şekil 3.4 : Temizleme işlemi öncesinde pilot ölçekte MF membranlarının görünümü.....	59
Şekil 3.5 : Baz çözeltisi içinde pilot ölçekte MF membranlarının görünümü.....	59
Şekil 3.6 : Temizleme işlemi sonrasında pilot ölçekte MF membranlarının görünümü.....	59
Şekil 3.7 : Temizleme öncesi pilot ölçekli UF membranı.....	60
Şekil 3.8 : Temizleme sonrası pilot ölçekli UF membranı.....	61
Şekil 3.9 : Pilot tesis P&I diyagramı.....	63
Şekil 3.10 : Ham su depolama tankları (5'er ton'dan 2 adet, toplam 10 ton kapasiteli).....	65
Şekil 3.11 : 10 tonluk tanklardan suyun basıldığı 1,5 tonluk ham su tankı.....	65
Şekil 3.12 : 1,5 tonluk ham su tankını karıştırma pompası.....	66
Şekil 3.13 : 1,5 tonluk ham su tankından birinci reaktöre otomatik olarak su beslemesi yapan pompa.....	66
Şekil 3.14 : Birinci reaktör.....	66
Şekil 3.15 : Birinci reaktörden ikinci reaktöre su geçiş hattı.....	66
Şekil 3.16 : İkinci reaktör.....	66
Şekil 3.17 : Süzüntü tankı.....	66
Şekil 3.18 : SC1000 veri depolama sistemi.....	67
Şekil 3.19 : Asit dozlama pompası ve tankı.....	67
Şekil 3.20 : Kontrol paneli.....	67
Şekil 3.21 : Bulanıklık ölçerler	67
Şekil 3.22 : Pilot ölçekli tesis genel görünümü-I.....	67
Şekil 3.23 : Pilot ölçekli tesis genel görünümü-II.....	68
Şekil 3.24 : Toz aktif karbon.....	69
Şekil 3.25 : Birinci reaktörün alüminyum folyo ile kaplanmış hali.....	70
Şekil 3.26 : 40 W'lık UV lambası.....	70

Şekil 3.27	: Schimadzu TOK-V _{CPH} cihazı.....	72
Şekil 3.28	: UV spektrofotometre.....	72
Şekil 4.1	: Debinin 10 lt/st, filtrasyonun 300 sn, geri yıkamanın 30 sn olarak çalıştırıldığı durum için TOK değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF).....	78
Şekil 4.2	: Debinin 10 lt/st, filtrasyonun 300 sn, geri yıkamanın 30 sn olarak çalıştırıldığı durum için UV ₂₅₄ değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF).....	78
Şekil 4.3	: Debinin 10 lt/st,filtrasyonun 300 sn, geri yıkamanın 30 sn olarak çalıştırıldığı durum için giderme verimlerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)	79
Şekil 4.4	: Debinin 10 lt/st, filtrasyonun 300 sn, geri yıkamanın 30 sn olarak çalıştırıldığı durum için basınç değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF).....	79
Şekil 4.5	: Debinin 10 lt/st, filtrasyonun 300 sn, geri yıkamanın 30 sn olarak çalıştırıldığı durum için bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF).....	80
Şekil 4.6	: Debinin 30 l/st, filtrasyonun 300 sn ve geri yıkamanın 30 sn olarak çalıştırıldığı durum için TOK değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF).....	81
Şekil 4.7	: Debinin 30 l/st, filtrasyonun 300 sn ve geri yıkamanın 30 sn olarak çalıştırıldığı durum için UV ₂₅₄ değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF).....	81
Şekil 4.8	: Debinin 30 l/st, filtrasyonun 300 sn ve geri yıkamanın 30 sn olarak çalıştırıldığı durum için giderme verimlerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF).....	82
Şekil 4.9	: Debinin 30 l/st, filtrasyonun 300 sn ve geri yıkamanın 30 sn olarak çalıştırıldığı durum için basınç değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF).....	82
Şekil 4.10	: Debinin 30 l/st, filtrasyonun 300 sn ve geri yıkamanın 30 sn olarak çalıştırıldığı durum için bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF).....	83
Şekil 4.11	: Farklı debi değerleri için basınç değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF).....	84
Şekil 4.12	: Farklı debi değerleri için ham su TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)	85
Şekil 4.13	: Farklı debi değerleri için reaktör TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF).....	85
Şekil 4.14	: Farklı debi değerleri için çıkış TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF).....	86
Şekil 4.15	: Farklı debi değerleri için TOK giderme veriminin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF).....	86
Şekil 4.16	: Farklı debi değerleri için ham su UV ₂₅₄ değerlerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)	87
Şekil 4.17	: Farklı debi değerleri için reaktör UV ₂₅₄ değerlerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF).....	87
Şekil 4.18	: Farklı debi değerleri için çıkış UV ₂₅₄ değerlerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF).....	88
Şekil 4.19	: Farklı debi değerleri için UV ₂₅₄ giderme veriminin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF).....	88

Şekil 4.20	: Geri yıkama süresinin 30 sn, filtrasyonun 300 sn ve debinin 30 l/st olarak çalıştırıldığı durum için TOK değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF).....	89
Şekil 4.21	: Geri yıkama süresinin 30 sn, filtrasyonun 300 sn ve debinin 30 l/st olarak çalıştırıldığı durum için UV ₂₅₄ değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF).....	90
Şekil 4.22	: Geri yıkama süresinin 30 sn, filtrasyonun 300 sn ve debinin 30 l/st olarak çalıştırıldığı durum için giderme verimlerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF).....	90
Şekil 4.23	: Geri yıkama süresinin 30 sn, filtrasyonun 300 sn ve debinin 30 l/st olarak çalıştırıldığı durum için basınç değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF).....	91
Şekil 4.24	: Geri yıkama süresinin 30 sn, filtrasyonun 300 sn ve debinin 30 l/st olarak çalıştırıldığı durum için bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF).....	91
Şekil 4.25	: Geri yıkama süresinin 180 sn, filtrasyonun 1800 sn ve debinin 30 l/st olarak çalıştırıldığı durum için TOK değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF).....	92
Şekil 4.26	: Geri yıkama süresinin 180 sn, filtrasyonun 1800 sn ve debinin 30 l/st olarak çalıştırıldığı durum için UV ₂₅₄ değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF).....	93
Şekil 4.27	: Geri yıkama süresinin 180 sn, filtrasyonun 1800 sn ve debinin 30 l/st olarak çalıştırıldığı durum için giderme verimlerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF).....	93
Şekil 4.28	: Geri yıkama süresinin 180 sn, filtrasyonun 1800 sn ve debinin 30 l/st olarak çalıştırıldığı durum için basınç değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF).....	94
Şekil 4.29	: Geri yıkama süresinin 180 sn, filtrasyonun 1800 sn ve debinin 30 l/st olarak çalıştırıldığı durum için bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF).....	94
Şekil 4.30	: Geri yıkama süresinin 360 sn, filtrasyonun 3600 sn ve debinin 30 l/st olarak çalıştırıldığı durum için TOK değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF).....	95
Şekil 4.31	: Geri yıkama süresinin 360 sn, filtrasyonun 3600 sn ve debinin 30 l/st olarak çalıştırıldığı durum için UV ₂₅₄ değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF).....	96
Şekil 4.32	: Geri yıkama süresinin 360 sn, filtrasyonun 3600 sn ve debinin 30 l/st olarak çalıştırıldığı durum için giderme verimlerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF).....	96
Şekil 4.33	: Geri yıkama süresinin 360 sn, filtrasyonun 3600 sn ve debinin 30 l/st olarak çalıştırıldığı durum için basınç değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF).....	97
Şekil 4.34	: Geri yıkama süresinin 360 sn, filtrasyonun 3600 sn ve debinin 30 l/st olarak çalıştırıldığı durum için bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF).....	97
Şekil 4.35	: Farklı geri yıkama süreleri için basınç değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF).....	99
Şekil 4.36	: Farklı geri yıkama süreleri için ham su TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF).....	99

Şekil 4.37	: Farklı geri yıkama süreleri için reaktör TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)...	100
Şekil 4.38	: Farklı geri yıkama süreleri için çıkış TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)...	100
Şekil 4.39	: Farklı geri yıkama süreleri için TOK giderme veriminin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF).....	101
Şekil 4.40	: Farklı geri yıkama süreleri için ham su UV_{254} konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)...	101
Şekil 4.41	: Farklı geri yıkama süreleri için reaktör içindeki UV_{254} konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)...	102
Şekil 4.42	: Farklı geri yıkama süreleri için çıkış UV_{254} konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)...	102
Şekil 4.43	: Farklı geri yıkama süreleri için UV_{254} giderme veriminin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF).....	103
Şekil 4.44	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak çalıştırıldığı durum için TOK değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF: 3600 sn, BP: 360 sn, Debi: 30 l/st)	104
Şekil 4.45	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak çalıştırıldığı durum için UV_{254} değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF: 3600 sn, BP: 360 sn, Debi: 30 l/st)	104
Şekil 4.46	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak çalıştırıldığı durum için giderme verimlerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF: 3600 sn, BP: 360 sn, Debi:30 l/st).....	105
Şekil 4.47	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak çalıştırıldığı durum için basınç değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF: 3600 sn, BP: 360 sn, Debi:30 l/st)	105
Şekil 4.48	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak çalıştırıldığı durum için bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF: 3600 sn, BP: 360 sn, Debi:30 l/st).....	106
Şekil 4.49	: PAC konsantrasyonunun 40 g/l olarak çalıştırıldığı durum için TOK değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF: 3600 sn, BP: 360 sn, Debi: 30 l/st)	107
Şekil 4.50	: PAC konsantrasyonunun 40 g/l olarak çalıştırıldığı durum için UV_{254} değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF: 3600 sn, BP: 360 sn, Debi:30 l/st)	107
Şekil 4.51	: PAC konsantrasyonunun 40 g/l olarak çalıştırıldığı durum için giderme verimlerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF: 3600 sn, BP: 360 sn, Debi:30 l/st).....	108
Şekil 4.52	: PAC konsantrasyonunun 40 g/l olarak çalıştırıldığı durum için basınç değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF: 3600 sn, BP: 360 sn, Debi:30 l/st)	108
Şekil 4.53	: PAC konsantrasyonunun 40 g/l olarak çalıştırıldığı durum için bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF: 3600 sn, BP: 360 sn, Debi: 30 l/st)	109
Şekil 4.54	: Farklı PAC konsantrasyonları için basınç değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF).....	110
Şekil 4.55	: Farklı PAC konsantrasyonları için ham su TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)...	111
Şekil 4.56	: Farklı PAC konsantrasyonları için reaktör içi TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)...	111

Şekil 4.57	: Farklı PAC konsantrasyonları için çıkış TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)...	112
Şekil 4.58	: Farklı PAC konsantrasyonları için TOK giderme veriminin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)	112
Şekil 4.59	: Farklı PAC konsantrasyonları için ham su UV ₂₅₄ konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)...	113
Şekil 4.60	: Farklı PAC konsantrasyonları için reaktör içi UV ₂₅₄ konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)...	113
Şekil 4.61	: Farklı PAC konsantrasyonları için çıkış UV ₂₅₄ konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)...	114
Şekil 4.62	: Farklı PAC konsantrasyonları için UV ₂₅₄ giderme veriminin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)	114
Şekil 4.63	: UV + 0,5 g/l TiO ₂ konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için TOK değerinin zamanla değişimi (Göl suyu, UF: 3600 sn, BP: 360 sn, Debi: 30 l/st).....	115
Şekil 4.64	: UV + 0,5 g/l TiO ₂ konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için UV ₂₅₄ değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF: 3600 sn, BP: 360 sn, Debi: 30 l/st)	116
Şekil 4.65	: UV + 0,5 g/l TiO ₂ konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için giderme verimlerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF: 3600 sn, BP: 360 sn, Debi:30 l/st)etkisi)	116
Şekil 4.66	: UV + 0,5 g/l TiO ₂ konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için basınç değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF: 3600 sn, BP: 360 sn, Debi: 30 l/st)etkisi)	117
Şekil 4.67	: UV + 0,5 g/l TiO ₂ konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF: 3600 sn, BP: 360 sn, Debi: 30 l/st)	117
Şekil 4.68	: UV + 1,5 g/l TiO ₂ konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için TOK değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF: 3600 sn, BP: 360 sn, Debi: 30 l/st)	118
Şekil 4.69	: UV + 1,5 g/l TiO ₂ konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için UV ₂₅₄ değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF: 3600 sn, BP: 360 sn, Debi: 30 l/st)	119
Şekil 4.70	: UV + 1,5 g/l TiO ₂ konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için giderme verimlerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF: 3600 sn, BP: 360 sn, Debi: 30 l/st).....	119
Şekil 4.71	: UV + 1,5 g/l TiO ₂ konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için basınç değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF: 3600 sn, BP: 360 sn, Debi: 30 l/st)	120
Şekil 4.72	: UV + 1,5 g/l TiO ₂ konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF: 3600 sn, BP: 360 sn, Debi: 30 l/st).....	120
Şekil 4.73	: Farklı UV+TiO ₂ konsantrasyonları için basınç değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF).....	122
Şekil 4.74	: Farklı UV+TiO ₂ konsantrasyonları için ham su TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)...	122
Şekil 4.75	: Farklı UV+TiO ₂ konsantrasyonları için reaktör içi TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)...	123
Şekil 4.76	: Farklı UV+TiO ₂ konsantrasyonları için çıkış TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)...	123

Şekil 4.77	: Farklı UV+TiO ₂ konsantrasyonları için TOK giderme veriminin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF).....	124
Şekil 4.78	: Farklı UV+TiO ₂ konsantrasyonları için ham su UV ₂₅₄ konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)...	124
Şekil 4.79	: Farklı UV+TiO ₂ konsantrasyonları için reaktör içi UV ₂₅₄ konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)...	125
Şekil 4.80	: Farklı UV+TiO ₂ konsantrasyonları için çıkış UV ₂₅₄ konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)...	125
Şekil 4.81	: Farklı UV+TiO ₂ konsantrasyonları için UV ₂₅₄ giderme veriminin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF).....	126
Şekil 4.82	: Filtrasyonun 3600 sn, geri yıkamanın 360 sn ve debinin 30 l/st olarak çalıştırıldığı durum için TOK değerinin zamanla değişimi (Ömerli Gölü, UF)	127
Şekil 4.83	: Filtrasyonun 3600 sn, geri yıkamanın 360 sn ve debinin 30 l/st olarak çalıştırıldığı durum için UV ₂₅₄ değerinin zamanla değişimi (Ömerli Gölü, UF)	127
Şekil 4.84	: Filtrasyonun 3600 sn, geri yıkamanın 360 sn ve debinin 30 l/st olarak çalıştırıldığı durum için giderme verimlerinin zamanla değişimi (Ömerli Gölü, UF)	128
Şekil 4.85	: Filtrasyonun 3600 sn, geri yıkamanın 360 sn 0s ve debinin 30 l/st olarak çalıştırıldığı durum için basınç değerinin zamanla değişimi (Ömerli Gölü, UF)	128
Şekil 4.86	: Filtrasyonun 3600 sn, geri yıkamanın 360 sn ve debinin 30 l/st olarak çalıştırıldığı durum için bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Ömerli Gölü suyu, UF)	129
Şekil 4.87	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak deney başlangıcında, tek seferde ilave edilerek çalıştırıldığı durum için TOK değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st).....	130
Şekil 4.88	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak deney başlangıcında, tek seferde ilave edilerek çalıştırıldığı durum için UV ₂₅₄ absorban değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st).....	130
Şekil 4.89	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak deney başlangıcında, tek seferde ilave edilerek çalıştırıldığı durum için giderim verimlerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st).....	131
Şekil 4.90	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, deney başlangıcında, tek seferde ilave edilerek çalıştırıldığı durum için basınç değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)	131
Şekil 4.91	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, deney başlangıcında, tek seferde ilave edilerek çalıştırıldığı durum için bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)	132
Şekil 4.92	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi öncesi TOK değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st).....	133

Şekil 4.93	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi sonrası TOK değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st).....	133
Şekil 4.94	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi öncesi UV ₂₅₄ absorban değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st).....	134
Şekil 4.95	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi sonrası UV ₂₅₄ absorban değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st).....	134
Şekil 4.96	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi öncesi ve sonrası TOK giderim verimlerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st).....	135
Şekil 4.97	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi öncesi ve sonrası UV ₂₅₄ giderim verimlerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st).....	135
Şekil 4.98	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için basınç değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st).....	136
Şekil 4.99	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st).....	136
Şekil 4.100	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı ve her ilave öncesinde birinci reaktörün boşaltılıp tekrar ham su ile doldurulduğu durum için PAC ilavesi öncesi TOK değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st).....	137
Şekil 4.101	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı ve her ilave öncesinde birinci reaktörün boşaltılıp tekrar ham su ile doldurulduğu durum için PAC ilavesi sonrası TOK değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st).....	138
Şekil 4.102	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı ve her ilave öncesinde birinci reaktörün boşaltılıp tekrar doldurulduğu durum için PAC ilavesi öncesi UV ₂₅₄ absorban değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st).....	138
Şekil 4.103	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı ve her ilave öncesinde birinci reaktörün boşaltılıp tekrar doldurulduğu durum için PAC ilavesi sonrası UV ₂₅₄ absorban değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st).....	139

Şekil 4.104	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı ve her ilave öncesinde birinci reaktörün boşaltılıp tekrar doldurulduğu durum için PAC ilavesi öncesi ve sonrası TOK giderim verimlerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st).....	139
Şekil 4.105	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı ve her ilave öncesinde birinci reaktörün boşaltılıp tekrar doldurulduğu durum için PAC ilavesi öncesi ve sonrası UV ₂₅₄ giderim verimlerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st).....	140
Şekil 4.106	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı ve her ilave öncesinde birinci reaktörün boşaltılıp tekrar doldurulduğu durum için basınç değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st).....	140
Şekil 4.107	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı ve her ilave öncesinde birinci reaktörün boşaltılıp tekrar doldurulduğu durum için bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)	141
Şekil 4.108	: Farklı PAC ilave yöntemleri için basınç değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF)	143
Şekil 4.109	: Farklı PAC konsantrasyonları için ham su TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF).....	144
Şekil 4.110	: Farklı PAC konsantrasyonları için reaktör içi TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF).....	144
Şekil 4.111	: Farklı PAC ilave yöntemleri için çıkış TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF).....	145
Şekil 4.112	: Farklı PAC ilave yöntemleri için TOK giderim veriminin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF).....	145
Şekil 4.113	: Farklı PAC ilave yöntemleri için ham su UV ₂₅₄ konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF).....	146
Şekil 4.114	: Farklı PAC ilave yöntemleri için reaktör içi UV ₂₅₄ konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF).....	146
Şekil 4.115	: Farklı PAC ilave yöntemleri için içi UV ₂₅₄ konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF).....	147
Şekil 4.116	: Farklı PAC ilave yöntemleri için UV ₂₅₄ giderim veriminin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF).....	147
Şekil 4.117	: Farklı PAC ilave yöntemleri için çıkış bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF)	148
Şekil 4.118	: UV + 0,5 g/l TiO ₂ konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için TOK değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)	149

Şekil 4.119	: UV + 0,5 g/l TiO ₂ konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için UV ₂₅₄ değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)	149
Şekil 4.120	: UV + 0,5 g/l TiO ₂ konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için giderim verimlerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)	150
Şekil 4.121	: UV + 0,5 g/l TiO ₂ konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için basınç değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)	150
Şekil 4.122	: UV + 0,5 g/l TiO ₂ konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)	151
Şekil 4.123	: UV + 1,5 g/l TiO ₂ konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için TOK değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)	152
Şekil 4.124	: UV + 1,5 g/l TiO ₂ konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için UV ₂₅₄ değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)	152
Şekil 4.125	: UV + 1,5 g/l TiO ₂ konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için giderim verimlerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, debi: 30 l/st)	153
Şekil 4.126	: UV + 1,5 g/l TiO ₂ konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için basınç değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)	153
Şekil 4.127	: UV+1,5 g/l TiO ₂ konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)	154
Şekil 4.128	: Farklı UV+TiO ₂ konsantrasyonları için basınç değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF)	155
Şekil 4.129	: Farklı UV+TiO ₂ konsantrasyonları için ham su TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF)	156
Şekil 4.130	: Farklı UV+TiO ₂ konsantrasyonları için reaktör içi TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF)	156
Şekil 4.131	: Farklı UV+TiO ₂ konsantrasyonları için çıkış TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF)	157
Şekil 4.132	: Farklı UV+TiO ₂ konsantrasyonları için TOK giderim veriminin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF).....	157
Şekil 4.133	: Farklı UV+TiO ₂ konsantrasyonları için ham su UV ₂₅₄ absorban değerlerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF)	158
Şekil 4.134	: Farklı UV+TiO ₂ konsantrasyonları için reaktör içi UV ₂₅₄ absorban değerlerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF)	158
Şekil 4.135	: Farklı UV+TiO ₂ konsantrasyonları için çıkış UV ₂₅₄ absorban değerlerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF)	159

Şekil 4.136	: Farklı UV+TiO ₂ konsantrasyonları için UV ₂₅₄ giderim veriminin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF).....	159
Şekil 4.137	: Farklı UV+TiO ₂ konsantrasyonları için çıkış bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF).....	160
Şekil 4.138	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak deney başlangıcında, tek seferde ilave edilerek çalıştırıldığı durum için TOK değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st).....	161
Şekil 4.139	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak deney başlangıcında, tek seferde ilave edilerek çalıştırıldığı durum için UV ₂₅₄ absorban değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)	162
Şekil 4.140	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak deney başlangıcında, tek seferde ilave edilerek çalıştırıldığı durum için giderim verimlerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)	162
Şekil 4.141	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, deney başlangıcında, tek seferde ilave edilerek çalıştırıldığı durum için basınç değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)	163
Şekil 4.142	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, deney başlangıcında, tek seferde ilave edilerek çalıştırıldığı durum için bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)	163
Şekil 4.143	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi öncesi TOK değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)	164
Şekil 4.144	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi sonrası TOK değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)	165
Şekil 4.145	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi öncesi UV ₂₅₄ absorban değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)	165
Şekil 4.146	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi sonrası UV ₂₅₄ absorban değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)	166
Şekil 4.147	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi öncesi ve sonrası TOK giderim verimlerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)	166
Şekil 4.148	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi öncesi ve sonrası UV ₂₅₄ giderim verimlerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)	167

Şekil 4.149	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için basınç değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)	167
Şekil 4.150	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)	168
Şekil 4.151	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi öncesi TOK değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)	169
Şekil 4.152	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi sonrası TOK değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)	169
Şekil 4.153	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi öncesi UV ₂₅₄ absorban değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)	170
Şekil 4.154	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi sonrası UV ₂₅₄ absorban değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)	170
Şekil 4.155	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi öncesi ve sonrası TOK giderim verimlerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)	171
Şekil 4.156	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi öncesi ve sonrası UV ₂₅₄ giderim verimlerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)	171
Şekil 4.157	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için basınç değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)	172
Şekil 4.158	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)	172
Şekil 4.159	: Farklı PAC ilave yöntemleri için basınç değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF)	174
Şekil 4.160	: Farklı PAC konsantrasyonları için ham su TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF)	175
Şekil 4.161	: Farklı PAC konsantrasyonları için reaktör içi TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF)	175
Şekil 4.162	: Farklı PAC ilave yöntemleri için çıkış TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF)	176

Şekil 4.163	: Farklı PAC ilave yöntemleri için TOK giderim veriminin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF).....	176
Şekil 4.164	: Farklı PAC ilave yöntemleri için ham su UV_{254} konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF)	177
Şekil 4.165	: Farklı PAC ilave yöntemleri için reaktör içi UV_{254} konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF)	177
Şekil 4.166	: Farklı PAC ilave yöntemleri için içi UV_{254} konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF)	178
Şekil 4.167	: Farklı PAC ilave yöntemleri için UV_{254} giderim veriminin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF).....	178
Şekil 4.168	: Farklı PAC ilave yöntemleri için çıkış bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF)	179
Şekil 4.169	: UV + 0,5 g/l TiO_2 konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için TOK değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st).....	180
Şekil 4.170	: UV + 0,5 g/l TiO_2 konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için UV_{254} değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)	180
Şekil 4.171	: UV + 0,5 g/l TiO_2 konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için giderim verimlerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)	181
Şekil 4.172	: UV + 0,5 g/l TiO_2 konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için basınç değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)	181
Şekil 4.173	: UV + 0,5 g/l TiO_2 konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)	182
Şekil 4.174	: UV + 1,5 g/l TiO_2 konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için TOK değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)	183
Şekil 4.175	: UV + 1,5 g/l TiO_2 konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için UV_{254} değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)	183
Şekil 4.176	: UV + 1,5 g/l TiO_2 konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için giderim verimlerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, debi: 30 l/st)	184
Şekil 4.177	: UV + 1,5 g/l TiO_2 konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için basınç değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)	184
Şekil 4.178	: UV + 1,5 g/l TiO_2 konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)	185
Şekil 4.179	: Farklı UV+ TiO_2 konsantrasyonları için basınç değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF)	186
Şekil 4.180	: Farklı UV+ TiO_2 konsantrasyonları için ham su TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF)	187

Şekil 4.181	: Farklı UV+TiO ₂ konsantrasyonları için reaktör içi TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF)	187
Şekil 4.182	: Farklı UV+TiO ₂ konsantrasyonları için çıkış TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF)	188
Şekil 4.183	: Farklı UV+TiO ₂ konsantrasyonları için TOK giderim veriminin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF)..	188
Şekil 4.184	: Farklı UV+TiO ₂ konsantrasyonları için ham su UV ₂₅₄ absorban değerlerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF)	189
Şekil 4.185	: Farklı UV+TiO ₂ konsantrasyonları için reaktör içi UV ₂₅₄ absorban değerlerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF)	189
Şekil 4.186	: Farklı UV+TiO ₂ konsantrasyonları için çıkış UV ₂₅₄ absorban değerlerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF)	190
Şekil 4.187	: Farklı UV+TiO ₂ konsantrasyonları için UV ₂₅₄ giderim veriminin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF)..	190
Şekil 4.188	: Farklı UV+TiO ₂ konsantrasyonları için çıkış bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF)...	191
Şekil 4.189	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi öncesi TOK değerinin zamanla değişimi (Terkos göl suyu, MF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)	192
Şekil 4.190	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi sonrası TOK değerinin zamanla değişimi (Terkos göl suyu, MF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)	193
Şekil 4.191	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi öncesi UV ₂₅₄ absorban değerinin zamanla değişimi (Terkos göl suyu, MF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)	193
Şekil 4.192	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi sonrası UV ₂₅₄ absorban değerinin zamanla değişimi (Terkos göl suyu, MF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)	194
Şekil 4.193	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi öncesi ve sonrası TOK giderim verimlerinin zamanla değişimi (Terkos göl suyu, MF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)	194
Şekil 4.194	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi öncesi ve sonrası UV ₂₅₄ giderim verimlerinin zamanla değişimi (Terkos göl suyu, MF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)	195
Şekil 4.195	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için basınç değerinin zamanla değişimi (Terkos göl suyu, MF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st).....	195

Şekil 4.196	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Terkos göl suyu, MF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)	196
Şekil 4.197	: Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için basınç değerinin zamanla değişimi (Terkos göl suyu, MF).....	198
Şekil 4.198	: Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için ham su TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Terkos göl suyu, MF)	198
Şekil 4.199	: Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için reaktör içi TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Terkos göl suyu, MF)	199
Şekil 4.200	: Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için çıkış TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Terkos göl suyu, MF)	199
Şekil 4.201	: Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için TOK giderim veriminin zamanla değişimi (Terkos göl suyu, MF).....	200
Şekil 4.202	: Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için ham su UV ₂₅₄ absorban değerlerinin zamanla değişimi (Terkos göl suyu, MF)	200
Şekil 4.203	: Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için reaktör içi UV ₂₅₄ absorban değerlerinin zamanla değişimi (Terkos göl suyu, MF)	201
Şekil 4.204	: Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için çıkış UV ₂₅₄ absorban değerlerinin zamanla değişimi (Terkos göl suyu, MF)	201
Şekil 4.205	: Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için UV ₂₅₄ absorban giderim verimlerinin zamanla değişimi (Terkos göl suyu, MF)	202
Şekil 4.206	: Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için çıkış bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Terkos göl suyu, MF).....	202
Şekil 4.207	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi öncesi TOK değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, MF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st).....	204
Şekil 4.208	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi sonrası TOK değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, MF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)	204
Şekil 4.209	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi öncesi UV ₂₅₄ absorban değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, MF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)	205
Şekil 4.210	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi sonrası UV ₂₅₄ absorban değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, MF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st).....	205

Şekil 4.211	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi öncesi ve sonrası TOK giderim verimlerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, MF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st).....	206
Şekil 4.212	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi öncesi ve sonrası UV ₂₅₄ giderim verimlerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, MF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)	206
Şekil 4.213	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için basınç değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, MF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st).....	207
Şekil 4.214	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, MF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)	207
Şekil 4.215	: Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için basınç değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, MF).....	209
Şekil 4.216	: Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için ham su TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, MF)	210
Şekil 4.217	: Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için reaktör içi TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, MF)	210
Şekil 4.218	: Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için çıkış TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, MF)	211
Şekil 4.219	: Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için TOK giderim veriminin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, MF).....	211
Şekil 4.220	: Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için ham su UV ₂₅₄ absorban değerlerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, MF)	212
Şekil 4.221	: Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için reaktör içi UV ₂₅₄ absorban değerlerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, MF)	212
Şekil 4.222	: Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için çıkış UV ₂₅₄ absorban değerlerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, MF)	213
Şekil 4.223	: Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için UV ₂₅₄ absorban giderim verimlerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, MF)	213
Şekil 4.224	: Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için çıkış bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, MF).....	214
Şekil 4.225	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi öncesi TOK değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, MF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)	215
Şekil 4.226	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi sonrası TOK değerinin zamanla değişimi (Büyükçekmece göl suyu, MF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)	216

Şekil 4.227	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi öncesi UV ₂₅₄ absorban değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, MF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)	216
Şekil 4.228	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi sonrası UV ₂₅₄ absorban değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, MF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)	217
Şekil 4.229	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi öncesi ve sonrası TOK giderim verimlerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, MF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)	217
Şekil 4.230	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi öncesi ve sonrası UV ₂₅₄ giderim verimlerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, MF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)	218
Şekil 4.231	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için basınç değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, MF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)	218
Şekil 4.232	: PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, MF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)	219
Şekil 4.233	: Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için basınç değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, MF)	221
Şekil 4.234	: Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için ham su TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, MF)	221
Şekil 4.235	: Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için reaktör içi TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, MF)	222
Şekil 4.236	: Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için çıkış TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, MF).....	222
Şekil 4.237	: Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için TOK giderim veriminin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, MF)..	223
Şekil 4.238	: Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için ham su UV ₂₅₄ absorban değerlerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, MF)	223
Şekil 4.239	: Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için reaktör içi UV ₂₅₄ absorban değerlerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, MF)	224
Şekil 4.240	: Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için çıkış UV ₂₅₄ absorban değerlerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, MF)	224
Şekil 4.241	: Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için UV ₂₅₄ absorban giderim verimlerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, MF)	225

Şekil 4.242	: Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için çıkış bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, MF)..	225
Şekil 4.243	: Farklı ham sular kullanılarak yürütülen pilot ölçekli UF Membran deneylerinde sadece ham su beslemesi durumunun (kontrol deneyinin) basınç artışı açısından karşılaştırılması...	227
Şekil 4.244	: Farklı ham sular kullanılarak yürütülen pilot ölçekli UF Membran deneylerinde sadece ham su beslemesi durumunun (kontrol deneyinin) TOK giderim verimi açısından karşılaştırması.....	227
Şekil 4.245	: Farklı ham sular kullanılarak yürütülen pilot ölçekli UF Membran deneylerinde sadece ham su beslemesi durumunun (kontrol deneyinin) UV ₂₅₄ giderim verimi açısından karşılaştırması.....	228
Şekil 4.246	: Farklı ham sular kullanılarak yürütülen pilot ölçekli UF Membran deneylerinde 25 gr/l toz aktif karbon ilavesinin basınç artışı açısından karşılaştırılması.....	229
Şekil 4.247	: Farklı ham sular kullanılarak yürütülen pilot ölçekli UF Membran deneylerinde 25 gr/l toz aktif karbon ilavesinin TOK giderim verimi açısından karşılaştırması.....	230
Şekil 4.248	: Farklı ham sular kullanılarak yürütülen pilot ölçekli UF Membran deneylerinde 25 gr/l toz aktif karbon ilavesinin UV ₂₅₄ giderim verimi açısından karşılaştırması.....	230
Şekil 4.249	: Farklı ham sular kullanılarak yürütülen pilot ölçekli UF Membran deneylerinde UV+0,5 gr/l TiO ₂ ilavesinin basınç artışı açısından karşılaştırılması.....	232
Şekil 4.250	: Farklı ham sular kullanılarak yürütülen pilot ölçekli UF Membran deneylerinde UV+0,5 gr/l TiO ₂ ilavesinin TOK giderim verimi açısından karşılaştırması.....	232
Şekil 4.251	: Farklı ham sular kullanılarak yürütülen pilot ölçekli UF Membran deneylerinde UV+0,5 gr/l TiO ₂ ilavesinin UV ₂₅₄ giderim verimi açısından karşılaştırması.....	233
Şekil 4.252	: Farklı ham sular kullanılarak yürütülen pilot ölçekli UF Membran deneylerinde UV+1,5 gr/l TiO ₂ ilavesinin basınç artışı açısından karşılaştırılması.....	233
Şekil 4.253	: Farklı ham sular kullanılarak yürütülen pilot ölçekli UF Membran deneylerinde UV+1,5 gr/l TiO ₂ ilavesinin TOK giderim verimi açısından karşılaştırması.....	234
Şekil 4.254	: Farklı ham sular kullanılarak yürütülen pilot ölçekli UF Membran deneylerinde UV+1,5 gr/l TiO ₂ ilavesinin UV ₂₅₄ giderim verimi açısından karşılaştırması.....	234
Şekil 4.255	: Farklı ham sular kullanılarak yürütülen pilot ölçekli MF Membran deneylerinde sadece ham su beslemesi durumunun (kontrol deneyinin) basınç artışı açısından karşılaştırılması...	236
Şekil 4.256	: Farklı ham sular kullanılarak yürütülen pilot ölçekli MF Membran deneylerinde sadece ham su beslemesi durumunun (kontrol deneyinin) TOK giderim verimi açısından karşılaştırması.....	236

Şekil 4.257	: Farklı ham sular kullanılarak yürütülen pilot ölçekli MF Membran deneylerinde sadece ham su beslemesi durumunun (kontrol deneyinin) UV_{254} giderim verimi açısından karşılaştırması.....	237
Şekil 4.258	: Farklı ham sular kullanılarak yürütülen pilot ölçekli MF Membran deneylerinde her gün 25 gr/l toz aktif karbon ilavesinin basınç artışı açısından karşılaştırılması.....	238
Şekil 4.259	: Farklı ham sular kullanılarak yürütülen pilot ölçekli MF Membran deneylerinde her gün 25 gr/l toz aktif karbon ilavesinin TOK giderim verimi açısından karşılaştırması.....	239
Şekil 4.260	: Farklı ham sular kullanılarak yürütülen pilot ölçekli MF Membran deneylerinde her gün 25 gr/l toz aktif karbon ilavesinin UV_{254} giderim verimi açısından karşılaştırması.....	239

PİLOT ÖLÇEKLİ BATIK MEMBRAN SİSTEMLERİ İLE İÇME SUYU ARITIMI

ÖZET

Dünya yüzeyinin %80'i sudur ve tüm suların %97'si deniz ve okyanuslardan oluşur. Kutuplardaki buzul halinde bulunan su oranı %2'dir. Ancak dünyadaki tüm suların sadece %1'i içilebilir niteliktedir.

Hızlı nüfus artışı, aşırı sanayileşme, artan kuraklık ve aşırı tüketim ile birlikte tatlı su kaynakları küresel ölçekte hızla tükenmektedir. Artan talebe karşılık tatlı su kaynaklarını artırmak teknik ve ekonomik açıdan sınırlayıcı olduğu için sürdürülebilir kalkınmayı sağlayabilecek değişik pratik çözümlere ihtiyaç vardır. Bu konuda birçok avantajından dolayı dünya çapında membran teknolojileri uygulamalarına ilgi artmıştır.

Su arıtımında, membran tıkanması; en çok askıda katıların ve kolloidlerin membran yüzeyinde birikmesi ve porların tıkanması ile gerçekleşir. Koagülasyon-flokülasyon, adsorpsiyon veya oksidasyon basamakları gibi çözeltinin şartlandırılması avantajlıdır. Ama yine de, besleme suyu karakteristiğine göre, şartlandırmayı, membran modül konfigürasyonunu ve hidrodinamiğini optimize ederek işletme maliyetini minimize etmek önemlidir. Batık membran sistemleri; aynı tankta bütün arıtma basamaklarının (fiziko-kimyasal şartlandırma, PAC adsorpsiyonu, ayırma) bir bütün olarak gerçekleştirilmesi olasılığından dolayı sıklık ve seçicilik gibi avantajlara sahiptir. Buna ek olarak, türbülans sağlayıcı gibi rol oynayan membran parçasının yakınına hava enjeksiyonu uygulamasıyla düşük enerji maliyetlerinde sık sık membran temizleme kimyasalına gerek olmadan uzun işletme periyotlarında yüksek süzöntü akısının sürdürülmesi ve membran tıkanması kontrol edilebilir.

Bu çalışmanın amacı laboratuvar ölçekli batık membran sisteminde membran tıkanıklığını kontrol etmek için kullanılan farklı ön arıtma yöntemlerinden en iyi verim alınan toz aktif karbon ve UV/TiO₂ etkisinin pilot ölçekte doğrulanmasıdır. Deneysel çalışmalarda, Terkos, Ömerli ve Büyükçekmece göl suları 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 UV₂₅₄ absorbans ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca, membran tıkanıklığının göstergesi olan vakum basıncındaki artış, deney boyunca sürekli olarak kaydedilmiştir.

Deneysel çalışmalar, ultrafiltrasyon ve mikrofiltrasyon membranları ile olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada UF membranı ile Terkos, Ömerli ve Büyükçekmece göl sularında toz aktif karbon adsorpsiyonu ve UV/TiO₂ fotokatalitik etkisi araştırılmıştır.

İkinci aşamada ise MF membranı ile Terkos, Ömerli ve Büyükçekmece göl sularında toz aktif karbon adsorpsiyonu etkisi araştırılmıştır.

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

TREATMENT OF DRINKING WATERS WITH SUBMERGED MEMBRANES ON A PILOT SCALE

SUMMARY

Eighty percent of the surface of the Earth is covered with water and 97% of all water consists of marine and ocean. The percentage of the water in the form of glaciers at the poles is 2%. However, only 1% of all the water on the Earth is potable.

Fresh water resources are rapidly depleted at the global scale due to rapid population growth, over-industrialization, increasing drought and excessive consumption. Since it is difficult to fulfill increasing demands for potable water for technical and economical reasons, different practical solutions are needed that could provide sustainable development. Due to its numerous advantages in this regard, there has been increased interest in the application of membrane technology throughout the world.

In water treatment most fouling is caused by suspended matter and colloid fraction deposits on the membrane surface or by pore blocking. Suspension conditioning such as coagulation-flocculation, adsorption, and oxidation steps are then favorable. Nevertheless, depending on raw water characteristics, it appears important to minimize operating costs by optimizing conditioning, membrane module configuration, and hydrodynamics. Immersed membrane systems present several advantages such as selectivity and compactness due to the possibility of developing all the unitary steps of treatment (physico-chemical conditioning, PAC adsorption, separation) in the same tank. In addition, external membrane fouling can be controlled at low energy costs by practicing air injection close to the membrane bundles acting as a turbulence supplier and maintaining a high permeate flux level for relatively long operational periods without frequent chemical membrane cleaning.

The aim of this study was to test effects of powdered activated carbon and UV/TiO₂ on the pilot scale, one of the most efficient pretreatment methods used to control membrane fouling on the laboratory scale submerged membrane system. Terkos, Ömerli and Büyükçekmece lake waters were used with ultrafiltration and microfiltration membranes in studies. Samples were collected from feed water, inside of reactors and permeate water. TOC and UV₂₅₄ absorbance were measured to determine organic matter concentration in these samples. Additionally, vacuum pressure was monitored continuously with an online monitoring system.

Experimental studies involved two stages. In the first stage, effects of PAC adsorption and UV/TiO₂ photocatalytic oxidation processes in Terkos, Ömerli and Büyükçekmece lake waters on membrane fouling were investigated using ultrafiltration membranes.

In the second stage, effects of PAC adsorption on membrane fouling in Terkos, Ömerli and Büyükçekmece lake waters were investigated using microfiltration membranes.

In conclusion, all the pretreatment methods were compared with each other and the most suitable method for reduced membrane fouling in submerged membrane systems was determined.

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Anlam ve Önemi

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.

Ayrıca konvansiyonel arıtma sistemleri ile yapılan içme suyu arıtımında özellikle suyun klorla dezenfeksiyonu sırasında suda bulunan organik maddeler klorla reaksiyona girerek dezenfeksiyon yan ürünü adı verilen insan sağlığına zararlı bileşikler oluşturmaktadır [1,2,3]. Bu nedenle genellikle doğal organik maddelerin klorlamadan önce giderilmesi istenir.

Günümüzde su kaynağı ne olursa olsun yüksek kalitede su elde etmek için basınçlı membran prosesler geniş bir şekilde kullanılmaktadır. Mikro/Ultrafiltrasyon teknolojik bir şekilde suyu berraklaştırır ve çok iyi kalitede çıkış suyu sağlamasının yanında *Giardia* veya *Cryptosporidium* gibi bulaşıcı kirleticileri gidermesinden dolayı konvansiyonel sistemlerin yerini almaktadırlar [4].

İleri bir ön arıtma olmadan MF ve UF membranlar çözünmüş organikleri ve inorganik türleri gideremezler. MF ve UF membranların çözünmüş türleri giderebilmesi için, bu türlerin toz aktif karbon (Powdered Activated Carbon, PAC), tat ve koku adsorplayıcı kimyasallar, çözünmüş organik karbon (Dissolved Organic Carbon, DOC)'u komplekleştirici koagülantlar veya demir veya mangan çöktürmek için oksidanların eklenmesi gibi yollarla partiküler forma dönüştürülmesi gerekir.

Adsorpsiyonla çözülmüş organik kirleticilerin gideriminde aktif karbonun doğasından dolayı ileri arıtma prosesleri gibi toz aktif karbonla birleştirilmiş membran hibrit sistemleri üzerinde artan bir şekilde çalışılmaktadır (Adham ve diğ., Pirbazari ve diğ., Seo ve diğ., Kim ve diğ.).

İleri arıtma teknolojileri arasında, TiO_2/UV fotokatalizi çamur uzaklaştırma problemi olmadığından ve toksik olmadığından dolayı son yıllarda yapılan çalışmalarda ilgi çekmiştir [5]. Yine ön arıtma amacıyla UV/TiO_2 kullanımının membran tıkanıklığını azaltmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır (Xianhuai ve diğerleri, Muthukumaran ve diğ., Maskooki ve diğ.).

Literatürdeki bu boşluğu doldurmak üzere, pilot ölçekli batık membran sisteminde ön arıtma amacıyla UV/TiO_2 ve toz aktif karbon 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 yöntemlerinin kullanılması ve bunların karşılaştırılmasıdır. Bu amaç doğrultusunda TAŞIYICI (2009)'nın yaptığı çalışmada laboratuvar ölçekte zeolit, UV/TiO_2 , toz aktif karbon ve ses dalgaları ön arıtma amacıyla kullanılmıştır [6]. Bu yöntemlerden en iyi verim laboratuvar ölçekte toz aktif karbon ve UV/TiO_2 çalışmalarından alınmıştır ve bu çalışma laboratuvar ölçekte iyi sonuç alınan toz aktif karbon ve UV/TiO_2 çalışmalarının pilot ölçekte doğrulanması amacıyla yapılmıştır.

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 pilot ölçekli batık membran sisteminin düzeneği ve işletilmesi, mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon membran özellikleri, 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, çizelge 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

Günde ortalama diğer besinlerle birlikte vücuda 2,5 litre su alınması gerekmektedir. Dünya yüzeyinin %80'i sudur ve tüm suların %97'si deniz ve okyanuslardan oluşur. Kutuplardaki buzul halinde bulunan su oranı %2'dir. Ancak dünyadaki tüm suların sadece %1'i içilebilir niteliktedir.

Hızlı nüfus artışı, aşırı sanayileşme, artan kuraklık ve aşırı tüketim ile birlikte tatlı su kaynakları küresel ölçekte hızla tükenmektedir. Bu problem özellikle ülkemizin de coğrafyasında bulunduğu Balkanlar ve Ortadoğu'da son yıllarda daha da önemli hale gelmekte ve artık sahip olunan su kaynakları ülkeler arasındaki stratejik ilişkiler ve pazarlıkların ana unsurlarından biri olmaktadır. Artan talebe karşılık tatlı su kaynaklarını artırmak teknik ve ekonomik açıdan sınırlayıcı olduğu için sürdürülebilir kalkınmayı sağlayabilecek değişik pratik çözümlere ihtiyaç vardır.

Diğer taraftan günlük su gereksinimimiz yalnız bu içme suyundan oluşmamaktadır. Bunun yanı sıra temizlik, yemek pişirmek ve benzer işler için İstanbul'da günde kişi başına yaklaşık 175 litre su tüketilmektedir. İstanbul'un şu anki nüfusu göz önüne alındığında günde yaklaşık 2 milyon metreküp su gerekmektedir ve mevcut kaynaklarla bu miktar karşılanamamaktadır.

Dünyada giderek artan nüfusla birlikte gelişen teknoloji ve hızlı sanayileşme, çok büyük ve çözülmesi giderek zorlaşan çevre kirliliğini de beraberinde getirmiştir. Bugün bu kirlilik doğanın dengesini bozar duruma gelmiş ve insan yaşamını tehdit eden boyutlara ulaşmıştır. Su kirliliği ise çevre kirliliğinin önemli bir boyutunu oluşturmaktadır.

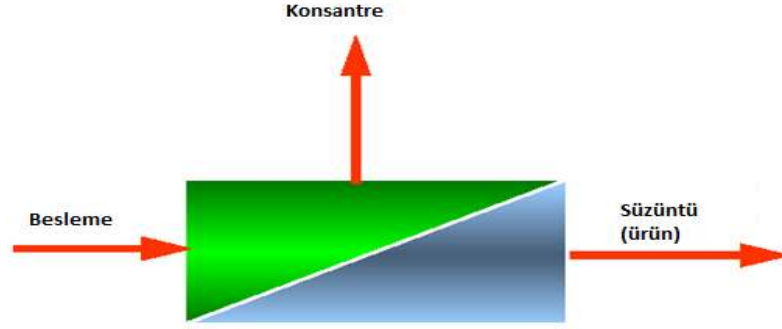
Bu bağlamda temiz su kaynaklarını korumanın ilk yolu “atıksuları geri kazanma ile başlar” düşüncesi ile arıtılmış atıksuların geri kazanımı ve birçok değişik amaçlı geri kullanımı için son yıllarda çalışmalar artmıştır. Atıksuların geri kullanımı ile hem tatlı su kaynaklarının tüketimi azaltılmakta hem de deşarj edilen arıtılmış atıksuların çevresel etkileri en aza indirilebilmektedir. Arıtılmış atıksular birçok alanda yoğun biçimde kullanılabilir. Arıtılmış atıksular birçok alanda yoğun biçimde kullanılabilir.

Son yıllarda geliştirilen bazı arıtma teknolojileri ile atıksuyun tekrar kullanımı ekonomik olarak mümkün olmaktadır. Özellikle suyun kıt olduğu yörelerde ve çok su kullanan endüstrilerde önemli altyapı yatırımları yapılmadan önce evsel atıksuların ve kötü kalitedeki yüzey sularının tekrar kullanımı ekonomik bir alternatif olarak dikkate alınmalıdır. Membran prosesleri atıksuların tekrar kullanımını mümkün kılarak onların alternatif su kaynağı olarak değerlendirilmelerini gündeme getirmiştir [7].

Ayrıca konvansiyonel arıtma sistemleri ile yapılan içme suyu arıtımında özellikle suyun klorla dezenfeksiyonu sırasında suda bulunan organik maddeler klorla reaksiyona girerek dezenfeksiyon yan ürünü adı verilen insan sağlığına zararlı bileşikler oluşturmaktadır [1,2,3]. Bu nedenle genellikle doğal organik maddelerin klorlamadan önce giderilmesi istenir.

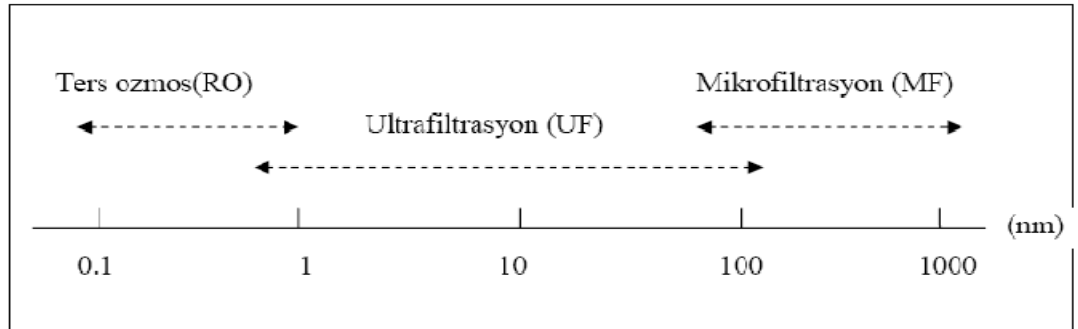
İçme suyu kalitesiyle ilgili standartların gittikçe sıkılaştırılmasından dolayı dünya çapında membran teknolojileri uygulamalarına ilgi artmıştır [8].

Membran, iki farklı fazı veya ortamı birbirinden ayıran ve bir tarafından diğer tarafa maddelerin seçici bir şekilde taşınmasını sağlayan geçirgen bir tabakadır (Şekil 2.1). Tüm membranla ayırma teknolojilerinde membrandan geçme yönünde akış sağlamak üzere itici bir kuvvet ve bazı maddelerin geçişini engelleyen ayırma faktörü, temel iki prensiptir. Kütle transferi; konsantrasyon farkı, basınç farkı ve elektriksel potansiyel farkı gibi itici güçler yardımıyla gerçekleşmektedir. Membran proseslerinde en yaygın itici kuvvet basınçtır.



Şekil 2. 1: Basit membran diyagramı. (Koyuncu, 2009).

Membran ayırma prosesleri mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF), ters ozmos (RO), elektrodiyaliz (ED), ve pervaporasyondur. Bu yöntemlerde ayırma, moleküllerin boyutlarına ve molekül kütlelerine göre olur. Bu membranlar geçirdikleri maksimum molekül ağırlığına göre ayırt edilirler (Şekil 2.2).



Şekil 2. 2: Membran prosesleri ve por büyüklükleri. (Fane, 2002).

Ters ozmos (Reverse Osmosis, RO) tuz gidermede yaygın olarak uygulanır. Birçok organik bileşiğe ek olarak mikroorganizmaların ve iyonik türlerin giderimini de sağladığından ilave bir avantaja sahiptir [10]. RO sisteminde temiz suyu kirli sıvıdan ayıran yarı geçirgen bir membran vardır. Kirli tarafa bir basınç uygulandığında kirli taraftaki su temiz tarafa difüze olur. Proses sonunda, istenmeyen kimyasal maddeler yoğunlaşarak temiz sudan ayrılır. RO prosesi atıksudan inorganik tuzları ayırmada ve atıksudaki belli organik çözücülerin

gideriminde kullanılır. En küçük gözenek boyutuna sahip olan ve bu yüzden çok yüksek basınca ihtiyaç duyan RO prosesinin en yaygın uygulama alanı deniz suyu veya tuzlu sudan içme suyu elde edilmesidir [7].

MF ve UF teknikleri askıda katıların, kolloidlerin ve makro moleküllerin gideriminde kullanılır [10]. UF ve MF proseslerinde membranların gözenek boyutları daha büyük olduğundan ayırma için daha düşük basınç gerekir. UF prosesinde 0.1-0.01µm büyüklüğündeki partiküller tutulur. UF prosesi atıksudan makro molekül ve kolloidlerin konsantre edilerek ayrılmasında kullanılır. Su belirli gözenek boyutundaki geçirgen zarın bir tarafında basınç altında bulunur. Gözenek boyutundan küçük tüm maddeler membrandan geçer, büyük boyutlular kirli su tarafında kalır. UF prosesi, RO prosesi öncesi ön arıtım kademesi olarak da kullanılır [7].

Elektrodiyaliz (ED), acı sudan tuz giderme de kanıtlanmış bir prosestir [10]. Elektrodiyalizde elektrik yüklü membranlar kullanılır. Katyon veya anyonlar seçici membran tarafından reddedilirler. Bu reddedilen anyonlar elektrodiyaliz hücresinden deşarj edilirler.

En yaygın uygulaması peynir altı suyunun tuzsuzlaştırılmasıdır. Yeni iki katmanlı membranlarla atık seyreltik tuz çözeltilerinden asit ve baz üretilerek geri kazanma gerçekleşmektedir. Membrandan geçmeyen maddelerin, tıkanmaya neden olmamaları için periyodik olarak toplanarak membranın temizlenmesi gerekir [7].

Nanofiltrasyon, son zamanlarda kullanılmaya başlanmış ve moleküler ayırma ağırlık sınırı (200-2000 Dalton) UF ile RO arasında olan bir membran ayırma prosesidir. Genellikle bakterilerin, virüslerin, organik kalıntıların ve sertliğin uzaklaştırılmasında kullanılır [7].

Filtreler ve membranlar alıkonan çözünmüş madde bakımından mekanizmada farklılık gösterirler. Kağıt gibi filtreler, lif ağı içerisindeki tutulmuş partiküllerin oluşumuna bağlıdır ve bu da tıkanmadan dolayı akış hızının azalması ile sonuçlanır. Kum filtreleri, partikül taşınması yoluyla katı partikülleri filtre malzemesine bağlayarak ayırır. Diğer bir yandan membranlar, besleme çözeltisi

ile temas halindeyken açılan por çapının aralığına ve ince tabakanın altındaki poröz yapıya bağlıdır. Partiküllerin membran içerisinde tutulmuş hale gelmesi pek olası değildir. Membranın makro molekülleri reddetme kabiliyeti, elek mekanizmasına dayanır. Makromolaküllerin boyut ve şekilleri moleküllerin membrandan geçip geçmeyeceğini belirleyen önemli faktörlerdir.

Membranların sudan iyonları ayırma yeteneği, sadece gözenek boyutuna değil, aynı zamanda yüzey adsorpsiyon olayına bağlıdır. Örneğin, deniz suyunda bulunan genel iyonlar ve su arasında, büyük moleküler boyut farkı olmamasına rağmen, RO membran prosesinde, %97 den daha fazla tuzun reddedildiği gözlenmiştir. Bu olayda, yüksek reddetme; membrandan iyonların itilmesi ve membran yüzeyinde moleküllerin öncelikli adsorpsiyonu ile meydana gelmiştir. Beslemeye uygulanan basınç, katıların çözeltide kalmasını sağlarken, suyu membrandan geçmeye zorlamıştır.

Membran prosesler, çözeltideki katıların boyut aralıklarına göre seçilirler. Çizelge 2.1 membran proseslerin işletme koşullarını göstermektedir [10].

Çizelge 2. 1: RO,UF ve MF arasındaki farklar. (Wang, 2004).

Parametre	MF	UF	RO
Membran	Poröz, İzotropik	Poröz, Asimetrik	Poröz olmayan, Asimetrik veya Kompozit
Por çapı	50nm-10 µm	5-20 nm	-
Transfer mekanizması	Elek mekanizması (katı konveksiyon yolu ile göç eder.)	Elek ve öncelikli adsorpsiyon	Difüzyon yasası (katı difüzyon mekanizması ile göç eder.)
Yöneten transfer kanunu	Darcy kanunu	Darcy kanunu	Fick kanunu
Aritılan katı tipi	Katı partiküller	Kolloidler veya makro moleküller	İyonlar ve küçük moleküller
Geçirgenlik aralığı	10-100m ³ /(m ² bar gün)	1 m ³ /(m ² bar gün)	0,01 m ³ /(m ² bar gün)
Uygulanan basınç	1 bar	1-5 bar	20-80 bar
pH (membran tipine bağlı olarak)	-	1-10	4,5-7,5

Membran sistemlerin uygulama alanları

Membran proseslerinin belli başlı kullanım alanları aşağıda özetlenmiştir:

- Yer altı suyunun tuzlu su geçişini önlemek üzere tekrar yüklenmesi, (bu amaçla kullanılacak arıtılmış suyun içilebilir su kalitesine getirilmesi gerekmektedir) [11].
- Dolaylı içilebilir su olarak, (içilebilir su kalitesine getirilmiş suyun rezervuarlara alınması, burada bir süre bekletilmesi ve tekrar arıtım için şebekeye geri verilmesi),
- Doğrudan içilebilir su olarak,
- Sulama suyu olarak, (arıtılmış sudaki mineral seviyesine göre MF sonrası RO da gerekebilir),
- Endüstrinin tekrar kullanımı, (Boiler' a besleme, soğutma suyu olarak veya uygun diğer proseslerde).

Membran teknolojileri birçok atıksuyun arıtımında kullanılır. Organik ve inorganik kirliliği yüksek düzenli çöp depo alanı sızıntı sularının arıtımında; metal üretiminden kaynaklanan ve çözünür yağ içeren atık suların arıtımında; metal işleme yıkama sularında çözücü-su, ve yağ-su karışımlarının arıtımında da membran prosesleri kullanılır. Tekstil endüstrisindeki ıslak prosesler boya, deterjan ve askıda katı yönünde çok yüksek kalitede ve miktarda su gerektirir. Atıksu arıtma tesisi çıkışının deşarj standartlarını sağlaması için konvansiyonel fiziko-kimyasal ve biyolojik arıtma tesisleri kullanılır. Arıtılmış su çıkışını üretim prosesine geri döndürebilmek için ise konvansiyonel arıtma tesislerine ilave olarak daha ileri arıtım gerekmektedir. Aktif çamur çıkışının UF ve RO proseslerinden geçirildikten sonra tekstil endüstrisinin tüm ıslak proseslerinde kullanılabileceği belirtilmektedir [12]. Evsel atıksuların MF ve UF yöntemleri ile arıtımı deneysel ve pilot ölçekli sistemlerde denenmiş, böyle sistemlerin kısmen ticari boyutta üretimi yapılmıştır. Evsel atıksularla membran prosesi sonrası tekrar kullanım için uygun su kalitesine ulaşabildiği ($KOI < 30 \text{ mg/l}$, $BOI < 10 \text{ mg/l}$, $TOK < 10 \text{ mg/l}$, bulanıklık=1NTU, $AKM = 2 \text{ mg/l}$) gösterilmiştir

[13]. Kağıt endüstrisi atıksularının havasız ve/veya havalı arıtım çıkışının iki kademeli UF-RO sisteminden geçirilerek %60 ının proseste tekrar kullanımının mümkün olduğu belirtilmektedir [14].

2.1.1 Membranların Yapısı

Membran proseslerde kullanılan membranlar, özelliklerine göre çeşitli sınıflandırmalara tabi tutulurlar. Yapılarına göre doğal veya sentetik, organik veya inorganik, boşluklu veya boşluksuz, simetrik veya asimetrik olarak gruplandırılabilirler. Kullanılan membran tipine göre gösterecekleri performanslar önemli ölçüde değişmektedir. Mümkün olduğunca yüksek süzüntü akımları elde edebilmek için membranın esas seçici tabakasının mümkün olduğunca ince olması gerekir. Bugün aşırı ince membranların en iyileri asimetrik yapı sayesinde elde edilmektedir. Bu tip membranlar aktif tabaka adı verilen ince bir üst tabaka ve bunun altında yer alan poröz bir destek tabakasından meydana gelmektedirler.

Asimetrik membranda filtrasyon aktif tabakada gerçekleşmektedir. Destek tabakası, membran ayırma etkisi üzerinde rol oynamamakta sadece aktif tabakayı taşımakta ve dayanıklı hale getirmektedir. Asimetrik membranların aktif yüzey tabakası genellikle 0,1-1 μm kalınlığında selülozasetat veya poliamidden, destek tabakası ise yaklaşık 100 μm kalınlığında polisülfon veya polipropilenden oluşur.

Simetrik membranların (boşluklu veya boşluksuz) kalınlıkları 1-200 μm arasında değişmektedir. Asimetrik membranlar, üniform olmayan bir yapıya sahiptir. Asimetrik membranların geliştirilmesiyle, su ve atık su arıtımında membranların kullanımı yaygınlaşmıştır.

Boşluklu membranlar, boşluklu bir yapıya sahiptir. Mikrofiltrasyon için kullanılan membranların boşluk çapları 0,1-10 μm ve ultrafiltrasyon için kullanılan membranların ise 2-10 nm'dir. Konsantrasyon polarizasyonu bu membranların en önemli problemleridir.

Membranların tıkanmaya karşı direnci ve tıkanmadan sonra kolay temizlenebilme özelliği, membran seçiminde önemli bir faktördür. Boşluksuz

membranlar ters ozmos ve nanofiltrasyonda kullanılır. Bunlar kompozit veya asimetrik membranlardır. Bu filtrasyonda molekül büyüklüğüne bağlı iyonlar tutulur.

Membranlar, ayrıca yapılarına göre organik veya inorganik olarak sınıflandırılabilirler. İnorganik membranlar 1940'lı yıllarda U^{235} zenginleştirilmesi amacıyla geliştirildi. Doğal uranyum yalnızca %0,7 U^{235} izotopu içeriyordu. Hâlbuki atomar enerji ve nükleer silahlar için %3 gibi yüksek konsantrasyonlara ihtiyaç vardı. Organik membranların ana maddesi polimerlerdir. İnorganik membranlar, kimyasal ve termik olarak organik membranlara göre daha iyi dayanıklılık gösterirler. Ana yapım maddelerine göre inorganik membranlar başlıca;

- Seramik membranlar
- Cam membranlar
- Metalik membranlar

olarak gruplandırılırlar. Çizelge 2.2'de membranların tip ve yapıları verilmiştir [15].

Çizelge 2.2 Membranların tip ve yapıları. (Barlas, 2005).

Geliştirilmiş doğal ürünler	Selüloz asetat (selüloz-2-asetat, selüloz-2,5-asetat, selüloz-3-asetat), selüloz asetobutirat, selüloz rejenerat, selüloz nitrat
Sentetik ürünler	Poliamid (aromatik poliamid, kopoliamid, poliamid hidrazide), polibenzimidazole, polisulfon, vinil polimerler, polifuran, polikarbonat, polietilen, polipropilen, PVA, PAN, polieter sülfon, poliolefin, silikon, naylon
Karışık ürünler	Boşluklu cam, ZrO_2 -poliakrilik asit, ZrO_2 -karbon, Al_2O_3 , SiC, metaller (kurşun, gümüş, paslanmaz çelik, alüminyum)

2.2 Düşük Basıncılı Membran Sistemleri ve Kullanılış Tarzları

Günümüzde su kaynağı ne olursa olsun yüksek kalitede su elde etmek için basınçlı membran prosesler geniş bir şekilde kullanılmaktadır. Mikro/Ultrafiltrasyon teknolojik bir şekilde suyu berraklaştırır ve çok iyi kalitede çıkış suyu sağlamasının yanında *Giardia* veya *Cryptosporidium* gibi bulaşıcı kirleticileri gidermesinden dolayı konvansiyonel sistemlerin yerini almaktadırlar. MF veya UF' un, kolloidlerin ve askıda katıların neden olduğu tıkanmaya karşı çok hassas olan ters ozmos ve nanofiltrasyon öncesi ön arıtma basamağı olarak kullanılması şiddetle önerilmektedir [4]. MF ve UF prosesleri kimyasal madde gerektirmediği, yüksek kalitede arıtılmış su ürettiği ve basit otomasyona sahip olduğu için yenilikçi teknolojiler arasında fark edilir olmuştur. Su arıtımında uygulanan UF prosesi içme suyu üretimi için çok daha cazip edici bir teknoloji haline gelmiştir. UF prosesi makromoleküller ve kolloidlerden mikro-çözünenleri ayırmak için ince poröz membran kullanır. MF prosesi 0,1-10 µm arası çapında askıda partikülleri ayırmak için poröz membran kullanan filtrasyon prosesidir. UF ve MF prosesleri; geniş moleküler ağırlıklı organik maddeler, bakteriler, bulanıklık ve partiküller gibi tuz gideren membranların tıkanmasından sorumlu olan potansiyonel maddelerin besleme suyundan giderilmesi amacıyla, teorik olarak yukarı akışlı ters ozmos için en iyi ön arıtmadır [16].

İçme suyu ve atıksu arıtımı için kullanılan MF ve UF membran sistemlerinin sayısı hızla artmaktadır [17,18,19,20]. Ultrafiltrasyon (UF) ve mikrofiltrasyon (MF) sudan bakterilerin yanı sıra kolloidleri ve partikülleri ayırabilmektedir ve konvansiyonel koagülasyon-flokülasyon ve filtrasyonun yerini almaktadır [21].

2.2.1 Modül geometrisi

İçme suyu arıtımı için birkaç tane ticari membran geometrisi bulunmaktadır. En popüler olanları:

- Spiral sargılı (Spiral Wound)

- Tüp şeklinde (Tubular)
- Boşluklu elyaf (Hollow Fiber)
- Plaka ve çerçeve (Plate and Frame)
- Kaset (Cassette)

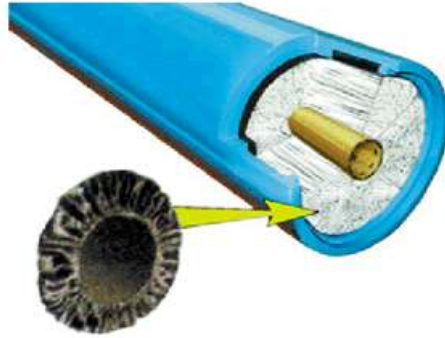
Belediye ölçekli içme suyu uygulamalarında, en çok spiral sargılı, tüp şeklinde ve boşluklu elyaf modüller uygulanmaktadır. MF ve UF için membran doğasındaki düz tabakadan dolayı spiral sargılı konfigürasyon pek kullanılmaz ve membran yüzeyini temiz tutmada zorlukları vardır. Boşuklu elyaf ve tüp şeklindeki konfigürasyonlar, partiküllerin ve organik maddelerin neden olduğu tıkanmayı kontrol etmek için membranın geri yıkanmasına olanak sağlar. Her bir membran geometrisinin avantaj ve dezavantajları Çizelge 2.3’de verilmiştir.

Çizelge 2.3 : MF için boşluklu elyaf ve tüp şeklindeki konfigürasyonların avantaj ve dezavantajları. (AWWA, chp 4).

Boşluklu Elyaf (Hollow Fiber)	
Avantajlar	Lineer çapraz akış hızı düşük, 0-25 m/sn. İç-dış akış modeli, elyafın içteki küçük boşluklarından dolayı kesme hızı yüksektir. Yüzey alanı hacim oranı veya membran kaplama yoğunluğu yüksek. Elyaflar geri yıkanabilir. Genellikle 0,2-1 bar arası düşük transmembran basıncına sahiptir, ama bazı durumlarda 3 bar a kadar işletilebilir. Modüle doğru 0,1-1 bar arası düşük basınç düşmesi.
Dezavantajlar	Ön izleme uygulanmadıkça küçük çaplı tüp membranlar tıkanmaya karşı hassastır. Modüldeki fazla miktarsa elyaf, geniş tesislerde membran sağlamlığı kaybını ortaya çıkarmada potansiyel zorluklar sunar.
Tüp şeklinde (Tubular)	
Avantajlar	Kanalların geniş yarıçapı (1-2,5 cm) yüksek katı ve geniş partikül içerikli su arıtımına olanak sağlar. Tıkanmayı kontrol etmek için yüksek çapraz akış hızları (5 m/sn üstü) kullanılabilir. Kanalların geniş çapları kolay temizlemeye olanak sağlar, bazı durumlarda mekanik temizleme uygulanabilir. Seramik tüp şeklindeki membranlar iyi mekanik dayanıklılık sergilerler.
Dezavantajlar	Yüzey alanı hacim oranı veya paketleme yoğunluğu düşük. Tüp şeklindeki seramik membranlar diğer membran konfigürasyonlarıyla karşılaştırıldığında metrekaşe başına düşen filtrasyon alanı maliyeti daha yüksektir.

Boşluklu Elyaf Membranlar

Boşluklu elyaf MF ve UF membranları genellikle modülün içine yerleştirilen birkaç yüzden birkaç bine elyaftan oluşur. Bu fiberler epoksi ve ürethan reçinenin sonuna tutturulurlar. Elyafların iç boşlukları veya çapları 0,4-1,5 mm arasında değişir ve basınç altında yerleştirildiklerinde fiberlerin sıkışmasını engelleyecek kadar küçüktür. Elyafların fiziksel dayanıklılığı onların geri yıkanmasına olanak sağlar. MF ve UF boşluklu elyaf konfigürasyonunda iki farklı akış rejimi mevcuttur: içten-dışa, dıştan-içe. Su, eş merkezli kanal veya boşluktan aktığı için içten-dışa membran modül hidrodinamiğini iyi bir şekilde kontrol eder. Aksine, çapraz akış uygulandığında dıştan-içe modülde akış kontrolü daha zordur ve genellikle kanallanmalardan ve ölü uç bölgelerinden kaçınmak zordur. Dahası, bu akış rejimiyle, içten-dışa membranla karşılaştırıldığında geri yıkama uygulanırken modülden partiküllerin uzaklaştırılması daha zordur. Fakat diğer rejimle karşılaştırıldığında dıştan-içe membranın avantajı; hidrolik yük kaybının daha az olmasıdır [22].



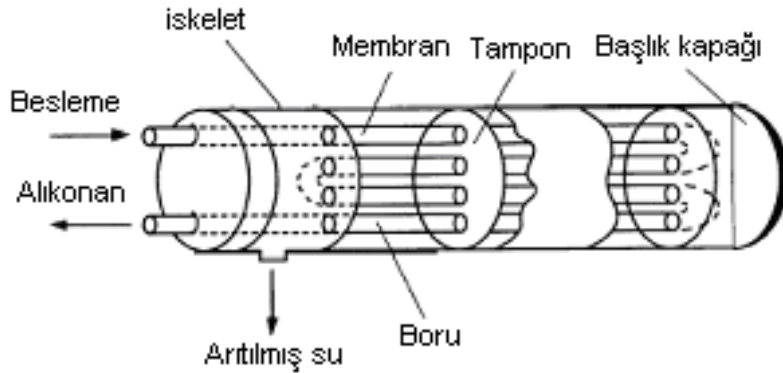
Şekil 2.3 : Boşluklu elyaf membran modülü. (Koyuncu, 2009).

Tüp Şeklinde Membranlar

Tüp şeklindeki membranlar 1-2,5 cm gibi nispeten daha geniş iç çapa sahiptirler. Polimerik veya seramik materyalden yapılan membranlar, paslanmaz çelik veya fiberglas plastik tüp içine yerleştirilirler ve conta ve yuvarlak kısıkaçlı kilit kullanılarak sıkıştırılırlar. Tek veya çoklu akış kanalları olabilir. Basınç altındaki

besleme suyu tüpün iç boşluğu boyunca akar ve s z nt  modülün d  k sımında toplanır.

Membran sistemlerinin bir diğer çeşidi esnek bir şekilde i letilebilen dikey perde dizileri şeklinde üretilen dokuma polyester tüplerdir. Bu t p sisteminde, duvar esas filtrasyon bariyeri değildir. Bunun yerine, kirleticilerin giderilmesi, filtrasyon döngüsünün başlamasından hemen sonra t p duvarında oluşan kek tabakası aracılığı ile olur. Bu genellikle dinamik filtrasyon olarak isimlendirilir. Kek tabakasının sıkı olması t p duvarının porlarından daha küçük büyüklükteki partiküllerin giderilmesine izin verir. Böylelikle, genellikle konvansiyonel MF sistemlerinde istenmeyen kek veya tıkanma tabakası, dokuma elyaf sistemlerde verimli bir şekilde uygulanır. Örneğin, besleme akımındaki membranı tıkayıcı madde, etkin filtrasyon bariyeri oluşturmak için yetersiz olduğuunda besleme suyu girişinden önce kireç ta ı veya kaolin gibi başka materyaller uygulanarak kek oluşturulur. Bu membranın önceden kaplanması olarak isimlendirilir. Akıdaki d  me istenmeyecek kadar düşük olduğuunda, esnek tüpler tıkanmaya neden olan tabakayı ayırarak mekanik olarak temizlenir ve tüpün geçirgenliği eski haline getirilmiş olur. Fakat, söylenmelidir ki, önceden kaplanmış dokunmuş elyaf sistemi diğer polimerik membranlar gibi etkin bir bariyer sağlamaz ve dahası, sağamlık kolayca test edilemez [22].



Şekil 2.4 : T p şeklindeki membran modülü. (Akdağlı, 2008).

2.2.2. Temiz MF/UF membranları arasından su geçirme

Temiz membrandan saf su taşınımı, direk olarak transmembran basıncı (ΔP) ile orantılı ve mutlak viskozite (μ) ile ters orantılıdır. Bundan dolayı, saf suyun hacimsel akısı (J) modifiye edilmiş Darcy kanunundan başarılı bir şekilde modellenebilir:

$$j = \frac{Q_{toplam}}{A} = \frac{\Delta P}{\mu R_m} \quad (2.1)$$

R_m , su geçirmesi için temiz membranın hidrolik direncidir. Denklem (2.1)'e göre, saf suyun hacimsel debisi (Q_{toplam}) temiz membranın verilen yüzey alanından (A) geçmesi lineer olarak transmembran basıncını arttırdığı ve artan viskozite ile azalması umulur. Belirtilmelidir ki denklem (2.1) 'de, akı, Darcy kanununda gereken basınç gradientinden daha fazla ayırıcı olduğundan mutlak transmembran basıncının fonksiyonudur. Akı için tipik birimler; günde membran metrekaresi başına geçen galon su (gfd) ve saatte membran metrekaresi başına geçen litre su ($L/m^2/st$) dur. Eğer akı $L/m^2/st$ olarak alınırsa; gfd 1,7 faktörüyle çarpılarak açıklanabilir.

Laminer akış şartlarında, tek silindirik por yarıçapı (r)'ndan geçen hacimsel debi (Q_{1por}) ve por uzunluğu (Δz) Poiseuille kanunu kullanılarak modellenebilir:

$$Q_{1por} = \frac{\pi r^4}{8\mu} \frac{\Delta P}{\Delta z} \quad (2.2)$$

Belirtilmelidir ki; $\Delta P/\Delta z$ membran porundan geçen basınç gradyanıdır. Çünkü su ve atıksu arıtımında kullanılan ticari membranların porları tam silindirik değildir, boyutsuz eğrilik faktörü (τ) sık sık empirik olarak denklem (2.2) 'de hesaba katılır ve yüzey alanı (A) ve por yoğunluğu çarpmasıyla elde edilen toplam hacimsel debi:

$$Q_{toplam} = \frac{\pi r^4}{8\mu\tau} \frac{\Delta P}{\Delta z} = A\rho_{por} \quad (2.3)$$

Darcy kanununa kıyasla membran direnci aşağıdaki gibi açıklanır:

$$R_m = \frac{8\tau\Delta z}{\pi r^4 \rho_{por}} \quad (2.4)$$

Böylece, temiz membrandan saf su transferi için direncinin artan eğrilik veya kalınlıkla artması ve por yoğunluğu veya por çapıyla artması beklenir. Denklem (2.4) 'e göre membran direncini etkileyen en önemli faktör por çapıdır, çünkü 4. kuvvettendir.

Bu nedenle, sabit transmembran basıncı için por çapındaki küçük artışlar filtre olan su akışında büyük artışlara neden olabilir. Daha başka, su arıtımında kullanılan por çapı dağılımına sahip ticari membranların varlığından dolayı daha büyük porlar gereğinden fazla su geçirecektir.

Farklı membranlardan su transferini değerlendirmedeki metot; hacimsel debi ve uygulanan transmembran basıncının oranı olarak tanımlanan spesifik akıları kıyaslamaktır. Böylece, spesifik akı, süzüntü akısını sürücü kuvvet (basınç) için normalize eder, böylece farklı membran türleri daha iyi kıyaslanabilir. Çünkü farklı üreticiler membranın performansını farklı test koşulları altında belirleyebilir. Farklı üreticiler MF/UF sistemleri için farklı dizaynlar kabul edebilirler, spesifik akı, tek başına su verimliliğindeki değişimleri yakalayamayabilir. Şimdilerde, mühendisler topluluğunda spesifik akının membran yüzey alanı kullanılarak hesaplanması konusunda bir fikir birliği söz konusudur.

Transmembran basıncı, giriş basıncı (P_i), çıkış basıncı (P_o) ve süzüntü basıncının (P_p) bir fonksiyonu olarak hesaplanabilir [23]:

$$\Delta P = \frac{P_i + P_o}{2} - P_p \quad (2.5)$$

2.2.3 Proses dizaynı

En kolay dizaynda MF ve UF prosesleri; direk veya çapraz akış modunun her ikisinde de giriş suyu ve giriş suyunun membran üzerinde basınç altında pompalanmasını içerir. Transmembran basıncı aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$P_{tm} = P_i - P_p \quad (2.6)$$

P_{tm} ; transmembran basıncı (bar)

P_i ; MF veya UF modülünün girişteki basıncı (bar)

P_p ; süzüntü basıncı (bar)

MF veya UF sistemi çapraz akış modunda işletildiği zaman, ortalama transmembran basıncı aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$P_{tm} = \frac{P_i + P_o}{2} - P_p \quad (2.7)$$

P_{tm} ; transmembran basıncı (bar)

P_i ; MF veya UF modülünün girişteki basıncı (bar)

P_o ; MF veya UF modülünün çıkıştaki basıncı (bar)

P_p ; süzüntü basıncı (bar)

Membranlar çapraz akış şartlarında işletildiği zaman, beraberinde modül boyunca basınç düşmesi görülür. Bu da aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$P = P_i - P_o \quad (2.8)$$

P ; modül boyunca basınç düşmesi (bar)

P_i ; MF veya UF modülünün girişteki basıncı (bar)

P_o ; MF veya UF modülünün çıkıştaki basıncı (bar)

MF ve UF sistemleri için transmembran basıncı genellikle 0,15-1 bar arasında değişir ve uygulanan basınçlar 0,7 den 2 bar a kadardır. Transmembran basıncı uygulaması filtre edilmiş sıvı veya süzüntü üretir. Bir membran sisteminin toplam üretim debisi, aşağıdaki gibi hesaplanabilir [22]:

$$Q_p = J_{tm} \times S \quad (2.9)$$

Q_p ; sistem süzüntü akış hızı (L/st)

J_{tm} ; transmembran akısı (L/st/m²)

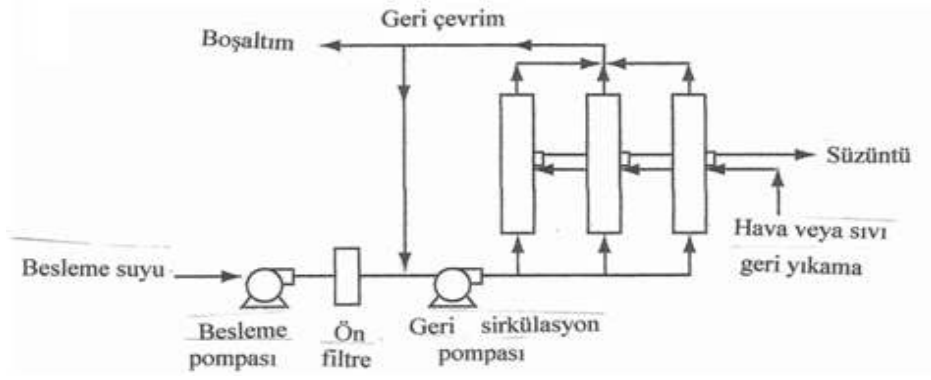
S ; toplam etkin membran yüzey alanı (m²)

2.2.4 Proses konfigürasyonu

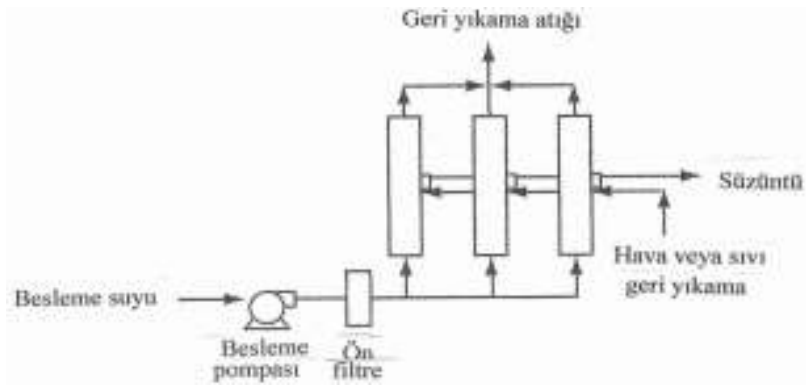
MF ve UF şekil 2.5’de görüldüğü gibi üç farklı proses konfigürasyonlarında işletilebilirler. Şekil 2.5 (A)’da besleme suyu yüzeysel çapraz akışla membrana pompalanır. Membrandan geçemeyen su konsantre olarak ön filtrenin öncesine geri döndürülür ve besleme suyu eklenerek karıştırılır. Bu modda membranın konsantre bölgesindeki basınç korunur ve toplam yük gereksiniminden düşülür. Geri sirkülasyon çevrimindeki katıların konsantrasyonunu kontrol etmek için taşan akım uygulanabilir. Farklı zamanlarda, konsantre atık geri sirkülasyon çevriminden deşarj edilebilir.

Membranlar, eğer çapraz akışın uygulanmadığı durumda direk filtrasyon konfigürasyonunda şekil 2.5 (B)’de işletilebilir. Bu durum ölü-uç filtrasyonu veya biriktirme modu olarak isimlendirilir. Ön filtrelenmiş su direk membrana uygulanır. Arıtılmış su geri yıkama için membrana geri döndürüldüğünde suyun % 100 geri kazanımı sağlanmış olur. Fakat suyun bir kısmı normalde sistemin geri yıkanması ve temizlenmesi için kullanılır. Direk filtrasyon modunda önemli miktarda enerji kazanımı vardır. Çünkü konsantrenin geri sirkülasyonu gerekmemektedir ve geri sirkülasyon pompası ve bununla ilgili pompalama sistemleri olmadığından ekonomik bir kazanç da sağlamaktadır.

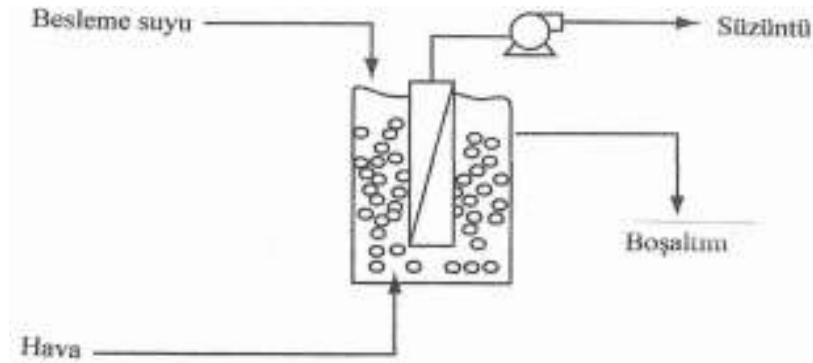
Bir diğer membran sistem konfigürasyonu arıtılacak suyun bulunduğu tanka membranları direk daldırmak şeklindedir (Şekil 2.5(C)). Membran besleme suyuna batırılır. Membranın iç boşluğuna vakum uygulanır ve bu durum da filtrasyonun gerçekleşmesi için gerekli basınç farkını oluşturulur. Modülün tabanından verilen hava ile periyodik veya bazı durumlarda sürekli olarak membranın dış kısmı temizlenir. Havanın hareketi membranın yüzeyindeki katıları temizler ve tanktaki besleme suyuna geçirir. Çeşitli aralıklarla süzüntü suyu ile membran geri yıkanır [22].



(A)



(B)



(C)

Şekil 2.5 : MF ve UF için basınç ve vakum sürürlü membran sistem konfigürasyonları (A) Çapraz akışlı; (B) Direk akışlı; (C) Direk akışlı su içine batırılabilen. (AWWA, chp. 4).

2.2.5 MF ve UF işletme kavramları

Sistem konfigürasyonları ile birlikte, istenilen işletme kavramlarının değerlendirilmesi gerekir. Daha öncede söylenildiği gibi suyu geçirmek için membran boyunca basınç veya vakum kullanılır. Membran sisteminin işletimi düşünüldüğünde, sabit basınç ve sabit akı olmak üzere iki temel işletme kavramı vardır.

Sabit basınç işletme kavramının anlamı; membran sisteminin akış hızındaki değişikliğe bakılmaksızın besleme basıncının set noktasında sürdürülmesidir. Bu kavramla, her geri yıkama öncesinde membran tıkanması nedeniyle basınç arttığı için süzüntü akısı zamanla azalacaktır. Sabit basınç kavramının avantajı, sabit basıncı sürdürmek için basit aç/kapa kontrolüyle besleme pompası boyutlandırılabilir ve enerji gereksinimi sabittir. Maalesef, süzüntü akısı zamanla azalır. Dizayn koşullarına dayanarak, tesisin minimum dizayn akısını sağlamak için ek kapasiteye ihtiyaç duyulabilir.

Sabit akı işletme kavramı için, membran boyunca sabit süzüntü akısını sürdürmek için besleme basıncı zamanla artar. Membran tıkanmasından dolayı, membran basıncı artar ve böylece geri yıkamalar arasında sabit akıyı sürdürmek için besleme basıncı da artmak zorundadır. Sabit akı kavramının avantajı, sistemin dizayn kapasitesini karşılamak için sistemi büyötmeye ihtiyaç yoktur. Besleme pompası daha yüksek basınç gereksinimini sağlamak için boyutlandırılmak zorundadır. Transmembran basıncının artmasıyla enerji verimliliği ve gereksinimi artacaktır. Fakat değişken pompa hızları genellikle pompa verimliliği konusu ile ilgilidir. İçme suyu için kullanılan birçok tam ölçekli membran sistemleri sabit akı işletme stratejisine göre uygulanır [22].

2.2.6 MF ve UF ile su arıtımı

MF ve UF membranları elek mekanizmasıyla sulardan partikül gidermek için dizayn edilmişlerdir. Her bir membran normal işletme altında ne çeşit bariyer görevi göreceğini tanımlayan membran por çapı dağılımına sahiptir. İleri bir ön arıtma olmadan MF ve UF membranlar çözünmüş organikleri ve inorganik türleri gideremezler. MF ve UF membranların çözünmüş türleri giderebilmesi

için, bu türlerin toz aktif karbon (Powdered Activated Carbon, PAC), tat ve koku adsorplayıcı kimyasallar, çözünmüş organik karbon (Dissolved Organic Carbon, DOC) ‘u komplekleştirici koagülantlar veya demir veya mangan çöktürmek için oksidanların eklenmesi gibi yollarla partiküler forma dönüştürülmesi gerekir. Çizelge 2.4 spesifik kirleticilerin giderimi için gereken ön arıtma fikri sunmaktadır. Tipik olarak yüzeysel su arıtımında kullanılan MF ve UF membranlar, demir, mangan veya hidrojen sülfür giderimi için yer altı suyu arıtımı uygulamalarında (tıkanma olayından dolayı çok alışlagelmiş bir olay değildir) da kullanılabilirler.

Çizelge 2.4 : Spesifik kirleticilerin önemli miktarda giderimini başarmak için gereken MF ve UF ön arıtmaları. (AWWA, chp. 2).

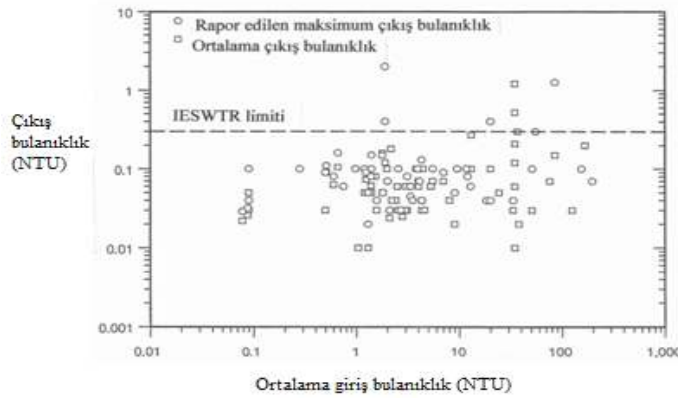
Parametre		Önemli giderim için gereken ön arıtma	
		MF	UF
Partiküler/Mikrobiyal	Bulanıklık	-	-
	Protozoa	-	-
	Bakteri	-	-
	Virüs	Koagülasyon	-
Organikler	TOK	Koagülasyon / PAC	Koagülasyon / PAC
	DBP öncüleri	Koagülasyon / PAC	Koagülasyon / PAC
	Renk	Koagülasyon / PAC	Koagülasyon / PAC
	Tat & Koku	Koagülasyon / PAC	Koagülasyon / PAC
	Pestisitler	PAC	PAC
İnorganikler	Demir ve Mangan	Oksidasyon	Oksidasyon
	Arsenik	Koagülasyon	Koagülasyon
	Hidrojen sülfür	Oksidasyon	Oksidasyon

Partiküler Giderim

- Bulanıklık

MF ve UF membranlar 0,1 NTU ‘dan az tipik filtre değeriyle bulanıklık gideriminde çok başarılıdır. Bu düşük değerlerin nedeni, süzütünün kalitesinin bulanık ölçer algılama limiti tarafından belirlenmesidir. MF ve UF sistemlerinin esas karakter ve fonksiyonu sürekli düşük bulanıklığa sahip süzüntü sağlama yeteneğidir. Bu, MF ve UF’ u içme suyu arıtma kurallarına (0,3 NTU altında bulanıklık gerektiren) uygunluğu bakımından yüksek derecede uygulanabilir yapar. Buna ek olarak MF ve UF sistemler tarafından sağlanan pozitif bariyer besleme suyu kalitesinden bağımsız olarak sürekli bir süzüntü kalitesiyle sonuçlanır.

Şekil 2.6 1989 ve 2001 yılları arasında yapılmış sayısız çalışmaların bulanıklık sonuçlarını göstermektedir. Şekil 2.6 ‘daki grafik rapor edilen ortalama ve maksimum süzüntü bulanıklık değerlerine karşılık ortalama ve medyan tarafından belirlenen ortalama giriş bulanıklığı çizilmiştir. Sonuçlar, MF ve UF membranların giriş bulanıklıktan bağımsız olarak son derece yüksek kalitede su sağladığını göstermektedir. Membran tipleri ve üreticileri arasında farklılık gözlenmemiş ve koagülant kullanılmamıştır. Rapor edilen ortamla süzüntü bulanıklığı 0,097 NTU ve medyan değeri 0,06 NTU (n=72) dur.

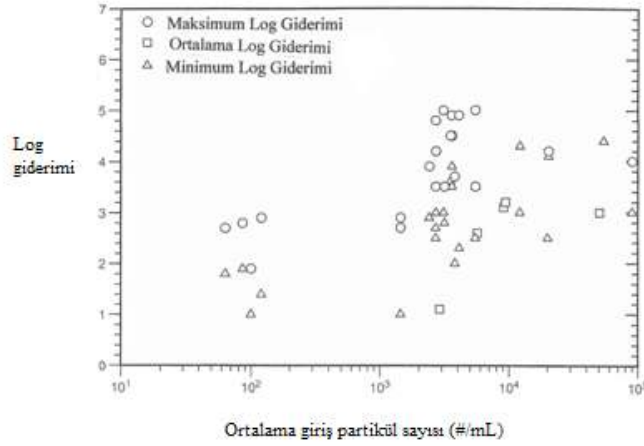


Şekil 2.6 : Literatürden alınan özetlenmiş giriş ve çıkış bulanıklık değerleri (AWWA, chp.2).

Şekil 2.6 da gösterilen 122 setin süzöntü bulanıklığından altı tanesi maksimumu göstermektedir. Ortalama süzöntü bulanıklığı 0,3 NTU IESWTR (Interim Enhanced Surface Water Treatment, Geçici Gelişmiş Yüzeysel Su Arıtma) limitinin üzerindedir. Bu altı çalışma için süzöntü bulanıklığının çoğunluğu 0,3 NTU 'nun altındaydı. Örneklerin küçük bir miktarı aralığın sonunda yüksek veya hesaplanan aritmetik ortalamanın baskın olduğunu göstermiştir. Membran sistemleri için yüksek süzöntü bulanıklıklarının sık sık havayla temizleme sırasında hava kabarcıklarından kaynaklanmaktadır. Bulanıklık ölçümleri membran sağlamlığını belirlemede hassas olmamasına rağmen, MF ve UF membranların konvansiyonel arıtma proseslerine göre daha iyi bir şekilde yüksek süzöntü kalitesiyle su sağladığını göstermektedir.

- Partiküller

Partikül sayma, MF ve UF membranları tarafından giderilen partiküllerin verimini ölçmek için bulanıklıktan daha büyük bir hassasiyete sahiptir. Şekil 2.7 çeşitli şartlar altında partikül sayma sonuçlarını göstermektedir. Şekil 2.7 minimum, ortalama ve maksimum partikül sayısı log giderimine karşılık rapor edilen ortalama, minimum ve maksimum giriş değerlerinden tanımlanan ortalama giriş partikül sayısına karşılık çizilmiştir. Log giderim belli bir değerden büyük olduğu zaman, minimum log giderimi olarak düşünülür. Genelde, MF ve UF membranları için log giderimi koagülanlı veya koagülantsız, 2-5 arasında değişir. Bu çalışmada, 5000 /ml den fazla partikül sayısına sahip yüksek partikül sayılı çalışmalar gösterilmiştir. Düşük giriş konsantrasyonlarında geniş aralıkta log gideriminin nedeni, süzöntüde ölçülen düşük partikül konsantrasyonunun ne kadar doğru olduğu ile ilişkilidir. Bulanıklık gibi, geri yıkama sırasında hava kabarcıkları giriş yapar ve yapay olarak süzöntüdeki log giderimini düşürür. Bu, patojenik mikropların direk olarak değerlendirilmesini ve koruyucu yedeklerin geliştirilmesi gerektiğini gösterir.



Şekil 2.7 : Literatürden alınan MF/UF partikül sayısı log giderimleri. (AWWA, chp.2).

Mikrobiyal kontrol

MF ve UF membranları spesifik membran materyali ile bağlantılı olan por boyutuna dayanarak sudan partikülleri eler. Ticari olarak bulunan membranların çapları genellikle 0,3 μm 'dan daha azdır. Bu nedenle bulanıklık ve mikrobiyal giderimini öncelikli olarak tamamlar. Zorlayıcı bir faktör olan doğal mikrobiyal giderim tahmini veya kek tabakası, reddetme karakteristiğini geliştirebilir. Kek tabakası; mikrobiyal veya partiküler taşınım için ikinci bir bariyer olarak davranır.

- *Giardia ve Cryptosporidium*

Literatüre göre MF ve UF membranlar için *Giardia* ve *Cryptosporidium* log giderimlerinin genellikle 4,5 'ten daha büyük olduğu bulunmuştur. Jacangalo ve diğerleri (1991) ve Coffey ve diğerleri (1993) MF ve UF ile *Giardia* 'nın giderimini çalışmışlardır. Her iki çalışmada da 4 log 'dan daha büyük giderim görülmüş ve süzöntüde kist görülmemiştir. Bu durumlarda, giderim seviyesi, besleme suyundaki organizma konsantrasyonu ile sınırlıdır. Pilot ölçekte membranlarla (3 MF ve 3 UF) yapılan daha yeni çalışmalarla tespit sınırının altında (1 kist/L) *Giardia* ve *Cryptosporidium* giderilmiştir. Bu sonuçlar pilot

ölçekte onaylanmıştır. Giderimler, 6-7 log arasında değişmiş ve girişteki *Giardia* ve *Cryptosporidium* konsantrasyonuyla sınırlıdır. Bu nedenle, polimerik MF ve UF membranlarının her ikisi de membranlar bozulmadıkça protozoa kistleri için mutlak bariyer olmuşlardır.

- Diğer mikrobiyal maddeler

Literatürden alınan bilgilere göre, toplam koliform, fekal koliform ve *Pseudomonas* için giderimler 0,7-9,8 arasında değişmektedir. Fakat düşük giderimler, düşük giriş ve çıkış değerleri tarafından engellenmiştir. Düşük giriş değerleriyle yapılan çalışmalar hariç tutulmuş olup, her iki membran için de log giderimleri 5,5 'in üzerindedir.

Aerobik sporlar

Sınırlı yürütülmüş çalışmalar üzerinde *Giardia* ve *Cryptosporidium* ölçümleri gibi basil sporları büyük umut verici olmuştur. MF ve UF membranları kullanılarak ve herhangi bir koagülant ilavesi olmadan yapılan dört çalışmada log giderimleri 1,7-6,9 arasında değişmiştir. 1,7 log-gideriminin nedeni düşük giriş değerleri tarafından etkilenmesidir.

Virüsler

MF ve UF membranları arasında genel ayırım şudur ki; MF membranları virüsleri gideremezken, UF membranları virüsleri giderebilir. Yapılan literatür araştırmalarına göre UF membranları virüslerin büyük % sini gidermiştir. Tipik olarak MF membranları 2,5 log dan daha az bir giderim yaparken, UF membranları 3 log dan daha fazla virüs gidermiştir. Yapılan çalışmalarda MS-2 (0,024 µm) bakteriyofajı kullanılmıştır. MS-2 ve test edilen MF membranın por çapıyla (0,1-0,2 µm) alakalı olarak, MF membranlarıyla yüksek seviyede virüs giderimi; doğal olarak besleme suyunda bulunan daha büyük partiküllere virüslerin yapışması veya membran yüzeyindeki kek tabakasının bariyer görevi görmesiyle açıklanabilir.

Organik kontrol

Pilot ölçekte ve tam ölçekli tesislerde aynı azalma not edilmesine rağmen, MF ve UF membranları, çözünmüş organikler için değil, partikül giderimi için dizayn edilirler. MF ve UF membranlarıyla çözünmüş organikleri gidermek için koagülantlar ve adsorbanlar gibi diğer prosesler, arıtma şemasına entegre edilmelidirler. Koagüle olan veya adsorblanan organik kirleticiler, böylece kendilerini partiküllere bağlamış olurlar ve MF ve UF membranları tarafından reddedilirler.

- Çözünmüş organik karbon (Dissolved Organic Carbon, DOC) / Dezenfeksiyon yan ürün öncüleri

Koagülasyon ve adsorbsiyon prosesleri ile entegre edilmiş MF ve UF membranları DOC ve dezenfeksiyon yan ürün öncüleri (Disinfection By-Product Precursors, DBP)'ni kontrol edebilirler. Literatürden derlenen bilgilere göre, koagülant veya adsorbanların kullanılmadığı sistemler için; DOC ve toplam organik karbon (Total Organic Carbon, TOC) arasında fark yoktur. Bu ikisi arasında fark yüzdesi tipik olarak küçüktür ve düşük giderim verimleriyle sonuçlanır. Aynı zamanda DBP öncülerinin belirlenmesi metotları arasında fark yoktur. Simule dağıtım sistemi değerlendirmesi, uniform oluşum koşulları ve oluşum potansiyeli arasında sonuçlardaki farklılık büyük olabilir; fakat özellikle, membran çalışmaları arasında işletme farklılıklarının neden olduğu geniş aralık düşünüldüğünde genellikle yüzde giderim sonuçları yakın olacaktır.

Koagülasyon

Literatürden koagülantlı ve koagülantsız MF ve UF membranları ile yapılan çalışmalarda trihalometan (THM) öncüleri, DOC, haloasetik asit (HAA) öncüleri ve sınırlı miktarda toplam organik halojen (TOX) öncüleri verilerine bakıldığında, koagülantsız DOC, THM öncüleri, HAA öncüleri ve TOX öncüleri giderimi %20 nin altında kalmıştır. Demir veya alum koagülantlarıyla % giderim DOC için 12-83, THM öncüleri için 30-80, HAA öncüleri için 39-92 ve TOX öncüleri için 20-85 arasında değişmiştir. Giderim miktarı; koagülant dozunun, koagülant tipinin, pH, sıcaklık, karıştırma süresi ve karıştırma hızının bir

fonksiyonudur. Entegre edilmiş membran sistemlerinde teorik olarak biraz daha yüksek giderim verimleri oluşmasına rağmen, bu konvansiyonel arıtma proseslerinde görülen giderim mekanizmasıyla aynıdır. Çünkü membran sistemler ortalama flock bekletme süresi kontrolü yeteneğine sahip olduğundan daha büyük koagülant konsantrasyonları elde edilebilir.

Adsorbanlar

Demir oksit ve toz aktif karbon (Powdered Activated Carbon, PAC) gibi adsorbanlar DOC ve DBP öncülerini giderebilirler. Giderim; DOC konsantrasyonu, adsorban dozu, DOC adsorblanabilirliği, pH, sıcaklık ve temas süresine bağlıdır. Konvansiyonel arıtma tesislerinde DOC ve DBP öncüleri giderimi için PAC genellikle seçilmez çünkü heterojen öncü materyaller yeteri kadar iyi adsorblanmaz ve PAC' ın granüler aktif karbondan daha uygun maliyetli olmasına izin vermesi için bekletme süresi çok kısadır. Demir oksit adsorbanları kullanımı az bilinir fakat benzer sonuçlar muhtemeldir. Entegre adsorban membran sistemleri için, ortalama adsorban bekletme süresi arttırılabilir ki bu da membran sistemi içerisinde daha büyük adsorban konsantrasyonu ile sonuçlanır. Bu; organik bileşik kontrolü için membran sistemi ile birlikte adsorban kullanımında daha büyük verimliliğe sebebiyet verir.

Literatürden entegre edilmiş adsorban membran sistemleri çalışmalarına bakıldığında; adsorbansız veya koagülantsız çalışmalarda DOC, THM öncüleri, HAA öncüleri ve TOX öncüleri için giderim verimleri % 20 nin altında kalmıştır. PAC ilavesiyle, % giderimler, DOC için 7-82, THM öncüleri için 0-97, HAA öncüleri için 26-81 ve TOX öncüleri için 20-85 arasında değişmiştir. Demir oksit ilavesi için ise % giderimler, DOC için 21-75, THM öncüleri için 30-88 arasında değişmiştir. Bu sonuçlar, entegre edilmiş adsorban membran sistemlerinin öncülerin gideriminde etkin olduğunu göstermektedir. Fakat, yerleşim, adsorban ve doz tasarlanan sistemlerin her bir faydası için değerlendirilmesi gereken spesifik fenomendir.

- Renk, Tat ve Koku

Bileşiklerin neden olduğu rengin giderimi bazen DOC 'tan daha kolay olmasına rağmen, giderimleri benzerdir. Renk giderimi %0-100 aralığında değişkendir. Koagülantların, bileşiklerin neden olduğu rengin giderimine yardım ettikleri Thompson ve Galloway (2001) ve Reiss ve diğerleri (1999) tarafından gösterilmiştir. Clair ve diğerleri (1997) PAC 'ın renk giderimine yardım ettiğini ve etkin bir giderim için yüksek dozlarda PAC gerektiğini bulmuşlardır. Literatüre bakıldığında, entegre edilmiş adsorban membran sistemleri etkin bir şekilde tat ve koku kontrolü sağlayabilmektedir. Koagülant veya adsorbansız giderimler %21-49 arasında değişmiştir. Koagülant veya PAC la birlikte tat ve koku giderimi %49- 100 arasında değişmiştir.

- Pestisitler

Entegre edilmiş PAC/membran sistemleri pestisit gideriminde etkin olabilir. Anselme ve diğerleri (1991) PAC/UF sisteminin sentetik organiklerin ve pestisitlerin gideriminde etkin olduğunu bulmuşlardır. Jack ve Clark (1997) PAC/UF sistemiyle 10 mg/l PAC konsantrasyonunda girişteki atrazinin %61 'ini ve Cyanazine 'in %70 'ini gidermişlerdir. Clair ve diğerleri (1997) 5 mg/l PAC konsantrasyonunda atrazinin %57 sini ve 20 mg/l PAC konsantrasyonunda % 89 unu giderdiklerini rapor etmişlerdir. Bu sonuçlar, konvansiyonel sistemlerde PAC ilavesiyle elde edilen sonuçlara yakındır fakat daha öncede söylendiği gibi, entegre edilmiş membran sistemlerinde daha iyi adsorpsiyona sebebiyet verecek olan adsorban bekletme süresi arttırılabilir. Son adsorbsiyon derecesi diğer faktörlerin yanı sıra PAC tipine, doğal organik maddeler veya diğer kirleticilerden kaynaklı rekabetçi adsorbsiyona, temas süresine, PAC dozuna, sıcaklığa ve pH a (eğer pestisit doğada iyonik ise) bağlıdır.

İnorganik kontrol

MF ve UF membranları ile organiklerin giderimine benzer olarak inorganiklerin giderimi partiküler kısımda bulunan türlerin %si ile ilişkilidir. Bu, koagülant, oksidan veya iyon değiştirici reçine kullanılarak geliştirilebilir. Bazı çalışmalar; eğer membran yüklüyse inorganik türlerin yük-itme fenomeniyle

giderilebileceğini göstermiştir. Fakat, bu fenomen laboratuvar temiz suyunda geniş bir aralıkta oluşmuştur. Bu nedenle MF ve UF membranları için inorganik türlerin giderimi entegre edilmiş koagülant, oksidan veya iyon değiştirici reçine kullanımıyla sınırlıdır.

- Demir ve mangan

Demir ve mangan giderimi; bu türlerin oksidasyonu ve bundan dolayı çökmelerine dayanır. Çökelti, MF ve UF membranları tarafından reddedilebilir. Konvansiyonel sistemlerde olduğu gibi, demir ve mangan hava veya permanganat, klor ve ozon gibi kimyasal oksidanlar tarafından okside edilebilirler. Havalandırma, demir kontrolünde, mangan kontrolünde olduğundan daha etkilidir.

Demir ve mangan giderimi için yapılan çalışmalar sınırlıdır ve değişken sonuçlar elde edilmiştir. Demir ile yapılan yedi çalışma; %70 'ten daha fazla giderim olduğunu göstermiştir. Mangan kontrolü için, Schneider ve diğerleri (2001) MF membranı ile birlikte çeşitli oksidanların verimliliğini değerlendirmişler ve klordioksit 'in en etkin olduğunu bulmuşlardır. Crawford ve Bach (2001) mangan gideriminin yüksek derecede koagulan ve pH'a bağlı olduğunu bulmuşlardır. Neeman ve diğerleri (2001) mangan gideriminin kullanılan potasyum permanganat dozuna bağlı olduğunu bulmuşlardır. Genellikle, entegre edilmiş membranlar kolay oksidasyonundan dolayı demiri güvenilir bir şekilde giderebilirler. Oysa oksidan ve oksidan dozuna daha fazla bağlı olan mangan giderimi daha zordur.

- Diğer inorganikler

MF ve UF membranlarıyla arsenik giderilebilir, fakat sadece adsorban veya demir koagülantı kullanılıyorsa. Jeffcoat ve diğerleri (2001) aktif alüminyum oksitle entegre edilmiş UF membran sistemi kullanarak iyi arsenik giderimi elde etmişlerdir. Chang ve diğerleri (2001) iyi bir arsenik giderimini demir klorür kullanarak elde ederken, Shorney ve diğerleri (2001) demir sülfat kullanarak elde etmişlerdir.

Bazı durumlarda, arsenik gibi bazı türlerin oksidasyon basamağının yükseltilmesi, sıkı ve yüklü UF membranı tarafından yük itmesine izin verir. Amy ve diğerleri (1995) 10.000 Dalton 'luk membranla AS(III) 'ün reddini başaramazken AS(V) in % 63 reddini başaramışlardır. Fakat, Yoon ve diğerleri (2001) ve Liang ve diğerleri (2001) yüklü UF membranının sudaki doğal iyonik tür karışımı tarafından membran yüzeyinin nötralizasyonu nedeniyle doğal sulardaki perkloratı reddedemediğini göstermişlerdir. Arsenik ve perklorat giderimi için koagulan veya iyon değiştirici reçinelerin membran sistemleriyle birleştirilmesi gerektiği not edilmelidir.

Hidrojen sülfür, havalandırma ile giderimiyle karşılaştırıldığında nispi maliyetinden dolayı MF ve UF membranları ile genellikle giderilmez. Fakat, yüksek giderim gerektiren spesifik uygulamalarda, MF ve UF membranları etkin bir şekilde yararlı olur. Talton ve diğerleri (2001) tarafından yapılan çalışmalar, klor oksidasyonu/membran filtrasyon prosesini kullanarak çözünmüş hidrojen sülfür gazının aslında tamamen giderilebildiğini göstermiştir [24].

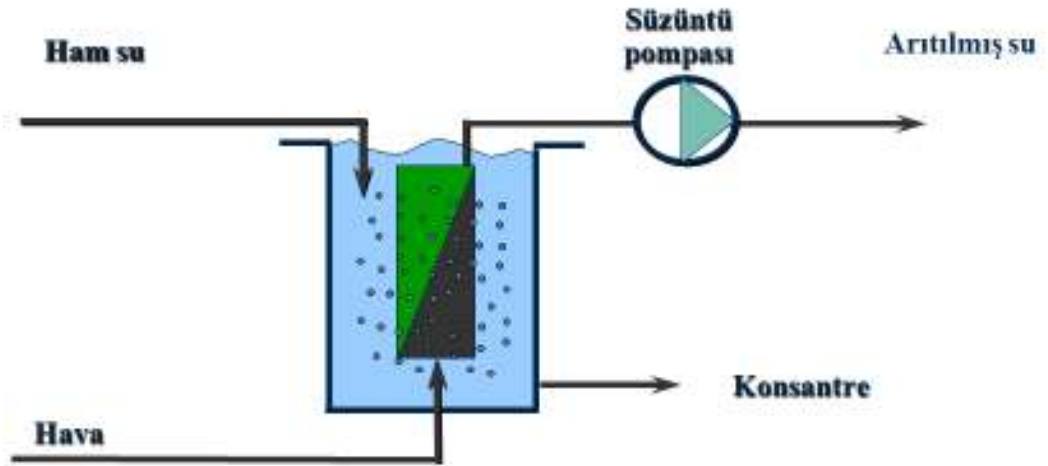
2.3. Batık Membran Sistemleri

Şimdilerde, su kaynaklarının kirliliği içme sularının güvenliği için tehdit edicidir. Shannon ve diğerleri insanlara kaygı veren en yaygın problemlerden bir tanesinin sağlık önlemleri ve temiz suya yetersiz ulaşım olduğunu belirtmişlerdir. 2,6 milyar insanın güvenilir içme suyuna erişimden mahrum olduğu rapor edilmiş ve membran teknolojileri bu problemi çözmede en etkin yaklaşım olmuştur [25].

Su arıtımında, membran tıkanması; en çok askıda katıların ve kolloidlerin membran yüzeyinde birikmesi ve porların tıkanması ile gerçekleşir. Koagülasyon-flokülasyon, adsorpsiyon veya oksidasyon basamakları gibi çözeltinin şartlandırılması avantajlıdır. Ama yine de, besleme suyu karakteristiğine göre, şartlandırmayı, membran modül konfigürasyonunu ve hidrodinamiğini optimize ederek işletme maliyetini minimize etmek önemlidir. Batık membran sistemleri; aynı tankta bütün arıtma basamaklarının bir bütün olarak gerçekleştirilmesi olasılığından dolayı sıkılık ve seçicilik gibi avantajlara

sahiptir. Buna ek olarak, türbülans sağlayıcı gibi rol oynayan membran parçasının yakınına hava enjeksiyonu uygulamasıyla düşük enerji maliyetlerinde sık sık membran temizleme kimyasalına gerek olmadan uzun işletme periyotlarında yüksek süzöntü akısının sürdürülmesi ve membran tıkanması kontrol edilebilir [4].

Batık membran filtrasyon düzeni şu anda daha fazla dikkat çekmektedir. Boşluklu membranlar direk reaktörün içine daldırılır ve membran negatif basınç altında işletilir ki emme, pompa vasıtası ile elde edilebilir. Batık membranların uygulaması esnektir. Yeni bir su arıtma tesisinin inşasında veya eski bir tanesinin yeniden yapılandırılmasında kullanılabilir. Batık membranlar, içme suyundan kirleticileri ve flokları gidermek için koagülasyon-flokülasyon, çöktürme ünitelerine ve boş kum filtrelerine batırılabilir [25].



Şekil 2.8 : Batık membran sistemi düzeneği. (Koyuncu, 2009).

Membran teknolojileri uygulamaları çalışmalarında batık membran proseslerinin işletiminde membran tıkanması kontrol metotları özellikle membran biyolojik reaktörler (MBR) üzerinde vurgulanmıştır. Çalışmalar, MBR proseslerinin işletiminde şiddetli havalandırmanın membran tıkanıklığını azalttığını göstermiştir. Geri yıkamanın, süzöntü akısını sabit tutmada ve uzun zaman periyodunda membran sistemi işletimini sabit tutmada etkin olduğu görülmüştür. Membran direncinin büyük bir kısmı dış dirençtir. Kek veya jel tabakasını azaltmak için önlem almanın membran tıkanmasını azaltmada önemli bir anlamı

vardır. Böylece, kirletici birikmesi ve membran tıkanması işletme koşullarının optimizasyonu ile hafifletilebilir [25].

Membran süzüntü suyu kalitesinin değerlendirilmesi

Koagülasyon, toz aktif karbon (PAC) adsorpsiyonu gibi ön arıtma prosesleri ile birleştirildiğinde birçok kirletici (ağır metaller, sentetik organikler) partiküllerin üzerine adsorbe olduktan sonra umut verici bir şekilde giderilebilirler. Organiklerin giderimi; tutma, adsorpsiyon gibi olaylara dayanır. Lihua ve diğerleri pilot ölçekte işletilen UF batık membran sisteminde çöktürme prosesi çıkış suyunu ham su olarak kullanarak membran tıkanıklığını kontrol etmek için optimum işletme şartlarını belirlemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre, batık UF çıkış suyu kalitesinin kum filtresi çıkış suyundan daha iyi olduğunu görmüşlerdir. Sayısal olarak, giriş suyu bulanıklığı 3,2-4,3 NTU arasındayken membran süzüntü suyu bulanıklığı 0,1 NTU nun altında kalmış ve kum filtresinden çıkan suyun bulanıklığı 0,9-1,5 NTU arasında kalmıştır.

Membran tıkanıklığını kontrol etmek için havalandırma optimizasyonu

Membran tıkanıklığını kontrol etmede havalandırma metodunun etkisi

Havalandırma, membran tıkanıklığının azaltılmasında önemli bir yoldur. Pratikte, genelde sürekli ve kesikli filtrasyon olarak iki çeşit havalandırma metodu uygulanır. Sürekli filtrasyonun anlamı; UF membran, havalandırma sırasında sürekli filtrasyona devam eder. Kesikli filtrasyonun anlamı ise, havalandırma sırasında UF membran filtrasyonu durur. Lihua ve diğerleri bu konuda, kesikli filtrasyonun membran tıkanmasını azaltmada ve süzüntü akısının azalmasını geciktirmede sürekli filtrasyondan daha yardımcı olduğunu gözlemlemişlerdir. Havalandırma, membran yüzeyinde filtrelenmiş tabakayı ayırır ve serbest bırakır. Sürekli filtrasyon sırasında UF membran sürekli temiz su üretir ve radyal kuvvetler elde edilir. Bu şartlar altında, giriş suyundaki partiküllerin bir kısmı membran yüzeyine adsorbe olur ve uzaklaştırmak zordur. Aksine, kesikli filtrasyonda bu fenomenden kaçınılır ve süzüntü akısındaki azalma engellenir.

Membran tıkanıklığını kontrol etmede havalandırma şiddetinin etkisi

Havalandırma şiddeti, membran tıkanması üzerinde iki farklı etki gösterir. Bazı araştırmalar, daha büyük havalandırma şiddeti ve daha uzun havalandırmanın membran işletim şartlarına daha iyi bir etkiyi getirmediğini göstermiştir.

Lihua ve diğerleri bu konuda, havalandırma şiddetinin belli bir aralıkta artmasının, süzüntü akısını geciktirmede yardımcı olduğunu görmüşlerdir. Havalandırma şiddeti $20 \text{ m}^3\text{m}^{-2}\text{h}^{-1}$ olduğunda membran akı düşüş oranı %18,1 iken, havalandırma şiddeti $60 \text{ m}^3\text{m}^{-2}\text{h}^{-1}$ olduğunda düşüş oranı %7,13 olmuş ve yüksek havalandırma şiddetinde oran azalmıştır. Fakat havalandırma şiddetinin $80 \text{ m}^3\text{m}^{-2}\text{h}^{-1}$ e çıkmasıyla düşüş hızında azalma olmamış ve %11,9 a yükselmiştir. Düşük havalandırma şiddetinde, hava kabarcıklarının dağılımından ileri gelen hidrolik kesme kuvvetleri, süzüntü akısının azalmasına neden olan membran yüzeyinde flokların çökmesini önleyememiştir. Havalandırma şiddeti çok yüksek olduğunda, kesme etkisiyle flokülasyon çamrunun çarpışmalarından dolayı kolloidler ve küçük çamur partiküllerinin miktarı artmıştır.

Membran tıkanıklığını kontrol etmek için geri yıkama optimizasyonu

Membran tıkanıklığını kontrol etmede geri yıkama metodunun etkisi

Aralıklarla UF membranlarının geri yıkanması membran tıkanıklığını önlemede çok büyük öneme sahiptir.

Lihua ve diğerlerinin yaptıkları çalışmada; belli bir zaman periyodundan sonra UF membranının süzüntü akısı kaçınılmaz bir şekilde azalmıştır ve yalnız havalandırma membran tıkanmasını tamamen giderememiştir. Beş farklı geri yıkama metodunda çalışmalar yapmışlardır. (a) önce 1,5dk havalandırma sonrasında 2 dk su ile geri yıkama ve eş zamanlı olarak havalandırma ve sonrasında 1,5 dk sadece su ile geri yıkama (b) 3 dk su ile geri yıkama ve eş zamanlı olarak havalandırma ve sonrasında 2 dk sadece su ile geri yıkama (c) ilk olarak 3 dk havalandırma sonrasında 2 dk yalnızca su ile geri yıkama (d) 5 dk su ile geri yıkama ve eş zamanlı olarak havalandırma (e) 5 dk sadece su ile geri yıkama. Havalandırma şiddeti $60 \text{ m}^3\text{m}^{-2}\text{h}^{-1}$ ve geri yıkama şiddeti $90 \text{ Lm}^{-2}\text{h}^{-1}$ olarak uygulama yapılmıştır. Süzüntü akısını eski haline getirmede en iyi

potansiyel gösteren (d) metodu olduğu gözlemlenmiştir. Sadece su ile geri yıkama membran yüzeyindeki çamur kekini etkin bir şekilde yok edememiştir. Diğer bir yandan yalnızca havalandırma membrandan kirleticileri giderememiştir. Su ile geri yıkama ve ardışık havalandırma membran yüzeyindeki çökeltiyi giderememiştir. Fakat eş zamanlı havalandırma ve su ile geri yıkama mevcut membran lifleri arasından hava püskürtmesiyle karışıklık ve türbülans meydana getirmiştir ki, membran yüzeyine yapışan kirleticileri silip süpürerek gidermede iyi bir yetenek göstermiştir [25].

Membran tıkanmasının kontrolü için stratejilerin ekonomik değerlendirmesi

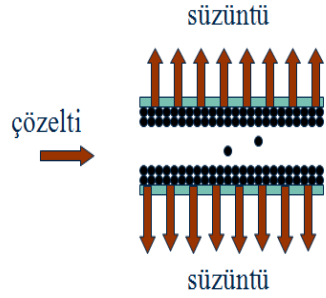
Mühendislikte, batık membran tıkanma sistemlerinin kontrolü genel olarak blower, geri yıkama pompası, kimyasal temizleme tankı, geri çevrim pompası ve kimyasal maddeleri kapsar. Aynı zamanda vana, debi ölçer gibi teçhizat da gereklidir.

Lihua ve diğerleri 10 m³/st⁻¹ lik dizayn edilmiş sistemlerinin ekonomik performansını değerlendirmişlerdir. Batık membran tıkanma kontrol sisteminin işletme maliyeti blower' ların, geri yıkama ve geri çevrim pompalarının enerji maliyeti, kimyasal temizleme maddesi maliyeti ve membran yenileme maliyetini hesaba katarak belirlemişlerdir. Enerji maliyetleri ampermetre ile ölçülmüştür. Ve yaptıkları pilot çalışmada, 130 gün sonra, başlangıçtaki süzüntü akısı 33 L m² st⁻¹ den 16,9 L m² st⁻¹ e düşmüştür. Yapılan çalışmalara ve mühendislik deneyimlerine göre kimyasal temizleme döngüsü 3 aydır ve kimyasal temizleme maddeleri 10000 mg/l NaOH, 1000 mg/l NaClO ve 5000 mg/l HCl i kapsamaktadır. Buna ek olarak, mühendislik tecrübelerine ve membran üreticilerine göre önerilen membran ömrü 3 yıldır. Hesaplandığında bu UF batık membran sistemi için genel işletme maliyetinin 0,31 RMB/m³ (RMB=0,146391\$) olduğu bulunmuştur [25].

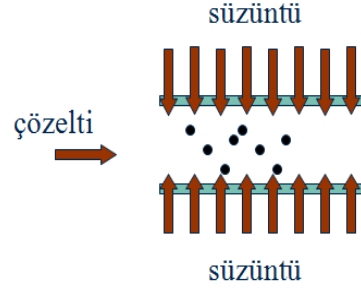
Membran Geri Yıkaması

Membran yüzeyinde katıların birikmesinin kontrolü için membrana geri yıkama uygulanır. Konvansiyonel filtrelerin aksine, geri yıkama döngüsü sadece birkaç dakika alır. Düşük basınçlı membran teknolojilerine gaz ve sıvı geri

yıkamalarının her ikisi de uygulanır. Genellikle içten-dışa membranlara uygulanan sıvı yıkama iki modda işletimle başarılabılır. Birçok sistem için geri yıkama tamamen otomatiktir ve transmembran basıncı belli bir set noktasına ulaştığı zaman başlatılır. Geri yıkama, programlanmış işletme periyodundan sonra da veya tahmin edilen süzöntü hacmi üretildikten sonra da başlatılabilir. Düşük basınçlı birçok sistem için, her 30-120 dk. İşletme için 1-5 dk geri yıkama uygulanır [22].



Şekil 2.9 : Normal filtrasyon süreci
(Koyuncu, 2009).



Şekil 2.10 : Geri yıkama süreci
(Koyuncu, 2009).

İçten geri yıkama

Geri yıkama rejimi altında, membranin süzöntü girişi kapatılır ve çapraz akış uygulanır. Membran lifleri ve modül koruyucusu içerisindeki basınçlar dengelenir ve çapraz akıştan dolayı membran uzunluğu boyunca basınç farklılığı kurulur. Membran sonunda yüksek basınçta, membranin içten dışa besleme akışı ve süzöntü üretilir. Membran sonunda düşük basınçta, süzöntü, boşluklu elyafın içerisindeki boşluğa yeniden dahil edilir ve membran temizlenir. Besleme suyu akışı liflerin ters uçlarını geri yıkamak için ters çevrilir. Bu metodun avantajı; geri yıkama için ayrı bir pompa ve süzöntü depolanması için tank gerekli değildir [22].

Dıştan geri yıkama

Ürün suyu deposunda toplanan süzüntü geri yıkama için membrana uygulanır. Süzüntü girişi boyunca geri yıkama pompasından basınç altında (0,5-2 bar) gelen sıvı akımı membranın iç yüzeyinden katıları temizler. Geri yıkama batık membran sistemleri için de uygulanır. Her 15 dakika birkaç saat için 30 saniyeliğine süzüntü ile geri yıkandığı membran sistemlerinde normal işletme sırasında membran yüzeyinde biriken herhangi bir birikme tabakasını temizler. Kapsamlı geri yıkama batık membran sistemlerin geri yıkanmasında uygulanabilir.

Mevcut trend kimyasal yıkama ve geri yıkamanın birleştirilmesi yönündedir. Membran geri yıkaması için sıvı akımının kullanılması yerine geri yıkama verimini geliştirmek için geri yıkama suyuna kimyasallar uygulanmaktadır. Membran yüzeyini temizlemek için genellikle birkaç yüz mg/L konsantrasyonlarında klor uygulanır ki bu adsorblanan organik maddelerin oksidasyonuna yardım eder ve destek materyalinde veya membran yüzeyinde biyolojik büyümeyi kontrol eder. Buna ilaveten, klor, asit veya diğer temizleme maddeleriyle membran emme periyotları genellikle membran geri yıkama stratejileriyle birleştirilir [22].

Gaz ile geri yıkama

Bazı düşük basınçlı sistemler membrandan katıların temizlenmesi için normal filtrasyon sırasında dıştan içe modunda işletilen hava ile geri yıkama sistemi kullanırlar. Geri yıkama her 30-60 dakikada yaklaşık 2-3 dakika periyotlarında başlatılır. Bu sırada membran devre dışı bırakılır. Geri yıkamanın başlangıcında membran modüller süzüntü ve besleme suyunu süzerler ve süzüntü kapağı kapatılır. Daha sonra hava, membranın iç boşluğundan yüksek basınç (6-7 bar) da girer. Geri yıkama atık suyu kapağı açıldığında, basınçlandırılmış hava, membranın iç boşluğundan dışarıya doğru nüfuz eder ve bu da atmosferik basıncın 6-7 kat genişlemesiyle sonuçlanır. Hava darbesi hızlıdır, 2-3 saniye içinde oluşur. Gaz-membran etkileşiminin bir sonucu olarak membran üzerinde katılar yerinden kaldırılır. Daha sonra yerinden kalkan katıları süpürmek için

besleme suyu yaklaşık 30 saniye membran modülünün içerisine yeniden dahil edilir. Daha sonra temizleme suyu deşarj edilir [22].

Membran tıkanıklığını kontrol etmede geri yıkama şiddetinin etkisi

Geri yıkama, membran süzüntü akısının iyileşmesinde önemli rol oynar. Kirleticilerin membran aperiaturünden uzaklaştırılmasını ve dışarı alınmasını sağlar.

Lihua ve diğerleri en iyi membran tıkanması kontrolünü sağlamak için ve geri yıkama suyunu mümkün olduğunca korumak için membran üretim kapasitesinin geri kazanım oranını farklı geri yıkama şiddetlerinde değerlendirmişlerdir. Metot olarak eş zamanlı havalandırma ve geri yıkama seçilmiş ve havalandırma şiddeti $60 \text{ m}^3 \text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$ 'te sabit tutulmuştur. Geri yıkama şiddetinin artmasıyla süzüntü akısı geri kazanım oranı belli bir ölçüde iyileşmiştir. Buna ek olarak, geri yıkama şiddeti optimum değeri $90 \text{ m}^3 \text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$ olmuştur. Optimum değer aşıldığında geri kazanım oranı azalmıştır. Bu oran $45 \text{ m}^3 \text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ten $90 \text{ m}^3 \text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$ e yükseldiği aralıkta geri kazanım oranı %89,8 den %99,9 a yükselmiştir. Fakat şiddet $120 \text{ m}^3 \text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$ e çıktığında geri kazanım oranı %97,7 e düşmüştür.

Düşük şiddetlerde, hidrolik kesme kuvvetleri membran üzerinde kirleticilerin birikmesini azaltamamış ve geri kazanım oranına yardımcı olamamıştır. Çok yüksek geri yıkama şiddetlerinde ise, membran üzerinde tutulmuş kirletici kesme kuvvetleri tarafından parçalanmış ve membran üzerinde kolay adsorbe olan birçok küçük partiküllere dönüşmüştür. Küçük partiküllerin sudan uzaklaştırılması çok daha zordur ve geri yıkama etkisinin bozulmasına sebebiyet verir [25].

2.4 Ön/Son Arıtma

Ön arıtma, besleme suyunun fiziksel, kimyasal, biyolojik özelliklerini ve membran performansını değiştirebilir.

- Fiziksel mekanizmalar: Ön arıtma sudaki maddelerin boyutlarını membran tarafından veya diğer yukarı akışlı katı/sıvı ayırma prosesleri (çöktürme ve filtrasyon) tarafından ayrılabilir seviyeye yükseltir. Böylece membran

sistemler tarafından giderimleri artmış olur. Boyut artması aynı zamanda membran tıkanmasının türünü por tıkanmasından daha az şiddetli ve daha çok tersinir olan kek tabakası oluşumuna değiştirir.

- Kimyasal mekanizmalar: Farklı kimyasallar (koagülantlar, oksidanlar ve adsorbanlar) besleme suyu kimyasını değiştirmek ve kirleticinin membran yüzeyi ile olan bağlantısını azaltmak ve böylece tersinir olmayan membran tıkanmasını azaltmak amacıyla besleme suyuna eklenebilir.
- Biyolojik mekanizmalar: Ön arıtma, membran tıkanması veya çıkış suyu kalitesi ile ilgili olan biyolojik olarak ayrışabilen kirleticileri giderebilir veya biyofilm oluşumunu azaltmak için besleme suyunu dezenfekte edebilir [26].

Çizelge 2.5 : Membran filtrasyonu için temel ön arıtma uygulamaları, etkileri ve mekanizmaları. (Huang, 2009).

Ön arıtma	Koagülasyon	Adsorpsiyon	Ön oksidasyon	Ön filtrasyon
Kimyasal uygulama	Uygun dozda koagülant (veya flokülant)	Poröz veya poröz olmayan adsorbanlar	Gaz veya sıvı oksidanlar	Koagülantlı/koagülant sız granüler ortam, membranlar
Doz etkileri	Düşük, optimum veya doz aşımı (zenginleştirilmiş koagülasyon için optimum)	Askıda partikül kullanılırsa minimum etkin doz	Minimum etkin doz	-
Fiziksel mekanizma	Kirleticilerin boyutlarını filtre edilebilir seviyeye artırır.	Membran porlarından büyük olan adsorbanlara küçük kirleticileri bağlar	Organic kolloidlerin daha küçük boyutlara parçalanmasına sebep olur	Aşağı akışlı membranlarda kek veya jel tabakasına neden olan kaba maddeleri giderir
Kimyasal mekanizma	Membrane yüzeyinde birikmeye, adsorpsiyona ve çökmeye neden olan kirleticileri stabilize eder	Membrane yüzeyine zararlı olan maddelere yeni adsorplanma/birikme yüzeyleri sağlar	Doğal organik maddeleri kısmen ayrıştırır ve/veya okside eder, eğer UV kullanılırsa mineralizasyon mümkündür	Filter ortamına veya aşağı akışlı membranlara yapışan kirleticileri ve diğer partikülleri seçici olarak giderir
Biyolojik mekanizma	Kısmen giderim	Biyolojik tıkanma ile ilişkili organik kirleticileri adsorplayabilir	Mikrobiyal büyümeyi bastırır	Biyolojik tıkanmaya neden olabilen mikroorganizmaların kısmen giderimi
Hedeflenen kirleticiler	Virüsler, hümit/fulvik asitler, proteinler, asidik gruplu polisakkaritler, membrane porlarından daha küçük olan kolloidler	Hümit/fulvik asitler, küçük doğal organik asitler, pestisitler ve diğer sentetik organik bileşikler	Ozonlama ile birlikte virüsler ve organik kirleticiler	Partiküler ve colloidal organik/inorganik maddeler, mikrobiyota

Çizelge 2.5 : Membran filtrasyonu için temel ön arıtma uygulamaları, etkileri ve mekanizmaları (devam). (Huang, 2009).

Membran tıkanmasına etkileri	Kolloidal tıkanmayı ve DOM tıkanmasını azaltır	Membran tıkanmasını azaltabilir veya arttırabilir	Biyolojik tıkanmayı ve DOM tıkanmasını azaltabilir	Membrane tıkanmasını farklı dereceye azaltır
Avantajları	Düşük basınçlı membrane performansında önemli gelişim (daha az tıkanma ve daha iyi tutma)	Dezenfeksiyon yan ürünlerinin ve öncülerinin giderimini arttırır	Biyolojik tıkanma oluşumunu azaltır, organiklerin giderimini arttırır (ozonlama)	Biyolojik/colloidal tıkanmayı ve/veya katı yükünü azaltabilir
Dezavantajları	(i) uygun doz gerektirir ki besleme kalitesi çok değişkense ayarlanması zordur (ii) tıkanmayı şiddetlendirebilir (iii) katı atık üretir (iv) hidrofilik doğal organikler tarafından meydana gelen tıkanmayı azaltmakta etkisizdir	(i) tıkanmanın artması mümkün (ii) arıtma donanımından toz aktif karbonun giderimi zordur	(i) dezenfeksiyon yan ürünlerinin oluşumu (ii) uygun olmayan oksidanlarla membran zarar görebilir (iii) oksidasyona dirençli mikrobiyotanın büyümesini bastırmada etkisiz olabilir	(i) ön filtrelerin performansı bozulabilir ve iyileştirmesi zordur (ii) verimi arttırmak için ön arıtma gerektirebilir (koagülasyon veya ön oksidasyon gibi)

2.4.1 Ön arıtma yöntemleri

- Önfiltrasyon

Filtrasyon öncesinde koagülantların veya diğer kimyasalların eklendiği konvansiyonel arıtma prosesleri ile kıyaslandığında, partiküller ve mikroorganizmalar hedef kirleticiler olduğu zaman boşluklu elyaf sistemler için birkaç ön arıtma gereksinimi vardır. İçten-dışa modüllerde lifleri tıkayabilen büyük partiküllerin giderimi için ön filtreler gereklidir; fakat onlar dıştan-içe membran sistemleri için de kullanılırlar. Nominal ön filtre çapı 50-500 µm arasındadır. Ön filtrelerin döner disk, tambur filtre veya küçük sistemler için torba filtreler gibi birçok çeşidi mevcuttur.

- pH ayarlama

Uygulanan membran materyali için gerekli pH işletme aralığının sürdürülmesinde, kimyasal dozlama ile besleme suyunun pH 'ının ayarlanması membran filtrasyonu öncesi gerekebilir. Bu ayarlama özellikle işletme pH aralığı genellikle 5-8 olan selülozdan üretilmiş polimer membranlar için önemlidir.

- Adsorpsiyon ve koagülasyon

Suda bulunan çeşitli maddelerin giderim derecelerini geliştirmek için besleme suyu ön arıtması uygulanabilir. Bu olay aynı zamanda, transmembran akısını arttırmak veya sürdürmek ve tıkanmayı geciktirmek için de kullanılır. En genel iki ön arıtma çeşidi koagülant ve toz aktif karbon (PAC) ilavesidir. Metal koagülantlar veya PAC bir besleme hattı vasıtasıyla karışma ve koagülasyon için tanka giren besleme suyuna enjekte edilir. Tanktaki bekletme süresi 5 dakika ve 1 saat arasında değişir. Bazı batık membran konfigürasyonlarında, adsorban veya koagülan direk membran tankının içine eklenir. Küçük partiküllerin daha büyükleri içine koagülasyonu membran porlarının içine çeşitli materyallerin nüfuz etmesini azaltabilir.

- Ön oksidasyon

Giriş suyunda bulunan bileşiklere bağlı olarak, membran filtrasyonu öncesinde çözünmüş iyonları okside edip çöktürmek için gerekli olabilir. Ön oksidan kullanımı membran veya süzöntüde demir ve mangan gibi çözünmüş iyonların çökmesini engelleyecektir. Ön oksidasyon, pH 8 in üzerine ayarlandığında hava ile veya klor, klor dioksit, ozon veya potasyum permanganat gibi kimyasal oksidan ilavesiyle uygulanabilir. Eğer kimyasal oksidan kullanılırsa, membranın kimyasal oksidana uyumu kontrol edilmelidir. Eğer membran kimyasal oksidana karşı düşük dirençliyse, membran öncesinde arta kalan oksidan giderilmelidir.

- Diğer ön arıtmalar

Şimdilerde trend su arıtma proses tesislerinin içine membranların entegrasyonu yönündedir. Aslında, düşük basınçlı membranlar için ön arıtma seçeneklerinde sürekli yeni gelişmeler olmaktadır. Bazı ön arıtmalar besleme suyundaki

seçilmiş organik maddeleri azalttığından dolayı membranın tıkanma potansiyelini azaltan biofiltrasyon gibi prosesleri içerir [22].

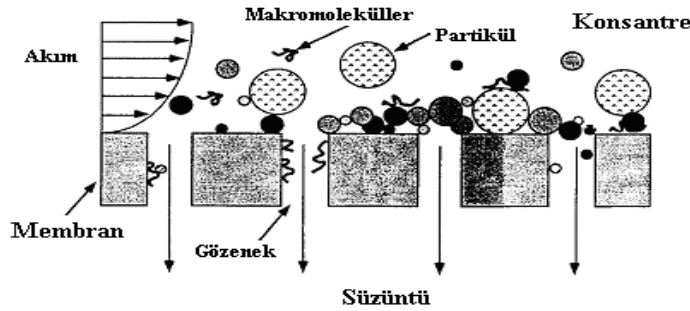
2.4.2 Son arıtma

MF ve UF membranları, seçilmiş bakterileri, protozoa kistlerini ve oositleri yüksek seviyede giderebilirler. Fakat, erken çalışmalar, uygulanan membrana bağlı olarak 6 log'un 3 te birinden daha fazla virüs giderdiğini göstermiştir. Bundan dolayı, tam ölçekli sistemlerde, MF ve UF sistemini dezenfeksiyon son adımı ile tamamlamak gereklidir. Klor, klor dioksit ve ozon gibi dezenfektanlar kullanılarak kimyasal dezenfeksiyon uygulanabilir. Kloraminler de bir seçenektir fakat, virüslerin inaktivasyonu için ekstrem olarak uzun temas süreleri gerekir. Amerika 'nın birçok düzenleyici kurumları membranlar tarafından başarılan mikrobiyal giderim seviyelerine aldırmadan kimyasal veya diğer maddelerle dezenfeksiyonun gerekli olduğunu açıklamışlardır. Söylenmelidir ki, ne ozon ne de ultraviyole ışını membran sistemi düzeni için bir kalıntı (bakiye) sağlar ve suyun dezenfeksiyonu için nadiren klor dioksit kullanılır. Bu yüzden, sistemde bakiye dezenfektanı sürdürmek için klor veya kloraminler eklenmelidir [22].

MF ve UF sistemler birçok avantaja sahip olmalarına rağmen doğal organik madde (DOM) gideriminde zayıf olmaları ve membranların doğal organik maddeler tarafından tıkanmaları bu membranların su ve atıksu arıtımında yaygın olarak kullanılması açısından iki büyük engeldir [18,27,28]. Her ikisi de renk, doğal organik madde (DOM) [29] ve sentetik organik bileşiklerin (SOCs) gideriminde etkili değildir [30].

Dezenfeksiyon için klor kullanıldığında içme suyu kaynağında bulunan doğal organik maddeler dezenfeksiyon yan ürünlerinin en temel öncüsüdür [3]. Bu nedenle genellikle doğal organik maddelerin klorlamadan önce giderilmesi istenir. Ne yazık ki, doğal sularda bulunan DOM molekülleri MF ve UF membranların porlarından daha küçük olduklarından bu membranlar doğal organik madde gideriminde genellikle etkisizdirler [31,32]. DOM giderimi yapabilen Kolagülasyon/flokülasyon gibi konvansiyonel arıtma prosesleri MF ve

UF sistemler için ön arıtma alternatifi olarak kullanılabilmesine rağmen, çok pahalıdır ve düşük DOM konsantrasyonlarında giderim verimi düşüktür [33]. Diğer bir yandan, DOM temel membran kirleticisidir [34,35]. Membran tıkanması membran geçirgenliğinde azalma, ve böylece membran süzöntü akısının azalması veya daha yüksek işletme maliyetine neden olan uygulanan basıncın artması ile sonuçlanır. Zamanla membran materyalinin bozulmasıyla tıkanma; kötü ürün suyu kalitesi ve en sonunda daha kısa membran ömrüyle sonuçlanır [36]. Tıkanma; az kirlenen membran materyalinden yararlanarak [37,38,39], sistem işletimini optimize ederek [40,41], ve membran ünitesinin kimyasal temizlenmesiyle [34] azaltılabilesine rağmen, besleme suyunda kirlenici bulunduğça tıkanma kaçınılmazdır. Bu nedenle, membran besleme suyundan DOM giderimi veya dönüşümü için etkili ön arıtma metotlarının gelişimi, uygun maliyetli membran sistemlerinin gelişimi ve su ve atıksu arıtımında membran teknolojilerinin yaygın kullanımı için bir anahtardır.



Şekil 2.11 : Membran tıkanması. (Koyuncu, 2009).

NOM ve diğer kirleticilerin giderimini arttırmak için MF/UF sistemine toz aktif karbon (PAC) gibi adsorbanlar ilave edilebilir [42,43,44,45].

2.5 Toz Aktif Karbon (Powdered Activated Carbon, PAC)

Membran prosesler partikül ve çözünmüş maddelerin giderimindeki iyi performanslarından dolayı su ve atık su arıtımında artan bir şekilde kullanılmaktadır. Fakat membran proseslerin bazı sınırlandırmaları vardır. Örneğin, besleme suyu ön arıtımına ihtiyaç duyulabilir, bunun için membran tıkanmasından dolayı akı azalmasından kaçınmak için membran periyodik

olarak temizlenmelidir. Ters ozmos ve nanofiltrasyon gibi membran prosesler, çözünmüş organikleri de içeren birçok kirleticiyi giderebilirler. Fakat membran tıkanması ve yüksek enerji gereksiniminden dolayı yüksek işletme maliyetleri vardır. MF veya UF uygun maliyetlidir fakat daha büyük porlara sahip olduklarından dolayı çözünmüş organik maddeleri gideremezler [45].

Bu yüzden, su iyileştirmesi ve tekrar kullanımının başarılı uygulanması için bu membran prosesler uygun bir arıtma prosesinin kombinasyonunu gerektirir. Membranlar birçok oksidana dirençli ve yüksek konsantrasyonda askıda katılara toleranslı oldukları gibi, aynı zamanda çözünmüş ve partiküler kirleticilerin giderimi için oksidasyon, koagülasyon, absorpsiyon veya biyolojik arıtma gibi konvansiyonel proseslerle birleştirilebilirler. Demir ve mangan giderimi için oksidasyonla birleştirme örneğini Rothesay vermiştir veya membranların doğal organik madde (DOM) veya sentetik organik kimyasalların giderimi için sulu toz aktif karbon çözeltisine batırılması Lebeau ve diğerleri tarafından rapor edilmiştir [45].

Adsorpsiyonla çözünmüş organik kirleticilerin gideriminde aktif karbonun doğasından dolayı ileri arıtma prosesleri gibi toz aktif karbonla birleştirilmiş membran hibrit sistemleri üzerinde artan bir şekilde çalışılmaktadır. Adham ve diğerleri sudan toplam organik karbon ve temsili sentetik organik kimyasal olan 2,4,6-triklorofenol'u gidermek için boşluklu elyaf ultrafiltrasyon sistemi içine toz aktif karbonu katmışlardır. Pirbazari ve diğerleri organik bileşiklerle kirlenmiş suyu arıtmak için MF ve PAC adsorpsiyonunu birleştirmişlerdir. Seo ve diğerleri dayanıklı (dirençli) organik maddeleri gidermek için biyolojik aktif karbon MF sisteminde deneysel çalışmalar yürütmüşlerdir. Sonuçlar, 64 gün için 20 g/l PAC dozuyla toplam organik karbon gideriminin % 83 olduğunu göstermiştir. Buna ilaveten Kim ve diğerleri sentetik suda 40 gün için 40 g/L PAC dozu ile yapılan deneylerde sistemin %95 ten daha fazla toplam organik karbon (TOK,TOC) giderdiğini bulmuşlardır.

Daha önce yapılan çalışmalar PAC ilavesinin sentetik organik bileşikler (SOCs) ve doğal organik madde (DOM) için daha iyi fiziksel giderim sağladığını, membran yüzeyi üzerine çözünmüş organik kirleticilerin direk yükünü

azalttığını ve membran tıkanmasını önlediğini göstermiştir. Batık membranlar direk filtrasyon için kullanılabilen veya çözünmüş ve partiküler kirleticilerin giderimi için oksidasyon, koagülasyon, absorpsiyon veya biyolojik arıtma gibi konvansiyonel sistemler ile birleştirilebilen esnek araçlardır. Arıtma seviyesi kaynak suyu kalitesi olarak veya içme suyu standartlarının geliştirilmesi olarak kolaylıkla geliştirilebilir. Batık membranlar aynı zamanda çok amaçlıdır; yeni tesislerin kurulması için kullanılabilir veya mevcut sistemin geliştirilmesi için direk olarak çöktürme tankının veya çevrilmiş kum filtresinin içine batırılarak kullanılabilir.

Bu batık membran adsorpsiyon hibrit sistemi birçok avantaja sahiptir. PAC uzun periyotlar için kullanılabilir. Adsorplanan organikler biyolojik bozunmaya uğradıkları için, PAC yüzeyinde daha fazla adsorpsiyon bölgesi yaratılır. Hemen hemen tüm organikler PAC tarafından giderildiği için batık membranlar tıkanır hale gelmezler ve membranın rolü sadece kalan PAC ve askıda katıları tutmaktır. Enerji gereksinimi çok düşüktür ($0,2 \text{ kWst/m}^3$ kadar az) ve önemli çamur problemi yoktur [45].

İçme suyunun dezenfeksiyonu için kullanılan klor ve brom gibi kuvvetli oksidanların suda bulunan doğal organik maddelerle reaksiyona girdiği ve insan sağlığını riske atan dezenfeksiyon yan ürünleri olarak bilinen (Disinfection By Products, DBPs) maddeleri oluşturduğu iyi bilinir. Dezenfeksiyon yan ürünleri suda doğal olarak bulunan hümik ve fülvik asitlerin klor ve/veya bromla reaksiyonlarından oluşur ve onların oluşumları su arıtma prosesinin tipine ve arıtma prosesinde hangi dezenfektanın eklendiğine bağlıdır. Dezenfeksiyon yan ürünlerinin en iyi bilinen iki çeşidi; trihalometanlar (THM) ve haloasetik asitler (HAA) dir. Yapılan birçok çalışma MF/UF ile birleştirilmiş PAC kullanımının etkin bir THM giderimi yaptığını ve MF'un tek başına THM gideremediğini göstermiştir. Khan ve diğerleri arıtılmış nehir suyu, boşluklu elyaf MF membran ve 0-50 g/L gibi çeşitli dozlarda PAC kullanarak yaptıkları deneylerde daha az membran temizleme sıklığı, bakterilerin daha yüksek adsorpsiyonu ve membran tıkanmasında partikül boyutlarının daha az etkisini, 40 g/L gibi optimum PAC konsantrasyonunda daha yüksek polimerik madde giderimini elde etmişlerdir.

Jacangelo ve diğerleri yüzeysel sudan THM giderimi için kullandıkları PAC-UF sisteminin PAC ilavesinin (<400 mg/L) THM konsantrasyonunu önemli miktarda azalttığını fakat değişen azalma ölçüsünün bromu gidermek için PAC dozunun yeterli olmadığını gözlemlemişlerdir.

Araştırmacılar daha çok PAC 'ı membran filtrasyonu öncesinde ön arıtma basamağı olarak veya toz aktif karbon kapasitesinden tamamen yararlanmak için yeterli bekletme süresi sağlamayan aynı tankta membran filtrasyonu ile birleştirilmiş olarak kullanmışlardır. Buna ilaveten, membran yüzeyinde aktif karbonun birikmesi membran yüzeyinden kirletici bileşenleri ayırır ve tıkanma potansiyelini azaltır. Daha fazlası, membran yüzeyinde oluşan PAC kek tabakası tıkanmayı geciktirir ve tersinir olmayan tıkanmayı önler.

Bazı raporlar, PAC kullanımının membran tıkanması hızını azalttığını göstermiştir fakat bu raporlar sürekli değildir. Adham ve diğerleri 3 mg/L çözülmüş organik karbon (Dissolved Organic Carbon, DOC) içeren yer altı suyu arıtımında kullanılan 25 g/L PAC ilavesinin yaklaşık olarak üçte bir membran tıkanma hızını azalttığını rapor etmişlerdir. Fakat Jack ve Clark düşük kalitede yüzeysel su arıtımı için kullandıkları PAC/UF kombinasyonunda umulmayan bir şekilde membran tıkanması olduğunda (çünkü görünüşe göre su kalitesi değişmişti) PAC konsantrasyonunun artmasıyla tıkanma hızının daha fazla arttığını rapor etmişlerdir.

Mevcut raporlar yeni bir trend göstermektedir; PAC/MF sisteminde PAC konsantrasyonunun artmasının dezenfeksiyon yan ürünleri giderimini iyileştirdiği fakat PAC değişimi olmadan ne kadar uzun süre dezenfeksiyon yan ürünleri giderimi yapabildiği ve ne kadar fazla PAC'a ihtiyaç olduğu hala bilinmemektedir. Varsayım olarak bu trendden; rapor edilen konsantrasyonlardan daha yüksek konsantrasyonda PAC umulduğu ve böylece PAC/MF hibrit sistemi kullanılarak dezenfeksiyon yan ürünleri gideriminin daha fazla iyileştirilebileceği sonucuna varılabilir [46].

Son zamanlarda, MF ve PAC adsorpsiyonunun birleşiminden oluşan PAC-batık MF prosesi içme suyu üretim teknolojileri için bir alternatif olarak düşünülebilir.

PAC-MF prosesinde, eklenen adsorban organik kirleticileri içeren iz organiklerin giderimine yardımcıken, membran, *Cryptosporidium* gibi patojen mikroorganizmalar için pozitif bariyerdir. Ters ozmos ve nanofiltrasyon gibi diğer membran proseslerle karşılaştırıldığında PAC-MF benzer organik giderim ve daha düşük enerji tüketimine olanak sağlar. PAC-MF 'nin PAC veya granüler aktif karbon (GAC) ile birleştirilmiş konvansiyonel sistemlere göre avantajları (az alan gerektirmesi, *Cryptosporidium* gibi patojenlerin yüksek giderimi ve kolay kontrol) ve dezavantajları (daha yüksek yatırım maliyeti ve enerji kullanımı) vardır.

PAC-MF prosesinin performansı, reaktör konfigürasyonu, giriş suyu karakteristiğinin yanı sıra işletme modu, karbon dozu, karbon adsorpsiyon kapasitesini içeren çeşitli faktörlere bağlıdır. Bu nedenle organik adsorpsiyon mekanizmasının anlaşılması ve PAC-MF sisteminde organik gideriminin optimize edilmesi gereklidir. Campos ve diğerleri birkaç membran adsorpsiyon sistem konfigürasyonlarında PAC ın adsorpsiyon performansını modellemişlerdir. Verilen bir PAC dozu için, filtrasyon döngüsünün başlangıcında tek seferde PAC uygulaması, sürekli uygulamaya göre daha düşük çıkış adsorbat konsantrasyonu sağlamıştır.

Fakat daha önceki yaklaşımlar PAC-MF veya PAC-UF performansını analizi için sınırlandırılmış yeteneğe sahiptiler çünkü onlar membran yüzeyindeki PAC birikmesini düşünmemişlerdir. PAC biriktiği için kütle fazında PAC ın etkin konsantrasyonu azalır, böylece reaktördeki adsorpsiyon kapasitesi azalır. Üstüne üstlük, PAC birikmesi birçok PAC-MF sisteminde yaygındır ve işletme koşulları için hassastır [47].

PAC adsorpsiyonu ile düşük basınç sürürlü membran tekniğini birleştiren PAC-MF sistemi kirlenmiş doğal sulardan çözünmüş organiklerin giderimini başarmada büyük potansiyel gösterir. Temel olarak, genellikle MF membranı tarafından reddedilemeyen küçük moleküler türler hibrit sistemde PAC partikülü üzerine adsorbe olurlar. Bu ön arıtma çözünmüş organik maddeyi membranlar tarafından kolayca reddedilebilecek partiküler faza dönüştürür. MF prosesi daha sonra arıtılmış sudan porlarda adsorbe olmuş küçük partiküllerle ince PAC

partiküllerini ayırır. Bu hibrit sistem geniş donanım boyutlarını ve PAC'ın çöktürme ve diğer geleneksel filtrasyon proseslerinden daha etkin bir ayırma sağladığı gibi geleneksel yolda PAC adsorpsiyonu uygulandığında gerekli olan alanı dengeleyebilir de. Daha fazlası, adsorpsiyon ön arıtması düşük enerji gerektiren düşük basınçlı MF prosesiyle yüksek kirletici giderimi sağlar.

Membran modülünün yerleştirilmesine göre PAC-MF sistemi iki konfigürasyonla kategorize edilebilir: dış çevrim ve batık membran tankı. Dış çevrimde, membran modülü adsorpsiyon tankına seri olarak ayarlanır ve çapraz akış modunda işletilir. Diğerinde ise; membran modülü direk adsorpsiyon tankının içine yerleştirilir. Son yirmi yılda dış çevrim PAC-membran prosesi üzerine deneysel ve matematiksel çalışmalar yapılmıştır. Karışım tankının modellenmesi ve PAC-UF sisteminin geri çevrim kısmı kararlı halde sürekli karıştırma tankı olarak TOC ve iz organiklerin gideriminde başarılı olmuştur. Campos ve diğerleri geri yıkama olayları ve karbon sarfiyatı olmaksızın işletilen sürekli akışlı PAC- membran reaktörlerinin farklı proses dizaynlarını değerlendirmek için birçok matematiksel model geliştirmişlerdir. Organiklerin giderim verimi; tam karışımli veya piston akışlı reaktör kombinasyonlarında çeşitli membran konfigürasyonları ile modellemeler yapılarak çalışılmıştır. Bu simülasyonlarda, sıvı film direnci ihmal edilmiş ve prosesin sadece yüzey difüzyonu ile kontrol edildiği varsayılmıştır. Matsui ve diğerleri iz sentetik organik kimyasal giderimini modellemişler ve filtrasyon çevriminin başında tek seferde PAC ilavesinin, sürekli ilave moduna göre daha iyi sentetik organik giderdiğini bulmuşlardır. İçsel kütle transferini oran belirleme basamağı olarak kullanmışlardır. Bütün bu matematiksel modeller membran filtrasyon düzeneğinin adsorpsiyon reaktöründen ayrıldığı PAC-membran dış çevrim sistemlerinin dizaynını kolaylaştırmak için kullanılabilir ve sulardan önerilen organik kirleticilerin arıtımı için optimum işletme stratejilerini belirlemeye yardım eder.

Bu gelişen membran filtrasyon tekniği ile, batık membran sistemleri dünya çapında ilgi çekmiştir. 1980 lerin sonlarında membran biyoreaktörler (MBR) in ilk uygulamasından bu yana, batık membran sistemleri enerji tüketimi ve

maliyeti azaltmada, gerekli alanı azaltmada ve ürün kalitesini geliştirmede avantajlar göstermiştir. NOM ve sentetik organik kimyasalların giderimi için su arıtımında batık membran sistemlerinin kullanımı yenidir ve gelecek vadeden bir prosestir. Hibrit PAC-batık membran sistemlerinde, membran modülü askıda PAC partikülleri içeren adsorpsiyon tankının içine batırılır. Guo ve diğerleri batık membran-adsorpsiyon sisteminde sentetik atıksudan TOC giderimini simule etmek için matematiksel model geliştirmişlerdir. Bu simülasyonda, adsorpsiyon kapasitesini sayıya dökmek için Talu adsorpsiyon dengesini kullanmışlardır. Makale yazarı, modellerinde, membran yüzeyindeki TOC adsorpsiyonunu dahil etmişlerdir ve PAC ın tamamı kesikli modda batık membran reaktörünün içine ilave edilmiştir. Ön adsorpsiyon süreci, havalandırma hızı, geri yıkama sıklığı, PAC dozu ve filtrasyon akısını içeren işletme parametrelerinin etkisini değerlendirmişlerdir.

Batık membran-adsorpsiyon sisteminde karışım sağlamak için hava kabarcığı uygulanır ve ayırma verimini geliştirmek için membran yüzeyinde kesme oluşturulur. Fakat PAC-MF hibrit batık membran sistemi üzerine yapılan birçok çalışma genelde toplam kirletici giderim veriminin değerlendirilmesi üzerine odaklanmıştır. Aslında, hava kabarcıklarıyla oluşturulan karıştırma çözeltideki PAC partiküllerinin dikey hareketini oluşturan konvansiyonel mekanik karıştırmadan farklıdır. Bu nedenle PAC adsorpsiyonunun kinetik parametreleri hava kabarcıklarının neden olduğu karışım tarafından etkilenebilir [48].

2.6 UV/TiO₂ Fotokatalitik Prosesi

Biyolojik ve kimyasal olarak kararlı moleküllerin bozunmasında gelecek vadeden bir yol ileri oksidasyon prosesleri (AOPs) uygulamalarıdır [49]. İleri oksidasyon prosesleri tipik olarak çözünmüş organik kirleticileri mineralize edebilen yüksek reaktif hidroksil radikali ($\cdot\text{OH}$)'nin üretilmesiyle karakterize edilir. Bunlar; ozonoliz, UV/ozon, UV/H₂O₂, elektronlarla ışınlama ve bu metotların kombinasyonlarıdır. Bu ileri arıtma teknolojileri arasında TiO₂ ile fotokataliz son yıllarda yapılan birçok araştırmanın odağı olmuştur [50]. UV/TiO₂ fotokatalitik prosesi biyolojik olarak ayrışamayan ve ön arıtımı

yapılmış atık su için umut vadeden bir ileri oksidasyon prosesidir ve Amerika ve Avrupa’da başarılı bir şekilde uygulanmaktadır [49]. İleri arıtma teknolojileri arasında, TiO_2/UV fotokatalizi çamur uzaklaştırma problemi olmadığından ve toksik olmadığından dolayı son yıllarda yapılan çalışmalarda ilgi çekmiştir [5]. UV/TiO_2 fotokatalitik oksidasyon prosesinde, UV ışını ile TiO_2 katalizörü ışıklandırıldığı zaman, fotokatalizör UV ışığından gelen fotonu etkin bir şekilde absorblar, katalizör yüzeyinde adsorplanan organik maddeyi parçalayan $\cdot\text{HO}$ radikali içeren güçlü oksidan üretir [51,52]. Sonuç olarak, organik bileşikler, CO_2 , H_2O ve inorganik maddelere mineralize olur [50]. Çok iyi bilinir ki organik kirleticilerin fotokatalitik oksidasyonları için O_2 gereklidir. O_2 likit fazda bulunur, elektron/elektron eksikliği çiftinin tekrar birleşmesini engeller ve hidroksil radikali konsantrasyonunu artırır. IO_4^- , $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ ve H_2O_2 gibi inorganik oksidanlar ikincil reaktif radikal oluşturarak organik bileşiklerin fotodegradasyon hızını geliştirmek için oksijen yerine eklenebilir. Bu inorganik ilavelerin etkisi deneysel şartlara bağlı olarak negatif etki gösterebilmelerinden dolayı uygulamalarından önce doğru bir şekilde kontrol edilmelidir [49].

Kuvvetli redoks yeteneği, kimyasal stabilitesi ve uygulanabilir düşük maliyetinden dolayı TiO_2 en çok kullanılan fotokatalizör maddesidir. Genel olarak TiO_2 ile fotokataliz, toksik olmayan, temiz, güvenilir ve hava arıtımında geniş çapta kullanılabilir olduğundan su ve atık su arıtımında ileri ve yeşil bir teknoloji olarak düşünülür. Fakat fotokatalizörün geri kazanımı ve yüksek enerji tüketimi gibi problemlerden dolayı fotokataliz olayı endüstriyel uygulamalarda hala sınırlıdır [50]. Katalizör toz askıda formda çözelti olarak veya cam, quartz veya paslanmaz çelik gibi çeşitli destekler üzerine sabitlenerek uygulanabilir. Her iki konfigürasyon da avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Bir katalizörün taşıyıcı materyalini seçmesi için aktif yüzeyde meydana gelen önemli miktarda azalma çözeltideki bileşikler genellikle etkiler ve bu, fotokatalitik aktivite kaybı ile sonuçlanır. Katalizör çözeltisi kullanıldığında fotokatalitik bozunma verimi yüksektir; fakat, katalizör partikülleri detoksifikasyondan sonra arıtılmış sudan ayrılmalıdır. Çözeltideki TiO_2 ayrımı kritiktir ve uygulamada sıkıntı verici problem bırakır. Çünkü TiO_2 partikülleri yer çekimi ile çöktürme uygulaması

için çok incedir (ortalama partikül por boyutu 21 nm). Membran prosesleri etkin bir şekilde hedef katıları su fazından ayırır. Böylece fotokataliz ve mikrofiltrasyon tekniğinin birleştirilmesiyle sudan TiO_2 partiküllerinin ayrılması etkin bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Fotokataliz ve membran ayırma tekniklerinin birleştirilmesi, fotokatalizör geri kazanımı ve kirletici giderimi için devrimci bir proses olmuştur [49].

Fotokataliz prosesinin MF veya UF ile entegre edilmesi fikri üzerinde bu proseslerin kombinasyonlarından ötürü mümkün olabilen potansiyel yararlarından dolayı yoğun bir şekilde çalışılmaktadır. MF sadece askıda katalizörlerin ayırmasına yardımcı olmaz, aynı zamanda moleküler seviyedeki seçici ayırımından dolayı çıkış suyu kalitesini geliştirir. Buna ilaveten yarı iletken fotokatalizör membran tıkanmasına neden olan bileşikler mineralize edebilir [50] ve bu fotomineralizasyon ile membran tıkanmasının azaltılmasına yardım eder [5]. Diğer bir yandan batık membran sistemleri düşük enerji ve yatırım maliyeti gibi avantajlı özelliklere sahiptir ve işletilmeleri kolaydır [50].

TiO_2 gibi yarı iletken katalizör kullanan fotokataliz, sulardan organik bileşiklerin gideriminde gelecek vadede metottur. Herbisitler, pestisitler ve halofenoller içeren sayısız organik kirleticilerin bu metodu kullanarak kirlenmiş sulardan etkin bir şekilde arıtıldığı rapor edilmiştir [51,52,53,54]. Membran; sistemdeki katalizörü tutabildiği için fotokataliz/membran hibrit sistemi sulardan çeşitli organiklerin giderimi için denenmiştir [55,56,57,58,59,60]. Son zamanlarda TiO_2 bazlı fotokatalizin etkin bir şekilde hümik asit [57,61,62] ve DOM [55,56,63] giderdiği bildirilmiştir.

Xianhuai ve diğerleri yaptıkları çalışmada; DOM giderimi ve MF ve UF membranlarda tıkanma kontrolü üzerine TiO_2 fotokatalitik oksidasyon etkisini araştırmışlardır. Dayanıklı doğal organik maddenin küçük fraksiyonu bulunmasına rağmen, DOM giderimi için ve DOM tarafından meydana gelen membran tıkanmasını kontrol eden etkin bir arıtma prosesi olduğu sonucuna varmışlardır.

3. MATERYAL ve METOD

Pilot ölçekli deneysel çalışmalarda ultrafiltrasyon (UF) ve mikrofiltrasyon (MF) membranları kullanılmıştır. Membran tıkanıklığının azaltılmasına UF membranında UV/TiO₂ ve toz aktif karbon etkileri ve MF membranında ise toz aktif karbon etkisi araştırılmıştır. Deneysel çalışmalarda, Kağıthane İçme Suyu Arıtma Tesisi giriş suyu (Terkos göl suyu), Büyükçekmece göl suyu ve Ömerli baraj suyu kullanılmıştır.

3.1 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Doğal Ham su Özellikleri

Pilot ölçekli çalışmalarda Terkos gölü, Ömerli barajı ve Büyükçekmece göllerinden temin edilen ham su ile deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Terkos gölü, Ömerli barajı ve Büyükçekmece gölüne ait ham su karakterizasyonu, Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Terkos, Ömerli ve Büyükçekmece göllerine ait ham su karakterizasyonu

Parametreler	Birim	TERKOS		ÖMERLİ		BÜYÜKÇEKMECE
		Mayıs 2009	Temmuz 2009	Mayıs 2009	Temmuz 2009	Kasım 2009
pH	-	7,73	7,92	7,75	7,50	7.90
Bulanıklık	NTU	1,66	2,39	1,25	1,52	18
Renk	mg/l Pt-Co	15	20	10	10	28
İletkenlik	µS/cm	380	344	287	278	540
Alkalinite	mg/l CaCO ₃	117	124	90	113	139
Sertlik	mg/l CaCO ₃	128	130	110	114	142
Cl ⁻	mg/l	45	32,5	23	17,5	29
SO ₄ ⁻²	mg/l	20	14,5	25	19	42
Ca ⁺²	mg/l	42	46	35	40	61
Mg ⁺²	mg/l	5,4	3,8	5,3	3,9	8,4
Top.Çöz.Madde	mg/l	183	169	137	136	158

Çizelge 3.1 : Terkos, Ömerli ve Büyükçekmece göllerine ait ham su karakterizasyonu (devam)

Bromür (Br⁻)	µg/l	120	110	60	50	230
TOK	mg/l	6,57	6,54	4,16	4,52	6,45
UV₂₅₄	l/cm	0,170	0,150	0,110	0,100	0.144
SUVA₂₅₄	l/mg×m	2,59	2,29	2,64	2,12	2.75

3.2 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Membranların Özellikleri

Pilot ölçekli deneysel çalışmalarda mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon membranları kullanılmıştır.

3.2.1 Mikrofiltrasyon (MF) Membran Özellikleri

Pilot ölçekli deneysel çalışmalarda, içi boş fiber (Hollow fiber) membranlar kullanılmıştır. Polypropylene maddeden imal edilmiş içi boş fiber membranın iç çapı 0,24 mm, dış çapı 0,31 mm'dir. Ticari olarak 150 cm uzunlukta hazırlanan fiberlerin gözenek çapı, 0,1 mikron olarak belirtilmiştir (Şekil 3.1). Membranlar Zena membranes (Çekoslovakya) firmasından temin edilmiştir. Membranların teknik özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.1 : Deneysel çalışmalarda kullanılan MF membranının ticari şekli

Çizelge 3.2 : MF membranları teknik özellikleri

Özellik	Nominal değer	Minimum değer	Maksimum değer	Birim
Polipropilen ham madde				
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	µm
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/mh @ 1.0 bar, 25 C
Dayanıklılığı	2	1,7		N/fiber

MF Membranlarının Hazırlanması

Reaktörde toplam 1384 adet fiber bulunacak şekilde (yüzey alanı ~ 0,86 m²) düzenleme yapılmıştır. U oluşturacak şekilde membranlar ikiye katlanmış ve 15 cm çapında ve 33 cm boyunda olacak şekilde hazırlanmıştır (Şekil 3.5). 1384 adet olan her bir fiberin uzunluğu 24 cm'dir.



Şekil 3.2 : Pilot ölçekli deneysel çalışmalar için hazırlanmış MF membranlar

Daha sonra membranların sızdırmazlığını test etmek üzere membranlar su dolu bir behere daldırılarak pompa ile bu membranlardan vakum etkisi altında su çekilmeye çalışılmıştır. Hiç su çıkmadığı gözlemlendiğinde membranların sızdırmaz olduğuna karar verilmiştir.

Kullanılmaya başlamadan önce yüzeyi hidrofobik olan membranları, sistemde kullanmaya başlamadan önce yüzeylerini hidrofilik hale getirmek amacıyla 20 dakika boyunca 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) Membranı Özellikleri

Pilot ölçekli Laboratuar Zenon marka ZW10 model UF membranı Zenon Environmental Inc. (Kanada)'dan temin edilmiştir. Dış çapı 2 mm, gözenek çapı 0,04 mikron olan hidrofilik karakterdeki membranın yüzey alanı 0,93 m²'dir. Uzunluğu 69,2 cm, çapı 11 cm olan modülün iç hacmi 130 ml'dir. ZW10 UF membranının resmi Şekil 3.3 ve teknik özellikleri ise Çizelge 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.3 : Pilot ölçekli deneylerde kullanılan UF membranı (ZW10)

Çizelge 3.3 : Pilot ölçekli deneylerde kullanılan UF membranı (ZW10) teknik özellikleri

Parametre	ZW10
Membran çalışması	Dıştan içe
Dış çap, mm	2
Membran özelliği	Hidrofilik
Gözenek çapı, μm	0,04
Etkili membran alanı, m^2	0,93
Modül boyutları, cm	Uzunluk=69,2 Genişlik=11
Etkili su tutma hacmi, ml	130
Maksimum basınç, bar	0,6
İşletme basıncı, bar	0,07-0,55
Süzüntü debi aralığı, ml/dak	300-1200
Maksimum geri yıkama basıncı, bar	0,7
Maksimum hava debisi, m^3/saat	7,2

Çizelge 3.3 : Pilot ölçekli deneylerde kullanılan UF membranı (ZW10) teknik özellikleri (devam)

Maksimum işletme sıcaklığı, °C	40
pH aralığı	5-9
Membran temizleme pH aralığı	2-10,5
Membran temizlemede OCl^- konsantrasyonu, mg/l-saat	1000000
Membran temizlemede maksimum OCl^- konsantrasyonu, mg/l-saat	1000
Maksimum askıda katı madde konsantrasyonu, mg/l	25000

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 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. Burada, membran yüzeyindeki organik ve inorganik kirliliğin temizlenmesi için Guo ve diğ. (2005) ve Kim ve diğ. (2005) makelesindeki MF membranı temizleme prosedürleri takip edilmiştir. Her bir çözelti değişiminde ve reaktörlere koymadan önce membranlar distile su ile yıkanmıştır. Yıkama öncesi ve yıkama sonrasında membranların görünümü, Şekil 3.4, 3.5 ve 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.4 : Temizleme işlemi öncesinde pilot ölçekte MF membranlarının görünümü



Şekil 3.5 : Baz çözeltisi içinde pilot ölçekte MF membranlarının görünümü



Şekil 3.6 : Temizleme işlemi sonrasında pilot ölçekte MF membranlarının görünümü

Pilot ölçekli sistemde her deney sonunda MF membranları temizlendikten sonra saf su ile akı deneyleri yürütülmüş (Şekil 3.4, 3.5 ve 3.6) ve Şekil 3.7’de sonuçları verilmiştir. Şekil 3.7’de sunulan saf su akısı deneylerinden de görüleceği gibi deneyler arasında yürütülen temizleme işlemi etkinliğini göstermiş ve başlangıç akı değerine göre hemen hemen aynı saf su akısı değerlerine ulaşılmıştır.

3.3.2 UF membranların temizlemesi

UF membranlar her deney sonunda çıkartılarak önce 0,5 g/l konsantrasyonda hazırlanmış iyonik bir deterjan olan Sodium dodecyl sülfat (SDS) ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{OSO}_3\text{Na}$) çözeltisinde 1 saat ve ardından % 0,4'lük sodyum hipoklorit (NaOCl) çözeltisinde 1 saat bekletilmiştir (Oschmann ve diğ. 2005, Zenon, 2003). Literatür bilgileri ve Zenon membran üreticisi membran temizleme prosedürleri takip edilmiştir. Her bir çözelti değişiminde distile su ile yıkanmıştır ve reaktörlere koyulmadan önce içlerinden distile su geçirilmiştir. Yıkama öncesi ve yıkama sonrasında pilot ölçekte kullanılan UF membranların görünümü Şekil 3.7 ila 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.7 : Temizleme öncesi pilot ölçekli UF membranı



Şekil 3.8 : Temizleme sonrası pilot ölçekli UF membranı

3.4 Batık Membran Sistemi Deney Düzenegi

Bu çalışmada pilot ölçekli batık membran düzenegi kullanılmıştır. Bu düzeneğe ait detaylı açıklamalar aşağıda verilmiştir.

3.4.1 Pilot ölçekli batık membran sistemi

3.4.1.1 Pilot ölçekli batık membran sisteminin ekipmanları

Taşıyıcı, S. (2009)'nın Laboratuar ölçekte yaptığı deneysel çalışmalarda en iyi verim (basınç artışı ve organik madde giderme verimi açısından), toz aktif karbon ve UV/TiO₂ ile yapılan deneysel çalışmalarda elde edilmiştir. Pilot ölçekli membran sistemi, laboratuar ölçekte yapılan ve iyi verim elde edilen toz aktif karbon ve UV/TiO₂ ön arıtma sisteminin, daha büyük ölçekte de araştırılması için kurulmuştur. Günlük su arıtma kapasitesi, 300-1200 litre aralığında değişmektedir.

Maksimum işletme basıncı, 0.7 bar ve maksimum işletme sıcaklığı ise 40°C'dir. Pilot tesiste kullanılan ekipmanların teknik özellikleri, Çizelge 3.4'de verilmiştir. Pilot tesise ait P&I diyagramı ise Şekil 3.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.4 : Pilot tesiste kullanılan ekipmanlara ait teknik özellikler

Proses tankı	Hacim=30 L, Malzeme= Polipropilen, ZW10 UF modülü bu tankın içine yerleştirilmektedir. Seviye ölçer, sıcaklık ölçer ve pH ölçer bulunmaktadır.
ZW-10 membran modülü	Membran alanı: 10ft ² (0,93 m ²), Maksimum ağırlık: 5 kg
Hava üfleyici (Blower)	Kapasite: 60 L/dak @ 0,15 bar, Membran temizleme için düşük basınçlı hava üretmektedir.
Proses pompası	Çift yönlü pompa (gear pump): 0,2 – 1,4 L/dak @ 1,0 bar + motor (0,18 kW)
Geri yıkama tankı	Hacim=10 L, Malzeme= Polipropilen
MC-1 dozlama pompası	Kapasite: 0,4 L/saat @ 1,5 bar, pH ayarlamak için kullanılan 5 W'lık peristaltik pompa
MC-1 tankı	Hacim=5 L, Silindirik plastic tank
Membran temizleme kimyasalı dozlama pompası	Kapasite: 0,4 L/saat @ 1,5 bar, membranı temizlemek için kullanılan 5 W'lık peristaltik pompa (Sodyum hipoklorit dozlama)
Membran temizleme kimyasalı tankı	Hacim=5 L, Silindirik plastic tank
PLC kontrol sistemi	◆ Seviye ayarlama, 0-250 mbar aralığını ölçme, 4-20 mA, 10-30 V DC, Bağlantı: G1"A konik) ◆ Basınç ölçer (Vakum basıncını ölçmek için) ◆ Sıcaklık ölçer ◆ pH metre
Kontrol paneli	Siemens Simatic C7PLC

3.4.1.2 Pilot ölçekli deney tesisatının çalışma prensibi

Pilot tesis, sistem 24 saat kesintisiz olarak çalıştırılabilecek şekilde otomasyonlu tasarlanmıştır. Göllerden büyük tankerler ile getirilen ham su (Terkos, Ömerli ve Büyükçekmece Göl Suları) ilk olarak toplam 10 ton'luk (5'er tonluk 2 adet tank) ham su depolarında depolanmaktadır, Şekil 3.10. Buradan pompa vasıtasıyla 1,5 tonluk ham su tankına basılmaktadır, Şekil 3.11. Hem 10 ton'luk hem de 1,5 ton'luk tanklarda karışım, her 15 dakikada bir, tankın altından alınan su üstünden verilerek sağlanmaktadır. Ham su tankındaki karışım pompa ile sağlanmaktadır, Şekil 3.12. Bu şekilde, tankın dibine çökme olmamasına çalışılmıştır. Her ne kadar, bunu sağlamaya çalışılmış olsa da, bir miktar çökme olmuş ve pilot tesise alınan ham suyun bulanıklığı zamanla düşmüştür. Reaktörlerdeki su seviyesi, belirlenen seviyenin altına indiğinde otomatik olarak devreye giren başka bir pompa (Watson Marlow) ile pilot tesise 1,5 ton'luk tanktan su basılmakta, yine önceden belirlenen seviyeye ulaştığında ise pompa (Watson Marlow) durmaktadır, Şekil 3.13.

Pilot tesis, laboratuvar ölçekli tesiste de olduğu gibi iki bölmeli olarak tasarlanmıştır. İlk bölme (30 lt), ön arıtma maksadı ile tasarlanmıştır ve suyun, membran bölmesinden önce iyi bir ön arıtmaya uğraması amacıyla kullanılmaktadır, Şekil 3.14. Buradan, membranın bulunduğu ikinci reaktöre su geçişi tankın üst seviyesinden cazibe ile olmaktadır. İkinci tanktaki su seviyesi, membran tarafından süzülen su ile azaldıkça, birinci tanktan, ikinci tanka tankın üst seviyesinden cazibe ile su akışı gerçekleşmektedir, Şekil 3.15. Membran, filtrasyonun gerçekleştiği 30 lt'lik ikinci reaktöre yerleştirilmiştir, Şekil 3.16. Membrandan süzülen çıkış suyu, süzüntü tankına iletilmektedir, Şekil 3.17. İkinci reaktör içinde pH probu bulunmaktadır ve ikinci tanktaki pH, seviye, debi, ve basınç, Hach SC1000 veri depolama birimi sayesinde online olarak izlenebilmekte ve bilgisayarda depolanmaktadır, Şekil 3.18. Bu tanktaki pH, 7.4-7.5 arasında tutulmaktadır ve pH 7.5'in üzerine çıktığı zaman sistem otomatik olarak, belirlenen pH aralığını sağlamak üzere hidroklorik asit dozlaması yapmaktadır, Şekil 3.19- 3.20- 3.21. Arıtılmış suyun toplandığı tank aynı zamanda geri yıkama suyu besleme tankı olarak kullanılmaktadır. Sistemde, filtrasyon ve geri yıkama süreleri, debi, seviye limitleri, pH limitleri kontrol panelinden değiştirilebilmektedir, Şekil 3.22. Belirlenen kontrol

limitleri aşıldığı zaman sistem alarm durumuna geçmekte ve sistemi durdurmaktadır. Hem giriş hem de çıkış suyu online bulanıklık ölçerler vasıtası ölçülmekte, Şekil 3.23, Hach SC1000 veri depolama birimi sayesinde online olarak izlenebilmekte ve bilgisayarda depolanmaktadır.



Şekil 3.10 : Ham su depolama tankları (5'er ton'dan 2 adet, toplam 10 ton kapasiteli)



Şekil 3.11 : 10 tonluk tanklardan suyun basıldığı 1,5 tonluk ham su tankı



Şekil 3.12 : 1,5 tonluk ham su tankını karıştırma pompası



Şekil 3. 13 : 1,5 tonluk hamsu tankından I. Reaktöre otomatik olarak su beslemesi yapan pompa



Şekil 3.14: Birinci reaktör



Şekil 3.15 : I. reaktörden II. reaktöre su geçiş hattı



Şekil 3.16 : İkinci reaktör



Şekil 3.17 : Süzüntü tankı



Şekil 3.18 : SC1000 veri depolama sistemi



Şekil 3.19 : Asit dozlama pompası ve tankı



Şekil 3.20 : Kontrol paneli



Şekil 3.21 : Bulanıklık ölçerler



Şekil 3.22 : Pilot ölçekli tesis genel görünüm-I



Şekil 3.23 : Pilot ölçekli tesis genel görünüm-II

3.4.1.3 Pilot ölçekli deneysel çalışmalarda kullanılan ön arıtma birimleri

Toz Aktif Karbon (PAC) Düzenegi

Deneysel çalışmalarda kullanılan AquoSorb BP2 isimli toz aktif karbon, İSKİ Kağıthane su arıtma tesisinden temin edilmiştir. Toz aktif karbon, çok ince toz tanelerinden oluştuğundan, öncelikle behere alınan bir miktar saf suya ilave edilerek çözelti haline getirilmiş, daha sonra birinci reaktöre ilave edilmiştir.



Şekil 3.24 : Toz aktif karbon

UV/TiO₂ Düzenegi

UV ışını ile yürütülen deneylerde, UV lambasının koyulacağı birinci reaktörün açıkta kalan alt ve üst kısmı ışığın dışarı sızmasını engellemek için alüminyum folyo ile kaplanmıştır, Şekil 3.25. UV lambası suya direk daldırılmamış, quartz cam içerisine yerleştirilerek reaktöre sabitlenmiştir. Çalışmalarda LightTech marka GPH846T5L/4 model 40 watt lık UV lamba, Şekil 3.26 ve kataliz olarak farklı konsantrasyonlarda TiO₂ (Degussa P25) kullanılmıştır.



Şekil 3.25 : Birinci reaktörün alüminyum folyo ile kaplanmış hali



Şekil 3.26: 40 W'lık UV lambası

3.5 Ham Su ve Arıtılan Suda Yapılan Analizler

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen çalışmalarda bulanıklık, pH, basınç ve sıcaklık parametreleri, pilot ölçekli sistemde bulunan online cihazlar vasıtasıyla ölçülmüştür. Bu parametreler haricinde 0,45 µm gözenekli membran filtrelerden geçirilen numunelerde TOK ve UV₂₅₄ ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Numuneler 0,45 µm gözenekli membran filtreden geçirildiğinden, ölçülen TOK değerleri Çözünmüş Organik Karbon (ÇOK) miktarını göstermektedir. Aşağıda TOK ve UV cihazları ve analizleri hakkında bilgiler verilmiştir.

3.5.1 Toplam Organik Karbon (TOK) cihazı

TOK ölçümleri için, İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü'ne alınan Shimadzu TOK-V_{CPH} cihazı kullanılmıştır, Şekil 3.27. TOK ölçümleri, Standart Metot'larda belirtilen 3510 B nolu Yanma Infrared metoduna göre gerçekleştirilmiştir (APHA, 1998). TOK analizleri otomatik bir numune alıcı ile donatılmış Shimadzu TOK-V_{CPH} cihazı ile yapılmıştır. Numuneler platinyum oksit katalizörü ile kaplı bir ısıtılmış reaksiyon çemberine enjekte edilmiştir. Ardından numunedeki tüm organik karbon CO₂ gazına dönüştürülmüş ve bu inorganik gaz nondispersif infrared analizörü ile ölçülmüş ve mg/l olarak kaydedilmiştir.



Şekil 3.27 : Schimadzu TOK-V_{CPH} cihazı

3.5.2 UV cihazı

UV₂₅₄ absorbans ölçümleri 254 nm dalga boyunda 1 cm'lik kuvars hücreye sahip Perkin Emler Lambda 25 UV Visible cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir, Şekil 3.28. Numunelerde girişime sebep olabilecek safsızlıklar 0.45 µm membran filtreden süzme işlemi sayesinde elimine edilmiştir. Cihaz 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.



Şekil 3.28 : UV spektrofotometre

3.6 Deneysel Çalışma Programı

Deneysel çalışmalar, pilot ölçekte gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışma programı, bir matris çerçevesinde yürütülmüş ve matrisin değişkenleri detaylı bir şekilde Çizelge 3.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.5 : Deneysel çalışma programı

Pilot Ölçekli Yapılan Çalışmalar		
Hamsu Kaynağı	Membran türü	Uygulanan Ön Arıtma
UF Membranı ile gerçekleştirilen deneyler		
1) Terkos Gölü		
a) Süzüntü Debisi Etkisinin Araştırılması		
Terkos Gölü	UF	Debinin 10 l/st olması hali (Filtrasyon: 300 sn, geri yıkama süresi: 30 sn)
Terkos Gölü	UF	Debinin 30 l/st olması hali (Filtrasyon: 300 sn, geri yıkama süresi: 30 sn)
b) Geri Yıkama Süresinin Etkisinin Araştırılması		
Terkos Gölü	UF	Geri Yıkama Süresi: 30 sn, Filtrasyon süresi: 300 sn (Debi: 30 lt/st)
Terkos Gölü	UF	Geri yıkama süresi: 180 sn, Filtrasyon süresi: 1800 sn (Debi: 30 lt/st)
Terkos Gölü	UF	Geri yıkama süresi: 360 sn, Filtrasyon Süresi: 3600 sn (Debi: 30 lt/st)
c) Toz Aktif Karbon (PAC) İlavesinin Etkisinin Araştırılması		
Terkos Gölü	UF	25 gr/l PAC (Geri yıkama süresi: 360 sn, Filtrasyon Süresi: 3600 sn, Debi: 30 lt/st)
Terkos Gölü	UF	40 gr/l PAC (Geri yıkama süresi: 360 sn, Filtrasyon Süresi: 3600 sn, Debi: 30 lt/st)
d) $UV + TiO_2$ Etkisinin Araştırılması		
Terkos Gölü	UF	0,5 gr/l TiO_2 ve $UV_{sürekli}$ (Geri yıkama süresi: 360 sn, Filtrasyon Süresi: 3600 sn, Debi: 30 lt/st)
Terkos Gölü	UF	1,5 gr/l TiO_2 ve $UV_{sürekli}$ (Geri yıkama süresi: 360 sn, Filtrasyon Süresi: 3600 sn, Debi: 30 lt/st)
2) Ömerli Barajı		
a) Geri Yıkama Süresinin Etkisinin Araştırılması		
Ömerli Barajı	UF	Geri yıkama süresi: 360 sn, Filtrasyon Süresi: 3600 sn, Debi: 30 lt/st

Çizelge 3.5 : Deneysel çalışma programı (devam)

b) Toz Aktif Karbon (PAC) İlavesinin Etkisinin Araştırılması		
Ömerli Barajı	UF	25 gr/l PAC'ın deney başlangıcında tek seferde ilave edilmesi (Geri yıkama süresi: 360 sn, Filtrasyon Süresi: 3600 sn, Debi: 30 lt/st)
Ömerli Barajı	UF	25 gr/l PAC'ın deney başlangıcında tek seferde ilave edilmesi (Deney öncesi membranın temizleme işlemine maruz tutulmadığı durum) (Geri yıkama süresi: 360 sn, Filtrasyon Süresi: 3600 sn, Debi: 30 lt/st)
Ömerli Barajı	UF	25 gr/l PAC'nın her gün ilave edilmesi (Geri yıkama süresi: 360 sn, Filtrasyon Süresi: 3600 sn, Debi: 30 lt/st)
Ömerli Barajı	UF	25 gr/l PAC'ın her gün ilave edilmesi (İlave öncesi birinci reaktörün boşaltılıp tekrar doldurulduğu durum) (Geri yıkama süresi: 360 sn, Filtrasyon Süresi: 3600 sn, Debi: 30 lt/st)
c) UV +TiO₂ Etkisinin Araştırılması		
Ömerli Barajı	UF	0,5 gr/l TiO ₂ ve UV _{sürekli} (Geri yıkama süresi: 360 sn, Filtrasyon Süresi: 3600 sn, Debi: 30 lt/st)
Ömerli Barajı	UF	1,5 gr/l TiO ₂ ve UV _{sürekli} (Geri yıkama süresi: 360 sn, Filtrasyon Süresi: 3600 sn, Debi: 30 lt/st)
3) Büyükçekmece Gölü		
a) Toz Aktif Karbon (PAC) İlavesinin Etkisinin Araştırılması		
Büyükçekmece Gölü	UF	25 gr/l PAC'ın deney başlangıcında tek seferde ilave edilmesi (Geri yıkama süresi: 360 sn, Filtrasyon Süresi: 3600 sn, Debi: 30 lt/st)
Büyükçekmece Gölü	UF	25 gr/l PAC'nın her gün ilave edilmesi (Geri yıkama süresi: 360 sn, Filtrasyon Süresi: 3600 sn, Debi: 30 lt/st)
Büyükçekmece Gölü	UF	25 gr/l PAC'nın her gün ilave edilmesi (Geri yıkama süresi: 360 sn, Filtrasyon Süresi: 3600 sn, Debi: 30 lt/st)
b) UV +TiO₂ Etkisinin Araştırılması		
Büyükçekmece Gölü	UF	0,5 gr/l TiO ₂ ve UV _{sürekli} (Geri yıkama süresi: 360 sn, Filtrasyon Süresi: 3600 sn, Debi: 30 lt/st)
Büyükçekmece Gölü	UF	1,5 gr/l TiO ₂ ve UV _{sürekli} (Geri yıkama süresi: 360 sn, Filtrasyon Süresi: 3600 sn, Debi: 30 lt/st)
MF Membranı ile gerçekleştirilen deneyler		
1) Terkos Gölü		
a) Toz Aktif Karbon (PAC) İlavesinin Etkisinin Araştırılması		
Terkos Gölü	MF	0 gr/l PAC ilavesi (Geri yıkama süresi: 360 sn, Filtrasyon Süresi: 3600 sn, Debi: 30 lt/st)
Terkos Gölü	MF	25 gr/l PAC'nın her gün ilave edilmesi (Geri yıkama süresi: 360 sn, Filtrasyon Süresi: 3600 sn, Debi: 30 lt/st)

Çizelge 3.5 : Deneysel çalışma programı (devam)

2) Ömerli Barajı		
a) Toz Aktif Karbon (PAC) İlavesinin Etkisinin Araştırılması		
Ömerli Barajı	MF	0 gr/l PAC ilavesi (Geri yıkama süresi: 360 sn, Filtrasyon Süresi: 3600 sn, Debi: 30 lt/st)
Ömerli Barajı	MF	25 gr/l PAC'nın her gün ilave edilmesi (Geri yıkama süresi: 360 sn, Filtrasyon Süresi: 3600 sn, Debi: 30 lt/st)
3) Büyükçekmece Gölü		
a) Toz Aktif Karbon (PAC) İlavesinin Etkisinin Araştırılması		
Büyükçekmece Gölü	MF	0 gr/l PAC ilavesi (Geri yıkama süresi: 360 sn, Filtrasyon Süresi: 3600 sn, Debi: 30 lt/st)
Büyükçekmece Gölü	MF	25 gr/l PAC'nın her gün ilave edilmesi (Geri yıkama süresi: 360 sn, Filtrasyon Süresi: 3600 sn, Debi: 30 lt/st)

4. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

Deneysel çalışmalar göl suları ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaların sonuçları aşağıda verilmiştir.

4.1 UF Membranı ile Yapılan Deneyler

4.1.1 Terkos göl suyunda yapılan deneyler

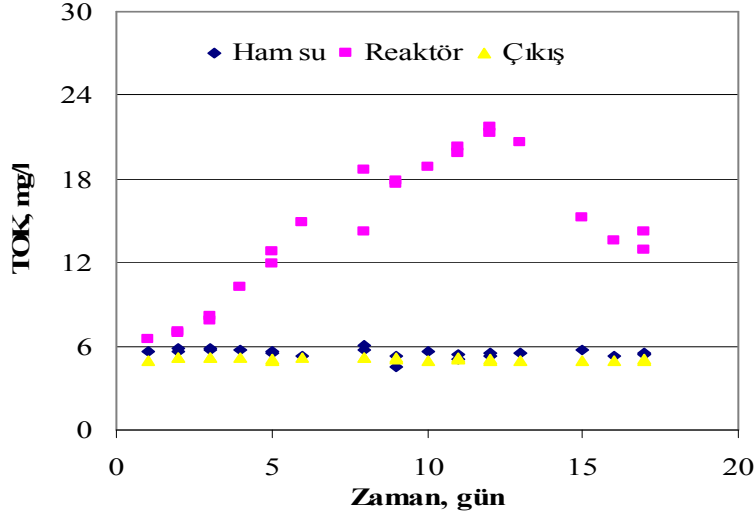
Terkos Göl suyunun kullanıldığı UF membranı ile farklı debi, geri yıkama süreleri, farklı PAC konsantrasyonları ve farklı UV+ TiO₂ konsantrasyonlarında pilot ölçeğe deneysel çalışmalar yürütülmüştür.

a) Süzüntü Debisi Etkisinin Araştırılması

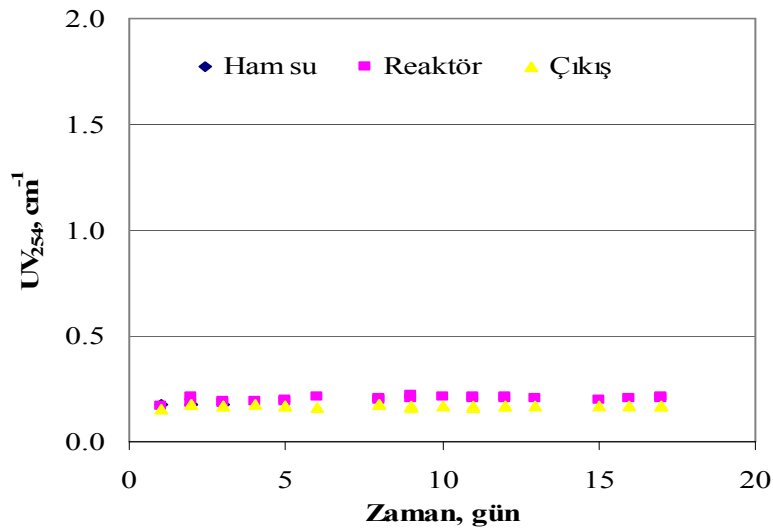
Debinin 10 l/st Olması Hali (Filtrasyon: 300 sn, geri yıkama süresi: 30 sn)

Filtrasyonun 300 sn, geri yıkamanın 30 sn olarak yürütülen deneye ait TOK ve UV₂₅₄ absorbans değerleri sırasıyla Şekil 4.1–4.2’de, giderme verimleri Şekil 4.3’de, membranda basınç artışı Şekil 4.4’de ve bulanıklık değerleri ise Şekil 4.5’de gösterilmiştir. Bu durumda reaktör içindeki TOK konsantrasyonu artış oranının % 159 ve UV₂₅₄ absorbans değeri artış oranının % 16 olduğu görülmüştür. TOK ve UV₂₅₄ giderme verimleri deney süresince % 20’nin altında kalmıştır. Basınç değerinde, önemli bir artış görülmemiş ve 20 mbar’ın altında kalmıştır. Giriş bulanıklık değeri yaklaşık 7 NTU’dan zamanla 1,5 NTU seviyelerine kadar azalmıştır. Göl suyunun çökmemesi için depolama tankında sürekli karışım yapılması da zamanla bulanıklık değişimini engellemeye yetmemiştir. Çıkış bulanıklık değeri de zamanla artmış, daha sonra ise azalmıştır. Çıkış bulanıklık değerinin ilk olarak artıp daha sonra azalmasının sebebi, deneyin başlangıç döneminde membran yüzeyinde oluşan kek tabakası artışına bağlanmıştır. Kek tabakası zamanla membran yüzeyinde ilave bir bariyer oluşturmuş ve bu oluşumdan

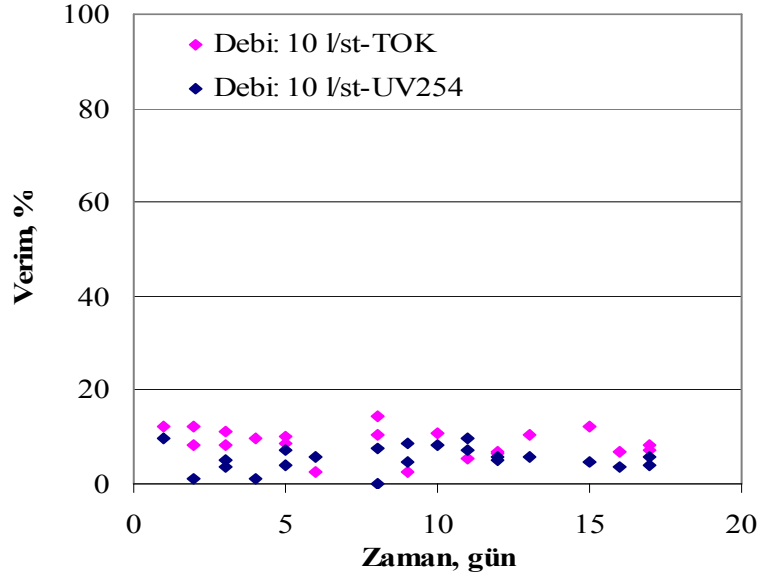
sonra çıkış bulanıklık değeri azalmaya başlamıştır. Bulanıklık maksimum 0,25 NTU seviyelerine ulaşmıştır. Daha sonra tekrar azalama periyoduna geçmiş ve 0,05-0,1 NTU seviyelerinde kalmıştır.



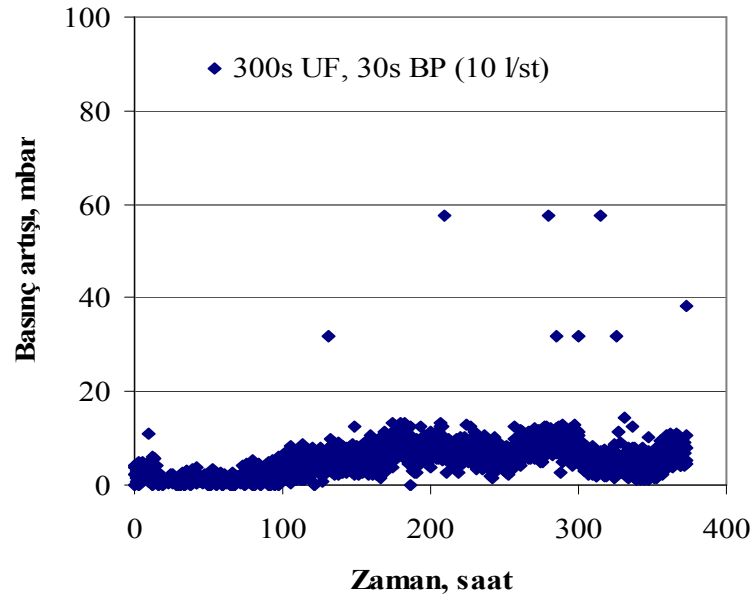
Şekil 4.1 : Debinin 10 lt/st ,filtrasyonun 300 sn, geri yıkamanın 30 sn olarak çalıştırıldığı durum için TOK değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)



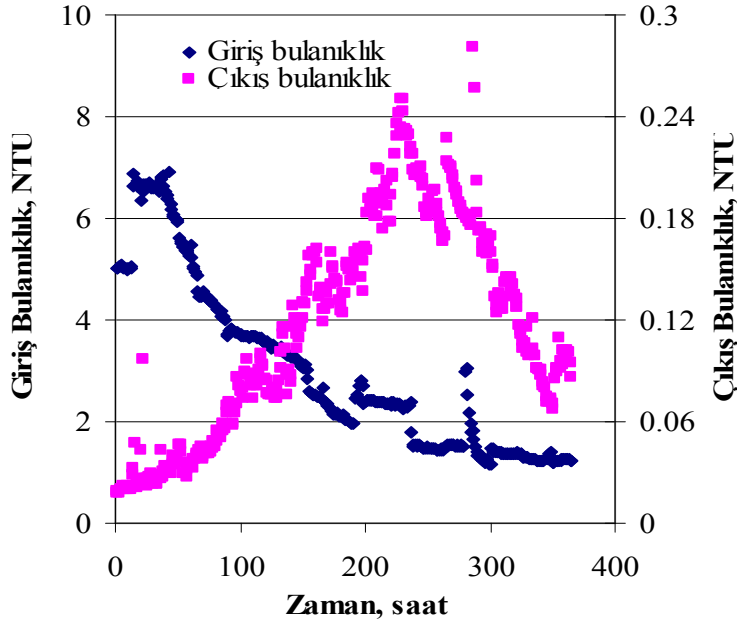
Şekil 4.2 : Debinin 10 lt/st, filtrasyonun 300 sn, geri yıkamanın 30 sn olarak çalıştırıldığı durum için UV₂₅₄ değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)



Şekil 4.3 : Debinin 10 lt/st,filtrasyonun 300 sn, geri yıkamanın 30 sn olarak çalıştırıldığı durum için giderme verimlerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)



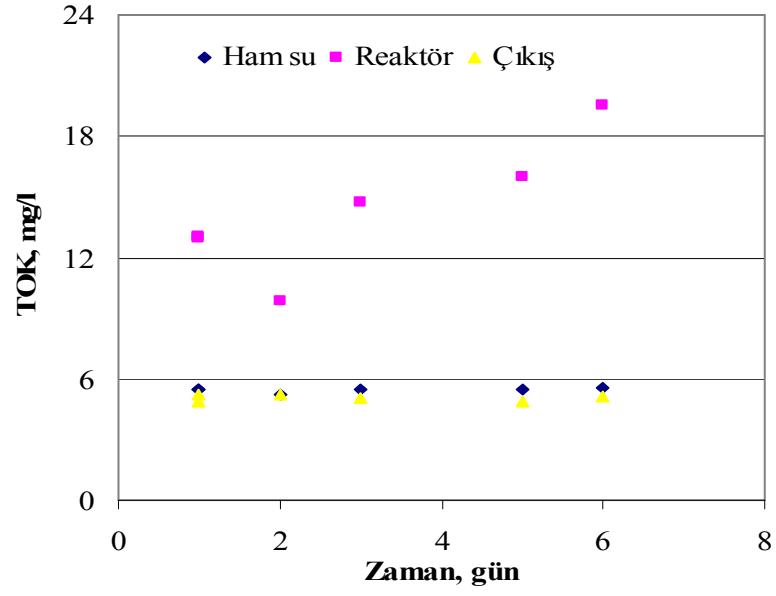
Şekil 4.4 : Debinin 10 lt/st, filtrasyonun 300 sn, geri yıkamanın 30 sn olarak çalıştırıldığı durum için basınç değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)



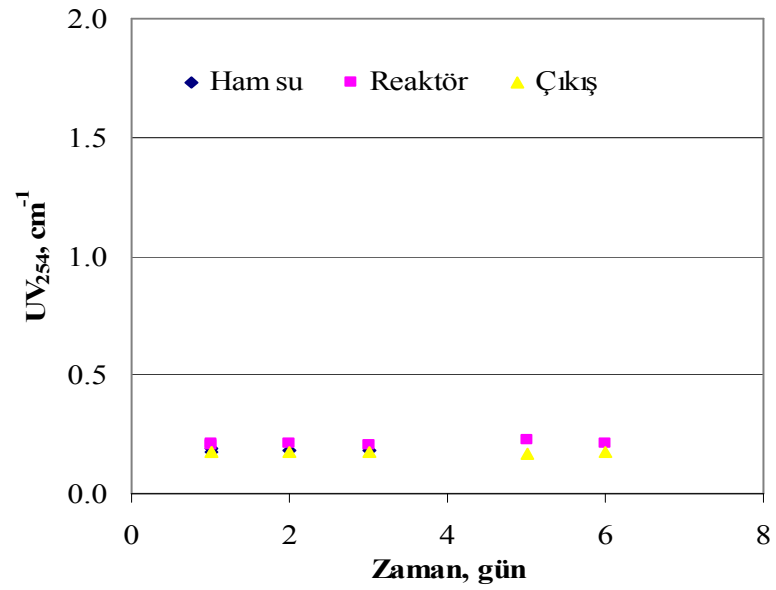
Şekil 4.5 : Debinin 10 lt/st, filtrasyonun 300 sn, geri yıkamanın 30 sn olarak çalıştırıldığı durum için bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)

Debinin 30 l/st Olması Hali (Filtrasyon: 300 sn, geri yıkama süresi: 30 sn)

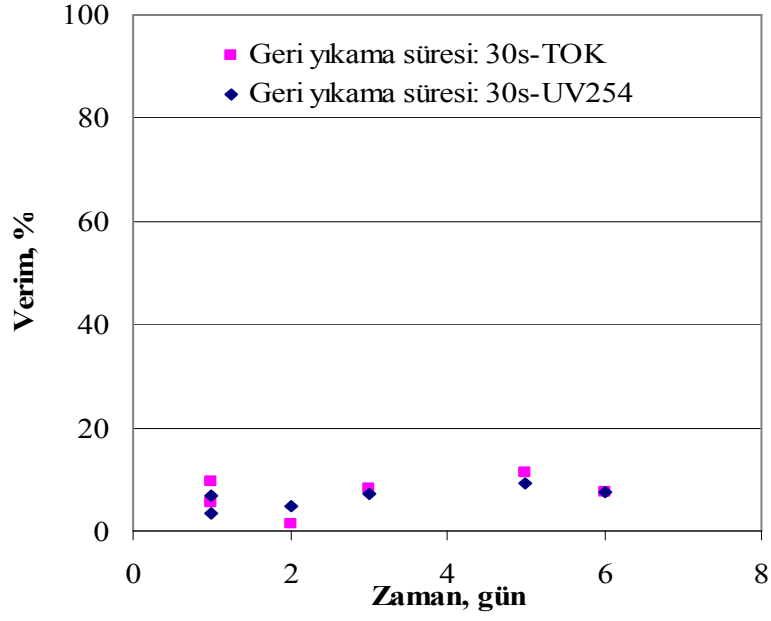
Filtrasyonun 300 sn, geri yıkamanın 30 sn ve debinin 30 l/st olarak yürütülen deneye ait TOK ve UV_{254} absorbans değerleri sırasıyla Şekil 4.6–4.7’de, giderme verimleri Şekil 4.8’de, membranda basınç artışı Şekil 4.9’da ve bulanıklık değerleri de Şekil 4.10’da gösterilmiştir. Bu durumda reaktör içindeki TOK konsantrasyonu artış oranının % 252 ve UV_{254} absorbans değeri artış oranının % 13 olduğu görülmüştür. TOK ve UV_{254} giderme verimleri deney süresince % 20’nin altında kalmıştır. Basınç değeri, 30 mbar’lara kadar yükselmiştir. Giriş bulanıklık değeri 5-7 NTU arasında değişim göstermektedir. Çıkış bulanıklık değeri ise zamanla artarak 0,24 NTU’lara kadar artmış ve tekrar 0,08 NTU seviyelerine kadar azalmıştır.



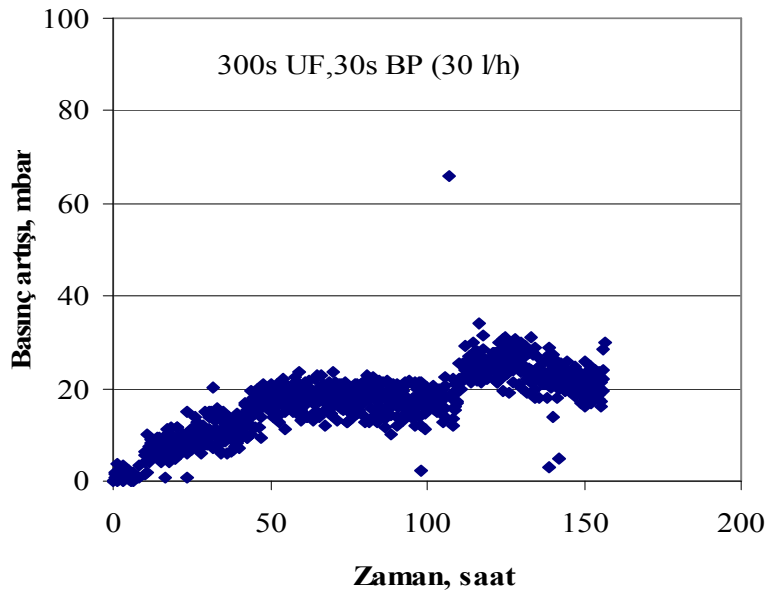
Şekil 4.6 : Debinin 30 l/st, filtrasyonun 300 sn ve geri yıkamanın 30 sn olarak çalıştırıldığı durum için TOK değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)



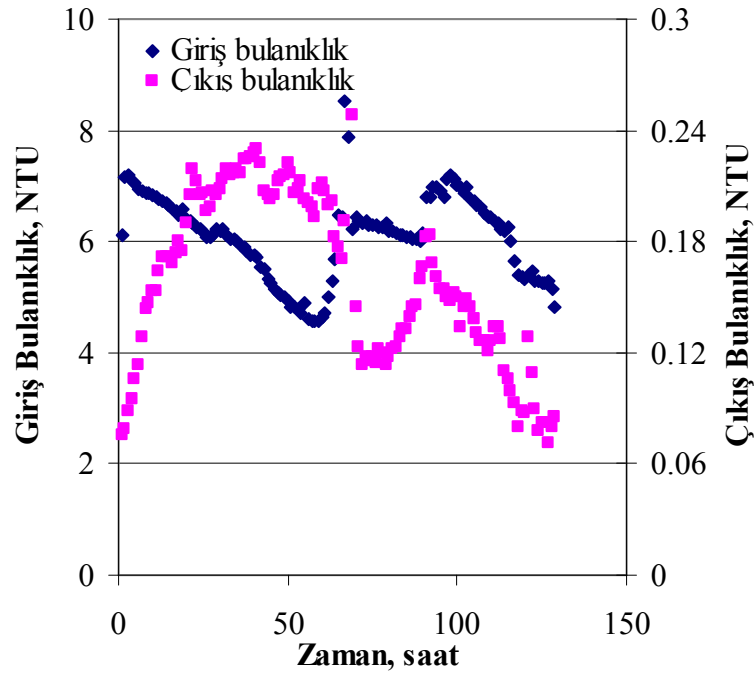
Şekil 4.7 : Debinin 30 l/st, filtrasyonun 300 sn ve geri yıkamanın 30 sn olarak çalıştırıldığı durum için UV₂₅₄ değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)



Şekil 4.8 : Debinin 30 l/st, filtrasyonun 300 sn ve geri yıkamanın 30 sn olarak çalıştırıldığı durum için giderme verimlerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)



Şekil 4.9 : Debinin 30 l/st, filtrasyonun 300 sn ve geri yıkamanın 30 sn olarak çalıştırıldığı durum için basınç değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)



Şekil 4.10 : Debinin 30 l/st, filtrasyonun 300 sn ve geri yıkamanın 30 sn olarak çalıştırıldığı durum için bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)

Farklı Debilerde Yürütülen Deneylerin Karşılaştırılması

Pilot ölçekli sistemde göl suyu ile UF membranı kullanılarak 10 ve 30 l/st olmak üzere iki farklı debide yürütülen deneylere ait basınç artışı Şekil 4.11’de, TOK ve UV_{254} giderme verimleri sırasıyla Şekil 4.12-4.15 ve 4.16-4.19’da gösterilmiştir. Düşük basınç artışı debinin 10 l/st olarak uygulandığı deneyde elde edilirken, TOK ve UV_{254} giderme verimleri her iki durumda birbirine yakındır.

Çizelge 4.1’de reaktörlerdeki TOK konsantrasyonu ve UV_{254} absorbans değeri artış yüzdeleri verilmiştir. Buna göre, debi miktarına bağlı olarak reaktör içindeki TOK değerleri artmış ve UV_{254} absorbans değerleri azalmıştır.

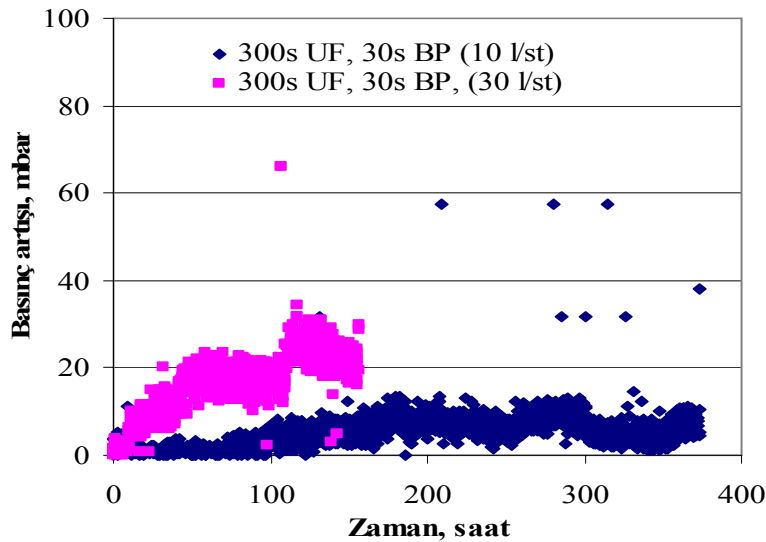
Çizelge 4.1 : Göl suyu kullanılarak yürütülen UF membran deneylerinde farklı debi değerleri için reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV₂₅₄ absorban değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri

Parametre	Debi: 10 l/st	Debi: 30 l/st
TOK	159	252
UV ₂₅₄	16	13

TOK ve UV₂₅₄ absorbans giderme verimlerine bakıldığında debi etkisinin giderme verimini azaltacak yönde etkisi olduğu görülmüş ve verimler % 15 değerinin altında kalmıştır. Düşük giderme verimleri, göl suyunda bulunan organik madde karakterizasyonundan kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Çizelge 4.2’de verim değerlerinin deneyin başlangıcı ve sonundaki yüzde olarak değerleri verilmiştir.

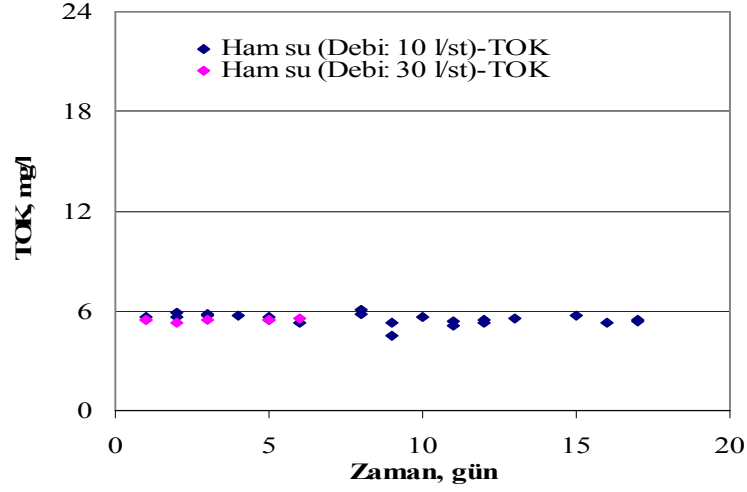
Çizelge 4.2 : TOK ve UV₂₅₄ giderme verimi değerlerinin deneyin başlangıcı ve sonundaki değerleri (%)

Parametre	Debi: 10 l/st	Debi: 30 l/st
TOK	12,2- 7,2	9,7- 7,6
UV ₂₅₄	9,7- 3,9	3,3- 7,4

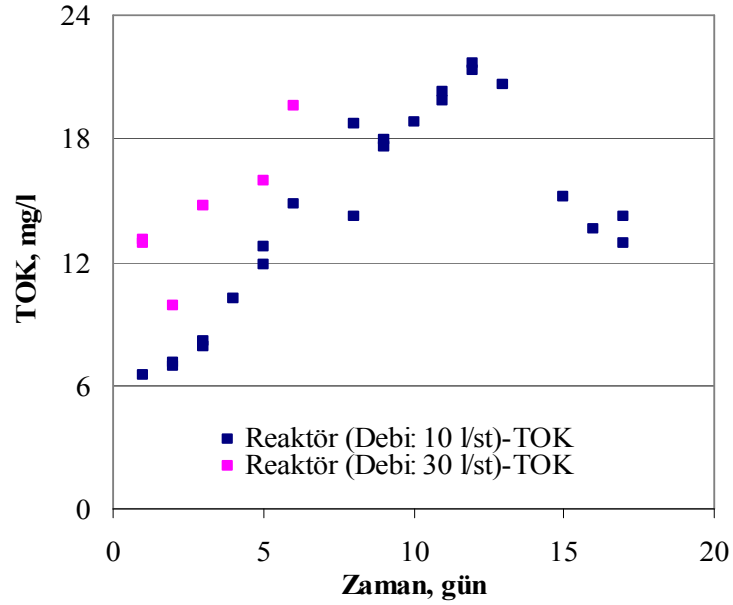


Şekil 4.11 : Farklı debi değerleri için basınç değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)

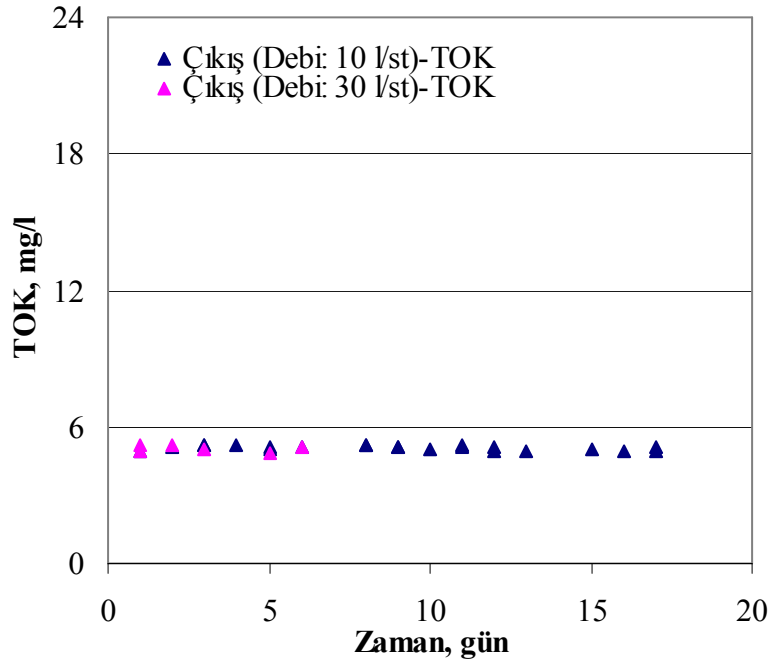
Şekil 4.11’de görüldüğü üzere transmembran basıncında debinin artmasıyla artış görülmektedir. Yaklaşık 375 saat çalışma sonucunda 10 l/st debili çalışmada basınç değeri, 20 mbar’ın altında kalırken, 30 l/st debili çalışmada ilk 50 saat sonunda basınç değeri, 20 mbar’ın üstüne çıkmıştır.



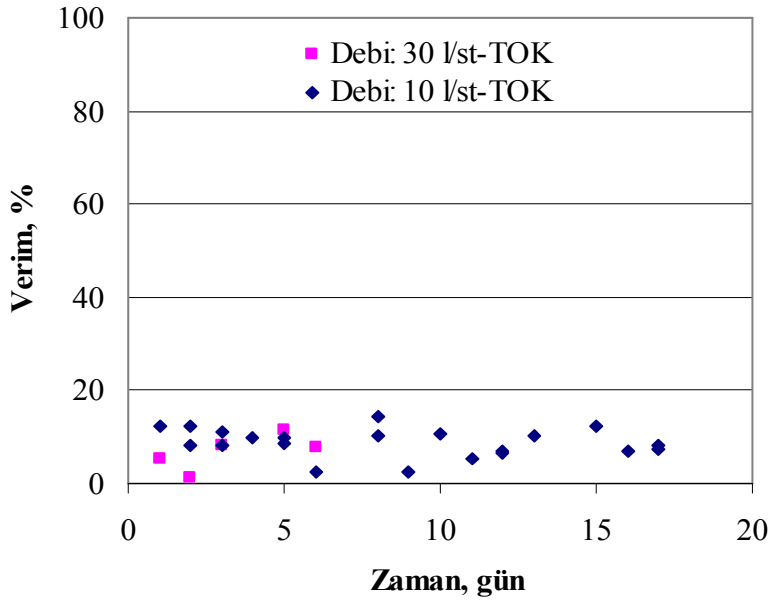
Şekil 4.12 : Farklı debi değerleri için ham su TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)



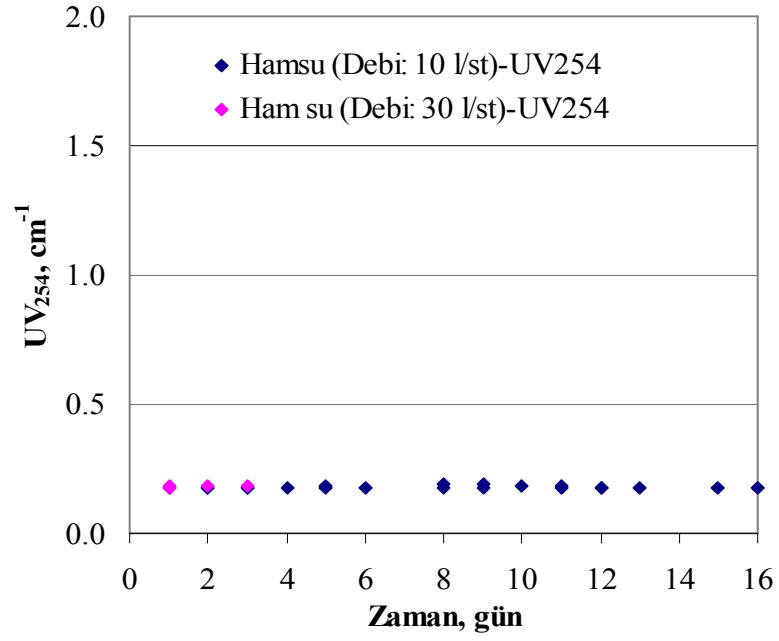
Şekil 4.13 : Farklı debi değerleri için reaktör TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)



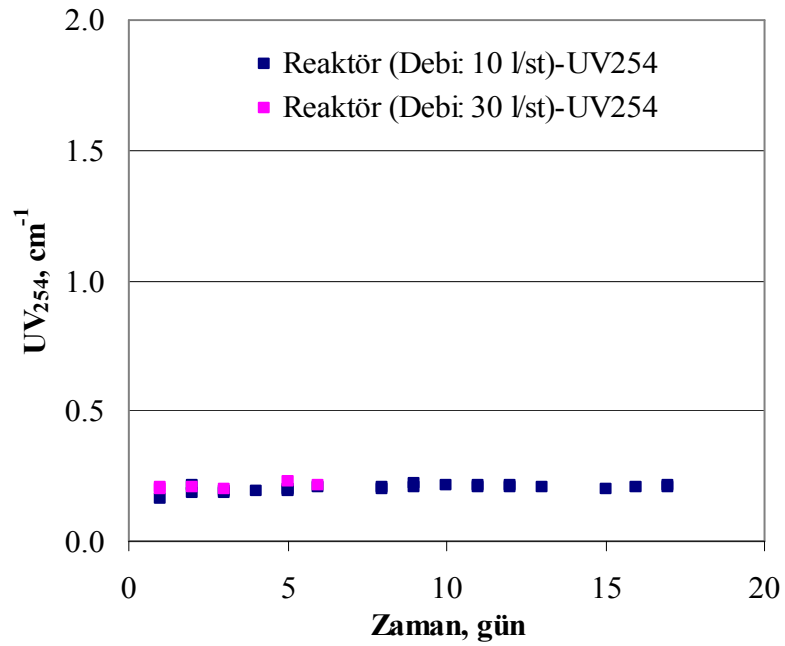
Şekil 4.14 : Farklı debi değerleri için çıkış TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)



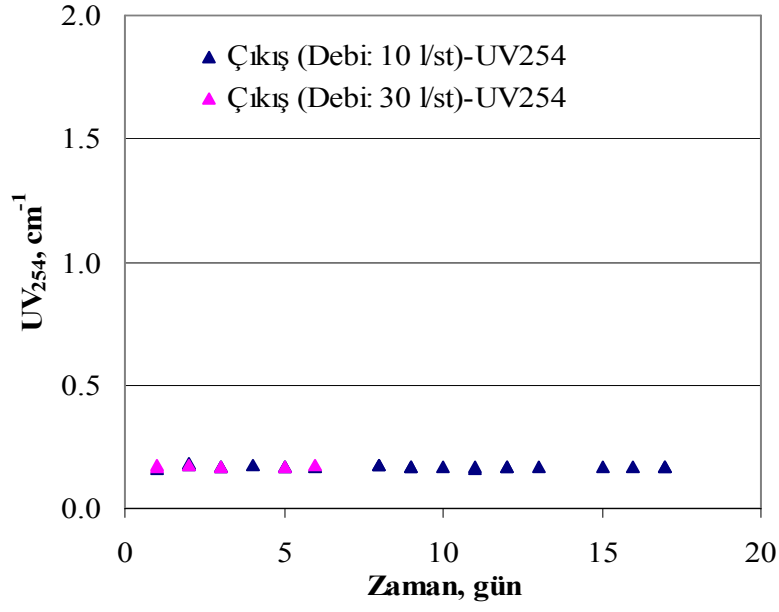
Şekil 4.15 : Farklı debi değerleri için TOK giderme veriminin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)



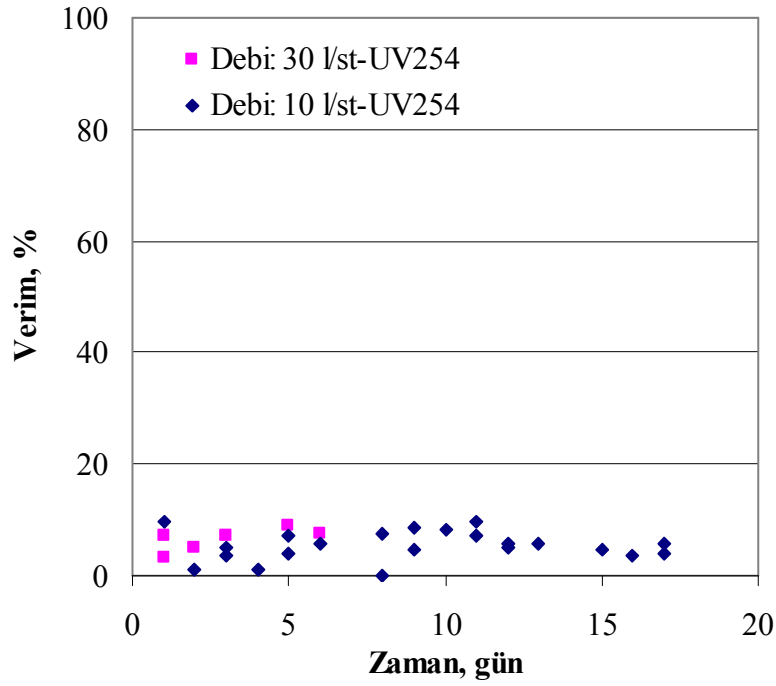
Şekil 4.16 : Farklı debi değerleri için ham su UV_{254} değerlerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)



Şekil 4.17 : Farklı debi değerleri için reaktör UV_{254} değerlerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)



Şekil 4.18 : Farklı debi değerleri için çıkış UV₂₅₄ değerlerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)

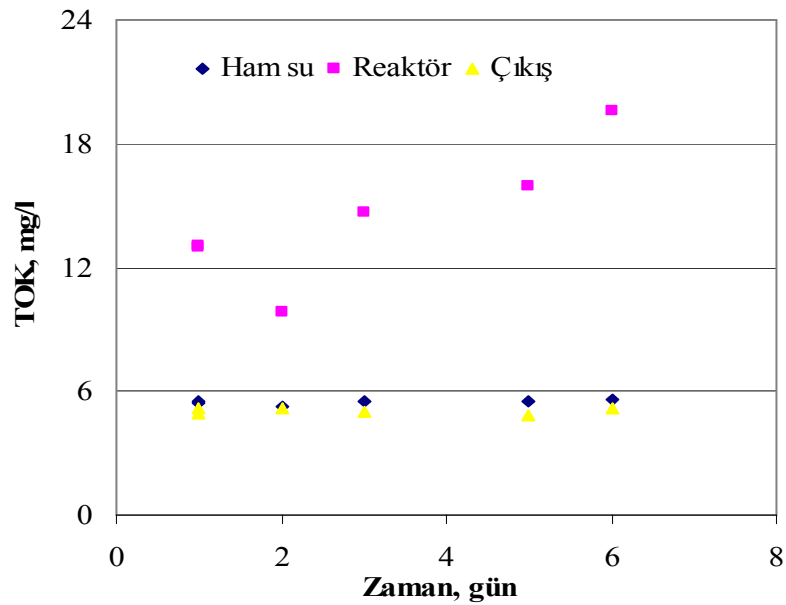


Şekil 4.19 : Farklı debi değerleri için UV₂₅₄ giderme veriminin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)

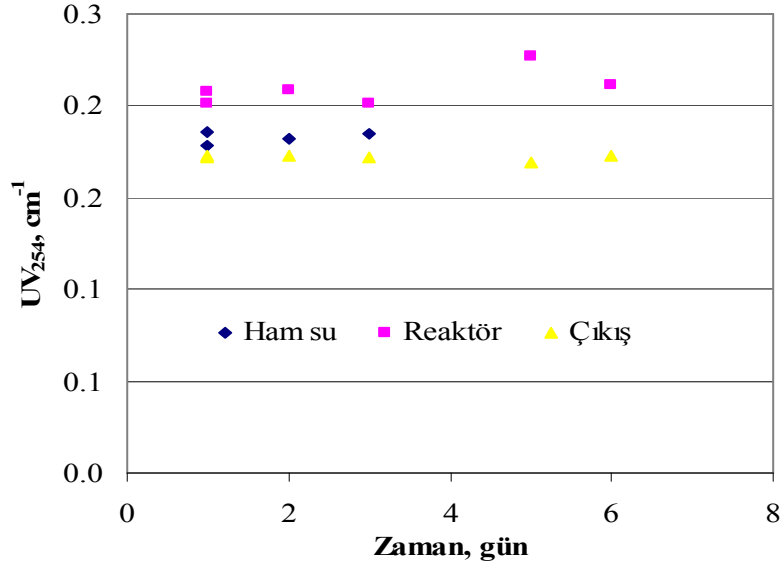
b) Geri Yıkama Süresinin Etkisinin Araştırılması

Geri Yıkama Süresi: 30 sn, Filtrasyon süresi: 300 sn (Debi: 30 lt/st)

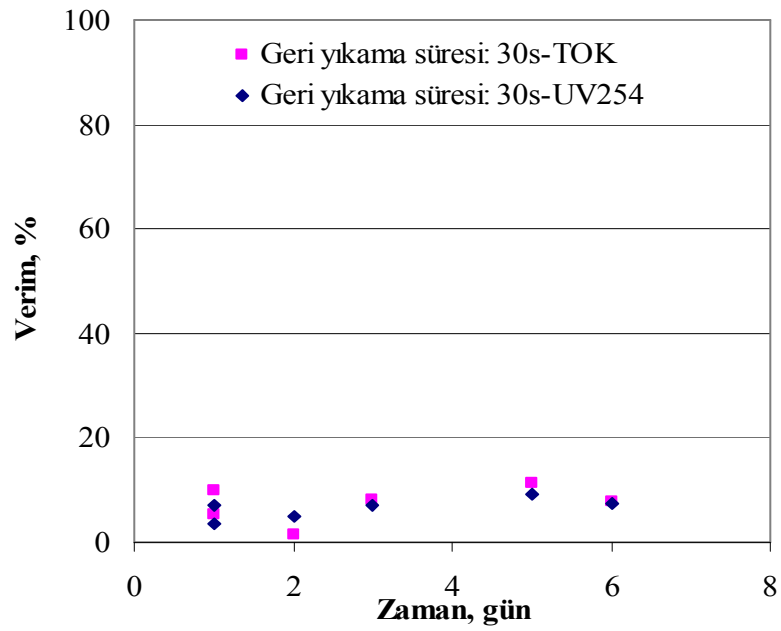
Filtrasyonun 300 sn, geri yıkamanın 30 sn ve debinin 30 l/st olarak yürütüldüğü deneye ait TOK ve UV₂₅₄ absorbans değerleri sırasıyla Şekil 4.20–4.21’de, giderme verimleri Şekil 4.22’de, membranda basınç artışı Şekil 4.23’de ve bulanıklık değerleri de Şekil 4.24’de gösterilmiştir. Bu durumda reaktör içindeki TOK konsantrasyonu artış oranının % 208 ve UV₂₅₄ absorbans değeri artış oranının % 22 olduğu görülmüştür. TOK ve UV₂₅₄ giderme verimleri deney süresince % 20’nin altında kalmıştır. Basınç değeri, 35 mbar seviyelerine kadar azalan bir şekilde artmıştır. Giriş bulanıklık değeri 5-7 NTU arasında değişim göstermektedir. Çıkış bulanıklık değeri ise zamanla artarak 0,24 NTU’lara kadar artmış ve tekrar 0,08 NTU seviyelerine kadar azalmıştır.



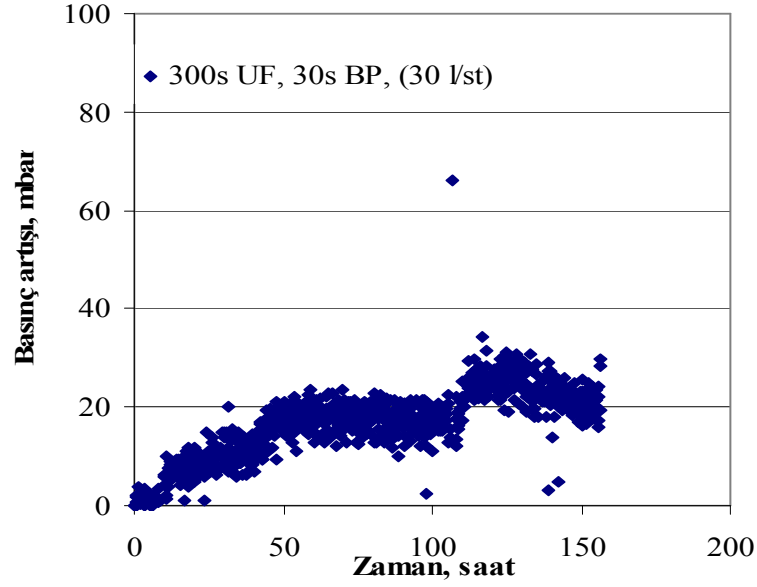
Şekil 4.20 : Geri yıkama süresinin 30 sn, filtrasyonun 300 sn ve debinin 30 l/st olarak çalıştırıldığı durum için TOK değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)



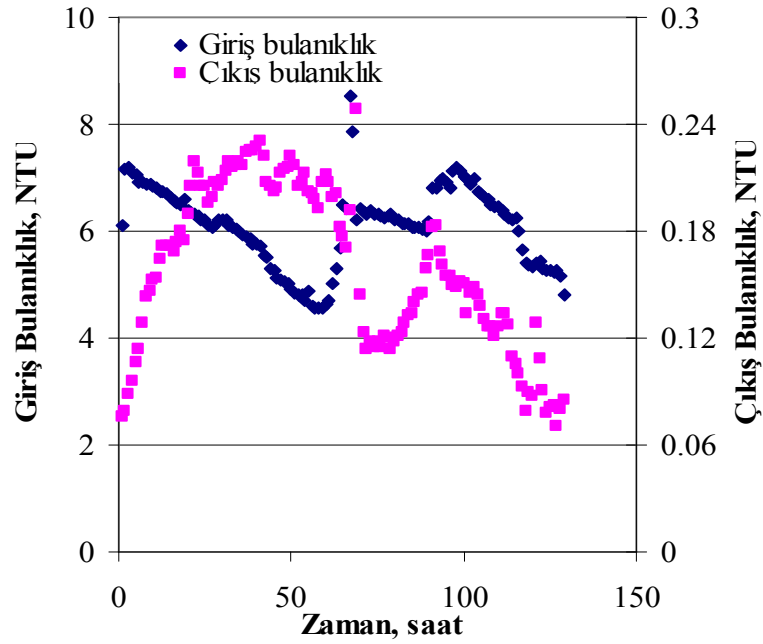
Şekil 4.21 : Geri yıkama süresinin 30 sn, filtrasyonun 300 sn ve debinin 30 l/st olarak çalıştırıldığı durum için UV_{254} değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)



Şekil 4.22 : Geri yıkama süresinin 30 sn, filtrasyonun 300 sn ve debinin 30 l/st olarak çalıştırıldığı durum için giderme verimlerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)



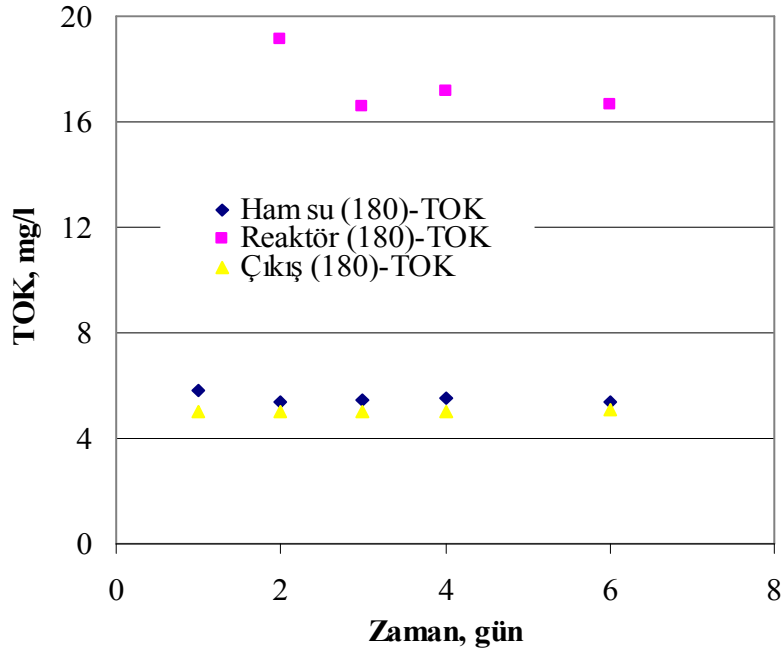
Şekil 4.23 : Geri yıkama süresinin 30 sn, filtrasyonun 300 sn ve debinin 30 l/st olarak çalıştırıldığı durum için basınç değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)



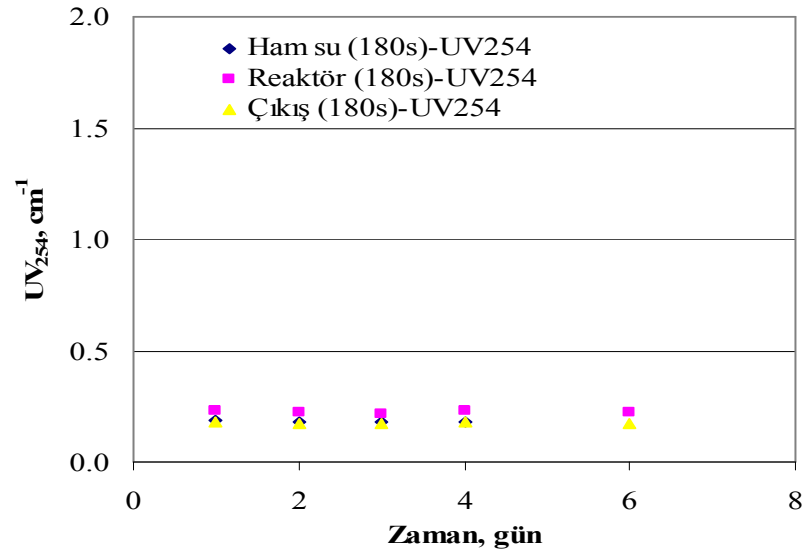
Şekil 4.24 : Geri yıkama süresinin 30 sn, filtrasyonun 300 sn ve debinin 30 l/st olarak çalıştırıldığı durum için bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)

Geri Yıkama Süresi: 180 sn, Filtrasyon süresi: 1800 sn (Debi: 30 lt/st)

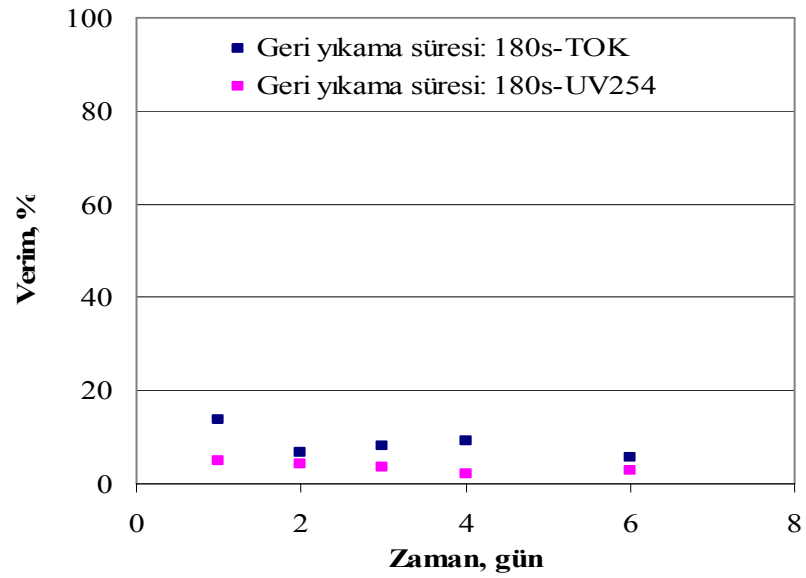
Filtrasyonun 1800 sn, geri yıkamanın 180 sn ve debinin 30 l/st olarak yürütülen deneye ait TOK ve UV_{254} absorbans değerleri sırasıyla Şekil 4.25–4.26’da, giderme verimleri Şekil 4.27’de, membranda basınç artışı Şekil 4.28’de ve bulanıklık değerleri de Şekil 4.29’da gösterilmiştir. Bu durumda reaktör içi TOK konsantrasyonu artış oranının % 208 ve UV_{254} absorbans değeri artış oranının % 22 olduğu görülmüştür. TOK ve UV_{254} giderme verimleri deney süresince % 20’nin altında kalmıştır. Transmembran basıncı ilk 50 saate 15-17 mbar arasında değişirken 50’inci saten sonra 17-23 mbar aralığında değişmeye başlamıştır. Giriş bulanıklık değeri 5,5 NTU’dan 4 NTU’ya düşerken, çıkış bulanıklık değeri 0,1 NTU’nun altında kalmıştır.



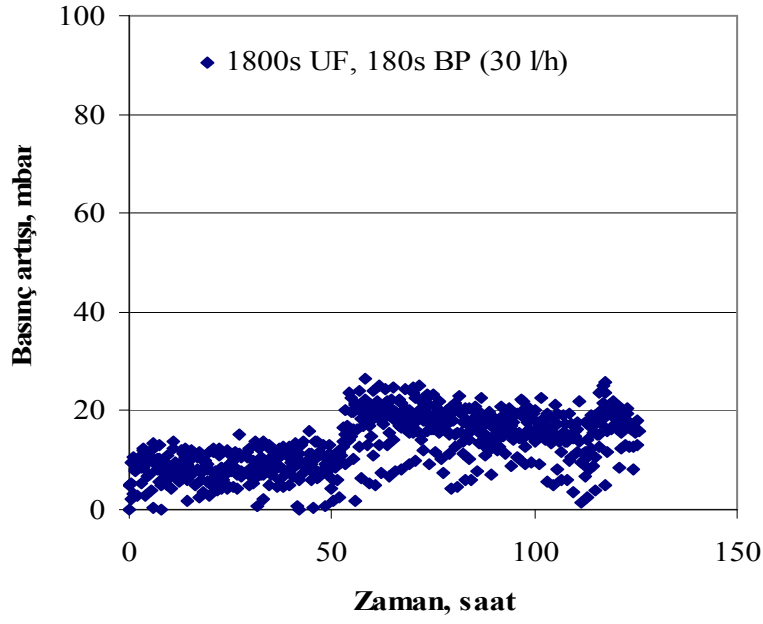
Şekil 4.25 : Geri yıkama süresinin 180 sn, filtrasyonun 1800 sn ve debinin 30 l/st olarak çalıştırıldığı durum için TOK değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)



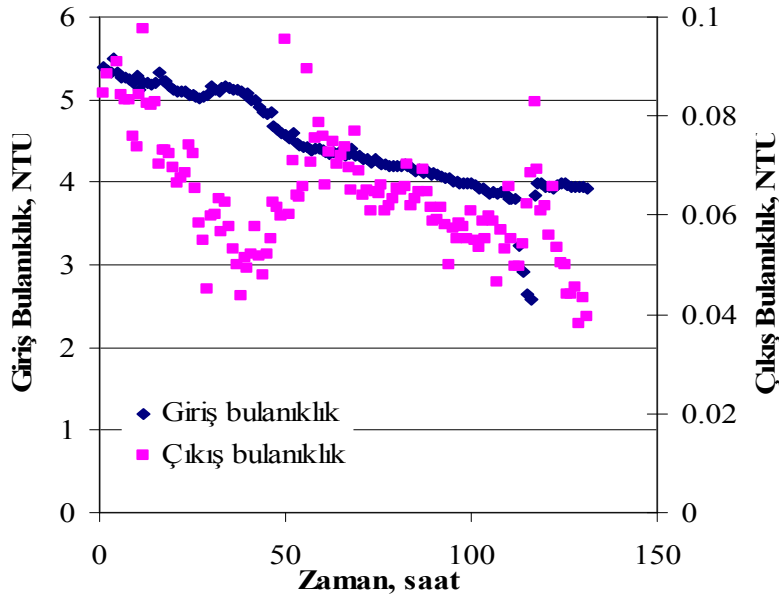
Şekil 4.26 : Geri yıkama süresinin 180 sn, filtrasyonun 1800 sn ve debinin 30 l/st olarak çalıştırıldığı durum için UV_{254} değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)



Şekil 4.27 : Geri yıkama süresinin 180 sn, filtrasyonun 1800 sn ve debinin 30 l/st olarak çalıştırıldığı durum için giderme verimlerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)



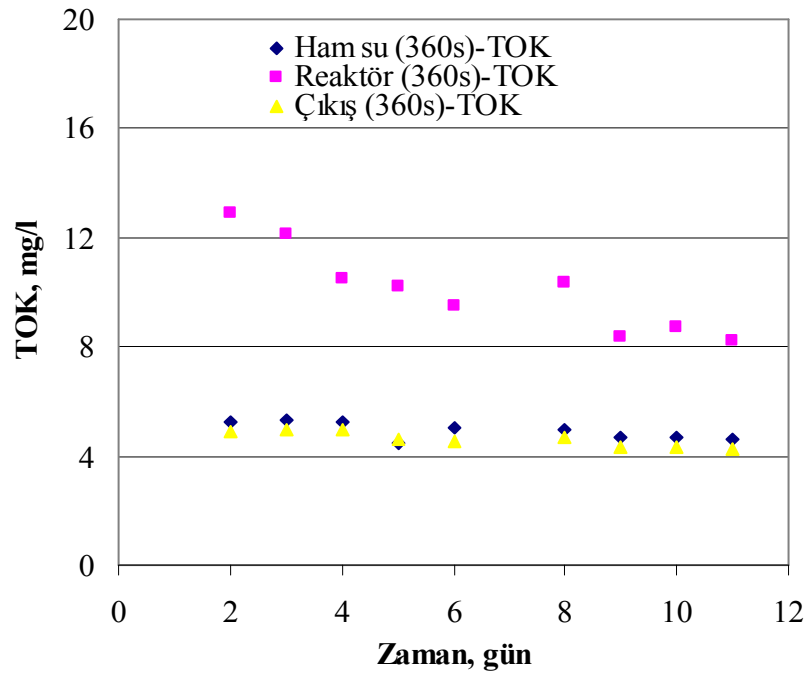
Şekil 4.28 : Geri yıkama süresinin 180 sn, filtrasyonun 1800 sn ve debinin 30 l/st olarak çalıştırıldığı durum için basınç değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)



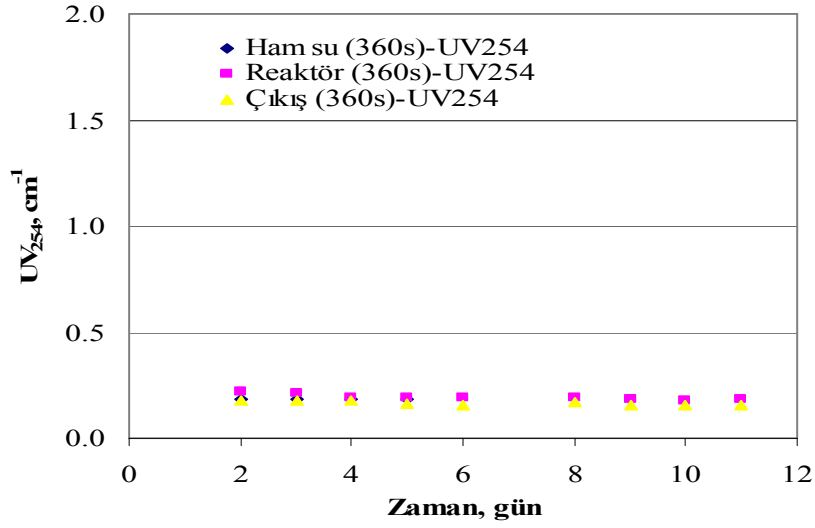
Şekil 4.29 : Geri yıkama süresinin 180 sn, filtrasyonun 1800 sn ve debinin 30 l/st olarak çalıştırıldığı durum için bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)

Geri Yıkama Süresi: 360 sn, Filtrasyon Süresi: 3600 sn (Debi: 30 lt/st)

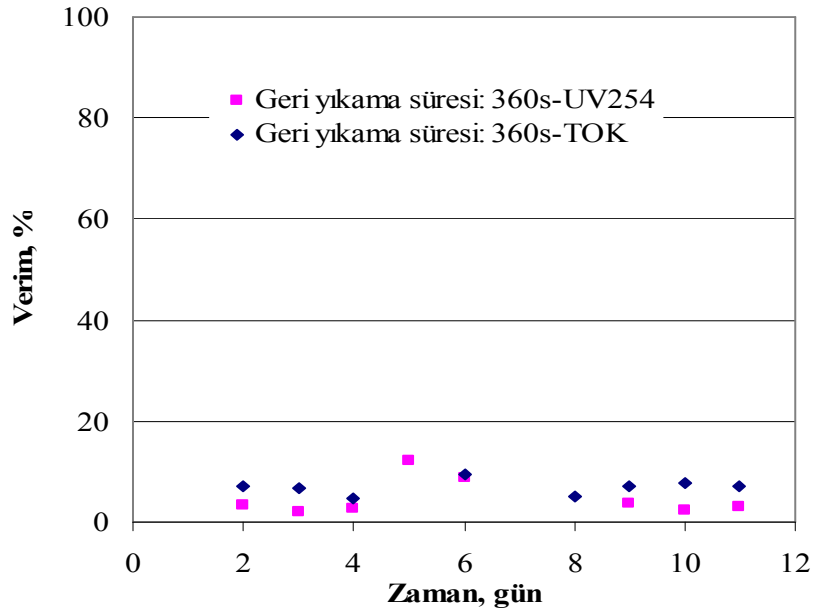
Filtrasyonun 3600 sn, geri yıkamanın 360 sn ve debinin 30 l/st olarak yürütülen deneye ait TOK ve UV_{254} absorbans değerleri sırasıyla Şekil 4.30–4.31’de, giderme verimleri Şekil 4.32’de, membranda basınç artışı Şekil 4.33’de ve bulanıklık değerleri de Şekil 4.34’de gösterilmiştir. Bu durumda reaktör içindeki TOK konsantrasyonu artış oranının % 79 ve UV_{254} absorbans değeri artış oranının % 14 olduğu görülmüştür. TOK ve UV_{254} giderme verimleri deney süresince % 20’nin altında kalmıştır. Transmembran basıncı yaklaşık 140 saatlik çalışma sonucunda 10-15 mbar’dan 18-22 mbar aralığında kadar artmıştır. Giriş bulanıklık değeri başlangıçta 4 NTU iken 60’ıncı saatte sonra yaklaşık 8 NTU’ya artmıştır. Bunun sebebi gölden getirilen yeni suyun sisteme verilmeye başlanmasıdır. Daha sonra ise giriş bulanıklık değeri zamanla, 8 NTU’dan 5 NTU’lara kadar düşmüştür. Çıkış bulanıklık değeri ise 0,05 NTU’nun altında kalmıştır.



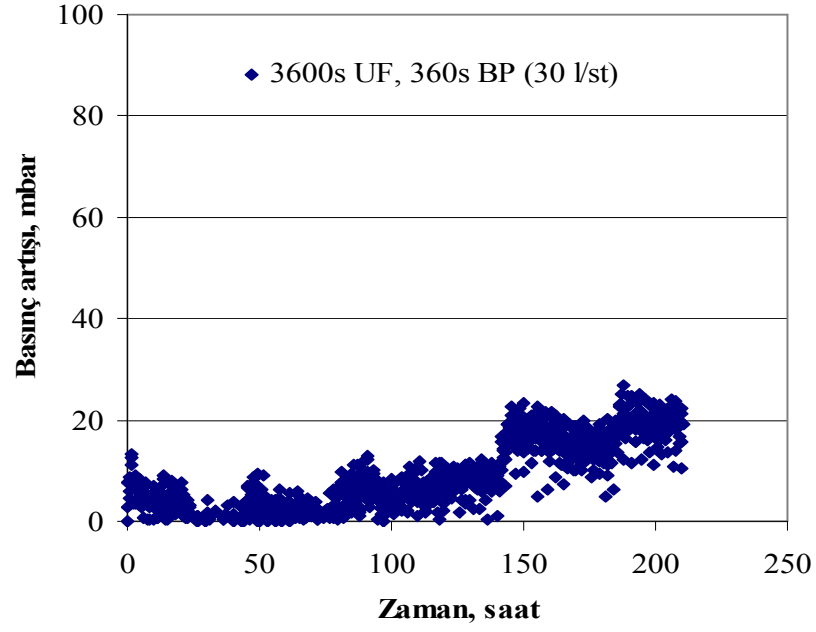
Şekil 4.30 : Geri yıkama süresinin 360 sn, filtrasyonun 3600 sn ve debinin 30 l/st olarak çalıştırıldığı durum için TOK değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)



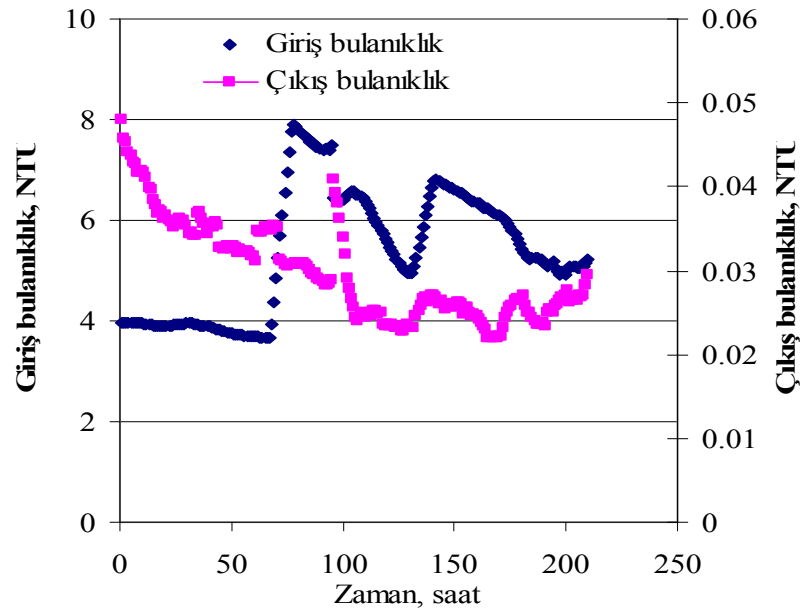
Şekil 4.31 : Geri yıkama süresinin 360 sn, filtrasyonun 3600 sn ve debinin 30 l/st olarak çalıştırıldığı durum için UV₂₅₄ değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)



Şekil 4.32 : Geri yıkama süresinin 360 sn, filtrasyonun 3600 sn ve debinin 30 l/st olarak çalıştırıldığı durum için giderme verimlerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)



Şekil 4.33 : Geri yıkama süresinin 360 sn, filtrasyonun 3600 sn ve debinin 30 l/st olarak çalıştırıldığı durum için basınç değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)



Şekil 4.34 : Geri yıkama süresinin 360 sn, filtrasyonun 3600 sn ve debinin 30 l/st olarak çalıştırıldığı durum için bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)

Farklı Geri Yıkama Sürelerinde Yürütülen Deneylerin Karşılaştırılması

Pilot ölçekli sistemde göl suyu ile UF membranı kullanılarak 30 sn, 180 sn ve 360 sn olmak üzere üç farklı geri yıkama sürelerinde yürütülen deneylere ait basınç artışı Şekil 4.35’de, TOK ve UV_{254} giderme verimleri sırasıyla Şekil 4.36-4.39 ve 4.40-4.43’de gösterilmiştir. En yüksek basınç artışı geri yıkama süresinin 30 sn olduğu deneyde gözlenirken, en düşük basınç artışı geri yıkama süresinin 360 sn olduğu deneyde gözlenmiştir. TOK ve UV_{254} giderme verimleri her üç durumda da birbirine yakındır.

Çizelge 4.3’de reaktörlerdeki TOK konsantrasyonu ve UV_{254} absorban değeri artış yüzdeleri verilmiştir. Buna göre, geri yıkama süresi etkisine bağlı olarak reaktör içi TOK değerleri artmış ve UV_{254} absorban değerleri ise 180s geri yıkama süresi uygulanan deneyde maksimuma ulaşmıştır.

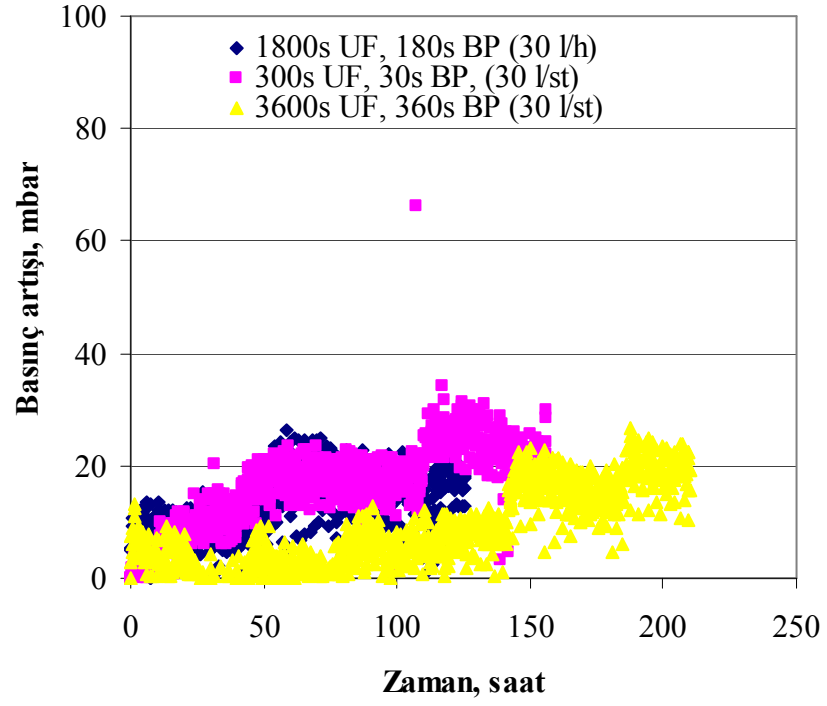
Çizelge 4.3 : Göl suyu kullanılarak yürütülen UF membran deneylerinde farklı geri yıkama süreleri için reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV_{254} absorban değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri

Parametre	30 sn	180 sn	360 sn
TOK	252	208	79
UV_{254}	13	25	14

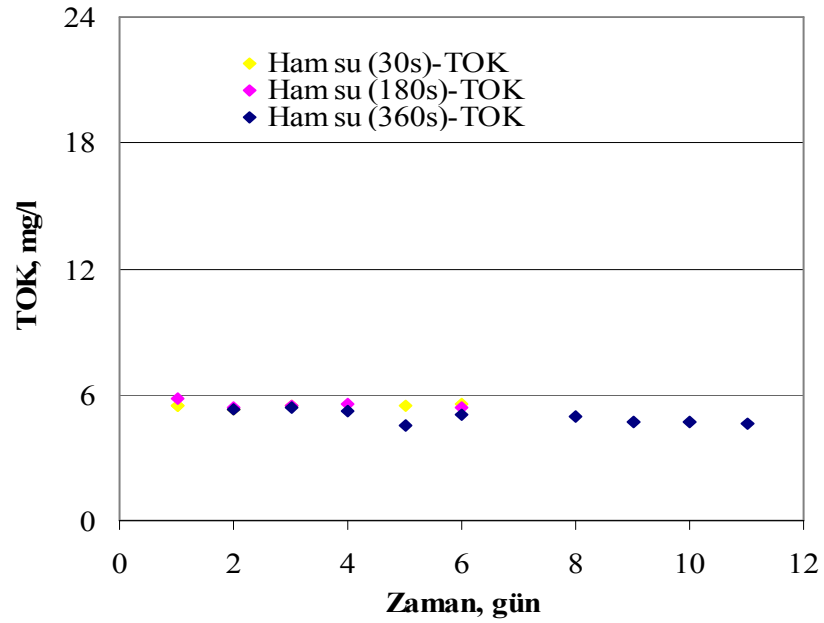
TOK ve UV_{254} absorban giderme verimlerine bakıldığında geri yıkama süresinin giderme verimine herhangi bir etkisi görülmemiş ve verimler % 20 değerinin altında kalmıştır. Düşük giderme verimleri, göl suyunda bulunan organik madde karakterizasyonundan kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Çizelge 4.4’de verim değerlerinin deneyin başlangıcı ve sonundaki yüzde olarak değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.4 : TOK ve UV_{254} giderme verimi değerlerinin deneyin başlangıcı ve sonundaki değerleri (%)

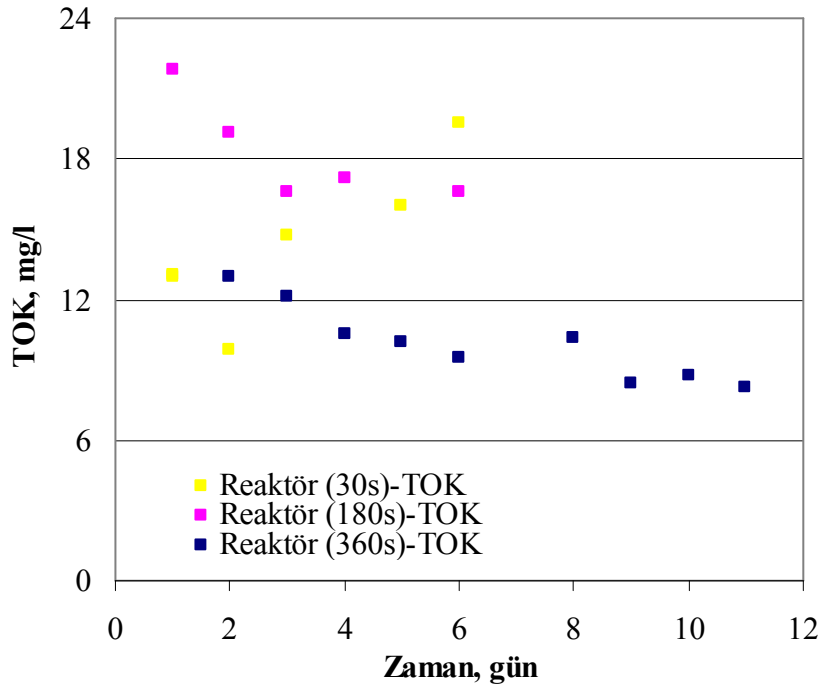
Parametre	300 sn UF- 30 sn BP	1800 sn UF-180 sn BP	3600 sn UF-360 sn BP
TOK	10-8	14-5,5	7-7
UV_{254}	3-7	5-3	3-3



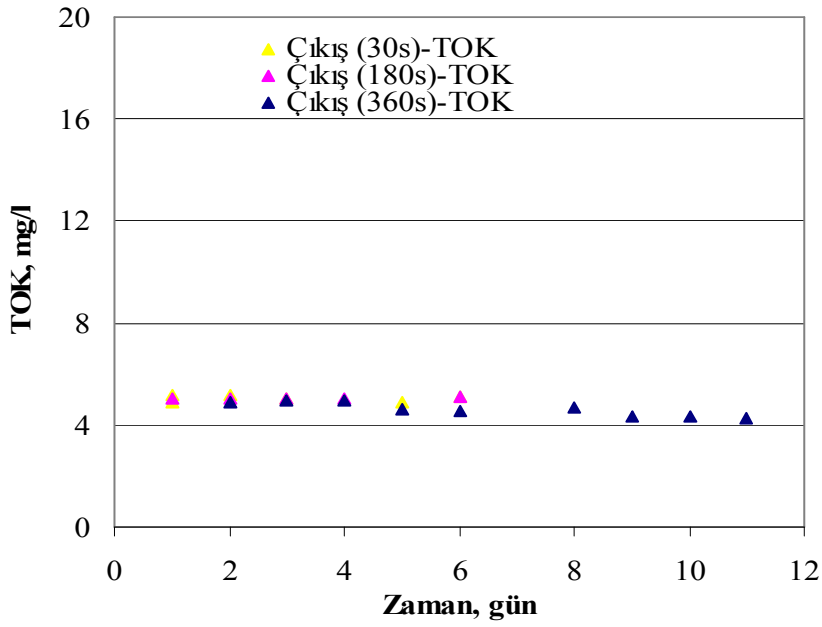
Şekil 4.35 : Farklı geri yıkama süreleri için basınç değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)



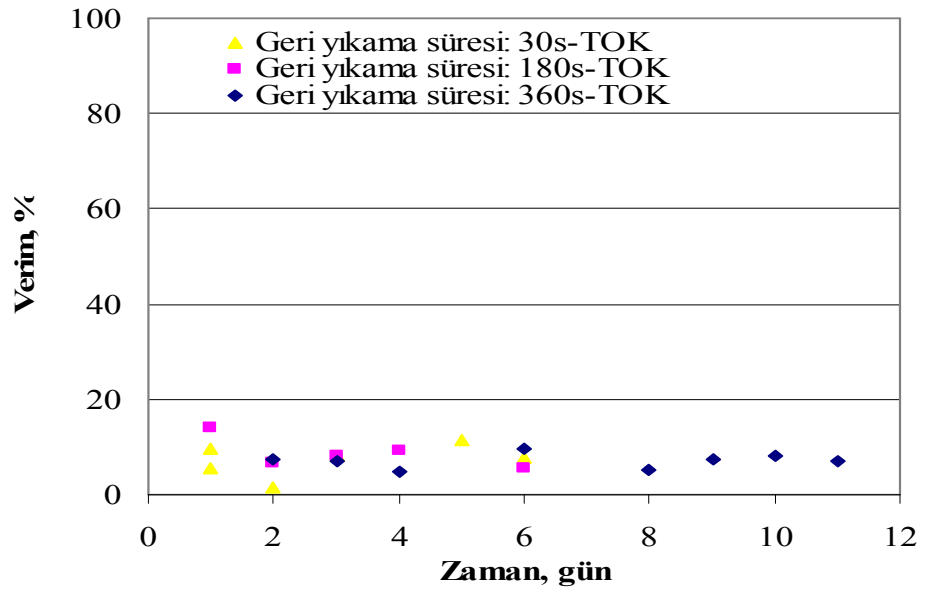
Şekil 4.36 : Farklı geri yıkama süreleri için ham su TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)



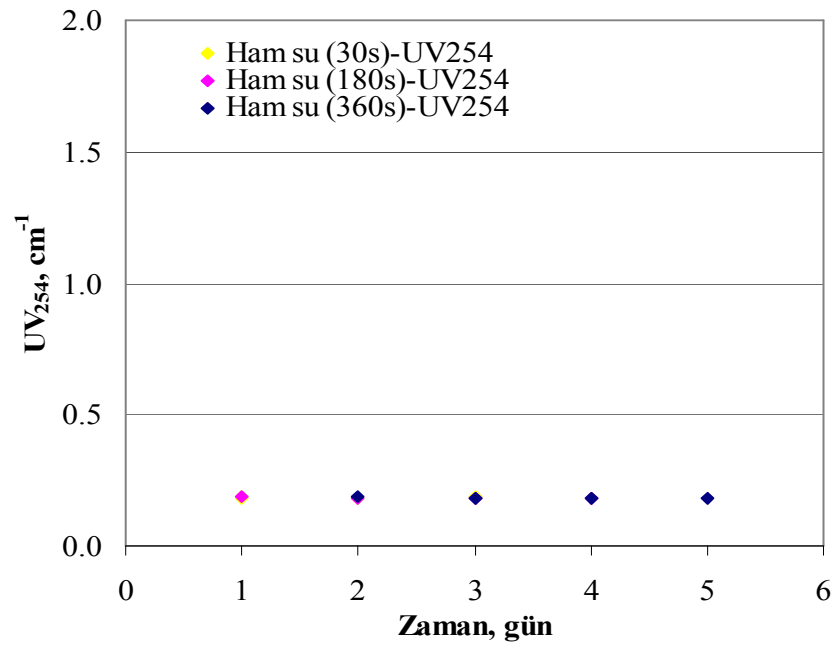
Şekil 4.37 : Farklı geri yıkama süreleri için reaktör TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)



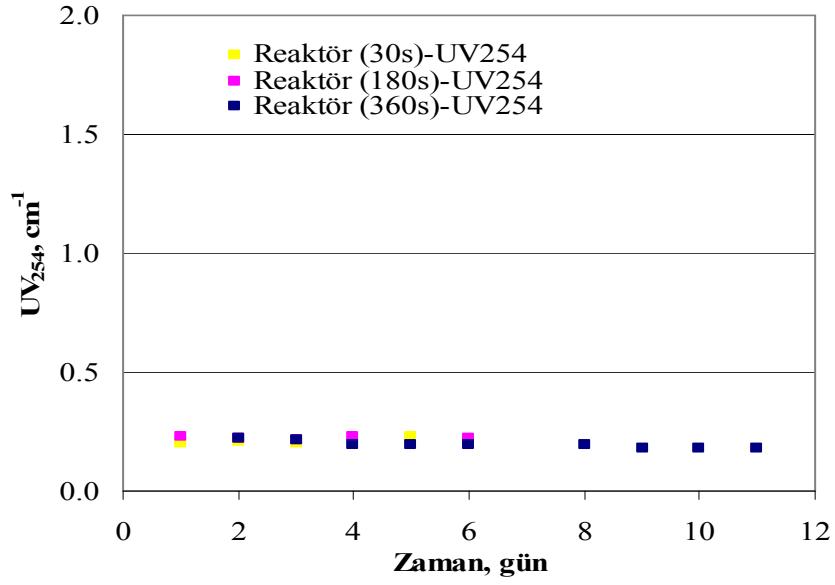
Şekil 4.38 : Farklı geri yıkama süreleri için çıkış TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)



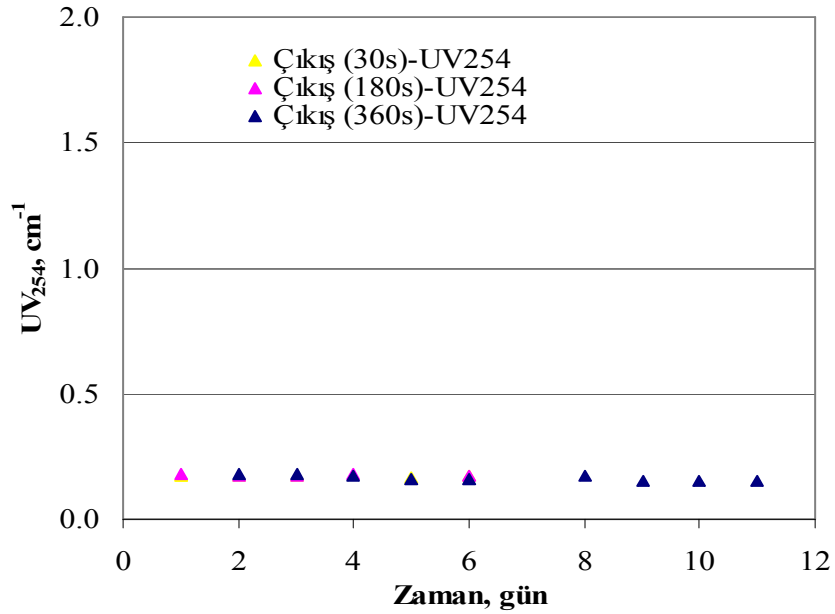
Şekil 4.39 : Farklı geri yıkama süreleri için TOK giderme veriminin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)



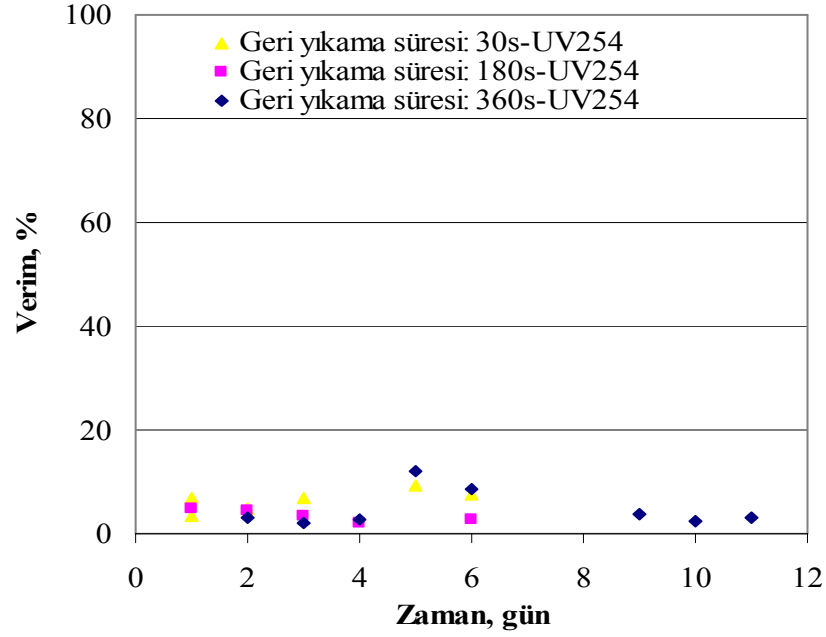
Şekil 4.40 : Farklı geri yıkama süreleri için ham su UV₂₅₄ konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)



Şekil 4.41 : Farklı geri yıkama süreleri için reaktör içindeki UV_{254} konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)



Şekil 4.42 : Farklı geri yıkama süreleri için çıkış UV_{254} konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)



Şekil 4.43 : Farklı geri yıkama süreleri için UV₂₅₄ giderme veriminin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)

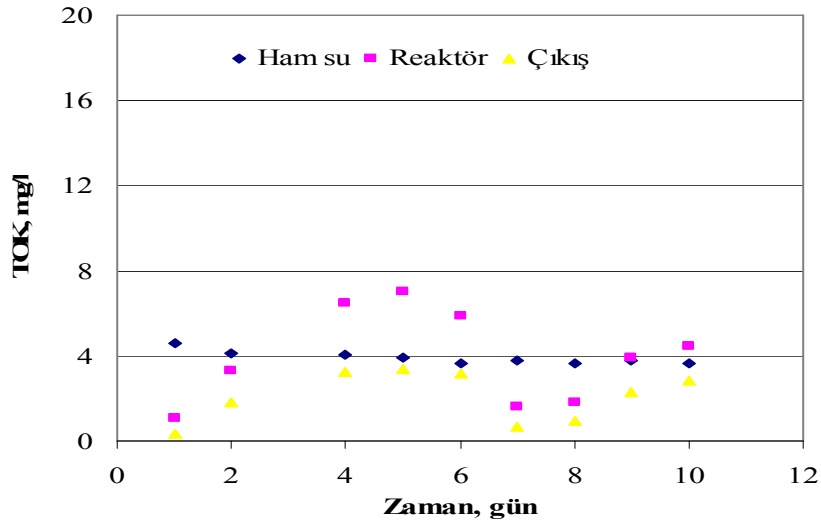
c) Toz Aktif Karbon (PAC) İlavesinin Etkisinin Araştırılması

Deneysel çalışmalar, UF membranı kullanılarak yürütülmüştür. Göl suyunun kullanıldığı UF membranı ile farklı toz aktif karbon (PAC) konsantrasyonlarında çalışmalar yürütülmüştür.

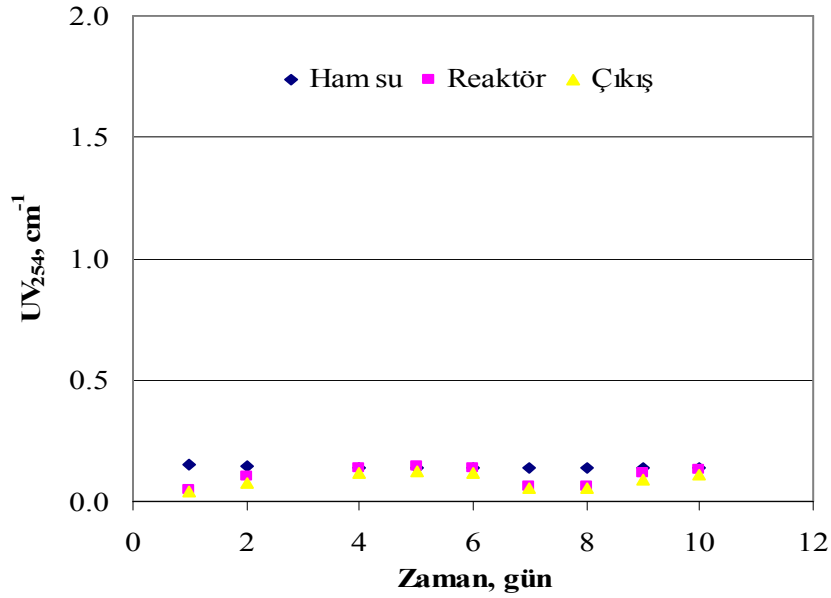
PAC Konsantrasyonu (25 g/L)

25 g/l PAC çözelti halinde tek seferde birinci reaktöre verilmiştir. 25 g/l PAC konsantrasyonunun olduğu çalışmaya ait TOK ve UV₂₅₄ absorbans değerleri Şekil 4.44 ve 4.45’de, giderme verimleri Şekil 4.46’da ve membranda basınç artışı Şekil 4.47’de ve bulanıklık değerleri de Şekil 4.48’de gösterilmiştir. Bu durumda reaktör içindeki TOK konsantrasyonu artış oranının % 23 ve UV₂₅₄ absorbans değeri artış oranının % 5 olduğu görülmüştür. TOK ve UV₂₅₄ giderme verimleri % 80’lerden zamanla % 15’lere kadar azalmıştır. 7’inci günde giderme verimlerinin tekrar artması desorpsiyon ve yeniden adsorpsiyon şeklinde açıklanabilir. Basınç değeri, ilk 75 saate hızlı daha sonra azalan bir hızla artmıştır. Maksimum basınç, 60 mbar’ın

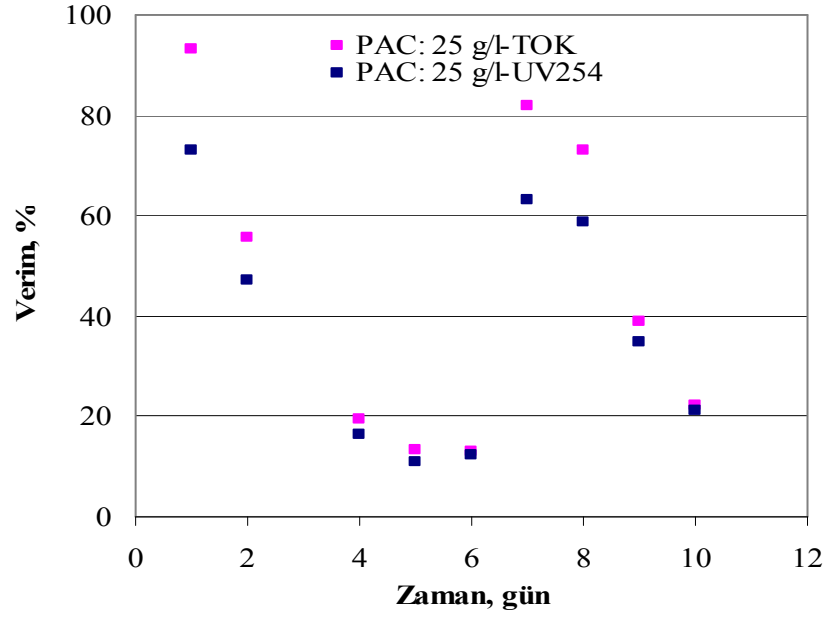
altında kalmıştır. Giriş bulanıklık değeri 7 NTU’lardan 2,5 NTU’ya kadar azalmıştır. Çıkış bulanıklık değeri 0,08 NTU’nun altında kalmıştır.



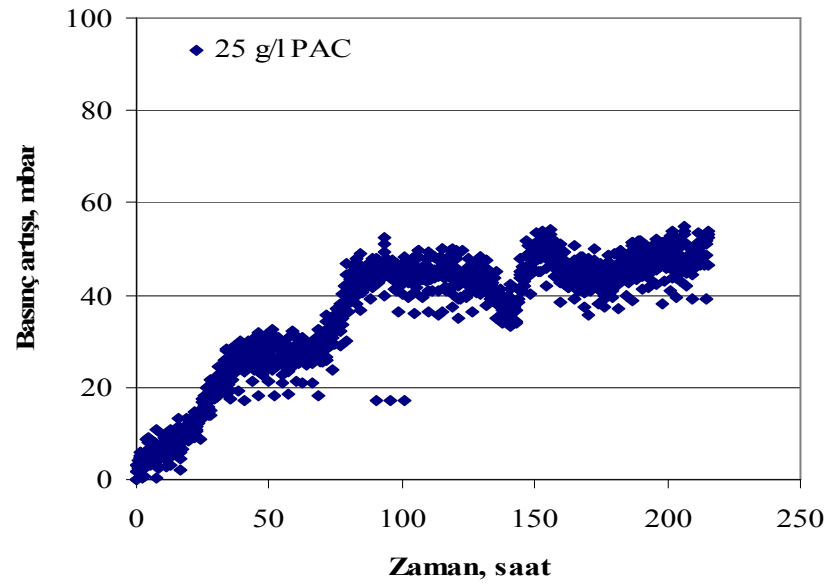
Şekil 4.44 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak çalıştırıldığı durum için TOK değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF: 3600 sn, BP: 360 sn, Debi: 30 l/st)



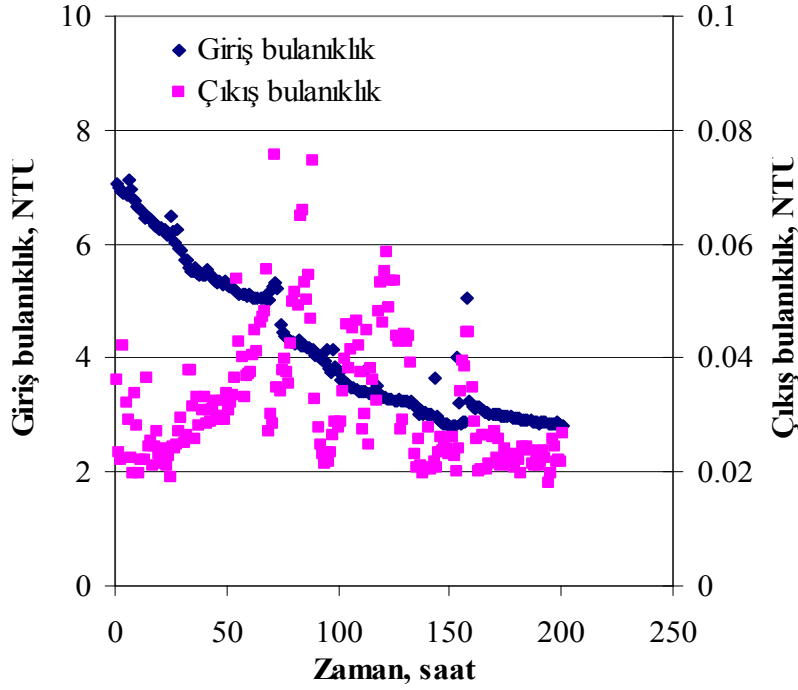
Şekil 4.45 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak çalıştırıldığı durum için UV₂₅₄ değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF: 3600 sn, BP: 360 sn, Debi: 30 l/st)



Şekil 4.46 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak çalıştırıldığı durum için giderme verimlerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF: 3600 sn, BP: 360 sn, Debi:30 l/st)



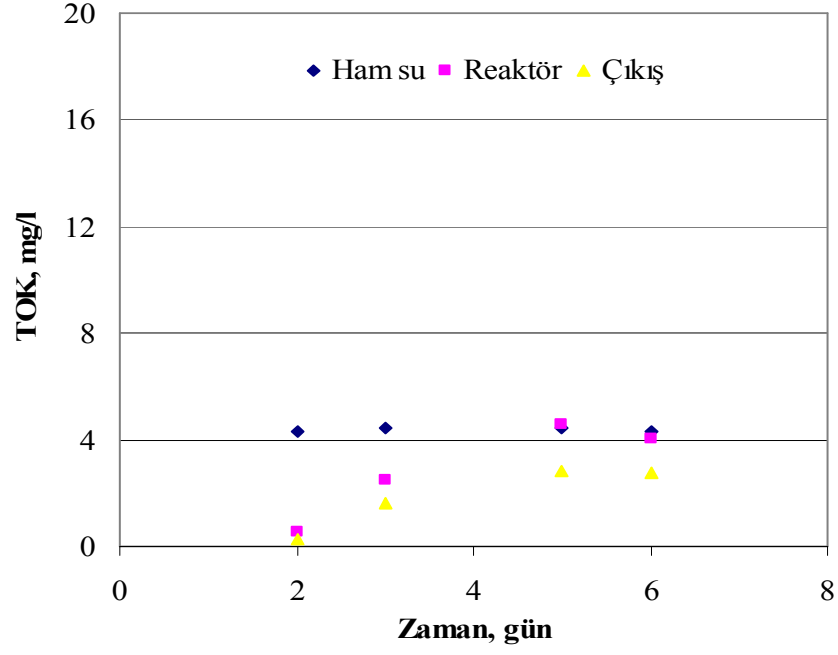
Şekil 4.47 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak çalıştırıldığı durum için basınç değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF: 3600 sn, BP: 360 sn, Debi:30 l/st)



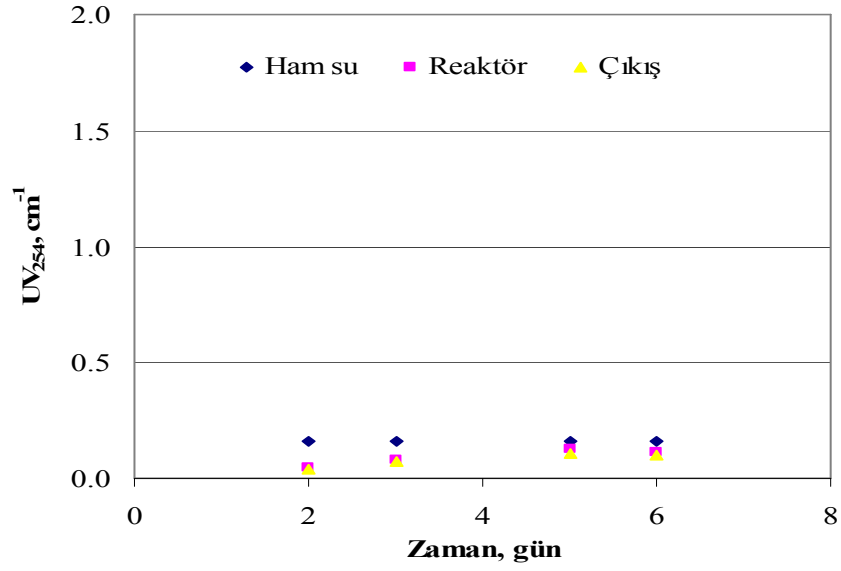
Şekil 4.48 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak çalıştırıldığı durum için bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF: 3600 sn, BP: 360 sn, Debi:30 l/st)

PAC Konsantrasyonu (40 gr/L)

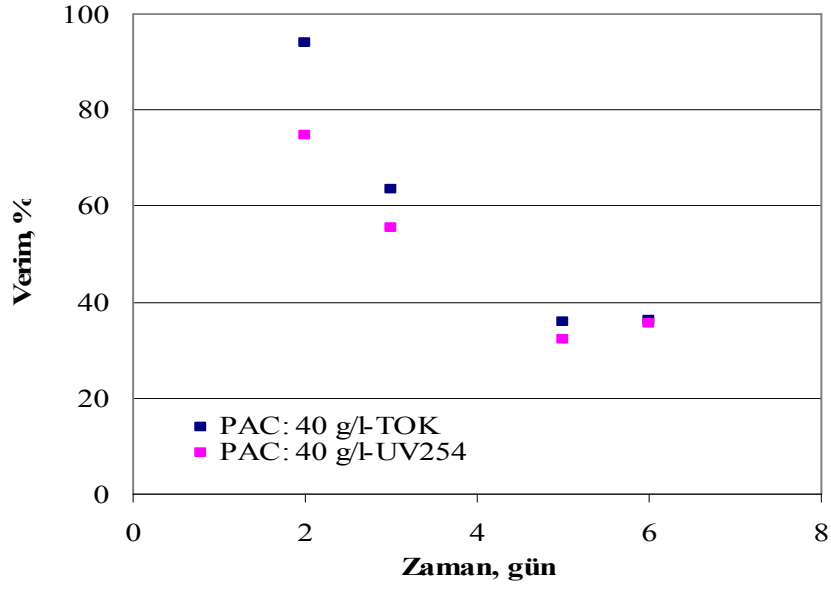
40 g/l PAC çözelti halinde tek seferde birinci reaktöre verilmiştir. 40 g/l PAC konsantrasyonunun olduğu çalışmaya ait TOK ve UV_{254} absorbans değerleri Şekil 4.49 ve 4.50’de, giderme verimleri Şekil 4.51’de, membranda basınç artışı Şekil 4.52’de ve bulanıklık değerleri de Şekil 4.53’de gösterilmiştir. Bu durumda reaktör içi TOK konsantrasyonu artış oranının % 2 olduğu görülmüştür. TOK ve UV_{254} giderme verimleri %95 ve % 85’lerden, % 35’lere kadar azalmıştır. Basınç değeri, 30 mbar’lara ulaşmıştır. Giriş bulanıklık değeri 1,5-2 NTU arasında değişirken, çıkış bulanıklık değeri 0,05 NTU’nun altında kalmıştır.



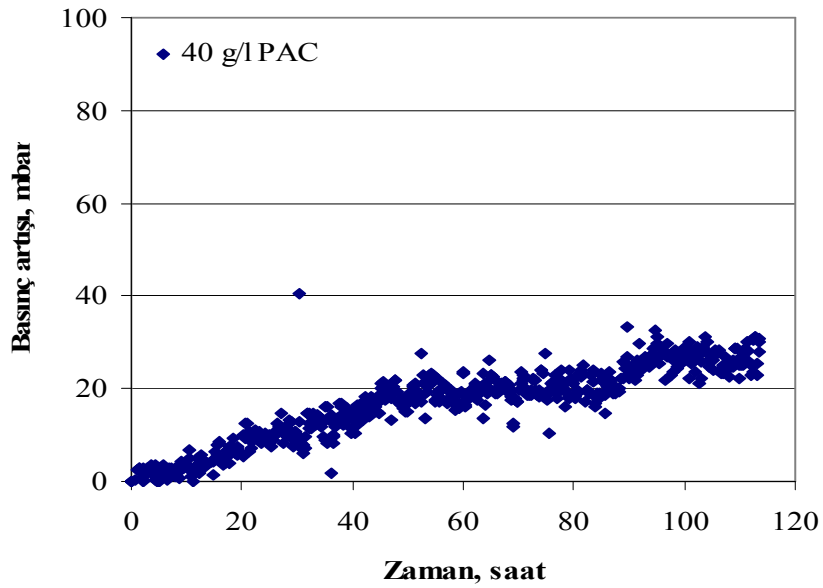
Şekil 4.49 : PAC konsantrasyonunun 40 g/l olarak çalıştırıldığı durum için TOK değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF: 3600 sn, BP: 360 sn, Debi: 30 l/st)



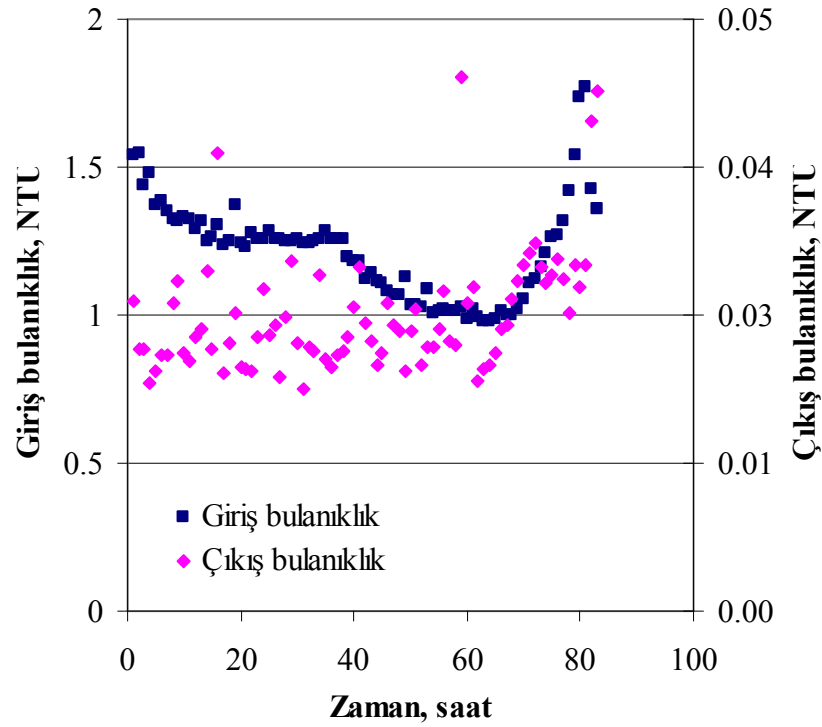
Şekil 4.50 : PAC konsantrasyonunun 40 g/l olarak çalıştırıldığı durum için UV₂₅₄ değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF: 3600 sn, BP: 360 sn, Debi:30 l/st)



Şekil 4.51 : PAC konsantrasyonunun 40 g/l olarak çalıştırıldığı durum için giderme verimlerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF: 3600 sn, BP: 360 sn, Debi:30 l/st)



Şekil 4.52 : PAC konsantrasyonunun 40 g/l olarak çalıştırıldığı durum için basınç değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF: 3600 sn, BP: 360 sn, Debi:30 l/st)



Şekil 4.53 : PAC konsantrasyonunun 40 g/l olarak çalıştırıldığı durum için için bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF: 3600 sn, BP: 360 sn, Debi: 30 l/st)

Farklı PAC Konsantrasyonlarında Yürütülen Deneylerin Karşılaştırılması

Pilot ölçekli sistemde göl suyu ile UF membranı kullanılarak 25 g/l ve 40 g/l olmak üzere iki farklı PAC konsantrasyonlarında yürütülen deneylere ait basınç artışı Şekil 4.54’de, TOK ve UV_{254} giderme verimleri sırasıyla Şekil 4.55-4.58 ve 4.59-4.62’de gösterilmiştir. En yüksek basınç artışı PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak kullanıldığı deneyde elde edilirken, en düşük basınç artışı PAC konsantrasyonunun 40 g/l olarak kullanıldığı deneyde elde edilmiştir. En yüksek TOK ve UV_{254} giderme verimleri PAC konsantrasyonunun 40 g/l olarak kullanıldığı deneyde gözlenmiştir.

Çizelge 4.5’de reaktörlerdeki TOK konsantrasyonu ve UV_{254} absorban değeri artış yüzdeleri verilmiştir. PAC konsantrasyonun artması ile reaktörde birikim ihmal mertebesinde küçülmüştür.

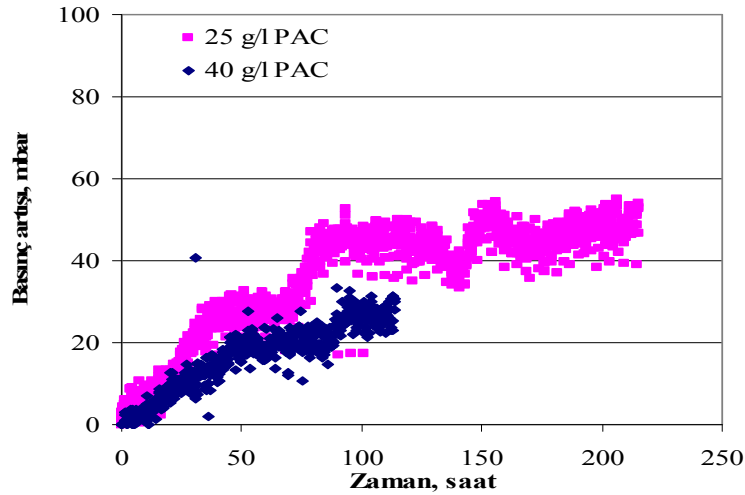
Çizelge 4.5 : Göl suyu kullanılarak yürütülen UF membran deneylerinde farklı PAC konsantrasyonları için reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV₂₅₄ absorban değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri

Parametre	PAC: 25 g/l	PAC: 40 g/l
TOK	23	-
UV ₂₅₄	5	-

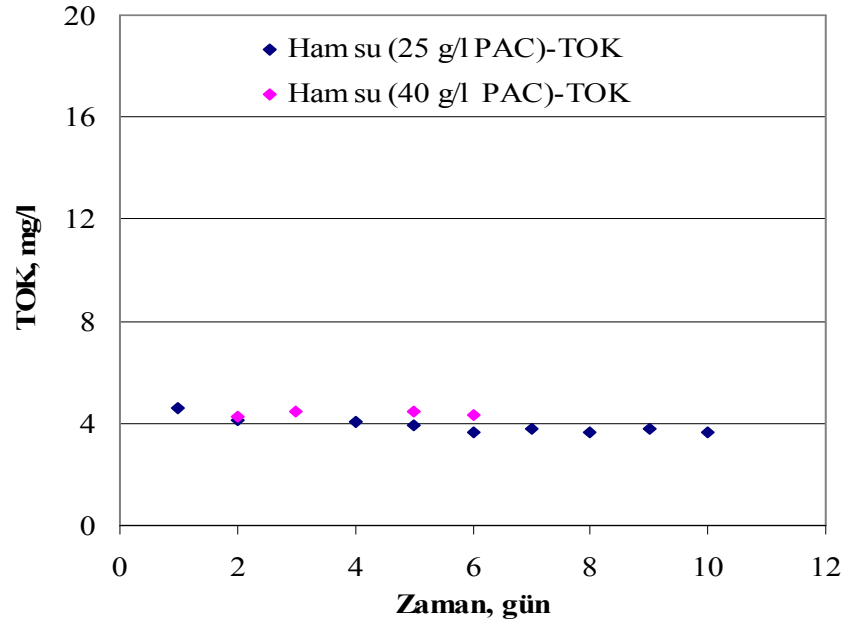
TOK ve UV₂₅₄ absorban giderme verimlerine bakıldığında PAC konsantrasyonunun giderme verimine herhangi bir etkisi görülmemiş ve verimler % 20 değerinin üzerinde kalmıştır. Düşük giderme verimleri, göl suyunda bulunan organik madde karakterizasyonundan kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Çizelge 4.6’da verim değerlerinin deneyin başlangıcı ve sonundaki yüzde olarak değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.6 : TOK ve UV₂₅₄ giderme verimi değerlerinin deneyin başlangıcı ve sonundaki değerleri (%)

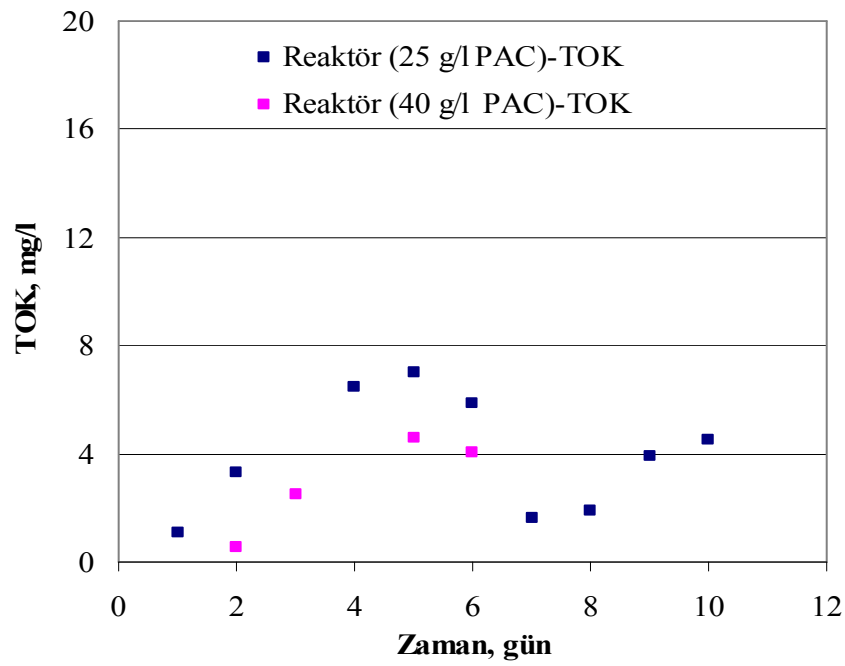
Parametre	PAC: 25 g/l	PAC: 40 g/l
TOK	93-22	94-36
UV ₂₅₄	73-21	75-36



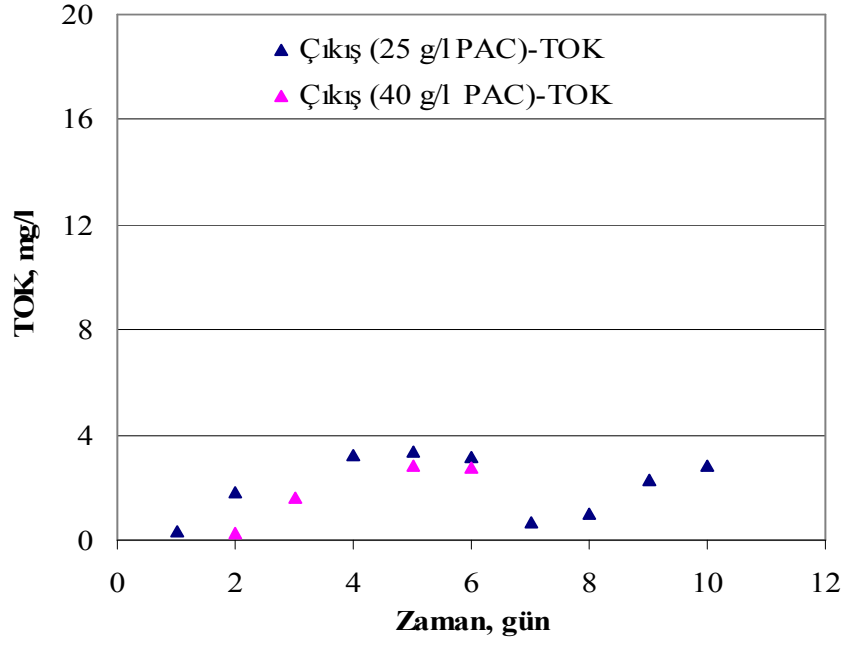
Şekil 4.54 : Farklı PAC konsantrasyonları için basınç değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)



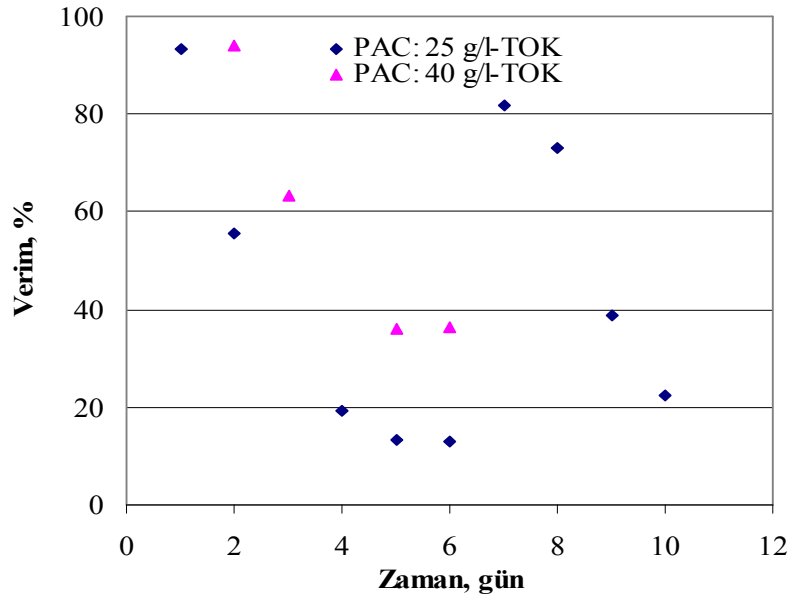
Şekil 4.55 : Farklı PAC konsantrasyonları için ham su TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)



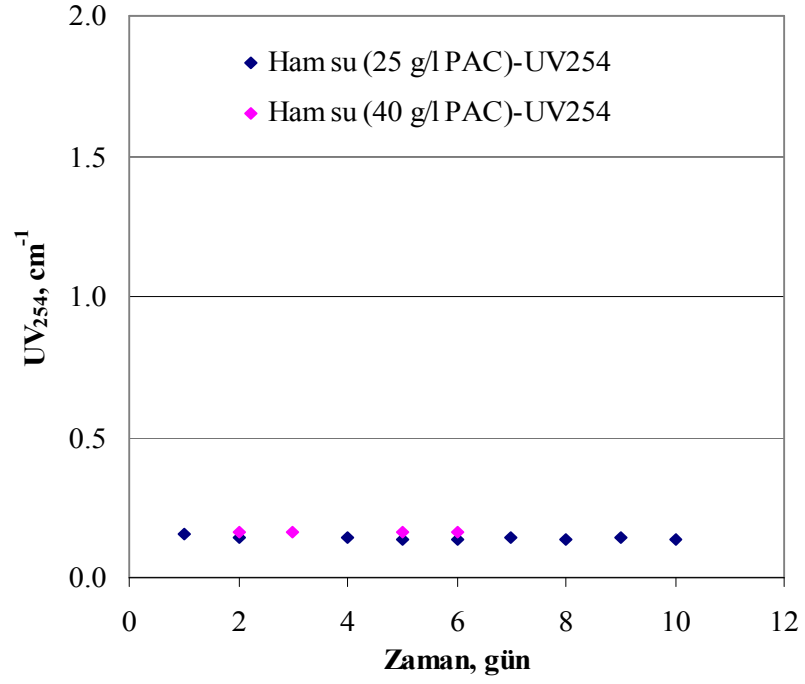
Şekil 4.56 : Farklı PAC konsantrasyonları için reaktör içi TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)



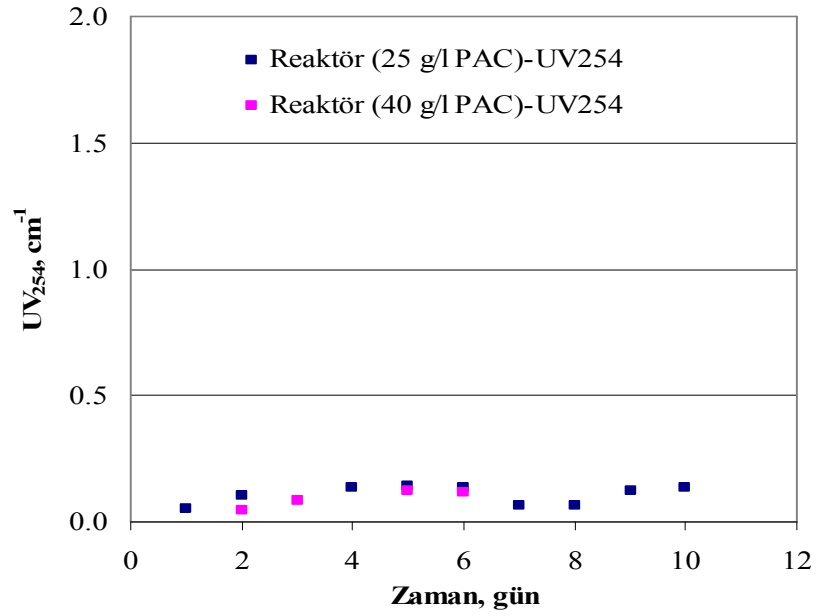
Şekil 4.57 : Farklı PAC konsantrasyonları için çıkış TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)



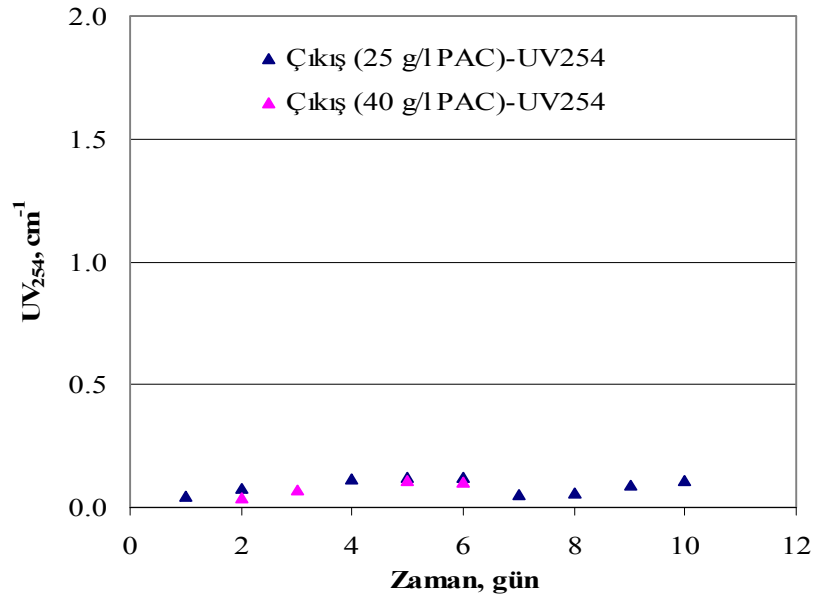
Şekil 4.58 : Farklı PAC konsantrasyonları için TOK giderme veriminin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)



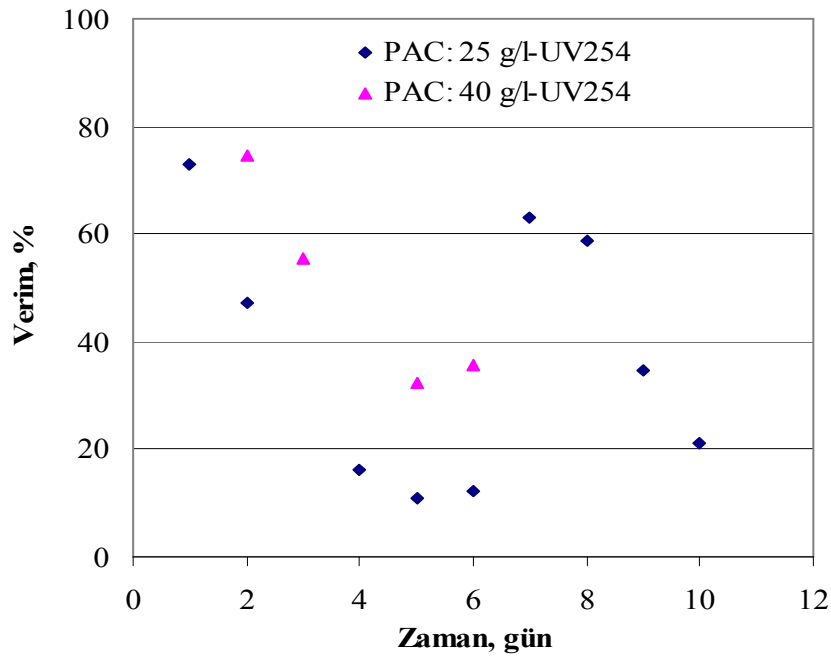
Şekil 4.59 : Farklı PAC konsantrasyonları için ham su UV_{254} konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)



Şekil 4.60 : Farklı PAC konsantrasyonları için reaktör içi UV_{254} konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)



Şekil 4.61 : Farklı PAC konsantrasyonları için çıkış UV_{254} konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)



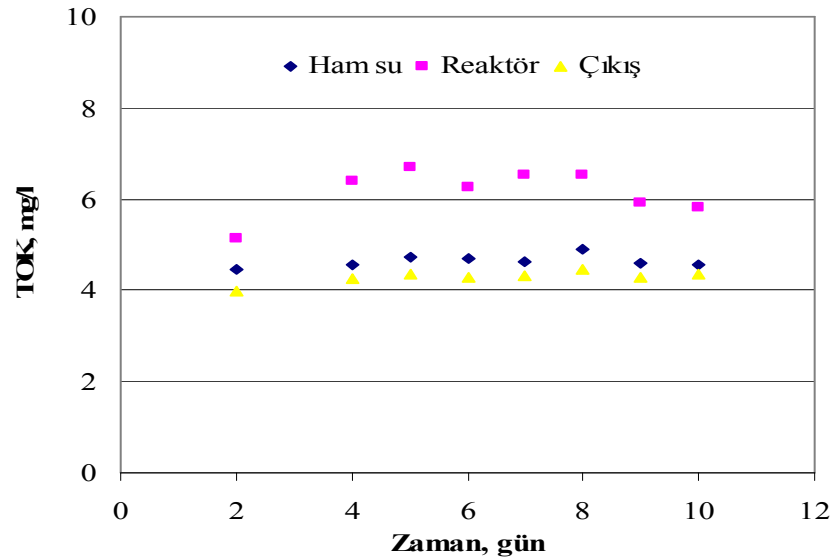
Şekil 4.62 : Farklı PAC konsantrasyonları için UV_{254} giderme veriminin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)

d) UV +TiO₂ Etkisinin Araştırılması (Farklı TiO₂ Konsantrasyonları)

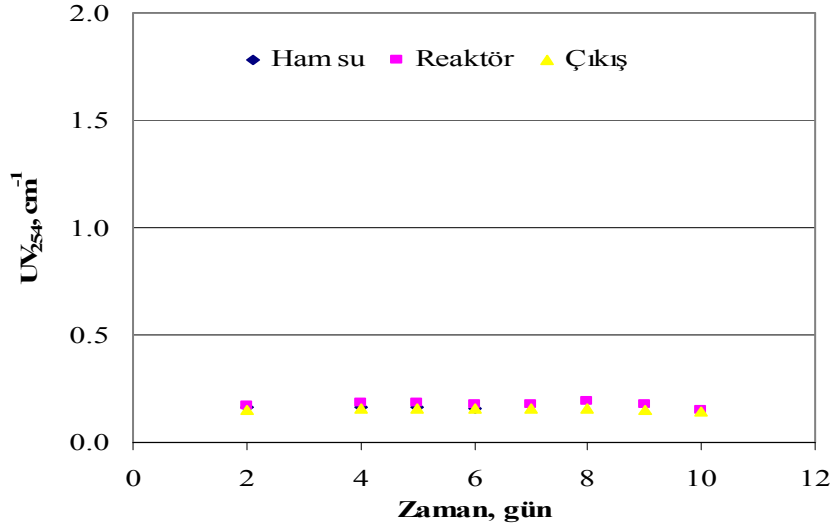
Deneysel çalışmalar, UF membranı kullanılarak yürütülmüştür. Terkos gölü ham suyu ile UV birlikte kullanılarak farklı TiO₂ konsantrasyonlarında çalışmalar yürütülmüştür.

UV+ 0,5 g/l TiO₂

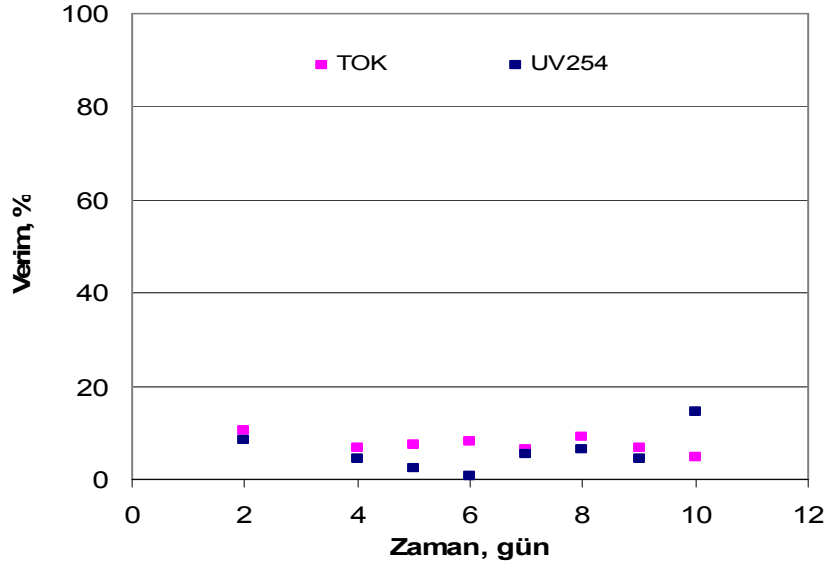
Birinci reaktöre 40 W lık UV lamba yerleştirildikten sonra 0,5 g/l TiO₂ tek seferde verilmiştir. UV+ 0,5 g/l TiO₂ konsantrasyonunun olduğu çalışmaya ait TOK ve UV₂₅₄ absorbans değerleri Şekil 4.63 ve 4.64’de, giderme verimleri Şekil 4.65’de, membranda basınç artışı Şekil 4.66’da ve bulanıklık değerleri ise Şekil 4.67’de gösterilmiştir. Bu durumda reaktör içindeki TOK konsantrasyonu artış oranının % 28 ve UV₂₅₄ absorbans değeri artış oranının % 11 olduğu görülmüştür. TOK ve UV₂₅₄ giderme verimleri deney süresince % 20’nin altında kalmıştır. Basınç değeri, 45 mbar’a kadar artmıştır. İlk 50 saatten sonra artış hızında artma meydana gelmiştir. Buna reaktördeki birikiminin sebep olduğu düşünülmektedir. Giriş bulanıklık değeri 1-3 NTU aralığında değişirken çıkış bulanıklık değeri 0,08 NTU’nun altında kalmıştır.



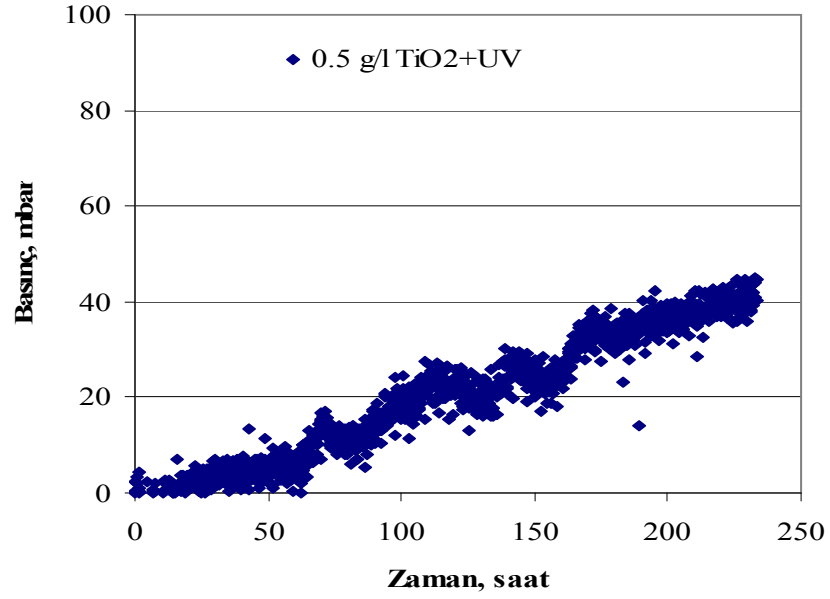
Şekil 4.63 : UV + 0,5 g/l TiO₂ konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için TOK değerinin zamanla değişimi (Göl suyu, UF: 3600 sn, BP: 360 sn, Debi: 30 l/st)



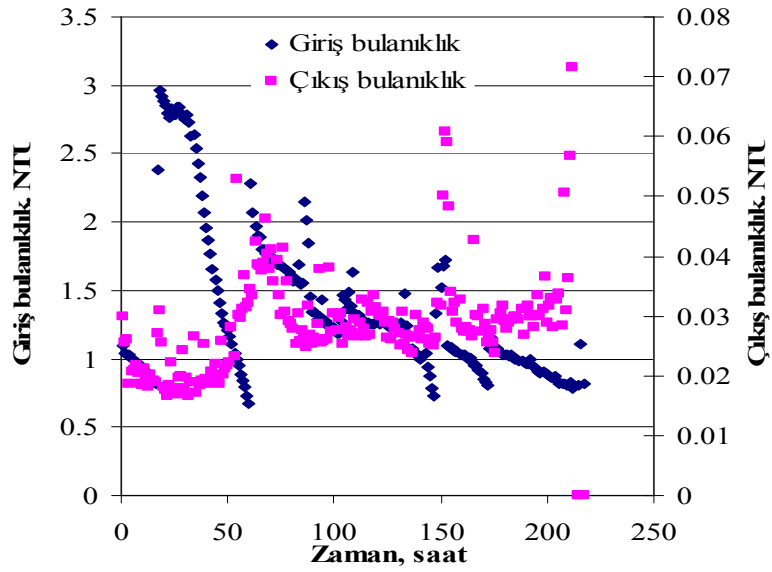
Şekil 4.64 : UV + 0,5 g/l TiO₂ konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için UV254 değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF: 3600 sn, BP: 360 sn, Debi: 30 l/st)



Şekil 4.65 : UV + 0,5 g/l TiO₂ konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için giderme verimlerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF: 3600 sn, BP: 360 sn, Debi:30 l/st)



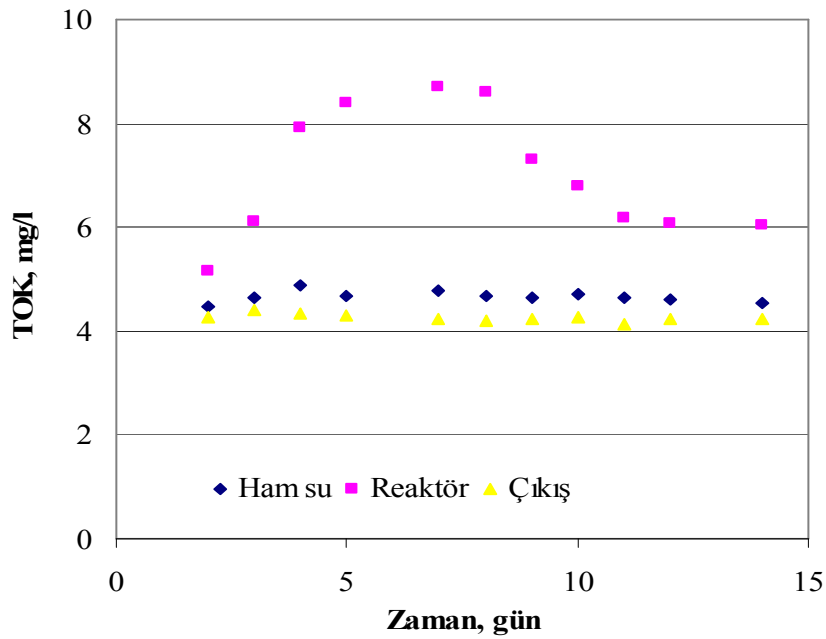
Şekil 4.66 : UV + 0,5 g/l TiO₂ konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için basınç değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF: 3600 sn, BP: 360 sn, Debi: 30 l/st)



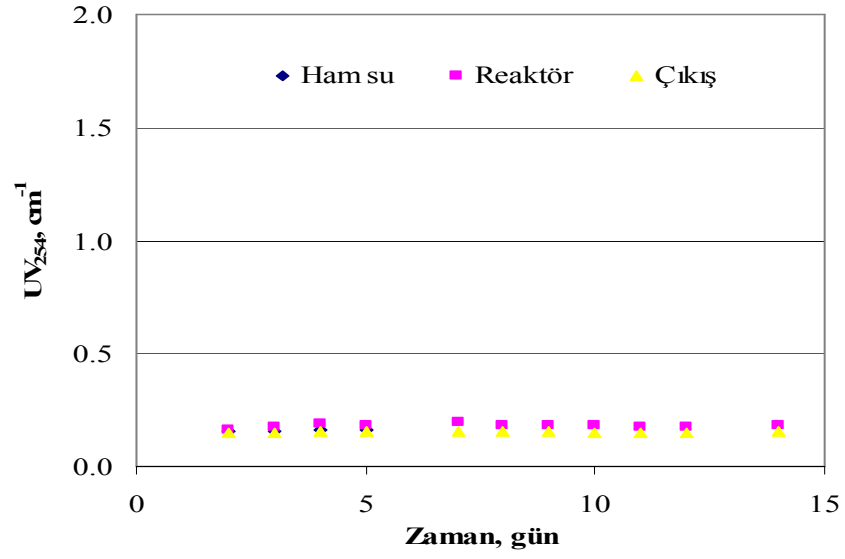
Şekil 4.67 : UV + 0,5 g/l TiO₂ konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF: 3600 sn, BP: 360 sn, Debi: 30 l/st)

UV+ 1,5 g/l TiO₂

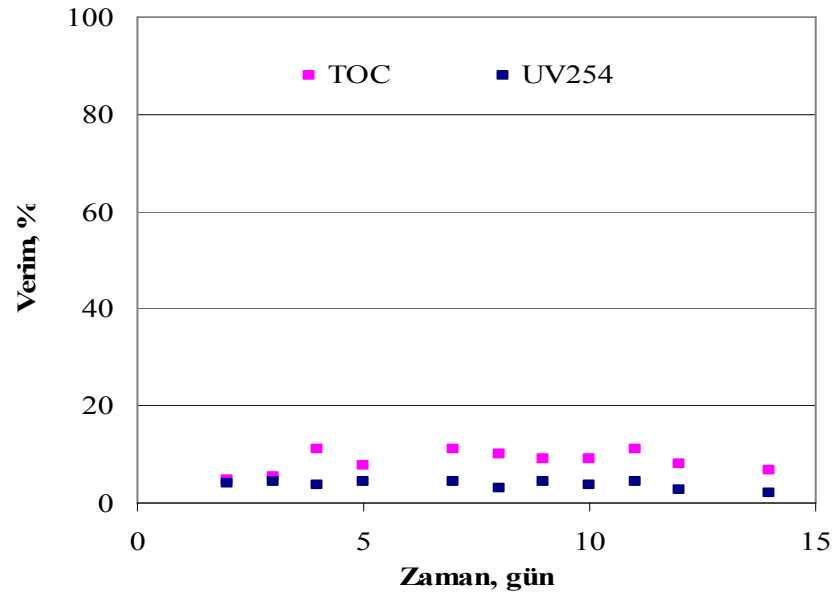
Birinci reaktöre 40 W'lık UV lambası yerleştirildikten sonra 1,5 g/l TiO₂ tek seferde verilmiştir. UV+ 1,5 g/l TiO₂ konsantrasyonunun olduğu çalışmaya ait TOK ve UV₂₅₄ absorbans değerleri Şekil 4.68 ve 4.69'da, giderme verimleri Şekil 4.70'de, membranda basınç artışı Şekil 4.71'de ve bulanıklık değerleri de Şekil 4.72'de gösterilmiştir. Bu durumda reaktör içi TOK konsantrasyonu artış oranının % 45 ve UV₂₅₄ absorbans değeri artış oranının % 14 olduğu görülmüştür. TOK ve UV₂₅₄ giderme verimleri deney süresince % 20'nin altında kalmıştır. Basınç değeri, başlangıçta hızlı artarken daha sonra azalan bir hızla 40 mbar seviyelerine kadar ulaşmıştır. Giriş bulanıklık değerleri başlangıçta 1,7 NTU'larda iken yeni gelen göl suyunun karışımı ile 9 NTU'lara kadar artmış ve zamanla 1,9 NTU'lara kadar yine azalmıştır. Çıkış bulanıklık değeri bu giriş bulanıklık salınımlarından etkilenmemiş ve 0,06 NTU'nun altında kalmıştır.



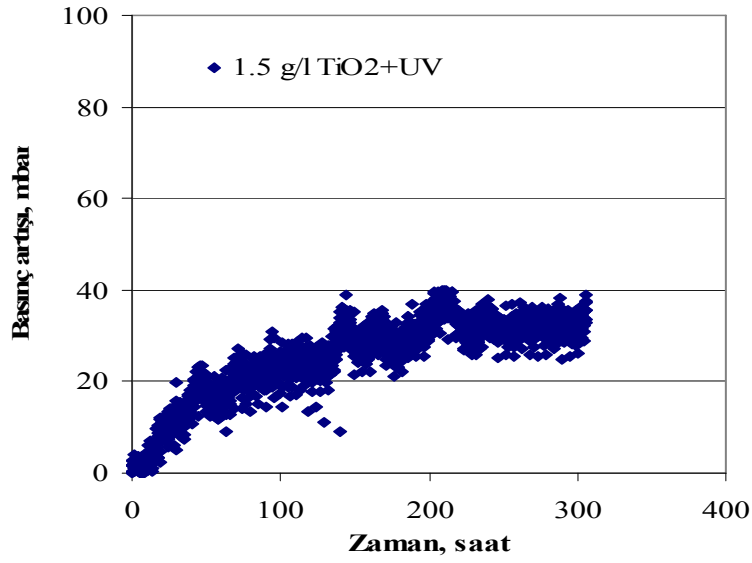
Şekil 4.68 : UV + 1,5 g/l TiO₂ konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için TOK değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF: 3600 sn, BP: 360 sn, Debi: 30 l/st)



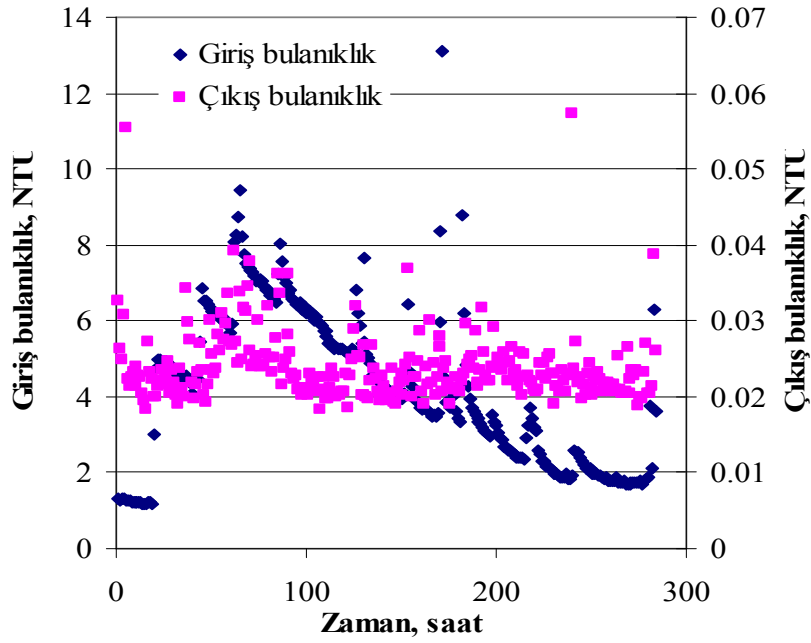
Şekil 4.69 : UV + 1,5 g/l TiO₂ konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için UV₂₅₄ değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF: 3600 sn, BP: 360 sn, Debi: 30 l/st)



Şekil 4.70 : UV + 1,5 g/l TiO₂ konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için giderme verimlerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF: 3600 sn, BP: 360 sn, Debi: 30 l/st)



Şekil 4.71 : UV + 1,5 g/l TiO₂ konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için basınç değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF: 3600 sn, BP: 360 sn, Debi: 30 l/st)



Şekil 4.72 : UV + 1,5 g/l TiO₂ konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF: 3600 sn, BP: 360 sn, Debi: 30 l/st)

Farklı UV+TiO₂ Konsantrasyonlarında Yürütülen Deneylerin Karşılaştırılması

Pilot ölçekli sistemde Terkos göl suyu ile UF membranı kullanılarak 0,5 g/l ve 1,5 g/l olmak üzere iki farklı UV/TiO₂ konsantrasyonlarında deneyler yürütülmüştür. Bu deneylere ait basınç artışı şekil 4.73’de, TOK ve UV₂₅₄ giderme verimleri sırasıyla şekil 4.74-4.77 ve 4.78-4.80’de gösterilmiştir. Daha düşük basınç artışı TiO₂ konsantrasyonunun 1,5 g/l olduğu durumda elde edilmiştir. TOK ve UV₂₅₄ giderme verimleri birbirine yakın olup, % 20’nin altında kalmıştır.

Çizelge 4.7’de reaktörlerdeki TOK konsantrasyonu ve UV₂₅₄ absorbans değeri artış yüzdeleri verilmiştir. Buna göre, TiO₂ konsantrasyonuna bağlı olarak reaktör içindeki TOK ve UV₂₅₄ absorbans değerleri artmıştır.

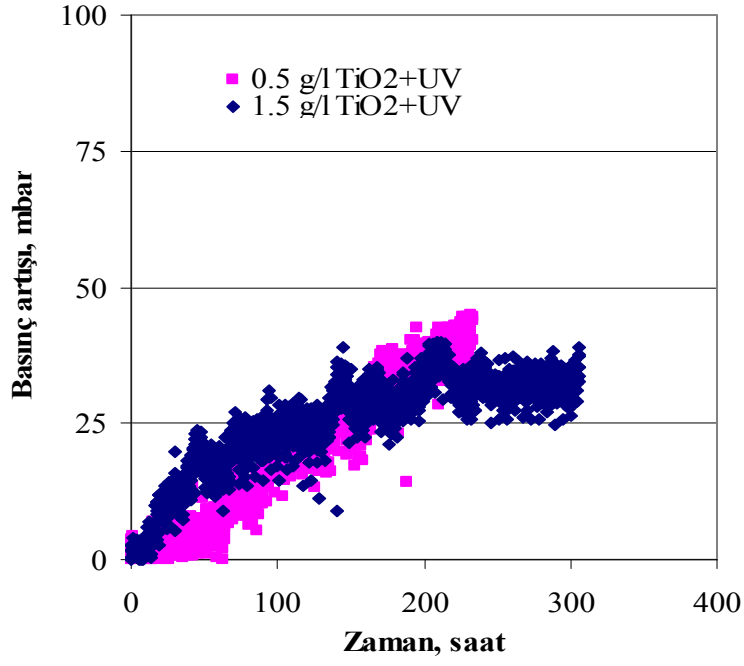
Çizelge 4.7 : Göl suyu kullanılarak yürütülen UF membran deneylerinde farklı TiO₂ konsantrasyonları için reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV₂₅₄ absorban değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri.

Parametre	UV + 0,5 g/l TiO ₂	UV + 1,5 g/l TiO ₂
TOK	28	44,5
UV ₂₅₄	10,5	14

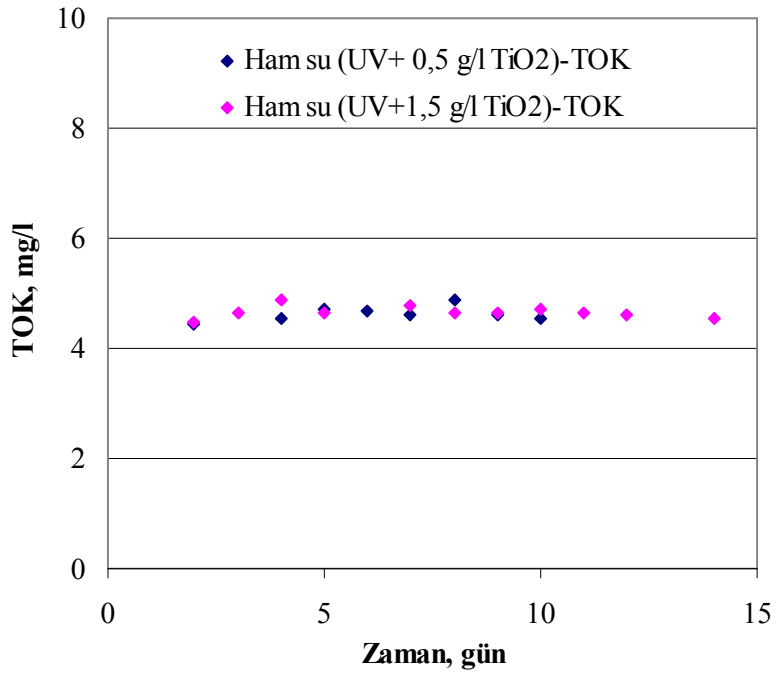
TOK ve UV₂₅₄ absorbans giderme verimlerine bakıldığında TiO₂ konsantrasyonunun giderme verimine herhangi bir etkisi görülmemiş ve verimler % 20 değerinin altında kalmıştır. Düşük giderme verimleri, göl suyunda bulunan organik madde karakterizasyonundan kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Çizelge 4.8’de verim değerlerinin deneyin başlangıcı ve sonundaki yüzde olarak değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.8 : TOK ve UV₂₅₄ giderme verimi değerlerinin deneyin başlangıcı ve sonundaki değerleri (%)

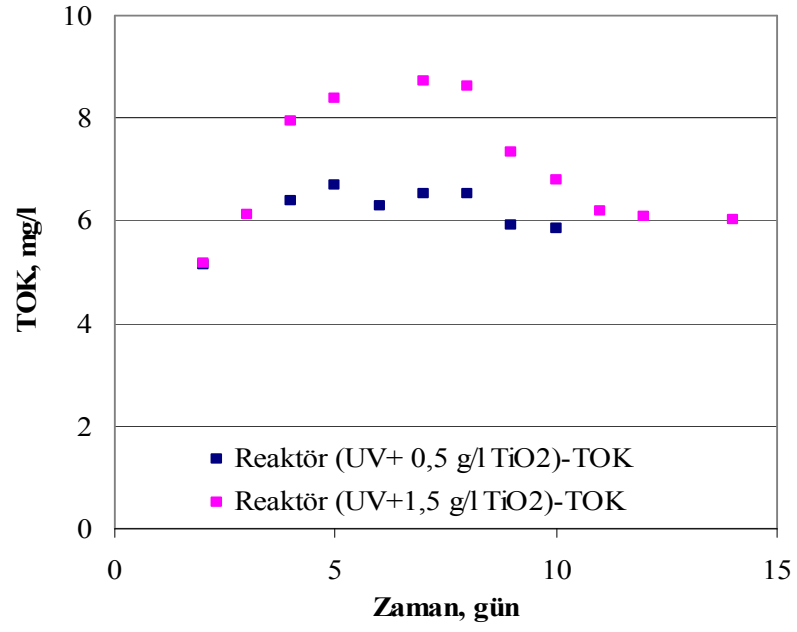
Parametre	UV + 0,5 g/l TiO ₂	UV + 1,5 g/l TiO ₂
TOK	11-5	5-7
UV ₂₅₄	8-14	4-2



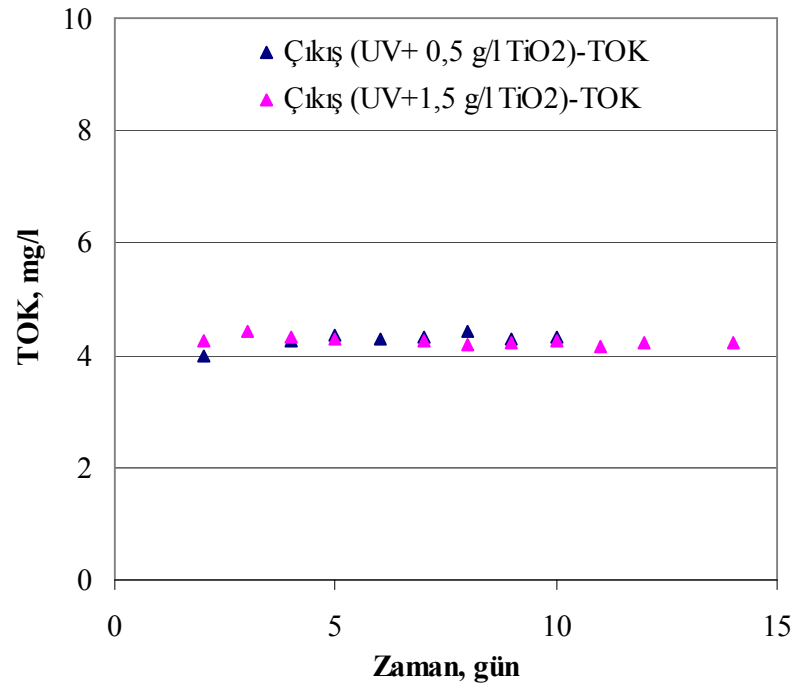
Şekil 4.73 : Farklı UV+TiO₂ konsantrasyonları için basınç değerin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)



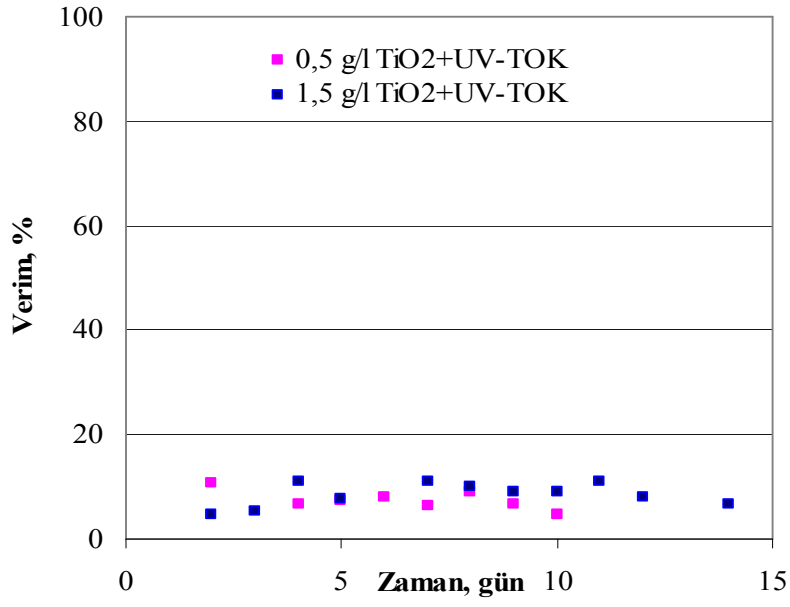
Şekil 4.74 : Farklı UV+TiO₂ konsantrasyonları için ham su TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)



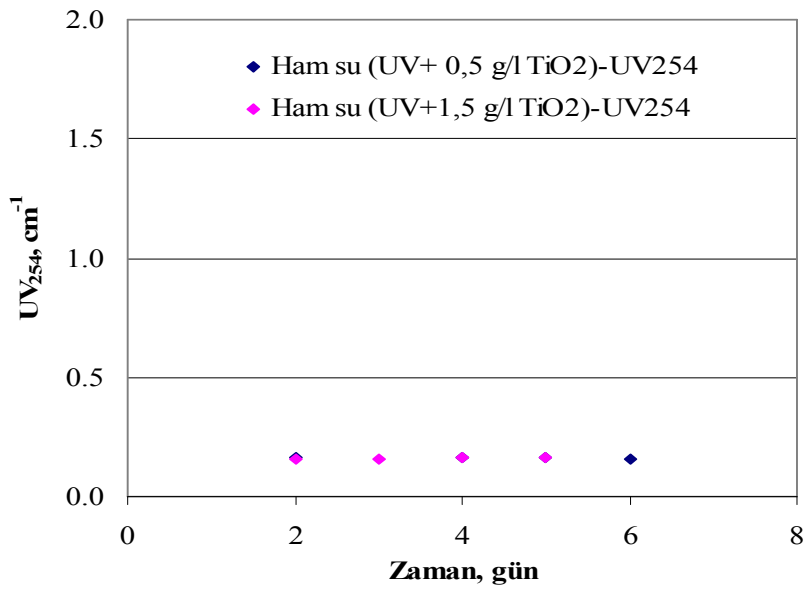
Şekil 4.75 : Farklı UV+TiO₂ konsantrasyonları için reaktör içi TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)



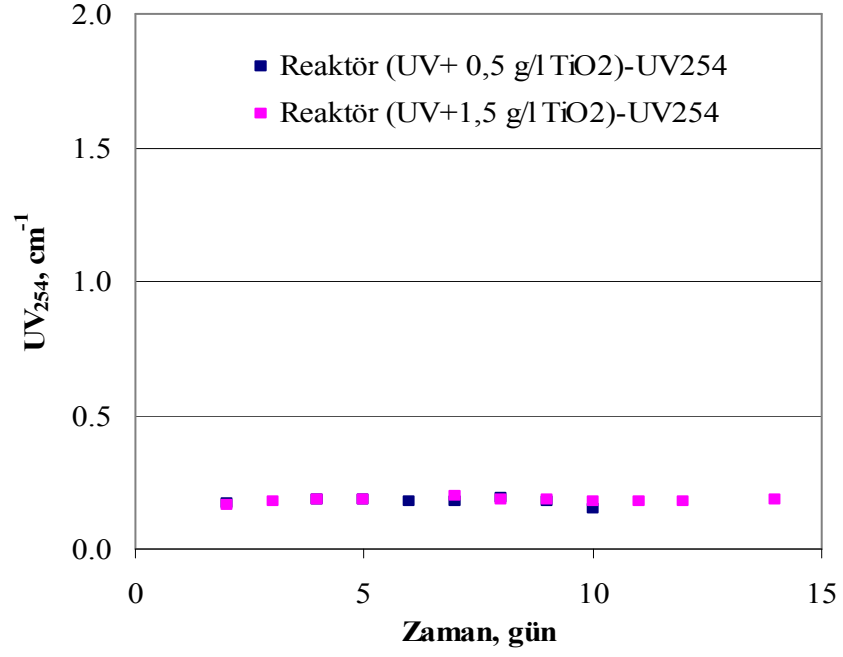
Şekil 4.76 : Farklı UV+TiO₂ konsantrasyonları için çıkış TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)



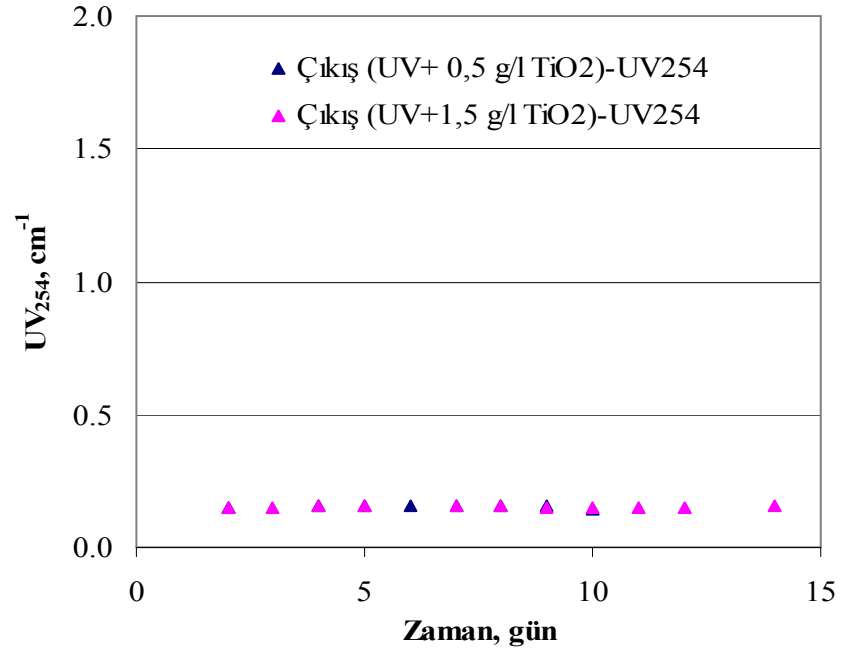
Şekil 4.77 : Farklı UV+TiO₂ konsantrasyonları için TOK giderme veriminin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)



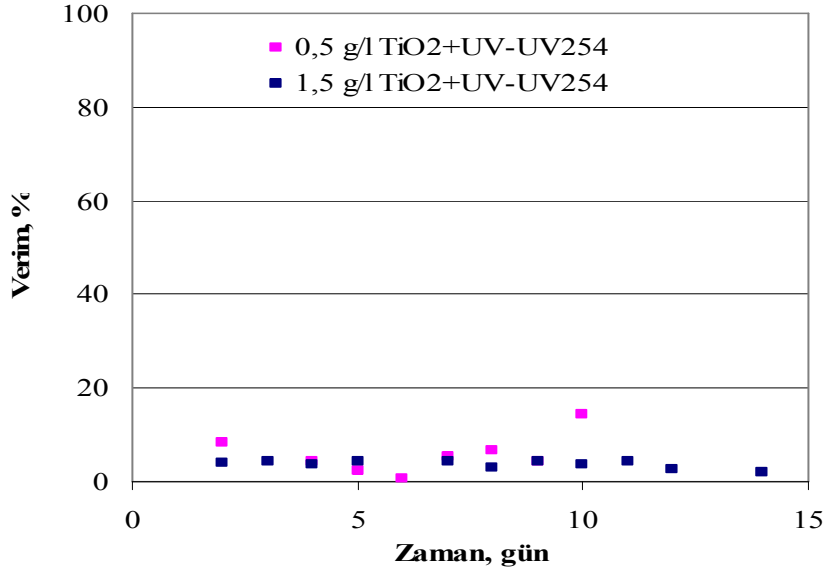
Şekil 4.78 : Farklı UV+TiO₂ konsantrasyonları için ham su UV₂₅₄ konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)



Şekil 4.79 : Farklı UV+TiO₂ konsantrasyonları için reaktör içi UV₂₅₄ konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)



Şekil 4.80 : Farklı UV+TiO₂ konsantrasyonları için çıkış UV₂₅₄ konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)



Şekil 4.81 : Farklı UV+TiO₂ konsantrasyonları için UV₂₅₄ giderme veriminin zamanla değişimi (Terkos Gölü, UF)

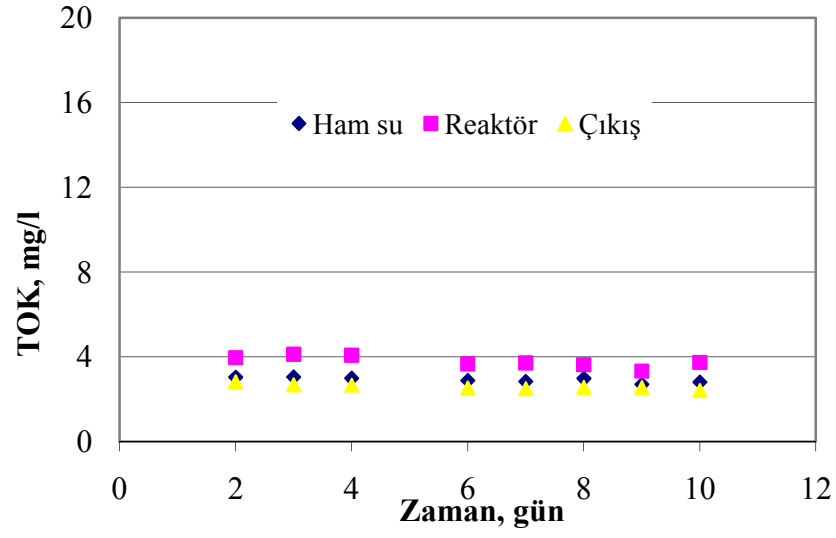
4.1.2 Ömerli göl suyunda yapılan deneyler

Ömerli baraj suyunun kullanıldığı UF membranı ile farklı ilave yöntemleri ile toz aktif karbon kullanımının ve farklı konsantrasyonlarda UV/TiO₂ kullanımının membran tıkanıklığına etkisi araştırılmıştır.

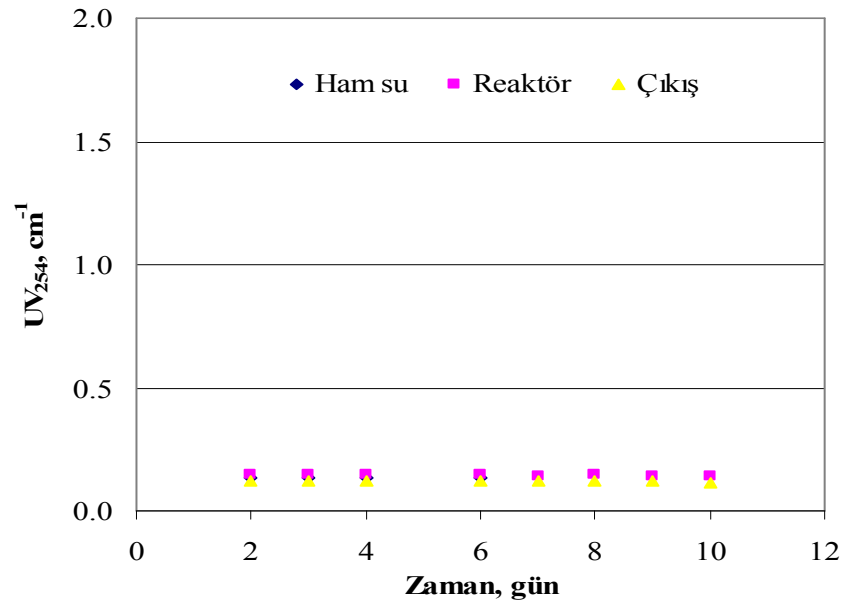
a) Geri Yıkama Süresinin Etkisi

Geri yıkama süresi: 360 sn, Filtrasyon süresi: 3600 sn (Debi: 30 l/st)

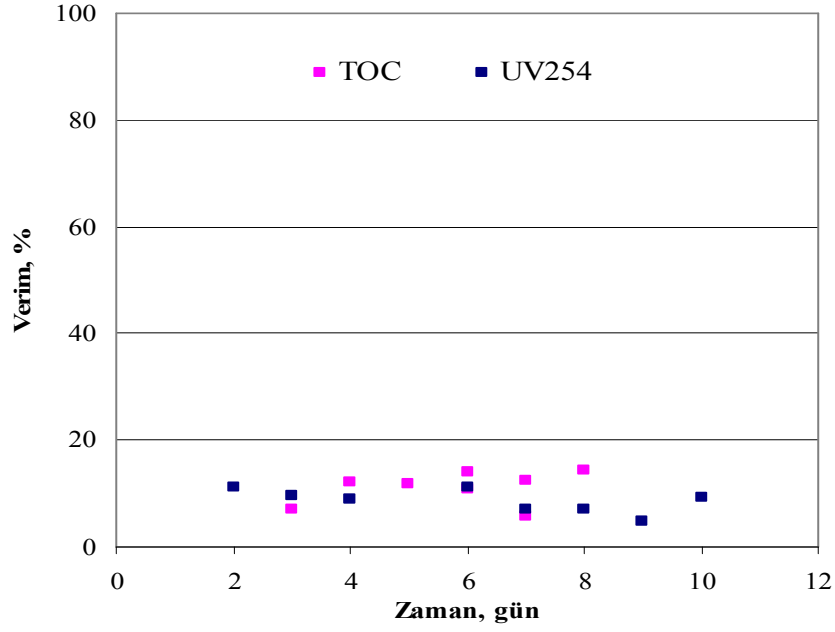
Filtrasyonun 3600 sn, geri yıkamanın 360 sn ve debinin 30 l/st olarak yürütülen deneye ait TOK ve UV₂₅₄ absorbans değerleri sırasıyla Şekil 4.82–4.83’de, giderme verimleri Şekil 4.84’de, membranda basınç artışı Şekil 4.85’de ve bulanıklık değerleri ise Şekil 4.86’da gösterilmiştir. Bu durumda reaktör içindeki TOK konsantrasyonu artış oranının % 33 ve UV₂₅₄ absorban değeri artış oranının % 11 olduğu görülmüştür. TOK ve UV₂₅₄ giderme verimleri deney süresince % 20’nin altında kalmıştır. Basınç değeri, maksimum 65 mbar’a ulaşmıştır. Giriş bulanıklık değeri 20 NTU’lardan 3 NTU’lara kadar düşmüştür. Buna mukabil çıkış bulanıklık değeri ise 0,06 NTU’nun altında kalmıştır.



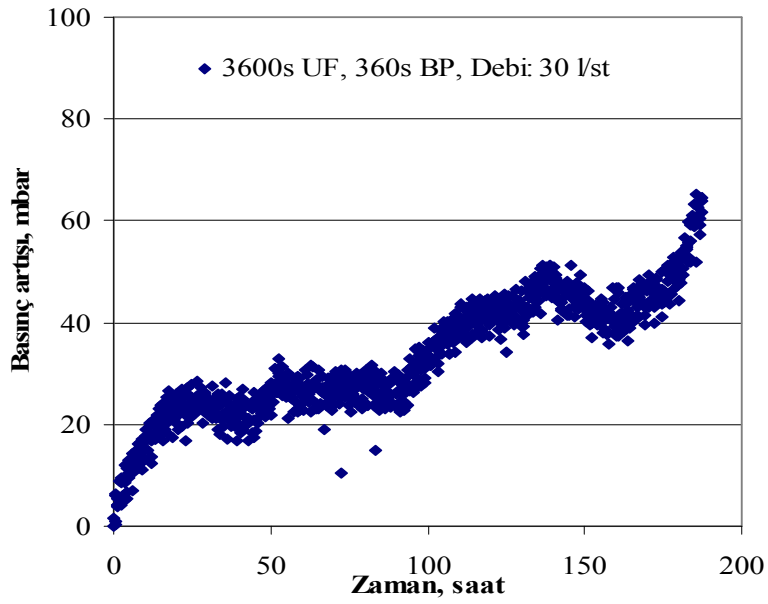
Şekil 4.82 : Filtrasyonun 3600 sn, geri yıkamanın 360 sn ve debinin 30 l/st olarak çalıştırıldığı durum için TOK değerinin zamanla değişimi (Ömerli Gölü, UF)



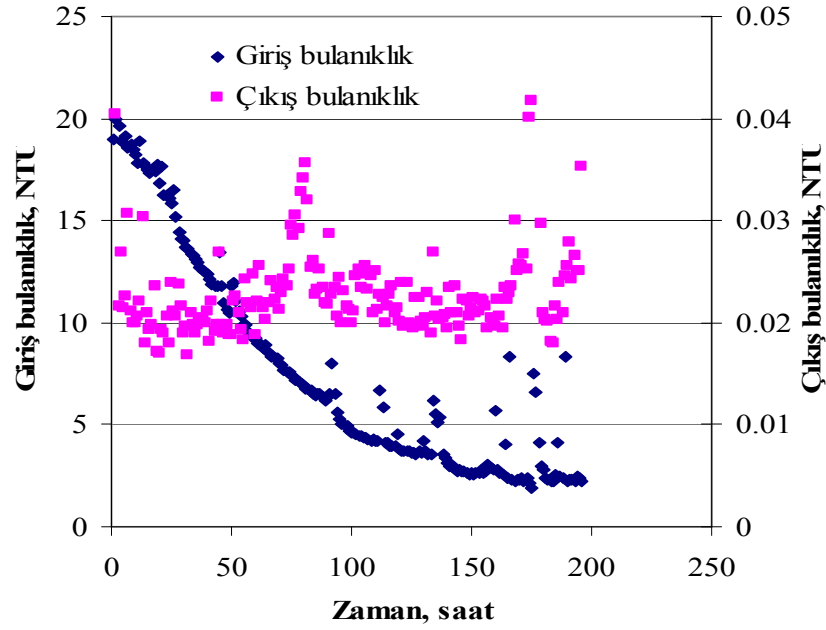
Şekil 4.83 : Filtrasyonun 3600 sn, geri yıkamanın 360 sn ve debinin 30 l/st olarak çalıştırıldığı durum için UV₂₅₄ değerinin zamanla değişimi (Ömerli Gölü, UF)



Şekil 4.84 : Filtrasyonun 3600 sn, geri yıkamanın 360 sn ve debinin 30 l/st olarak çalıştırıldığı durum için giderme verimlerinin zamanla değişimi (Ömerli Gölü, UF)



Şekil 4.85 : Filtrasyonun 3600 sn, geri yıkamanın 360 sn 0s ve debinin 30 l/st olarak çalıştırıldığı durum için basınç değerinin zamanla değişimi (Ömerli Gölü, UF)



Şekil 4.86 : Filtrasyonun 3600 sn, geri yıkamanın 360 sn ve debinin 30 l/st olarak çalıştırıldığı durum için bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Ömerli Gölü suyu, UF)

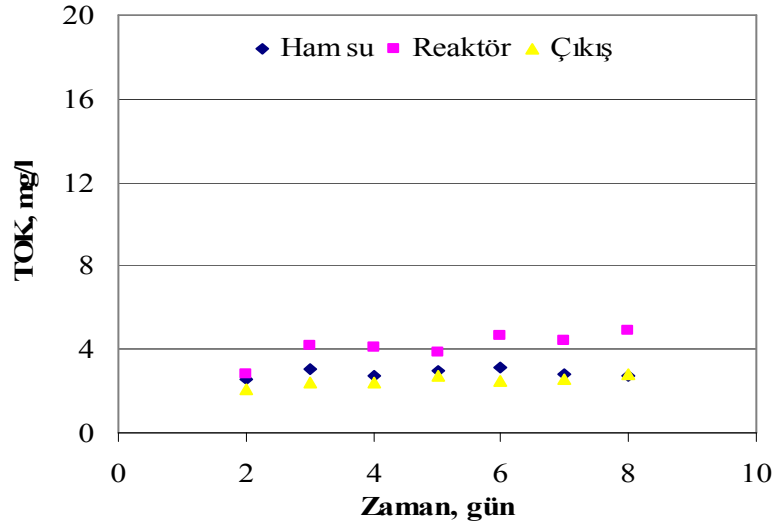
b) Toz Aktif Karbon (PAC) İlavesinin Araştırılması

Deneysel çalışmalar, UF membranı kullanılarak yürütülmüştür. Ömerli baraj suyunun kullanıldığı deneylerde, farklı toz aktif karbon (PAC) konsantrasyonları ilave edilerek çalışmalar yürütülmüştür.

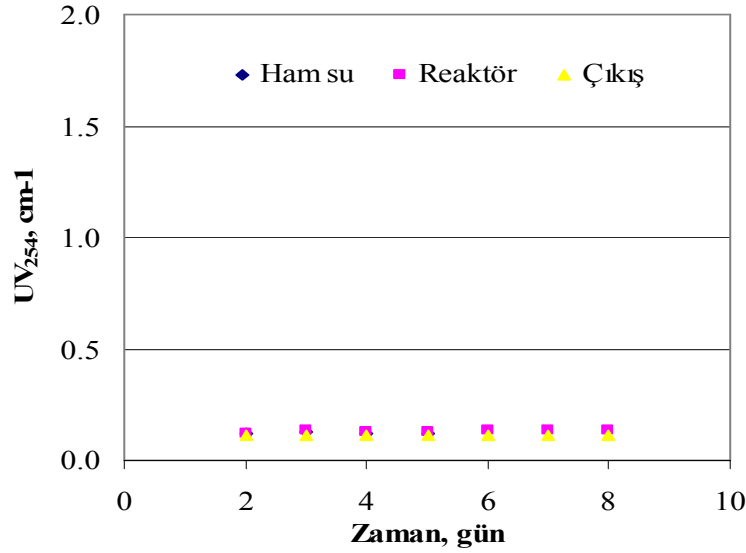
PAC Konsantrasyonu (25 gr/l) (Deney Başlangıcında Tek Seferde İlave Edildiği Durum)

25 g/l PAC çözelti halinde deney başlangıcında, tek seferde birinci reaktöre verilmiştir. 25 g/l PAC konsantrasyonunun olduğu çalışmaya ait TOK ve UV₂₅₄ absorbans değerleri Şekil 4.87 ve 4.88’de, giderme verimleri Şekil 4.89’da, membranda basınç artışı Şekil 4.90’da ve bulanıklık değerleri ise Şekil 4.91’de gösterilmiştir. Bu durumda reaktör içindeki TOK konsantrasyonu artış oranının % 80 ve UV₂₅₄ absorbans değeri artış oranının % 15 olduğu görülmüştür. TOK ve UV₂₅₄ giderme verimleri % 20’lerden zamanla % 3’lere kadar azalmıştır. Basınç değeri, ilk 85 saate hızlı daha sonra azalan bir hızla artmış ve 100 mbar’ın altında kalmıştır.

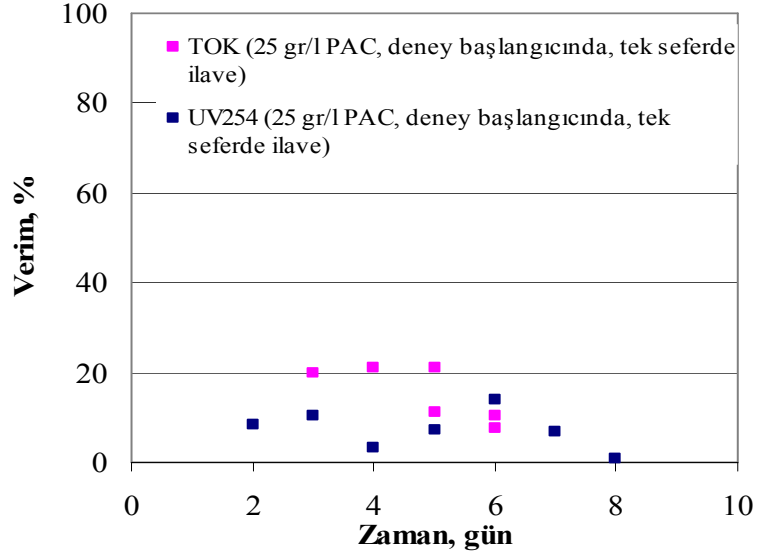
Giriş bulanıklık değeri 30 NTU’lardan 3 NTU’ya kadar azalmıştır. Çıkış bulanıklık değeri ise 0,09 NTU’nun altında kalmıştır.



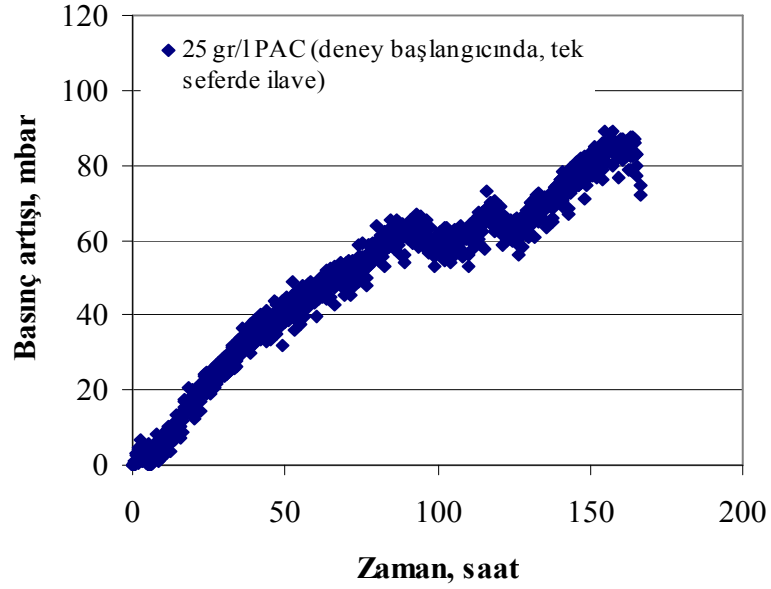
Şekil 4.87 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak deney başlangıcında, tek seferde ilave edilerek çalıştırıldığı durum için TOK değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)



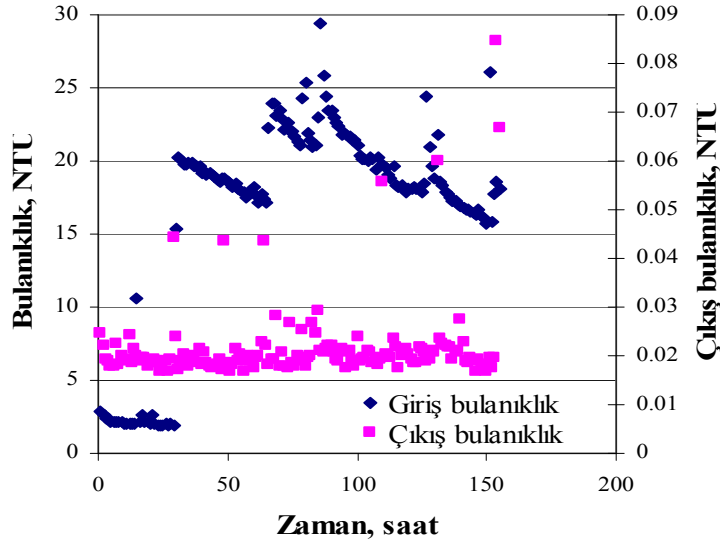
Şekil 4.88 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak deney başlangıcında, tek seferde ilave edilerek çalıştırıldığı durum için UV₂₅₄ absorban değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)



Şekil 4.89 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak deney başlangıcında, tek seferde ilave edilerek çalıştırıldığı durum için giderim verimlerinin zamanla değişimi (Ömerli barajlı suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)



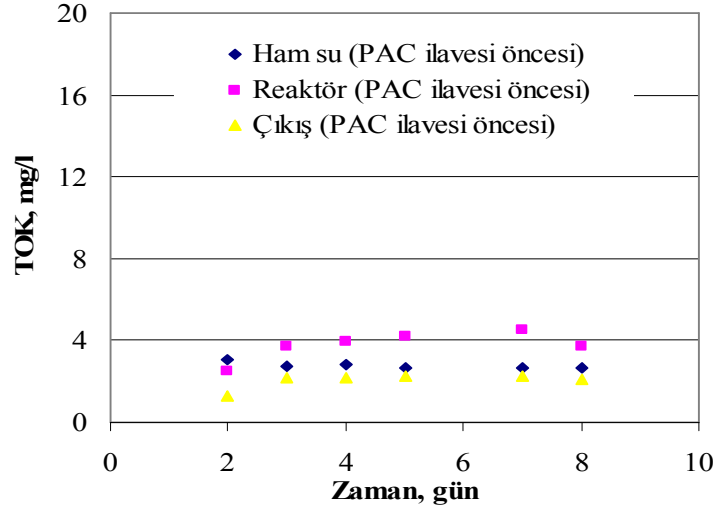
Şekil 4.90 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, deney başlangıcında, tek seferde ilave edilerek çalıştırıldığı durum için basınç değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)



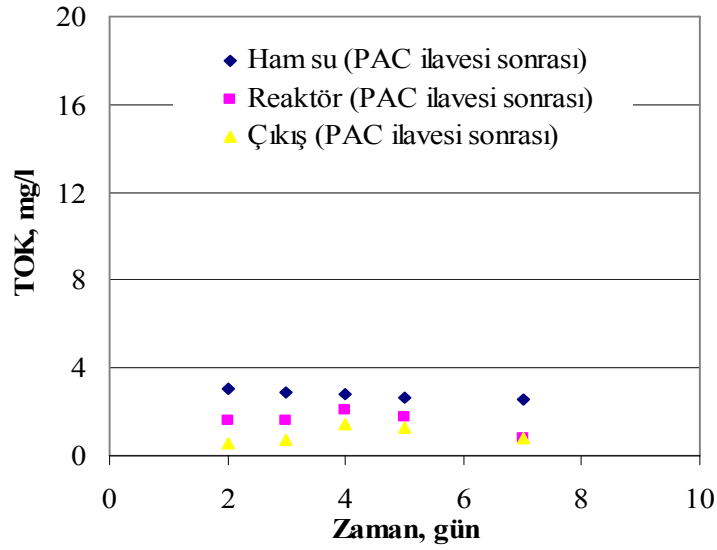
Şekil 4.91 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, deney başlangıcında, tek seferde ilave edilerek çalıştırıldığı durum için bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)

PAC Konsantrasyonu (25 gr/l PAC) (Her Gün İlave Edildiği Durum)

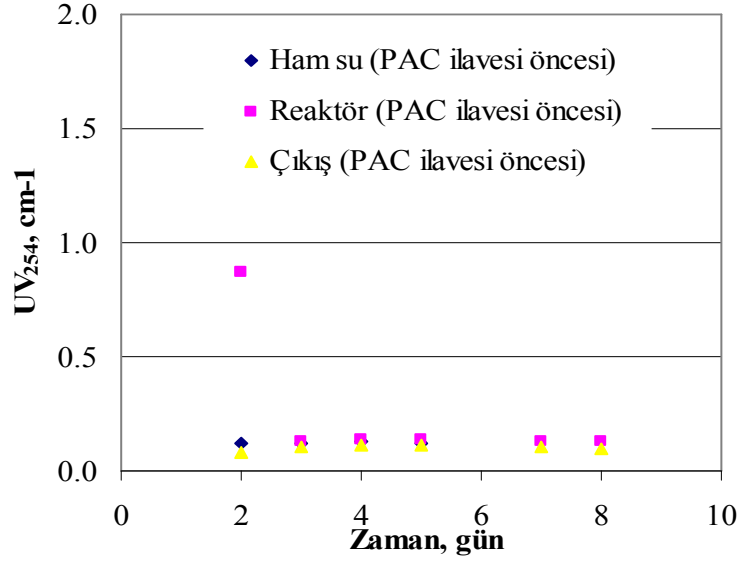
25 g/l PAC çözelti halinde deney süresince her gün belirli bir saatte birinci reaktöre verilmiştir. PAC ilavesinden önce ve sonra olmak üzere her gün iki ayrı numune alınmıştır. Bu çalışmaya ait TOK ve UV_{254} absorbans değerleri Şekil 4.92-4.95’de, giderme verimleri Şekil 4.96 ve 4.97’de, membranda basınç artışı Şekil 4.98’de ve bulanıklık değerleri ise Şekil 4.99’da gösterilmiştir. Bu durumda reaktör içindeki TOK konsantrasyonu artış oranının PAC ilavesi öncesinde % 39 ve UV_{254} absorbans değeri artış oranının %11 olduğu görülmüştür. PAC ilavesi sonrasında ise reaktör içi TOK konsantrasyonunda % 69 ve UV_{254} absorban değerinde ise % 58 oranında azalma görülmüştür. TOK ve UV_{254} giderme verimleri PAC ilavesi öncesinde % 57’lerden zamanla % 9’lara kadar azalmıştır. PAC ilavesi sonrasında ise % 82’lerden zamanla % 32 ‘lere kadar azalmıştır. Basınç değeri, ilk 50 saate hızlı artmış, daha sonra azalan bir hızla artmıştır. Basınç değeri, 100 mbar’ın altında kalmıştır. Giriş bulanıklık değeri 70 NTU’lardan 15 NTU’ya kadar azalmıştır. Çıkış bulanıklık değeri 0,15 NTU’nun altında kalmıştır.



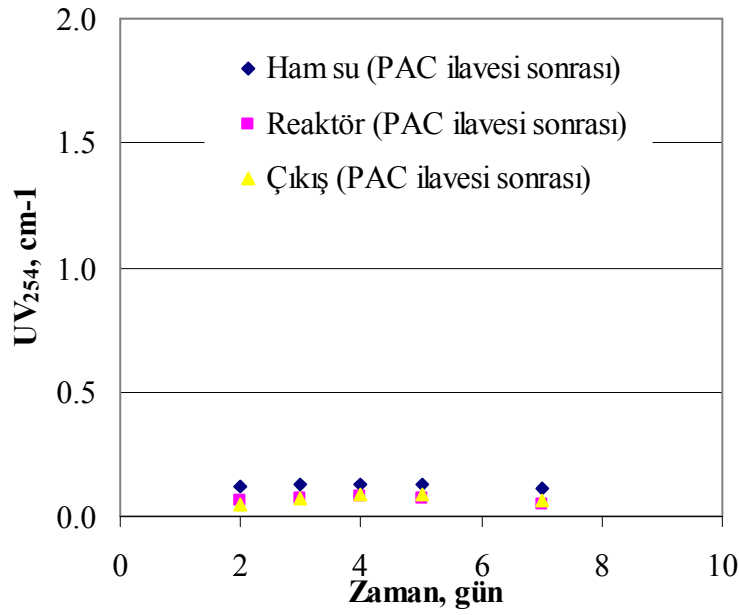
Şekil 4.92 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi öncesi TOK değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)



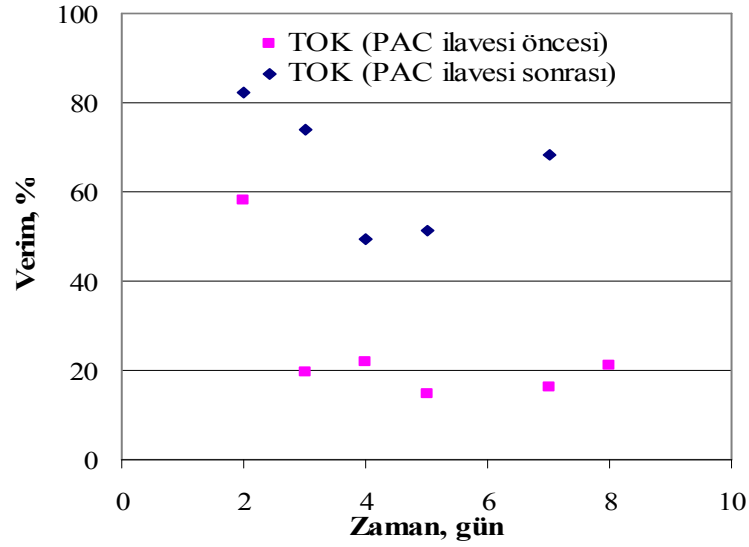
Şekil 4.93 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi sonrası TOK değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)



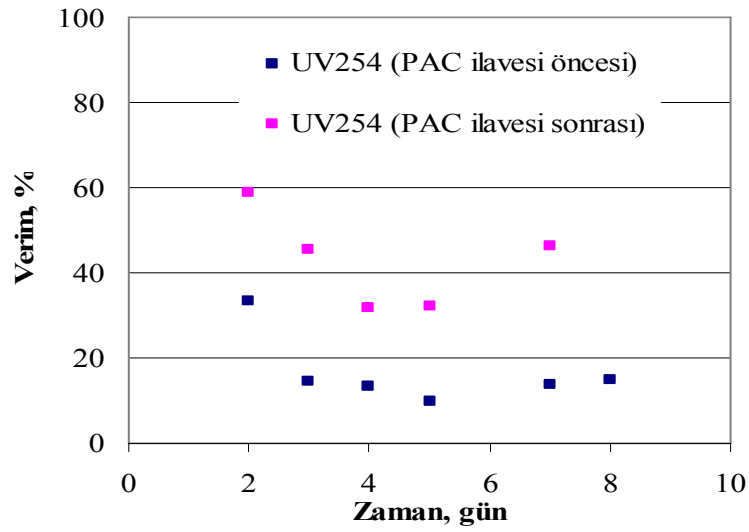
Şekil 4.94 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi öncesi UV_{254} absorban değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)



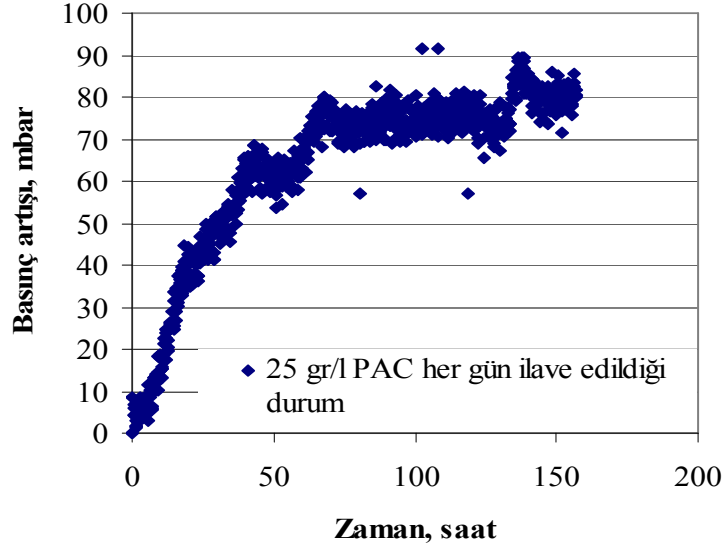
Şekil 4.95 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi sonrası UV_{254} absorban değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)



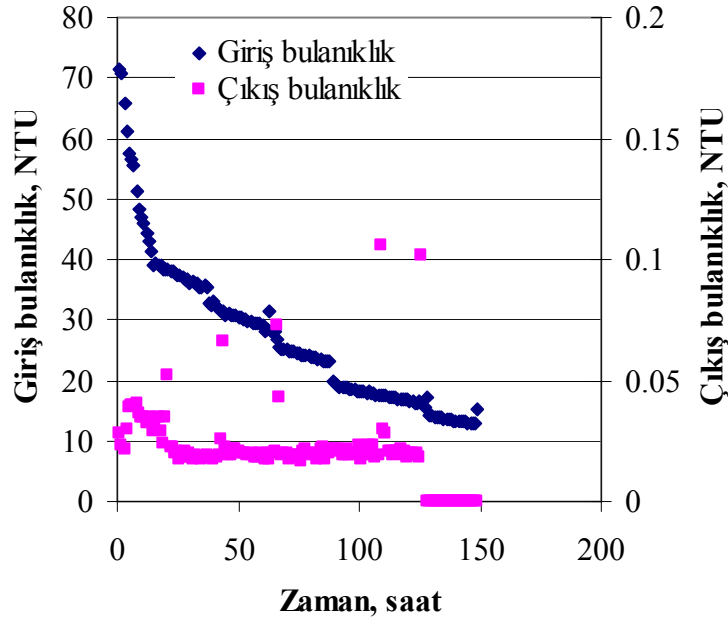
Şekil 4.96 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi öncesi ve sonrası TOK giderim verimlerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)



Şekil 4.97 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi öncesi ve sonrası UV₂₅₄ giderim verimlerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)



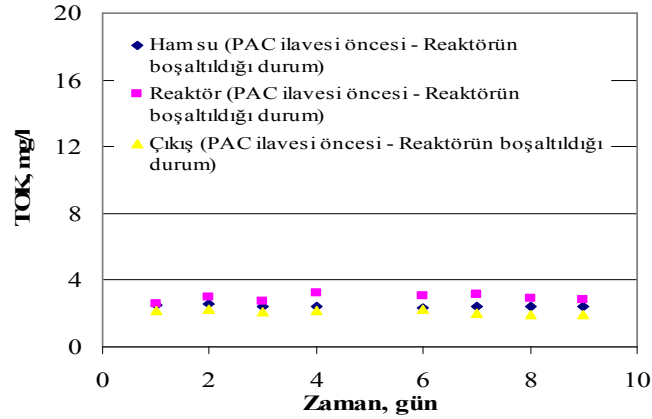
Şekil 4.98 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için basınç değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)



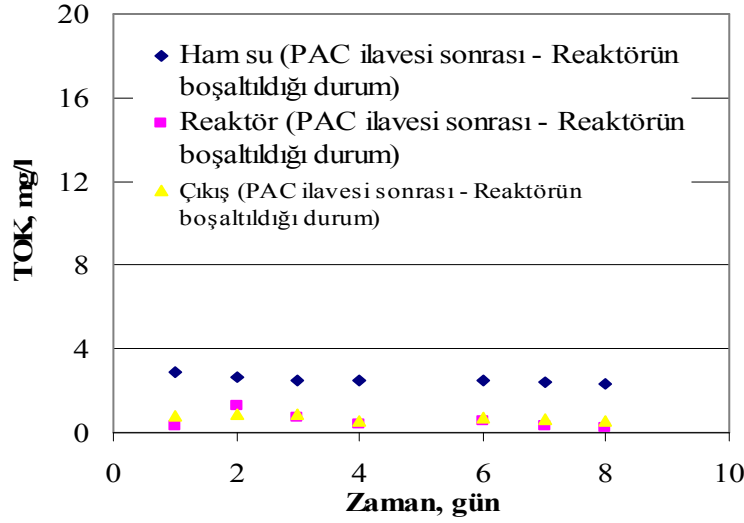
Şekil 4.99 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)

PAC Konsantrasyonu (25 gr/l PAC) (Her Gün İlave Edildiği, İlave Öncesi Birinci Reaktörün Boşaltılıp Tekrar Doldurulduğu Durum)

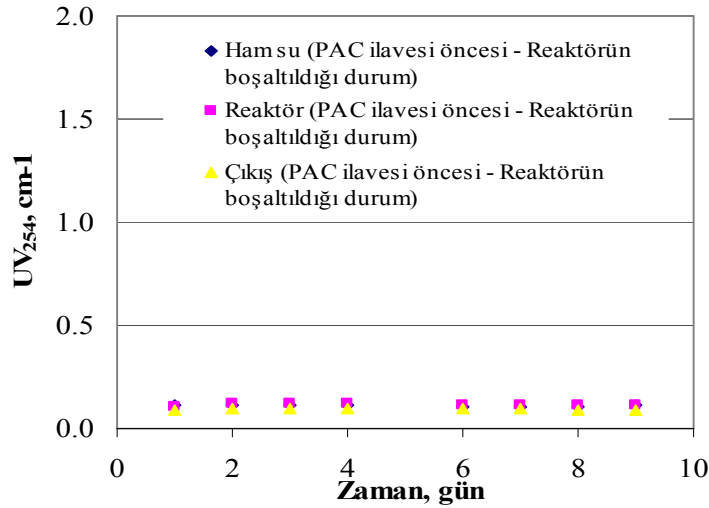
25 g/l PAC çözelti halinde deney süresince her gün belirli bir saatte birinci reaktöre verilmiştir. PAC ilavesinden önce her gün birinci reaktör boşaltılıp tekrar ham su ile doldurulmuştur. PAC ilavesinden önce ve sonra olmak üzere her gün iki ayrı numune alınmıştır. Bu çalışmaya ait TOK ve UV_{254} absorbans değerleri Şekil 4.100-4.103’de, giderme verimleri Şekil 4.104 ve 4.105’de, membranda basınç artışı Şekil 4.106’da ve bulanıklık değerleri ise Şekil 4.107’de gösterilmiştir. Bu durumda reaktör içi TOK konsantrasyonu artış oranının PAC ilavesi öncesinde % 19 ve UV_{254} absorbans değeri artış oranının % 1 olduğu görülmüştür. PAC ilavesi sonrasında ise reaktör içindeki TOK konsantrasyonunda % 88 ve UV_{254} absorbans değerinde ise % 61 oranında azalma görülmüştür. TOK ve UV_{254} giderme verimleri PAC ilavesi öncesinde % 26’lardan zamanla % 2’lere kadar azalmıştır. PAC ilavesi sonrasında ise % 77’lerden zamanla % 42 ‘lere kadar azalmıştır. Basınç değeri, ilk 50 saate hızlı artmış, daha sonra belirli zaman aralıklarında pik değerler yaparak artmaya devam etmiştir. Maksimum transmembran basıncı 120 mbar’ın altında kalmıştır. Giriş bulanıklık değeri 20 NTU’lardan 7 NTU’ya kadar azalmıştır. Çıkış bulanıklık değeri 0,1 NTU’nun altında kalmıştır.



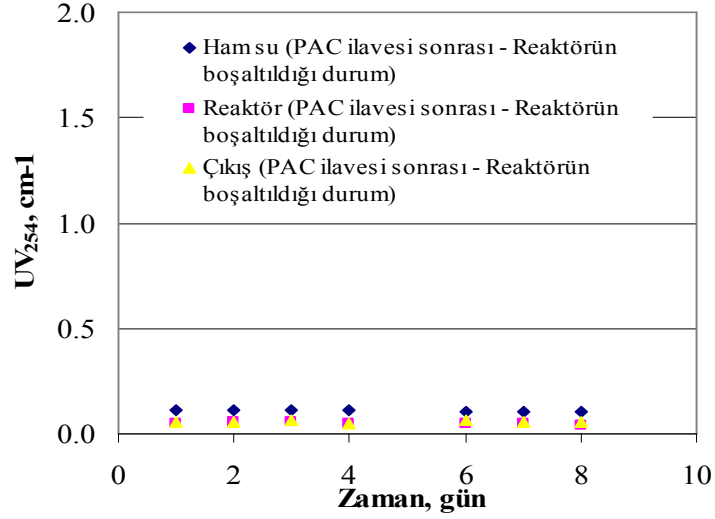
Şekil 4.100 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı ve her ilave öncesinde birinci reaktörün boşaltılıp tekrar ham su ile doldurulduğu durum için PAC ilavesi öncesi TOK değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)



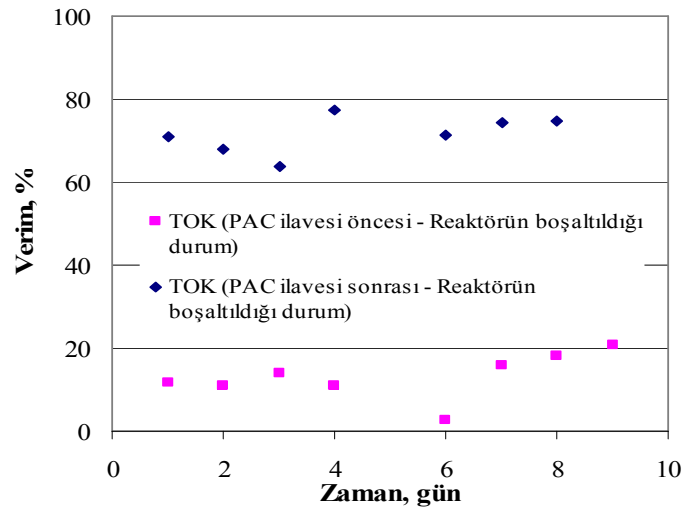
Şekil 4.101 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı ve her ilave öncesinde birinci reaktörün boşaltılıp tekrar ham su ile doldurulduğu durum için PAC ilavesi sonrası TOK değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)



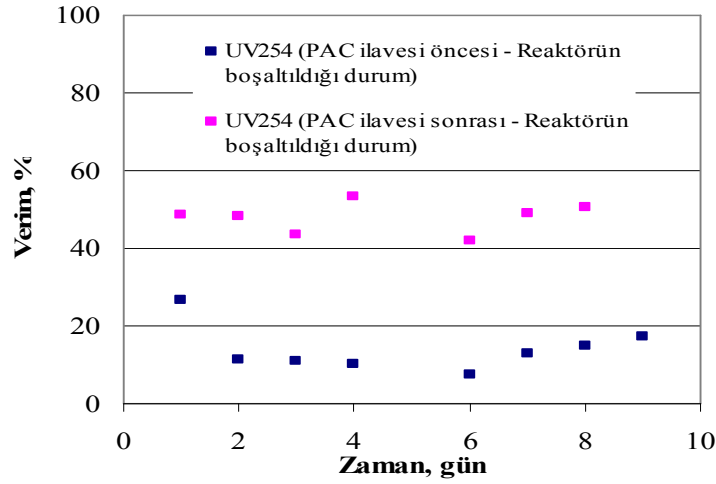
Şekil 4.102 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı ve her ilave öncesinde birinci reaktörün boşaltılıp tekrar doldurulduğu durum için PAC ilavesi öncesi UV₂₅₄ absorban değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)



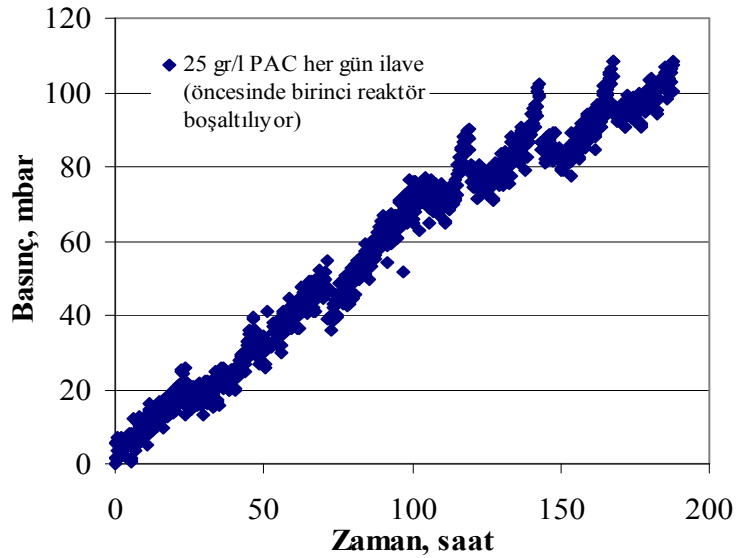
Şekil 4.103 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı ve her ilave öncesinde birinci reaktörün boşaltılıp tekrar doldurulduğu durum için PAC ilavesi sonrası UV_{254} absorban değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)



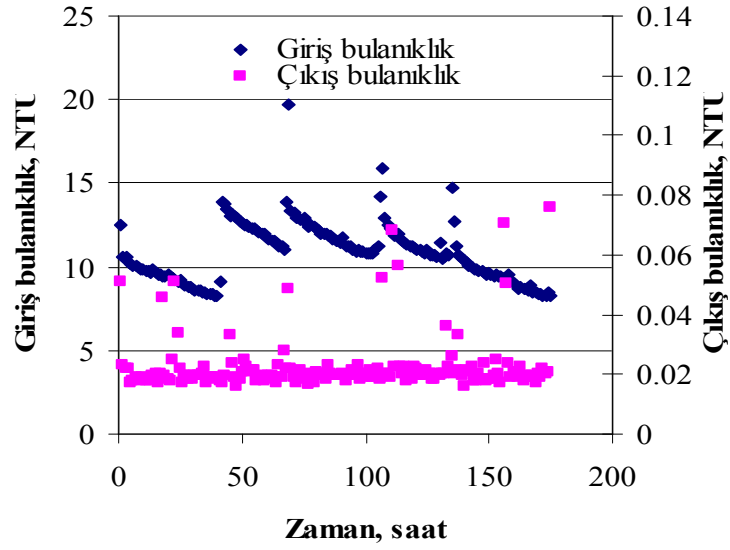
Şekil 4.104 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı ve her ilave öncesinde birinci reaktörün boşaltılıp tekrar doldurulduğu durum için PAC ilavesi öncesi ve sonrası TOK giderim verimlerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)



Şekil 4.105 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı ve her ilave öncesinde birinci reaktörün boşaltılıp tekrar doldurulduğu durum için PAC ilavesi öncesi ve sonrası UV₂₅₄ giderim verimlerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)



Şekil 4.106 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı ve her ilave öncesinde birinci reaktörün boşaltılıp tekrar doldurulduğu durum için basınç değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)



Şekil 4.107 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı ve her ilave öncesinde birinci reaktörün boşaltılıp tekrar doldurulduğu durum için bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)

Farklı PAC İlave Yöntemleri ile Yürütülen Deneylerin Karşılaştırılması

Pilot ölçekli sistemde Ömerli baraj suyu ile UF membranı kullanılarak 25 g/l de farklı PAC ilave yöntemlerinde yürütülen deneylere ait basınç artışı Şekil 4.108’de, TOK ve UV_{254} giderme verimleri sırasıyla Şekil 4.109–4.112 ve 4.113-4.116’da gösterilmiştir. En yüksek basınç artışı, PAC ‘ın deney başlangıcında tek seferde ilave edildiği durumda elde edilirken, en düşük basınç artışı PAC’ın her gün ilave öncesinde birinci reaktörün boşaltılıp tekrar ham su ile doldurulduğu durumda elde edilmiştir. En yüksek TOK ve UV_{254} giderme verimleri PAC ‘ın her gün ilave edildiği durumlarda gözlenmiştir. Çizelge 4.9’da reaktörlerdeki TOK konsantrasyonu ve UV_{254} absorban değeri artış yüzdeleri verilmiştir.

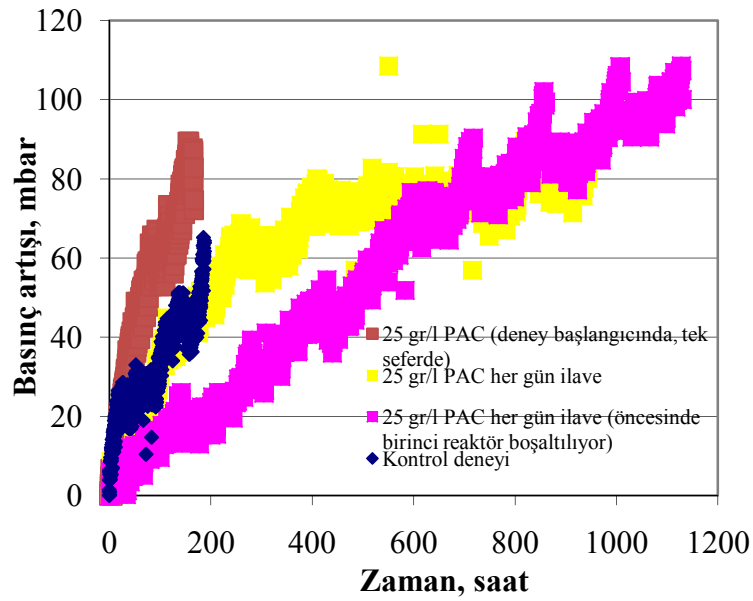
Çizelge 4.9 : Ömerli baraj suyu ve 25 gr/l PAC konsantrasyonu kullanılarak yürütülen UF membran deneylerinde farklı PAC ilave yöntemleri için reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV_{254} absorban değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri

Parametre	Kontrol deneyi	Deney başlangıcında, tek seferde ilave	Her gün ilave		Her gün ilave, ilave öncesi birinci reaktör boşaltılıp tekrar ham su ile dolduruluyor	
			PAC ilavesi öncesi	PAC ilavesi sonrası	PAC ilavesi öncesi	PAC ilavesi sonrası
TOK	33	80	39	11	19	1
UV_{254}	11	15	-	-	-	-

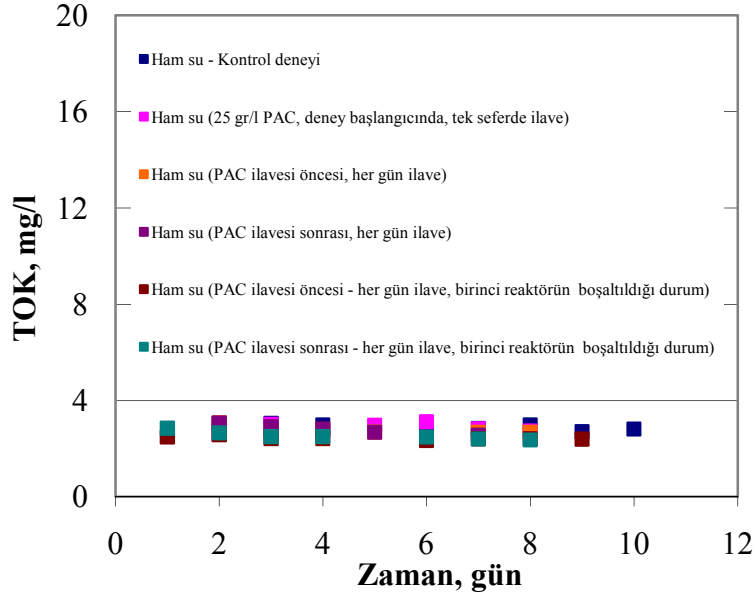
TOK ve UV_{254} absorbans giderme verimlerine bakıldığında PAC ilave yönteminin giderim verimine önemli etkisi görülmüştür. En iyi giderim verimleri PAC ‘ın her gün ilave edilmesiyle yürütülen deneylerde gözlenmiştir. Düşük giderme verimleri, göl suyunda bulunan organik madde karakterizasyonundan kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Çizelge 4.10’da verim değerlerinin deneyin başlangıcı ve sonundaki yüzde olarak değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.10 : TOK ve UV₂₅₄ absorbans giderim verimi değerlerinin deneyin başlangıcı ve sonundaki değerleri (%)

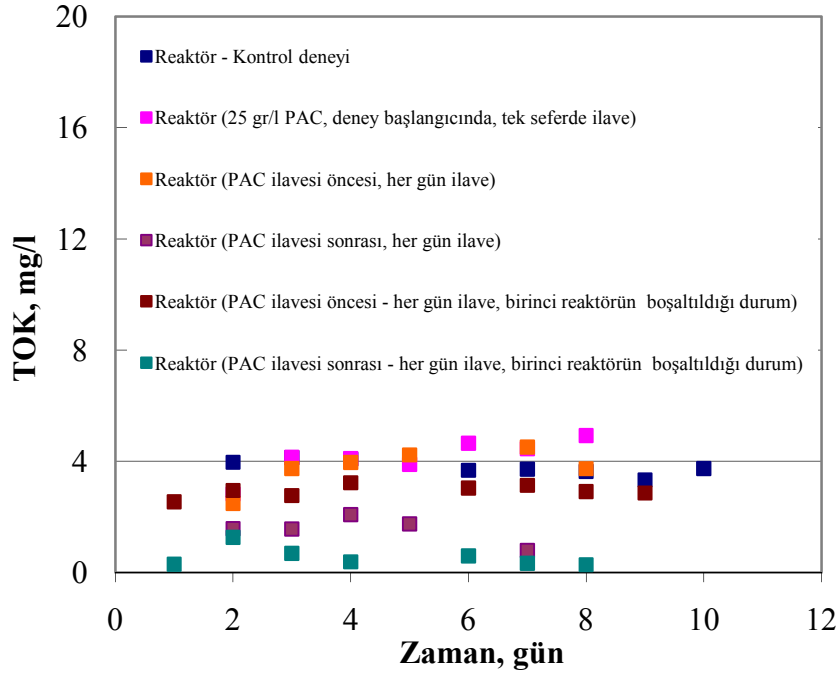
Parametre	Kontrol deneyi	Deney başlangıcında, tek seferde ilave	Her gün ilave		Her gün ilave, ilave öncesi birinci reaktör boşaltılıp tekrar ham su ile dolduruluyor	
			PAC ilavesi öncesi	PAC ilavesi sonrası	PAC ilavesi öncesi	PAC ilavesi sonrası
TOK	7–14	20–10	58–21	82–68	12–21	71–75
UV ₂₅₄	11–9	8–1	33–15	59–46	27–17	49–50



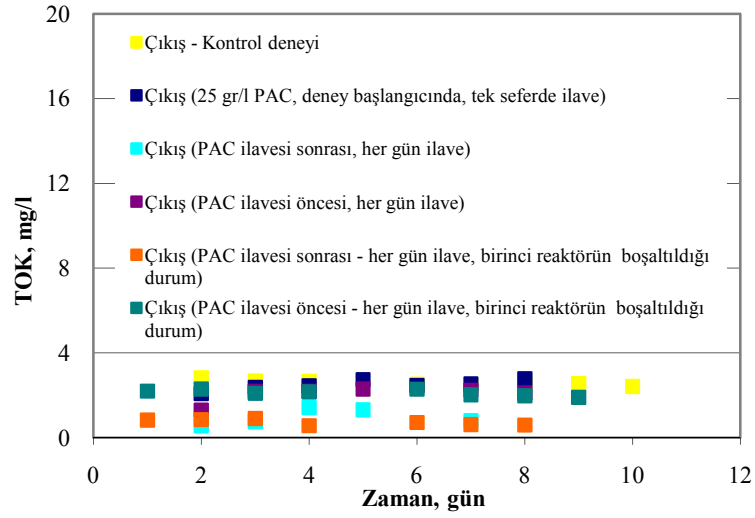
Şekil 4.108 : Farklı PAC ilave yöntemleri için basınç değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF)



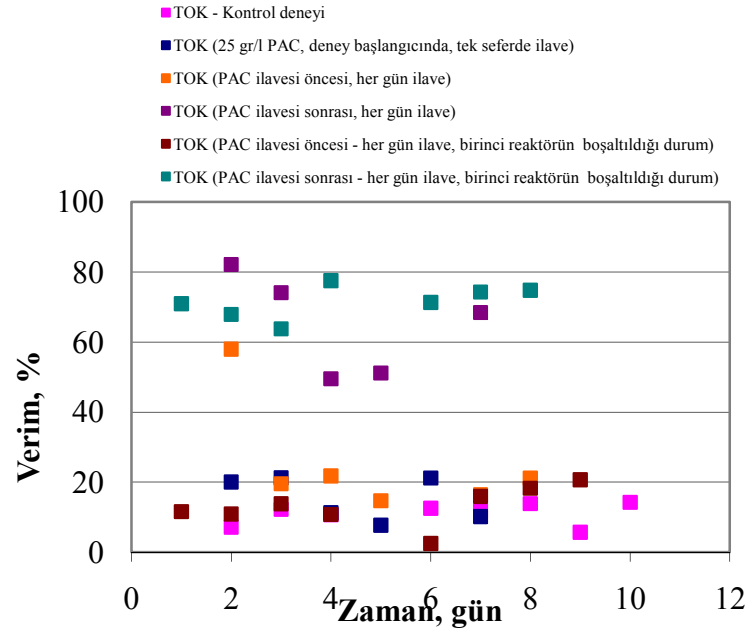
Şekil 4.109 : Farklı PAC konsantrasyonları için ham su TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF)



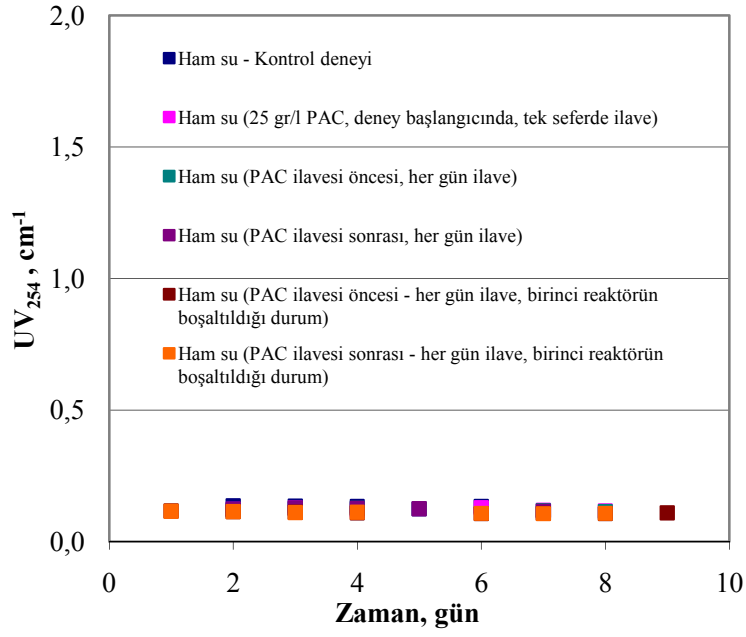
Şekil 4.110 : Farklı PAC konsantrasyonları için reaktör içi TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF)



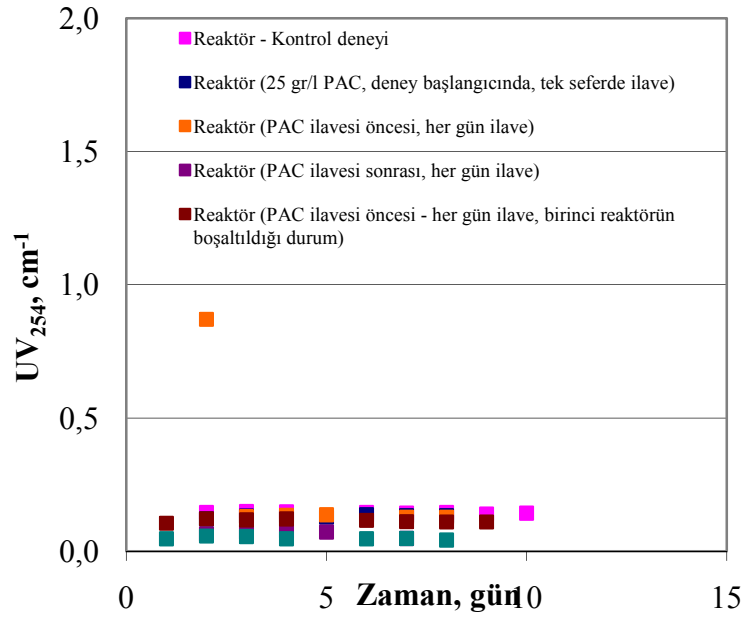
Şekil 4.111 : Farklı PAC ilave yöntemleri için çıkış TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF)



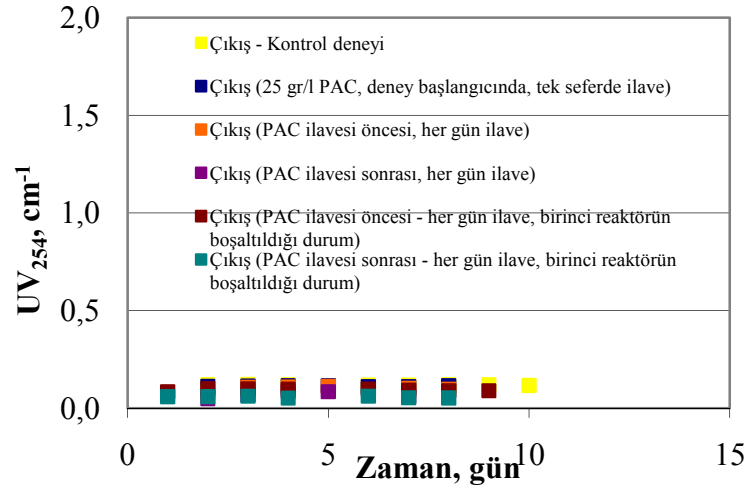
Şekil 4.112 : Farklı PAC ilave yöntemleri için TOK giderim veriminin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF)



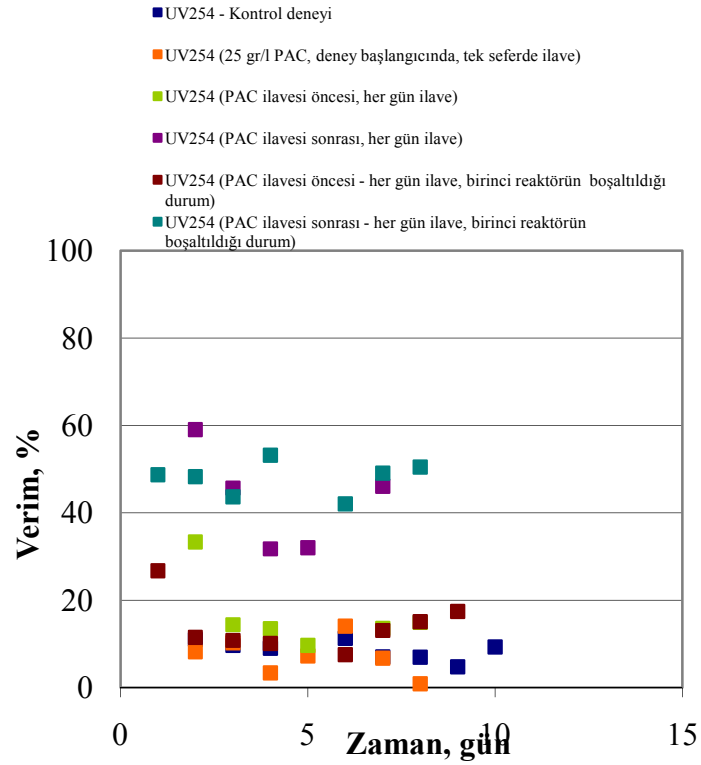
Şekil 4.113 : Farklı PAC ilave yöntemleri için ham su UV₂₅₄ konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF)



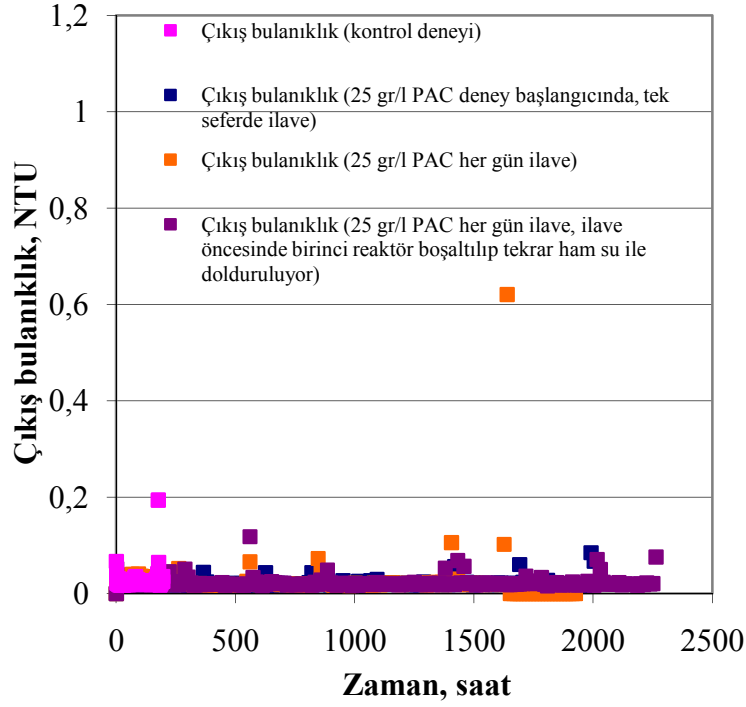
Şekil 4.114 : Farklı PAC ilave yöntemleri için reaktör içi UV₂₅₄ konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF)



Şekil 4.115 : Farklı PAC ilave yöntemleri için içi UV_{254} konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF)



Şekil 4.116 : Farklı PAC ilave yöntemleri için UV_{254} giderim veriminin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF)



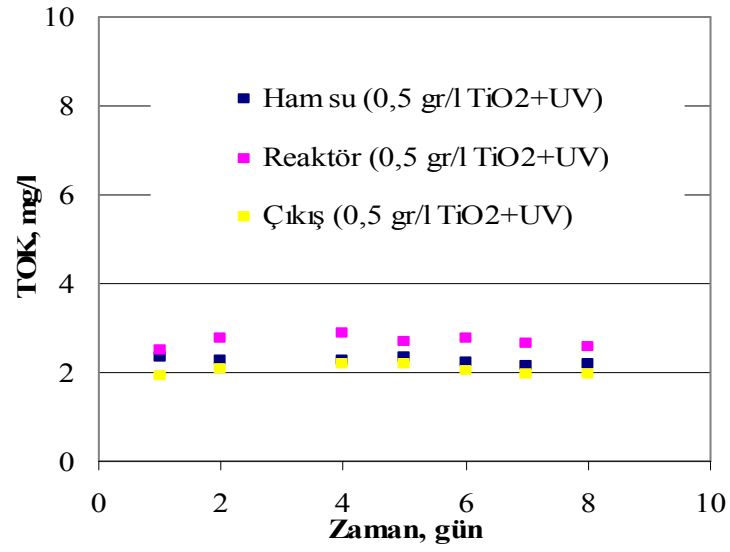
Şekil 4.117 : Farklı PAC ilave yöntemleri için çıkış bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF)

c) UV+TiO₂ ile Yapılan Çalışmalar

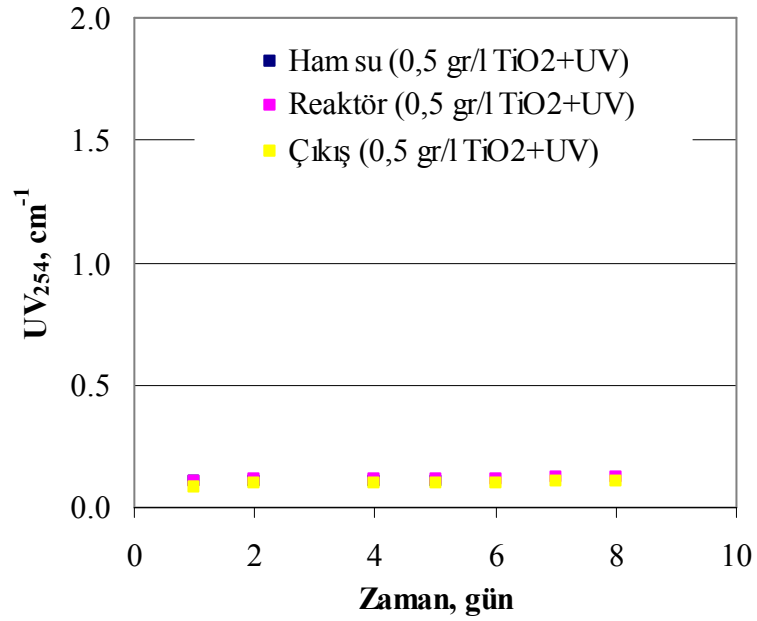
Ömerli baraj suyu ile UV birlikte kullanılarak farklı TiO₂ konsantrasyonlarında çalışmalar yürütülmüştür.

UV+ 0,5 g/l TiO₂

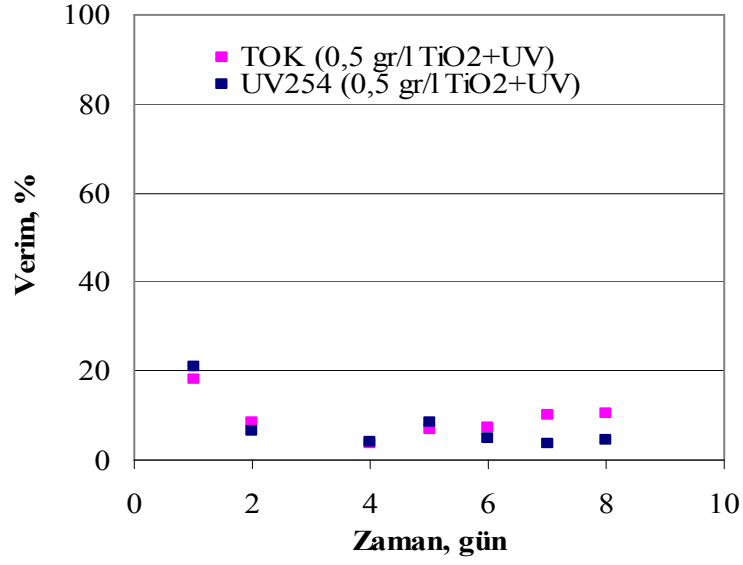
Birinci reaktöre 40 W'lık UV lamba yerleştirildikten sonra 0,5 g/l TiO₂ tek seferde verilmiştir. UV+ 0,5 g/l TiO₂ konsantrasyonunun olduğu çalışmaya ait TOK ve UV₂₅₄ absorbans değerleri Şekil 4.118 ve 4.119'da, giderim verimleri Şekil 4.120'de, membranda basınç artışı Şekil 4.121'de ve bulanıklık değerleri ise Şekil 4.122'de gösterilmiştir. Bu durumda reaktör içindeki TOK konsantrasyonu artış oranının % 17 ve UV₂₅₄ absorbans değeri artış oranının % 10 olduğu görülmüştür. TOK ve UV₂₅₄ giderme verimleri deney süresince % 25'in altında kalmıştır. Basınç değeri, 90 mbar'a kadar artmıştır. Giriş bulanıklık değeri 3-10 NTU aralığında değişirken, çıkış bulanıklık değeri 0,08 NTU'nun altında kalmıştır.



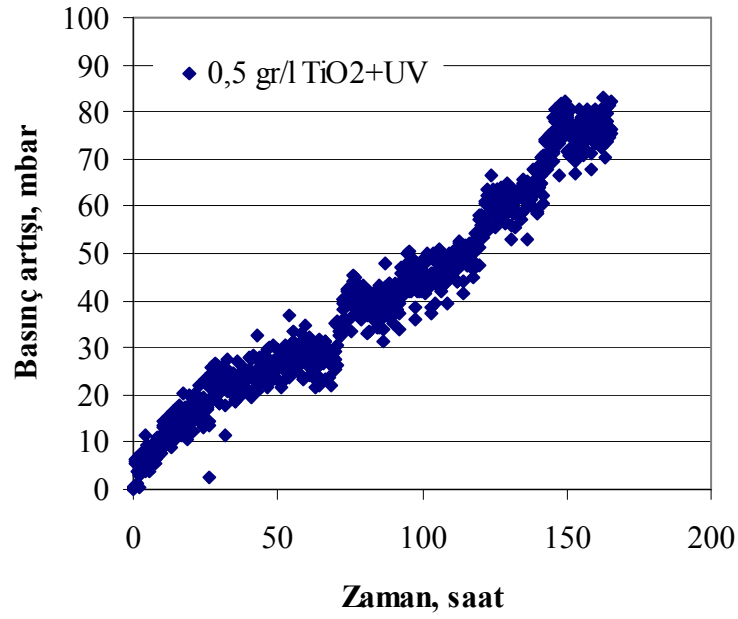
Şekil 4.118 : UV + 0,5 g/l TiO₂ konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için TOK değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)



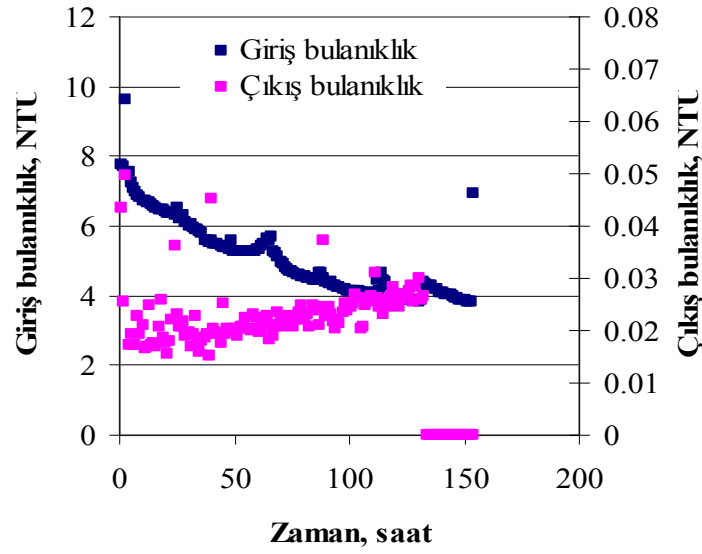
Şekil 4.119 : UV + 0,5 g/l TiO₂ konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için UV₂₅₄ değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)



Şekil 4.120 : UV + 0,5 g/l TiO₂ konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için giderim verimlerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)



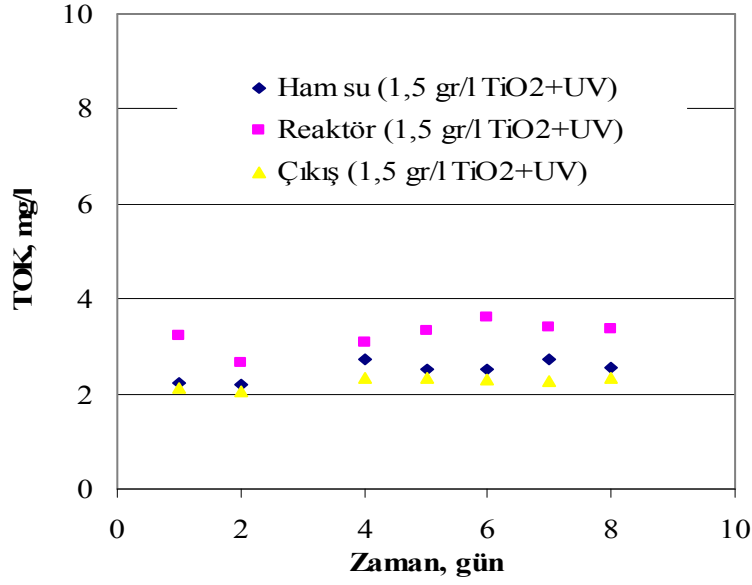
Şekil 4.121 : UV + 0,5 g/l TiO₂ konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için basınç değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)



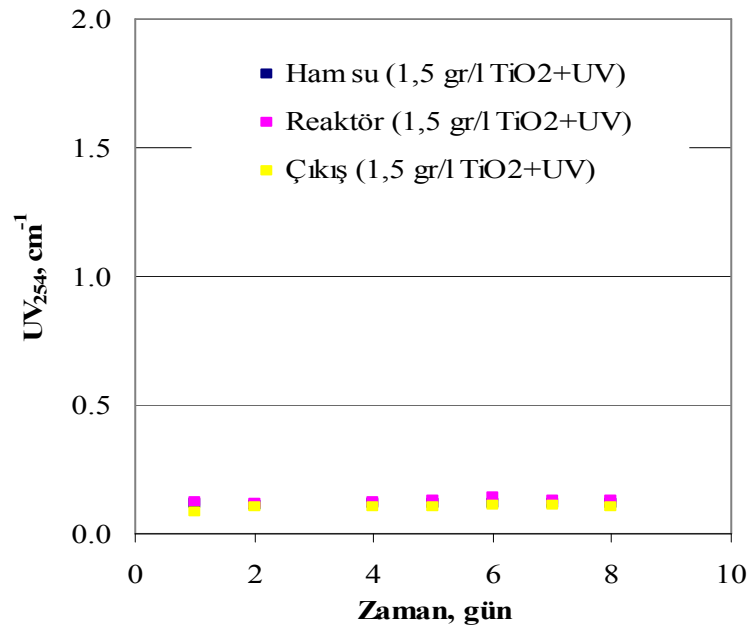
Şekil 4.122 : UV + 0,5 g/l TiO₂ konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)

UV+ 1,5 g/l TiO₂

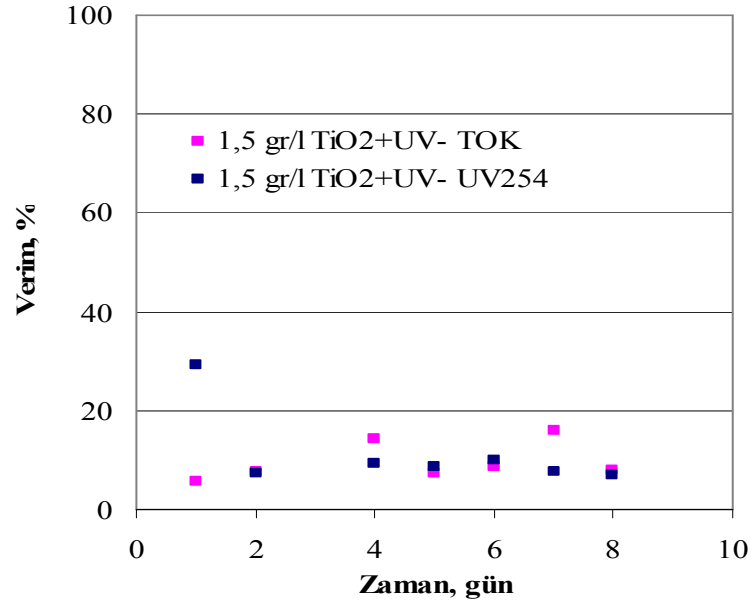
Birinci reaktöre 40 W'lık UV lamba yerleştirildikten sonra 1,5 g/l TiO₂ tek seferde verilmiştir. UV+ 1,5 g/l TiO₂ konsantrasyonunun olduğu çalışmaya ait TOK ve UV₂₅₄ absorbans değerleri Şekil 4.123 ve 4.124'de, giderme verimleri Şekil 4.125'de, membranda basınç artışı Şekil 4.126'da ve bulanıklık değerleri ise Şekil 4.127'de gösterilmiştir. Bu durumda reaktör içindeki TOK konsantrasyonu artış oranının % 45 ve UV₂₅₄ absorbans değeri artış oranının % 14 olduğu görülmüştür. TOK ve UV₂₅₄ giderme verimleri deney süresince % 20'nin altında kalmıştır. Basınç değeri, başlangıçta hızlı artarken daha sonra azalan bir hızla 40 mbar seviyelerine kadar ulaşmıştır. Giriş bulanıklık değerleri başlangıçta 1,7 NTU'larda iken, yeni gelen göl suyunun karışımı ile 9 NTU'lara kadar artmış ve zamanla 1,9 NTU'lara kadar yine azalmıştır. Çıkış bulanıklık değeri bu giriş bulanıklık salınımlarından etkilenmemiş ve 0,06 NTU'nun altında kalmıştır.



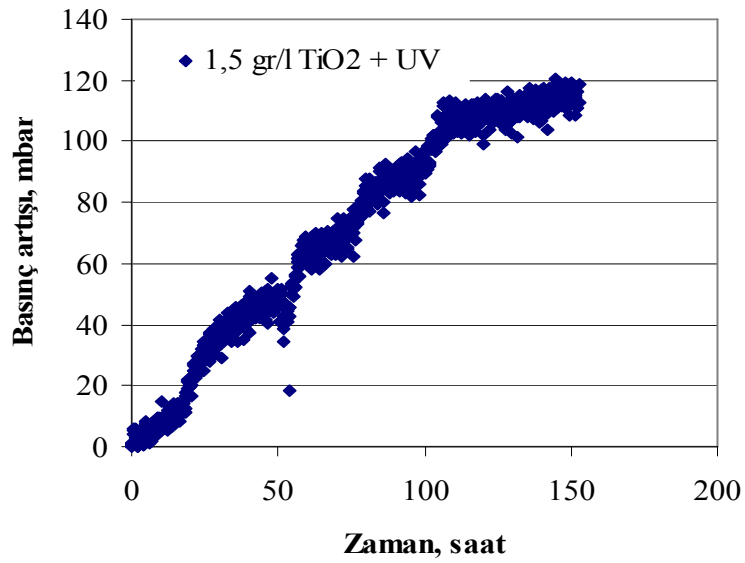
Şekil 4.123 : UV + 1,5 g/l TiO₂ konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için TOK değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)



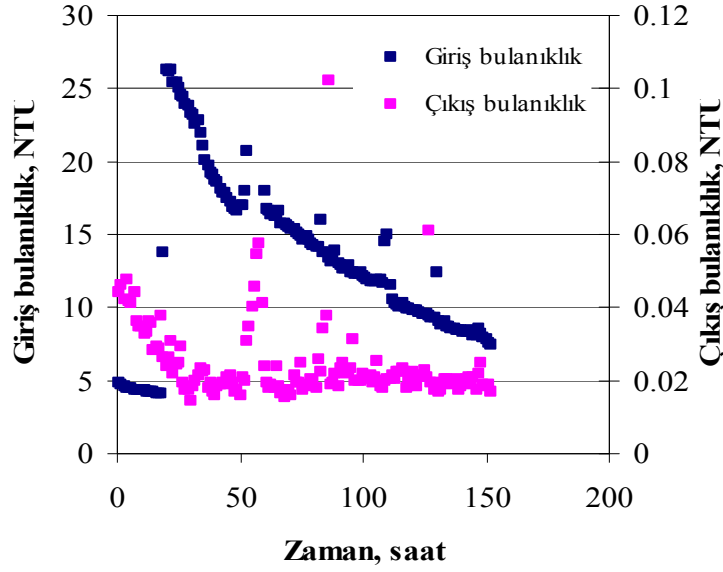
Şekil 4.124 : UV + 1,5 g/l TiO₂ konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için UV₂₅₄ değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)



Şekil 4.125 : UV + 1,5 g/l TiO₂ konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için giderim verimlerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, debi: 30 l/st)



Şekil 4.126 : UV + 1,5 g/l TiO₂ konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için basınç değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)



Şekil 4.127 : UV+1,5 g/l TiO₂ konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)

Farklı UV+TiO₂ Konsantrasyonlarında Yürütülen Deneylerin Karşılaştırılması

Pilot ölçekli sistemde Ömerli baraj suyu ile UF membranı kullanılarak 0,5 g/l ve 1,5 g/l olmak üzere iki farklı UV/TiO₂ konsantrasyonlarında deneyler yürütülmüştür. Bu deneylere ait basınç artışı Şekil 4.128’de, TOK ve UV₂₅₄ giderme verimleri sırasıyla Şekil 4.129-4.132 ve 4.133-4.136’da gösterilmiştir. Daha düşük basınç artışı TiO₂ konsantrasyonunun 0,5 g/l olduğu durumda elde edilmiştir. TOK ve UV₂₅₄ giderme verimleri açısından ise TiO₂ konsantrasyonunun önemli bir etkisi görülmemiştir.

Çizelge 4.11’de reaktörlerdeki TOK konsantrasyonu ve UV₂₅₄ absorbans değeri artış yüzdeleri verilmiştir. Buna göre, TiO₂ konsantrasyonuna bağlı olarak reaktör içi TOK ve UV₂₅₄ absorbans değerleri artmıştır.

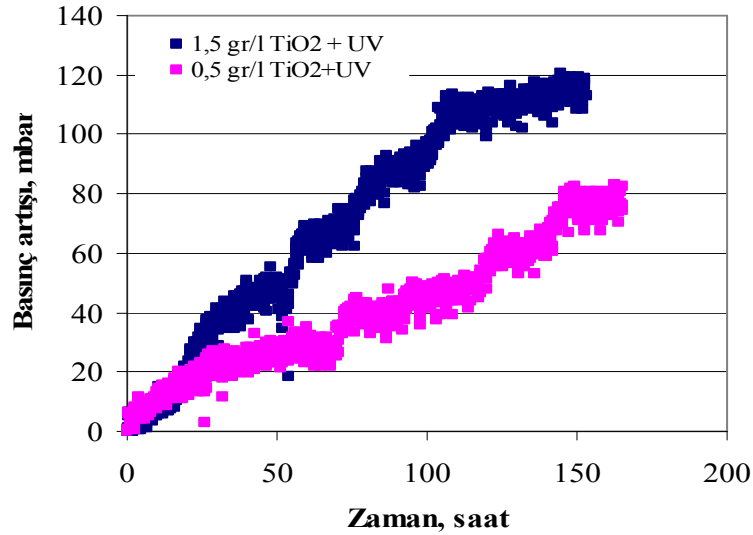
Çizelge 4.11 : Ömerli baraj suyu kullanılarak yürütülen UF membran deneylerinde farklı TiO_2 konsantrasyonları için reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV_{254} absorban değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri

Parametre	UV + 0,5 g/l TiO_2	UV + 1,5 g/l TiO_2
TOK	17	32
UV_{254}	10	12

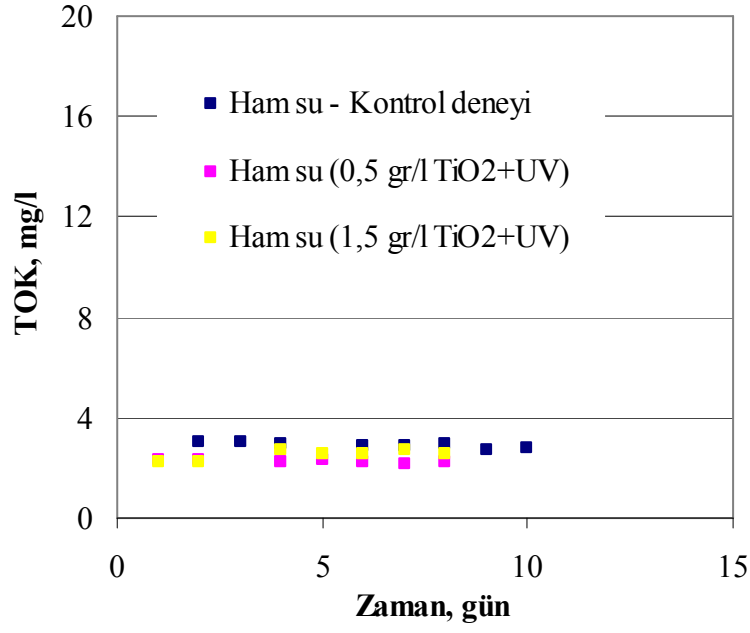
TOK ve UV_{254} absorban giderme verimlerine bakıldığında TiO_2 konsantrasyonunun giderme verimine etkisi olmadığı gözlenmiştir. Düşük giderme verimleri, göl suyunda bulunan organik madde karakterizasyonundan kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Çizelge 4.12’de verim değerlerinin deneyin başlangıcı ve sonundaki yüzde olarak değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.12 : TOK ve UV_{254} giderme verimi değerlerinin deneyin başlangıcı ve sonundaki değerleri (%)

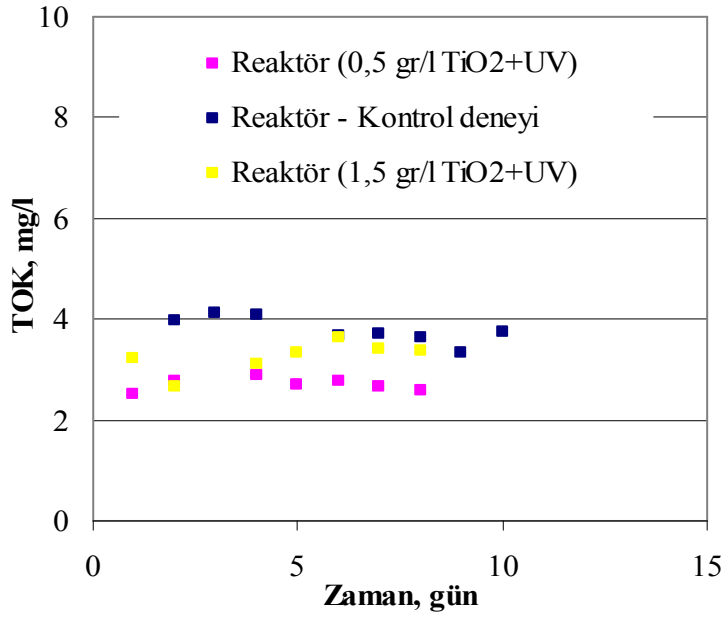
Parametre	UV + 0,5 g/l TiO_2	UV + 1,5 g/l TiO_2
TOK	18-10	5-7
UV_{254}	21-4,5	29-7



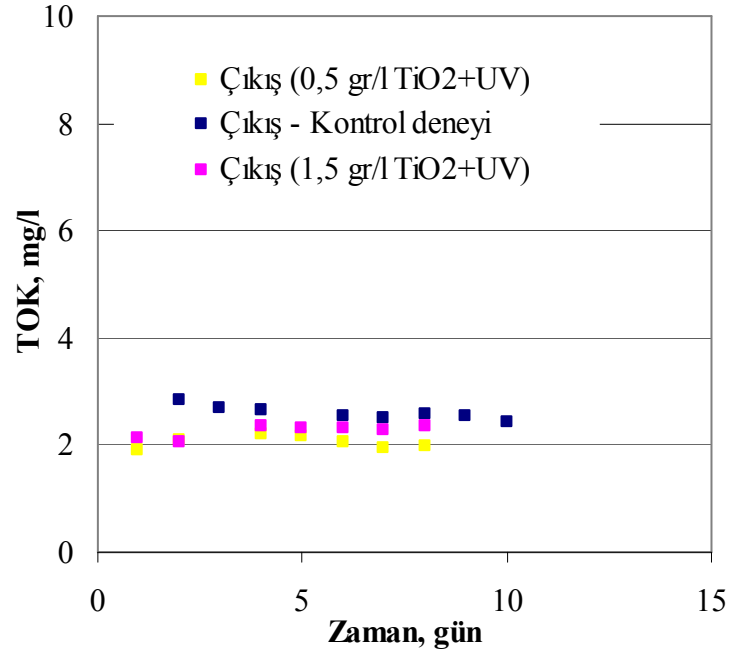
Şekil 4.128 : Farklı UV+ TiO_2 konsantrasyonları için basınç değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF)



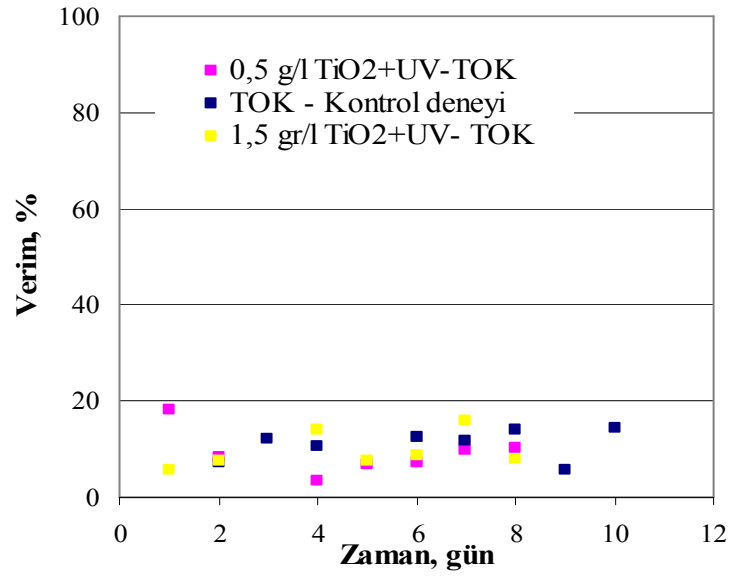
Şekil 4.129 : Farklı UV+TiO₂ konsantrasyonları için ham su TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF)



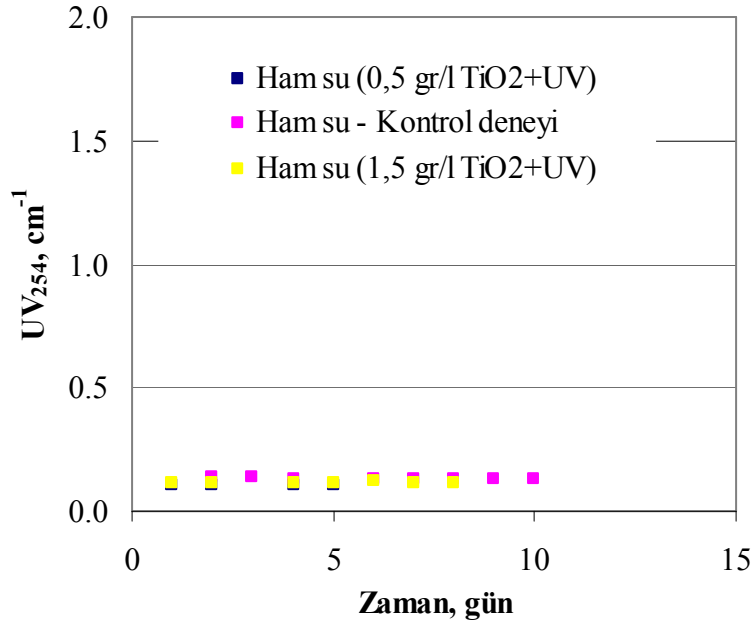
Şekil 4.130 : Farklı UV+TiO₂ konsantrasyonları için reaktör içi TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF)



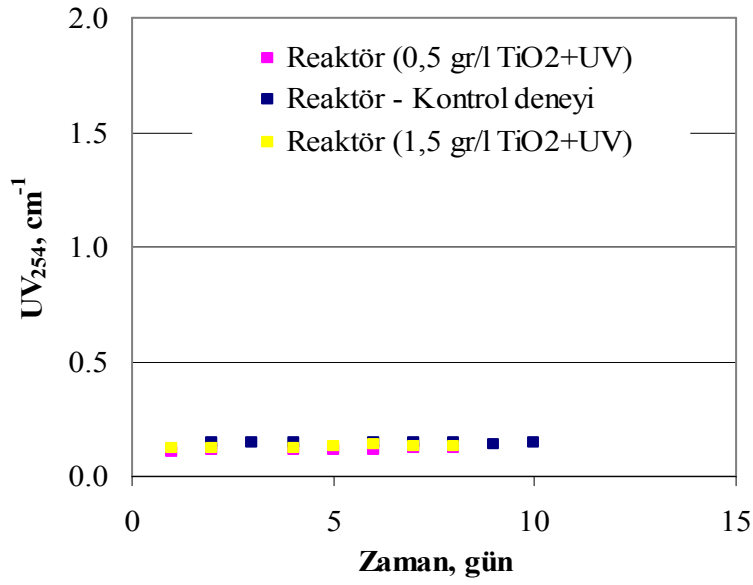
Şekil 4.131 : Farklı UV+TiO₂ konsantrasyonları için çıkış TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF)



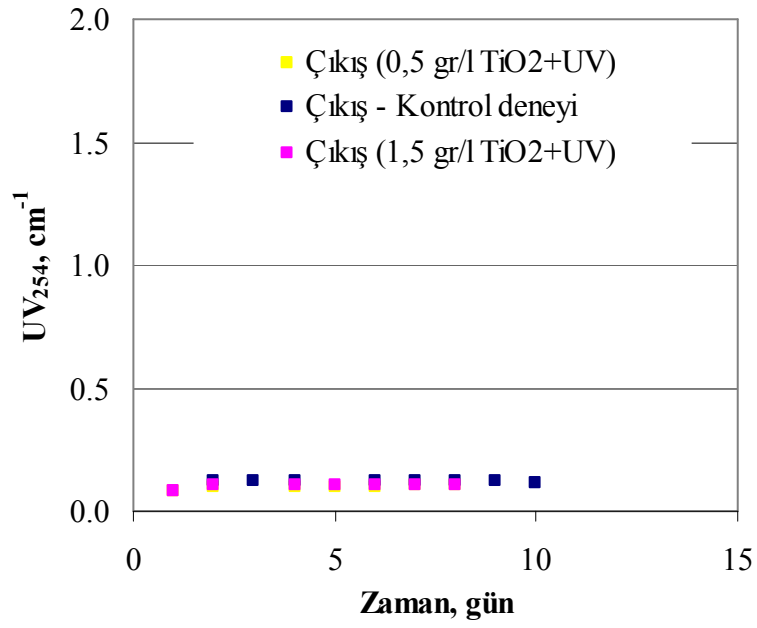
Şekil 4.132 : Farklı UV+TiO₂ konsantrasyonları için TOK giderim veriminin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF)



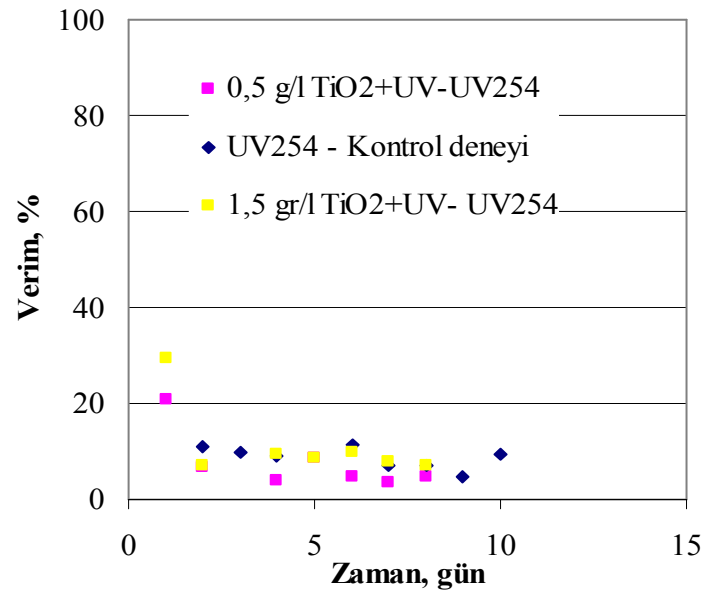
Şekil 4.133 : Farklı UV+TiO₂ konsantrasyonları için ham su UV₂₅₄ absorban değerlerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF)



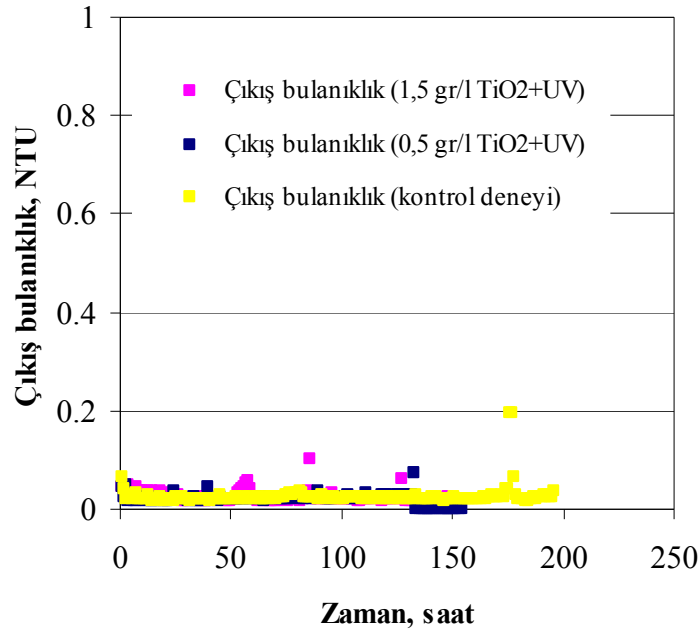
Şekil 4.134 : Farklı UV+TiO₂ konsantrasyonları için reaktör içi UV₂₅₄ absorban değerlerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF)



Şekil 4.135 : Farklı UV+TiO₂ konsantrasyonları için çıkış UV₂₅₄ absorban değerlerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF)



Şekil 4.136 : Farklı UV+TiO₂ konsantrasyonları için UV₂₅₄ giderim veriminin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF)



Şekil 4.137 : Farklı UV+TiO₂ konsantrasyonları için çıkış bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, UF)

4.1.3 Büyükçekmece göl suyunda yapılan deneyler

Büyük çekmece göl suyunun kullanıldığı deneylerde, farklı ilave yöntemleri ile toz aktif karbon ve farklı konsantrasyonlarda UV/TiO₂ kullanımının membran tıkanıklığına olan etkisi araştırılmıştır.

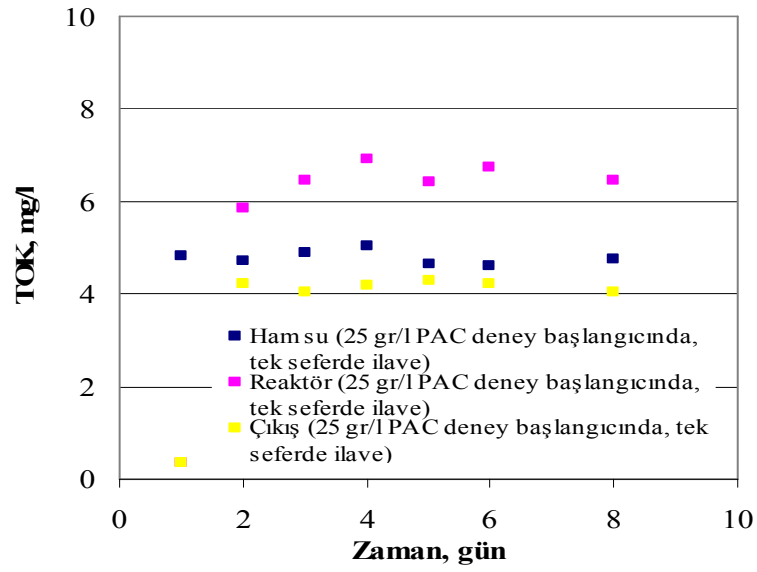
a) Toz Aktif Karbon (PAC) İlavesinin Araştırılması

Farklı toz aktif karbon (PAC) ilave şekilleri ile değişik çalışmalar yürütülmüştür.

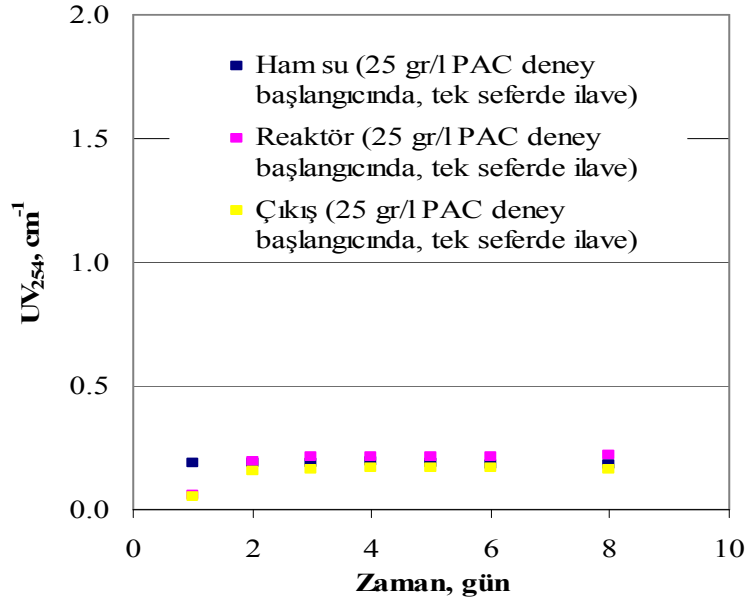
PAC Konsantrasyonu (25 gr/l PAC) (Deney Başlangıcında Tek Seferde İlave Edildiği Durum)

25 g/l PAC çözelti halinde deney başlangıcında, tek seferde birinci reaktöre verilmiştir. 25 g/l PAC konsantrasyonunun olduğu çalışmaya ait TOK ve UV₂₅₄ absorbans değerleri Şekil 4.138 ve 4.139’da, giderme verimleri Şekil 4.140’da, membranda basınç artışı Şekil 4.141’de ve bulanıklık değerleri ise Şekil 4.142’de

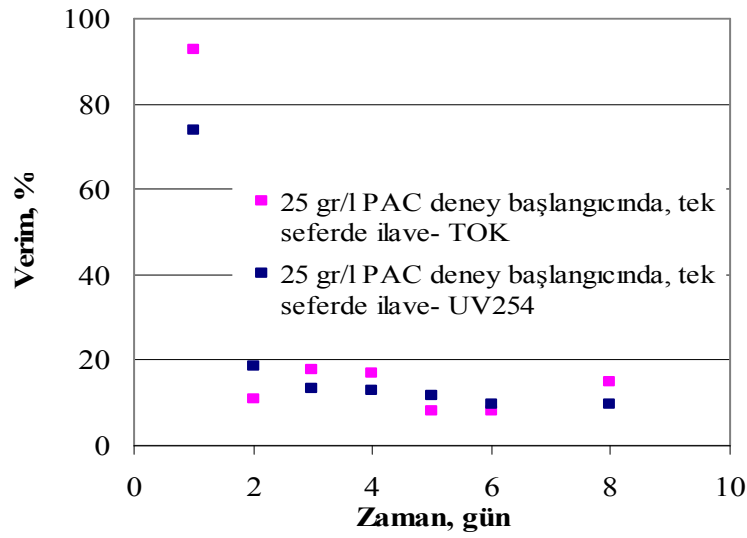
gösterilmiştir. Bu durumda reaktör içindeki TOK konsantrasyonu artış oranının % 35 ve UV_{254} absorbans değeri artış oranının % 19 olduğu görülmüştür. TOK ve UV_{254} giderme verimleri % 90-70'lerden zamanla % 8'lere kadar azalmıştır. Basınç değeri hızla artmış ve 200 mbar'ın altında kalmıştır. Giriş bulanıklık değeri 23 NTU'lardan 3 NTU'ya kadar azalmıştır. Çıkış bulanıklık değeri ise 0,05 NTU'nun altında kalmıştır.



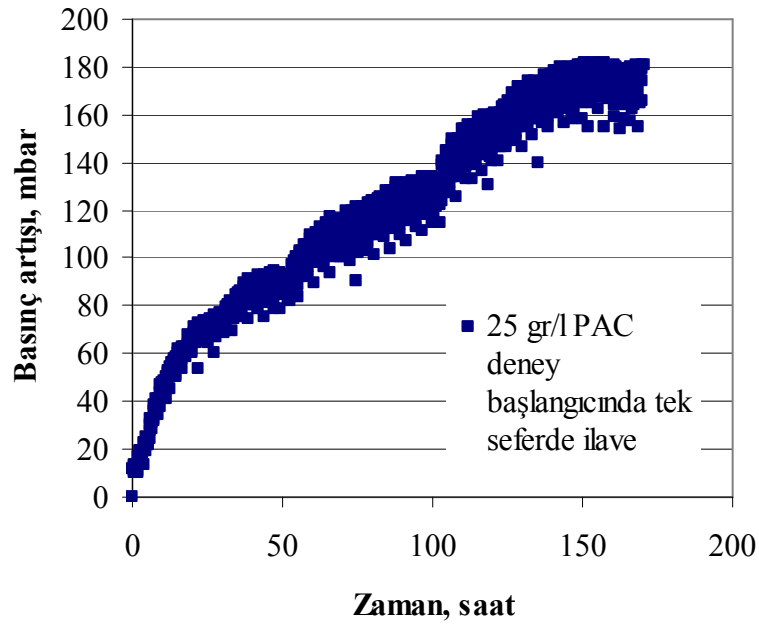
Şekil 4.138 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak deney başlangıcında, tek seferde ilave edilerek çalıştırıldığı durum için TOK değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)



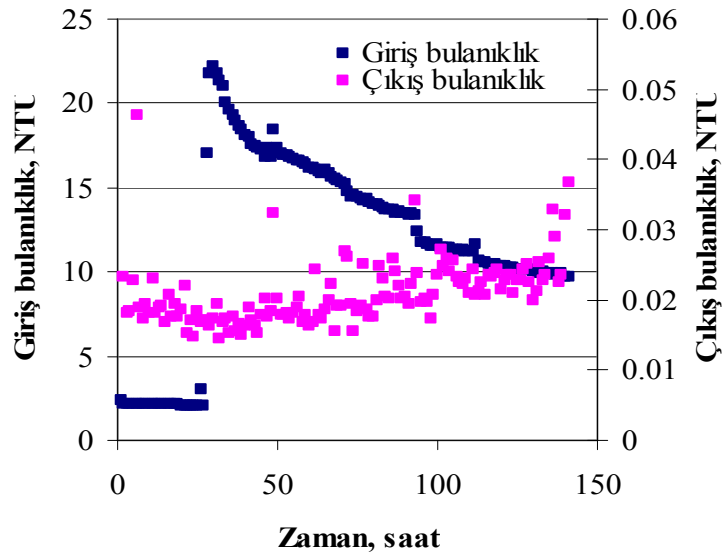
Şekil 4.139 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak deney başlangıcında, tek seferde ilave edilerek çalıştırıldığı durum için UV₂₅₄ absorban değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)



Şekil 4.140 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak deney başlangıcında, tek seferde ilave edilerek çalıştırıldığı durum için giderim verimlerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)



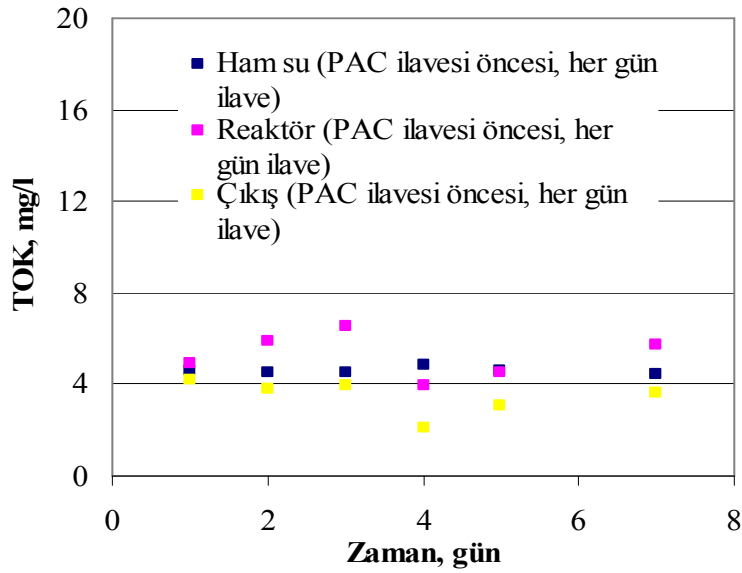
Şekil 4.141 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, deney başlangıcında, tek seferde ilave edilerek çalıştırıldığı durum için basınç değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)



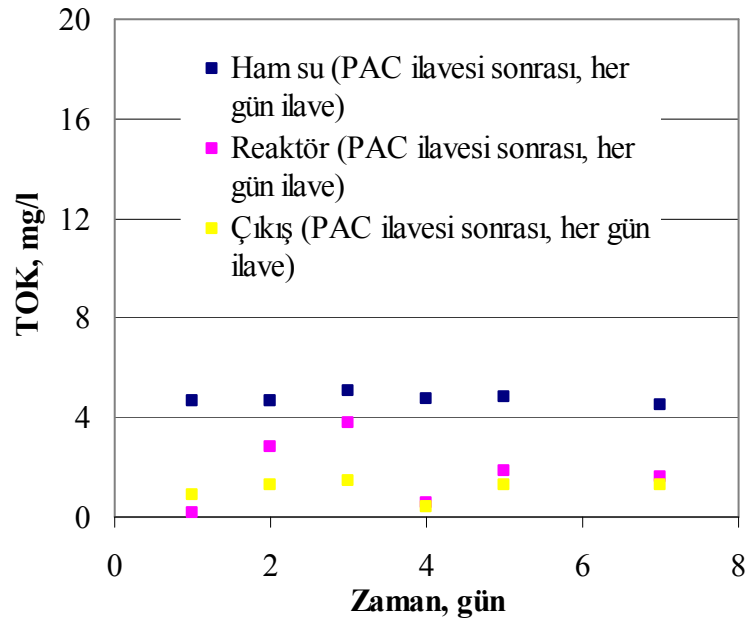
Şekil 4.142 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, deney başlangıcında, tek seferde ilave edilerek çalıştırıldığı durum için bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)

PAC Konsantrasyonu (25 gr/l PAC) (Her Gün İlave Edildiği Durum)

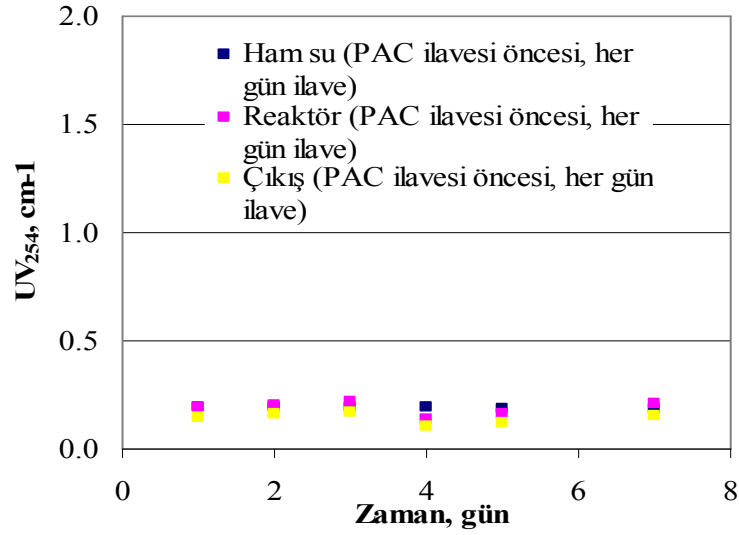
25 g/l PAC çözelti halinde deney süresince her gün belirli bir saatte birinci reaktöre verilmiştir. PAC ilavesinden önce ve sonra olmak üzere her gün iki ayrı numune alınmıştır. Bu çalışmaya ait TOK ve UV_{254} absorbans değerleri Şekil 4.143-4.146'da, giderme verimleri Şekil 4.147 ve 4.148'de, membranda basınç artışı Şekil 4.149'da ve bulanıklık değerleri ise Şekil 4.150'de gösterilmiştir. Bu durumda reaktör içindeki TOK konsantrasyonu artış oranının PAC ilavesi öncesinde % 29 ve UV_{254} absorbans değeri artış oranının %10 olduğu görülmüştür. PAC ilavesi sonrasında ise reaktör içindeki TOK konsantrasyonunda % 61 ve UV_{254} absorbans değerinde ise % 50 oranında azalma görülmüştür. TOK ve UV_{254} giderme verimleri PAC ilavesi öncesinde sürekli değişken olduğu görülmüştür. PAC ilavesi sonrasında ise % 80'lerden zamanla % 50 'lere kadar azalmıştır. Basınç değeri ilk 50 saate hızlı artmış, daha sonra azalmış ve 100. saatten itibaren tekrar hızla artmıştır. Maksimum transmembran basıncı 250 mbar'ın altında kalmıştır. Giriş bulanıklık değeri 8 NTU'lardan 4 NTU'ya kadar azalmıştır. Çıkış bulanıklık değeri ise 0,035 NTU'nun altında kalmıştır.



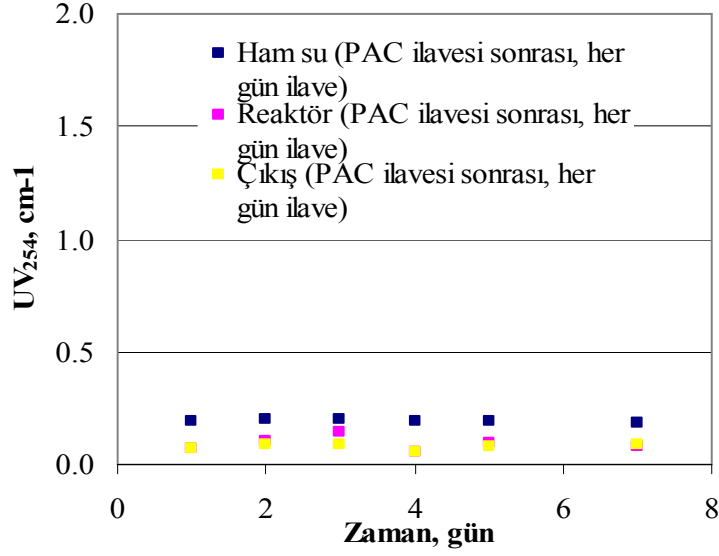
Şekil 4.143 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi öncesi TOK değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)



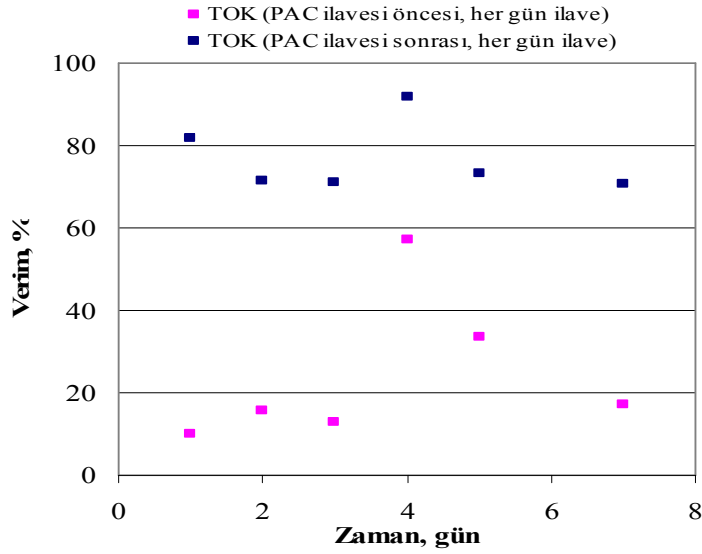
Şekil 4.144 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi sonrası TOK değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)



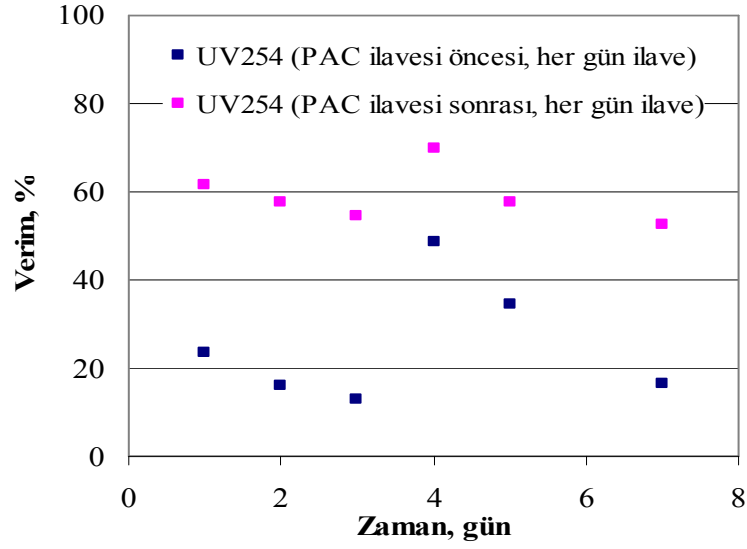
Şekil 4.145 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi öncesi UV_{254} absorban değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)



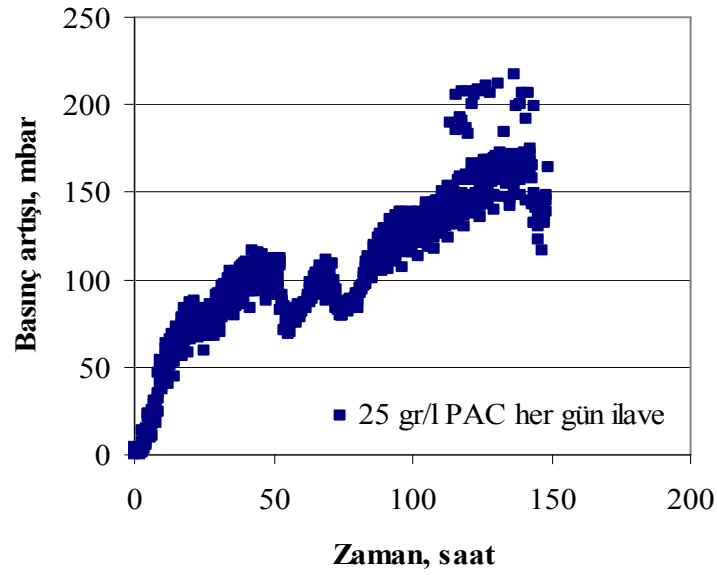
Şekil 4.146 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi sonrası UV_{254} absorban değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)



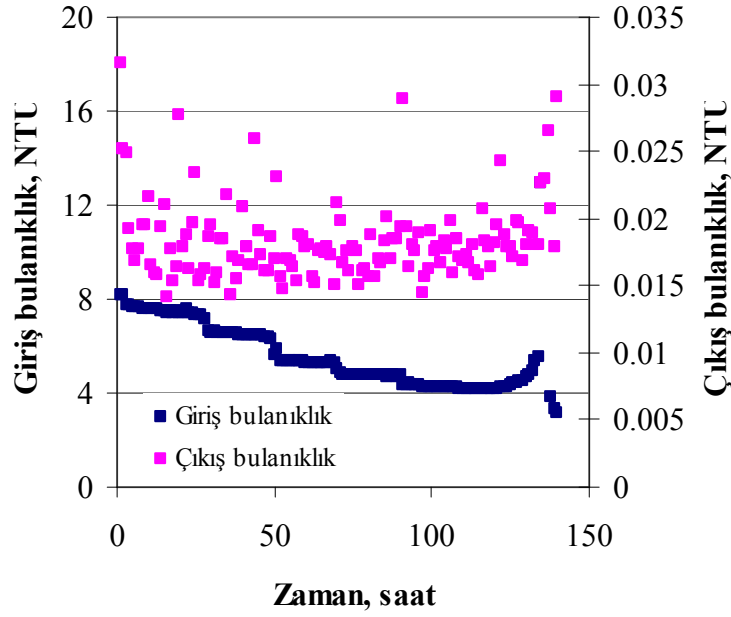
Şekil 4.147 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi öncesi ve sonrası TOK giderim verimlerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)



Şekil 4.148 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi öncesi ve sonrası UV₂₅₄ giderim verimlerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)



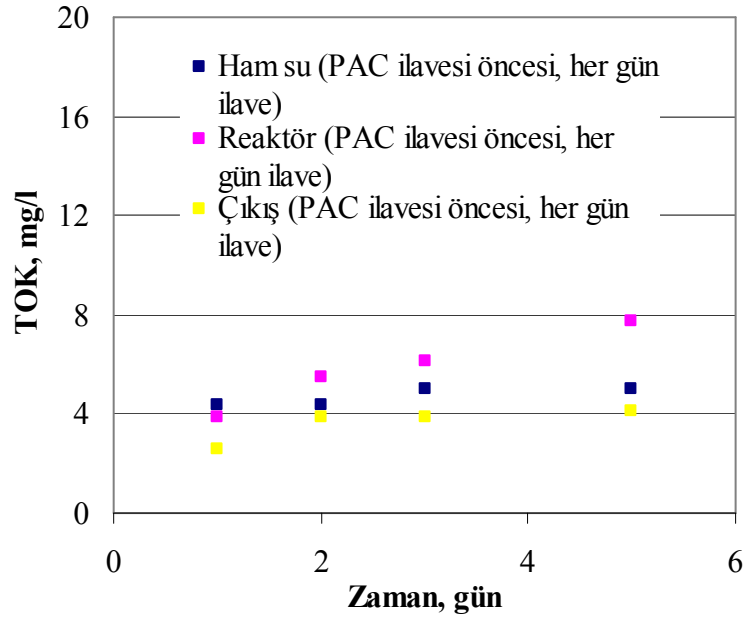
Şekil 4.149 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için basınç değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)



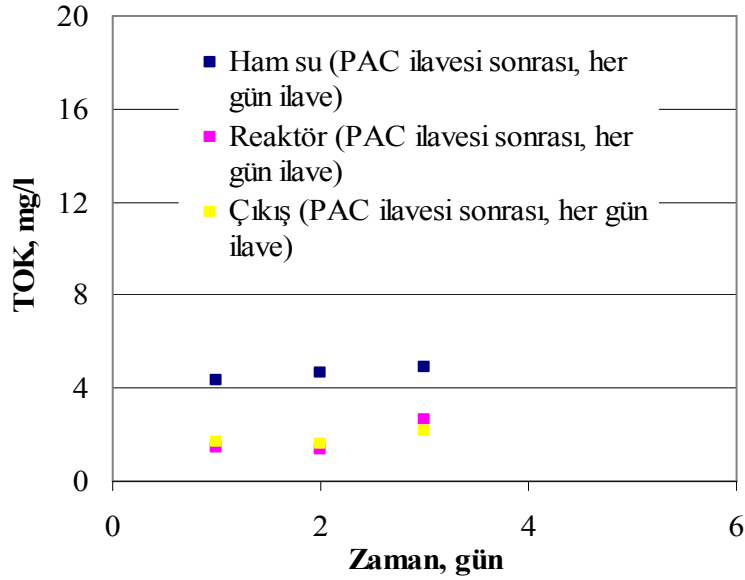
Şekil 4.150 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)

PAC Konsantrasyonu (25 gr/l) (Her Gün İlave Edildiği Durum - İkinci Deney)

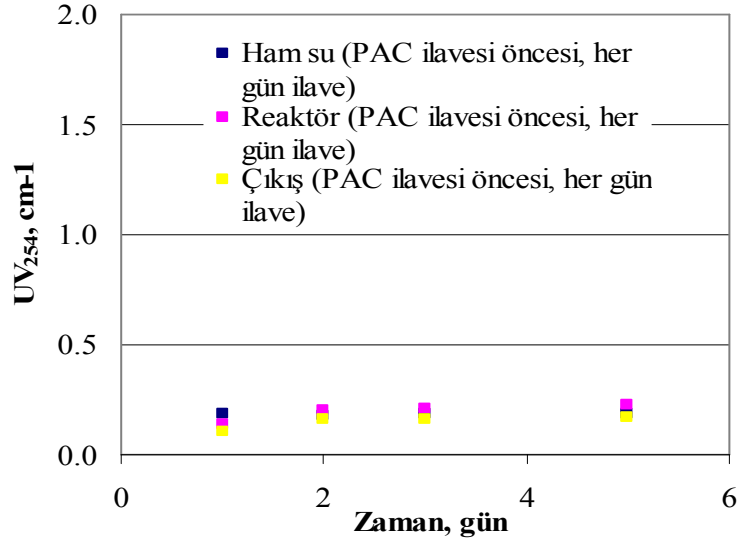
25 g/l PAC çözelti halinde deney süresince her gün belirli bir saatte birinci reaktöre verilmiştir. PAC ilavesinden önce ve sonra olmak üzere her gün iki ayrı numune alınmıştır. Bu çalışmaya ait TOK ve UV_{254} absorbans değerleri Şekil 4.151-4.154'de, giderme verimleri Şekil 4.155 ve 4.156'da, membranda basınç artışı Şekil 4.157'de ve bulanıklık değerleri ise Şekil 4.158'de gösterilmiştir. Bu durumda reaktör içindeki TOK konsantrasyonu artış oranının PAC ilavesi öncesinde % 53 ve UV_{254} absorbans değeri artış oranının %19 olduğu görülmüştür. PAC ilavesi sonrasında ise reaktör içindeki TOK konsantrasyonunda % 45 ve UV_{254} absorbans değerinde ise % 48 oranında azalma görülmüştür. TOK ve UV_{254} giderme verimleri PAC ilavesi öncesinde % 40'lardan, zamanla % 10'lara kadar azalmıştır. PAC ilavesi sonrasında ise % 60'lardan zamanla % 40 'lara kadar azalmıştır. Basınç değeri hızla artmış ve 250 mbar'ın altında kalmıştır. Giriş bulanıklık değeri 9 NTU'lardan 6 NTU'ya kadar azalmıştır. Çıkış bulanıklık değeri ise 0,06 NTU'nun altında kalmıştır.



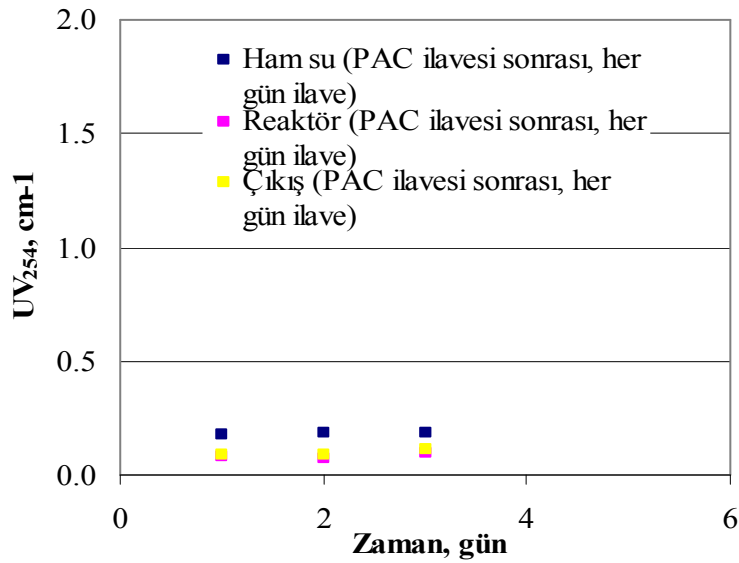
Şekil 4.151 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi öncesi TOK değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)



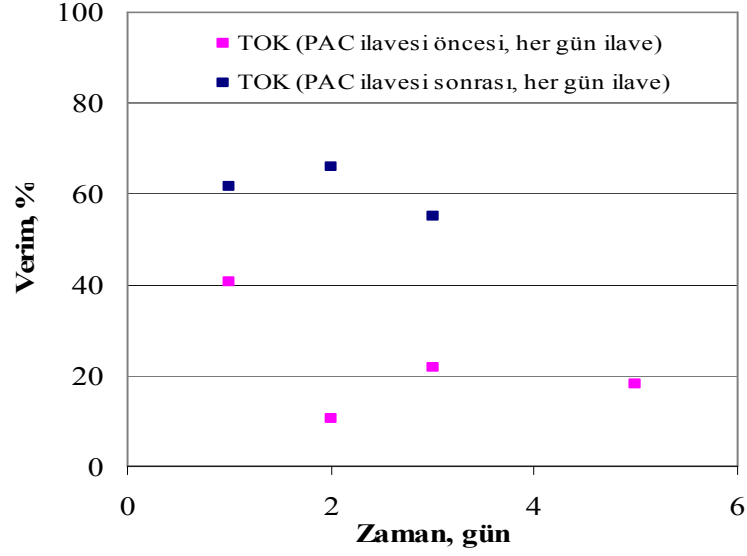
Şekil 4.152 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi sonrası TOK değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)



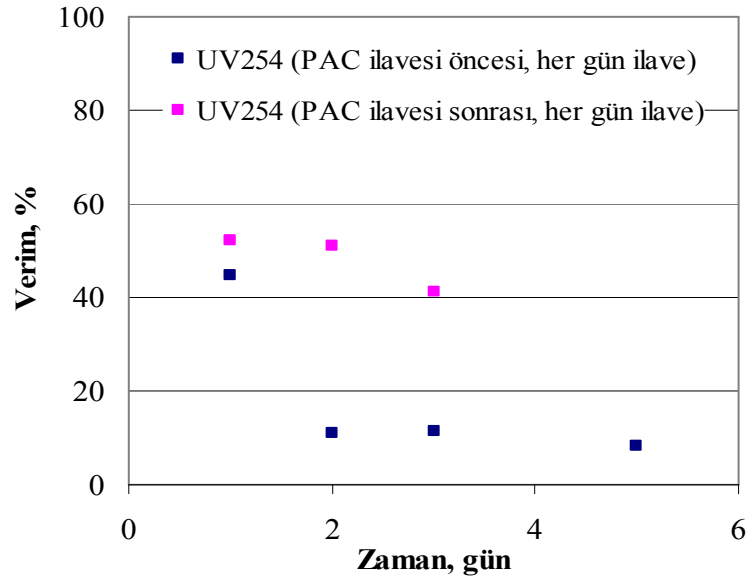
Şekil 4.153 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi öncesi UV_{254} absorban değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)



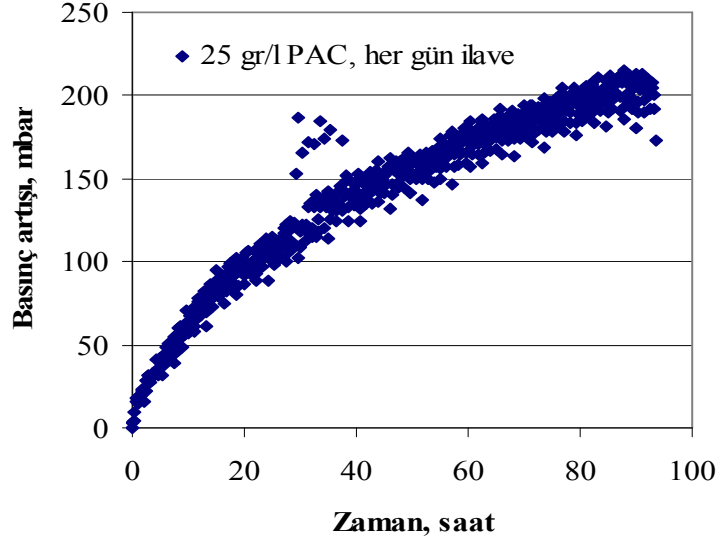
Şekil 4.154 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi sonrası UV_{254} absorban değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)



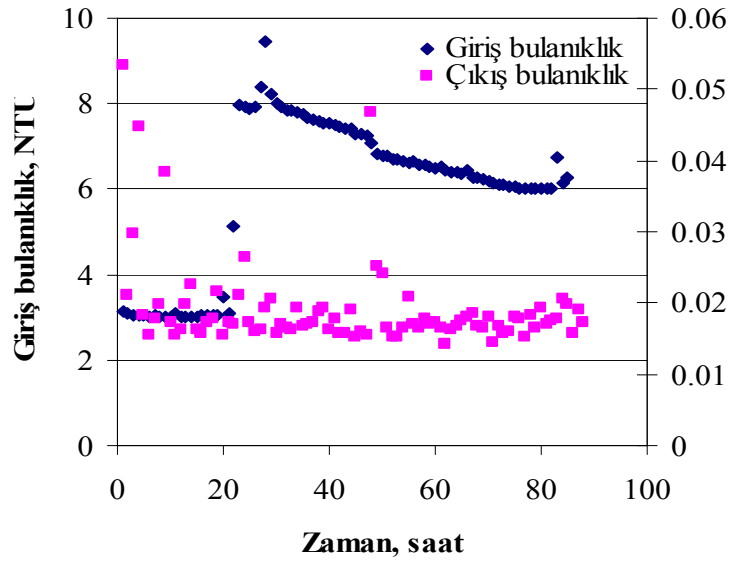
Şekil 4.155 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi öncesi ve sonrası TOK giderim verimlerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)



Şekil 4.156 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi öncesi ve sonrası UV₂₅₄ giderim verimlerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)



Şekil 4.157 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için basınç değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)



Şekil 4.158 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)

Farklı PAC İlave Yöntemleri ile Yürütülen Deneylerin Karşılaştırılması

Pilot ölçekli sistemde Büyük çekmece göl suyu ile UF membranı kullanılarak 25 g/l de farklı PAC ilave yöntemlerinde yürütülen deneylere ait basınç artışı Şekil 4.159’da, TOK ve UV₂₅₄ giderme verimleri sırasıyla Şekil 4.160–4.163 ve 4.164-4.167’de gösterilmiştir. En yüksek basınç artışı PAC ‘ın her gün ilave edildiği durumda ikinci deneyde elde edilirken, en düşük basınç artışı PAC’ın deney başlangıcında tek seferde ilave edildiği durumda elde edilmiştir. En yüksek TOK ve UV₂₅₄ giderme verimleri PAC’ın her gün ilave edildiği durumlarda gözlenmiştir.

Çizelge 4.13’de reaktörlerdeki TOK konsantrasyonu ve UV₂₅₄ absorban değeri artış yüzdeleri verilmiştir.

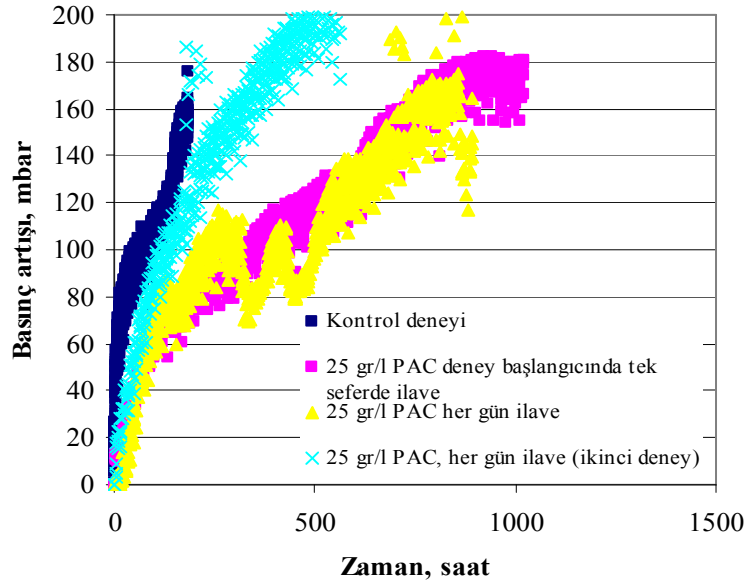
Çizelge 4.13 : Büyük çekmece göl suyu ve 25 gr/l PAC konsantrasyonu kullanılarak yürütülen UF membran deneylerinde farklı PAC ilave yöntemleri için reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV₂₅₄ absorban değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri

Parametre	Kontrol deneyi	Deney başlangıcında, tek seferde ilave	Her gün ilave		Her gün ilave (ikinci deney)	
			PAC ilavesi öncesi	PAC ilavesi sonrası	PAC ilavesi öncesi	PAC ilavesi sonrası
TOK	44	35	29	-	54	-
UV ₂₅₄	26	20	10	-	20	-

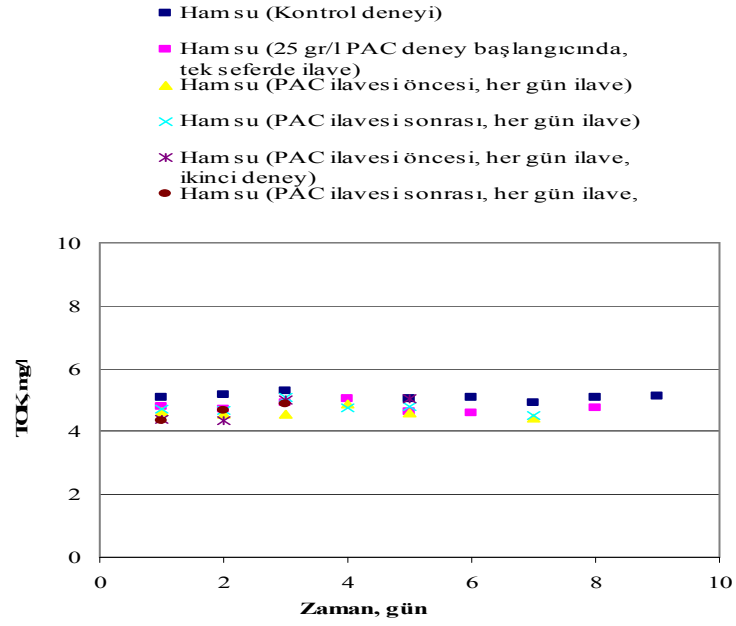
TOK ve UV₂₅₄ absorban giderme verimlerine bakıldığında PAC ilave yönteminin giderme verimine önemli etkisi görülmüştür. En iyi giderme verimleri PAC’ın her gün ilave edilmesiyle yürütülen deneylerde gözlenmiştir. Düşük giderme verimleri, göl suyunda bulunan organik madde karakterizasyonundan kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Çizelge 4.14’de verim değerlerinin deneyin başlangıcı ve sonundaki yüzde olarak değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.14 : TOK ve UV₂₅₄ absorbans giderme verimi değerlerinin deneyin başlangıcı ve sonundaki değerleri (%)

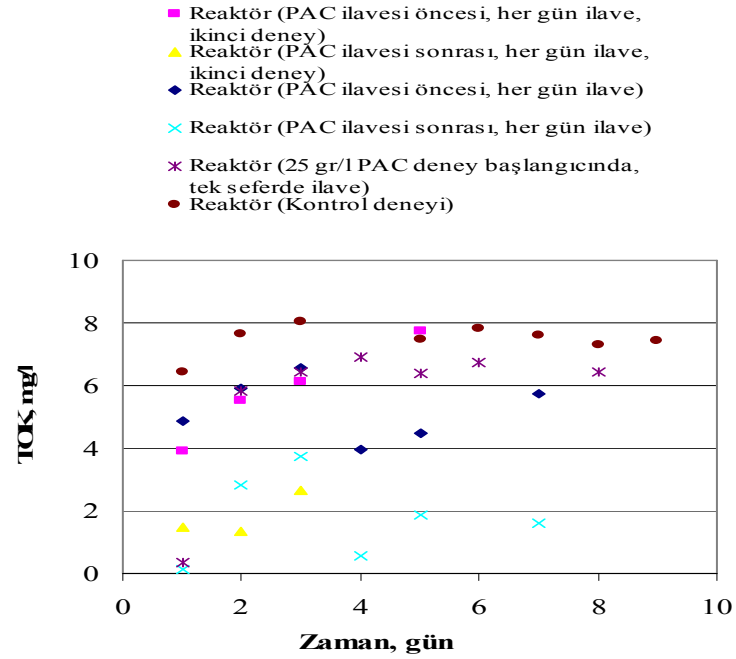
Parametre	Kontrol deneyi	Deney başlangıcında, tek seferde ilave	Her gün ilave		Her gün ilave (ikinci deney)	
			PAC ilavesi öncesi	PAC ilavesi sonrası	PAC ilavesi öncesi	PAC ilavesi sonrası
TOK	22–16	93–15	10–17	82–71	41–18	62–55
UV ₂₅₄	21–10	74–10	24–17	61–52	45–8	52–41



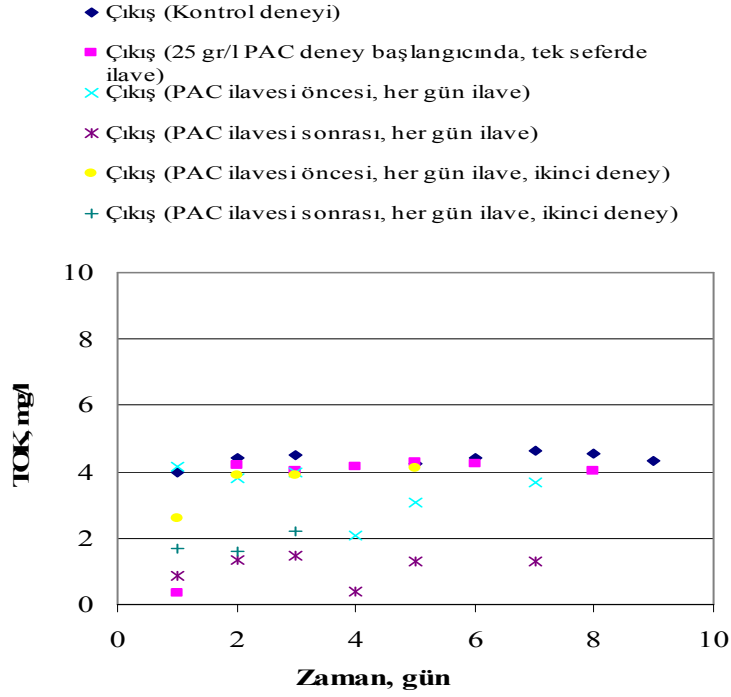
Şekil 4.159 : Farklı PAC ilave yöntemleri için basınç değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF)



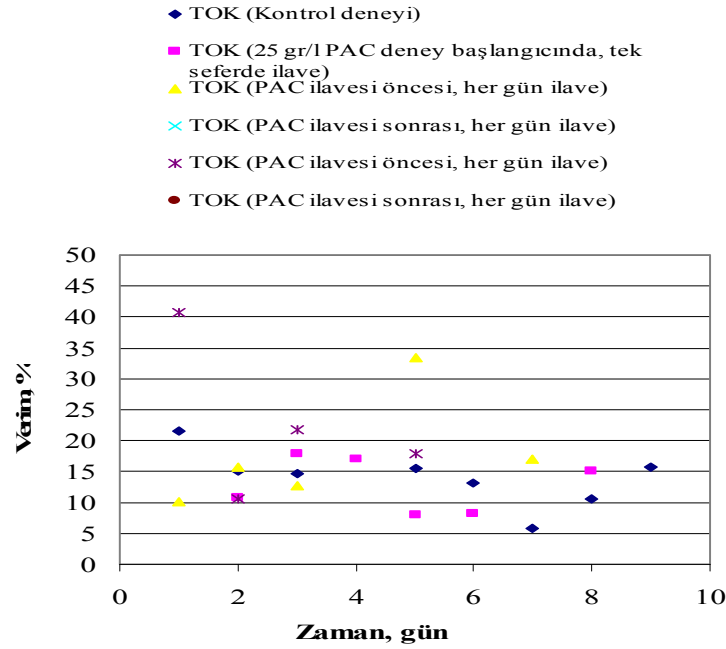
Şekil 4.160 : Farklı PAC konsantrasyonları için ham su TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF)



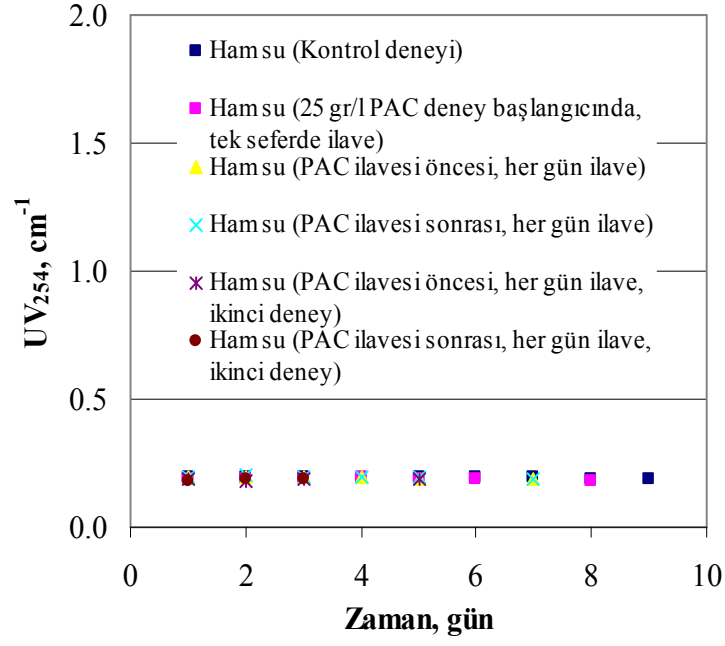
Şekil 4.161 : Farklı PAC konsantrasyonları için reaktör içi TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF)



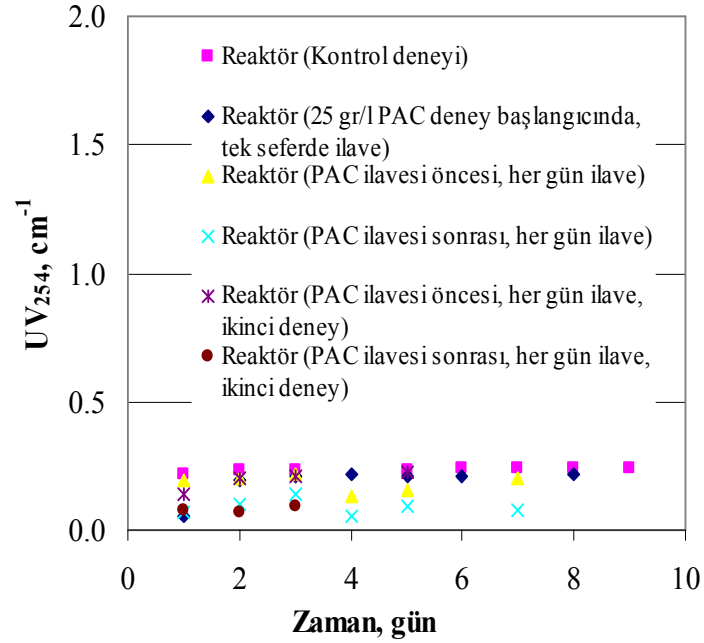
Şekil 4.162 : Farklı PAC ilave yöntemleri için çıkış TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF)



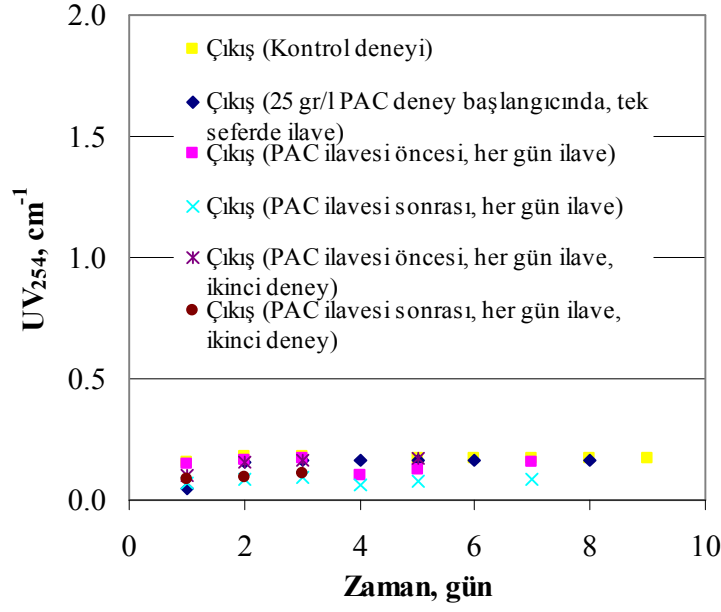
Şekil 4.163 : Farklı PAC ilave yöntemleri için TOK giderim veriminin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF)



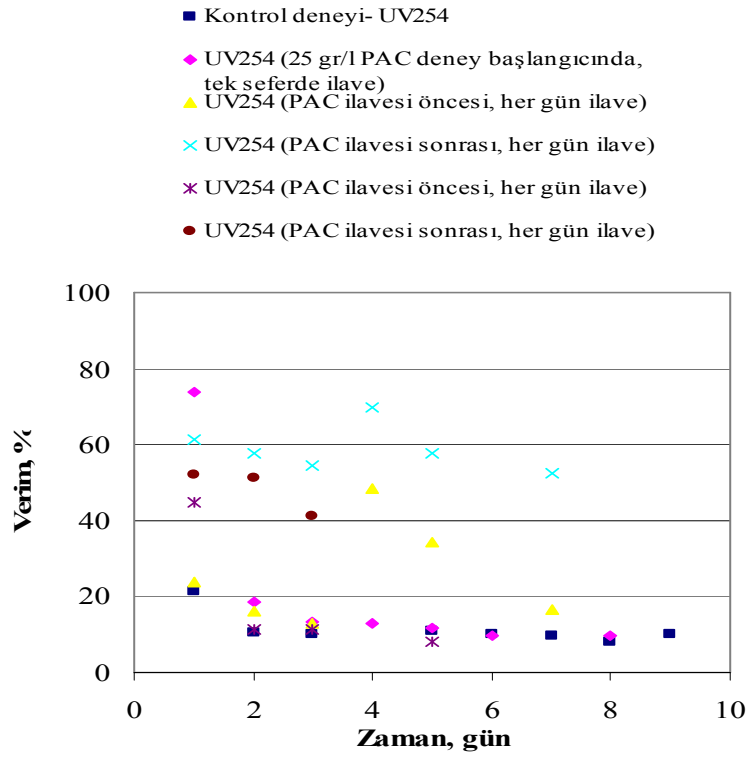
Şekil 4.164 : Farklı PAC ilave yöntemleri için ham su UV_{254} konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF)



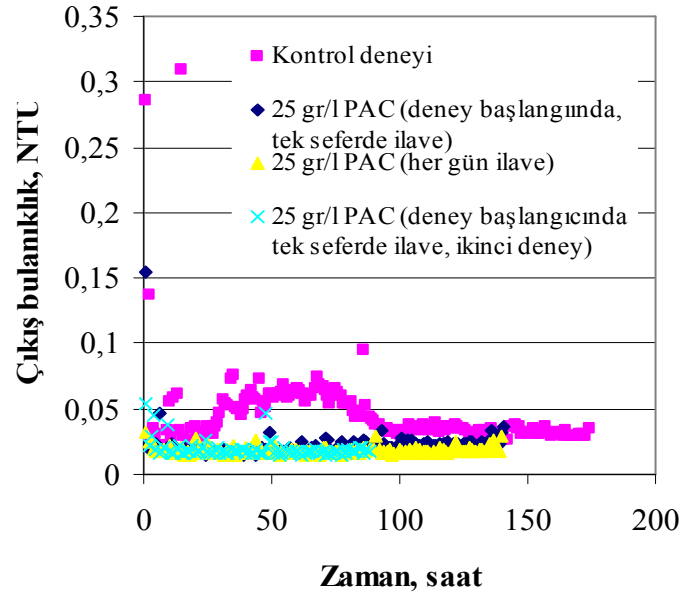
Şekil 4.165 : Farklı PAC ilave yöntemleri için reaktör içi UV_{254} konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF)



Şekil 4.166 : Farklı PAC ilave yöntemleri için içi UV₂₅₄ konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF)



Şekil 4.167 : Farklı PAC ilave yöntemleri için UV₂₅₄ giderim veriminin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF)



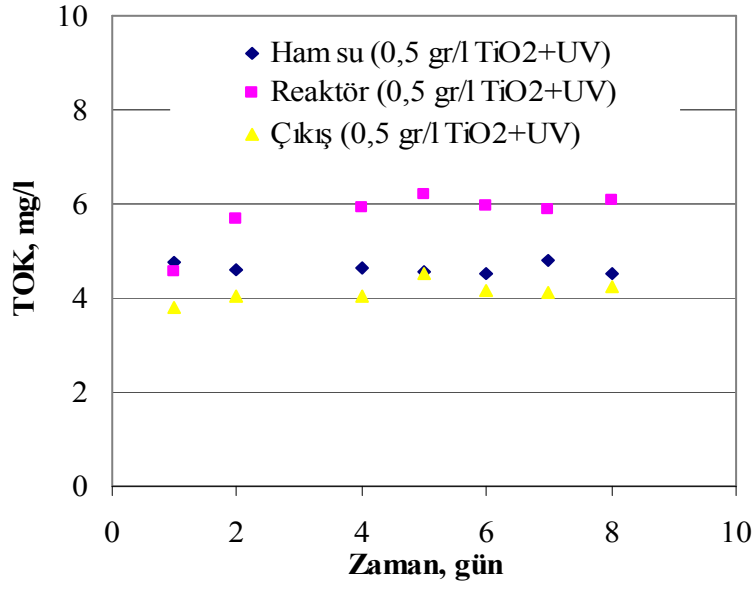
Şekil 4.168 : Farklı PAC ilave yöntemleri için çıkış bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF)

b) UV+TiO₂ İlavesinin Araştırılması

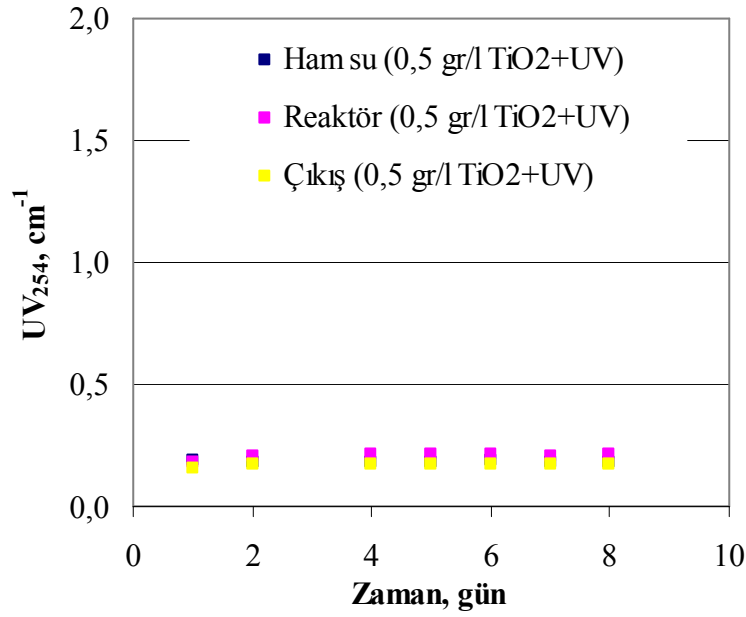
Büyük çekmece göl suyu, UV birlikte kullanılarak farklı TiO₂ konsantrasyonlarında çalışmalar yürütülmüştür.

UV+ 0,5 g/l TiO₂

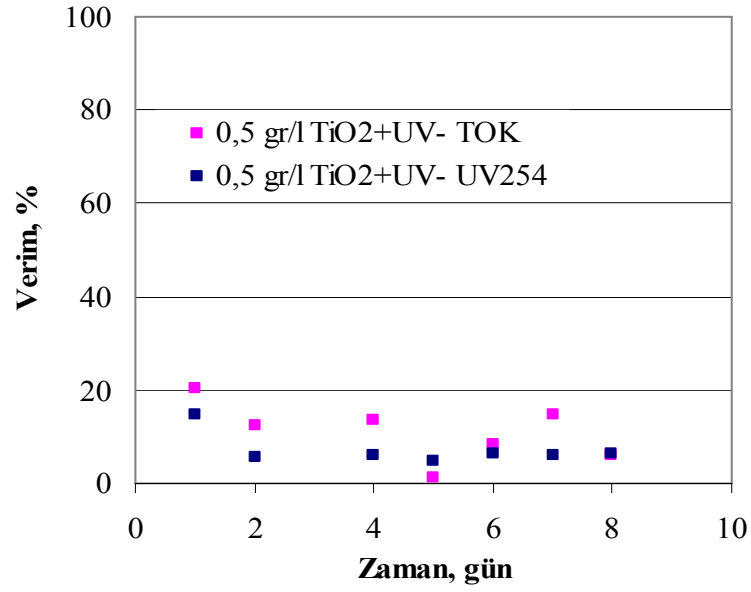
Birinci reaktöre 40 W'lık UV lamba yerleştirildikten sonra 0,5 g/l TiO₂ tek seferde verilmiştir. UV+ 0,5 g/l TiO₂ konsantrasyonunun olduğu çalışmaya ait TOK ve UV₂₅₄ absorbans değerleri Şekil 4.169 ve 4.170'de, giderme verimleri Şekil 4.171'de, membranda basınç artışı Şekil 4.172'de ve bulanıklık değerleri ise Şekil 4.173'de gösterilmiştir. Bu durumda reaktör içindeki TOK konsantrasyonu artış oranının % 34 ve UV₂₅₄ absorbans değeri artış oranının % 16 olduğu görülmüştür. TOK ve UV₂₅₄ giderme verimleri deney süresince % 25'in altında kalmıştır. Maksimum basınç değeri, 200 mbar'ın altında kadar artmıştır. Giriş bulanıklık değeri 3-1,5 NTU aralığında değişirken, çıkış bulanıklık değeri 0,05 NTU'nun altında kalmıştır.



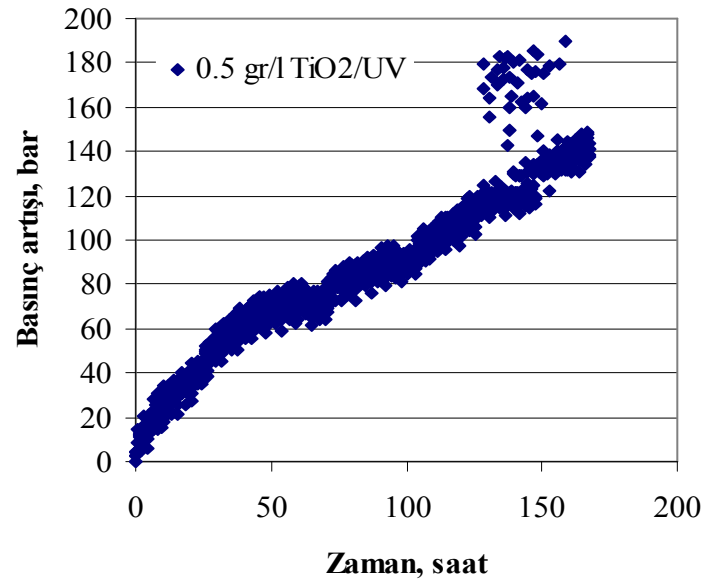
Şekil 4.169 : UV + 0,5 g/l TiO₂ konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için TOK değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)



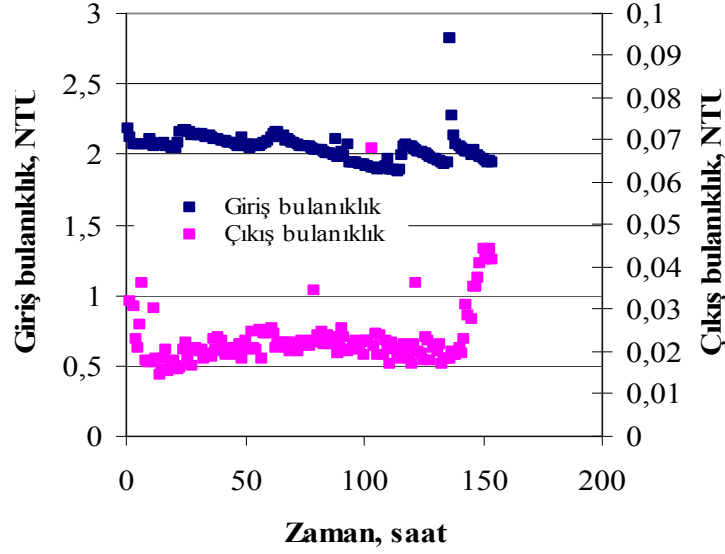
Şekil 4.170 : UV + 0,5 g/l TiO₂ konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için UV₂₅₄ değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)



Şekil 4.171 : UV + 0,5 g/l TiO₂ konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için giderim verimlerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)



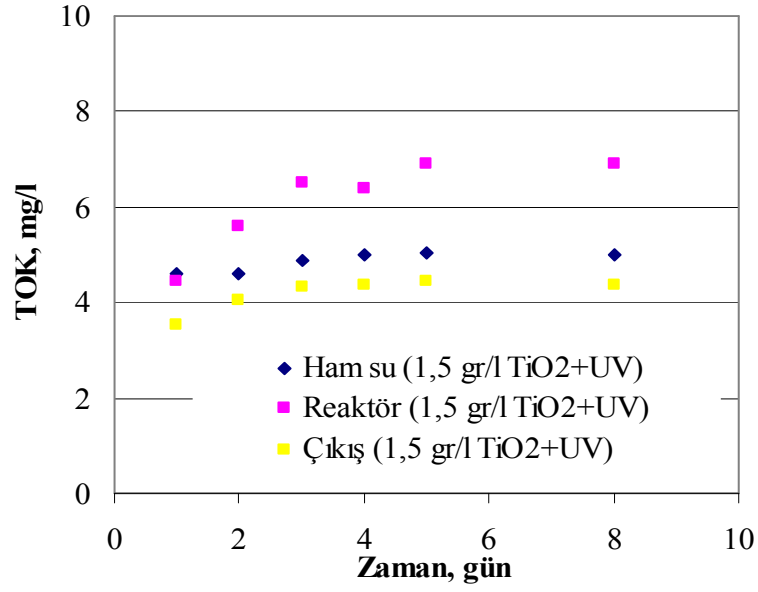
Şekil 4.172 : UV + 0,5 g/l TiO₂ konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için basınç değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)



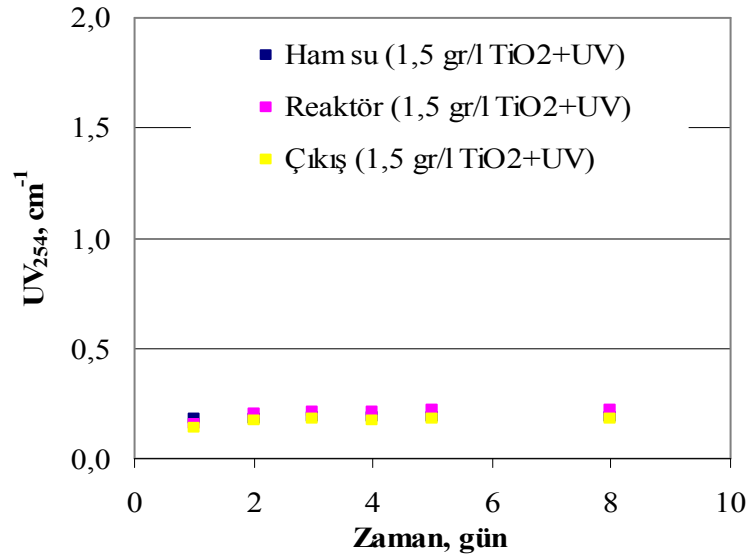
Şekil 4.173 : UV + 0,5 g/l TiO₂ konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)

UV+ 1,5 g/l TiO₂

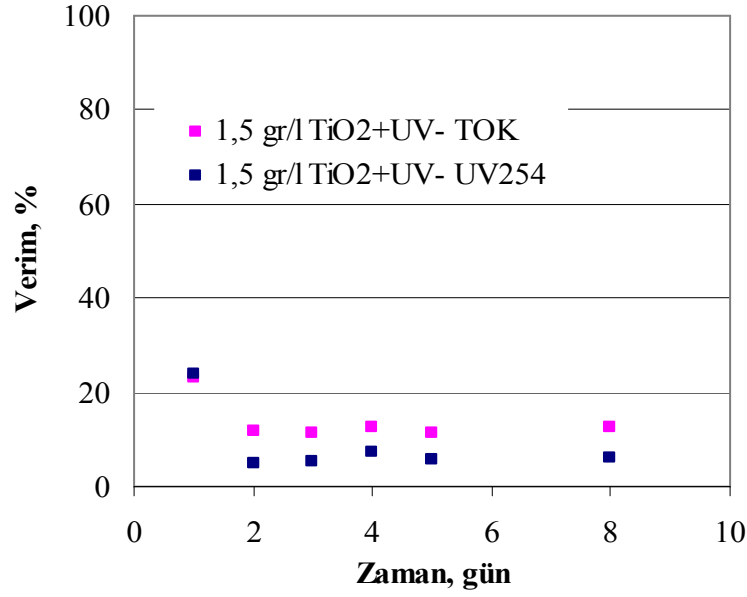
Birinci reaktöre 40 W'lık UV lamba yerleştirildikten sonra 1,5 g/l TiO₂ tek seferde verilmiştir. UV+ 1,5 g/l TiO₂ konsantrasyonunun olduğu çalışmaya ait TOK ve UV₂₅₄ absorbans değerleri Şekil 4.174 ve 4.175'de, giderme verimleri Şekil 4.176'da, membranda basınç artışı Şekil 4.177'de ve bulanıklık değerleri ise Şekil 4.178'de gösterilmiştir. Bu durumda reaktör içindeki TOK konsantrasyonu artış oranının % 38 ve UV₂₅₄ absorbans değeri artış oranının % 17 olduğu görülmüştür. TOK ve UV₂₅₄ giderme verimleri deney süresince % 25'in altında kalmıştır. Basınç değeri başlangıçta hızlı artarken, daha sonra azalan bir hızla artmıştır. Giriş bulanıklık değerleri 1- 20 NTU arasında değişmiştir. Çıkış bulanıklık değeri ise 0,3 NTU'nun altında kalmıştır.



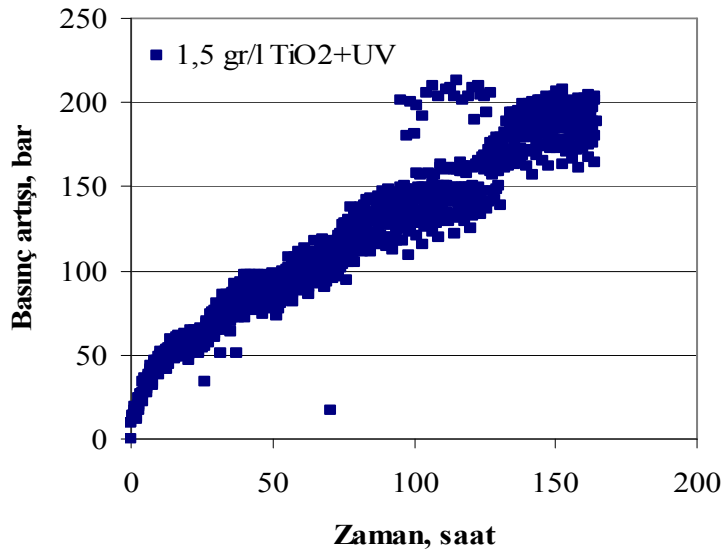
Şekil 4.174 : UV + 1,5 g/l TiO₂ konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için TOK değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)



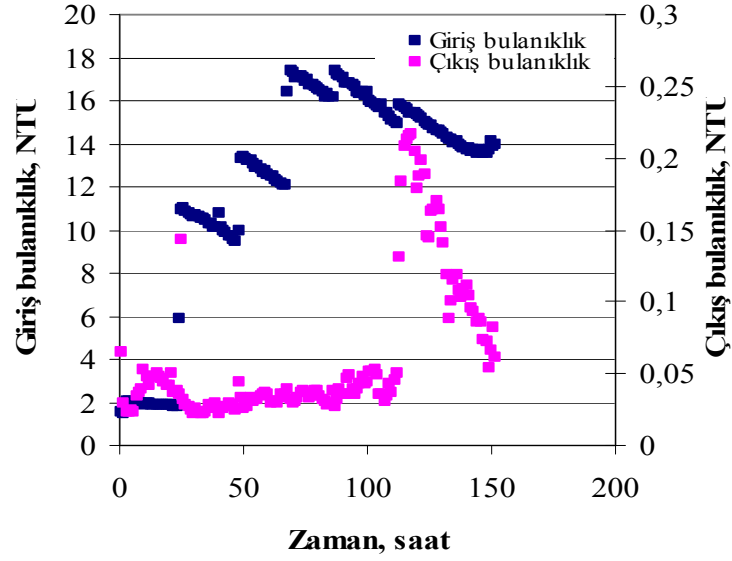
Şekil 4.175 : UV + 1,5 g/l TiO₂ konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için UV₂₅₄ değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)



Şekil 4.176 : UV + 1,5 g/l TiO₂ konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için giderim verimlerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, debi: 30 l/st)



Şekil 4.177 : UV + 1,5 g/l TiO₂ konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için basınç değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)



Şekil 4.178 : UV + 1,5 g/l TiO₂ konsantrasyonunda çalıştırıldığı durum için bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)

Farklı UV+TiO₂ Konsantrasyonlarında Yürütülen Deneylerin Karşılaştırılması

Pilot ölçekli sistemde Büyük çekmece göl suyu ile UF membranı kullanılarak 0,5 g/l ve 1,5 g/l olmak üzere iki farklı UV/TiO₂ konsantrasyonlarında deneyler yürütülmüştür. Bu deneylere ait basınç artışı Şekil 4.179'da, TOK ve UV₂₅₄ giderim verimleri sırasıyla Şekil 4.180-4.183 ve 4.184-4.187'de gösterilmiştir. Daha düşük basınç artışı TiO₂ konsantrasyonunun 0,5 g/l olduğu durumda elde edilmiştir. TOK ve UV₂₅₄ giderme verimleri açısından ise çok iyi verim elde edilememiştir.

Çizelge 4.15'de reaktörlerdeki TOK konsantrasyonu ve UV₂₅₄ absorbans değeri artış yüzdeleri verilmiştir. Buna göre, TiO₂ konsantrasyonuna bağlı olarak reaktör içi TOK ve UV₂₅₄ absorbans değerleri artmıştır.

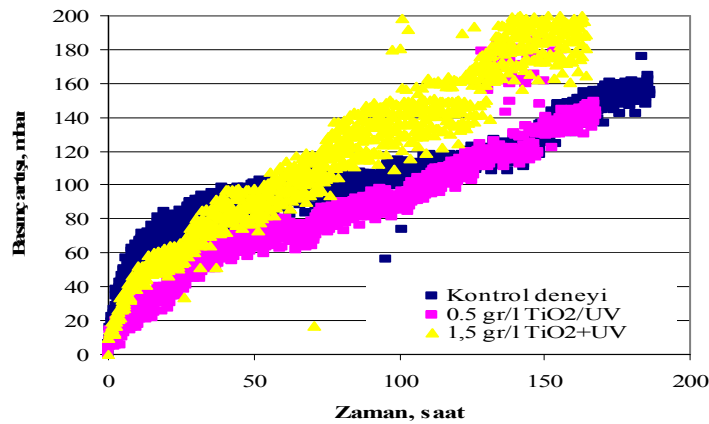
Çizelge 4.15 : Büyük çekmece göl suyu kullanılarak yürütülen UF membran deneylerinde farklı TiO_2 konsantrasyonları için reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV_{254} absorbans değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri

Parametre	Kontrol deneyi	UV + 0,5 g/l TiO_2	UV + 1,5 g/l TiO_2
TOK	44	34	38
UV_{254}	26	16	17

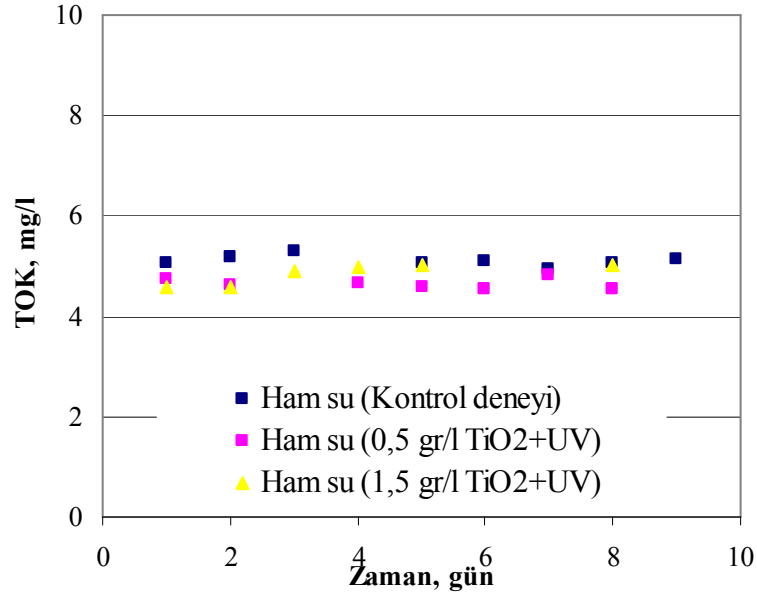
TOK ve UV_{254} absorbans giderme verimlerine bakıldığında TiO_2 konsantrasyonunun giderme verimine önemli bir etkisi olduğu gözlenmemiştir. Düşük giderme verimleri, göl suyunda bulunan organik madde karakterizasyonundan kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Çizelge 4.16'da verim değerlerinin deneyin başlangıcı ve sonundaki yüzde olarak değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.16 : TOK ve UV_{254} giderme verimi değerlerinin deneyin başlangıcı ve sonundaki değerleri (%)

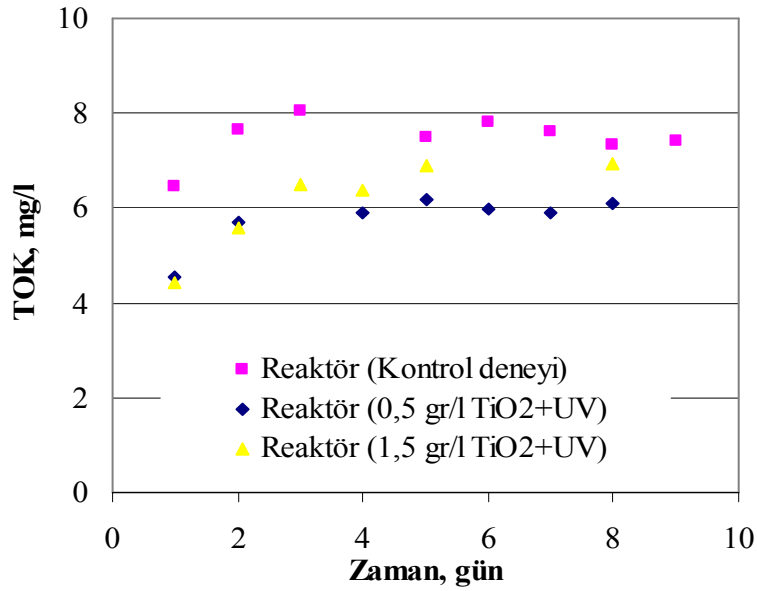
Parametre	Kontrol deneyi	UV + 0,5 g/l TiO_2	UV + 1,5 g/l TiO_2
TOK	22-16	20-6	23-13
UV_{254}	21-10	14-6	24-6



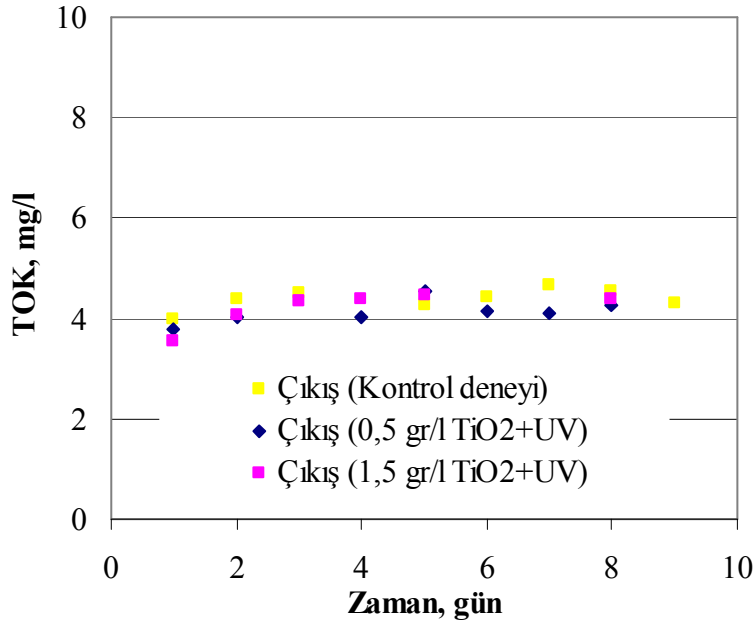
Şekil 4.179: Farklı UV+ TiO_2 konsantrasyonları için basınç değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF)



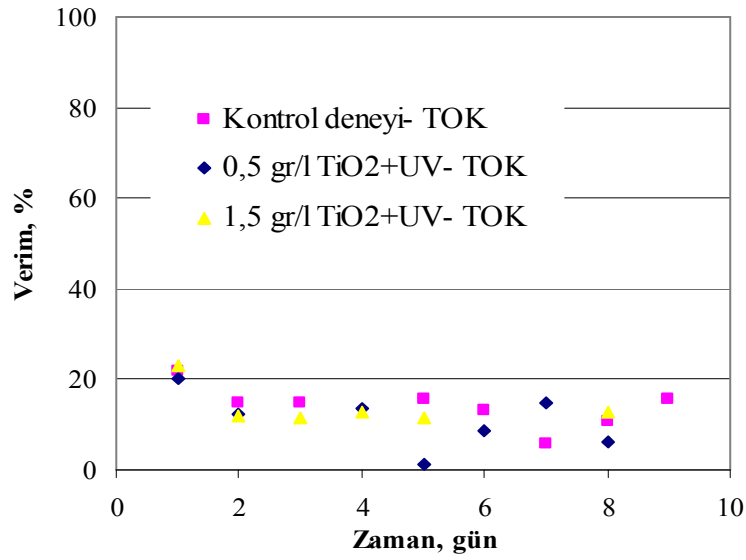
Şekil 4.180 : Farklı UV+TiO₂ konsantrasyonları için ham su TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF)



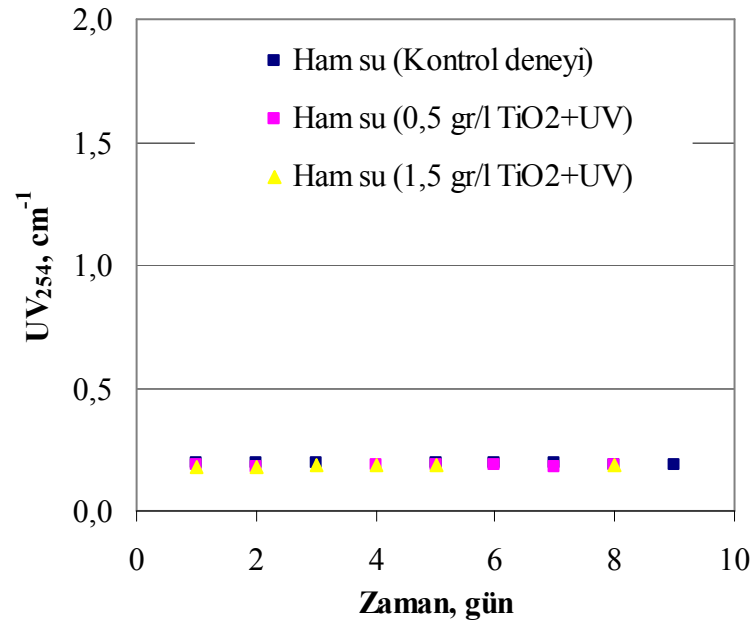
Şekil 4.181 : Farklı UV+TiO₂ konsantrasyonları için reaktör içi TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF)



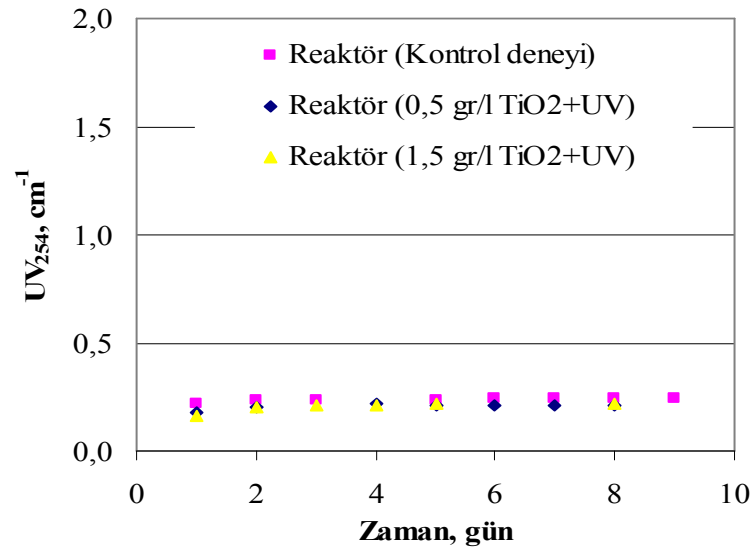
Şekil 4.182 : Farklı UV+TiO₂ konsantrasyonları için çıkış TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF)



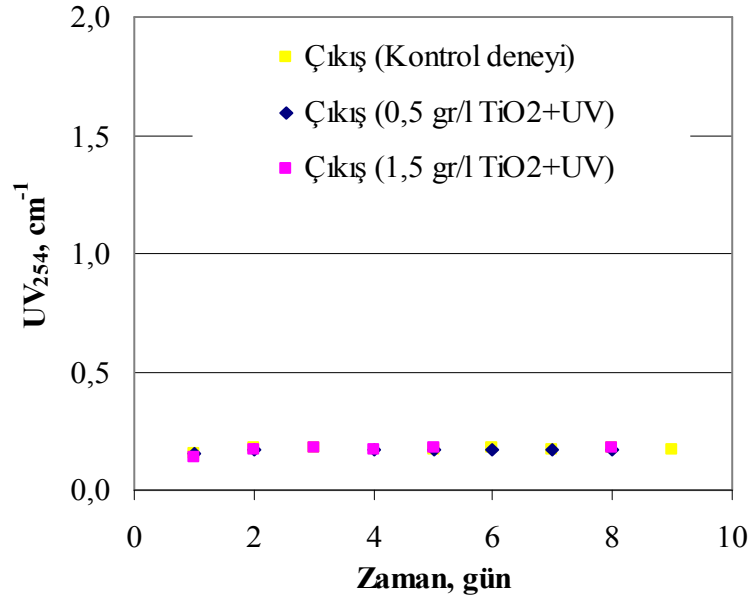
Şekil 4.183 : Farklı UV+TiO₂ konsantrasyonları için TOK giderim veriminin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF)



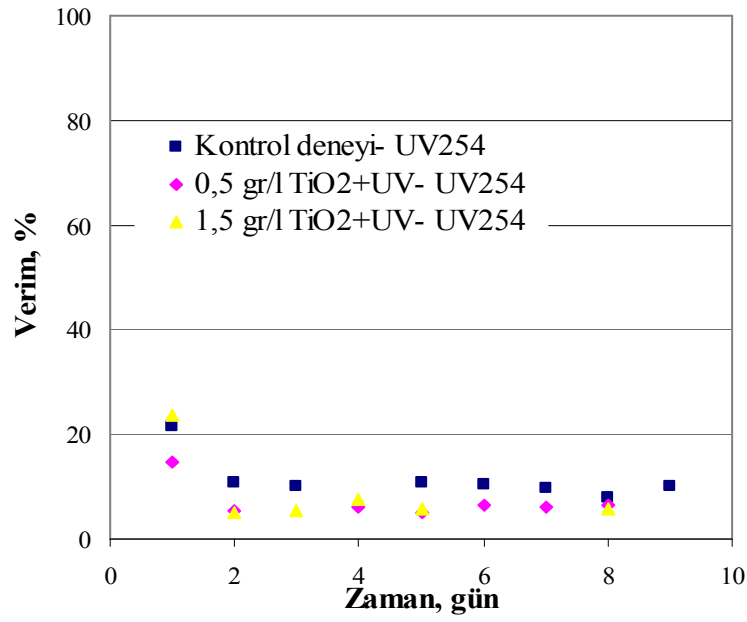
Şekil 4.184 : Farklı UV+TiO₂ konsantrasyonları için ham su UV₂₅₄ absorban değerlerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF)



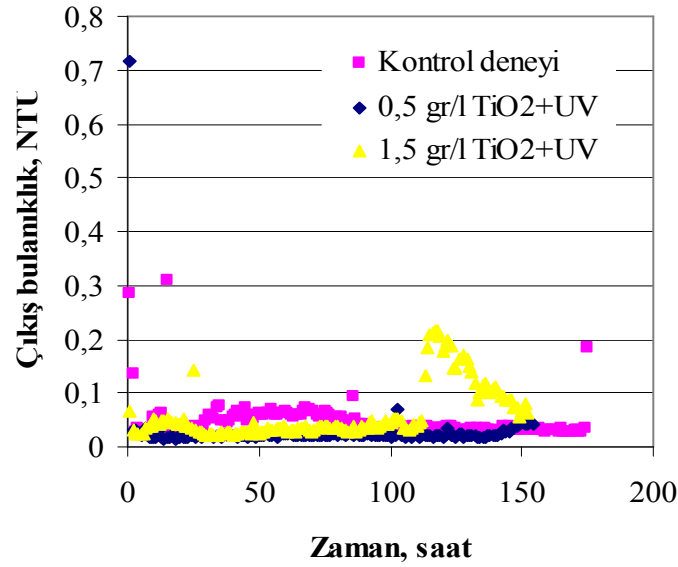
Şekil 4.185 : Farklı UV+TiO₂ konsantrasyonları için reaktör içi UV₂₅₄ absorban değerlerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF)



Şekil 4.186 : Farklı UV+ TiO_2 konsantrasyonları için çıkış UV_{254} absorban değerlerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF)



Şekil 4.187 : Farklı UV+ TiO_2 konsantrasyonları için UV_{254} giderim veriminin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF)



Şekil 4.188 : Farklı UV+TiO₂ konsantrasyonları için çıkış bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, UF)

4.2 MF Membranı ile Yapılan Deneyler

Pilot ölçekli deneysel çalışmaların ikinci aşaması MF membranı ile gerçekleştirilmiştir. Aşağıda bu deneylerde elde edilen deneysel çalışmaların sonuçları verilmiştir.

4.2.1 Terkos göl suyunda yapılan deneyler

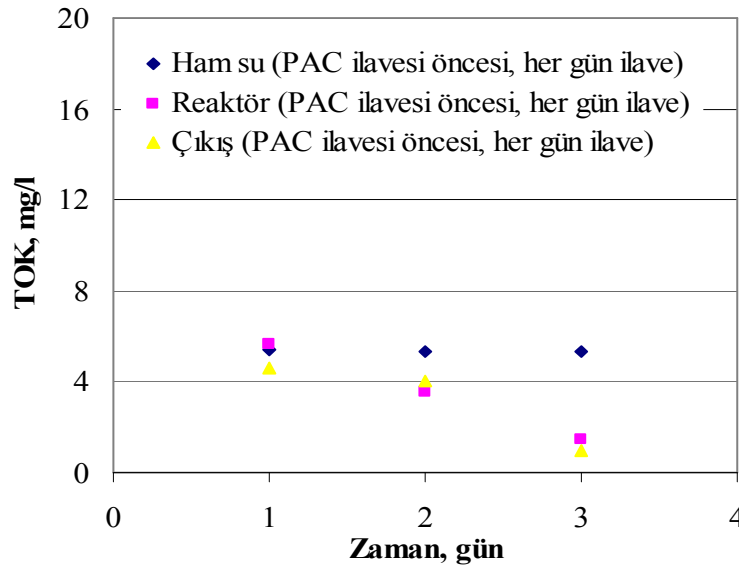
Deneysel çalışmalar, MF membranı kullanılarak yürütülmüştür. Terkos göl suyunun kullanıldığı çalışmada, toz aktif karbon kullanımının membran tıkanıklığına etkisi araştırılmıştır.

a) Toz Aktif Karbon (PAC) İlavesinin Etkisinin Araştırılması

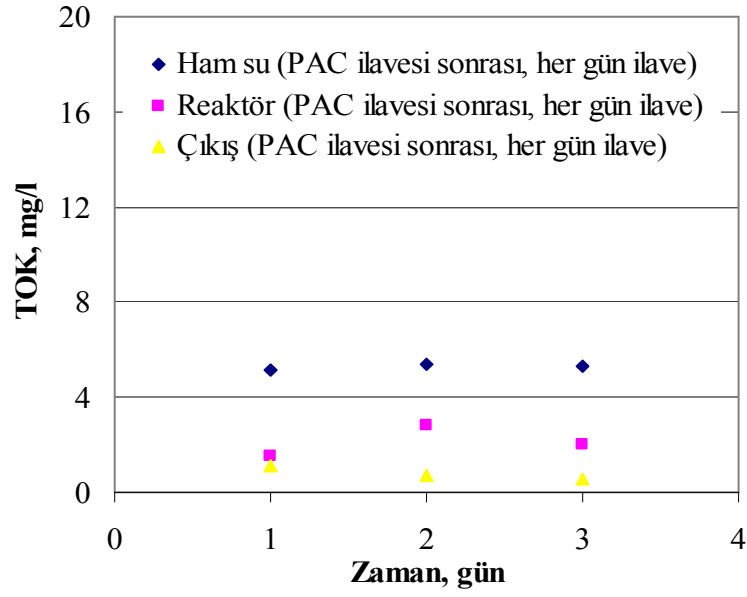
PAC Konsantrasyonu (25 gr/l PAC) (Her Gün İlave Edildiği Durum)

25 g/l PAC çözelti halinde deney süresince her gün belirli bir saatte birinci reaktöre verilmiştir. PAC ilavesinden önce ve sonra olmak üzere her gün iki ayrı numune alınmıştır. Bu çalışmaya ait TOK ve UV₂₅₄ absorbans değerleri Şekil 4.189, 4.190, 4.191 ve 4.192’de, giderme verimleri Şekil 4.193 ve 4.194’de, membrandaki basınç

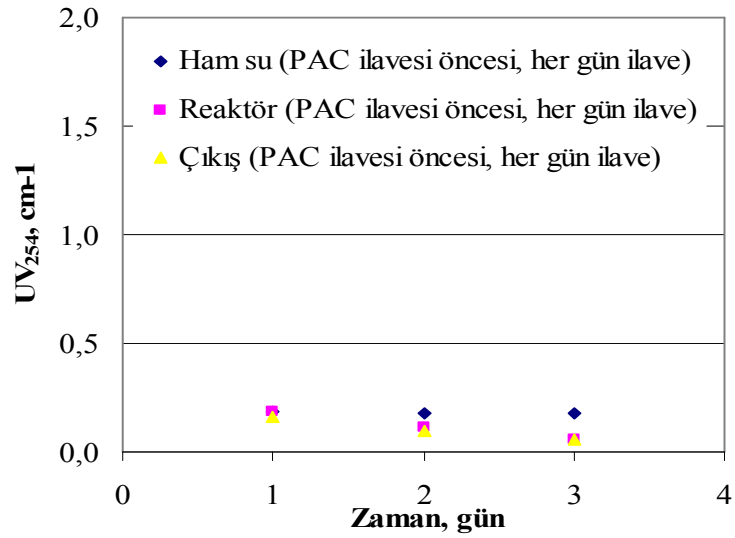
artışı Şekil 4.195’de ve bulanıklık değerleri ise Şekil 4.196’da gösterilmiştir. Bu durumda reaktör içindeki TOK konsantrasyonu PAC ilavesi öncesinde % 73 ve UV₂₅₄ absorbans değerinin ise % 66 oranında azaldığı görülmüştür. PAC ilavesi sonrasında ise reaktör içindeki TOK konsantrasyonunda % 61 ve UV₂₅₄ absorbans değerinde ise % 69 oranında azalma görülmüştür. TOK ve UV₂₅₄ giderim verimleri PAC ilavesi öncesinde % 10 ‘lardan %70-80 ‘lere kadar sürekli artış göstermiştir. PAC ilavesi sonrasında ise % 60 ‘lardan % 80‘lere kadar artmıştır. Basınç değeri, 30. saate kadar hızla artmış daha sonra biraz azalmıştır. Maksimum basınç değeri, 160 mbar’ın altında kalmıştır. Giriş bulanıklık değeri değişkenken, çıkış bulanıklık değeri 0,8 NTU’nun altında kalmıştır.



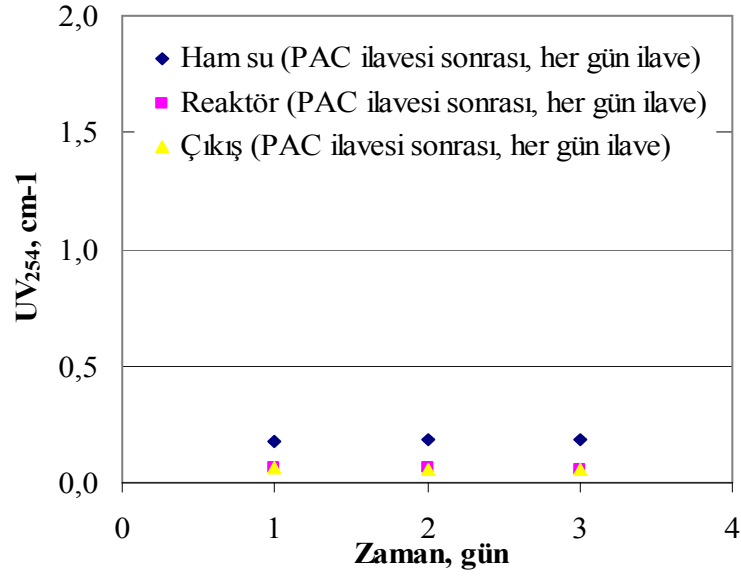
Şekil 4.189 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi öncesi TOK değerinin zamanla değişimi (Terkos göl suyu, MF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)



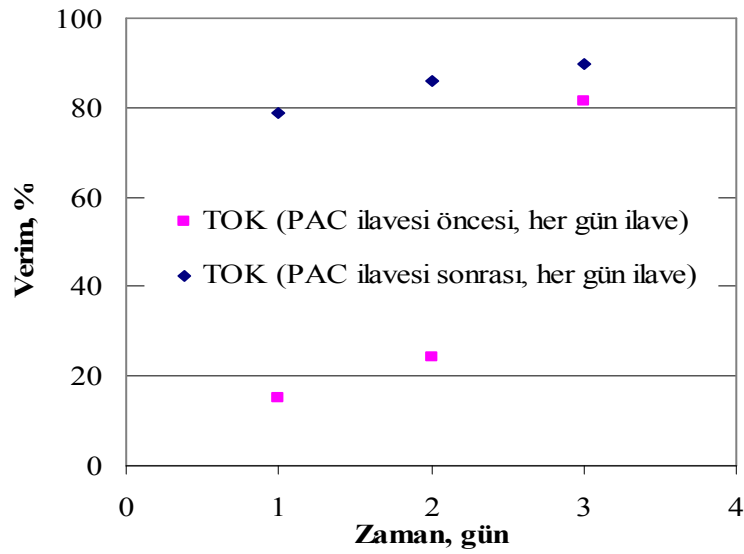
Şekil 4.190 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi sonrası TOK değerinin zamanla değişimi (Terkos göl suyu, MF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)



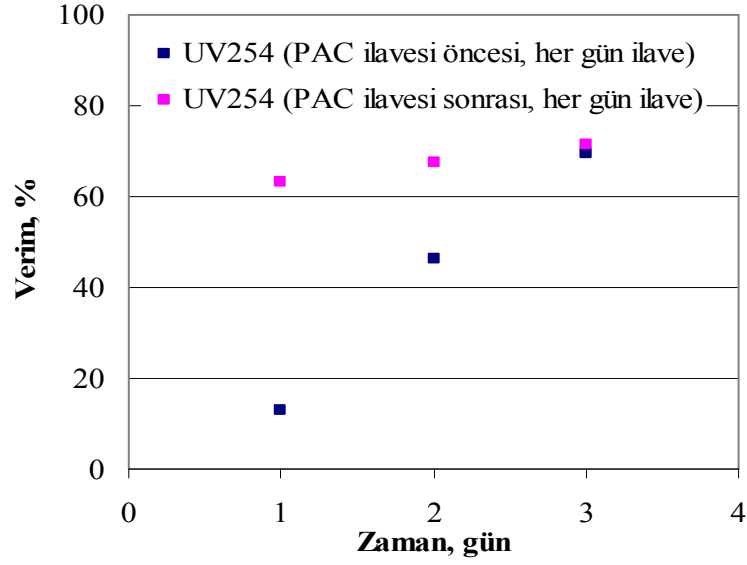
Şekil 4.191 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi öncesi UV₂₅₄ absorban değerinin zamanla değişimi (Terkos göl suyu, MF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)



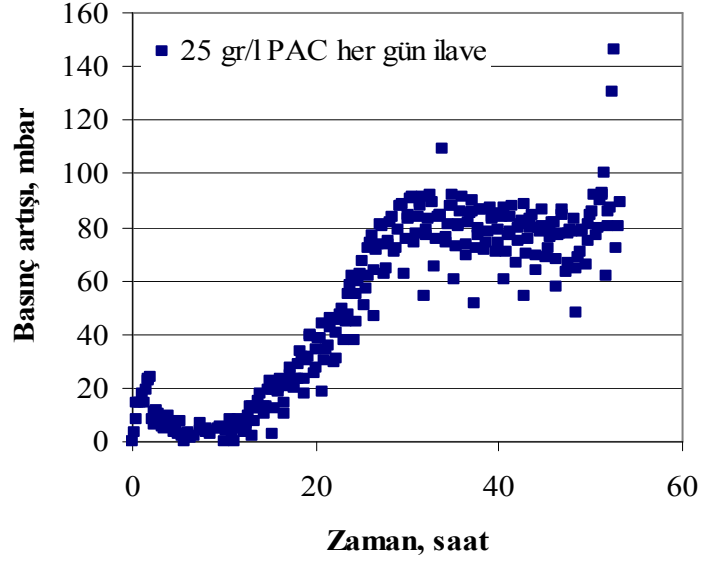
Şekil 4.192 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi sonrası UV_{254} absorban değerinin zamanla değişimi (Terkos göl suyu, MF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)



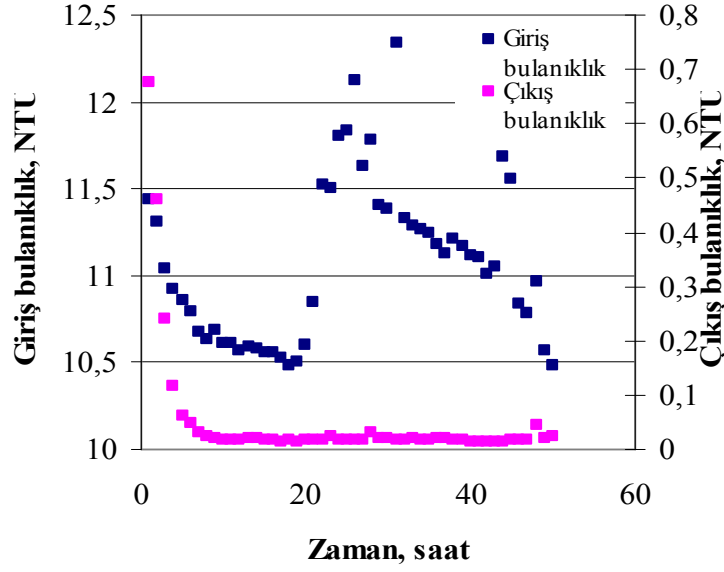
Şekil 4.193 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi öncesi ve sonrası TOK giderim verimlerinin zamanla değişimi (Terkos göl suyu, MF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)



Şekil 4.194 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi öncesi ve sonrası UV₂₅₄ giderim verimlerinin zamanla değişimi (Terkos göl suyu, MF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)



Şekil 4.195 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için basınç değerinin zamanla değişimi (Terkos göl suyu, MF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)



Şekil 4.196 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Terkos göl suyu, MF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)

PAC İlaveli Deneyin Karşılaştırılması

Pilot ölçekli sistemde Terkos göl suyu ile MF membranı kullanılarak 25 g/l PAC her gün ilave yönteminde yürütülen deneye ait basınç artışı Şekil 4.197’de, TOK ve UV_{254} giderim verimleri sırasıyla Şekil 4.198–4.201 ve 4.202-4.205’de gösterilmiştir. En yüksek basınç artışı PAC’ın her gün ilave edildiği durumda elde edilmiştir. En yüksek TOK ve UV_{254} giderim verimleri PAC ‘ın her gün ilave edildiği durumda gözlenmiştir.

Çizelge 4.17’de reaktörlerdeki TOK konsantrasyonu ve UV_{254} absorbans değeri artış yüzdeleri verilmiştir.

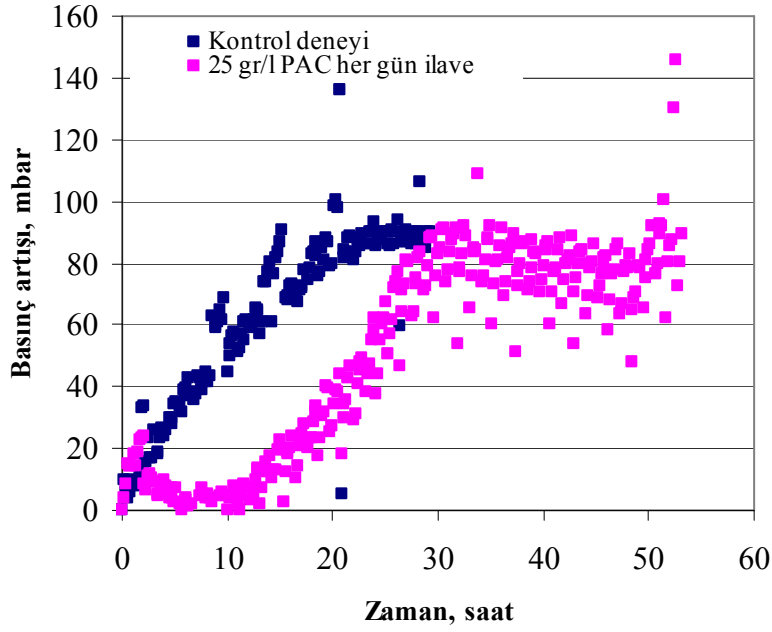
Çizelge 4.17 : Terkos göl suyu ve 25 gr/l PAC konsantrasyonu kullanılarak yürütülen MF membran deneyinde reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV₂₅₄ absorban değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri

Parametre	Kontrol deneyi	Her gün ilave	
		PAC ilavesi öncesi	PAC ilavesi sonrası
TOK	19	-	-
UV ₂₅₄	-	-	-

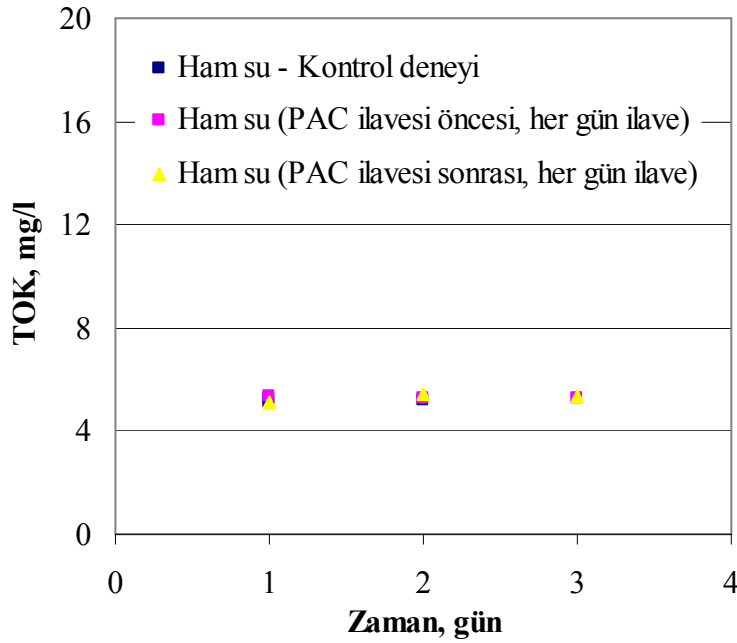
TOK ve UV₂₅₄ absorban giderme verimlerine bakıldığında PAC ilave yönteminin giderim verimine önemli etkisi görülmüştür. En iyi giderim verimleri PAC ‘ın her gün ilave edilmesiyle yürütülen deneyde gözlenmiştir. Düşük giderme verimleri, göl suyunda bulunan organik madde karakterizasyonundan kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Çizelge 4.18’de verim değerlerinin deneyin başlangıcı ve sonundaki yüzde olarak değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.18 : TOK ve UV₂₅₄ absorban giderme verimi değerlerinin deneyin başlangıcı ve sonundaki değerleri (%)

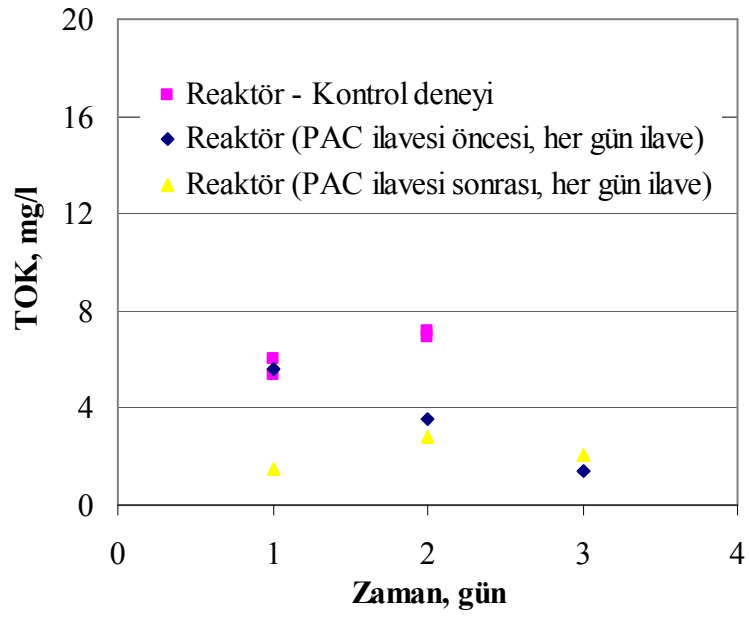
Parametre	Kontrol deneyi	Her gün ilave	
		PAC ilavesi öncesi	PAC ilavesi sonrası
TOK	26-22	15-81	78-90
UV ₂₅₄	22-18	13-69	63-71



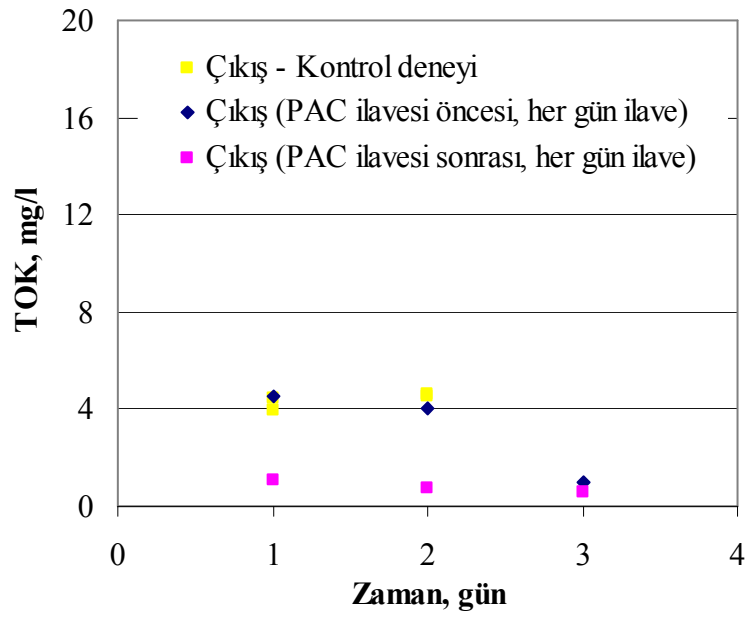
Şekil 4.197 : Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için basınç değerinin zamanla değişimi (Terkos göl suyu, MF)



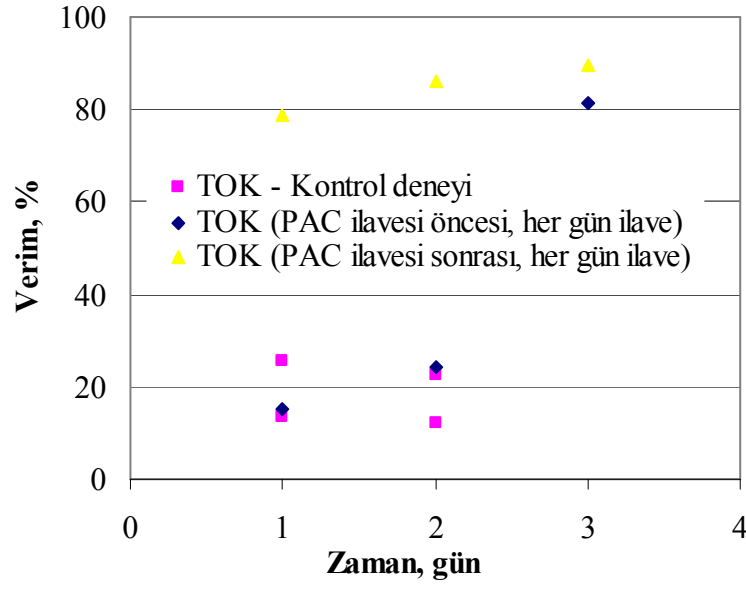
Şekil 4.198 : Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için ham su TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Terkos göl suyu, MF)



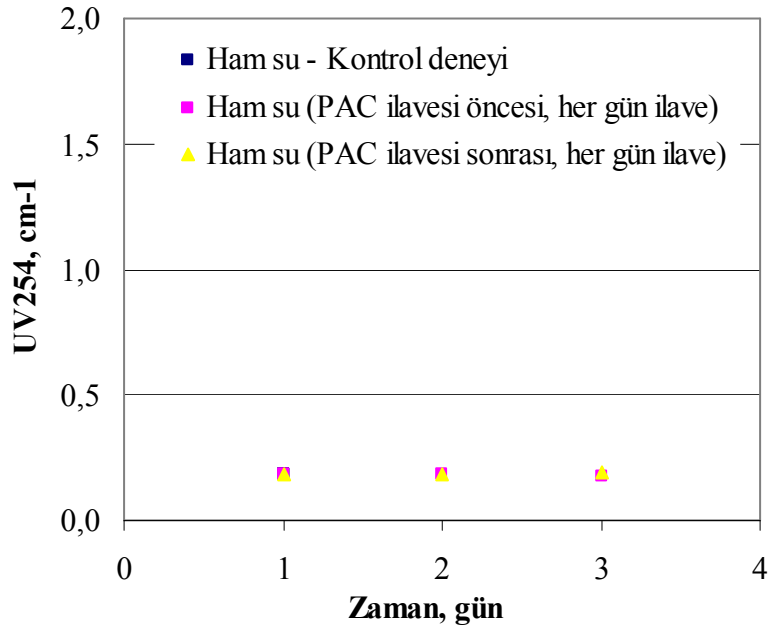
Şekil 4.199 : Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için reaktör içi TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Terkos göl suyu, MF)



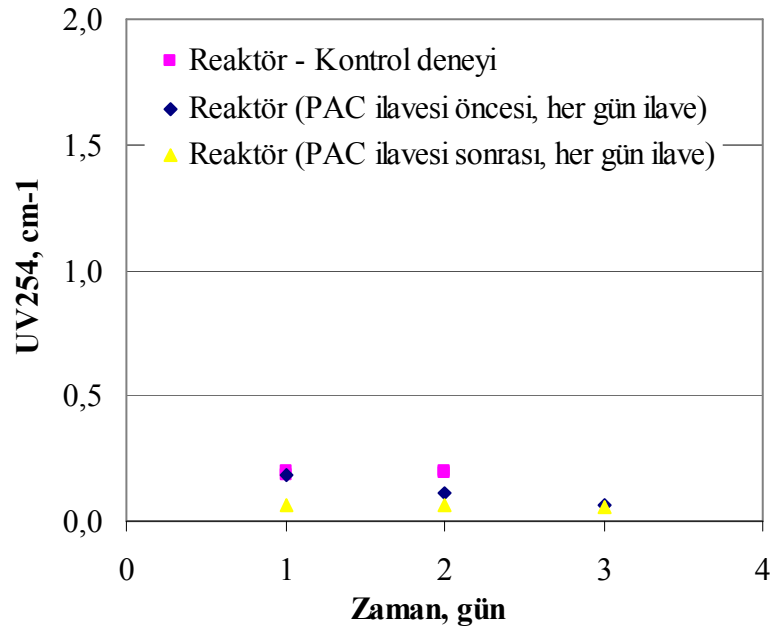
Şekil 4.200 : Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için çıkış TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Terkos göl suyu, MF)



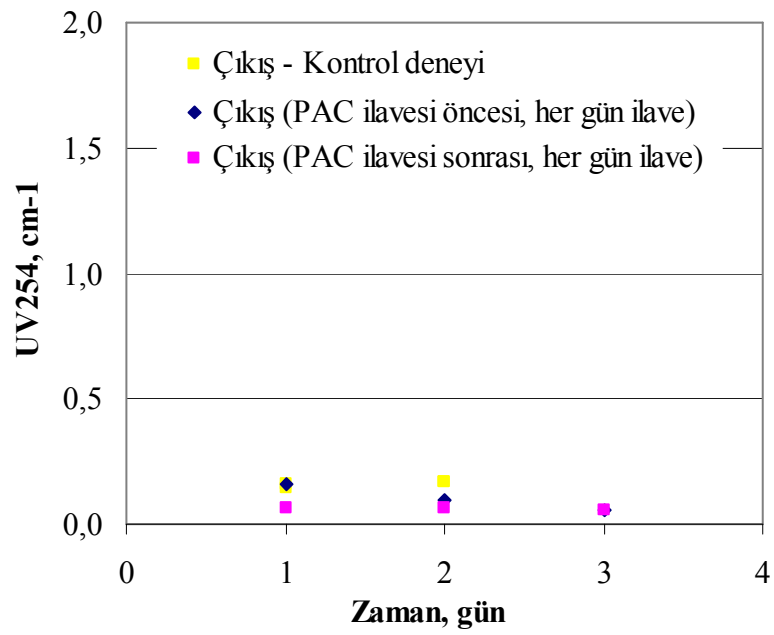
Şekil 4.201 : Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için TOK giderim veriminin zamanla değişimi (Terkos göl suyu, MF)



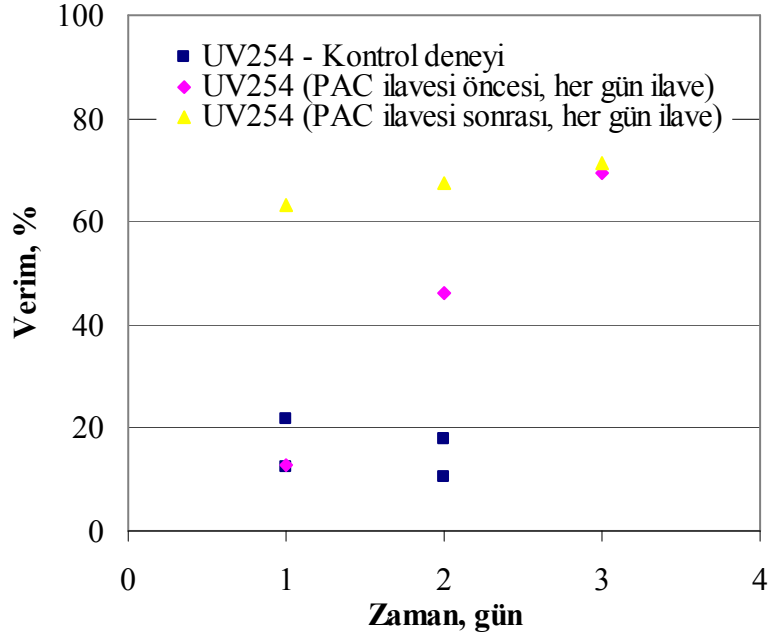
Şekil 4.202 : Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için ham su UV_{254} absorban değerlerinin zamanla değişimi (Terkos göl suyu, MF)



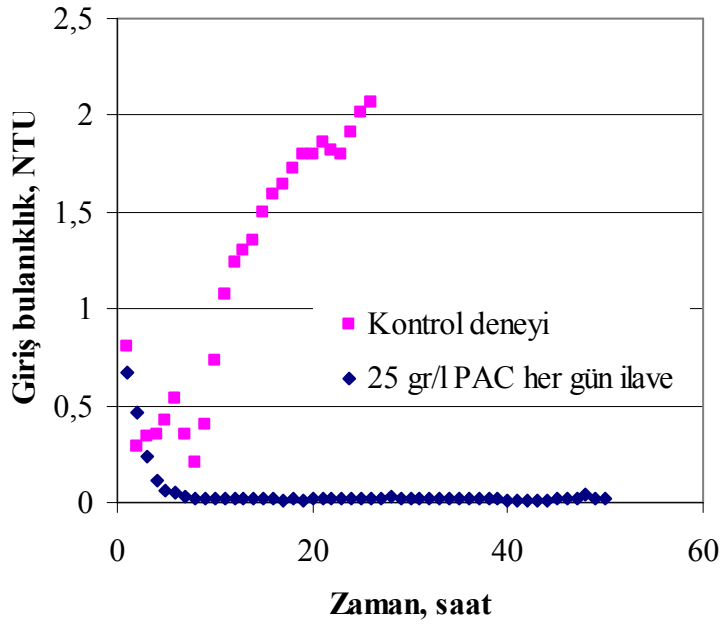
Şekil 4.203 : Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için reaktör içi UV_{254} absorban değerlerinin zamanla değişimi (Terkos göl suyu, MF)



Şekil 4.204 : Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için çıkış UV_{254} absorban değerlerinin zamanla değişimi (Terkos göl suyu, MF)



Şekil 4.205 : Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için UV₂₅₄ absorban giderim verimlerinin zamanla değişimi (Terkos göl suyu, MF)



Şekil 4.206 : Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için çıkış bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Terkos göl suyu, MF)

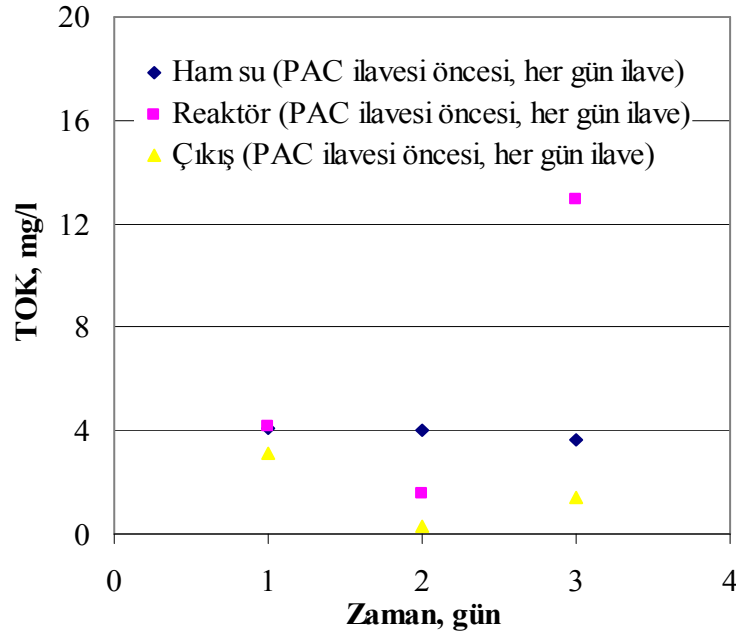
4.2.2 Ömerli göl suyunda yapılan deneyler

Deneysel çalışmalar, MF membranı kullanılarak yürütülmüştür. Ömerli baraj suyunun kullanıldığı deneylerde, toz aktif karbon kullanımının membran tıkanıklığına etkisi araştırılmıştır.

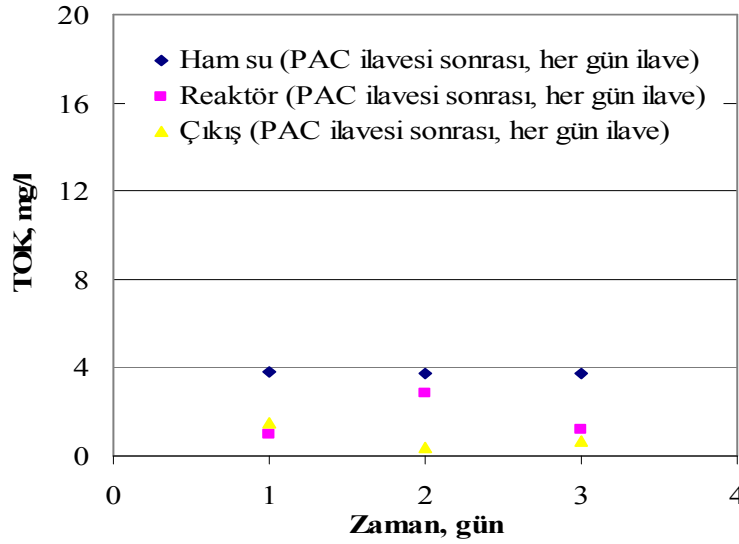
a) Toz Aktif Karbon (PAC) İlavesinin Etkisinin Araştırılması

PAC Konsantrasyonu (25 gr/l PAC) (Her Gün İlave Edildiği Durum)

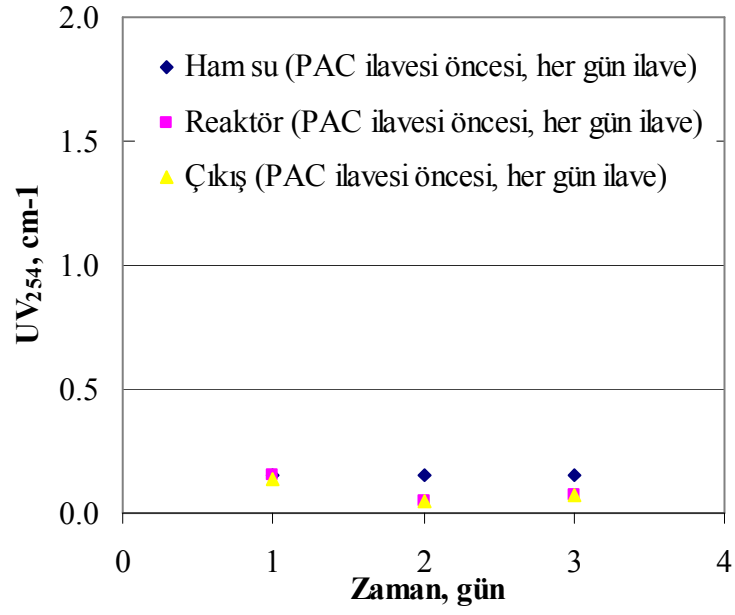
25 g/l PAC çözelti halinde deney süresince her gün belirli bir saatte birinci reaktöre verilmiştir. PAC ilavesinden önce ve sonra olmak üzere her gün iki ayrı numune alınmıştır. Bu çalışmaya ait TOK ve UV₂₅₄ absorbans değerleri Şekil 4.207, 4.208, 4.209 ve 4.210'da, giderme verimleri Şekil 4.211 ve 4.212'de, membranda basınç artışı Şekil 4.213'de ve bulanıklık değerleri ise Şekil 4.214'de gösterilmiştir. Bu durumda reaktör içindeki TOK konsantrasyonu PAC ilavesi öncesinde % 252 oranında arttığı ve UV₂₅₄ absorbans değerinin ise % 52 oranında azaldığı görülmüştür. PAC ilavesi sonrasında ise reaktör içindeki TOK konsantrasyonunda % 68 ve UV₂₅₄ absorbans değerinde ise % 65 oranında azalma görülmüştür. TOK ve UV₂₅₄ giderme verimleri PAC ilavesi öncesinde değişkendir. PAC ilavesi sonrasında ise % 20 ve % 80'ler arasında değişmiştir. Transmembran basıncı 10. saate kadar hızla artmış daha sonra azalan hızla artmaya devam etmiştir. Maksimum basınç değeri, 120 mbar'ın altında kalmıştır. Giriş bulanıklık değeri değişkenken, çıkış bulanıklık değeri 0,2 NTU'nun altında kalmıştır.



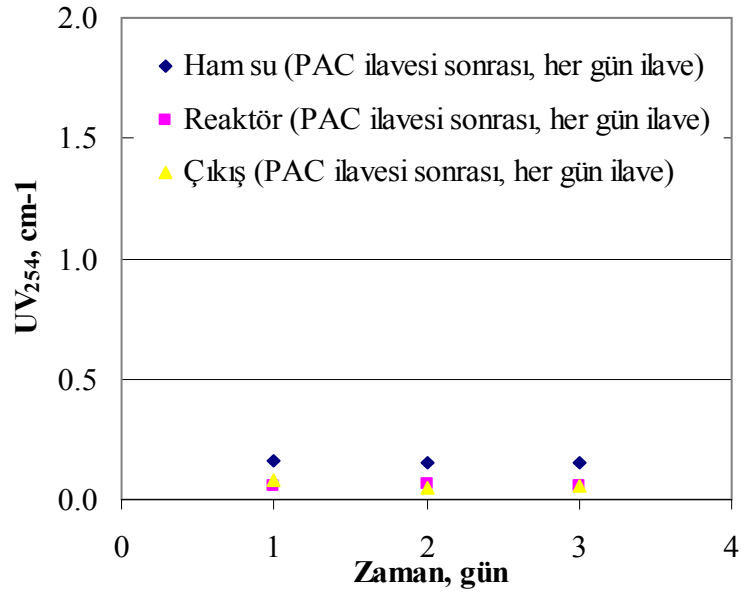
Şekil 4.207 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi öncesi TOK değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, MF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)



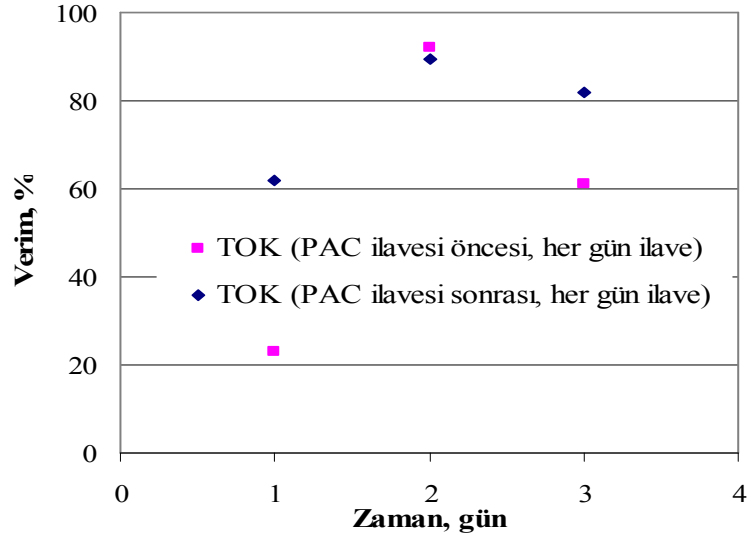
Şekil 4.208 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi sonrası TOK değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, MF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)



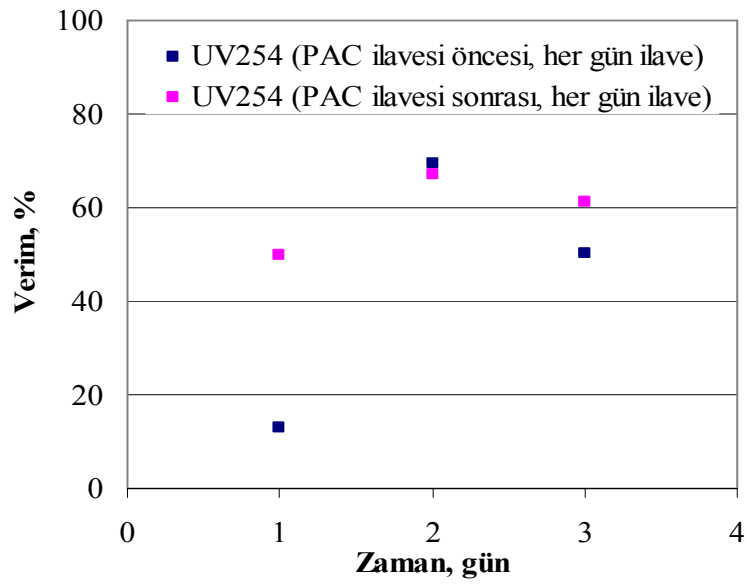
Şekil 4.209 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi öncesi UV_{254} absorban değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, MF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)



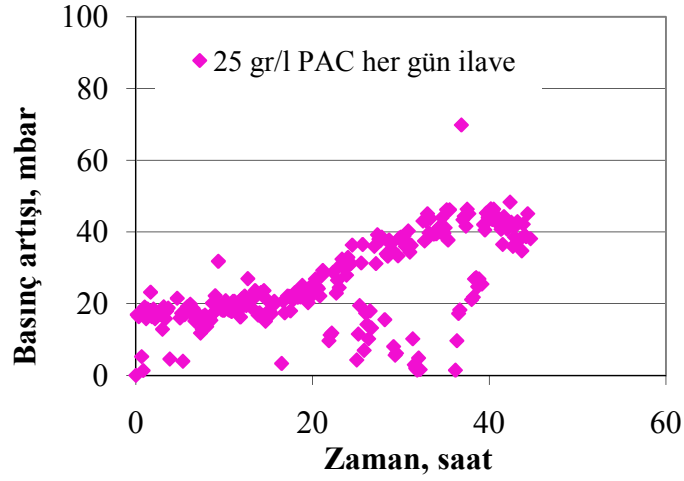
Şekil 4.210 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi sonrası UV_{254} absorban değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, MF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)



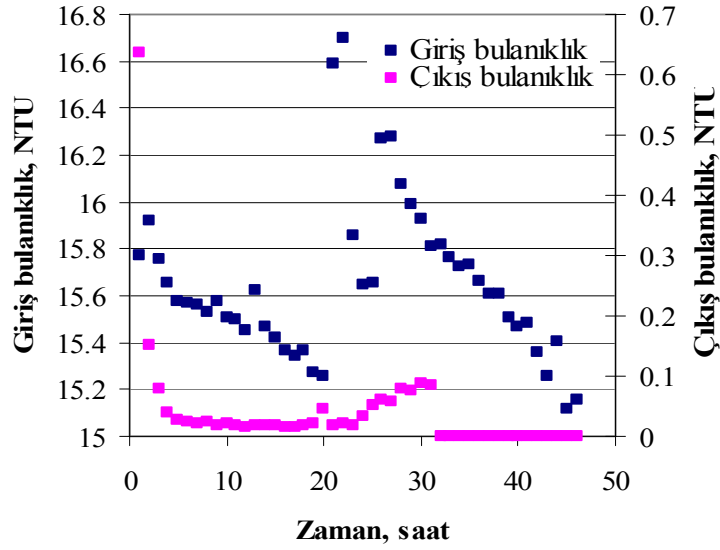
Şekil 4.211 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi öncesi ve sonrası TOK giderim verimlerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, MF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)



Şekil 4.212 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi öncesi ve sonrası UV₂₅₄ giderim verimlerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, MF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)



Şekil 4.213 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için basınç değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, MF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)



Şekil 4.214 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, MF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)

PAC İlaveli Deneyin Karşılaştırılması

Pilot ölçekli sistemde Ömerli baraj suyu ile MF membranı kullanılarak 25 g/l PAC her gün ilave edilerek yürütülen deneye ait basınç artışı Şekil 4.215’de, TOK ve UV₂₅₄ giderme verimleri sırasıyla Şekil 4.216–4.219 ve 4.220-4.223’de ve bulanıklık değerleri ise Şekil 4.224’de gösterilmiştir. En yüksek basınç artışı kontrol deneyinde elde edilmiştir. En yüksek TOK ve UV₂₅₄ giderim verimleri ise PAC’ın her gün ilave edildiği durumda gözlenmiştir.

Çizelge 4.19’da reaktörlerdeki TOK konsantrasyonu ve UV₂₅₄ absorbans değeri artış yüzdeleri verilmiştir.

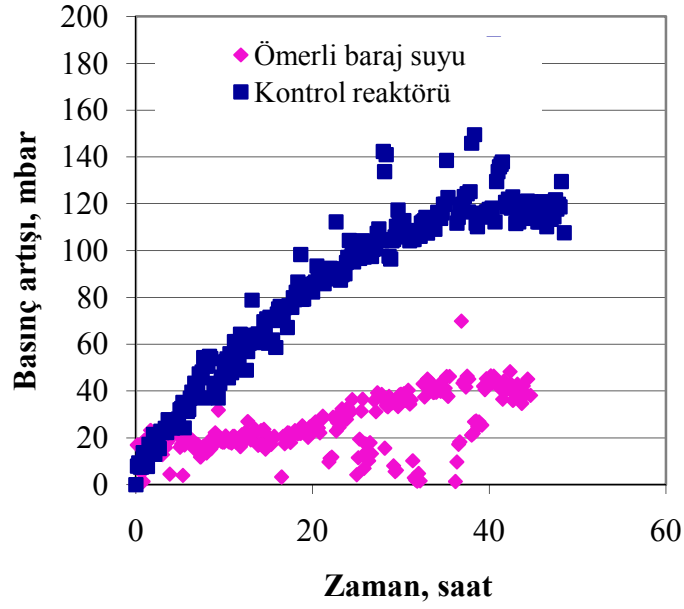
Çizelge 4.19 : Ömerli baraj suyu ve 25 gr/l PAC konsantrasyonu kullanılarak yürütülen MF membran deneyinde reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV₂₅₄ absorbans değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri

Parametre	Kontrol deneyi	Her gün ilave	
		PAC ilavesi öncesi	PAC ilavesi sonrası
TOK	54	252	-
UV ₂₅₄	18	-	-

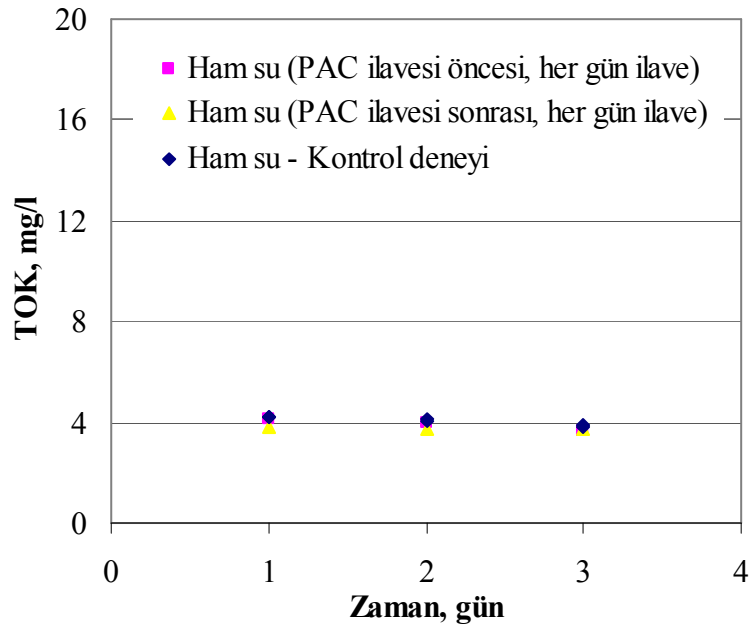
TOK ve UV₂₅₄ absorbans giderme verimlerine bakıldığında PAC ilave yönteminin giderme verimine önemli etkisi görülmüştür. En iyi giderme verimleri PAC’nın her gün ilave edilmesiyle yürütülen deneyde gözlenmiştir. Düşük giderme verimleri, göl suyunda bulunan organik madde karakterizasyonundan kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Çizelge 4.20’de verim değerlerinin deneyin başlangıcı ve sonundaki değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.20 : TOK ve UV₂₅₄ absorban giderim verim değerlerinin deneyin başlangıcı ve sonundaki değerleri (%)

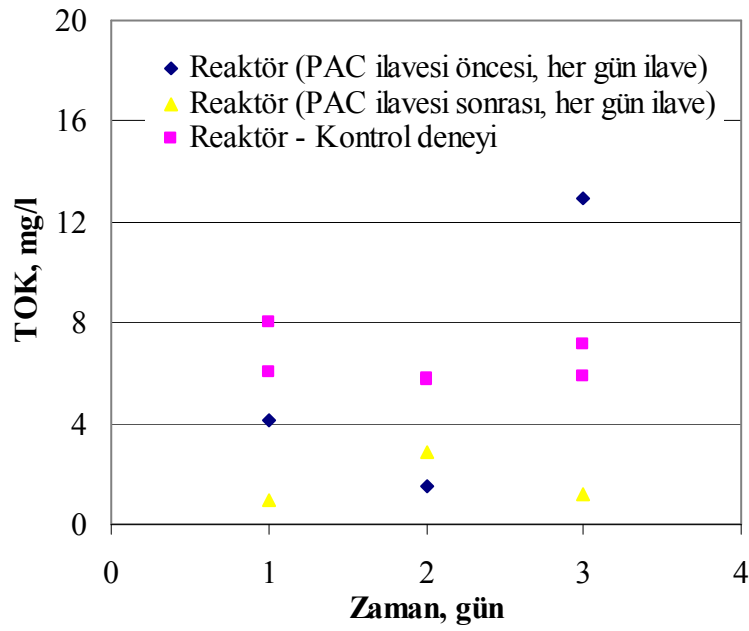
Parametre	Kontrol deneyi	Her gün ilave	
		PAC ilavesi öncesi	PAC ilavesi sonrası
TOK	30-10	23-61	62-82
UV ₂₅₄	15-11	13-50	50-61



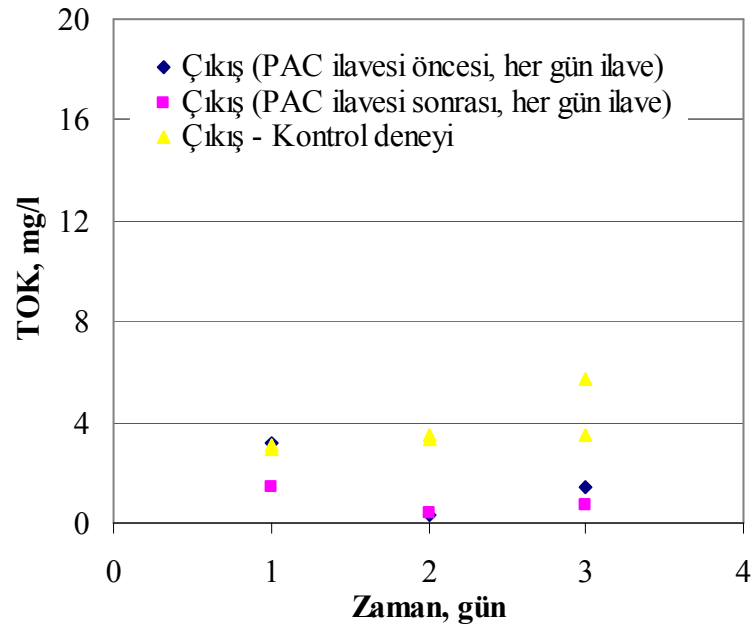
Şekil 4.215 : Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için basınç değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, MF)



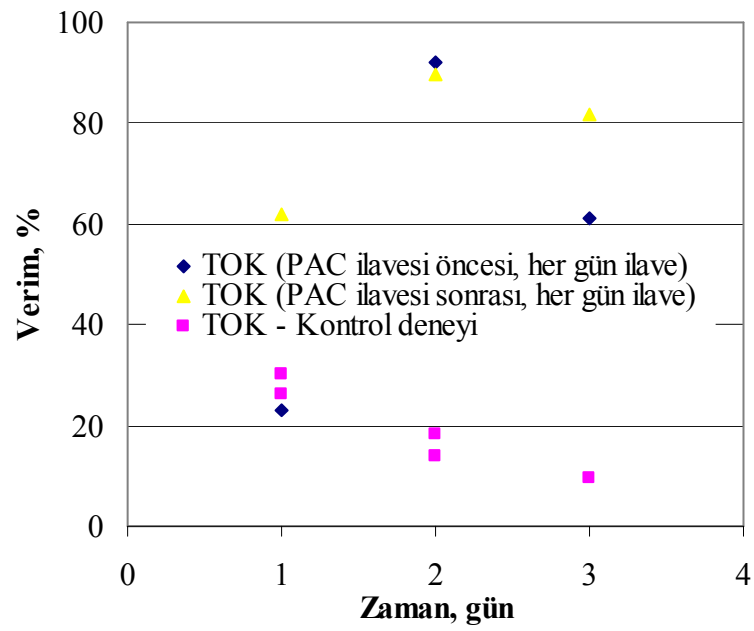
Şekil 4.216 : Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için ham su TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, MF)



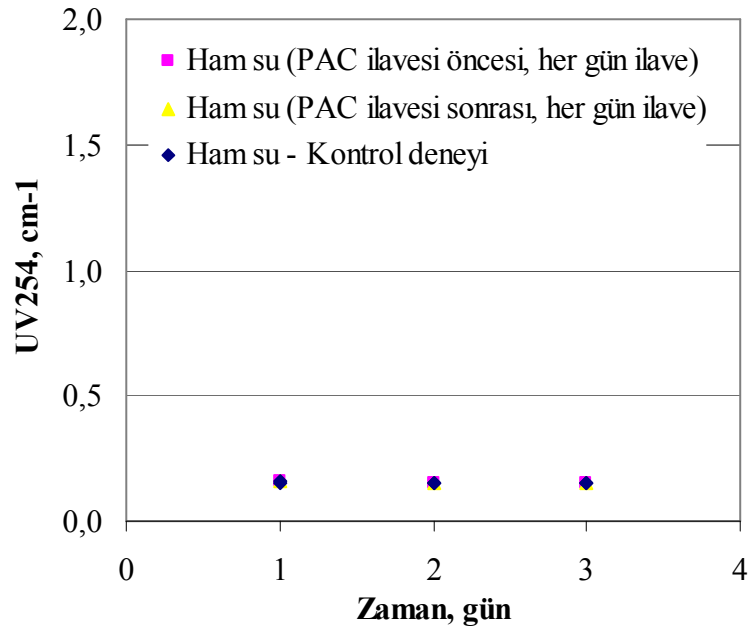
Şekil 4.217 : Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için reaktör içi TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, MF)



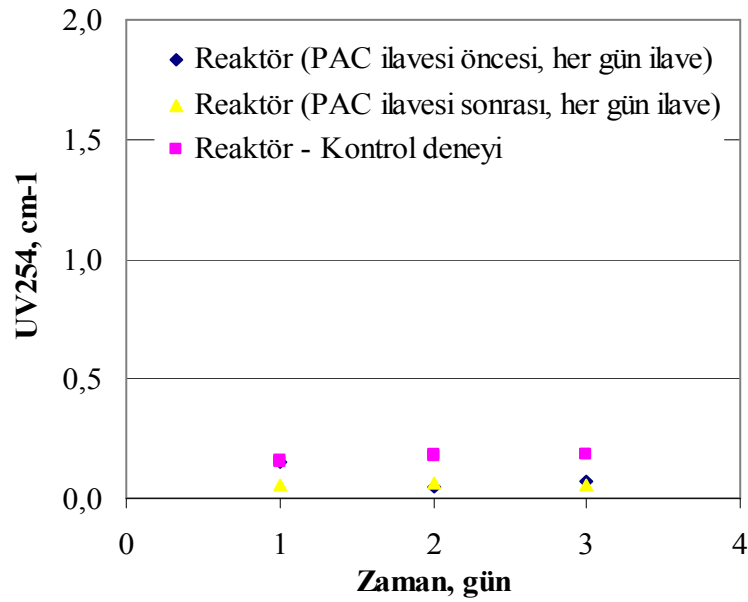
Şekil 4.218 : Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için çıkış TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, MF)



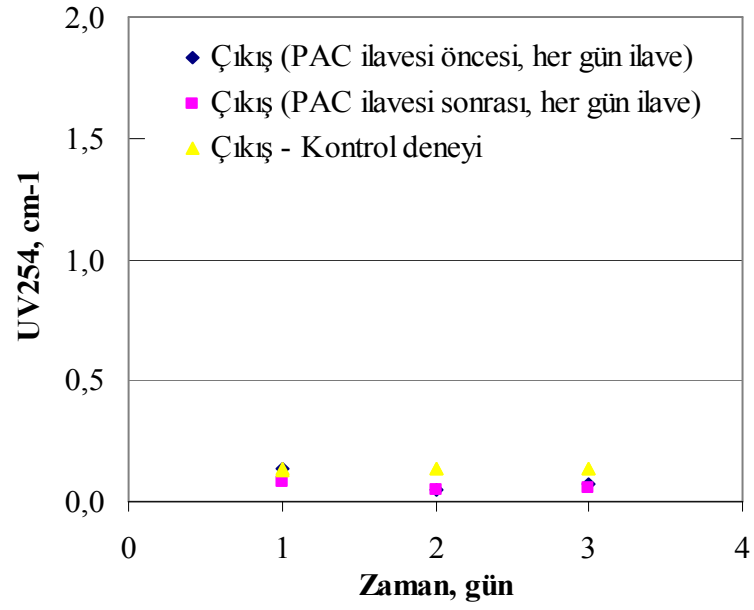
Şekil 4.219 : Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için TOK giderim veriminin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, MF)



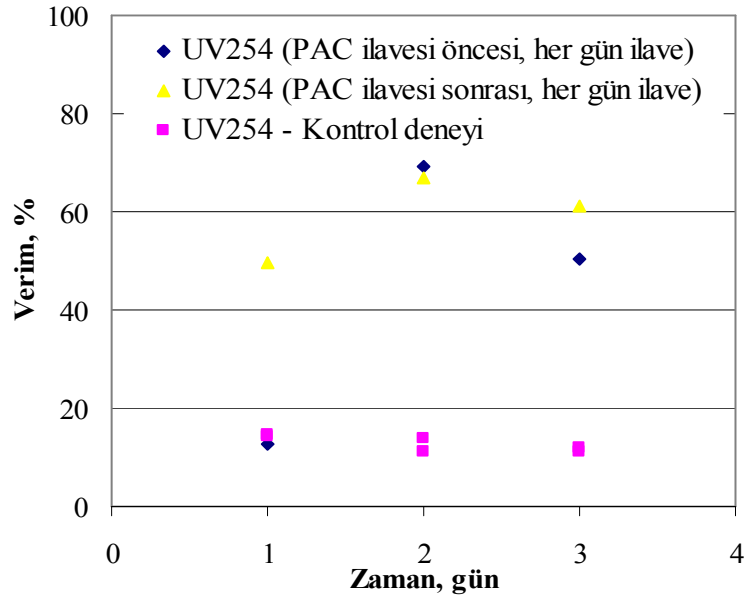
Şekil 4.220 : Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için ham su UV_{254} absorban değerlerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, MF)



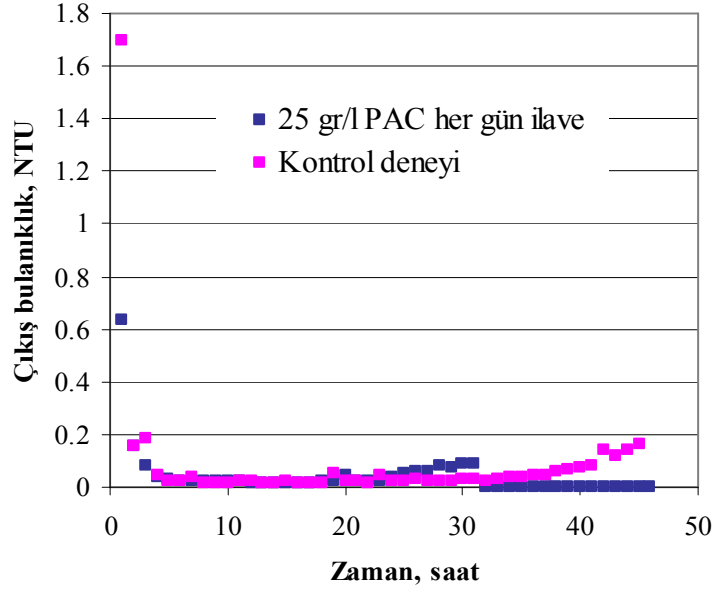
Şekil 4.221 : Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için reaktör içi UV_{254} absorban değerlerinin zamanla değişimi (Ömerli barajsuyu, MF)



Şekil 4.222 : Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için çıkış UV₂₅₄ absorban değerlerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, MF)



Şekil 4.223 : Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için UV₂₅₄ absorban giderim verimlerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, MF)



Şekil 4.224 : Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için çıkış bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Ömerli baraj suyu, MF)

4.2.3 Büyükçekmece göl suyunda yapılan deneyler

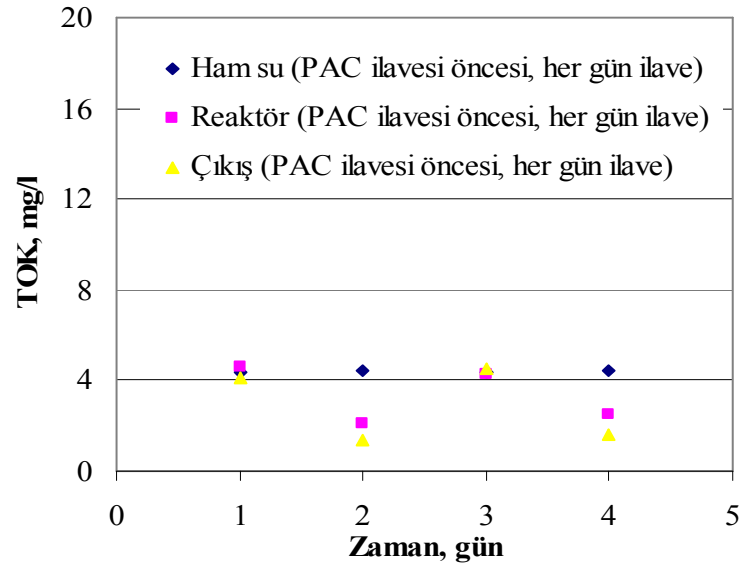
Deneyisel çalışmalar, MF membranı kullanılarak yürütülmüştür. Büyükçekmece göl suyunun kullanıldığı deneylerde, toz aktif karbon kullanımının membran tıkanıklığına etkisi araştırılmıştır.

a) Toz Aktif Karbon (PAC) İlavesinin Etkisinin Araştırılması

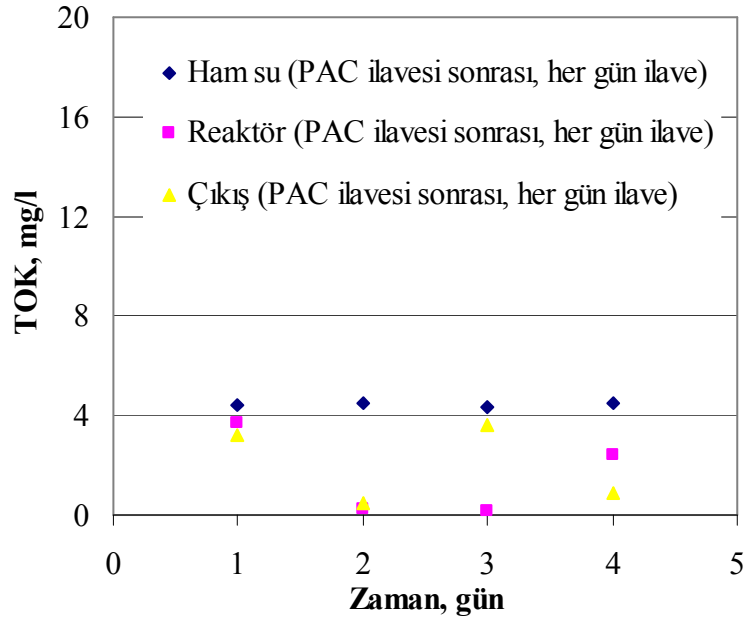
PAC Konsantrasyonu (25 gr/l PAC) (Her Gün İlave Edildiği Durum)

25 g/l PAC çözelti halinde deney süresince her gün belirli bir saatte birinci reaktöre verilmiştir. PAC ilavesinden önce ve sonra olmak üzere her gün iki ayrı numune alınmıştır. Bu çalışmaya ait TOK ve UV₂₅₄ absorbans değerleri Şekil 4.225-4.228'de, giderme verimleri Şekil 4.229 ve 4.230'da, membrandaki basınç artışı Şekil 4.231'de ve bulanıklık değerleri ise Şekil 4.232'de gösterilmiştir. Bu durumda reaktör içindeki TOK konsantrasyonu PAC ilavesi öncesinde % 43 ve UV₂₅₄ absorbans değerinin ise % 40 oranında azaldığı görülmüştür. PAC ilavesi sonrasında ise reaktör içindeki TOK konsantrasyonunda % 45 ve UV₂₅₄ absorbans değerinde ise % 63 oranında azalma görülmüştür. TOK ve UV₂₅₄ giderme verimleri PAC ilavesi öncesinde

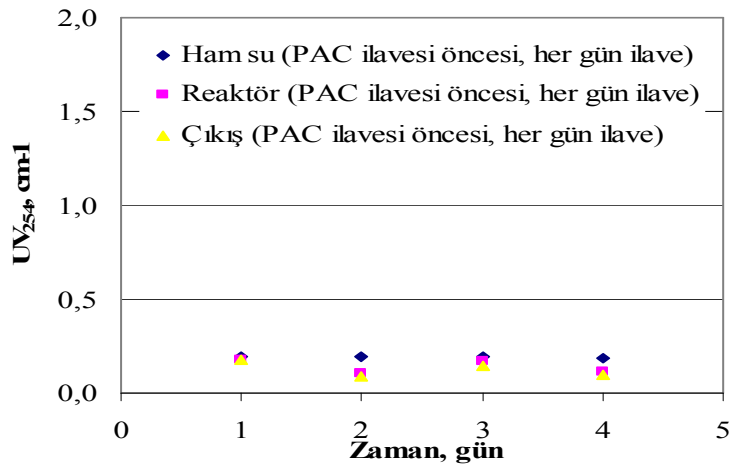
değişkendir. PAC ilavesi sonrasında ise % 20 ve % 80’ler arasında değişmiştir. Basınç değeri, 45. saate kadar hızla artmış, daha sonra azalan bir hızla artmaya devam etmiş ve 250 mbar’ın altında kalmıştır. Giriş bulanıklık değeri 5 NTU’lardan 3,5 NTU’ya kadar azalmıştır. Çıkış bulanıklık değeri ise 0,14 NTU’nun altında kalmıştır.



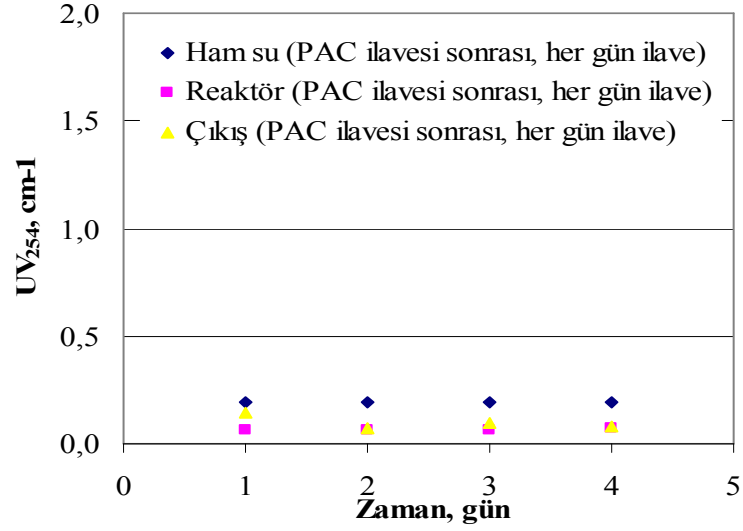
Şekil 4.225 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi öncesi TOK değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, MF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)



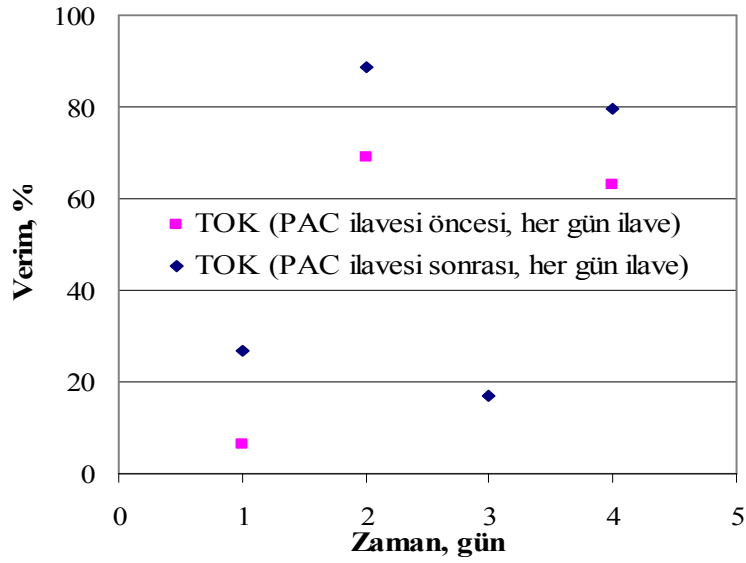
Şekil 4.226 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi sonrası TOK değerinin zamanla değişimi (Büyükçekmece göl suyu, MF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)



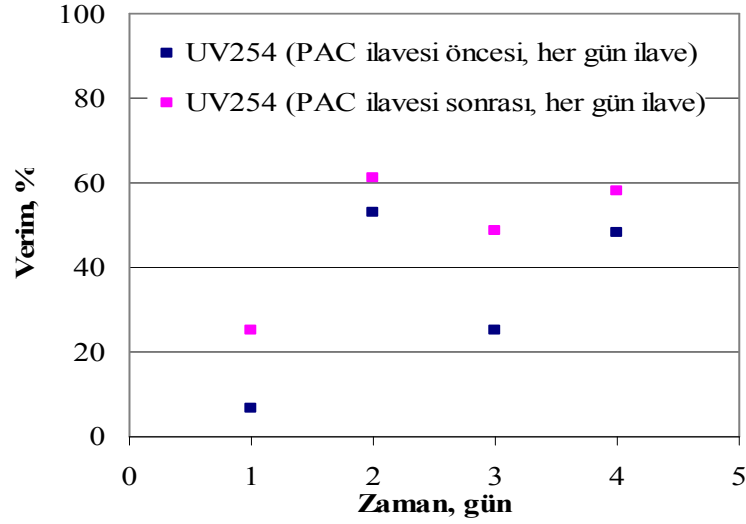
Şekil 4.227 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi öncesi UV_{254} absorban değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, MF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)



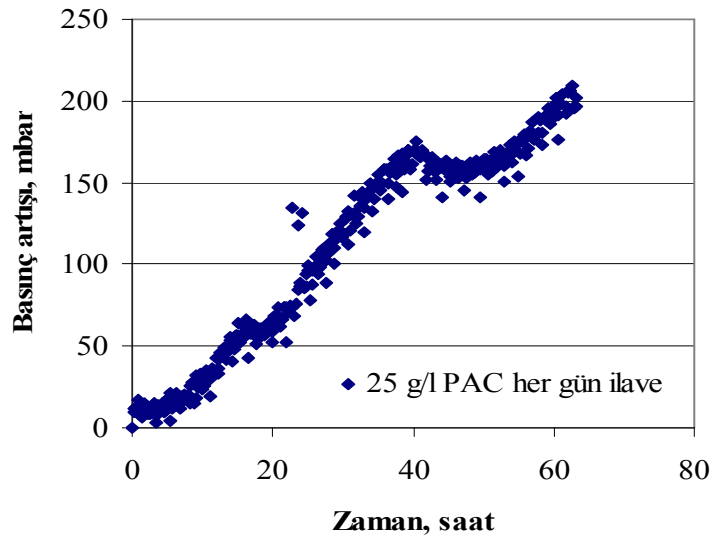
Şekil 4.228 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi sonrası UV_{254} absorban değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, MF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)



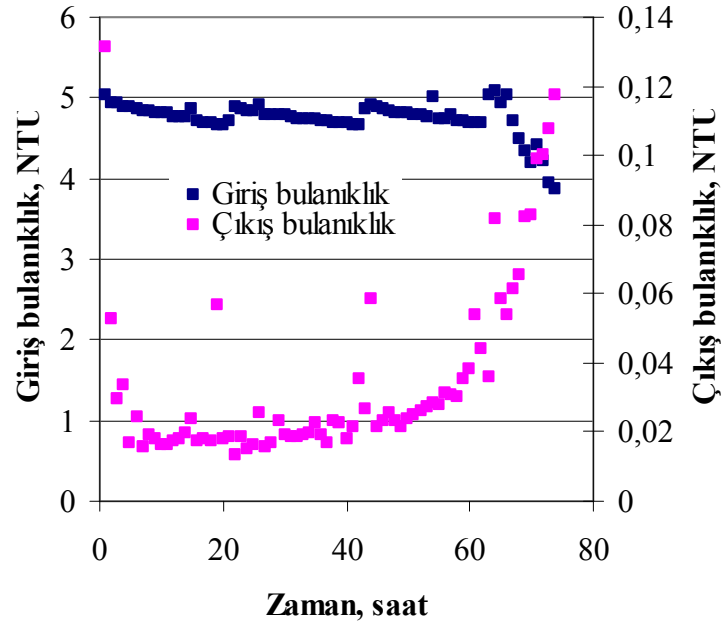
Şekil 4.229 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi öncesi ve sonrası TOK giderim verimlerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, MF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)



Şekil 4.230 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için PAC ilavesi öncesi ve sonrası UV_{254} giderim verimlerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, MF:3600s, BP:360s, Debi:30 l/st)



Şekil 4.231 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için basınç değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, MF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)



Şekil 4.232 : PAC konsantrasyonunun 25 g/l olarak, her gün ilave edilerek çalıştırıldığı durum için bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, MF:3600s, BP:360s, Debi: 30 l/st)

PAC İlaveli Deneylerin Karşılaştırılması

Pilot ölçekli sistemde Büyükçekmece göl suyu ile MF membranı kullanılarak 25 g/l PAC her gün ilave yönteminde yürütülen deneye ait basınç artışı Şekil 4.233’de, TOK ve UV_{254} giderme verimleri sırasıyla Şekil 4.234–4.237 ve 4.238-4.241’de gösterilmiştir. En yüksek basınç artışı PAC’nın her gün ilave edildiği durumda elde edilmiştir. En yüksek TOK ve UV_{254} giderme verimleri PAC’nın her gün ilave edildiği durumda gözlenmiştir.

Çizelge 4.21’de reaktörlerdeki TOK konsantrasyonu ve UV_{254} absorbands değeri artış yüzdeleri verilmiştir.

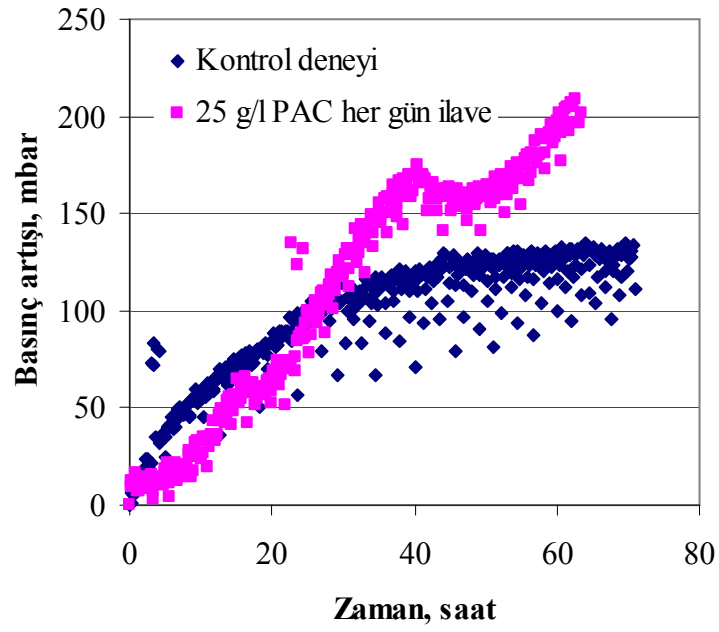
Çizelge 4.21 : Büyükçekmece göl suyu ve 25 gr/l PAC konsantrasyonu kullanılarak yürütülen MF membran deneyinde reaktördeki TOK konsantrasyonu ve UV₂₅₄ absorbans değerlerinin ham su değerine göre artış yüzdeleri

Parametre	Kontrol deneyi	Her gün ilave	
		PAC ilavesi öncesi	PAC ilavesi sonrası
TOK	91	-	-
UV ₂₅₄	8	-	-

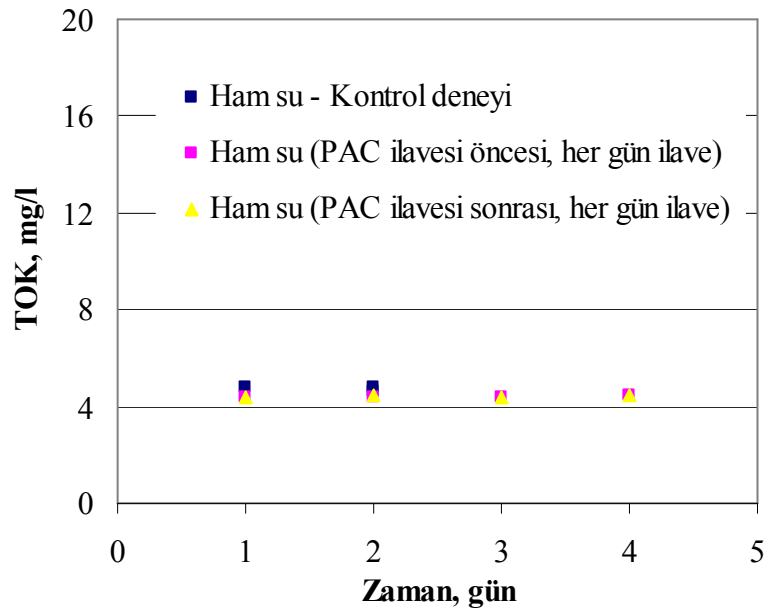
TOK ve UV₂₅₄ absorbans giderme verimlerine bakıldığında PAC ilave yönteminin giderim verimine önemli etkisi görülmüştür. En iyi giderme verimleri PAC'nın her gün ilave edilmesiyle yürütülen deneylerde gözlenmiştir. Düşük giderme verimleri, göl suyunda bulunan organik madde karakterizasyonundan kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Çizelge 4.22'de verim değerlerinin deneyin başlangıcı ve sonundaki yüzde olarak değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.22 : TOK ve UV₂₅₄ absorbans giderme verimi değerlerinin deneyin başlangıcı ve sonundaki değerleri (%)

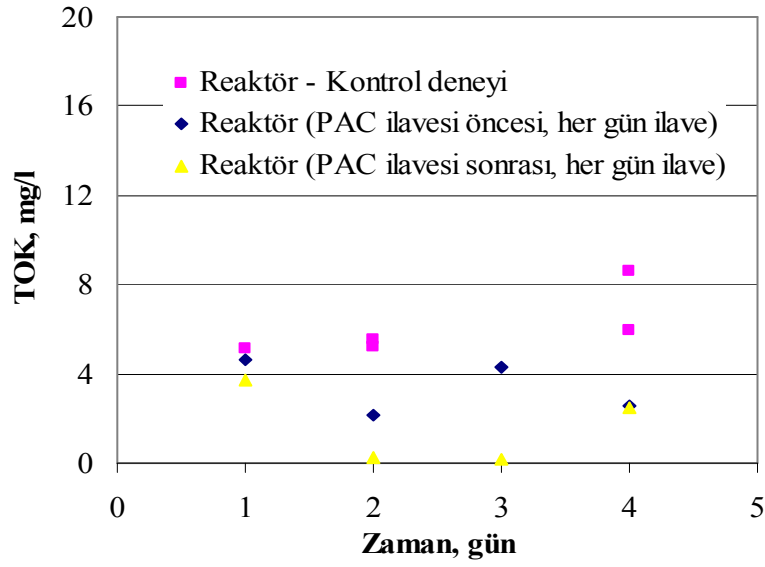
Parametre	Kontrol deneyi	Her gün ilave	
		PAC ilavesi öncesi	PAC ilavesi sonrası
TOK	9-2	6-63	27-79
UV ₂₅₄	8-6	7-48	25-58



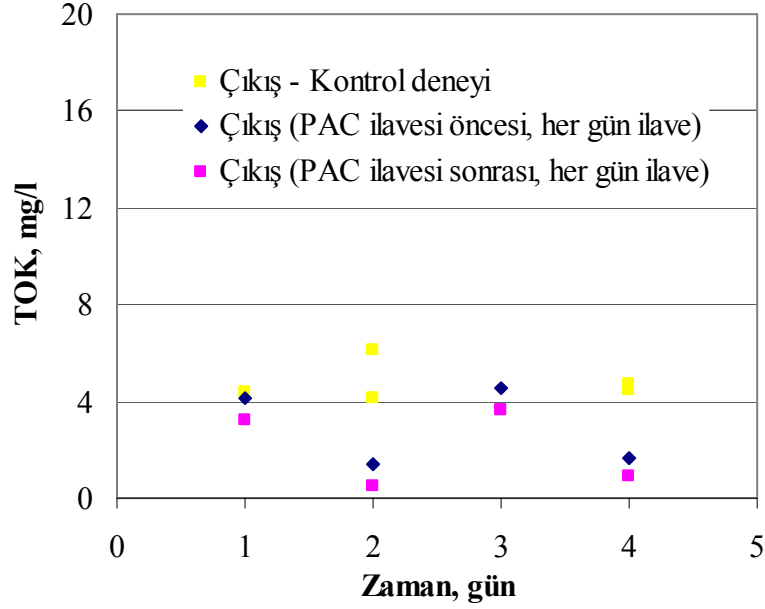
Şekil 4.233 : Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için basınç değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, MF)



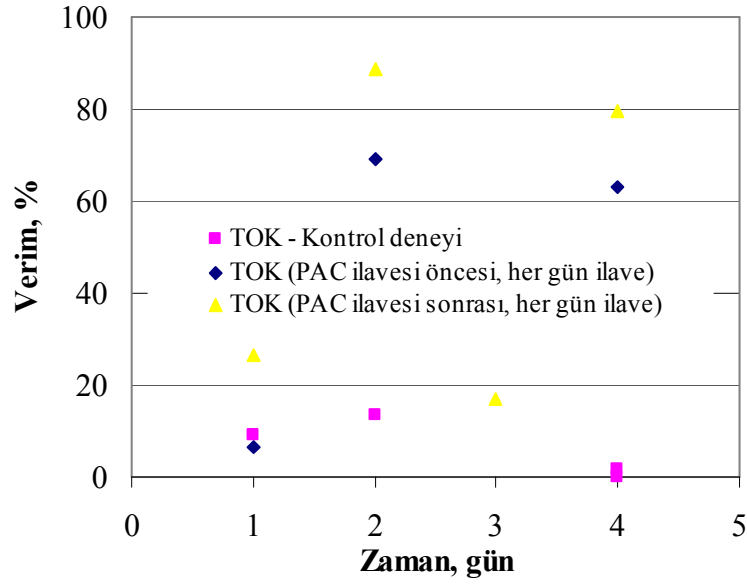
Şekil 4.234 : Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için ham su TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, MF)



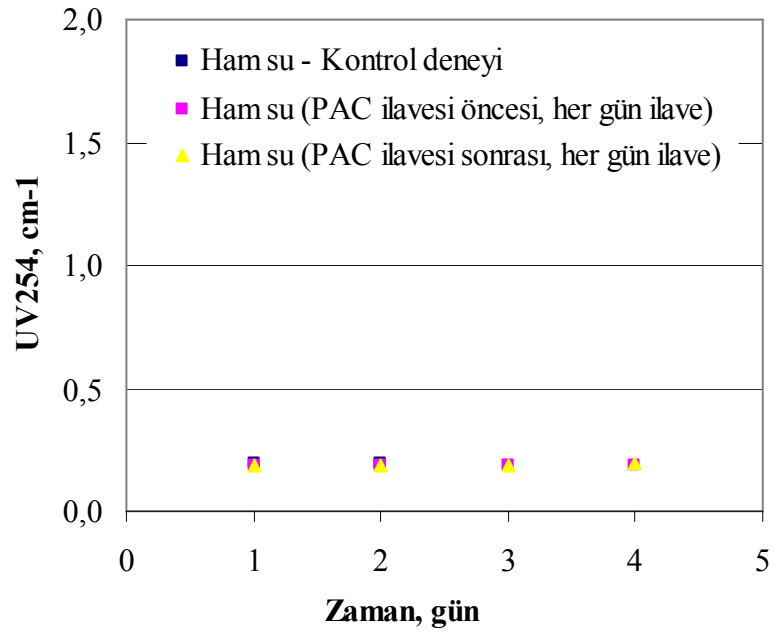
Şekil 4.235 : Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için reaktör içi TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, MF)



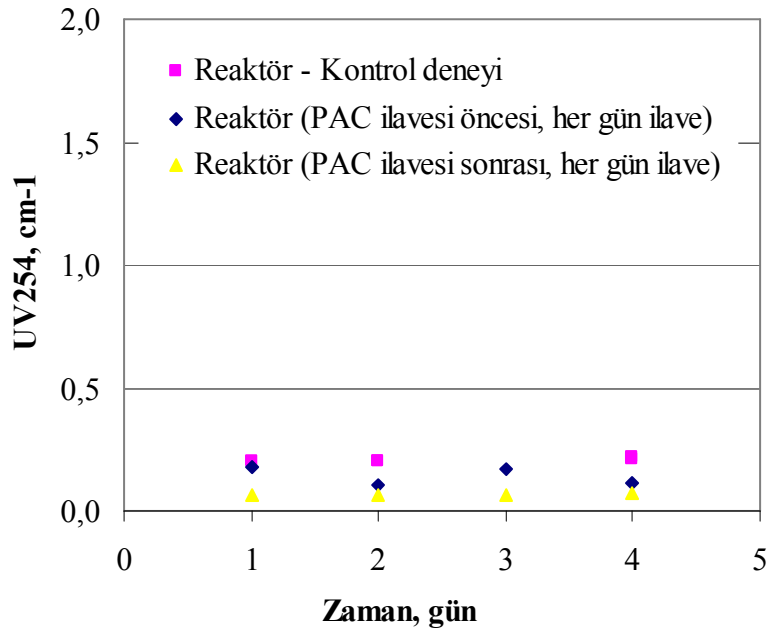
Şekil 4.236 : Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için çıkış TOK konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, MF)



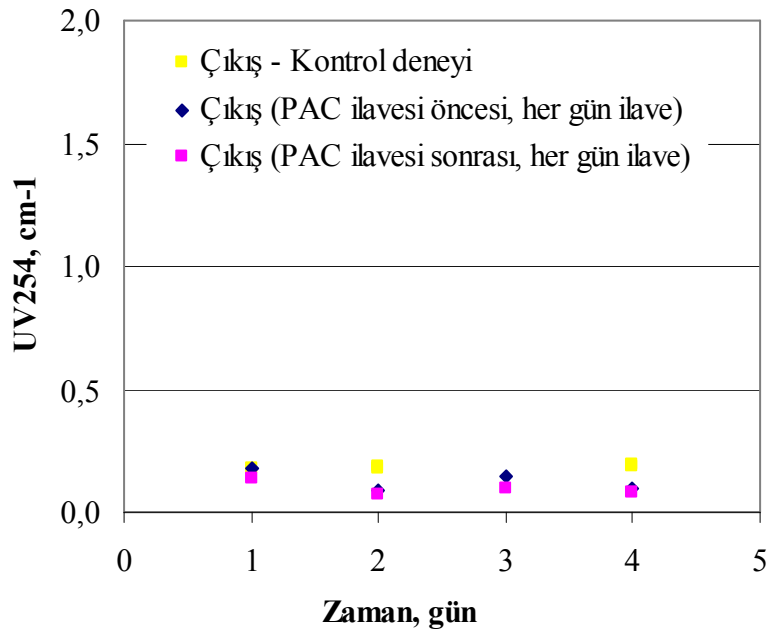
Şekil 4.237 : Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için TOK giderim veriminin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, MF)



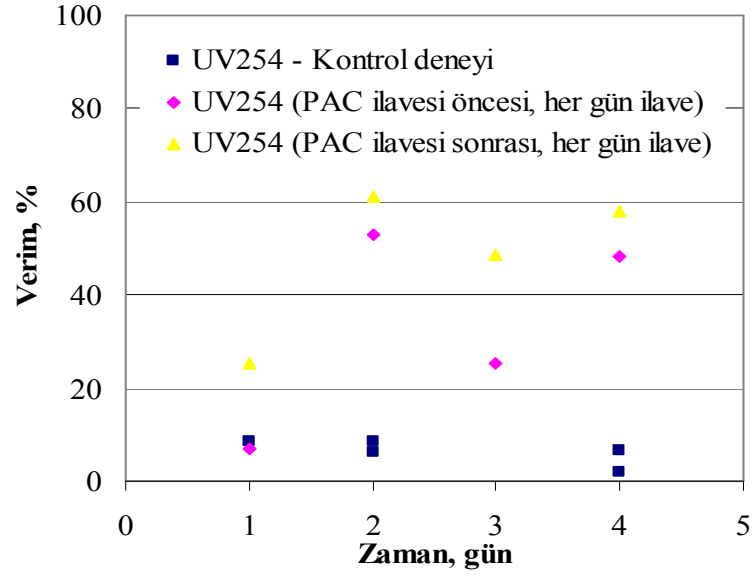
Şekil 4.238 : Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için ham su UV_{254} absorban değerlerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, MF)



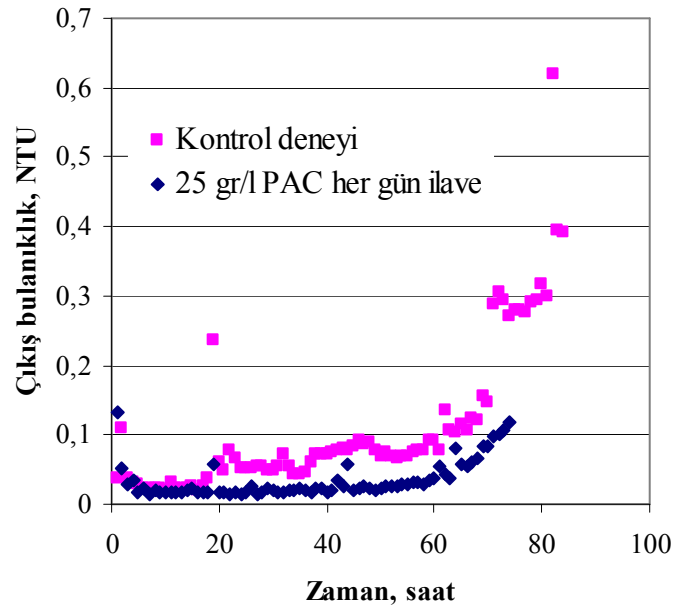
Şekil 4.239 : Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için reaktör içi UV_{254} absorban değerlerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, MF)



Şekil 4.240 : Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için çıkış UV_{254} absorban değerlerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, MF)



Şekil 4.241 : Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için UV₂₅₄ absorban giderim verimlerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, MF)



Şekil 4.242 : Kontrol deneyi ve PAC ilaveli deney için çıkış bulanıklık değerinin zamanla değişimi (Büyük çekmece göl suyu, MF)

4.3 Yapılan Pilot Ölçekli Deneysel Çalışmaların Farklı Ham Sular Açısından Karşılaştırılması

Bu bölümde, pilot ölçekli batık membran sisteminde, membran tıkanıklığının azaltılması için kullanılan ön arıtma yöntemlerin farklı ham sularda uygulanması açısından, TOK ve UV_{254} absorbans giderme verimleri ile basınç artışına etkisi açısından karşılaştırmaları verilmiştir.

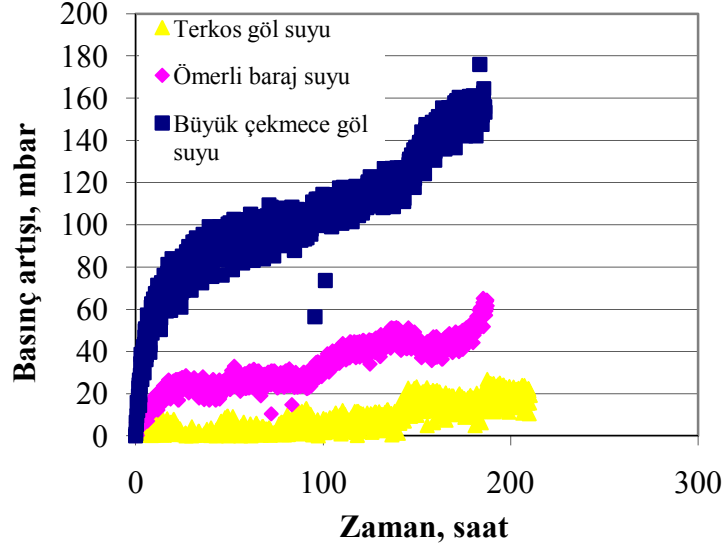
4.3.1 UF membranı ile yapılan deneylerin karşılaştırılması

Aşağıda sırayla, Terkos göl suyu, Büyük çekmece göl suyu ve Ömerli baraj suyu ile pilot ölçekte UF membranı ile yürütülen çalışmaların karşılaştırmaları verilmiştir.

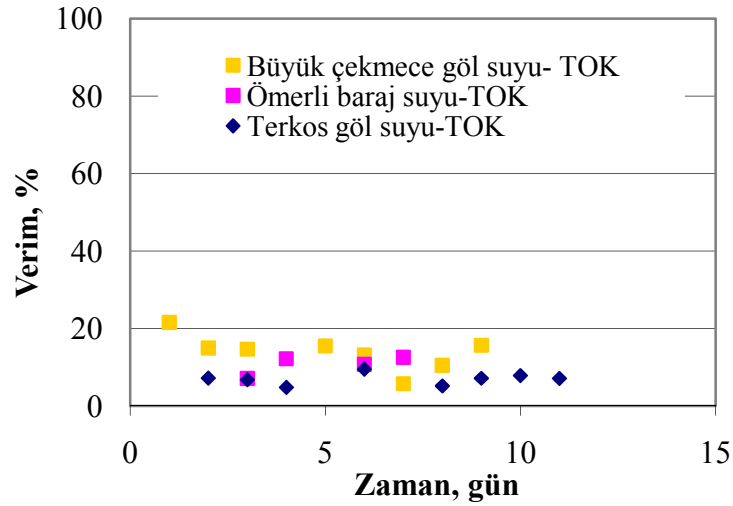
a) Kontrol deneylerinin karşılaştırılması (Herhangi Bir Ön Arıtma Uygulanmaması Durumu)

Aşağıda sırayla, Terkos göl suyu, Büyükçekmece göl suyu ve Ömerli baraj suyu ile yürütülen çalışmaların sadece ham su beslemeleri durumunda yani kontrol deneylerinin basınç artışına (Şekil 4.243), TOK giderimine (Şekil 4.244) ve UV_{254} absorbans giderimine (Şekil 4.245) etkileri gösterilmiştir. TOK giderme verimi açısından en iyi sonuç Büyükçekmece göl suyunda elde edilirken (% 23), Terkos ve Büyükçekmece göl suyundaki organik madde giderme miktarı % 20'nin altında gerçekleşmiştir. Orta derecede aromatik içeriğe sahip ($SUVA_{254} = 2,75 \text{ l/mg}\cdot\text{m}$) Büyükçekmece göl suyundaki hidrofilik yapıların UF membranı ile giderimi diğer 2 göl suyuna nazaran daha etkin bir şekilde gerçekleşmiştir. Bunun nedeninin Büyükçekmece suyundaki küçük organik moleküllerin UF yüzeyindeki kek tabakasında daha etkin bir şekilde tutulmuş olabileceği şeklinde yorumlanmıştır. UF membranı üzerinde meydana getirilen kek tabakasının gözenek boyutu, dağılımı ve hacmi, hidrofilik organiklerin giderimini etkileyen önemli bir faktör olarak görülmektedir. Her 3 suyun UF membranından geçirilmesi sonucu süzüntü suyunda ölçülen UV_{254} değerleri birbirine yakınlık arz etmektedir. UV_{254} giderim verimlerinin TOK giderim yüzdelерinden düşük çıkmasının nedeni olarak, her 3 su kaynağındaki organik karbon yapılarının içerik açısından aromatik karakterli organiklerin dışında sentetik organik yapılar içermeye ihtimali söz konusudur diye yorumlanmaktadır. Diğer yandan, Büyükçekmece suyunda en fazla basınç artışı gözlenmesinin nedeni, bu suda

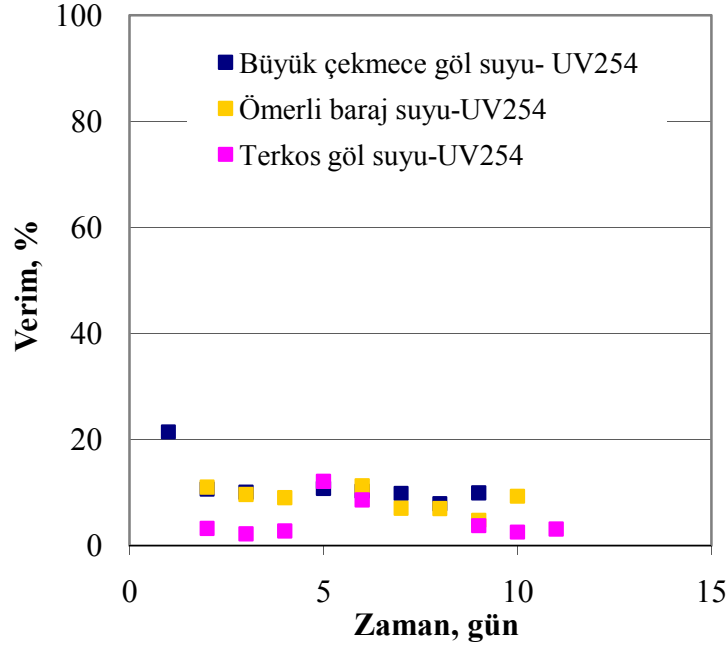
bulunan hidrofilik karakterli polisakkarit bileşiklerinin UF membranının yüzeyinde oluşan kek tabakasını tıkama hızı ve miktarı Terkos ve Ömerli sularına nazaran daha etkin bir şekilde gerçekleşmiş olmasıdır.



Şekil 4.243 : Farklı ham sular kullanılarak yürütülen pilot ölçekli UF Membran deneylerinde sadece ham su beslemesi durumunun (kontrol deneyinin) basınç artışı açısından karşılaştırılması



Şekil 4.244 : Farklı ham sular kullanılarak yürütülen pilot ölçekli UF Membran deneylerinde sadece ham su beslemesi durumunun (kontrol deneyinin) TOK giderim verimi açısından karşılaştırılması

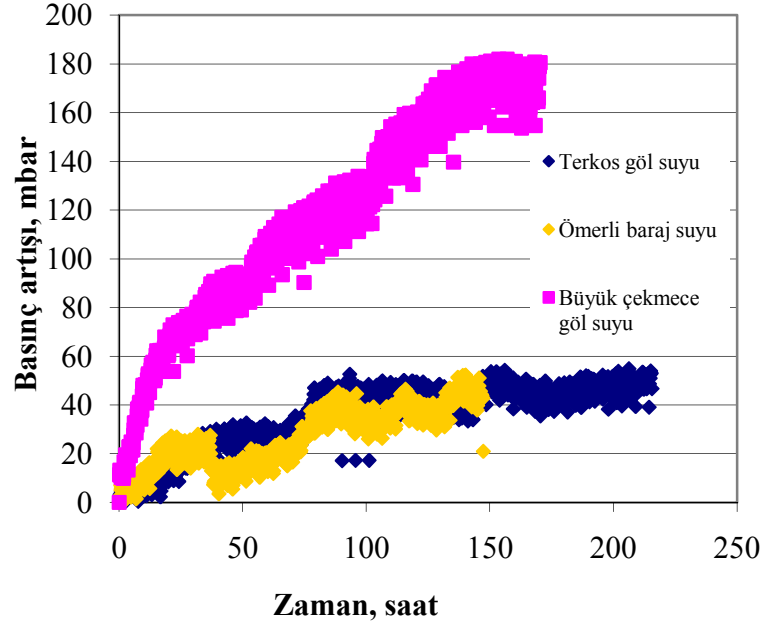


Şekil 4.245 : Farklı ham sular kullanılarak yürütülen pilot ölçekli UF Membran deneylerinde sadece ham su beslemesi durumunun (kontrol deneyinin) UV_{254} giderim verimi açısından karşılaştırması

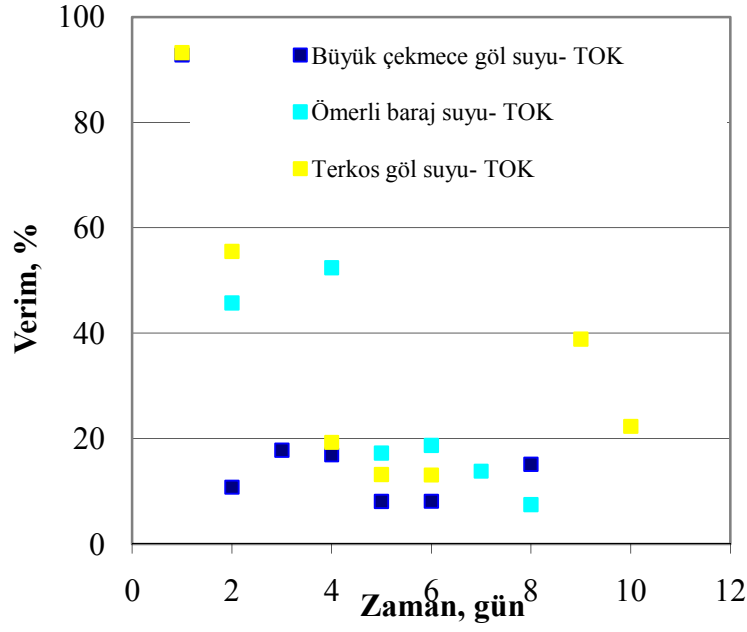
b) Toz Aktif Karbon (PAC) İlavesi Etkisinin Araştırıldığı Deneylerinin Karşılaştırılması

Aşağıda sırayla, Terkos göl suyu, Büyükçekmece göl suyu ve Ömerli baraj suyu ile yürütülen çalışmalarda 25 gr/l toz aktif karbon ilavesinin basınç artışına (Şekil 4.246), TOK giderimine (Şekil 4.247) ve UV_{254} absorbans giderimine (Şekil 4.248) etkileri gösterilmiştir. PAC ön arıtma yönteminin kullanıldığı pilot ölçekli UF membran çalışmalarında organik madde giderimi her üç ham su için de birbirine yakın yüzdelerde elde edilmiştir. En düşük TOK giderimi veriminin Büyükçekmece suyu ile yapılan çalışmalarda elde edilmiş olması, Büyükçekmece suyundaki kompleks organik yapıların PAC adsorpsiyon olayına pek yatkın olmadıklarına işaret etmektedir. PAC ön arıtımı sonrası UF membranında en yüksek basınç artışı Büyükçekmece göl suyunda meydana gelirken, en düşük basınç artışı ise Ömerli suyu için elde edilmiştir (Şekil 4.246). Her iki durumda da Büyükçekmece göl suyunda basınç artışının en yüksek olması, UF membranlarında kek tabakası

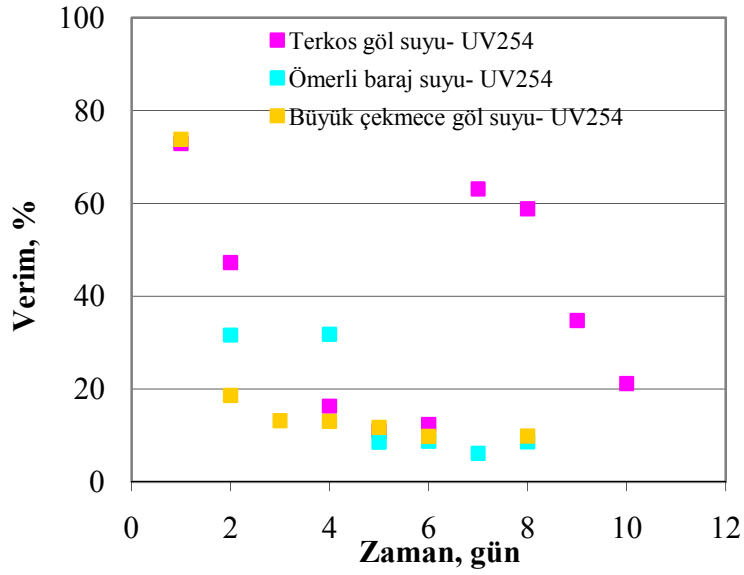
oluşumunda hidrofobik kompleks organiklerin anahtar rol oynadığını göstermektedir. Büyükçekmece göl suyunun organik içerik açısından (TOK) ve aromatik karakter ($SUVA_{254}$) açısından en yüksek değerlere sahip olması nedeniyle, bu sudaki organik yapıların hidrofobik yüzdesi diğer 2 suya nazaran daha fazla olduğu söylenebilir.



Şekil 4.246 : Farklı ham sular kullanılarak yürütülen pilot ölçekli UF Membran deneylerinde 25 gr/l toz aktif karbon ilavesinin basınç artışı açısından karşılaştırılması



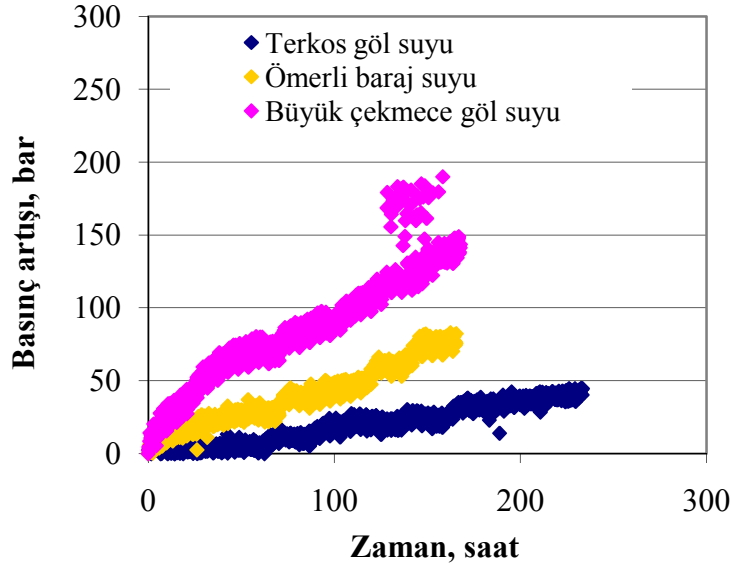
Şekil 4.247 : Farklı ham sular kullanılarak yürütülen pilot ölçekli UF Membran deneylerinde 25 gr/l toz aktif karbon ilavesinin TOK giderim verimi açısından karşılaştırması



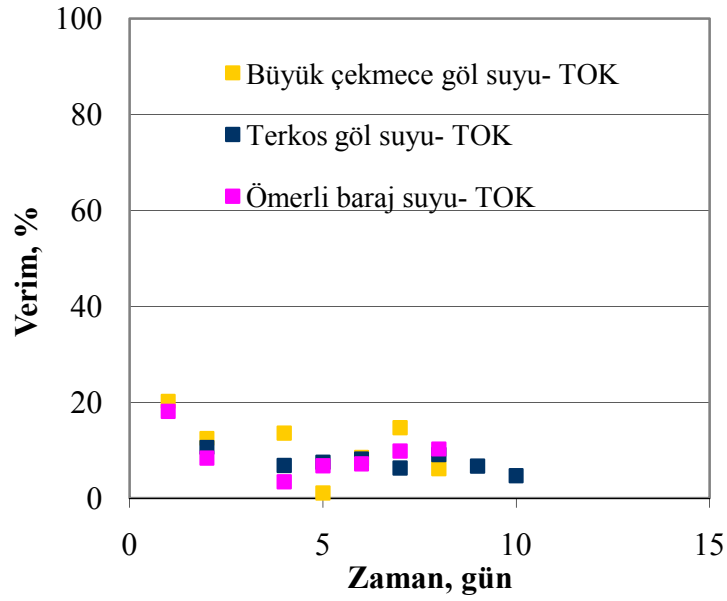
Şekil 4.248 : Farklı ham sular kullanılarak yürütülen pilot ölçekli UF Membran deneylerinde 25 gr/l toz aktif karbon ilavesinin UV₂₅₄ giderim verimi açısından karşılaştırması

c) UV/TiO₂ Fotokatalitik Oksidasyon Etkisinin Araştırıldığı Deneylerin Karşılaştırılması

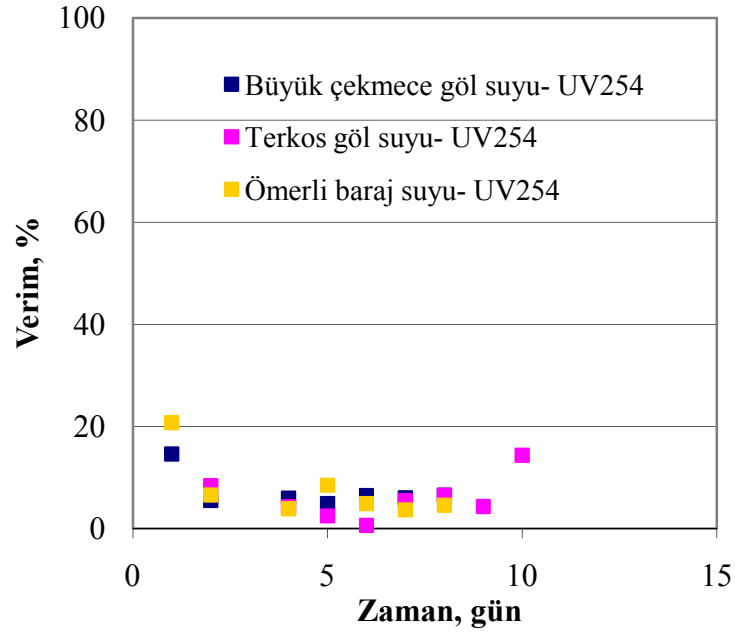
Aşağıda sırayla, Terkos göl suyu, Büyük çekmece göl suyu ve Ömerli baraj suyu ile yürütülen çalışmalarda 0,5 gr/l ve 1,5 gr/l TiO₂ konsantrasyonlarında yapılan çalışmaların basınç artışına (Şekil 4.249, 4.252), TOK giderimine (Şekil 4.250, 4.253) ve UV₂₅₄ absorbans giderimine (Şekil 4.251, 4,254) etkileri gösterilmiştir. Pilot ölçekli çalışmada 1,5 gr/l TiO₂ yönteminde elde edilen TOK giderme verimi sırası ile Terkos, Ömerli ve Büyükçekmece göl suları için % 11, % 18 ve % 23 oranında gerçekleşmiştir. Ön arıtma yöntemi olarak kullanılan UV/TiO₂ yöntemi TOK giderme verimi açısından UF membranında pek verimli olamamıştır. Sentetik suda laboratuvar ölçekli çalışmalarda UF membranı ile % 60 civarında TOK giderimi elde edilmişken, göl sularındaki organik madde giderme veriminin düşük olması, TiO₂ tanecik boyutunun uygun olmaması ya da TiO₂ taneciklerinin membran yüzeyine sabitlenmemesi olarak yorumlanmıştır. Literatür çalışmaları yüzeysel ham suların arıtımında kullanılacak TiO₂ taneciklerin boyutunun seçimini ve bu taneciklerin membran yüzeyine entegre edilmesi işlemini, arıtma verimini etkileyen 2 önemli faktör olarak görmektedir. Yapılan her iki çalışmada da en az basınç artışı Terkos göl suyunda elde edilirken, en yüksek basınç artış değerleri de Büyükçekmece göl suyu için tespit edilmiştir. En yüksek TOK arıtma verimine sahip Büyükçekmece suyu ile en yüksek basınç artışı miktarının elde edilmiş olması, UF membranında temel tıkanma mekanizmasının kek oluşumu olduğunu göstermektedir.



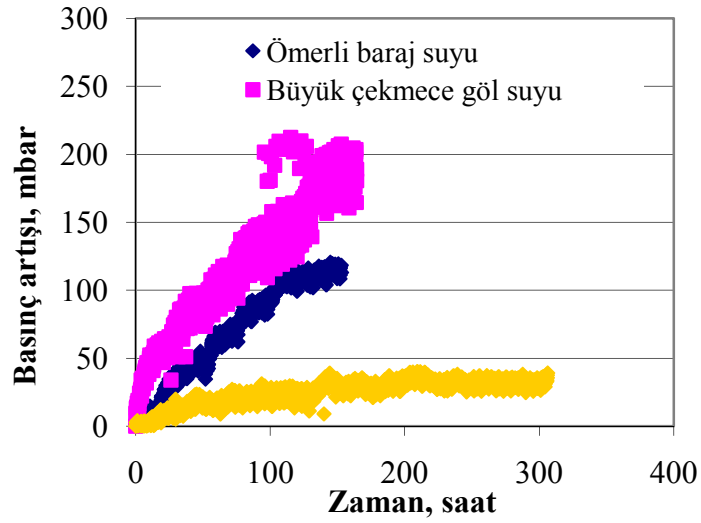
Şekil 4.249 : Farklı ham sular kullanılarak yürütülen pilot ölçekli UF Membran deneylerinde UV+0,5 gr/l TiO₂ ilavesinin basınç artışı açısından karşılaştırılması



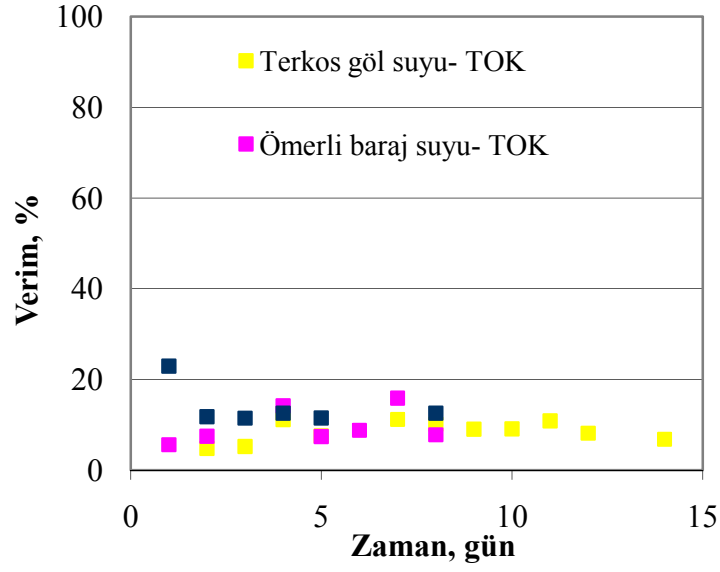
Şekil 4.250 : Farklı ham sular kullanılarak yürütülen pilot ölçekli UF Membran deneylerinde UV+0,5 gr/l TiO₂ ilavesinin TOK giderim verimi açısından karşılaştırması



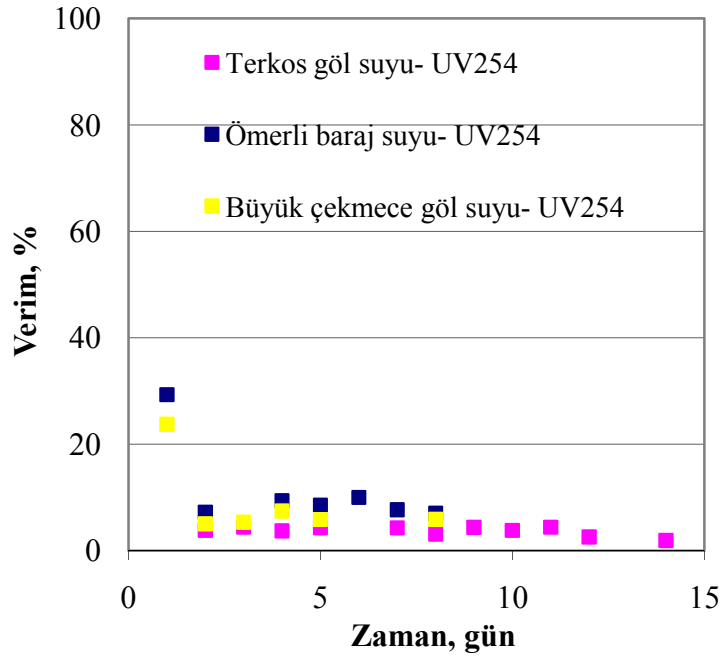
Şekil 4.251 : Farklı ham sular kullanılarak yürütülen pilot ölçekli UF Membran deneylerinde UV+0,5 gr/l TiO₂ ilavesinin UV₂₅₄ giderim verimi açısından karşılaştırması



Şekil 4.252 : Farklı ham sular kullanılarak yürütülen pilot ölçekli UF Membran deneylerinde UV+1,5 gr/l TiO₂ ilavesinin basınç artışı açısından karşılaştırılması



Şekil 4.253 : Farklı ham sular kullanılarak yürütülen pilot ölçekli UF Membran deneylerinde UV+1,5 gr/l TiO₂ ilavesinin TOK giderim verimi açısından karşılaştırması



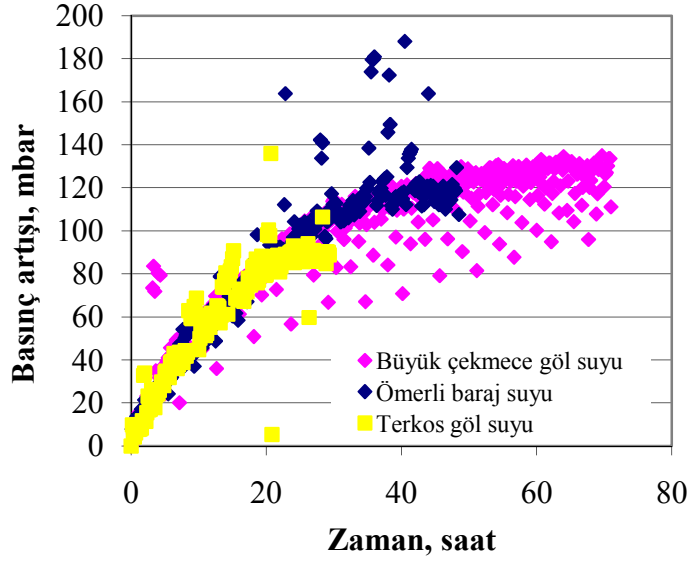
Şekil 4.254 : Farklı ham sular kullanılarak yürütülen pilot ölçekli UF Membran deneylerinde UV+1,5 gr/l TiO₂ ilavesinin UV₂₅₄ giderim verimi açısından karşılaştırması

4.3.2 MF membranı ile yapılan deneylerin karşılaştırılması

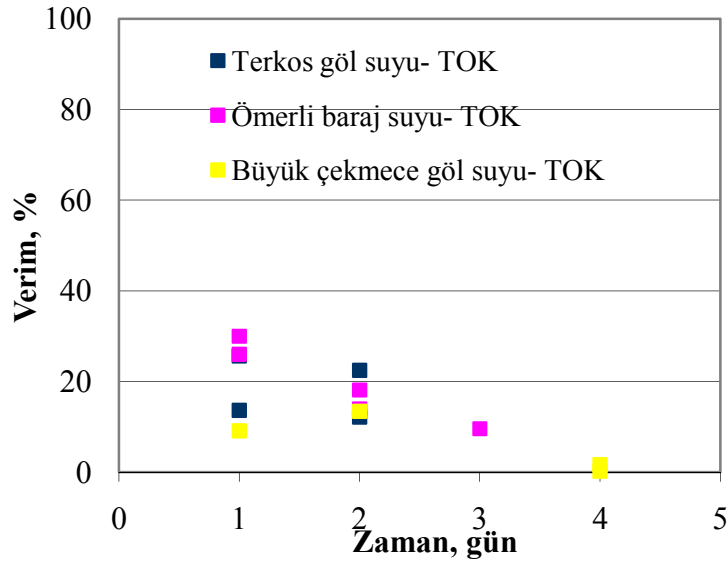
Aşağıda sırayla, Terkos göl suyu, Büyükçekmece göl suyu ve Ömerli baraj suyu ile pilot ölçekte MF membranı ile yürütülen çalışmaların karşılaştırılmaları verilmiştir.

a) Kontrol deneylerinin karşılaştırılması

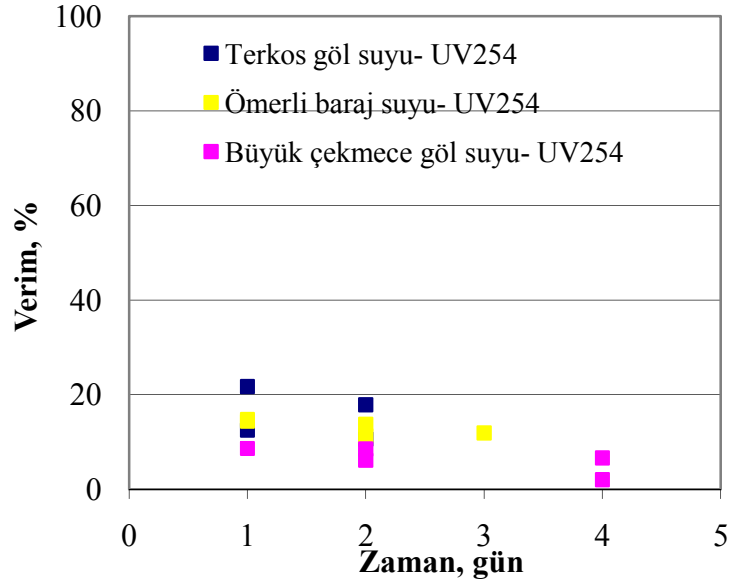
Aşağıda sırayla, Terkos göl suyu, Büyükçekmece göl suyu ve Ömerli baraj suyu ile yürütülen çalışmaların sadece ham su beslemeleri durumunda yani kontrol deneylerinin basınç artışına (Şekil 4.255), TOK giderimine (Şekil 4.256) ve UV₂₅₄ absorbans giderimine (Şekil 4.257) etkileri gösterilmiştir. MF deneylerinde en yüksek TOK giderim verimi Ömerli göl suyunda elde edilirken, Terkos ve Büyükçekmece göl suyundaki organik madde giderme miktarı genelde % 20'nin altında gerçekleşmiştir. Düşük aromatik içeriğe sahip (SUVA₂₅₄= 2,12 l/mg*m) Ömerli göl suyundaki hidrofilik yapıların MF membranı ile giderimi diğer 2 göl suyuna nazaran daha etkin bir şekilde gerçekleşmiştir. Bunun nedeninin Ömerli suyundaki küçük organik moleküllerin MF yüzeyindeki kek tabakasında daha etkin bir şekilde tutulmuş olabileceği şeklinde yorumlanmıştır. Şekil 4.255'de MF membranı ile gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucu elde edilmiş basınç (TMP) değerleri görülmektedir. Büyükçekmece suyunda en fazla basınç artışı gözlenmesinin nedeni, bu suda bulunan hidrofilik karakterli polisakkarit bileşiklerinin MF membranının gözeneklerini tıkanma hızı ve miktarı Terkos ve Ömerli sularına nazaran daha fazladır şeklinde yorumlanmıştır. Çözülmüş organik maddelerin membran gözeneklerinde tutunması adsorpsiyon ya da penetrasyon şeklinde gerçekleşmektedir. Birçok çalışmada belirtildiği gibi, hidrofilik içerikli organik kirleticiler geri dönüşümsüz tıkanmaya neden olmakta ve özellikle bu tür tıkanmaya polisakkarit türü organiklerin neden olduğunu ifade edilmektedir. Geri dönüşümsüz tıkanmanın giderilmesinde baz ya da klor içerikli oksidantlar kullanılmaktadır. Bu sudaki UV₂₅₄ giderim oranları genelde TOK giderim oranlarına yakınlık arz etmektedir. Hidrofilik karakterin baskın olduğu ham sularda genelde TOK ile UV₂₅₄ arıtma verimleri birbirlerine yakınlık arz etmektedirler.



Şekil 4.255 : Farklı ham sular kullanılarak yürütülen pilot ölçekli MF Membran deneylerinde sadece ham su beslemesi durumunun (kontrol deneyinin) basınç artışı açısından karşılaştırılması



Şekil 4.256 : Farklı ham sular kullanılarak yürütülen pilot ölçekli MF Membran deneylerinde sadece ham su beslemesi durumunun (kontrol deneyinin) TOK giderim verimi açısından karşılaştırması

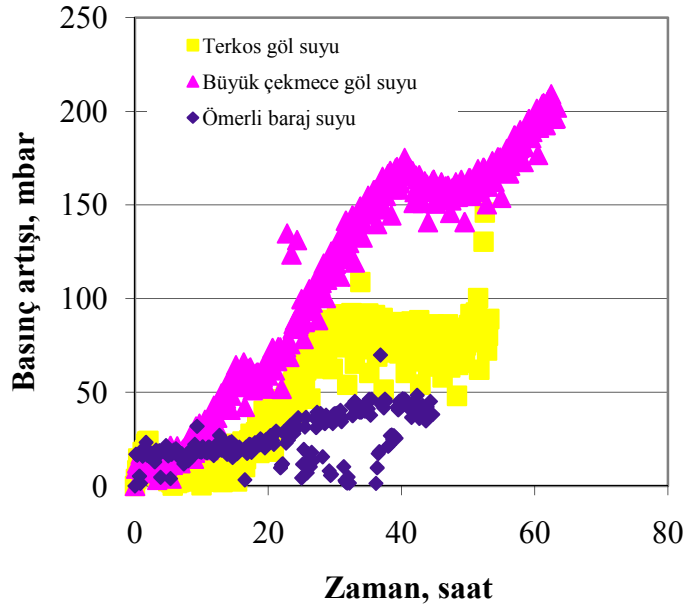


Şekil 4.257 : Farklı ham sular kullanılarak yürütülen pilot ölçekli MF Membran deneylerinde sadece ham su beslemesi durumunun (kontrol deneyinin) UV_{254} giderim verimi açısından karşılaştırması

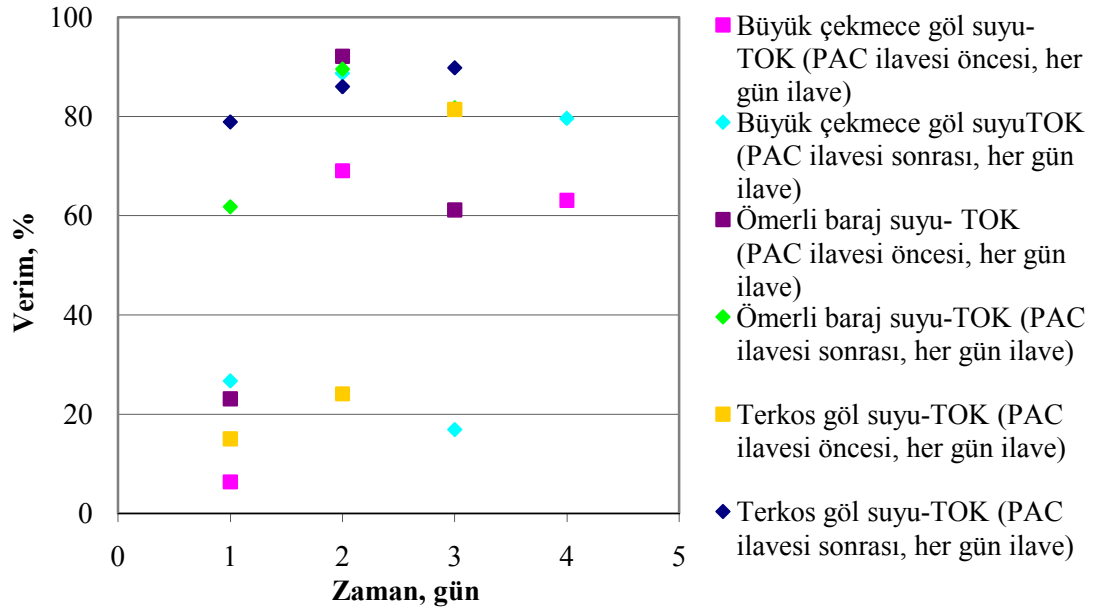
b) Toz Aktif Karbon (PAC) İlavesi Etkisinin Araştırıldığı Deneylerinin Karşılaştırılması

Aşağıda sırayla, Terkos göl suyu, Büyükçekmece göl suyu ve Ömerli baraj suyu ile yürütülen çalışmalarda her gün 25 gr/l toz aktif karbon ilavesinin basınç artışına (Şekil 4.258), TOK giderimine (Şekil 4.259) ve UV_{254} absorbans giderimine (Şekil 4.260) etkileri gösterilmiştir. Şekil 4.259’da görüldüğü gibi, her üç ham su kaynağında 25 gr/l PAC ve ardından MF membranından süzme sonucu yüksek TOK giderim verimleri elde edilmiştir. Literatür çalışmalarında da belirtildiği gibi membranda en fazla tıkanmaya düşük moleküler ağırlıklı hidrofilik yapılar neden olmaktadır. Öte yandan, PAC adsorpsiyon yönteminin sudaki hidrofilik fraksiyonları yüksek performansla giderdiği birçok çalışmada belirtilmiştir. Hümik asit bileşikleri içeren göl sularında, PAC tanecikleri hidrofilik yapılı organikleri adsorplayarak hem MF membranının gözeneklerinin tıkanmasını engellemiş hem de membran yüzeyinde kek tabakası oluşturarak, bu membranda meydana gelebilecek basınç artışını minimum düzeyde tutmuştur. Şekil 4.258’de görüldüğü gibi MF membranında basınç artışının meydana

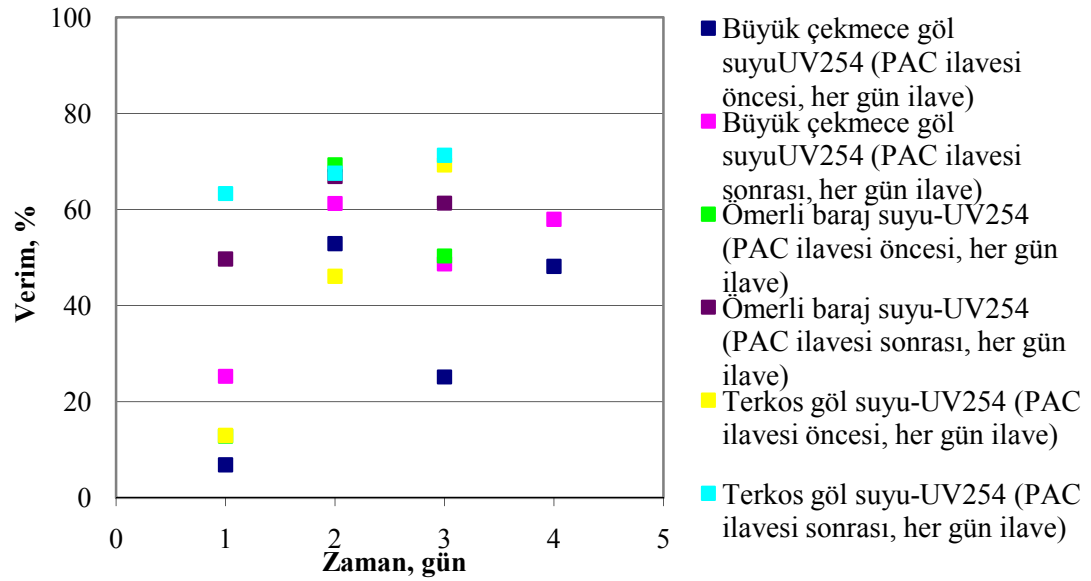
gelmesinin sebebi kek tabakası ve konsantrasyon polarizasyonu mekanizmalarının baskın oluşu ile açıklanabilir. Bu iki tıkanma mekanizması membran yüzeyinde kek tabakası oluşturarak hidrofobik yapılarında kek içinde adsorbe olmasına katkı sağlamıştır sonucuna varılmıştır. Birçok çalışmada belirtildiği gibi, MF membranlarında tıkanma problemine büyük moleküler çaplı hidrofobik yapılardan ziyade düşük moleküler atom çapına sahip hidrofilik yapılar neden olmaktadır.



Şekil 4.258 : Farklı ham sular kullanılarak yürütülen pilot ölçekli MF Membran deneylerinde her gün 25 gr/l toz aktif karbon ilavesinin basınç artışı açısından karşılaştırılması



Şekil 4.259 : Farklı ham sular kullanılarak yürütülen pilot ölçekli MF Membran deneylerinde her gün 25 gr/l toz aktif karbon ilavesinin TOK giderim verimi açısından karşılaştırması



Şekil 4.260 : Farklı ham sular kullanılarak yürütülen pilot ölçekli MF Membran deneylerinde her gün 25 gr/l toz aktif karbon ilavesinin UV₂₅₄ giderim verimi açısından karşılaştırması

4.4 Deneysel Çalışma Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bu çalışma kapsamında yüzeysel su kaynağı olarak İstanbul su kaynaklarından Terkos, Ömerli ve Büyükçekmece göl suları ile çalışılmıştır. Bu sular öncelikle bir ön arıtma işleminden geçirildikten sonra batık membran sistemine verilmiştir. Membran filtrasyon sistemi pilot ölçekli aşamada gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan ön arıtma yöntemleri aşağıda sıralanmıştır:

- UV+TiO₂ fotokatalitik oksidasyonu
- PAC adsorpsiyonu

Ön arıtma işlemi membran tıkanıklığının azaltılarak membranın kullanım ömrünün artırılması amacıyla yapılmıştır. Çalışma sırasında pilot ölçekli çalışmalarda 0,1 µm gözenek çapına sahip MF ve 0,04 µm gözenek çapına UF membranları kullanılmıştır. Çalışma sırasında ham sudaki TOK konsantrasyonu parametresi, membranların gözeneklerinin tıkanmasında kritik rol oynamıştır. Ham suların kalite parametreleri membran tıkanmasının anlaşılmasında önemli bir yere sahiptir.

Çizelge 4.23’de, deneysel çalışmalarda kullanılan göl sularının su kalitesi değerleri verilmiştir. Çizelge 4.24’de ise pilot ölçekli deneysel çalışmalarda elde edilen TOK giderme verimi ve basınç artışı değerleri toplu olarak gösterilmiştir.

Çizelge 4.23’de görüldüğü gibi, göl sularının TOK konsantrasyonu sırası ile Terkos, Ömerli ve Büyükçekmece için 6,57, 4,52 ve 6,45 mg/L olarak belirlenmiştir. Terkos ve Büyükçekmece göllerinin organik madde içeriği Ömerli’den daha fazladır. İçme suyu arıtma işlemlerinde, suyun aromatik içeriği genellikle sudaki doğal organik maddeler (DOM)’in elektron açısından zengin olan ve konjuge çift bağ içeren aktif aromatik yapılar olarak tanımlanır. Aromatik açıdan zengin olan bu yapılar 254 nm’de UV ışığını absorplama özelliğine sahiptirler. 3 ham su içerisinde en yüksek ve en düşük spesifik UV absorbans (SUVA₂₅₄) değeri Büyükçekmece ve Ömerli sularında sırası ile 2,75 L/mg*m ve 2,12 L/mg*m olarak tespit edilmiştir. Her 3 suyun SUVA₂₅₄ değerleri birbirine yakındır. Genellikle bu parametrenin 2 ile 3 L/mg*m arasında yer alması bu suların daha çok hidrofilik karakterde olduklarına işaret etmektedir. Hidrofilik karakterli sular genellikle düşük moleküler ağırlığa sahip organik bileşikler içerirler. Literatür çalışmalarında ham suların hidrofilik

fraksiyonlarının düşük basınçlı membranların tıkanmasında iyi bir tahmin parametresi olarak kullanılabileceği belirtilmektedir.

Çizelge 4.25’de görüldüğü gibi, göl suları ile pilot ölçekli çalışmalarda MF membranı ile yapılan deneylerde en yüksek TOK giderim verimi (% 30) toz aktif karbon (PAC) adsorpsiyonu yöntemi ile sağlanmıştır. Literatür çalışmalarında da belirtildiği gibi membranda en fazla tıkanmaya düşük moleküler ağırlıklı hidrofilik yapılar neden olmaktadır. Öte yandan, PAC adsorpsiyon yönteminin sudaki hidrofilik fraksiyonları yüksek performansla giderdiği birçok çalışmada belirtilmiştir. PAC tanecikleri hidrofilik yapıli organikleri adsorplayarak hem MF membranının gözeneklerinin tıkanmasını engellemiş hem de membran yüzeyinde kek tabakası oluşturarak, bu membranda meydana gelebilecek basınç artışını minimum düzeyde tutmuştur. Çizelge 4.26’da görüldüğü gibi MF membranında basınç artışının düşük olmasının sebebi kek tabakası ve konsantrasyon polarizasyonu mekanizmalarının baskın oluşu ile açıklanabilir. Bu iki tıkanma mekanizması membran yüzeyinde kek tabakası oluşturarak hidrofobik yapılarında kek içinde adsorbe olmasına katkı sağlamıştır. Birçok çalışmada belirtildiği gibi, MF membranlarında tıkanma problemlerine büyük moleküler çaplı hidrofobik yapılardan ziyade düşük moleküler atom çapına sahip hidrofilik yapılar neden olmaktadır.

Çizelge 4.23 : İstanbul su kaynakları ham su kalite parametreleri

Parametreler	Birim	Terkos Mayıs 2009	Ömerli Temmuz 2009	Büyükçekmece Temmuz 2009
pH	-	7,93	7,40	8.20
Bulanıklık	NTU	1,66	1,52	18
Renk	mg/l Pt-Co	15	10	28
İletkenlik	µS/cm	380	278	540
Alkalinite	mg/l CaCO ₃	117	113	139
Sertlik	mg/l CaCO ₃	128	114	142
Cl⁻	mg/l	45	17,5	29
SO₄⁻²	mg/l	20	19	42
Ca⁺²	mg/l	42	40	61
Mg⁺²	mg/l	5,4	3,9	8,4
Top.Çöz.Madde	mg/l	183	136	258
Bromür (Br⁻)	µg/l	120	50	230
TOK	mg/l	6,57	4,52	6,45
UV₂₅₄	l/cm	0,170	0,100	0.144
SUVA₂₅₄	l/mg×m	2,59	2,12	2.75

Çizelge 4.24 : Pilot ölçekli deneysel çalışmalarda elde edilen TOK giderme verimi ve basınç artışı değerlerinin toplu olarak gösterilmesi

	Hamsu Kaynağı	Membran türü	Uygulanan Ön Arıtma	İlk gün sonunda TOK giderim verimi, %	Çalışma sonunda oluşan TMP artışı, mbar
Süzüntü Debisi Etkisinin Araştırılması	Terkos Gölü	UF	Debinin 10 l/st olması hali (Filtrasyon: 300 sn, geri yıkama süresi: 30 sn)	12	15
	Terkos Gölü	UF	Debinin 30 l/st olması hali (Filtrasyon: 300 sn, geri yıkama süresi: 30 sn)	10	25
Geri Yıkama Süresinin Etkisinin Araştırılması	Terkos Gölü	UF	Geri Yıkama Süresi: 30 sn, Filtrasyon süresi: 300 sn (Debi: 30 lt/st)	10	30
	Terkos Gölü	UF	Geri yıkama süresi: 180 sn, Filtrasyon süresi: 1800 sn (Debi: 30 lt/st)	14	22
	Terkos Gölü	UF	Geri yıkama süresi: 360 sn, Filtrasyon Süresi: 3600 sn (Debi: 30 lt/st)	7	20
Toz Aktif Karbon (PAC) İlavesinin Etkisinin Araştırılması	Terkos Gölü	UF	25 gr/l PAC (Geri yıkama süresi: 360 sn, Filtrasyon Süresi: 3600 sn, Debi: 30 lt/st)	93	50
	Terkos Gölü	UF	40 gr/l PAC (Geri yıkama süresi: 360 sn, Filtrasyon Süresi: 3600 sn, Debi: 30 lt/st)	94	30
UV +TiO₂ Etkisinin Araştırılması	Terkos Gölü	UF	0,5 gr/l TiO ₂ ve UV _{sürekli} (Geri yıkama süresi: 360 sn, Filtrasyon Süresi: 3600 sn, Debi: 30 lt/st)	11	40

Çizelge 4.24 : Pilot ölçekli deneysel çalışmalarda elde edilen TOK giderme verimi ve basınç artışı değerlerinin toplu olarak gösterilmesi (devam)

	Terkos Gölü	UF	1,5 gr/l TiO ₂ ve UV _{sürekli} (Geri yıkama süresi: 360 sn, Filtrasyon Süresi: 3600 sn, Debi: 30 lt/st)	5	35
Geri Yıkama Süresinin Etkisinin Araştırılması	Ömerli Barajı	UF	Geri yıkama süresi: 360 sn, Filtrasyon Süresi: 3600 sn, Debi: 30 lt/st	15	50
Toz Aktif Karbon (PAC) İlavesinin Etkisinin Araştırılması	Ömerli Barajı	UF	25 gr/l PAC'ın deney başlangıcında tek seferde ilave edilmesi (Geri yıkama süresi: 360 sn, Filtrasyon Süresi: 3600 sn, Debi: 30 lt/st)	20	90
	Ömerli Barajı	UF	25 gr/l PAC'nın her gün ilave edilmesi (Geri yıkama süresi: 360 sn, Filtrasyon Süresi: 3600 sn, Debi: 30 lt/st)	58	85
	Ömerli Barajı	UF	25 gr/l PAC'ın her gün ilave edilmesi (ilave öncesi birinci reaktörün boşaltılıp tekrar doldurulduğu durum) (Geri yıkama süresi: 360 sn, Filtrasyon Süresi: 3600 sn, Debi: 30 lt/st)	12	90
UV +TiO₂ Etkisinin Araştırılması	Ömerli Barajı	UF	0,5 gr/l TiO ₂ ve UV _{sürekli} (Geri yıkama süresi: 360 sn, Filtrasyon Süresi: 3600 sn, Debi: 30 lt/st)	18	80
	Ömerli Barajı	UF	1,5 gr/l TiO ₂ ve UV _{sürekli} (Geri yıkama süresi: 360 sn, Filtrasyon Süresi: 3600 sn, Debi: 30 lt/st)	5	120
Toz Aktif Karbon (PAC) İlavesinin Etkisinin Araştırılması	Büyükçekmece Gölü	UF	25 gr/l PAC'ın deney başlangıcında tek seferde ilave edilmesi (Geri yıkama süresi: 360 sn, Filtrasyon Süresi: 3600 sn, Debi: 30 lt/st)	19	180
	Büyükçekmece Gölü	UF	25 gr/l PAC'nın her gün ilave edilmesi (Geri yıkama süresi: 360 sn, Filtrasyon Süresi: 3600 sn, Debi: 30 lt/st)	10	160

Çizelge 4.24 : Pilot ölçekli deneysel çalışmalarda elde edilen TOK giderme verimi ve basınç artışı değerlerinin toplu olarak gösterilmesi (devam)

<i>UV +TiO₂ Etkisinin Araştırılması</i>	Büyükçekmece Gölü	UF	25 gr/l PAC'nın her gün ilave edilmesi (Geri yıkama süresi: 360 sn, Filtrasyon Süresi: 3600 sn, Debi: 30 lt/st)	41	200
	Büyükçekmece Gölü	UF	0,5 gr/l TiO ₂ ve UV _{sürekli} (Geri yıkama süresi: 360 sn, Filtrasyon Süresi: 3600 sn, Debi: 30 lt/st)	20	150
	Büyükçekmece Gölü	UF	1,5 gr/l TiO ₂ ve UV _{sürekli} (Geri yıkama süresi: 360 sn, Filtrasyon Süresi: 3600 sn, Debi: 30 lt/st)	23	200
Toz Aktif Karbon (PAC) İlavesinin Etkisinin Araştırılması	Terkos Gölü	MF	0 gr/l PAC ilavesi (Geri yıkama süresi: 360 sn, Filtrasyon Süresi: 3600 sn, Debi: 30 lt/st)	26	90
	Terkos Gölü	MF	25 gr/l PAC'nın her gün ilave edilmesi (Geri yıkama süresi: 360 sn, Filtrasyon Süresi: 3600 sn, Debi: 30 lt/st)	15	90
	Ömerli Barajı	MF	0 gr/l PAC ilavesi (Geri yıkama süresi: 360 sn, Filtrasyon Süresi: 3600 sn, Debi: 30 lt/st)	30	120
	Ömerli Barajı	MF	25 gr/l PAC'nın her gün ilave edilmesi (Geri yıkama süresi: 360 sn, Filtrasyon Süresi: 3600 sn, Debi: 30 lt/st)	23	80
	Büyükçekmece Gölü	MF	0 gr/l PAC ilavesi (Geri yıkama süresi: 360 sn, Filtrasyon Süresi: 3600 sn, Debi: 30 lt/st)	9	135
	Büyükçekmece Gölü	MF	25 gr/l PAC'nın her gün ilave edilmesi (Geri yıkama süresi: 360 sn, Filtrasyon Süresi: 3600 sn, Debi: 30 lt/st)	6	200

Çizelge 4.25 : Ön arıtma yöntemlerinin Toplam Organik Karbon (TOK) giderimi açısından karşılaştırılması (%) *

Pilot Ölçekli Çalışmalar						
Ön Arıtma Yöntemi	UF (Terkos)	UF (Ömerli)	UF (B.çekmece)	MF (Terkos)	MF (Ömerli)	MF (B.çekmece)
UV+TiO ₂	11	18	23	-	-	-
PAC	93	58	41	26	30	9

*Çizelge 4.25'in oluşturulmasında Çizelge 4.24 kullanılmıştır.

Çizelge 4.26 : Ön arıtma yöntemlerinin basınç artışı (TMP) ile karşılaştırılması (mbar)*

Pilot Ölçekli Çalışmalar						
Ön Arıtma Yöntemi	UF (Terkos)	UF (Ömerli)	UF (B.çekmece)	MF (Terkos)	MF (Ömerli)	MF (B.çekmece)
UV+TiO ₂	40	80	200	-	-	-
PAC	50	85	200	90	50	135

*Çizelge 4.26'nın oluşturulmasında Çizelge 4.24 kullanılmıştır.

Çalışmada Terkos, Ömerli ve Büyükçekmece göl suları kullanılmıştır. UF deneylerinde ön arıtma yöntemleri olarak UV/TiO₂ ve PAC yöntemleri kullanılırken, MF membranı çalışmalarında sadece PAC yöntemi ön arıtma amacıyla uygulanmıştır (Çizelge 4.26). MF deneylerinde en yüksek TOK giderim verimi Ömerli göl suyunda elde edilirken (% 30), Terkos ve Büyükçekmece göl suyundaki organik madde giderim miktarı sırası ile % 26 ve % 9 şeklinde gerçekleşmiştir. Düşük aromatik içeriğe sahip (SUVA₂₅₄= 2,12 l/mg*m) Ömerli göl suyundaki hidrofilik yapıların MF membranı ile giderimi diğer 2 göl suyuna nazaran daha etkin bir şekilde gerçekleşmiştir. Bunun nedeninin Ömerli suyundaki küçük organik moleküllerin MF yüzeyindeki kek tabakasında daha etkin bir şekilde tutulmuş olabileceği şeklinde yorumlanmıştır. Çizelge 4.26'da PAC ile ön arıtmadan geçirilmiş su örneklerinde MF membranı ile gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucu elde edilmiş basınç (TMP) değerleri görülmektedir. Büyükçekmece suyunda en fazla basınç artışı (135 mbar) gözlenmesinin nedeni, bu suda bulunan hidrofilik karakterli polisakarit bileşiklerinin MF membranının gözeneklerini tıkama hızı ve miktarı, Terkos ve Ömerli sularına nazaran daha fazla olmuştur şeklinde yorumlanmıştır. Çözünmüş organik maddelerin membran gözeneklerinde tutunması adsorpsiyon ya da penetrasyon şeklinde gerçekleşmektedir. Birçok çalışmada belirtildiği gibi, hidrofilik içerikli organik kirleticiler geri dönüşümsüz tıkanmaya neden olmakta ve özellikle

bu tür tıkanmaya polisakarit türü organiklerin neden olduğunu ifade edilmektedir. Geri dönüşümsüz tıkanmanın giderilmesinde baz ya da klor içerikli oksidantlar kullanılmaktadır.

Pilot ölçekli çalışmada UV/TiO₂/UF yönteminde elde edilen TOK giderme verimi sırası ile Terkos, Ömerli ve Büyükçekmece göl suları için % 11, % 18 ve % 23 oranında gerçekleşmiştir. Ön arıtma yöntemi olarak kullanılan UV/TiO₂ yöntemi TOK giderme verimi açısından UF membranında pek verimli olamamıştır. Literatür çalışmaları yüzeysel ham suların arıtımında kullanılacak TiO₂ taneciklerin boyutunun seçimi ve bu taneciklerin membran yüzeyine entegre edilmesi arıtma verimini etkileyen 2 önemli faktör olarak görülmektedir. Tablo 4.80’de görüldüğü gibi, UV+TiO₂ ön arıtımından sonra UF membranında meydana gelen basınç artışları sırası ile Terkos, Ömerli ve Büyükçekmece göl suları için 40, 80 ve 200 mbar olarak elde edilmiştir. En yüksek TOK arıtma verimine (% 23) sahip Büyükçekmece suyu ile en yüksek basınç artışı (200 mbar) miktarının elde edilmiş olması, UF membranında temel tıkanma mekanizmasının kek oluşumu olduğunu göstermektedir.

PAC ön arıtma yönteminin kullanıldığı pilot ölçekli UF membran çalışmalarında organik madde giderimi olarak sırası ile Terkos, Ömerli ve Büyükçekmece göl suları için % 93, % 58 ve % 41 oranları elde edilmiştir. UV+TiO₂/UF yönteminin tam tersine PAC/UF yönteminde en yüksek TOK arıtma performansı Terkos suyunda elde edilmişken, en düşük TOK giderimi ise Büyükçekmece suyu ile yapılan çalışmalarda elde edilmiştir. Bu sonuç bize Büyükçekmece suyundaki kompleks organik yapıların adsorpsiyon olayına pek yatkın olmadıklarını göstermektedir. PAC ön arıtımı sonrası UF membranında en yüksek basınç artışı 200 mbar ile Büyükçekmece göl suyunda meydana gelirken, en düşük basınç artışı ise 50 mbar ile Ömerli suyu için elde edilmiştir. Basınç artışı açısından UV/TiO₂ ve PAC ön arıtma yöntemleri birbirlerine paralellik arz etmektedirler. Her iki durumda da Büyükçekmece göl suyunda basınç artışının en yüksek olması, UF membranlarında kek tabakası oluşumunda hidrofobik kompleks organiklerin anahtar rol oynadığını göstermektedir. Büyükçekmece göl suyunun organik içerik açısından (TOK) ve aromatik karakter (SUVA₂₅₄) açısından en yüksek değerlere sahip olması nedeniyle, bu sudaki organik yapıların hidrofobik yüzdesi diğer göl sularına nazaran daha fazla olduğu söylenebilir.

Her 3 ham su kaynağında olduğu gibi gözenek tıkanması MF membranında ciddi basınç artışlarına neden olmuştur (Tablo 4.80). Genellikle geri dönüşümsüz tıkanmanın düşük moleküler ağırlıklı (LMW <2 kDa) organiklerin membran gözeneklerine yapışması (penetrasyonu) ve yüksek moleküler ağırlıklı (HMW >5 kDa) organiklerin adsorpsiyonu ile gerçekleştiği belirtilmektedir. Birçok çalışmada belirtildiği gibi hümit maddeler membran tıkanmasının hızını ve boyutunu kontrol etmektedirler. Özellikle gözenek tıkanmasına neden olan düşük moleküler ağırlıklı hidrofilik (hümit olmayan) yapıların membran tıkanmasında kritik rol oynadığı belirtilmiştir. Araştırmacılar membran tıkanmasına neden olan organik grupları büyükten küçüğe hidrofilik>hidrofobik>transfilik şeklinde sıralamışlardır. Küçük molekül boyutuna (3 – 20 nm) sahip olan inorganik ve organik kolloidlerin membran filtrasyon işleminde çok ciddi gözenek tıkanmasına neden olduğu belirtilmiştir.

Ham sularda artan Ca^{+2} iyonu konsantrasyonu organik maddelerin giderim veriminde artışa neden olabilmektedir. Kalsiyum iyonları organik bileşiklerle kompleks yapılar oluşturarak, moleküllerin boyutunun artmasına neden olmakta ve sonuçta organik madde giderim veriminin artmasına neden olabilmektedirler. Genellikle kalsiyum iyonları ile kompleks oluşturan organik yapılar membran yüzeyinde kek tabakası oluşumuna neden olmaktadır. İstanbul su kaynaklarından sırası ile Ca^{+2} iyonu konsantrasyonu Büyükçekmece için 61 mg $CaCO_3/L$, Terkos için 42 mg $CaCO_3/L$ ve Ömerli için ise 40 mg $CaCO_3/L$ olarak sıralanmaktadır. En yüksek basınç artışının Büyükçekmece suyu için elde edilmesinde Büyükçekmece suyundaki yüksek kalsiyum iyonu konsantrasyonunun etkisi aşikârdır. Organik bileşiklerle kalsiyum iyonları arasında kompleksleşme olayının meydana gelmesi, ligantlar arası değişim ve karboksil gruplarının yer değiştirmesinden kaynaklanmaktadır.

Membran konusunda araştırma yapan birçok araştırmacı, pH değerindeki artışın membran ünitesindeki çözünmüş organik karbon (ÇOK) ve UV_{254} parametresi arıtma verimini artırdığını belirtmişlerdir. Genellikle hümit maddelerin yüksek pH değerlerinde fazla miktarda giderilme gerekçeleri, aromatik maddelerin polielektrolit karakterleri ve kullanılan MF/UF membranlarının negatif yüklü özelliklerinden kaynaklanmaktadır şeklinde açıklanmaktadır. Membranın negatif yüzey yükü ve organik maddelerin negatif yük yoğunluğu artan pH değerlerinde artış göstermektedir. Yüksek pH değerlerinde organik moleküller serbest hale gelerek elektrostatik etkiden dolayı birbirlerini itmektedirler. Sonuçta, negatif yüklü

moleküller arasındaki bu itme mekanizması, negatif yüklenen organik moleküllerin membran tarafından sadece elek etkisinden dolayı değil, aynı zamanda yük etkisinden dolayı da giderilmesine neden olmaktadır. Sonuç olarak, hümik maddelerin membran ile arıtma verimi artan pH değerlerinde artış göstermektedir. Bu çalışma kapsamında çalışılan göl sularının pH değerleri sırası ile Terkos, Ömerli ve Büyükçekmece için 7,97, 7,40 ve 8,20 olarak tespit edilmiştir. Göl sularının pH değerleri ile Çizelge 4.26'daki membran basıncı değerleri birbiri ile paralellik arz etmekte veya başka bir değişle en yüksek pH değerine sahip Büyükçekmece suyu en fazla basınç artışına neden olurken, en düşük pH değerine sahip Ömerli suyu ise en düşük basınç artışına neden olmaktadır. Öte yandan düşük pH seviyelerinde organik bileşikler sarmal ve kompakt hale dönüşerek molekülün boyutunun küçülmesine neden olurlar. Artan pH değerlerinde ise organik yapıdaki fenolik ve karboksilik grupların çözünürlüğü artış göstererek bu grupların negatif yük yoğunluğunun artmasına neden olmaktadır. Böylelikle, negatif yük miktarı artan membran ile organik moleküller arasındaki elektrostatik itme kuvveti artış göstermektedir.

İletkenlik değeri yüksek olan suda çözünmüş madde miktarı da fazla olduğundan dolayı, bu çözünmüş maddelerin membranların gözeneklerinde tutularak ekstra bir basınç artışına neden olabileceği belirtilmektedir.

5. SONUÇLAR

Pilot ölçeekte kurulmuş batık membran reaktörü ile gerçekleştirilen çalışmalarda elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

5.1 Pilot Ölçeekte Gerçekleştirilen Deneysel Çalışma Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Pilot ölçeğinde, Terkos, Ömerli ve Büyükçekmece gölleri suyu ile yapılan çalışmalarda, MF ve UF membranları öncesinde uygulanan ön arıtma çalışmaları ile aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Göl sularının TOK konsantrasyonu sırası ile Terkos, Ömerli ve Büyükçekmece için 6,57, 4,52 ve 6,45 mg/L olarak belirlenmiştir. Terkos ve Büyükçekmece göllerinin organik madde içeriği Ömerli'den daha fazladır.
- 3 ham su içerisinde en yüksek ve en düşük spesifik UV absorbans ($SUVA_{254}$) değeri Büyükçekmece ve Ömerli sularında sırası ile 2,75 L/mg*m ve 2,12 L/mg*m olarak tespit edilmiştir. Her 3 suyun $SUVA_{254}$ değerleri birbirine yakındır. Genellikle bu parametrenin 2 ile 3 L/mg*m arasında yer alması bu suların daha çok hidrofilik karakterde olduklarına işaret etmekte ve hidrofilik karakterli sular ise genellikle düşük moleküler ağırlığa sahip organik bileşikleri içermektedirler.
- UF deneylerinde ön arıtma yöntemleri olarak UV/TiO₂ ve PAC yöntemleri kullanılırken, MF membranı çalışmalarında sadece PAC yöntemi ön arıtma amacıyla uygulanmıştır.
- MF deneylerinde en yüksek TOK giderim verimi, Ömerli göl suyunda elde edilirken (% 30), Terkos ve Büyükçekmece göl suyundaki organik madde giderme miktarı sırası ile % 26 ve % 9 şeklinde gerçekleşmiştir. Düşük aromatik içeriğe sahip ($SUVA_{254}$ = 2,12 l/mg*m) Ömerli göl suyundaki hidrofilik yapıların MF membranı ile giderimi, diğer 2 göl suyuna nazaran daha etkin bir şekilde gerçekleşmiştir. Bunun nedeni, Ömerli suyundaki

küçük organik moleküllerin MF yüzeyindeki kek tabakasında daha etkin bir şekilde tutulmuş olmasıdır.

- Büyükçekmece suyunda en fazla basınç artışı (135 mbar) gözlenmesinin nedeni, bu suda bulunan hidrofilik karakterli polisakkarit bileşiklerinin MF membranının gözeneklerini tıkama hızı ve miktarı, Terkos ve Ömerli sularına nazaran daha fazla olmasıdır.
- Pilot ölçekli çalışmada UV/TiO₂/UF yönteminde elde edilen TOK giderme verimi sırası ile Terkos, Ömerli ve Büyükçekmece göl suları için % 11, % 18 ve % 23 oranında gerçekleşmiştir.
- Ön arıtma yöntemi olarak kullanılan UV/TiO₂ yöntemi TOK giderme verimi açısından UF membranında pek verimli olmamıştır.
- UV/TiO₂ ön arıtımından sonra UF membranında meydana gelen basınç artışları sırası ile Terkos, Ömerli ve Büyükçekmece göl suları için 40, 80 ve 200 mbar olarak elde edilmiştir.
- En yüksek TOK arıtma verimine (% 23) sahip Büyükçekmece suyu ile en yüksek basınç artışı (200 mbar) miktarının elde edilmiş olması, UF membranında temel tıkanma mekanizmasının kek oluşumu olduğunu göstermektedir.
- PAC ön arıtma yönteminin kullanıldığı pilot ölçekli UF membranı çalışmalarında organik madde giderimi olarak sırası ile Terkos, Ömerli ve Büyükçekmece göl suları için % 93, % 58 ve % 41 oranları elde edilmiştir.
- UV/TiO₂/UF yönteminin tam tersine, PAC/UF yönteminde en yüksek TOK arıtma performansı Terkos suyunda elde edilmişken, en düşük TOK giderimi ise Büyükçekmece suyu ile yapılan çalışmalarda elde edilmiştir. Bu sonuç bize Büyükçekmece suyundaki kompleks organik yapıların adsorpsiyon olayına daha yatkın olmadıklarını göstermektedir.
- PAC ön arıtımı sonrası UF membranında en yüksek basınç artışı 200 mbar ile Büyükçekmece göl suyunda meydana gelirken, en düşük basınç artışı ise 50 mbar ile Ömerli suyu için elde edilmiştir.
- Basınç artışı açısından UV/TiO₂ ve PAC ön arıtma yöntemleri birbirlerine paralellik arz etmektedirler. Her iki durumda da Büyükçekmece göl suyunda basınç artışının en yüksek olması, UF membranlarında kek tabakası

oluşumunda hidrofobik kompleks organiklerin anahtar rol oynadığını göstermektedir.

- Büyükçekmece göl suyunun organik içerik açısından (TOK) ve aromatik karakter ($SUVA_{254}$) açısından en yüksek değerlere sahip olması nedeniyle, bu sudaki organik yapıların hidrofobik yüzdesi diğer göl sularına nazaran daha fazladır. Bu durum, tıkanmada etkili olmuştur.
- Her 3 ham su kaynağında olduğu gibi gözenek tıkanması MF membranında ciddi basınç artışlarına neden olmuştur. Genellikle geri dönüşümsüz tıkanmanın düşük moleküler ağırlıklı (LMW <2 kDa) organiklerin membran gözeneklerine yapışması (penetrasyonu) ve yüksek moleküler ağırlıklı (HMW >5 kDa) organiklerin adsorpsiyonu ile gerçekleştiği tahmin edilmektedir.
- Ham sulara artan Ca^{+2} iyonu konsantrasyonu organik maddelerin giderim veriminde artışa neden olabilmektedir. Kalsiyum iyonları organik bileşiklerle kompleks yapılar oluşturarak, moleküllerin boyutunun artmasına neden olmakta ve sonuçta organik madde giderim veriminin artmasına neden olabilmektedirler. Genellikle kalsiyum iyonları ile kompleks oluşturan organik yapılar membran yüzeyinde kek tabaksı oluşumuna neden olmaktadır. İstanbul su kaynaklarından sırası ile Ca^{+2} iyonu konsantrasyonu Büyükçekmece için 61 mg $CaCO_3/L$, Terkos için 42 mg $CaCO_3/L$ ve Ömerli için ise 40 mg $CaCO_3/L$ olarak sıralanmaktadır. En yüksek basınç artışının Büyükçekmece suyu için elde edilmesinde, Büyükçekmece suyundaki yüksek kalsiyum iyonu konsantrasyonunun etkisi de etkili olmuş olabilir.
- Çalışma kapsamında çalışılan göl sularının pH değerleri sırası ile Terkos, Ömerli ve Büyükçekmece için 7,97, 7,40 ve 8,20 olarak tespit edilmiştir. Göl sularının pH değerleri ile membran basıncı değerleri birbiri ile paralellik arz etmekte veya başka bir değişle, en yüksek pH değerine sahip Büyükçekmece suyu en fazla basınç artışına neden olurken, en düşük pH değerine sahip Ömerli suyu ise en düşük basınç artışına neden olmuştur. Genellikle hümit maddelerin yüksek pH değerlerinde fazla miktarda giderilme gerekçeleri, aromatik maddelerin polielektrolit karakterleri ve kullanılan MF/UF membranlarının negatif yüklü özelliklerinden kaynaklanmaktadır.

5.2 Genel Sonuçlar ve Öneriler

- Göl suyundaki aromatik ve alifatik karakterli organikler bir seri biyojeokimyasal süreçler sonucunda meydana gelmektedir. Bu süreçler sonucunda oluşan kompleks organik bileşikler, sadece bir model hümik asit bileşiği ile temsil etmek çoğu zaman mümkün olmamaktadır. Tüm bu faktörler, gerçek yüzeysel sular ile yapılan deneylerde farklı organik madde giderme verimi ve basınç artışı değerlerinin elde edilmesini sağlamaktadır.
- Göl suyunda en fazla tıkanma (membran basınç artışı) UF membranında elde edilmektedir.
- MF membranında gözenek tıkanması ve gözenek blokaj mekanizmaları etkin ve yeterli miktarda meydana geldiği için, MF membranı tıkanması daha fazla olmaktadır.
- Gözenek tıkanması MF membranında ciddi basınç artışlarına neden olmaktadır. Genellikle geri dönüşümsüz tıkanmanın düşük moleküler ağırlıklı (LMW <2 kDa) organiklerin membran gözeneklerine yapışması ve yüksek moleküler ağırlıklı (HMW >5 kDa) organiklerin adsorpsiyonu ile gerçekleşmektedir.
- UV/TiO₂ ve PAC uygulamaları karşılaştırıldığında, hem MF hem de UF membranları için PAC ön arıtımı ile elde edilen organik madde giderimi daha yüksek oranda elde edilmektedir. Bu sonuç bize göl suyundaki hidrofobik ve hidrofilik yapıların PAC adsorbenti ile çok verimli bir şekilde giderilebildiğini göstermektedir. Basınç artışı açısından bakıldığında ise PAC'nin doygunluk değerine yükselmemesi gerekmektedir. Aksi takdirde, hızlı bir basınç artışı görülmektedir. PAC'nin uygulama zamanı ve aralıkları da, membran performansında etkili olmaktadır.
- Organik madde giderimi açısından UF membranda verim daha yüksek olmuştur.
- Organik içerik açısından (TOK) ve aromatik karakter (SUVA₂₅₄) açısından en yüksek değerlere sahip olan göl sularında, organik yapıların hidrofobik yüzdesi daha fazladır. Bu durum, tıkanmada etkili olmaktadır.
- Ham su kalsiyum konsantrasyonundaki artış, organik maddelerle yapacağı komplekslerdeki artıştan dolayı, membran yüzeyinde kek tabaksı oluşumuna katkı sağlayabilmektedir.

- Ham su pH değerinin yüksek olduğu durumlarda, düşük pH değerlerine göre daha fazla basınç artışı görülmektedir.

Sonuç olarak, pilot ölçekte gerçekleştirilen bu çalışma, içme sularının ileri teknoloji ürünü membran sistemleri ile arıtılabilirliği konusunda önemli bir bilgi birikiminin oluşmasını sağlamıştır. Konvansiyonel su arıtma sistemlerinin yerini alacak bir sistem geliştirilmiştir. Üretilen birim suyun maliyetinin konvansiyonel sistemlere göre değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu alışma, su kaynağından ham suyun taşınması ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaların, yerinde ve daha uzun süreli çalışmalar ile zenginleştirilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **Rook, J.**, 1974: Formation of haloforms during chlorination of natural water, Journal of American Water Works Association, Vol.23, pp.234-240.
- [2] **Gray, N. F.**, 2008: Drinking Water Quality, Second Edition, Published in the United States of America by Cambridge University Press, New York.
- [3] **Drikas, M., Chow, C.W., Cook, D.**, 2003. The Impact of Recalcitrant Organic Character on Disinfection Stability, THM Formation and Bacterial Re-Growth, J. Water Supply 52, 475–487.
- [4] **Sridang, S., Grasmick, A., Puetpaiboon, U.**, 2008. Influence of Water Compositions and Conditioning on Flux Enhancement in an Immersed Membrane System, Separation Science and Technology, 43:1813-1825.
- [5] **Ho, D. P., Vigneswaran, S., Ngo, H. H.**, 2010. Integration of Photocatalysis and Microfiltration in Removing Effluent Organic Matter from Treated Sewage Effluent, Separation Science and Technology, 45:155-162.
- [6] **Taşıyıcı, S.**, 2009. Batık Membran Sistemleri ile İçme Suyu Arıtımı: Membran Tıkanıklığını Azaltmak için Farklı Yöntemlerin Kullanılması, İ.T.Ü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- [7] **Akdağlı, M., Arslan, S.**, 2008. Ters Ozmos İleri Arıtma Sistemleri ile Çok Amaçlı Su Arıtımında Proses Tasarımı, İ.Ü., Çevre Mühendisliği Bölümü, Lisans Tezi.
- [8] **Fane, A. G., Chang, S., Chardon, E.**, 2002. Submerged Hollow Fiber Membrane Module—Design Options and Operational Considerations, Desalination 146 (1–3), 231–236.
- [9] **Koyuncu, İ.**, 2009. Çevre Mühendisliğinde Membran Prosesler Ders Notları.
- [10] **Wang, L.K., Hung, Y-T., Shammes, N.K.**, 2004. Physicochemical Treatment Processes, Vol.3.
- [11] **Ernst, M., and Jekel, M.** 1999. Advanced Treatment Combination for Groundwater Recharge of Municipal Wastewater by Nanofiltration and Ozonation. Wat.Sci.Tech. 40, No.4-5, 277-284.
- [12] **Ciardelli, G., Corsi, L., Marcucci, M.**, 2000. Membrane Separation for Wastewater Reuse in the Textile Industry, Resources, Conservation and Recycling 31, 189-197.
- [13] **Ahn, K.H., Song, K.G.**, 1999. Treatment of Domestic Wastewater Using Microfiltration for Reuse of Wastewater. Desalination, 126, 7-14.
- [14] **Yalçın, F., Koyuncu, I., Öztürk, İ., and Topacık, D.** 1999. Pilot Scale UF and RO Studies on Water Reuse in Corrugated Board Industry. Wat. Sci. Tech. Vol.40, No.4-5, 303-310.

- [15] **Barlas, H.**, 2005. Suların İleri Arıtım Teknolojileri- I Ders Notları, İ.Ü., Çevre Mühendisliği Bölümü.
- [16] **Podaru, C., Manea, F., Vlaicu, I., Patroescu, V., Danieleescu, C., Burtica, G.**, Studies Regarding Surface Water Treatment Using a Microfiltration-Ultrafiltration Pilot Plant, *Environmental Engineering and Management Journal*, VOL.7, No.6, 711-715.
- [17] **Lee, S., Lee, C.H.**, 2007. Effect of Membrane Properties and Pretreatment on Flux and NOM Rejection in Surface Water Nanofiltration., *Sep. Purif. Technol.* 56, 1–8.
- [18] **Lee, S., Lee, C.H.**, 2006. Microfiltration and Ultrafiltration As a Pretreatment for Nanofiltration of Surface Water, *Sep. Sci. Technol.* 41, 1–23.
- [19] **Marcucci, M., Ciabatti, I., Matteucci, A.**, 2003. In: Li, N.N., et al. (Eds.), *Advanced Membrane Technology*, vol. 984. New York Academy of Sciences, New York, pp. 53–64.
- [20] **Magara, Y., Kunikane, S., Itoh, M.**, 1998. Advanced Membrane Technology for Application to Water Treatment. *Water Sci. Technol.* 37 (10), 91–99.
- [21] **Choi, K.Y.J., Dempsey, B.A.**, 2004. In-line Coagulation With Low-Pressure Membrane Filtration, *Water Res.* 38, 4271–4281.
- [22] **AWWA**, Microfiltration and Ultrafiltration Membranes for Drinking Water, *Manual of Water Supply Practices-M53*, First Edition, Chapter, 4.
- [23] **AWWA**, Microfiltration and Ultrafiltration Membranes for Drinking Water, *Manual of Water Supply Practices-M53*, First Edition, Chapter, 3.
- [24] **AWWA**, Microfiltration and Ultrafiltration Membranes for Drinking Water, *Manual of Water Supply Practices-M53*, First Edition, Chapter, 2.
- [25] **Lihua, S., Xing, L., Guoyu, Z., Jie, C., Zhe, X., Guibai, L.**, 2009. The Substitution of Sand Filtration by Immersed-UF for Surface Water Treatment: Pilot-Scale Studies, *Water Science and Technology*, 2337-2343.
- [26] **Huang, H., Schwab, K., Jacanke, J.**, 2009. Pretreatment for Low Pressure Membranes in Water Treatment: A Review.
- [27] **Laabs, C., Amy, G.L., Jekel, M.**, 2006. Understanding the Size and Character of Fouling-Causing Substances from Effluent Organic Matter (EfOM) in Low-Pressure Membrane Filtration., *Environ. Sci. Technol.* 40, 4495–4499.
- [28] **Le-Clech, P., Chen, V., Fane, T.A.**, 2006a. Fouling in Membrane Bioreactors Used in Wastewater Treatment., *J. Membr. Sci.* 284, 17–53.
- [29] **Zhang, M.M., Li, C., Benjamin, M.M., Chang, Y.J.**, 2003. Fouling and Natural Organic Matter Removal in Adsorbent/Membrane Systems for Drinking Water Treatment, *Environ. Sci. Technol.* 37, 1663–1669.
- [30] **Tomaszewska, M., Mozia, S.**, 2002. Removal of organic matter from water by PAC/UF system, *Water Res.* 36, 4137–4143.
- [31] **Yuan, W., Zydney, A.L.**, 1999. Humic Acid Fouling During Microfiltration, *J. Membr. Sci.* 157, 1–12.

- [32] **Yuan, W., Zydney, A.L.,** 2000. Humic acid fouling During Ultrafiltration, *Environ. Sci. Technol.* 34, 5043–5050.
- [33] **Kim, H.C., Yu, M.J.,** 2005. Characterization of Natural Organic Matter in Conventional Water Treatment Processes for Selection of Treatment Processes Focused on DBPs Control, *Water Res.* 39, 4779–4789.
- [34] **Li, Q., Elimelech, M.,** 2004. Organic Fouling and Chemical Cleaning of Nanofiltration Membranes: Measurements and Mechanisms, *Environ. Sci. Technol.* 38, 4683–4693.
- [35] **Li, Q., Elimelech, M.,** 2006. Synergistic Effects in Combined Fouling of a Loose Nanofiltration Membrane by Colloidal Materials and Natural Organic Matter, *J. Membr. Sci.* 278, 72–82.
- [36] **Braghetta, A.,** 1995. The influence of Solution Chemistry and Operating Conditions on Nanofiltration of Charged and Uncharged Organic Macromolecules. Doctoral Dissertation, University of North Carolina, Chapel Hill, NC.
- [37] **Lee, N.H., Amy, G., Croue, J.P., Buisson, H.,** 2004. Identification and Understanding of Fouling in Low-Pressure Membrane (MF/UF) Filtration by Natural Organic Matter (NOM), *Water Res.* 38, 4511–4523.
- [38] **Jones, K.L., O'Melia, C.R.,** 2000. Protein and Humic Acid Adsorption onto Hydrophilic Membrane Surfaces: Effects of pH and Ionic Strength, *J. Membr. Sci.* 165, 31–46.
- [39] **Jucker, C., Clark, M.M.,** 1994. Adsorption of Aquatic Humic Substances on Hydrophobic Ultrafiltration Membranes, *J. Membr. Sci.* 97, 37–52.
- [40] **Childress, A.E., Elimelech, M.,** 1996. Effect of Solution Chemistry on the Surface Charge of Polymeric Reverse Osmosis and Nanofiltration Membranes, *J. Membr. Sci.* 119, 253–268.
- [41] **Childress, A.E., Elimelech, M.,** 2000. Relating Nanofiltration Membrane Performance to Membrane Charge (Electrokinetic) Characteristics, *Environ. Sci. Technol.* 34, 3710–3716.
- [42] **Zhang, M.M., Li, C., Benjamin, M.M., Chang, Y.J.,** 2003. Fouling and Natural Organic Matter Removal in Adsorbent/Membrane Systems for Drinking Water Treatment, *Environ. Sci. Technol.* 37, 1663–1669.
- [43] **Tomaszewska, M., Mozia, S.,** 2002. Removal of Organic Matter from Water by PAC/UF System, *Water Res.* 36, 4137–4143.
- [44] **Oh, H.K., Takizawa, S., Ohgaki, S., Katayama, Katayama, H., Oguma, K., Yu, M.J.,** 2007. Removal of Organics and Viruses Using Hybrid Ceramic MF System Without Draining PAC, *Desalination* 202, 191–198.
- [45] **Gai, X.J., Kim, H.S.,** 2008. The Role of Powdered Activated Carbon in Enhancing the Performance of Membrane Systems for Water Treatment, *Desalination* 225, 288–300.
- [46] **Khan, T., Lewandowski, Z., Takizawa, S., Yamada, K., Katayama, H., Yamamoto, K., Ohgaki, S.,** 2009. Continuous and Efficient Removal of THMs from River Water Using MF Membrane Combined with High Dose of PAC, *Desalination* 249, 713–720.

- [47] **Lee, S., Lee, J., Kim, S., Park, P., Kim, J., Lee, C.,** 2008. Removal of 17 β -estradiol by Powdered Activated Carbon-Microfiltration Hybrid Process: The Effect of PAC Deposition on Membrane Surface, *Journal of Membrane Science* 326, 84-91.
- [48] **Jia, Y., Wang, R., Fane, A. G.,** 2008. Hybrid PAC-Submerged Membrane System for Trace Organics Removal II: System Simulation and Application Study, *Chemical Engineering Journal* 149, 42-49.
- [49] **Jung, J., Kim, J.,** 2009. Performance of a Photocatalytic Hybrid System Coupled with a Stainless Steel Membrane for Removal of Humic Acid, *Res Chem Intermed* 35: 249-255.
- [50] **Ho, D. P., Vigneswaran, S., Ngo, H. H.,** 2009. Photocatalysis-Membrane Hybrid System for Organic Removal from Biologically Treated Sewage Effluent, *Separation and Purification Technology* 68, 145-152.
- [51] **Bertelli, M., Selli, E.,** 2006. Reaction Paths and Efficiency of Photocatalysis on TiO₂ and of H₂O₂ Photolysis in the Degradation of 2-chlorophenol, *J. Hazard. Mater.* 138, 46-52.
- [52] **Hoffmann, M.R., Martin, S.T., Choi, W.D., Bahnemann, W.,** 1995. Environmental Application of Semiconductor Photocatalysis, *Chem. Rev.* 95, 69-96.
- [53] **Toepfer, B., Gora, A., Puma, G.L.,** 2006. Photocatalytic Oxidation of Multicomponent Solutions of Herbicides: Reaction Kinetics Analysis with Explicit Photon Absorption Effects, *Appl. Catal. B: Environ.* 68, 171-180.
- [54] **Parra, S., Stanca, S.E., Guasaquillo, I., Thampi, K.R.,** 2004. Photocatalytic Degradation of Atrazine Using Suspended and Supported TiO₂, *Appl. Catal. B: Environ.* 51, 107-116.
- [55] **Le-Clech, P., Lee, E.K., Chen, V.,** 2006b. Hybrid Photocatalysis/ Membrane Treatment for Surface Waters Containing Low Concentrations of Natural Organic Matters, *Water Res.* 40, 323-330.
- [56] **Fu, J.F., Ji, M., Wang, Z., Jin, L.N., An, D.N.,** 2006. A New Submerged Membrane Photocatalysis Reactor (SMPR) for Fulvic Acid Removal Using a Nano-Structured Photocatalyst, *J. Hazard. Mater. B* 131, 238-242.
- [57] **Fang, H., Sun, D.D., Wu, M., Phay, W., Tay, J.H.,** 2005. Removal of Humic Acid Foulant from Ultrafiltration Membrane Surface Using Photocatalytic Oxidation Process, *Water Sci. Technol.* 51 (6-7), 373-380.
- [58] **Molinari, R., Borgese, M., Drioli, E., Palmisano, L., Schiavello, M.,** 2002. Hybrid Processes Coupling Photocatalysis and Membranes for Degradation of Organic Pollutants in Water, *Catal. Today* 75, 77-85.
- [59] **Molinari, R., Pirillo, F., Loddo, V., Palmisano, L.,** 2006. Heterogeneous Photocatalytic Degradation of Pharmaceuticals in Water by Using Polycrystalline TiO₂ and a Nanofiltration Membrane Reactor, *Catal. Today* 118, 205-213.
- [60] **Sopajaree, K., Qasim, S.A., Basak, S., Rajeshwar, K.,** 1999. An Integrated Flow Reactor-Membrane Filtration System for Heterogeneous Photocatalysis, Part II: Experiments on the Ultrafiltration Unit and Combined Operation, *J. Appl. Electrochem.* 29, 1111-1118.

- [61] **Li, X.Z., Fan, C.M., Sun, Y.P.,** 2002. Enhancement of Photocatalytic Oxidation of Humic Acid in TiO₂ Suspensions by Increasing Cation Strength, *Chemosphere* 48, 453–460.
- [62] **Tay, J.H., Chen, D., Sun, D.D.,** 2001. Removal of Color Substances Using Photocatalytic Oxidation for Membrane Filtration Processes, *Water Sci. Technol.* 43 (10), 319–325.
- [63] **Doll, T.E., Frimmel, F.H.,** 2005. Photocatalytic Degradation of Carbamazepine, Clofibric Acid and Iomeprol with P25 and Hombikat UV100 in the Presence of Natural OrganicMatter (NOM) and Other Organic Water Constituents, *Water Res.* 39, 403–411.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Müge Akdağlı

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul- 11.06.1985

Adres: Taşlı çeşme Sok. Alşıran Apt. No:32/8 Bostancı/İSTANBUL

Lisans Üniversite: İstanbul Üniversitesi