

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEKSTİL ATIKSULARININ NANOFİLTRASYON MEMBRANI İLE ARITIMI
SONUCU OLUŞAN KONSANTRENİN ANAEROBİK ARITILABİLİRLİĞİ**

VESİLE ÇELEBİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. MEHMET ÇAKMAKCI**

İSTANBUL, 2014

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEKSTİL ATIKSULARININ NANOFİLTASYON MEMBRANI İLE ARITIMI
SONUCU OLUŞAN KONSANTRENİN ANAEROBİK ARITILABİLİRLİĞİ

Vesile ÇELEBİ tarafından hazırlanan tez çalışması 19.02.2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Mehmet ÇAKMAKCI

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Mehmet ÇAKMAKCI

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Kaan YETİLMEZSOY

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. İbrahim DEMİR

İstanbul Teknik Üniversitesi

Bu alışma, Türkiye Bilim ve Teknoloji Araştırma Kurumu'nun (TÜBİTAK) 110Y222 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Çalışmada tek kademeli olarak arıtımı zor olan tekstil atıksuyunun nanofiltrasyon sonrası oluşan konsantresinin anaerobik arıtılabilirliği incelenmiştir. Tekstil endüstrilerinden kaynaklanan atıksular fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak arıtılabilmesine rağmen istenen nihai çıkış kalitesinin sağlanmasında her zaman mevcut arıtma üniteleri yeterli olmamaktadır. Tekstil atıksularının yeniden kullanılabilmesi ve deşarj standartlarının sağlanması amacıyla son zamanlarda membran proseslerin kullanımında hızlı artış görülmektedir. Membran proseslerle tekstil atıksularının arıtımı sonucu, proseslerde yeniden kullanılabilir süzüntü ile kirleticilerin yoğunlaştığı konsantre akımı oluşmaktadır. Bu çalışmada, Nanofiltrason (NF) membranı ile arıtım sonucu oluşan konsantrenin doğrudan ve ozonla ön işlem sonrası anaerobik arıtımı gerçekleştirilecektir.

Yüksek lisans çalışmalarımın yürütülmesi sırasında desteğini ve bilgisini benden esirgemeyen Sayın Hocam Doç. Dr. Mehmet ÇAKMAKCI'ya şükranlarımı sunarım.

Çalışmalarım sırasında her türlü destek ve yardımda bulunan değerli hocalarım Doç.Dr. Doğan KARADAĞ ve Araş. Gör. Fatma Büşra YAMAN' a şükranlarımı sunarım.

Bu zamana kadar olduğu gibi yüksek lisans çalışmalarım da maddi ve manevi desteklerini hiç eksik etmeyen babam Ahmet BALI' ye, annem Rukiye BALI' ye ve eşim Eray ÇELEBİ' ye en içten şükranlarımı sunarım.

Nisan, 2014

Vesile ÇELEBİ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
TABLO LİSTESİ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Hipotez	2
BÖLÜM 2	
LİTERATÜR BİLGİLERİ.....	1
2.1 Tekstil Sektörüne Genel Bakış	3
2.2 Tekstil Endüstrisinin Ana Bölümleri	3
2.2.1 Elyaf Üretimi	4
2.2.2 İplik Üretimi	4
2.2.3 Kumaş Üretimi	5
2.2.4 Terbiye İşlemleri	5
2.3 Pamuklu Tekstil Endüstrisi Üretim Prosesleri ve İşlemleri	6
2.3.1 Gaze İşlemleri	6
2.3.2 Haşılama	6
2.3.3 Yakma ve haşıl giderme	7
2.3.4 Bazık İşlemler	8
2.3.5 Ağartma	8
2.3.6 Merсерizasyon	8
2.3.7 Boyama	8
2.3.8 Apre-ikmal	9
2.3.9 Bitirme işlemleri	9
2.4 Tekstil Endüstrisi Kirletici Kaynakları, Miktar ve Özellikleri	9

2.4.1	Tekstil endüstrisi katı atıkları	9
2.4.2	Tekstil endüstrisi koku problemi	10
2.4.3	Tekstil endüstrisi gaz atıkları	10
2.4.4	Tekstil endüstrisi sıvı atıkları.....	11
2.4.4.1	Tekstil sektöründe su kullanımı	11
2.4.4.2	Tekstil endüstrisi atıksularının özellikleri.....	12
2.4.4.3	Pamuklu tekstil atıksularının özellikleri	14
2.4.4.4	Desarj standartları	16
2.4.4.5	Tekstil sektöründe suyun yeniden kullanımı	17
2.5	Tekstil Endüstrisi Atıksularının Arıtılma Alternatifleri	18
2.5.1	Membran teknolojileri ile tekstil endüstrisi atıksuyu arıtımı	19
2.5.2	Tekstil endüstrisi atıksuyunun anaerobik arıtımı	25
2.5.3	Tekstil endüstrisi atıksuyunun ozon prosesi ile arıtımı	29
2.5.4	Membran proseslerde oluşan konsantre akımın arıtımı.....	31
BÖLÜM 3		
MATERYAL VE METOT		34
3.1	Deney Düzeneklerinin Kurulması.....	34
3.1.1	Membran deney düzeneği.....	34
3.1.2	Laboratuvar ölçekli anaerobik arıtma deney düzeneği	35
3.1.3	Ozonlama deney düzeneği	35
3.2	Tekstil Atıksuyu ve Özellikleri	41
3.3	Analizler	47
BÖLÜM 4		
DENEYSEL ÇALIŞMALAR		51
4.1	Membran Proseslerle Tekstil Atıksuyu Arıtımı ve Konsantre Karakterizasyonu	51
4.2	Ozon Üretimi ve Konsantrasyonun Belirlenmesi.....	51
4.3	Anaerobik Arıtma Çalışmaları	54
4.3.1	Anaerobik fermentörlerin devreye alınması ve adaptasyon çalışmaları	54
4.3.2	Konsantre ile gerçekleştirilen anaerobik çalışmaları.....	58
BÖLÜM 5		
SONUÇLAR.....		105
KAYNAKLAR.....		108
ÖZGEÇMİŞ.....		113

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1 Pamuklu tekstil endüstrisi iş akım şeması.....	7
Şekil 2. 2 Türkiye'de sanayi gruplarına göre desarj edilen atıksu miktarları.....	13
Şekil 2. 3 Membran akımının şeması.....	20
Şekil 2. 4 Anaerobik proseslerdeki arıtım şemaları.....	26
Şekil 2. 5 Askıda çoğalan reaktör tipleri	27
Şekil 2. 6 Biyofilmi sistemlerin reaktör tipleri	27
Şekil 2. 7 Ozon üretimi	30
Şekil 3. 1 Membran düzeneği.....	34
Şekil 3. 2 Fermentör düzeneğinin fonksiyonları(a)Karıştırma sistemi, (b)Bombeli taban sıvı kabı,(c)Giriş ve çıkışların yapıldığı portlar, (d)Kontrol paneli, (e)Pompalar	37
Şekil 3. 3 Laboratuvar ölçekli fermentör düzeneği	37
Şekil 3. 4 Ozon jeneratörü akım şeması	38
Şekil 3. 5 Ozon jeneratöründe elektrodların yerleşimi	39
Şekil 3. 6 Laboratuvar ölçekli ozon deney düzeneği	40
Şekil 3. 7 Ozon jeneratörü öncesinde kullanılan silika jel kolonu	41
Şekil 3. 8 Tekstil fabrikasının üretim akış şeması	42
Şekil 3. 9 GC-2010 cihazı.....	48
Şekil 3. 10 Fermentördeki pH, ORP, ÇO ve sıcaklık problemleri	48
Şekil 3. 11 Ozon jeneratörü(Sander Laboratory Ozonier 300.5)	48
Şekil 4. 1 Ozon jeneratörü ile farklı hava debisi ve işletim sürelerinde üretilen ozon miktarı	52
Şekil 4. 2 Ph değişimi	56
Şekil 4. 3 ORP değişimi	57
Şekil 4. 4 KOİ giderme verimi	58
Şekil 4. 5 pH' ın zamanla değişimi	60
Şekil 4. 6 Sıcaklığın zamanla değişimi.....	60
Şekil 4. 7 ORP' nin zamanla değişimi.....	61
Şekil 4. 8 Alkalinitenin R1' de zamanla değişimi	62
Şekil 4. 9 Alkalinitenin R2' de zamanla değişimi	63
Şekil 4. 10 UYA' nın R1' de zamanla değişimi.....	64
Şekil 4. 11 UYA' nın R2' de zamanla değişimi.....	64
Şekil 4. 12 UYA/Alkalinite oranının R1' de zamanla değişimi.....	65

Şekil 4. 13	UYA/Alkalinite oranının R2' de zamanla değişimi.....	65
Şekil 4. 14	KOİ' nin R1' de zamanla değişimi.....	67
Şekil 4. 15	KOİ giderme veriminin R1' de zamanla değişimi	68
Şekil 4. 16	KOİ' nin R2' de zamanla değişimi.....	69
Şekil 4. 17	KOİ giderme veriminin R2' de zamanla değişimi	69
Şekil 4. 18	ÇKOİ'nin R1'de zamanla değişimi.....	70
Şekil 4. 19	ÇKOİ giderme veriminin R1'de zamanla değişimi	71
Şekil 4. 20	ÇKOİ' nin R2' de zamanla değişimi.....	72
Şekil 4. 21	ÇKOİ giderme veriminin R2' de zamanla değişimi	72
Şekil 4. 22	BOİ ₅ 'nin R1'de zamanla değişimi	73
Şekil 4. 23	BOİ ₅ giderme veriminin R1'de zamanla değişimi.....	74
Şekil 4. 24	BOİ ₅ 'nin R2'de zamanla değişimi	75
Şekil 4. 25	BOİ ₅ giderme veriminin R2'de zamanla değişimi.....	76
Şekil 4. 26	TOK'un R1'de zamanla değişimi.....	77
Şekil 4. 27	TOK giderme veriminin R1' de zamanla değişimi	77
Şekil 4. 28	TOK'un R2'de zamanla değişimi	78
Şekil 4. 29	TOK giderme veriminin R2' de zamanla değişimi	79
Şekil 4. 30	UKM'nin R1'de zamanla değişimi	80
Şekil 4. 31	UKM'nin R2'de zamanla değişimi	81
Şekil 4. 32	TKM'nin R1'de zamanla değişimi.....	82
Şekil 4. 33	TKM'nin R2'de zamanla değişimi	82
Şekil 4. 34	TKN'nin R1'de zamanla değişimi.....	83
Şekil 4. 35	TKN'nin R2'de zamanla değişimi.....	84
Şekil 4. 36	NH ₄ ⁺ 'nin R1'de zamanla değişimi.....	85
Şekil 4. 37	NH ₄ ⁺ 'nin R2'de zamanla değişimi	85
Şekil 4. 38	TP'un R1'de zamanla değişimi	87
Şekil 4. 39	TP'un R2'de zamanla değişimi	88
Şekil 4. 40	PO ₄ ³⁻ 'un R1'de zamanla değişimi	89
Şekil 4. 41	PO ₄ ³⁻ 'un R2'de zamanla değişimi	90
Şekil 4. 42	SO ₄ ²⁻ 'un R1'de zamanla değişimi	91
Şekil 4. 43	SO ₄ ²⁻ 'un R1'de giderme veriminin zamanla değişimi.....	91
Şekil 4. 44	SO ₄ ²⁻ 'un R2'de zamanla değişimi	92
Şekil 4. 45	SO ₄ ²⁻ 'un R2'de giderme veriminin zamanla değişimi.....	93
Şekil 4. 46	SO ₃ ²⁻ 'un R1 ve R2'de zamanla değişimi.....	93
Şekil 4. 47	Na'nın R1'de zamanla değişimi.....	94
Şekil 4. 48	Na'nın R2'de zamanla değişimi.....	95
Şekil 4. 49	Ca'nın R1'de zamanla değişimi	95
Şekil 4. 50	Ca'nın R2'de zamanla değişimi	96
Şekil 4. 51	K'nın R1'de zamanla değişimi	96
Şekil 4. 52	K'nın R2'de zamanla değişimi	97
Şekil 4. 53	Cr'nin R1'de zamanla değişimi.....	98
Şekil 4. 54	Cr'nin R2'de zamanla değişimi	98
Şekil 4. 55	Fe'nin R1'de zamanla değişimi.....	99
Şekil 4. 56	Fe'nin R2'de zamanla değişimi.....	99
Şekil 4. 57	Reaktörlerde üretilen gaz hacimlerinin zamanla değişimi.....	100

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1	Tekstil endüstrisindeki çeşitli ön işlemlerde kullanılan su miktarları 11
Çizelge 2. 2	Tekstil sektöründe ön işlemler sırasında oluşan kirletici parametreler.. 14
Çizelge 2. 3	Pamuklu tekstil endüstrisinde ön işlemlerden kaynaklanan atıksu karakteristikleri..... 15
Çizelge 2. 4	Pamuklu tekstil endüstrisinde oluşan su ihtiyacı ile kirletme yüzdeleri . 15
Çizelge 2. 5	SKKY Tablo 10.3 “Pamuklu Tekstil ve Benzerleri” için alıcı ortama deşarj standartları 16
Çizelge 2. 6	İngiliz Tekstil Teknoloji Grup tekstil atıksuyu için tekrar kullanım kriterleri..... 17
Çizelge 2. 7	Membran proseslerinin genel karakteristikleri..... 21
Çizelge 2. 8	Farklı iyonları giderme verimleri 24
Çizelge 3. 1	Ozon jeneratörünün özellikleri 36
Çizelge 3. 2	Tekstil fabrikasında kullanılan kimyasallar ve yıllık maksimum tüketim miktarları 43
Çizelge 3. 3	Tekstil fabrikasında 6’şar saat aralıklarla alınan numunelerin karakterizasyonu 43
Çizelge 3. 4	Tekstil atıksuyu karakterizasyonu 45
Çizelge 3. 5	Tekstil boyama ve kasar banyosu atıksularının karakterizasyonu 46
Çizelge 3. 6	Karakterizasyon için ölçülen parametreler 47
Çizelge 4. 1	% 80 kasar+%20 boya banyo sularının farklı hava debilerinde üretilen ozonla reaksiyonu sonrası atıksuda ve sonrasında % 2’lik KI’de adsorplanan ozon miktarları 52
Çizelge 4. 2	% 80 kasar+%20 boya banyo sularının farklı hava debilerinde üretilen ozonla reaksiyonu sonrası kirletici parametrelerdeki değişim..... 53
Çizelge 4. 3	Sentetik atıksu bileşimi 55
Çizelge4. 4	Fermentör sistemlerinden elde edilen gaz içerikleri 101

TEKSTİL ATIKSULARININ NANOFİLTRASYON MEMBRANI İLE ARITIMI SONUCU OLUŞAN KONSANTRENİN ANAEROBİK ARITILABİLİRLİĞİ

Vesile ÇELEBİ

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mehmet ÇAKMAKCI

Tekstil endüstrisi Türkiye’ de en hızlı gelişen sanayilerinin başında gelmektedir. Bu hızlı gelişim, büyük debilerde ve büyük konsantrasyonlarda kirlilik taşıyan atıksuları ve bunların arıtma gerekliliğini beraberinde getirmiştir. Tekstil fabrikalarının üretim aşamalarına göre çeşitli bileşim ve miktarda atıksular oluşmaktadır. Konvansiyonel arıtma prosesleri endüstriyel atıksuların arıtılmasında genellikle kanala veya alıcı ortama desarj standartlarını sağlayabilmek amacıyla kullanılmaktadır. Geri kazanım ve yeniden kullanım kriterlerini sağlayacak kalitede su üretmek ancak ileri arıtma teknikleriyle mümkün olmaktadır. Membranlarla tekstil atıksuların tekrar kullanılabilirliği ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır ancak konsantrenin bertarafı hakkında az sayıda çalışma vardır. Bu çalışmada, nanofiltrasyon (NF) membraniyle arıtım sonucu oluşan konsantrenin doğrudan ve ozonla ön işlem sonrası anaerobik arıtılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla kartuş filtre, ultrafiltrasyon membranı (UF) ve NF membranından oluşan bir arıtma sistemi ile “Pamuklu Kumaş Yıkama ve Boyama” tekstil firmasının entegre atıksuları arıtılmıştır. Bu çalışmada UP150, NF270 ve NF90 membranları kullanılmıştır. NF90 membranın akısını 5 ve 10 bar basınç altında düşük olduğu için çalışmalar NF270 membranı ile gerçekleştirilmiştir. Konsantrenin anaerobik arıtılabilirliğini artırabilmek için optimum ozon dozu belirlemiştir. Ozonlanmış ve ozonlanmamış konsantreler anaerobik fermentörlere beslenmiştir. Yaklaşık 1 yıl süreli anaerobik arıtma çalışması ile kirleticilerin arıtılabilirliği ve biyogaz oluşumu incelenmiştir. Bu çalışmada doğrudan ve ozonla ön işlem görmüş konsantrelerin

anaerobik fermentörlerde arıtımıyla sırasıyla ortalama %54 ve % 59 KOİ ile %45 ve %52 sülfat giderimi sağlanmıştır. Ekonomik fizible metan üretimi gerçekleşmemiştir.

Anahtar Kelimeler: Tekstil endüstrisi, nanofiltrasyon membranı, membran konsantresi, anaerobik arıtım, ozonlama

**ANAEROBIC TREATABILITY OF MEMBRANE CONCENTRATE FROM TEXTILE
WASTEWATER TREATMENT BY NANOFILTRATION MEMBRANE**

Vesile ÇELEBİ

Department of Environmental Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. Mehmet ÇAKMAKCI

Textile industry is the one of the fastest developing industries in Turkey. This fast-developing causing high flow and pollution in high concentrations in wastewater and also the importance of treatment this waters. According to the production stage of the textile factories of various composition and quantity of wastewater is composed. By using conventional treatment methods for industrial wastewaters, we can only get discharge standarts to the canals or receiver environment for thisanced treatment methods. There are lots of studies about the reuse of wastewater by membrane processes but not much researches about treatment of membrane concentrate. In this study, the effect of ozonation on anaerobic treatability of concentrate from nanofiltration (NF) membrane was investigated. The concentrate was produced by an integrated system of a cartridge filter, an ultrafiltration (UF) membrane and a NF membrane from the combined effluents of a “Cotton Fabric Processing” textile industry. Nanofiltration studies were performed by NF270 membrane since NF90 produced the lower fluxes at 5 and 10 bar of operation pressures. Anaerobic treatment studies were conducted in batch system to determine the optimum ozone dosage. Continuous anaerobic treatment studies was performed for one year by feeding ozonated and non-ozonated NF270 concentrate into two identical fermentors. During the study, average removal efficiencies were 54% and 59% of COD while 45% and 52% of SO_4^{2-} for non-ozonated and ozonated concentrate. The methane amount from anaerobic treatment of membrane concentrate from textile wastewater has no remarkable value.

Keywords: Textile industry, nano-filtration membrane, membrane concentrate, anaerobic treatment, ozonation

1.1 Literatür Özeti

Dünya ekonomisinde olduğu gibi Türkiye’ de de tekstil endüstrisi en hızlı gelişen sanayi dallarının başında gelmektedir. Su kaynaklarının giderek azalması sebebiyle su tüketimi fazla olan birçok endüstri dalında, tekstil de dahil olmak üzere, oluşan atıksuyun tekrar kullanılması hedeflenmektedir. Oluşan atıksuyun miktarı ve özellikleri prosese ve proseslerde kullanılan hammaddeye bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Konvansiyonel arıtma prosesleriyle tekstil atıksuları arıtılabilmesine rağmen istenilen kriterler her zaman sağlanamamaktadır. Özellikle renk ve bulanıklık tek kademede giderilememektedir.

Konvansiyonel sistemlerle arıtımı zor olan tekstil atıksularının arıtılabilirliği ve tekrar kullanılabilirliği için membran prosesler gibi ileri arıtım yöntemlerinin uygulamaları son 10 yılda giderek yaygınlaşmaktadır. Membran proseslerle tekstil atıksularının arıtımı sonucu, proseslerde yeniden kullanılacak süzüntü ile kirleticilerin yoğunlaştığı konsantre akımı oluşmaktadır.

Bu proje kapsamında, tekstil atıksularının ileri arıtma prosesi olan membran proseslerle arıtılabilirliği ve arıtım sonrası oluşan atıktan faydalanılabilirliği araştırılmıştır. Bu kapsamda, ön arıtma amacıyla ultrafiltrasyon membranı ve nihai arıtma amacıyla nanofiltrasyon membranı kullanılarak “Pamuklu Kumaş Yıkama ve Boyama” tekstil firmasının entegre suları arıtılmıştır. Membrandan geçen süzüntünün tekrar kullanım için uygunluğu irdelenmiş, membrandan geçmeyen ve konsantre olan atıklardan anaerobik fermentörlerde metan gibi enerjiye dönüştürülebilecek faydalı ürünün üretilebilirliği ve ozonlamanın bu atıklardan üretilecek metan miktarına etkisi araştırılmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmanın amacı, tekstil atıksularının nanofiltrasyon (NF) membran prosesi sonrası oluşan konsantrenin doğrudan ve ozonla ön işlemleri sonrası anaerobik arıtılabilirliği incelenmesidir. Bu amaç doğrultusunda tekstil atıksuyu, membran konsantresi ve membran süzöntüsü karakterize edilmiştir. Atıksuların uygun basınç ve uygun membran tipi ile arıtılabilmesi için optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Farklı proseslerden alınan atıksular farklı oranlarda karıştırılmış, NF membranı ile farklı basınçlarda arıtma işlemine tabi tutulmuş ve anaerobik arıtıma uygun atıksu elde edilmiştir. Konsantrenin ayrışabilirliğini arttırmak için optimum ozon dozu belirlenmiştir. Adaptasyon süresince fermentörler ilk olarak sentetik su ile beslenmiş sonrasında gerçek konsantreye kademeli olarak geçilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda konsantredeki kirleticilerin anaerobik şartlar altında arıtılabilirliği incelenmiştir. Ayrıca arıtım sırasında oluşan metan gazının sülfat konsantrasyonuna bağlılığı gözlenmiştir.

1.3 Hipotez

“Pamuklu Kumaş Yıkama ve Boyama” tekstil firmasının entegre atıksuları nanofiltrasyon membranı ile arıtılması sonucu oluşan konsantrenin tekrar kullanıma uygun hale getirmek anaerobik arıtım ile mümkündür. Anaerobik arıtma öncesi ozonla ön arıtım yapmak arıtma verimini artırır. Anaerobik arıtımla oluşan metan gazı ekonomik açıdan faydalanılabilecek düzeyde değildir.

LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Tekstil Sektörüne Genel Bakış

Dünya ekonomisinde tekstil sektörü en hızlı gelişen sektörlerin başında gelmekte olup, bu sektörün önemi her geçen gün hızla artmaktadır. Bunun temel sebebi, tekstil ürünlerinin günlük hayatta temel ihtiyaçların başında gelmesidir [1]. Tekstil endüstrisi, Türkiye'de de en hızlı gelişen sanayilerin başında gelmektedir. Ancak bu hızlı gelişim, büyük debilerde ve büyük konsantrasyonlarda kirlilik taşıyan atıksuların arıtma gerekliliğini de beraberinde getirmiştir. Tekstil fabrikalarında üretim aşamalarına göre çeşitli bileşim ve miktarlarda atıksular oluşmaktadır [2],[3].

Tekstil endüstrisinin ürünleri çok çeşitli olup, günümüzde tekstil ürünlerinin kullanımları oldukça geniş bir alana yayılmıştır. Tekstil ürünleri denilince öncelikle akla iplik, kumaş, hazır giyim, ev tekstilleri ve bazı teknik tekstiller gelmektedir. Ancak endüstriyel faaliyetlerdeki hızlı gelişim ile birlikte, tekstil ürünleri tıp alanından inşaat sektörüne, güvenlik malzemelerinden spor tesislerine, otomobil sanayinden uçak sanayine, tarımdan baraj ve tünel yapımına, elektrik sanayinden ambalaja ve denizciliğe kadar çok sayıda farklı sanayi kollarında çeşitli şekillerde kullanılmaktadır.

2.2. Tekstil Endüstrisinin Ana Bölümleri

Tekstil endüstrisi; hazır giyim, ev tekstilleri ve teknik tekstiller için çok çeşitli ürünler meydana getirmesine rağmen, genelde dört ana bölüme ayrılarak incelenebilir [4],[5]. Bunlar;

1. Elyaf üretimi : Doğal, yarı sentetik, tam sentetik,
2. İplik üretimi : Pamuk iplikçiği, yün iplikçiği, sentetik iplikçilik,
3. Kumaş Üretimi : Dokuma, örme,
4. Kumaşların Terbiye İşlemeleri : Kasar, boya, baskı, apre vb.

şeklindedir.

Entegre bir tekstil fabrikasında üretim kolları değişiklik gösterse de genel olarak iplik, dokuma, boya, baskı, terbiye, konfeksiyon vb. kısımları bulunmaktadır.

2.2.1 Elyaf Üretimi

Elyaf, bütün tekstil ürünlerinin hammaddesi ve en küçük yapı birimidir. Elyaf, tekstil ürünlerinin ilk kademesini oluşturan eğilmeye ve bükülmeye uygun olan maddelerdir. Elyafın tekstilde kullanılabilmesi için; belli bir uzunluğu, inceliği, mukavemeti, elastikiyeti ve birbirine tutunma kabiliyeti olması gerekir. Elyaf, çeşitli işlem kademelerinden geçirildikten sonra iplik haline getirilir. Elde edilen iplik başta dokuma ve örme işlem olmak üzere çeşitli yöntemlerle yüzey haline getirilir.

2.2.2 İplik Üretimi

İplikler sadece kesikli veya kesiksiz (filament) elyafın kullanılmasıyla ya da bir diğer şekilde her ikisinin birleştirilmesi ile elde edilirler. İplik eğirme; elyaf hammaddesinin bir seri işlem kademesinden geçirilmesi ile elde edilen, gerekli temizliğe, paralelliğe ve inceliğe sahip ön ipliğin herhangi bir eğirme sistemi ile iplik haline getirilmesidir. İplik çeşitleri; düz, pürtüklü, mat ve parlak gibi türlerde olabilirlerse de esas sınıflama dörde ayrılarak aşağıda belirtilen şekildedir [5].

- 1.Elyaf yapısına göre iplik çeşitleri: Kesikli, filament
- 2.Hammaddesine göre iplik çeşitleri: Pamuk, keten, yün, ipek, viskon, rayon, sentetikkesikli, sentetik filament, karışım iplikler
- 3.Yapılarına göre iplik çeşitleri: Fantezi, katlı, krep, özel yapılı iplikler.

4.Kullanım yerine göre iplik çeşitleri: Dokuma, örme, dikiş, dantel iplikleri vb.

olarak ayrılır.

2.2.3 Kumaş Üretimi

Teknik olarak kumaş; kalınlığına oranla çok büyük yüzey alanı bulunan ve bir arada tutunmalarına yetecek miktarda mekanik gücü olan işlenmiş elyaf ve/veya iplik topluluğu olarak tanımlanmaktadır. Kumaşlar yüzeysel olarak şekillendirilmiş tekstillerdir. Kumaşlar aşağıda belirtildiği üzere esas olarak üçe ayrılmaktadır [4].

1.Dokuma Yüzeyler: Denim, gabardin, poplin, kanvas, ribs, panama, alpaka, şambri, kadife, kord, balıksırtı, satin, saten, etamin, pike, divitin, pazen, flanel, bürümcek, viskon, floş, jakar, strayhgarn vb.

2.Örme Yüzeyler: Denim, gabardin, poplin, kanvas, ribs, panama, alpaka, şambri, kadife, kord, balıksırtı, satin, saten, etamin, pike, divitin, pazen, flanel, bürümcek, viskon, floş, jakar, strayhgarn vb.

3.Non-woven Yüzeyler: Keçe

2.2.4 Terbiye İşlemleri

Tekstil endüstrisinde en önemli kısım terbiye işlemleridir. Dokuma veya örmeden gelen kumaşın ya da iplik halindeki tekstil materyalinin, görünüm ve kullanım özelliklerini değiştirmek, geliştirmek için yapılan işlemlerin tümüne terbiye denir. Terbiye işlemleri genellikle kimyasal işlemlerle birebir ilişkili olsa da şardonlama ve kalandırlama gibi mekanik etkilerle çeşitli efektlerin kazandırıldığı birçok terbiye işlemi de mevcuttur [8].

Terbiyeleme işlemi renklendirme öncesi materyalin hazırlık işlemleri, renklendirme ve bitim olarak üç aşamadan oluşur ve tekstil ürününün temel oluşum aşamalarını içermektedir. Kasar (ön terbiye), boyama, baskı ve apre (bitim işlemi) işlemleri de terbiyeleme kademeleridir. Bu kademelerin içerikleri aşağıda özetlenmiştir.

Kasar (ön terbiye): Pamuk lifleri içerisinde yağ, mum, pektin protein gibi istenmeyen yabancı maddeler bulunmaktadır. Bu maddeler pamuğun yapısını bozduğu için uzaklaştırılması gerekmektedir. Materyalin görünümünü güzelleştirmek ve hidrofob maddeleri uzaklaştırmak için yapılan işlemlerin tümüne birden ön terbiye işlemi denir. [6].

Boyama: Elyaf çekme çözeltisinde boyama, elyaf halinde boyama, tops boyama, iplik halinde boyama, kumaş boyama, hazır giysi boyama.

Baskı: Direkt baskı, ronjan baskı, rezerve baskı ve özel baskı.

Apri (bitim işlemi): Kimyasal ya da yaş terbiye, mekanik ya da kuru terbiye şeklinde çeşitlilik gösterir.

2.3 Pamuklu Tekstil Endüstrisi Üretim Prosesleri ve İşlemleri

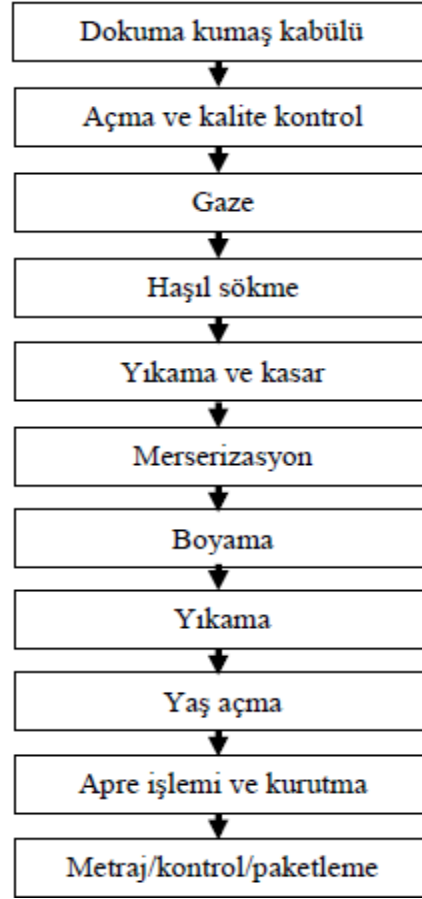
Pamuk eski ve önemli bir elyaf cinsidir. Pamuklu tekstil ürünlerine uygulanan ön terbiye işlemleri; yakma, liflerin haşıllanması, bazik işlemler, haşıl sökme işlemi, ağartma, yıkama işlemleri, merserizasyon, boyama ve bitirme olarak sıralanabilir. Bu işlemler, amaçları ve işlemler sırasında oluşan atıklar aşağıda verilmektedir [5], [7]. Pamuklu tekstil endüstrisi üretimine ait iş akım şeması Şekil 2.1’ de görülmektedir.

2.3.1 Gaze İşlemi

Gaze işlemi kumaş üzerindeki elyaf havlarını açık alev üzerinden geçirerek yakılması işlemidir. Gaze işleminden sonraki basamak; haşıl sökme işlemidir [8].

2.3.2 Haşılama

Haşılama işlemi, ipliği sertleştirmek ve dokunmasını kolaylaştırmak için kullanılan ancak ipliğin boya tutmasını önleyen haşıl maddelerinin iplik yüzeyinden enzim ve su kullanılarak ayrılmasıdır. İnce kumaşların dokunması esnasında çok ince iplik kullanılır. Fakat bu incelikteki iplik, dokuma sırasında maruz kalacağı gerilimlerin etkisiyle kopar. Bu tür durumlarda, nişasta ve dekstrin gibi maddeler kullanılarak kumaş geçici olarak sağlamlaştırılır [5], [6], [9].



Şekil 2.1 Pamuklu tekstil endüstrisi iş akım şeması [8]

Haşıl maddeleri; makromoleküllü, hidrofobik, film oluşturabilen ve liflere belli bir yapışma, tutunma yeteneğine sahip doğal veya yapay kökenli maddelerdir. Haşıl maddesi olarak kullanılan polivinil alkol, deterjan/su çözeltisi ile giderilebilir. Bu işlem ile askıda katı madde, yağ ve gres içeren atıklar suya karışır. Oluşan bu atıklar, proseste meydana gelen katı atığın yarısını oluşturur. KOİ'nin büyük bir çoğunluğu da polivinil alkolden kaynaklanmaktadır [5].

2.3.3 Yakma ve Haşıl Giderme

Yakma işleminde amaç, kumaşı oluşturan ipliklerden çıkan lif uçlarını (hav tüycüklerini) uzaklaştırmaktır. Boyama ve apreleme proseslerine kumaşı hazırlamak için, haşıllama operasyonundan gelen haşıl maddelerinin giderilmesi gerekmektedir. Bu işlem, tekstil atıksularında toplam kirlilik yükünün yaklaşık %50'sini oluşturmaktadır. [5], [9], [10], [11].

Haşıl giderme ise haşıllama işleminden sonra yapılır ve amaç kumaşa boyama ağartma işlemlerinin kolayca yapılmasıdır. Bu aşamada kullanılan maddelerin çoğu suda

özünmediklerinden ve hidroforik olduklarından atıksuyun karakterini belirlemede en önemli ve belirleyici aşamadır [12].

2.3.4 Bazık işlemler

Pamuk lifleri, yağ, mum, pektin, hemiselüloz gibi bazı yabancı maddeler içermektedir. Bu maddelerin bir kısmı hidroforiktir ve dolayısıyla yağ terbiye işlemleri sırasında liflerin düzgün ıslanmasını güçleştirmektedir. Pamuklu liflerin içerisindeki ve üzerindeki bütün bu yabancı maddelerin uzaklaştırılması, ham pamuklu mamulleri, baz çözeltileriyle muamele ederek sağlanmaktadır. Bu şekilde pamuk lifleri hidrofilikleştirilmekte ve ham bez kısmen beyazlaşmaktadır [6], [12].

2.3.5 Ağartma

Ağartma işleminin amacı pamuğun ve diğer liflerin sarı renginin giderilmesi, sarımtırak rengin açılması ve elyafın beyazlatılmasıdır [6], [8]. Haşıl sökme ve yıkama ile giderilemeyen renk verici maddeleri gidermek için ağartma prosesi uygulanır. Doğal renklendiricileri gidermek için bu aşamada hidrojen peroksit, sodyum hipoklorit, sodyum klorür ve SO₂ gazı gibi maddeler kullanılmaktadır [12].

2.3.6 Mersefizasyon

Mersefizasyonda temel amaç liflere parlaklık kazandırmaktır. Mersefizasyon işleminde liflerin yüzeyindeki pürüzlülüklerin azaltılmasıyla liflerin ışığı yansıtabilirliğinin artırılması ve bunun sonucu olarak da iplik veya kumaşın daha parlak bir görünüşe sahip olmasıdır [12], [13].

2.3.7 Boyama

Boyama elyaf hammaddesine, iplik ve kumaşa renk verme işlemidir. Kumaş üzerindeki renkli şekiller genellikle baskıdır. Boyama işlemi birçok yolla ve yeni boyalar, yardımcı kimyasallar eklenerek renklilik ve çok miktarda atık oluşturmaktadır Bu atıksularda, çözünmüş madde miktarı ve KOİ yüksektir [5], [9], [10], [11].

2.3.8 Apre-ikmal

Bu işlemde amaç tekstil numunelerine; su geçirmezlik, buruşmazlık, ateşe dayanıklılık, metal kaplama, saydamlık, çekmezlik vb. özellikleri kazandırmaktır. İşlem esnasında, nişasta, sentetik reçineler, amonyum klorür, çinko klorür, yumuşatıcılar ve ısıtıcılar gibi maddeler kullanılmaktadır [6], [12].

2.3.9 Bitirme İşlemleri

Bitirme, tekstil ürünlerinin kullanım amacına göre istenilen özelliği kazandırmak için yapılan işlemlerdir. Tekstil ürünlerinin tutum, görünüş ve kullanım özelliklerini geliştirmek için yapılan son basamak sayılabilir. Pamuklu liflere uygulanan bitirme işlemleri kimyasal ve mekanik bitirme işlemleri olarak çok çeşitlilik gösterir. Bunlar arasında; tutum apresi (sertlik, uyuşmazlık kazandıran vb.), su itici (hidrofobik) karakter kazandıran bitirme işlemleri, buruşmazlık bitirme işlemleri, çekmezlik bitirme işlemleri sayılabilir. Su geçirmezlik, alev almazlık, buruşmazlık ve benzeri bitirme işlemlerinden gelen atıklar hacim olarak düşük miktarlardadır. Uygulanan kimyasal maddeler; ıslatma, işleme alma ve kurutma gibi sebeplerle düşük miktarlarda atık oluşturmaktadır [5], [9], [10], [11].

2.4 Tekstil Endüstrisi Kirletici Kaynakları, Miktar ve Özellikleri

Tekstil endüstrisinde, proseslerden ve yardımcı birimlerden kaynaklanan katı atıklar, koku, gaz atıklar ve sıvı atıklar kirletici olarak oluşmaktadır. Bu kirleticiler içerisinde özellikle sıvı atıklar ve bunların bertarafı günümüzde de önem arz etmektedir ve konu hakkında çok sayıda araştırma yapılmaktadır. Katı atıklar, baca gazı emisyonu ve koku probleminin de dikkate alınması gerekmektedir.

2.4.1 Tekstil Endüstrisi Katı Atıkları

Tekstil fabrikalarından kaynaklanan katı atıklar, evsel ve tehlikeli atıklar olarak sınıflandırılabilir. Evsel atıklar içerisinde; proses aşamasında oluşan hatalı ürünler, tekstil atıklarından oluşan katı atıklar ve giysi üretimi sonucu paketleme atıkları bulunmaktadır. Üretimden gelen kimyasal katı atıkları ise geri dönüşümü olmayanlar ve olanlar olarak ikiye ayırmak mümkündür. Bu katı atıklardan geri dönüşümlü olmayanlar; pamuklar, sentetik ve diğer elyaf ve kumaşlar, geri dönüşümlü olanlar ise; hurda ıskarta parça zımpara ve şardon elyaf, deneme amacı ile boyanmış bez parçaları, kağıt ve diğer laboratuvar malzemeleridir [4].

Kimyasal madde ve boya kapları, pil, atık yağ, arıtma çamuru, akümülatör, plastikler gibi yan ürünler ise tehlikeli katı atıkları oluşturmaktadır. İplik, kumaş vb. parçalardan oluşan endüstriyel katı atıkların aynı işletmede yeniden kullanımı mümkün olmaz iken başka bir işletmenin üretiminde ham madde olarak kullanılabilir. Bu tür uygulamalar, işletmelerdeki koşullara bağlı olarak değişebilmektedir. Bu uygulamalarda bahsi geçen tekrar kullanılamayan katı atıklar ise, çalışma koşulları, sipariş miktarları, kalite denetimlerinin sıklığı vb. koşullara bağlı olarak oluşabilmektedir [14].

2.4.2 Tekstil Endüstrisi Koku Problemi

Tekstil endüstrisinde koku problemi ürünlerin kasar, boyama ve baskı işlemlerinden ve atıksu arıtma tesisinden kaynaklanabilmektedir. Proseste, klor ve kükürt gibi kimyasalların kullanımı da kokunun artmasına neden olmaktadır [4].

2.4.3 Tekstil Sektörü Gaz Atıkları

Tekstil sektöründeki hava kirletici kaynakları genel olarak noktasal ve iç ortam diye ikiye ayrılmaktadır. Noktasal kaynaklar; bacalar, aspiratörler, yan ve fenerlik pencereleri olarak sıralanabilir. İç ortam kaynaklarını çoğunlukla solventle makine temizleme işlemleri, atık su arıtma tesisleri, boya mutfağı ve dökülmeler oluşturmaktadır. Makinelerden iç ortama yayılan buharlaşmalar ve kaçaklar da iç ortam havasını olumsuz yönde etkileyen kirletici kaynaklarıdır [14].

Tekstil sektöründe yakıt olarak çoğunlukla LPG ve fuel-oil kullanılmaktadır. Tekstil sanayi baca gazı emisyonlarında CO, SO₂, NO_x, ısılık, aldehytler ve tozlar gibi kirleticiler bulunmaktadır. SO₂ gazı filtre sistemi ile gaz fazından sıvı faza geçirilerek emisyonlardan uzaklaştırılmaktadır. Filtre işlemi esnasında yüksek ısılık ortaya çıkmaktadır ve bunu önlemek amacıyla bu gazlar kum tutucudan geçirilerek atmosfere verilmektedir. Diğer hava kirletici unsurlar ise yağ ve asit buharı, koku ve kaynama prosesi kaynaklı gazlardır. Ayrıca, apre ve terbiye işlemleri, kurutma prosesleri ve çözücülerin kullanım uçucu organik madde emisyonlarının oluşmasına neden olmaktadır [4].

2.4.4 Tekstil Endüstrisi Sıvı Atıkları

Bu proje kapsamında tekstil endüstrisinden kaynaklanan atıksuların bertarafı ve bertaraf sonrası oluşan konsantre atıktan da faydalanılması hedeflendiğinden sıvı atıklar diğer atıklara göre daha detaylı olarak incelenmiştir.

2.4.4.1 Tekstil Sektöründe Su Kullanımı

Tekstil endüstrisi su kullanımının yüksek olduğu sektörlerdendir. Tekstil sektöründe yüksek miktarda su tüketilmesinin yanı sıra boyama, yıkama ve ağartma gibi işlemler için de yüksek kalitede suya ihtiyaç duyulmaktadır [15], [16]. Tekstil endüstrisinde yaklaşık olarak 1 kg ürün için 200-500 L civarında su harcanmaktadır [15].

Yeterli tatlı su kaynaklarına ulaşmak her geçen gün daha da zor olmaktadır. Bu sebeple, canlıların ve endüstrilerin su ihtiyacını karşılamak için suyun geri kazanımı giderek önemli hale gelmektedir. Tekstil endüstrisinde her bir proseste su kullanım miktarları Çizelge 2.1’de görülmektedir.

Çizelge 2.1’ de görüldüğü üzere merserizasyon, ağartma ve boyama proseslerinde su tüketimi işlenen hammaddeye bağlı olarak birkaç yüz litreye kadar olmaktadır. Haşılama ve baskı proseslerinde ise su tüketiminin daha az olduğu görülmektedir.

Çizelge 2.1 Tekstil endüstrisindeki çeşitli ön işlemlerde kullanılan su miktarları [17]

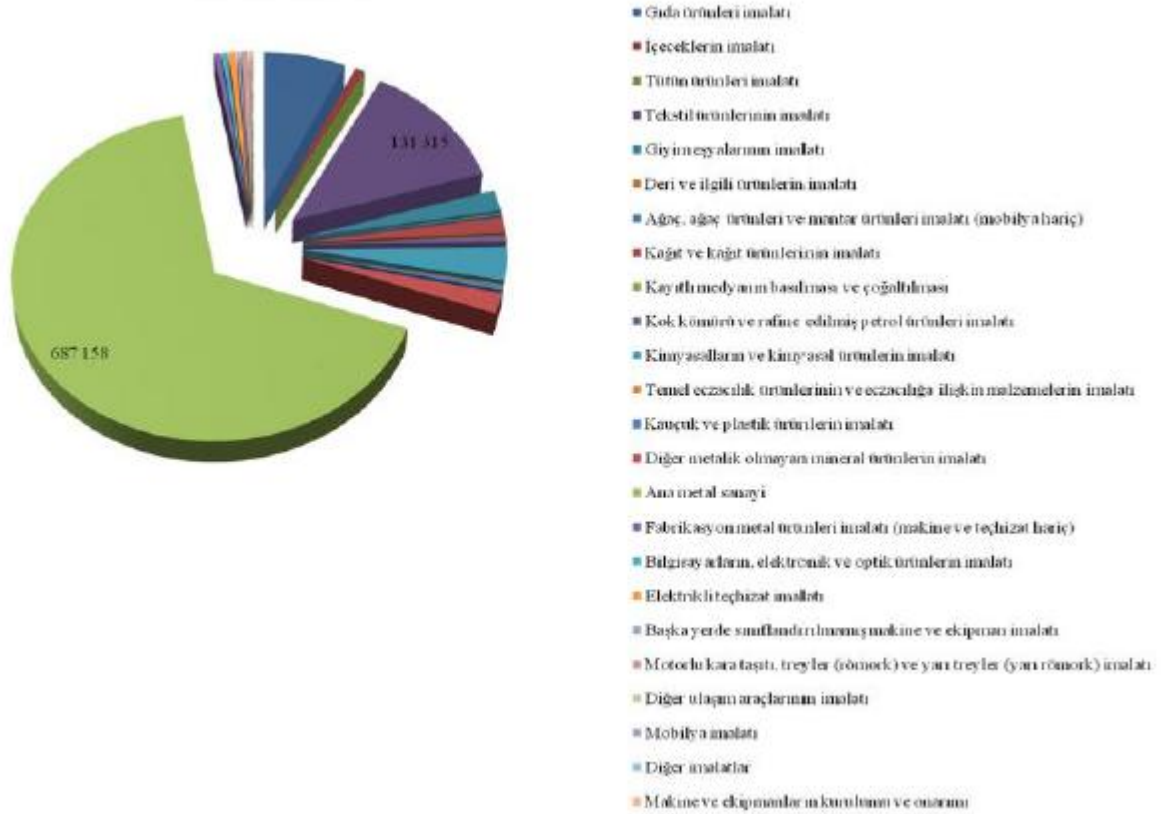
Proses	Su Kullanımı (m ³ /ton ürün)
Haşılama	0,5-8
Haşıl Sökme	2,5-20
Yıkama (Pişirme)	23-42
Merserizasyon	17-300
Ağartma	2,5-125
Hidrojen Peroksit (dokunmuş mamul)	17
Sodyum Hipoklorit (dokunmuş mamul)	80

Çizelge 2.1 Tekstil endüstrisindeki çeşitli ön işlemlerde kullanılan su miktarları [17] (devamı)

Boyama	17
Direkt (dokunmuş mamul)	40-250
Direkt (örgü mamul)	250
İnkişaf (dokunmuş mamul)	40
İnkişaf (örgü mamul)	250
Küp (dokunmuş mamul)	40
Küp (örgü mamul)	250
Kükürtlü (dokunmuş mamul)	40
Kükürtlü (örgü mamul)	250
Naftol (örgü mamul)	40
Naftol (örgü mamul)	250
Reaktif (dokunmuş mamul)	40
Reaktif (örgü mamul)	250
Baskı	1,25-30
Pigment (dokunmuş mamul)	12,5
Pigment (örgü mamul)	12,5
Küp boya (dokunmuş mamul)	30
Küp boya (örgü mamul)	30
Apre-İkmal	12,5

2.4.4.2 Tekstil Endüstrisi Atıksularının Özellikleri

2008 yılında endüstrilerin su kullanım miktarları TÜİK tarafından yayınlanmıştır. Bu veriler Şekil 2.2' de görülmektedir. Şekil 2.2' de görüldüğü üzere ana metal sanayinden sonra en fazla su tüketiminin olduğu sanayi kolu tekstildir. Ana metal sanayide soğutma amaçlı kullanılan sulardan atıksu oluşmaktadır. Ana metal sanayinde proseste su kullanım miktarı oldukça azdır. Buna mukabil tekstil sektöründe ise hemen hemen her proseste su kullanımı söz konusudur. Proseslerde kullanılan suyun önemli bir kısmı atıksuyu oluşturmaktadır.



Şekil 2.2 Türkiye’de sanayi gruplarına göre deşarj edilen atıksu miktarları [18].

Tekstil endüstrisinde atıksu en çok oluşan atık türüdür [10]. Bu endüstri dalında birçok farklı türde ürün üretilebilmektedir. Üretilen ürün çeşitliliğinin fazla olması sebebiyle, üretimde kullanılan prosesler ve bu proseslerden kaynaklanan atıksuların özellikleri de birbirinden farklı olmaktadır. Bunun yanı sıra, tekstil atıksuyu coğrafi şartlara, kültürel özelliklere, günün modasına göre de büyük oranda çeşitlilik göstermektedir [19].

Farklı özelliklere sahip atıksuların ayrı ayrı karakterizasyonunu tespit etmek oldukça zordur. Bu sebeple tekstil atıksularının karakterizasyonunda kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ), renk, bulanıklık ve toplam askıda katı madde (AKM) gibi konvansiyonel kirletici parametreler genellikle analiz edilmektedir [20].

Tekstil endüstrisi atıksularının büyük bir kısmını, hazırlama ve boyama işlemlerinde kullanılan yıkama atıksuları, yüksek miktarlarda asit, baz ve tuz içeren boyama atıksuları oluşturmaktadır. Hazırlama işlemlerini kapsayan ön işlemler sırasında oluşan atıksuların özellikleri Çizelge 2.2’de görülmektedir [17].

Boyama işlemlerinden kaynaklanan atıksular, sektör atıksularının önemli bir kısmını oluşturmaktadır [10]. Kullanılan boya maddesinin çeşidine bağlı olarak birçok organik kompleks kirletici de atıksuda bulunabilmektedir. Bu kompleks yapıdaki kirleticilerin, biyolojik parçalanabilirlikleri oldukça güç olduğundan, tekstil atıksuları KOİ bazında yüksek miktarda organik kirlilik ve renk içermektedir. [1], [21], [22].

Çizelge 2.2 Tekstil sektöründe ön işlemler sırasında oluşan kirletici parametreler [17]

İşlem	pH	BOİ ₅ (mg /L)	KOİ (mg/L)	Askıda Katı Madde (mg/L)	Yağ ve Gres (mg/L)
Haşılama	7-9,5	600-2000	1100-3000	-	100-400
Haşıl Sökme	4- 8	1600- 3800	2100-6200	400-6000	100-400
Yıkama	12	600-900	1200-1500	150-250	600-900
Merserizasyon	9 - 12	100-250	150-300	300-400	400-60
Kasarlama	10-12,5	650-2700	1000-3500	400-700	-
Boyama	6,5 – 12	80-500	200-700	50-100	-
Baskı	6 - 11	100-600	500-800	40-85	-
Birleşik Atıksu	10 - 12	400-1100	1000-2000	400-600	100-300

Azo boyaları başta olmak üzere renk oluşturan maddeler kuvvetli bağlarla birbirine bağlandığı için bu maddelerin klasik yöntemlerle bertarafı oldukça zordur [16], [23]. Renk parametresi sadece estetik açıdan sorun oluşturmamakta ve aynı zamanda deşarj edilen ortamın geçirgenliğini ve gaz transferini azaltarak su kalitesini olumsuz yönde etkileyerek fotosentezi engelmektedir [23], [24].

2.4.4.3 Pamuklu Tekstil Atıksularının Özellikleri

Pamuklu tekstil atıksuları yüksek alkali özelliğe sahip, boya kaynaklı yüksek oranda renk içeren ve arıtılması oldukça zor olan atıksulardır. Bu atıksuların sahip olduğu en önemli kirlilik parametreleri yüksek organik madde, pH ve deterjan'dır. Bu parametrelere ilaveten yağ-gres ve sülfür içeriğinin de yüksek olması muhtemeldir.

Atıksulardaki kirliliğin temel kaynağı liflerde mevcut olan doğal safsızlıklar ile proseslerde kullanılan kimyasal maddelerdir. Atıksu kaynakları bazında önemli kirleticiler Çizelge 2.3’ de [5], [9] ve kaynakların su ihtiyacı ile kirletme yüzdeleri de Çizelge 2.4’ de [25] görülmektedir.

Çizelge 2.3 Pamuklu tekstil endüstrisinde ön işlemlerden kaynaklanan atıksu karakteristikleri

[5]

İşlem	Önemli Kirlilikler
Haşıl Sökme	Yüksek BOİ,yüksek toplam katı, nötr pH
Yıkama	Yüksek BOİ, yüksek alkali, yüksek toplam katı madde yüksek sıcaklık
Ağartma	Yüksek BOİ,yüksek toplam katı madde, alkali pH
Merserizasyon	Düşük katı madde, alkali pH
Boyama ve Baskı	Yüksek BOİ,Yüksek katılar,nötr-alkali pH

Çizelge 2.4 Pamuklu tekstil endüstrisinde oluşan su ihtiyacı ile kirletme yüzdeleri [25]

Proses	Su ihtiyacı (%)	BOİ₅ (%)	Kirletme (%)
Haşıl Sökme	5	33	<20
Hidrofilleşme	1	54	10-25
Ağartma	46	-	3
Merserizasyon	2	5	<4
Boyama	8	5	10-20
Baskı	7	6	10-20
Yıkama	30	1	5
Bitim	1	7	15

Pamuklu tekstil endüstrisi proseslerinde yaygın olan kirlilik parametrelerinin yüksek BOİ ve alkali pH olduğu Çizelge 2.3’ de görülmektedir. Merseziyasyon kademesinde organik kirliliğin önemli derecede etkili olmadığı anlaşılmaktadır.

Toplam su ihtiyacının % 76’sı ağartma (kasar) ve yıkama proseslerinden kaynaklandığı Çizelge 2.4’ de görülmektedir. Ağartma ve yıkama proseslerinde yüksek su ihtiyacı olmasına rağmen bu proseslerin kirlileme yüzdelerinin toplamı % 8’dir.

2.4.4.4 Deşarj Standartları

Tekstil sektörü atıksularının ortak özellikleri göz önüne alındığında, bu tip atıksuların herhangi bir işlem görmeden alıcı ortamlara deşarjının, doğal yaşam ve insani kullanım açısından oldukça tehlikeli olduğu açıkça görülmektedir. SKKY’de endüstriyel faaliyet gösteren tesislerden kaynaklanan atıksuların alıcı ortama deşarj standartları kompozit numune alma sürelerine göre belirtilmektedir. SKKY’de Tablo 10.3’ de “Pamuklu Tekstil ve Benzerleri” (Çizelge 2.5) için alıcı ortama deşarj standartları verilmiştir.

Çizelge 2.5. SKKY Tablo 10.3 “Pamuklu Tekstil ve Benzerleri” için alıcı ortama deşarj standartları [26]

PARAMETRE	Birim	Kompozit	Kompozit
		numune	numune
		2 saatlik	24 saatlik
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)	mg/L	250	200
Askıda katı madde (AKM)	mg/L	160	120
Amonyum azotu (NH ₄ -N)	mg/L	5	-
Serbest klor	mg/L	0.3	-
Toplam krom	mg/L	2	1
Sülfür (S ⁻²)	mg/L	0.1	-
Sülfid	mg/L	1	-
Yağ ve gres	mg/L	10	-
Balık biyodenyi (ZSF)	-	4	3
pH	-	6-9	6-9
Renk	Pt-Co	280	260

2.4.4.5 Tekstil Sektöründe Suyun Yeniden Kullanımı

Dünyadaki su kaynaklarının giderek azalması sebebiyle tekstil sektörü gibi fazla su tüketimi yapan birçok endüstri dalı, üretim sırasında oluşan atıksuyun tekrar kullanımı için çalışmalar gerçekleştirmektedir [27], [28], [29]. Kullanılabilir temiz su kaynakları gün geçtikçe azaldığından tekstil firmaları da sık sık su kaynağı sıkıntısı ile karşılaşmaktadır [30]. Tekstil endüstrisinde yüksek oranda su kullanıldığı için oluşan atıksuyun arıtılarak yeniden kullanımı büyük önem taşımaktadır [15], [27], [28], [31], [32].

Oluşan atıksuların proseslerde tekrar kullanımı için kirleticilerin belirli oranda giderilmesi gerekmektedir. Tekrar kullanılacak suyun ürün kalitesine olumsuz etkisi olmamalıdır. İngiliz tekstil teknolojisinin üretim sırasında oluşan atıksuların tekrar kullanımı için belirlediği kriterler Çizelge 2.6’ da görülmektedir [33].

Çizelge 2.6 İngiliz Tekstil Teknoloji Grup tekstil atıksuyu için tekrar kullanım kriterleri [33]

Parametre	Birim	Tekrar kullanım kriteri
KOI	mg/L	80
Toplam Askıda Katı Madde (TAKM)	mg/L	56
Toplam Çözünmüş Katı Madde (TÇKM)	mg/L	500
Sertlik	mg CaCO ₃ /L	60
İletkenlik	µS/cm	1000
Renk	Pt-Con	20
pH		6-8
Bulanıklık	NTU	1

Çizelge 2.6 ’ya göre tekstil atıksuyunun tekrar kullanım için düşük KOİ, sertlik, renk ve iletkenlik değerlerinin sağlanması gerekmektedir. Ayrıca, pH değerinin de nötr civarında ve bulanıklığında 1 NTU ve daha düşük değerlerde olmalıdır. Bu kriterlerin sağlanması için konvansiyonel arıtma tesisleri genellikle yeterli olmamaktadır. Konvansiyonel sistemlerle

arıtımı zor olan tekstil atıksularının arıtılabilirliği ve tekrar kullanılabilirliği için membran prosesler gibi ileri arıtım yöntemlerinin uygulamaları son 10 yılda giderek yaygınlaşmaktadır. Ayrıca, tekstil atıksularının içerdikleri kirleticilerin çevre ve canlı yaşamına olumsuz etkileri belirlendikçe deşarj standartları sıkılaşmakta ve ileri arıtma proseslerinin kullanımı kaçınılmaz hale gelmektedir [27], [34].

2.5 Tekstil Endüstrisi Atıksularının Arıtılma Alternatifleri

Kirliliği azaltmanın en iyi yolu, kirliliğe kaynağında engel olmaktır. Ekonomik gücü olan ve gelişmiş büyük firmalarda, mevcut üretim proseslerini daha az atık üreten proseslerle değiştirmekte, daha az atık üreten yöntem tekniklerini uygulamakta ve çıkan atıkların yeniden kullanılması sağlanmaktadır.

Tekstil endüstrisi atıksularının arıtılmasında, ızgaralar, dengeleme tankları, çöktürme, kimyasal arıtım prosesleri, biyolojik arıtma, adsorpsiyon, filtrasyon vb. prosesler kullanılmasına rağmen, deşarj standartlarının sağlanması için farklı karakteristiklerdeki atıksular için farklı kombinasyonlarda arıtma prosesleri uygulanması gerekmektedir [14].

Konvansiyonel arıtma prosesleri endüstriyel atıksuların arıtılmasında genellikle kanala veya alıcı ortama deşarj standartlarını sağlayabilmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu proseslerle geri kazanım ve yeniden kullanım kriterlerini sağlayacak kalitede su üretmek oldukça zordur. Endüstriyel tesisler ihtiyaçları olan tatlı su kaynaklarını bulmakta gün geçtikçe daha fazla zorlanmaktadır. Gerek ihtiyaç olunan suyun temini ve gerekse çevreye verilen zararın minimuma indirgenmesi amacıyla geri kazanım ve yeniden kullanımın sağlanabileceği ileri arıtma tekniklerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu proje kapsamında, tekstil atıksuları ileri arıtma prosesi olan membran proseslerle arıtılabilirliği ve arıtım sonrası oluşan atıktan faydalanılabilirliği araştırılacaktır. Bu kapsamda, ön arıtma amacıyla ultrafiltrasyon membranı ve nihai arıtma amacıyla nanofiltrasyon membranı kullanılacaktır. Membrandan geçen süzüntünün tekrar kullanım için uygunluğu irdelenecektir. Membrandan geçmeyen ve konsantre olan atıklardan anaerobik fermentörlerde metan gibi enerjiye dönüştürülebilecek faydalı ürünün üretilebilirliği ve ozonlamanın bu atıklardan üretilen metan miktarına etkisi araştırılacaktır. Bu kapsama uygun olarak tekstil sanayi atıksularının membran proseslerle (ultrafiltrasyon ve nanofiltrasyon) ve anaerobik olarak arıtılabilirliği, ozonlamanın bu atıksuların arıtma

verimine etkisi ve membran konsantrelerinin arıtılabilirliği konularında derlenen literatür bilgileri aşağıda özetlenmiştir.

2.5.1 Membran Teknolojileri ile Tekstil Endüstrisi Atıksuyu Arıtımı

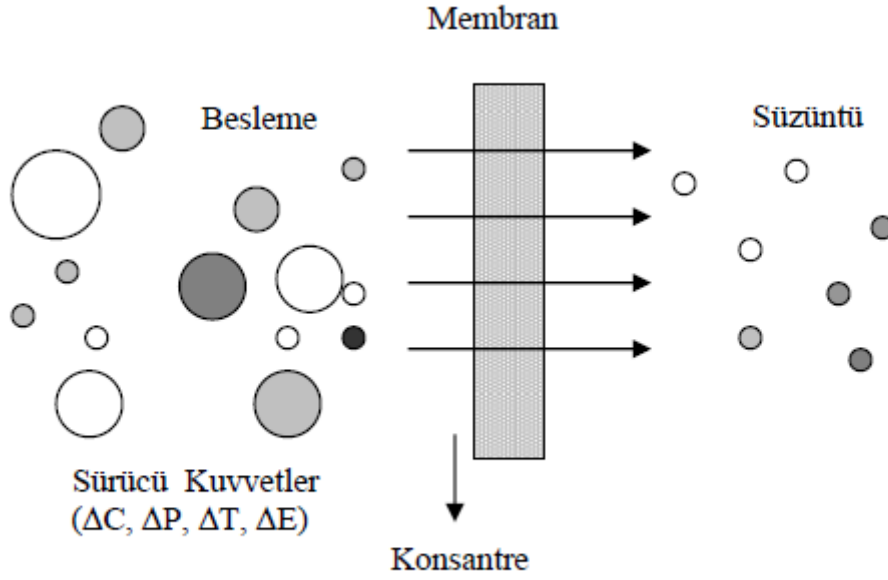
Karışımları ve safsızlıkları ayırmada kullanılan konvansiyonel yöntemler yüksek miktarlarda enerji tüketimi gerektirdiğinden minimum düzeyde enerji tüketimini ile bu işlemlerin gerçekleşmesini sağlayan yeni teknolojilerin geliştirilmesi konusunda araştırmalar yapılmakta ve bu araştırmalar devam etmektedir. Son yıllarda uygulamasının kolay olması ve daha düşük enerji tüketimi ile işletilen modüllerin geliştirilmesi ile membran prosesler gelecek açısından ümit verici arıtma prosesleri olarak görülmektedir [14].

Membran prosesler, önceleri sadece deniz ve kuyu suyu arıtım maksatlı kullanılıyor iken endüstrinin gelişmesine paralel farklı alanlarda kullanılmaya başlanmıştır. Kullanım alanına ve amacına uygun olarak yüksek akılı, yüksek sıcaklık ve kimyasallara dayanıklı ve geniş pH aralıklarında işletilebilen membranlar geliştirilmiş ve geliştirilmektedir. İlk zamanlar pahalı olan membran teknolojisi, yeni gelişmelerle diğer fiziksel ayırma yöntemleri ile (adsorpsiyon, solvent ayırımı, distilasyon, kristalizasyon, gaz ayırımı, vb.) mukayese edilebilir hale gelmiştir [35].

Enerji tüketiminin düşük olması, ek kimyasal kullanımını gerektirmemesi, kullanılan ekipmanların basitliği ve işletim kolaylığı membran proseslerin önemli avantajlarından. Gelişen teknoloji ile kullanım alanı giderek artan membran teknolojisi, özellikle endüstriyel atıksu arıtımı, geri kazanımı ve yeniden kullanımı konusundaki ileri arıtmanın en önemli alternatiflerindendir [36]. Son yıllarda, membran teknolojileri endüstrilerde atıksuyun proses içinde tekrar kullanımını sağlamak için en etkili ve verimli yöntemlerin başında gelmektedir [29].

Genel olarak membran; iki fazı veya ortamı birbirinden ayıran ve bir tarafından diğer tarafa maddelerin seçici bir şekilde taşınmasını sağlayan ince ve geçirgen bir tabaka olarak ifade edilmektedir. Şekil 2.3' de görüldüğü üzere membran proseslerde üç akım söz konusudur. Bunlar; besleme, süzüntü ve konsantre akımlarıdır. Besleme fazından verilen ham suyun/atıksuyun bir kısmı membran geçerek süzüntü ve membrandan geçmeyen kısmı ise konsantre akımını oluşturmaktadır [5], [35].

Konsantrasyon farkı, basınç farkı, sıcaklık farkı ve elektriksel potansiyel gibi itici güçlerle membran seçici bir ayırma işlemi gerçekleştirmektedir. Membran proseslerin itici güçlerine ve ayırma mekanizmalarına bağlı genel karakteristikleri Çizelge 2.7’ de görülmektedir.



Şekil 2.3 Membran akımının şeması [35]

Çizelge 2.7 Membran proseslerinin genel karakteristikleri [37]

Membran Prosesleri	Membran İtici Güç	Tipik Ayırma Mekanizması	Çalışma Yapısı (Gözenek Boyutu)	Tipik Çalışma Aralığı, μm	Konsantre Tanımı	Tipik olarak Giderilebilen Bileşenler
Mikrofiltrasyon	Hidrostatik basınç farkı/ membran kılıflarındaki vakum	Elek	Makro gözenek ($>50\text{ nm}$)	0,08-2,0	Su+çözünmüş madde	AKM, Bulanıklık, <i>Protozoan Oocysts</i> , Bazı Bakteriler ve Virüsler
Ultrafiltrasyon	Hidrostatik basınç farkı	Elek	Mezo gözenek (2-50 nm)	0,005-0,2	Su+küçük moleküller	Makromoleküller, Kolloidler, Bakterilerin büyük bir kısmı, Bazı Virüsler, Proteinler
Nanofiltrasyon	Hidrostatik basınç farkı	Elek+Çözünme/Difüzyon+Redetme	Mikro gözenek ($<2\text{ nm}$)	0,001-0,01	Su+çok küçük moleküller, iyonik çözeltiler	Küçük moleküller, Sertliğin bir kısmı, Virüsler
Ters Osmoz	Hidrostatik basınç farkı	Çözünme/Difüzyon+Redetme	Sık gözenekli ($<2\text{ nm}$)	0,0001-0,001	Su+Çok küçük moleküller, iyonik çözeltiler	Çok küçük moleküller, Renk, Sertlik, Sülfatlar, Nitrat, Sodyum, Diğer İyonlar
Dializ	Konsantrasyon farkı	Difüzyon	Mezo gözenek (2-50 nm)	-	Su+Küçük Moleküller	Makromoleküller, Kolloidler, Bakterilerin büyük bir kısmı, Bazı Virüsler, Proteinler
Elektrodializ	Elektromotif güç	Seçici membranlar ile iyon değiştirme	Mikro gözenek ($<2\text{ nm}$)	-	Su+İyonik Çözeltiler	İyonize olmuş tuz iyonları

Membran prosesler, tekstil endüstrisinde arıtma tesisine giden atıksuyun yükünün azaltılması ve bazı kimyasal maddelerin geri kazanılması sebebiyle ekonomik bir işletme çözümü oluşturmaktadır. Membran ile arıtım sayesinde kumaş boyası uzaklaştırılarak, kimyasal maddelerin yeniden kullanımını ve temiz su elde edilmesi sağlanabilir. Membran filtrasyonu yöntemi ile boyanın atıksu akımından ayrılması mümkün olmaktadır.

Özellikle gelişen teknoloji ile birlikte membran prosesler, tekstil atıksuyu için klasik yöntemlere oranla daha çok tercih edilmektedir. Bunun en önemli sebeplerinden biri, tekstil atıksuyunda yüksek oranda bulunan ve kuvvetli bağlarla bağlı olan reaktif boyaların aktif çamur gibi klasik arıtma yöntemleriyle çok zayıf oranda arıtılması ve istenilen tekrar kullanım ve deşarj limitlerinin sağlanamamasıdır [2].

Tekstil atıksuyunun ileri arıtımı için membran prosesler ve özellikle nanofiltrasyon membranları iyi bilinen ve etkili bir yöntemdir [30], [32], [38]. Yapılan çalışmalarda, nanofiltrasyon membran çıkışı suyunun tekrar kullanılabilir özeliğe olduğu görülmüştür [30]. Yüksek renk ve KOİ içerikli bir tekstil atıksuyu ile yapılan bir çalışmada, UF+RO ve MF+NF membranları birlikte işletilmiş ve her iki koşulda da atıksuyun % 60-70 oranında büyük bir kısmının tekrar kullanılabilir nitelikte olduğu görülmüştür [39].

Tekstil atıksuyunda membran kullanımında en önemli sorun atıksuda bulunan koloidal madde, tuz, doğal organik maddeler, çözünmüş mikrobiyal ürünler gibi kirleticilerin membran tıkanmasına sebep olmasıdır [15], [32], [40]. Bunu önlemek için de genelde membran prosesinden önce bir ön arıtım uygulanması tercih edilmektedir [40].

Ultrafiltrasyon membranı:

Ultrafiltrasyon membranı, basınç itici gücü ile suda/atıksuda bulunan makromoleküllerin ve askıda maddelerin membran tarafından alıkonulduğu ve çözünmüş maddelerin membrandan geçtiği membran türüdür [41]. UF membranı ile silikalar, kolloidler, katı maddeler, bakteriler, virüsler, algler, proteinler giderilebilirken, toplam organik karbon ve renk azaltılabilir. Ancak, bu esnada, ultrafiltrasyon membranı ile tuzlar, sertlik, şekerler, alkoller ve benzin giderilemez.

UF membranının gözenek çapı 0.05-1 nm arasında ve kalınlığı ise 50–250 µm arasında değişmektedir. Üst tabakada membran bulunmaktadır ve bu tabaka yüksek geçirgenlik ve seçiciliği olan bir alt tabaka ile desteklenmektedir. Esas filtrasyon olayı üst tabakada meydana gelmektedir. Alt tabaka sadece üst tabakaya mesnet oluşturmaktadır. UF membranları yüksek moleküler ağırlığa sahip çözünmüş maddeleri ve küçük partikülleri ayırmak için yaygın olarak kullanılmaktadır [12].

Ayrıca, UF membranları tıkanmayı azaltma amaçlı NF ve ters osmoz (RO)'dan önce ön arıtım maksatlı olarak da kullanılmaktadır [42], [43]. UF membranında genellikle 1 nm'den büyük

moleköl ve partikülleri tutulmaktadır [36]. Böylelikle UF membranları, hem ham atıksuda bulunan partiküler madde ve organik maddenin ön arıtımını yaparak NF membranının erken tıkanmasını önlemekte ve hemde pompa gibi ekipmanların zarar görmesini engellemektedir [29]. Özellikle tekstil atıksuyunda ön arıtım amaçlı olarak UF membranlar yaygın olarak kullanılmaktadır [2]. NF'dan önce UF membranının kullanılmasıyla NF membranının tıkanması minimize edilerek membran ömrü de uzatılmış olmaktadır [40].

Indigo boyalardan olan vat boyaların blue 4'ünün ve green 1'inin membran proseslerle arıtımı çalışılmış olup, ultrafiltrasyon ve nanofiltrasyonla % 90 mertebesinde KOİ ve renk gideriminin sağlanmış, mikrofiltrasyonla ise sırasıyla % 30 ve %70 civarında KOİ ve renk giderimleri elde edilmiştir [44].

Yapılan çalışmalardan da görüleceği üzere, ultrafiltrasyon prosesi tekstil endüstrisi atıksularının arıtımında ön arıtım olarak kullanıldığında iyi bir netice sağlayabilmektedir.

Nanofiltrasyon membranı:

Sıvılardaki iki ve daha yüksek değerlikli iyonları ayırmada nanofiltrasyon membranları kullanılmaktadır. Sıvılar ile içeriğinde bulunan tek değerlikli iyonların geçtiği ve yüksek moleküler ağırlıklı bileşenler ile çok değerlikli iyonların genellikle alıkonulduğu membran prodestir. NF membranı ile şekerler, iki değerlikli tuzlar, bakteriler ve boyalar giderilebilmektedir [14]. NF membranları, çapı 0,001 µm'den büyük olan moleküllerin gideriminde kullanılmaktadır [30].

Koloidal maddeler ve polimerler NF membranlarını tıkayabilirler. Bu sebeple, literatürde de çoğu kez ultrafiltrasyon ile ön arıtım yapılmasına müteakiben NF kullanımında daha olumlu işletme şartları oluşmuş ve daha fazla giderim sağlanmıştır. Nanofiltrasyon modüllerde, genellikle TFC (kompozit ince film) membranlar kullanılmaktadır. Ayrıca, nanofiltrasyon modülleri, konfigürasyon olarak spiral sargı biçiminde üretilmektedir. Üretici firmalar tarafından tavsiye edilen çalışma aralıkları değişmekte olup, genel olarak işletme esnasında olması gereken pH aralığı 2-11 arasında değişmektedir [14]. Çizelge 2.8' de NF membranı ile RO membranının farklı iyonları giderme verimleri görülmektedir [5].

Çizelge 2.8 Farklı iyonları giderme verimleri [5]

Çözünen Madde	RO Giderim Verimi	NF Giderim Verimi
Bakteri ve Virüsler	> 99	>99
Mikro Boyutu 100'den büyük olan maddeler	>90	>50
Mikro Boyutu 100'den küçük olan maddeler	0-99	0-50
Tek değerlikli iyonlar	>98	<50
Çift değerlikli iyonlar	>99	>90

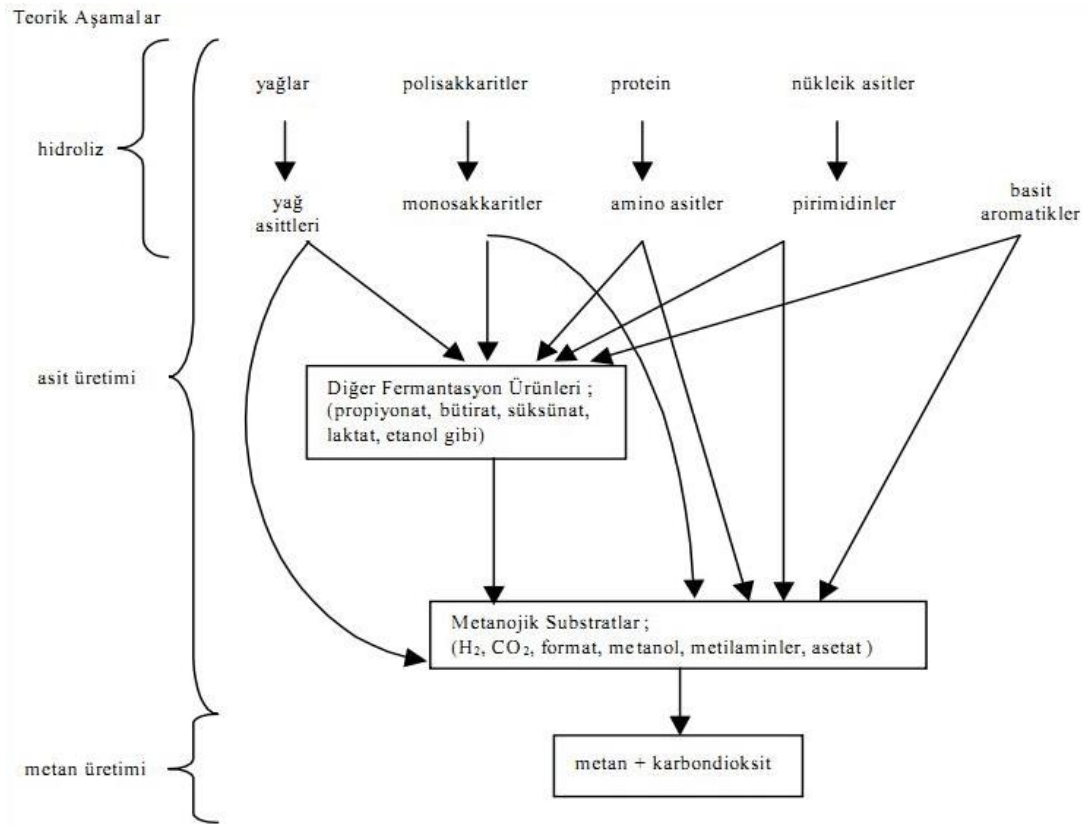
UF membranı ile arıtım sonrası tekstil atıksu genellikle tekrar kullanılabilir kalitede olmamaktadır. Bu sebeple, UF membranı sonrası NF membranı veya RO membranları kullanılmaktadır. NF veya RO membranlarıyla proseslerde tekrar kullanılabilir kalitede su üretmek mümkündür. Herhangi bir ön arıtma olmaksızın NF membranına tekstil atıksuyu uygulandığında membranın kısa sürede tıklandığı görülmüştür [15], [29]. Alcaina-Miranda ve diğ. [29] tarafından yapılan çalışmada UF+NF membranları ile tekstil atıksuyu arıtımı gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada KOİ, renk ve bulanık değerlerinin giderim veriminin yüksek olduğu ve süzüntünün kalitesinin tekrar kullanım kriterlerini sağladığı görülmüştür [29]. Benzer şekilde Tang ve Chen [2] tarafından yapılan çalışmada NF membranı ile tekstil atıksuyunun boya ve tuz giderim veriminin yüksek olduğu belirtilmiştir.

Aydiner ve diğ. [45] tekstil boyama atıksularının farklı kombinasyonlardaki membran proseslerde arıtılabilirliği araştırılmıştır. Tekstil atıksuyu ve içerdiği tuzun boya banyosunda yeniden kullanılabilirliği incelenmiştir. Çalışmada UF, NF ve RO prosesleri ile ayrı ayrı arıtım çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarda yeniden kullanım kriterlerine uygun biçimde renk giderimi ve yüksek miktarlarda tuz miktarı geri kazanımı sağlandığı görülmüşse rağmen, elde edilen KOİ gideriminin yeniden kullanım kriterlerini sağlayacak düzeyde olmadığı belirlenmiştir. Bununla birlikte UF+NF ve UF+RO kombinasyonları ile gerçekleştirilen KOİ ve renk giderimleri sırasıyla %80 ve %90 civarlarında elde edilmiştir. Bu kombinasyonlarda, en düşük akı kaybı UF+NF kombinasyonundan sağlanmıştır [45].

2.5.2 Tekstil Endüstrisi Atıksuyunun Anaerobik Arıtımı

Anaerobik arıtma teknolojilerinin gelişimi 19. yy. sonrasında yaşanan enerji krizi nedeni ile ivme kazanmıştır. Havasız arıtma proseslerinde esas olarak organik maddelerin oksijensiz ortamda biyokimyasal olarak parçalanabilirliği amaçlanmaktadır. Proses esnasında, biyolojik gazlar ortaya çıkmakta olup, biyogazın takriben %65-85'i metan ve %15-35 karbondioksitten meydana gelmektedir. Anaerobik prosesler; biyolojik, fiziksel ve kimyasal arıtma prosesleri sonucu elde edilen arıtma çamurlarının stabilizasyonunda uygulanabildiği gibi, endüstriyel ve evsel atıksuların arıtımında da önemli bir rol oynamaktadır [46].

Anaerobik arıtımın ilk basamağında asitogenik bakteriler, karbonhidratlar, yağlar ve proteinler gibi organikleri düşük moleküler ağırlıklı ana ürünlere dönüştürebilirler. Bu fermentasyon ürünleri daha sonra asetojenik bakteri tarafından kullanılır ve asetat, karbondioksit ve moleküler hidrojen açığa çıkar. Son olarak metanojenik bakteriler asetat ve karbondioksiti metana indirgerler [47]. Anaerobik arıtımda etkili olan prosesler, hidroliz, asit üretimi ve metan üretimi olarak genelde üç aşamada ele alınabilir. Bu aşamaların detaylı gösterimi Şekil 2.4' de görülmektedir [46], [48].



Şekil 2.4 Anaerobik proseslerdeki arıtım aşamaları [46], [48]

Havasız şartlarda gerçekleşen prosesler sonucu ortaya çıkan metan gazının kalorifik değeri oldukça yüksektir ve enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Anaerobik sistemlerde kompleks organik bileşikler yağlar, proteinler, karbonhidratlara parçalanabilmektedir [46], [48].

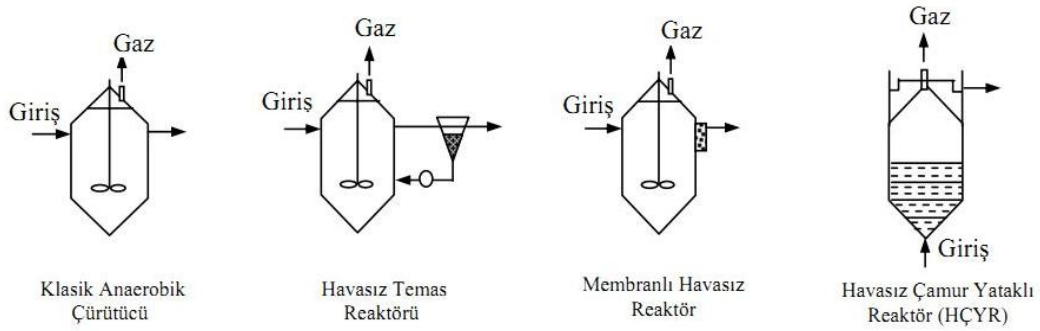
Anaerobik arıtım prosesleri olarak, askıda büyüyen anaerobik sistemler, aşağı ve yukarı akışlı anaerobik biyofilm sistemler, akışkan yataklı biyofilm sistemler, havasız yukarı akışlı çamur yataklı reaktörler, anaerobik lagünler ve anaerobik membran prosesleri sayılabilir [37].

Enerji ihtiyacı aerobik proseslere nazaran daha düşük, düşük miktarlarda çamur üretimi, potansiyel enerji kaynağı olarak metan üretimi, daha küçük reaktör hacmi gerekliliği, daha fazla kompleks organiklerin parçalanabilirliği gibi anaerobik proseslerin avantajları mevcuttur [37].

Biyokütle üretimi için işletmeye alma esnasında uzun bir zaman gereksinimi, seyreltik atıksularda bakterilerin yaşayabileceği pH değerlerini sağlamak amacıyla ilave alkalinite gereksinimi gibi anaerobik proseslerin dezavantajları da vardır [37], [46].

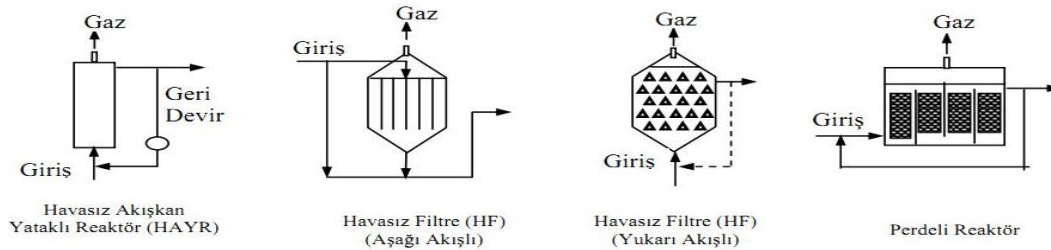
Anaerobik reaktörler mikroorganizmaların faaliyet durumuna göre genel olarak askıda çoğalan (büyüyen) sistemler ve biyofilmli sistemler olmak üzere iki temel kategoriye ayrılmaktadır [46].

Askıda çoğalan sistemlerin, klasik havasız çürütücüler, havasız temas reaktörleri, membranlı havasız reaktörleri ve havasız çamur yataklı reaktörler olmak üzere belli başlı uygulamaları bulunmaktadır [46]. Askıda çoğalan reaktörlerin şematik gösterimi Şekil 2.5’ de görülmektedir.



Şekil 2.5 Askıda çoğalan reaktör tipleri [46]

Biyofilmli sistemler ise, havasız akışkan yataklı reaktörler, havasız filtreler, havasız döner diskler ve perdeli reaktörler olmak üzere belli başlı uygulamaları bulunmaktadır. Bu biyofilm reaktörlerin akım şemaları Şekil 2.6’ da görülmektedir.



Şekil 2.6 Biyofilmli sistemlerin reaktör tipleri [46]

Bu proje kapsamında gerçekleştirilecek çalışmada havasız tam karışimli fermantörler kullanılacaktır. Tam karışimli fermantörlerde, tam karışım durumuna ulaşmak için gereken zaman reaktörün dizayn geometrisine bağlıdır. Tam karışimli fermantörlerde tipik organik yükleme oranı, 1.0 ila 5.0 kg KOİ/m³.gün arasında değişmektedir. Fermantörler, anaerobik arıtımın fermantasyon prosesinin gerçekleştiği reaktörlerdir. Fermantasyon prosesinde, Şekil 2.4' de görüldüğü üzere, amino asitler, şekerler ve bazı yağ asitleri yükseltgenirler. Fermantasyon prosesinden oluşan son ürünler, anaerobik sistemde gerçekleşen metan üretiminin girdileridir [37].

Tekstil endüstrisi atıksularının ihtiva ettiği kompleks organik madde içeriği, anaerobik prosesler ile kolaylıkla parçalanabilmektedir. Bu kompleks organik maddelerin aerobik prosesler parçalanabilmesi oldukça maliyetlidir. Anaerobik sistemler aerobik sistemlere göre çok yüksek organik yüklerde çalışabilmektedir.

Tekstil endüstrisi atıksularının arıtımı için klasik metotlar renk gideriminde yeterli olmamaktadır. Boyar maddelerin biyolojik parçalanmaya karşı dayanıklı olması nedeniyle biyolojik yöntemler renk gideriminde yetersiz kalmaktadır [38]. Anaerobik prosesler, tekstil atıksuyunun ihtiva ettiği boyar maddelerin kompleks yapılarını daha fazla miktarlarda parçalayabilmekte ve böylece daha fazla renk giderimi sağlanmaktadır. Birbirine azo köprüsü ile bağlı olan boyar maddeler çevreye renkli atıksu formunda bırakılmaktadırlar. Anaerobik koşullarda; fermantatif, metojenik, sülfat indirgeyen ve azo indirgeyici bakteri grubu sayesinde bu boyaların parçalanarak indirgenmesi gerçekleştirilebilmektedir [24]. Flokülasyon/koagülasyon, adsorpsiyon ve kimyasal oksidasyon, ozon (O₃), hidrojen peroksit (H₂O₂), Fenton reaktifi, UV/H₂O₂, klorlama, ultrafiltrasyon, elektrokimyasal gibi yöntemler de atıksulardaki renk parametresinin giderilmesi amacıyla kullanılmaktadır [49]. Ancak, anaerobik arıtım ise bu yöntemlere nazaran hem daha ekonomik olmakta, hem de aerobik arıtmıdan önce bir ön arıtma prosesi olarak kullanılabilir [36].

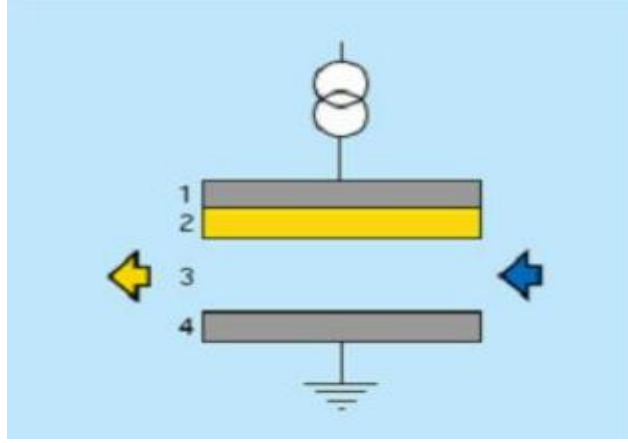
Kompleks organik yapıya sahip olan boyar maddelerin biyolojik olarak parçalanması amacıyla aerobik/anaerobik bakteri türleri ile beyaz çürükçül küfler Kapdan ve Arslan [50] tarafından kullanılarak çalışma gerçekleştirilmiştir. Aerobik sistemlerde renk giderimi boyar maddenin bakteri üzerine adsorpsiyonu esasına dayanması sebebiyle etkili bir yöntem olmadığı görülmüştür [50]. Buna mukabil, anaerobik şartlarda renk giderimi ya azoredüktaz enzimi

vasıtasıyla biyolojik parçalanma şeklinde ya da redoks potansiyelinde düşme nedeniyle gerçekleşen indirgenme reaksiyonu vasıtasıyla meydana geldiği belirtilmiştir. Renk gideriminde yapılan çalışmalara göre, tekstil boyar maddelerin gideriminde anaerobik şartlar daha etkin rol oynamaktadır [50].

Tekstil atıksularında renk giderimi, aerobik ve anaerobik şartlar için karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve anaerobik koşullarda renk gideriminin çok daha yüksek oranda olduğu görülmüştür [51]. Aktif çamur prosesinde aerobik bakterilerle renk giderimi konusunda gerçekleştirilen çalışmalarda önemli bir sonuç elde edilememiş olmasına rağmen, anaerobik bakterilerle yapılan arıtma işleminde renk giderimi oldukça başarılı olduğu belirtilmiştir [23]. Ayrıca, tekstil atıksularında özellikle inert KOİ yüksek olduğundan anaerobik şartlarda ön arıtım yapılması durumunda yüksek oranda KOİ gideriminin de gerçekleştiği belirtilmiştir [51].

2.5.3 Tekstil Endüstrisi Atıksuyunun Ozon Prosesi ile Arıtımı

Çoğunlukla renk giderimi ve dezenfeksiyon amacıyla kullanılan ozon, üç oksijen atomunda oluşan kuvvetli bir yükseltgendir. Ozon, oksitlenebilen maddeler karşısında atom halinde oksijen vererek organik maddeleri okside eder. Ozon, kararsız ve oksijene çabuk dönüşme eğiliminde olan bir gazdır. Ozonun kararsız bir madde olması nedeniyle taşınması ve depolanması mümkün olmamaktadır; bu yüzden ozonun kullanılacağı yerde ve anda üretilmesi gerekmektedir. Ozon üretiminde en çok kullanılan yöntemler, elektrik akımı ile çalışan ozon jeneratörleri ve elektrolitik ozon jeneratörleridir [19]. Elektrik akımı ile çalışan ozon jeneratörlerinin kullanımı daha yaygındır. Ozon jeneratörlerinde ozon üretim prensibi, Şekil 2.7' de görülmektedir.



Şekil 2.7 Ozon üretimi [52]

Şekil 2.7’ de görülen 1 no’lu plaka yüksek voltaj elektrodunu, 2 no’lu plaka dielektrik, 3 no’lu plaka deşarj boşluğunu ve 4 no’lu plaka topraklama hattını göstermektedir. Burada, ozon, iki elektrot arasında bulunan deşarj boşluğunda oksijen gazının dönüştürülmesi ile üretilmektedir. Yüksek voltaj elektroduna yüksek bir voltajda akım geldiğinde, deşarj boşluğunda mikro deşarjlar oluşacaktır. Bu mikro deşarjlar, atmosferdeki oksijen gazından oksijen moleküllerinin oluşmasına sebep olmaktadır. Oksijen atomları, ortamda bulunan oksijen molekülleri ile birleşip, ozonu oluşturmaktadır [52]. Jeneratörlerde üretilen ozonun, bir tankında ilgili akışkanla teması sağlanarak ozonlama işlemi gerçekleştirilmektedir[37].

Ozonlama ile bakteri, virüs ve küf gibi canlılara engel olunabilmekte, sulardan renk giderimi sağlanabilmekte ve birtakım bileşiklerin oksidasyonu gerçekleştirilebilmektedir. Ozon gazının, ayrıca, bazı organik bileşiklerin parçalanmasında da etkili olduğu bilinmektedir [41].

Kimyasal bakımdan en güçlü oksitleyicilerden birisi olan ve önceleri sadece dezenfeksiyon amacına yönelik olarak kullanılan ozon, yüksek renk giderme verimi sağlaması, biyolojik arıtma prosesinin verimini artırması ve mevcut arıtma sistemlerine kolayca entegre olması gibi sebeplerle son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadır [19], [53].

Ozon suda çözünürken organik maddelere direkt yada OH^- radikali oluşturarak etki edebilir [15], [36]. Ozon, atıksuyun toksik ve kanserojen özelliklerini de azatlığı için tercih edilen ön arıtım yöntemlerinin başında gelmektedir [53]. Ozonlama ile KOİ, renk ve patojen giderimi sağlandığı gibi, atıksuyun biyolojik olarak ayrışabilirliği de kolaylaştırılmaktadır [36].

Tekstil endüstrisi atıksuları ve diğer renkli atıksuların arıtılmasında kimyasal ve biyolojik yöntemler yaygın bir şekilde uygulanmaktadır. Konvansiyonel parametreler açısından başarılı

olan bu sistemler, renk giderimi açısından yetersiz kalmaktadırlar. Bazı boyar maddeler için uygun sonuçlar veren fizikokimyasal prosesler, bütün boyar maddelere uygulanamamakta ve boyar maddelerin yüksek moleküllü bileşikleri biyolojik arıtma proseslerinde indirgenememektedir. Bu noktada ozon, hem büyük oranda renk giderimi sağlamakta, inert maddeleri parçalayarak arıtımını kolaylaştırmakta, hem de AOX ve sürfaktan gibi kirleticilerin de uzaklaştırılmasını sağlamaktadır [36]. Yapılan çalışmalarda, ozon tatbik edilmemiş tekstil atıksuyunda renk gideriminin çok düşük olduğu, 10 mg/L gibi bir ozon dozu uygulamasından sonra ise %50 gibi yüksek bir oranda renk gideriminin sağlandığı görülmüştür [36]. Yapılan çalışmalarda tekstil atıksuyunun ozon ile ön arıtımı gerçekleştirildiğinde çözünmüş inert KOİ fraksiyonlarının çıkış suyu azaldığı, hatta deşarj standartlarının altına düştüğü görülmüştür [34].

Souza ve diğ. [53], boyar madde konsantrasyonu 500 mg/L gibi yüksek bir değere sahip tekstil atıksuyuna ozonla ön arıtım uygulamış ve % 96 civarında yüksek bir verim değeri elde etmişlerdir. Benzer bir çalışmada ise tekstil boyama atıksularına ozonla ön arıtım uygulanmış olup, sırasıyla %63 ve %81 mertebelerinde KOİ ve renk giderimi sağlanmıştır [36]. Ayrıca, NF membrandan önce ozonla ön arıtım yapılması neticesinde, NF membranın ömrünü kısaltan ve çabuk tıkanmasına yol açan organik maddenin arıtılmasını ve konsantre akımında daha az kirlilik içermesini sağladığı görülmüştür [15].

Atıksuların kanalizasyona ve alıcı ortama deşarjında, gelişmiş ülkelerin renk parametresine getirdiği sınırlamalar ile konvansiyonel parametrelerin limit değerlerinin de azaltılması, klasik arıtma sistemlerinin yanında ileri arıtma yöntemlerinin de kullanımını zorunlu hale gerektirmektedir.

2.5.4 Membran Proseslerde Oluşan Konsantre Akımın Arıtımı

Membran proseslerde oluşabilecek üç temel akım bulunmaktadır. Bunlar; besleme, süzüntü (ürün suyu) ve konsantre akımlarıdır. Konsantre akım, süzülmemiş yani filtre edilememiş akımdır. Besleme suyunun bir kısmının süzülmemekte ve süzülen suyun kirletici konsantrasyonu düşük ve süzülmemiş kısmında ise daha yüksek olmaktadır. Konsantre akımının mevcudiyeti çapraz akışlı sistemlerde membran yüzeyinde bir akışın olmasını sağlamaktadır. Böylece membran yüzeyinde meydana gelebilecek çökelmelere engel olunmaktadır (Judd ve Jefferson, 2003). Membran proseslerde oluşan konsantrenin miktarı ile arıtılmış su miktarı

ters orantılıdır. Arıtılmış su miktarı ne kadar yüksek olursa, oluşacak olan konsantre miktarda o kadar düşük olacaktır.

Basınç farkı uygulanması sonucunda membran bir elek gibi işlev görmektedir. Membranın por aralığından daha ufak olan partiküller membranı geçerek süzüntüye karışmaktadır. Bu esnada daha büyük parçalar veya çözünmüş maddeler tutularak konsantre akımında kalmaktadır. Bu çalışma prensibinden dolayı konsantre akımın işletme süresince kirlilik yükü artarak yüksek oranda kirlilik içeren ve arıtımı oldukça güç olan bir atıksuya dönüşmektedir. NF ve RO membranlarının konsantre akımlarında, konsantre çözünmüş katı maddeler bulunabilmektedir. Besleme suyunda bulunan kirletici konsantrasyonu konsantre akımında 4 ile 10 kat daha yüksek olabilmektedir [11].

İleri arıtım yöntemlerinden olan membran teknolojilerinde en büyük ve temel sorun konsantre akımın arıtılması işlemidir [55]. Bunun en temel sebebi konsantre akımın çok yüksek oranda kirlilik içermesidir [56]. Artan çevre bilinci ve yönetmeliklere yeni getirilen kısıtlama ve kurallar doğrultusunda, konsantre akımın arıtımı her geçen gün önem kazanmaktadır. Özellikle Amerika'da, içme suyu arıtma tesislerinde yaygın olarak ters osmoz ile nihai arıtım yapılmaktadır. Fakat bunun sonucunda çevreye tehdit oluşturan yüksek tuz ve iyon içerikli konsantre akımı oluşmaktadır. Bu sebeple Amerika'da, konsantre akımının arıtılması düşünülmüş ve yapılan membran dizaynı çalışmalarının sayısı önemli ölçüde artış göstermektedir [57].

Tekstil atıksuyu gibi çok yüksek oranda kirlilik içeren bir atıksu, membranla arıtıldığında çıkış suyu istenilen deşarj limitlerini ya da sistem içinde tekrar geri kullanım koşullarını sağlayabilir nitelikte olsa da, oluşan konsantre akım kirlilik açısından büyük bir sorun teşkil etmektedir. Özellikle çevre otoriteleri tarafından sınırlandırılan; sülfat, klorür, fosfat, demir gibi maddelerin de konsantre akım içinde miktarının giderek arttığı düşünülürse, bu durumun sağlık ve çevre açısından büyük sorunlara yol açacağı tahmin edilmektedir [58].

Başka bir çalışmada ise, bir içme suyu arıtma tesisi çıkışındaki suyun ters osmozdan geçirilerek ileri arıtımı gerçekleştirilmiş ve membran girişindeki su kalite parametreleri ile konsantre akımdaki değerler karşılaştırılmıştır. Yine Nederlof ve diğ. [58] tarafından gerçekleştirilen çalışmaya benzer şekilde, bu çalışmada da konsantredeki kirlilik değerlerinde yaklaşık 4-5 kat bir artış gözlemlendiği belirtilmiştir. Çalışmada, membrana giriş atıksuyundaki

sülfat konsantrasyonu 80 mg/L iken konsantre akımda bu değerin 369 mg /L'ye ulaştığı tespit edilmiştir. Ayrıca, sodyum konsantrasyonu 23 mg/L'den 95 mg/L'ye, demir ise 2,17 mg/L'den 9,75 mg/L gibi yüksek değerlere ulaşmıştır [55].

Membranla arıtım sonucu oluşan konsantre akımın kirlilik seviyesi; arıtılacak olan suyun kirlilik derecesine, ön arıtım şekline ve kullanılan membran türüne göre farklılık göstermektedir. Oluşan konsantre hacminin; MF ve UF'da %1-10, NF'da % 15-30 ve RO'da ise %15-60 arasında değişim gösterdiği belirtilmiştir [30].

Tekstil atıksuyunun membranla arıtımı sonucu oluşan konsantre atıksuyu, organik ve özellikle boyalardan kaynaklı yüksek oranda inorganik kirletici içermektedir. Konsantre atıksuyu çok fazla inorganik bileşen içerdiğinden sadece biyolojik yöntemlerle ayrışması oldukça güçtür. Bu sebeple konsantre arıtımı için yapılan çalışmalarda; konsantre akıma ozon, hidrojen peroksit gibi yüksek oksidantlar uygulanarak inorganik bileşiklerin bozulması sağlanmaktadır.

MATERYAL METOT

3.1 Deney Düzeneklerinin Kurulması

3.1.1 Membran Deney Düzeneği

Membran proses konsantresi üretmek amacıyla YTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan Şekil 3.1’ deki membran düzeneği kullanılmıştır. Düzeneğe online analiz için Hach-Lange marka pH ve iletkenlik propları ile akı analizi için dijital terazi monte edilmiştir. Online analiz edilen veriler SC1000 veri depolayıcı tarafından kaydedilmiş ve veriler bilgisayar sistemine aktarılmıştır.



Şekil 3.1 Membran düzeneği

Cat Pump marka yüksek basınç pompası ile ısınan konsantre suları besleme tankına geri verilmektedir. Besleme tankında sabit su sıcaklığının sağlanması için 50 L soğutma hacmine sahip bir eşanjör düzeneği kullanılmıştır. İmal ettirilen eşanjör düzeneği, ısınan suyu belirlenen sıcaklık değerine düşürmüş ve sıcaklık algılayıcı ile besleme tankındaki sıcaklığın +1⁰C artması halinde devreye girerek suyu tekrar soğutmuştur.

3.1.2 Laboratuvar Ölçekli Anaerobik Arıtma Deney Düzeneği

Konsantre akımı, tam karışimli ve kontrol üniteli Electrolab marka fermentör düzenekleri ile anaerobik olarak arıtılmıştır. Tam karışimli fermentörde karıştırma işlemi, fermentöre direkt olarak monte edilen motor ve ucuna takılan pervaneler yardımı ile yapılmıştır (Şekil 3.2-a). Böylece fermentörün içindeki konsantre ve pozitif titreşimsiz bir şekilde karıştırılmıştır. İdeal karıştırma ortamını hazırlamak ve maksimum esnekliği sağlamak için pervanelerin yükseklikleri kolaylıkla ayarlanabilmektedir ve pervaneler kolayca değiştirilebilmektedir. Motor gücü kontrol paneli ile istenilen seviyelerde kullanılmaya da ayarlanabilmektedir. Mikroorganizmaların kırılgan yapıları da dikkate alınarak özel şekilli bombeli tabanlı fermentör düzeneği kullanılmıştır (Şekil 3.2-b).

Fermentörler 5 L çalışma hacmine sahiptir. Fermentörlerde pH ayarı için asit ve baz girişleri, sıcaklık probu, seviye ölçüm sensörü, gaz girişi, numune alma probu, gaz çıkışı, redoks probu- ve soğutucu bobinler mevcuttur (Şekil 3.2-c). Fermentör düzeneğinde 4 adet peristaltik pompa bulunmaktadır (Şekil 3.2-d). Bunlar sistemde sabit pH'ın sağlanması için asit ve baz ilavesi ile sisteme hamsu girişinin sağlanması ve sistemden numune alınması amaçları ile kullanılabilir. Ölçülen tüm parametreler ekranda görülmekte ve depolanabilmektedir (Şekil 3.2-e). Peristaltik pompalar ve otomatik kontrol edilen parametreler kolaylıkla kontrol edilebilmektedir ve gerekli durumda sistem alarm vermektedir. Çalışmada kullanılan fermentörlere ait görüntüler Şekil 3.3' de görülmektedir.

3.1.3 Ozonlama Deney Düzeneği

Tekstil atıksuyunun NF membranı ile arıtımı ile oluşan konsantrenin ozonlanması laboratuvar ölçekli Sander marka ozon jeneratörü ve ozon temasının gerçekleşeceği camdan imal edilmiş reaktör ile gerçekleştirilmiştir. Artık ozonun tutulması amacıyla yıkama şişeleri kullanılmıştır.

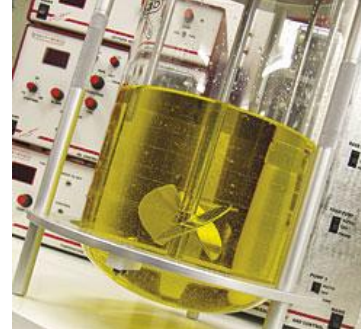
Ozon jeneratörünün teknik özellikleri Çizelge 3.1’ de görülmektedir. Ozon jeneratörünün akım şeması ise Şekil 3.4’ de görülmektedir.

Çizelge 3.1 Ozon jeneratörünün özellikleri

	Kuru hava	Oksijen
Ozon miktarı	: 2 g/h	4 g/h
Maksimum ozon konsantrasyonu	: 20 g/mu	80 g/mu
Çal g/mum ozon k	: 230 Volt 50 Hz	
Orta gerilim	: 6 Kv	
G kV gerilimHzkons	: 60 Watt	
Boyutlar	: 510 mm- geniHzko	
	: 250 mm- yeniHzkon	
	: 380 mm- derinlik	
Ağırlık	: 25 kg	



(a)



(b)



(c)



(d)



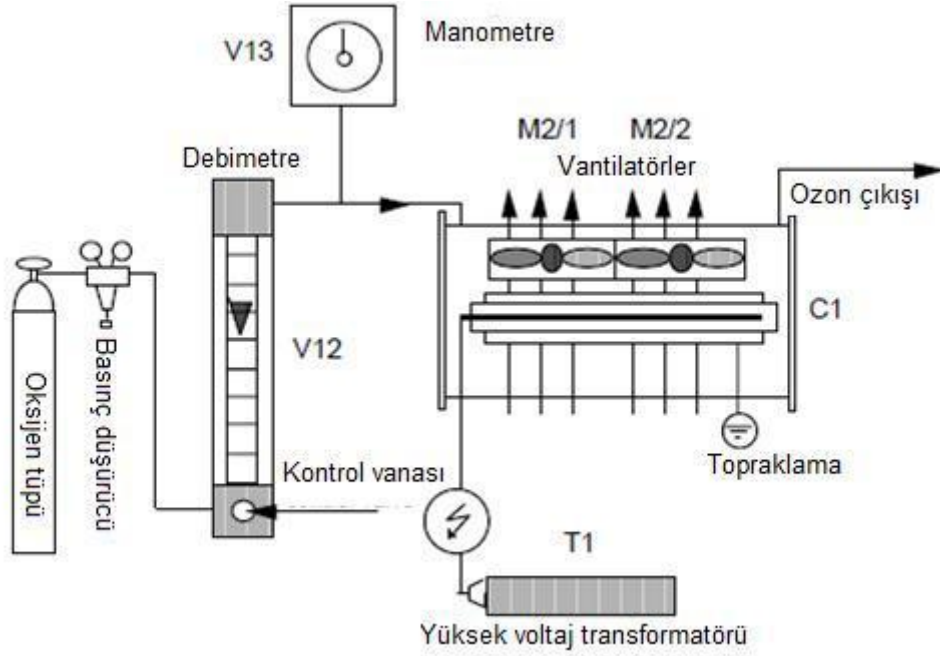
(e)

Şekil 3.2 Fermentör düzeneğinin fonksiyonları (a) Karıştırma sistemi, (b) Bombeli tabanı sıvı kabı, (c) Giriş ve çıkışların yapıldığı portlar, (d) Kontrol paneli ve (e) Pompalar





Şekil 3.3 Laboratuvar ölçekli fermentör düzeneği

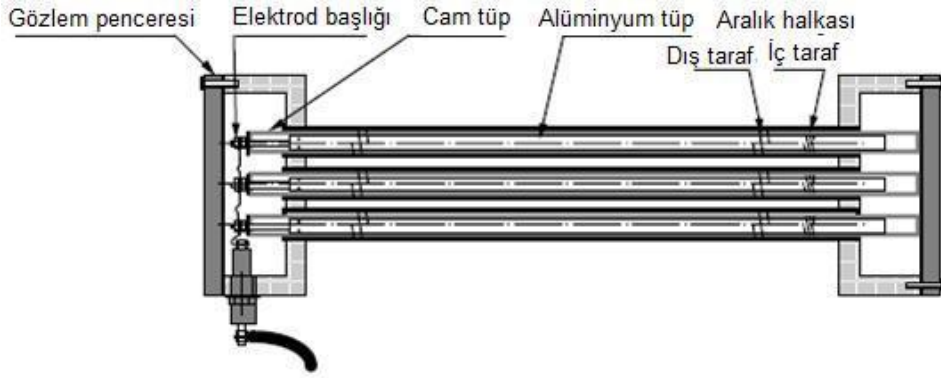


Şekil 3.4 Ozon jeneratörü akım şeması

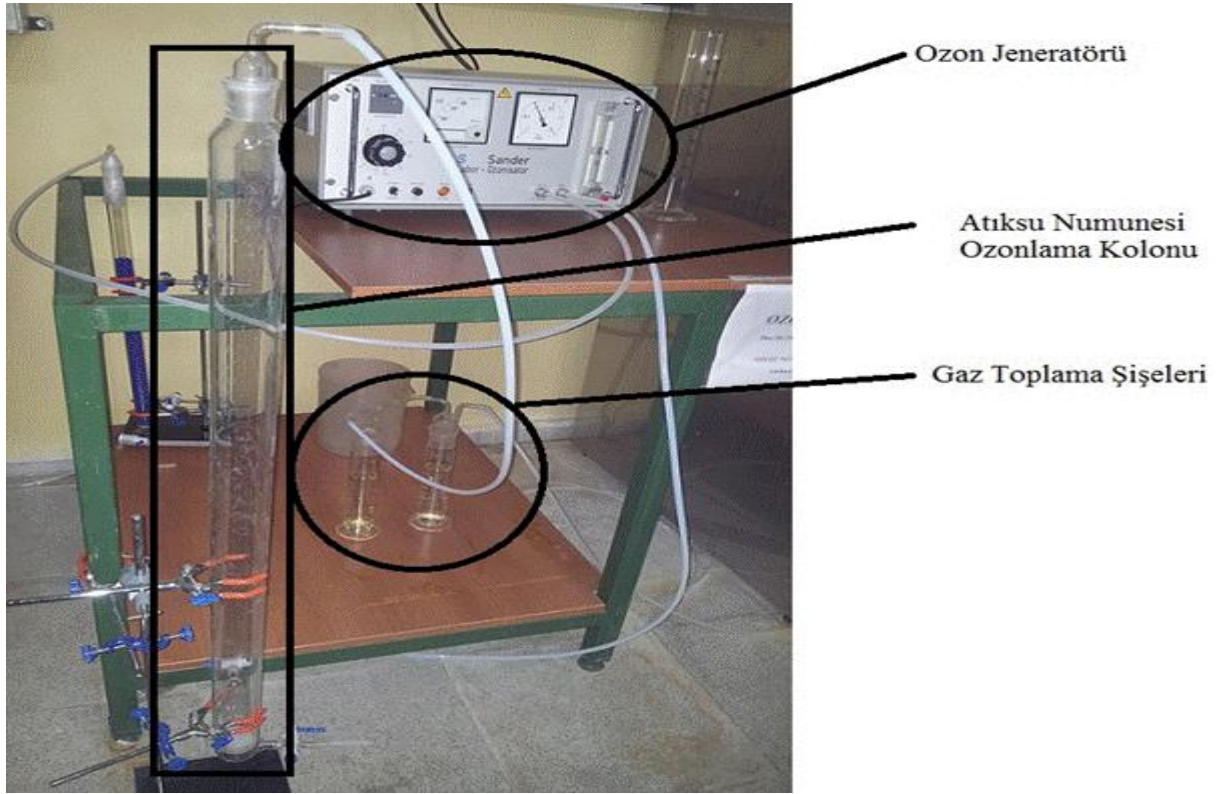
Oksijen ya da kuru hava debimetreden (V12)'den geçer, bu şekilde jeneratöre giriş yapan havanın veya oksijenin debisi ölçülür. Debimetreye bağlı iğne vana ile jeneratöre giren oksijen veya havanın debisi ayarlanabilir. Debimetre sonrasında manometre (V13) ile sistemin basıncı ölçülür. Maksimum ozon konsantrasyonuna -0.1 bar (1.5 psi vakum) ile +0.4 bar (20 psi) değerleri arasında ulaşılabilir. Bu değer aralığının dışında ozon üretimi belirgin bir şekilde düşer.

Debimetre ve manometreden sonra oksijen veya hava ozon jeneratörüne iletilir (C1). Ozon jeneratöründe paslanmaz çelik tüpler bulunmaktadır. Her tüpte ozon elektrotları bulunmaktadır. Bu elektrotlar camdan imal edilmiş ve yalıtkandır. Aynı zamanda bu elektrotlar metal bir destek üzerinde bulunmaktadır (Şekil 3.5). Alüminyum elektrot yüksek gerilime (5,8 kV) bağlıdır ve elektrodun dışında kalan kısmı toprağa bağlanmıştır. İki elektrot arasında sessiz bir elektrik boşalımı oluşur ve bu şekilde oksijen ozona dönüşmüş olur.

Ozon oluşurken oldukça yüksek bir sıcaklık da oluşur (yaklaşık olarak gram ozon başına 20 watt). Bu sıcaklığı düşürmek için soğutma vantilatörleri kullanılır (M2/1,M2/2). Bu çalışma kapsamında kurulan ozonlama deney düzeneği Şekil 3.6’ da görülmektedir.



Şekil 3.5 Ozon jeneratöründe elektrotların yerleşimi



Şekil 3.6 Laboratuvar ölçekli ozon deney düzeneği

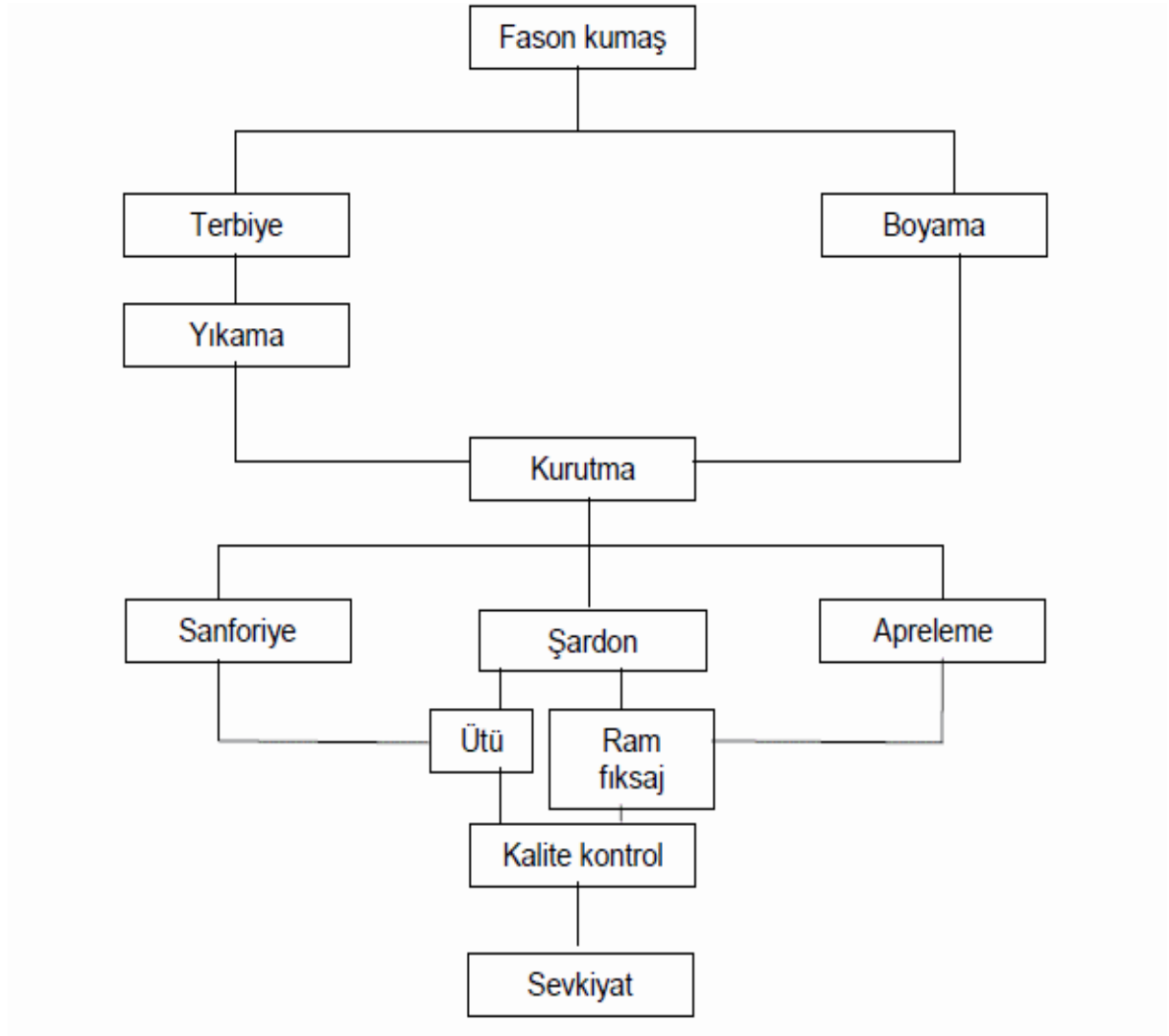
Ozon cihazının işletilebilmesi için oksijen veya kuru hava gerekmektedir. Bu çalışmada, YTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü Laboratuvar'ında bulunan kuru hava hattı kullanılmıştır. Kuru hava hattındaki hava ozon jeneratörü öncesinde silika jel doldurulmuş kolondan geçirilmiştir (Şekil 3.7). Böylece kuru havadaki nem oranının daha da azaltılması sağlanmış ve ozon jeneratörü içerisinde olası oluşabilecek buhar miktarı minimize edilmiştir.



Şekil 3.7 Ozon jeneratörü öncesinde kullanılan silika jel kolonu

3.2 Tekstil Atıksuyu ve Özellikleri

Ortalama günlük atık su miktarı 800 m^3 olan bir “Pamuklu Kumaş Yıkama ve Boyama” tekstil firmasının entegre atıksuları bu çalışmada kullanılmıştır. İlgili tekstil firmasının üretim akım şeması Şekil 3.8’ de ve tüketebileceği kimyasallar ile bunların yıllık maksimum miktarları Çizelge 3.2’ de görülmektedir.



Şekil 3.8 Tekstil fabrikasının üretim akış şeması

Üretim materyaline bağlı olarak gün içerisinde tekstil fabrikasında atıksu üretim miktarında ve kalitesinde değişim olabilmektedir. Gün içerisinde özellikle atıksu kalitesindeki değişimin belirlenmesi amacıyla 6'şar saat aralıklarla dört hamsu numunesi alınmıştır. Numuneler dengeleme tankı girişinden alınmıştır. Alınan numunelerde yapılan bazı analiz sonuçları Çizelge 3.3' de görülmektedir.

Çizelge 3.2 Tekstil fabrikasında kullanılan kimyasallar ve yıllık maksimum tüketim miktarları

Kimyasal	Miktarı (t/yıl)	Kimyasal	Miktarı (t/yıl)
Hidrojen peroksit	54	Tuz	2241
Sud kostik (payet)	186	Sabun	74
Islatma maddesi	103	Renkli yumuşatıcı (katyonik)	99
Yağ sökücü	54	Silikon yumuşatıcı	49
Kırık önleyici	192	Direkt boya	9
Asetik asit (% 80)	229	Dispers boya	179
İyon tutucu	103	pH tamponlayıcı	89
Peroksit stabilizatörü	21	Dispergator	60
Optik beyazlatma maddesi	5	Hidrosülfid	119
Reaktif boya	99	Tansio aktif maddeler	169
Soda	499	Sair kimyevi maddeler	84

Çizelge 3.3 Tekstil fabrikasında 6'şar saat aralıklarla alınan numunelerin karakterizasyonu

Parametre	Birim	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Numune 4
pH	-	7,2	8,8	9,9	9,4
Renk	Pt-Co	740	1700	230	203
KOİ	mg/L	1248	936	624	622

Çizelge 3.3 Tekstil fabrikasından 6' şar saat aralıklarla alınan numunelerin karakterizasyonu(devamı)

ÇKOİ (0,45 µm'den süzölmüş)	mg/L	416	860	416	420
Sülfat	mg/L	300	920	190	170
Alkalinite	mg CaCO ₃ /L	640	680	960	640
Sertlik	mg CaCO ₃ /L	180	140	140	160
Amonyak	mg/L	16,8	30,8	1,1	1,2
TKN	mg/L	44,8	61,6	11,8	16,5
Cl-	mg/L	1380	2259	1959	1744
ORP	mV	-25,4	-105,9	-177,1	-141,1

Çizelge 3.3' de aynı gün içerisinde fabrikadan kaynaklanan atıksuların karakterizasyonunda değişimler olduğu görülmektedir. Bu sebeple, çalışmalarda stabil bir karakterde atıksu ile değil zamanla farklı kirletici konsantrasyonlarına sahip tekstil atıksuları ile çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Üretimde en fazla su tüketimi kasar ve boyama proseslerinde gerçekleşmektedir. Kasar işleminden sonra 1 ve boyama işleminden sonra ise 4 yıkama işlemi gerçekleştirilmektedir. Kasar ve boyama işlemlerinden kaynaklanan tüm atıksular dengeleme tankına iletilmekte ve dengeleme tankında H₂SO₄ ile pH ayarlaması yapılması sonrasında fabrikada bulunan aerobik biyolojik atıksu arıtma tesisinde arıtılmaktadır.

Farklı zamanlarda alınan tekstil atıksuyunun analiz sonuçları Çizelge 3.4' de görülmektedir. Ayrıca, su tüketimin yüksek olduğu boyama ve kasar proseslerindeki suların da analiz sonuçları Çizelge 3.5' de görülmektedir.

Çizelge 3.4 Tekstil atıksuyu karakterizasyonu

Parametre	Birimi	Tekstil atıksuyu numunesi			
		I	II	III	IV
İletkenlik	mS/cm	17,46	22,68	14,13	6,89
pH	-	9,23	9,29	10,32	9,74
Renk	Pt-Co			229	869
KOİ	mg/L	817	1037	1300	2000
ÇKOİ*	mg/L			1125	1925
BOİ ₅	mg/L	214	254	106	140
Sülfat	mg/L	413	396	2130	412
Alkalinite	mg CaCO ₃ /L	2000	2420	2100	660
Sertlik	mg CaCO ₃ /L	460	580	420	420
Cl ⁻	mg/L	5273	6873	1339	1619
ORP	mV	-151,7	-157,2	-214	-179
TKM	mg/L	-	-	5986	5180
UKM	mg/L	-	-	1318	1040
TOK	mg/L	-	-	483	-
TKN	mg/L	-	-	36,4	64,4
NH ₄ ⁺ -N	mg/L	-	-	22,4	28
TP	mg/L	-	-	15	10,89
PO ₄ ⁻³ - P	mg/L	-	-	4	5,05
Fe	mg/L	-	-	0,53	<0,2
Cu	mg/L	-	-	<0,01	<0,01
Ni	mg/L	-	-	< 0,01	< 0,01
Cr	mg/L	-	-	< 0,1	< 0,1

*0,45 µm'den süzölmüş

Çizelge 3.5 Tekstil boyama ve kasar banyosu atıksularının karakterizasyonu

Parametre	Birim	Tekstil boyama ve kasar banyosu atıksuları					
		I		II		III	
		Boya	Kasar	Boya	Kasar	Boya	Kasar
İletkenlik	mS/cm	10,37	8,84	5,79	6,29	11,2	7,46
pH	-	8,77	8,8	10,81	10,52	10,55	10,2
Renk	Pt-Co	460		325	98	585	30
KOİ	mg/L	1155	2877	1862	3250	-	2375
ÇKOİ*	mg/L	575	2725	1662	2987	-	2000
BOİ ₅	mg/L	203	888	75	120	150	306
Sülfat	mg/L	1077	138	3095	301	1490	61
Alkalinite	mg CaCO ₃ /L	14	14	600	1100	1200	720
Sertlik	mg CaCO ₃ /L	800	540	7200	340	3200	340
Cl ⁻	mg/L	560	440	2000	1290	4438	1760
ORP	mV	2924	2324	-239	-222	-223	-204
TKM	mg/L	6193	7005	-	-	-	5853
UKM	mg/L	603	2335	-	-	-	1497
TOK	mg/L	-	-	612	809	868	776
TKN	mg/L	-	-	106,4	112	61,6	84
NH ₄ ⁺ -N	mg/L	-	-	28	28	-	50,4
TP	mg/L	-	-	11	8	1,46	1,82
PO ₄ ⁻³ - P	mg/L	-	-	6	5	<1	<1
Fe	mg/L	-	-	1,21	1,03	1,24	0,20
Cu	mg/L	-	-	0,19	0,12	0,19	0,03
Ni	mg/L	-	-	-	-	1,76	< 0,01
Cr	mg/L	-	-	-	-	0,76	< 0,1

Çizelge 3.4 ve 3.5’de farklı zamanlarda atıksu karakterindeki değişimler görülmektedir. Bu değişimlerin temel sebebi fabrikada standart bir üretim değil, talebe göre bir üretim yapılmasıdır. Bu sebeple, talep değişimleri gerek kullanılan kimyasalların ve gerekse kullanılan boyaların konsantrasyonlarının farklı olmasına katkı sağlamaktadır.

3.3 Analizler

Çizelge 3.6 Karakterizasyon için ölçülen parametreler

Analiz	Cihaz	Metot
Alkalinite KOİ ve ÇKOİ	pHmetre VELP ECO 23 Termoreaktör 6600 UV-VIS Spektrofotometre	Standart Metotlar 2320 Standart Metotlar (2005) 5220 D.
BOİ ₅		Standart metotlar 5210 D. Oxitop
TOK NH ₄ ⁺ -N	HACH IL 550 TOC-TN Velp marka distilatör	Standart metotlar 5310 Standart Metotlar (2005) 4500-Nr-L C. titrimetrik metot
TKN	Velp marka distilatör Velp marka parçalayıcı	Standart Metotlar 4500- Norq B
SO ₄ ⁻²	UV-1800 Spektrofotometre 420 nm dalgaboyu	Standart Metotlar (2005) 4500 - SO ₄ ⁻² E
SO ₃ ²⁻	UV-1800 spektrofotometre 665 nm dalgaboyu	Meck 1.14779.0001 hazır sülfid kitleri
TKM	Etüv, Su Banyosu	Standart Metotlar (2005) 2540 B.
UKM PO ₄	Etüv, Kül fırını UV-1800 spektrofotometre 690 nm dalga boyu	Standart Metotlar 2540 E Standart Metotlar 4500-P D.
İyon	DIONEX AS TOK iyon kromatografisi	Standart metotlar 4110
Ağır metal (Cr /Fe)	Perkin Elmer Analyst 400 Atomic Absorption Spectrometer	Standart metotlar 3111
Gaz hacim ölçümü		Reaktörlerde oluşan gaz sıvı ile yer değiştirme metodu
CH ₄ ve CO ₂ ölçümleri UYA	GC-2014 gaz kromatograf GC-2010 cihazı	Standart metotlar 6211
Ozon üretimi	<i>Erwin Sander</i> <i>Apparatebau</i> marka <i>Laboratory Ozonizer</i> 300.5 model ozon jeneratörü	Ozonun potasyum iyodür tarafından tutulması esasına dayanarak titrimetrik metot

Bu çalışma boyunca yapılan analizler, analizlerin yapıldığı cihaz ve metotlar Çizelge 3.6' da ayrıntılı olarak görülmektedir.

Reaktörlerde pH, ORP (yükseltgenme indirgenme potansiyeli), ÇO(çözülmüş oksijen), sıcaklık (T)ölçümü: pH, ORP, ÇO ve sıcaklık ölçümleri reaktörde bulunan dijital iyon analizi yapan proplarla yapılmıştır.



Şekil 3.9 GC-2010 cihazı



Şekil 3.10 Fermentördeki pH, ORP, ÇO ve sıcaklık propları

Ozon üretimi ve konsantrasyonunun belirlenmesi: Membran konsantrasyonunun ozonlama çalışmaları, Erwin Sander Apparatebau marka Laboratory Ozonizer 300.5 model ozon jeneratörü (Şekil 3.11) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.11 Ozon jeneratörü (Sander Laboratory Ozonizer 300.5)

Bakiye ozon analizi, ozonun potasyum iyodür (KI) tarafından tutulması esasına dayanarak titrimetrik metotla yapılmıştır. Metodun esasını, iyodürün ozonla iyodata yükseltgenmesi ve asidik ortamda sodyum tiyosülfat ile geri titrasyonu oluşturmaktadır. Ozon ve iyodürün oksidasyon reaksiyon denklemleri şu şekildedir:



Bu denklemlere göre 1 g O_3 ile 6,92 g I^- oksitlenmekte ve 0,1 N tiyosülfat ile 2,4 mg O_3 geri titre edilebilmektedir [19].

Ozon analizi için 0,1 N sodyum tiyosülfat, standart dikromat çözeltisi ve %2'lik potasyum iyodür çözeltisi hazırlanmıştır. İlgili çözeltilerin hazırlanma prosedürü aşağıda ifade edilmiştir.

0,1 N Sodyum Tiyosülfat Çözeltisi ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$): 25 g $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, bir litre distile suda çözündürerek hazırlanmıştır. Kullanılacağı zaman standart dikromat çözeltisi ile standardize edilmiştir.

Standart Dikromat Çözeltisi: Standardizasyon için 0,1 N Potasyum dikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) hazırlanmıştır. 100 ml'lik behere konulan 80 ml distile su sabit bir şekilde karıştırılırken 1 ml konsantre sülfirik asit ve 10 ml 0,1 N potasyum dikromat ilave edilip, üzerine 1 g KI konularak karanlık ortamda 6 dakika bekletildikten sonra nişasta indikatörü eşliğinde normalitesi (denklem 3.4) belirlenerek sodyum tiyosülfat ile titre edilmiştir.

$$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ Normalitesi} = \frac{1}{\text{Harcanan } \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3} \quad (3.3)$$

%2'lik Potasyum İyodür (KI) Çözeltisi: Uygulanan ozon dozunu ve atıksu ile reaksiyona girmeden reaktörü terk eden ozon miktarının belirlenebilmesi için kullanılmakta olup, 2 g KI'nın bir litre distile suda çözündürülmesi sureti ile hazırlanmıştır.

%2'lik KI çözeltilerinin bulunduğu gaz toplama şişeleri (Şekil 4.16) tek bir beherde toplanmış ve beher içerisindeki sıvı manyetik karıştırıcı ile karıştırılırken 20-30 ml 2 N sülfirik asit ilave edilmiş ve daha sonra nişasta indikatörü ilavesi müteakiben sodyum tiyosülfat ile titre edilmiştir. Titrasyon sonunda elde edilen sonuçlar ile yapılan hesaplamalar denklem (3.4) ile yapılmıştır.

$$\text{Ozon Dozu (mg/dk)} = \frac{A \times N \times 24}{t} \quad (3.4)$$

Burada;

A:Harcanan titrant miktarı (ml)

N:Sodyumtiyosülfat normalitesi

t:Ozonlama Süresi(dak)

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Membran Proseslerle Tekstil Atıksuyu Arıtımı ve Konsantre Karakterizasyonu

“Pamuklu Kumaş Boyama ve Yıkama Fabrikası” dengeleme tankı girişinden atıksular alınmıştır. Laboratuvara taşınan atıksular iki kademede fiziksel olarak arıtılmıştır. İlk olarak ön arıtma amacıyla kartuş filtre ve ultrafiltrasyon membranları ile arıtma gerçekleştirilmiştir. İkinci adımda ileri arıtma amacıyla nanofiltrasyon membranları kullanılmıştır.

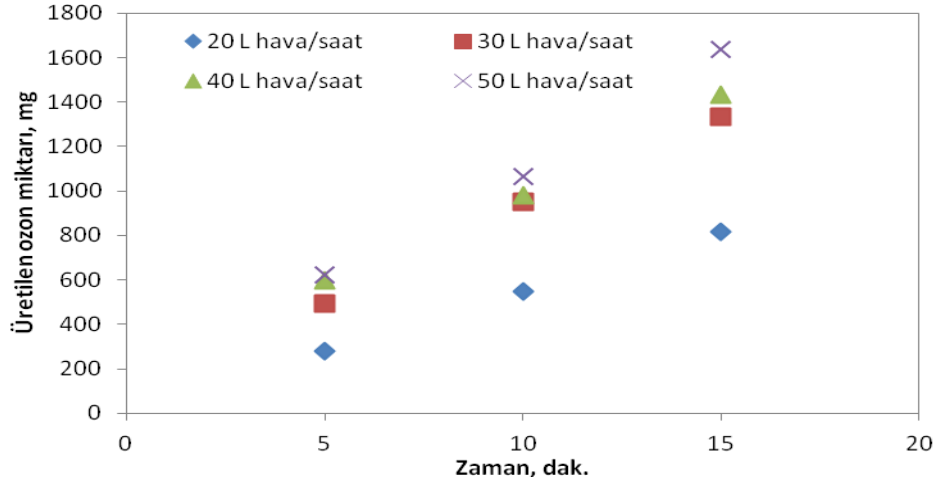
Pamuklu kumaş boyama ve yıkama fabrikası atıksularının ön arıtımı amacıyla ilk olarak 5 µm gözenek çapına sahip kartuş filtre ile 150 kDa moleküler ağırlık ayırım noktasına sahip ultrafiltrasyon membranı (UP150) ön arıtma amacıyla kullanılmıştır.

İleri arıtma amacıyla NF90 ve NF270 membranları kullanılmıştır. İlk aşamada 5 µm kartuş+UP150 kombinasyonu ön arıtımı gerçekleştirilen tekstil atıksuyunun 5 ve 10 bar transmembran (TMP) basınçlarında NF90 ve NF270 membranı ile arıtılabilirlik çalışması gerçekleştirilmiştir. NF90 membranı ile 5 bar TMP altında herhangi bir akı değeri elde edilememiştir. Bu sebeple, NF90 membranı ile 10 bar TMP altında çalışma gerçekleştirilmiştir. NF270 membranı ile 5 bar TMP altında akı değerinin 10 bar TMP’den biraz düşük olmasına karşılık, konsantre içerikleri birbirine yakın olduğu görülmüştür. Bu sebeple, kartuş filtre ve UP150 membranı sonrası 5 bar TMP altında NF270 membranı ile çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

4.2 Ozon üretimi ve konsantrasyonunun belirlenmesi

Ozon jeneratörü üzerinde bulunan hava hattının debisinin ayarlanması sureti ile üretilen ozon miktarı ayarlanabilmektedir. Bu amaçla boş ozon kolonunda 20 L/saat, 30 L/saat ve 40

L/saat farklı hava debilerinde 5 dakika, 10 dakika ve 15 dakika üretilen ozon geçirilmiş ve gaz yıkama şişelerindeki % 2'lik potasyum iyodür tarafından tutulmuştur. Ozon dozunun belirlendiği çalışma sonuçları Şekil 4.1' de görülmektedir.



Şekil 4.1 Ozon jeneratörü ile farklı hava debisi ve işletim sürelerinde üretilen ozon miktarı

Üretilen ozonun ne kadarının numunede kaldığının belirlenmesi amacıyla %20 boya banyosu ve % 80 kasar banyosu atıksuyu karışımı ile çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada tekstil atıksuyunda kalan ozon miktarını Çizelge 4.1' de görülmektedir. Aynı atıksuda hava debisine bağlı olarak üretilen ozonla kirletici parametrelerdeki değişimde Çizelge 4.2' de görülmektedir.

Çizelge 4.1 % 80 kasar+%20 boya banyo sularının farklı hava debilerinde üretilen ozonla reaksiyonu sonrası atıksuda ve sonrasında % 2'lik KI'de adsorplanan ozon miktarları

Ozon üretilen hava debisi	Süre, dak.	Ozon miktarı, mg	
		Atıksu	% 2 KI
20 L hava/saat	5	218	61
	10	449	199
	15	525	293
30 L hava/saat	5	326	168
	10	620	332
	15	802	534
40 L hava/saat	5	516	80
	10	727	254
	15	949	482
50 L hava/saat	5	455	69
	10	834	230
	15	1338	300

Çizelge 4.2 % 80 kasar+%20 boya banyo sularının farklı hava debilerinde üretilen ozonla reaksiyonu sonrası kirletici parametrelerdeki değişim

Parametre	Birimi	Atıksu*	20 L hava/saat						30 L hava/saat						40 L hava/saat						50 L hava/saat					
			Zaman, dak.																							
			5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15						
İletkenlik	mS/cm	8,98	8,9	8,9	9,0	8,7	8,6	8,9	9,1	9,1	9,0	8,7	8,6	8,9	9,1	9,1	9,0	8,7	8,6	9,0						
pH		8,44	8,3	8,1	8,3	8,2	8,2	7,8	7,5	7,4	7,4	8,2	8,2	7,8	7,5	7,4	7,4	7,5	7,2	7,1						
KOİ	mg/L	3425	3200	3125	2800	3100	2950	2575	2700	2300	2000	2675	2400	2175	2675	2400	2175	2675	2400	2175						
BOİ5	mg/L	300	868	932	748	870	819	846	820	816	944	700	814	800	700	814	800	700	814	800						
UKM	mg/L	-	2265	2230	2228	2213	2058	2155	2123	2153	2378	2500	2353	2438	2500	2353	2438	2500	2353	2438						

*Ham %80kasar banyo-%20 boya banyo karışımı

Ozonlama çalışmaları sonucunda 10 dakikadan daha fazla bir ozonlama yapılması halinde ozon reaktöründen kullanılmadan çıkan ozon miktarın daha fazla olduğu ve bu sebeple ozonlama için optimum sürenin 10 dakika olması gerektiği görülmüştür. Ayrıca, ozon kolonunda aşırı köpük oluşumu sebebiyle ozon üretimi için kullanılan kuru havanın debisinin 30 L kuru-hava/saat ve daha düşük olması gerektiği belirlenmiştir. 30 L kuru-hava/saat debide 10 dakika süresince yaklaşık 1 g ozon üretimi gerçekleştirilebilmiştir. Ozonlama sonrası KOİ'de küçük bir azalma ve BOİ₅ değerinde ise bir artış görülmüştür.

4.3 Anaerobik Arıtma Çalışmaları

4.3.1 Anaerobik fermentörlerin devreye alınması ve adaptasyon çalışmaları

Bölüm 3.1.2'de detayları belirtilen laboratuvar ölçekli anaerobik arıtma deney düzeneğinde (Fermac 320-Electrolab) çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Toplam 6 L hacme sahip fermentörler 5 L aktif hacimli olarak çalıştırılmıştır. İki adet fermentörden biri tanesi ozonlanmış konsantre (R1) ile ve diğeri ozonlanmamış konsantre (R2) ile beslenmiştir.

Adaptasyon aşamasında fermentörler 5 evre halinde toplam 75 gün süre ile işletilmiştir. İlk üç çalışma evresinde mikroorganizmalar sadece sentetik atıksu ile beslenmiştir. Sentetik atıksuda karbon kaynağı olarak glikoz kullanılmış ve KOİ değeri yaklaşık 5000 mg/l olarak ayarlanmıştır. Sentetik atıksu bileşimindeki diğer mikro besinler, vitaminler ve tampon kimyasalların bileşimi Çizelge 4.3' de görülmektedir.

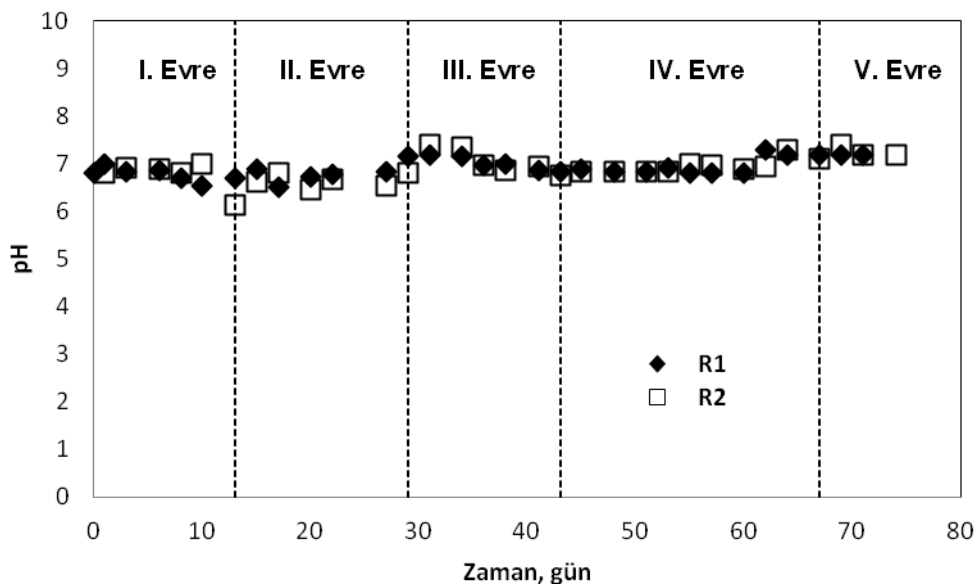
4. evreden itibaren ise mikroorganizmaların gerçek atıksuya alıştırılması amacıyla ilk önce % 50 tekstil atıksuyu + % 50 sentetik atıksu karışımı ile beslenmiştir. Fermentörlerin devreye alınmasından önce gerçekleştirilen BMP test sonuçlarına göre fermentörlere beslenen tekstil atıksuyu % 80 kasar + %20 boyama banyo atıksularının karışımı ile elde edilmiştir. V. evrede ise, tekstil atıksuyu konsantresi ile sistem işletilmiştir. Bu evrede % 75 sentetik glikoz çözeltisi ve % 25 de membran konsantresi karışımı sisteme beslenmiştir. Başlangıçta fermentörlerin hidrolik bekletme süresi 5 gün iken II. evreden itibaren ise 10 güne yükseltilmiştir.

Çizelge 4. 3 Sentetik atıksu bileşimi [66]

Kimyasal	Konsantrasyon	Kimyasal	Konsantrasyon
$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \times 1 \text{ H}_2\text{O}$	10,7g/l	EDTA($\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{N}_2\text{O}_8 \times 2\text{H}_2\text{O}$)	50 µg/l
Na_2HPO_4	3,2 g/l	Piridoksamin($\text{C}_8\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}_2 \times 2\text{HCl}$)	250 µg/l
NaHCO_3	4 g/l	Nikotinik Asit($\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$)	100 µg/l
NH_4Cl	0,6 g/l	Nikotinamid($\text{C}_6\text{H}_5\text{N}_2\text{O}$)	100 µg/l
KH_2PO_4	0,125 g/l	DL-Pantotenik Asit($\text{C}_9\text{H}_{16}\text{NO}_5 \times 1/2\text{Ca}$)	50 µg/l
$\text{CaCl}_2 \times 2 \text{ H}_2\text{O}$	0,11 g/l	Vitamin B12($\text{C}_{63}\text{H}_{88}\text{CoN}_{14}\text{O}_{14}\text{P}$)	50 µg/l
$\text{MgCl}_2 \times 6 \text{ H}_2\text{O}$	0,1 g/l	p-Aminonezoik Asit($\text{C}_7\text{H}_7\text{NO}_2$)	50 µg/l
$\text{FeCl}_2 \times 4\text{H}_2\text{O}$	2 mg/l	Piridoksin-HCl(B6: $\text{C}_8\text{H}_{11}\text{NO}_3 \times \text{HCl}$)	100 µg/l
H_3BO_3	50 µg/l	D Biotin($\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{N}_2\text{O}_3\text{S}$)	20 µg/l
ZnCl_2	50 µg/l	Tioktik Asit(Lipoik Asit; $\text{C}_8\text{H}_{14}\text{O}_2\text{S}_2$)	50 µg/l
$\text{CuCl}_2 \times 2 \text{ H}_2\text{O}$	38 µg/l	Folik Asit($\text{C}_{19}\text{H}_{19}\text{N}_7\text{O}_6$)	20 µg/l
$\text{MnCl}_2 \times 2 \text{ H}_2\text{O}$	41 µg/l	Riboflavin(B2; $\text{C}_{17}\text{H}_{20}\text{N}_4\text{O}_6$)	50 µg/l
$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \times 4$ H_2O	50 µg/l	Tiamine- HCl(B1; $\text{C}_{12}\text{H}_{17}\text{ClN}_4\text{OS} \times \text{HCl}$)	100 µg/l
AlCl_3	50 µg/l	$\text{Na}_2\text{SeO}_3 \times 5\text{H}_2\text{O}$	26,3 µg/l
$\text{CoCl}_2 \times 6 \text{ H}_2\text{O}$	50 µg/l	$\text{NaWO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$	32,9 µg/l
$\text{NiCl}_2 \times 6 \text{ H}_2\text{O}$	50 µg/l		

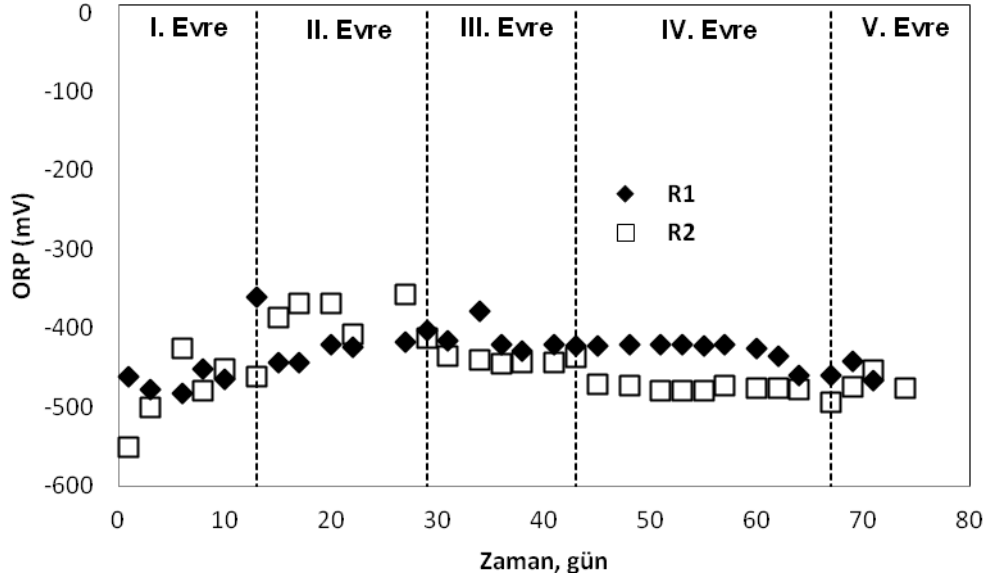
Çalışma başlangıcında aşı olarak Adana'daki bir bira fabrikasının arıtma tesisinden temin edilen anaerobik çamur kullanılmıştır. Anaerobik çamur 54.3 g/l TKM ve % 65.2 UKM/TKM oranına sahiptir. Çalışma sırasında fermentör çıkış suyunda fazla miktarda çamur kaçıışı olması sebebiyle fermentörlerde stabil bir büyüme verimi sağlamak maksadıyla her iki reaktöre de Çorlu'da bulunan bir kağıt-karton fabrikasının arıtma tesisinden temin edilen anaerobik granüler çamurdan 500 ml ilave edilmiştir. Anaerobik granülün TKM konsantrasyonu 326.6 g/l ve UKM/TKM ise % 36'dır.

Adaptasyon çalışmaları süresince on-line ölçümler ve otomatik kontrol sistemiyle fermentörlerin pH seviyeleri 7'de sabit tutulmaya çalışılmıştır. Kısa süreli mekanik arızalar nedeniyle oluşan çok küçük sapmalar haricinde fermentörlerde pH seviyeleri daima stabil kalmıştır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 pH değişimi

Oksidasyon redüksiyon potansiyel (ORP) değeri R1 ve R2 fermentörlerinde genellikle -400 mV ve daha düşük seviyelerde olmuştur (Şekil 4.3). Bu değerler fermentörler içerisindeki ortamın anaerobik olduğunu göstermektedir.

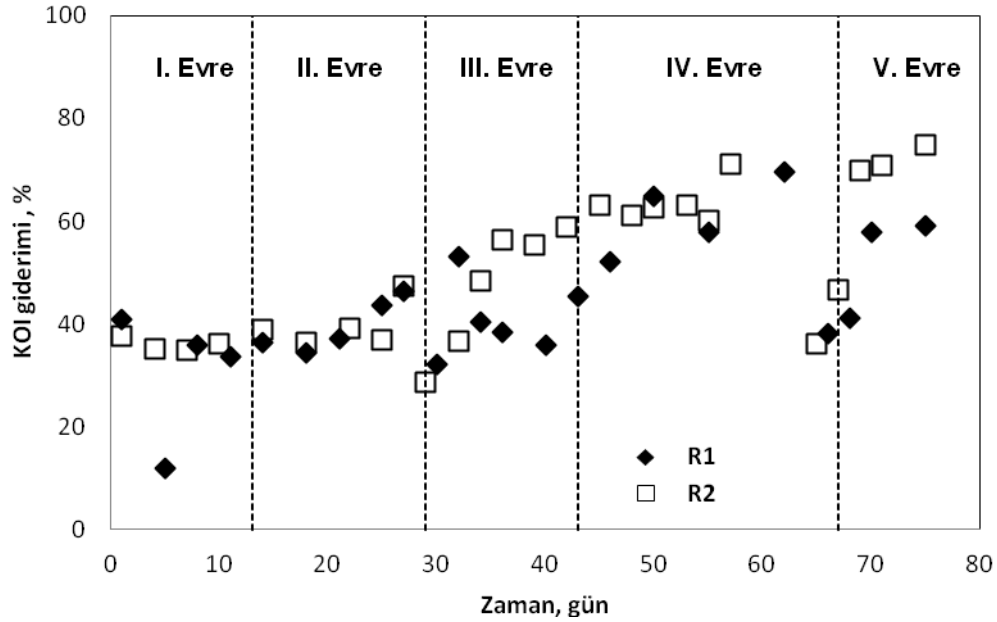


Şekil 4.3 ORP değişimi

Şekil 4.4' de V. evrede fermentörlerdeki KOİ giderim veriminin zamanla değişimi görülmektedir. R2 fermentöründe ilk evrede KOİ giderimi ortalama % 40'lar mertebesinde gerçekleşirken R1'de ise mekanik arıza sebebiyle reaktörün bir süreliğine durdurulmasından dolayı KOİ gideriminde düşüş gözlenmiştir. II. evrede hidrolik bekletme süresi (HBS)'nin 10'güne çıkartılması birlikte her iki fermentörün performansında artışa neden olmuştur. Bu devrede her iki fermentörün KOİ giderimi % 50 seviyelerine kadar yükselmiştir. Bu durum, fermentörlerdeki bekletme süresinin uygun bir şekilde arttırılması neticesinde hidrojeni kullanan bakterilerin büyümesinin teşvik edilmesine ve ortamdaki hidrojenin kısmi basıncının azalmasıyla birlikte propiyonik asidin asetata dönüşmesine bağlanabilir [61], [62].

Fermentörlerin çıkış suyundaki çamur kaçışını önlemek için granüler çamurun kullanılmaya başlandığı III. evrede ise her iki biyoreaktörün KOİ giderme verimi % 60'lar seviyesine kadar yükselmiştir. IV. evrede % 50 oranında tekstil atıksu beslenmesi ile birlikte her iki fermentör de stabilitesini sürdürmüş ve KOİ gideriminde kısmi artışlar gözlenmiştir. V. evrede ise R1 ve R2 % 25 konsantre ile beslenmeye başlamıştır. Konsantrelerin beslenmesi fermentörlerin performansında hiçbir değişikliğe yol açmamıştır. Çalışmanın bundan sonraki evrelerinde biyoreaktörler öncelikle % 50

konsantre+% 50 sentetik atıksu ve daha sonra ise % 100 konsantre ile beslenmiş ve böylece adaptasyon çalışmaları tamamlanmıştır. Konsantre ile beslemelerin yapıldığı çalışmalar Bölüm 4.3.2’de görülmektedir.



Şekil 4.4 KOI giderime verimi

4.3.2 Konsantre ile gerçekleştirilen anaerobik arıtma çalışmaları

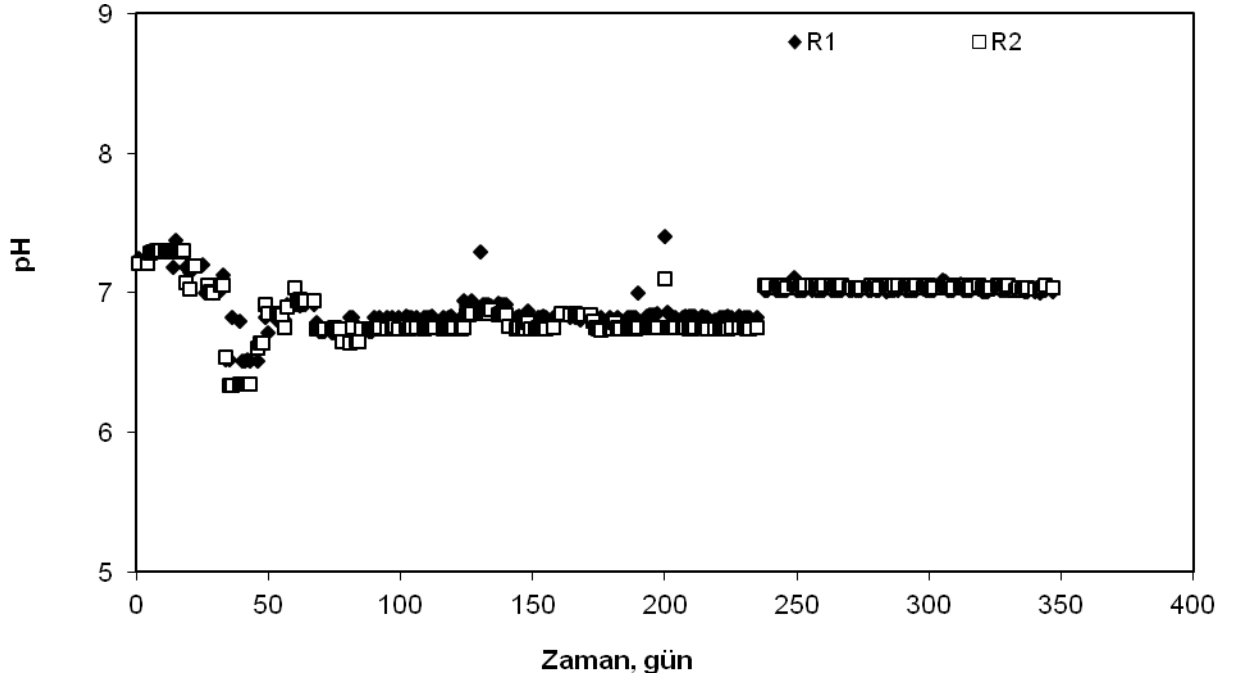
Sentetik besleme sonrası normal konsantre ile sistem beslenince KOİ giderim verimi dikkate alınarak yaklaşık 1 aylık süre sonunda sistemin inhibe ve arıtma işleminin başarısız olduğu görülmüştür. Sistemin tekrar devreye alınmasında sentetik atıksuda karbon kaynağı olarak glikoz kullanılmış ve KOİ değeri yaklaşık 5000 mg/l olarak ayarlanmıştır. Sentetik atıksu bileşimindeki diğer mikrobelerin, vitaminler ve tampon kimyasalların bileşimi Çizelge 4.3’ de görülmektedir. Sentetik atıksu ile başlatılan sisteme hemen konsantre beslemesi yapılmaya başlanmıştır. Sistemde sorunların olması sebebiyle aşı çamuru değiştirilmiştir. Bursa-Orhangazi’de bulunan Cargill firmasından temin edilen granüller çamur sisteme ilave edilmiştir. Cargill firmasından temin edilen granüller çamurun toplam katı maddesi 72934 mg/L ve uçucu askıda katı maddesi ise 57012 mg/L olarak analiz edilmiştir. Ayrıca, adaptasyon aşamasından farklı olarak bu aşamada sisteme belirli aralıklarla 5 dakika süreyle azot gazı verilmiştir.

Sistemin bu koşullar altında devreye alınması ile uzun süreli anaerobik arıtma gerçekleştirilebilmiştir.

Anaerobik fermentörlerde pH, sıcaklık, oksidasyon redüksiyon potansiyeli (ORP), alkalinite, uçucu yağ asitleri (UYA) ile alkalinite/UYA oranı işletme parametresi olarak izlenmiştir. Bu parametrelerin zamanla değişimleri Şekil 4.5-4.13' de sıra ile görülmektedir.

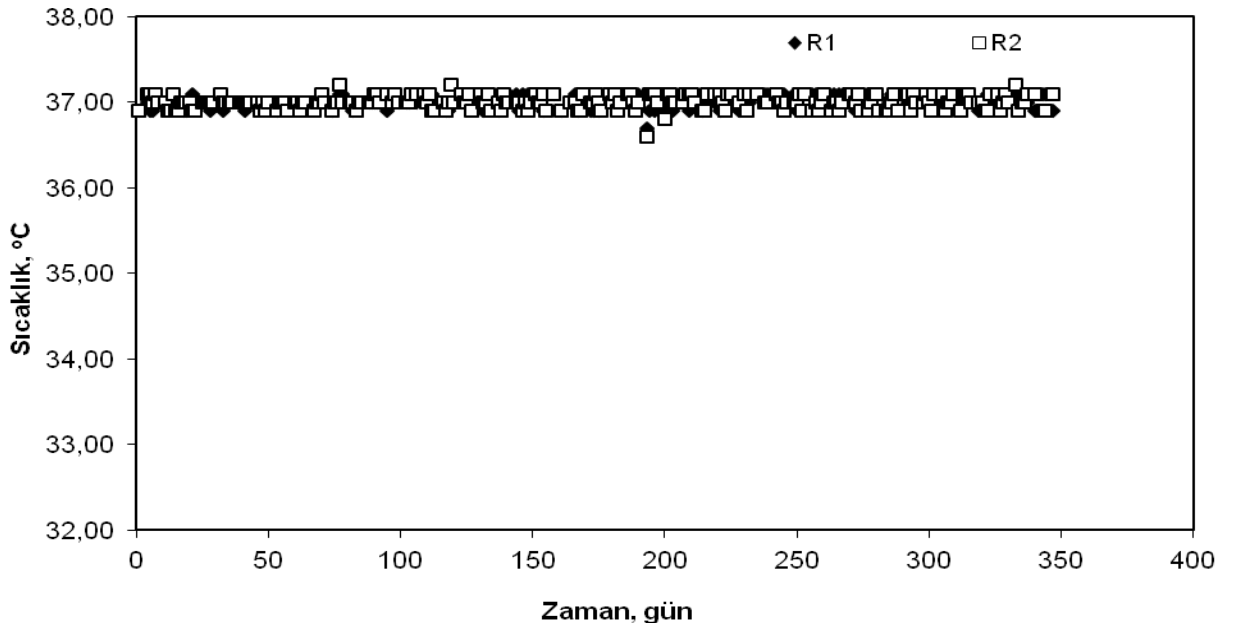
Şekil 4.5' den görüldüğü gibi işletme süresi boyunca, konsantre ile beslenen fermentörlerdeki pH değerleri adaptasyon aşamasındaki küçük sapmalar ve kısa süreli mekanik problemler haricinde daima stabil bir aralıkta olacak şekilde kontrol edilmiştir. Adaptasyon sürecini de içeren tüm çalışma zamanı içinde, R1 sisteminde (ozonlanmış konsantre ile beslenen) pH değerleri 6.13-7.90 arasında değişim göstermiş olup, bu sistemde ortalama pH değeri 6.94 mertebesinde tespit edilmiştir.

Benzer şekilde, R2 sisteminde (ozonlanmamış konsantre ile beslenen) pH değerleri 6.34-7.40 aralığında değişim göstermiş ve bu fermentör sisteminde ortalama pH değeri 6.92 olarak belirlenmiştir. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen on-line ölçümler ve otomatik kontrol sistemiyle fermentörlerin pH seviyeleri 7'de sabit tutulmaya çalışılmış olup, her iki fermentör sistemi için de ortalama pH değerleri anaerobik mikroorganizmaların faaliyetleri için gerekli olan optimum pH aralığı [62]. içerisinde sağlanmıştır.



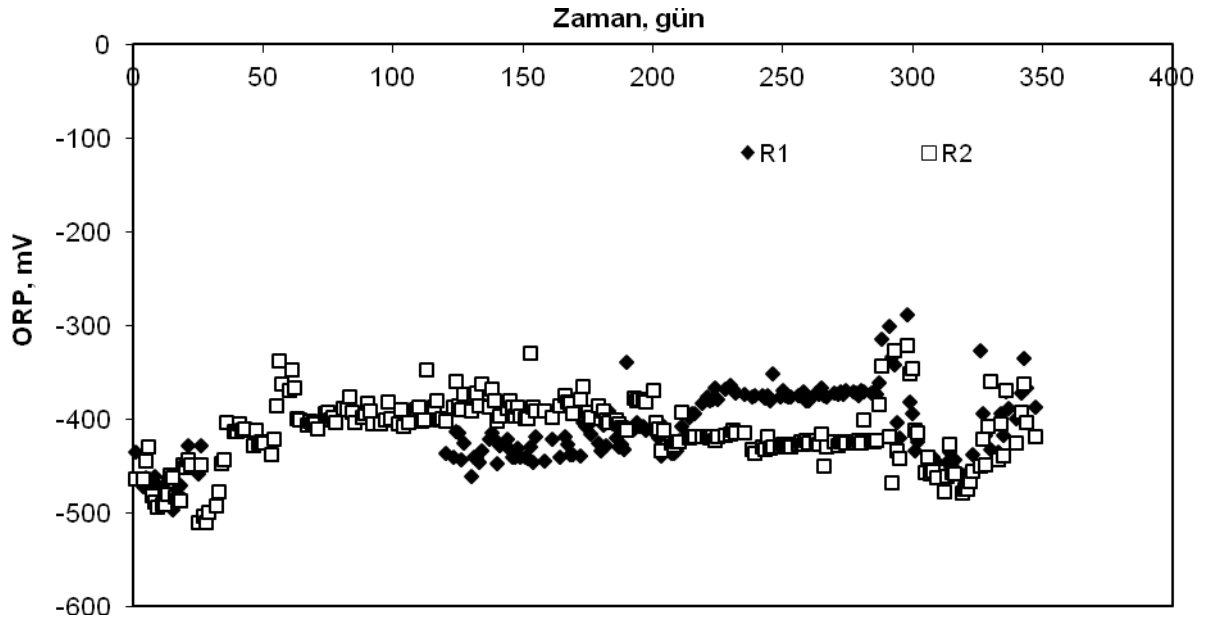
Şekil 4.5 pH'ın zamanla değişimi

Çalışma süresi boyunca işletme sıcaklığı fermentörlerdeki termostatlı ısıtma sistemi vasıtasıyla gece ve gündüz saatlerinde istenilen sıcaklık aralığında tutulmuştur. Fermentörler, 37°C'lik mezofilik sıcaklıkta işletilmiş ve sürekli bir şekilde kontrol edilmiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 Sıcaklığın zamanla değişimi

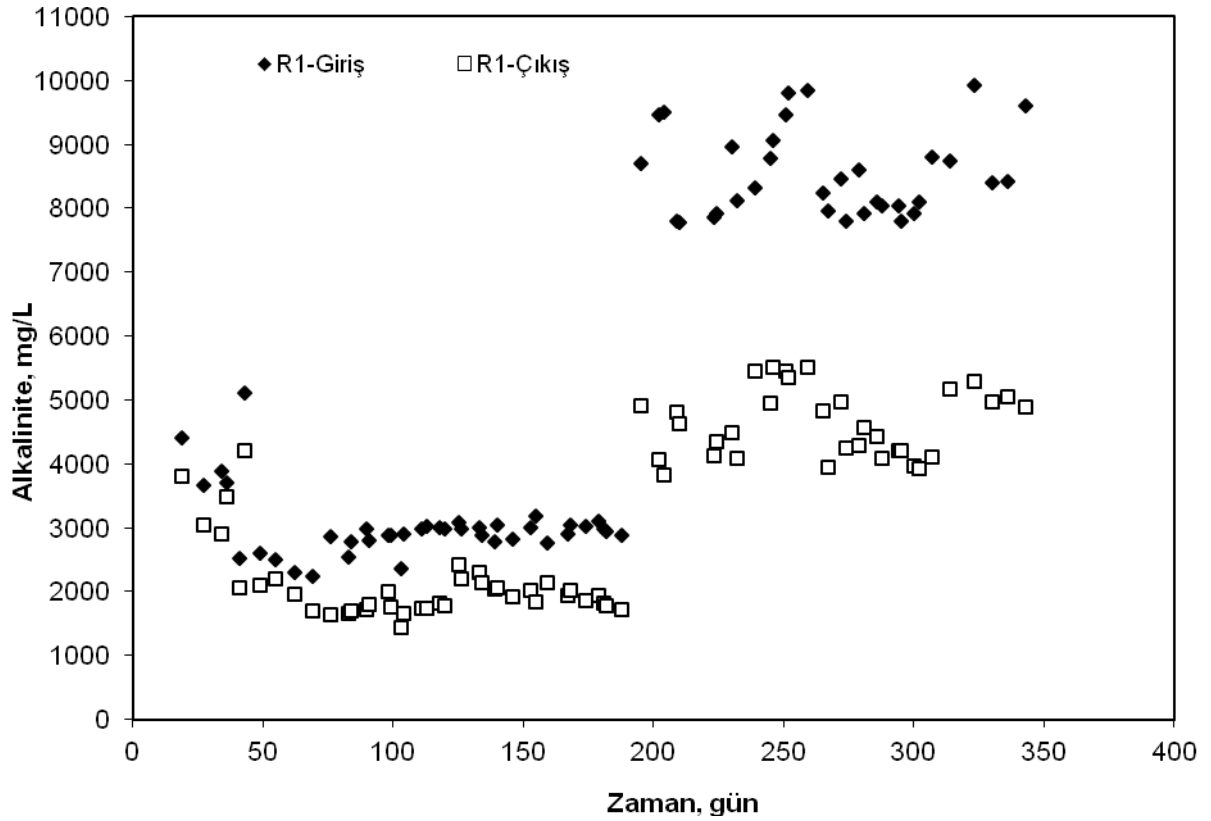
Şekil 4.7' den görüldüğü gibi, oksidasyon redüksiyon potansiyel (ORP) değeri R1 ve R2 fermentörlerinde ortalama -400 mV ve daha düşük seviyelerde tespit edilmiştir. Çalışma süresi boyunca, R1 fermentöründe (ozonlanmış konsantre ile beslenen) tespit edilen ORP değerleri -569 ile -287 mV arasında değişim göstermiş olup, R1 fermentöründeki ortalama ORP değeri -427 mV olarak tespit edilmiştir. Benzer şekilde, R2 fermentöründe (ozonlanmamış konsantre ile beslenen) tespit edilen ORP değerleri -610 ile -288 mV arasında ölçülmüş olup, R2 fermentöründeki ortalama ORP değeri -420 mV olarak bulunmuştur. Bu değerler, adaptasyon aşamasında olduğu gibi her iki fermentör sistemi içerisindeki ortamın anaerobik olduğunu doğrulamaktadır.



Şekil 4.7 ORP'nin zamanla değişimi

Şekil 4.8 ve 4.9' da, R1 (ozonlanmış konsantre ile beslenen) ve R2 (ozonlanmamış konsantre ile beslenen) fermentörlerindeki giriş ve çıkış alkalinite değişimleri gösterilmiştir. Çalışma süresi boyunca, R1 fermentöründe giriş alkalinite değerleri 2240-9840 mg CaCO_3/L arasında değişim göstermiş olup, R1 fermentörüne beslenen substratın ortalama alkalinite değeri 5513 mg CaCO_3/L olarak tespit edilmiştir. R1 sisteminin çıkışından alınan örneklerde alkalinite değerleri 1440-5520 mg CaCO_3/L arasında değişim göstermiş ve R1 fermentörü için ortalama çıkış alkalinite değeri 3240

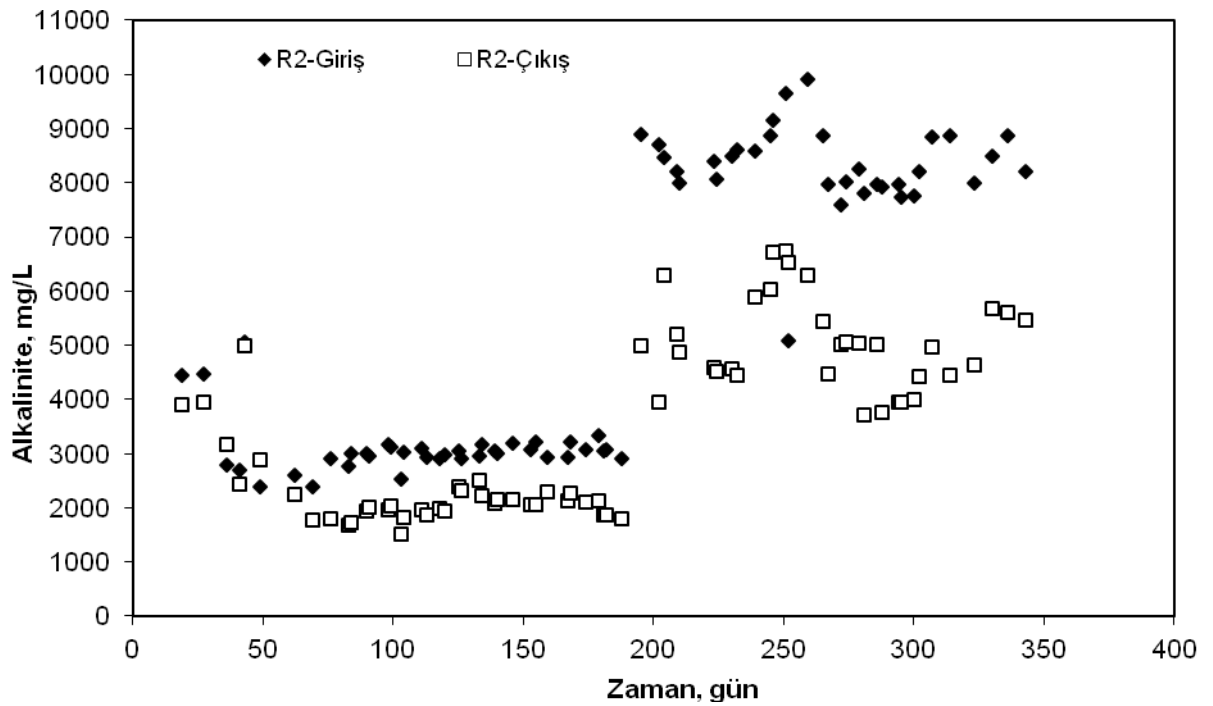
mg CaCO_3/L olarak bulunmuştur. Bu değerlere göre, çalışma boyunca R1 fermentöründeki alkalinite tüketimi %6-60 arasında ölçülmüş olup, tüm süreçteki ortalama alkalinite sarfiyatı %41 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.8).



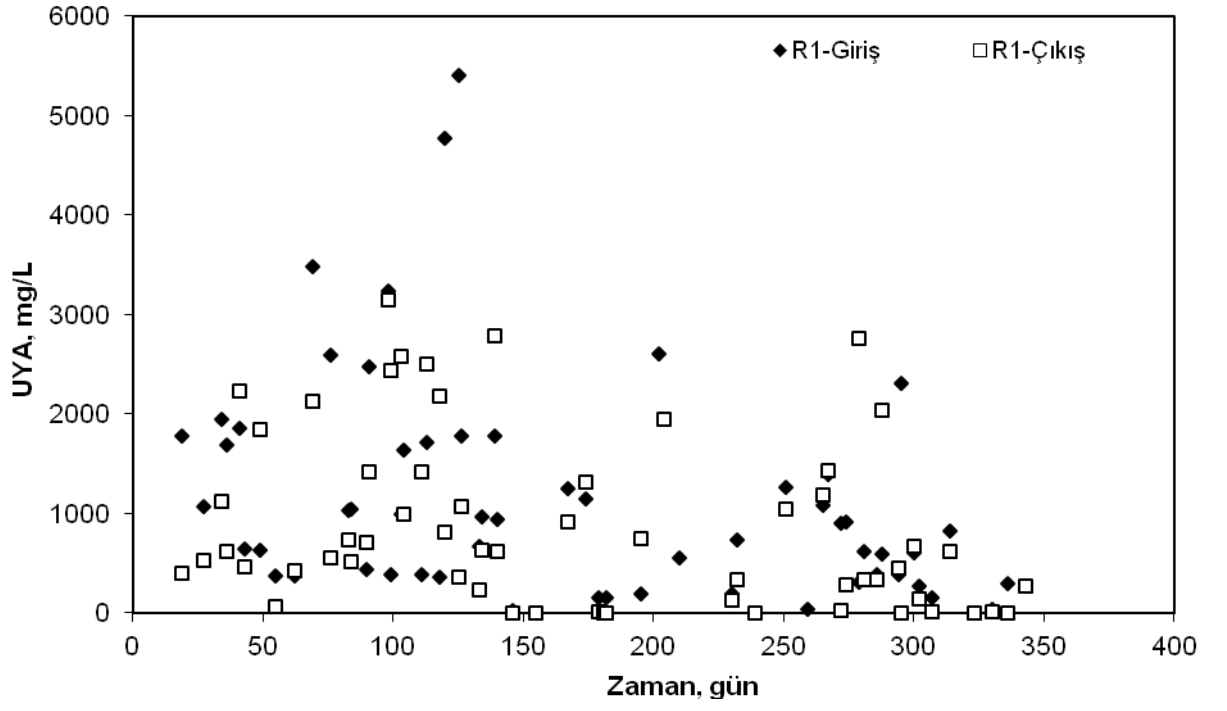
Şekil 4.8 Alkalinitenin R1’de zamanla değişimi

Çalışma süresi boyunca, R2 fermentöründe (ozonlanmamış konsantre ile beslenen) giriş alkalinite değerleri 2380-9920 mg CaCO_3/L arasında ölçülmüş olup, R2 fermentörüne beslenen substratın ortalama alkalinite değeri 5604 mg CaCO_3/L olarak belirlenmiştir. R2 sisteminin çıkışından alınan çıkış örneklerinde alkalinite değerleri 1520-6740 mg CaCO_3/L arasında değişim göstermiş ve R2 fermentörü için ortalama çıkış alkalinite değeri 3545 mg CaCO_3/L olarak bulunmuştur. Bu değerlere göre, çalışma boyunca ozonlanmış konsantre ile beslenen R2 fermentöründeki alkalinite tüketimi %10-55 arasında ölçülmüş olup, tüm süreçteki ortalama alkalinite sarfiyatı %37 olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.9).

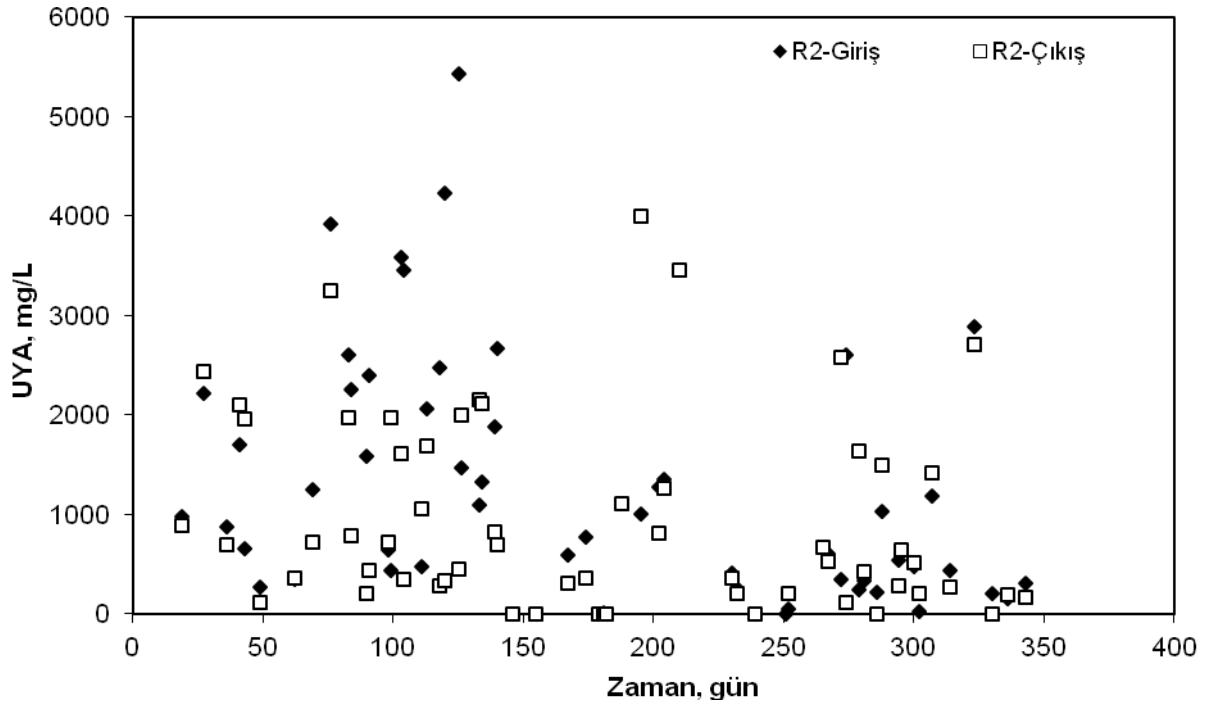
Deneysel sonuçlara göre, ozonlanmış konsantre ile beslenen R1 fermentöründe ozonlanmamış konsantre ile beslenen R2 fermentörüne göre ortalama alkalinite tüketimi biraz daha fazla bulunmuştur. Bu durum, fermentörlerdeki pH değerleri ve bu sistemlerden elde edilen biyogaz kompozisyonundaki ortalama karbondioksit muhtevaları açısından uygun görünmektedir. Alkalinitedeki azalmanın, fermentörlerdeki uçucu yağ asitlerinin tamponlanması ve stabil pH aralığının muhafaza edilmesi amacıyla gerçekleştiği düşünülmektedir [59].



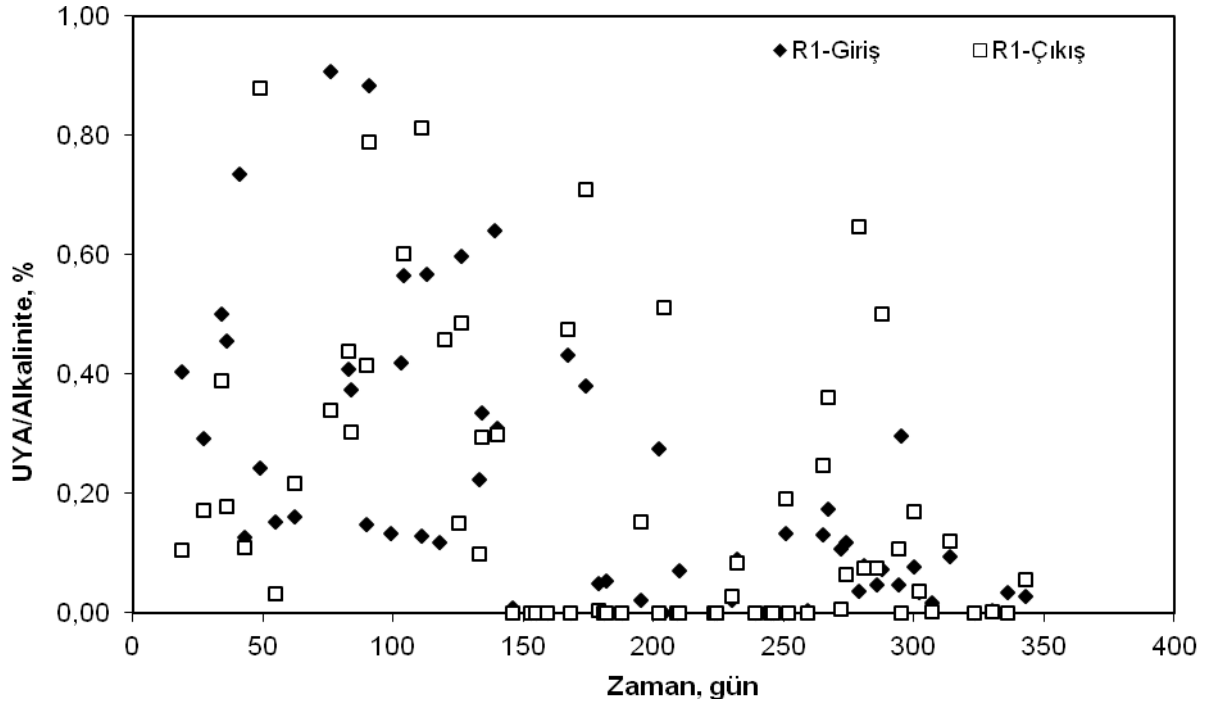
Şekil 4.9 Alkalinitenin R2’de zamanla değişimi



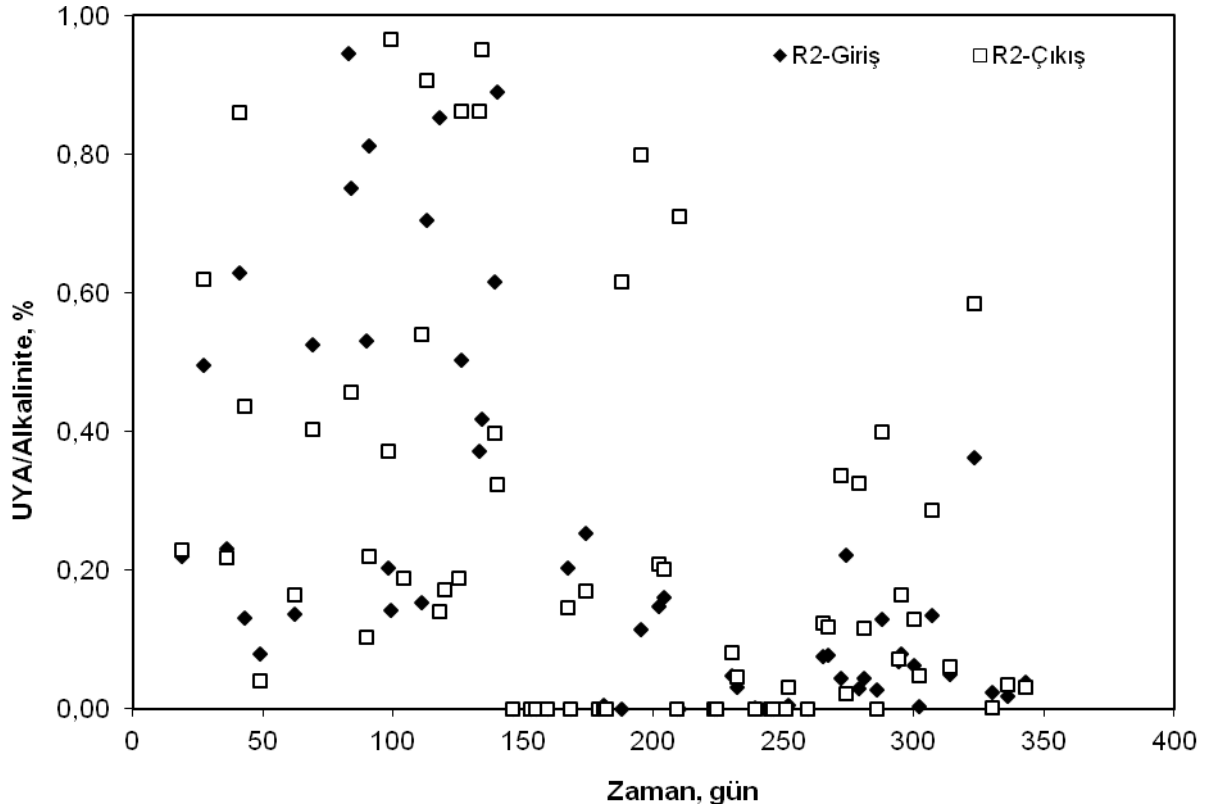
Şekil 4.10 UYA'nın R1'de zamanla değişimi



Şekil 4.11 UYA'nın R2'de zamanla değişimi



Şekil 4.12 UYA/Alkalinite oranının R1’de zamanla değişimi



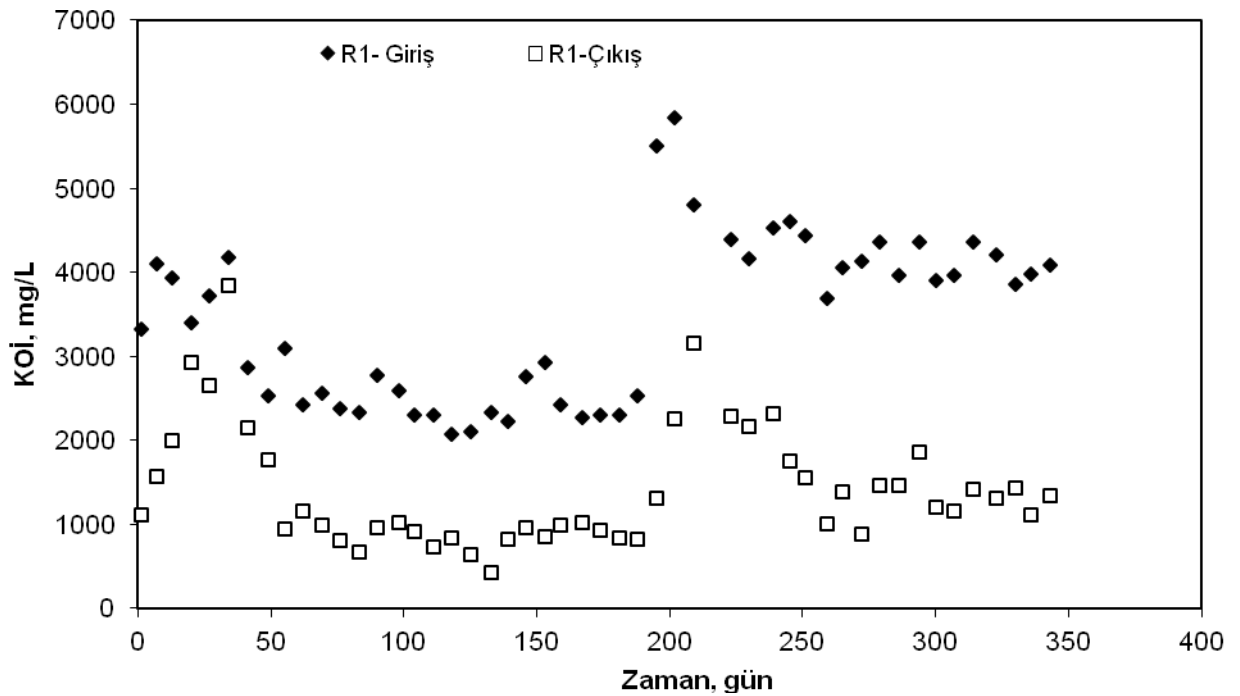
Şekil 4.13 UYA/Alkalinite oranının R2’de zamanla değişimi

Anaerobik arıtma sistemlerinde uçucu asit konsantrasyonunun artması önemli bir problemdir. Uçucu asit konsantrasyonlarının artmasının birkaç nedeni olabilir. Bunların muhtemel sebepleri; iz element, N ve P yetersizliği, organik yüklemenin metan bakterileri tarafından karşılanamaması, giriş suyu pH'ı ve alkalinitesinin düşüklüğüdür. Özellikle metan bakterilerinin çalışmasında bir aksama olduğunda basit organik maddeler asetik asit yerine propiyanat ve bütirat gibi daha kompleks uçucu asitlere dönüşür. Oluşan propiyanat ve bütiratın metan bakterileri tarafından metana dönüşüm oranı düşüktür. Bu yüzden arıtma çıkışında suda metana dönüşemeyen asitler bulunur. Ayrıca, organik yükleme fazla olduğunda bakteriler asetik asiti de yeteri kadar parçalayamazlar. Dolayısıyla çıkış suyunda uçucu yağ asiti miktarı artar. Uçucu yağ asiti konsantrasyonunun artması pH'ın azalmasına sebep olur. Bu da metan bakterilerinin çalışmasını olumsuz yönde etkiler. Hatta pH düşüşü devam ederse metanojenik faaliyet tamamen durur. Bu yüzden anaerobik arıtma sistemlerinde uçucu yağ asiti konsantrasyonu, sürekli izlenmesi gereken çok önemli bir parametredir. Uçucu yağ asiti konsantrasyonu arttığında pH'ın düşüşünü tamponlamak için alkalinitenin arttırılması ve yağ asiti konsantrasyonundaki bu artışın nedenlerinin araştırılması gereklidir. Bu da kâfi gelmediğinde organik yük azaltılır hatta gerektiğinde durdurulur. Uçucu yağ asidi/alkalinite oranının anaerobik arıtmada 0.1'in altında olması istenirken 0.3'e kadar sistem verimli çalışabilmektedir. Bu oran 0.3'den daha yüksek olursa sebeplerinin araştırılması ve problemin çözülmesi gereklidir [62], [63].

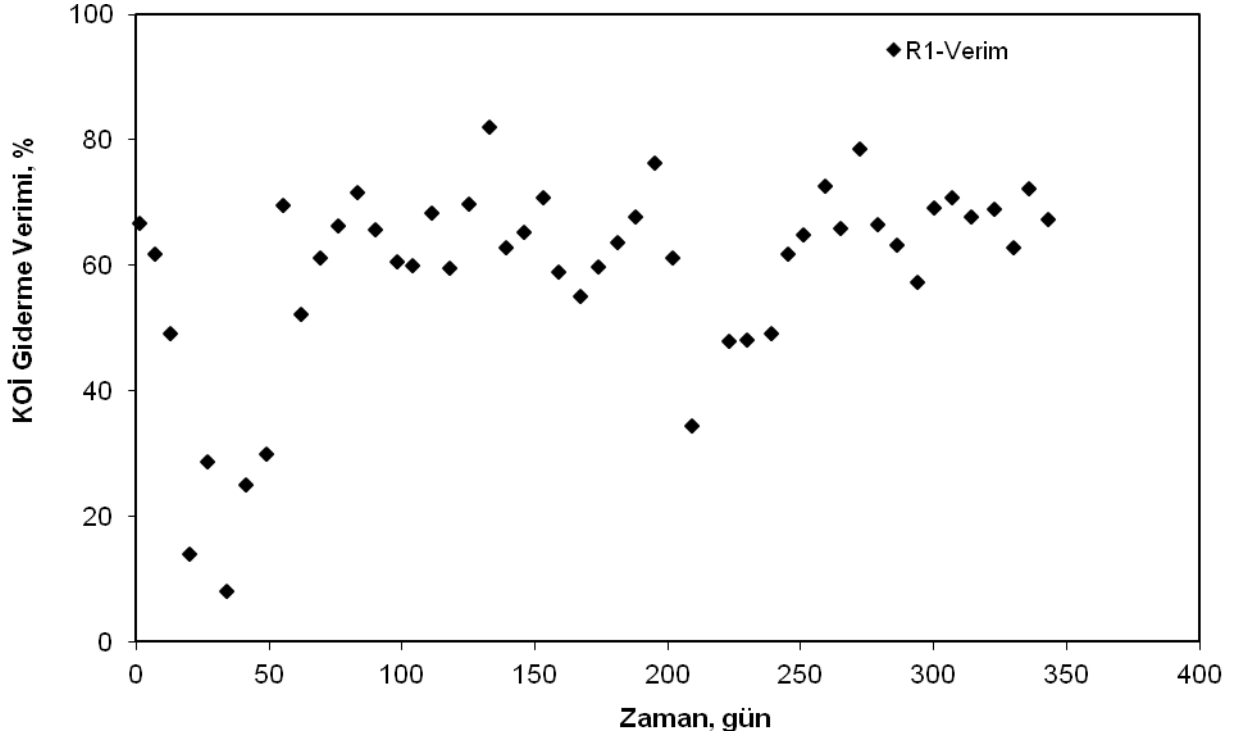
R1 ve R2 fermentörlerindeki UYA/Alkalinite oranı değişimleri sırasıyla Şekil 4.12'de ve Şekil 4.13'te görülmektedir. Her iki sistemde adaptasyon aşamasındaki kararsızlıklardan ötürü giriş ve çıkış UYA/Alkalinite oranlarında dalgalanmalar görülmüş olup, 0.8'in üzerinde yüksek değerler tespit edilmiştir. Ancak fermentör sistemleri stabil hale gelmeye başladığında UYA/Alkalinite oranları da kararlı hale gelmeye başlamış ve 0.2 ve düşük seviyelerde gözlenmiştir. İşletme sürecinin sonuna doğru UYA/Alkalinite oranlarının 0.1 ve daha düşük değerlerde elde edilmesi, R1 ve R2 fermentörlerinde anaerobik mikroorganizmalar için optimum şartların sağlandığını göstermektedir.

Bu çalışma kapsamında organik madde göstergesi olarak kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), çözünmüş kimyasal oksijen ihtiyacı (ÇKOİ), biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ₅), toplam organik karbon (TOK) ve uçucu katı madde (UKM) parametreleri analiz edilmiştir. KOİ, BOİ₅ ve TOK parametrelerinin zamanla değişimi Şekil 4.14-4.29 arasında sırasıyla görülmektedir.

R1 (ozonlanmış konsantre ile beslenen) fermentörü için giriş ve çıkış KOİ konsantrasyonlarının ve KOİ giderme veriminin zamanla değişimleri Şekil 4.14 ve 4.15'te gösterilmiştir. Çalışma süresi boyunca, R1 fermentöründe giriş KOİ değerleri 2080-5835 mg/L arasında değişim göstermiş olup, R1 fermentörüne beslenen substratın ortalama KOİ konsantrasyonu 3400 mg/L olarak tespit edilmiştir. R1 sisteminin çıkışından alınan örneklerde KOİ değerleri 421-3840 mg/L arasında değişim göstermiş ve R1 fermentörü için ortalama çıkış KOİ değeri 1420 mg/L olarak bulunmuştur (Şekil 4.14). Bu değerlere göre, çalışma boyunca ozonlanmış konsantre ile beslenen R1 fermentöründeki KOİ giderme verimleri %8-82 arasında ölçülmüş olup, tüm süreçteki ortalama KOİ giderme verimi %59 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.15).



Şekil 4.14 KOİ'nin R1'de zamanla değişimi

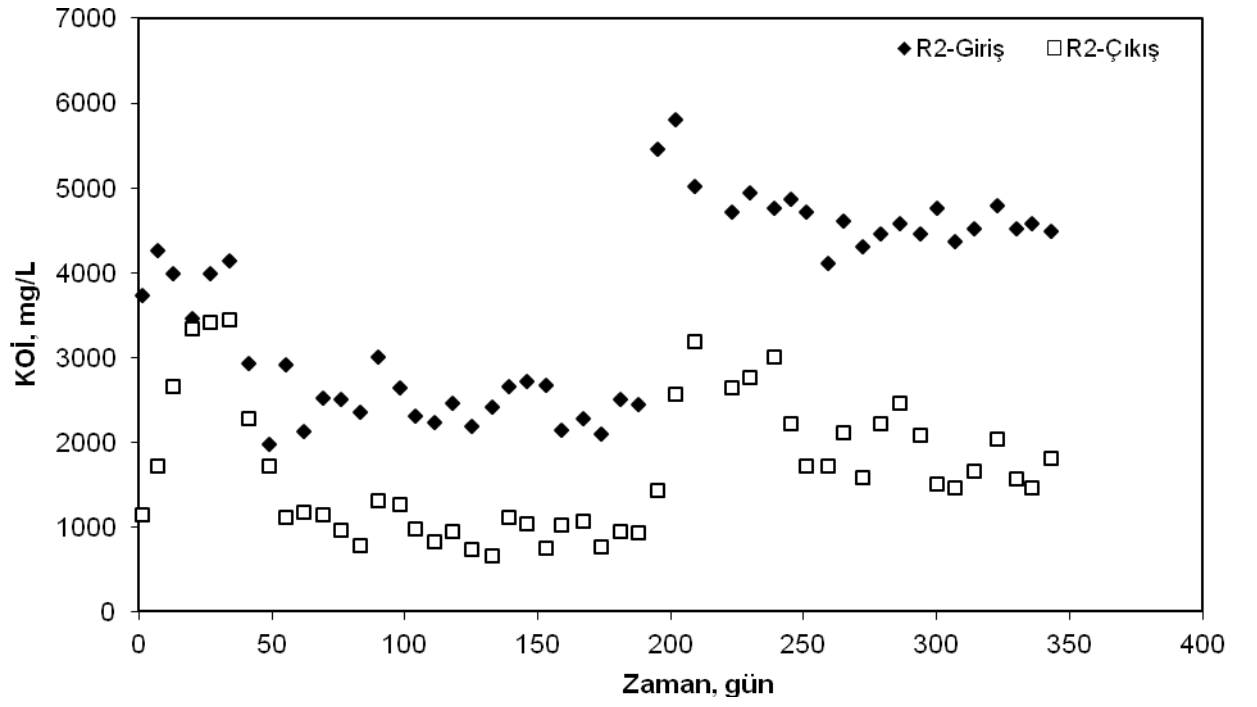


Şekil 4.15 KOİ giderme veriminin R1'de zamanla değişimi

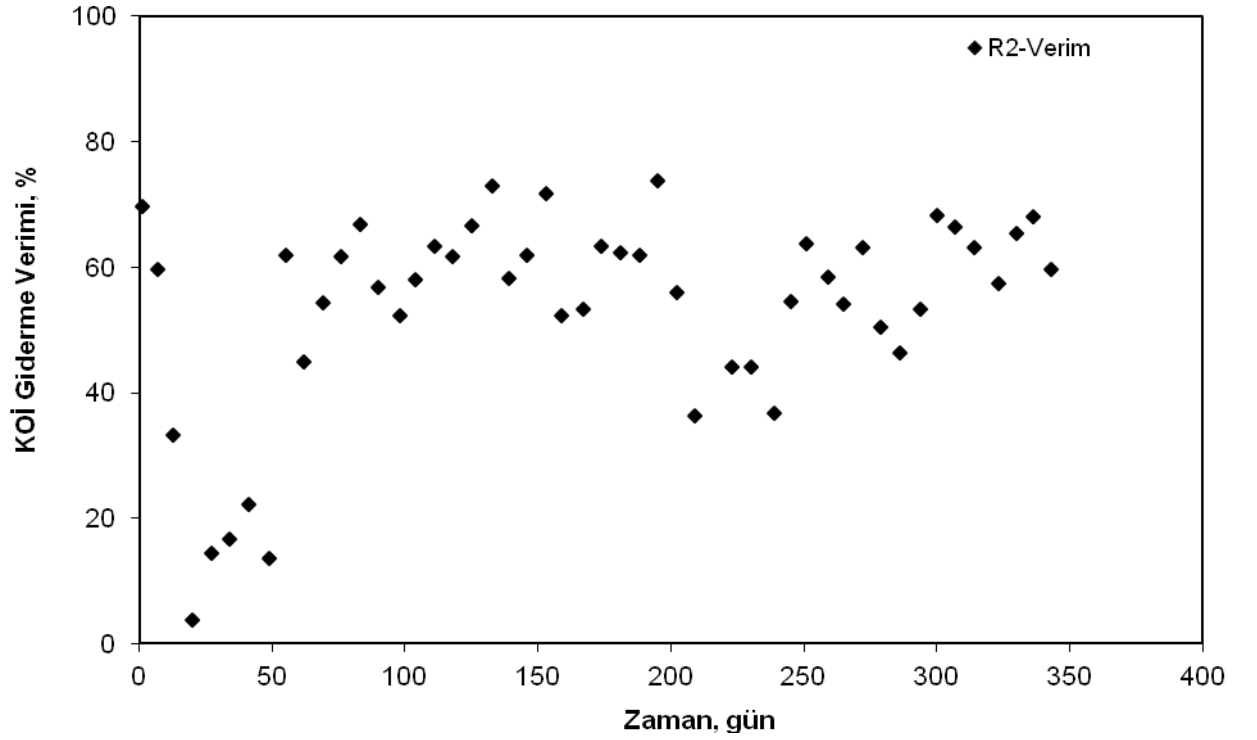
R2 (ozonlanmamış konsantre ile beslenen) fermentörü için giriş ve çıkış KOİ konsantrasyonlarının ve KOİ giderme veriminin zamanla değişimleri Şekil 4.16 ve 4.17' de gösterilmiştir.

Deney süresi boyunca, R2 fermentöründe giriş KOİ değerleri 1977-5810 mg/L arasında ölçülmüş olup, R2 fermentörüne beslenen substratın ortalama KOİ konsantrasyonu 3538 mg/L olarak belirlenmiştir. R2 sisteminin çıkışından alınan atıksu numunelerinin KOİ değerleri 650-3443 mg/L arasında bulunmuş ve R2 fermentörü için ortalama çıkış KOİ değeri 1684 mg/L olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.16). Ölçüm değerlerine göre, çalışma boyunca ozonlanmamış konsantre ile beslenen R2 fermentöründeki KOİ giderme verimleri %4-74 arasında belirlenmiş ve tüm süreçteki ortalama KOİ giderme verimi %54 olarak bulunmuştur (Şekil 4.17).

Fermentör sistemleri için ortalama KOİ giderme verimleri göz önüne alındığında ozonla işlem görmüş konsantre ile beslenen R1 fermentörünün KOİ giderim performansı, ozonlanmamış konsantre ile beslenen R2 fermentöründen yaklaşık %5 daha fazla tespit edilmiştir.



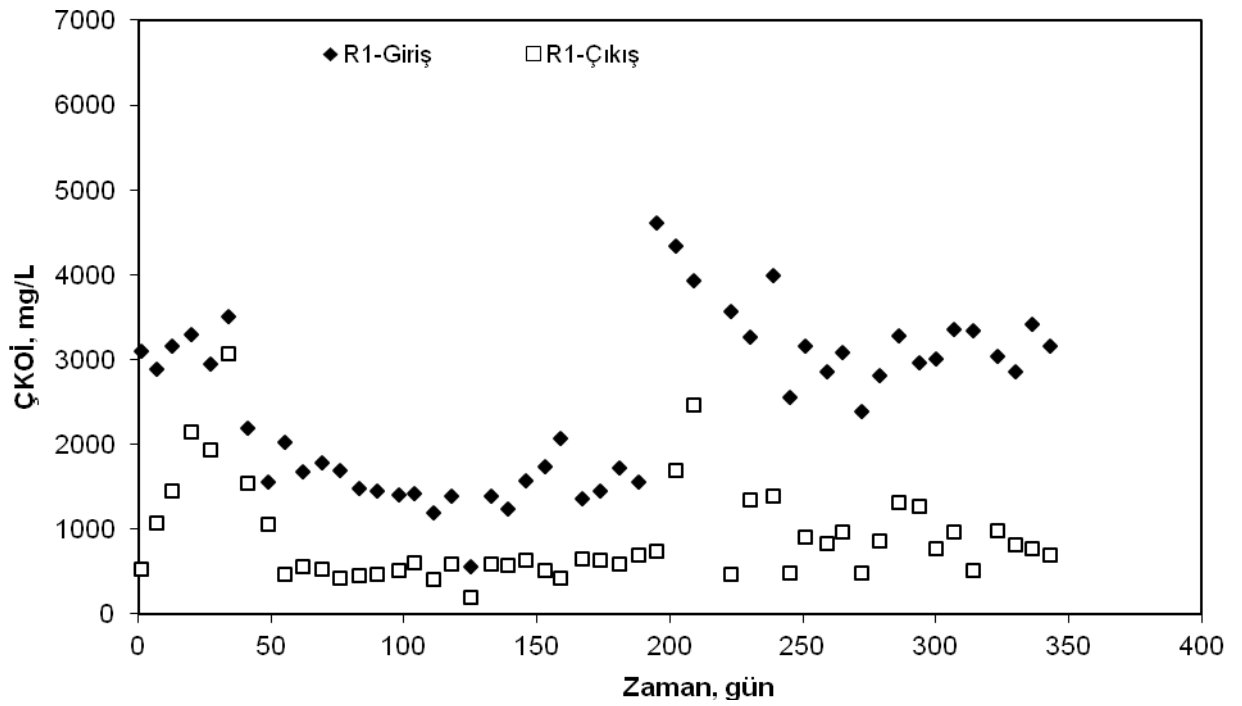
Şekil 4.16 KOİ'nin R2'de zamanla değişimi



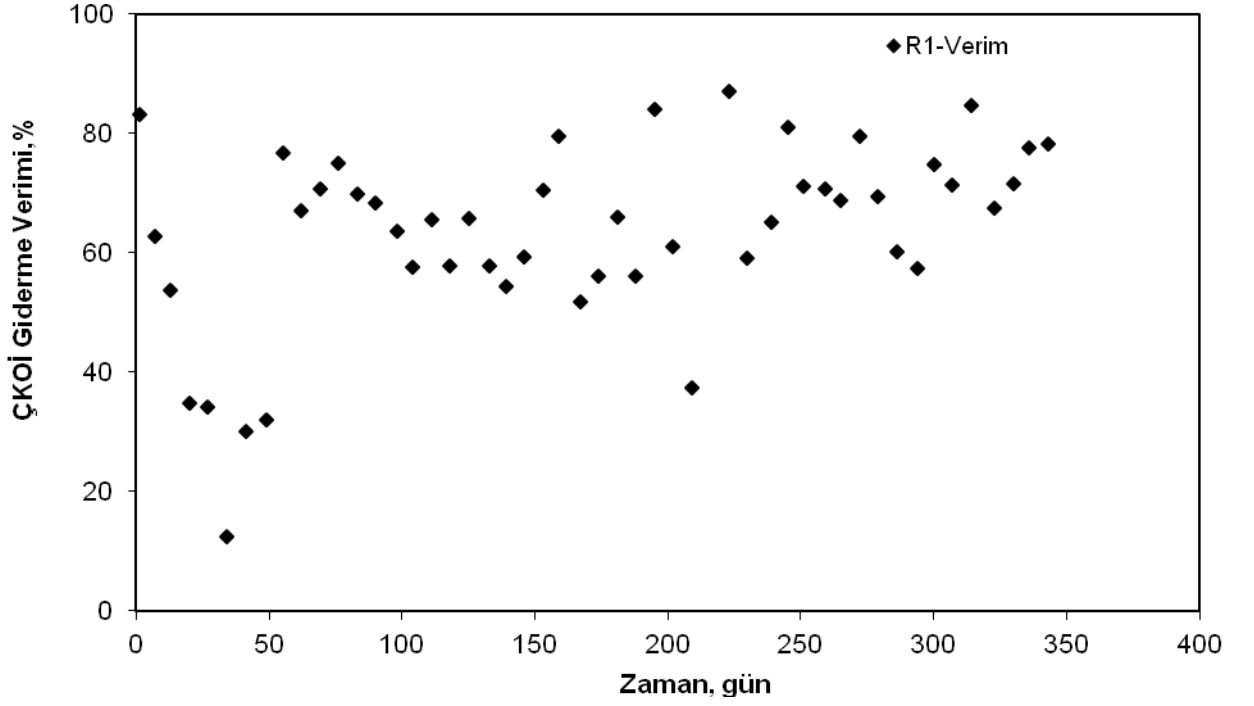
Şekil 4.17 KOİ giderme veriminin R2'de zamanla değişimi

R1 (ozonlanmış konsantre ile beslenen) fermentörü için giriş ve çıkış ÇKOİ konsantrasyonlarının ve ÇKOİ giderme veriminin zamanla değişimleri Şekil 4.18 ve 4.19'

da gösterilmiştir. Çalışma süresi boyunca, R1 fermentöründe giriş ÇKOİ değerleri 561-4610 mg/L arasında değişim göstermiş olup, R1 fermentörüne beslenen substratın ortalama ÇKOİ konsantrasyonu 2441 mg/L olarak tespit edilmiştir. R1 sisteminin çıkışından alınan örneklerde ÇKOİ değerleri 191-3074 mg/L arasında değişim göstermiş ve R1 fermentörü için ortalama çıkış ÇKOİ değeri 905 mg/L olarak bulunmuştur (Şekil 4.18). Bu değerlere göre, çalışma boyunca R1 fermentöründeki ÇKOİ giderme verimleri %12-87 arasında ölçülmüş olup, tüm süreçteki ortalama ÇKOİ giderme verimi %64 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.19).



Şekil 4.18 ÇKOİ'nin R1'de zamanla değişimi



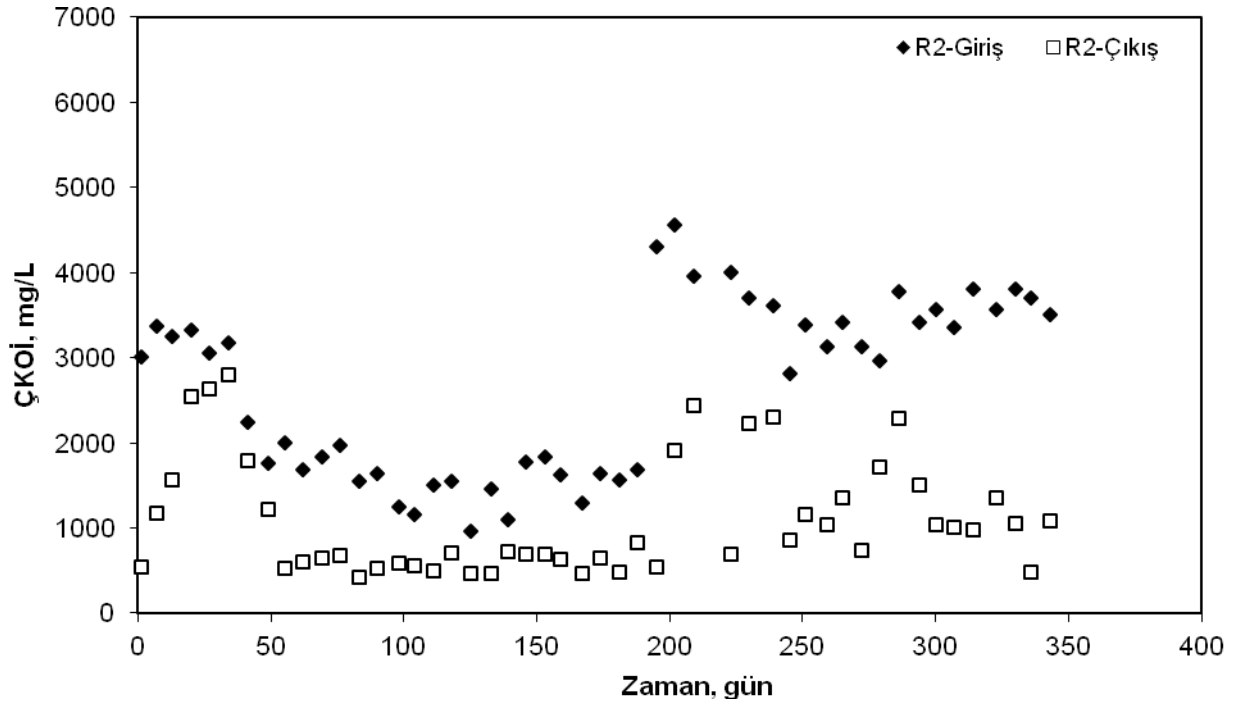
Şekil 4.19 ÇKOİ giderme veriminin R1’de zamanla değişimi

R2 (ozonlanmamış konsantre ile beslenen) fermentörü için giriş ve çıkış ÇKOİ konsantrasyonlarının ve ÇKOİ giderme veriminin zamanla değişimleri Şekil 4.20 ve 4.21’de gösterilmiştir. Deney süresi boyunca, R2 fermentöründe giriş ÇKOİ değerleri 970-4560 mg/L arasında ölçülmüş olup, R2 fermentörüne beslenen substratın ortalama ÇKOİ konsantrasyonu 2524 mg/L olarak belirlenmiştir. R2 sisteminin çıkışından alınan atıksu numunelerinin ÇKOİ değerleri 420-2793 mg/L arasında bulunmuş ve R2 fermentörü için ortalama çıkış ÇKOİ değeri 1114 mg/L olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.20). Ölçüm değerlerine göre, çalışma boyunca ozonlanmamış konsantre ile beslenen R2 fermentöründeki ÇKOİ giderme verimleri %12-88 arasında belirlenmiş ve tüm süreçteki ortalama ÇKOİ giderme verimi %58 olarak bulunmuştur (Şekil 4.21).

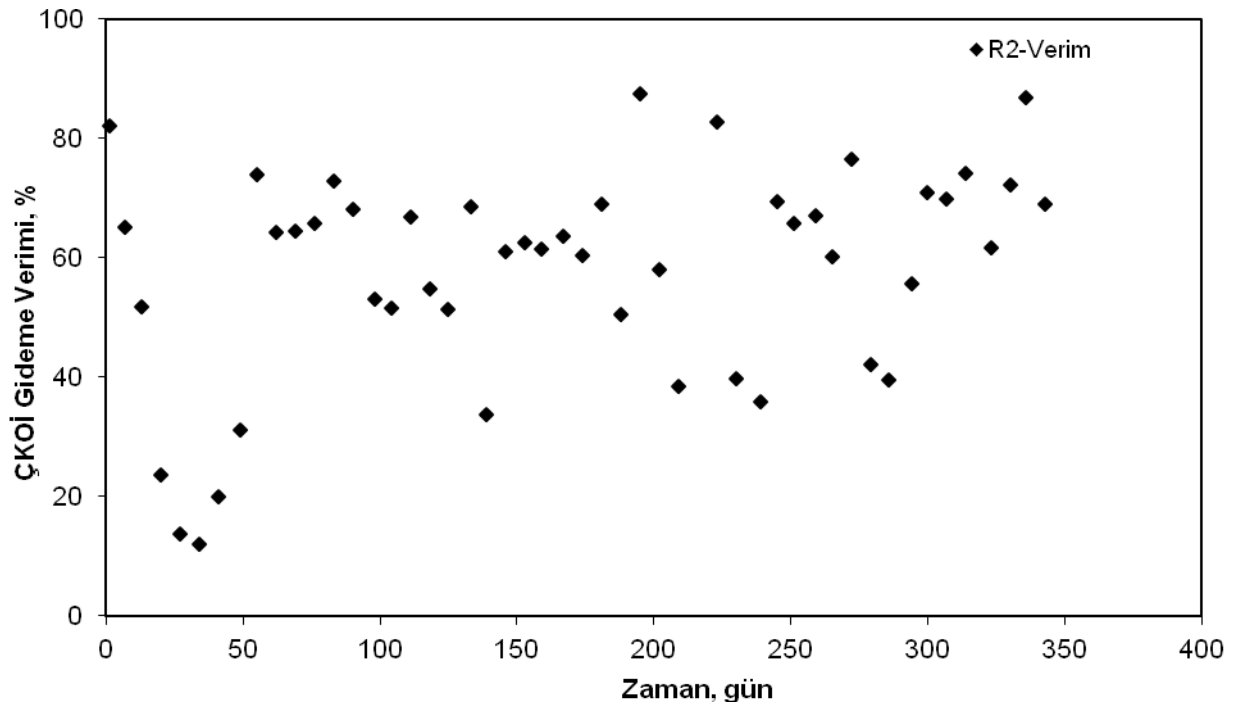
Fermentör sistemleri için ortalama ÇKOİ giderme verimleri göz önüne alındığında ozonla işlem görmüş konsantre ile beslenen R1 fermentörünün ÇKOİ giderim performansı, ozonlanmamış konsantre ile beslenen R2 fermentöründen yaklaşık %6 daha fazla olarak belirlenmiştir.

R1 ve R2 fermentör sistemleri için ortalama giriş KOİ ve ÇKOİ değerleri dikkate alındığında fermentörlere beslenen konsantrelerin ÇKOİ değerinin, ortalama giriş KOİ

değerine oranı R1 ve R2 sistemleri için sırasıyla %71.7 ve %71.3 olarak tespit edilmiştir. Bu durum, giriş numunelerindeki çözünmüş maddelerin toplam fraksiyon içerisinde önemli bir yere sahip olduğunu göstermektedir.

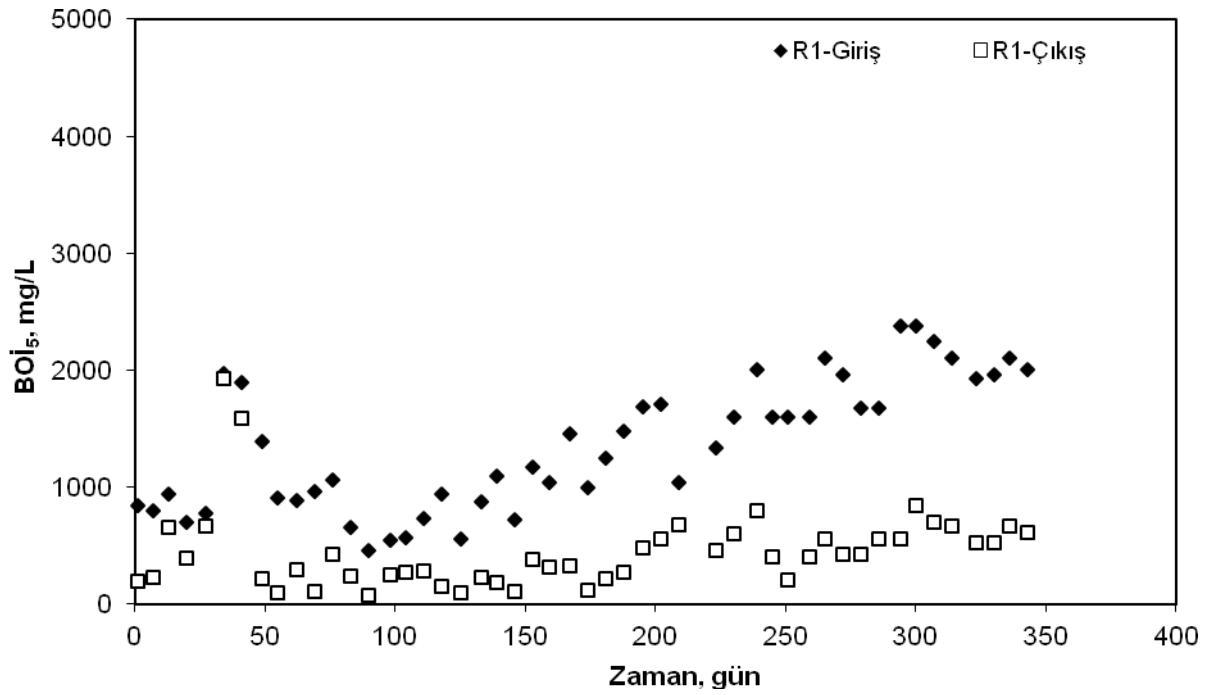


Şekil 4.20 ÇKOİ'nin R2'de zamanla değişimi

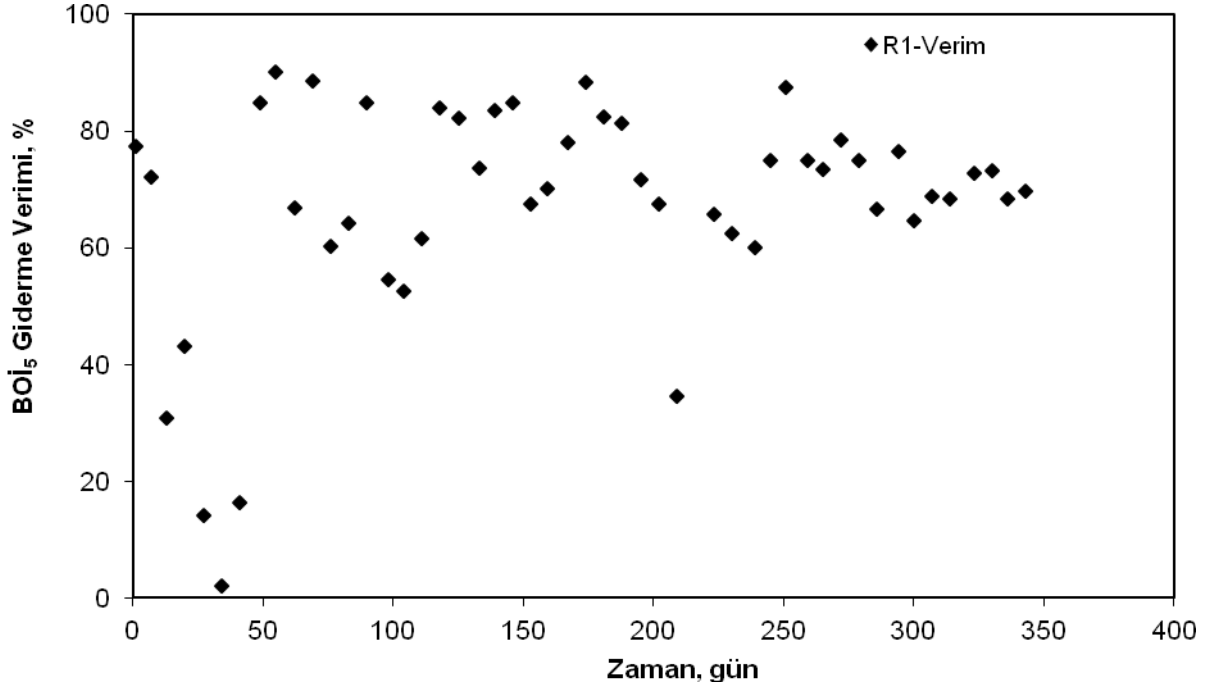


Şekil 4.21 ÇKOİ giderme veriminin R2'de zamanla değişimi

R1 (ozonlanmış konsantre ile beslenen) fermentörü için giriş ve çıkış BOI_5 konsantrasyonlarının ve BOI_5 giderme veriminin zamanla değişimleri Şekil 4.22 ve 4.23'te gösterilmiştir. Çalışma süresi boyunca, R1 fermentöründe giriş BOI_5 değerleri 460-2380 mg/L arasında değişim göstermiş olup, R1 fermentörüne beslenen substratın ortalama BOI_5 konsantrasyonu 1354 mg/L olarak tespit edilmiştir. R1 sisteminin çıkışından alınan örneklerde BOI_5 değerleri 70-1930 mg/L arasında değişim göstermiş ve R1 fermentörü için ortalama çıkış BOI_5 değeri 447 mg/L olarak bulunmuştur (Şekil 4.22). Çalışma boyunca R1 fermentöründeki maksimum BOI_5 giderme verimi %2-90 olarak ölçülmüş olup, tüm süreçteki ortalama BOI_5 giderme verimi %67 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.23).



Şekil 4.22 BOI_5 'nin R1'de zamanla değişimi



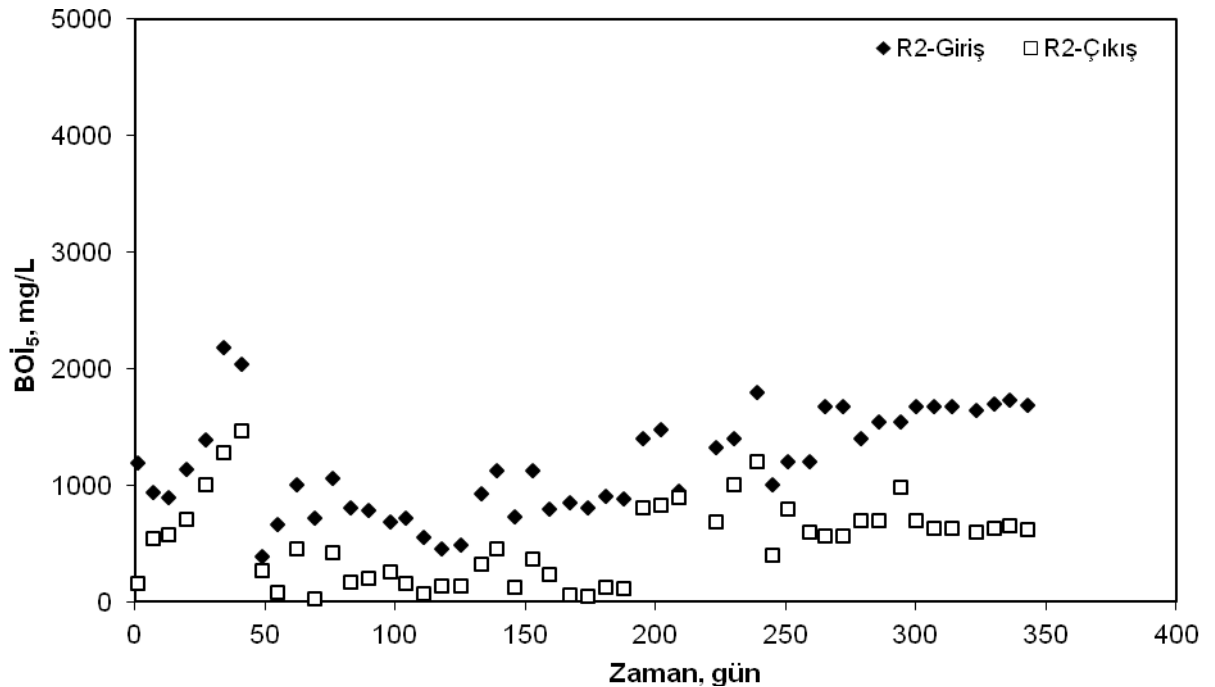
Şekil 4.23 BOI₅ giderme veriminin R1’de zamanla değişimi

R2 (ozonlanmamış konsantre ile beslenen) fermentörü için giriş ve çıkış BOI₅ konsantrasyonlarının ve BOI₅ giderme veriminin zamanla değişimleri Şekil 4.24 ve 4.25’ de gösterilmiştir. Deney süresi boyunca, R2 fermentöründe giriş BOI₅ değerleri 390-2185 mg/L arasında ölçülmüş olup, R2 fermentörüne beslenen substratın ortalama BOI₅ konsantrasyonu 1177 mg/L olarak belirlenmiştir. R2 sisteminin çıkışından alınan atıksu numunelerinin BOI₅ değerleri 25-1465 mg/L arasında bulunmuş ve R2 fermentörü için ortalama çıkış BOI₅ değeri 514 mg/L olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.24). Ölçüm değerlerine göre, çalışma boyunca ozonlanmamış konsantre ile beslenen R2 fermentöründeki BOI₅ giderme verimleri %5-97 arasında belirlenmiş ve tüm süreçteki ortalama BOI₅ giderme verimi %59 olarak bulunmuştur (Şekil 4.25).

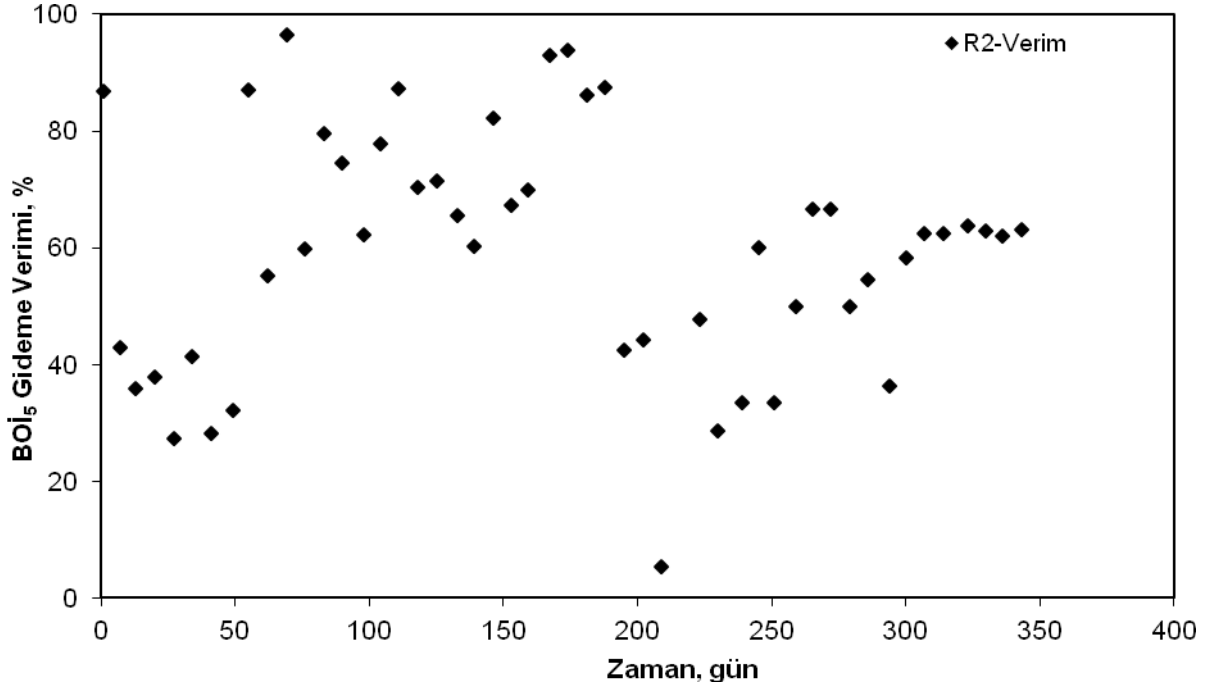
Fermentör sistemleri için ortalama BOI₅ giderme verimleri göz önüne alındığında ozonla işlem görmüş konsantre ile beslenen R1 fermentörünün BOI₅ giderim performansı, ozonlanmamış konsantre ile beslenen R2 fermentöründen yaklaşık %8 daha fazla olarak belirlenmiştir.

Besleme sıvısının BOI₅ değeri özellikle sisteme beslenen atığın biyolojik olarak parçalanabilirliğinin belirlenmesi açısından oldukça önem taşımaktadır. BOI₅/KOİ oranı

biyolojik parçalanabilirlik indeksi olarak bilinmekte olup bu değerin 0.5'e yakın veya daha üzerinde olması, söz konusu atığın biyolojik olarak parçalanabilirliğinin yüksek olduğunu göstermektedir [59]. Ortalama giriş konsantrasyonları göz önüne alındığında, R1 ve R2 sistemleri için giriş BOI_5/KOI oranları sırasıyla 0.39 ve 0.33 olarak belirlenmiş olup, bu değerler fermentörlere beslenen konsantrenin biyolojik parçalanabilirliğinin düşük olduğunu göstermektedir. Ortalama çıkış konsantrasyonları için R1 ve R2 sistemlerindeki çıkış BOI_5/KOI oranları sırasıyla 0.32 ve 0.31 elde edilmiştir. Bu sonuçlar, arıtma sonrasında daha düşük bir biyolojik parçalanabilirlik indeksinin elde edildiğini göstermektedir. Ancak, biyolojik parçalanabilirlik indeksindeki bu azalma, konsantreye nazaran çok daha kolay parçalanabilen tavuk atıklarının havasız çamur yataklı reaktörde arıtılması [59] neticesinde elde edilen BOI_5/KOI oranındaki azalmaya göre (örneğin arıtma sonrası, 0.50'den 0.22'ye düşüş) çok daha az bir değerde belirlenmiştir. Bu durumun, sisteme beslenen atığın karakterizasyonu, biyolojik parçalanabilirlik özelliği, uygulanan reaktör konfigürasyonu ve işletme koşullarındaki farklılıklarla ilgili olduğu düşünülmektedir.

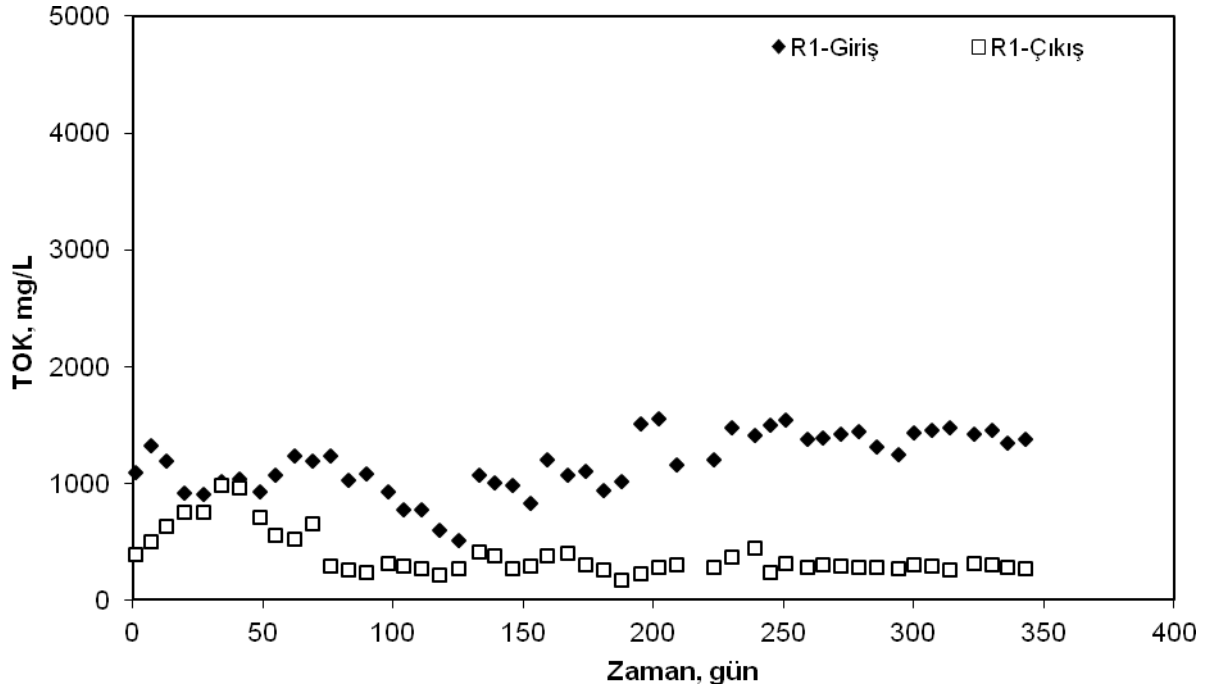


Şekil 4.24 BOI_5 'nin R2'de zamanla değişimi

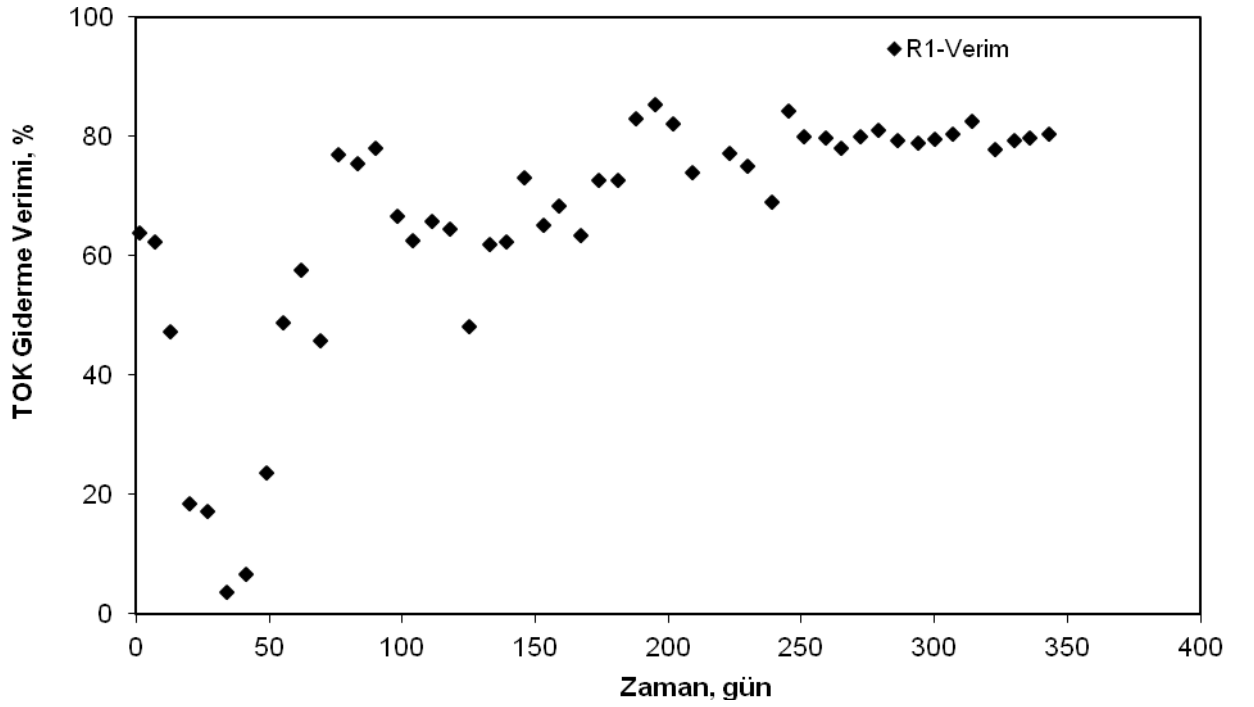


Şekil 4.25 BOI₅ giderme veriminin R2’de zamanla değişimi

R1 (ozonlanmış konsantre ile beslenen) fermentörü için giriş ve çıkış TOK konsantrasyonlarının ve TOK giderme veriminin zamanla değişimleri Şekil 4.26 ve 4.27’de gösterilmiştir. Çalışma süresi boyunca, R1 fermentöründe giriş TOK değerleri 508-1551 mg/L arasında değişim göstermiş olup, R1 fermentörüne beslenen substratın ortalama TOK konsantrasyonu 1172 mg/L olarak tespit edilmiştir. R1 sisteminin çıkışından alınan örneklerde TOK değerleri 171-978 mg/L arasında değişim göstermiş ve R1 fermentörü için ortalama çıkış TOK değeri yaklaşık 375 mg/L olarak bulunmuştur (Şekil 4.26). Bu değerlere göre, çalışma boyunca R1 fermentöründeki TOK giderme verimleri %4-85 arasında ölçülmüş olup, tüm süreçteki ortalama TOK giderme verimi %66 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.27).



Şekil 4.26 TOK'un R1'de zamanla değişimi

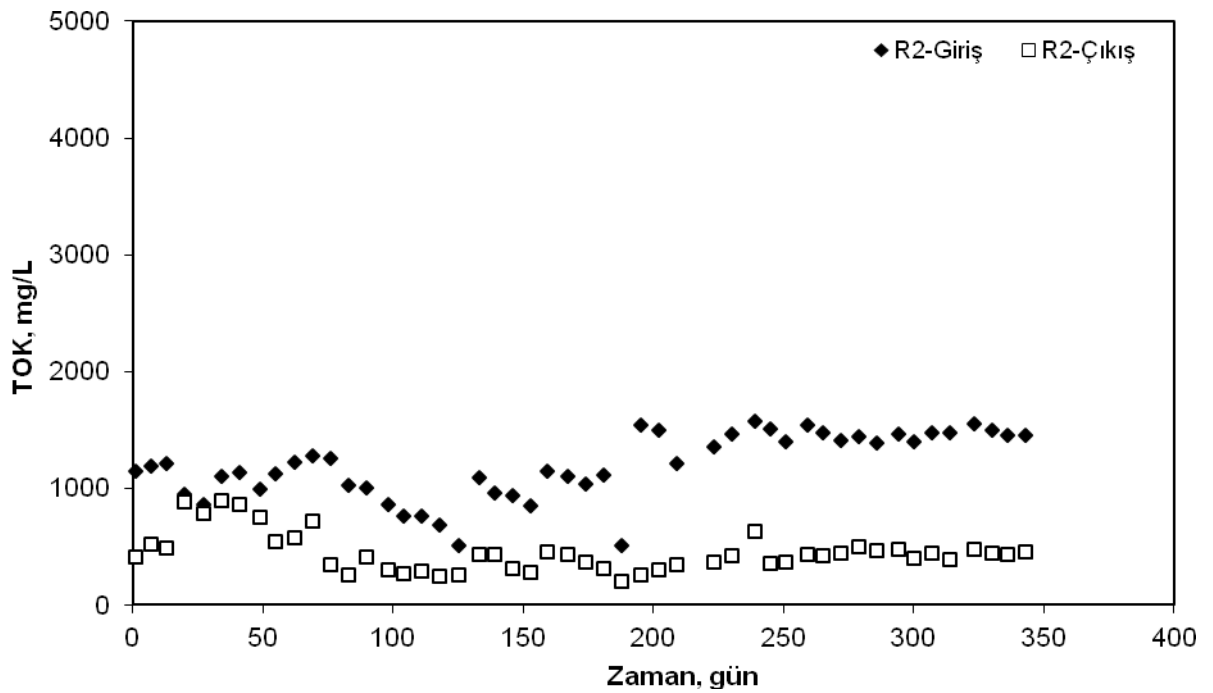


Şekil 4.27 TOK giderme veriminin R1'de zamanla değişimi

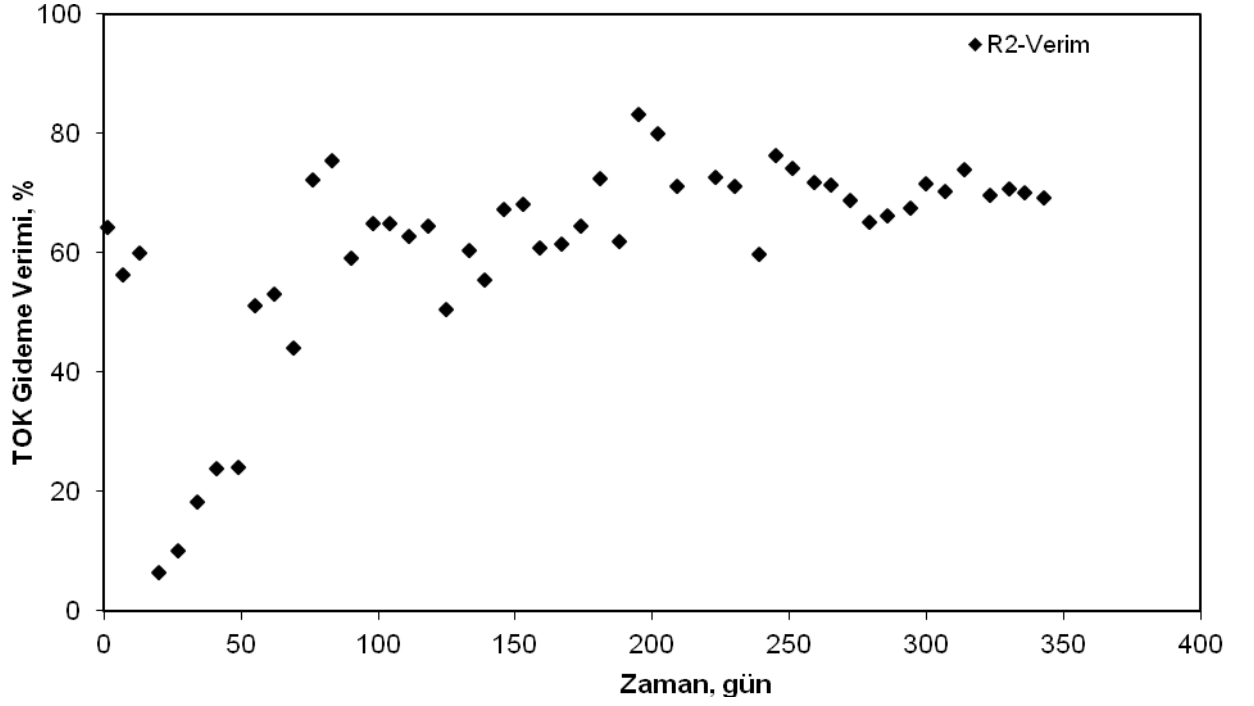
R2 (ozonlanmamış konsantre ile beslenen) fermentörü için giriş ve çıkış TOK konsantrasyonlarının ve TOK giderme veriminin zamanla değişimleri Şekil 4.28 ve 4.29'da gösterilmiştir. Deney süresi boyunca, R2 fermentöründe giriş TOK değerleri 508-

1570 mg/L arasında ölçülmüş olup, R2 fermentörüne beslenen substratın ortalama TOK konsantrasyonu 1189 mg/L olarak belirlenmiştir. R2 sisteminin çıkışından alınan atıksu numunelerinin TOK değerleri 194-895 mg/L arasında bulunmuş ve R2 fermentörü için ortalama çıkış TOK değeri 443 mg/L olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.28). Ölçüm değerlerine göre, çalışma boyunca ozonlanmamış konsantre ile beslenen R2 fermentöründeki TOK giderme verimleri %6-83 arasında belirlenmiş ve tüm süreçteki ortalama TOK giderme verimi %61 olarak bulunmuştur (Şekil 4.29).

Fermentör sistemleri için ortalama TOK giderme verimleri göz önüne alındığında ozonla işlem görmüş konsantre ile beslenen R1 fermentörünün TOK giderim performansı, ozonlanmamış konsantre ile beslenen R2 fermentöründen yaklaşık %6 daha fazla olarak belirlenmiştir.

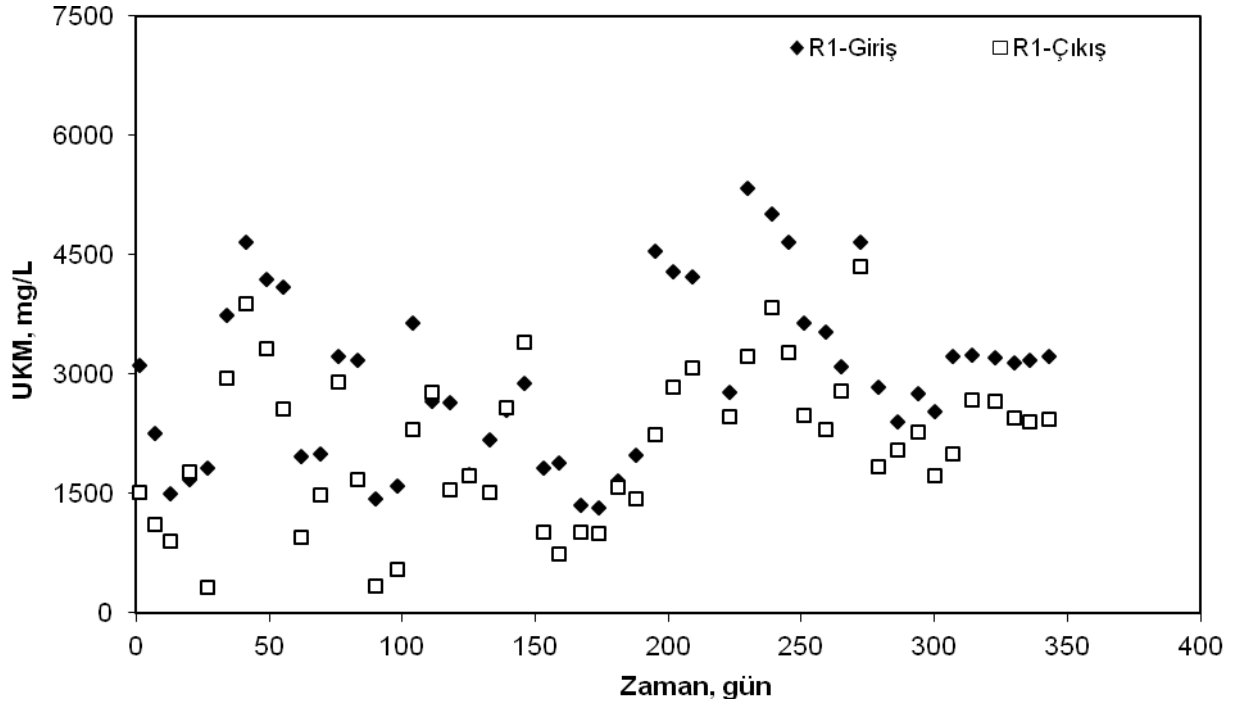


Şekil 4.28 TOK'un R2'de zamanla değişimi



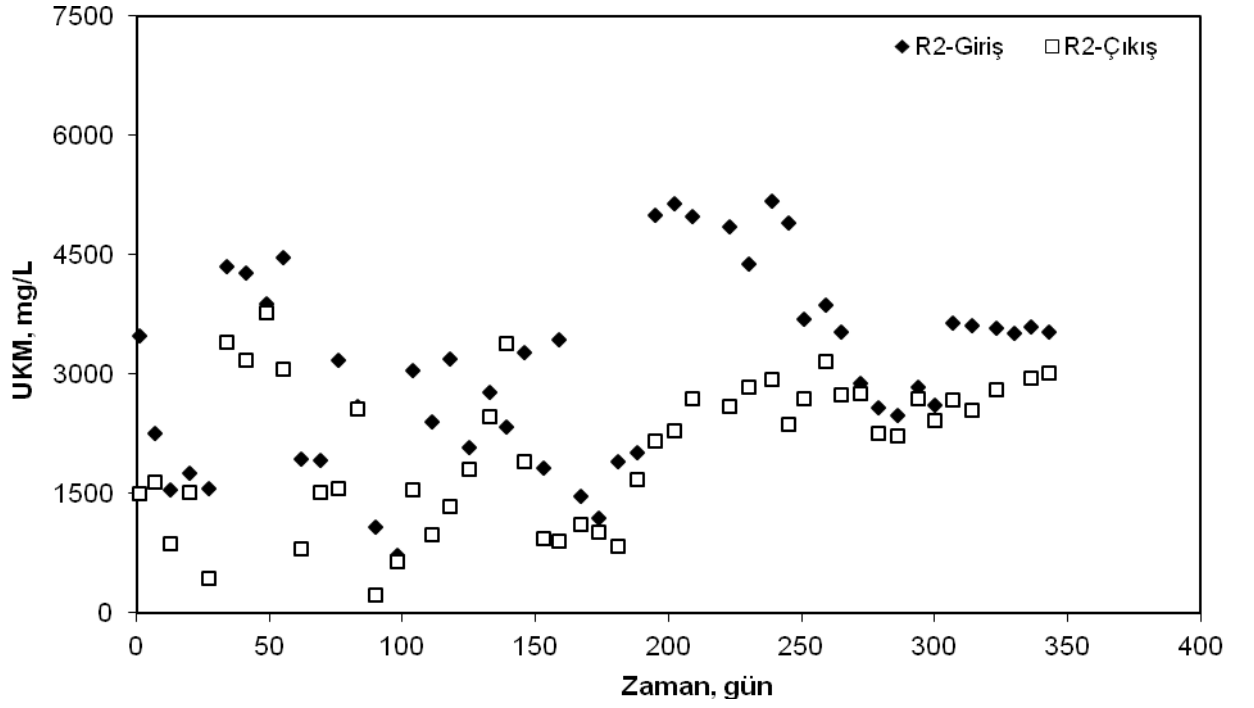
Şekil 4.29 TOK giderme veriminin R2’de zamanla değişimi

Şekil 4.30 ve 4.31’ de, R1 (ozonlanmış konsantre ile beslenen) ve R2 (ozonlanmamış konsantre ile beslenen) fermentörlerindeki giriş ve çıkış UKM değişimleri gösterilmiştir. Çalışma süresi boyunca, R1 fermentöründe (ozonlanmış konsantre ile beslenen) giriş UKM değerleri 1320-5340 mg/L arasında ölçülmüş olup, R1 fermentörüne beslenen substratın ortalama UKM değeri 3030 mg/L olarak belirlenmiştir. R1 sisteminin çıkışından alınan çıkış örneklerinde UKM değerleri 320-4360 mg/L arasında değişim göstermiş ve R1 fermentörü için ortalama çıkış UKM değeri 2050 mg/L olarak bulunmuştur (Şekil 4.30).



Şekil 4.30 UKM'nin R1'de zamanla değişimi

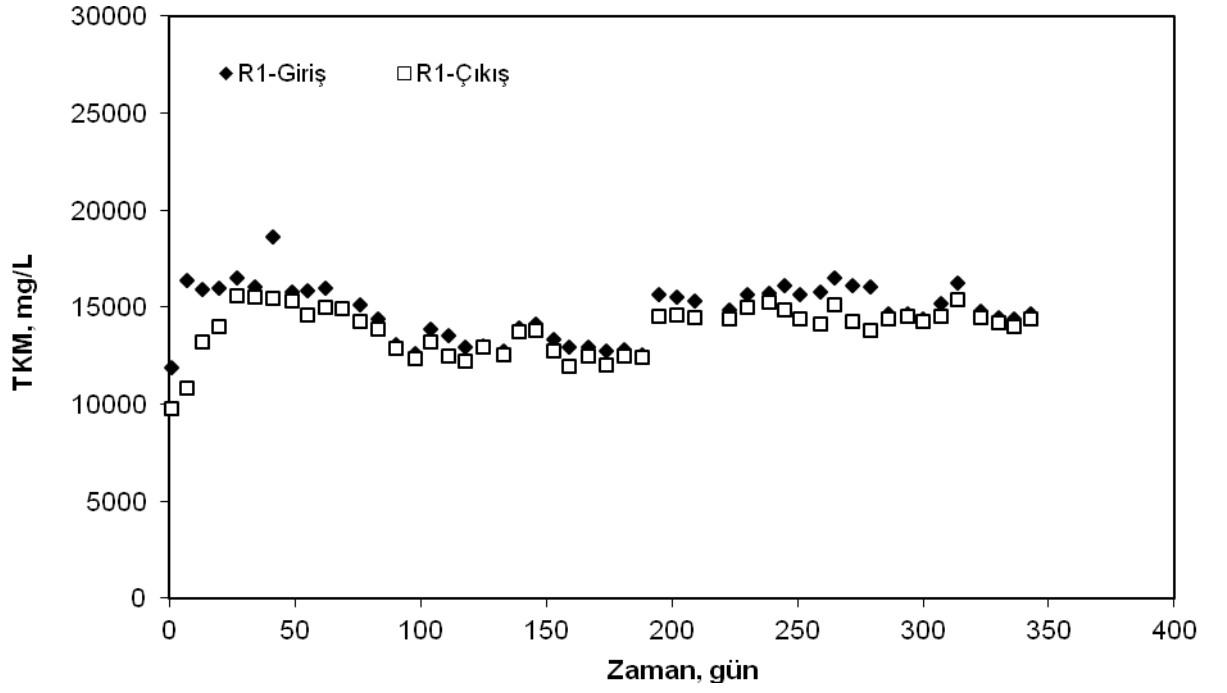
Çalışma süresi boyunca, R2 fermentöründe giriş UKM değerleri 720-5180 mg/L arasında değişim göstermiş olup, R2 fermentörüne beslenen substratın ortalama UKM değeri 3080 mg/L olarak tespit edilmiştir. R2 sisteminin çıkışından alınan örneklerde UKM değerleri 220-3780 mg/L arasında değişim göstermiş ve R2 fermentörü için ortalama çıkış UKM değeri 1997 mg/L olarak bulunmuştur (Şekil 4.31).



Şekil 4.31 UKM' nin R2'de zamanla değişimi

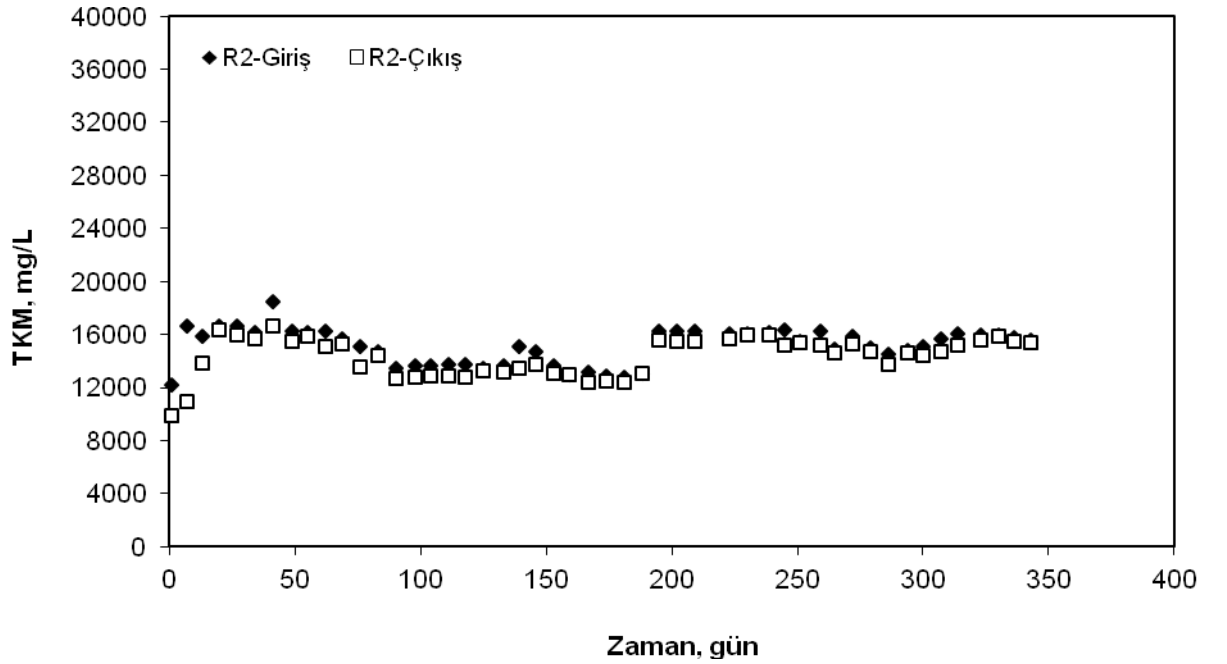
Reaktör giriş ve çıkışlarındaki katı madde miktarlarının belirlenebilmesi amacıyla toplam katı madde (TKM) analizleri yapılmıştır. Şekil 4.32 ve 4.33'de, R1 (ozonlanmış konsantre ile beslenen) ve R2 (ozonlanmamış konsantre ile beslenen) fermentörlerindeki giriş ve çıkış TKM değişimleri gösterilmiştir.

Çalışma süresi boyunca, R1 fermentöründe (ozonlanmış konsantre ile beslenen) giriş TKM değerleri 11,890-18,640 mg/L arasında ölçülmüş olup, R1 fermentörüne beslenen substratın ortalama TKM değeri 14,714 mg/L olarak belirlenmiştir. R1 sisteminin çıkışından alınan çıkış örneklerinde TKM değerleri 9,780-15,560 mg/L arasında değişim göstermiş ve R1 fermentörü için ortalama çıkış TKM değeri 13,827 mg/L olarak bulunmuştur (Şekil 4.32).



Şekil 4.32 TKM'nin R1'de zamanla değişimi

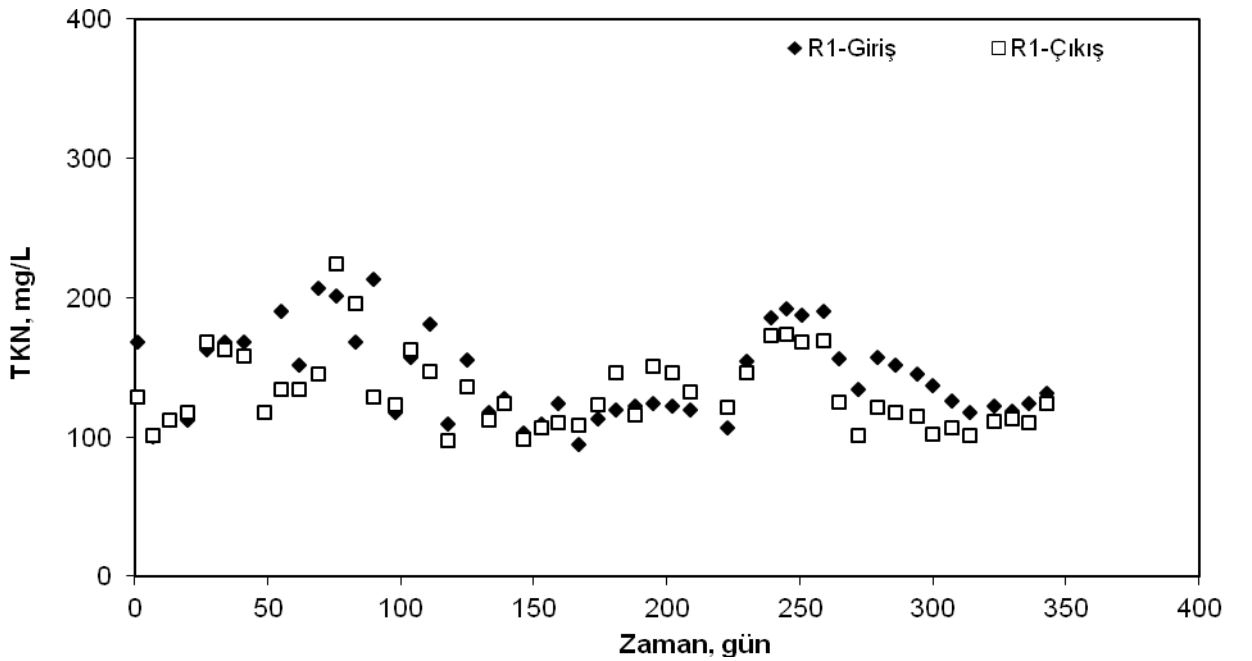
Çalışma süresi boyunca, R2 fermentöründe giriş TKM değerleri 12,195-18,640 mg/L arasında değişim göstermiş olup, R2 fermentörüne beslenen substratın ortalama TKM değeri 15,123 mg/L olarak tespit edilmiştir. R2 sisteminin çıkışından alınan örneklerde TKM değerleri 9890-16,650 mg/L arasında değişim göstermiş ve R2 fermentörü için ortalama çıkış TKM değeri 14,341 mg/L olarak bulunmuştur (Şekil 4.33).



Şekil 4.33 TKM'nin R2'de zamanla değişimi

Reaktörlerde gerekli besi elementlerinin mevcut olduğunun belirlenebilmesi için toplam kjehdal azotu (TKN), amonyum azotu (NH_4^+), toplam fosfor (TP) ve ortofosfat (PO_4^{3-}) parametreleri analiz edilmiştir. Bu parametrelerin zamanla değişimi Şekil 4.34-4.41 arasında sırayla görülmektedir.

Şekil 4.34 ve 4.35’ de, R1 (ozonlanmış konsantre ile beslenen) ve R2 (ozonlanmamış konsantre ile beslenen) fermentörlerindeki giriş ve çıkış TKN değişimleri gösterilmiştir. Çalışma süresi boyunca, R1 fermentöründe giriş TKN değerleri 95-213 mg/L arasında değişim göstermiş olup, R1 fermentörüne beslenen substratın ortalama TKN değeri 143 mg/L olarak tespit edilmiştir. R1 sisteminin çıkışından alınan örneklerde TKN değerleri 97-224 mg/L arasında değişim göstermiş ve R1 fermentörü için ortalama çıkış TKN değeri 132 mg/L olarak bulunmuştur (Şekil 4.34).

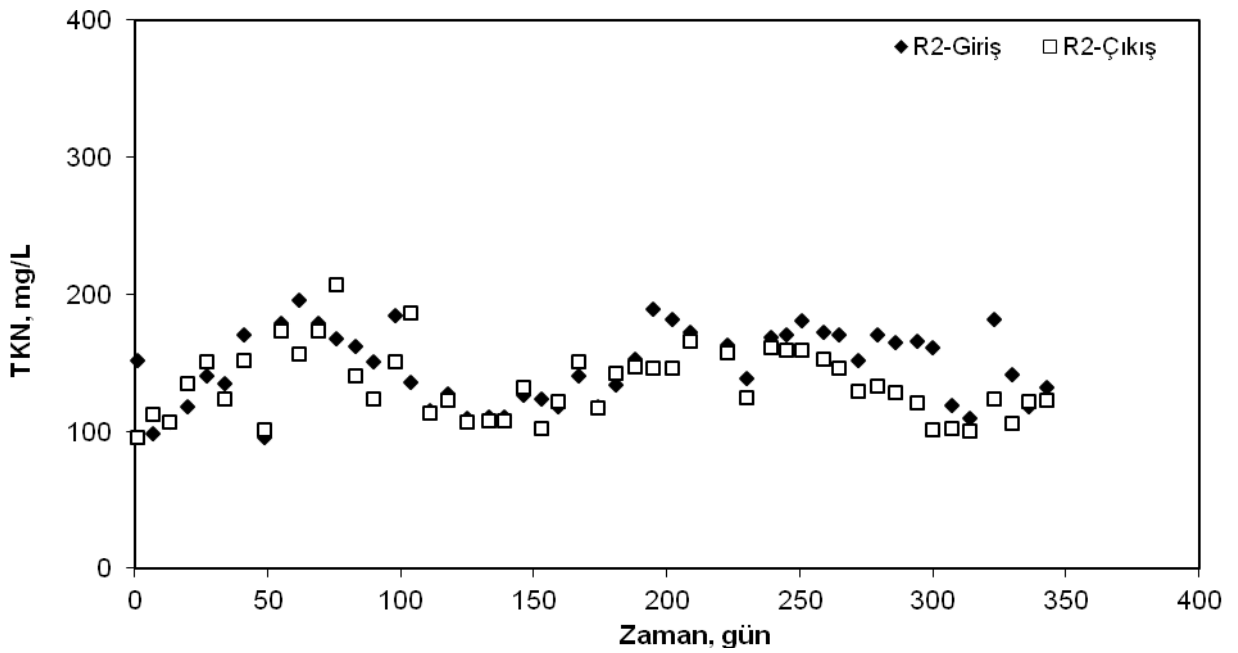


Şekil 4.34 TKN'nin R1'de zamanla değişimi

Çalışma süresi boyunca, R2 fermentöründe (ozonlanmamış konsantre ile beslenen) giriş TKN değerleri 95-196 mg/L arasında ölçülmüş olup, R2 fermentörüne beslenen substratın ortalama TKN değeri 146 mg/L olarak belirlenmiştir. R2 sisteminin çıkışından

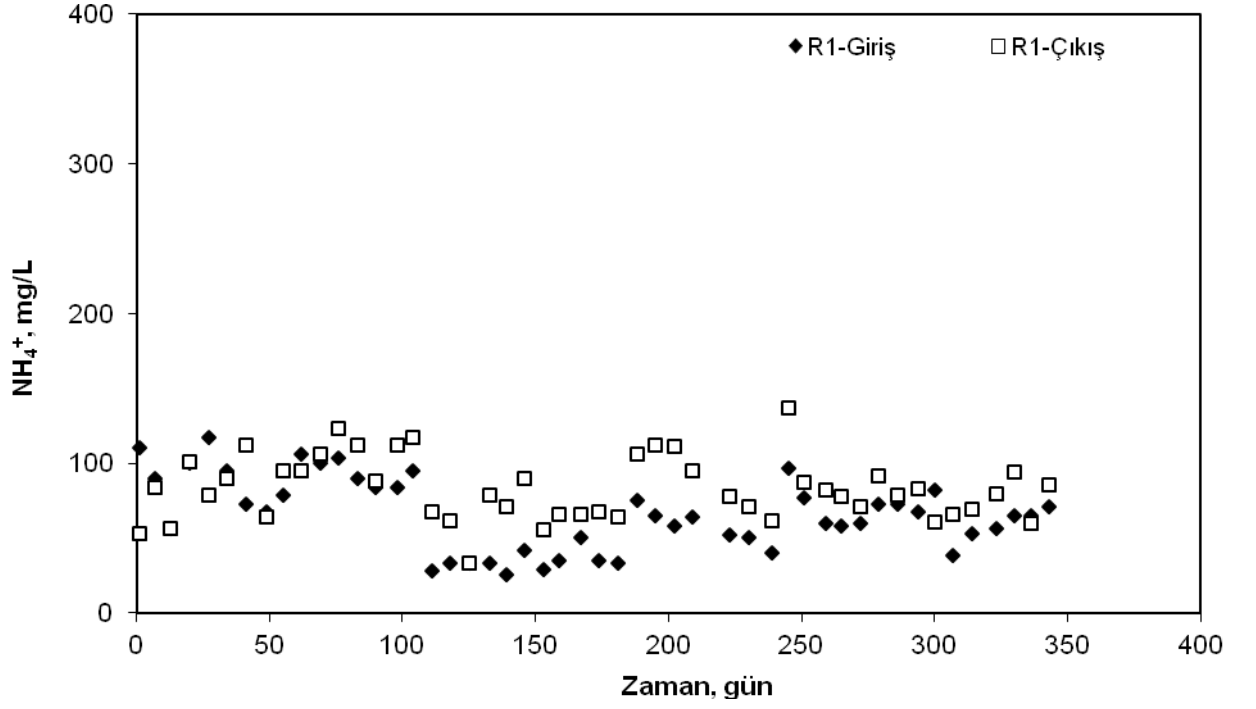
alınan çıkış örneklerinde TKN değerleri 95-207 mg/L arasında değişim göstermiş ve R2 fermentörü için ortalama çıkış TKN değeri 134 mg/L olarak bulunmuştur (Şekil 4.35).

Demirer ve Chen [64], havasız sistemlerde oldukça düşük nütrient gideriminin gerçekleştiğini ve düşük giderme verimlerinin beklenen bir sonuç olduğunu vurgulamıştır. Lysterly [65] ise reaktördeki azot ve fosfor giderimlerinin, çoğunlukla yeni biyokütle oluşumu ve reaktördeki çökeltme sebebiyle gerçekleştiğini belirtmiştir [59].

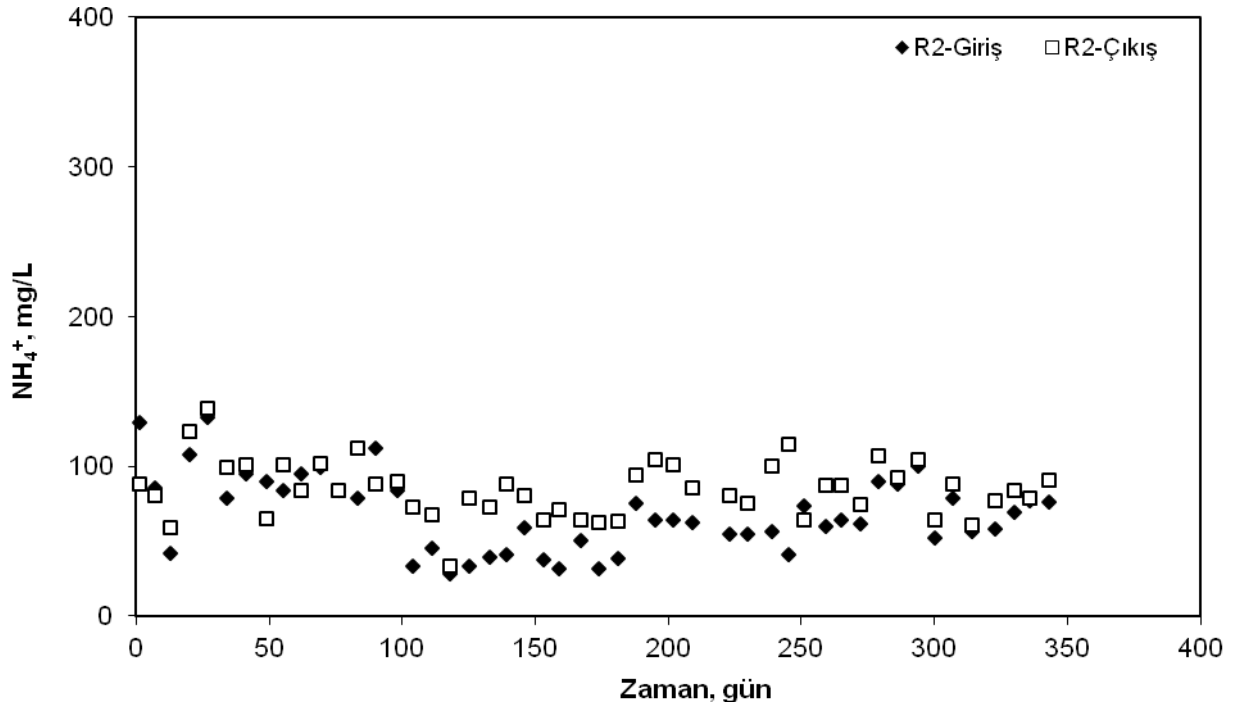


Şekil 4.35 TKN'nin R2'de zamanla değişimi

Şekil 4.36 ve 4.37'de, R1 (ozonlanmış konsantre ile beslenen) ve R2 (ozonlanmamış konsantre ile beslenen) fermentörlerindeki giriş ve çıkış amonyum azotu değişimleri gösterilmiştir. Çalışma süresi boyunca, R1 fermentöründe giriş amonyum azotu değerleri 25.2-117.6 mg/L arasında değişim göstermiş olup, R1 fermentörüne beslenen substratın ortalama amonyum azotu değeri 65.6 mg/L olarak tespit edilmiştir. R1 sisteminin çıkışından alınan örneklerde amonyum azotu değerleri 33.6-136.6 mg/L arasında değişim göstermiş ve R1 fermentörü için ortalama çıkış amonyum azotu değeri 83 mg/L olarak bulunmuştur (Şekil 4.36).



Şekil 4.36 NH_4^+ 'nın R1'de zamanla değişimi



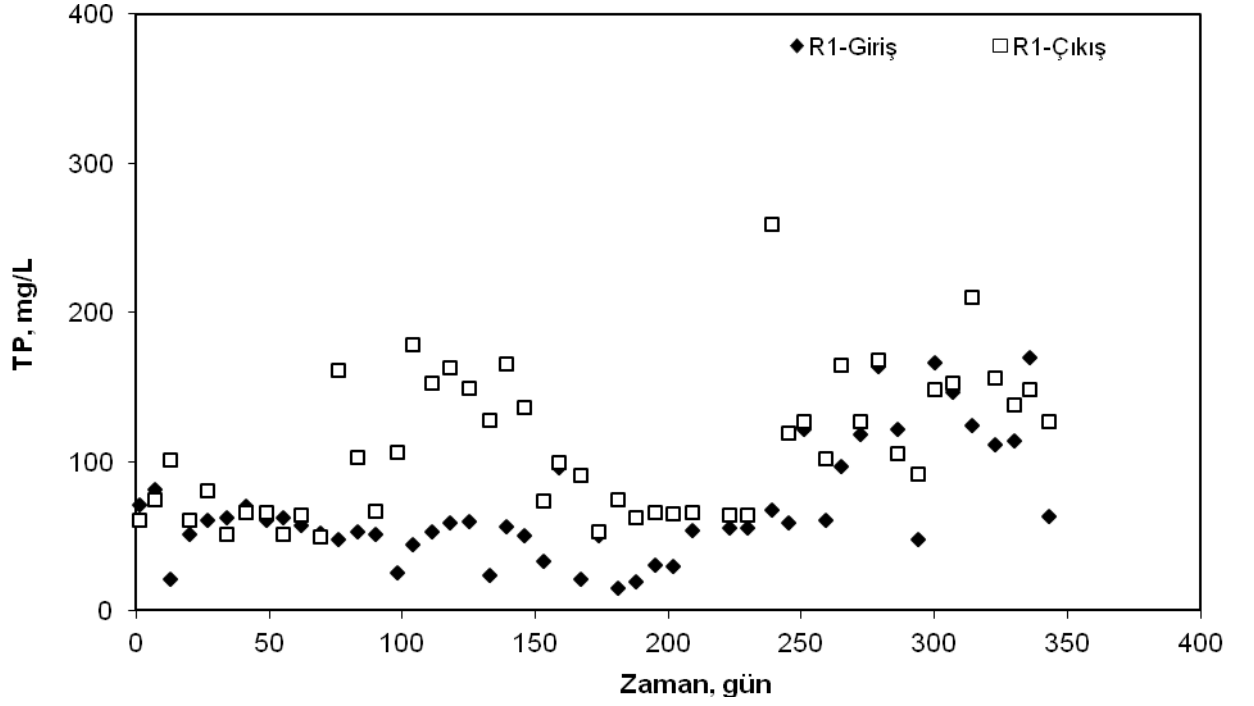
Şekil 4.37 NH_4^+ 'nın R2'de zamanla değişimi

Çalışma süresi boyunca, R2 fermentöründe (ozonlanmamış konsantre ile beslenen) giriş amonyum azotu değerleri 28-133 mg/L arasında ölçülmüş olup, R2 fermentörüne

beslenen substratın ortalama amonyum azotu değeri 68 mg/L olarak belirlenmiştir. R2 sisteminin çıkışından alınan çıkış örneklerinde amonyum azotu değerleri 33.6-138.8 mg/L arasında değişim göstermiş ve R2 fermentörü için ortalama çıkış amonyum azotu değeri 84.6 mg/L olarak bulunmuştur (Şekil 4.37).

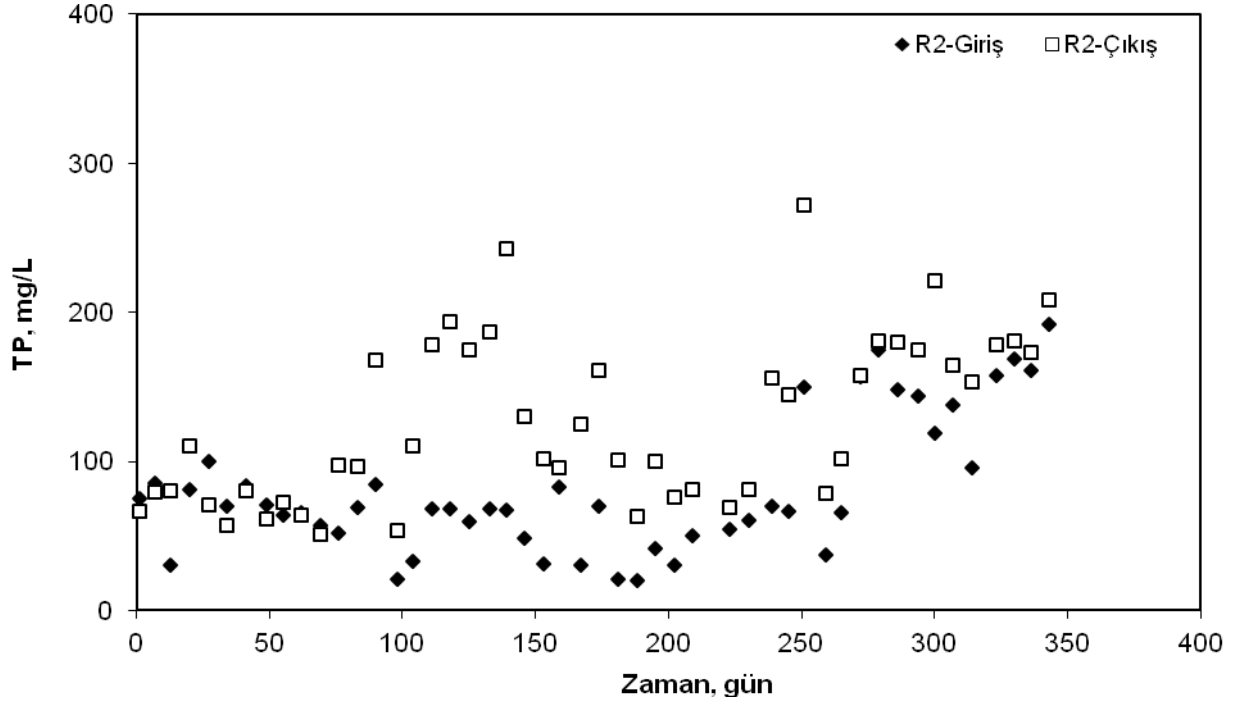
Analiz sonuçları incelendiğinde, her iki fermentör sisteminin çıkış örneklerinde anaerobik mineralizasyon sonucu artan amonyum azotu konsantrasyonlarının, deşarj standartlarının oldukça üzerinde olduğu görülmektedir. SKKY (2004)'te Tablo 10.3'de "Pamuklu Tekstil ve Benzerleri" için verilen alıcı ortama deşarj standartlarına göre 2 saatlik kompozit numuneler için amonyum azotu deşarj limiti 5 mg/L olarak belirtilmiştir. Bu açıdan, anaerobik arıtma sonrasında fermentörlerden çıkan atıksulardaki amonyum azotunu istenen deşarj limitine indirmek (veya geri kazanmak) ve saha şartlarındaki muhtemel amonyak emisyonlarını azaltmak maksadıyla gerekli önlemler alınmalıdır. Bu noktada, hem amonyum azotunun hem de diğer bakiye kirleticilerin seviyesini düşürmek maksadıyla anaerobik arıtmayı müteakip etkili fizikokimyasal alternatifler (örneğin MAP çöktürmesi, elektrokoagülasyon gibi) değerlendirilebilir.

Şekil 4.38 ve 4.39' da, R1 (ozonlanmış konsantre ile beslenen) ve R2 (ozonlanmamış konsantre ile beslenen) fermentörlerindeki giriş ve çıkış TP değişimleri gösterilmiştir. Çalışma süresi boyunca, R1 fermentöründe giriş TP değerleri 15.3-170 mg/L arasında değişim göstermiş olup, R1 fermentörüne beslenen substratın ortalama TP değeri 68.9 mg/L olarak tespit edilmiştir. R1 sisteminin çıkışından alınan örneklerde TP değerleri 49.8-259 mg/L arasında değişim göstermiş ve R1 fermentörü için ortalama çıkış TP değeri 109 mg/L olarak bulunmuştur. Tüm verilere göre, çalışma boyunca R1 fermentöründeki ortalama TP artışı yaklaşık %131 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.38).



Şekil 4.38 TP'un R1'de zamanla değişimi

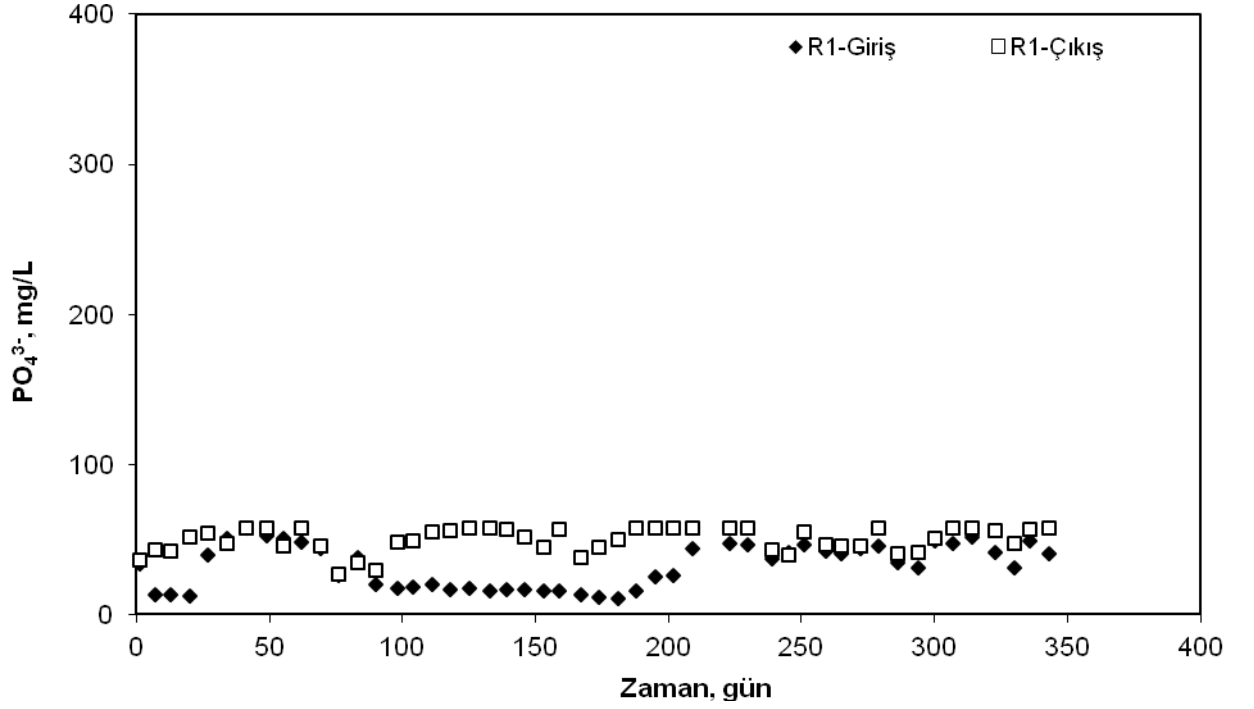
Çalışma süresi boyunca, R2 fermentöründe (ozonlanmamış konsantre ile beslenen) giriş TP değerleri 20.1-192 mg/L arasında ölçülmüş olup, R2 fermentörüne beslenen substratın ortalama TP değeri 81 mg/L olarak belirlenmiştir. R2 sisteminin çıkışından alınan çıkış örneklerinde TP değerleri 50.8-271.5 mg/L arasında değişim göstermiş ve R2 fermentörü için ortalama çıkış TP değeri 127 mg/L olarak bulunmuştur. Tüm ölçüm değerlerine göre, çalışma boyunca ozonlanmamış konsantre ile beslenen R2 fermentöründeki ortalama TP artışı %109 olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.39).



Şekil 4.39 TP'un R2'de zamanla değişimi

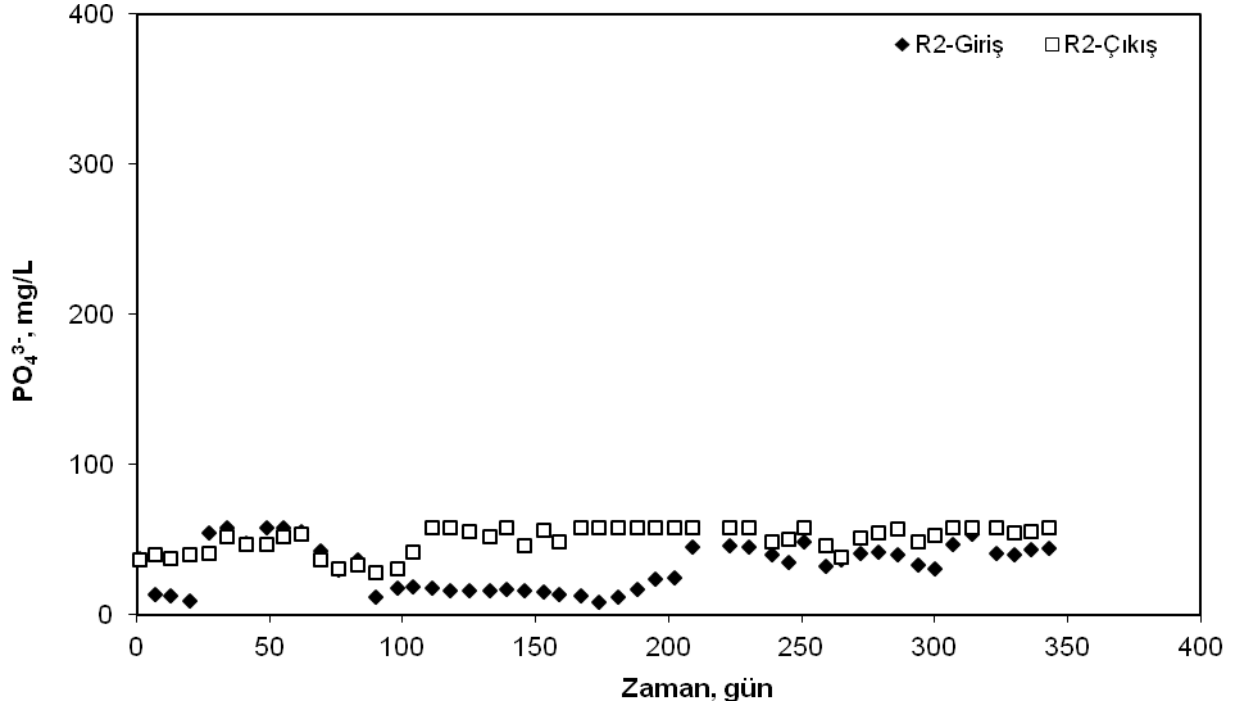
Şekil 4.40 ve 4.41'de, R1 (ozonlanmış konsantre ile beslenen) ve R2 (ozonlanmamış konsantre ile beslenen) fermentörlerindeki giriş ve çıkış fosfat değişimleri gösterilmiştir. Çalışma süresi boyunca, R1 fermentöründe giriş fosfat değerleri 10.1-57.8 mg/L arasında değişim göstermiş olup, R1 fermentörüne beslenen substratın ortalama fosfat değeri 32.1 mg/L olarak tespit edilmiştir. R1 sisteminin çıkışından alınan örneklerde fosfat değerleri 26.6-58 mg/L arasında değişim göstermiş ve R1 fermentörü için ortalama çıkış fosfat değeri yaklaşık 50 mg/L olarak bulunmuştur. Tüm verilere göre, çalışma boyunca R1 fermentöründeki ortalama fosfat artışı yaklaşık %99.5 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.40).

Fermentör sistemlerinde görülen fosfor artışının, anaerobik şartlarda üretilen fermantasyon ürünlerinin (uçucu yağ asitleri gibi) ortamda bulunması halinde bazı bakterilerin bu fermantasyon ürünlerini asimile ederek hücrelerinde depolarken fosforu açığa çıkarmasından kaynaklandığı düşünülmektedir [63].



Şekil 4.40 PO_4^{3-} 'un R1'de zamanla değişimi

Çalışma süresi boyunca, R2 fermentöründe (ozonlanmamış konsantre ile beslenen) giriş fosfat değerleri 8.2-58 mg/L arasında ölçülmüş olup, R2 fermentörüne beslenen substratın ortalama fosfat değeri 32 mg/L olarak belirlenmiştir. R2 sisteminin çıkışından alınan çıkış örneklerinde fosfat değerleri 28.2-57 mg/L arasında değişim göstermiş ve R2 fermentörü için ortalama çıkış fosfat değeri 49.8 mg/L olarak bulunmuştur. Tüm ölçüm değerlerine göre, çalışma boyunca ozonlanmamış konsantre ile beslenen R2 fermentöründeki ortalama fosfat artışı %110 olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.41).

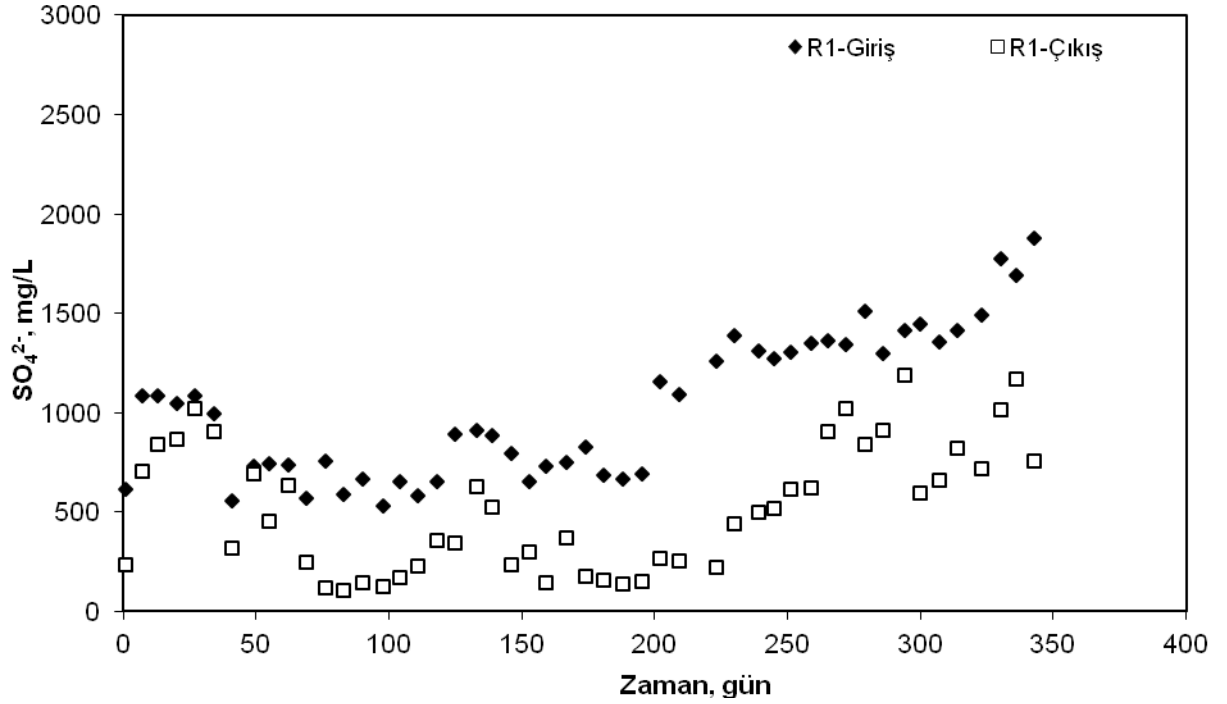


Şekil 4.41 PO_4^{3-} 'un R2'de zamanla değişimi

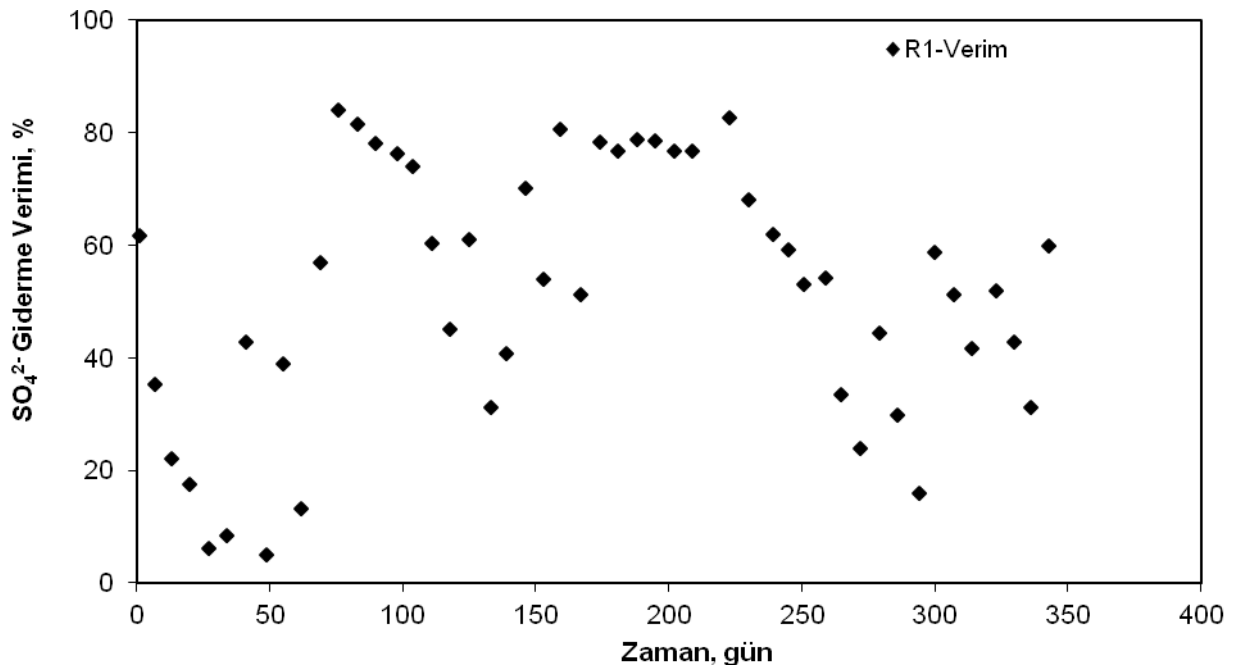
Sülfat ve sülfid gibi oksitleyiciler sanayi atıksularında bol miktarda bulunurken, daha az ölçüde evsel atıksularda da bulunurlar. Sülfat, sülfid ve tiyosülfatın atıksudaki varlığı anaerobik arıtma için oldukça önemlidir. Sülfat içeren bir atıksu (örneğin tekstil endüstrisi atıksuyu) anaerobik olarak arıtılırken sülfat gideren bakteriler besi maddesi olarak asetik asit ve hidrojeni kullanarak metan bakterileri ile rekabet ederler. Sülfür üretimi metan üretimine göre nispeten daha kolay olduğundan sülfür üreten bakteriler metan üreten bakterilere göre daha hızlı çalışır ve reaktörde metan üretimi düşer [63]. Metan üreten bakterilerle sülfat indirgeyen bakterilerin rekabet halinde olması ve anaerobik proseslerde H_2S oluşturması sebebiyle sülfat (SO_4^{2-}) ve sülfid (SO_3^{2-}) parametresi analiz edilmiştir. Anaerobik reaktörlerde sülfatın ve sülfidin zamanla değişimi Şekil 4.42-4.46'da görülmektedir.

R1 (ozonlanmış konsantre ile beslenen) fermentörü için giriş ve çıkış sülfat konsantrasyonlarının ve sülfat giderme veriminin zamanla değişimleri Şekil 4.42 ve 4.43'de gösterilmiştir. Çalışma süresi boyunca, R1 fermentöründe giriş sülfat değerleri 533-1876 mg/L arasında değişim göstermiş olup, R1 fermentörüne beslenen substratın ortalama sülfat konsantrasyonu 1026 mg/L olarak tespit edilmiştir. R1 sisteminin

çıkışından alınan örneklerde sülfat değerleri 109-1190 mg/L arasında değişim göstermiş ve R1 fermentörü için ortalama çıkış sülfat değeri 519 mg/L olarak bulunmuştur (Şekil 4.42). Bu değerlere göre, çalışma boyunca ozonlanmış konsantre ile beslenen R1 fermentöründeki sülfat giderme verimleri %5-84 arasında ölçülmüş olup, tüm süreçteki ortalama sülfat giderme verimi %52 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.43).



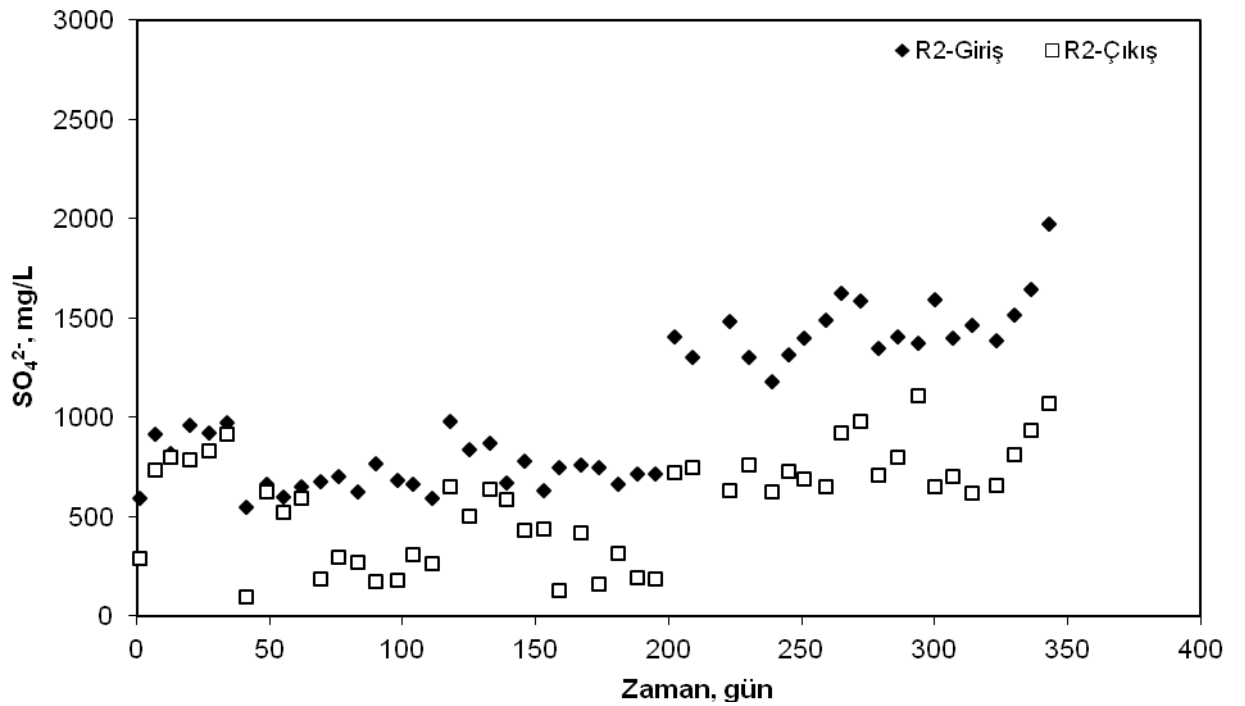
Şekil 4.42 SO_4^{2-} 'un R1'de zamanla değişimi



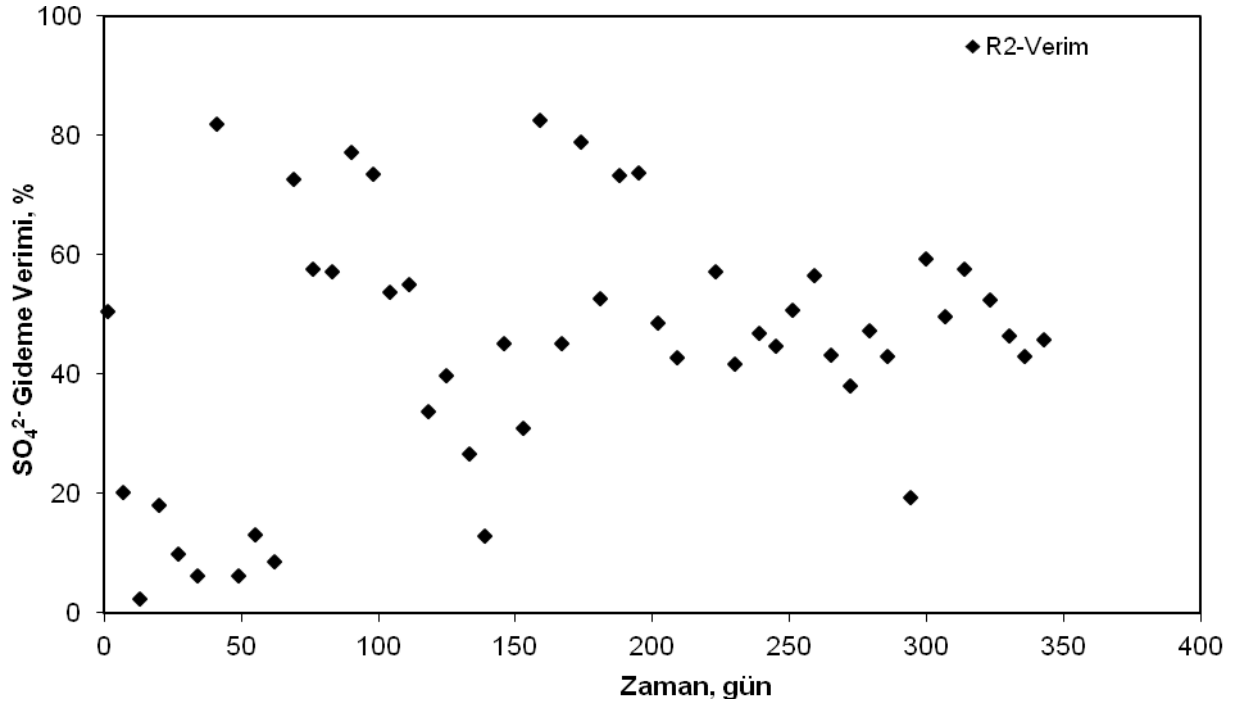
Şekil 4.43 SO_4^{2-} 'un R1'de giderme veriminin zamanla değişimi

R2 (ozonlanmamış konsantre ile beslenen) fermentörü için giriş ve çıkış sülfat konsantrasyonlarının ve sülfat giderme veriminin zamanla değişimleri Şekil 4.44 ve 4.45'te gösterilmiştir. Deney süresi boyunca, R2 fermentöründe giriş sülfat değerleri 548-1972 mg/L arasında ölçülmüş olup, R2 fermentörüne beslenen substratın ortalama sülfat konsantrasyonu 1035 mg/L olarak belirlenmiştir. R2 sisteminin çıkışından alınan atıksu numunelerinin sülfat değerleri 99-1111 mg/L arasında bulunmuş ve R2 fermentörü için ortalama çıkış sülfat değeri 573 mg/L olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.44). Ölçüm değerlerine göre, çalışma boyunca ozonlanmamış konsantre ile beslenen R2 fermentöründeki sülfat giderme verimleri %2-83 arasında belirlenmiş ve tüm süreçteki ortalama sülfat giderme verimi %45 olarak bulunmuştur (Şekil 4.45).

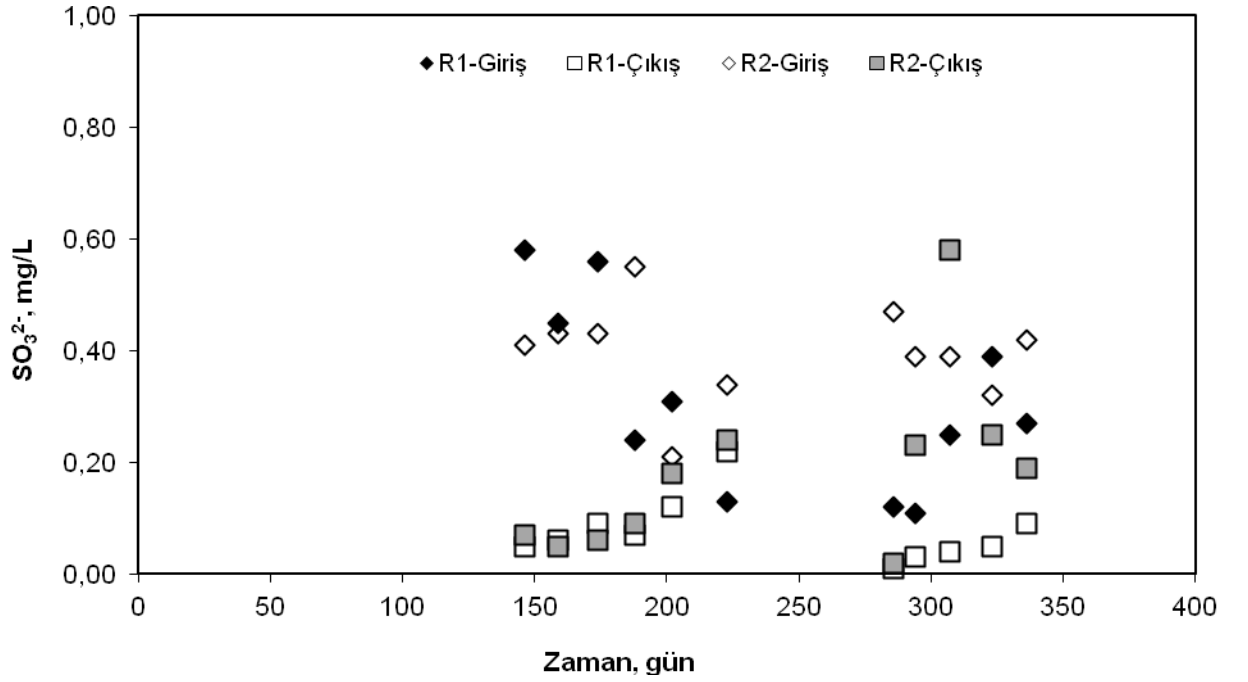
Fermentör sistemleri için ortalama sülfat giderme verimleri göz önüne alındığında ozonla işlem görmüş konsantre ile beslenen R1 fermentörünün sülfat giderim performansı, ozonlanmamış konsantre ile beslenen R2 fermentöründen yaklaşık %7 daha fazla tespit edilmiştir.



Şekil 4.44 SO_4^{2-} 'un R2'de zamanla değişimi



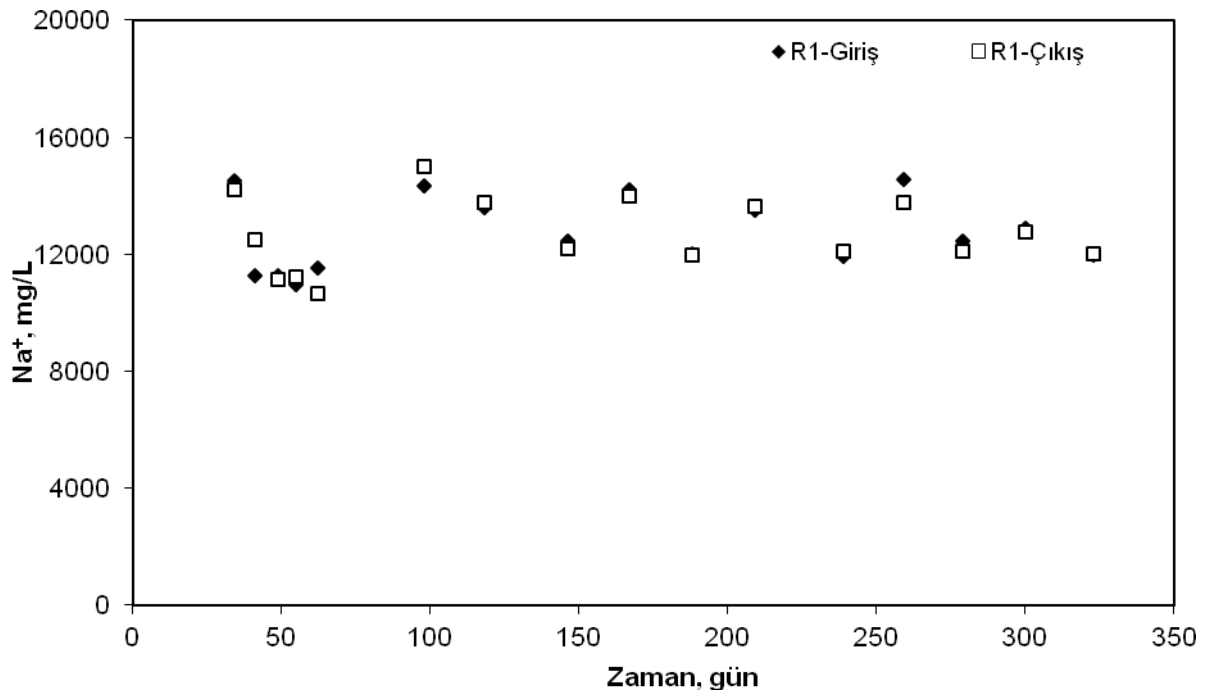
Şekil 4.45 SO_4^{2-} 'un R2'de giderme veriminin zamanla değişimi



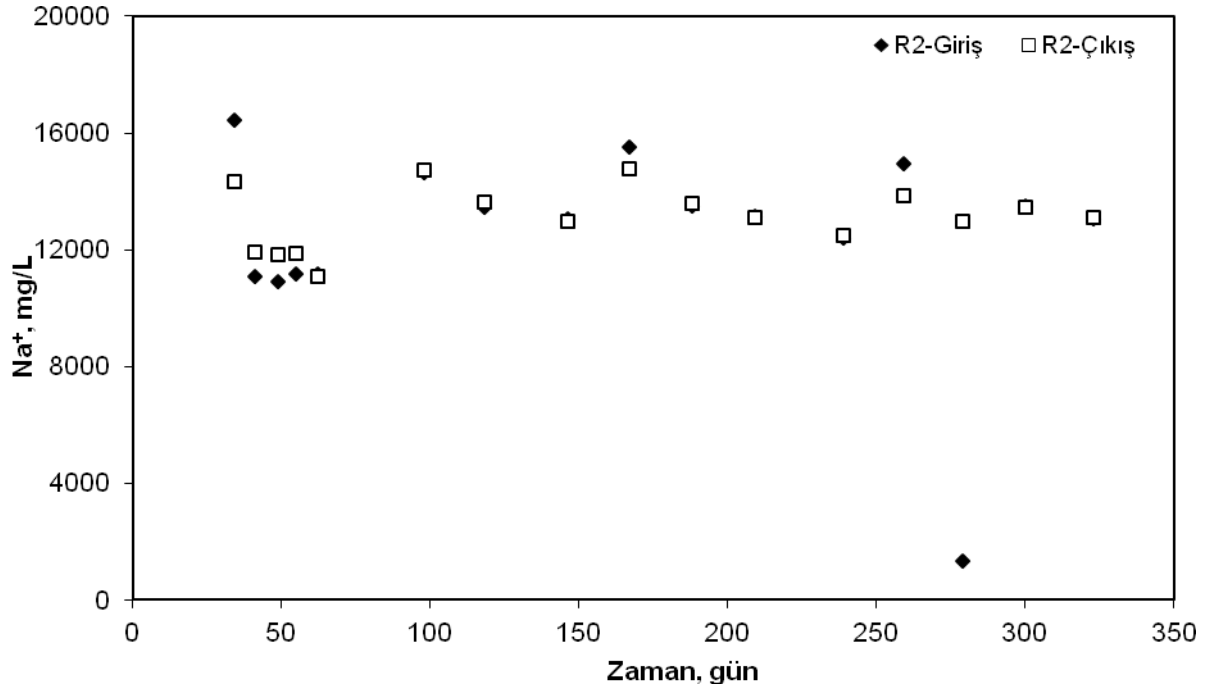
Şekil 4.46 SO_3^{2-} 'un R1 ve R2'de zamanla değişimi

Şekil 4.46'da, R1 (ozonlanmış konsantre ile beslenen) ve R2 (ozonlanmamış konsantre ile beslenen) fermentörlerindeki giriş ve çıkış sülfid değişimleri gösterilmiştir. Çalışma süresi boyunca, R1 fermentöründe giriş değerleri 0.58 mg/L'den ve R2 fermentöründe 0.55 mg/L'den düşük seviyede ölçülmüştür. Çıkış sülfid konsantrasyonu ise en düşük 0.02 mg/L mertebesinde analiz edilmiştir.

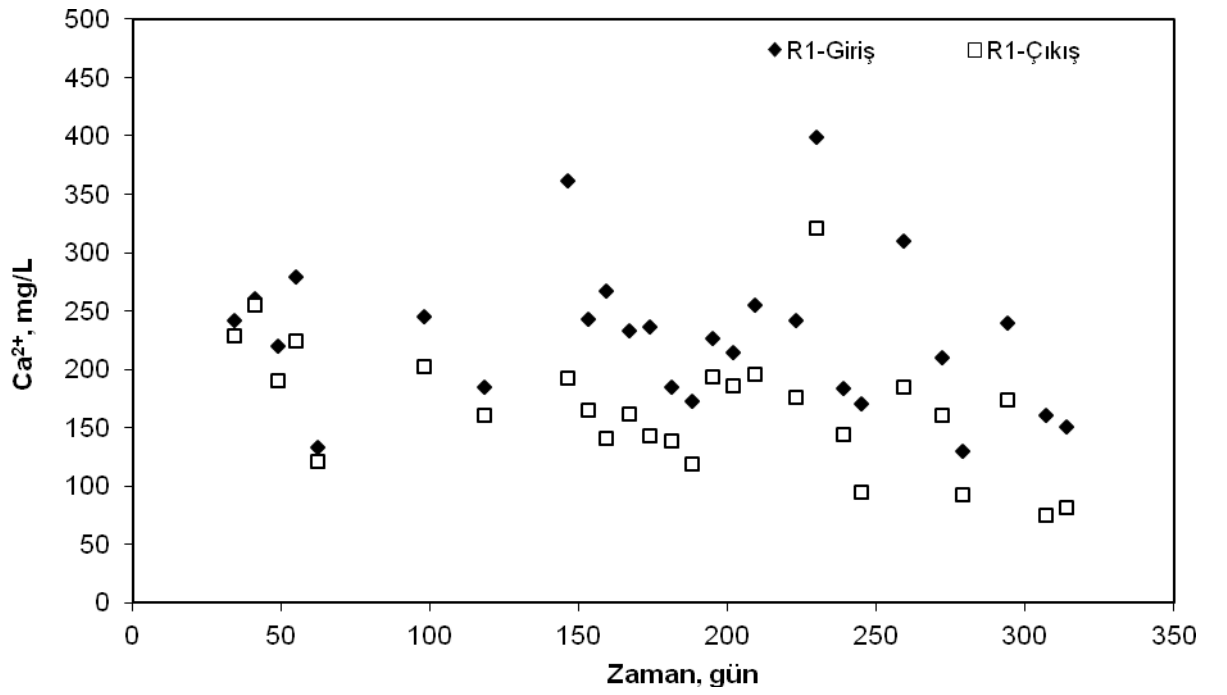
Reaktörlerde sodyum (Na), kalsiyum (Ca) ve potasyum (K) parametrelerinin zamanla değişimi analiz edilmiştir. Bu parametrelerin zamanla değişimi Şekil 4.47-4.52'de sırasıyla görülmektedir. Çalışma kapsamında analiz edilen bu makro bileşenler (Na^+ , Ca^{2+} , K^+) fermentör sistemlerinin adaptasyon sürecinde yüksek değerlerde tespit edilmesine rağmen, sistemlerin stabil hale gelmesiyle birlikte çıkış numunelerinde oldukça düşük değerlerde veya ölçüm limitlerinin altında tespit edilmiştir.



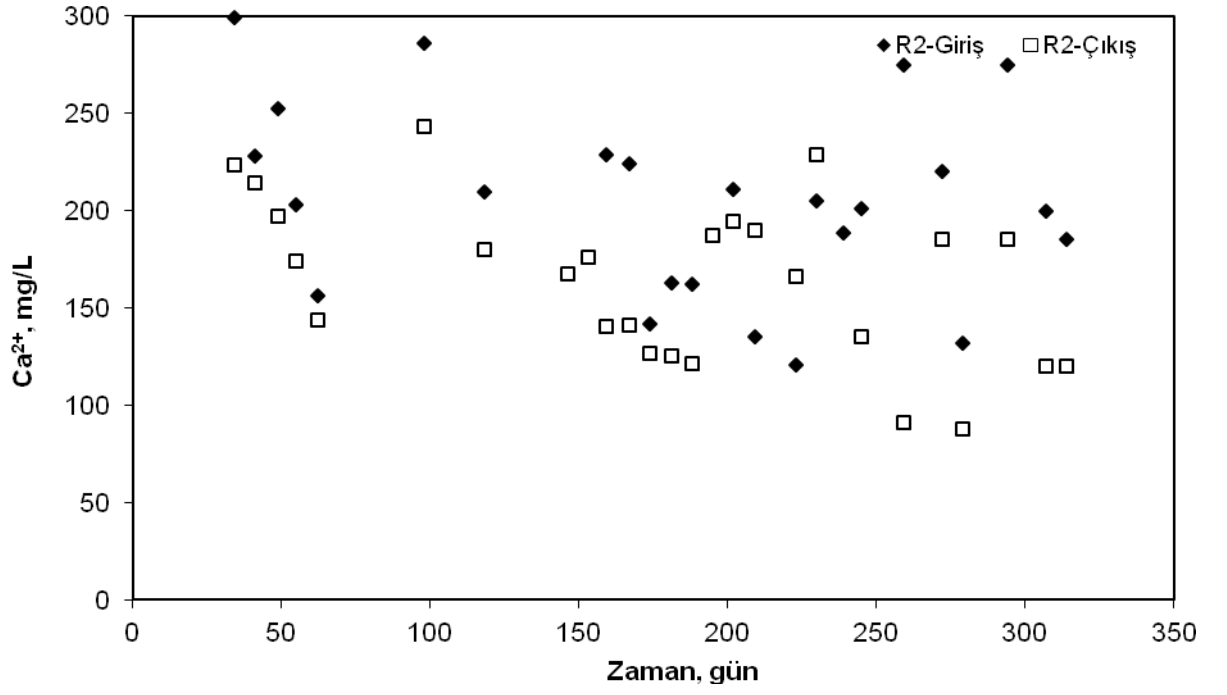
Şekil 4.47 Na'nın R1'de zamanla değişimi



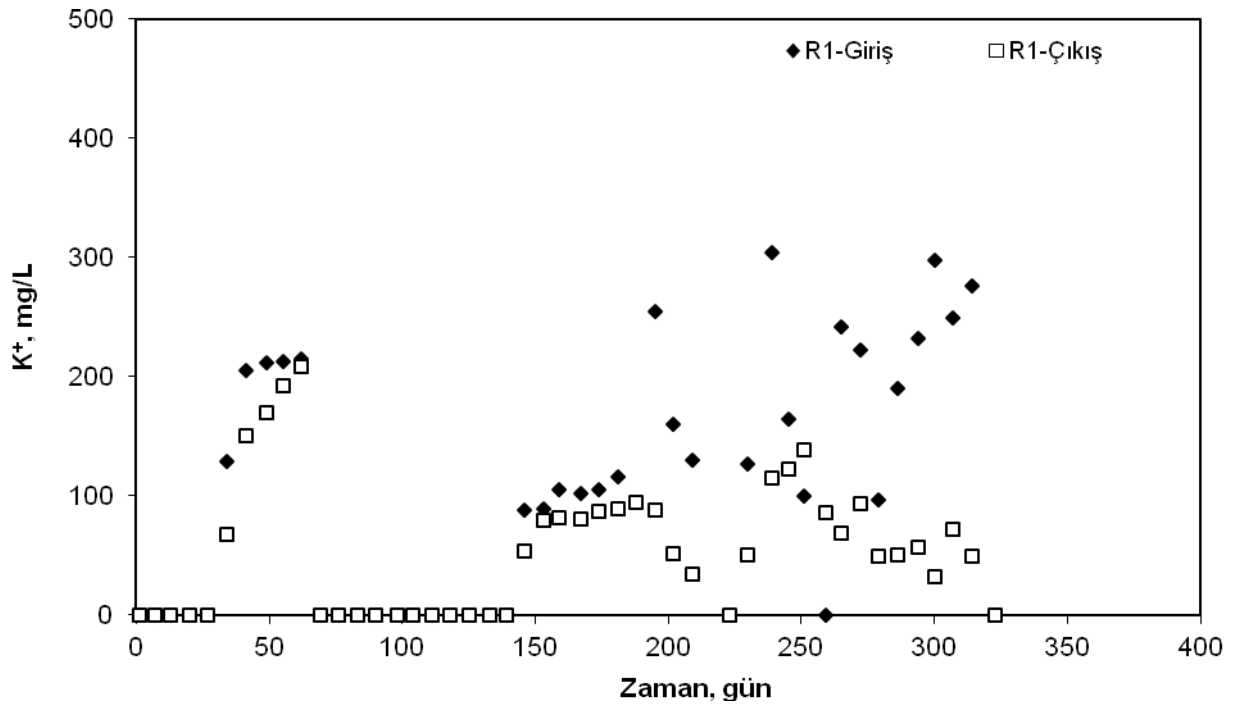
Şekil 4.48 Na^+ 'nın R2'de zamanla değişimi



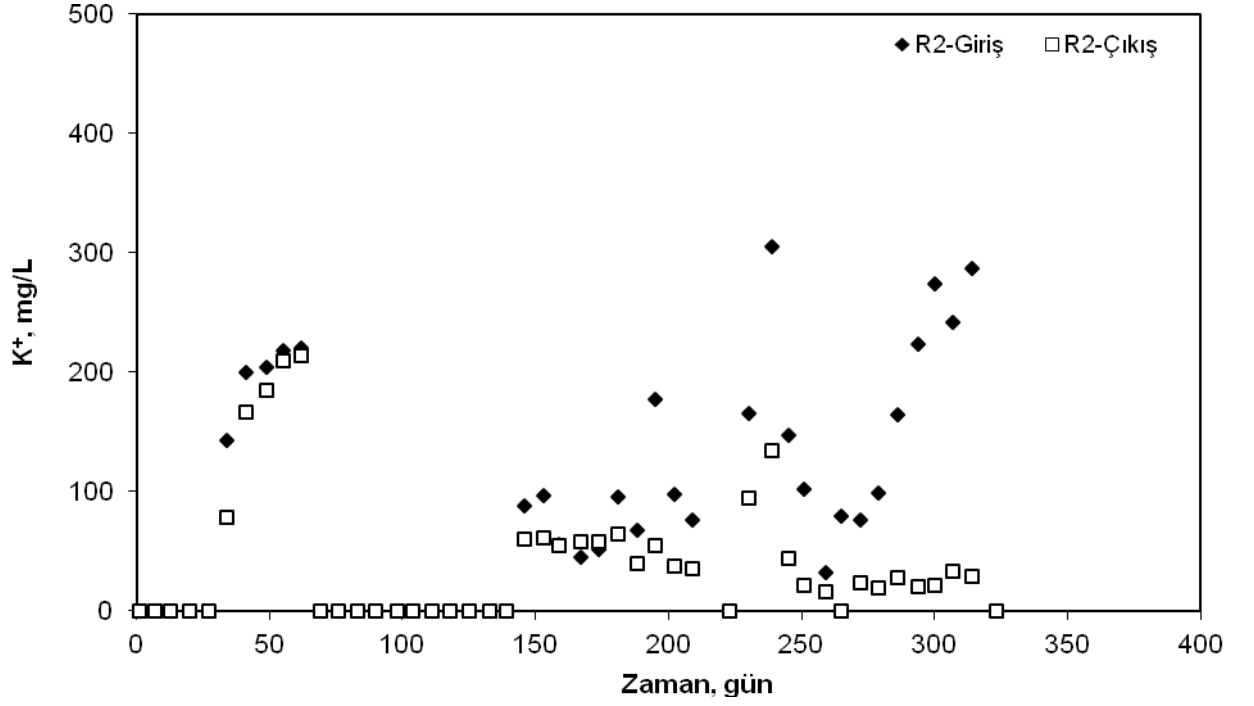
Şekil 4.49 Ca^{2+} 'nın R1'de zamanla değişimi



Şekil 4.50 Ca'nın R2'de zamanla değişimi

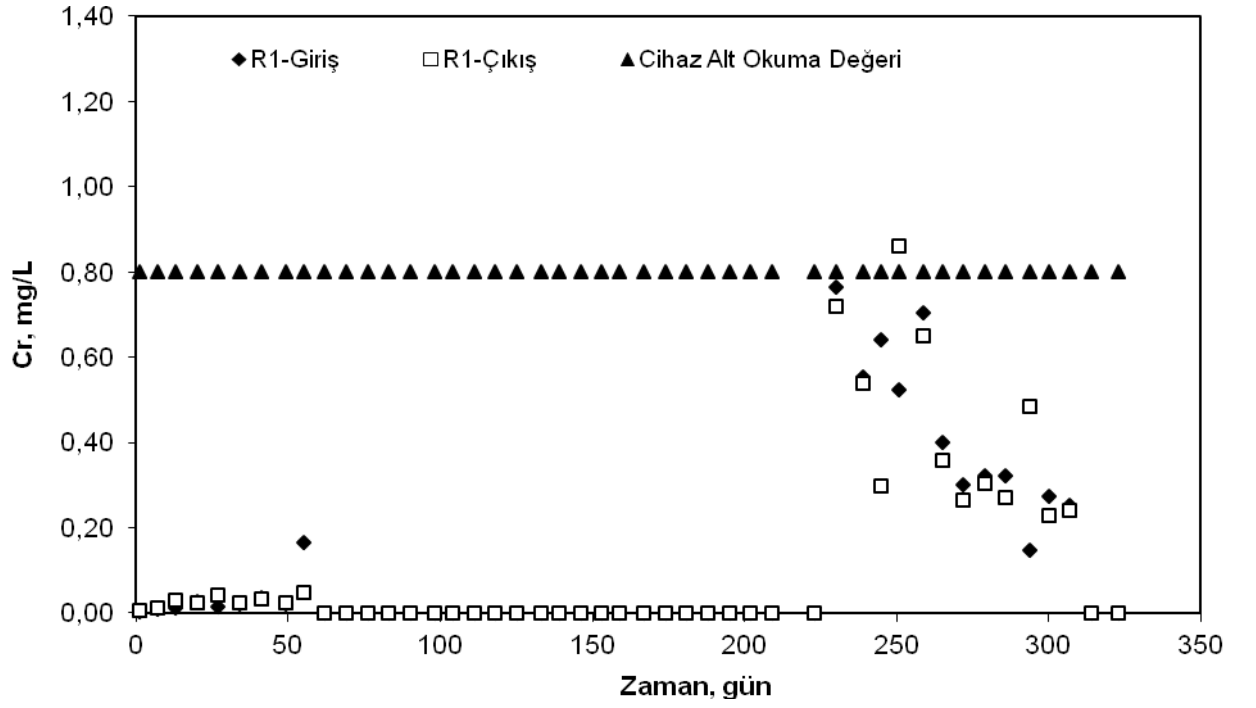


Şekil 4.51 K'nın R1'de zamanla değişimi

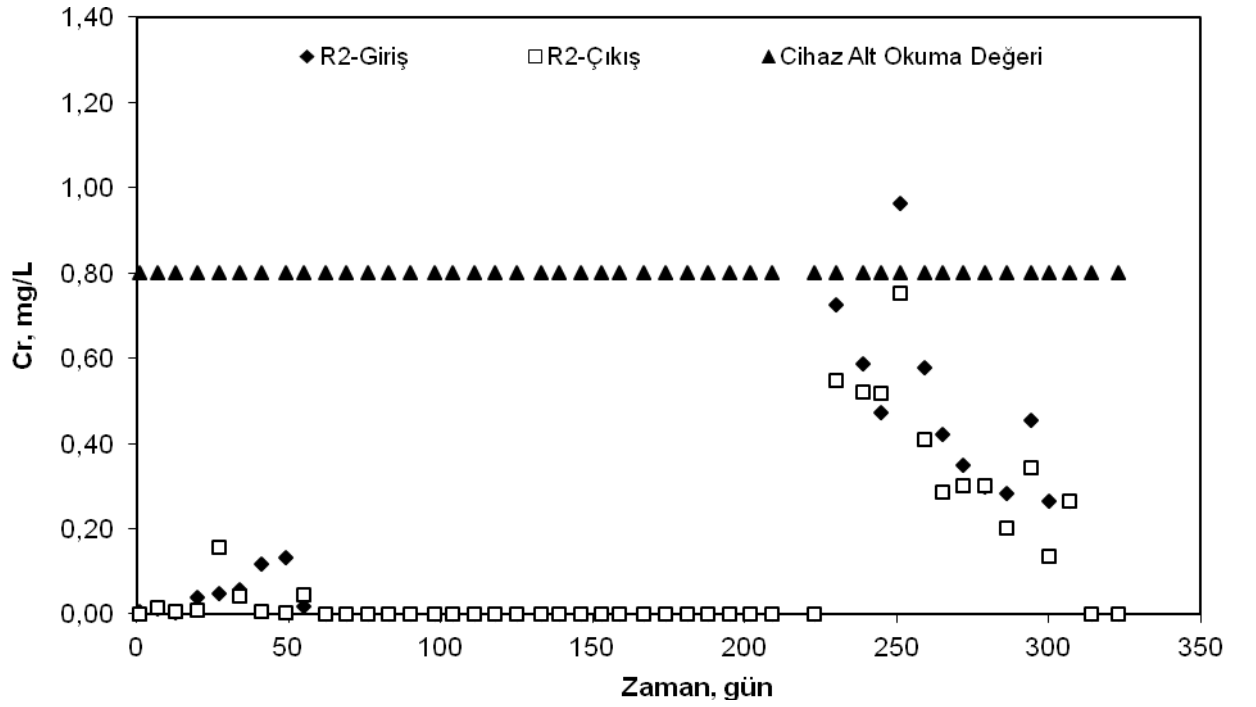


Şekil 4.52 K⁺'nın R2'de zamanla değişimi

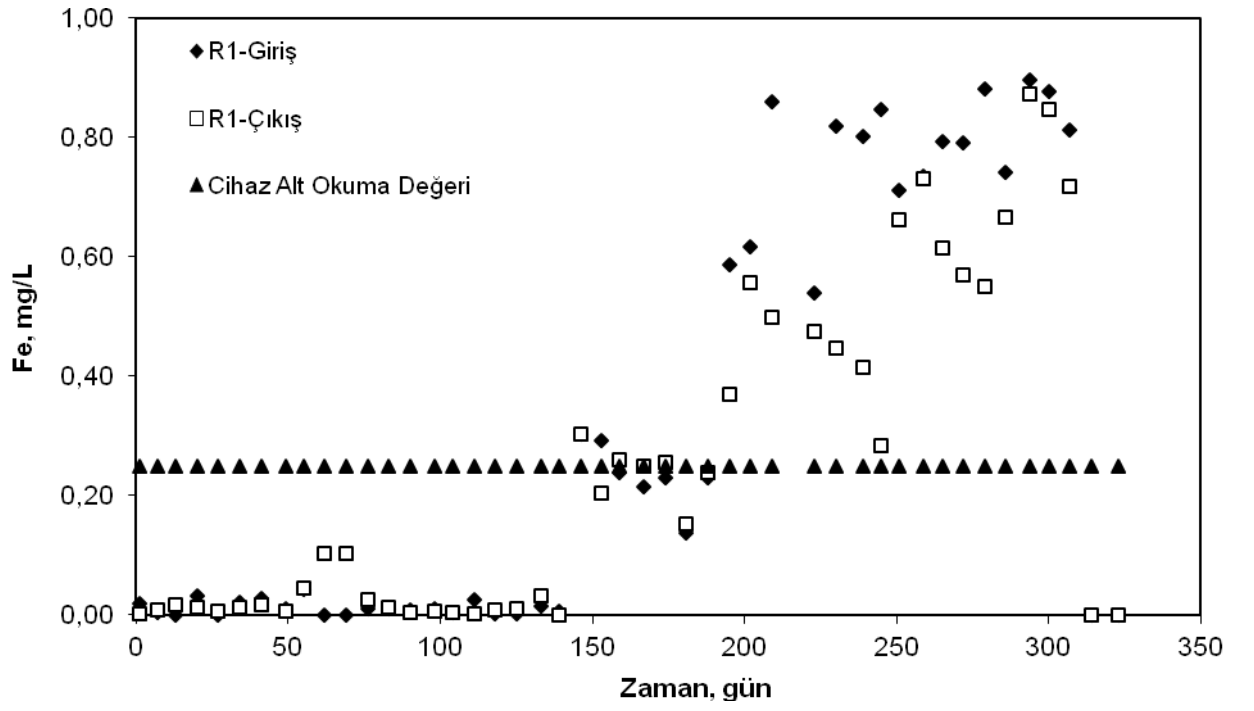
Yüksek ağır metal konsantrasyonları anaerobik arıtmayı inhibe edebilmektedir. Bu sebeple, krom (Cr) ve demir (Fe) gibi ağır metallerin reaktörlerdeki konsantrasyonları analiz edilmiştir. Bu ağır metallerin konsantrasyonları Şekil 4.53-4.56'da sırasıyla görülmektedir. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre, her iki fermentör sisteminde de ağır metallerden kaynaklanabilecek herhangi bir inhibisyon problemi görülmemiş olup, sistemler stabil bir şekilde işletilmiştir. Ağır metal konsantrasyonlarının fermentörlerin çıkışından alınan numunelerin büyük çoğunluğunda cihaz alt okuma limitinin altında olduğu tespit edilmiştir. Fermentör sistemleri için bir inhibisyon problemi yaşanmamasına rağmen, çıkış sularının deşarj aşamasından önce ekosistem üzerindeki kısa ve uzun vadeli potansiyel toksikolojik etkilerinin belirlenmesi ve konu ile ilgili bir veri tabanının oluşturulması maksadıyla zehirlilik testlerinin (örneğin balık biyodeneyi (ZSF), genotoksikolojik çalışmalar, vb.) de analiz şeması dâhil edilmesi tavsiye edilmektedir. Böylelikle, yönetmelikler çerçevesinde bu proses için daha emniyetli deşarjların sağlanması mümkün olacaktır.



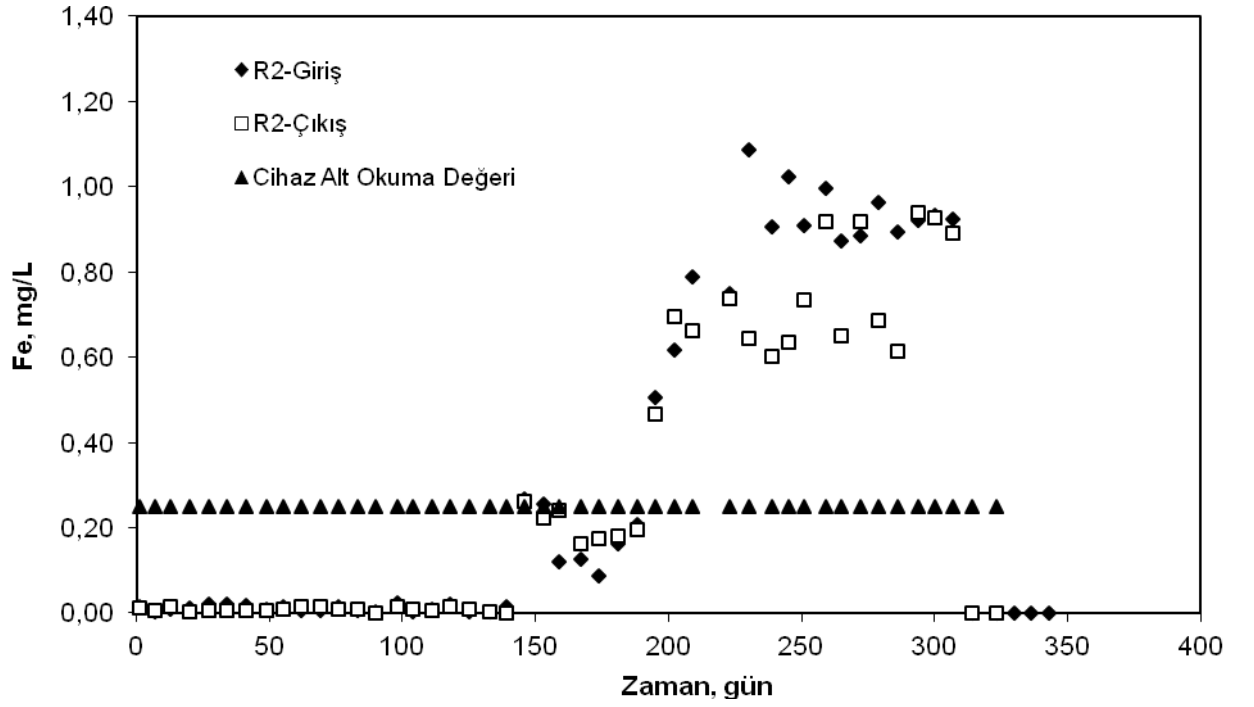
Şekil 4.53 Cr'nin R1'de zamanla değişimi



Şekil 4.54 Cr'nin R2'de zamanla değişimi



Şekil 4.55 Fe'nin R1'de zamanla değişimi

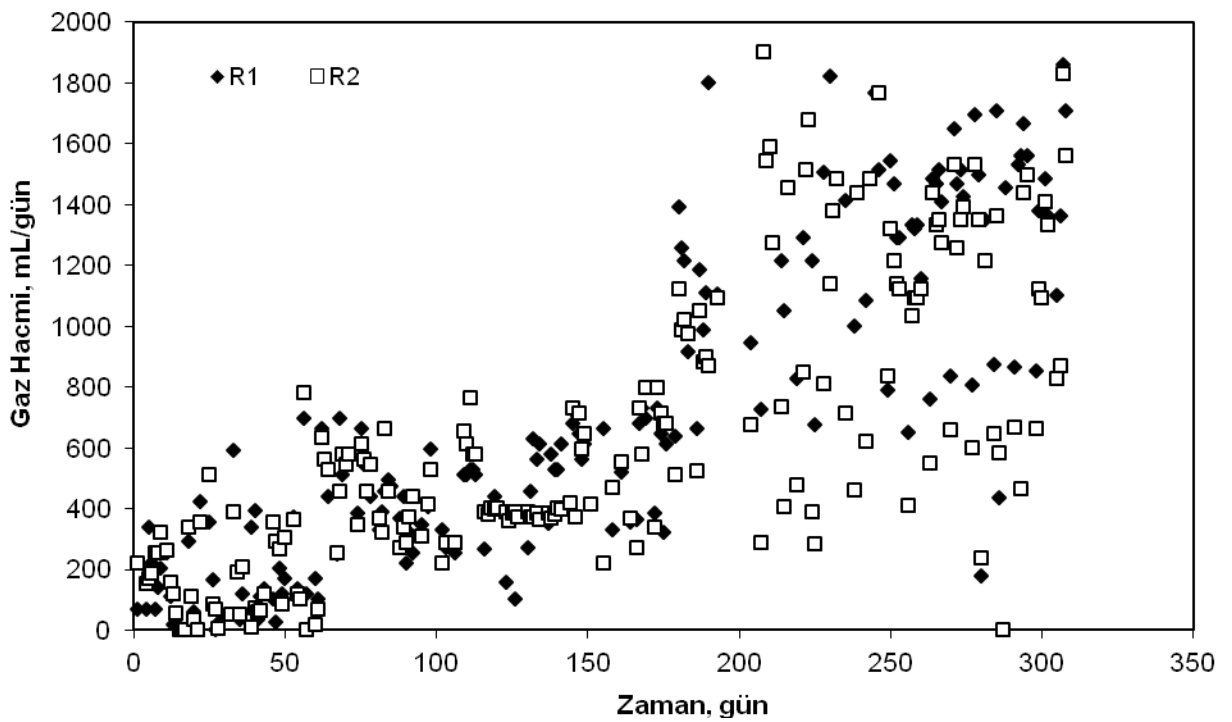


Şekil 4.56 Fe'nin R2'de zamanla değişimi

Şekil 3.2 ve 3.3'de görülen reaktörlerde üretilen gaz hacimleri analiz edilmiştir. Reaktörlerde üretilen gaz hacimleri Şekil 4.57'de görülmektedir. İşletme süresi

boyunca, R1 sisteminde (ozonlanmış konsantre ile beslenen) üretilen gaz hacimleri 5.1-1887 mL arasında değişim göstermiş olup, bu sistemde ortalama gaz üretimi değeri 656 mL olarak tespit edilmiştir. Benzer şekilde, R2 fermentöründeki (ozonlanmamış konsantre ile beslenen) gaz hacimleri 4.25-1905 mL arasında değişmiş ve bu sistemde elde edilen ortalama gaz üretimi 565 mL olarak bulunmuştur.

Fermentör sistemleri için ortalama gaz üretimleri göz önüne alındığında ozonla işlem görmüş konsantre ile beslenen R1 fermentörünün gaz üretim performansı, ozonlanmamış konsantre ile beslenen R2 fermentöründen yaklaşık %16.1 daha fazla olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.57 Reaktörlerde üretilen gaz hacimlerinin zamanla değişimi

Üretilen gazların bileşenleri Shimadzu marka GC-2010 model gaz kromatografi cihazı ile analiz edilmiştir. Belirli zamanlarda yapılan gaz içerik analizleri Çizelge 4.4' de görülmektedir. Çalışma süresi boyunca, R1 fermentöründe (ozonlanmış konsantre ile beslenen) tespit edilen metan muhtevası %1.9-66.4 arasında değişim göstermiş olup, R1 fermentöründen elde edilen biyogazdaki ortalama metan yüzdesi %27.6 olarak tespit edilmiştir. Benzer şekilde, R2 fermentöründe (ozonlanmamış konsantre ile beslenen) tespit edilen metan muhtevası %0.8-70.9 arasında ölçülmüş olup, R2

fermentöründeki ortalama metan yüzdesi %23.1 olarak bulunmuştur. Bunun yanında, R1 fermentöründen elde edilen biyogazdaki karbondioksit muhtevası %31.4-98.1 arasında değişim göstermiş olup, bu fermentörde ortalama karbondioksit yüzdesi %72.4 olarak belirlenmiştir. Aynı şekilde, R2 fermentöründe analiz edilen karbondioksit muhtevası %2-99.2 arasında bulunmuş olup, R2 fermentöründeki ortalama metan yüzdesi %76.9 olarak ölçülmüştür (Çizelge 4.4).

Enerji değeri açısından fermentör sistemlerinden elde edilen biyogazdaki ortalama metan muhtevaları göz önüne alındığında ozonla işlem görmüş konsantre ile beslenen R1 fermentörünün metan üretim performansı, ozonlanmamış konsantre ile beslenen R2 fermentöründen yaklaşık %19.5 daha fazla olarak belirlenmiştir. Deneysel sonuçlar, biyolojik arıtmadan önce ozonlama prosesi ile ön arıtım uygulanan konsantrenin biyolojik olarak ayrışabilirliğinin kolaylaştığını ve konsantre bünyesindeki yüksek moleküllü inert bileşiklerin oksitlenerek biyolojik arıtıma daha uygun hale getirilebildiğini göstermiştir.

Çizelge 4.4 Fermentör sistemlerinden elde edilen gaz içerikleri

Zaman (Gün)	R1		R2	
	CH ₄ (%)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	CO ₂ (%)
119	68,57	31,43	62,5	37,33
124	66,39	31,83	70,94	2,03
127	58,32	41,68	61,23	38,77
152	64,03	34,85	60,29	39,69
158	54,65	45,35	58,48	41,52
180	43,25	56,75	51,35	48,65
194	41,32	58,68	45,32	54,68
207	53,15	46,85	49,24	50,76
220	35,24	64,76	31,67	68,33
237	37,78	62,22	32,81	67,19
256	56,13	43,87	28,13	71,87
277	18,56	81,44	41,45	58,55
291	63,28	36,72	6,12	93,88
292	12,17	87,83	15,21	84,79

Çizelge 4.4 Fermentör sistemlerinden elde edilen gaz içerikleri (devam)

294	16,98	83,02	24,34	75,66
295	16,89	83,11	9,56	90,44
298	45,65	54,35	13,66	86,34
299	23,55	76,45	18,20	81,81
300	22,15	77,85	20,35	79,65
301	19,18	80,82	12,55	87,45
302	7,42	92,58	10,80	89,20
305	25,79	74,21	31,93	68,07
306	12,46	87,54	13,36	86,64
307	18,69	81,31	9,22	90,78
308	14,95	85,06	9,05	90,95
309	19,05	80,95	9,44	90,56
312	22,81	77,19	20,53	79,47
313	10,04	89,96	6,10	93,90
314	7,80	92,20	5,80	94,20
315	34,89	65,11	8,52	91,49
316	9,82	90,18	11,25	88,75
320	37,91	62,09	33,69	66,31
321	44,43	55,57	22,61	77,39
322	1,87	98,13	0,76	99,24
323	8,38	91,62	3,65	96,36
333	9,75	90,25	7,52	92,48
334	21,66	78,34	23,25	76,75
335	19,60	80,40	17,35	82,65
336	13,95	86,05	11,45	88,55
337	17,65	82,36	32,80	67,20
339	40,79	59,21	31,22	68,78
342	25,66	74,34	51,64	48,36
343	35,49	64,51	21,23	78,77
344	31,24	68,76	12,37	87,63
347	10,89	89,11	9,66	90,34

Biyogaz kompozisyonundan elde edilen değerlere göre 220. günden itibaren karbondioksit muhtevasının metan muhtevasına nazaran daha yüksek mertebelerde olduğu tespit edilmiştir. Konuyla ilgili literatür çalışmaları incelendiğinde, şu kanaatlere varılmıştır:

(1) Ortamda sülfat veya nitrat olması durumunda alkoller, bütirik ve propiyonik asitler gibi indirgenmiş bileşiklerin CO₂ ve asetata oksidasyonu sülfat indirgeyen bakteriler (SRB) ve nitrat indirgeyen (NRB) bakteriler tarafından gerçekleştirilir. Sülfatın sülfide indirgenmesi esnasında hidrojen kullanımı vardır. Bu durumda, sülfat indirgeyen bakteriler, metanojen ve homoasitojenlerle rekabete girerler. Havasız ayrışma sırasında ortamdaki sülfat iyonları sülfat indirgeyen bakterilerin (SRB) artmasına neden olur. Sülfat indirgeyen bakteriler metan indirgeyen bakterilerle aynı substrat için (hidrojen ve asetat) yarışır [62]. KOİ/sülfat oranının 1.7-2.7 arasındaki değerleri için metan üreten bakteriler (MPB) ile sülfat indirgeyen bakteriler (SRB)'in ortamdaki mevcut substrat kaynağı için rekabet halinde olduğu görülmekte ve bu değerlerin altındaki oranlarda ortamda SRB'nin hakim olduğu, belirtilen değerlerin üzerindeki oranlarda ise ortamda MPB baskın olmaktadır [60].

Yukarıdaki bilgilerin dışında, karbondioksit muhtevasının metan muhtevasına nazaran daha yüksek mertebelerde olmasının muhtemel sebeplerinden birinin, 200. günden sonra giriş sülfat konsantrasyonlarındaki artış neticesinde (Şekil 4.42 ve Şekil 4.44) KOİ/sülfat oranındaki değişimden ötürü SRB'lerin ortamdaki hâkimiyeti olduğu tahmin edilmektedir.

(2) Karbondioksit kompozisyonundaki artış halinde, çoğu asitojenik bakterinin metanojenik bakteriye nazaran çok daha aktif biyo-reaksiyon gösterdiğini belirtmektedir [61]. Ayrıca, biyogazdaki yüksek karbondioksit muhtevası, homoasetojenlerden kaynaklanan homoasetojenik reaksiyonlar neticesinde asetik asit üretildiği zaman, ortamdaki hidrojen tüketiminin karbondioksit tüketimine kıyasla çok daha fazla olmasından kaynaklanabilmektedir [60].

Buna göre, karbondioksit muhtevasının metan muhtevasına nazaran daha yüksek mertebelerde olmasının diğer bir muhtemel sebebinin de, 200. günden sonra değişen

koşullar karşısında asitojenik bakterilerin metanojenik bakterilere göre daha aktif olarak gerçekleşen biyo-reaksiyonlarından ileri geldiği düşünülmektedir.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR

Tekstil atıksularının nanofiltrasyon (NF) membran prosesi ile arıtımı neticesinde oluşan konsantrenin doğrudan ve ozonlama ile ön işlem uygulandıktan sonra anaerobik arıtılabilirliğinin araştırılması kapsamındaki deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar ve değerlendirmeler aşağıda verilmiştir:

Tekstil atıksuyunun karakterizasyonun üretime bağlı olarak değiştiği ve bu değişimin gün içerisinde de farklılıklar gösterdiği görülmüştür. Bu sebeplerle, tekstil atıksuyu arıtma amacıyla dizayn edilecek tesisler için kirletici yüklerin geniş bir aralıkta değişiminin dikkate alınması uygun olacaktır.

10 dakikadan daha fazla bir ozonlama yapılması halinde ozon reaktöründen kullanılmadan çıkan ozon miktarın daha fazla olduğu ve bu sebeple ozonlama için optimum sürenin 10 dakika olması gerektiği görülmüştür. Ayrıca, ozon kolonunda aşırı köpük oluşumu sebebiyle ozon üretimi için kullanılan kuru havanın debisinde 30 L kuru-hava/saat ve daha düşük olması gerektiği belirlenmiştir. 30 L kuru-hava/saat debide 10 dakika süresince yaklaşık 1 g ozon üretimi gerçekleştirilebilmiştir. Ozonlama sonrası KOİ'de küçük bir azalma ve BOİ₅ değerinde ise bir artış görülmüştür. Bu azalma ve artışlar atıksu karakterizasyonu bağlı olarak değişim göstermiştir.

10 günlük hidrolik bekletme süresi ve 37°C'lik mezofilik sıcaklıkta on-line ölçümler ve otomatik kontrol sistemiyle işletilen 5 L aktif ve 6 L toplam hacimli fermentör sistemlerinde (R1 ve R2) konsantrenin anaerobik arıtımı sürecinde herhangi bir inhibisyon problemi görülmemiş olup, 195. günden itibaren arttırılan organik yükleme işletme şartlarında bile prosesin kararlılığının bozulmadığı tespit edilmiştir.

Fermentör sistemleri için ortalama KOİ giderme verimleri göz önüne alındığında (R1 için %59 ve R2 için %54) ozonla işlem görmüş konsantre ile beslenen R1 fermentörünün (ozonlanmış konsantre ile beslenen) KOİ giderim performansı, ozonlanmamış konsantre ile beslenen R2 fermentöründen (ozonlanmamış konsantre ile beslenen) yaklaşık %9.3 daha fazla tespit edilmiştir. R1 ve R2 sistemlerinde maksimum KOİ giderme verimleri sırasıyla %82 ve %74 olarak bulunmuştur. Deneysel çalışma sürecinde elde edilen ortalama ÇKOİ giderme verimlerine göre (R1 için %64 ve R2 için %58) ozonla işlem görmüş konsantre ile beslenen R1 fermentörünün ÇKOİ giderim performansı, ozonlanmamış konsantre ile beslenen R2 fermentöründen yaklaşık %10.3 daha fazla olarak belirlenmiştir.

Ozonlanmış konsantre ile beslenen R1 fermentörünün ortalama BOİ₅ giderim performansı, ozonlanmamış konsantre ile beslenen R2 fermentöründen yaklaşık %13.6 daha fazla olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde, fermentör sistemleri için ortalama TOK giderme verimleri göz önüne alındığında R1 fermentörünün TOK giderim performansı, R2 fermentöründen yaklaşık %8.2 daha fazla olarak görülmüştür.

Fermentör sistemleri için ortalama UKM ve TKM giriş ve çıkış değerleri göz önüne alındığında, UKM değerlerinin geniş bir aralıkta salımın yaptığı buna mukabil TKM değerinin daha dar bir aralıkta değiştiği görülmüştür. Her iki fermentörün UKM ve TKM performanslarının çok farklı olmadığı görülmüştür.

Tüm verilere göre, ozonlanmış konsantre ile beslenen çalışma boyunca R1 fermentöründeki ortalama amonyum azotu artışı yaklaşık %39 ve ozonlanmamış konsantre ile beslenen R2 fermentöründeki ortalama amonyum azotu artışı %36 olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde, TP ve fosfat artışları R1 fermentörü için sırasıyla %131 ve %99.5 bulunmuş ve R2 fermentörü için de sırasıyla %109 ve %110 olarak belirlenmiştir.

Fermentör sistemleri için ortalama sülfat giderme verimleri göz önüne alındığında ozonla işlem görmüş konsantre ile beslenen R1 fermentörünün sülfat giderim performansı, ozonlanmamış konsantre ile beslenen R2 fermentöründen yaklaşık %15.6 daha fazla tespit edilmiştir.

Çalışma kapsamında analiz edilen bu makro bileşenler (Na^+ , Ca^{2+} , K^+), fermentörlerin kararlı hale gelmesiyle birlikte çıkış numunelerinde oldukça düşük değerlerde veya

ölçüm limitlerinin altında bulunmuştur. Benzer şekilde, her iki fermentör sisteminde de ağır metallere kaynaklanabilecek herhangi bir inhibisyon problemi görülmemiş olup, ağır metal konsantrasyonlarının fermentörlerin çıkışından alınan numunelerin büyük çoğunluğunda cihaz alt okuma limitinin altında olduğu ve ölçüm sonuçlarının deşarj standartlarını sağladığı tespit edilmiştir.

Fermentör sistemleri için ortalama gaz üretimleri göz önüne alındığında ozonla işlem görmüş konsantre ile beslenen R1 fermentörünün gaz üretim performansı, ozonlanmamış konsantre ile beslenen R2 fermentöründen yaklaşık %16.1 daha fazla olarak belirlenmiştir. Bunun yanında, ortalama metan muhtevaları göz önüne alındığında R1 fermentörünün metan üretim performansı, R2 fermentöründen yaklaşık %19.5 daha fazla bulunmuştur.

Anaerobik arıtma ile konsantre içerisindeki büyük moleküler ağırlığa sahip organik maddelerin önemli bir kısmının parçalandığı ve nihai ürünlere dönüştüğü görülmüştür.

R1 ve R2 fermentör sistemlerinin KOİ, ÇKOİ, BOİ₅, TOK ve sülfat giderim performansları ve metan üretim değerlerine ait deneysel sonuçlar, biyolojik arıtmadan önce ozonlama prosesi ile ön arıtım uygulanan konsantrenin havasız şartlarda ayrışabilirliğinin kolaylaştığını ve konsantre bünyesindeki yüksek moleküllü inert bileşiklerin oksitlenerek biyolojik arıtmaya daha uygun hale getirilebildiğini göstermiştir. Böylece hem anaerobik arıtma ile organik maddeler biyolojik olarak arıtılırken hem çevreye olası zararları da minimize edilmektedir. Ancak, anaerobik mineralizasyon sonucu artan amonyum azotu ve nütrient konsantrasyonlarının ve diğer bakiye kirletici parametrelerin istenen deşarj limitlerine indirilebilmesi maksadıyla mutlaka gerekli önlemlerin alınması ve etkin ileri arıtma alternatiflerinin mevcut prosese entegre edilmesi tavsiye edilmektedir. Ayrıca, tekstil sektörünün karakteristik özelliği göz önüne alındığında, nihai çıkış suları üzerinde toksikolojik testlerin uygulanmasıyla daha emniyetli deşarjların sağlanabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

-
- [1] Shu, L., Waite,T.D., Bliss , P.J. Fane,A. ve Jegatheesan,V.,(2005). "Nanofiltration for The Possible Reuse of Water And Recovery of Sodium Chloride Salt From Textile Effluent", Desalination, 172: 235-243.
- [2] Tang, C., ve Chen, V.,(2002). "Nanofiltration of Textile Wastewater for Water Reuse", Desalination, 143: 11-20.
- [3] Chakraborty, S., Purkait M.K., Das Gupta S., De, S. ve Basu, J.K., (2003). "Nanofiltration of Textile Plant Effluent for Color Removal And Reduction In COD", Seperation and Purification Technology, 31: 141-151.
- [4] ÇOB (T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı) (2009), Çevresel Etki Değerlendirilmesi Sektörel Rehberleri ÇED Rehberi, Tekstil Fabrikaları, Ankara.
- [5] Kayacan, B., (2010). Pamuklu Tekstil Endüstrisi Atıksularının Membran Teknolojisi ile Geri Kazanımının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [6] Kav, M.F., (2011). Adana Organize Sanayi Bölgesi Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış Sularının İleri Arıtma Yöntemleri (Fizikokimyasal yöntemler: pıhtılaştırma,yumaklaştırma, perlit filtrasyon) Kullanılarak Tekstil Endüstrisinde Proses Suyu Olarak Geri Kazanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [7] Kanlıoğlu, B.Ü., (2000). Pamuklu Tekstil Endüstrisi Atıksularında İyon Çifti Ekstraksiyonu Metodu İle Renk Giderimi, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- [8] İçoğlu, H.İ., (2006). Pamuklu Dokunmuş Kumaşların Reaktif Boyar Maddelerle Boyanması Ve Uygulama Yöntemlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [9] Birgül, A., (2006). Tekstil Endüstrisi Atıksu Arıtımında İleri Oksidasyon Proseslerinin Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

- [10] EPA, (1997). Sector Notebook Project: Profile of the textile endustry, EPA/310-R-97-009, Washington.
- [11] EPA, (2000). Emergency Planning And Community Right- To- Know Act Section 313 Reporting Guidance For The Textile Processing Industry.
- [12] Vardar, B., (2006). Tekstil Endüstrisi Reaktif Boya Banyolarının Elektrokimyasal Yöntemlerle Arıtılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [13] Çebici C., (2006). Pamuklu Dokuma Kumaşların Mersevizasyon Çalışma Şartlarının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- [14] Gönüllü, T., (2004). Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Cilt I, Birsan Yayın Evi, İstanbul.
- [15] Bes-Pia, A., Iborra-Clar, A., García-Figueroa, C., Barredo-Damas, S., Alcaina-Miranda, M.I., Mendoza-Roca, J.A. ve Iborra-Clar, M.I., (2009). "Comparison of Three NF Membranes for The Reuse of Secondary Textile Effluents", Desalination, 241: 1-7.
- [16] Fersi, C., Gzara, L. ve Dhahbi, M., (2005). "Treatment of Textile Effluents by Membrane Technologies", Desalination, 185: 399-409.
- [17] Arık, P., (2011) Pamuklu Tekstil Endüstrisinde Uygun Atıksu Arıtma Teknolojisi Seçimi. Arbiogaz Çevre Teknolojileri.
- [18] TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu), www.tuik.gov.tr, (2008).
- [19] Sevimli, M.F., (2000). Tekstil Endüstrisi Atıksularından Ozonlama ile Renk Giderimi ve Ozonlamanın Biyolojik Arıtılabilirliğe Etkisi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [20] Çapar, G., Uzal, N., Ünlü, M., Varol, C., Yılmaz, L. ve Yetiş, Ü., (2009). Tekstil Endüstrisinde Membran Teknolojisi ile Proses Suyu Geri Kazanımı, Membran Teknolojileri ve Uygulamaları Sempozyumu, İstanbul.
- [21] Söğüt, O.Ö., Gümüş, D. ve Akgün, M., (2008). Tekstil Atıksularının Arıtılmasına Alternatif Çözüm: Süperkritik Su Oksidasyonu, İ.T.Ü. 11. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu, İstanbul.
- [22] Qin, J.J., Oo, M.H. ve Kekre, K.A., (2007). Nanofiltration for Recovering Wastewater From A Specific Dyeing Facility, Separation and Purification Technology, 56: 199-203.
- [23] Firmino, P.I.M., Silva, E.R., Cervantes, F.J. ve Santos, A.B., (2010). "Colour Removal Of Dyes From Synthetic and Real Textile Wastewaters in One- and Two-Stage Anaerobic Systems", Bioresource Technology, 101: 7773-7779.
- [24] Cervantes, F.J. ve Santos, A.B., (2011). Reduction of Azo Dyes by Anaerobic Bacteria: Microbiological and Biochemical Aspects, Environ Sci Biotechnol 10: 125- 137.
- [25] Yılmaz, K., (2010). Tekstil Endüstrisi Atıksularının Magnezyum Flokülasyonu ile Arıtılabilirliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [26] SKKY, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, T.C. Resmi Gazete (25687), 31.12.2004, 30-31.

- [27] Vandevivere, P.C., Bianchi, R. ve Verstraete, W., (1998). "Treatment and Reuse of Wastewater from the Textile Wet-Processing Industry: Review of Emerging Technologies:A review", J. Chem. Technol. Biotechnol, 72: 289-302.
- [28] Lockerbie, M. ve Skelly, JK., (2003). "Water Quality Requirements for Treated Effluent Produced by Recycling", Water Recycling in Textile Wet Processing, 212–223.
- [29] Alcaina-Miranda, I., Barredo-Damas S., Bes-Pia, A., Iborra-Clar, M.I., Iborra Clar, A. ve Mendoza-Roca, J.A.,(2009). "Nanofiltration as a Final Step Towards Textile Wastewater Reclamation", Desalination 240:290-297.
- [30] Bruggen, B., Lejon, L. ve Vandecastlee, C.,(2003). "Reuse, Treatment, and Discharge of the Contrate of Pressure-Driven Membrane Processes", Enviromental Science and Tecnology, 3733-3738.
- [31] Amar, N.B., Kechaouc, N., Palmerid, J., Deratanie, A. ve Sghaier, A,. (2009). "Comparison of Tertiary Treatment By Nanofiltration and Reverse Osmosis for Water Reuse in Denim Textile Industry", Journal of Hazardous Materials 170: 111–117.
- [32] Fersi, C., Gzara, L. ve Dhahbi, M., (2009). "Flux Decline Study for Textile Wastewater Treatment by Membrane Processes", Desalination 244: 321–332.
- [33] BTTG (British Textile Technology Group), (2010). Report 5: Waste Minimization and Best Practice, British Textile Technology Group.
- [34] Eremektar, G., Selcuk, H. ve Meric, S., (2007). "Investigation of The Relation Between COD Fractions and The Toxicity in A Textile Finishing Industry Wastewater: Effect Of Preozonation", Desalination, 211: 314–320.
- [35] Kaleli, B., (2006). Atıksuların İleri Arıtımında Membran Proseslerin Kullanımının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [36] Qi, L., Wang, X. ve Xu, Q., (2011). "Coupling of Biological Methods with Membrane Filtration Using Ozone as Pre-treatment for Water Reuse", Desalination, 270: 264–268.
- [37] Metcalf&Eddy, Inc., (2004). Wastewater Engineering Treatment and Reuse, Mc Graw-Hill Book Co, New York.
- [38] Żyłaa, R., Sójka-Ledakowicza, J., Stelmachb, E. ve Ledakowicza S.,(2006). "Coupling Of Membrane Filtration with Biological Methods for Textile Wastewater Treatment", Desalination, 198: 316–325.
- [39] Marcucci, M., Ciabatti, I., Matteeucci, A. ve Vernaglione, G. (2003). "Membrane Technologies Applied to Textile Wastewater Treatment", Annals Newyork Academy of Sciences, 984: 53-64.
- [40] Fersi, C. ve Dhahbi, M., (2008). "Treatment of Textile Plant Effluent by Ultrafiltration and/or Nanofiltration for Water Reuse", Desalination, 222: 263-271.
- [41] Cheremisinoff, N.P., (2002). Handbook of Water and Wastewater Treatment Technologies, Butterwoth- Heinemann, Woburn, MA.
- [42] Arnal, J.M., León, J. L., Gozálvéz, J.M., Santafé, A., Sanz, D. ve Tena, J., (2008). "Ultrafiltration as a Pre-Treatment of Other Membrane Technologies in the Reuse of Textile Wastewaters", Desalination, 221: 405-412.
- [43] Uzal, N., Yilmaz,L. ve Yetis,U.,(2009). "Microfiltration/Ultrafiltration as Pretreatment for Reclamation of Rinsing Waters of Indigo Dyeing", Desalination 240: 198-208.

- [44] Sponza, D., Işık, M. ve Atalay,H., (2000). “İndigo Boyar Maddelerinin Anaerobik Arıtılabilirliklerinin İncelenmesi”, Fen ve Mühendislik Dergisi: 2(3).
- [45] Aydıner, C., Kaya, Y., Gönder, Z.B. ve Vergili, İ., (2009). “Tekstil Boyama Atıksularından Su ve Tuz Geri Kazanımında Farklı Membran Proseslerinin Kullanımı”, Membran Teknolojileri ve Uygulamaları Sempozyumu, İstanbul.
- [46] Öztürk, İ., Timur, H. ve Koşkan, U.,(2005). Atık Su Arıtımının Esasları Evsel Endüstriyel Atıksu Arıtımı ve Arıtma Çamurlarının Kontrolü, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı.
- [47] Gökkuş, Ö., (2006). Dispers Boyarmadde İçeren Tekstil Atıksularında Renk Giderimi, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
- [48] Öztürk, İ., (2007). Anaerobik Arıtma ve Uygulamaları, Genişletilmiş 2. Baskı, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.
- [49] Fakı, A.,(2006). Reaktif Tekstil Boyar Maddelerin Zeolit Kolonda Adsorpsiyon Yolu ile Giderilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [50] Kapdan İ.K. ve Alparslan S. "Tekstil Endüstrisi Atıksularından Anaerobik-aerobik Ardışık Reaktör Sisteminde KOİ ve Renk Giderimi", ÇEVRE 2004 I. Ulusal Çevre Kongresi Cumhuriyet Üniversitesi, Ekim 2004, Sivas.
- [51] Bonakdarpour, B., Vyrides, I. ve David C., (2011). “Stuckey Comparison of the Performance of One Stage and Two Stage Sequential Anaerobic-Aerobic Biological Processes For The Treatment Of Reactiveazo-Dye-Containing Synthetic Wastewaters”, International Biodeterioration & Biodegradation, 65: 591-599.
- [52] Degremont Tech. Ltd.,(2010). Ozonia Ozat CFS1/3 Ozone Generators Operating Manual, HSP107049, Dübendorf.
- [53] Souza, S., Bonilla, K. ve Souza, A.,(2010). “Removal of COD and Color from Hydrolyzed Textile Azo Dye by Combined Ozonation and Biological Treatment”, Journal of Hazardous Materials 179: 35–42.
- [54] Judd, S. ve Jefferson, B., (2003). Membranes for Industrial Wastewater Recovery and Re-use, Elsevier, Oxford.
- [55] Squire, D., Murrer, J., Holden, P.ve Fitzpatrick, C., (1997). “Disposal of Reverse Osmosis Membrane Concentrate,” Desalination, 108 (1–3): 143-147.
- [56] Badruzzaman, M., Oppenheimer J., Samer Adhamb, S. ve Kumar, M., (2009). “Innovative Beneficial Reuse of Reverse Osmosis Concentrate Using Bipolar membrane Electrodialysis and Electrochlorination Processes”, Journal of Membrane Science, 326: 392-399.
- [57] Squire, D., (2000). “Reverse Osmosis Concentrate Disposal in the UK”, Desalination, 132(1–3): 47-54.
- [58] Nederlof, M.M., Van-der Passen, J.A.M. ve Jong, R., (2005). “Nanofiltration Concentrate Disposal Experiences in The Netherlands”, Desalination, 178: 303-312.
- [59] Yetilmezsoy, K., (2008). Tavuk Çiftliği Atıklarının Havasız Çamur Yataklı Reaktörde Arıtılabilirliği, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [60] Won, S.G., (2013). Anaerobic Fermentation for Biological Hydrogen Production in a Sequencing Batch Reactor, PhD Thesis, The Faculty of Graduate Studies, Chemical and Biological Engineering, The University of British Columbia.

- [61] Mudunge, R., (2000). Comparison of an Anaerobic Baffled Reactor and a Completely Mixed Reactor-Start-up and Organic Loading Tests, Yüksek Lisans Tezi, School of Chemical Engineering, University of Natal, Durban.
- [62] Öztürk, İ., (1999). Anaerobik Biyoteknoloji ve Atık Arıtımındaki Uygulamaları, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.
- [63] Debik, E., Manav, N. ve Coşkun, T., (2008). Biyolojik Temel İşlemler Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- [64] Demirer, G.N. ve Chen, S., (2005). "Anaerobic Digestion of Dairy Manure in a Hybrid Reactor with Biogas Recirculation", World Journal of Microbiology & Biotechnology, 21(8-9): 1509-1514.
- [65] Lyster, C.N., (2004). Swine Wastewater Treatment in an Integrated System of Anaerobic Digestion and Duckweed Nutrient Removal: Pilot study, Yüksek Lisans Tezi, Graduate Faculty of North Carolina State University, Raleigh.
- [66] Koskinen, P.E.P., Beck, S.R., Örlygsson, J. ve Puhakka, J.A., (2008) "Ethanol and Hydrogen Production by Two Thermophilic, Anaerobic Bacteria Isolated From Icelandic Geothermal Areas", Biotechnology and Bioengineering, 101(4): 679-690.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Vesile ÇELEBİ
Doğum Tarihi ve Yeri : 12.06.1986/ Diyarbakır
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : vesile_1903@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Çevre Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2014
Lisans	Çevre Mühendisliği	Fatih Üniversitesi	2009
Lise	Fen Bilimleri	Osman Ülkümen Anadolu Lisesi	2004

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2010	Evren Çevre Danışmanlık	Çevre Görevlisi/ Çevre Mühendisi

