



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJESİ SONUÇ RAPORU**

**PROJE ADI
TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ
ARITILMASINDA KULLANILMAK ÜZERE LAB/PİLOT
ÖLÇEKTE MEMBRAN BİYOREAKTÖR TASARIMI ve
İMALATI**

PROJE NO:2010.BİL.01-006

PROJE YÜRÜTÜCÜSÜ : Doç.Dr. Çağlayan AÇIKGÖZ

ARAŞTIRMACILAR : Yrd.Doç.Dr. Alev AKPINAR BORAZAN

Öğr.Grv. Kadir ÖZAN

BAŞLAMA TARİHİ :15.09.2010

BİTİŞ TARİHİ :15.09.2012

**BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
BİLECİK, 2012**

ÖZET

Tekstil endüstrisi atık suları için önerilen fiziksel ve kimyasal yöntemlerin yüksek maliyet gerektirmeleri ve her boya için kullanılamıyor olmaları, uygulanmalarının sınırlı olmasına neden olmuştur. Son zamanlarda yapılan çalışmalar birçok boya türünü atık sudan giderebilme yeteneğine sahip yaygın mikroorganizma türlerinin mevcudiyetini vurgulamış ve biyoteknolojik metotları ön plana çıkarmıştır.

MBR (Membran Biyoreaktörler) biyolojik parçalanma ve membran ayırma işlemi şeklindeki iki temel prosesin kombinasyonu olarak tanımlanabilir. Membran ünitesinde süspanse katıların ve biyolojik parçalanmayı gerçekleştiren mikroorganizmaların arıtılan sudan ayrılması tek proses olarak ifade edilebilir. Bütün biyokütle, hem reaktördeki mikroorganizma bekletme zamanını (çamur yaşı) hem de çıkış suyunun dezenfeksiyonunu sağlamak amacıyla sistem içinde tutulmaktadır.

Son yıllarda polimer ve dolayısıyla membran teknolojisindeki çok hızlı gelişmeler ve üretim maliyetinin azaltılması sebebiyle gerek içme suyu gerekse de atıksu arıtma alanlarında membran prosesleri (özellikle mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon) konvansiyonel sistemlerle maliyet açısından rekabet edebilir hale gelmiş ve geniş çapta uygulanmaya başlanmıştır.

Bu çalışmada küçük ölçekte bir MBR tasarlanması ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Devreye alınan MBR sisteminde iki farklı biyokütle ile deneysel çalışmalar yapılarak tekstil atık suyunun arıtım çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Membran biyoreaktörler, Membran filtrasyon, Endüstriyel atıksu arıtımı, Tekstil atıksuları.

ABSTRACT

The proposed physical and chemical methods for textile industry waste water treatment result in limited usage due to their high cost and inapplicability to every dye. The latest studies highlight biotechnological methods and points out the existence of widespread microorganism classes that have the ability to remove dye from waste water. MBR is defined as the combination of two basic processes: biological decomposition and membrane separation. The removal of dispersible solids and microorganism that performs biological decomposition from the clarified water can be referred as a single process. The whole biomass is hold inside the system in order to provide microorganism waiting time (sludge age) and effluent disinfection.

Recently, due to the rapid advances in polymer and membrane technology and reduced manufacturing costs, membrane processes (especially microfiltration and ultrafiltration) have become able to compete with conventional systems on price and have started being implemented widely.

In this study, a new membrane reactor was designed and manufactured by using the recent solutions to the operation problems and the economical feasibility data. In the proposed membrane bioreactor system, two different biomasses were experimented to study the clarification of textile waste water.

Keywords: membrane bioreactor, membrane filtration, industrial waste water clarification, textile waste water.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
KISALTMALAR DİZİNİ	vii
SİMGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜRDE KONUYLA İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR	4
3. TEKSTİL ATIKSU ARITIMI İÇİN LAB/PİLOT ÖLÇEKTE MEMBRAN BİYOREAKTÖRÜN TASARIM (DİZAYN) HESAPLAMALARI	10
4. TEKSTİL ATIKSU ARITIMI İÇİN LAB/PİLOT ÖLÇEKTE MEMBRAN BİYOREAKTÖR (MBR) ÜNİTESİNİN İMALATINDA KULLANILAN MALZEME ve EKİPMANLAR	17
4.1 Tanklar.....	17
4.2 Membran	17
4.3 Blower (Hava Körüğü-Üfleyici)	19
4.4 Difüzör	20
4.5 Debimetre (Hava).....	22
4.6 Hava Hazırlayıcı (Şartlandırıcı).....	24
4.7 Debimetre (Su).....	25
4.8 İletkenlik Tip Seviye Kontrol Şalteri	27
4.9 Seviye Kontrol Cihazı (Röle).....	28
4.10 Fişek Tipi Isıtıcı (Rezistans).....	29
4.11 Sıcaklık Kontrol Cihazı (Termostat)	30
4.12 Kumanda ve Kontrol Panosu	31
4.13 Atıksu Tankı Ön Filtreleme Elemanları	32
4.14 PLC (Programmable Logic Controller - Programlanabilir Lojik Kontrol).....	33
4.15 Pompa.....	38
4.16 Su İletimi Bağlantı Boruları	39
5. İMALATI TAMAMLANAN LAB/PİLOT ÖLÇEKTE MBR'İN DEVREYE ALINMASI VE YAPILAN DENEYSEL ARITIM ÇALIŞMALARI	41

5.1	Lab/Pilot ölçekte MBR'nin Devreye Alınma Aşamasında Yapılan I.Deneysel Çalışmalar	42
5.2	Lab/Pilot ölçekte MBR'nin Devreye Alınma Aşamasında Yapılan II. Deneysel Çalışmalar	44
5.3	Ölçülen Parametreler.....	45
5.3.1	Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	45
5.3.2	Çözünmüş Oksijen	46
5.3.3	pH	46
5.3.4	Renk.....	46
5.3.5	Askıda Katı Madde (AKM).....	47
5.3.6	Toplam Katı Madde (TKM)	47
6.	SONUÇLAR	48
7.	TARTIŞMA ve ÖNERİLER.....	55
	KAYNAKLAR.....	57

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Biyolojik arıtma için kinetik katsayılar (Metcalf ve Eddy, 2003).	11
Çizelge 3.2. Lab/Pilot ölçekte MBR tasarım kabulleri.	15
Çizelge 3.3. Blower kapasitesi hesaplamasında kullanılan değerler.....	16
Çizelge 3.4. Lab/Pilot ölçekte MBR sisteminin tasarım değerleri.....	16
Çizelge 4.1. Membran filtrenin teknik özellikleri.....	18
Çizelge 4.2. Blowerın basınç miktarına göre hava kapasitesi.....	20
Çizelge 4.3. Lab/Pilot ölçekte MBR sisteminde kullanılan disk difüzöre ait teknik bilgiler.	22
Çizelge 4.4. Hava debimetresi teknik bilgileri.....	24
Çizelge 4.5. Seviye kontrol şalteri teknik bilgileri.....	28
Çizelge 5.2. Simüle tekstil atıksu bileşimi.....	43
Çizelge 5.3. I.Boyama makinesine ait boyama reçetesinin bileşimi.....	44
Çizelge 5.4. II. Boyama makinesine ait boyama reçetenin bileşimi.	44
Çizelge 5.5. II. Deneysel çalışmada kullanılan tekstil atıksuyunun kirlilik yükleri.	45
Çizelge5.6. Işık absorpsiyonu ve renk.	46
Çizelge 6.1. Renk giderimi için hazırlanan farklı ppm değerlerine sahip Everzol Orange 3R boyar maddesinin UV tablosu.	50
Çizelge 6.2. 10 günlük işletim süresince ölçüm sonuçları.	51
Çizelge 6.3. Deneysel analiz sonuçları.	53

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Dahili Membran biyoreaktör madde dengesi (Wen vd., 2010).....	12
Şekil 4.1. Pleksiglas tankların genel görüntüsü.	17
Şekil 5.1. İmalatı tamamlanan Lab/Pilot ölçekte dahili MBR sisteminin şematik çizimi.	41
Şekil 5.2. Lab/Pilot ölçekte MBR sisteminde aktif ganül çamurun görünümü.	42
Şekil 6.1. Everzol Orange 3R boyar maddesinin konsantrasyon-absorbans grafiği.	50
Şekil 6.2. Everzol Orange 3R boyar maddesinin konsantrasyonun zamanla değişimi. ...	51
Şekil 6.3. Zamana karşılık KOİ parametresindeki değişim.	51
Şekil 6.4. Çözünmüş oksijen miktarının zamanla değişimi.	52
Şekil 6.5. Toplam askıda katı maddesinin zamanla değişimi.....	52
Şekil 6.6. KOİ giderim yüzdesi.....	53
Şekil 6.7. Çözünmüş oksijen miktarının zamanla değişimi.	54
Şekil 6.8. Askıda katı madde miktarının zamanla değişimi.	54
Şekil 6.9. Havalandırma tankına verilen hava (L/dak.).	54
Şekil 6.10. Havalandırma tankındaki arıtılan suyun iletkenlik değişimi.	54

KISALTMALAR DİZİNİ

AC	: Alternatif Akım
AISI	: Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü
AKM	: Askıda Katı Madde
AKR	: Ardışık Kesikli Reaktör
BOİ	: Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
BOİ ₅	: Beş Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
CMC	: Karboksimetil Selüloz
CNC	: Bilgisayar Sayısal Kontrol
ÇKM	: Çözünmüş Katı Madde
ÇO	: Çözünmüş Oksijen
DNA	: Deoksiribonükleik Asit
EPDM	: Etilen- Propilen- Dien- Monomer
H	: Yüksek
HF	: Hollow Fiber (İçi Boş Lif)
hh	: Saat
HRT	: Hidrolik Tutulma Süresi
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
LCD	: Sıvı Kristal Ekran
MBR	: Membran Biyoreaktör
MEMS	: Mikro-Elektro-Mekanik Sistemler
MF	: Mikrofiltrasyon
MLSS	: Karışımın Askıda Katı Madde
mm	: Dakika
MO	: Mikro Organizma
NC	: Normalde Kapalı
NCM	: Normal Kübik Metre
NF	: Nanofiltrasyon
NO	: Normalde Açık
NPT	: National Pipe Taper- (Amerikan Boru Diş)
NTU	: Nefelometrik Bulanıklık Birimi

OFF	:Kapalı
ON	:Açık
PES	:Polietersülfon
PET	:Polietilenteraftalat
PG7	:Polyamid Gland
PLC	:Programlanabilir Lojik Kontrol
PMMA	:Polimetilmetakrilat
PP	:Polipropilen
PSF	:Polisülfon
PTFE	:Politetrafloroetilen
PTHF	:Politetrahidrofuran
PVA	: Polivinil Alkol
PVC	:Polivinilklorür
PVDF	:Polivinilidenflorür
R	:Boru Diş Simgesi
RH	:Relatif (Bağıl) Nem
RNA	:Ribonükleik Asit
RO	:Ters Ozmos
SA	:Selüloz Asetat
SGYAR	:Sabit Granül Yataklı Anaerobik Reaktör
SLPM	:Standart Litre/Dakika
SMBR	:Daldırılmış Membran Reaktör
SRT	:Katı Tutulma Süresi
SS	:Paslanmaz Çelik
TÇK	:Toplam Çözünmüş Katı Madde
TKM	:Toplam Katı Madde
TMP	:Trans Membran Basıncı
TOK	:Toplam Organik Karbon
TSE	:Türk Standartları Enstitüsü
UAKM	:Uçucu Askıda Katı Madde
UF	:Ultrafiltrasyon

UV :Ultraviyole

V :Volt

VA :Volt Amper

SİMGELER DİZİNİ

- A =Membran alanı.
- A_F =Hava debisi.
- AOTR =Açık hava şartlarında gerekli net oksijen transferi.
- C_L = Havalandırma tankında, istenen çözülmüş oksijen konsantrasyonu.
- C_s =Deniz seviyesinde 20 °C’de saf sudaki oksijenin doygunluk konsantrasyonu.
- $C_{s,T,H}$ =T sıcaklık ve H rakımında havalandırma havuzundaki temiz suda çözülmüş oksijen doygunluk konsantrasyonu değeri.
- $C_{s,T,H}$ =Oksijen konsantrasyonu.
- E =Difüzörlerden suya oksijen verimi.
- F = Tıkanma faktörü.
- F/M =Substrat/Biyokütle oranı.
- f_d = Ölen heterotrofik hücrelerden gelen kalıntı.
- FPM_a =Düz plaka membran kasetinin alanı.
- FPM_q =Düz plaka membran adedi.
- g =Yer çekimi ivmesi.
- HRT = Hidrolik tutulma süresi.
- J =Membran akısı.
- k_d = Heterotrofik bakteriler için ölüm oranı.
- k_{dn} =Nitrifikasyon bakterileri için ölüm oranı.
- K_n = Nitrifikasyon bakterileri yarı hız sabiti.
- K_s = Heterotrofik bakteriler yarı hız sabiti.
- M =Havanın ortalama molekül ağırlığı.
- Ne =Çıkışta NH₄-N (Amonyum azotu) konsantrasyonu.
- NO_x =Azot oksit.
- Ns =Aktif çamur yükleme hızı.
- O_t = Havalandırma tankını terk eden oksijen konsantrasyonu.
- P_{atm} =Atmosferik basınç.
- $P_{atm,H}$ =H rakımındaki hava basıncı.
- P_d =Difüzörün havalandırma tankında havayı verdiği noktadaki basınç.

- $P_{w,eff}$ = Difüzörün havalandırma tankındaki su yüzeyine mesafesi.
 $P_{X,bio}$ = Günlük olarak atılan biyokütle.
 Q =Günlük debi.
 V =Reaktör hacmi.
 R =Evrensel gaz sabiti.
 R_o = Gerekli oksijen miktarı.
 S_e = Çıkış çözünür substrat konsantrasyonu.
 S_o = Giriş çözünür substrat konsantrasyonu.
 $SOTR$ =Çözünmüş oksijen içermeyen 20 °C'deki saf suda standart oksijen transfer hızı.
 SRT = Katı alıkonma süresi.
 T =Sıcaklık.
 TKN =Toplam Kjeldahl Azotu.
 X = Havalandırma tankındaki aktif çamur konsantrasyonu.
 Y = Heterotrofik biyolojik verim katsayısı.
 Y_n = Nitrifikasyon biyolojik verim katsayısı.
 z_b =Rakım, m
 γ =Suyun özgül ağırlığı, kN/m^3
 μ_m = Heterotrofik bakteriler için maksimum büyüme hızı.
 μ_{nm} = Nitrifikasyon bakterileri için maksimum büyüme hızı.

1. GİRİŞ

Tekstil Endüstrisi ülkemiz ekonomisi için, özellikle ihracat miktarı açısından çok önemli bir rol oynamaktadır. Diğer taraftan; tekstil sektörü, üretim prosesi sonucu büyük miktarda kirlenmiş suyu alıcı ortama deşarj etmekte ve böylelikle gerek harcadığı su kaynağı ve gerekse kirlettiğı alıcı ortam etkileri sebebiyle, çevre kirliliğı açısından büyük önem taşımaktadır. Ülkemizdeki tekstil fabrikalarının çokluğu dikkate alındığında tekstil kaynaklı atık suların arıtılması önemlidir.

Günümüzde artan nüfus karşılık, daralan ve kirlenen toprak parçası üzerinde daha az yer kaplayan, çıkış suyu kalitesi bakımından oldukça verimli olan ve ekonomik boyutta oldukça avantajlı arıtma prosesleri üzerinde araştırmalar yoğunlaşmıştır.

Son zamanlarda biyolojik arıtımda aktif çamur sistemini takip eden son çökeltim havuzu yerine ultrafiltrasyon ve mikrofiltrasyon membran modülleri kullanılmaya başlanmıştır. MBR, klasik aktif çamur sistemlerinin geliştirilmiş şekli olup, biyolojik reaktörler ile membran teknolojisinin birleştirilmiş halidir. Son yıllarda polimer ve dolayısıyla membran teknolojisindeki çok hızlı gelişmeler ve üretim maliyetinin azaltılması sebebiyle gerek içme suyu gerekse de atıksu arıtma alanlarında membran prosesleri (özellikle mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon) konvansiyonel sistemlerle maliyet açısından rekabet edebilir hale gelmiş ve geniş çapta uygulanmaya başlanmıştır. Dolayısıyla, atıksu arıtmada uygulanan MBR'ler de gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde artan bir hızla arıtma tesislerinde devreye alınmıştır. Gelecek yıllarda birçok konvansiyonel atıksu arıtma tesislerinin teknolojilerini MBR'lere dönüştüreceğı ve özellikle de son çökeltim havuzlarının ortadan kalkacağı ABD ve Avrupa'daki uzmanlar tarafından tahmin edilmektedir (Kitiş vd, 2009).

Tasarım yaklaşımları açısından MBR'lerin günümüze gelinceye dek 3 temel nesli ortaya çıkmıştır ve 4. nesil de gelişme aşamasındadır. Kentsel veya evsel atıksu arıtımı için kullanılan 1. nesil MBR'ler daha çok küçük debiler, kanalizasyona bağı olmayan bölgeler ve atıksu geri kazanım ve kullanımı için uygulanmışlardı. Örneğin, karavan parkları, uydu yerleşimleri, kayak merkezleri ve ofis kompleksleri kullanım alanlarıydı. Bunlar işletim kolaylığının ve değışken yüklerin karşılanabilirliğinin önemli olduğu tesislerdi (Kitiş vd., 2003).

İkinci nesil MBR'lerin en önemli iki özelliğı MBR'lere biyolojik nutriyent (azot ve fosfor) giderimi özelliğinin eklenmesidir. Tam nitrifiye eden bir tesisde, azot giderimi

2. LİTERATÜRDE KONUYLA İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

Gunder ve Krauth, 7 m³ ve 9 m³ hacimli biyoreaktöre iki membran modülü yerleştirmişler ve bu membran modüllerini paralel olarak mukayese etmişlerdir. Kullanılan membran modülleri, 80 m² yüzey alanına sahip plaka (tabaka) modülü ve 83,4 m² yüzey alanına sahip HF (Hollow Fiber- İçi Boş Lif) modülleriydi. Araştırmacılar, her iki membran sisteminin hidrolik performansı incelemişler ve 20°C su sıcaklıklarında, HF membran modülünde 15000 mg/L MLSS konsantrasyonunda 20 L/m²/saat ve kısa zaman periyotlu işletimlerde ise 38 L/m²/saat'lik akı miktarlarına ulaşmışlardır (Gunder ve Krauth, 1998).

Aya ve arkadaşları, yapmış olduğu çalışma neticesinde, klasik aktif çamuru müteakiben yerleştirilen ultrafiltrasyon membran modülü yardımıyla evsel atıksuyun girişinde 80-460 mg/L olan askıda katı maddeyi <5 mg/L' ye, 422-1540 mg/L olan KOİ'i <40 mg/L ve 200-1000 mg/L olan BOİ₅'i de <10 mg/L'e düşürdüklerini belirtmişlerdir (Aya vd., 1981).

Roulet ve Irwin, Aktif çamur sistemini müteakiben yerleştirilen ultrafiltrasyon sistemiyle evsel atıksuları arıtmışlar ve çıkış suyunda <5 mg/L AKM, <15 mg/L KOİ ve <5 mg/L BOİ₅'e ulaştıklarını belirtmişlerdir (Roulet, 1989), (Irwin, 1990).

Li ve arkadaşları, membran ayırımı anaerobik arıtmaya uygulayarak peynir altı ve nişasta atıksularını (KOİ>30000 mg/L) %99 civarında arıttıklarını (Li vd., 1985), Manem ve Sanderson, KOİ'si 4200 mg/L olan süt endüstrisi atıksularını aerobik reaktörden sonra yerleştirilen membran modülü sayesinde 40 mg/L'e kadar, 2600 mg/L olan BOİ₅ değerini de <10 mg/L'e, 650 mg/L AKM'i <5 mg/L'e ve 110 mg/L olan toplam Kjeldahl azotunu da 4.2 mg/L'e (Manem ve Sanderson, 1996), Krauth ve Staab (1994) 10000 mg/L KOİ konsantrasyonuna sahip tekstil atıksularını %94 oranında arıtarak 600 mg/L seviyesine kadar düşürdüklerini belirtmişlerdir (Krauth ve Staab, 1994).

Krauth ve Staab, aerobik çamurun MLSS ve viskozitesi arasında eksponansiyel bir ilişki olduğunu belirtmişlerdir (Krauth ve Staab, 1994). Ross ve arkadaşları, anaerobik çamur için de benzer sonuçlar bulmuşlardır. Onlar da viskozite ile alakalı olan kayma gerilmesi ve çamur konsantrasyonu arasında eksponansiyel bir ilişki bulmuşlardır (Ross vd., 1990).

Cripps ve arkadaşları lignin peroksidaz üreten kahverengi çürükçül fungus

Poliporus ostreiformis'in boya renk giderim aktivitesinin P. Chrysosporium'dan daha yüksek olduğunu saptamışlardır (Crips vd., 1990).

Ueda ve arkadaşları, membran modülünün altından verilen hava akımının batık MBR'de kek giderim rolünü açıkladığından dolayı havalandırmanın kek giderim verimliliğini ve bu nedenle emme basıncını etkileyebileceğini belirtmişlerdir. Bu yüzden, sözü edilen araştırmacılar pilot ölçekli batık MBR'yi kullanarak kek giderimi ve emme basıncı üzerinde havalandırmanın rolünü incelemişler ve havalandırmanın filtrasyon şartlarını idare eden yeterli bir faktör olduğu sonucuna varmışlardır. Aşırı hava akımı ile kek giderim verimliliği akımın türbülansı ile etkilenmiştir. Kek giderim verimliliğini, hem hava debisini hem de daha küçük bir taban alanı üzerinde membran modülünü yerleştirdikten sonra hava yoğunluğunu (birim taban alanına düşen hava akım hızı) arttırarak düzenlemişlerdir (Ueda vd., 1997).

SGYAR (Sabit Granül Yataklı Anaerobik Reaktör) kullanılarak pamuklu tekstil endüstrisine ait atık sularının 48 saat hidrolik bekleme süresi ve $1 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{gün}$ organik yüklemesi sonucunda maksimum KOİ ve renk giderimi sırasıyla, %72 ve %61 olarak elde edilmiştir. 24 saat hidrolik bekleme süresi ve $1,7 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{gün}$ organik yüklemesi sonucunda ise maksimum KOİ ve renk giderimi sırasıyla, %74 ve %57 olarak belirlenmiştir (Kaykıoğlu, 2010).

Yoona ve arkadaşları yaptıkları çalışmada MBR'nin en ekonomik işletme durumunu elde etmek için bir yöntem geliştirmişlerdir. İşletme maliyetlerini en aza indirildiği optimum tasarım parametrelerini elde etmek için çeşitli çalışma şartlarında havalandırma ve çamur arıtım maliyetlerinin tahmin edildiği çalışmalar yapılmıştır. Genellikle çamur arıtım maliyeti ile havalandırma maliyeti birbiri ile ters orantılıdır. Bu nedenle bu iki önemli durumun optimum noktası ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Bu nedenle, çamurun azaltılması MBR ekonomik olarak işletilebilmesi için bir anahtar olarak kabul edilmiştir. KOİ değeri 400 mg/L olan tipik bir evsel atık suyun arıtımının yapıldığı çalışmada MLSS değerinin çamur deşarjı yapılmayarak $11,000 \text{ mg/L}$ 'den $15,000 \text{ mg/L}$ yükselmesi, HRT süresinin de 16 saatten 12 saate düşmesi için çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada ele alınan işletme koşulları yelpazesi için, sırasıyla ekonomik optimum HRT ve hedef MLSS 16 saat ve $11,000 \text{ mg/L}$ olduğu ortaya çıkmıştır. Bu koşul altında, atıksu yüklemesi $1000 \text{ m}^3/\text{gün}$ olduğu durumda, organik maddelerin

biyolojik ayrışma için gerekli havalandırma miktarı 13.3 m^3 hava/dk. olarak verilmiştir (Yoon vd., 2004).

Peng J. ve Xue G. yapmış olduğu çalışmada membran sisteminin performansını belirlemek için biyokinetik ve kütle denklğine dayalı bir matematiksel model türetilmiştir. Sentetik atıksu ve et paketleme atıksuyu türetilmiş olan matematiksel modelin gerçekliğini deneysel verilerle kanıtlamak ve kalibre etmek için lab ölçek bioreaktör sisteminde arıtmı yapılmıştır. Deneysel verilerin türetilen matematiksel modele uyduğu belirlenmiştir. Et paketleme atıksuyunun arıtımında biyokinetik katsayılar k , K_s , Y ve k_d sırasıyla, $0,48 \text{ gün}^{-1}$, $56,3 \text{ mg/L}$, $0,53 \text{ mgMLVSS/mgKOİ}$ ve $0,04 \text{ gün}^{-1}$ bulunmuştur. Sistemin işletme şartlarına uygun olan F/M oranı $0,08$ olarak belirlenmiştir (Jian ve Xue, 2006).

Uygur ve arkadaşları ardışık kesikli işletme ile sentetik atıksudan nutrient giderim deneylerini farklı hidrolik alıkonma sürelerinde çalışmışlardır. Nutrient giderme prosesi anaerobik, anoksik (Anok), oksik (Ok), anoksik (Anok), oksik (Ok) ve çöktirme fazlarını içermektedir. Her bir basamağın hidrolik alıkonma zamanları değişirken çamur yaşı 10 günde sabit tutulmuştur. KOİ, azot ($\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$) ve fosfat ($\text{PO}_4\text{-P}$) giderilmesinde her bir basamağın hidrolik alıkonma sürelerinin etkileri araştırılmıştır. Maksimum nutrient giderimiyle sonuçlanan optimum alıkonma zamanı bulunmuştur. En yüksek gözlenen organik karbon, azot ($\text{NH}_4\text{-N}$ ve $\text{NO}_3\text{-N}$) ve fosfat ($\text{PO}_4\text{-P}$) giderme verimleri sırasıyla %96, %87, %81 ve %90 olup 2/1/4,5/1,5/1,5 saatlerde An/Anok/Ok/Anok/Ok işletimiyle sağlanmıştır (Uygur vd., 2004).

MLSS konsantrasyonunun 5000 ve 3000 mg/L MLSS altında olduğu durumlardaki biyokinetik katsayıları bir laboratuvar ölçekli çapraz akış membran bioreaktörde (CF-MBR) belirlemiştir. Araştırma göstermiştir ki verim (Y), endojen çürüme katsayısı (k_d), maksimum özgül büyüme oranı (mikron) ve doyunluk sabiti (K_S) MLSS'nin 5000 mg/L olduğu şartlarda sırasıyla $0,276 \text{ mg/mg}$, $0,07 \text{ /gün}$, $0,653 \text{ /gün}$, and $396,62 \text{ mg KOİ/L}$, MLSS'nin 3000 mg/L olduğu şartlarda ise sırasıyla $0,222 \text{ mg/mg}$, $0,09 \text{ /gün}$, $1,2 \text{ /gün}$, ve $659,45 \text{ mg KOİ/L}$ eşittir. Y değerleri dışındaki kinetik katsayıların değerleri literatürde bulunan aktif çamur sürecindeki değerlerin normal sınırları içinde bulunmuştur (Rahman ve Al-Malack, 2012).

Yüksek konsantrasyonlu sentetik atık su arıtımının araştırıldığı çalışma, düz bir batık membran ile biyolojik bir reaktörün birleştirildiği sistemde gerçekleştirilmiştir.

Membranların kirlenmesini etkileyen emme basıncı, nitrifikasyon ve KOİ, KOİ giderim verimi 4/9 ay boyunca monitörden takip edilmiştir. Biyoreaktörde 12/16 saat hidrolik bekletme süresi ve 8000/16000 mg/L çamur konsantrasyonu ile yapılan çalışma koşulları altında, giriş atık suyunda KOİ değerinin 900/1600 mg/L, toplam azotun 50/600 mg/L olduğu çalışmada KOİ ve Nitrifikasyon giderim veriminin sırasıyla %98'in ve %95 olduğu belirtilmiştir (Shim vd., 2002).

Ouyang ve Liu, Benzer olan 3 reaktörde 2 yıl boyunca çamur bekletme süresi 10 gün, 40 gün ve çamurun uzaklaştırılmadığı farklı çamur bekletme sürelerinde membran kirliliği ve çamur özelliklerine SRT'nin etkisini çalışmışlardır. MBR'lerin hidrolik bekletme süreleri 12 saat olarak kontrol altında tutulmuştur. SRT'nin artmasıyla, MBR içindeki çamur konsantrasyonu artarken, bu esnada çamurun boyutu ve uçucu askıda katı maddenin toplam katı maddeye oranı azaldı. Uzun çamur bekletme sürelerindeki yüksek çamur konsantrasyonu organik madde gideriminde daha verimli bulunmuştur. Bu membranların KOİ, NH_4^+ , N giderim performanslarının çamur bekletme süresiyle değişmediği gözlenmiştir. Membran kirlenme hızı kısa bekletme sürelerinde daha yüksek bulunmuş ve en yüksek kirlenme hızı 10 gün bekletme süresinde olmuştur (Ouyang ve Liu, 2009).

Davies ve arkadaşları, ızgaradan geçirilmiş evsel atıksuyu plaka tipli membran modülünden oluşan batık membran-aktif çamur sistemini 16000 mg/L MLSS'de ve 4,5 saat hidrolik bekletme süresinde çalıştırarak 4 mg/L BOI_5 ve 5 mg/L NH_4^+ -N konsantrasyonlarına sahip çıkış suyu değerlerine ulaşmışlardır. Biyoreaktördeki çamur yaşı yaklaşık 45 gün tutulmuştur. Sözü edilen tesisin maliyeti 1 Ml/gün evsel atıksu için 8.5 p/m³'den başlamış (arazi ve inşaat maliyeti dahil), 16,58 Ml/gün evsel atıksu için 6.8 p/m³'e düşmüştür (Davies vd., 1998).

Magara ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, uzun havalandırmaya gerek kalmaksızın yüksek MLSS düzeylerinde nitrifikasyon ve denitrifikasyon olayları etkili bir şekilde gerçekleşmiştir. Yazarlar 100 m³/gün debili atıksuyu arıtan membran prosesinin yatırım ve işletim maliyetlerinin klasik sistemlere eşit veya daha az olduğunu bunun yanında daha az arazi ve denetim gerektirdiğini belirtmişlerdir. Çalışmada kullanılan biyoreaktör; 7800 mg/L BOI_5 , 18000 mg/L AKM ve 4,7 saat hidrolik bekletme süresinde işletilmiştir (Magara vd., 1992).

Ueda ve arkadaşları, HF modüllü sistemde 12000 mg/L askıda katı maddenin

(MLSS) işletim için maksimum olduğunu ve düşük BOI_5 yükü ve yüksek çamur yaşında $12 \text{ l/m}^2/\text{saat}$ 'lik akıya ulaşıldığını belirtmişlerdir. Tübüler sistem için BOI_5 yükü $1,7 \text{ kg } BOI_5/\text{m}^3/\text{gün}$ iken HF sistemlerde bu değer $0,2 \text{ kg } BOI_5/\text{m}^3/\text{gün}$ 'e kadar düşürülmüştür (Ueda vd., 1996).

Ishida ve arkadaşları, tübüler sistemlerden kaynaklanan yüksek enerji problemleri ve HF sistemlerinin düşük MLSS'de işleme kabiliyetlerinin üstesinden gelmek için, biyolojik reaktöre batık halde plaka tipli membran sistemlerini yerleştirmişlerdir. Bu sistemlerde, membran plakaları 30000 mg/L veya daha yüksek MLSS'e sahip çamura kolayca yer sağlanması amacıyla 6 mm aralıkta düşey olarak yerleştirilmişlerdir. Membran modülü altına yerleştirilen hava difüzörleri sayesinde membran yüzeyinde kek oluşumunu azaltacak kesme kuvveti temin ederek yüksek akı miktarını sağlamışlardır. Ayrıca, biyolojik reaktörde mikroorganizma kütesini sağlamak için ihtiyaç duyulan geri devir pompaları elimine edilmiştir (Ishida vd., 1992).

Düşük çözünmüş oksijen, filamentous bakterisinin gelişimini teşvik etmektedir bu da zayıf çamur çökebilirliğine yol açtığı için nitrifikasyon aktivitesini azaltırken hücre dışı polimer üretimini de azaltmaktadır. Genellikle çözünmüş oksijen reaktörün içinde 2 mg/L 'nin üzerinde tutulmalıdır (Hu vd., 2001).

Amaral ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmalarda *Trametesversicolor*'ın 3 adet sentetik tekstil boyasının (R.Orange 4, R.Red 23 ve R.Black 5) eşit miktarda karışımıyla oluşturulan sentetik atık su ve gerçek tekstil atık suyundaki renk giderimi araştırılmıştır. Glukoz'un varlığında ve yokluğunda sürdürülen bu çalışmalarda farklı boya konsantrasyonları ($0, 50, 100$ ve 300 mg/L) test edilmiştir. 10 günlük süre sonunda glikozun varlığında ve pH $4,5$ iken $50-100 \text{ mg/L}$ boya konsantrasyonlarında rengin %97'si; 300 mg/L boya konsantrasyonunda % 87'si giderilmiştir. 42 kez sulandırılmış gerçek tekstil atık suyunda ise 50 mg/L boya konsantrasyonunda renk giderimi %92 olarak saptanmıştır (Amaral vd., 2004).

Jones ve arkadaşları, *Mycobacterium avium*, *Mycobacterium intracellulare*, *Mycobacterium scrofulaceum*, *Mycobacterium marinum*, *Mycobacterium chelonae*'nın malaşin yeşili ve kristal viyole boyaalarının yüksek konsantrasyonlarına karşı toleranslı olduklarını belirlemişlerdir. *M.avium*'un membran fraksiyonu ile yapılan renk gideriminin saf ekstratlar kullanılan çalışmalardan 5 kat daha hızlı olduğu gözlenmiştir (Jones ve Falkinham, 2003).

Işık ve Sponza, Türkiye’de tekstil endüstrisinde kullanılan iki azo boyanın (Congo Red (CR) ve Direct Black 38 (DB38) parçalanması için iki fakültatif mikroorganizmayı (*Escherichia coli* ve *Pseudomonas* sp.) kullanarak anaerobik ve aerobik şartlarda çalışmışlardır. Mikroorganizmaları 5 gün boyunca 100 mg/L boya ve 1000 mg glikoz-KOI/L içeren numunede inkübe etmişlerdir. CR ve DB38 boyalarından meydana gelen renklerin, *E.coli* kullanılan anaerobik şartlarda, sırasıyla %98 ve %72 ve *Pseudomonas* sp. kullanılan anaerobik şartlarda ise sırasıyla %100 ve %83 verimle giderildiğini tespit etmişlerdir. Ancak, aerobik inkübasyon sonucunda renk giderimi olmadığı tespit edilmiştir (Işık ve Sponza, 2003).

Reaktif tekstil boyalarının (Remazol Blue, Reactive Black, Reactive Red) biyoakümülyasyonu, giriş pH’sı ve boyar madde konsantrasyonu değiştirilerek, melaslı ortamda büyütülen *Candida tropicalis* mayası ile incelenmiştir (Dönmez, 2002).

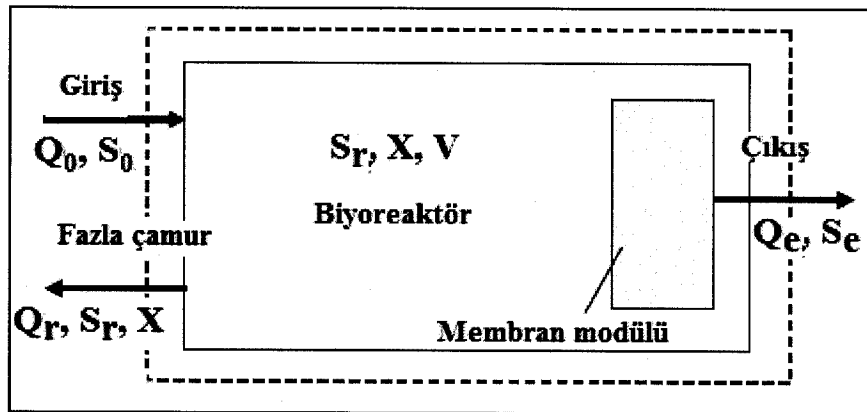
3. TEKSTİL ATIKSU ARITIMI İÇİN LAB/PİLOT ÖLÇEKTE MEMBRAN BİYOREAKTÖRÜN TASARIM (DİZAYN) HESAPLAMALARI

Günümüzde MBR tasarımı için gelişmiş ve sistematik bir yöntem bulunmamaktadır. MBR sistemi ile atıksuların arıtımı için laboratuvar ölçeğinde ve pilot ölçeğinde yapılmış olan deneysel sonuçlar baz alınarak gerçek ölçeğinde bir sistemin tasarım parametreleri belirlenmektedir. MBR sistemlerinin tasarımında birinci adım MBR sisteminin konfigürasyonunu belirlemektir. Bu tasarım çalışmasında; MBR sistemi olarak küçük, bitişik parçalardan oluşan küçük çalışma basıncı, geri atıksu çevrimi olmayan, düşük enerji tüketimli Dahili/Batık MBR tipi seçilmiştir. Havalandırma sırasında oluşan hava girdapları çamurun membran yüzeyinde birikmesini ve gözenekleri tıkamasını engellemektedir. Genel olarak zaten aerobik arıtım sistemleri için Dahili/Batık MBR tipi kullanılmaktadır. Tasarımlarda toplam reaktör hacmi, havalandırma modu, havalandırma ekipmanlarının montaj yerleri ve montajı anahtar etkenlerdir. Biyoreaktörün tasarımında ve işletilmesinde çamur yükleme hızı, N_s ile gösterilmektedir ve N_s uzaklaştırılan organik madde miktarının birim zamanda birim çamur miktarına oranını ifade etmektedir. Dahili/Batık MBR sistemlerinde membran modülün sistem içinde bulunmasından dolayı bioreaktör çok yüksek konsantrasyonda çamur tutmaktadır. Eğer N_s oranı küçük seçilirse sistemin verimi mükemmel sevedir, fakat alt yapı yatırım maliyeti çok artmaktadır. HERNASILSA, yüksek N_s seçimi arıtım çalışma alanını ve alt yapı maliyetini düşürmekte, fakat arıtım verimini az artırmaktadır. Bunun için MBR sistemlerinin tasarımında makul olan N_s değerinin seçimi anahtar rol oynamaktadır. Genellikle N_s seçim aralığı 0,3-0,4 kgKOİ/kgVSS.gün olarak belirlenmektedir. Biyoreaktördeki çamur konsantrasyonunun (X) teorik olarak belirlenmesi zordur. Birçok çalışmada bu değer ham atıksudaki organik madde konsantrasyonuna göre 6000-20000 mg/L aralığında önerilmektedir. Düşük organik madde konsantrasyonuna sahip arıtım için bu değer düşük, tam tersi durumlar için yüksek seçilmektedir. Membran modülünün alanı ve membran sayısı, havalandırma sisteminin tasarımında hesaplanan hava miktarına göre blower sayısı tasarımın diğer basamaklarıdır. MBR tasarımında kullanılan biyolojik arıtım sistemlerinde mevcut mikroorganizmalardan heterotrofik bakteriler ve ototrofik bakterilerin 20°C kinetik katsayıları Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Biyolojik arıtma için kinetik katsayılar (Metcalf ve Eddy, 2003).

Kinetik katsayı	Birimi	Tipik değer
Heterotrofik bakteriler, 20°C		
μ_m	gVSS/gVSS-gün	6
K_s	mgBOİ/L	20
Y	gVSS/gBOİ	0,40
k_d	gVSS/gVSS-gün	0,12
f_d	birimsiz	0,15
θ değerleri		
μ_m	birimsiz	1,07
k_d	birimsiz	1,04
Ototrofik bakteriler, 20°C		
μ_{nm}	gVSS/gVSS-gün	0,75
K_n	mg NH ₄ -N/L	0,74
Y_n	g VS S/g NH ₄ -N	0,12
k_{dn}	gVSS/gVSS-gün	0,08
K_0	birimsiz	0,50
θ değerleri		
μ_{nm}	birimsiz	1,07
k_{dn}	birimsiz	1,053
K_n	birimsiz	1,04

Dahili/Batık MBR’de giren-çıkan madde dengesi şekil 3.1’de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Dahili Membran biyoreaktör madde dengesi (Wen vd., 2010).

Tasarımda toplam reaktör hacmi, membran modülünün alanı ve membran sayısı, havalandırma sisteminin tasarımında hesaplanan hava miktarına göre blower sayısının hesaplamalarında kullanılan eşitlikler (E.3.1-17) ve eşitliklerde kullanılan kısaltmalar ve açıklamaları aşağıda verilmiştir (Metcalf ve Eddy, 2003).

Eşitliklerde kullanılan kısaltmalar

- A = Membran alanı, m²
- A_F = Hava debisi, m³/min
- AOTR = Açık hava şartlarında gerekli net oksijen transferi,
- C_L = Havalandırma tankında, istenen çözülmüş oksijen konsantrasyonu, mg/L
- C_s = Deniz seviyesinde 20 °C’de saf sudaki oksijenin doygunluk konsantrasyonu, mg/L
- C_{s,T,H} = T sıcaklık ve H rakımında havalandırma havuzundaki temiz suda çözülmüş oksijen doygunluk konsantrasyonu değeri.
- C_{s,T,H} = Oksijen konsantrasyonu, mg/L.
- E = Difüzörlerden suya oksijen verimi, %
- F = Tıkanma faktörü
- FPM_a = Düz plaka membran kasetinin alanı, m²/adet
- FPM_q = Düz plaka membran adedi
- F/M = Substrat/Biyokütle oranı, kg BOD/ kg MLVSS d
- g = Yer çekimi ivmesi, 9,81 m/s²
- HRT = Hidrolik tutulma süresi, d, h
- J = Membran akışı, m³m²h, Lm²h

M	=	Havanın ortalama molekül ağırlığı, (29,87 kg/kg.mol)
Ne	=	Çıkışta NH ₄ -N (Amonyum azotu) konsantrasyonu, mg/L
NO _x	=	Azot oksit, mg/L
Ns	=	Aktif çamur yükleme hızı, kg COD/ (kg VSS d)
O _t	=	Havalandırma tankını terk eden oksijen konsantrasyonu, %
P _{atm}	=	Atmosferik basınç, 1,01325x10 ⁵ N/m ² ; 101,325 kN/m ²
P _{atm,H}	=	H rakımındaki hava basıncı, N/m ²
P _d	=	Difüzörün havalandırma tankında havayı verdiği noktadaki basınç, N/m ²
P _{X,bio}	=	Günlük olarak atılan biyokütle, kg/d
P _{w,eff}	=	Difüzörün havalandırma tankındaki su yüzeyine mesafesi, m
Q	=	Günlük debi, m ³ /d
V	=	Reaktör hacmi, m ³
R	=	Evrensel gaz sabiti, 8314 N.m/kg.mol.K
R _o	=	Gerekli oksijen miktarı, kg/d
S _e	=	Çıkış çözünür substrat konsantrasyonu, g BOD veya bsCOD/m ³
S _o	=	Giriş çözünür substrat konsantrasyonu, g BOD veya bsCOD/m ³
SOTR	=	Çözünmüş oksijen içermeyen 20 °C'deki saf suda standart oksijen transfer hızı, kgO ₂ /d
SRT	=	Katı alıkonma süresi, d
T	=	Sıcaklık, K (Kelvin), (273,15+°C)
TKN	=	Toplam Kjeldahl Azotu
X	=	Havalandırma tankındaki aktif çamur konsantrasyonu, mg/L
z _b	=	Rakım, m
γ	=	Suyun özgül ağırlığı, kN/m ³
μ _m	=	Heterotrofik bakteriler için maksimum büyüme hızı.
K _s	=	Heterotrofik bakteriler yarı hız sabiti.
k _d	=	Heterotrofik bakteriler için ölüm oranı.
Y	=	Heterotrofik biyolojik verim katsayısı.
f _d	=	Ölen heterotrofik hücrelerden gelen kalıntı.
μ _{nm}	=	Nitrifikasyon bakterileri için maksimum büyüme hızı.
K _n	=	Nitrifikasyon bakterileri yarı hız sabiti.

k_{d_n} = Nitrifikasyon bakterileri için ölüm oranı.

Y_n = Nitrifikasyon biyolojik verim katsayısı.

Tasarım Hesaplamalarında Yararlanılan Eşitlikler

$$S_e = \frac{K_s \cdot [1 + (k_d) \cdot SRT]}{SRT \cdot (\mu_m - k_d) - 1} \quad (E.6.1)$$

$$\mu_{m,T} = \mu_m \cdot \theta^{T-20} \quad (E.6.2)$$

$$P_{X,bio} = \frac{Q \cdot Y \cdot (S_0 - S_e)}{1 + (k_d) \cdot (SRT)} + \frac{(f_d) \cdot (k_d) \cdot Q \cdot Y \cdot (S_0 - S_e) \cdot (SRT)}{1 + (k_d) \cdot (SRT)} + \frac{Q \cdot Y_n \cdot (NO_x)}{1 + (k_{dn}) \cdot (SRT)} \quad (E.6.3)$$

$$R_o = Q \cdot (S_o - S_e) - 1,42 \cdot P_{X,bio} + 4,33 \cdot Q \cdot (NO_x) \quad (E.6.4)$$

$$V = \frac{Q \cdot (S_o - S_e)}{X \cdot N_S} \quad (E.6.5)$$

$$HRT = \frac{V}{Q} \quad (E.6.6)$$

$$SRT = \frac{X \cdot HRT}{0,4 \cdot (S_o - S_e - 0,34 \cdot X \cdot HRT)} \quad (E.6.7)$$

$$A = \frac{Q}{24 \cdot J} \quad (E.6.8)$$

$$FPM_q = \frac{A}{FPM_a} \quad (E.6.9)$$

$$NO_x = TKN - N_e - 0,12 \cdot \frac{P_{X,bio}}{Q} \quad (E.6.10)$$

$$AOTR = SOTR \left(\frac{\beta_{S,T,H} - C_L}{C_{S20}} \right) \cdot (1,024^{T-20}) \cdot (\alpha) \cdot (F) \quad (E.6.11)$$

$$C_{s,T,H} = (C_{s,T,H}) \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{P_d}{P_{atm}} + \frac{O_t}{21} \right) \quad (E.6.12)$$

$$C_{s,T,H} = (C_s) \cdot \left(\frac{P_b}{P_a} \right) \quad (E.6.13)$$

$$\frac{P_b}{P_a} = \exp \left[- \frac{g \cdot M \cdot (z_b - z_a)}{R \cdot T} \right] \quad (E.6.14)$$

$$P_{atm,H} = \frac{(P_b/P_a) \cdot (P \frac{kN}{m^2})}{\gamma \text{ kN/m}^3} \quad (E.6.15)$$

$$C_{s,T,H} = (C_{s,T,H}) \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{P_{atm,H} + P_{w,eff}}{P_{atm,H}} + \frac{O_t}{21} \right) \quad (E.6.16)$$

$$A_F = \frac{SOTR}{E.60.(\text{kgO}_2/\text{m}^3)} \quad (E.6.17)$$

Lab/pilot ölçekte tasarlanan MBR sisteminin tasarımında ham tekstil atıksuyunun kirlilik yükleri dikkate alınarak kabul değerler belirlenmiştir. Belirlenen bu kabul değerleri Çizelge 3.2'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.2. Lab/Pilot ölçekte MBR tasarım kabulleri.

Parametre	Miktar	Birim
Giriş KOİ (Kimyasal oksijen ihtiyacı)	1500	mg/L
Çıkış KOİ (Kimyasal oksijen ihtiyacı)	60	mg/L
Giriş TKN (Toplam Kjeldahl Azotu)	35	mg/L
Çıkışta NH ₄ -N (Amonyum azotu)	0,5	mg/L
MLSS (Askıda katı madde)	10000	mg/L
Q (Günlük debi)	500	L
Ns (Aktif çamur yükleme hızı)	0,35	kg KOİ/kg MLVSS
J (Membran akısı)	14	Lm ² .h
FPM _a (Düz plaka membran kaseti alanı)	0,25	m ²

Havalandırma sisteminin kullanılan blowerın kapasitesi ve kapasitesinin belirlenmesinde kullanılan parametreleri Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Blower kapasitesi hesaplamasında kullanılan değerler.

Parametre	Değer	Birim
Rakım	500	m
Sıcaklık	20	°C
α	0,5	-
β	0,95	-
F	0,9	-
$C_{s,20}$	9,08	mg/L
$C_{s,12}$	10,77	mg/L
$P_{w,eff}$	0,1	m
C_L	3,5	mg/L
Y_{12}	9,802	kN/m ³
C_t	19	%
E	35	%
R	8314	N.m/kg.mol.K
g	9,81	m/s ²
M	29,87	kg/kg.mol
P_{atm}	101,325	kN/m ²

Tasarım hesaplamaları sonucunda belirlenen Lab/pilot ölçekte MBR sisteminin toplam reaktör hacmi, membran modülünün alanı, kullanılacak membran kaseti sayısı, havalandırma sisteminin tasarımında hesaplanan hava miktarına göre blower ve difüzör sayısı çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Lab/Pilot ölçekte MBR sisteminin tasarım değerleri.

Parametre	Miktar	Birim
V (Reaktör hacmi)	206	L
HRT (Hidrolik tutulma süresi)	9,8	saat
SRT (Katı tutulma süresi)	250	gün
A (Membran alanı)	~1,50	m ²
O ₂ (oksijen gereksinimi)	0,01933	kg/h
Kullanılacak membran plaka sayısı	6	adet
A _F (Hava debisi)	~10	L/min
İnce kabarcıklı difüzör	1	adet (0,8-8,5 m ³ /h)
Blower	1	adet (0,4 kW)

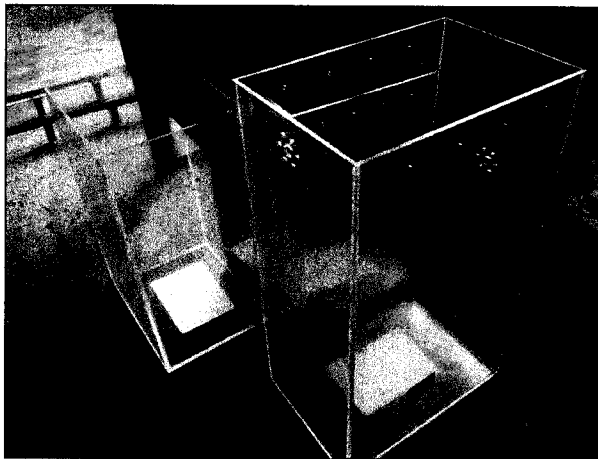
4. TEKSTİL ATIKSU ARITIMI İÇİN LAB/PILOT ÖLÇEKTE MEMBRAN BİYOREAKTÖR (MBR) ÜNİTESİNİN İMALATINDA KULLANILAN MALZEME VE EKİPMANLAR

4.1 Tanklar

Tank malzemesi için Pleksiglass seçilmiştir. Kolay işlenebilen, kesilebilen delinebilen, hafif bir yapıya sahiptir. Camdan daha dayanıklıdır. Atmosfer şartlarındaki dayanıklılığı diğer bütün plastiklerden daha yüksektir. Bu nedenle çok değişik iklim şartlarında geniş uygulama alanlarına sahiptir. Pleksiglas levha, ultra viole ışınlarına yüksek dayanıklılık gösterir, sararma yapmaz ve zamanla kırılabilirlik kazanmaz.

Tanklar dikdörtgen prizma şeklinde tasarlanmış ve imal edilmiştir. Plakalar (Bilgisayar Sayısal Kontrol) tezgahta belirlenen ölçülerde kesilmiş, diğer bileşenlerin bağlantısı için gerekli olan delikler açılmıştır. Plakaların birleştirilmesi için yapıştırıcı olarak kloroform kullanılmış ve iç kısımdaki yapıştırma yerlerinin üzeri (köşelere) akvaryum silikonu ile kaplanmıştır. Ayrıca su basıncına karşı yapıştırma yerlerinin açılmaması için paslanmaz malzeme ile kafes şeklinde çevresi sarılmıştır. Tanklar, paslanmaz taşıyıcı sehpa üzerine monte edilmiştir. Taşıyıcı sehpa birbirine 2 tarafından civata ile birleştirilmiş ve istenildiği zaman taşıma ve bakım için kolayca ayrılabilir şekilde imal edilmiştir.

Atık su ve temiz su tanklarının ölçüleri 48x38x80 cm; MBR (havalandırma) tankı ölçüleri ise 58x38x100 cm'dir. Tankların genel görüntüsü Şekil 4.1'de verilmiştir.

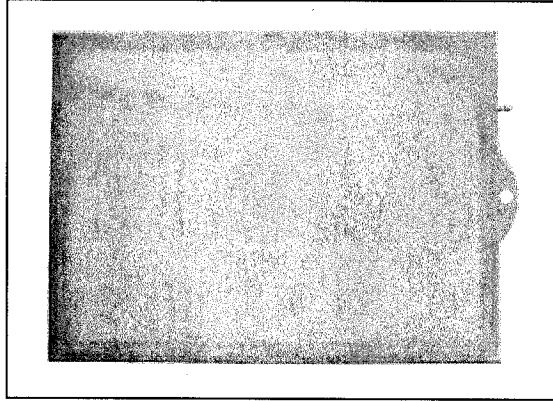


Şekil 4.1. Pleksiglas tankların genel görüntüsü.

4.2 Membran

İmalatta kullanılan membran filtrenin yapısı, düz plaka formunda ve materyali PVDF+PET (Polivinildene florür + Polietilenteraftalat)'dır. Membran delikleri 0,1-0,3 µm çapında olduğu için birçok mikroorganizma türünü içinden geçirmediği için su

kalite standartlarında yüksek arıtım sağlar. İthal edilen düz plaka membranlar Cheng Bo Environmental Protection Technology Co., Ltd., China, firması tarafında üretilmiştir. Düz plaka membranın görüntüsü şekil 4.2’de verilmiştir.



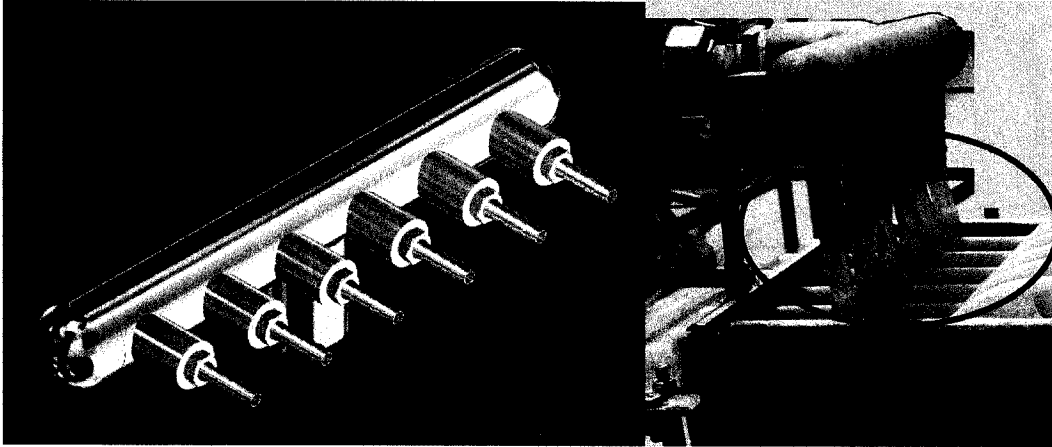
Şekil 4.2. Düz plaka membran filtre (Flat sheet).

Lab/pilot ölçekte MBR sisteminin imalatında kullanılan membran filtreye ait teknik bilgiler Çizelge 4.1’de verilmiştir.

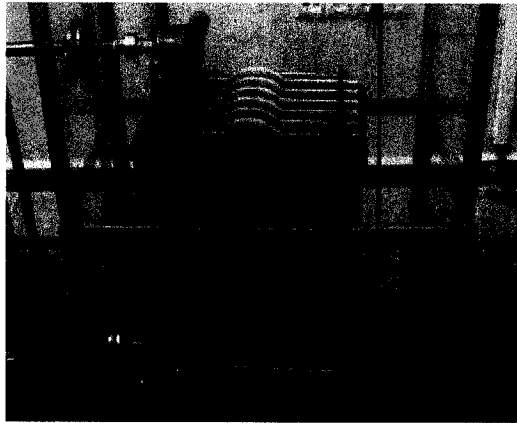
Çizelge 4.1. Membran filtrenin teknik özellikleri.

Parametre	Özellik
Etkin membran alanı (m ²)	0,25
Boyutlar (mm) uzunlukxenxkalınlık	465x340x7,5
Su kapasitesi (litre/gün.adet)	100-175
Membran malzemesi	PVDF+PET
Membran gözenek çapı (µm)	0,08-0,3
Havalandırma kapasitesi (L/dk.adet)	10
Çıkış suyu bulanıklık (NTU)	<=1
Çıkış suyu askıda katı madde (mg/L)	<=5
Ağırlık (kg)	0.8

Membran modülü, 6 adet plakanın, paslanmaz metal malzeme ve civatalı bağlantı bileşenleri ile bir araya getirilmesiyle oluşturulmuştur. Kollektör ile membranların su çıkışlarının kollektör parçasına, silikon takviyeli PVC (Polivinilklorür) hortumlar ile bağlantısı Şekil 4.3’de verilmiştir. Membran modülü, pompa emiş sistemine de kolay bağlanıp sökülebilecek rakorlu bağlantı şekilde dizayn edilmiştir. Rakorlu bağlantı membranların temizliği ve bakımı için sökülmesinde kolaylık sağlayacaktır. Membran modülün tanktaki montaj bağlantısı Şekil 4.4’de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Kollektör ve Kollektör-Membran bağlantısı



Şekil 4.4. Membran modülün tanktaki montajlı görüntüsü.

4.3 Blower (Hava Körüğü-Üfleyici)

Difüzörlü havalandırma sistemlerinin en önemli parçaları blower ve difüzörlerdir. Atıksu arıtımında üfleyiciler geniş hava debisi, düşük basınç aralıkları ve farklı çevre şartlarında çalışabilmelidir.

Lab/pilot ölçekte MBR sistemi için seçilen blowerın teknik özellikleri aşağıda verilmiştir.

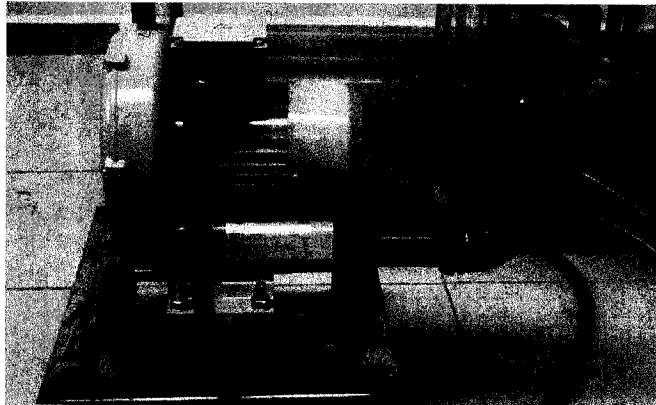
Marka	: Mapro
Model	: CL 30-Z HS
Menşei	: İtalya
Güç KW	: 0,4
Gerilim	: 380 Volt
Akım	: 1,23-1,48 A.
Ağırlık	: 10,9 Kg
Devir	: 2820 dev/dak.

Basınç : 2,24 psi

Seçilen blower 35x40 cm ebatlarında ve 15 cm yüksekliğinde 30x30 mm profilden imal edilen bir sehpa monte edilmiştir. Çalışma sırasında sarsıntı sönümlemesi için lastik takoz kullanılmıştır. Bowerdan elde edilen hava, 1/2" ölçüsünde paslanmaz çelikten imal edilmiş şeffaf PVC kaplamalı, rakorlu ve nipelli bağlantılı, TS-EN 14800 Ayvaz N-flex boru bağlantısı ile şartlandırıcı ve hava debimetresinden geçtikten sonra MBR tankına verilmektedir. Çizelge 4.2'de blowerın basınç miktarına göre hava kapasite değerleri, şekil 4.5'de blowerın genel görüntüsü ve sehpa üzerindeki montaj görüntüleri verilmiştir.

Çizelge 4.2. Blowerın basınç miktarına göre hava kapasitesi.

Çıkış basıncı (mbar)	0	50	75	100	125	130	>130
Akış hızı (m ³ /h)	84	54	39	24	9	6	0



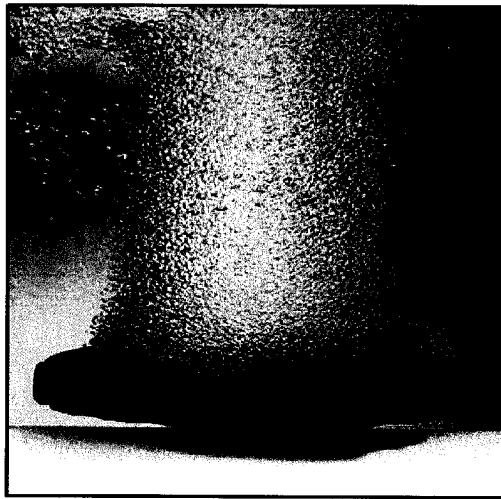
Şekil 4.5. Blowerın sehpa üzerindeki montaj görüntüsü.

4.4 Difüzör

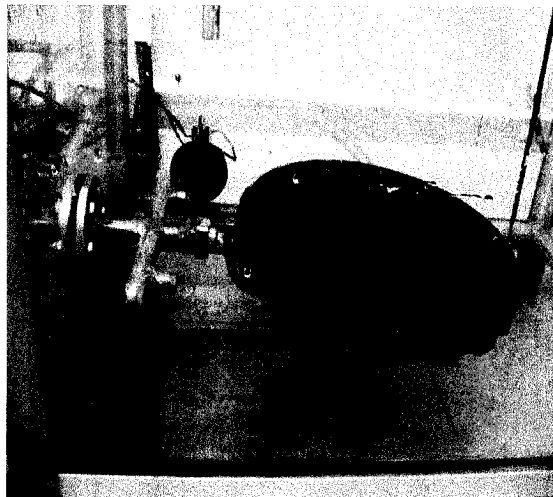
Biyolojik arıtma uygulanan tesislerinde mikroorganizmaların organik maddeleri enerjiye ve yeni mikroorganizmalara dönüştürebilmeleri için gerekli olan oksijen ihtiyacı, difüzör olarak adlandırılan ekipmanlarla yapılmaktadır. Membran arıtma sistemlerinde, membran modülünün altına yerleştirilen difüzörler, aynı zamanda membran filtre yüzeyinin temizlenmesinde de rol oynar.

Tasarım ve üretimi gerçekleştirilen Lab/pilot ölçekte MBR sisteminin kullanılan difüzör, 9" çapında (228,6 mm) disk formunda membranlı difüzördür. Net membran alanı 0,041 m²'dir. Her bir membranda mümkün olduğu kadar ince kabarcıkların oluşabilmesi için 6640 adet 1 mm. çapında kabarcık oluşturabilen delikler vardır.

Difüzörlerde kullanılan standart membran malzemesi EPDM (Etilen- Propilen- Dien-Monomer)' dir. Difüzör bağlantısı ¾" erkek NPT (National Pipe Taper- Piyasada Amerikan boru dişi terimiyle bilinen NPT dişler 60°'lik diş açısına sahip) vidalı bağlantıya sahiptir. Disk gövdeleri korozyona, UV ışınlarına ve ısıya dayanıklı PP (Polipropilen) malzemedan imal edilmişlerdir ve derin tank koşullarında çalışabilirler. Disk difüzör, üstün kalite EPDM membrandan yapılmıştır. Dahili çek valf sistemi sayesinde membranın dışındaki sıvının membranı aşp iletim hatları içine sızması engellenmiştir. İmalatta kullanılan difüzöre ait genel görüntü Şekil 4.6'da, montajlı görüntüsü Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Seçilen difüzöre ait teknik bilgiler Çizelge 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.6. Difüzörün genel görüntüsü.



Şekil 4.7. Difüzörün montaj sonrası görüntüsü.

- 1- ¾" Dişli bağlantı NPT (Erkek)
- 2- Difüzör gövdesi

- 3- Esnek membran yüzeyi
- 4- Membran tutucu halkası
- 5- Temel çekvalf özelliği
- 6- Hava girişi ağzı
- 7- Membrana açılan delikler
- 8- Altıgen başlı şaft

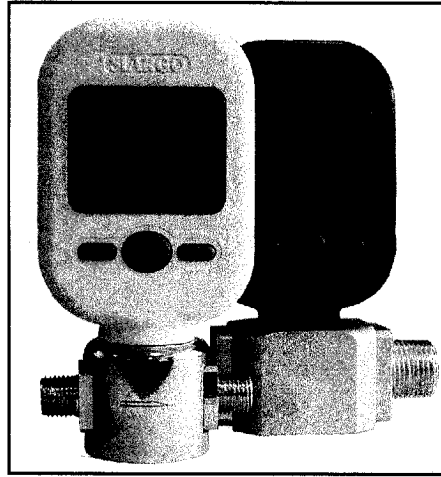
Çizelge 4.3. Lab/Pilot ölçekte MBR sisteminde kullanılan disk difüzöre ait teknik bilgiler.

Parametre	Max. Hava kapasitesi	Tasarım Hava debisi	Tasarım çalışma basıncı	Difüzör çapı	Aktif yüzey alanı	Kuru ağırlık
Birim	sm ³ /hr (standart m ³ /saat)	sm ³ /hr	kPa	mm	cm ²	kg
Miktar	11,9	0,8-8,5	2,0-3,0	277	380,9	0,7

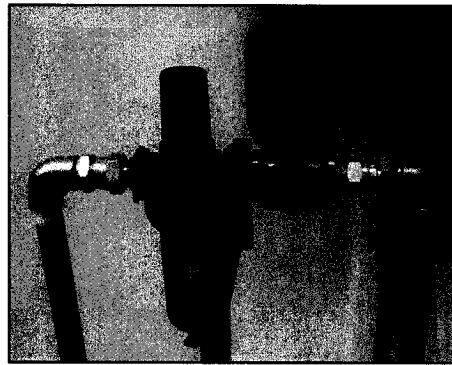
4.5 Debimetre (Hava)

Biyolojik arıtmada, mikroorganizmaların yaşamını sürdürmesi ve sudaki organik kirleticilerin CO₂ ve H₂O'ya dönüştürülmesinde, ortamda belli oranda çözülmüş oksijene ihtiyaç duyulmaktadır. Çözülmüş oksijen ihtiyacı, ortam dışarıdan hava verilmesi sureti ile sağlanmaktadır. İyi bir arıtma ortamı için 3-4 mg/L çözülmüş oksijen yeterli olmaktadır. İmalatı gerçekleştirilen lab/pilot ölçekte MBR sisteminde istenen değerdeki çözülmüş oksijen miktarını sabit tutmak için, blowerdan gelen hava, debimetrenin önünde yer alan hava şartlandırıcı ile ayarlanarak debimetre ile kontrol edilmektedir.

Sistem için gerekli olan hava akışını kontrol edecek debimetre, MEMS teknolojisi ile çalışmaktadır. Hava debimetresinin genel görüntüsü Şekil 4.8'de ve sistem üzerindeki montaj görüntüsü Şekil 4.9'da gösterilmiştir. MBR'de kullanılan debimetre, uzakdoğu menşeylidir. Siargo MF5700 serisi debimetre 4 adet AA pil ile ultra düşük güç tüketimi ile çalışma özelliğine sahiptir. Ayrıca AC adaptör ile de çalışmaktadır. Standart RS485 Modbus protokolü ve ağ bağlantısı ile uzaktan erişim sağlanabilmektedir.



Şekil 4.8. Hava debimetresinin genel görüntüsü.



Şekil 4.9. Hava debimetresinin montaj sonrası görüntüsü.

Kullanılan hava debimetresi, dahili veri depolama özelliğine sahiptir. Dijital göstergede, geçen havanın anlık ve toplam değerleri görülebilmektedir. Dijital gösterge 360⁰ döndürülebilmektedir. Bu da debimetrenin montajında ve kullanımında esneklik sağlamaktadır. Debimetreye ait teknik bilgiler, Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Hava debimetresi teknik bilgileri

Parametre	Değer	Birim
Ölçüm aralığı	0-200	SLPM
Ters dönme oranı	30:01:00	%
Doğruluk	$\pm(2,0+0,5 FS)$	%
Tekrarlama hassasiyeti	0,5	%
Devreye girme süresi	≤ 2	saniye
Güç kaynağı	4 AA Pil (LR6) / 5 - 10 Vdc (220 V AC adaptör)	
Çıkış	RS485 Modbus (opsiyonel)	
Gösterge	LCD (Sıvı Kristal Ekran)	
Görüntülenen bilgi	Anlık akış: SLPM; Toplam akış: NCM; Pil durumu	
Pil ile kesintisiz çalışma süresi	> 60 gün	
Maksimum basınç	$\leq 0,8$	MPa
Basınç kaybı	< 2000	Pa
Çalışma sıcaklığı	-10 +55	°C
Depolama sıcaklığı	-20 +65	°C
Nem	< 95% RH (Relatif Nem)(buzlanma veya yoğunlaşma olmadan)	
Tuş takımı	3 tuş	
Kullanıcı fonksiyonları	Şifre; alarm sınırı; toplam akış; sıfırlama	
Kalibrasyon gazı	N,@20 °C.101,325 kPa	
Kullanıcı arayüzü bağlantısı	mini USB	
DN	12	mm
Mekanik bağlantı	NPT 1/2"	
Ağırlık	350	g

4.6 Hava Hazırlayıcı (Şartlandırıcı)

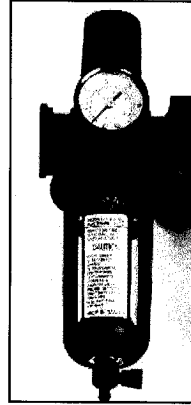
Pnömatik sistemlerde kullanılan basınçlı havanın elemanlara gönderilmeden önce içindeki neminin alınması, temizlenmesi ve basıncının düzenlenmesi gerekir. Şartlandırıcılar, bir filtre, bir yağlayıcı ve basınç regülatöründen oluşur. Filtre, havanın içindeki yabancı maddeleri ve su buharını ayrıştırarak sisteme sağlıklı bir şekilde verilmesini sağlar.

Biyolojik arıtımın gerçekleştiği tankta verilen havanın miktarını ayarlamak için Osaka OPT 3042 FR-L ½" marka şartlandırıcı kullanılmıştır. Üzerinde bir adet

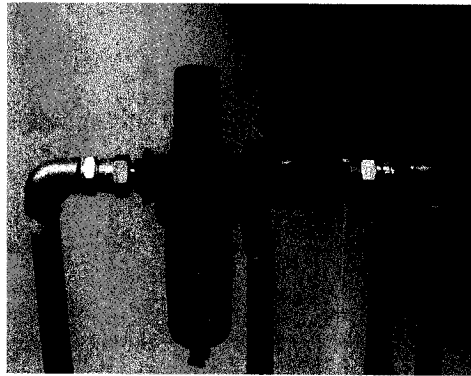
manometre mevcuttur. Şartlandırıcının genel görüntüsü Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Şartlandırıcının teknik özellikleri aşağıda verilmiştir;

Hava girişi	: 1/2"
Filtre çapı	: 20µ
Çalışma basıncı	: 05-9,9 atü
Çalışma ısısı	: 5-60°C
Su kapasitesi	: 80 ml
Hava geçirgenliği	: 2200 L/dk

Şartlandırıcı hemen hava debimetresin ön tarafına bağlanmıştır. Hava debimetresinden geçen hava miktarı gözlemlenerek şartlandırıcı manüel olarak ayarlanmaktadır. Şartlandırıcının Lab/pilot ölçekte MBR sistemi üzerindeki montaj görüntüsü Şekil 4.11'de gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Hava şartlandırıcının genel görüntüsü.



Şekil 4.11. Hava şartlandırıcı MBR üzerindeki montajlı görünümü.

4.7 Debimetre (Su)

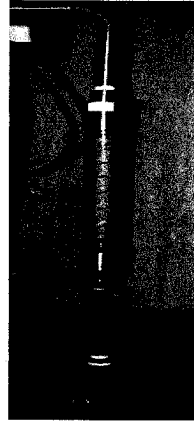
MBR imalatında, sıvı akışını kontrol etmek için, cam tüplü şamandıralı debimetre kullanılmıştır. Debimetreler, Lonca A.Ş'nin (İstanbul/Türkiye) Elorion markası ile üretimini yaptığı EF 301 modelidir. Sıvı akış ölçümü, cam tüp içerisinde

sürtünmesiz olarak serbestçe hareket eden şamandıranın akışkan tarafından itilerek konum değiştirmesi ile gerçekleşir. Şamandıranın konum değiştirme miktarı, akış miktarı, şamandıranın ağırlığı ile akışkanın yoğunluğu ve viskozitesine bağlıdır. .

MBR sisteminde, atıksu tankından biyolojik arıtımın gerçekleştirildiği tanka iletilen su hattına ve arıtılan suyu temiz su tankına aktarım yapan su hattına olmak üzere 2 adet debimetre kullanılmıştır. Akış kontrolü, debimetrenin önüne monte edilen, küresel valf ile sağlanmıştır. Debimetrenin genel görüntüsü Şekil 4.12’de ve sisteme monte edilmiş görüntüsü Şekil 4.13’de verilmiştir. Debimetre ile ilgili teknik bilgiler Çizelge 4.5’de verilmiştir.



Şekil 4.12. Şamandıralı debimetre genel görüntüsü.



4.13 Debimetrenin montaj sonrası görüntüsü.

Çizelge 4.5. Debimetre teknik bilgileri.

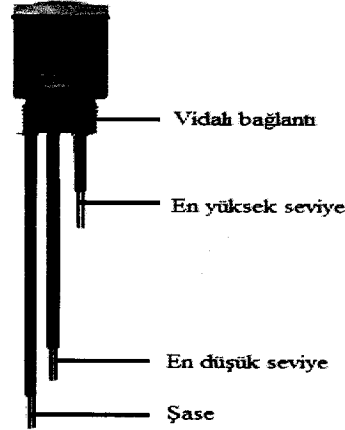
Akışkan	Su
Maks. çalışma basıncı	7 ila 15 bar
Maks. çalışma sıcaklığı	150 °C
Ölçüm tüpü	Borosilikat cam
Şamandıra	AISI 316 Paslanmaz çelik
Şamandıra tutucu	PTFE (Politetrafloroetilen)
Bağlantılar	AISI 316 Paslanmaz çelik
Muhafaza	Boyalı Saç
Gövde	SS 316 Paslanmaz çelik
Hassasiyet	+/- %1
Boy	408
Skala uzunluğu	310
Bağlantı	R 1/2"
Ölçüm aralığı	63-630 L/saat

4.8 İletkenlik Tip Seviye Kontrol Şalteri

Seviye kontrolü, maddenin seviyesinin, referans nokta ile istenilen seviyede veya istenen seviyeler arasında tutulmasıdır. Seviye kontrolü yapılacak maddenin seviyesinin değişimi çeşitli yöntemlerle veya algılayıcılarla sürekli olarak ölçülür. Bu ölçülen bilgiler bir sisteme veya kontrolöre gönderilir. Sistem veya kontrolörde belirlenmiş programa göre seviye istenilen değerlerde tutulur (Ceylan, 2007).

Lab/pilot ölçekte MBR sisteminde biyolojik arıtımın gerçekleştirildiği tanktaki ve atıksu besleme tankında, suyun seviyesini kontrol etmek amacıyla 2 adet iletkenlik tip seviye kontrol elektrodu kullanılmıştır. Tankların yapımında iletkenlik göstermeyen pleksiglass malzeme kullanıldığı için, 3 elektrotlu cihaz kullanılmıştır. Kullanılan seviye kontrol cihazında, en yüksek seviye, en düşük seviye ve şase olmak üzere 3 adet elektrot bulunmaktadır.

İletkenlik tip seviye şalterleri, ELC markası ile üretim yapan Lonca A.Ş.'den (İstanbul/Türkiye) tedarik edilmiştir. Elektrotların her biri 1 m olarak alınmış ve boyları tanklarda istenen su seviyesine göre ayarlanmıştır. Seviye şalterinin genel görünümü Şekil 4.14'de gösterilmiştir.



Şekil 4.14. İletkenlik tip seviye şalterinin genel görünümü. Şalterin kablo uçları, kumanda panosuna monte edilen sıvı seviye kontrol rölesine bağlanmıştır. Röle çıkışları kontaktörler vasıtasıyla su pompasının çalışmasını kontrol etmektedir. Seviye kontrol şalterine ait teknik bilgiler Çizelge 4.6’da verilmiştir.

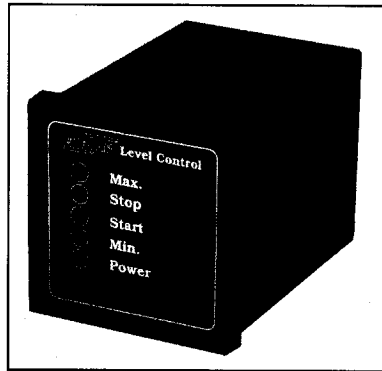
Çizelge 4.5. Seviye kontrol şalteri teknik bilgileri.

Parametre	Özellik/Değer
Elektrot malzemesi	Paslanmaz çelik
Elektrom izolasyonu	Özel
Bağlantı malzemesi	Delrin
Muhafaza	Delrin
Maks. çalışma sıcaklığı	Maks. 60 °C
Maks. çalışma basıncı	6 Bar
Elektrot sayısı	3
Prob voltajı	6 V AC
Mekanik bağlantı	R 1"
Elektrik bağlantısı	PG7 (Polyamid Gland)

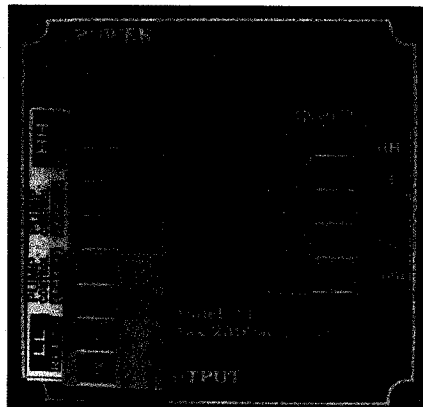
4.9 Seviye Kontrol Cihazı (Röle)

Lab/pilot ölçekte MBR sisteminin tanklarındaki su seviyelerini iletkenlik tip seviye şalterleri vasıtasıyla kontrol ederek, gerektiğinde su pompalarını otomatik olarak çalıştırıp durdurmak amacıyla 2 adet röle kullanılmıştır. Kontrol rölesinin genel görüntüsü Şekil 4.15’de ve elektrik devresi bağlantı şeması Şekil 4.16’da gösterilmiştir. Röleler, SK markası ile üretim yapan Lonca A.Ş.’den (İstanbul/Türkiye) tedarik edilmiştir. ELC iletkenlik tip seviye şalteri ile birlikte çalışan SK-P4 modeli röle, 220 Vac gerilim ile çalışmakta olup, görünür gücü 2,8 VA’dır. 1 adet 5 A Start-Sop rölesi, 2 adet 5 A Max-Min rölesi mevcuttur. Mikroişlemci tabanlıdır. Elektrik kesilip geldiğinde kaldığı konumdan çalışmaya devam etmektedir. Seviye kontrol cihazı, 4 adet elektrottan

gelen giriş bilgisini kontrol edebilmektedir. Şekil 7.24'de gösterilen bağlantı şemasında L1 ve L2 bağlantıları 220 V gerilim için, HH bağlantısı; kontrol edilen sıvı maksimum seviyenin üzerine çıktığında, LL bağlantısı; kontrol edilen sıvı minimum seviyenin altına düştüğünde alarm vererek sistemi kontrol eder ve sesli olarak uyarır. H bağlantısı; belirlenen maksimum sıvı seviyesini, L bağlantısı ise belirlenen minimum seviyeyi kontrol ederek kontak çıkışı verir. Com bağlantısı şase için kullanılmaktadır. 2 adet çıkış kontağı mevcut olup, NC (Normalde Kapalı) ve NO (Normalde Açık) kontaklarıdır. Röle çıkışları (NO-NC), kontaktörler vasıtasıyla su pompalarını kontrol etmektedir. İmalatı gerçekleştirilen MBR sisteminde, H ve L bağlantıları kullanılmıştır (Start-Stop). MBR kontrol panosunda yer alan Pompa-1 rölesi, atıksuyu biyolojik arıtımın gerçekleştiği havalandırma tankına aktaran pompanın kontrolünde, Pompa-2 rölesi, havalandırma tankında biyolojik olarak arıtılmış suyu membran filtreden çekerek temiz su tankına aktaran pompanın kontrolünde kullanılmıştır.



Şekil 4.15. Kontrol rölesinin genel görüntüsü



Şekil 4.16. Bağlantı şeması.

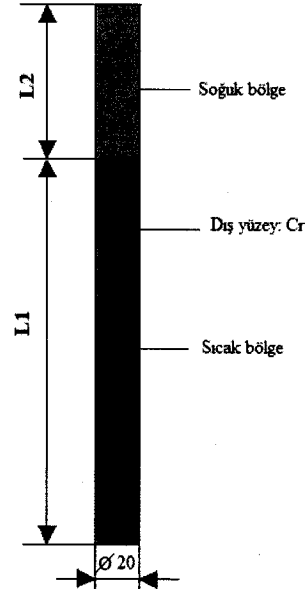
4.10 Fişek Tipi Isıtıcı (Rezistans)

İmalatı yapılan Lab/pilot ölçekte MBR sisteminde atıksuyun biyolojik arıtımının gerçekleştiği tanklar için Şekil 4.17'de gösterilen teknik özelliklerde 2 adet fişek tipi rezistans ısıtıcı (Isımak Rezistans) Isı San. Tic. A.Ş.'ye (İstanbul) özel olarak imal

ettirilmiştir. Sıcaklığı kontrol etmek için ısıtıcılara Fe-Konstantan (konstantan, %40-45 Ni ve % 5-60 arasında Cu bulunan termoçift) termokupul yerleştirilmiştir. Isıtıcılar tanklara, bağlantı parçaları ile monte edildi ve MBR kontrol panosuna monte edilen dijital göstergeli analog termostatlar ile kontrol edilmektedir.

1 Adet; L1=600 L2=200
1 Adet; L1=550 L2=150

Besleme:220 V
Güç :2000 W
Mak. :70 °C

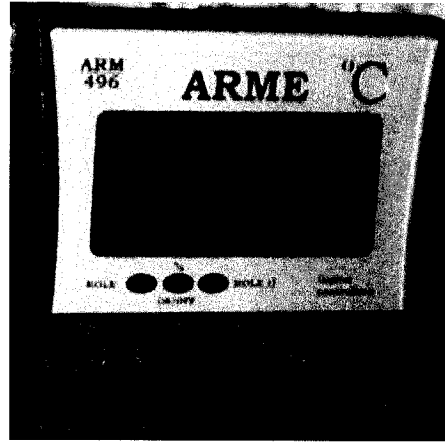


Şekil 4.17. Rezistanslı fişek ısıtıcı teknik çizim görüntüsü.

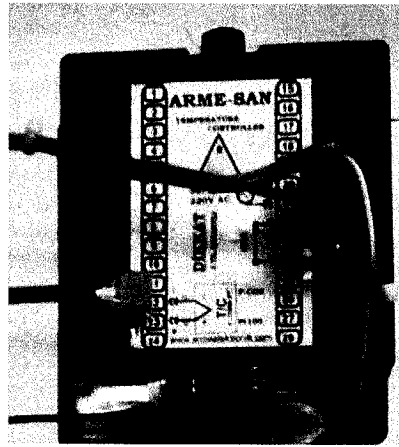
Isıtıcılar, dijital termostata girilen sıcaklık set değerine göre ON/OFF şeklinde çalışmaktadır.

4.11 Sıcaklık Kontrol Cihazı (Termostat)

Lab/pilot ölçekte MBR sisteminde sıcaklığı kontrol etmek amacıyla, Armesan Isı Kontrol San. ve Tic. A.Ş. tarafından (İstanbul/Türkiye) üretilen ARM496 modeli dijital göstergeli termostat kullanılmıştır. Termostat, 3 haneli gösterge, tek kontak, Fe-Const termokupul giriş, dokunmatik ayarlı sıcaklık kontrol cihazıdır. Set değeri, dijital olarak izlenebilmektedir. Termostat, MBR kontrol panosuna monte edilmiştir. Termostatın genel görüntüsü Şekil 4.18'de ve elektrik bağlantı şeması Şekil 4.19'da gösterilmiştir.



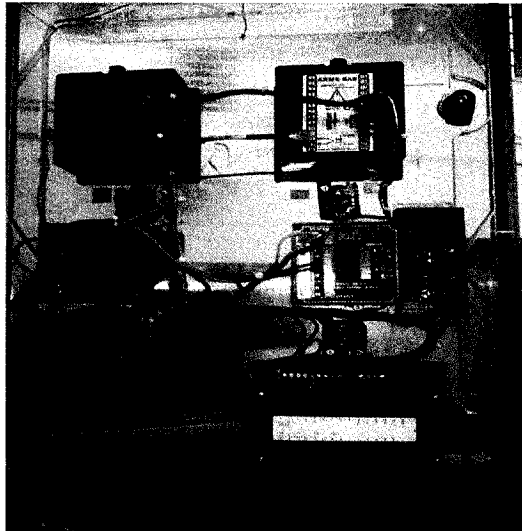
Şekil 4.18. Termostatın genel görüntüsü.



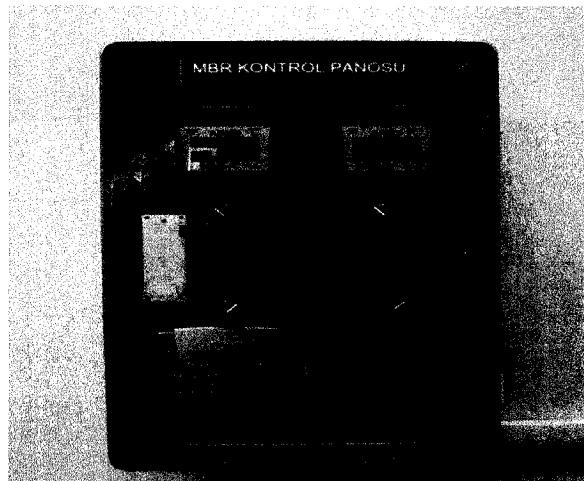
Şekil 4.19. Bağlantı şeması

4.12 Kumanda ve Kontrol Panosu

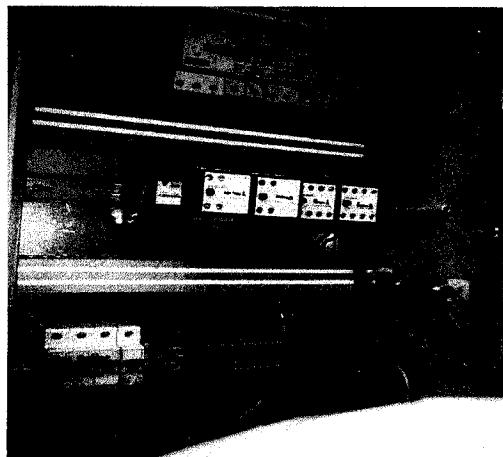
MBR'nin kumanda ve kontrolü için 450x600x200 mm ölçülerinde şeffaf kapaklı polikarbonattan imal edilmiş pano kullanılmıştır. Panonun içerisine yerleştirilen elektrik kumanda elemanları, panoya monte edilen 2 adet metal raya bağlanmışlardır. Kumanda elemanlarına bağlanacak kablolar için 30x30 PVC kanal kullanılmıştır. Kontrol panosunda, su pompalarını ve rezistanslı ısıtıcıları kontrol etmek için 4 adet Siemens marka kontaktör, su pompalarını korumak için 2 adet, blower'ı korumak için 1 adet Siemens marka termik manyetik şalter; ısıtıcılar için 2 adet Siemens marka şalter, 26 adet klamens, su pompalarını otomatik ve manuel olarak çalıştırmak için 2 adet 3 konumlu anahtar, ısıtıcıları açıp-kapatmak için 2 adet 2 konumlu anahtar, panonun gelen enerjiyi kontrol etmek için 1 adet 3 fazlı paket (pako) şalter kullanılmıştır. PLC (Programlanabilir Lojik Kontrol), Su seviye kontrol röleleri, termostatlar, pompa ve termostat anahtarları, ölçülerine göre işaretlenip dekupaj ile kesilerek Şekil 4.20'de gösterildiği gibi panonun kapağına monte edilmiştir. MBR kontrol panosunun dış görüntüsü Şekil 4.21'de, iç görüntüsü 4.22'de gösterilmiştir.



Şekil 4.20. Kontrol elemanlarının monte edilmiş görüntüsü.



Şekil 4.21. MBR kontrol panosunun dış görüntüsü.

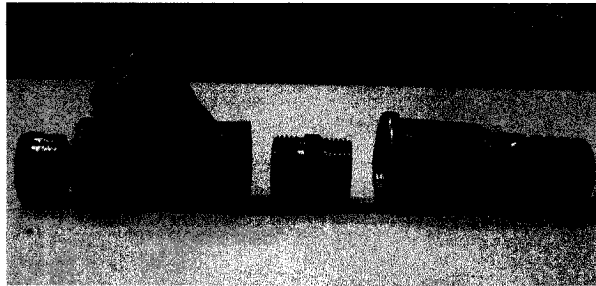


4.22. Panonun iç görüntüsü.

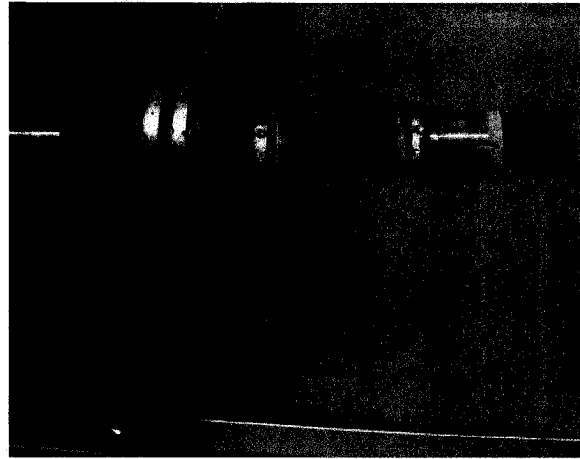
4.13 Atıksu Tankı Ön Filtreleme Elemanları

Lab/pilot ölçekte MBR sisteminin girişinde bulunan ön filtreleme elemanları, atıksu içerisindeki kaba partiküllerin sisteme girişini engellemek için kullanılmıştır.

Atıksu tankından MBR tankına (havalandırma tankı) suyun pompalanmasını sağlayan atıksu pompalarının tıkanmasına neden olabilecek büyüklükteki partiküller böylece uzaklaştırılmaktadır. Bu filtreler belirli aralıklarda elle temizlenmelidir. Filtre elemanları ½” ölçüsündedir. Pompa-1'in emiş hattı üzerine monte edilmiştir. Ön filtreleme parçalarının demonte görüntüsü Şekil 4.23'de ve montajlı görüntüsü Şekil 4.24'de gösterilmiştir.



Şekil 4.23. Ön filtre parçalarının demonte görüntüsü.

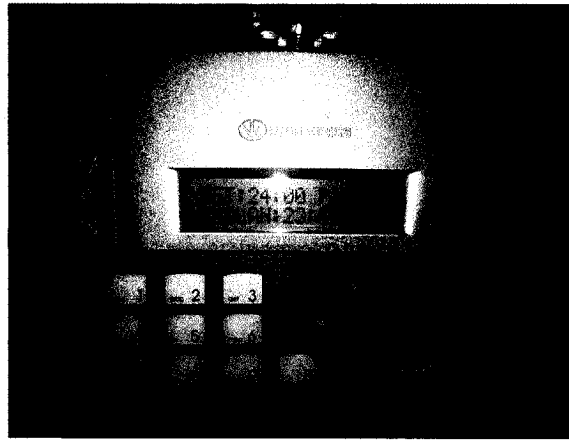


Şekil 4.24. Ön filtre parçalarının montaj sonrası görüntüsü.

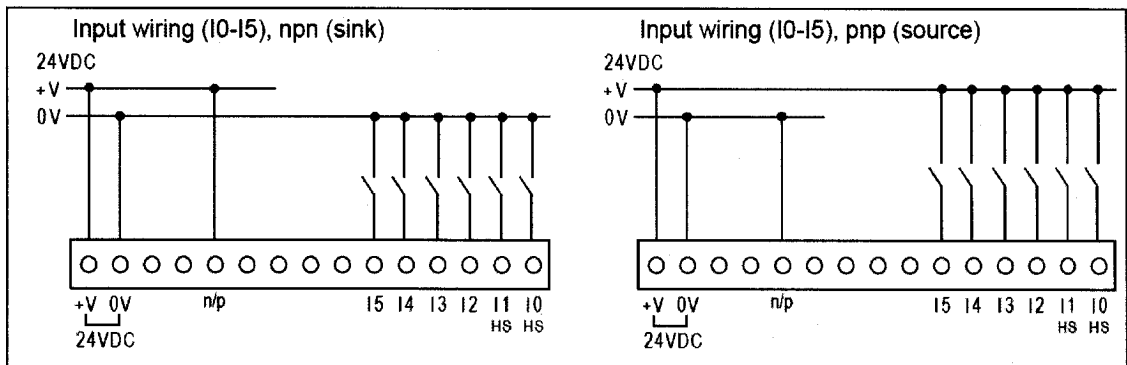
4.14 PLC (Programmable Logic Controller - Programlanabilir Lojik Kontrol)

MBR'de arıtma işlemi genelde bekletmeli olarak gerçekleşmektedir. Mikroorganizmalar tarafından belli bir zaman zarfında arıtımı gerçekleştirilen suyun membran filtrelerden geçirilerek sistemden alınması gerekmektedir. Optimum arıtma süresi belirlendikten sonra, arıtılmış suyun otomatik olarak pompa vasıtasıyla çekilmesi için PLC kullanılmıştır. Cihaz, Lab/pilot ölçekte MBR sisteminin kumanda panosuna monte edilmiştir. PLC'ye ait görüntü Şekil 4.25'da verilmiştir. Unitronics Jazz JZ10 model PLC, 6 adet dijital giriş, 4 dijital çıkış adresine sahiptir. 24 V DC gerilimi ile çalışmakta olup bunun için panoya, 24 V DC çıkış veren güç kaynağı monte edilmiştir. PLC'nin npn ve pnp kablo giriş bağlantı şemaları Şekil 4.26'de verilmiştir. Cihazın

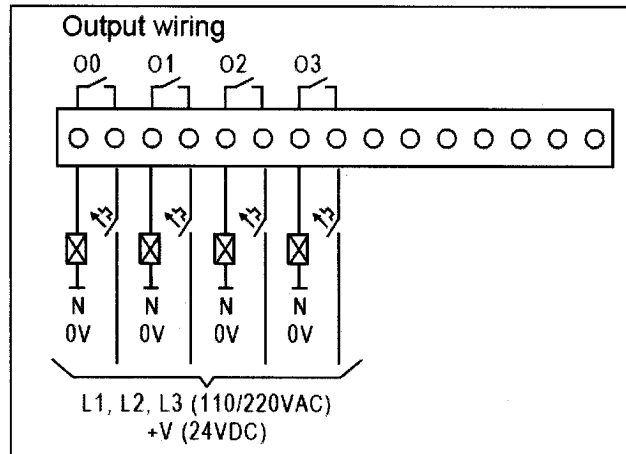
dijital çıkış bağlantı şeması Şekil 4.27’de verilmiştir.



Şekil 4.25. PLC genel görüntüsü.



Şekil 4.26. PLC'nin npn ve pnp kablo giriş bağlantı şemaları.



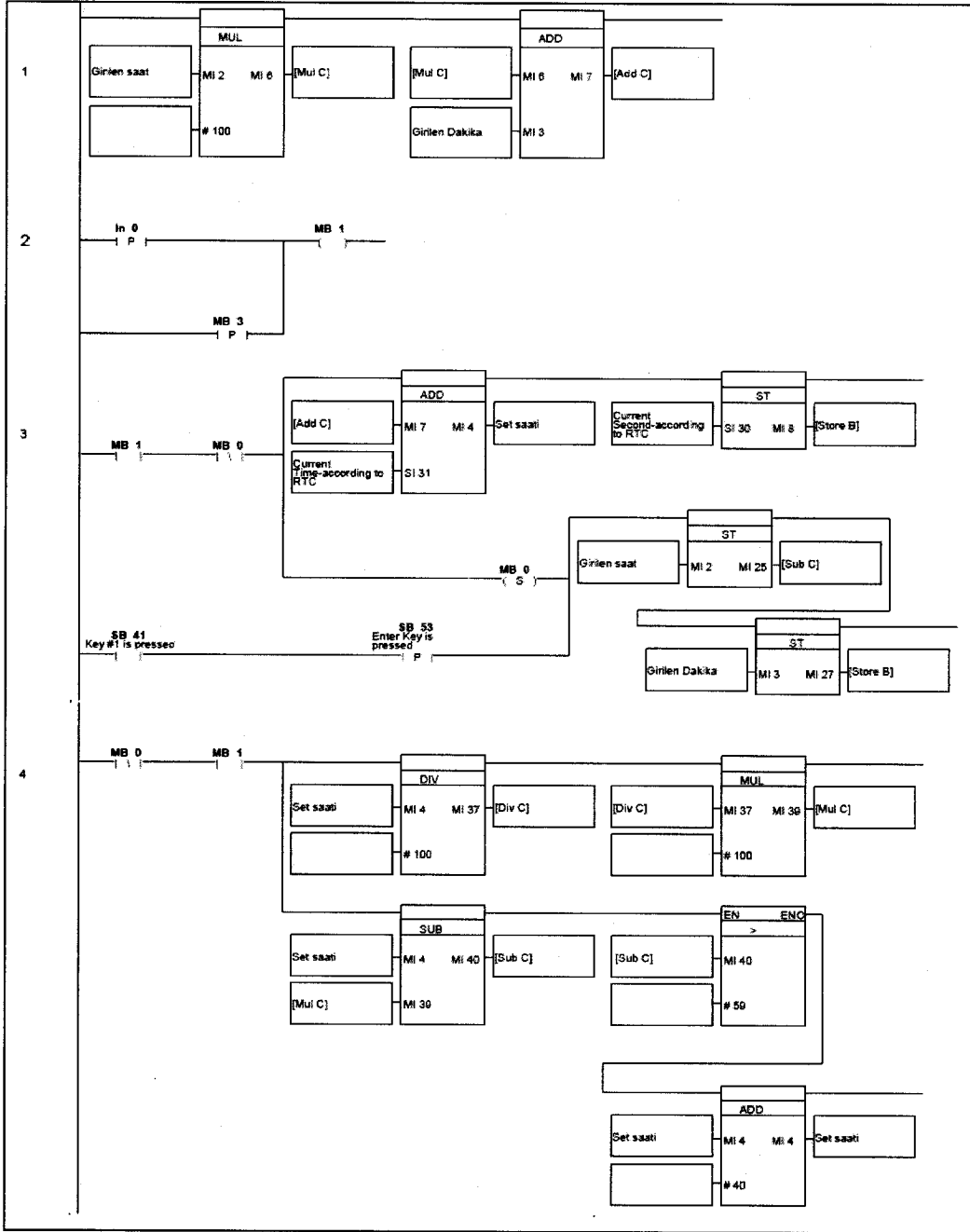
Şekil 4.27. PLC'nin çıkış bağlantı şeması.

PLC'nin çıkışları Pompa-2'yi kontrol eden kontaktöre bağlanmıştır. PLC'nin programlanması, Unitronics firmasının ücretsiz olarak sunduğu U90Ladder V6.2.1'de yapılmıştır. Programlamada, 4 tane ekran tasarlanmıştır. Bunlar, saat giriş ekranı, dakika giriş ekranı, gerçek zaman tarih-saat ekranı ve durum ekranıdır. Veri girişleri PLC'nin üzerinde yer alan tuş takımından yapılmaktadır. Programlamada kullanılan değişkenler; girilen saat ve girilen dakikadır. PLC'nin gerçek zaman saati değerlerinden

yararlanılarak gerekli hesaplama ile girilen süre kadar geriye sayım yapılmaktadır. PLC 1 dakika ile 99 saat arasında süre girilebilecek şekilde programlanmıştır. Belirlenen sınırlar içerisinde istenen saat ve dakika değeri girilebilmektedir.

Geri sayım başladıktan sonra, süreyi sıfırlanmak için 1+Enter tuş kombinasyonu, süreyi tekrar başlatmak için 4+Enter tuş kombinasyonu tanımlanmıştır. Saat ve dakika girişi için sağ yön tuşu, saat ve dakika girişlerinin tamamlanması için enter tuşu tanımlanmıştır.

Biyolojik arıtma, elektrik enerjisinden bağımsız gerçekleştiği için, elektrik kesilmeleri prosesi etkilememelidir. Dolayısıyla, geri sayım işlemi başladıktan sonra elektrik kesilse de geri sayma işlemi devam etmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu da PLC'nin dahili güç kaynağı (pil) sayesinde sağlanmaktadır. PLC'nin programlaması da bu mantık ile yapılmıştır. Enerji kesilmesinden etkilenmemesi için tamsayı değerlerden saat dönüşümü yapılacak şekilde programlanmıştır. Program 15 adımdan oluşmaktadır. Örnek olarak Ladder (merdiven) diyagramının ilk 4 adımını Şekil 4.28'da verilmiştir.



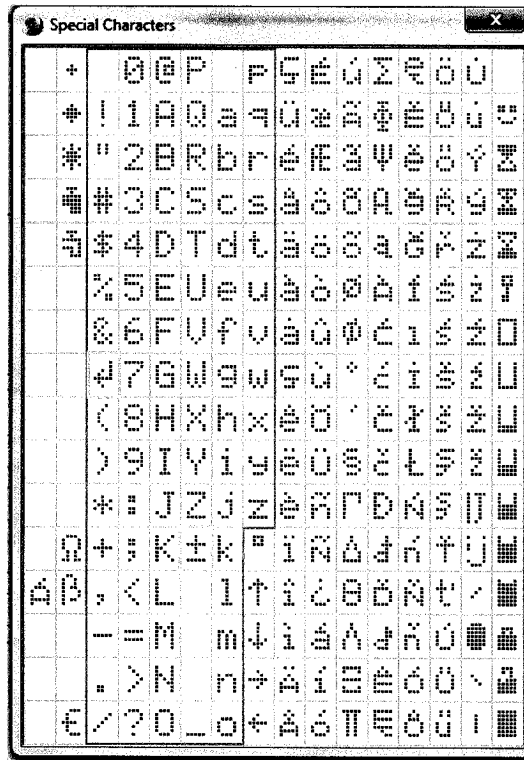
Şekil 4.28. Programa ait Ladder (merdiven) diyagramı (ilk 4 adım).

Programlama işlemi tamamlandıktan sonra RS485 bağlantısı ile hazırlanan program PLC'ye yüklenmiştir. Değişik zaman aralıkları girilerek yazılan program test edilmiştir. Tespit edilen problemler giderilmiş ve istenen çalışma şekli sağlanmıştır.

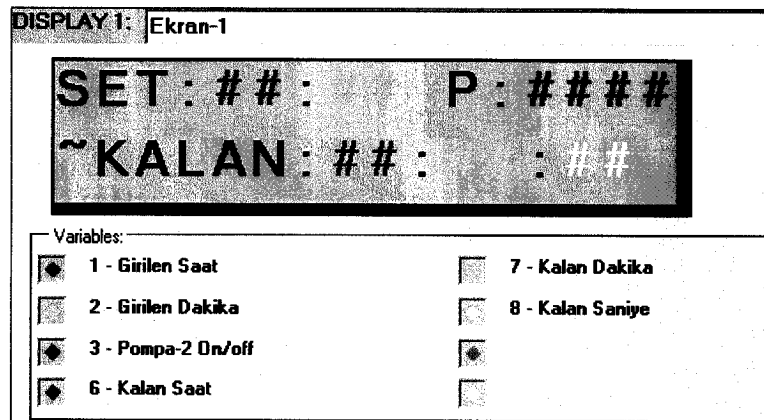
Sistemin çalışma sırasında, süre bitiminde elde edilen çıkış değeri kontaktör aracılığıyla Pompa-2'yi çalıştırmaktadır. Pompanın durdurulması, seviye kontrol şalteri tarafından sağlanmaktadır. Su seviyesi daha önce belirlenen en alt seviyeye geldiğinde Pompa-2 otomatik olarak devreden çıkmakta ve yine otomatik olarak atıksu pompası (Pompa-1) devreye girerek MBR tankına(havalandırma tankı) suyu aktarmaktadır. MBR

tankındaki(havalandırma tankı) su seviyesi, daha önce belirlenen en üst seviyeye ulaştığında, seviye kontrol şalteri tarafından Pompa-1 otomatik olarak durdurulmaktadır. Pompa-1'in durmasıyla birlikte, seviye şalterinden alınan sinyal ile PLC otomatik olarak resetlenerek girilen süre tekrar geri saymaya başlamaktadır.

Ekranında 2 satırda, 16 karakter toplam 32 karakter görüntülenebilmektedir. Ekranında harf ve rakamların yanı sıra Şekil 4.29'da verilen özel karakterler de görüntülenebilmektedir. Ladder (merdiven) programında ekran görüntüsü Şekil 4.30'de verilmiştir.



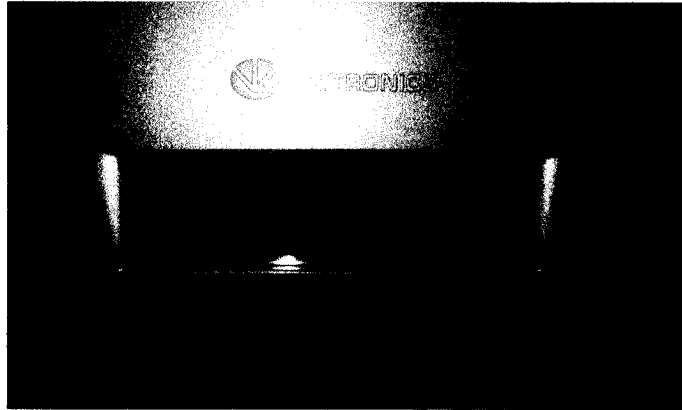
Şekil 4.29. Ekranında görüntülenebilen özel karakterler.



Şekil 4.30. Ladder (merdiven) programında PLC ekran görüntüsü.

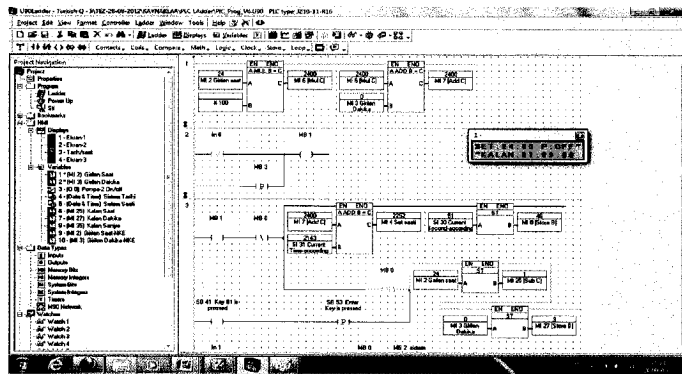
Ekranın 1. satırında girilen set süresi saat ve dakika (hh:mm) olarak, Pompa-1'in

durumu (P:ON/OFF); 2. Satırda ise kalan süre saat, dakika ve saniye (hh:mm:ss) olarak görülebilmektedir. PLC'nin gerçek çalışma görüntüsü Şekil 4.31'de gösterilmiştir.



Şekil 4.31. PLC'nin gerçek çalışma görüntüsü.

PCL programlama programının online durumdaki ekran görüntüsü 4.32'de verilmiştir.



Şekil 4.32. PLC programlama programının online ekran görüntüsü.

4.15 Pompa

İmalatı gerçekleştirilen lab/pilot ölçekte MBR sisteminde, atıksuyun biyolojik arıtımın gerçekleştiği havalandırma tankına iletilmesi ve arıtılmış suyun havalandırma tankından temiz su tankına aktarılması için 2 adet periferik santrifüj pompa kullanılmıştır. Periferik pompaların gövdeleri genellikle dökümden üretilir ve motorları 220 Volt (monofaze) gerilim ile çalışmaktadır. Bu pompalarda, düşük motor gücü ile yüksek basınç elde edilebilmektedir. Kullanılan pompalara ait teknik özellikler aşağıda verilmiştir;

Marka	: Water Sound
Menşei	:Uzakdoğu
Model	:WS-1
Tipi	:PM-45
Güç HP	:0,5

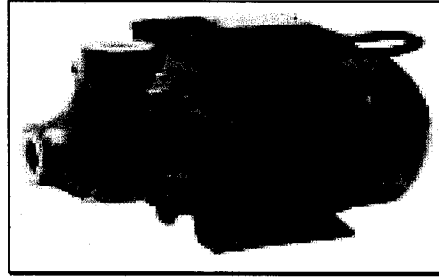
Güç KW :0,37
 Gerilim :220 Volt
 Koruma :Termik
 Pompa Girişi :1
 Pompa Çıkışı :1

Seçilen santrifüj pompanın toplam manometrik basma yüksekliği/debi ilişkisi Çizelge 4.6'de verilmiştir.

Çizelge 4.6 Sistem toplam manometrik basma yüksekliği/Debi (Hm).

Hm	24	18	10	3	0
Debi (Ton / Saat)	0,9	1,2	1,5	2	3

Kullanılan Santrifüj pompalarına ait resim Şekil 4.33'de verilmiştir.



Şekil 4.33. Santrifüj pompanın görüntüsü.

4.16 Su İletimi Bağlantı Boruları

MBR'nin su iletim sisteminde ½" AISI 304 paslanmaz çelik boru kullanılmıştır. Boruların birleştirmeleri argon kaynağı ile gerçekleştirilmiştir.

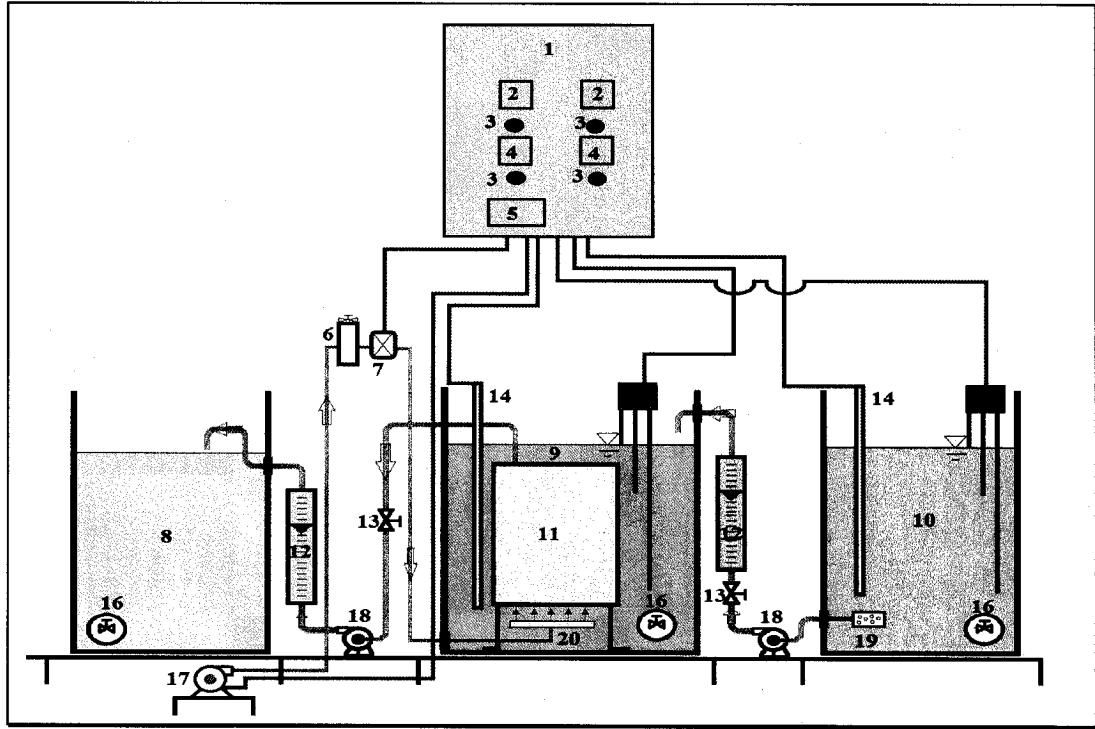
Paslanmaz çelikler; içerisinde en az %10,5 oranında (ağırlıkça) krom içeren demir esaslı alaşım olarak tanımlanırlar. İçerdikleri diğer katkı elementlerine göre değişen ve tamamen östenitik ile tamamen ferritik özellikler aralığında sıralanan beş farklı çeşit paslanmaz çelik türü vardır. Bunlar sırası ile östenitik paslanmaz çelikler, ferritik paslanmaz çelikler, martenzitik paslanmaz çelikler, çift bazlı paslanmaz çelikler ve çökeltme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çeliklerdir. Östenitik paslanmaz çelikler 200 ve 300 serilerini içerirler ve 304 bunların içinde en yoğun olarak kullanılanıdır. Temel alaşım elemanı krom ve nikeldir. Bu alaşımlar, geniş bir sıcaklık aralığında sahip oldukları yüksek tokluk ve yüksek dayanım değerleri ile ön plana çıkarlar ve 540 °C'a kadar ki sıcaklıklarda oksidasyona karşı dayanım gösterirler. Bu grupta yer alan malzemelerin başında 302, 304, 310, 316, 321 ve 347 gelmektedir (Aydın vd., 2010). AISI 304 paslanmaz çelik malzemenin kimyasal bileşimi Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. AISI 304 Östenitik Paslanmaz malzemenin kimyasal bileşimi (% Ağırlık)
(Tekaslan vd., 2008).

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
<0,0050	0,3885	2,173	>0,0960	0,0344	17,67	0,2983	14,71
Al	Cu	Nb	Ti	V	Bg	Fe	
0,0145	0,0806	<0,0050	<0,0010	0,0457	61,7	61,70	

5. İMALATI TAMAMLANAN LAB/PILOT ÖLÇEKTE MBR'NİN DEVREYE ALINMASI VE YAPILAN DENEYSEL ARITIM ÇALIŞMALARI

DeneySEL arıtım çalışmalarının gerçekleştirildiği imalatı tamamlanan Lab/Pilot Ölçekte dahili MBR Sisteminin şematik çizimi Şekil 5.1'de verilmektedir.



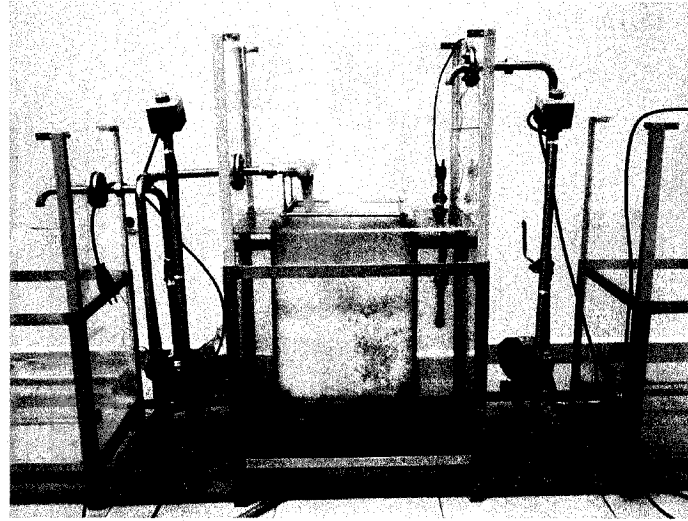
Şekil 5.1. İmalatı tamamlanan Lab/Pilot ölçekte dahili MBR sisteminin şematik çizimi.

- | | | |
|---------------------------|-----------------------|---------------------------------|
| 1- MBR Kontrol panosu | 8- Arıtılmış su tankı | 15- Su seviye kontrol elektrodu |
| 2- Dijital termostat | 9- Havalandırma tankı | 16- Tahliye valfi |
| 3- Şalter | 10- Atıksu tankı | 17- Blower |
| 4- Seviye kontrol şalteri | 11- Membran modülü | 18- Pompa |
| 5- PLC | 12- Su debimetresi | 19- Kaba filtre |
| 6- Hava şartlandırıcı | 13- Valf | 20- ince kabarcıklı difüzör |
| 7- Hava debimetresi | 14- Rezistans ısıtıcı | |

DeneySEL çalışmalar 2 farklı deney koşullarında gerçekleştirilmiştir. I. DeneySEL arıtım çalışmaları laboratuarda hazırlanan simüle tekstil atıksuyunun Bilecik ilindeki bir gıda işletmesinin biyolojik atıksu arıtım tesisinden alınan aktif granül çamur kullanılarak arıtım çalışmalarından oluşmaktadır. II. DeneySEL çalışmalarda kullanılan tekstil atıksuyu, İnegöl (Bursa) Organize Sanayi Bölgesinde kumaş boyama faaliyeti gösteren bir tekstil işletmesinin boyama proses bitiminde, makine çıkışından direkt olarak alınmıştır.

5.1 Lab/Pilot ölçekte MBR'nin Devreye Alınma Aşamasında Yapılan I.Deneysel Çalışmalar

Havalandırma tankı önce temiz su ile doldurularak, havalandırıcı çalıştırılmış ve kabarcıkların düzgün dağılımı ve sızıntı olup olmadığı kontrol edilmiştir. Daha sonra havalandırma tankı Bilecik İlindeki bir Gıda İşletmesinin biyolojik atıksu arıtım tesisinden alınan aktif granül çamur ile doldurulmuştur. Granül aktif çamurun MBR'deki görüntüsü Şekil 5.2'de verilmiştir. I. deneysel çalışmalarda Lab/Pilot ölçekte MBR sistemi çizelge 5.1'de bileşimi verilen sentetik atıksu ile beslenmiştir.



5.1.1

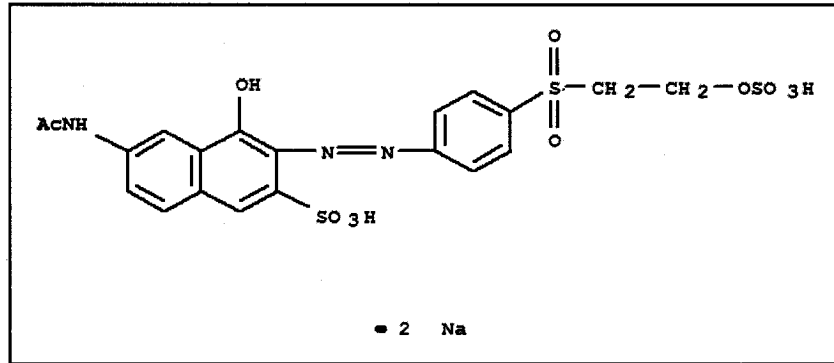
Şekil 5.2. Lab/Pilot ölçekte MBR sisteminde aktif granül çamurun görünümü.

Granül çamur herhangi bir taşıyıcı malzemeye gerek duymadan çoğalabilen, kompakt ve yoğun biyolojik agregattır. Granül çamur bu yoğun yapısında farklı bakteri türleri içerirler. Bu bakteriler kompleks atıksuların arıtılmasında farklı görevler gerçekleştirirler. Muhteşem çökebilme kabiliyeti ayrıca granül çamurun çıkış suyundan ayrılmasını kolaylaştırır. Büyük atık su debilerine dayanıklıdır. Bakteriler ve enzimler atık suda boya gideriminde etkin rol oynarlar. Aktif çamur sistemiyle tekstil atıksuyu arıtımının mekanizmasının iyi anlaşılabilmesi için mikrobiyolojik, fizikokimyasal ve moleküler bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır.

Deneysel çalışmada kullanılan simüle tekstil atıksuyu çizelge 5.1' de özellikleri belirtilen Everzol Orange 3R reaktif boyası ve tekstil endüstrisi atık sularında bulunan diğer kimyasal maddelerin ilave edilmesiyle oluşturulmuştur. Everzol Orange 3R'nin açık formülü Şekil 5.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Everzol Brilliant Orange 3R'nin özellikleri.

Formül:	$C_{20}H_{17}N_3Na_2O_{11}S_3$
Mol Ağırlığı (g/mol):	617,53
Maks. Dalga Boyu(nm) :	492,7

**Şekil 5.3.** Everzol Orange 3R'nin açık formülü.

Hazırlanan sentetik atıksu, sisteme verilmeden önce distile su ile 1/5 oranında seyreltilmiştir. Sentetik atıksu, pompa ile havalandırma tankına verilmiş ve arıtma işlemi gerçekleştirilmiştir. Arıtma süresince, havalandırma tankındaki AKM, renk, çözülmüş oksijen, pH ve KOİ değerleri belirlenmiştir. Çalışmada 10 günlük arıtım verileri değerlendirilmiştir. Deneysel ölçümler için bu zaman zarfında 1, 3, 5, 7 ve 10. gün numune alımı yapılmış ve numunelerin alındığı gün deneysel analizler gerçekleştirilmiştir. Simüle atıksu oluşturmak için kullanılan boyar madde, kimyasal maddeler ve 1 L'deki miktarları çizelge 5.2' de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Simüle tekstil atıksu bileşimi.

Madde	Miktar (mg/L)
CaCl ₂ .H ₂ O	0,85
MgSO ₄ . H ₂ O	0,85
NH ₄ (H ₂ PO ₄)	8,5
FeSO ₄ .7H ₂ O	0,17
CuSO ₄ .5H ₂ O	0,17
Glikoz	17
Everzol Orange 3R	8,5
NaOH	153
NaCl	255
Na ₂ CO ₃	170
NaHCO ₃	170

5.2 Lab/Pilot ölçekte MBR'nin Devreye Alınma Aşamasında Yapılan II. Deneysel Çalışmalar

Deneylerde kullanılan tekstil atıksuyu, İnegöl (Bursa) Organize Sanayi Bölgesinde kumaş boyama faaliyeti gösteren bir tekstil işletmesinin, boyama proses bitiminde direkt olarak makine çıkışından 1 m³'lük PVC tankına dalgıç pompa yardımı ile alınmıştır. İşletmede kullanılan tekstil boyama reçeteleri Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4'de verilmiştir. Proses sonu atılan atıksuyunun bileşimine ait kirlilik yükleri ise Çizelge 5.5'de verilmiştir.

Çizelge 5.2. I. Boyama makinesine ait boyama reçetesinin bileşimi.

Boyar Madde/Kimyasal Adı	Miktarı	Birim
Verolan NCB (İyon tutucu)	1	g/L
Jakazol Yellow CE New	1,2	%
Jakazol Red JG	2,2	%
Jakofix Blue JRF	0,05	%
Rafine Sıvı Tuz	80	g/L
Soda (NaHCO ₃)	20	g/L
Kostik (NaOH)	0,5	g/L

Çizelge 5.3. II. Boyama makinesine ait boyama reçetenin bileşimi.

Boyar Madde/Kimyasal Adı	Miktarı	Birim
Verolan NCB (İyon tutucu)	1	gr/L
Drimaren Red CL-5B	0,17	%
Drimaren Scarlet HF-3G	0,2	%
Rafine Sıvı Tuz	60	gr/L
Soda (NaHCO ₃)	12	gr/L
Kostik (NaOH)	0,5	gr/L

Çizelge 5.4. II. Deneysel çalışmada kullanılan tekstil atıksuyunun kirlilik yükleri.

Parametre	Miktar	Birim
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	4092	mg/L
Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ)	*	mg/L
Toplam Fosfor	10,7	mg/L
pH	10,82	-
Toplam Azot	18,1	mg/L
Uçucu Askıda Katı Madde (UAKM)	200	mg/L
Askıda Katı Madde (AKM)	292	mg/L
Sıcaklık	38,6	°C
İletkenlik	59600	µS/cm

*- İletkenlik değeri çok yüksek olması nedeniyle BOİ₅ sonucu tespit edilememiştir.

Çizelge 5.5'de Kirlilik yükleri belirlenmiş tekstil atıksuyu sisteme verilmeden önce distile su ile 1/5 oranında seyreltilmiştir. Daha sonra pompa ile membran modülü ve hava difüzörünün bulunduğu havalandırma tankına aktarılmıştır. Arıtma işlemi süresince, havalandırma tankındaki AKM, renk, çözülmüş oksijen, pH, sıcaklık, iletkenlik ve KOİ değerleri belirlenmiştir. Numunelerin analizleri alındığı gün gerçekleştirilmiştir.

5.3 Ölçülen Parametreler

5.3.1 Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)

KOİ, su ve atıksuların karakterizasyonunda önemli ve çabuk sonuç veren bir parametredir. Bir suyun KOİ değeri, BOİ'den farklı olarak biyolojik yollarla ayrışmayan bazı maddeleri de içerebilmektedir. Bu sebeple KOİ değeri her zaman BOİ'ye eşit veya büyüktür. KOİ, organik maddelerin oksidasyon basamağının bir göstergesi olduğu için, biyokimyasal reaksiyonlardaki bileşenler arasında elektron eşdeğeri açısından bir denge kurulmasını sağlamaktadır.

KOİ, su numunesindeki organik maddenin, yüksek sıcaklıkta (150 °C) konsantre sülfürik asit (H₂SO₄) içinde potasyum dikromat (K₂Cr₂O₇) ile gümüş katalizör eşliğinde CO₂ ve H₂O'ya oksitlenmesi yoluyla ölçülmektedir.

5.3.2 Sıcaklık

Sıcaklık, bir cismin sıcaklığının ya da soğukluğunun bir ölçüsüdür. Sıcaklık doğrudan ölçülebilir bir değerdir. Sıcaklık ölçümünde termometre denilen cihaz kullanılabilir. Sıcaklık noktasal bir özelliktir. Laboratuvar şartlarında atık suyun sıcaklığını ölçmek için termometre kullanılmıştır. Birimi °C dir. Sıcaklık ölçümü cihazın

probonun numune içine daldırılması kısa bir süre bekletilmesi ile ölçülmektedir.

5.3.3 Çözünmüş Oksijen

Sudaki çözünmüş oksijen, suda yaşayan bitkilerin fotosentez olayı sonucu verdikleri oksijen ve havadaki oksijenden gelir. Oksijenin sudaki çözünürlüğü, havadaki oksijenin kısmi basıncı, suyun sıcaklığı ve suyun kapsamındaki minerallerin konsantrasyonuna bağlıdır. Çözünmüş oksijen, suda yaşayan organizmalar ve balıklar için gereklidir. Oksijenin sudaki çözünürlüğü mg/L olarak ölçülmüştür. Ölçüm aralığı (0-19.9 mg/L) arasındadır. Analizde HANNAHI 9146 model çözünmüş oksijen ölçüm cihazı kullanılmıştır.

5.3.4 pH

pH bir çözeltinin asitlik veya baziklik derecesini tarif eden ölçü birimidir. 0'dan 14'e kadar olan bir skalada ölçülür. Elektrometrik metoda (Standard Metot 4500-H⁺) göre çalışan Thermo marka pH metre ile ölçülmüştür.

5.3.5 Renk

Renk, organik bileşiğin yapısında yer alan ve kromofor grup adı verilen grupların özelliklerine bağlı olarak görünür ışığın belli dalga boyundaki kısımlarını absorblaması ve geri kalan dalga boylarını yansıtması sonucunda göz tarafından görülen karakteristik seklinde tanımlanabilir. Kromofor grupların görünür ışığı oluşturan dalga boylarında yuttuğu kısımlara absorplanan renk, yansıttığı kısımlara ise komplementer renk adları verilir. Çizelge 8.6'da absorplanan dalga boylarına göre yansıtılan (komplementer) renkler verilmiştir (Köseoğlu, 2004).

Çizelge5.5. Işık absorpsiyonu ve renk.

Absorplanan ışık		Bileşiğin rengi (Komplementer renk)
400-440 nm	Menekşe	Sarı-Yeşil
440-480 nm	Mavi	Sarı
480-490 nm	Yeşil-Mavi	Turuncu
490-500 nm	Mavi-Yeşil	Kırmızı
500-560 nm	Yeşil	Eflatun
560-580 nm	Sarı-Yeşil	Menekşe
580-595 nm	Sarı	Mavi
595-605 nm	Turuncu	Yeşil-Mavi
605-750 nm	Kırmızı	Mavi-Yeşil

Renk, tekstil atık sularının en karakteristik parametresi ve en azından estetik

ölçüler açısından en önemli kirleticilerinden birisidir. Koyu renkli sular, güneş ışınlarının geçişini engelleyerek fotosentez olayını yavaşlatıp, sudaki çözülmüş oksijen miktarını düşürdüğünden atık suların renkli olarak deşarjı ekolojik dengenin bozulmasına ve canlıların ölümüne neden olurlar (Köseoğlu, 2004).

Spektrometrik metot da bir maddenin görüldüğü renginin komplementer rengindeki dalga boyu absorplanır ve spektrofotometre yardımıyla absorplanma miktarı tespit edilip renklilik miktarı hassas bir şekilde belirlenir. Spektrofotometrik metot, içme sularına, yüzeysel sulara, evsel ve endüstriyel atık sulara uygulanabilir (Köseoğlu, 2004).

Sularda renk, organik maddelerin suyla temasında çözünmeleriyle meydana gelir. Bu sular pek çok askıda madde ihtiva ederler. Spektrofotometre yardımıyla absorplama miktarı tespit edilir ve renklilik miktarı hassas bir şekilde belirlenir. 50 g tartılan Everzol reaktif orange 3R ismiyle bilinen boya 1000 mL'ye seyreltilerek çeşitli ppm değerlerinde çözeltileri hazırlanarak JASCO V-530 marka UV cihazı yardımıyla kalibrasyon grafiği oluşturulmuştur. Belirli aralıklarla alınan numuneler NF 400 marka santrifüj cihazında 3000 rpm'de 15 dakikalık sürede santrifüj edildi. Santrifüj edilen numunelerin spektroskopisine 492,7 nm'de bakılarak aranan ppm değerine ulaşıldı. Bundan faydalanılarak, arıtılan suyun renk giderimi tayin edilmiştir.

5.3.6 Askıda Katı Madde (AKM)

Standart Metot 2540'a göre tayin edilmiştir (APHA, 1995). İyice karıştırılan numune sabit tartıma getirilmiş 0,45 µm'lik filtre kağıdından süzölmüştür. Filtre kağıdı 103-105 °C'de bir saat süre ile etüvde kurutulmuştur. Ağırlık farkı askıda katıları verir. Desikatörde oda sıcaklığına soğutulup, tartılmıştır ve AKM konsantrasyonu belirlenmiştir.

5.3.7 Toplam Katı Madde (TKM)

Analiz gravimetrik olduğu için kullanılan kapsül ağırlığının bilinmesi gerekir. Bu nedenle kullanılacak kapsül 1 saat etüvde 103-105° C 'de kurutulduktan sonra desikatörde soğuması beklendi. Tartıldıktan sonra 10 mL atık su numunesi kapsüle alınarak tekrar etüvde kurutulduktan sonra hesaplamaları yapılmıştır.

6. SONUÇLAR

Bu tasarım çalışmasında birinci adım Lab/Pilot Ölçekte MBR Sisteminin konfigürasyonunu belirlemek olmuştur. MBR sistemi olarak küçük, bitişik parçalardan oluşan düşük çalışma basıncı, geri atıksu çevrimi olmayan, düşük enerji tüketimli Dahili/Batık MBR tipi seçilmiştir. Membran modülünün alanı ve membran sayısı, hava miktarına göre blower sayısı tasarımın diğer basamaklarıdır. Tasarlanan sistem için N_s değeri 0,35 kgKOİ/kgVSS.gün, atıksudaki organik madde konsantrasyonu 10000 mg/L olarak belirlenmiştir. Tasarımda yapılan hesaplamalar için giriş KOİ 1500 mg/L, çıkış KOİ 60 mg/L ve günlük debi 500 L. varsayılarak hesaplamalar yapılmıştır.

Tasarım hesaplamaları sonucunda belirlenen Lab/Pilot ölçekte MBR sistemin toplam reaktör hacmi 206 L., membran modülünün alanı 1,5 m², kullanılacak membran kaseti sayısı 6 adet, havalandırma sisteminin tasarımında hesaplanan hava miktarı 10L./dak., hava miktarına göre blower ve difüzör sayısı 1'er adet olarak belirlenmiştir. Biyoreaktör olarak kullanılacak tanklar dikdörgen prizma şeklinde tasarlanmış ve malzeme olarak Pleksiglass seçilerek imalatı gerçekleştirilmiştir. Atıksu tankı, membran biyoreaktör (havalandırma tankı) ve temiz su tankından oluşan Lab/Pilot ölçekte MBR sisteminde, atıksu tankından biyolojik arıtımın gerçekleştirildiği havalandırma tankına iletilen su hattı ve arıtılan suyu temiz su tankına aktaran su hattına bağlanan toplam 2 adet debimetre kullanılmıştır. Akış kontrolü, debimetrenin önüne monte edilen, küresel valf ile sağlanmıştır. Biyolojik arıtımın gerçekleştiği tankta verilen havanın sistem için gerekli olan hava akışını kontrol edecek debimetre ve miktarını ayarlamak için Osaka OPT 3042 FR-L ½" marka şartlandırıcı kullanılmıştır. Mikroorganizmaların metabolizma ile ilgili faaliyetlerinin tümü kimyasal reaksiyonlara dayanmaktadır. Kimyasal tepkimeler gibi, mikroorganizmaların meydana getirdiği tepkimeler de sıcaklığa bağlıdır. Sıcaklık yalnız metabolik aktiviteleri etkilemekle kalmaz biyolojik çamurun çökme özelliği, gaz transfer hızı gibi faktörleri de etkiler. Lab/Pilot ölçekte MBR'de atıksuyun biyolojik arıtımının gerçekleştiği tanklar için 2 adet fişek tipi rezistans ısıtıcı (Isımak Rezistans) Isı San. Tic. A.Ş'ye (İstanbul) özel olarak imal ettirilmiştir. Sıcaklığı kontrol etmek için ısıtıcılara Fe-Konstantan (konstantan, %40-45 Ni ve %5-60 arasında Cu bulunan termoçift) termokupul yerleştirilmiştir. Isıtıcılar Lab/Pilot ölçekte MBR kontrol panosuna monte edilen dijital göstergeli analog termostatlar ile kontrol edilmektedir. Lab/Pilot ölçekte MBR'de biyolojik arıtımın

gerçekleştirildiği tanktaki ve atıksu besleme tankında, suyun seviyesini kontrol etmek amacıyla 2 adet iletkenlik tip seviye kontrol elektrodu kullanılmıştır. Atıksuyun biyolojik arıtımının gerçekleştiği havalandırma tankına iletilmesi ve arıtılmış suyun havalandırma tankından temiz su tankına aktarılması için 2 adet periferik santrifüj pompa kullanılmıştır. Tankların yapımında iletkenlik göstermeyen pleksiglass malzeme kullanıldığı için, 3 elektrotlu cihaz kullanılmıştır. Kullanılan seviye kontrol cihazında, en yüksek seviye, en düşük seviye ve şase olmak üzere 3 adet elektrot bulunmaktadır. MBR tanklarındaki su seviyelerini iletkenlik tip seviye şalterleri vasıtasıyla kontrol ederek, gerektiğinde su pompalarını otomatik olarak çalıştırıp durdurmak amacıyla 2 adet röle kullanılmıştır. MBR kontrol panosunda yer alan Pompa-1 rölesi, atıksuyu biyolojik arıtımın gerçekleştiği havalandırma tankına aktaran pompanın kontrolünde, Pompa-2 rölesi, havalandırma tankında biyolojik olarak arıtılmış suyu membran filtreden çekerek temiz su tankına aktaran pompanın kontrolünde kullanılmıştır.

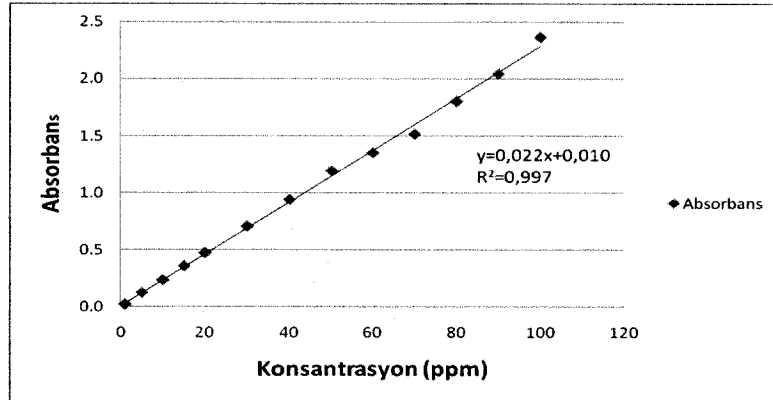
Deneysel çalışmalar 28-32 °C ortam sıcaklığında, 7-8 pH aralığında, 2-5 mg/L ÇO konsantrasyonunda gerçekleştirildi.

2 farklı deney koşullarında gerçekleştirilen deneysel çalışmalardan I. çalışmada 50 g Everzol reaktif orange 3R ismiyle bilinen boyanın 1000 mL' ye seyreltilerek çeşitli ppm değerlerinde çözeltileri hazırlanmıştır. Renk parametresi, UV spektrofotometre (UV/VIS) ile 492,7 nm'de nm dalga boyunda ölçülmüştür. Farklı konsantrasyondaki çözeltilerin JASCO V-530 marka UV cihazında ölçülen absorbans değerleri çizelge 6.1'de ve bu verilerin grafiksel gösterimi Şekil 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Renk giderimi için hazırlanan farklı ppm değerlerine sahip Everzol Orange 3R boyar maddesinin UV tablosu.

Konsantrasyon (ppm)	Absorbans
1	0,0203
5	0,1291
10	0,2361
15	0,3569
20	0,4723
30	0,7046
40	0,9369
50	1,1904
60	1,352
70	1,5105
80	1,7993
90	2,0389
100	2,361

Numunelerin JASCO V-530 marka UV cihazı ile yapılan analizlerinde belirlenen absorbans değerlerinin karşılık gelen konsantrasyon değerleri Şekil 6.1'deki grafikten okunmuştur.



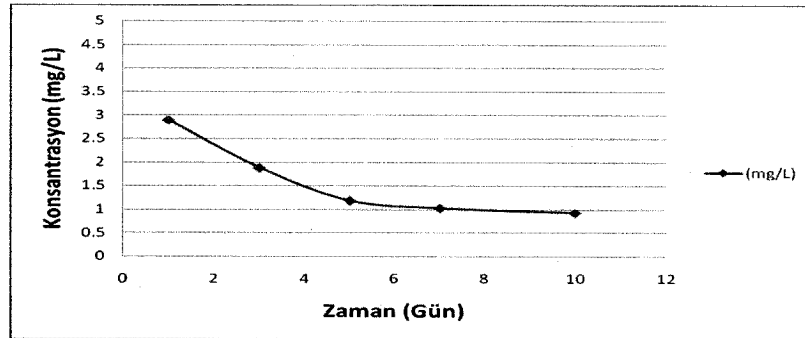
Şekil 6.1. Everzol Orange 3R boyar maddesinin konsantrasyon-absorbans grafiği.

I. Deneysel çalışmada 10 günlük arıtım verileri değerlendirilmiştir. Deneysel ölçümler için bu zaman zarfında 1, 3, 5, 7 ve 10. gün numune alımı yapılmış ve numunelerin alındığı gün deneysel analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları çizelge 6.2'de verilmiştir.

Çizelge 6.2. 10 günlük işletim süresince ölçüm sonuçları.

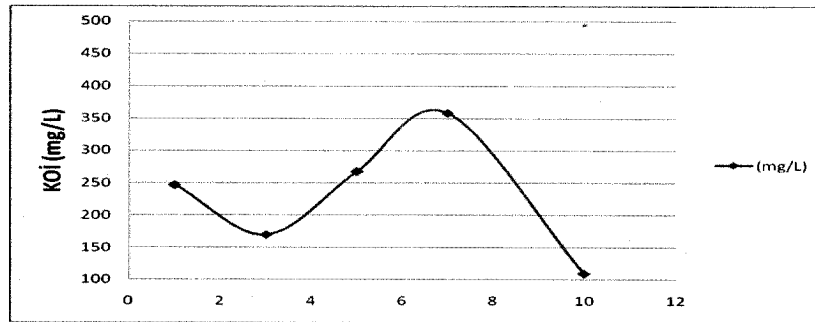
Parametreler Zaman (Gün)	pH	Sıcaklık	UV(ppm)	KOİ	ÇO	AKM	TKM
1.Gün	9,29	28,5	2,89	245,95	2,25	53,7	1226
3.Gün	8,73	29	1,8745	169,291	2,94	212	1298
5.Gün	8,2	29,2	1,1806	266,667	1,09	41,6	1345
7.Gün	8,17	29,5	1,022	357,977	1,84	53,6	1350
10.Gün	8,4	33,1	0,925	108,949	2,64	255,8	1355

Arıtma süresince, havalandırma tankındaki, renk, KOİ, ÇO ve AKM değerlerindeki değişimler grafiksel olarak şekil 6.2-6'da gösterilmektedir.



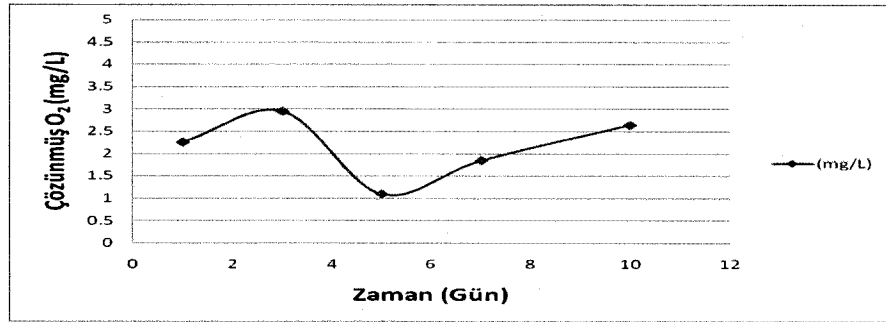
Şekil 6.2. Everzol Orange 3R boyar maddesinin konsantrasyonunun zamanla değişimi.

Şekil 9.2'deki grafik incelendiğinde boya konsantrasyonunun zamanla azaldığı görülmektedir. 10 günlük arıtım sonucunda %68'lik bir renk giderimi sağlanmıştır.



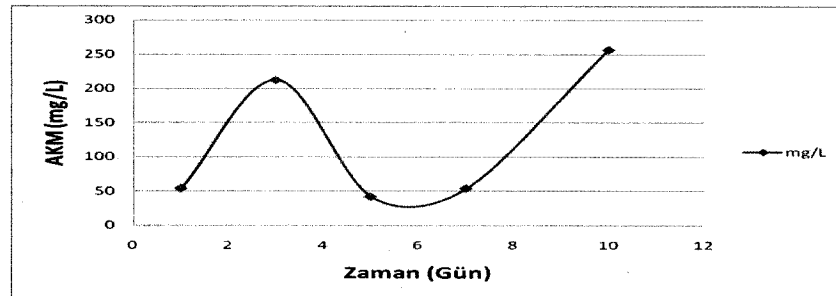
Şekil 6.3. Zamana karşılık KOİ parametresindeki değişim.

Şekil 6.3 incelendiğinde KOİ değerinde azalmalar ve artmalar görülmektedir. Giriş KOİ değeri ve çıkış KOİ değeri kıyaslandığında %55,6 civarlarında bir arıtım görülmektedir.



Şekil 6.4. Çözünmüş oksijen miktarının zamanla değişimi.

Şekil 6.4'e bakıldığında ise çözünmüş oksijen grafiğinin KOİ grafiğinin tersi olduğu görülmektedir. Bu durum karşısında çözünmüş oksijen değerindeki azalmanın KOİ giderimini olumsuz yönde etkilediği ve ÇO değerinin 2 mg/L altına düşmemesi gerektiği sonucuna varılabilir.



Şekil 6.5. Toplam askıda katı maddesinin zamanla değişimi.

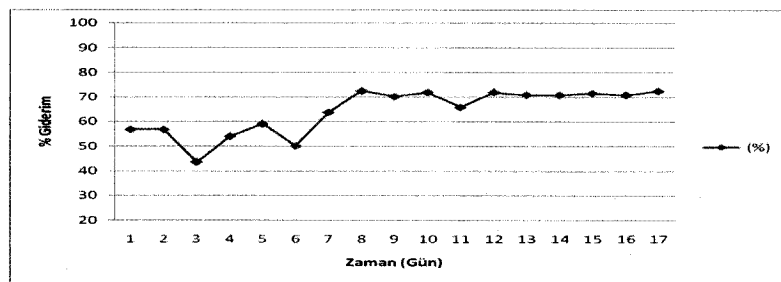
Çalışmanın ilk gününde, biyoreaktördeki biyokütle konsantrasyonu 53 mg MLSS/L iken işletmenin 10. gününde biyokütle konsantrasyonu 256 mg MLSS/L düzeyine ulaşmıştır. AKM grafiğinde görülen artış sistemde mikroorganizma sayısının arttığının ve atık suyla beslenerek çoğaldıklarının göstergesi olarak kabul edilebilir.

II. Deneysel çalışmada 17 günlük artım verileri değerlendirilmiştir. Deneysel ölçümler için bu zaman zarfında her gün numune alımı yapılmış ve numunelerin alındığı gün deneysel analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları Çizelge 6.3'de verilmiştir.

Çizelge 6.3. Deneysel analiz sonuçları.

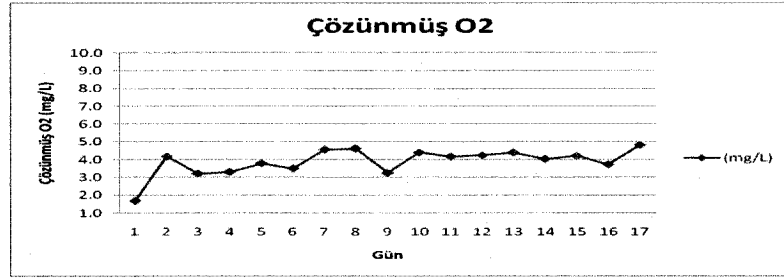
Zaman (Gün)	Parametre							
	KOİ çıkış suyu (mg/L)	pH	Sıcaklık (°C)	ÇO (mg/L)	İletkenlik (µS/cm)	AKM (mg/L)	Hava (L/dak.)	KOİ Giderimi (%)
1	169	8,27	26,6	1,7	10450	9242	7,0	57
2	169	7,49	26,2	4,2	10360	12032	7,0	57
3	215	7,15	26,0	3,2	10210	10476	5,0	43
4	179	6,38	26,4	3,3	10850	9814	6,1	54
5	161	6,90	26,8	3,8	10750	9118	5,8	59
6	192	7,98	26,2	3,5	10650	9976	5,7	50
7	145	6,81	27,4	4,5	10690	11420	11,0	64
8	115	7,73	27,6	4,6	10190	12898	13,0	72
9	123	7,57	28,2	3,2	10360	11140	9,7	70
10	117	7,27	28,4	4,4	10480	11390	9,9	72
11	138	7,09	27,3	4,2	10370	11996	11,4	66
12	117	7,02	27,8	4,2	10240	11662	10,1	72
13	121	6,86	27,9	4,4	10810	11014	10,3	71
14	121	6,75	27,6	4,0	10920	11300	10,6	71
15	118	6,59	27,0	4,2	10960	9770	10,8	72
16	121	7,62	25,5	3,7	10690	9812	10,4	71
17	115	8,05	26,1	4,8	10590	10208	10,0	72

Arıtma süresince KOİ giderimi (%), çözülmüş oksijen, AKM, hava miktarı ve iletkenlik değişimlerinin grafiksel gösterimleri Şekil 6.6-10'da verilmektedir.



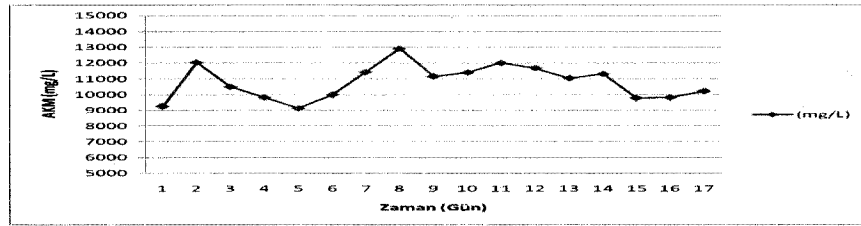
Şekil 6.6. KOİ giderim yüzdesi.

Şekil 6.6 incelendiğinde KOİ değerinde azalmalar ve artmalar görülmektedir. Giriş KOİ değeri ve çıkış KOİ değeri kıyaslandığında %72 civarlarında bir arıtım görülmektedir.



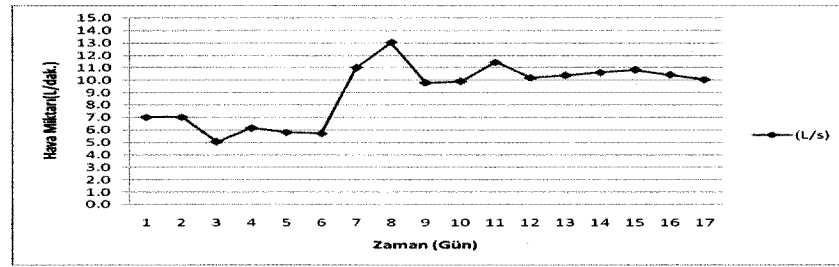
Şekil 6.7. Çözünmüş oksijen miktarının zamanla değişimi.

Şekil 6.7'deki grafik 17 günlük deney süresinde ÇO miktarını göstermektedir. ÇO miktarı, 1,7-4,8 mg/L aralığında değişim göstermiştir.



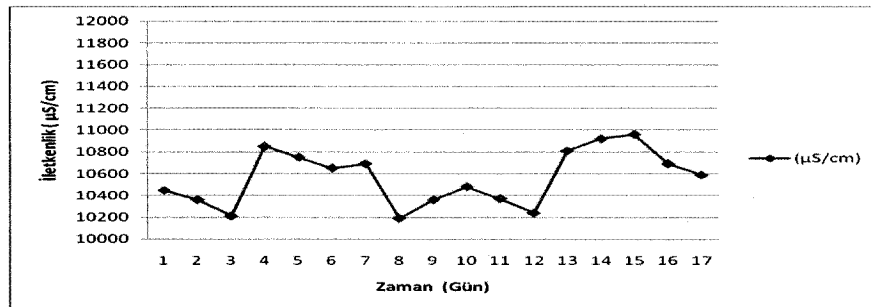
Şekil 6.8. Askıda katı madde miktarının zamanla değişimi.

MBR tankında toplam AKM 9000-12000 mg/L. arasında değişmiştir.



Şekil 6.9. Havalandırma tankına verilen hava (L/dak.).

II. deneysel çalışmada 10 L/dak. hava akış hızında ÇO konsantrasyonu 2-5 mg/L aralığında tutulmuştur.



Şekil 6.10. Havalandırma tankındaki arıtılan suyun iletkenlik değişimi.

Tekstil atık suyunun iletkenlik değeri 10500 µS/cm civarında seyretmiştir.

7. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın temel amacı; öncelikle lab/pilot ölçekte bir MBR tasarlamak, imalatını gerçekleştirmek ve imalatı gerçekleştirilen MBR'nin devreye alınması sırasında tekstil atık suyunun deneysel arıtım çalışmalarını yaparak ön bir çalışma yapmaktır. Tasarımı ve imalatı gerçekleştirilen lab/pilot ölçekte MBR sistemi 206 L'lik polietilenden imal edilmiş 1 adet havalandırma tankından (efektif hacmi yaklaşık 170 L'dir) ve 2 adet 145 litre kapasiteli besleme ve deşarj tankından oluşmaktadır. Ultrafiltrasyon membran modülü 1.5 m² alana sahip olup, por büyüklüğü 0.08–0,3 µm olan 6 adet plaka-çerçeve tipi kaset (Polivinildifloride(PVDF) + Polyetilteraftalat (PET) ibarettir ve havalandırma tankına düşey olarak yerleştirilmiştir. Membran biyoreaktörünün kontrol sisteminde, atık su havalandırıcı (aeration blower), membrandan süzüntü akışı için bir adet periferik santrifüj pompa kullanılmıştır. Sistem, kontrol panosundaki üç anahtar ve bir LCD göstergesi ile yönetilmektedir. Daha sonraki çalışmalarda sistem otomatik pH metre ve ÇO ölçen sistemler ve bilgisayar bağlantılı kontrol sistemleri ilave edilerek geliştirilebilir.

Aşılama için kullanılan aktif çamurun ortama alıştırma sürecinde yapılan bazı deneysel ölçümler yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Aşılamanın yapıldığı gün itibariyle ortamdan numune alımı yapılmış ve numunelerin alındığı gün deneysel analizler gerçekleştirilmiştir. Arıtıma veriminin tespit edilebilmesinde KOİ değeri en önemli parametredir. Sıcaklık ve pH değerlerinin uygun aralıklarda olması mikroorganizmaların canlılıklarının sürdürebilmeleri açısından önem taşımaktadır. Deneysel çalışma süresince, havalandırma tankındaki AKM (toplam askıda biyokütle), renk, ÇO, pH ve KOİ değerleri belirlenmiştir. Biyolojik olarak arıtılmış su membrandan vakum ile çekilerek hemen hemen tüm protozoa ve bakteri (5-6 log giderim) ve virüs (1-2 log) giderimi sağlanmıştır. Çıkış sularında toplam koliform bakterisine rastlanmaması, bu sistemlerden elde edilen çıkış sularının herhangi bir dezenfeksiyon işlemini gerektirmemesi sistemi bu yönüyle de avantajlı kılmaktadır.

Literatürde yapılan daha uzun süreli çalışmalarda KOİ gideriminin %85-90'lara vardırılabildiği göze çarpar. Yapılan I.çalışma süresince kullanılan granül aktif çamur ile simüle tekstil atık suyunda yaklaşık %60'lık bir KOİ giderimi ve %68'lik bir renk giderimi sağlanmıştır. II. deneysel çalışmada arıtımı yapılan gerçek tekstil atık suyu direkt olarak boyama makinesinden alınmıştır. Kirlilik yükleri belirlenmiş tekstil

atıksuyu sisteme verilmeden önce distile su ile 1/5 oranında seyreltilmiştir. Daha sonra pompa ile membran modülü ve hava difüzörünün bulunduğu havalandırma tankına aktarılmıştır. Arıtım sonunda %72'lık bir KOİ giderimi sağlanabilmiştir. Tekstil atık suyunun iletkenlik değerinin 10500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ civarında olmasının mikroorganizmaların aktifliğini azalttığı ve arıtım verimini etkilediği düşünülmektedir.

MBR sistemi kullanılarak farklı endüstrilere ait atık suların arıtım çalışmaları gerçekleştirilebilir. Ayrıca arıtım veriminin artırılabilmesi açısından HRT, SRT, havalandırma süresi ve debisi gibi farklı parametreler çalışılabilir.

Son yıllarda özellikle beyaz çürükçül mantarlarla çok yüksek dekolorizasyon yüzdelerinin elde edilebildiği belirtilmektedir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar neticesinde; daha yüksek KOİ giderimi ve renk giderim verimine ulaşabilmek için bundan sonraki çalışmaların çok yüksek dekolorizasyon yüzdelerinin elde edilebildiği beyaz çürükçül funguslarla denenmesi planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

- Amaral, P.F.F., Fernandes, D.L.A., Tavares, A.P.M., Xavier, A.B.M.R., Cammarota, M.C., Coutinho, J.P.A., Coelho, M.A.Z., "Decolorization of Dyes From Textile Wastewater by *Trametes versicolor*", *Environment Technology*, 25: 1313-1320 (2004)
- Aya, H., Inoue, G., Okabe, T., Murayama, Y., "Development of Compact Wastewater Treatment Plants for Non-potable Water Reuse System", *Water Reuse Symposium*, Washington, D.C., 456-475, (1981)
- Ceylan, İ., "Mekanik Seviye Ölçüm Cihazı Tasarımı", Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2007.
- Cripps C., Bumpus J.A., Aust S.D., "Biodegradation of Azo and Heterocyclic Dyes by *P. Chrysosporium*", *Applied En. Microbiol*, 56 (4): 1114-1118 (1990).
- Davies, W.J., Le, M.S., Heath, C.R., "Intensified Activated Sludge Process With Submerged Membrane Microfiltration", *Wat. Sci. Tech.*, 38 (4-5): 421-428 (1998).
- Dönmez, G., "Bioaccumulation of The Reactive Textile Dyes by *Candida tropicalis* Growing in Molasses Medium", *Enzyme and Microbial Technology*, 30: 363-366, (2002).
- Gunder B., Krauth K., , "Replacement of Secondary Clarification by Membrane Separation - Results with Plate and Hollow Fibre Modules", *Water Science and Technology*, 38 (4-5): 383-393 (1998)
- Hu, T.L., Wu, S.C., "Assessment of The Effect of Dye RP2B on The Growth of a Nitrogen Fixing Cyanobacterium", *Anabaena sp. Bioresource Technology*, 77 (1): 93-95 (2001)
- Irwin, J., "On-site Wastewater Reclamation and Recycling", *Water Environment and Technology*, 90-91 (1990)
- Ishida, H., Yamada, Y., Izumi, K., Moro, M., "Apparatus for treating Activated Sludge", *European Patent Application No. 0510 328 A2*, Kubota Corporation, Japan, 1992
- Işık, M., Sponza, D.T., "Effect of Oxygen on Decolorization of Azo Dyes by *Escherichia coli* and *Pseudomonas sp.* and Fate of Aromatic Amines", *Process Biochemistry*, 38: 1183-1192 (2003).

- Jones, J.J. Falkinham III. J.O., “Decolorization of Malachite Green and Crystal Violet by Waterborne Pathogenic Mycobacteria”, *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 47 (7): 2323-2326 (2003).
- Kaykiođlu, G., “Biyolojik Ön Arıtmalı Membran Sistemler ile Tekstil Atık Sularının Geri Kazanımı”, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2010
- Kestiođlu, K., “Atıksu Arıtımında Biyokimyasal Prosesler Cilt-I”, *Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayını, Yayın No:170*, Bursa, 2001.
- Kitiş, M., Yiđit, N.Ö., Köseoğlu, H., Bekarođlu, Ş.Ş., “Su ve Atıksu Arıtımında İleri Arıtma Teknolojileri- Arıtılmış Atıksuların Geri Kullanımı”, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Görevlisi Eğitimi Ders Notları, *Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliđi*, Isparta, 2009
- Köseoğlu, G., Tekstil Endüstrisi Atıksularındaki Renk Sorununun İleri Aktif Çamurlu Ardışık Kesikli Biyoreaktör İle Giderilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 2004.
- Krauth, K.H., Staab, K.F., “Pressurized Biomembrane Reactor for Wastewater Treatment”, *Hydrotop*, 94, 555-562 (1994).
- Li, A., Kothari, D., Corrado, J.J., 1985, “Application of Membrane Anaerobic Reactor System for the Treatment of Industrial Wastewaters”, *Proc. of the 39th Purdue Industrial Waste Conf.*, Lafayette, India, 627-636 (1985).
- Magara, Y., Nishimura, K., Itoh, M Tanaka, M., “Biological Denitrification System with Membrane Separation for Collective Human Excreta Treatment Plant”, *Water Science and Technology*, 25 (10): 241–251 (1992).
- Manem J, Sanderson R. “Membrane bioreactors. In: Water treatment: Membrane Processes”, *McGraw-Hill*, NewYork, 1996
- *Metcalf and Eddy, “Wastewater Engineering: Treatment and Reuse (4th internal edition)”, *New York: McGraw-Hill*, 2003.
- Ouyang, K., Liu, J., “Effect Of Sludge Retention Time On Sludge Characteristics And Membrane Fouling Of Membrane Bioreactor”, *Journal of Environmental Sciences*, 21 (10): 1329-1335 (2009).
- Rahman, M.M., Al-Malack, M.H., “Biochemical Kinetics of Cross flow Membrane

- Bioreactor Processes in the Treatment of Refinery Wastewater”, *Int. J. Environ. Res.*, 6 (1): 285-296, Winter (2012).
- Ross, W.R., Barnard, J.P., Roux, J.L., Villiers, H.A., “Application of Ultrafiltration Membranes for Solid/Liquid Separation in Anaerobic Digestion Systems: The ADUF Proces”, *Water SA*, 16: 85-91 (1990).
- Shim, J.K., Yoo, I.K., Lee, Y.M., “Design and Operation Considerations For Wastewater Treatment Using A Flat Submerged Membrane Bioreactor”, *Process Biochemistry*, 38 (2): 279-285 (2002)
- Ueda, T., Hata, K, Kikuoka, Y., “Treatment of Domestic Sewage from Rural Settlements by a Membrane Bioreactor”, *Water Science and Technology*, 34(9): 189-196 (1996).
- Ueda, T., Hata, K, Kikuoka, Y., Seino, O., “Effects of Aeration on Suction Pressure in A Submerged Membrane Bioreactor”, *Water Research.*, 31(3): 489-494 (1997).
- Uygur, A., Kargı, F., Başkaya, H.S., “Ardışık Zamanlı Kesikli Biyo-Reaktörde Biyolojik Nutrient Gideriminde Hidrolik Alıkonma Süresinin Optimizasyonu”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 9 (1): 161-169 (2004).
- Wen, G., Ma, J., Zhang, L., Yu, G., “Membrane Contactors and Integrated Membrane Operations”, *Comprehensive Membrane Science and Engineering*, Drioli, E., Giorno, L., Elsevier, 1-257 (2010).
- Xu, X.R., Li, H.B., Wang, W.H., Gu, J.D., “Degradation of dyes in aqueous solutions by the Fenton process”, *Chemosphere*, 57: 595-600 (2004).
- Yoona, S.H., Kimb, H.S., Yeomb, I.T., “The Optimum Operational Condition of Membrane Bioreactor (MBR): Cost Estimation of Aeration and Sludge Treatment”, *Water Research*, 38 (1): 37-46 (2004).

EK 1

Mali Etkinlikler

Lab/Pilot Ölçekte MBR sisteminin tasarımı ve imalatı / montajı aşamasında ihtiyaç duyulan makine-alet- cihaz vb. parçalar farklı firmalardan satın alınarak sistemin imalatı ve montajı Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Laboratuvarında tez öğrencisi tarafından gerçekleştirilmiştir. Yapılan tasarım ve hesaplamalar sonucunda belirlenen boyutlardaki makine-alet-cihazlardan, Çin'den ithal edilen 6 adet düz çerçeve tipi membran ve bu membranların modül haline getirildiği membran ünitesi ENT Makine A.Ş.'den, Blower ve Diffüzör(bağlantı parçaları ve aksesuarları dahil) ETA Ekipman Teknoloji Arıtma Sistemleri San.ve Tic.Ltd.Şti'den, Seviye kontrol cihazı ve pompa LONCA Paz.Mak.San.Tic.A.Ş'den, Debimetre ve Şartlandırıcı GENTEK Elektronik San.Tic.Lim.Şti'den , Isıtıcı (Fişek Rezistans) ISIMAK Rezistans ve Isı Sanayii Tic.'den satın alınmıştır. Proje Kapsamında makine teçhizat kaleminde yer alan makine-alet-cihazlar için ödenen toplam miktar 14030.19TL.'dir. ENT Makine A.Ş Firmasının atölyesinde gerçekleştirilen Membran Modül ünitesinin imalatı sırasında Tez öğrencisi Kadir ÖZAN tez çalışması kapsamında modülün imalatında yer almıştır. Seyahat ücreti olarak ayrılan 250TL'lik bütçe Bilecik-Kocaeli gidiş-geliş ücreti olarak kullanılmıştır. Toplam proje bütçesinden 14280,19 TL. harcanmıştır.

Bilimsel Etkinlikler

1. Çalışmanın SCI indeksinde taranan bir dergide makale olarak yayınlanması hazırlıkları tamamlanma aşamasındadır.
2. ENSUTEK 1.Uluslararası Endüstriyel Su Teknolojileri Sempozyumunda (2012), "Membran Biyoreaktörde Simüle Tekstil Atıksuyunun Arıtım Çalışmaları" başlıklı bildiri sunulmuştur.