



Laboratuvar/Pilot ölçekte membran biyoreaktör(mbr) sisteminin tasarımı ve imalatı

Kadir Özan¹, Çağlayan Açıkgoz^{2*}

¹Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Pazaryeri Meslek Yüksekokulu, Pazaryeri, Bilecik, 11800, Türkiye

²Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya ve Süreç Mühendisliği Bölümü, Bilecik, 11210, Türkiye

Ö N E Ç I K A N L A R

- MBR Sistem tasarımı
- Tekstil atık suyu arıtımı
- Biyolojik arıtım ve membran filtrasyonu

Makale Bilgileri

Geliş: 02.01.2016

Kabul:03.11.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.406778

Anahtar Kelimeler:

Membran biyoreaktörler,
membran filtrasyon,
endüstriyel atıksu arıtımı,
tekstil atıksuyu

ÖZET

Bu çalışmada; tekstil atıksuyunun arıtım çalışmalarında kullanılmak üzere laboratuvar/pilot ölçekte Membran Biyoreaktör (MBR) sisteminin tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Tasarım çalışması; işletme şartlarının belirlenmesi, havalandırma tankının tasarımı, MBR sisteminin mekanik tasarımı ve süreç kontrolü için gerekli olan ekipmanların belirlenmesi olmak üzere dört basamaktan oluşmaktadır. MBR sisteminin tasarımında, literatürde belirtilen tekstil atıksuyunun kirlilik yükleri ve deşarj kriterleri dikkate alınarak kabul değerleri belirlenmiş ve bu değerler hesaplamalarda kullanılmıştır. Tasarım hesaplamalarında; laboratuvar/pilot ölçekteki MBR sisteminin toplam reaktör hacmi 206 L, membran modülünün alanı 1,50 m², kullanılan membran kaseti sayısı 6 adet, üfleç sayısı 1 adet ve difüzör sayısı 1 adet olarak hesaplanmıştır. MBR sisteminin montajı tamamlandıktan sonra sistem devreye alınmıştır. Sistemin çalışma performansı; sentetik tekstil atıksuyunun arıtım çalışmaları yapılarak test edilmiştir. Sistemde 10 günlük arıtım süresine bağlı olarak %68'lik bir KOİ giderimi ve %70 renk giderimi sağlanmıştır. İmalatı gerçekleştirilen MBR sisteminin; tekstil atıksuyu arıtımındaki kullanılabilirliği ümit vericidir.

Design of laboratory/pilot-scale membrane bioreactor (mbr) system and manufacture

H I G H L I G H T S

- Design of MBR system
- Textile wastewater treatment
- Biological treatment and membrane filtration

Article Info

Received: 02.01.2016

Accepted: 03.11.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.406778

Keywords:

Membrane bioreactor,
membran filtration,
industrial wastewater
clarification,
textile wastewater

ABSTRACT

In this study, the design and manufacture of a lab/pilot scale Membrane Bioreactor (MBR) system has been realized demonstrated for using at for the treatment of textile industry wastewater. The design studies consist of four stages; design of operating conditions, design of ventilation tank, mechanical design of MBR system and identification of equipment required for process control. For the design of the MBR system, Acceptance values were determined taking into account the pollution loads and discharge criteria of the textile wastewater specified in the literature and these values were used for calculations. In design calculations, we calculated the reactor volume of the laboratory/pilot scale MBR system as 206 L, the area of the membrane module as 1,50 m², the number of membrane cassettes as 6, the number of blowers as 1, and the number of diffusers as calculated as 1. After the installation of the MBR system, the system was operated. The system performance has been tested with the synthetic waste water treatment studies. In 10 days treatment period, 68% COD removal and 70% color removal were achieved. The produced MBR system shows encouraging performance in the produced MBR system.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

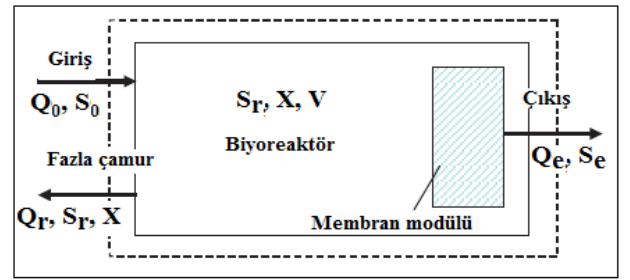
Tekstil endüstrisi atıksuları, önemli miktarlarda boyar madde ve askıda katı madde (AKM) içeriklerinin yanı sıra tuzları ve iz elementleri de içermektedirler. Bu atıksular, yüksek miktarda boya içerikleri, önemli miktarda askıda katı madde miktarı ve yüksek kimyasal oksijen gereksinimleri (KOİ) nedeniyle önemli çevre problemlerine sebep olabilirler. Atıksuların içeriğinde bulunan renkli ve toksik bileşikler atıksuyun deşarjını zorlaştırmaktadır [1, 2]. Ülkemizdeki tekstil fabrikalarının çokluğu dikkate alındığında tekstil kaynaklı atık suların arıtılması önemlidir. MBR sistemleri klasik aktif çamur sistemlerinin geliştirilmiş şekli olup biyolojik reaktörler ile membran teknolojisinin birleştirilmiş halidir. Son yıllarda polimer ve membran teknolojisindeki hızlı gelişmeler ve üretim maliyetlerinin azaltılması; gerek içme suyu gerekse de atıksu arıtım alanlarında membran prosesleri (özellikle mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon) konvansiyonel sistemlerle maliyet açısından rekabet edebilir hale getirmiştir. Dolayısıyla, atıksu arıtımında uygulanan MBR'ler de gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde artan bir hızla arıtma tesislerinde devreye alınmıştır [3]. Gelecek yıllarda birçok konvansiyonel atıksu arıtma tesislerinin teknolojilerini MBR'lere dönüştüreceği ve özellikle de son çökeltim havuzlarının ortadan kalkacağı ABD ve Avrupa'daki uzmanlar tarafından tahmin edilmektedir [4, 5].

Günümüzde MBR tasarımı için gelişmiş ve sistematik bir yöntem bulunmamaktadır [6]. MBR sistemi ile atıksuların arıtımı için laboratuvar ve pilot ölçekte yapılmış olan deneysel sonuçlar temel alınarak, gerçek ölçekte bir sistemin tasarım parametreleri belirlenmektedir. MBR sistemlerinin tasarımında birinci adım MBR sisteminin konfigürasyonunu belirlemektir. Havalandırma tankının tabanına yerleştirilen disk difüzör ile havalandırma sırasında oluşan hava girdapları aktif çamurun membran yüzeyinde birikmesini ve gözeneklerin tıkanmasını engellemektedir. Çoğunlukla aerobik arıtım sistemleri için dahili/batık MBR tipi kullanılmaktadır. Tasarımlarda toplam reaktör hacmi, havalandırma modu, havalandırma ekipmanlarının montaj yerleri ve montajı anahtar etkenlerdir. Çamur yükleme hızı, (Ns) uzaklaştırılan organik madde miktarının birim zamanda birim çamur miktarına oranını ifade etmektedir. Dahili/Batık MBR sistemlerinde membran modülün sistem içinde bulunmasından dolayı biyoreaktör çok yüksek konsantrasyonda çamur tutmaktadır. MBR sistemlerinin tasarımında Ns değerinin seçimi önemlidir. Ns oranının küçük seçilmesi sistemin arıtım verimini oldukça artırır, ancak bu oran alt yapı yatırım maliyetini de çok artırmaktadır. Genellikle Ns 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 [7]. Membran modülünün alanı ve membran sayısı, havalandırma sisteminin tasarımında, hesaplanan hava miktarına göre üfleç

sayısı tasarımın diğer basamaklarıdır [8, 9]. Bu çalışmanın amacı; atıksu arıtımı üzerine gerçekleştirmeyi planladığımız bilimsel çalışmalarımızda kullanılmak üzere tekstil atıksuyu arıtımında kullanılabilen laboratuvar/pilot ölçekte bir MBR sistemini tasarlamak, imalatını gerçekleştirmek ve imalatı gerçekleştirilen MBRsisteminin devreye alınmasını sağlamaktır.

2. MEMBRAN BİYOREAKTÖR TASARIM HESAPLAMALARI (MEMBRANE BIOREACTOR DESIGN CALCULATIONS)

Dahili/Batık MBR'de giren-çıkan madde dengesi Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Dahili/Batık membran biyoreaktör sisteminde madde dengesi

(Internal/Submerged membrane bioreactor system material balance) [11]

Tasarımı gerçekleştirilen MBR sistemi olarak küçük ve bitişik parçalardan oluşan, düşük basınçta çalışan, geri atıksu çevrimi olmayan, düşük enerji tüketimli dahili/batık MBR tipi seçilmiştir[10]. MBR sisteminin toplam reaktör hacminin, membran modülünün alanının, membran ve üfleç sayısı belirlendiği tasarım hesaplamalarında kullanılan eşitlikler Eş. 1-17 olarak aşağıda verilmiştir [11, 12].

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

$$\mu_{m,T} = \mu_m \cdot \theta^{T-20} \quad (2)$$

$$P_{X,bio} = \frac{Q \cdot Y \cdot (S_0 - S_e)}{1 + (k_d) \cdot (SRT)} + \frac{(f_d) \cdot (k_d) \cdot Q \cdot Y \cdot (S_0 - S_e) \cdot (SRT)}{1 + (k_d) \cdot (SRT)} + \frac{Q \cdot Y_n \cdot (NO_x)}{1 + (k_{dn}) \cdot (SRT)} \quad (3)$$

$$R_o = Q \cdot (S_0 - S_e) - 1,42 \cdot P_{X,bio} + 4,33 \cdot Q \cdot (NO_x) \quad (4)$$

Eş. 1, Eş. 2, Eş. 3 ve Eş. 4 eşitlikleri kullanılarak elde edilen verilerin Eş. 5'de yerine konmasıyla toplam reaktör hacmi belirlenmiştir.

$$V = \frac{Q \cdot (S_0 - S_e)}{X \cdot N_s} \quad (5)$$

Belirlenen reaktör hacmine göre hidrolik bekleme süresi ve çamur bekletme yaşı Eş. 6 ve Eş. 7 formülleri kullanılarak hesaplanmıştır.

$$HRT = \frac{V}{Q} \quad (6) \quad \frac{P_b}{P_a} = \exp \left[-\frac{g.M.(z_b - z_a)}{R.T} \right] \quad (14)$$

$$SRT = \frac{X.HRT}{0.4.(S_o - S_e - 0.34.X.HRT)} \quad (7) \quad P_{atm,H} = \frac{(P_b/P_a).(P_{KN}^{KN})}{\gamma \text{ kN/m}^3} \quad (15)$$

Membran modülünün alanı ve membran sayısı, havalandırma sisteminde ihtiyaç duyulan hava miktarı ve bu miktarı sisteme sağlayacak üfleyci sayısı Eş. 8-17 eşitlikleri kullanılarak hesaplanmıştır.

$$A = \frac{Q}{24.J} \quad (8) \quad C_{\bar{s},T,H} = (C_{s,T,H}) \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{P_{atm,H} + P_{w,eff}}{P_{atm,H}} + \frac{O_t}{21} \right) \quad (16)$$

$$FPM_q = \frac{A}{FPM_a} \quad (9) \quad A_F = \frac{SOTR}{E.60.(kg \text{ O}_2/\text{m}^3)} \quad (17)$$

$$NO_x = TKN - N_e - 0.12 \cdot \frac{P_{x,bio}}{Q} \quad (10)$$

$$AOTR = SOTR \left(\frac{\beta_{S,T,H} - C_L}{C_{S20}} \right) \cdot (1.024^{T-20}) \cdot (\alpha) \cdot (F) \quad (11)$$

$$C_{\bar{s},T,H} = (C_{s,T,H}) \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{P_d}{P_{atm}} + \frac{O_t}{21} \right) \quad (12)$$

$$C_{s,T,H} = (C_s) \cdot \left(\frac{P_b}{P_a} \right) \quad (13)$$

Eşitliklerde kullanılan kinetik katsayıları için literatürde belirtilen değerler referans alınmıştır[10]. Biyolojik arıtma sistemlerinde mevcut mikroorganizmalardan hetetrofik bakteriler ve ototrofik bakterilerin 20°C kinetik katsayıları Tablo 1’de verilmiştir.

MBR sisteminin tasarımında, literatürde tekstil atıksuyu arıtımı üzerine yapılan deneysel çalışmalarda belirtilen tekstil atıksuyunun kirlilik yükleri [13, 14] ve deşarj kriterleri dikkate alınarak kabul değerleri belirlenmiştir [15, 16]. Belirlenen bu kabul değerleri Tablo 2’de gösterilmektedir.

Tablo 1. Biyolojik arıtma için kinetik katsayılar (Kinetic coefficients for the biological treatment) [10]

Kinetik katsayı	Birimi	Tipik değer
Hetetrofik bakteriler, 20°C		
μ_m	gVSS/gVSS-gün	6
Ks	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
Kn	mg NH ₄ -N/L	0,74
Yn	g VS S/g NH ₄ -N	0,12
k _{dn}	gVSS/gVSS-gün	0,08
K0	birimsiz	0,50
θ değerleri		
μ_{nm}	birimsiz	1,07
k _{dn}	birimsiz	1,053
Kn	birimsiz	1,04

Tablo 2. Laboratuvar/pilot ölçekte MBR tasarım kabulleri (Laboratory/pilot-scale MBR design considerations)

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 (Karışık sıvının askıda katı madde miktarı)	10000	mg/L
Q (Günlük debi)	500	L
Ns (Aktif çamur yükleme hızı)	0,35	kg KOİ/kg MLVSS
J (Membran akışı)	14	L.m ² .h
FPM _a (Düz plaka membran kaseti alanı)	0,25	m ²

Havalandırma sisteminin kullanılan üfleçin kapasitesi ve kapasitesinin belirlenmesinde kullanılan parametreler Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Üfleç kapasitesi hesaplamasında kullanılan değerler (Values used in the calculation of blower capacity)

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
$P_{w,eff,deep}$	0,9	m
C_L	2,0	mg/L
γ_{12}	9,802	kN/m ³
O_t	19	%
E	35	%
R	8314	N.m/kg.mol.K
g	9,81	m/s ²
M	28,97	kg/kg.mol
P_{atm}	101,325	kN/m ²

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSION)

3.1. MBR Sisteminin Tasarımı ve İmalatı (Design of MBR system and manufacture)

Literatür verileri gözönüne alınarak çamur yükleme hızı (Ns) 0,35 kgKOİ/kgVSS.gün, çamur derişimi 10000 mg/L, arıtım kapasitesi 500 L/gün olarak tasarlanan MBR sisteminin yapılan hesaplamalar sonucunda belirlenen toplam reaktör hacmi, membran modülünün alanı, kullanılacak membran kaseti sayısı, havalandırma sistemi için hesaplanan hava miktarına göre ihtiyaç duyulan üfleç ve difüzör sayıları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Hesaplanan tasarım değerleri (Calculated design values)

Parametre	Miktar	Birim
V (Reaktör hacmi)	206	L
HRT (Hidrolik tutulma süresi)	9,8	h
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)
Üfleç	1	adet (0,4 kW)

Laboratuvar/Pilot Ölçekte MBR sisteminin imalatı/montajı aşamasında ihtiyaç duyulan makine-alet-cihaz vb. parçalar farklı firmalardan satın alınarak, sistemin imalatı ve montajı Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Mühendislik Fakültesi ve Meslek Yüksekokulu atölyelerinde gerçekleştirilmiştir. Tankların imalatında Pleksiglass malzeme seçilmiştir. Tanklar dikdörtgen prizma şeklinde tasarlanmış ve imal

edilmiştir. Plakalar CNC takım tezgahında belirlenen ölçülerde kesilmiş, diğer bileşenlerin bağlantısı için gerekli olan delikler açılmıştır. Su basıncına karşı, yapıştırma yerlerinin açılmaması için paslanmaz malzeme ile kafes şeklinde sarılmıştır. Tanklar, paslanmaz taşıyıcı sehpa üzerine monte edilmiştir. Laboratuvar/Pilot ölçekte MBR sisteminin imalatında kullanılan düz membran filtre plakalarına ait teknik bilgiler Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Düz membran filtre plakasının teknik özellikleri
(Technical characteristics of the flate membrane filter)

Parametre	Özellik
Etkin membran alanı (m ²)	0,25
Boyutlar (mm) uzunlukxgenixkalınlık	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

Düz plaka membranlar paslanmaz metal malzeme ve civatalı bağlantı bileşenleri ile bir araya getirilmesiyle membran modül imal edilmiştir. Kollektör ile membranların su çıkışlarının kollektör parçasına bağlantısı, silikon takviyeli PVC (Polivinilklorür) hortumlar ile yapılmıştır. Membran modülü, pompa emiş sistemine de kolay bağlanıp sökülebilecek rakorlu bağlantı şeklinde tasarlanmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Membran modülü (Membrane module)

Difüzörlü havalandırma sistemlerinin en önemli parçaları üfleç (blower) ve difüzörlerdir. MBR sisteminde kullanılan difüzör 228,6 mm çapında disk formunda membranlı difüzördür. Her bir membranda ince kabarcıkların oluşabilmesi için 6640 adet 1 mm çapında kabarcık oluşturabilen delikler vardır (Şekil3).



Şekil 3. Membranlı difüzör (Membrane diffuser) [17]

Membran arıtma sistemlerinde, membran modülünün altına yerleştirilen difüzörler, mikroorganizmaların organik maddeleri enerjiye ve yeni mikroorganizmalara dönüştürebilmeleri için gerekli olan oksijen ihtiyacını sağlarken, aynı zamanda membran filtre yüzeyinin temizlenmesinde de önemli rol oynaktadırlar. Sistem için gerekli olan hava akışını kontrol edecek debimetre, MEMS teknolojisi ile çalışmaktadır. Biyolojik arıtımın gerçekleştiği tanka verilen havanın miktarını ayarlamak için Osaka OPT 3042 FR-L marka şartlandırıcı kullanılmıştır. Hava debimetresinden geçen hava miktarı şartlandırıcıdan ayarlanmaktadır. MBR sisteminde, atıksu tankından biyolojik arıtımın gerçekleştirildiği tanka ve arıtılan suyun temiz su tankına aktarıldığı boru hattına birer adet debimetre bağlanmıştır. Akış kontrolü, debimetrenin önüne monte edilen, küresel valfler ile sağlanmıştır.

Biyolojik arıtımın gerçekleştirildiği tankın içindeki suyun seviyesini kontrol etmek amacıyla, iletken tip seviye kontrol elektrodu kullanılmıştır. Kullanılan seviye kontrol cihazında, en yüksek seviye, en düşük seviye ve şase olmak üzere 3 adet elektrot bulunmaktadır. MBR sisteminin tanklarındaki su seviyelerini iletken tip seviye şalterleri vasıtasıyla kontrol ederek, gerektiğinde su pompalarını otomatik olarak çalıştırıp durdurmak amacıyla 2 adet röle kullanılmıştır. 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-Stop rölesi, 2 adet 5 A Max-Min rölesi mevcuttur. 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. Laboratuvar/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. ORDEL firmasının, endüstriyel ortamlardaki bir çok proses

değişkeninin ölçümü ve kontrolü amacı için tasarlanmış olduğu pano tipi SC441 cihazı, oransal vana kontrolü aracılığı ile debi kontrolünü sağlamak için kullanılmıştır. İtalyan menşeli ULF01 model türbin tip debimetre, 24 V DC gerilimle çalışmakta olup, 4-20 mA çıkış sağlamaktadır. Ultra düşük akış ölçümü sağlayan debimetre 1,5-100 L/h ölçüm aralığına sahiptir.

İsveç menşeli Bass Instrument markalı elektrik aktüatörlü oransal valf 0-100 L/h akışkan geçişi, 24 V DC gerilimle çalışmakta olup, 4-20 mA çıkış sağlamaktadır. Oransal valf, MBR'nin emiş hattı üzerinde türbin tip debimetrenin arkasına monte edilerek, membran filtrelerinden çekilecek arıtılmış su miktarının istenen değerde ve aynı miktarda tutulması için kullanılmıştır. Biyolojik arıtmada biyokütlelenin arıtma işlemini gerçekleştirebilmesi için çözünmüş oksijen, pH gibi parametrelerin kontrol altında tutulması gerekmektedir. Aynı zamanda bu parametreler çalışılan biyokütlelenin cinsine (bakteri, fungus) göre değişiklik göstermektedir. Çözünmüş oksijen ve pH'ın istenen değerde tutulması ve takip edilmesi amacıyla Hach-Lange'nin SC200 Dijital kontrolör cihazı kullanılmıştır. SC200 cihazının dijital sensör girişlerine, havalandırma tankına monte edilen optik LDO oksijen sensörü ve pH sensörü bağlanmıştır. GLI International pH sensörü, havalandırma tankındaki ortamın asidik veya baziklik değerini ölçmek ve aynı zamanda, alınan verilerin 4-20 mA çıkışıyla asit/baz dozaj pompalarının kontrolünü sağlamak için kullanılmıştır. Havalandırma tankındaki arıtma şartları (asidik/bazik) SC200 kontrolöründen girilen pH değeri aralığında sabit tutulmaktadır. Havalandırma tankındaki çözünmüş oksijen değerini ölçmek ve aynı zamanda sabit tutmak amacıyla, Hach-Lange'nin optik ölçüm prensibiyle çalışan yeni nesil LDO sensörü kullanılmıştır. Sensör 0-20 mg/L aralığında ölçüm yapmakta olup SC200 kontrolörünün dijital sensör girişine bağlanmıştır. Antech/ENELSA (Antalya/Türkiye) firmasından satın alınan Lara DMS modeli dozaj pompaları 5 L/h ve 7 bar basınca kadar dozajlama kapasitesine sahiptir. Asit dozajı için iç gövdesinde kullanılan malzemelerin asidik ortama dayanıklı PVDF'den, baz dozajı için iç gövdesi bazik ortama dayanıklı EPDM'den üretilmiş pompa tercih edilmiştir. Dozaj pompaları, havalandırma tankındaki pH değerini belirlenen aralıkta tutarak ve hassas bir şekilde dozajlama yaparak uygun arıtma şartlarını sağlamaktadır. Havalandırma tankının pH değeri, SC200 kontrolöründen yapılmaktadır. 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, Laboratuvar/pilot ölçekte MBR sisteminin kumanda panosuna monte edilmiştir. Unitronics Jazz JZ10 model PLC, 6 adet dijital giriş, 4 dijital çıkış adresine sahiptir. 24 V DC gerilimi ile çalışması nedeniyle panoya 24 V DC çıkış veren güç kaynağı monte edilmiştir. PLC'nin çıkışları Pompa-2'yi kontrol eden kontaköre 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. Sistemin çalışması sırasında, belirlenen 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) atık suyu aktarmaktadır. Havalandırma tankında 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. 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. Laboratuvar/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. Motorları 220 Volt (monofaze) gerilim ile çalışmaktadır. MBR'nin su iletim sisteminde 1,27 cm çapında AISI 304 paslanmaz çelik boru kullanılmıştır. Boruların birleştirmeleri argon kaynağı ile gerçekleştirilmiştir.

3.2. MBR Sisteminin Devreye Alınması (Operation of MBR system)

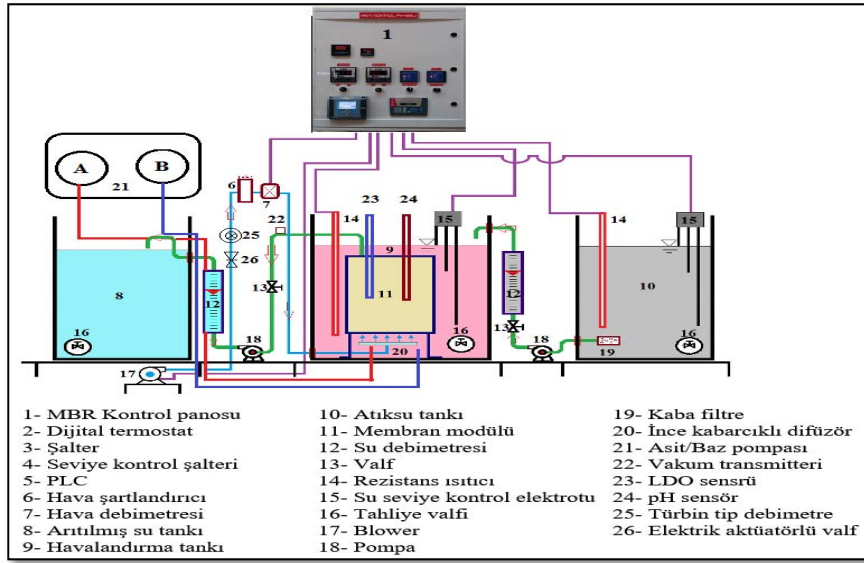
İmalatı tamamlanan laboratuvar/pilot Ölçekte dahili MBR sisteminin fotoğrafı Şekil 4'de ve şematik görünümü Şekil 5'te verilmiştir. MBR sisteminin montajı tamamlandıktan sonra sistem devreye alınmıştır. Öncelikle, havalandırma tankı temiz su ile doldurularak, havalandırıcı çalıştırılmış ve kabarcıkların düzgün dağılımı ve sızıntı olup olmadığı kontrol edilmiştir. Daha sonra havalandırma tankı Bilecik ilindeki bir gıda işletmesinin biyolojik atıksu arıtım tesisinden alınan aktif çamur ile doldurulmuştur. Sistemin çalışma performansı hazırlanan sentetik tekstil atıksuyunun arıtım çalışmaları ile test edilmiştir. Hazırlanan simule atık suyu havalandırma tankına (reaktöre) yüklenmiştir. Bu çalışmada kullanılan simule tekstil atık suyu Everzol Orange 3R reaktif boyası ve tekstil endüstrisi atık sularında bulunan diğer kimyasal maddelerin ilave edilmesiyle oluşturulmuştur. 10 günlük ön deneme çalışması süresince, havalandırma tankındaki askıda katı madde (AKM), boya derişimi, çözülmüş oksijen derişimi (ÇO), pH ve KOİ değerleri belirlenmiştir. Havalandırma tankının sıcaklığı (C°), pH değeri ve ÇO derişimi sırasıyla; $29 \pm 1^{\circ}\text{C}$ 'de, 8-9 ve 1-3 mg/L aralığında tutulmuştur. JASCO V-530 marka UV Spektrofotometresi kullanılarak boya derişimi hassas bir şekilde belirlenmiştir. Ön deneme sonuçları Tablo 6'da verilmiştir. Yapılan deneme çalışması sonucunda yaklaşık %60'lık bir KOİ giderimi sağlanarak, KOİ derişimi 245,95 mg/L'den 98,84 mg/L'ye düşürülmüştür. AKM



Şekil 4. MBR sisteminin fotoğrafı (The photography of MBR system)

Tablo 6. Ön deneme arıtım sonuçları (Pre-trial treatment results)

Parametreler / Zaman (Gün)	pH	Sıcaklık	Boya Derişimi (mg/L)	KOİ (mg/L)	ÇO (mg/L)	AKM (mg/L)
1.Gün	9,29	28,50	120,00	245,95	2,25	53,70
3.Gün	8,73	29,00	83,57	169,29	2,94	212,00
5.Gün	8,20	29,20	49,54	147,66	1,09	41,60
7.Gün	8,17	29,50	43,87	110,65	1,84	53,60
10.Gün	8,40	31,10	36,56	98,94	2,64	255,80



Şekil 5. MBR sisteminin şematik çizimi (Schematic diagram of MBR) [18, 19]

miktarı 53,7-255,8 mg/L'ye ulaşmıştır. AKM miktarı havalandırma tankındaki mikroorganizma miktarını vermektedir. Bu miktar ne kadar yüksek olursa arıtım verimi de o kadar artacak ve hidrolik bekleme süresi de azalacaktır. Mikro organizmaların ortama alışması ve üreme hızının artması ile daha yüksek giderim verimleri sağlanmaktadır. Sistemde 10 günlük arıtım süresine bağlı olarak %68 lik bir KOİ giderimi ve %70 renk giderimi sağlanmıştır. Bu sonuçlar tasarımı ve imalatı gerçekleştirilen MBR sisteminin tekstil atıksuyunun arıtımında kullanımının mümkün olduğunu göstermektedir.

4. SİMGELER (SYMBOLS)

A : Membran alanı, m²
A_F : Hava debisi, m³/min
AKM : Askıda katı madde
AOTR : Açık hava şartlarında gerekli net oksijen transferi,
BOI : Biyokimyasal oksijen ihtiyacı
C_L : Havalandırma tankında, istenen çözülmüş oksijen konsantrasyonu, mg/L
C_s : Deniz seviyesinde 20 °C'de saf sudaki oksijenin doygunluk konsantrasyonu, mg/L
ÇO : Çözülmüş oksijen
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
KOI : Kimyasal oksijen ihtiyacı
M : Havanın ortalama molekül ağırlığı, (29,87 kg/kg.mol)

Ne : Çıkışta NH₄-N (Amonyum azotu) konsantrasyonu, mg/L
NO_x : Azot oksit, mg/L
N_s : Aktif çamur yükleme hızı, kg KOİ/ (kg VSS d)
O_t : Havalandırma tankını terk eden oksijen konsantrasyonu, %
P_{atm} : Atmosferik basınç, 1,01325x10⁵ N/m²; 101,325 kN/m²
P_{atm,H} : H rakımındaki hava basıncı, N/m²
P_d : Difüzörün havalandırma tankında havayı verdiği noktadaki basınç, N/m²
P_{X,bio} : Günlük olarak atılan biyokütle, kg/d
P_{w,eff} : Difüzörün havalandırma tankındaki su yüzeyine mesafesi, m
Q : Günlük debi, m³/d
Q₀ : Atıksu giriş debisi, m³/d
Q_c : Atıksu çıkış debisi, m³/d
Q_r : Fazla çamur boşaltma hızı, m³/d
V : Reaktör hacmi, m³
R : Evrensel gaz sabiti, 8314 N.m/kg.mol.K
R_o : Gerekli oksijen miktarı, kg/d
S_e : Çıkış çözümlü substrat konsantrasyonu, g BOI veya bsKOI/m³
S_o : Giriş çözümlü substrat konsantrasyonu, g BOI veya bsKOI/m³
S_r : Reaktörde organik substrat değişim oranı, mg/L/d
SOTR : Çözülmüş oksijen içermeyen 20 °C'deki saf suda standart oksijen transfer hızı, kgO₂/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/m³
μ_m : Heterotrofik bakteriler için maksimum büyüme hızı
K_s : Heterotrofik bakteriler için 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

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Membran Biyoreaktör (MBR) gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde artan bir hızla arıtma tesislerinde devreye alınmaktadır. Bunun sonucu olarak satış pazarının artan bir hızla genişlemesi, üretici firma sayısını artırmış ve rekabeti de geliştirmiştir. Tasarım hesaplamaları sonucunda belirlenen Laboratuvar/Pilot ölçekte MBR sisteminin toplam reaktör hacmi 206 L, membran modülünün alanı 1,50 m², kullanılan membran kaseti sayısı 6, havalandırma sisteminin tasarımında hesaplanan hava miktarına göre üfleç sayısı 1 ve difüzör sayısı 1 olarak belirlenmiştir. MBR sisteminin süreç kontrolü otomatik kontrol ekipmanları ile sağlanmaktadır. MBR sisteminin işletmeye alınması sırasında yapılan deneme çalışmaları süresince sentetik tekstil atık suyunda yaklaşık %60'lık bir KOİ giderimi ve %70'lik bir renk giderimi sağlanmıştır. Bu sonuçlar tasarımı ve imalatı gerçekleştirilen MBR sisteminin tekstil atıksuyunun arıtımında kullanılabilirliğini göstermiştir. Farklı konsantrasyonda boya içeren tekstil atıksuları ve farklı mikroorganizmalar denemek MBR sisteminin arıtım kapasitesi üzerine birçok çalışma yapılabilir. Son yıllarda literatürde özellikle beyaz çürükçül mantarlarla çok yüksek renk giderim yüzdelerinin elde edilebildiği belirtilmektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 2010.1.01.006 nolu proje kapsamında desteklenmiştir. Yazarlar Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Rektörlüğü'ne teşekkür eder.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Gökkuş Ö., Çiner F., Investigation of color and cod removal from wastewater containing disperse yellow 119 and disperse red 167 using fenton oxidation process, Journal of The Faculty Engineering and Architecture of Gazi University, 25 (1), 49-55, 2010.
2. Çalışkan Büroğul N., Köse T.E., Real textile wastewater reclamation using a combined coagulation/ flocculation/ membrane filtration system and the evaluation of several natural materials as flocculant aids, Gazi University Journal of Science, 29 (3), 565-572, 2016.
3. Judd S., The MBR Book: Principles and Applications of Membrane Bioreactors in Water and Wastewater Treatment, Elsevier, Oxford, 2006.
4. Yanga W., Cicek N., Ilg J., State-of-the-art of membrane bioreactors: worldwide research and commercial

5. applications in north america, Journal of Membrane Science, 270 (1-2), 201-211, 2006.
5. Judd S., The Status of Membrane Bioreactor Technology, Trends in Biotechnology, 26 (2), 109-116, 2008.
6. Fane A.G., Chang S., Chardon E., Submerged hollow fibre membrane module-design options and operational considerations, Desalination, 146 (1-3), 231-236, 2002.
7. 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.
8. Sofia A., Ng W.J., Ong S.L., Engineering design approaches for minimum fouling in submerged mbr, Desalination, 160 (1), 67-74, 2004.
9. Wei C., Huang X., Zhao S., Wen X., Operating characteristics of submerged membrane bioreactor at sub-critical flux, China Water and Wastewater, 20 (11), 10-13, 2004.
10. Metcalf and Eddy, Wastewater Engineering: Treatment and Reuse, (4th internal edition), New York: McGraw-Hill, 2003.
11. Wen G., Ma J., Zhang L., Yu G., Membrane bioreactor in water treatment, Comprehensive Membrane Science and Engineering, 4, Elsevier, Rende (CS), Italy, 195-209, 2010.
12. Buer T., Cumin J., MBR module design and operation , Desalination, 250, 1073-1077, 2010.
13. Walker G.M., Weatherley L.R., COD removal from textile industry effluent: pilot plant studies, Chemical Engineering Journal, 84, 125-131, 2001.
14. Ayed L., Achour S. and Bakhrouf A., Application of the mixture design to decolourise effluent textile wastewater using continuous stirred bed reactor, Water SA, 37 (1), 170-180, 2011.
15. Sarayu K., Sandhya S., Current technologies for biological treatment of textile wastewater- A Review, Applied Biochemistry and Biotechnology, 67, 645-661, 2012.
16. Ghaly A.E., Ananthashankar R., Alhattab M., and Ramakrishnan V.V., Production, characterization and treatment of textile effluents: A Critical Review, Chemical Engineering & Process Technology, 5, 1-18, 2014.
17. Environmental Dynamics Incorporated. Product Specification Sheet. www.wastewater.com. 10 Ekim 2011.
18. Özan, K., Tekstil endüstrisi atıksularının arıtılmasında kullanılmak üzere lab/pilot ölçekte membran biyoreaktör tasarımı ve imalatı, Yüksek Lisans Tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik, 2012.
19. Özan K., Kavuştu O., Özen P., Açıkgöz Ç., Membran biyoreaktörde simüle tekstil atıksuyunun arıtım çalışmaları, ENSUTEK 1.Uluslararası Endüstriyel Su Teknolojileri Sempozyumu ve Fuarı, Bursa, 80, 06-09 Aralık, 2012.