

SÜT ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ BİYOLOJİK ARITIMINDA MİKROORGANİZMA KONSANTRASYONU İLE AKI PROFİLİNİN DEĞİŞİMİ VE KULLANILAN MEMBRANIN TEMİZLENMESİ

Tuba TURAN BAYRAM^{1*}, Alper NUHOĞLU²

^{1*} Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, 65080, Van, Türkiye
² Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Atatürk Üniversitesi, 25240, Erzurum, Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada önemli bir endüstriyel kirletici olan süt endüstrisi atıksularının arıtılabilirliğini incelemek amacıyla Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü'ne bağlı olarak işletilen süt fabrikasından alınan atıksuyun biyolojik arıtılabilirliği incelenmiştir. Giriş suyu KOİ konsantrasyonu 1000-2000 mg/L, çamur yaşı değeri 6 saat ile 10 gün arasında ve farklı hidrolik bekleme sürelerinde çalışılmıştır. Sisteme 4-16 kgKOİ/m³gün yükleme yapılmıştır. Çalışmanın ilerleyen safhasında 6 kgKOİ/m³gün ile yükleme yapılmış ve daha sonra giriş suyu KOİ değerine bağlı olarak yükleme 16 kgKOİ/m³gün'e kadar çıkarılmıştır. Ara dönemlerde yükler artırılıp, azaltılmıştır. Akı profilleri çalışma boyunca takip edilmiştir. En yüksek akı değeri 250 mL/dak olarak kaydedilmiştir. Çalışmada membranda akı düşmesini azaltmak için basınçlı hava kullanılarak geri yıkama ve kimyasal temizleme işlemleri uygulanmıştır. Bu çalışmada kullanılan membranın ne basınçlı hava kullanılarak geri yıkanmasında ne de kimyasal temizleme işlemlerinden sonra hiçbir zaman membrandan ilk alınan akı değerine ulaşamadığı görülmüştür. 140. günden itibaren membranın sadece basınçlı hava kullanılarak geri yıkanmasında akı değerinin 130 mL/dak 'ya kadar düştüğü gözlemlenmiştir. Çalışma sonunda elde edilen çıkış suyu konsantrasyonları kanala deşarj limitini sağladığından uygulanan biyolojik arıtım yönteminin başarıyla sonuçlandığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Süt endüstrisi, biyolojik arıtım, atıksu, akı profili, membran temizliği

VARIATION OF FLUX PROFILE WITH MICROORGANISM CONCENTRATION IN BIOLOGICAL TREATMENT OF THE WASTEWATER OF DAIRY INDUSTRY AND CLEANING OF THE MEMBRANE

ABSTRACT

In this study, in order to examine treatability of wastewater coming from dairy industry, which is an important industrial pollutant, biological treatability of the wastewater collected from dairy plant operated by Atatürk University, Faculty of Agriculture Department of Food Engineering was examined. Experiments were performed at different conditions, i.e., COD concentration values were between 1000-2000 mg/L; sludge age values were between 6 hours and 10 days; and different hydraulic storage durations. The loading value was 4-16 kgCOD/m³day. In the next stages of the study, loading value was maintained at 6 kgCOD/m³day and then increased up to 16 kgCOD/m³day depending on the COD values of the input water. In the intermediate stages, the loading value was changed, either increased or decreased. Flow profiles were monitored throughout the study. The highest value of the flow was reported as 250mL/min. In order to reduce the amount of flow on the membrane, not only physical cleaning by pressurized air but also chemical cleaning was performed. However, it

* corresponding author: Tel.: +90 432 225 1024 (1184); E-mail: tubabayram@yyu.edu.tr

SÜT ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ BİYOLOJİK ARITIMINDA MİKROORGANİZMA KONSANTRASYONU İLE AKI PROFİLİNİN DEĞİŞİMİ VE KULLANILAN MEMBRANIN TEMİZLENMESİ

was observed that neither physical cleaning nor chemical cleaning yield the initial flux values obtained from the membrane. It was also depicted that flow value was reduced to 130mL/min when the cleaning of the membrane was performed only by pressurized air after 140th day. As the concentrations of the output-water satisfied the requirements of the discharge limits to the channel, it can be concluded that the applied biological treatment method was successful.

Keywords: Dairy industry, biological treatment, wastewater, flux profile, cleaning of the membrane

1. GİRİŞ

Süt ve süt ürünleri endüstrisi atıksuları, doğal su ortamlarının önemli ölçüde kirlenmesine neden olan kaynaklar arasında gösterilmektedir. Atıksular genel olarak süt veya süt ürünlerinin seyrelmesinden meydana gelmektedir. Ayrıca deterjanlar, dezenfektan maddeler, makine yağları ve temizlikte kullanılan bez lifler atıksu içerisinde yer almaktadır. Süt ve süt ürünleri endüstrisi atıksularının arıtılması amacıyla dünyanın çeşitli ülkelerinde birbirinden oldukça farklı sistemler geliştirilmiştir. Bunların arasında biyolojik arıtma, kimyasal arıtma, arazide arıtma ve membran arıtma teknolojileri sıralanabilir. Arıtma teknolojilerinin seçiminde ilk yatırım ve işletme maliyetleri, işletme için uygun personelin varlığı ve yönetmeliklerin sağlanabilmesi için gerekli arıtma ihtiyacı gibi faktörler dikkate alınmaktadır.

Süt ve süt ürünleri endüstrisinin atıksuları yüksek miktarda organik madde içermesi nedeniyle uygulanan teknolojilerin büyük bir kısmı biyolojik arıtma esasına dayanmaktadır. Aerobik ve anaerobik biyolojik arıtma sistemleri en sık kullanılan teknolojiler arasında gösterilmektedir. Türkiye’de bu endüstriden kaynaklanan atıksuların aerobik ve anaerobik biyolojik arıtılabilirliğine ilişkin çeşitli çalışmalar yapılmıştır [1]

Kimyasal maddelerle desteklenen arıtma yöntemleri (koagülasyon-flokülasyon, oksidasyon- redüksiyon, flotasyon, vb.) su ve atıksu arıtımında organik madde, katı madde, bulanıklık, ağır metal, renk giderimi vb. amaçlarla başarıyla uygulanmaktadır [2] Arıtma verimi giderilecek parametre, kullanılan kimyasal madde, alıkonma süresi, karışım şiddeti gibi faktörlerden etkilenmekte; oluşan çamur miktarı kimyasal madde türüne göre az veya çok olabilmektedir [3] Biyolojik süreçler ile karşılaştırıldığında işletmeye alma kolaylığının olması, organik maddenin biyolojik mekanizmalarla parçalanamayan kısmının çökeltilecek giderilebilmesi, arıtma veriminin atıksu debisi ve niteliğindeki değişikliklerden fazla etkilenmemesi gibi avantajları özellikle endüstriyel atıksu arıtımında tercih edilmesine sebep olmaktadır [4] Biyolojik arıtma yöntemiyle atıksu arıtımında membran teknolojisinin kullanımı son 20-30 yılı kapsayan kısa bir geçmişe sahip olmakla beraber, klasik sistemlerin birçok dezavantajını ortadan kaldırdığından hızlı bir gelişme süreci içerisinde. Membran prosesler kendilerine has özellikleri ile çoğu atıksu arıtımı için etkili bir arıtma aracı olma sürecindedir. Tek başına kullanılabildikleri gibi diğer atıksu arıtma sistemleri ile birlikte de kullanılabilirler. Membran biyoreaktörler etkili katı-sıvı ayrımı sunması, yüksek kalitede çıkış suyu verebilmesi, tesis boyutlarının daha küçük olması ve düşük oranda çamur üretimi gibi önemli avantajlara sahiptir.

Türkiye’de süt ve süt ürünleri endüstrisi atıksularının biyolojik olarak arıtılmasına ilişkin çalışmalar yapılmış olmasına rağmen, bu atıksuların kimyasal arıtılabilirliğine ilişkin yürütülmüş çok sayıda çalışma bulunmamaktadır. Yapılan bu çalışma, Türkiye’de bu alanda görülen boşluğun doldurulmasına katkı sağlayacaktır. Bu çalışmanın amacı, süt ve süt ürünleri endüstrisi atıksularının kimyasal ve biyolojik arıtılabilirliğinin birlikte incelenmesidir.

Bu çalışmada atıksuyun ön arıtımında kullanılan kil mineralleri, yüksek iyon değiştirme, absorpsiyon ve kataliz özelliklerinin yanısıra doğal ve düşük maliyetli olması nedeniyle atıksu arıtımında kullanılan doğal malzemelerdendir [5] Literatürde farklı bölgelerden çıkartılan kil grubu minerallerin toksik kirleticilerin, pestisit ve herbisitlerin, boyaların ve bazı metal iyonlarının gideriminde etkin biçimde kullanılabileceğine dair çalışmalar bulunmaktadır [6] Sunulan çalışmada piyasada yaygın olarak kullanılan kimyasallara alternatif olarak kil grubu minerallerden montmorillonitin koagülant olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Montmorillonitin koagülant olarak kullanılması ile kimyasal arıtma işlemlerinin en büyük dezavantajı olarak öne sürülen işletme maliyetinin azaltılması hedeflenmiştir.

Bu çalışma kapsamında Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü’ne ait pilot süt fabrikasından farklı zamanlarda alınan numunelerle deneyler yapılmıştır. Öncelikle endüstriden kaynaklanan atıksuyu karakterize edecek tüm konvansiyonel parametrelere bakılmıştır. Kimyasal arıtılabilirlik jar testi deneyleriyle incelenmiştir. Koagülant olarak demir sülfat, alum ve kil kullanılmıştır. Her üç koagülant için optimum pH değerleri belirlenmiştir. Bu değerlerin belirlenebilmesi için KOİ giderme verimleri esas alınmıştır.

Kimyasal arıtmayla elde edilen KOİ giderme veriminin kanala deşarj kriterlerini sağlamak için yeterli olup olmadığı kanala deşarj limitleri esas alınarak incelenmiştir. Çalışmada ayrıca laboratuvar ölçekli bir membran bioreaktörde sürekli olarak atıksuyun aerobik şartlarda mikroorganizma konsantrasyonuna bağlı akı profili değişimi incelenmiş ve kullanılan membranın temizliği için farklı yöntemler kullanılarak, membran biyoreaktörün performansı araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada kullanılan bütün kimyasal maddeler ticari olarak (Merck ve Sigma kalitesinde) temin edilmiştir. Çalışmada KOİ analizi Standart Metotlarda ifade edilen yöntemlere göre yapılmıştır. Çalışmada mikroorganizma konsantrasyonunun ölçümleri spektrofotometrik olarak Spekol 1100 (Carl Zeiss Technology) marka spektrofotometrede yapılmıştır. Standart metotlara göre 525nm'de kalibrasyon eğrisi hazırlanmış ve mikroorganizma konsantrasyonları bu eğriye göre bulunmuştur. Reaktördeki pH ve sıcaklık elektrometrik metoda göre WTW marka multiline P4 model çoklu parametre ölçer cihazı yardımıyla sürekli olarak ölçülerek kaydedilmiştir. Fosfat analizi amonyum vanadomolibdat kullanılarak spektrofotometrede 400 nm dalga boyunda absorbans ölçülmesi neticesinde tayin edilmiştir. Toplam azot ölçümleri Teldyne-Tekmar Apollo 9000 TOC-TN analiz cihazı kullanılarak yapılmıştır.

2.1. Kullanılan Aktif Çamur

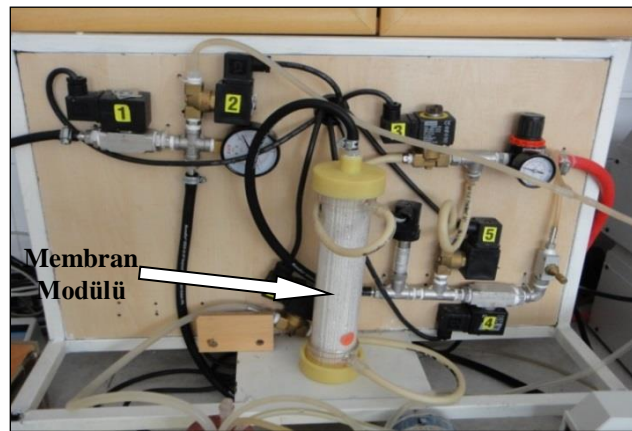
Çalışmada, Erzincan Kenti Atıksu Arıtma Tesisi çöktürme havuzundan alınan aktif çamur kullanılmıştır. Alınan çamur, karbon ve enerji kaynağı olarak süt endüstrisi atıksuyu ile beslenerek mikroorganizmaların atıksuya adaptasyonu sağlanmaya çalışılmıştır.

2.2. Atıksu

Çalışmada kullanılan süt, Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği süt işleme fabrikasından temin edilmiştir.

2.3. Kullanılan Membran Ünitesi

Deneylerde kerafol marka 1,5 m² yüzey alanına sahip silindirik seramik membran modülü kullanılmıştır. Por boyutu 200 nm'dir. Seramik membran modülü 2,8 mm dış çapa, 2,3 mm iç çapa ve 165 kanala sahiptir. Polimer(Polymer) housing içerisine yerleştirilmiş olan seramik membranın uzunluğu 315 mm'dir. Membran modülü ve filtrasyon sistemi Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Sürekli çalışmalarda kullanılan membran modülü ve filtrasyon sistemi

SÜT ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ BİYOLOJİK ARITIMINDA MİKROORGANİZMA KONSANTRASYONU İLE AKI PROFİLİNİN DEĞİŞİMİ VE KULLANILAN MEMBRANIN TEMİZLENMESİ

Kullanılan seramik membran tıkanıp zaman, basınçlı hava kullanılarak geri yıkanmıştır. Ayrıca membran belli zamanlarda kimyasal temizleme işlemlerine de tabi tutulmuştur. Geri yıkamaya başlamak için öncelikle vanalar (sırasıyla 1 - 4 ve 6) yardımıyla filtrasyon işlemi durdurulmuştur. Hemen akabinde permeate hattından 2 dakika boyunca basınçlı hava verilerek (vana 3) filtrasyon esnasında membran yüzeyinde oluşan kek tabakasının sıyırılması ve retentate hattından (vana 4) reaktöre alınması sağlanmıştır. Membran iyice tıkanıpında belirlenen zamanlarda membran modülü flanşlardan sökülerek sistemden çıkartılmıştır. Daha sonra çıkarılan membran modülü 12 saat boyunca %2'lik H₂SO₄ çözeltisine konmuştur. Bu işlemin akabinde 1 saat boyunca saf suda bekletilen membran modülü tekrar sisteme monte edilmiştir. Sisteme takılan membran modülü basınçlı hava ile 2 bar basınçta 5 saniye geri yıkanarak filtrasyona yeniden başlanmıştır.

2.4. Çamur Yaşı

Sürekli denemeler süresince çamur yaşı, yoğunlaşmış çamurun bir kısmının reaktörden günlük olarak elle uzaklaştırılmak suretiyle ayarlanmıştır. Bu sayede reaktörde istenilen çamur yaşında kontrollü deneyler yapılmıştır.

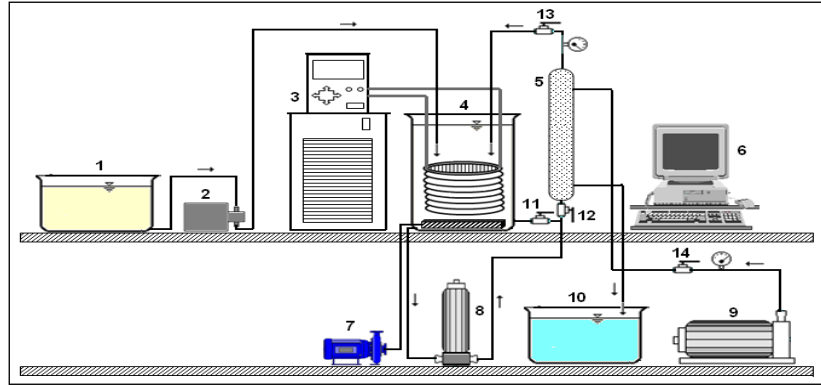
2.5. Hidrolik Kalış Süresi

Hidrolik kalış süresi atık su besleme pompası yardımıyla ayarlanmıştır. Bu pompa peristaltik bir besleme pompası olup, istenilen debide atık suyun reaktöre beslenmesinde kullanılmıştır. Reaktör hacmi bilindiğinden besleme debisinin ayarlanmasıyla hidrolik kalış süresi rahatlıkla belirlenmiştir.

2.6. Membran Akısı

Akılardan belirlenmesinde hassas teraziden yararlanılmıştır. Terazi üzerinde bulunan bir kapta, membrandan geçerek gelen su biriktirilmiş ve terazideki ağırlık artışı kaydedilmiştir. Elde edilen verilerden akı hesabı gerçekleştirilmiştir.

2.7. Deneysel Sistem



Şekil 2. Deneysel sisteminin şematik gösterimi (1-Atıksu tankı 2- Besleme pompası (peristaltik pompa) 3- Soğutma sirkülatörü 4- Reaktör 5- Membran 6- Otomasyon kontrol bilgisayarı 7- Santrifüj pompa, 8- Hava pompası, 9- Kompresör, 10- Temiz su tankı)

Atıksuyun sürekli gideriminde kullanılan membran bioreaktörün şematik gösterimi Şekil 2’de verilmiştir. Sürekli denemeler için 50 L hacmindeki bir besleme tankı içerisine istenilen derişimlerde atıksu hazırlanmıştır. Daha sonra atıksu girişini sağlamak üzere Cole-Parmer marka MasterFlex L/S model peristaltik pompa yardımıyla istenilen debide sürekli olarak besleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Hava debisi hava pompası ile hat üzerinde bulunan debi ölçerden ayarlanmıştır. Membran modülünden çıkan sıvı hacmi ve atılan çamur hacminin besleme debisine eşit olabilmesi için Cole-Parmer marka seviye kontrolör kullanılmıştır. Bu sistem hidrolik

dengenin sağlanması için membrandan çıkan arıtılmış suyun bir kısmını geri devrederek reaktör içerisindeki sıvı seviyesinin değişmeden kalmasını sağlamıştır. Reaktör içerisindeki sıcaklık kontrolünü sağlamak amacıyla soğutmalı sirkülatör kullanılmıştır. Ayrıca geri yıkamada ABAC marka kompresör kullanılarak sistem istenilen aralıklarda hava ile geri yıkanmıştır. Bu sistemlerin tümü bir otomasyon sistemiyle kontrol edilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada kullanılan atıksu, Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği süt işleme fabrikasından temin edilmiştir. Tesiste beyaz peynir, kaşar peyniri, civil peyniri, yoğurt, pastörize süt, günlük süt, dondurma gibi ürünler üretilmektedir. Tesiste yaklaşık 900 kg/gün süt ve süt ürünleri üretilmektedir. Günlük olarak tesis içi asit ve baz (NaOH) çözeltileri ile, fayanslar da deterjanlarla temizlenmektedir. Tesisten çıkan atıksu miktarı günlük 1,5-2 m³atıksu/ton işlenen süt arasında değişmektedir.

3.1. Pilot Tesisten Alınan Atıksuyun Ön Arıtımı

Daha önce konuyla ilgili yapılmış çalışmalardan süt ve süt ürünleri endüstrisinden kaynaklanan atıksuların kimyasal arıtılabilirliği üzerine yapılmış olan çalışma sayısının oldukça sınırlı olduğu görülmektedir. Kimyasal arıtma ya geri kazanma amacıyla ya da şehir kanalizasyonuna deşarj öncesi ön arıtma amacıyla yürütülmüştür. Amaçlara bağlı olarak jar testi deneylerinde farklı koagülanlar kullanılmıştır. Deneylerde koagülant madde olarak alum, demirsülfat ve montmorillonit kili kullanılmıştır. Tablo 1’de görüldüğü gibi, denemeler esnasında en iyi pH aralığında, optimum koagülant cinsi ve dozajı araştırılmıştır.

Tablo 1. Koagülasyon ve flokülasyon deneylerinde kullanılan parametreler

Parametreler	Parametre aralığı
pH	4 ,5,7,9
Koagülant cinsi	Alum,demirsülfat,montmorillonit
Koagülant dozu (g/L)	0,25 -0,5 – 1- 2

Çalışma sırasında pilot tesisten alınan atıksu jar testine tabi tutulmadan önce KOİ analizi yapılmıştır ve ham atıksuyun KOİ değeri 18000-20000 mg/L arasında değişiklik göstermiştir. 800 mL hacmindeki 3 beherin içine 500 mL atıksu konulmuş ve seçilen koagülantlar atıksuya dozlanmıştır. pH ayarı için 1 N H₂SO₄ veya 1 N NaOH kullanımı tercih edilmiştir. Çökme işlemi sonrasında atıksuyun üst kısmından alınan örneklerde KOİ, AKM, pH parametrelerinin ölçümü yapılmış ve Tablo 2’deki değerler elde edilmiştir. Deneyler sırasında 100 rpm’de 5 dakika hızlı karıştırma, 20 rpm’de 15 dakika yavaş karıştırma ve 30 dakika çöktürme işlemleri uygulanmıştır [7].

SÜT ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ BİYOLOJİK ARITIMINDA MİKROORGANİZMA KONSANTRASYONU İLE AKI PROFİLİNİN DEĞİŞİMİ VE KULLANILAN MEMBRANIN TEMİZLENMESİ

Tablo 2. Jar testine tabi tutulan atıksuyun karakterizasyonu

Deneme No	KOİ (mg/L)	AKM (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	pH
1	1080	440	58	29	7,1
2	1850	570	72	36	7,2
3	1640	520	89	42	7,1
4	2140	870	58	30	7,1
5	1625	655	48	22	7,6
6	2150	820	58	28	7,2
7	1130	320	95	52	7,2
8	1300	420	64	30	7,2
9	1400	450	72	38	8
10	1050	310	60	28	8
11	1160	300	35	18	7,1
12	1540	650	48	26	7,9
13	1450	480	70	36	10,7
14	1030	380	60	28	9,3
15	1300	490	67	30	6,7
16	1600	580	50	28	7
17	1570	470	40	22	9,8
18	1520	420	45	25	7,6
ORT*	1474	508	62	30	7,7

*Pilot süt fabrikasından farklı zamanlarda 18 kez alınan (kış ve ilkbahar ayları olmak üzere toplam 6 ay) atıksuyunun jar testine tabi tutulduktan sonraki ortalama değerleri

3.2.Süt Endüstrisi Atıksularının Sürekli Arıtımı

Sürekli denemeler membran ünitesi sisteme bağlanarak gerçekleştirilmiştir. Öncelikle mikroorganizmalar aerobik şartlarda yaklaşık bir ay atıksuya alıştırmıştır. Reaktördeki giriş ve çıkış debileri birbirine eşitlenerek hidrolik denge sağlanmıştır. Membrandan çıkan arıtılmış su debisinin, besleme debisinden fazla olması ve zamanla salınımlar sergilemesi reaktördeki su miktarını azaltacağından dolayı, membrandan elde edilen çıkış suyu debisinin girişe eşit olması için bir sıvı seviye kontrol sistemi ile bu sorun bertaraf edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan reaktörün hacmi 12 L olup, reaktör içeriği aktif çamurun sıcaklığı ısı değiştirici yardımıyla 25°C değerinde sabit tutulmuştur. Çalışma boyunca aktif çamurun sürekli pH'sı ölçülerek pH 7 değerinde dengelenmiştir. Çalışmada atıksu direk olarak debi ayarlı peristaltik pompa ile sisteme verilmiştir.

Tablo 3. Çalışmada kullanılan atıksuyun sürekli arıtımında etkisi incelenen parametreler ve değişim aralıkları

Parametre	Değişim Aralığı
Giriş suyu konsantrasyonu (S_0)	1000-2000 mg/L
Hidrolik kalış süresi(θ_h)	1-6 saat
Hacimsel organik yük	4-16 kg KOİ m ³ /gün
Çamur yaşı (θ_c)	0,25-10 gün
Giriş suyu besleme debisi (Q_b)	33-200 mL/dak

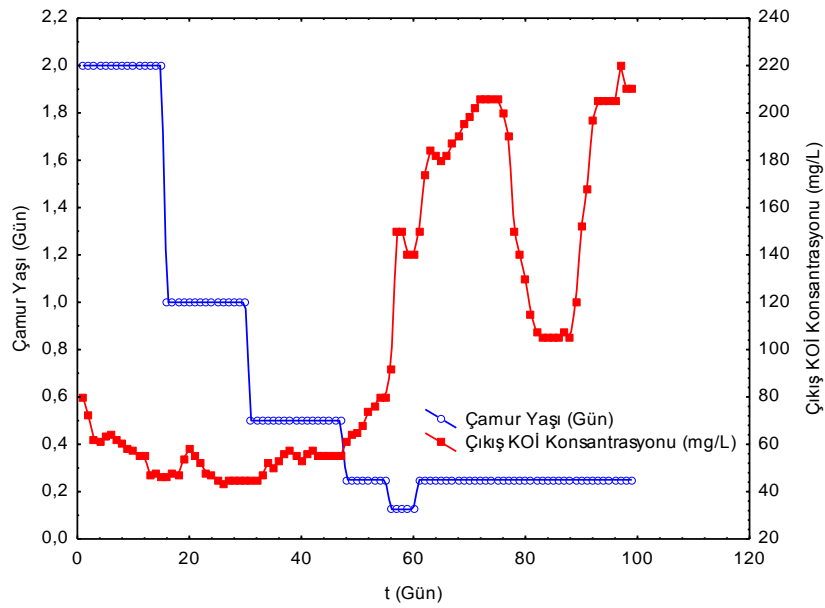
Çalışmaya besleme debisi ve giriş atıksu konsantrasyonu sabit tutularak, Tablo 3'te de görüldüğü gibi, çamur yaşı değeri değiştirilerek başlanmıştır. Her değiştirilen koşul için sistemin kararlı hale gelmesi beklenmiştir. Genellikle biyolojik arıtımın gerçekleştirildiği çalışmalar için reaktör hacminin 2-3 katı kadar bir hacim geçişinin

ardından kararlılığa doğru eğilim gerçekleştiği düşünülürse, bu çalışma için sistemin giriş debileri göz önüne alındığında saat mertebesi gibi kısa zamanlarda kararlılığa geçtiği söylenebilir.

3.3. Farklı Çamur Yaşlarının MBR Performansı Üzerine Etkisi

Biyolojik arıtım sistemlerinin işletilmesi ve tasarlanmasındaki en önemli parametrelerden biri çamur yaşıdır. Bu çalışmada farklı çamur yaşlarının çıkış suyunda KOİ giderimini ne şekilde etkileyeceği araştırılmıştır.

Çalışmada giriş suyu KOİ konsantrasyonu 1000-2000 mg/L, çamur yaşı değeri 6 saat ile 10 gün arasında, farklı hidrolik bekleme sürelerinde çalışılmış ve sistemden stabil çıkışlar alındığı Şekil 3'te görülmektedir. Reaktördeki AKM miktarı ortalama 1800 mg/L'dir. Bu yüklemeler altında sistem %100 verimle çalışmış çıkış suyunda deşarj standartları sağlanmıştır. Bu çalışmada çıkış membrandan alınmıştır ve sıvı seviye sensörleri kullanılarak reaktör seviyesi kontrol edilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda, süt ve süt endüstrisinden kaynaklanan atıksuların yüksek derecede kirlilik içerdiği, bunun için de kesinlikle alıcı ortama deşarj edilmeden önce arıtılması ve Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde (S.K.K.Y.) belirtilen alıcı ortam standartlarının sağlandıktan sonra deşarjı gerekmektedir. Çalışmada arıtma verimi, KOİ parametresi dikkate alınarak belirlenmiştir. Arıtma sonucu elde edilen değerler yürürlükte olan kanala deşarj limitleriyle [8] karşılaştırılarak arıtma veriminin yeterli olup olmadığına karar verilmiştir. S.K.K.Y 'nde gıda sektöründe yer alan süt ve süt ürünlerini işleyerek üretim yapan işletmelerin, oluşturdukları atıksuları arıttıktan sonra alıcı ortamlara vermeleri gereken deşarj standartları Tablo 4'te verilmiştir.



Şekil 3. Farklı çamur yaşı değerlerinin zamanla değişimi

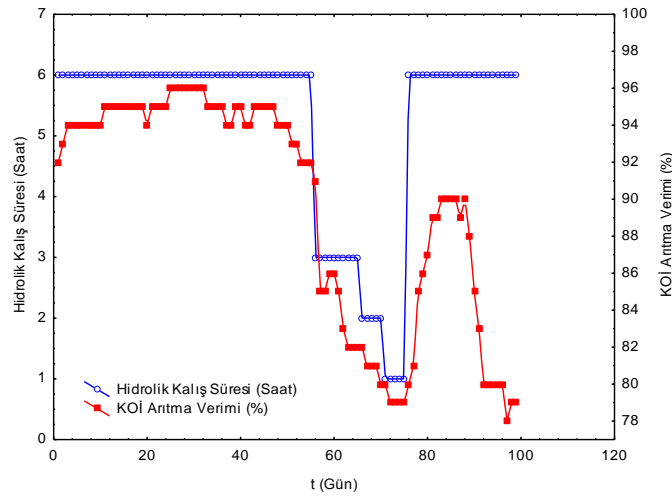
Tablo 4. Sektör gıda sanayi (Süt ve süt ürünleri) [9]

PARAMETRELER	BİRİM	KOMPOSIT NUMUNE 2 SAATLİK	KOMPOSIT NUMUNE 24 SAATLİK
KİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (KOİ)	(mg/l)	150	160
YAĞ VE GRES	(mg/l)	60	30
PH		6-9	6-9

Şekil 3'te görüldüğü gibi çamur yaşı sistemden çekilen membran akısı ile doğrudan ilişkilidir. Yükleme hızı besleme debisi ile ayarlanmıştır. Besleme debisi ile membran çıkış debisi arasındaki fark kadar bir debi ile sistemden çamur atılmıştır. Denemelerde çok yüksek çamur yaşı değerlerine çıkılmamıştır. Çamur yaşının 24 saatte sabit tutulduğu anda KOİ arıtma veriminin %94 ile %97 arasında değiştiği bulunmuştur. 12 saat çamur yaşındaki çalışma şartlarında %91-94 KOİ arıtma verimi elde edilmiştir. 6 saat çamur yaşında çalışılırken membran çıkışından ölçülen KOİ arıtma verimi %93-97 arasında ölçülmüştür.

3.4. Farklı Hidrolik Bekletme Sürelerinde Sistem Performansının İncelenmesi

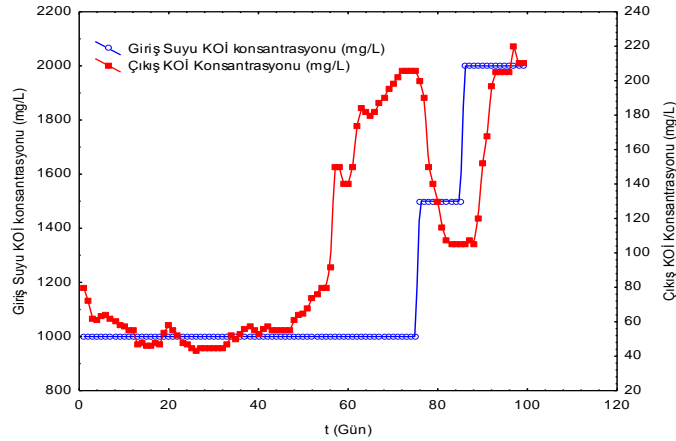
Çalışmada 6 saat çamur yaşı değeri sabit tutularak, giriş suyu konsantrasyonu 1000 mg/L olan atıksuda farklı hidrolik kalış sürelerinde denemeler yapılmıştır. 3 saat hidrolik kalış süresi için sistemde yük 8 kgKOİ/m³gün'e çıkarılmıştır. KOİ giderim veriminin %85 civarında olduğu görülmüştür. 2 saat hidrolik kalış süresinde yükleme 12 kgKOİ/m³gün'e kadar artırılmış ve 1 saatlik hidrolik kalış süresinde yükleme 16 kgKOİ/m³gün'e çıkarıldığında arıtma veriminin %80'e düştüğü Şekil 4'te görülmüştür.



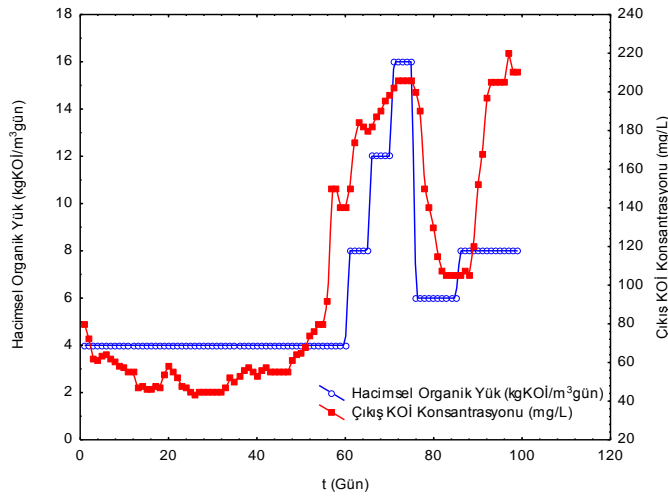
Şekil 4. Farklı hidrolik kalış sürelerinin zamanla değişimi

3.5. Farklı Giriş Suyu Konsantrasyonlarının Çıkış Suyu Performansına Etkisi

Farklı çamur yaşı ve hidrolik kalış sürelerinde çalıştırılan sistemde, yapılan denemeler sonucunda en iyi arıtma verimi 6 saat çamur yaşı ve hidrolik kalış süresinde elde edilmiştir. Şekil 4 'de görüldüğü gibi aynı besleme debisinde giriş suyu konsantrasyonu 1500 mg/L'ye yükseltilmesiyle çıkış KOİ konsantrasyonunda artış gözlenmiş, ortalama çıkış KOİ konsantrasyonu 100 mg/L olarak belirlenmiştir. Giriş suyu KOİ değerinin 2000 mg/L'ye yükseltilmesiyle çıkış KOİ konsantrasyonunda artış gözlemlenmiş, ortalama çıkış KOİ konsantrasyonu 150 mg/L olarak belirlenmiştir. Sistemin hidrolik kalış sürelerine çok hassas olduğu Şekil 5'te görülmüştür. Çalışma boyunca 6 saat hidrolik bekletme süresinde yüksek performans alınmıştır. Yüklemenin arttırıldığı şartlarda bile bu süre yeterli olmuştur. Sistemin hidrolik kalış süresi üzerinde yüksek yük değerlerinden daha çok giriş atıksuyu konsantrasyonunun yüksek olması etkili olmuştur.



Şekil 5. Farklı giriş suyu konsantrasyonlarının zamanla değişimi



Şekil 6. Farklı hacimsel organik yüklemelerin zamanla değişimi

Çalışmada, havalandırma tankından reaktöre aktarılan çamurun üzerine ön arıtmadan geçirilmiş ve konsantrasyonu 1000 mg/L olan atıksudan koyulmuştur. Başlangıçta biyoreaktörün AKM içeriği yaklaşık 1800 mg/L olmuştur. Sistemde 4 kgKOİ/m³gün organik yükleme ile başlanarak zaman zaman besleme yapılmıştır. Reaktör içindeki AKM konsantrasyonu 1900 mg/L ölçülmüştür. Çalışmanın ilerleyen safhasında 6 kgKOİ/m³gün ile yükleme yapılmış ve daha sonra giriş suyu KOİ değerine bağlı olarak yükleme 8 kgKOİ/m³gün'e kadar çıkarılmıştır. Ara dönemlerde yükler artırılıp, azaltılmıştır. 4 kg/m³gün yük değerinde sistemde ortalama %95 verim elde edilirken, 16 kg/m³gün'lük en yüksek hacimsel yükleme değerinde sistem çalıştırılırken arıtma veriminin %80'lere kadar düştüğü görülmüştür. Şekil 6'da görüldüğü gibi sisteme verilen KOİ yükleri 4-16 kg/m³gün değerleri arasında değişmiştir. Bu da sisteme verilen yüklemelerin salınım gösterdiğinin kanıtıdır. Bu salınımlar besleme debisinin artırılıp azaltılmasından kaynaklanmaktadır. Yükleme büyük salınımlar olmasına karşın, yüksek yüklerde dahi membranbiyoreaktör sisteminden stabil çıkışlar alınabilmektedir. Hemen hemen bütün şartlarda %95'in üzerinde KOİ giderim verimi gerçekleştiği Şekil 6'da görülmektedir. Çalışmada yüksek çamur konsantrasyonlarında yüksek arıtım verimleri elde edilmiştir. Biyolojik atıksu arıtımında reaksiyon hızı ne kadar biyokütle yaşlı- genç oluşu gibi faktörlere bağlı olsa da biyokütle konsantrasyonu ile doğrudan ilişkilidir. Sistemde yükleme arttıkça reaktör içinde AKM miktarında yükseldiği görülmüştür. Daha önce süt endüstrisi atıksularının membranbiyoreaktörde arıtıldığı sistemlerde, mikroorganizmaların ortama uyumu sırasında reaktörde bazen köpürmeler meydana gelmiştir [10] Bu durum

SÜT ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ BİYOLOJİK ARITIMINDA MİKROORGANİZMA KONSANTRASYONU İLE AKI PROFİLİNİN DEĞİŞİMİ VE KULLANILAN MEMBRANIN TEMİZLENMESİ

reaktörden çamur kaçışına da neden olmaktadır. Tesisten alınan atıksuyun, ön arıtmadan sonra membranbiyoreaktöre verilmesinden dolayı böyle bir problemle karşılaşılması düşünülmektedir.

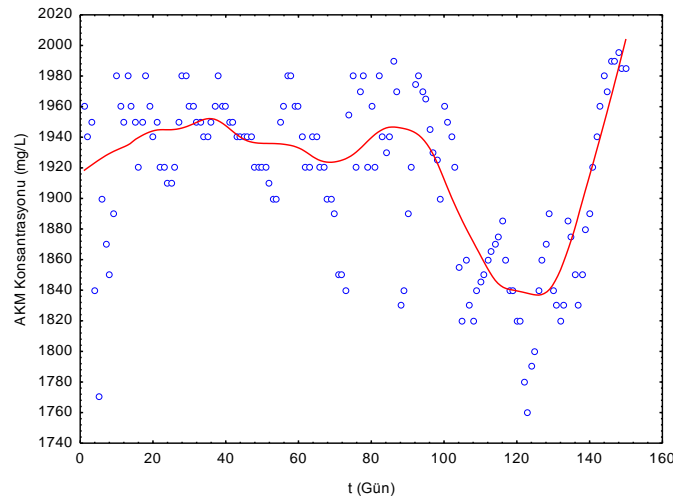
Tablo 5 incelendiğinde, bu çalışmanın süt endüstrisi gibi önemli çevre kirliliğine yol açabilen gıda sanayi atıksularının arıtımına son derece önemli bir alternatif sunması beklenmektedir.

Tablo 5. Süt endüstrisi atıksularının arıtıldığı değişik arıtma çalışmalarının [11], yapılan çalışma performansı ile kıyaslanması

Reaktör	Hacim (L)	Sıcaklık, T(°C)	KOİ (mg/L)	Verim %KOİ	Hidrolik Kalış Süresi (saat)	Organik Yük (gKOİ/L.gün)
AF	2	37	60700	98,3	142	9,4
AF	-	40	2900	93,8	24	2,9
DSFF	0,7	30	66000	96	79	20
DSFF	0,7	30	4100	75	6,5	15
UASB	1,2	30	4100	78	6,5	15
UASB	4	35	29400	97,5	48	14,7
UASB	8	30	1800	87	5	8,5
FB	2,5	35	5000	92	32	3,8
ASBR	3,5	35	4300	96	76,8	6,25
AF	14,2	35	6000	98	46,3	6,29
TF	4,5	35	333	81	2,64	4,45
JLMBR	32	24±2	35200	97	38,4	22,2
Bu çalışma	12	25	2000	94	6	8

AF: Anaerobik Filtre, TF: Damlatmalı Filtre, UASB: Yukarı Akışlı Anaerobik Biyoreaktör, DSFF: Anaerobik Sabit Yatak Biyofilm Reaktör, FB: Akışkan Yatak, ASBR: Anaerobik Ardişık Kesikli Reaktör, JLMBR: Jet Loop Membran Biyoreaktör [10]

3.6. Atıksuyun Sürekli Arıtımında Mikroorganizma Konsantrasyonunun Değişimi



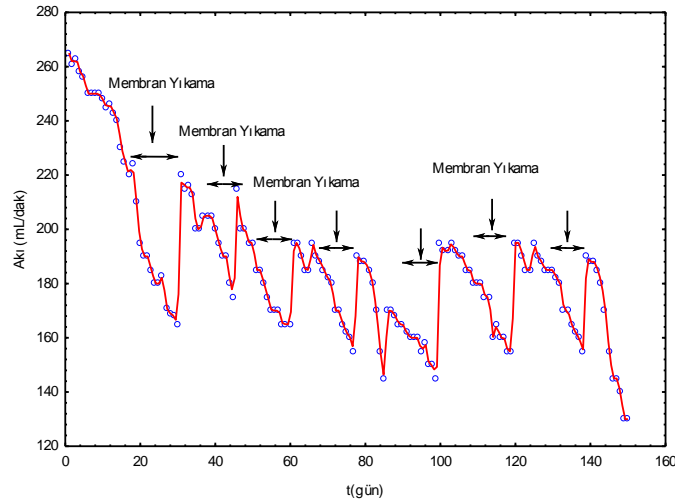
Şekil 7. Mikroorganizma konsantrasyonunun zamanla değişimi

Reaktördeki mikroorganizma konsantrasyonunun zamanla değişimi Şekil 6'da görülmektedir. Grafikten görüldüğü gibi çalışılan süre boyunca ortalama mikroorganizma konsantrasyonu 1800 mg/L olarak

hesaplanmıştır. Reaktördeki mikroorganizma konsantrasyonunun KOİ yüklerine bağlı olarak çok az oranda değiştiği görülmüştür. Sistemde çamur yaşı artırılarak en yüksek AKM değerine ulaşılmıştır. Çamur yaşı değeri 10 gün tutulduğunda reaktör içinde mikroorganizma konsantrasyon değerinin 60. günden sonra arttığı Şekil 7’de görülmektedir. Denemeler sırasında reaktörde sürekli çözülmüş oksijen değeri ölçülmüş ve bu değerin 2 mg/L altına düşmemesi sağlanmıştır. Reaksiyon içinde gerçekleştirilen yüksek karışım ile mikroorganizmaların ihtiyaç duyduğu oksijenin sürekli olarak temin etmesi sağlanmıştır. Sonuç olarak bu sistemde çözülmüş oksijen reaktörde homojen olarak dağılmış ve ölü bölgeler meydana gelmemiştir.

3.7. Süt Endüstrisi Atıksuyun Sürekli Arıtımında Akı Profiline Değişimi ve Kullanılan Membranın Temizlenmesi

Sistemde akı profilleri çalışma boyunca takip edilmiştir. Akının değişimi Şekil 8’de görülmektedir. En yüksek akı değeri 250 mL/dak olmakla birlikte en düşük değerde 130 mL/dak olarak kaydedilmiştir. Çalışma süresince reaktör çeperinde aktif çamur yapışmaları görülmüştür. Belli bir kalınlığa gelen biyofilm reaktör içindeki yüksek kesme kuvvetinin de etkisiyle koparak tekrar sirkülasyona katılmıştır. Ön arıtmadan geçirilen süt endüstrisi atıksuyunun biyolojik arıtımı için çamur yaşı ve hidrolik kalış süresi 6 saat olarak seçilmiştir. Sistemde çamur yaşı değeri 10 gün tutulduğunda sistemden atılan çamur miktarının daha az olacağı bilinmektedir. Çamur yaşı değeri 6 saat alındığında arıtım sonunda oluşacak fazla çamurun atıksuyun özelliğine de bağlı olarak kolay bertaraf edileceği düşünülmektedir. Ayrıca çamur yaşı değeri artırıldıkça akı miktarındaki düşüşü göz ardı etmemek gerekmektedir. Çünkü akı azalması direkt olarak membran kirlenmesi olayı ile bağlantılı olduğundan, kullanılan membranın tıkanması halinde çıkış suyu deşarj kriterinin sağlanamayacağı düşünülmektedir.



Şekil 8. Akının zamanla değişimi

Çalışmada kullanılan keramol marka seramik membran ilk 30 gün boyunca sadece basınçlı hava kullanılarak geri yıkanmıştır. 32. günde akının daha da düşmesiyle membran kimyasal temizleme işlemlerine de tabi tutulmuş ve 160 mL/dak olan akı değeri 220 mL/dak değerine yükseltilerek akı verimi %27 artırılmıştır. Günlük olarak ölçülen akı değerleri istenilen verimin altına düştüğü hergün membran modülü flanşlardan sökülerek sistemden çıkartılmıştır. Daha sonra çıkarılan membran modülü 12 saat boyunca %2’lik H₂SO₄ çözeltisine konmuştur. Bu işlemin akabinde 1 saat boyunca saf suda bekletilen membran modülü tekrar sisteme monte edilmiştir. Sisteme takılan membran modülü basınçlı hava ile 2 bar basınçta 5 saniye geri yıkanarak filtrasyona yeniden başlanmıştır. Bu çalışmada kullanılan membranın ne basınçlı hava kullanılarak geri yıkanmasında ne de kimyasal temizleme işlemlerinden sonra hiçbir zaman membrandan ilk alınan akı değerine ulaşamadığı görülmektedir. 140. günden itibaren membranın sadece basınçlı hava kullanılarak geri yıkanmasında akı değerinin 130 mL/dak ‘ya kadar düştüğü Şekil 8’de görülmektedir. Literatürde membran kirlenmesini azaltmak ve daha yüksek akı almak amacıyla yapılan çok çeşitli çalışmalara ilaveten; membran temizleme stratejileri geliştirmek üzerine araştırmalar da son dönemlerde artmıştır. Bu stratejiler yeni membran materyalleri geliştirmek, yeni modüller dizayn etmek, besleme akım olaylarını modifiye etmek ve temizleme rejimleri geliştirmek şeklinde sınıflandırılabilir [12] Seramik membranlar, kimyasal, termal ve basınç dirençleri nedeniyle

SÜT ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ BİYOLOJİK ARITIMINDA MİKROORGANİZMA KONSANTRASYONU İLE AKI PROFİLİNİN DEĞİŞİMİ VE KULLANILAN MEMBRANIN TEMİZLENMESİ

organik içerikli membranlara göre daha fazla avantajlara sahiptir. Farizoğlu ve arkadaşları tarafından 2011 yılında seramik membran kullanarak süt endüstrisi atıksularının biyolojik arıtımı üzerine yapılan bir çalışmada membranların geri yıkanması için basınçlı hava kullanılırken, temizlenmesi için ise kimyasal temizleme prosedürü (ardışık asit ve baz çözeltisinde 12 saat bekletme) uygulanmıştır. Kimyasal temizleme prosedürü ile membranlardan her çalışmada %100'e yakın akı geri kazanımı sağlanabilmiştir (başlangıç şartlarına geri döndürülebilmiştir).

4. SONUÇ

Çalışmada pilot süt fabrikasından alınan atıksu ön arıtmadan geçirilerek, membranbiyoreaktörde biyolojik arıtımı gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, giriş suyu KOİ konsantrasyonu 1000- 2000 mg/L, çamur yaşı değeri 6 saat ile 10 gün arasında, farklı hidrolik bekletme sürelerinde çalışılmış ve sistemde stabil çıkışlar alınabilmiştir. Hemen hemen bütün şartlarda %95'in üzerinde KOİ giderme verimi elde edilmiştir. Denemeler sırasında AKM konsantrasyonu 1800 ile 2000 mg /L arasında değişmiştir. Sistemde çamur yaşı artırılarak en yüksek AKM değerine ulaşılmıştır. Çalışma sürecinde en yüksek akı değeri 250 mL/dak olmakla birlikte en düşük değerde 130 mL/dak olarak kaydedilmiştir. Sistemde membran modülü tıkanıldığında sistemden membran çıkarılmış, yıkandıktan sonra tekrar sisteme takılmıştır. Ön arıtmadan geçirilen süt endüstrisi atıksuyunun biyolojik arıtımı için çamur yaşı ve hidrolik kalış süresi 6 saat olarak seçilmiştir. Çalışma sonunda elde edilen çıkış suyu konsantrasyonları kanala deşarj limitini sağladığından atıksu arıtımı için uygulanan biyolojik arıtım yönteminin başarıyla sonuçlandığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] İNCE, O., "Performance of Two-Phase Anerobic Digestion System When Treating Dairy Wastewater", Water Research, 32, 2707-2713, 1998.
- [2] GOLOB, V., VINDER, A., SIMONIC, M., "Efficiency of the Coagulation-Flocculation Method for the Treatment of Dyebath Effluents", Dyes and Pigments, 67, 93-97, 2005.
- [3] TCHOBANOGLIOUS, G. and BURTON, F.L., Wastewater Engineering Treatment, Disposal and Reuse, McGraw-Hill, Inc., New York, 1991.
- [4] KIM, J.S., LEE, C.H., CHANG, I.S., "Effect of Pump Shear on the Performance of a Crossflow Membrane Bioreactor", Water Research, 35(9), 2137-2144, 2004.
- [5] INGRAM, D.S., VINCE, P.D. and GREGORY, P.J., Science and the Garden the Scientific Basis of Horticultural Practice, Blackwell Science Ltd., Oxford, 2003.
- [6] LI, H., SHENG, G., TEPPEN, B.J., JOHNSTON, C.T., BOYD, S.A., "Sorption and Desorption of Pesticides by Clay Minerals and Humic Acid-Clay Complexes", Soil Science Society of America Journal, 67, 122-131, 2003.
- [7] EKDAL, A., "Süt ve Süt Ürünleri Endüstrisi Atıksularının Kimyasal Arıtılabilirliği", Su Kirliliği ve Kontrolü Dergisi, 10(3), 7-16, 2000.
- [8] APHA AWWA WEF ., Standart Methods for the Examination of Water & Wastewater. 21st Edition, 2005.
- [9] ANONYMOUS, "Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, 25687 Sayılı Resmi Gazete", Ankara, 2004.
- [10] FARIZOĞLU, B., UZUNER, S., "The Investigation of Dairy Industry Wastewater Treatment in a Biological High Performance Membrane System", Biochemical Engineering Journal, 57, 46-54, 2011.
- [11] FARIZOĞLU, B., Peyniraltı Sularının Membran Filtrasyonlu Püskürtme Çevrimli Biyoreaktörde Arıtımı, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2003.
- [12] LIM, A.L., BAI, R., "Membrane Fouling and Cleaning in Microfiltration of Activated Sludge Wastewater", Journal of Membrane Science, 216, 279-290, 2003.