



HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

Aktif Çamur Ünitelerinde Artan Organik Yük Karşısında Reaktör Hacmini Arttırmadan Uygulanabilecek Stratejiler

Strategies for Addressing Increasing Organic Load in Activated Sludge Units without Increasing Reactor Volume

Yazar(lar) (Author(s)): Gülayşe ÖZKAYMAK¹, Arailym TAZHIEVA², Burkay BARCA³, Büşra AKTAŞ⁴, Ebru ACAR⁵, Miray ZEYBEK⁶, Yonca VAROL⁷, Zelal ŞENER⁸, Tuba ÇOBAN⁹.

¹ ORCID ID: 0000-0001-7213-9405

² ORCID ID: 0009-0008-4204-3267

³ ORCID ID: 0000-0002-2784-0355

⁴ ORCID ID: 0009-0006-8159-9706

⁵ ORCID ID: 0000-0002-3545-8770

⁶ ORCID ID: 0009-0005-0751-1203

⁷ ORCID ID: 0009-0006-9286-9062

⁸ ORCID ID: 0000-0002-4350-9902

⁹ ORCID ID: 0009-0004-3945-5771

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Özkaymak G., Tazhieva A., Barca B., Aktaş B., Acar E., Zeybek M., Varol Y., Şener Z., Çoban T., "Aktif Çamur Ünitelerinde Artan Organik Yük Karşısında Reaktör Hacmini Arttırmadan Uygulanabilecek Stratejiler", *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 9(1): 39-49, (2024).

DOI: 10.46578/humder.1453594



Aktif Çamur Ünitelerinde Artan Organik Yük Karşısında Reaktör Hacmini Arttırmadan Uygulanabilecek Stratejiler

Gülayşe ÖZKAYMAK¹, Arailym TAZHIEVA², Burcak BARCA³, Büşra AKTAŞ⁴, Ebru ACAR⁵, Miray ZEYBEK⁶, Yonca VAROL⁷, Zelal ŞENER⁸, Tuba ÇOBAN⁹*

^{1,2,3,4,5,6,7,8,9}Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Mimar Sinan Kampüsü, 16310, Yıldırım/BURSA

Öz

Göçmen nüfusunun aşırı artışı, şehirde organik kirletici üreten sanayi dallarının (ör. gıda endüstrisi) plansız artışı ya da sanayi sahalarının hızlı büyümesi projeksiyon süresinden önce atık su arıtma tesislerinin büyütülmesini gerektirir. Aktif çamur ünitelerinin artan yük karşısında hacminin büyütülmesinden önce uygulanabilecek bazı stratejiler bulunmaktadır. Bu makalede, bu stratejiler giriş toplam ve biyolojik parçalanabilir KOİ konsantrasyonu sırasıyla 500 ve 450 mg/L olan kurgusal bir atık su ile tartışılmıştır. Yapılan modellemede debi 1000 m³/gün'den 3000 m³/gün'e arttırılmıştır. Modele göre, debinin üç katına çıkmasına karşılık artan organik yükün artımı, reaktör hacmi sabit tutularak, XSS konsantrasyonunun 2 kg/m³'den 6 kg/m³'e artması ile, ya da çamur yaşının 8 günden 2 güne azaltılması ile sağlanabilir. Bunun yanı sıra, modelden bağımsız olarak reaktördeki spesifik büyüme oranının artması için sıcaklık uygulaması ya da çökeltim yerine membran filtrasyonu yaklaşımları da uygulanabilir görünmektedir. Her bir strateji, uygulama sırasında dikkat edilmesi gereken hususlar ile birlikte anlatılmıştır.

Makale Bilgisi

Başvuru: 18/03/2024

Yayın: 30/04/2024

Anahtar Kelimeler

Organik yük
Reaktör hacmi
Çamur yaşı
Aktif çamur

Strategies for Addressing Increasing Organic Load in Activated Sludge Units without Increasing Reactor Volume

Keywords

Organic load
Reactor volume
Sludge age
Activated sludge

Abstract

The excessive increase in the immigrant population, the unplanned increase of industrial branches that produce organic pollutants in the city (e.g. the food industry) or the rapid growth of industrial areas require the expansion of wastewater treatment facilities before the projection period. There are some strategies that can be applied before increasing the volume of activated sludge units in response to increasing load. In this article, these strategies are discussed with a fictional wastewater with an influent total and biodegradable COD concentration of 500 and 450 mg/L, respectively. In the modeling, the flow rate was increased from 1000 m³/day to 3000 m³/day. In order to treat the increasing organic load in the reactor as the flow rate triples, increasing the XSS concentration from 2 kg/m³ to 6 kg/m³, or decreasing the sludge age from 8 days to 2 days, applying heat to increase the specific growth rate in the reactor, or membrane filtration strategies instead of sedimentation seem to be applicable. Each strategy is explained along with the points to be considered during implementation.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Atık sularındaki kirleticilerin karakterizasyonları yapılırken yaygın bir yaklaşım, onları öncelikle çökebilir ve çökelemeyen kirleticiler olarak ikiye, ardından bu iki kategoriyi de biyolojik parçalanabilir ve parçalanamaz olarak alt sınıflara ayırmaktır [1]. Bu sınıflandırmaya göre çökelebilen ve çökelemeyen biyolojik parçalanabilir maddeler biyolojik arıtma ünitelerinde giderilebilmektedir.

Aktif çamur üniteleri biyolojik parçalanabilir kirleticilerin gideriminde kullanılmaktadır. Ünitelerdeki mikroorganizmalar, oksijen varlığında organik kirleticileri hem anabolik hem de katabolik reaksiyonlarda kullanırlar ve sonuç olarak sırası ile biyokütle (yeni mikroorganizmalar) ve yanma ürünleri (CO₂ ve H₂O)

*İletişim yazarı, e-mail: tubaguler88@gmail.com

oluşur [2,3]. Aktif çamur üniteleri özellikle çökelemeyen ve biyolojik parçalanabilir kirleticilerin gideriminde etkin bir yaklaşımdır.

Aktif çamur ünitelerinin tasarımına bir dizi faktör etki eder. Atık su debisi, atık sudaki biyolojik parçalanabilir KOİ konsantrasyonu, çamur yaşı ve reaktörde tutulmak istenen mikroorganizma konsantrasyonu bu parametrelerin başlıcalarıdır [4]. Burada, debi ($m^3/gün$) ve KOİ (kg/m^3) konsantrasyonu tesise gelen yükü ($kg/gün$) belirlerken çamur yaşı ve reaktördeki mikroorganizma konsantrasyonu ünitenin boyutlarını, içerideki toplam mikroorganizma miktarını, hidrolik bekleme süresini ve reaktörün oksijen ihtiyacını belirler.

Hacim önemli bir tasarım parametresi olup ilk yatırım maliyetini doğrudan etkiler. Yapılan bir modellemeye göre ABD’de 4000 ve 20000 $m^3/gün$ debi için tasarlanan iki ayrı aktif çamur ünitesi için toplam ilk yatırım maliyetleri sırasıyla \$7990000-9850000 ve \$32270000-38790000 arasındadır [5].

Hacme etki eden en önemli parametre atık suyun debisi olup debideki artış doğrudan hidrolik bekleme süresinde azalma ile sonuçlanır. Bu azalma, reaktörde istenen biyokimyasal reaksiyonun gerçekleşmesi için gerekli zaman sağlandığı sürece soruna sebep olmaz. Ancak bazı durumlarda tesislere gelen organik kirletici yük planlandığından daha hızlı artabilir.

Bir atık su arıtma tesisine gelen organik kirletici yükü bir dizi kaynaktan ya da faktörden dolayı artabilir. Süt endüstrisi, balık konserve endüstrisi veya tabakhanelerden kaynaklanan, yüksek miktarlarda organik madde içeren ve arıtma tesislerine zorluk teşkil eden endüstriyel atıkların kanalizasyona deşarjı önemli nedenlerdendir [6–8]. Ayrıca, özellikle projeksiyonların üzerinde nüfus artışı yaşanan bölgelerde evsel atık suyunun deşarjı, arıtma tesislerine gelen organik yükün artmasına katkıda bulunabilir [9,10]. Özellikle mülteci hareketliliğinin yoğun olduğu coğrafyalarda, şehirlerin nüfusları aniden yükselebilmektedir. Atık su arıtma tesislerinde proses verimliliği ve enerji tüketimine yönelik optimize edilmiş önlemlerin bulunmaması da daha yüksek organik yüklere yol açabilir [11].

Evsel ya da endüstriyel atık su arıtımı yapan aktif çamur ünitelerinde kapasite artışı gerekli olduğunda sıklıkla ünitenin büyütülmesi söz konusudur. Ancak tesis boyutlarını büyütmeden aynı hacim içerisinde artan organik yükün arıtımı işletim sürecinde yapılabilecek değişiklikler ve uygulanabilecek stratejiler ile mümkündür. Bu kapsamda bu çalışma, aktif çamur üniteleri için artan organik yük karşısında sistem hacmini değiştirmeden uygulanabilecek stratejileri açıklamaktadır. Bu kapsamda 21 ayrı aktif çamur tesisi tasarımı yapılmış ve artan organik yük karşısında aynı arıtımın elde edilebilmesi için değiştirilebilecek sistem işletim parametreleri ile teorik hesaplamalar yapılmış ve yorumlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

2.1. Atık su özellikleri

Çalışmada, kurgusal bir atık su kullanılmıştır. Atık suyun karakterizasyonu, arıtılması için seçilen işletme parametreleri ve yapılan diğer kabuller Tablo 1’de belirtilmiştir.

Tablo 1. Atıksuyun karakterizasyonu ve işletme parametreleri

Parametre	Kısaltma	Değer	Birim
Toplam giriş KOİ	C_{T1}	500	mg/L
Toplam giriş biyolojik parçalanabilir KOİ	C_{S1}	450	mg/L
Toplam giriş çözülmüş inert KOİ	S_{I1}	25	mg/L
Toplam giriş çökebilir inert KOİ	X_{I1}	150	mg/L
Mikroorganizma ölüm sabiti	b_H	0.15	$gün^{-1}$
Mikroorganizma dönüşüm katsayısı	Y_H	0.64	mg hücreKOİ/mg KOİ
Atık su debisi	Q	1000-3000*	$m^3/gün$
Nüfus	N	5000	kişi
Çökebilir mikrobiyal ürün oluşum sabiti	f_{EX}	0.20	-

Çözünebilir mikrobiyal ürün oluşum sabiti	f_{ES}	0.05	-
Reaktör AKM konsantrasyonu	X_{SS}	4000	mg/L
KOİ'nin AKM'ye dönüşüm oranı	i_{ss}	0.9	kg AKM/kg KOİ

*Hesaplamalarda debideki artış 100 m³/gün'lük artışlar şeklindedir.

2.2. Artan organik yük için aktif çamur tasarım esasları:

Çalışmada 21 adet aktif çamur boyutlandırması çamur yaşı seçimi, net biyokütle verim sabiti, günlük oluşan çamur bileşenleri, oksijen gereksinimi, reaktördeki toplam kütle, reaktör hacmi ve hidrolik bekleme süresi hesaplamaları yapılmıştır. Yapılan hesaplamalarda tüm formüller Orhon ve Artan'dan alınmıştır [1].

2.2.1. Çamur yaşı (θ_x)

Çamur yaşı mikroorganizmaların sistem içerisinde beklediği zamandır. Formülü ise Denklem (1)'de verilmiştir

$$\theta_x = M_{XT}/P_{XT} \quad (1)$$

Burada; M_{XT} , reaktördeki toplam kütle miktarını (kg), P_{XT} , günlük atılan toplam çamur miktarını (kg/gün) temsil etmektedir.

2.2.2. Y_{NH} - Net verim sabiti (mg hücre KOİ/mg KOİ)

Net verim sabiti (Y_{NH}), Denklem (2) ile hesaplanmaktadır.

$$Y_{NH} = \frac{Y_H}{1 + b_H \theta_x} \quad (2)$$

Burada; Y_H , mikroorganizma dönüşüm katsayısını (mg hücre KOİ/mg KOİ), b_H , mikroorganizma ölüm sabitini (gün⁻¹) temsil etmektedir.

2.2.3. Günlük oluşan çamur bileşenleri:

Günlük oluşan toplam çamur (P_{XT}), Denklem (3), (4), (5) ve (6) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$P_{XT} = P_{XH} + P_{XP} + P_{XI} \quad (3)$$

$$P_{XH} = C_{S1} \cdot Q \cdot Y_{NH} \quad (4)$$

$$P_{XP} = C_{S1} \cdot Q \cdot Y_{NH} \cdot f_{EX} \cdot b_H \cdot \theta_x \quad (5)$$

$$P_{XI} = X_{I1} \cdot Q \quad (6)$$

Burada; P_{XT} , bir günde oluşan toplam çamuru (kg/gün), P_{XH} , bir günde oluşan heterotrofik mikroorganizma aktif çamurunu (kg/gün), P_{XP} , bir günde oluşan mikrobiyal ürünleri (kg/gün) ve P_{XI} , bir günde oluşan inert maddeyi (kg/gün) temsil etmektedir.

2.2.4. Oksijen gereksinimi (OR – kg O₂/gün)

Oksijen gereksinimi (OR), Denklem (7) ile hesaplanmaktadır.

$$OR = Q \cdot C_{S1} \cdot [1 - Y_{NH} \cdot (1 + f_E \cdot b_H \cdot \theta_x)] \quad (7)$$

2.2.5. Reaktördeki toplam kütle ve reaktör hacmi

Reaktördeki toplam kütle ve reaktör hacmi Denklem (8), (9) ve (10) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$M_{XT} = P_{XT} \cdot \theta_x \quad (8)$$

$$M_{SS} = i_{SS} \cdot M_{XT} \quad (9)$$

$$V_r = M_{SS}/X_{SS} \quad (10)$$

Burada; M_{XT} , reaktördeki toplam kütleyi (kg KOİ), M_{SS} , reaktördeki toplam kütleyi (kg AKM), V_r , reaktör hacmini (m^3) ve X_{SS} , reaktördeki AKM konsantrasyonu (kg AKM / m^3) temsil etmektedir.

2.2.6. Hidrolik bekleme süresi

Hidrolik bekleme süresi (HRT), Denklem (11) ile hesaplanmaktadır.

$$HRT = V/Q \quad (11)$$

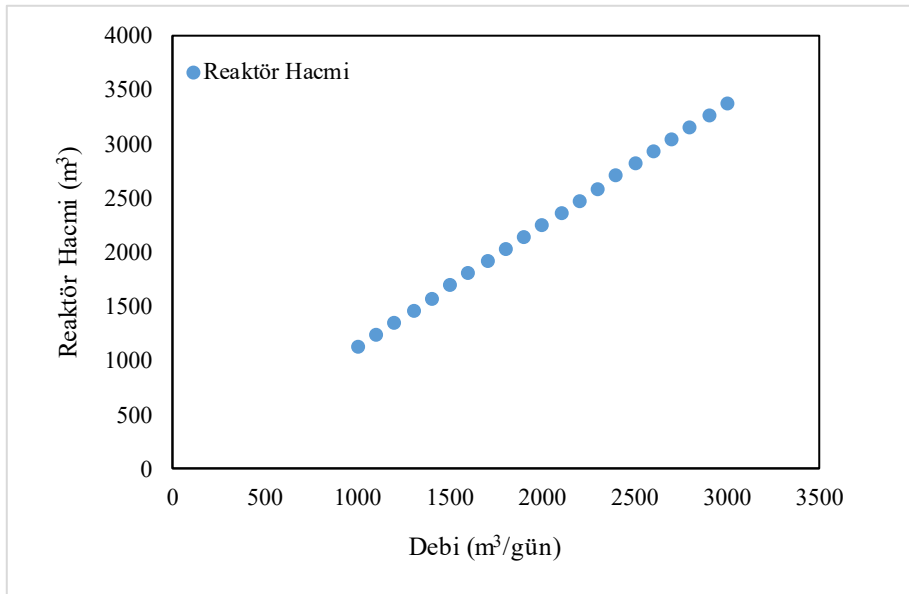
2.3. Yöntem

Çalışmada, yukarıda verilen kabul ve formüller uyarınca giriş organik yükünün tamamının biyolojik parçalanma sürecine katılabileceği ve oluşan çamurun sistem sınırları dışına atılabileceği tasarım esasları, reaktör hacmi arttırılmadan gerçekleştirmeye çalışılmıştır. Bunun için 21 ayrı aktif çamur ünitesi yukarıdaki kabul ve formüller uyarınca modellenmiştir. Organik yükün arttırılması için debi 1000 $m^3/gün$ 'den 3000 $m^3/gün$ 'e kademeli olarak arttırılmış ve bunun diğer sistem tasarım parametreleri değiştirilmeden hacme olan etkisi belirlenmiştir. Sonraki bölümlerde ise model sonucu bulunan stratejilerin (çamur yaşının azaltılması, reaktörde tutulan mikroorganizma konsantrasyonunun arttırılması) ve diğer yaklaşımların (ısıtma uygulaması ve katı sıvı ayrımının membran ile sağlanması) reaktör hacminin sabit tutulabilmesine etkisi araştırılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

3.1. Organik yük artışı ile tasarım debisi arasındaki ilişki

Organik yük hem debi hem de kirletici konsantrasyonundaki artıştan kaynaklanabilir. Çalışmada artan debi karşısında artan organik yükün tasarım hacmine etkisi Şekil 1'de sunulmuştur. Çamur yaşı 8 gün, X_{SS} ise 2 kg/m^3 alınarak yapılan hesaplamada hacim artışı debi 1000 $m^3/gün$ iken 1124,38 m^3 ve debi 3000 $m^3/gün$ iken 3373,13 m^3 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 1. Debi değişiminin (1000-3000 $m^3/gün$) reaktör hacmine etkisi.

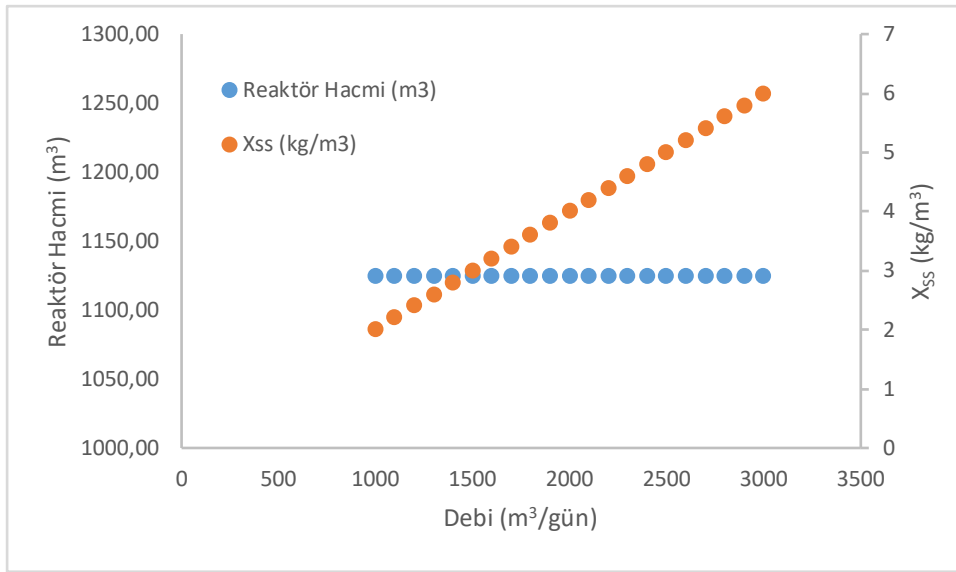
Debi ve organik kirlilik yüküne karşın reaktör hacmi lineer olarak artmıştır. Bunun sebebi ise gelen organik kirlilik yükünün artmasına bağlı oluşan mikroorganizma miktarının da aynı oranda artmasıdır. Reaktörde

tutulmak istenen konsantrasyon 2 kg/m^3 olduğu için reaktör hacminin artışı kaçınılmazdır. Bu artış sonraki bölümlerde açıklanacak olan inşaat maliyetlerinin artması ile sonuçlanmaktadır.

3.2. Hacmin sabit tutulabilmesi için uygulanabilecek stratejiler

3.2.1. Sabit çamur yaşı – artan X_{SS} stratejisi

Debi ve buna bağlı olarak artan organik yük karşısında uygulanabilecek ilk strateji reaktördeki mikroorganizma konsantrasyonunun artırılmasıdır. Bu sayede reaktördeki aktif mikroorganizma, gelen organik yükün mevcut hidrolik bekletme süresi içinde oksidasyonunu sağlayabilir. Şekil 2’de görüldüğü üzere X_{SS} , çamur yaşı 8 gün iken, debi artış oranında 2 kg/m^3 ’den 6 kg/m^3 ’e doğru kademeli olarak arttırılmıştır. Bunun sonucunda da hacim sabit tutulabilmiştir. Debinin $1000 \text{ m}^3/\text{gün}$ ’den $3000 \text{ m}^3/\text{gün}$ ’e doğru kademeli olarak artması durumunda ($100 \text{ m}^3/\text{gün}$ ’lük birimler halinde) X_{SS} 0.2 kg/m^3 lük birimler halinde arttırılmıştır ve sonuç olarak reaktör hacmi 1124.38 m^3 ’te sabit tutulmuştur.



Şekil 2. Artan X_{SS} ile hacim ilişkisi.

Aktif çamur reaktörlerinde uçucu askıda katı maddelerin (VSS) artırılmasının arıtma süreci üzerinde çeşitli olumlu etkileri olabilir. Semblante ve arkadaşları (2016) tarafından yapılan araştırma, reaktördeki X_{SS} konsantrasyonunun artırılmasının uçucu katı madde formatındaki kirleticilerin giderim verimini artırarak susuzlaştırma özellikleri açısından daha iyi performansa yol açabileceğini göstermiştir[12]. Ayrıca, Majewsky ve diğerleri (2011) aktif heterotrofik biyokütlenin (X_{SS}) aktif çamur sistemlerinde biyolojik bozunma kinetiğini etkileyen önemli faktörler olduğunu vurgulamıştır. Çalışma, reaktördeki toplam katı madde konsantrasyonunun aktif fraksiyonlarının (viability) farklı çamurlar arasında önemli ölçüde değiştiğini göstererek AKM'nin heterotrofik aktivite hakkında değerli bilgiler sağlayabileceğini ortaya koymuştur[13].

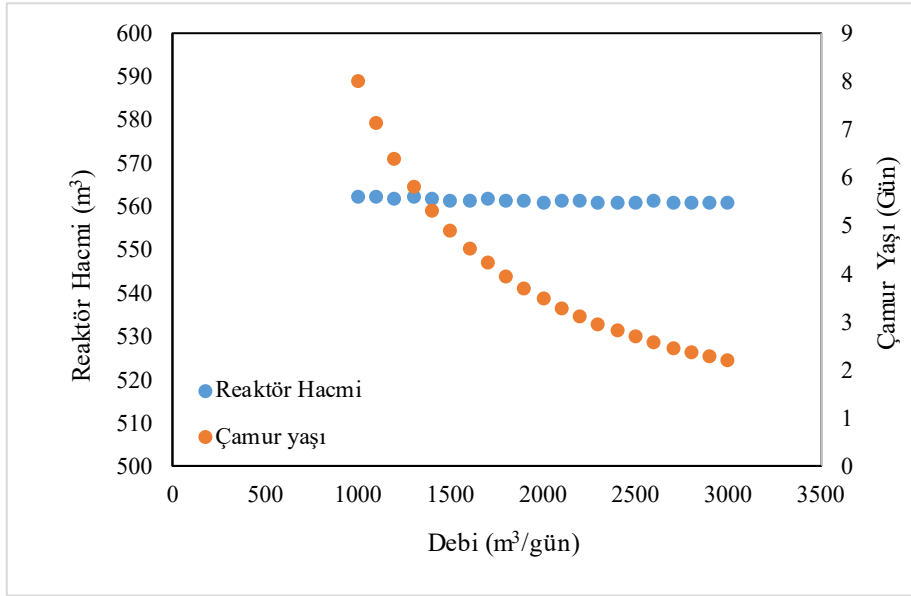
Biyolojik reaktörlerdeki yüksek biyokütle konsantrasyonu çeşitli riskler ve zorluklar doğurabilir. En önemli endişelerden biri, biyokütlenin yıkanması (wash out) ihtimalidir. Artan biyokütle konsantrasyonunda çökelme sorunları oluşabilir ve bu da sistem çıkışında mikroorganizma gözlenmesine sebep olabilir [14]. Yüksek biyokütle konsantrasyonları biyokütle viskozitesinin artmasına neden olabilir, bu da reaktör içindeki oksijen transferini engelleyerek genel arıtma sürecini etkileyebilir [15]. Ek olarak, yüksek biyokütle konsantrasyonlarının birikmesi, reaktörde çözünmüş oksijen seviyelerinin korunmasında zorluklara yol açarak aerobik proseslerin performansını etkileyebilir [16]. İşletim sorunlarına katkıda bulunabilecek ve ek bakım ve temizlik prosedürleri gerektirebilecek biyofilmlerin oluşumuna neden olabilir [17]. Ayrıca, yüksek biyokütle konsantrasyonlarının varlığı, reaktör içindeki mikrobiyal topluluk yapısını

değiştirerek potansiyel olarak belirli mikrobiyal popülasyonları diğerlerine tercih edebilir ve bu da sistemin genel arıtma verimini ve stabilitesini etkileyebilir [18]. Tüm bu kaygılar için Orhon ve Artan çökeltim ile sağlanan katı sıvı ayırımında ulaşılabilecek maksimum biyokütle konsantrasyonunu 8000 mg/L olarak bildirmiştir [1].

3.2.2. Azalan çamur yaşı – sabit X_{SS} stratejisi

Aktif çamur sistemlerinde çamur yaşı, arıtma verimliliğini, besin maddesi giderimini, mikro kirlenici adsorpsiyonunu, nitrifikasyon proseslerini, çökeltme özelliklerini ve genel sistem performansını önemli ölçüde etkileyen kritik bir parametredir. Çamur yaşı, bir aktif çamur parçacığının sistemde kaldığı ortalama süreyi ifade eder ve arıtma verimliliğini ve tesisin genel çalışmasını etkiler. Çalışmalar, çamur yaşının biyolojik besin giderimli aktif çamur sistemlerinin tasarımında, işletiminde ve kontrolünde temel bir parametre olduğunu göstermiştir [19].

Reaktör hacminin sabit tutulması için çamur yaşının azaltılması uygulanabilecek bir diğer stratejidir. Şekil 3'te sabit X_{SS} (4 kg/m^3) için azalan çamur yaşına karşılık artan debi değerlerinde reaktör hacmi hesaplamaları sunulmuştur. Yapılan hesaplamalarda çamur yaşı 8 günden 2,18 güne kademeli bir şekilde düşürülmüştür. Buna karşılık reaktör hacmi $561,28 \text{ m}^3$ 'te sabit tutulmuştur. Sonuç olarak arıtma ünitesine gelen organik yükün artması durumunda çamur yaşının kademeli olarak düşürülmesi reaktör hacminin sabit tutulması için uygulanabilir bir stratejidir.



Şekil 3. Azalan çamur yaşı ile hacim ilişkisi.

Ancak çamur yaşı düşürülürken reaktördeki biyokimyasal dengenin bozulmaması için önlem alınmalıdır. Bunun için kademeli bir şekilde çamur yaşının düşürülmesi ve her düşüş adımı için reaktördeki arıtım veriminin izlenmesi önemlidir.

Kısa çamur yaşları, nitrifikasyon bakterilerinin düşük büyüme oranları nedeni ile nitrifikasyon sürecini engelleyebilir [20]. Aktif çamur proseslerinde çamur yaşının kontrol edilmesi, tesis işletiminin iyileştirilmesi ve biyolojik oksijen talebinin giderilmesi verimliliğinin artırılması açısından çok önemlidir [21]. Çamur yaşı ayrıca çamurun çökeltme özelliklerini de etkiler. Daha yüksek çamur hacim indeksi değerleri, genellikle filamentli bakteriler veya daha yüksek hücre dışı polimerik madde konsantrasyonlarıyla ilişkilendirilen daha zayıf çamur çökebilirliğine işaret eder [22]. Aktif çamur ünitelerindeki düşük çamur yaşı, arıtma prosesine çeşitli riskler ve zorluklar getirebilir. Düşük çamur yaşıyla ilişkili önemli bir risk, atık suyun eksik arıtılması potansiyelidir, bu da organik madde, besin maddeleri ve kirlenici maddelerin giderim verimliliğinde azalmaya yol açar [23]. Düşük çamur yaşı,

mikroorganizmalar ve kirleticiler arasında yetersiz temas süresine neden olarak sistemin genel arıtma performansının düşmesine sebep olabilir [22]. Buna ek olarak, yetersiz çamur yaşı, çamurun zayıf çökeltme özelliklerine yol açarak arıtma tesisindeki arıtma ve ayırma süreçlerini etkileyebilir [24].

Ayrıca, düşük çamur yaşı, aktif çamur sistemindeki mikrobiyal toplulukların stabilitesini ve çeşitliliğini etkileyebilir ve potansiyel olarak proses bozukluklarına, biyolojik bozunma oranlarının azalmasına ve arıtma verimliliğinin tehlikeye atılmasına yol açabilir [25]. Türkiye’de atık su arıtma tesislerindeki yaygın çamur tasfiyesi, çökeltim havuzu çamurlarının polielektrolit ilavesi ardından dekantör ya da belt pres üniteleri ile yaklaşık %25 katılığa ulaştırılıp tesis dışına çıkarılması şeklindedir. Böyle tesislerde düşük çamur yaşı aynı zamanda biyokütle tutulmasının azalmasına ve günlük atılan çamur miktarının artmasına neden olarak işletim zorluklarına ve daha yüksek çamur bertaraf maliyetlerine yol açabilir [26]. Üstelik düşük çamur yaşı, çamurun susuzlaştırılabilirliğini etkileyerek çamur yönetimi ve bertaraf süreçlerinin verimliliğini etkileyebilir [27].

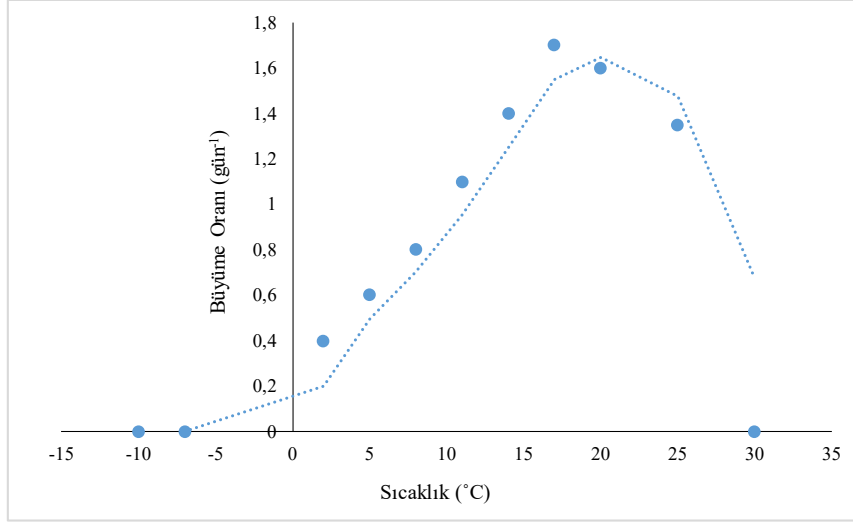
Dezavantajlarının yanı sıra düşük çamur yaşı bir dizi avantaj da sağlamaktadır. Düşük çamur yaşı atık aktif çamurda kısa zincirli yağ asitlerinin üretimini destekleyerek organik madde bozulmasının ve kaynak geri kazanımının artmasına katkıda bulunabilir [28]. Çamur tasfiyesinin anaerobik çürütücüler ile yapılarak biyometan üretiminin yapıldığı tesislerde düşük çamur yaşı, birim zamanda reaktörden daha yüksek çamur çekilmesine sebep olabilir. Bu da daha yüksek biyometan üretimini destekleyebilir. Ayrıca düşük çamur yaşında reaktörde tutulan mikroorganizma miktarı, yüksek çamur yaşına göre daha düşük olduğu için reaktörün toplam havalandırma ihtiyacı daha azdır. Bu da işletme giderlerinin daha düşük olmasını sağlamaktadır.

3.2.3. Reaktörde sıcaklık ayarlamaları

Reaktörde çamur yaşının belirli bir değerin altına düşürülmesi, tamamlanamayan reaksiyon riskini doğurabilir. Mikroorganizmalar ile organik maddenin yeterli temasının olmaması, çıkış suyunda okside edilmemiş organik kirlilik gözlenmesine sebep olabilir. Ayrıca düşük sıcaklıklarda mikroorganizmaların büyüme oranlarının da düşmesine ve düşük çamur yaşlarında hedeflenen arıtım performansının sağlanamamasına sebep olabilir.

Buna rağmen çamur yaşı düşürülmek isteniyorsa reaktörde büyüme oranını sabit tutabilecek düzenlemeler yapılmalıdır. Sıcaklık ve pH’ın optimumda tutulması bu düzenlemelerden biridir. Evsel atık sular için pH genellikle mikroorganizmalar için uygun değerdedir.

Mikroorganizmaların spesifik büyüme hızları sıcaklıktan etkilenir. Özellikle nitrifikasyon bakterilerinin spesifik büyüme hızı, nitrifikasyon kinetiğinin reaktördeki diğer heterotroflarla birlikte değerlendirilmesinde önemli bir parametredir. Nitrifikasyonun maksimum spesifik büyüme hızı, tesisteki karbon ve azot gideriminin derecelendirmesi için çok önemlidir [29]. CTMI modeli uyarınca mikroorganizmaların büyüme oranının sıcaklık ile ilişkisi Şekil 4’de verilmiştir [30].



Şekil 4. CTMI modeli uyarınca mikroorganizmaların büyüme oranının sıcaklık ile ilişkisi [30]. 'dan uyarlanmıştır)

Buna göre sıcaklık ayarlaması yapılması azalan HRT'lerde birim zamanda yapılan kirletici giderimini artırabilir. Santos ve diğerleri (2018), sıcaklık değişimlerinin reaktördeki biyolojik süreçlerin hızını etkileyebileceğini, organik madde dağılımını ve çıkış suyundaki fraksiyonları etkileyebileceğini bulmuştur. Daha düşük sıcaklıkların tüm biyolojik süreçlerin hızını azalttığı, atık su ve çamurun bileşiminde değişikliklere yol açtığı görülmüştür[31].

3.2.4. Katı sıvı ayrımının membran ile sağlanması

Biyomembran uygulamaları her geçen gün popülerlik kazanarak farklı tipteki atıksuların arıtımını için yüksek AKM konsantrasyonlarında işletilen reaktörlerde kullanılmaktadır[32–34]. Artan Xss stratejisinde, konsantrasyonun artması reaktörde bir dizi soruna sebep olabilmektedir. Aktif çamur sistemlerinde artan mikroorganizma konsantrasyonu, arıtma prosesinde çeşitli dezavantajlara ve zorluklara neden olabilir. Önemli bir dezavantaj, mikroorganizmalar tarafından aşırı hücre dışı polimerik madde (EPS) üretme potansiyelidir; bu durum çamur viskozitesinin artmasına ve zayıf çökeltme özelliklerine yol açar, bu da katıların artmış atık sudan ayrılmasını engelleyebilmektedir [35–37].

Aktif çamur sistemlerinde artan mikroorganizma konsantrasyonu, çamur çökeltme özelliklerini olumsuz yönde etkileyebilecek filamentli mikroorganizmaların çoğalmasına yol açabilir. Microthrix parvicella gibi filamentli bakterilerin aktif çamur sistemlerinde kabarma ve köpüklenmeye neden olduğu, bunun da çökeltme özelliklerinin zayıf olmasına ve arıtma verimliliğinin azalmasına neden olduğu bilinmektedir [38]. Aşırı filamentli mikroorganizmaların varlığı, aktif çamurun çökeltme kapasitesine etki ederek atık su arıtma tesislerinde arıtma ve ayırma işlemlerinin bozulmasına yol açabilir [39].

Reaktörde yüksek mikroorganizma konsantrasyonu birim zamanda yapılan arıtımın da fazla olmasına sebep olurken bu mikroorganizmaların çökeltme ya da spesifik enzimler üretmeleri işletim sorunlarına sebep olmaktadır. Çökeltme sorunu yaşamadan mikroorganizma konsantrasyonunu güvenle arttırmanın yolu katı sıvı ayrımını çökeltme yerine membran filtrasyonu ile sağlanmasıdır. MBR'lerdeki yüksek biyokütle konsantrasyonu, hidrolik bekleme süresinin kısılmasına ve aktif çamur ünitelerinin hacminde önemli bir azalmaya olanak tanır [40]. Hacmin artırılması ihtiyacında, katı sıvı ayrımının membran ile sağlanması birim hacimden alınan verimi artırır.

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Atık su arıtımında sabit hacim tutma stratejileri, çeşitli avantajlar ve zorluklarla birlikte ele alınmalıdır. Artan X_{SS} stratejisi, reaktördeki mikroorganizma konsantrasyonunu artırarak organik yükün oksidasyonunu sağlar ve böylece reaktör hacmini sabit tutar. Azalan çamur yaşı stratejisi ise reaktör hacmini sabit tutmak için çamur yaşının azaltılmasını önerir. İşletme giderleri göz önüne alınabildiği ölçüde reaktöre ısıtma uygulanabilir. Bu da birim zamandaki mikroorganizma oluşumunu ve dolayısı ile birim hacimdeki arıtım verimini artırır. Sonuç olarak, makalede sunulan atık su arıtımında sabit hacim tutma stratejileri, ekonomik ve nispeten kolay uygulanabilir olmaları açısından önemli bir rol oynamaktadır. Ancak, her bir stratejinin avantajları ve zorlukları dikkate alınarak uygulanmalı ve reaktörler süreç içinde yoğun izlenmelidir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Yazarlar, Doç. Dr. Didem Okutman Taş'a teşekkürlerini sunarlar.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] D. Orhon, N. Artan, Modeling of Activated Sludge Systems, CRC press, Pennsylvania, 1997.
- [2] S. Özdemir, D. Uçar, E.U. Çokgör, D. Orhon, Extent of endogenous decay and microbial activity in aerobic stabilization of biological sludge. *Desalin. Water Treat.*, 52 (2013) 6356–6362.
- [3] E. Metcalf, H. Eddy, Wastewater engineering: treatment and reuse, 2003.
- [4] Y. Wu, X. Huang, X. Wen, F. Chen, Function of dynamic membrane in self-forming dynamic membrane coupled bioreactor. *Water Sci. Technol.*, 51 (2005) 107–14.
- [5] J. DeCarolis, S. Adham, W.R. Pearce, Z. Hirani, S. Lacy, R. Stephenson, Cost trends of MBR systems for municipal wastewater treatment. içinde: WEFTEC 2007, Water Environment Federation, 2007: ss. 3407–3418.
- [6] S. Martín-Rilo, R.N. Coimbra, J. Martín-Villacorta, M. Otero, Treatment of dairy industry wastewater by oxygen injection: performance and outlay parameters from the full scale implementation. *J. Clean. Prod.*, 86 (2015) 15–23.
- [7] R.O. Cristóvão, C.M. Botelho, R.J.E. Martins, J.M. Loureiro, R.A.R. Boaventura, Fish canning industry wastewater treatment for water reuse—a case study. *J. Clean. Prod.*, 87 (2015) 603–612.
- [8] R. Ahmad, W. Ishaque, M. Khan, U. Ashraf, M.A. Riaz, S. Ghulam, A. Ahmad, M. Rizwan, S. Ali, S. Alkahtani, Relief role of lysine chelated zinc (Zn) on 6-week-old maize plants under tannery wastewater irrigation stress. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 17 (2020) 5161.
- [9] A.I. Jamrah, Assessment of characteristics and biological treatment technologies of Jordanian wastewater. *Bioprocess Eng.*, 21 (1999) 331–340.
- [10] M.F. Colmenarejo, A. Rubio, E. Sanchez, J. Vicente, M.G. Garcia, R. Borja, Evaluation of municipal wastewater treatment plants with different technologies at Las Rozas, Madrid (Spain). *J. Environ. Manage.*, 81 (2006) 399–404.
- [11] A. Masłoń, Analysis of energy consumption at the Rzeszów Wastewater Treatment Plant. içinde: E3S Web Conf., EDP Sciences, 2017: s. 115.
- [12] G.U. Semblante, F.I. Hai, H. Bustamante, W.E. Price, L.D. Nghiem, Effects of sludge retention time on oxic-settling-anoxic process performance: biosolids reduction and dewatering properties. *Bioresour. Technol.*, 218 (2016) 1187–1194.

- [13] M. Majewsky, T. Gallé, V. Yargeau, K. Fischer, Active heterotrophic biomass and sludge retention time (SRT) as determining factors for biodegradation kinetics of pharmaceuticals in activated sludge. *Bioresour. Technol.*, 102 (2011) 7415–7421.
- [14] J. Ruiz, Z. Arbib, P.D. Álvarez-Díaz, C. Garrido-Pérez, J. Barragán, J.A. Perales, Influence of light presence and biomass concentration on nutrient kinetic removal from urban wastewater by *Scenedesmus obliquus*. *J. Biotechnol.*, 178 (2014) 32–37.
- [15] K.J. Daye, J.C. Groff, A.C. Kirpekar, R. Mazumder, High efficiency degradation of tetrahydrofuran (THF) using a membrane bioreactor: identification of THF-degrading cultures of *Pseudonocardia* sp strain M1 and *Rhodococcus ruber* isolate M2, *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.*, 30 (2003) 705–714.
- [16] V. Oyanedel, J.M. Garrido, J.M. Lema, R. Méndez, A membrane assisted hybrid bioreactor for the post treatment of an anaerobic effluent from a fish canning factory. *Water Sci. Technol.*, 48 (2003) 301–309.
- [17] F. Hammes, N. Boon, M. Vital, P. Ross, A. Magic-Knezev, M. Dignum, Bacterial colonization of pellet softening reactors used during drinking water treatment. *Appl. Environ. Microbiol.*, 77 (2011) 1041–1048.
- [18] J. Huang, B. Hankamer, J. Yarnold, Design scenarios of outdoor arrayed cylindrical photobioreactors for microalgae cultivation considering solar radiation and temperature. *Algal Res.*, 41 (2019) 101515.
- [19] G.A. Ekama, The role and control of sludge age in biological nutrient removal activated sludge systems. *Water Sci. Technol.*, 61 (2010) 1645–1652.
- [20] P. Guimaraes, H.N.S. Melo, P.F.F. Cavalcanti, A.C. Van Haandel, Anaerobic–aerobic sewage treatment using the combination UASB-SBR activated sludge. *J. Environ. Sci. Heal. Part A*, 38 (2003) 2633–2641.
- [21] Y. Ma, Y. Peng, S. Wang, New automatic control strategies for sludge recycling and wastage for the optimum operation of predenitrification processes. *J. Chem. Technol. Biotechnol. Int. Res. Process. Environ. Clean Technol.*, 81 (2006) 41–47.
- [22] G.U. Semblante, F.I. Hai, H.H. Ngo, W. Guo, S.-J. You, W.E. Price, L.D. Nghiem, Sludge cycling between aerobic, anoxic and anaerobic regimes to reduce sludge production during wastewater treatment: Performance, mechanisms, and implications. *Bioresour. Technol.*, 155 (2014) 395–409.
- [23] R. Kaegi, A. Voegelin, B. Sinnet, S. Zuleeg, H. Hagendorfer, M. Burkhardt, H. Siegrist, Behavior of metallic silver nanoparticles in a pilot wastewater treatment plant. *Environ. Sci. Technol.*, 45 (2011) 3902–3908.
- [24] Y. Wei, R.T. Van Houten, A.R. Borger, D.H. Eikelboom, Y. Fan, Minimization of excess sludge production for biological wastewater treatment. *Water Res.*, 37 (2003) 4453–4467.
- [25] M. Hörsing, A. Ledin, R. Grabic, J. Fick, M. Tysklind, J. la Cour Jansen, H.R. Andersen, Determination of sorption of seventy-five pharmaceuticals in sewage sludge. *Water Res.*, 45 (2011) 4470–4482.
- [26] G.-H. Yu, P.-J. He, L.-M. Shao, P.-P. He, Stratification structure of sludge flocs with implications to dewaterability. *Environ. Sci. Technol.*, 42 (2008) 7944–7949.
- [27] E. Liwarska-Bizukojs, Application of image analysis techniques in activated sludge wastewater treatment processes. *Biotechnol. Lett.*, 27 (2005) 1427–1433.
- [28] C. Zhang, Y. Qin, Q. Xu, X. Liu, Y. Liu, B.-J. Ni, Q. Yang, D. Wang, X. Li, Q. Wang, Free ammonia-based pretreatment promotes short-chain fatty acid production from waste activated sludge. *ACS Sustain. Chem. Eng.*, 6 (2018) 9120–9129.

- [29] H.D. Stensel, D.L. Ke, P.L. Dold, R. Jones, C. Bye, H. Melcer, Methods for measuring nitrifier maximum specific growth rate: crucial for plant capacity rating. içinde: WEFTEC 2002, Water Environment Federation, 2002: ss. 299–323.
- [30] O. Bernard, B. Rémond, Validation of a simple model accounting for light and temperature effect on microalgal growth. *Bioresour. Technol.*, 123 (2012) 520–527.
- [31] S.L. Dos Santos, A. Van Haandel, S.R. Morais Chaves, Influence of temperature on the performance of anaerobic treatment systems of municipal wastewater. *Water Sa*, 44 (2018) 211–222.
- [32] A. Yurtsever, E. Sahinkaya, Ö. Aktaş, D. Uçar, Ö. Çınar, Z. Wang, Performances of anaerobic and aerobic membrane bioreactors for the treatment of synthetic textile wastewater. *Bioresour. Technol.*, 192 (2015) 564–573.
- [33] D. Ucar, E. Sahinkaya, T. Yilmaz, Y. Cakmak, Simultaneous nitrate and perchlorate reduction in an elemental sulfur-based denitrifying membrane bioreactor. *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, 144 (2019) 104741.
- [34] E. Sahinkaya, A. Yurtsever, Ö. Aktaş, D. Ucar, Z. Wang, Sulfur-based autotrophic denitrification of drinking water using a membrane bioreactor. *Chem. Eng. J.*, 268 (2015) 180–186.
- [35] F. Ye, Y. Ye, Y. Li, Effect of C/N ratio on extracellular polymeric substances (EPS) and physicochemical properties of activated sludge flocs. *J. Hazard. Mater.*, 188 (2011) 37–43.
- [36] D. Ucar, T. Yilmaz, F. Di, G. Esposito, E. Sahinkaya, Comparison of biogenic and chemical sulfur as electron donors for autotrophic denitrification in sulfur-fed membrane bioreactor (SMBR). *Bioresour. Technol.*, 299 (2020) 122574.
- [37] G. Asik, T. Yilmaz, F. Di Capua, D. Ucar, G. Esposito, E. Sahinkaya, Sequential sulfur-based denitrification/denitritation and nanofiltration processes for drinking water treatment. *J. Environ. Manage.*, 295 (2021) 113083.
- [38] S. Knoop, S. Kunst, Influence of temperature and sludge loading on activated sludge settling, especially on *Microthrix parvicella*. *Water Sci. Technol.*, 37 (1998) 27–35.
- [39] P. Xu, Z. Zhou, H. Shi, Z. Geng, Anisotropic phase stretch transform-based algorithm for segmentation of activated sludge phase-contrast microscopic image. *IEEE Access*, 10 (2022) 39518–39532.
- [40] K. Trzciński, M. Zielińska, Challenges and development directions of membrane bioreactors operated on passenger ships in international shipping, *Acta Univ. Lodz. Folia Biol. Oecologica*, 17 (2021) 42–47.