



## Besi çiftliği atıksularının anaerobik/aerobik yöntemlerle arıtılabilirliği Anaerobic/aerobic treatability of livestock wastewater

Roda Gökçe YILMAZ ÇİNÇİN<sup>1\*</sup>, Osman Nuri AĞDAĞ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye.  
rgokcey@pau.edu.tr; oagdag@pau.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 24.04.2019, Kabul Tarihi/Accepted: 23.07.2019  
\* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2019.80474  
Özel Sayı Makalesi/Special Issue Article

### Öz

Artan nüfus ile birlikte tarım ve hayvancılık sektörleri üretim kapasitelerini arttırmışlardır. Böylece daha fazla atık oluşturan çiftlik ve tarım alanlarından kaynaklanan çevresel riskler de artmıştır. Hayvansal atıkların kontrollü bertaraf edilmemesi ve meralara, akarsulara, açık alanlara veya tarım alanlarına atılması önemli problemlere neden olmaktadır. Organik maddelerin stabilize olmaması nedeniyle, toprağın biyolojik yapısı bozulmakta ve böcek, sivrisinek ve koku problemleri sonucu çevre sağlığı tehdit edilmektedir. Hayvansal atıklardan kaynaklanan azot ve fosfor ayrıca yüzeysel suları etkilemekte ve yaşam döngüsüne zarar vermektedir. Oluşan atıksuların yarattığı çevresel sorunlardan yola çıkarak bu çalışma kapsamında, besi çiftliği atıksularının ardışık anaerobik yukarı akışlı çamur yataklı reaktör (UASB) / aerobik sürekli karıştırılmalı tank reaktörde (CSTR) arıtımı incelenmiştir. Anaerobik UASB reaktörün ardından kalan organik kirliliği parçalamak için aerobik CSTR reaktör kullanılmıştır. Sistemde farklı organik yükleme hızlarında (3.53-10.59 kgKOI/m<sup>3</sup>gün) kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) giderimi ve metan gazı miktarı ölçülmüştür. Çalışmada anaerobik UASB reaktörde en yüksek KOİ giderme verimine %90.3 olarak 7.06 kg KOI/m<sup>3</sup>gün organik yükleme hızında ulaşılmıştır. Anaerobik arıtma kısmında oluşan biyogazda en yüksek ölçülen metan gazı oranı %65 olmuştur. Elde edilen sonuçlar besi çiftliği atıksularının ardışık anaerobik yukarı akışlı çamur yataklı reaktör/ aerobik sürekli karıştırılmalı tank reaktörde arıtılabilirliğinin yüksek olduğunu göstermektedir. KOİ değerinin yüksek oluşu, bu tür atıksuların arıtımında anaerobik yöntemlerin kullanılmasının uygun olabileceğini göstermektedir.

**Anahtar kelimeler:** Besi çiftliği atıksuyu, CSTR reaktör, UASB reaktör

### Abstract

The agriculture and livestock sectors increased their production capacities by the increasing population. Thus, the environmental risks arising from the farms and agricultural areas that are generating more waste are also increased. Especially, animal wastes cannot be taken under control and unconsciously thrown into rivers, estuaries, open areas or irrigation canals, resulting in the destruction of the biological structure of the region soil and the endangered environmental health of insect, mosquito and odor problems. Surface and groundwater exposure to nitrogen and phosphorus pollution affects the health of all living things in the region. In addition, various gases resulting from waste accumulation rapidly pollute the regional air and cause the propagation of harmful microorganisms. From the environmental problems created by the wastewater, the treatment of the livestock wastewater sequential anaerobic upflow sludge bed reactor / aerobic continuous stirred tank reactor has been investigated. An aerobic CSTR reactor was used to break down the residual organic pollution following the anaerobic UASB reactor. The chemical oxygen demand (COD) removal and the amount of methane gas were measured at different organic loading rates (3.53-10.59 kg COD/m<sup>3</sup>day) in the system. In study, the highest COD removal efficiency in anaerobic UASB reactor was reached as 90.3% at an organic loading rate of 7.06 kgCOD/m<sup>3</sup>day. The highest measured methane gas rate in the biogas formed in the anaerobic treatment section was 65%. The results show that the treatability of the livestock wastewater is a good alternative anaerobic upflow sludge bed reactor / aerobic continuous mixing tank reactor.

**Keywords:** CSTR reactor, Livestock farm wastewater, UASB reactor

## 1 Giriş

Tarımsal faaliyetlerde kullanılan suda kirlilik olduğu takdirde, zararlı organizmaların toprakta birikmesi ve bitki bünyesine alınmasıyla çevre ve insan sağlığına olumsuz etkileri olabilmektedir. Bu sularda kirlilik; su kanallarında hayvan ölümleri, atıksuların sulama sularına karışması ve besi çiftlikleri gübre havuzları sularının su kaynaklarına karışmasıyla ortaya çıkarılır. Hayvan gübresinin azot, fosfor, organik madde ve patojen mikroorganizma içeriği doğal sularda kirliliğe neden olur. Bu nedenle, biyolojik bozuşmanın tamamlanmadan bu atıkların su kaynaklarına karışması istenmeyen bir durumdur. Gübreden kaynaklı besi çiftliği sularının kimyasal oksijen ihtiyacı konsantrasyonunun yüksek oluşu, bu tür atıksuların arıtımında anaerobik yöntemlerin kullanılmasının uygun olabileceğini göstermektedir.

Neshat ve diğ. tarafından yapılan derleme niteliğindeki bir çalışmada hayvan gübreleri ile lignoselülozik atıkların birlikte anaerobik parçalanması ve metan üretimi ile ilgili literatür geniş kapsamlı olarak taranmıştır. Çalışmada özellikle hayvan gübresi atıklarının C/N dengesizliği ve lignoselülozik atıkların

hayvan gübresindeki eksik karbon miktarını tamamladığı üzerinde durulmuştur. Ayrıca anaerobik parçalanmayı etkileyen faktörler de ayrıntılarıyla açıklanmıştır [1].

Atıksu ile birlikte gelen veya arıtma sırasında proteinlerin hidroliziyle ortaya çıkan amonyak azotu, anaerobik arıtım için önemli bir pH tamponu olmakla birlikte, yüksek konsantrasyonlarda inhibisyona yol açan toksik maddelerden biridir. Amonyak azotu, sıcaklık ve pH'a bağlı olarak serbest ya da iyon halinde bulunmaktadır ve serbest amonyak, amonyum iyonuna göre daha fazla etkiye sahiptir. Ayrıca anaerobik arıtım esnasında amonyak azotu giderimi oldukça düşük seviyelerdedir. Bunların dışında, KOİ ve toplam fosfor (TP) parametrelerinin en fazla zorluk çıkaran parametreler olduğu söylenebilir [2]. Yılda yaklaşık 40 milyon ton sıvı atık ve 1 milyar ton katı atığın çiftlik hayvanları faaliyetleri sonucu oluştuğu ve atıldığı tahmin edilmektedir [3].

Besi çiftliklerinde yetiştirilen hayvan gübrelerinden kaynaklanan sera gazı emisyonu gün geçtikçe artmaktadır. Öte yandan, bu atıkların doğru yönetimi (özellikle anaerobik parçalanma) ile biyogaz elde edilmesi ve bunun elektrik

enerjisine çevrilmesi ile hem çevresel problemlerin önüne geçilecek hem de ekonomik kazanç elde edilecektir [4],[5]. Aşı çamuru ilavesinin büyükbaş hayvan gübresine adaptasyonu ve biyogaz üretim potansiyelinin belirlenmesine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, giderilen gr KOİ başına 0.35 l CH<sub>4</sub> üretiminin gerçekleşmesi, aşı çamurunun büyükbaş hayvan gübresinin anaerobik parçalanmasında etkili olduğunu göstermiştir [6].

Ağdağ ve Sponza, [7] tarafından kentsel atıksu arıtma tesisi sızıntı sularının arıtımı için ardışık 2 kademeli anaerobik/aerobik sistem kullanılmıştır. Yapılan çalışmada en yüksek organik yükleme hızı (OYH) 16 kgKOİ/m<sup>3</sup>tür. UASB reaktörde KOİ giderme verimi %80 civarında gerçekleşirken, aerobik reaktör sonrası KOİ giderme verimi %98'e ulaşmıştır. KOİ parametresine paralel olarak amonyum azotunda da aerobik reaktörde %99 giderme verimi elde edilmiştir. Aynı yazarlar tarafından [8] yüksek azot konsantrasyonuna sahip sızıntı sularının arıtımında anammox prosesi kullanılmış ve %99 amonyak oksidasyonu gerçekleştirilmiştir.

Yapılan araştırmalarda besi çiftliği atıksularında kirlilik parametrelerinin (KOİ, amonyum azotu vb.) oldukça yüksek değerlerde olduğu tespit edilmiştir [2], [9], [10].

Amuda [11], tarafından büyükbaş hayvan çiftliğinden kaynaklanan atıksu karakterizasyonunu belirleme amaçlı yapılan çalışmada KOİ, askıda katı madde (AKM), biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ), TP, toplam kjeldahl azotu (TKN), yağ ve pH parametreleri sırasıyla; 14350 mg/l, 19945 mg/l, 14370 mg/l, 720 mg/l, 280 mg/l, 47 mg/l, 6.7 olarak bulunmuştur. Farklı bir çalışmada ise domuz çiftliği atıksuyunun 3 farklı tür aşı çamuru kullanılarak UASB reaktörlerde arıtımı çalışılmıştır [12]. Kullanılan aşı çamurlarından; biyoetanol üreten tesisin atıksularını arıtan UASB reaktörden alınan granüler aşı çamuru metan oluşum oranı açısından en iyi sonucu vermiştir. Anaerobik evsel atıksu arıtma tesisi aşı çamuru ise UASB reaktörde flotasyon problemine sebep olmuştur.

Besihane atıkları tek başına anaerobik reaktörlerde arıtılabildiği gibi zaman zaman farklı biyokütleler veya atıksularla karıştırılarak da arıtılabilmektedir. Kougiyas ve diğ. [13] tarafından yapılan çalışma domuz gübresi ile zeytinyağı işleme tesisi atıksuları karıştırılarak farklı OYH'lerde arıtılmıştır. %40 zeytin atıksuyu %60 domuz gübresi karışımında en yüksek 277 ml CH<sub>4</sub>/g KOİ (teorik değer 79'u) değerine ulaşılmıştır.

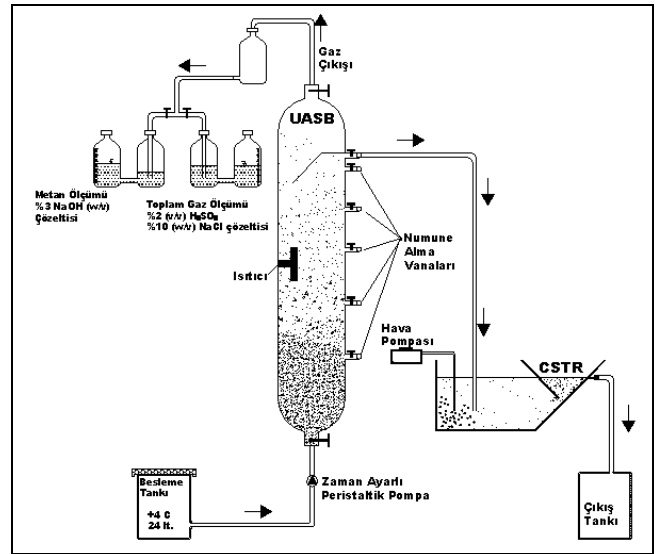
Yapılan çalışmadaki atıksu kirlilik değerlerinden de görüldüğü üzere, özellikle organik kirlilik ve azot yönünden besi çiftliği atıksularının oldukça yüksek kirliliğe sahip olduğu söylenebilir. KOİ değerinin yüksek oluşu, bu tür atıksuların arıtımında anaerobik yöntemlerin kullanılmasının uygun olabileceğini göstermektedir. Bazı besi çiftlikleri atıksularını ön arıtma uygulayarak deşarj ederken bazı besi çiftlikleri de arıtma uygulamadan ücret karşılığı atıksu arıtım tesislerine yollamaktadırlar. Yüksek organik kirliliği ve yüksek azot konsantrasyonuna sahip besi çiftliği atıksularını özellikle evsel atıksuların arıtıldığı arıtma tesislerinde zaman zaman işletme problemlerine sebep olabilmektedir. Bu nedenle, besi çiftliği atıksularının yerinde anaerobik/aerobik yöntemlerle arıtımı hem evsel atıksu arıtma tesislerindeki işletme problemlerinin önüne geçecek hem de anaerobik arıtımla metan gazı elde edilmesi sağlanacak ve aerobik arıtma sayesinde deşarj standartları sağlanabilecektir. Bu çalışmanın amacı, besi çiftliği atıksularının ardışık, UASB/ CSTR arıtımı yapılarak metan gazı

oluşum miktarını belirlemek ve uygun deşarj kriterlerinin sağlanıp sağlanmadığını değerlendirmektir.

## 2 Materyal ve yöntem

### 2.1 Anaerobik/aerobik reaktör sistemi

Çalışmada, ardışık anaerobik yukarı akışlı çamur yataklı reaktör ve aerobik tam karıştırmalı reaktör kullanılmıştır. Reaktörler paslanmaz çelik malzemeden imal edilmiştir. UASB reaktörü hacmi 7.8 l, CSTR reaktörünün hacmi 3 l'dir. CSTR reaktörde 2 bölme bulunmaktadır. Bunlardan birincisi havalandırma bölgesi ikincisi çökeltme bölgesidir. Anaerobik reaktör çıkışına, anaerobik reaktörden kalan organik maddenin ve amonyum azotunun (NH<sub>4</sub>-N) giderilmesi amacıyla CSTR reaktör yerleştirilmiştir. Reaktörden her gün belirli miktarlarda çamur atılarak çamur yaşı 15 günde sabit tutulmuştur. Hava pompası yardımıyla reaktör havalandırılmış ve oksijen probu ile zaman zaman ölçüm yapılarak çözünmüş oksijen seviyesi 2 mg/l'nin üzerinde tutulmuştur. Çalışmada kullanılan reaktör düzeneği Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1: Anaerobik/aerobik reaktör sistemi.

### 2.2 İşletme koşulları

#### 2.2.1 Start-up periyodu

Aşı çamuru, Denizli Belediyesi Evsel Atıksu Arıtma Tesisi'nde havalandırma havuzu ve çökeltim havuzlarında oluşan fazla çamurların anaerobik olarak parçalandığı reaktörden temin edilmiştir. Aşı çamurlarının reaktörlere aklımasyonunun sağlanması amacı ile düşük KOİ değerlerinden başlanarak anaerobik UASB Reaktör devreye alınmıştır. Bu esnada besiyerine glikoz, pH ayarlaması için sodyum bikarbonat ve mikroorganizmaların iz elementleriyle beslenebilmeleri için vanderbilt mineral ortam [14] konulmuştur ve peristaltik pompa yardımıyla sabit bir debide 60 gün boyunca besleme yapılmıştır. Organik yükleme hızları artırılmak sureti ile (2.12-3.53 kgKOİ/m<sup>3</sup>gün) start-up periyodunda çalışılmıştır ve başlangıç olarak reaktör 3000 mg/l KOİ değerindeki glikozla beslenmeye başlanmıştır. Mikroorganizmaların ortama adapte olması sağlanmıştır. Sadece glikozla beslemenin ardından öncelikle glikozla besi çiftliği atıksuyu karıştırılarak, sonrasında da sadece gerçek atıksu ile besleme yapılarak start-up periyodu tamamlanmıştır. Start-up periyodunda başlangıçta 300 mg/l glikoz ile beslenen reaktör, KOİ'nin 1500 mg/l'si glikozdan 1500 mg/l'si besihane atıksuyundan

gelecek şekilde yükleme yapılmıştır. Ardından 5000 mg/l KOİ yüklemesi için ayrı yol izlenmiş ve 5000 mg/l KOİ'nin tamamı gerçek atıksu ile beslendikten sonra işletme periyoduna geçilmiştir.

### 2.2.2 İşletme periyodu

Atıksu numunesi, Denizli ilinde bulunan bir besi çiftliğinden temin edilmiştir. Besi çiftliği atıksuları, KOİ konsantrasyonları 5000, 7000, 10000, 15000 mg/l ile organik yükleme hızı 3.53 – 10.59 kgKOİ/m<sup>3</sup>gün arasında olacak şekilde reaktöre beslenmiştir (Tablo 1). KOİ değerlerini sağlamak için atıksu kloru uçurulmuş çeşme suyu ile seyreltilmiştir.

Tablo 1: Çalışma periyotları boyunca giriş KOİ ve OYH değerleri.

Çalışma Periyodu	Giriş KOİ (mg/l)	OYH (kgKOİ/m <sup>3</sup> gün)
Set 1	5000	3.53
Set 2	7000	4.94
Set 3	10000	7.06
Set 4	15000	10.59

### 2.3 Analitik yöntemler

Reaktör giriş ve çıkışlarından belirli günlerde numune alınarak analizleri yapılmıştır (Şekil 1). Numunelerde, toplam KOİ, BOİ, NH<sub>4</sub>-N ve pH standart yöntemlere göre gerçekleştirilmiştir [15]. Numunelerin pH değeri HANNA HI 221 model pH metre kullanılarak haftada iki kere ölçülmüştür. Çözünmüş oksijen WTW Oxi 730 oksijenmetre ile ölçülmüştür. KOİ parametresi açık reflü yöntemiyle haftada iki kere ölçülerek verim hesaplanmıştır ve verim sonucuna göre besi yerinin kimyasal oksijen ihtiyacı ayarlanmıştır. Uçucu yağ asidi (VFA) parametresi de ayda bir kere Anderson ve Yang [16] yöntemine göre ölçülmüştür. Gaz ölçümleri sıvı yer değiştirme metodu ile yapılmıştır. Metan gazı, %3 NaOH içeren sıvıdan geçirilerek karbondioksitin biyogazdan ayrılmasıyla elde edilir. Metan gazı yüzdesi, her gün düzenli olarak Dräger Pac®Ex metan ölçer kullanılarak ölçülmüştür.

## 3 Bulgular ve tartışma

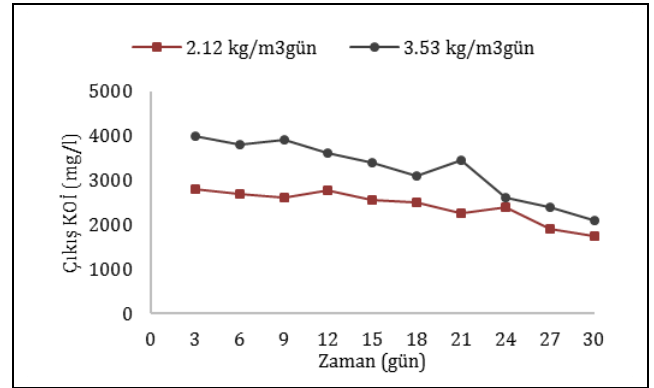
### 3.1 Start-Up periyodu

Sistem yatışkın duruma gelinceye kadar anaerobik reaktör, glikoz ve belli oranlarda besi çiftliği atıksuyu karıştırılarak beslenmiştir. Yatışkın durum koşullarına gelinceye kadar olan ölçülen çıkış KOİ konsantrasyonları Şekil 2'de gösterilmektedir.

İlk olarak reaktör, organik yükleme hızı 2.12 kgKOİ/m<sup>3</sup>gün olacak şekilde (KOİ = 3000 mg/l) sentetik atıksu ile devreye alınmıştır. Start-up fazının başlangıcında UASB reaktörde KOİ giderme verimi oldukça düşüktür. İlk on beş günlük periyodun sonunda KOİ giderme verimi ancak %10'lara kadar çıkmıştır. Şekil 2'den de görüleceği üzere 15 günlük süre zarfında çıkış KOİ değeri 3000 mg/l'den yaklaşık 2700 mg/l değerine düşürülebilmektedir. Zaman zaman arıtma verimleri de bir önceki sonuçlara göre düşmüştür. Örneğin 21. günde yapılan deneyler sonucu arıtma verimi %24.4 iken 24. günde arıtma verimi %19.2'ye düşmüştür. Bu verim düşüşlerinin sebebini, anaerobik mikroorganizmaların ortama alışma evresinin uzun olması ve ideal ortamın oluşmasına kadar yavaş faaliyet göstermesi olarak açıklayabiliriz. 30 günlük periyodun sonunda çıkış KOİ konsantrasyonu 1800 mg/l'ye düşerek arıtma verimi %41'lere ulaşmıştır.

30 günlük periyottan sonra anaerobik reaktör OYH 3.53 kgKOİ/m<sup>3</sup>gün olacak şekilde (KOİ=5000 mg/l) sentetik atıksu

ve gerçek (besi çiftliği) atıksu ile beslenmeye devam edilmiştir. Ancak organik yükleme hızının artmasından dolayı KOİ giderme verimi % 40'lardan %19.6'lara kadar düşmüştür. Bu düşüşe, anaerobik reaktörde bulunan mikroorganizmaların yüksek KOİ'den dolayı faaliyetlerinin yavaşlaması ve gerçek atıksu karışımı ile mikroorganizmaların aklimasyon periyodunun uzaması şeklinde açıklama getirilebilir. Zamanla organizmalar ortama aklime olmuş ve verim artmıştır. Örneğin; 9. günde yapılan deneyde KOİ giderme verimi %20.8 iken 18. günde %38.3'tür. Şekil 2'de görüldüğü gibi ikinci 30 günlük periyodun sonunda KOİ çıkış konsantrasyonu 5000 mg/l'den 1995 mg/l'ye kadar düşmüş ve %60'lık bir KOİ giderme verimi elde edilmiştir.



Şekil 2: Start-up periyodu çıkış KOİ konsantrasyonları.

KOİ konsantrasyonlarının yanı sıra anaerobik reaktörde gaz ölçümleri de yapılmıştır. Start-up fazının başlangıcında metan ya oluşmamıştır ya da oluşan metanın yüzdesi çok azdır. Bunun sebebi ise anaerobik organizmaların ortama aklime olamayıp anaerobik parçalanmayı gerçekleştirilememeleridir. Zamanla ortamda gaz oluşmuş ve gittikçe artmıştır. 60 günlük start-up periyodunun sonunda oluşan gazın metan içeriği %63'tür. Kümülatif metan miktarı ise yaklaşık 28 l'dir.

Anaerobik reaktörde start-up periyodu boyunca pH ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Metan bakterileri pH 6.5-8.5 değerleri arasında maksimum faaliyet göstermektedir [14]. Reaktörde ölçülen pH değerleri 7.5-8.5 değerleri arasında değişiklik göstermekte olup ölçülen değerler metan bakterileri için uygundur.

Numune alımları sırasında besi çiftliği ham atıksuyunda tekrarlı yapılan analizler sonucunda KOİ konsantrasyonu 15000 mg/l civarında bulunmuştur.

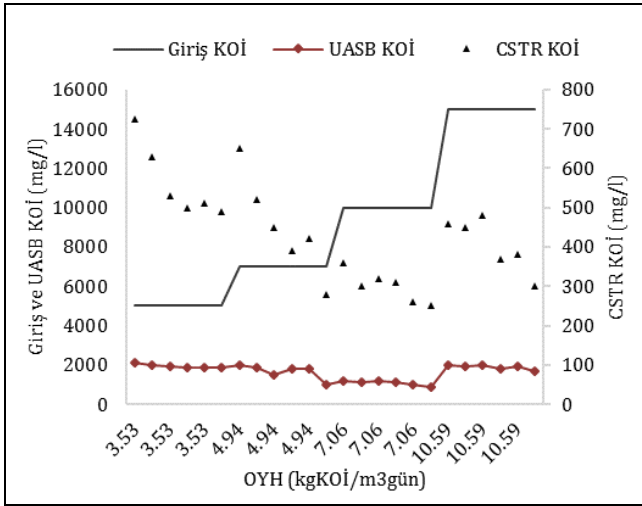
### 3.2 İşletme periyodu

#### 3.2.1 Anaerobik/aerobik reaktör sisteminde KOİ giderimi

Start-up fazından sonra sistem yatışkın duruma gelmiş aerobik reaktör ham besi çiftliği atıksuyu ile beslenmiştir. Anaerobik ve aerobik reaktörler için organik yükleme hızlarına göre çalışma periyodu boyunca ölçülen giriş ve çıkış KOİ konsantrasyonları Şekil 3'te gösterilmektedir. Reaktör, OYH her periyotta artırılarak 21 günlük 4 periyotta işletilmiştir.

Birinci periyotta, OYH 3.53 kgKOİ/m<sup>3</sup>gün olacak şekilde (KOİ=5000 mg/l) ham atıksu ile devreye alınmıştır. Bu periyodun sonunda anaerobik reaktör (UASB) KOİ giderme verimi %66.2 olarak hesaplanmıştır. Aerobik reaktör (CSTR) için ise %71 olarak hesaplanmıştır. Bu süre zarfında çıkış KOİ değeri 5000 mg/l'den 490 mg/l değerine düşürülebilmektedir.





Şekil 3: OYH'lere göre KOİ giderme verimleri.

İkinci periyotta, OYH 4.94 kgKOİ/m<sup>3</sup>gün olacak şekilde (KOİ=7000 mg/l) ham atıksu ile beslenmiştir. Bu periyodun sonunda anaerobik reaktör (UASB) KOİ giderme verimi %85 olarak hesaplanmıştır. Aerobik reaktör (CSTR) için ise %73 olarak hesaplanmıştır. Bu süre zarfında çıkış KOİ değeri 7000 mg/l'den 283 mg/l değerine düşürülebilmektedir.

Üçüncü periyotta, OYH 7.06 kgKOİ/m<sup>3</sup>gün olacak şekilde (KOİ=10000 mg/l) ham atıksu ile beslenmiştir. Bu periyodun sonunda anaerobik reaktör (UASB) KOİ giderme verimi %90.3 olarak hesaplanmıştır. Aerobik reaktör (CSTR) için ise %75.6 olarak hesaplanmıştır. Bu süre zarfında çıkış KOİ değeri 10000 mg/l'den 237 mg/l değerine düşürülebilmektedir.

Dördüncü periyotta, OYH 10.59 kgKOİ/m<sup>3</sup>gün olacak şekilde (KOİ=15000 mg/l) ham atıksu ile beslenmiştir. Bu periyodun sonunda anaerobik reaktör (UASB) KOİ giderme verimi %90 olarak hesaplanmıştır. Aerobik reaktör (CSTR) için ise %80 olarak hesaplanmıştır. Bu süre zarfında çıkış KOİ değeri 15000 mg/l'den 300 mg/l değerine düşürülebilmektedir.

Ağdağ ve Sponza [7] tarafından kentsel atıksu arıtma tesisi sızıntı sularının arıtımı için ardışık 2 kademeli anaerobik/aerobik sistem kullanılmıştır. Yapılan çalışmada en yüksek organik yüklem hızı 16 kgKOİ/m<sup>3</sup>gün olarak ölçülmüştür. UASB reaktörde KOİ giderme verimi %80 civarında gerçekleşirken, aerobik reaktör sonrası KOİ giderme verimi %98'e ulaşmıştır. Hacıabadi ve diğ. [17] yaptıkları çalışmada ise yüksek çamur bekleme sürelerinde, aerobik arıtma verimlerine olumlu yönde etkisi olduğunu vurgulamıştır.

Nualsri ve diğ. [18] yaptıkları çalışmada; bu çalışmanın aksine, iki aşamalı hidrojen ve metan üretimi için önce CSTR ve sonrasında UASB reaktörünü kullanmışlardır. 25 gKOİ/L şeker kamışı şurubundan hidrojen üretmek için CSTR kullanılmış ve CSTR'den gelen hidrojenik atık ise, metan üretimi için doğrudan UASB'ye beslenmiştir. 200 günlük süreç sonunda %97.5 gibi yüksek bir oranda KOİ giderimine ulaşılmıştır. Başlangıç KOİ konsantrasyonu 9.5 gKOİ/L olan peyniraltı sularının, CSTR-UASB reaktörde arttığı farklı bir çalışmada ise %90 KOİ giderme verimi ölçülmüştür [19].

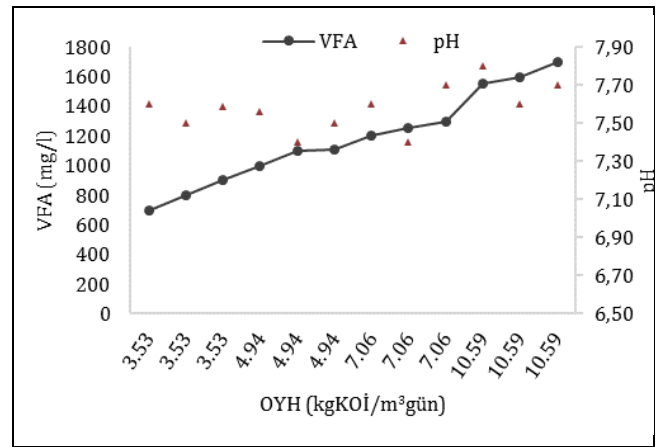
### 3.2.2 Anaerobik/aerobik reaktör sisteminde pH ve VFA değişimi

pH, anaerobik parçalama işlemini etkileyen en önemli parametrelerden biri olarak bilinmektedir. Anaerobik

parçalanmadaki pH, prosesteki mikroorganizmaların enzimatik reaksiyonları ile ilişkilidir ve optimum pH 6.8-7.2 arasında değişmektedir [1]. Bah ve diğ. [20] sığır gübresi ile palm liflerini karıştırarak yaptıkları anaerobik parçalamada, metanojenik mikroorganizmalar için 6.9-8.9 pH aralığının uygun olduğunu belirlemişlerdir. Buna karşılık Cheng ve Zhong [21] pamuk atığı ve sığır gübresi karışımında 6.5 pH'ın uygun olduğunu belirlemişlerdir. Düşük pH anaerobik parçalanmayı yavaşlatacak olmasına rağmen sığır gübresinin tamponlama kapasitesinin yüksek oluşundan dolayı pH ciddi bir değişiklik göstermemiştir.

Bir suyun alkalinitesi, o suyun asitleri nötralize edebilme kapasitesi olarak tanımlanır ve anaerobik çürüme sistemlerinde etkili bir parametredir. Metan üretiminin yüksek seviyelerde olması için pH'ın 7 seviyelerinde olması gerekir. Uçucu yağ asidi konsantrasyonu ise pH'ın bir fonksiyonudur. Reaktörde asidik koşullar oluştuğunda uçucu yağ asidi konsantrasyonları yükselmektedir. Ancak, pH'ın istenilen seviyelere çekilmesi için sodyum bikarbonat (NaHCO<sub>3</sub>), kireç (CaO) ve sodyum karbonat (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) gibi kimyasallar ilave edilebilir [1]. Bu çalışmada, VFA'nın tamponlanması için sisteme sodyum bikarbonat alkalinitesi ilave yapıldığından dolayı yüksek VFA konsantrasyonları görülmemektedir.

VFA ve pH değerleri yukarı akışlı çamur yataklı anaerobik reaktörde her bir organik yüklem boyunca hafta bir kez ölçülmüştür. Artan OYH'lere göre ölçülen pH ve VFA konsantrasyonları Şekil 4'te gösterilmektedir. Şekilden de görüleceği gibi VFA konsantrasyonları OYH'nin artışına paralel olarak artış göstermiştir.



Şekil 4: OYH'ye göre VFA ve pH değişimleri.

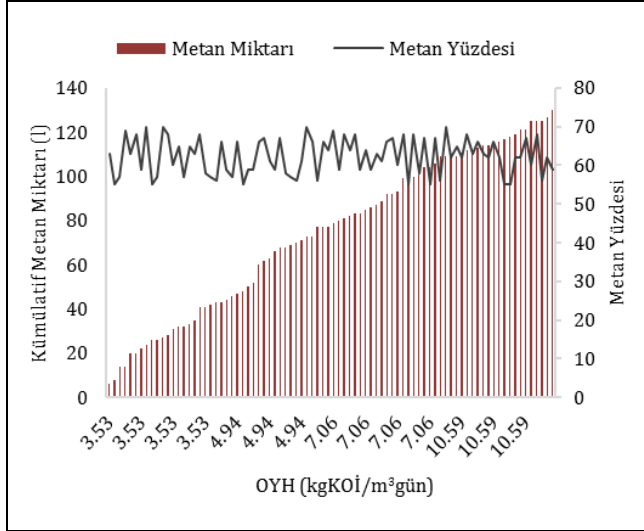
Uçucu yağ asidi konsantrasyonları sızıntı suları ile karşılaştırıldığında daha düşük [7] iken, organik madde miktarı fazla olan peyniraltı atıksuları ile karşılaştırıldığında daha yüksek görülmektedir [22].

Rico ve diğ. [12], tarafından yapılan domuz çiftliği atıksularının UASB reaktörde arıtılmasında, uçucu yağ asidi konsantrasyonları 1300-1800 mg/l arasında değişmiştir. Bu değerler bu çalışmada ölçülen VFA konsantrasyonları ile uyumludur. Cheng ve Zhong [21], yaptıkları çalışmada, pamuk atığının anaerobik arıtılmasında VFA konsantrasyonu 320 mg/l iken pamuk atığı ve sığır gübresi karışımında 3000 mg/l ölçülmüştür. Her iki reaktörde de pH 6.5 civarındadır. Bu çalışmada artan OYH'lere göre VFA değerleri 700-1700 mg/l arasında değişmektedir. Cheng ve Zhong'un çalışmasına benzer şekilde bu yüksek VFA konsantrasyonunda metan inhibe

olmamıştır. Bunun nedeni sığır gübresinin yüksek alkalinite kapasitesidir.

### 3.2.3 Anaerobik reaktör sisteminde gaz üretimi ve kompozisyonu

Çalışma boyunca genel olarak metan yüzdeleri %60-65 arası değişmektedir. Periyotlar arası geçişlerde organik yüklemenin artırılmasına bağlı olarak metan yüzdelerinin de bu geçişlerde düşük miktarlarda azaldığı gözlemlenmiştir. Kümülatif metan miktarı yaklaşık 127.8 l'dir ve Şekil 5'te gösterilmiştir. Metan üretim veriminin ise 0.3-0.35 l/gün(KOI giderilen) aralığında değiştiği hesaplanmıştır.



Şekil 5: OHY'ye göre metan miktarı ve yüzdesi.

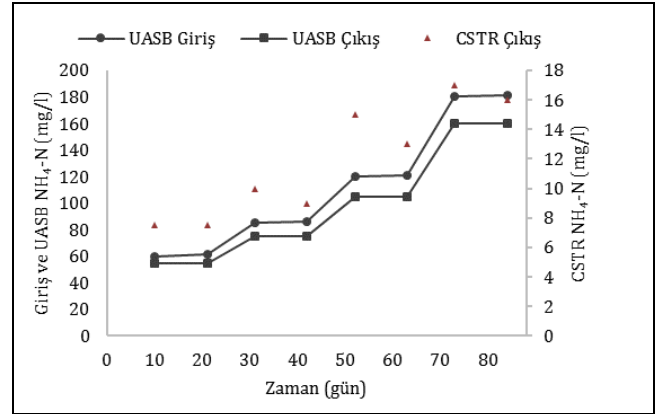
Rico ve diğ. [12], tarafından yapılan domuz çiftliği atıksularının UASB reaktörde arıtılmasında atıksuyun litresi başına 6.1 l metan gazı elde edilmiştir. Risberg ve diğ. [23] yaptıkları çalışmada, sığır gübresi ile buğday samanı kullanılan anaerobik parçalanma işlemi sonucunda elde edilen metan verilerini karşılaştırmışlardır. Sığır gübresi kullanılarak anaerobik parçalanma sonucunda 0.17 l CH<sub>4</sub>/g<sub>(uçucu katı)</sub> şeklinde metan üretimi gerçekleşmiştir. Duan ve diğ. [24], domuz gübresinin anaerobik arıtılması çalışmasında bu değeri 0.44 l CH<sub>4</sub>/g<sub>(uçucu katı)</sub> olarak bulmuşlardır. Tavuk gübresi ve saman karışımının anaerobik arıtılmasında ise bu değer 0.3 l CH<sub>4</sub>/g<sub>(uçucu katı)</sub> olarak bulunmuştur [25]. Koyun, keçi, at ve inek çiftliklerinde altlıklardan alınan atıkların (saman ve hayvan dışkısı karışımı) arıtılması sonucu ise 0.19-0.23 l CH<sub>4</sub>/g<sub>(uçucu katı)</sub> biyometan üretim potansiyeli olduğu görülmüştür [26].

### 3.2.4 Anaerobik/aerobik reaktör sisteminde amonyum azotu giderimi

UASB reaktöre değişik organik yükleme hızlarında yüklenen NH<sub>4</sub>-N konsantrasyonları 61.3-186 mg/l arasındadır. Yapılan deneyler sonucu giriş-UASB reaktörü arasındaki amonyum giderme verimi %8.3-10.2 arasında değişmektedir. Çok düşük miktarlarda gerçekleşen bu giderim anaerobik mikroorganizmaların metabolik faaliyetleri için kullandıkları azottur.

Aerobik sürekli karıştırılmalı tank reaktördeki NH<sub>4</sub>-N kaynağı UASB reaktörden çıkan çıkış suyudur. Çalışma periyotları süresince aerobik reaktöre gelen NH<sub>4</sub>-N konsantrasyonları 56.3-167 mg/l'dir. Şekil 6'da görüldüğü gibi anaerobik UASB reaktöre giren NH<sub>4</sub>-N'in yaklaşık olarak %90'ı biyolojik olarak giderilmeden aerobik tanka verilmektedir. Aerobik reaktörler

NH<sub>4</sub>-N giderimi için çok kullanılan arıtma sistemleridir. Aşağıdaki şekilde de görüldüğü gibi aerobik sistemlerde %90 oranında verim elde edilmiştir.

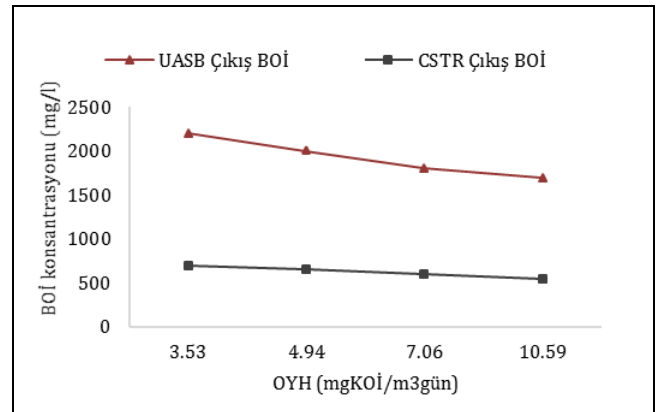


Şekil 6: UASB giriş ve CSTR çıkış amonyum değerleri.

Li ve diğ. [27] tarafından yapılan çalışmada, depolama tesisi sızıntı suyundan azot giderimi amacıyla UASB-Anammox prosesleri kombine edilmiş ve giriş NH<sub>4</sub>-N konsantrasyonu 1900 mg/l'de %99 verim ile 20 mg/l'ye düşürülmüştür.

### 3.2.5 Anaerobik/aerobik reaktör sisteminde BOİ giderimi

Besihane atıksularında da organik madde miktarı yüksek olduğundan biyolojik oksijen ihtiyacı da yüksek çıkmaktadır. Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) değerlerine bakıldığında BOİ / KOİ oranı yaklaşık olarak 0.8 civarındadır. Bu da besihane atıksularının biyolojik parçalanmaya uygun olduğunun bir göstergesidir. Yapılan çalışmada elde edilen organik yüklemelere karşı BOİ konsantrasyonları ve BOİ giderim verimleri Şekil 7'de görülmektedir. Anaerobik reaktörde BOİ giderimi %44.2-86.2 arasındadır. Anaerobik reaktörde belli bir konsantrasyona düşürülen biyolojik oksijen ihtiyacı aerobik reaktörde daha yüksek bir verimle giderilmiştir. Aerobik reaktördeki BOİ giderme verimi %66-69 arasında değişmektedir.



Şekil 7: OHY'ye karşılık gelen UASB ve CSTR için BOİ konsantrasyonları

OYH 3.54 kgKOİ/m<sup>3</sup>gün iken UASB reaktör giriş besihane atıksuyu KOİ konsantrasyonu 5000 mg/l'dir. Aynı OYH'de ölçülen giriş BOİ konsantrasyonu 3940 mg/l'dir. Aynı şekilde OYH 4.94, 7.06 ve 10.06 kgKOİ/m<sup>3</sup>gün iken ölçülen UASB reaktör giriş BOİ konsantrasyonları sırasıyla 5490, 8265 ve 12390 mg/l'dir.

#### 4 Sonuçlar

Hayvanlardan kaynaklı yüksek organik kirliliğe sahip atıksuların arıtılmadan doğaya karışmasının hem su kaynakları hem de tarım alanları için olumsuz etkilere neden olduğu bilinmektedir. Bu tür atıksuların anaerobik ardından aerobik olarak arıtılması üzerine çalışılmış KOİ, BOİ, pH, AKM, NH<sub>4</sub>-N, VFA, metan miktarı ve yüzdesi parametreleri ölçülmüştür.

UASB ve/veya CSTR reaktörler için aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Toplam gazın yaklaşık %62'sinin CH<sub>4</sub> olduğu tespit edilmiş ve kümülatif metan miktarı 127.8 l ölçülmüştür,
- En iyi KOİ giderimi, 10.59 kgKOİ/m<sup>3</sup> gün OYH'de UASB reaktör için %90 ve CSTR için %80 olup 15000 mg/l UASB giriş KOİ konsantrasyonu CSTR çıkışında 300 mg/l'ye düşmüştür,
- VFA konsantrasyonları, OYH'nin artışına paralel olarak artış göstermiş olup 700 mg/l'den 1700 mg/l'ye çıkmıştır,
- Çalışma periyotları süresince aerobik reaktöre gelen NH<sub>4</sub>-N konsantrasyonları 56.3-167 mg/l'dir. UASB reaktörde %10'u bile giderilemezken CSTR reaktörde yaklaşık %90 giderim verimi elde edilmiştir,
- En iyi BOİ giderimi, 10.59 kgKOİ/m<sup>3</sup>gün OYH'de UASB reaktör için %86.2 ve CSTR için %69'dur. UASB giriş BOİ konsantrasyonu 12390 mg/l'den CSTR çıkışında 540 mg/l'ye düşmüştür.

Bu ölçümlerin sonucunda elde edilen veriler ışığında besi çiftliği atıksularının pilot ölçekli anaerobik/aerobik sisteminde arıtılabilirliği ortaya konulmuştur. Bu yöntemin besi çiftliklerinde kullanılması, oluşan atıksuların çevreye verdiği zararı en aza indirebileceği gibi üretilen biyogazdan da enerji eldeşyle ülke ekonomisine fayda sağlayıp enerjide sürdürülebilirlik sağlanacaktır.

#### 5 Kaynaklar

- [1] Neshat SA, Mohammadi M, Najafpour GD, Lahijani P. "Anaerobic co-digestion of animal manures and lignocellulosic residues as a potent approach for sustainable biogas production". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 308-322, 2017.
- [2] Özyürek E. Çiftlik Atıksularının Arıtılabilirliği Ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2008.
- [3] Karaman S. "Hayvansal üretimden kaynaklanan çevre sorunları ve çözüm olanakları". *Journal of Science and Engineering*, 9, 133-139, 2006.
- [4] Cornejo C, Wilkie AC. "Greenhouse gas emissions and biogas potential from livestock in Ecuador". *Energy for Sustainable Development*, 14, 256-266, 2010.
- [5] Tsai WT, Lin CI. "Overview analysis of bioenergy from livestock manure management in Taiwan". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 2682-2688, 2009.
- [6] Tufaner F. "Investigation of biogas production potential and adaptation to cattle manure of anaerobic floccular sludge seed". *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 7, 183-190, 2016.
- [7] Ağdağ ON, Sponza DT. "Anaerobic/aerobic treatment of municipal landfill leachate in sequential two-stage up-flow anaerobic sludge blanket reactor (UASB)/completely

- stirred tank reactor (CSTR) systems". *Process Biochemistry*, 40, 895-902, 2005.
- [8] Ağdağ ON, Sponza DT. "Sequential anaerobic, aerobic/anoxic treatment of simulated landfill leachate". *Environmental Technology*, 29, 183-197, 2008.
- [9] Li X, Zhang R, Pang Y. "Characteristics of dairy manure composting with rice straw". *Bioresource Technology*, 99, 359-367, 2008.
- [10] Roos K. "A comparison of dairy cattle manure management with and without anaerobic digestion and biogas utilization". U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA, 2004.
- [11] Amuda OS, Alade A. "Coagulation/flocculation process in the treatment of abattoir wastewater". *Desalination*, 196, 22-31, 2006.
- [12] Rico C, Montes JA, Rico JL. "Evaluation of different types of anaerobic seed sludge for the high rate anaerobic digestion of pig slurry in UASB reactors". *Bioresource Technology*, 238, 147-156, 2017.
- [13] Kougiou PG, Kotsopoulos TA, Martzopoulos GG. "Effect of feedstock composition and organic loading rate during the mesophilic co-digestion of olive mill wastewater and swine manure". *Renewable Energy*, 69, 202-207, 2014.
- [14] Speece RE. "Anaerobic biotechnology for industrial wastewater treatment". *Environmental Science & Technology*, 17, 416A-427A, 1983.
- [15] APHA. *Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater*. Washington, DC, American Public Health Association, 1992.
- [16] Anderson, G.K. Yang G. "Determination of bicarbonate and total volatile acid concentration in anaerobic digesters using a simple titration". *Water Environment Research*, 64, 53-59, 1992.
- [17] Hajiabadi H, Moghaddam MRA, Hashemi SH. "Effect of sludge retention time on treating high load synthetic wastewater using aerobic sequencing". *Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 6, 217-222, 2009.
- [18] Nualsri C, Kongjan P, Reungsang A. "Direct integration of CSTR-UASB reactors for two-stage hydrogen and methane production from sugarcane syrup". *International Journal of Hydrogen Energy*, 41, 17884-17895, 2016.
- [19] Diamantis VI, Kapagiannidis AG, Ntougias S, Tatakis V, Melidis P, Aivasidis A. "Two-stage CSTR-UASB digestion enables superior and alkali addition-free cheese whey treatment". *Biochemical Engineering Journal*, 84, 45-52, 2014.
- [20] Bah H, Zhang W, Wu S, Qi D, Kizito S, Dong R. "Evaluation of batch anaerobic co-digestion of palm pressed fiber and cattle manure under mesophilic conditions". *Waste Management*, 34, 1984-1991, 2014.
- [21] Cheng XY, Zhong C. "Effects of feed to inoculum ratio, co-digestion, and pretreatment on biogas production from anaerobic digestion of cotton stalk". *Energy & Fuels*, 28, 3157-3166, 2014.
- [22] Uyum S. Peyniraltı Atıksularının Anaerobik Hibrit Reaktör/Aerobik Sürekli Karıştırmalı Tank Reaktör Sistemlerinde Arıtılabilirliğinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye, 2011.
- [23] Risberg K, Sun L, Levén L, Horn SJ, Schnürer A. "Biogas production from wheat straw and manure - Impact of pretreatment and process operating parameters". *Bioresource Technology*, 149, 232-237, 2013.

- [24] Duan N, Zhang D, Lin C, Zhang Y, Zhao L, Liu H, Liu Z. " Effect of organic loading rate on anaerobic digestion of pig manure: Methane production, mass flow, reactor scale and heating scenarios". *Journal of Environmental Management*, 231, 646-652, 2019.
- [25] Hassan M, Umar M, Ding W, Mehryar E, Zhao C. " Methane enhancement through co-digestion of chicken manure and oxidative cleaved wheat straw: Stability performance and kinetic modeling perspectives". *Energy*, 141, 2314-2320, 2017.
- [26] Riggio S, Torrijos M, Debord R, Esposito G, Hullebusch E D, Steyer J P, Escudie R. " Mesophilic anaerobic digestion of several types of spent livestock bedding in a batch leach-bed reactor: substrate characterization and process performance". *Waste Management*, 59, 129-139, 2017.
- [27] Li X, Yuan Y, Wang F, Huang Y, Qiu Q, Yi Y, Bi Z. "Highly efficient of nitrogen removal from mature landfill leachate using a combined DN-PN-Anammox process with a dual recycling system". *Bioresource Technology*, 265, 357-364, 2018.