



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK AZOT İÇERİKLİ ATIKSULARIN
ARITIMINDA YAVAŞ AYRIŞAN ORGANİK
MADDENİN FARKLI SICAKLIKLARDA
NİTRİTASYON KİNETİĞİNE ETKİSİNİN
BELİRLENMESİ

Beyza SAĞKAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Beyza SAĞKAN tarafından hazırlanan “Yüksek Azot İçerikli Atıksuların Arıtımında Yavaş Ayrışan Organik Maddenin Farklı Sıcaklıklarda Nitritasyon Kinetiğine Etkisinin Belirlenmesi” adlı tez çalışması 03/01/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Mehmet Faik SEVİMLİ

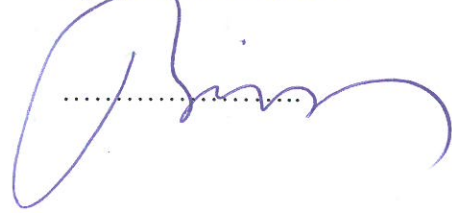
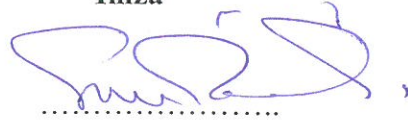
Danışman

Prof. Dr. Dilek ERDİRENÇELEBİ

Üye

Prof. Dr. Bilgehan NAS

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Yakup KARA
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması SU BAP Koordinatörlüğü tarafından 18201029 nolu tez projesi ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



Beyza SAĞKAN

Tarih: 03.01.2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YÜKSEK AZOT İÇERİKLİ ATIKSULARIN ARITIMINDA YAVAŞ AYRIŞAN ORGANİK MADDENİN FARKLI SICAKLIKLARDA NİTRİTASYON KİNETİĞİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

BEYZA SAĞKAN

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Dilek ERDİRENÇELEBİ

2019, 60 Sayfa

Jüri
Prof. Dr. Dilek ERDİRENÇELEBİ
Prof. Dr. Mehmet Faik SEVİMLİ
Prof. Dr. Bilgehan NAS

Yüksek amonyum azotu içerikli atıksuların (anaerobik arıtım çıkış suları, hayvan çiftliği atıksuları, katı atık depolama sızıntı suları ve gübre sanayi atıksuları) arıtımında uygulanan kısa-yol biyolojik azot giderimi teknolojisi nitrit üzerinden azot giderimi ile klasik nitrifikasyon-denitrifikasyon yöntemine göre oksijen ve alkalinite ihtiyacında %25 ve oluşan atık çamurda %30 tasarruf sağlamaktadır. İlk basamak proses olan amonyumun nitrite oksitlenmesi nitritasyon olarak adlandırılmakta ve proses kontrol parametreleri ile ikinci basamak nitratasyonun (nitritin oksidasyonu) engellenmesi sağlanmaktadır. Kentsel atıksu arıtma tesisinde oluşan anaerobik çamur çürütücü suyu (AÇSS) ve sentetik atıksu (SnA) ile gerçekleştirilen ardışık kesikli reaktör (AKR) çalışmasında aynı sıcaklık ve biyokütle şartlarında nitritasyon reaksiyonu paralel yürütülerek organik madde varlığı ve sıcaklık etkisinin (25, 30 ve 35°C) proses kinetik ve performansına etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada her sıcaklık için üç substrat (NH_4^+) seviyesi (130±20; 230±20; 340±30 mg N/L) uygulanmıştır. Nitritasyon her iki atıksu için de 0. derece kinetikle gerçekleşmiştir. En yüksek amonyum giderim hızı 35°C'de SnA ve AÇSS için ikinci substrat seviyesinde benzer değerlerde sırasıyla 0,072 g N/g UKM.sa (1,73 g N/g UKM.gün) ve 0,071 g N/g UKM.sa (1,7 g N/g UKM.gün) olarak elde edilmiştir. Bikarbonat tüketim oranı ise SnA için 1,92-3,56 g CaCO_3 /g N ve AÇSS için 2,98-4,72 CaCO_3 /g N olarak teorik değer altında gerçekleşmiştir. SnA nitritasyonunda amonyum azotunun %35-59 ve %29-65'i sırasıyla nitrit ve nitrate, AÇSS arıtımında %23-58 ve %13-74'ü sırasıyla nitrit ve nitrate kadar oksitlenirken, azot kaybı SnA ve AÇSS için sırasıyla %5,7-22,6 ve %8,2-63 aralığında gerçekleşmiştir. Serbest nitroz asit (SNA) 0,1-6,56 $\mu\text{g/L}$ (SnA) ve 0-7,7 $\mu\text{g/L}$ (AÇSS) aralığında, serbest amonyak (SA) ise tüm substrat seviyelerinde AÇSS nitritasyonunda 10-68 mg/L olarak toksik seviyede gerçekleşmiştir. İki reaktör işletimi arasında önemli farklar; nitrat oluşumu, pH seviyesi, çökeltme özelliği ve toksik SA seviyeleri olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Atıksu, biyolojik azot giderimi, nitritasyon, kinetik, işletim, AKR.

ABSTRACT

MS THESIS

DETERMINATION OF THE SLOWLY-DEGRADING ORGANIC MATTER ON NITRITATION KINETICS IN THE TREATMENT OF HIGH NITROGEN CONTAINING WASTEWATERS AT DIFFERENT TEMPERATURES

Beyza SAĞKAN

Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Environmental Engineering

INSTITUTE FOR GRADUATE STUDY
KONYA TECHNICAL UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN ENVIRONMENTAL
ENGINEERING

Advisor: Prof. Dr. Dilek ERDİRENÇELEBİ

2019, 60 Pages

Jury

Prof. Dr. Dilek ERDİRENÇELEBİ
Prof. Dr. Mehmet Faik SEVİMLİ
Prof. Dr. Bilgehan NAS

Short-cut biological nitrogen removal (SBNR) processes have become preferred technologies due to the cost savings in the treatment of high ammonium nitrogen containing wastewaters. Nitritation, conversion of ammonium to nitrite nitrogen via biological oxidation, is the first stage reaction which has to be procured before denitrification with hindered nitratation via operational control. High ammonium containing wastewaters as anaerobic reject water (ARW), manure wastewaters, landfill leachate and industrial wastewaters are varied but similar in nitrogen and organic matter type. Effect of the slowly degrading organic matter and temperature (25, 30 and 35°C) was investigated on nitritation process kinetics and performance comparatively in parallel sequential batch reactors (SBR) for synthetic wastewater (SW) and ARW. In the study, three substrate (NH_4^+) levels (130±20; 230±20; 340±30 mg N/L) were applied at each temperature level. Nitritation proceeded with 0. degree kinetics for both wastewaters. Highest ammonium removal rate was obtained at the second substrate level and 35 °C as 0.072 g N/g VS.hr (1.73 g N/g VS.day) and 0.071 g N/g VS.hr (1.7 g N/g VS.day) for SW and ARW, respectively. The rate of bicarbonate consumption was 1.92-3.56 g CaCO_3 /g N (SW) and 2.88-4.72 CaCO_3 /g N (ARW). N conversions were obtained as 35-59% and 23-58% to nitrite and 29-65% and 13-74% to nitrate for SW and ARW, respectively. Nitrogen loss was %5.7-22.6 ve %8.2-63 for SW and ARW, respectively. Free nitrous acid (FNA) was produced in the range 0.1-6.56 $\mu\text{g N/L}$ and 0-7.7 $\mu\text{g N/L}$ for SW and ARW, respectively. Free ammonia (FA) was produced at toxic levels as 10-68 mg N/L in ARW nitritation at all substrate levels. Significant differences between the reactor operations were obtained as nitrate formation, settling ability, pH level and toxic FA level.

Keywords: Wastewater, biological nitrogen removal, nitritation, kinetics, operation, SBR.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmam süresince bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım danışman hocam Sayın Prof. Dr. DİLEK ERDİRENÇELEBİ'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Laboratuvar çalışmam süresince yardımını esirgemeyen Arş. Gör. HAMZA AYSAN'a teşekkür ederim. Çalışmam için atıksu temin ettiğim KOSKİ Atıksu Dairesi Başkanlığına teşekkür ederim.

Ve son olarak, eğitim hayatım boyunca yanımda olan ve tez çalışmam boyunca desteklerini esirgemeyen aileme çok teşekkür ederim.

Beyza SAĞKAN
KONYA-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	2
2.1. Biyolojik Azot Giderim Prosesleri	2
2.1.1. Konvansiyonel Biyolojik Prosesler	2
2.1.2. Kısa Yol Biyolojik Azot Giderimi	3
2.1.2.1. SHARON	4
2.1.2.2. kısmi Nitritasyon + ANAMMOX	6
2.2. Ardışık Kesikli Reaktör	7
2.3. Anaerobik Çamur Süzüntü Suları	9
2.4. Nitritasyon Çalışmaları	10
3. MATERYAL VE YÖNTEM	14
3.1. Atıksu Karakteristiği.....	14
3.2. Reaktör ve İşletim.....	14
3.3. İzleme.....	14
3.4. Analizler	15
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	16
4.1. 25 °C’de Kinetik Çalışma Sonuçları	16
4.1.1. Birinci Substrat Seviyesi	16
4.1.2. İkinci Substrat Seviyesi.....	20
4.1.3. Üçüncü Substrat Seviyesi.....	23
4.2. 30 °C’de Kinetik Çalışma Sonuçları	27
4.2.1. Birinci Substrat Seviyesi	27
4.2.2. İkinci Substrat Seviyesi.....	32
4.2.3. Üçüncü Substrat Seviyesi.....	35
4.3. 35 °C’de Kinetik Çalışma Sonuçları	38
4.3.1. Birinci Substrat Seviyesi	40
4.3.2. İkinci Substrat Seviyesi.....	42
4.3.3. Üçüncü Substrat Seviyesi.....	45
4.4. Değerlendirme ve Tartışma	50

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	54
5.1. Sonuçlar	54
5.2. Öneriler	55
KAYNAKLAR	56
ÖZGEÇMİŞ.....	60



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

HCO₃⁻: Bikarbonat
HNO₂: Serbest nitroz asit
NH₄⁺: Amonyum
NH₃: Serbest amonyak
NO₂⁻: Nitrit
NO₂⁻-N: Nitrit azotu
NO₃⁻: Nitrat
NO₃⁻-N: Nitrat azotu

Kısaltmalar

AAT: Atıksu Arıtma Tesisi
AÇSS: Anaerobik Çamur Süzüntü Suyu
AGH: Amonyum Giderim Hızı
AKR: Ardışık Kesikli Reaktör
ANAMMOX: Anaerobik Amonyum Oksidasyonu
AOB: Amonyum Oksitleyen Bakteri
NOB: Nitrit Oksitleyen Bakteri
AYH: Amonyum Yükleme Hızı
BOİ: Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
BTO: Bikarbonat Tüketim Oranı
BGH: Bikarbonat Giderim Hızı
ÇO: Çözünmüş Oksijen
HBS: Hidrolik Bekletme Süresi
ÇBS: Çamur Bekletme Süresi
KM: Katı Madde
KOİ: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
KSUKM: Karışık Sıvı Uçucu Katı Madde
MA: Moleküler Ağırlık
ORP: Oksidasyon-Redüksiyon Potansiyeli
SA: Serbest Amonyak
SNA: Serbest Nitroz Asit
SnA: Sentetik Atıksu
TOK: Toplam Organik Karbon
UKM: Uçucu Katı Madde

1. GİRİŞ

Evsel ve endüstriyel atıksularda bulunan Azot alıcı ortamda ötrifikasyona ve birçok çevre problemine neden olduğundan dolayı amonyum azotu kentsel atıksu arıtma tesislerinde (AAT) konvansiyonel nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesi ile giderilmektedir. Ancak yüksek oksijen ve ilave alkalinite ihtiyacından dolayı özellikle hayvan çiftliği atıksuları, katı atık depolama sızıntı suları, gübre sanayi atıksuları ve anaerobik arıtım çıkış suları gibi yüksek azot içeren atıksulardan azot gideriminde yüksek işletim maliyeti gerektirmektedir (Erdirençelebi ve ark, 2015).

Anaerobik çamur çürütme süzüntü suyu (AÇSS) evsel AAT azot yükünün %20-30'unu içerebilmekte ve genelde tesis başına geri gönderilerek ana hat arıtımın azot yükünü arttırmakta ve performansını düşürmektedir (Mace ve Mata-A'lvarez, 2002). Oluşan işletim problemlerini çözmek, enerji ve kimyasal maliyetini minimize etmek amacıyla yan akım azot arıtımı için yeni prosesler geliştirilmiştir.

Kısa-yol azot giderimi, Tek Reaktör Nitrit Üzerinden Yüksek Hızlı Amonyum Giderimi (SHARON) prosesi ile başlamış ve ardışık nitritasyon-denitritasyon prosesine dönüşerek yan akım azot arıtımında yaygın olarak uygulanmaya başlanmıştır (Abeling ve ark, 1992; STOWA, 2006).

1.1. Çalışmanın Amaç ve kapsamı

Bu tez çalışması ile yüksek azot ve yavaş ayrışan organik madde içeren AÇSS'nun kısa-yol biyolojik azot giderimi ilk basamak reaksiyonu olan nitritasyon sürecinde organik madde ve sıcaklık etkisi ile (25, 30 ve 35°C) proses kinetik ve özelliklerinin ortaya konması amaçlanmıştır.

Çalışma kapsamında sentetik atıksu (SnA) ile paralel olarak yavaş ayrışır organik madde içeren AÇSS nitritasyon prosesi çalışılmış ve amonyum oksidasyonu, bikarbonat tüketim reaksiyon kinetiği, substrat ve sıcaklığın yanısıra pH'ya bağlı olarak konsantrasyonu değişen toksik türlerin oluşumu ve etkisi belirlenmiştir. Elde edilen veriler ile yüksek azot içeren atıksulardan kısa-yol biyolojik azot giderimi ilk basamak azot çevriminde proses performansını etkileyen faktörler belirlenmiştir.

2. K AYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Biyolojik Azot Giderim Prosesleri

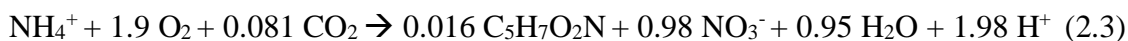
2.1.1. Konvansiyel Biyolojik Prosesler

Atıksu arıtımda azot gideriminde kullanılan konvansiyel biyolojik proses, aerobik nitrifikasyon ve anoksik denitrifikasyon proseslerinden oluşmaktadır.

Nitrifikasyon, amonyak azotunun oksitlenerek nitrat azotuna biyolojik dönüşümüdür. Bu prosesler, *Nitrosomonas* ve *Nitrobakter* gruplarına mensup ototrof bakterilerce gerçekleştirilir. Nitrifikasyon, iki adımlı biyokimyasal bir reaksiyonudur (Denk. 2.1 ve 2.2) (Metcalf ve Eddy, 2004):



Biyolojik nitrifikasyonun genel stokiyometrisi Denklem 2.3'de ve önemli parametreleri Çizelge 2.1'de verilmiştir:



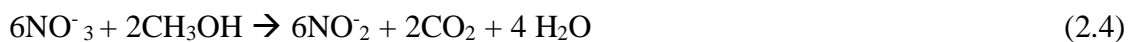
Çizelge 2.1. Nitrifikasyonun önemli parametreleri (EPA, 1993)

Parametre	Değeri
Sıcaklık	25 – 35 °C
pH	7.5-9.0
Çözülmüş oksijen konsantrasyonu	> 2 mg/l
Gerçek oksijen ihtiyacı	4.34 mg O ₂ /mg NH ₄ ⁺ – N
Biyokütle (çamur) üretimi	0.13 mg UAKM/mg NH ₄ ⁺ – N
Alkalinite	7.07 mg alkalinite (CaCO ₃) /mg NH ₄ ⁺ – N

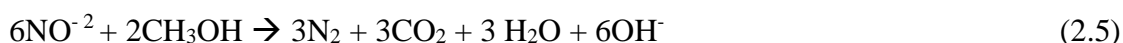
Denitrifikasyonun anoksik şartını sağlamak için serbest oksijenin 0.5 mg/l'ın altında olması gerekmektedir. Organik karbon ise elektron verici olarak sağlanmalıdır. Bu prosesi gerçekleştiren, *Achromobacter*, *Bacillus*, *Brevibacterium*, *Enterobacter*,

Micrococcus, *Pseudomonas*, *Spirillum* fakültatif veya aerobik heterotrofik bakterileridir (Rittmann ve McCarty, 2001). İşletim özellikleri Çizelge 2.2’de verilen denitrifikasyon, iki adımlı bir prosesdir (denklem 2.4 ve 2.5)(Metcalf ve Eddy, 2004):

1. Nitratın indirgenmesi:



2. Nitritin indirgenmesi:



Çizelge 2.2. Denitrifikasyonun işletim özellikleri

Parametre	Değeri
Sıcaklık	10- 30 °C
pH	6.5-8.0
Metanol ihtiyacı	2.47 mg/mg NO ₃ ⁻
Karbon ihtiyacı	3.7 g BOİ _u /g NO ₃ ⁻
Alkalinite üretimi	3.57 mg/mg NO ₃ ⁻
Biyokütle üretimi	0.52 g UAKM/g NO ₃ ⁻

Genel reaksiyon Denklem 2.6’da verilmiştir (Metcalf ve Eddy, 2004):



2.1.2. Kısa Yol Biyolojik Azot Giderimi

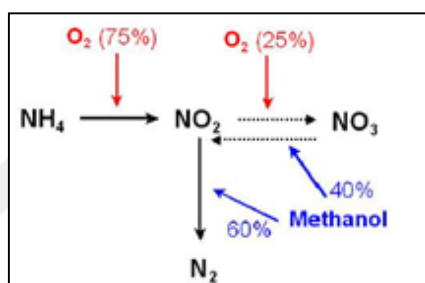
Kısmi nitrifikasyon prosesinde amonyum, nitrat yerine nitrite dönüştürülür. Bu proseste amonyum oksitleyici bakteri (AOB) olarak *Nitrosomonas europaea*, *Nitrosomonas eutropha*, *Nitrosolobus sp.*, *Nitrosospira sp.*, *Nitrosococcus sp.* ve *Nitrosovibrio sp.* görev yapar (Van de Graaf ve ark., 1996; Peng ve Zhu, 2006).

N gideriminde nitrat yerine nitritin kullanımıyla enerji ve organik madde tasarruf edilir. Yüksek amonyum içeren atıksular için gereken enerjinin %80 den fazlası havalandırma enerjisine gitmektedir (Mulder ve ark., 2006).

Avantajları:

- %25'ten az havalandırma,
- %40'tan az karbon ihtiyacı,
- %30'dan az çamur oluşumu,
- Reaksiyon 1.5-2 kat daha hızlıdır,
- %20'den az CO₂ emisyonu,

şeklinde oluşmaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Kısa-yol Azot Giderimi

2.1.2.1. SHARON (Single reactor high-rate ammonium removal over nitrite)

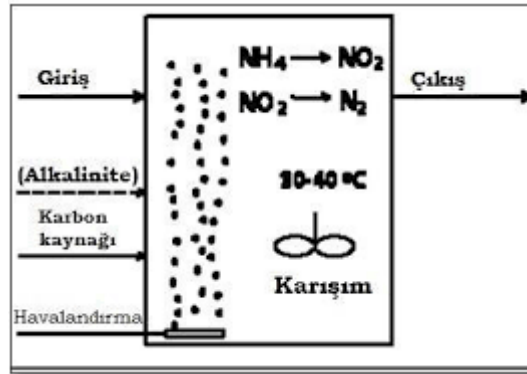
SHARON prosesi, yüksek amonyum içeren atıksuların (AÇSS, anaerobik arıtım çıkış suları ve çöp sızıntı suları) arıtılmasında uygulanır (STOWA, 2006; Sri Shalini ve Joseph, 2012)). Tek ve tam karışimli reaktörde aerobik ve 30-40 °C sıcaklık şartında amonyum azotu nitrit azotuna, sonrasında anoksik şartlar ve organik karbon ilavesi ile nitrit azotu azot gazına dönüştürülür (Şekil 2.2-2.3). Nitrifikasyonun nitritte kalması için sürekli aktif çamur beslemeli çamur bekletmesiz; hidrolik bekletme süresi (HBS) ve çamur bekletme süresi (ÇBS) birbirine eşit olacak şekilde uygulanır. Anaerobik amonyum oksidasyonu (Anammox) öncesi uygulandığında ise amonyum azotunun yarısı nitrite dönüştürülür ve anoksik faz uygulanmaz. Bu işletim prosesi güncel olarak nitritasyon+Anammox olarak adlandırılmaktadır. Prosesin işletim şartları Çizelge 2.3'te sunulmuştur (Van Hulle ve ark, 2007; Mulder ve ark., 2006).

Çizelge 2.3.
prosesinin
özellikleri

Parametre	Değeri
HBS:ÇBS	1-2 gün
Sıcaklık	35-45 °C
pH	6.5-8.0
Amonyum giderimi	%94 (ortalama)
Azot giderimi	%88
Organik C ihtiyacı	2.4 g BOI _u /g NO ₂ ⁻

SHARON
işletim

Şekil 2.2. SHARON prosesinin uygulandığı reaktörler



Şekil 2.3. SHARON Prosesi

SHARON prosesi yüksek azot, düşük KOI içeren atıksular için gerçek ölçekli uygulanmaktadır (Carrio ve ark., 2003; Van der Star ve ark., 2007). Tek reaktör konfigürasyonunda aerobik/anoksik ardışık fazlar sağlanmakta ve tam karışimli, çamur bekletmesiz sistemde nitrit denitrifikasyonu için ilave organik karbon kaynağı da sağlanmaktadır. Rotterdam-Dokhaven AAT'nde AÇSS'nun yan akım arıtımında SHARON uygulamasıyla tesis çıkış amonyum konsantrasyonu yaklaşık %50 azalmıştır.

Utrecht AAT'nde benzer şekilde toplam azot giderim verimliliği %65'den %75'e arttırılmıştır.

SHARON prosesinde giderilen nitrit başına 2,4-3 g KOİ ihtiyacı vardır. Bu proseste kullanılan ve kullanılabilen Organik C/KOİ kaynakları;

- Metanol,
- Biyoyakıt üretiminden elde edilen yan ürünler (metanole göre 4 kat ucuz),
- Çamur kurutma kondense suları (bedava),
- Endüstriyel atıklar (ucuz),

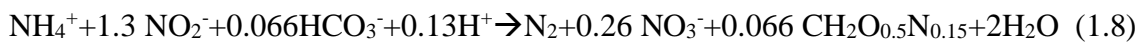
olmaktadır.

2.1.2.2. Kısmi Nitritasyon + ANAMMOX

ANAMMOX (Anaerobik Amonyum Oksidasyonu) ototrofik amonyum oksidasyonu prosesinde anaerobik şartlarda *Planctomyces* grubu bakteriler tarafından elektron alıcı olarak nitritin kullanımıyla elektron verici NH_4^+ , N_2 'na dönüştürülür (Mulder ve ark., 1995, Jetten ve ark., 2001; Khin ve Annachhatre, 2004). İki adımlı proses iki reaktörde gerçekleşir: 1.basamakta kısmi nitritasyon ve 2.basamakta ANAMMOX reaksiyonları gerçekleştirilir. Ön basamak arıtımda amonyum azotunun kısmi olarak nitrite çevrimi gereklidir. Reaksiyonun nitrite kalması için yüksek sıcaklık (30–35°C) ve çamur bekletmesiz kısa HBS (1–2 g) uygulanmalıdır.

ANAMMOX prosesine giriş suyunda stokiometrik oran ($\text{NO}_2^- \text{-N} : \text{NH}_4^+ \text{-N}$) 1.3 olmalıdır. Organik karbon ihtiyacı yoktur. ANAMMOX bakterisi *Planctomyces* özel bir bakteri grubudur ve bazı giriş atıksu özellikleri sağlanmalıdır (Strous ve ark., 1997, 1999). Bu düşük maliyetli proseste %50 oksijen tasarrufu sağlanmaktadır (Güven ve ark., 2003). İşletim özellikleri Çizelge 2.4'te sunulmuştur (Güven ve ark., 2003; Jetten ve ark., 2001; Strous ve ark., 1999).

ANAMMOX prosesinin genel reaksiyonu Denklem 1.8'de sunulmuştur (Strous ve ark., 1999):



Kısmi nitritasyon + Anammox yüksek azot ve düşük organik madde içeren atıksulardan azot bileşiklerinin giderimi için etkin bir alternatiftir (Dapena-Mora ve ark., 2010).

Klasik nitrifikasyon-denitrifikasyon süreçleri ile kıyaslandığında;

- biyolojik parçalanabilir organik karbon gerektirmemesi,

en az % 50 daha az oksijen tüketmesi ile işletme maliyetini % 90 azaltmaktadır (Chen ve ark, 2013).

Çizelge 2.4. ANAMMOX prosesinin işletim özellikleri

Parametre	Değeri
pH	6.7-8.3
Sıcaklık	20-43 °C
HBS	5 g
Amonyum giderimi	%90
Nitrit giderimi	%99
Karbon ihtiyacı	Yok
Biyokütle üretimi	Düşük
Çamur üretimi	Az
NO_2^- -N: NH_4^+ -N _{Giriş}	1.3
$\text{ÇO}_{\text{Giriş}}$	<0.5 mg/L

Kısa yol azot gideriminde kullanılan prosesler kıyaslandığında Anammox içeren tamamen ototrofik yöntemin en ekonomik ve hızlı olduğu kabul edilmektedir (Çizelge 2.5). Bu prosesin uygulanabilmesi için atıksuyun ihmal edilir seviyede ayrışabilir organik madde içermesi gerekmektedir. İşletimde ilk basamak kısmi nitritasyonun kararlı halde sürdürülmesi, prosesin en zayıf yanını oluşturmaktadır.

2.2. Ardışık Kesikli Reaktör (AKR)

AKR, özellikle nütrient gideriminde yaygın kullanılan reaktör tipidir. Reaktörün avantajları aşağıdaki gibi sayılabilir (Bernardes ve Klapwijk, 1996; Singh ve Srivastava, 2011):

- Kolay proses uygulaması,
- Esnek işlemdir.

Çizelge 2.5. Azot gideriminde kullanılan proseslerin kıyaslaması

Sistem	SHARON (SBNR)	ANAMMOX	Konvansiyel nitrifikasyon, denitrifikasyon
Reaktör sayısı	1	1	2
Besi maddesi	Atıksu	Amonyum nitrit karışımı	Atıksu
Deşarj	N ₂	N ₂ , NO ₃ ⁻	N ₂
Şart	Oksik	Anoksik	Oksik; anoksik
Oksijen ihtiyacı	Orta	Yok	Yüksek
pH kontrolü	Yok	Yok	Var
Çamur Alıkonma	Yok	Var	Yok
KOI ihtiyacı	Var	Yok	Var
Çamur üretimi	Düşük	Düşük	Yüksek
Hacimsel Yükleme (kg N/m ³ g)	1	6-12	0.05-4
Bakteri	AOB	Planctomycetes	AOB + çeşitli heterotroflar

- Esnek işletim olanağı,
- Mevcut tesislere kurulum imkanı,
- Yüksek çamur yaşı eldesi,
- %90'ın üzerinde toplam azot giderimi,
- Havalandırma maliyetinde %25 tasarruf,
- Az, spesifik ve iyi çökelen çamur oluşumu

sağlar. Reaktörün işletme prensibi aşağıda belirtildiği gibidir:

- Bütün prosesler bir reaktörde gerçekleşir,
- Aerobik/oksik ve anoksik fazlar ardışık uygulanır,

- Bir günde 4-6 devre uygulanabilirliği (evsel atıksu için),
- 5'e kadar kademeli proses:
 1. *Doldurma*,
 2. *Reaksiyon*; belirli şartlarda (aerobik, anaerobik, anoksik, karışım) biyokütle substratı tüketir. Bu şekilde azot (nitrifikasyon, denitrifikasyon) ve fosfor giderimi uygulanır.
 3. *Çöktürme*; havalandırma ve karışım durdurulur. Biyokütle statik halde çöktürülür.
 4. *Boşaltma*; biyokütleden ayrılan üst su (çıkış suyu) ayrılır.
 5. *Durma*; birkaç reaktör (çoklu tank sistemi) kullanıldığı zaman bir reaktörde doldurma fazı bitince başka reaktöre bağlanma süresidir.

2.3. AÇSS

Anaerobik proses çıkış sularının organik yapısı, proseste arıtımı yapılan atıksu/çamur yapısı ile uygulanan CBS ve HBS değerlerine göre değişim göstermektedir. 30 g'lük HBS=CBS uygulanan Rotterdam Dokhaven AAT anaerobik çamur çürütücülerinde oluşan AÇSS, yapısında biyolojik ayrışabilir organik madde içermemekte ve yan akım arıtımında 1.25 g HBS'de çalıştırılan kısmi nitritasyon ünitesinde kısmi amonyum oksidasyonu gerçekleştirilmektedir (van der Star et al., 2007).

Anaerobik arıtım sonrası çıkış suyunun moleküler ağırlığa dayalı karakterizasyonunun araştırıldığı bir çalışmada (Barker ve ark.,1998):

- Bu tip atıksularda moleküler ağırlık (MA) dağılımında katı maddenin (KM) %89'unun düşük MA aralığında ($MA < 1$ kDa), %22'ye kadar yüksek MA aralığında ($MA > 300$ kDa) olduğu belirtilmiştir.
- Bu dağılımdaki farklılıklar anaerobik reaktör tipine bağlı olarak gözlenmiştir. Yüksek çamur yaşı ve yüksek uçucu aksıda katı maddeye (UAKM) sahip anaerobik reaktör çıkış sularında yüksek MA'lı maddeleri bulundurmaktadırlar. Bunun sebebi hücre parçalanması olmaktadır.

- Düşük MA'lı maddeler çıkış sularında en çok bulunan maddelerdir ve anaerobik sonrası arıtım bunlara göre düzenlenmelidir. Bu bileşiklerin anaerobik şartlarda arıtıma daha uygun oldukları belirlenmiştir. Bunun yanısıra yüksek MA'lı bileşiklerin de aerobik arıtıma daha uygun olduğu gözlenmiştir.
- Aktif karbon adsorpsiyon çalışması, düşük MA'lı maddenin adsorplanmaya yüksek MA'dan daha dirençli olduğunu göstermiştir.

2.4. Nitritasyon Çalışmaları

Literatürde gerçekleştirilen nitritasyon çalışmalarında organik madde varlığında sadece giderim ve nitritasyon hızları üzerinde çalışılmış, çoğunlukla belirli işletim parametrelerinde farklı reaktör veya biyokütle tipi için nitritasyon hızları belirlenmiştir. Çalışmalar sabit ÇO, sıcaklık ve alkalinite/pH şartlarında gerçekleştirilmiş ve SBNR ikinci basamak denitritasyon veya Anammox prosesleri için uygun giriş atıksu eldesi üzerinde çalışılmıştır.

Lopez-Palau ve ark. (2011) laboratuvar ölçekli AKR ile askıda ve granüler biyokütle kullanarak AÇSS nitritasyonunda ($620-1020 \text{ mg/L } NH_4^+-N$, $260-390 \text{ mg/L}$ çözülmüş KOİ, $KOİ/ NH_4^+ - N = 0.38-0.42$, Alkalinite/ $NH_4^+ - N = 1.01-1.22 \text{ mol HCO}_3^- / \text{mol } NH_4^+ - N$, UKM= $460-510 \text{ mg/L}$, AKM= $630-790 \text{ mg/L}$, pH= $8.16-8.27$) HBS= 0.4 gün , $T = 28 \text{ }^\circ\text{C}$, Ç.O= 2 mg/L işletim koşullarında kısmi nitritasyon gerçekleştirmiştir. İki reaktörde de KOİ giderimi (askıda biyokütle ile %24, granüler biyokütle ile %29) ve amonyum giderimi (askıda biyokütle ile %53, granüler biyokütle ile %52) benzer seviyede ve kısmi nitritasyon başarıyla gerçekleşmiştir. Fakat granüler biyokütle ile çalışılan reaktörde karışımı sağlan tek faktör havalandırma olduğu için çıkış suyunda ÇO seviyesi $8 \text{ mg O}_2/\text{L}$ olarak gerçekleşmiştir. Bu yüksek oksijen seviyesi ikinci basamak ANAMMOX için uygun bulunmamıştır. Bu nedenle klasik AKR nitritasyon prosesi için daha uygun bulunmuştur.

Gali ve ark. (2007) AÇSS'nun ($NH_4^+-N = 800 \pm 100 \text{ mg/L}$, katı madde (KM)= $700 \pm 25 \text{ mg/L}$, $HCO_3^-/N = 1 \text{ mol/mol}$, pH=8) ANAMMOX öncesi gerekli olan kısmi nitritasyon işlemini iki farklı yöntemle (AKR ve SHARON) çalışarak karşılaştırma yapmışlardır. AKR işletimi HBS= 8 sa , ÇBS= 5 gün , ÇO= $3 \text{ mg O}_2/\text{L}$ ve $30 \pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de gerçekleştirilmiştir. Azot yükleme hızı (AYH) $1.71 \text{ kg } NH_4^+-N/\text{m}^3\text{gün}$ olarak uygulanmıştır. SHARON kemostat'da ise aynı ÇO seviyesi, HBS= 1 gün , ÇBS= 1 gün

ve $35\pm 0.5^\circ\text{C}$ işletim koşullarında çalışılmıştır. AYH $0.7 \text{ kg } \text{NH}_4^+-\text{N} / \text{m}^3.\text{gün}$ olarak uygulanmıştır. Farklı işletim koşullarında nitrit oluşumu (200 mg/L (AKR) ve $150-200 \text{ mg/L}$ (kemostat)) benzer seviyede, fakat farklı amonyum giderim hızlarıyla (AGH) gerçekleşmiştir.

Zhang ve ark. (2011) yüzen yatak reaktörde AÇSS'nu ($\text{pH}=8$; $\text{NH}_4^+-\text{N} = 800-1000 \text{ mg/L}$; $\text{KM}=50-100 \text{ mg/L}$; $\text{KOİ}=180-280 \text{ mg/L}$; $\text{BOİ}_5=150-200 \text{ mg/L}$) HBS=4 sa, ÇO yaklaşık sıfır ve $28\pm 1^\circ\text{C}$ işletim koşullarında kısmi nitritasyon çalışmışlardır. Maliyeti düşürmeyi ve işletimi kolaylaştırmak amacıyla pH kontrolü yapılmadan Alkalinite/ NH_4^+-N oranı 4.8 olacak şekilde giriş suyuna alkalinite ilavesi yapılarak, amonyum yüklemesi $5.9 \text{ kg N/m}^3.\text{gün}$ hızında uygulanmış ve AGH $3.1 \text{ kg N/m}^3.\text{gün}$ olarak elde edilmiştir. Anammox için gerekli $\text{NO}_2^-/\text{NH}_4^+$ oranı elde edilmiştir.

Dosta ve ark. (2007) laboratuvar ölçekli AKR ile AÇSS'nin ($\text{NH}_4^+-\text{N}= 800-900 \text{ mg/L}$ $\text{KOİ}= 675 \text{ mg/L}$) nitritasyon denitritasyon prosesi ile biyolojik azot giderimi çalışmışlardır. HBS= 1 gün, CBS= 11 gün, $T= 30^\circ\text{C}$ ve $\text{ÇO}< 1 \text{ mg/L}$ işletim koşullarında alkalinite kısıtlamasını önlemek için üç (oksik\anoksik) döngüde çalışılmıştır. Denitritasyon için anoksik fazda ilave karbon kaynağı olarak Sodyum Asetat eklenmiştir. $0,85 \text{ kg N/m}^3.\text{gün}$ ($19 \text{ mg } \text{NH}_4^+-\text{N/g}$ UAKM.sa) hızında azot giderimi ile $40 \text{ mg } \text{NO}_2^--\text{N} / \text{g}$ UAKM.sa hızında denitritasyon gerçekleşmiştir.

Deng ve ark. (2006) anaerobik çürütücüden çıkan domuz çiftliği atıksuyuna ($\text{KOİ}= 2811 \text{ mg/L}$, $\text{BOİ}_5= 1293 \text{ mg/L}$, $\text{NH}_3-\text{N}= 721 \text{ mg/L}$, $\text{TN}= 793 \text{ mg/L}$) ham domuz atıksuyu ($\text{KOİ} = 6372 \text{ mg/L}$, $\text{BOİ}_5= 4210 \text{ mg/L}$, $\text{NH}_3-\text{N} = 707 \text{ mg/L}$, $\text{TN} = 918 \text{ mg/L}$) %30 oranında bypass edilerek AKR nitritasyon-denitritasyon prosesi çalışılmıştır. Çürütülmüş domuz atıksuyunun biyobozunurluğu ($\text{BOİ}_5/\text{KOİ}= 0.18$) düşük ve karbon/azot oranının ($\text{BOİ}_5:\text{N}:\text{P} = 3.1/10.2/1$) uygun olmaması sebebiyle KOİ ve NH_3-N giderme verimi çok düşük gerçekleşmiştir. Arıtım performansını arttırmak için ham atıksu bypass edilerek $\text{BOİ}_5/\text{KOİ}$ ve $\text{BOİ}_5:\text{N}:\text{P}= 3.1/10.2/1$ oranı artırılmış, sonuç olarak % 95.5 KOİ , % 99.4 NH_3-N ve %92 NO_2^- giderimi gerçekleşmiştir.

Scaglione ve ark. (2013) tarafından çürütülmüş domuz çiftliği atıksuyunun ($\text{NH}_4^+-\text{N} = 619-1616 \text{ mg N/L}$, $\text{KOİ}= 1325-7500 \text{ mg/L}$, $\text{BOİ}_5/\text{KOİ}= 0.34-0.61$, Alkalinite= $4400-14300 \text{ mgCaCO}_3/\text{L}$) nitritasyon-denitritasyonu pilot ölçekli AKR'de çalışılmıştır. $\text{ÇO}= 0.8 \text{ mg/L}$, $T= 25^\circ\text{C}$ ve HBS= 2-3 gün işletim koşullarında AYH= $0.52 \text{ kg } \text{NH}_4^+-\text{N/m}^3.\text{gün}$ 'de $0.52 \text{ kg } \text{NH}_4^+-\text{N/m}^3.\text{gün}$ AGH'ı gerçekleşmiştir. Anoksik fazda $1567\pm 750 \text{ mg}$

KOİ/L sodyum asetat ilave karbon kaynağı olarak eklenerek %95 denitritasyon verimi gerçekleştirilmiştir.

Liang ve Liu. (2007) laboratuvar ölçekli yukarı akışlı sabit-yatak biofilm reaktörde kentsel çöp sızıntı suyunun ($NH_4^+-N= 1600-3100$ mg/L, $TN=1800-3300$ mg/L, $KOİ= 1500-16000$ mg/L, alkalinite= $8000-15000$ mg Na_2CO_3/L) kısmi nitritasyonunu çalışmıştır. ÇO ve yükleme hızının kısmi nitritasyon üzerine etkisi izlenmiştir. $T= 30\pm 1$ °C ve $\dot{C}O= 0.8-2.3$ mg O_2/L işletim koşullarında ve $0.2-1.0$ kg NH_4^+-N/m^3 gün AYH'ında, $0.12-0.7$ kg NH_4^+-N/m^3 .gün AGH gerçekleştirilmiştir. AOB'ler $122-224$ mg/L aralığında serbest amonyağa adapte olmuştur.

Ganigue ve ark. (2009) 250 L'lik pilot ölçekli AKR'de yüksek amonyum konsantrasyonu içeren çöp sızıntı suyunun ($NH_4^+-N = 2237-4938$ mg N/L, $KOİ= 2480-7040$ mg O_2/L , $BOİ_5= 230-1025$ mg O_2/L , $TOK= 1509-2420$ mg/L) kısmi nitritasyonunu çalışmıştır. HBS= 3-6 gün, CBS= 3-12 gün (ort 6 gün), $T= 36\pm 1$ °C ve $\dot{C}O= 2$ mg/L işletim koşullarında 0.85 kg N/ m^3 gün AYH'ında $0.4-0.5$ kg N/ m^3 gün AGH ile %25 KOİ ve %50 nin altında TOK giderimi gerçekleştirilmiştir.

Van Hulle ve ark. (2007) pH ve sıcaklığın nitritasyon prosesi kinetiğine etkisini çalışmıştır. $25-35^\circ C$ sıcaklık ve $6.5-7-7.5$ pH'da 6 farklı işletim koşulunda oksijen kullanım hızı ölçülerek amonyak afinite sabiti= 0.75 mg NH_3/L ve oksijen afinite sabiti= 0.94 mg/L olarak belirlenmiş ve pH ile sıcaklığın etkisi olmadığı görülmüştür.

Çiftlik atıksuyunda ANAMMOX öncesi kısmi nitritasyon çalışmasında Yamamoto ve ark. (2011) yüzen yataklı reaktör kullanımıyla kısmi nitritasyon ile atıksuyun arıtımı gerçekleştirilmiştir. 32 gün süresinde AYH: 2.58 kg N/ m^3 gün değerinde 1.65 kg N/ m^3 gün maksimum nitrit üretim hızına ulaşılmıştır. Reaktörde sıcaklık $T= 30-32^\circ C$ ve HBS= 15-24 sa olarak sağlanmıştır. Reaktörün pH'sı $7.6-7.8$ 'de kontrol altında tutulmuştur. Genetik analizlere göre *Nitrosomonas* (*Nitrosomonas sp. clone74* ve *Nitrosomonas sp. IWT514*) türleri dominant olmuştur. Giriş suyunda yüksek konsantrasyonda olan AKM polimer organik yumaklaştırıcı (koagülant) yardımıyla yaklaşık olarak %65 oranında giderilmiştir. Koagülasyondan sonra giriş suyunun parametreleri; $pH=8.6$, $AKM=950$ mg/L, $KOİ_{toplam}= 6400$ mg/L, $TN_{giriş}=1600$ mg/L, $NH_4^+-N_{giriş}= 1400$ mg/L, $KOİ/NH_4$: 4.57 şeklinde gerçekleştirilmiştir. AYH'nı optimize etmek için giriş su 2 defa musluk su ile seyreltilmiştir. Çıkış suyunda $750-850$ mg/L nitrit oluştuğunda, amonyumun nitrite yaklaşık %75 oranında dönüşümü sağlandıktan sonra seyreltme kesilmiştir. Amonyumun nitrite %51 oranında dönüşümü elde edilene kadar

giriş NH_4^+ -N, 1550 mg N/L kadar yükseltilmiştir. Çıkış suyunda 30 mg/L'dan düşük NO_3^- -N konsantrasyonu (yaklaşık %2 amonyumun nitrata dönüşümü ile) ve 200 mg/L TOK elde edilmiştir.

Pra ve ark. (2012) domuz atığı anaerobik çürütme çıkış suyunda kısmi nitritasyon ile TOK ve AKM'nin eş zamanlı giderimi çalışmasında aşağıda verilen parametre değerleriyle çalışmışlardır:

- T:35 °C ve pH:7.6-7.8,
- BOI_5 : 2500–4500 mg/L,
- Alkalinite: 5000–8000 mg $CaCO_3$ /L,
- TN: 1500–2000 mg/L,
- NH_3 -N: 900–1500 mg/L,
- AKM: 3000-8000 mg/L,
- TOK:1500-6500 mg./L.

Atıksuyun konsantrasyonunun kademeli yükseltilmesi ile nitritasyon prosesi optimize edilmiştir. Reaktör için işletim parametreleri, HBS= 24 sa, $CO= 1.84$ mg O_2 / L olup 1,14 kg TOK/ m^3 gün ve 0,9 kg NH_3 / m^3 gün gün hızlarıyla TOK ve azot yüklemeleri yapılmıştır. Yüksek oranda organik yükleme (>2 kg TOK/ m^3 .gün) durumunda ototrofik ve heterotrofik bakterilerin oksijen için rekabete girmesi ile kısmi nitritasyon olumsuz etkilenmiştir. Bu yüzden nitrit üretimini kararlı seviyede tutmak için optimum ve maksimum TOK yükleme hızları, sırasıyla 1,42 ve 2 kg TOK/ m^3 .gün olarak saptanmıştır. Sonuçlara göre % 50.5 amonyum giderimi, % 44.5 nitrit üretimi, %84.9 TOK ve % 83.1 AKM giderimi elde edilmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Atıksu Karakteristiği

SnA NH_4Cl ve NaHCO_3 ile hazırlanmıştır. AÇSS Konya Atıksu Arıtma Tesisi anaerobik çamur çürütücü dekantör çıkışından elde edilmiş ve özellikleri Tablo 3.1’de sunulmuştur. Çalışma boyunca 4 °C’de saklanmıştır.

Çizelge 3.1. AÇSS karakteristikleri

Parametre	Birim	Ortalama	Minimum	Maksimum
pH	—	7.95	7.71	8.08
ORP	mV	-67.2	-71.1	-61.7
KOİ	mg O_2/L	1,452	512	2,133
NH_4^+	mg N/L	705	593	821
Alkalinite	mg CaCO_3/L	3,192	1,430	3,933
Bikarbonat	mg CaCO_3/L	2,916	1,462	3,738
UYA	mg CaCO_3/L	228	44	1,275

3.2. Reaktör ve İşletim

İki adet 3000 mL’lik beher AKR olarak işletilmiştir. 500 mL’lik çamur çökeltme ve 2000 mL’lik besleme fazları ile çalışılmıştır. Biyolojik aşı çamuru Konya kentsel AAT Bardenpho ünitesi geri devir hattından temin edilmiştir. SnA ile beslenen reaktör AKR1 ve AÇSS ile beslenen reaktör AKR2 olarak adlandırılmıştır. Havalandırma (aerobik şartlar) hava kompresörleri ve difüzörler vasıtasıyla sağlanmıştır. Ç.O. reaksiyon başlangıcında 3 mg/L’nin üzerine çıkacak şekilde kompresör ayarı yapılmış ve çalışma yürütülmüştür.

Ardışık kesikli beslemede 3 farklı sıcaklık (25, 30 ve 35 °C) ve her sıcaklık için 3 substrat ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) seviyesi (130±20, 230±20 ve 340±30 mg/L) uygulanmıştır.

3.3. İzleme

Besleme sonrası karışık sıvı uçucu katı madde (KSUKM) konsantrasyonu belirlenmiştir. Reaksiyon başlangıcından itibaren amonyum konsantrasyonu, pH ve ORP

sürekli izlenmiştir ve uygun pH aralığını sağlamak için gerekli görüldüğünde asit ilavesi yapılmıştır. Periyodik aralıklarla bikarbonat ölçülmüş, gerektiği takdirde bikarbonat ilave edilerek reaksiyonun devamlılığı sağlanmıştır. Reaksiyonun başı, ortası ve sonunda nitrit ve nitrat azotu ölçülmüştür.

3.4. Analizler

pH, ORP ve amonyum, 25 ml'lik numunelerde Hach Lange Marka HQ40d model çoklu iyonmetre ile ölçülmüştür.

KSUKM 2540 E standart metot ile 10 ml numunede 3.1. formülü ile belirlenmiştir (APHA, 2005).

$$\text{mg uçucu katı/L} = \frac{(A-B) \times 1000 \text{ mg/g}}{\text{numune hacmi, mL}} \quad (3.1.)$$

Bikarbonat, Uçucu Yağ Asidi (UYA) ve alkalinite konsantrasyonu Anderson ve Yang'a göre belirlenmiştir (1992).

NO₂⁻ tayini, ½ seyreltilerek hazırlanan numunede küvet testleri ile Metot 8153 ve 373 N Nitrite HR PP programı ile DR 5000 model spektrometrede ölçülmüştür.

NO₃⁻ tayini, Method 8039 (Kadmium İndirgeme metodu) kullanılarak 1/5 seyreltilerek hazırlanan numunede küvet testleri ve 361 N Nitrat HR AV programı ile DR 5000 model spektrometrede ölçülmüştür.

Serbest amonyak (SA) ve serbest nitroz asit (SNA) konsantrasyonları Anthonissen ve ark. (1976) göre 3.2. ve 3.3. formülleriyle hesaplanmıştır.

$$\text{NH}_3 \text{ (mg/L)} = \text{Toplam amonyum (mg/L)} \times 10^{\text{pH}} / [\exp^{(6344/(273+T))} + 10^{\text{pH}}] \quad (3.2.)$$

$$\text{HNO}_2 \text{ (}\mu\text{g/L)} = 1000 \times \text{NO}_2^- \text{-N (mg/L)} / \exp^{(-2300/(273+T))} \times 10^{\text{pH}} \quad (3.3.)$$

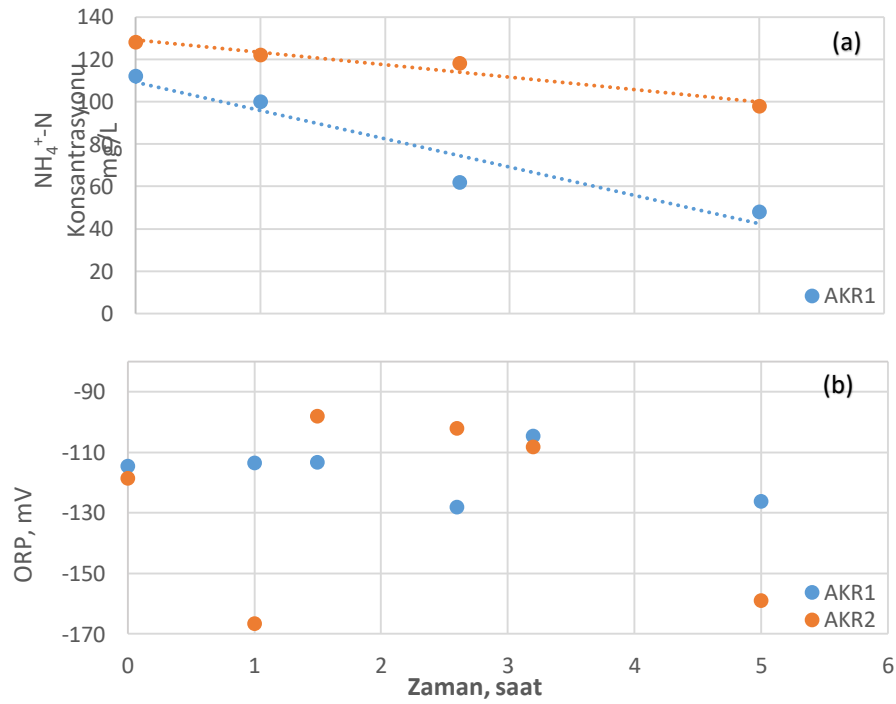
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışma kapsamında SnA (AKR1) ve AÇSS (AKR2) ile beslenen iki kesikli reaktör sisteminde üç substrat seviyesinde ardışık beslemelerle nitritasyon çalışması yürütülmüş ve amonyum ile bikarbonat giderim kinetiği, pH, ORP, UKM, nitrit, nitrat, UYA ve alkalinite değişimleri incelenmiştir.

4.1. 25 °C'de Kinetik Çalışma Sonuçları

4.1.1. Birinci Substrat seviyesi

En düşük substrat seviyesinde (110-130 mg/L) AGH, AKR1 ve AKR2 için sırasıyla 13,4 (0,3 kg/m³.gün) ve 5,8 mg NH₄⁺-N/L.sa (0,14 kg/m³.gün) olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.1 a). Scaglione ve ark. (2013) çürütülmüş domuz çiftliği atıksuyunun pilot ölçekli AKR'de T= 25 °C , AYH=0.52 kg NH₄⁺-N/m³gün'de, 0.5 kg NH₄⁺-N/m³gün'lük AGH elde etmişlerdir. SnA ve AÇSS arıtımındaki AGH'ı Scaglione ve ark. (2013) çalışmasından elde ettiği hızdan daha yavaş gerçekleşmiştir.



Şekil 4.1. Reaktörlerde 25 °C ve 1.substrat seviyesi için (a) amonyum ve (b) ORP değişimi

Reaksiyonun her iki atıksu için 0. derecede ilerlediği belirlenmiştir. ORP AKR1'de -128,1 – (-104,6) mV, AKR2 de (-166,6) – (-98) mV aralığında anoksik seviyede değişim göstermiştir (Şekil 4.1 b). Organik madde oksidasyonu'nun (ORP) daha geniş aralıkta seyretmesinde etkili olduğu gözlenmiştir.

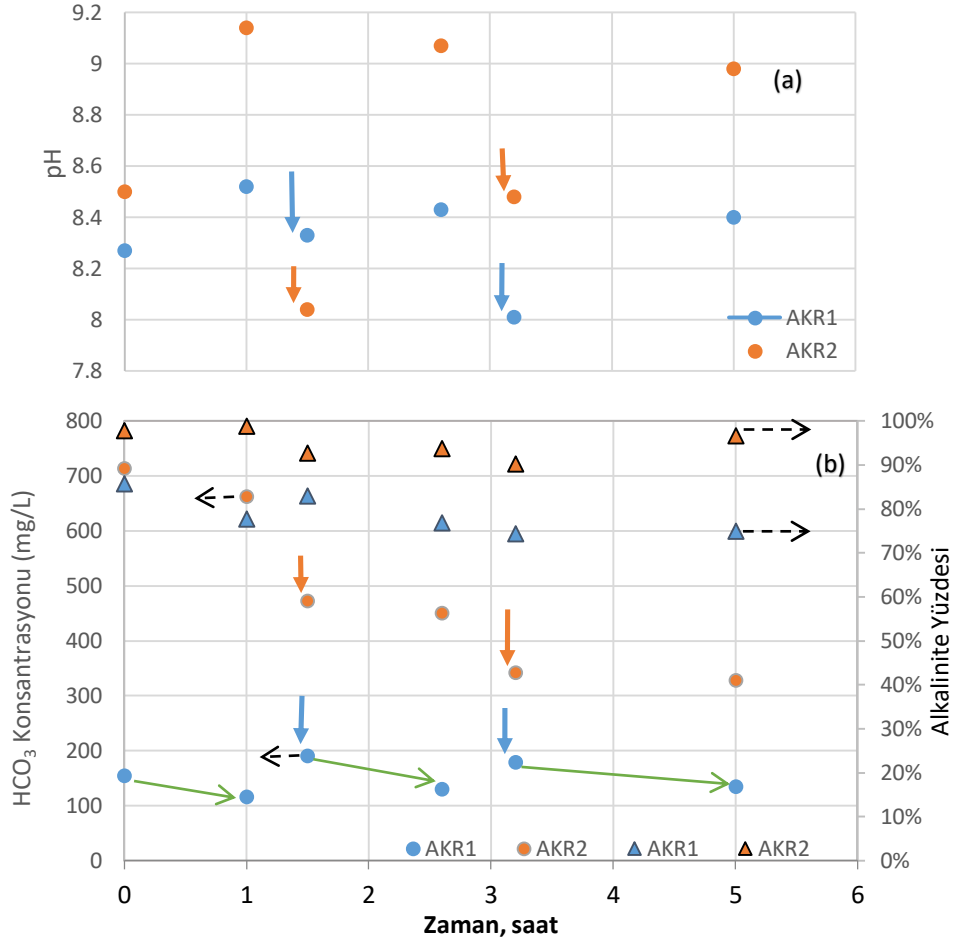
Bu substrat seviyesinde AKR2'de 720 mg UKM/L ve AKR1'de 1230 mg UKM/L olarak daha yüksek seviyede biyokütle ile çalışma yürütülmüştür. Bunda adaptasyon dönemindeki AKR2'de gerçekleşen düşük çökeltme kabiliyeti ile boşalt fazında gerçekleşen biyokütle kaybının etkili olduğu kabul edilmiştir. Reaksiyonun başlamasından sonra KSUKM konsantrasyonu belirlendiği için çalışma seti mevcut durumla sürdürülmüştür. AGH'ları biyokütle bazında SnA ve AÇSS için sırasıyla 10,9 mg N/g UKM.sa (0,26 g N/g UKM.gün) ve 8,1 mg N/g UKM.sa (0,19 g N/g UKM.gün) olarak gerçekleşmiştir.

Reaksiyonun başlaması ile her iki reaktörde de pH yükselmiştir (Şekil 4.2 a.). Fakat AKR2'de bu seviye AKR1'e göre daha yüksek gerçekleşmiştir. Reaksiyonun ilk zamanlarındaki pH yükselmesi yüksek/toksik SA konsantrasyonları oluşturduğu için asit ilavesi ile pH düşürülmüştür. SnA ile beslenen AKR1'e hem pH kontrolü için sülfürik asit hem bikarbonat ihtiyacından dolayı NaHCO_3 ilavesi reaksiyon sürecinde de yapılmıştır. Nitritasyon sürecinde bikarbonat azalmış fakat yapılan ilavelerle pH 8-8,3 aralığında tutulmuştur. AÇSS ile beslenen reaktörde ise atık suyun içeriğindeki bikarbonat, nitritasyon süresince yeterli seviyede mevcut olduğu için, sadece pH yükselmesine asit ile müdahale edilerek pH kontrol altına alınmıştır. Nitritasyonun başlamasını takiben asit ilavesine rağmen AKR2'de pH sürekli olarak 9 üzerine yükselmiştir. Bu oluşum, AÇSS içeriğinde bulunan zayıf asitlerin (CO_2 ve/veya UYA) atmosfere sıyrılma, tüketim ve denitritasyonla bikarbonat oluşumuna bağlanmıştır. Bikarbonat değişimi de ilerleyen nitritasyon reaksiyonuna rağmen bikarbonatta azalma olmaması şeklinde gerçekleşerek aerobik denitritasyonu desteklemiştir (Şekil 4.2 b). Nitritasyon sürecinde harcanan net bikarbonat AKR1 sonuçlarında gözlenmektedir (yeşil oklar).

Bikarbonat tüketim oranı ($\text{HCO}_3/\text{NH}_4^+\text{-N}$) AKR1'de 2,2 ve AKR2'de 2,97 g $\text{CaCO}_3/\text{g N}$ olarak gerçekleşmiştir. HCO_3 tüketim hızı ise AKR1'de 24,4-54,5 mg/L.sa olarak elde edilirken AKR2'de azalmanın asit ilavesi ile gerçekleştiği gözlenmiştir.

Nitritasyon sürecinde UYA her iki reaktörde de artış göstermiş (AKR1'de 71'den 142 mg/L'ye ve AKR2'de 83'den 97 mg/L'ye) ve reaksiyon sonunda azalmıştır Şekil 4.3

a). UYA'nın muhtemel aerobik denitrifikasyon için substrat sağlamış olması mümkündür. SnA arıtımında daha yüksek seviyede UYA oluşumu açlık şartlarında

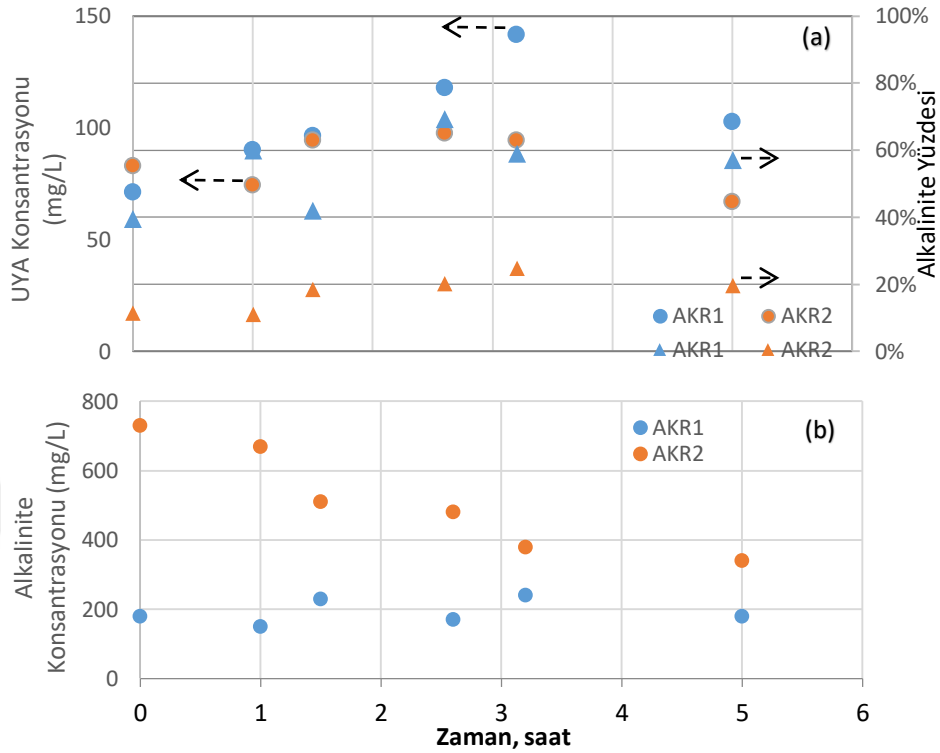


Şekil 4.2. Reaktörlerde 25 °C ve 1. substrat seviyesi için (a) pH ve (b) bikarbonat konsantrasyonu ve alkaliniteye katkı yüzdesi (turuncu ok: asit ilavesi, mavi ok: asit+HCO₃⁻ ilavesi)

heterojen bakterinin biyokütle yapısındaki depolanmış glikojenlerinin kullanımına bağlanmıştır. Organik madde varlığında AÇSS reaktöründe UYA'da belirgin değişim olmaması, heterotroflar için açlık şartlarının oluşmadığını göstermiştir. UYA'nın daha yüksek seviyede oluşumu AKR1'de pH seviyesinin daha düşük gerçekleşmesini de açıklamaktadır. Sonuç olarak alkalinite AÇSS arıtımında içeriğindeki yüksek seviyede bikarbonat ile gerçekleşirken SnA için bikarbonattan ziyade UYA'nın yüksek (%60(+/-)10) seviyede katkısı elde edilmiştir (Şekil 4.2 b). Organik madde varlığında yüksek seviyede alkalinite sağlanırken bikarbonat ilavesinden tasarruf edilmiştir.

Kütle dengesi yapıldığında SnA'da giderilen amonyumun %53,1'inin nitrite, %39'unun nitrata, AÇSS'da ise giderilen amonyumun %23,3'ünün nitrite, %13,3'unun nitrata dönüştüğü belirlenmiştir (Şekil 4.4 a-b). SnA'da giderilen amonyumun %7,9'u ve

AKR2'de %63,4'ü kayıp olarak hesaplanmıştır. Bu kayıplar nitrit/nitratın aerobik denitrifikasyonuna bağlanmıştır.

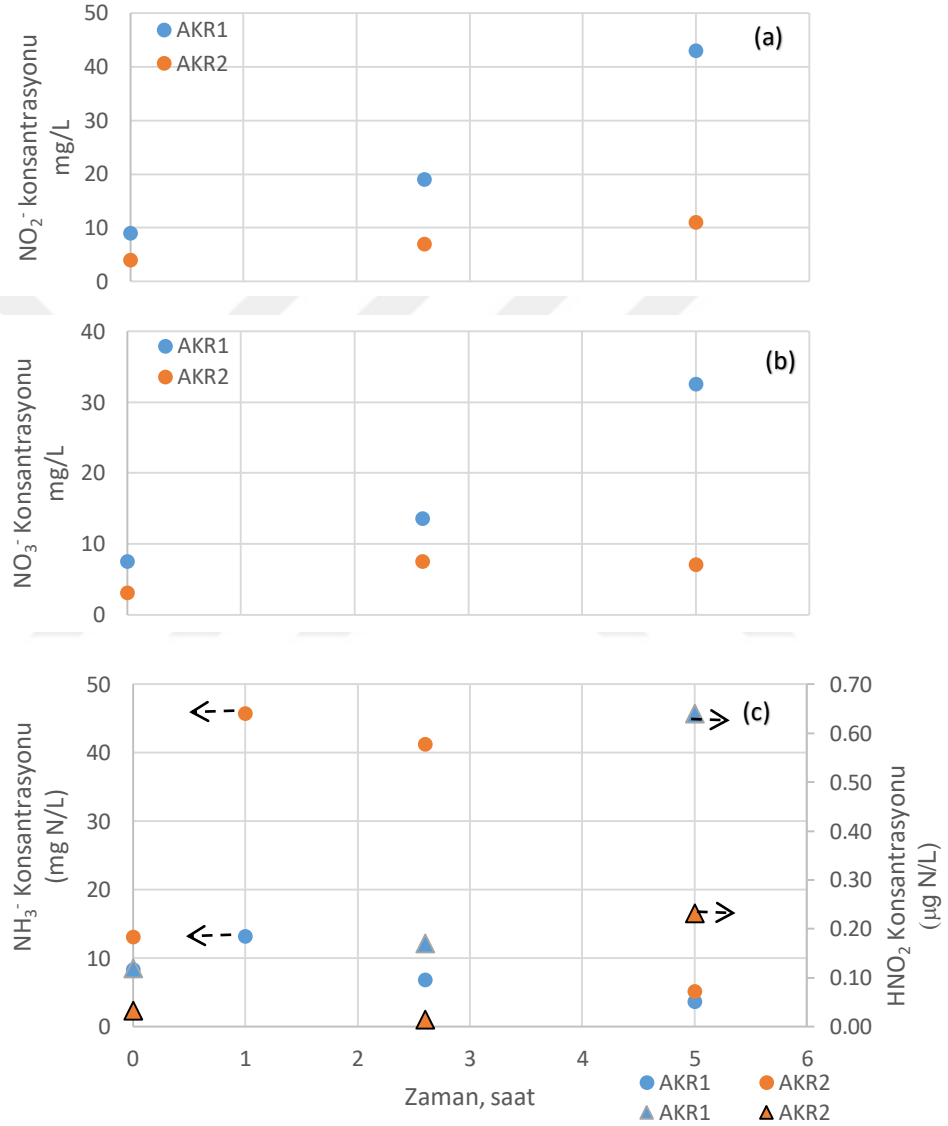


Şekil 4.3. Reaktörlerde 25 °C ve 1. substrat seviyesi için (a) UYA ve (b) alkalinite değişimleri

Nitritasyon yani amonyumun nitrite oksitlenmesi proton/asit üreten bir süreçtir ve reaksiyon ortamının tamponlanması ve pH'nın 6.5-8.5 aralığında kontrol edilmesi toksik SA ve SNA türlerinin etkilerinin minimize edilmesi için gereklidir. Reaksiyonda oluşan asidi bikarbonatın tamponlaması ve ayrıca reaksiyonu gerçekleştiren ototrof bakteriler için inorganik karbon kaynağı olması sebebiyle ortamda yeterli seviyelerinin temin edilmesi gerekmektedir. Aynı zamanda UYA da belirli pH seviyesi üzerinde alkaliniteye katkı yaparken pH'nın düşmesi ile asit formlarına dönerek hem toksik etki yapmakta hem de pH düşüşünü arttırmaktadır.

SNA, AKR1'de 0,12-0,64 $\mu\text{g/L}$, AKR2'de 0,01-0,23 $\mu\text{g/L}$ seviyelerinde gerçekleşmiştir (Şekil 4.4 c). Her iki reaktörde de literatürde verilen toksik değerlerin oldukça altında gerçekleşmiştir. Bunun başlıca sebebi pH'nın 8'in üstünde gerçekleşmesidir. SNA 0,011-0,10 mg/L seviyelerinde NOB inhibisyonuna sebep olabilmektedir (Vadivelu ve ark., 2007). SA AKR1'de 8 ± 5 mg/L iken AKR2'de reaksiyon sırasında pH artışı ile 43 ± 3 mg N/L civarlarına yükselmiş, pH kontrolü ve reaksiyonun ilerlemesi ile 5. sa sonunda ile SA 5 mg N/L seviyesine düşmüştür.

Reaksiyon süresince toksik seviyelerde gerçekleşmiştir. Bu da AGH'nın AKR2'de düşük olmasını açıklamaktadır. SA 10–150 mg/L seviyesinde AOB ve 0,1-1,0 mg/L seviyesinde NOB inhibisyonuna sebep olabilmektedir (Anthonissen ve ark. 1976). Yüksek gerçekleşen SA seviyelerinde nitrata dönüşüm olması, NOB'lerin de tolerans geliştirebileceğini göstermiştir.



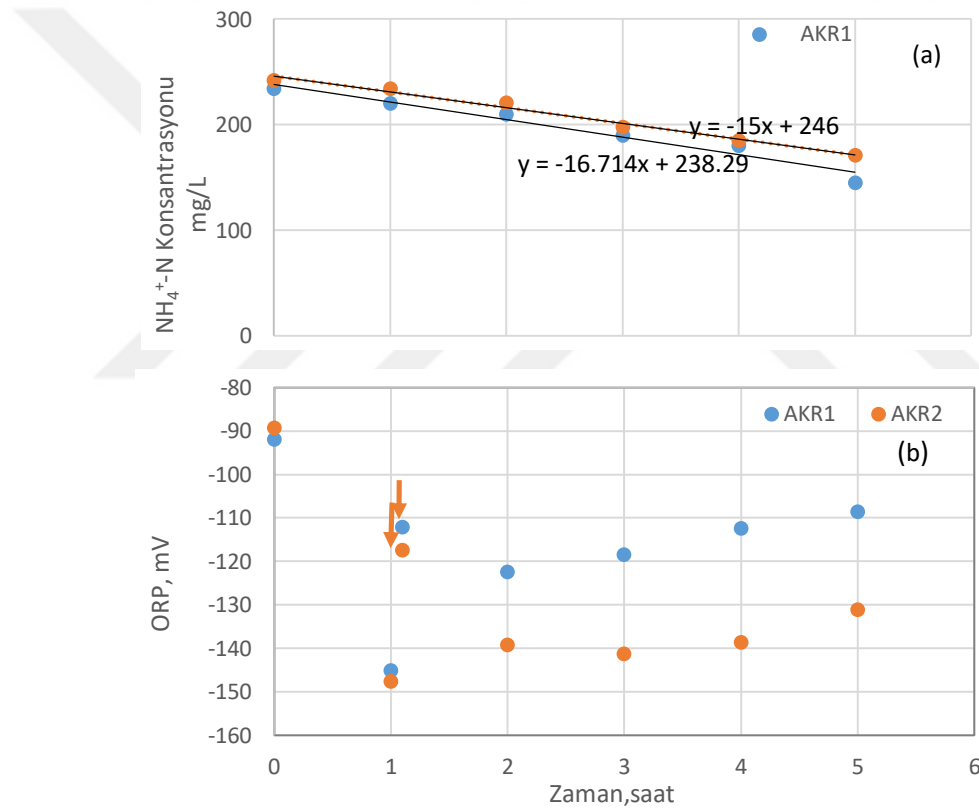
Şekil 4.4. Reaktörlerde 25 °C ve 1.substrat seviyesi için nitrasyon sürecinde (a) nitrit, (b) nitrat ve (c) SA/SNA değişimi

4.1.2. İkinci Substrat Seviyesi

İkinci substrat seviyesinde (230-245 mg/L) AGH, AKR1 ve AKR2 için benzer seviyelerde sırasıyla 16,7 (0,4 kg/m³.gün) ve 15 mg NH₄⁺-N/L.sa (0,36 kg/m³.gün) olarak

gerçekleşmiştir (Şekil 4.5 a). Yang ve ark. (2010) AÇSS ile çalışarak AKR'de $T= 26\pm 4$ °C ve $1,71 \text{ kg N/m}^3\text{gün}$ AYH'da AGH'ı $1,1\pm 0,1 \text{ kg N/m}^3\text{gün}$ olarak elde edilmiştir. Zhang ve ark. (2011) yüzen yatak reaktörde AÇSS'nu $T=28$ °C de AYH'nı $5.9 \text{ kg N/m}^3\text{gün}$ 'de uygulamış ve AGH $3.1 \text{ kg N/m}^3\text{gün}$ olarak elde edilmiştir. Bu substrat seviyesinde her iki reaktör içinde ulaştığımız AGH'ı Zhang ve ark. (2011), Scaglione ve ark. (2013) ve Yang ve ark. (2010)'nın çalışmasından daha yavaş gerçekleşmiştir.

Reaksiyonun her iki atıksu için bu seviyede de 0. derecede ilerlediği belirlenmiştir. ORP, AKR1'de $-145,1 - (-92) \text{ mV}$, AKR2'de $(-147,7) - (-89,3) \text{ mV}$ aralığında anoksik seviyede değişim göstermiştir (Şekil 4.5 b). Organik madde oksidasyonu ORP'nin daha düşük seviyeleri ile ilişkilendirilmiştir.

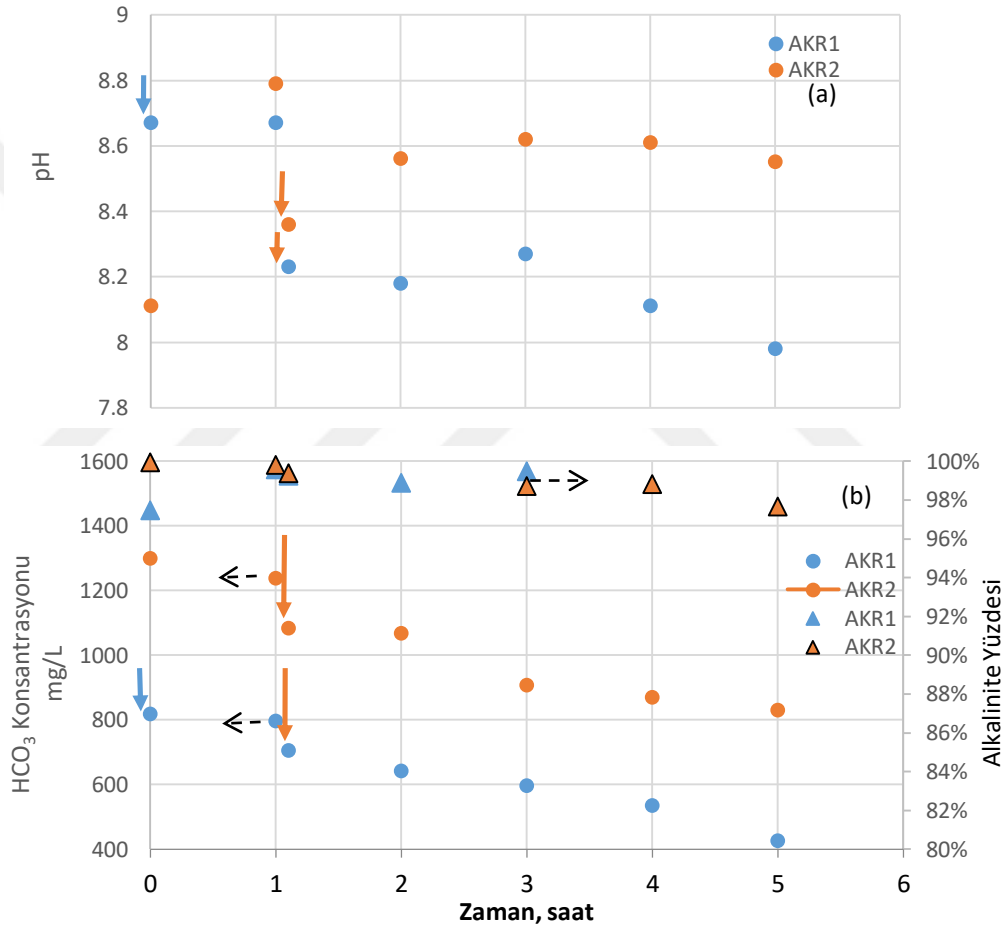


Şekil 4.5. Reaktörlerde 25 °C ve 2. substrat seviyesi için (a) amonyum ve (b) ORP değişimi

Bu substrat seviyesinde SnA arıtımında 1400 mg KSUKM/L ve AÇSS arıtımında 1110 mg KSUKM/L konsantrasyonunda biyokütle ile çalışma yürütülmüştür. Reaksiyon hızları biyokütle bazında SnA ve AÇSS için sırasıyla $11,9 \text{ mg N/g UKM.sa}$ ($0,28 \text{ g N/g UKM.gün}$) ve $13,5 \text{ mg N/g UKM.sa}$ ($0,32 \text{ g N/g UKM.gün}$) olarak gerçekleşmiştir. Organik madde oksidasyonunun nitritasyon hızı üzerinde etkisi olmamıştır. Bu da ÇO/havalandırma seviyesinin ihtiyacın üzerinde olduğunu desteklemiştir.

Reaksiyonun başlaması ile pH AKR1’de değişmezken AKR2’de yükselmiştir (Şekil 4.6 a.). Her iki reaktöre de pH kontrolü için bir kez sülfürik asit ilavesi yapılmıştır. Reaksiyonun ilerlemesi ile herhangi bir müdahale yapılmadan pH SnA ile beslenen reaktörde 8,2(+/-)0,1 ve AÇSS ile beslenen reaktörde 8,6(+/-)0,1 seviyelerinde gerçekleşmiştir (Şekil 4.6 a.).

Bikarbonat tüketim oranı ($\text{HCO}_3^-/\text{NH}_4^+-\text{N}$) AKR1’de 3,56 ve AKR2’de 4,43 g $\text{CaCO}_3/\text{g N}$ olarak gerçekleşmiştir. HCO_3^- tüketimi 0. derece ve hızı AKR1’de 60 ve AKR2’de 63 mg $\text{CaCO}_3/\text{L.sa}$ olarak elde edilmiştir.

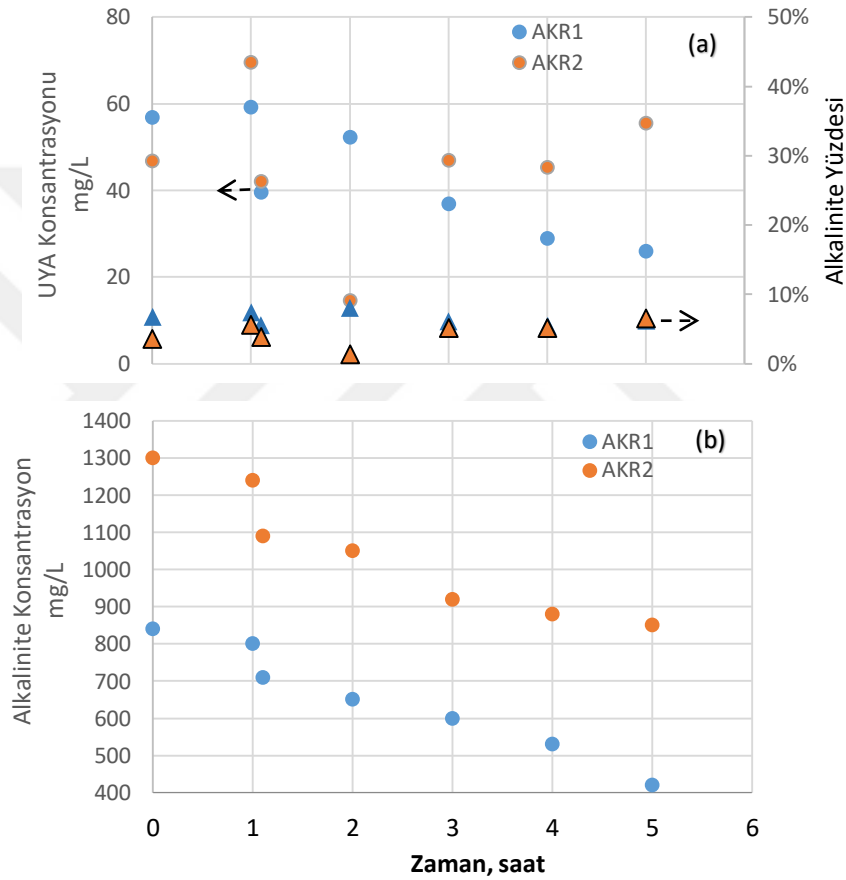


Şekil 4.6. Reaktörlerde 25°C ve 2.substrat seviyesi için (a) pH ve bikarbonat konsantrasyon ve (b) alkaliniteye katkı yüzdesi (turuncu ok: asit ilavesi, mavi ok: HCO_3^- ilavesi)

Nitritasyon sürecinde UYA AKR1’de azalırken AKR2’de artış göstermiştir. (AKR1’de 57’den 26 mg/L’e azalma, AKR2’de 47’den 55mg/L’ye artış) ve önceki beslemeye göre daha düşük seviyelerde gerçekleşmiştir (Şekil 4.7 a). Fakat her iki reaktörde de alkalinitenin yaklaşık %5 kadar çok düşük bir kısmının UYA’dan oluştuğu gözlenmiştir.

Kütle dengesi yapıldığında AKR1’de giderilen amonyumun %50,5’i nitrite, %40,7’si nitrata, AKR2’de %49,3’ü nitrite, %37,3’ü nitrata dönüştüğü belirlenmiştir (Şekil 4.8 a-b). AKR1’de % 8,8 ve AKR2’de %13,4’ü kayıp olarak hesaplanmıştır.

SNA her iki reaktörde de literatürde verilen toksik değerlerin çok altında gerçekleşmiştir (0,23-3,49 $\mu\text{g/L}$ (AKR1), 0,07-0,48 $\mu\text{g/L}$ (AKR2)) (Şekil 4.8 c). SA reaksiyonun başlaması ile birinci saatte her iki reaktörde de yükselerek 37 (AKR1) ve 54 mg/L (AKR2) gibi toksik seviyelere ulaşmıştır.



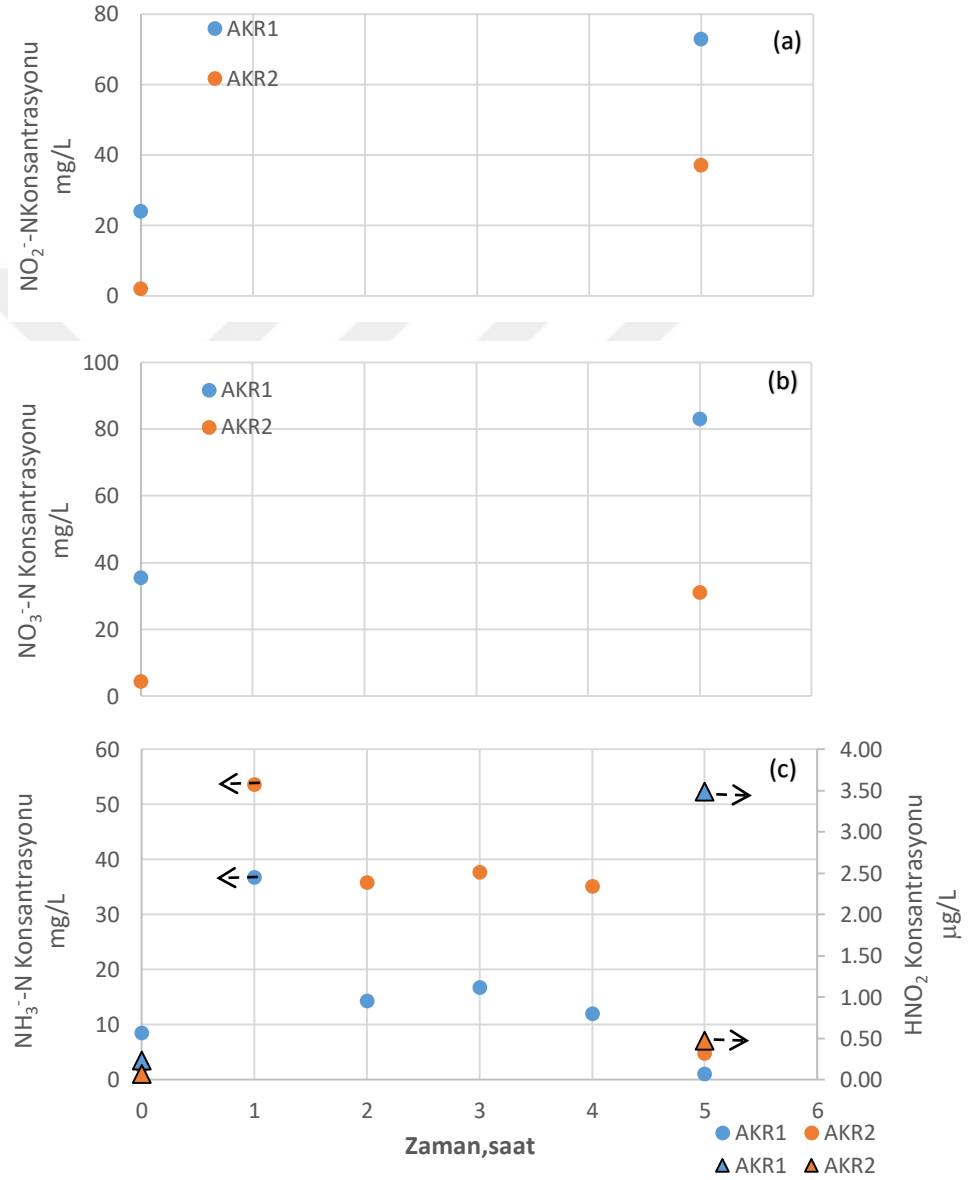
Şekil 4.7. Reaktörlerde 25 °C ve 2.substrat seviyesi için (a) UYA ve (b) alkalinite değişimleri

Reaksiyonun ilerlemesi ile AKR1’de 14 ± 3 mg/L , AKR2’de $36,5 \pm 1,5$ mg/L seviyelerine düşmüştür. SA’nın AKR2’de daha yüksek konsantrasyonda oluşması pH’nın daha yüksek seviyelerine bağlanmıştır.

4.1.3. Üçüncü Substrat Seviyesi

Üçüncü substrat seviyesinde (325-340 mg/L) amonyum giderim hızı SnA ve AÇSS arıtımı için sırasıyla 19,9 (0,48 $\text{kg/m}^3 \cdot \text{gün}$) ve 13,1 $\text{mg NH}_4^+ \cdot \text{N/L} \cdot \text{sa}$ (0,31

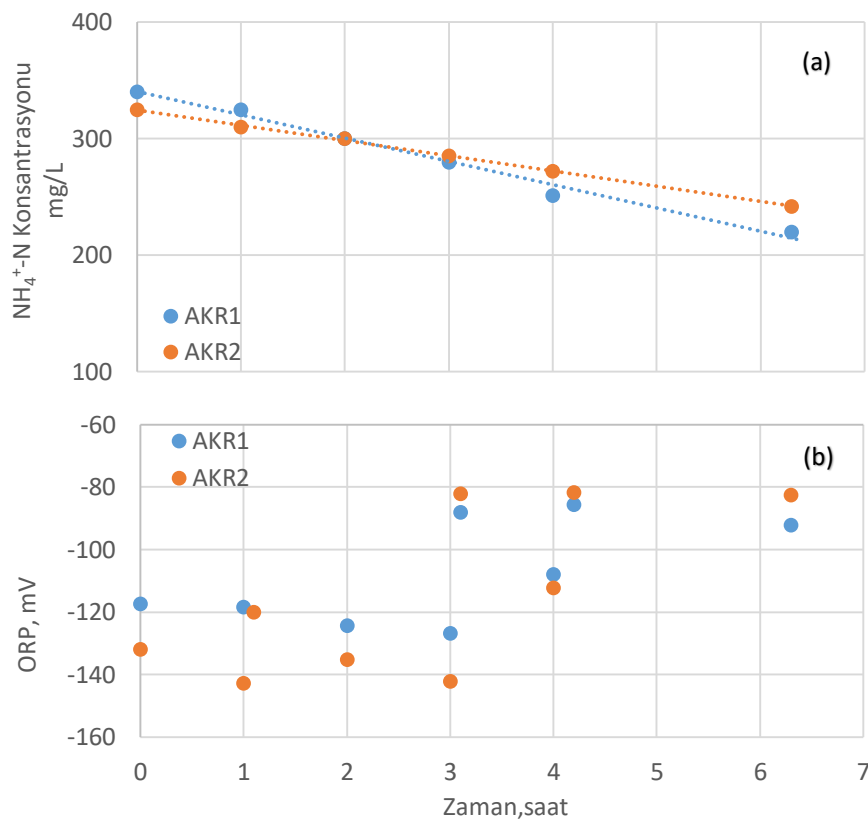
kg/m³.gün) olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.9 a). Bu substrat seviyesinde her iki reaktör içinde ulaştığımız AGH'ı Zhang ve ark. (2011), Scaglione ve ark. (2013) ve Yang ve ark. (2010)'nın çalışmasından daha yavaş gerçekleşmiştir. ORP, AKR1'de -132 - (-85,6) mV, AKR2'de -142,8 - (-81,8) mV aralığında birbirine çok yakın değerlerde değişim göstermiştir (Şekil 4.7 b).



Şekil 4.8. Reaktörlerde 25 °C ve 2. substrat seviyesi için nitritasyon sürecinde (a) nitrit, (b) nitrat ve (c) SA/SNA değişimi

Bu substrat seviyesinde AKR1'de 720 mg/L biyokütle konsantrasyonu ile çalışılırken AKR2'de daha yüksek seviyede biyokütle (1090 mg/L) ile çalışma yürütülmüştür. Reaksiyon hızları biyokütle bazında SnA ve AÇSS için sırasıyla 27,6 mg

N/g UKM.sa (0,66 g N/g UKM.gün) ve 12 mg N/g UKM.sa (0,29 g N/g UKM.gün) olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 4.9. Reaktörlerde 25 °C ve 3.substrat seviyesi için (a) amonyum ve (b) ORP değişimi

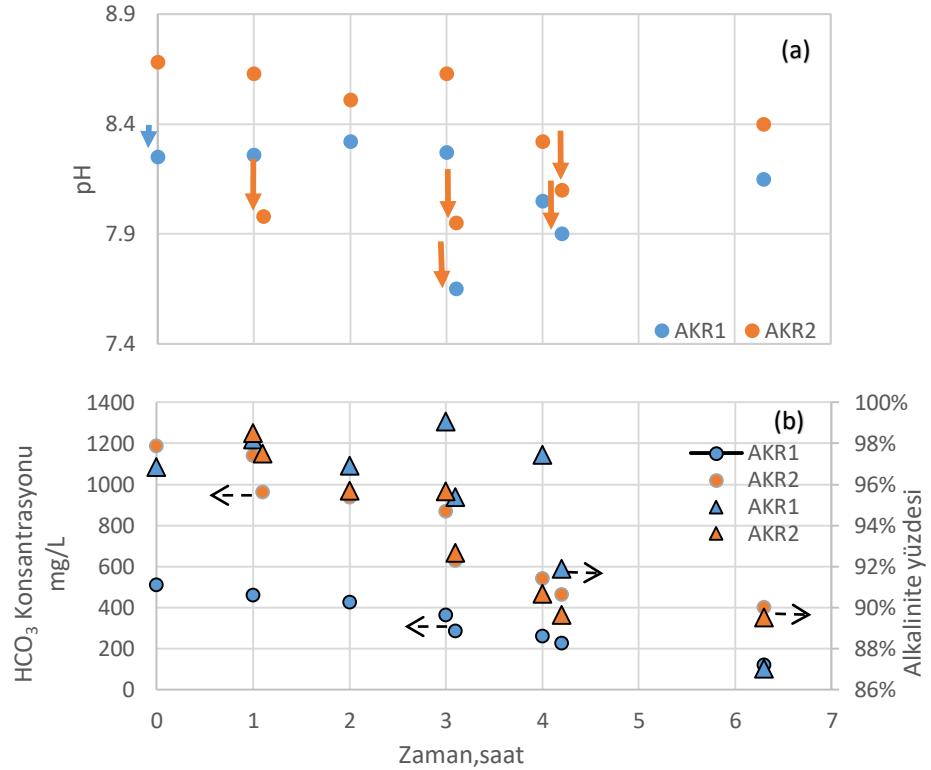
6,5 saat boyunca izlenen reaksiyon sırasında pH her iki reaktörde de sürekli artış göstermiştir (Şekil 4.10 a). SnA ve AÇSS arıtımın'da sürekli sülfürik asit ilavesi yapılarak sırasıyla pH 7,9-8,3 ve 7,95-7,65 aralığında tutulmuştur.

Bikarbonat tüketim oranı ($\text{HCO}_3/\text{NH}_4^+\text{-N}$) SnA ile beslenen reaktörde 2,32 ve AÇSS ile beslenen reaktörde 3,50 g $\text{CaCO}_3/\text{g N}$ olarak gerçekleşmiştir. İlk 6,5 saatlik reaksiyon sırasındaki HCO_3 tüketim hızı ise AKR1'de 36-62,2 mg/L.sa, AKR2'de 30-95,5 mg/L.sa aralığında gerçekleşmiştir.

Nitritasyon sürecinde UYA her iki reaktörde de artış göstermiş fakat önceki setlere göre azalan seviyelerde (AKR1'de 25'den 48 mg/L'ye AKR2'de 25'den 80 mg/L'ye) gerçekleşmiştir (Şekil 4.11 a).

Alkalinite, AÇSS arıtımında yüksek seviyede yüksek bikarbonat katkısı ve yüksek UYA üremesi ile gerçekleşirken, SnA için daha düşük bikarbonat ve UYA seviyesinde gerçekleşmiştir. Sonuç olarak her iki reaktörde de alkaliniteye %4-16 seviyesinde UYA

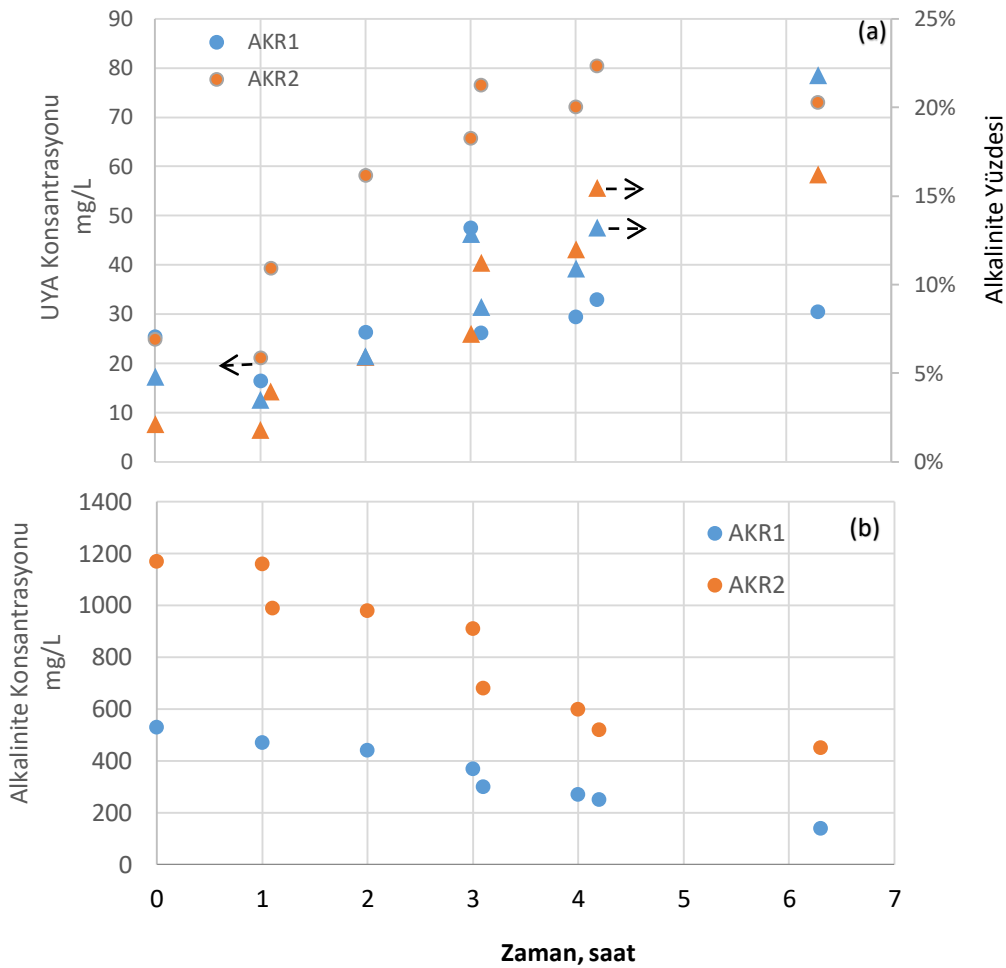
katkısı elde edilmiştir (Şekil 4.11 b). Organik madde varlığında ise yüksek seviyede alkalinite sağlanırken bikarbonat ilavesinden tasarruf edilmiştir.



Şekil 4.10. Reaktörlerde 25 °C ve 3. substrat seviyesi için (a) pH ve (b) bikarbonat konsantrasyon ve alkaliniteye katkı yüzdesi (turuncu ok: asit ilavesi, mavi ok: HCO₃⁻ ilavesi)

6,5 saatlik reaksiyon sonucunda, kütle dengesi yapıldığında %59,2'si nitrite, %29,2'si nitrata, AKR2'de %22,9'u nitrite, %43,4'ü nitrata dönüştüğü belirlenmiştir (Şekil 4.12 a-b). AKR1'de 11,6 AKR2'de %33,7'si kayıp olarak görülmektedir. Bu da her iki reaktörde de denitrifikasyonla nitrit/nitrat giderimi gerçekleştiğini göstermektedir. Ayrıca sentetik beslemede giderilen amonyumun büyük kısmı nitrite kadar dönüşürken, AÇSS ile beslemede nitrata dönüşmüştür. AKR1'de nitrit oksidasyonun daha düşük gerçekleşmesi, NOB'ler için bikarbonat yetersizliği sebebine bağlanmıştır.

6,5 saat izlenen reaksiyon boyunca SNA, AKR1'de 0,38-1,64 µg/L, AKR2'de 0,03-0,38 µg/L seviyelerinde gerçekleşmiştir (Şekil 4.12 c). 1. ve 2. substrat seviyelerinde olduğu gibi bu sette de pH'nın 8'in üstünde gerçekleşmesi ile her iki reaktörde de SNA toksik seviyelerin altında gerçekleşmiştir. SA, AKR1'de reaksiyon boyunca 14-29 mg/L aralığında gerçekleşmiştir. AKR2'de reaksiyon başlangıcında 61



Şekil 4.11. Reaktörlerde 25 °C ve 3.substrat seviyesi için (a) UYA ve (b) alkalinite değişimleri

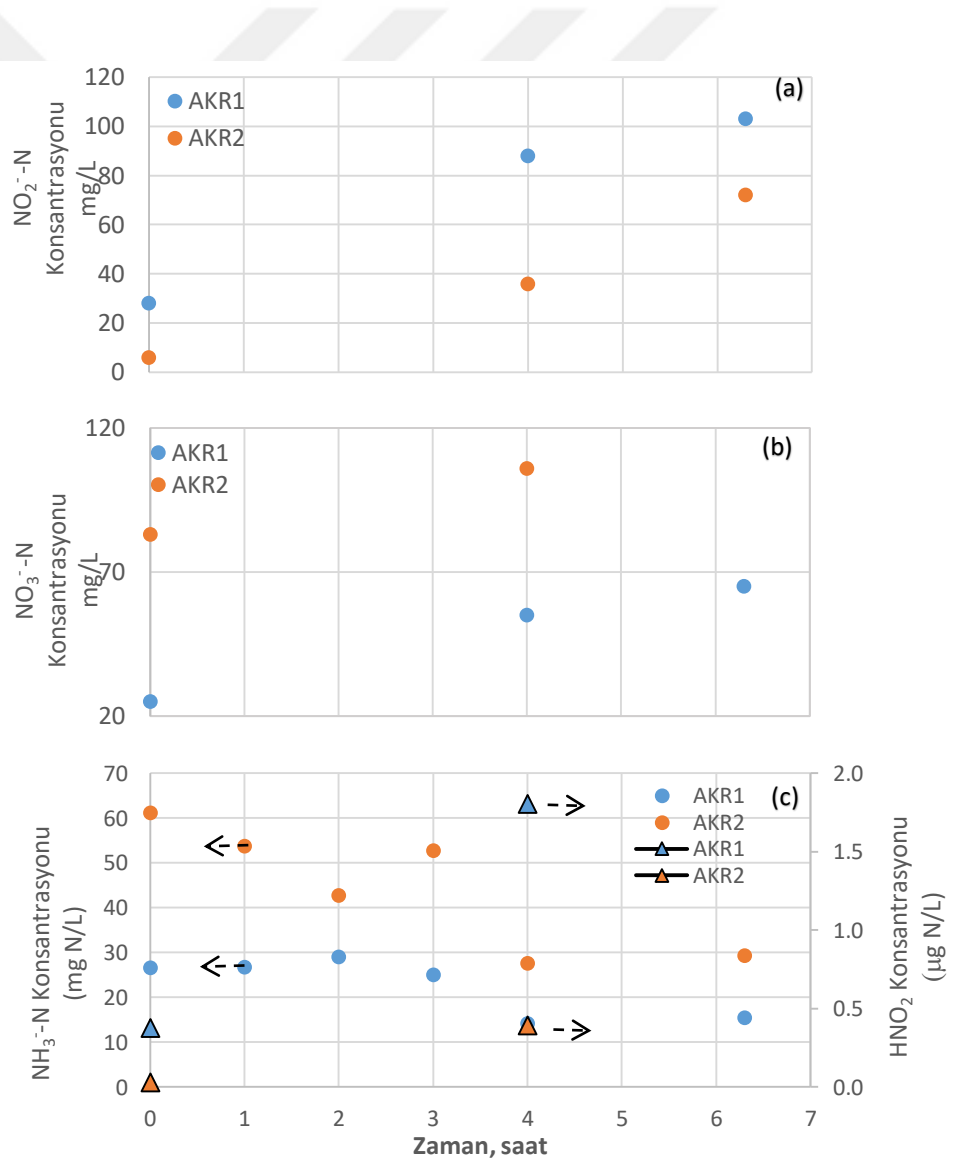
mg/L olup reaksiyonun ilerlemesi ile 29 mg/L konsantrasyon değerine kadar düşmüştür. Fakat reaksiyonun büyük kısmında SA'nın toksik seviyelerde olması AGH'nın AÇSS ile beslenen reaktörde düşük olmasını açıklamaktadır.

4.2. 30 °C'de Kinetik Çalışma Sonuçları

4.2.1. Birinci Substrat Seviyesi

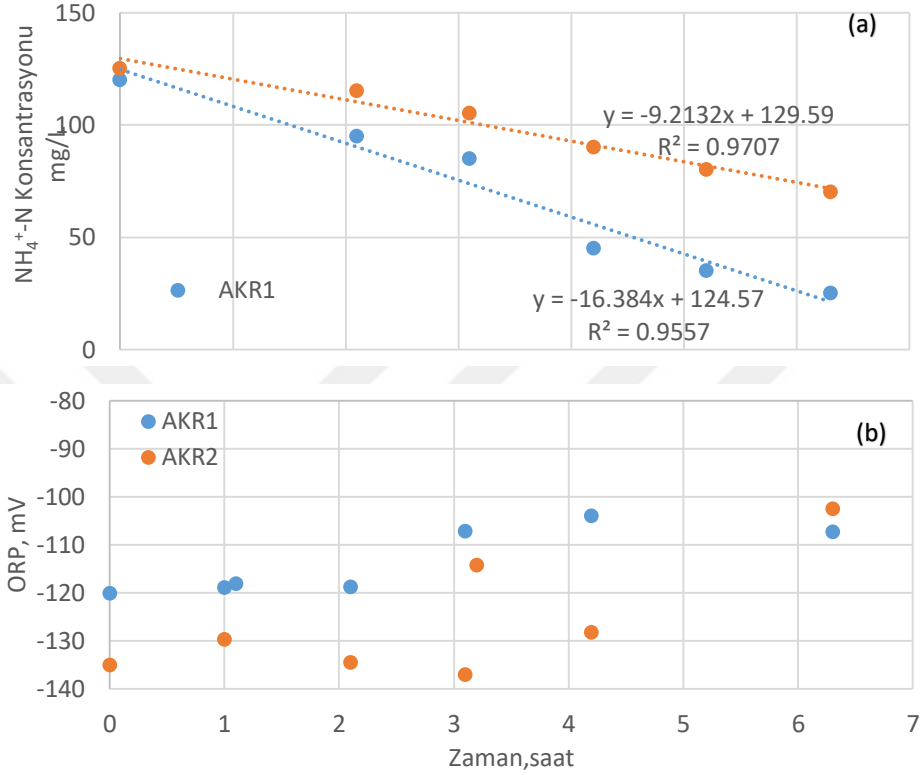
Birinci substrat seviyesinde (120-125 mg/L) AGH, SnA ile beslenen AKR1 ve AÇSS ile beslenen AKR2 için sırasıyla 16,3 (0,39 kg/m³.gün) ve 9,2 mg NH₄⁺-N/L.sa (0,22 kg/m³.gün) olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.13 a). Gali ve ark. (2007) 30±0,5 °C sıcaklıkta AKR'de AÇSS arıtım çalışması yürütmüş ve 1,71 kg N/m³gün AYH'da AGH=1,1±0,1 kg N/m³.gün olarak gerçekleşmiştir. Dosta ve ark.'nın (2005) 30°C işletim koşullarında AKR ile AÇSS nitritasyonunda 0,87 kg N/m³.gün AYH'da 0,85 kg

N/m^3 .gün AGH'ı elde edilmiştir. Liang ve Liu (2007) çalışmasında ise $T=30\pm 1$ °C'de çöp sızıntı suyunun kısmi nitritasyonunu yukarı akışlı sabit yataklı biyofilm reaktör'de çalışmıştır. $0,2-1,0$ kg $kg N/m^3$.gün azot yükleme hızı uygulanmış ve $0,12-0,7$ kg N/m^3 .gün hızıyla amonyum giderimi gerçekleşmiştir. Bu substrat seviyesinde SnA için elde ettiğimiz hız Gali ve ark. (2007) ve Dosta ve ark. (2005) ve farklı atıksu ile çalışan Liang ve Liu (2007) çalışmasında elde ettikleri hız ile uyumludur. AÇSS artırımında elde ettiğimiz AGH ise Gali ve ark. (2007), Dosta ve ark. (2005) ve Liang ve Liu (2007) çalışmasından daha yavaş gerçekleşmiştir. Reaksiyonun her iki atıksu için 0. derecede ilerlediği belirlenmiştir. ORP reaksiyon sürecinde AKR1'de $120,2 - (-104,1)$ mV, AKR2'de $-137,1 - (-102,6)$ mV aralığında anoksik seviyede değişim göstermiştir (Şekil 4.13 b).



Şekil 4.12. Reaktörlerde 25°C ve 3.substrat seviyesi için nitritasyon sürecinde (a) nitrit, (b) nitrat ve (c) SA/SNA değişimi

Bu substrat seviyesinde AKR1’de 470 mg/L AKR2’de 920 mg/L biyokütle konsantrasyonu ile çalışılmıştır. Reaksiyon hızları biyokütle bazında SnA ve AÇSS için sırasıyla 34,7 mg N/g UKM.sa (0,83 g N/g UKM.gün) ve 10 mg N/g UKM.sa (0,24 g N/g UKM.gün) olarak gerçekleşmiştir.

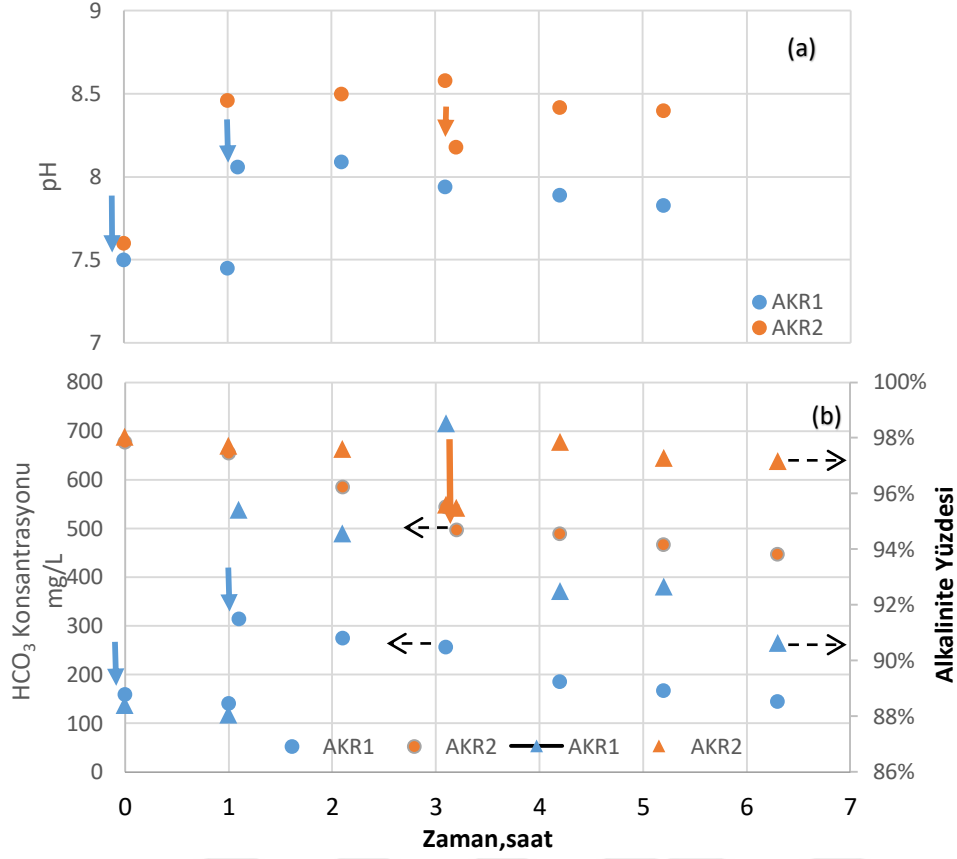


Şekil 4.13. Reaktörlerde 30 °C ve 1. substrat seviyesi için (a) amonyum ve (b) ORP değişimi

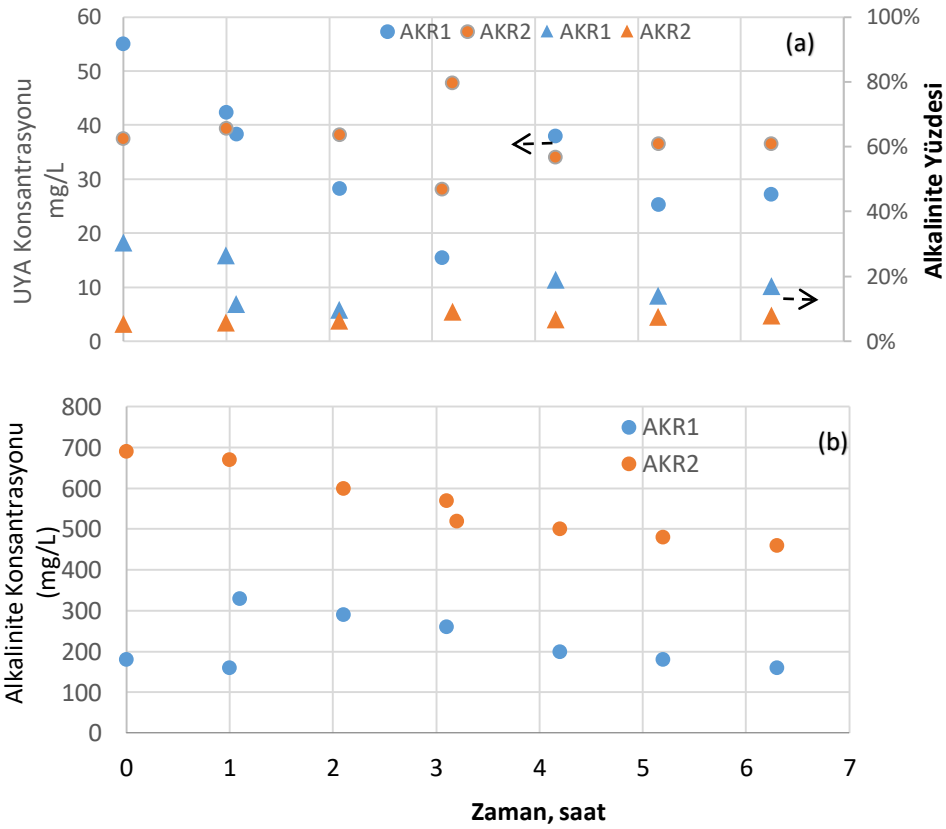
Reaksiyonun başlaması ile AKR1’de pH sürekli düşüş gösterirken AKR2’de sürekli yükselmiştir (Şekil 4.14 a.). AKR2’deki sürekli artışın sebebi çözülmüş CO₂’nin atmosfere sıyrılması ile asidite giderimine bağlanmıştır. SnA ile beslenen reaktöre iki kez NaHCO₃ eklemesi yapılarak pH 7,5-8,09 aralığında, AÇSS ile beslenen reaktörde ise bir kez sülfürik asit ile müdahale edilerek pH 7,5-8,6 aralığında reaksiyon gerçekleştirilmiştir.

Bikarbonat tüketim oranı (HCO₃/NH₄⁺-N) AKR1’de 1,98, AKR2’de 3,3 g CaCO₃/g N olarak gerçekleşmiştir. HCO₃ tüketim hızı ise AKR1’de 18-64,5 ve AKR2’de 8-62,7 mg/L.sa olarak elde edilmiştir.

Nitritasyon sürecinde UYA AKR1’de azalırken (60 mg/L’den 15 mg/L’e), AKR2’de belirgin değişim gözlenmemiştir. (Şekil 4.15 a). Fakat alkaliniteye UYA katkısı her iki reaktörde de düşük seviyede (% 20±10 ve % 7±2) gerçekleşmiştir. AÇSS arıtımında bu seviye daha düşük gerçekleşmiştir (Şekil 4.15 b).



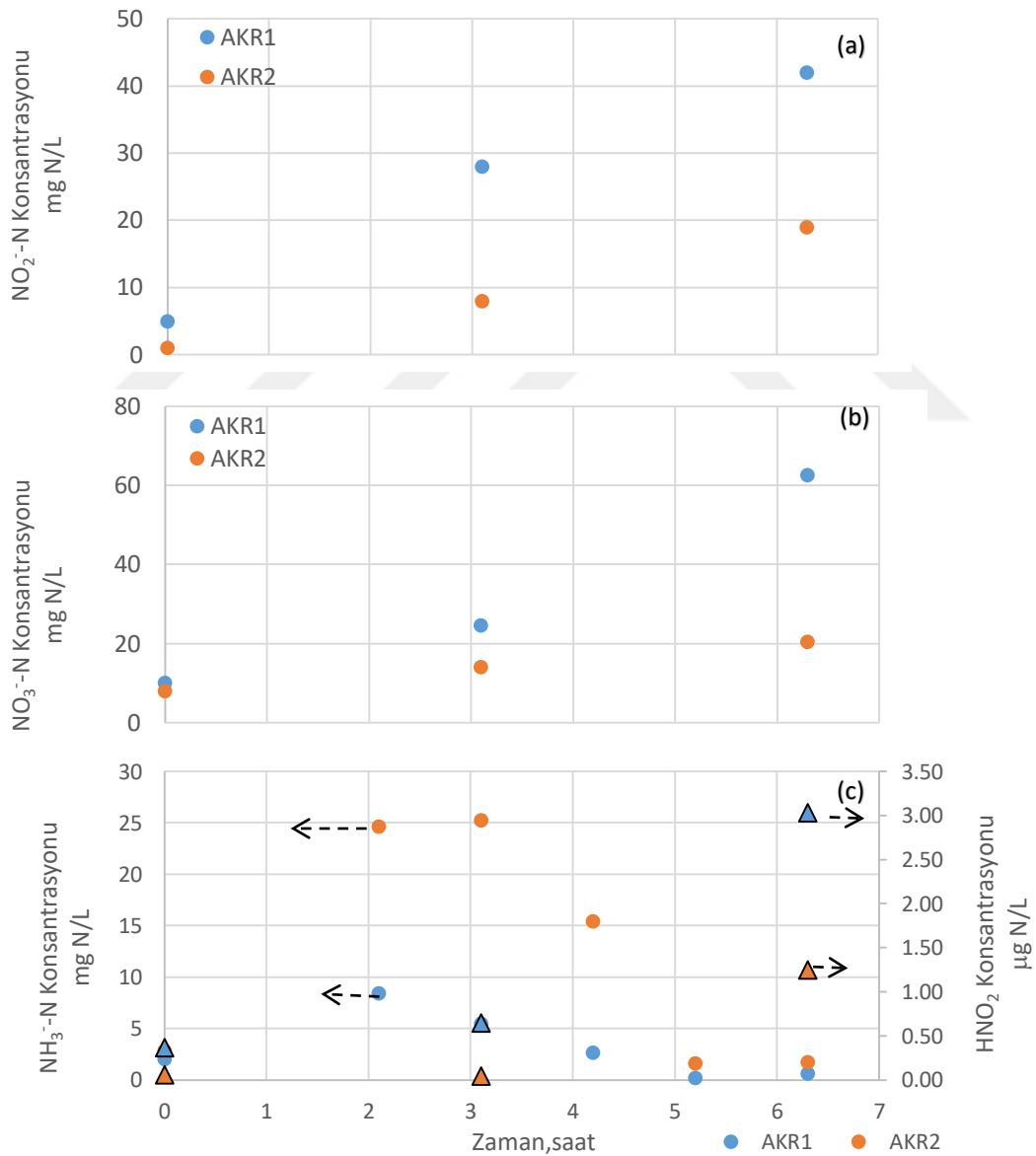
Şekil 4.14. Reaktörlerde 30 °C ve 1. substrat seviyesi için (a) pH ve (b) bikarbonat konsantrasyonu ile alkaliniteye katkı yüzdesi (turuncu ok: asit ilavesi, mavi ok: HCO₃⁻ ilavesi)



Şekil 4.15. Reaktörlerde 30 °C ve 1. substrat seviyesi için (a) UYA ve (b) alkalinite değişimleri

Kütle dengesi yapıldığında AKR1’de giderilen amonyumun %38,94’ü nitrite, %55,3’ü nitrate, AKR2’de %32,7’i nitrite, %22,7’si nitrate dönüştüğü belirlenmiştir (Şekil 4.16 a-b). Giderilen amonyumun AKR1’de 5,76 AKR2’de %44,6’i kayıp olarak hesaplanmıştır.

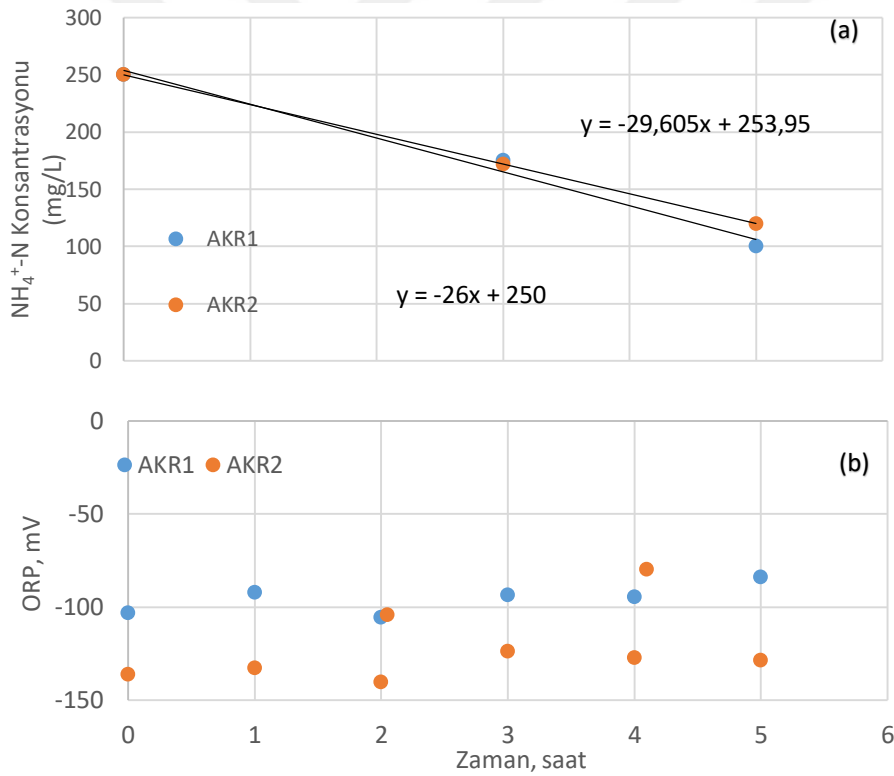
SNA, AKR1’de 0,36-3 $\mu\text{g/L}$, AKR2’de 0,04-1,24 $\mu\text{g/L}$ seviyelerinde gerçekleşmiştir (Şekil 4.16 c). SA AKR1’de 4 ± 4 mg/L iken AKR2’de reaksiyon sırasında pH artışı ile 25 mg N/L seviyesine yükselmiştir. Amonyumun tüketilmesi ve pH’nın düşürülmesi ile 2 mg N/L seviyesine düşmüştür. Reaksiyon süresince toksik seviyelere ulaşmıştır. Bu da AGH’nın AKR2’de düşük olmasını açıklamaktadır.



Şekil 4.16. Reaktörlerde 30 °C ve 1.substrat seviyesi için nitritasyon sürecinde (a) nitrit, (b) nitrat ve (c) SA/SNA değişimi

4.2.2. İkinci Substrat Seviyesi

İkinci substrat seviyesinde (250 mg/L) AGH, SnA ve AÇSS için sırasıyla 29,6 (0,71 kg/m³.gün) ve 26 mg NH₄⁺-N/L.sa (0,62 kg/m³.gün) olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.17 a). SnA için elde ettiğimiz hız Gali ve ark. (2007) ve Liang ve Liu. (2007) çalışmalarıyla uyumlu iken Dosta ve ark. (2005) çalışmalarından daha yavaş gerçekleşmiştir. AÇSS arıtımında gerçekleşen hız ise Gali ve ark. (2007) , Dosta ve ark. (2005) ve Liang ve Liu. (2007) çalışmalarından daha yavaş gerçekleşmiştir. Reaksiyonun her iki atıksu için 0. derecede ilerlediği belirlenmiştir. ORP AKR1’de -105,4- (-83,6) mV, AKR2’de bikarbonat ve asit eklemeleri sırasındaki ani değişimlerin dışında reaksiyon sırasında -140,1 –(-123,6) mV aralığında anoksik seviyede değişim göstermiştir (Şekil 4.17 b).

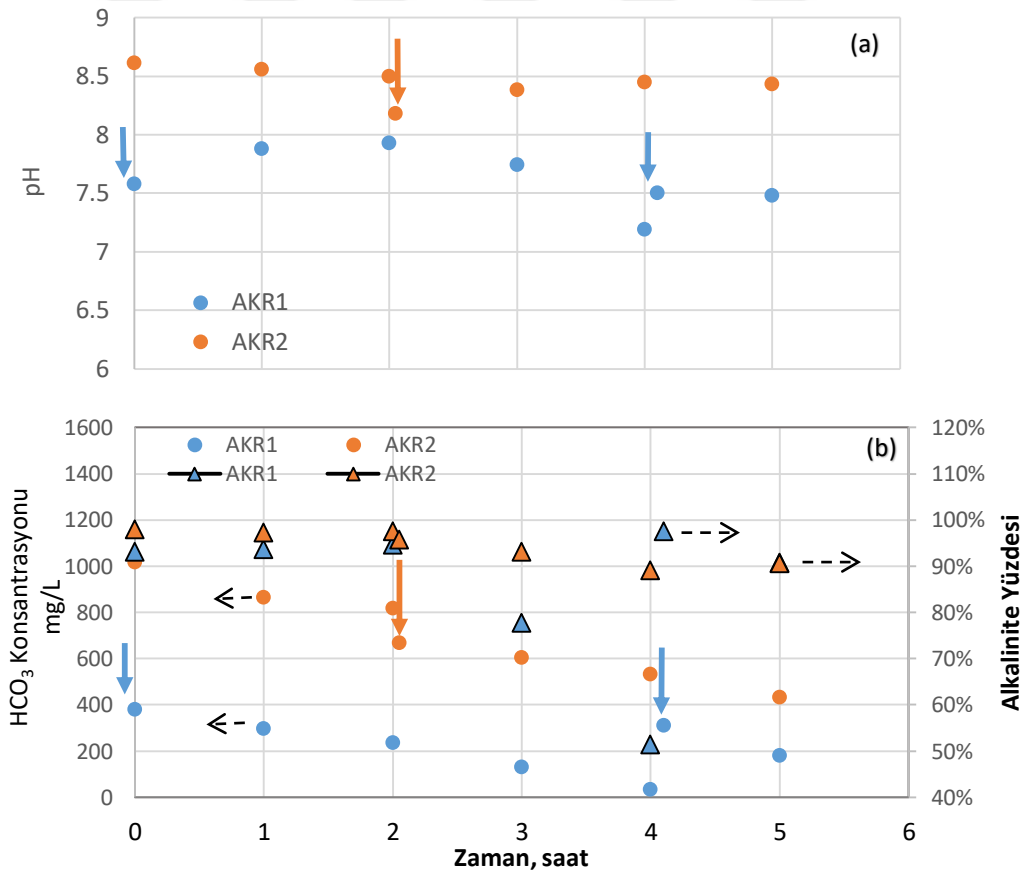


Şekil 4.17. Reaktörlerde 30 °C ve 2.substrat seviyesi için (a) amonyum ve (b) ORP değişimi

Bu substrat seviyesinde AKR1’de 440 mg UKM/L ile çalışılırken AKR2’de daha yüksek seviyede biyokütle (820 mg/L) ile çalışma yürütülmüştür. Reaksiyon hızları biyokütle bazında SnA ve AÇSS için sırasıyla 67,3 mg N/g UKM.sa (1,61 g N/g UKM.gün) ve 31,7 mg N/g UKM.sa (0,76 g N/g UKM.gün) olarak gerçekleşmiştir.

Reaksiyonun ilk zamanlarında pH AKR1’de artış gösterirken diğer setlerin aksine AKR2’de sürekli azalma göstermiştir (Şekil 4.18 a.). SnA ile beslenen reaktörde nitritasyon sürecinde bikarbonat azalmış fakat yapılan ilavelerle pH 7,5-8 aralığında tutulmuştur. AÇSS ile beslenen reaktörde ise yüksek seviyelerdeki pH nedeniyle toksik SA oluşumunu engellemek için bir kez sülfürik asit ile müdahale edilerek pH 8 civarlarına düşürülmüştür. Gece boyu ilerleyen reaksiyon sonunda pH AKR1’de 9,18’e yükselirken AKR2’de 6,32’e düşmüştür. Sentetik beslemede pH’nın 9 civarına yükselmesi beşinci saatin sonunda eklenen yüksek bikarbonat ile açıklanabilir.

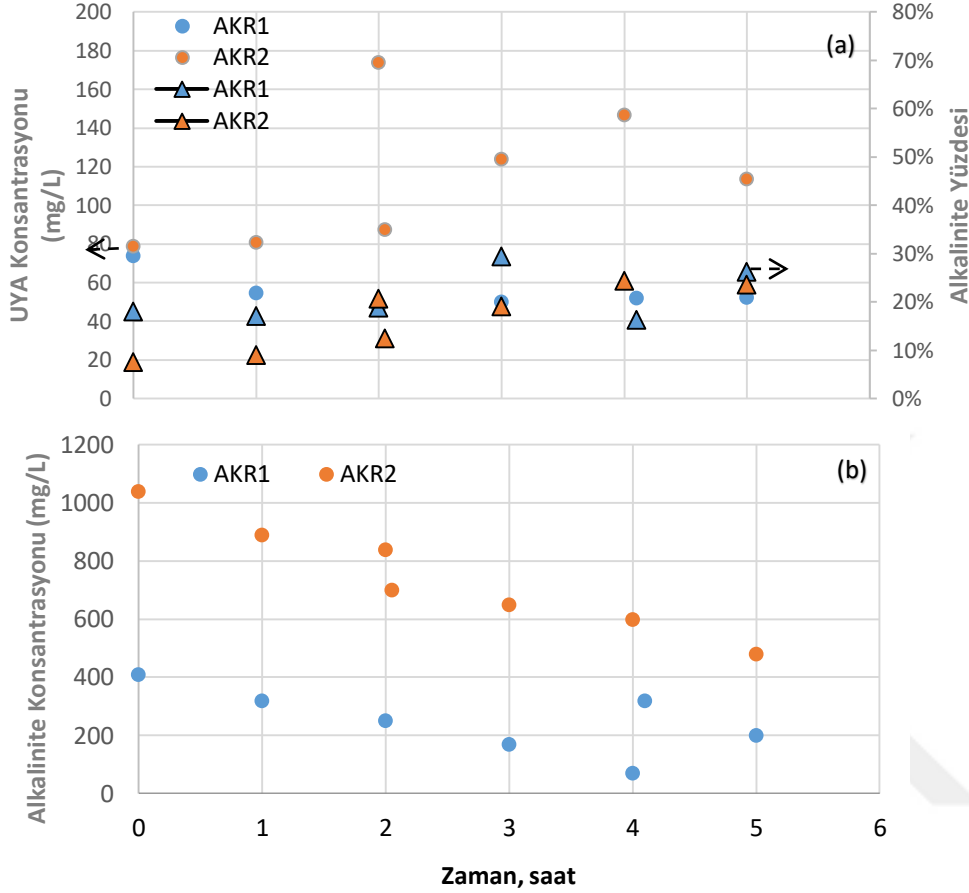
Bikarbonat tüketim oranı ($\text{HCO}_3/\text{NH}_4^+\text{-N}$) AKR1’de 2,96 ve AKR2’de 3,75 g $\text{CaCO}_3/\text{g N}$ olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.18 b). HCO_3 tüketim hızı ise AKR1’de ortalama 95 mg/L.sa olarak gerçekleşirken AKR2’de sürekli ve belirgin bir hız elde edilememiştir.



Şekil 4.18. Reaktörlerde 30°C ve 2.substrat seviyesi için (a) pH ve (b) bikarbonat konsantrasyon ve alkaliniteye katkı yüzdesi (turuncu ok: asit ilavesi, mavi ok: HCO_3^- ilavesi)

Nitritasyon sürecinde UYA AKR1’de azalırken, AKR2’de artış göstermiştir (Şekil 4.19 a). Alkaliniteye UYA katkısı her iki reaktörde de düşük seviyede (%10-25

aralığında) gerçekleşmiştir. AKR2’de bikarbonatın bitmesi ile alkalinitenin tamamı UYA’dan oluşmuştur (Şekil 4.19 b).



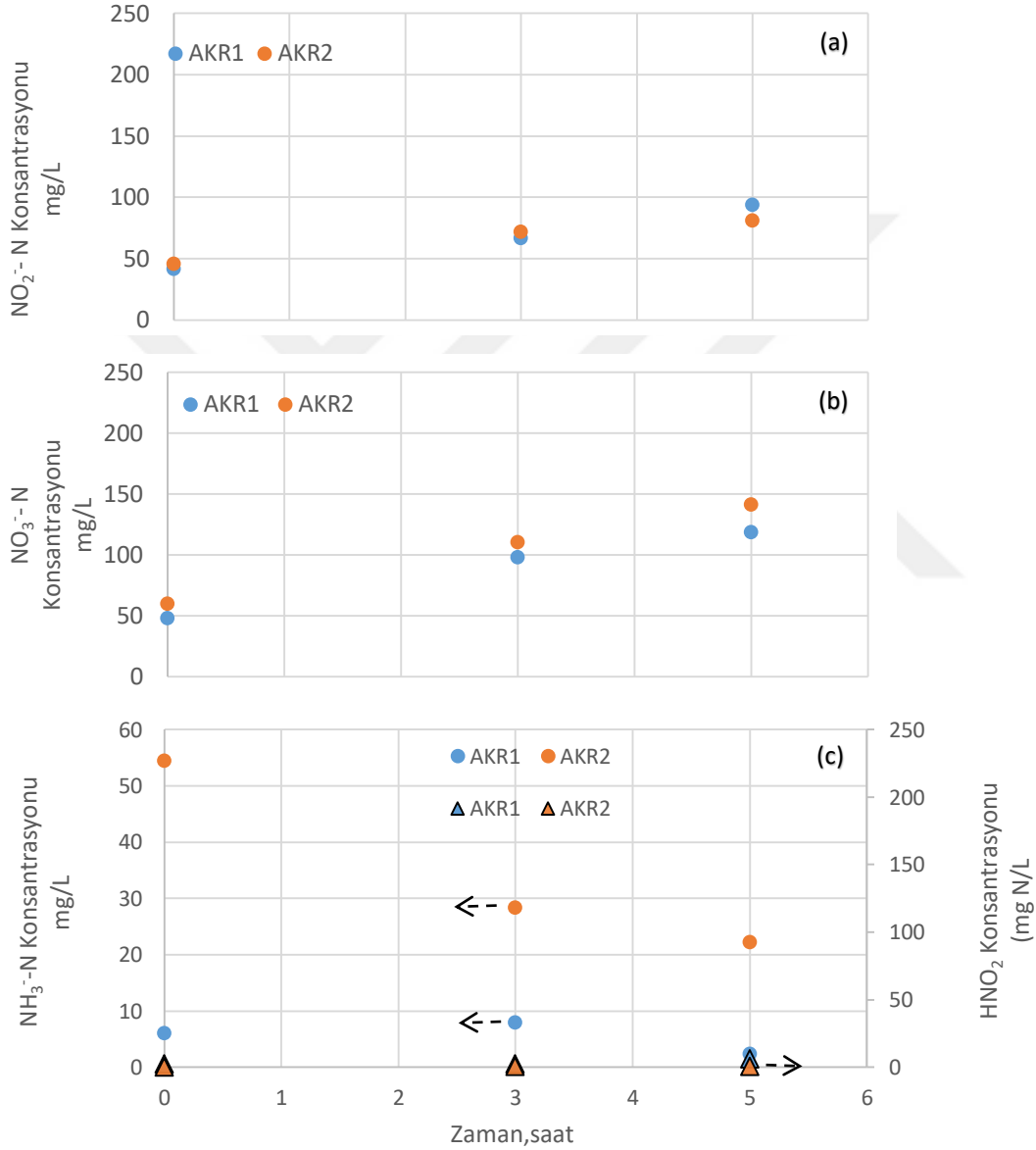
Şekil 4.19. Reaktörlerde 30°C ve 2. substrat seviyesi için (a) UYA ve (b) alkalinite değişimleri

Reaksiyon sonucunda, kütle dengesi yapıldığında SnA arıtımın’da giderilen amonyumun %34,6’sı nitrite, %47’si nitrate, AÇSS arıtımın’da %26,9’u nitrite, %62,7’si nitrate oksitlenmiştir (Şekil 4.20 a-b). AKR1’de giderilen amonyumun %18,4’ü ve AKR2’de %10,4’ü kayıp olarak hesaplanmıştır. Kayıplar denitrifikasyonla nitrit/nitrat gideriminin de gerçekleştiğini göstermektedir. Nitrate dönüşümün AKR1’de daha düşük kalması bikarbonat yetersizliğine bağlanmıştır.

Reaksiyon boyunca SNA AKR1’de 2,35-6,16 µg/L, AKR2’de 0,24-0,59 µg/L seviyelerinde gerçekleşmiştir (Şekil 4.20 c). SA AKR1’de 5±3 mg/L iken AKR2’de reaksiyon başlangıcında 54 mg/L civarlarında olup reaksiyonun ilerlemesi ile 22 mg/L konsantrasyon değerine kadar düşmüştür. Reaksiyon boyunca SA’nın toksik seviyelerde olması AGH’nın AKR2’de düşük olmasını açıklamaktadır.

4.2.3. Üçüncü Substrat Seviyesi

Üçüncü substrat seviyesinde (300-310 mg/L) AGH, SnA ve AÇSS arıtımı için sırasıyla 40,7 (0,97 kg/m³.gün) ve 39,7 mg NH₄⁺-N/L.sa (0,95 kg/m³.gün) olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.21 a). SnA için elde edilen hız Liang ve Liu (2007) çalışmalarıyla uyumlu iken Gali ve ark. (2007) elde ettiği AGH'dan daha yüksek ve

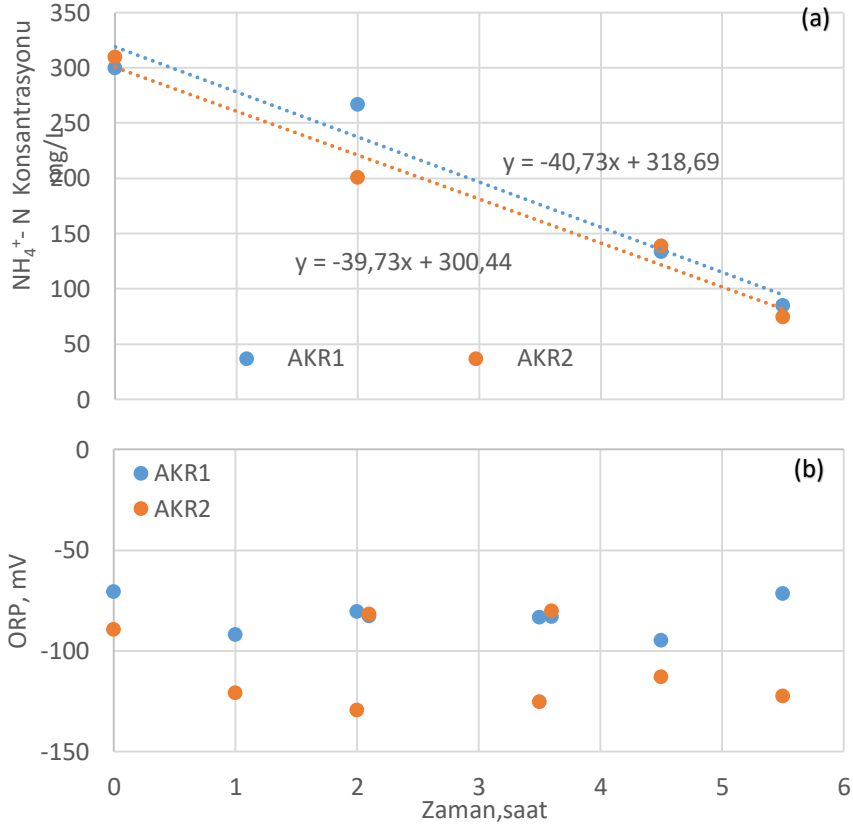


Şekil 4.20. Reaktörlerde 30 °C ve 2.substrat seviyesi için nitritasyon sürecinde (a) nitrit, (b) nitrat ve (c) SA/SNA değişimi

AÇSS arıtımında gerçekleşen hız Gali ve ark. (2007) çalışmalarından daha yavaş, Liang ve Liu. (2007), Dosta ve ark. (2005) çalışmasından elde ettiği hızdan daha hızlı gerçekleşmiştir. ORP AKR1'de -94,7 -(-70,3) mV, AKR2'de -129,2-(-80,1) mV

aralığında anoksik seviyede değişim göstermiştir (Şekil 4.21 b). ORP'nin daha düşük ve geniş aralıkta seyretmesinde etkili olduğu gözlenmiştir.

AKR1'de 600 mg/L AKR2'de 610 mg/L biyokütle konsantrasyonu ile çalışılmıştır. Reaksiyon hızları biyokütle bazında SnA ve AÇSS için sırasıyla 67,83 mg N/g UKM.sa (1,63 g N/g UKM.gün) ve 65,1 mg N/g UKM.sa (1,56 g N/g UKM.gün) olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 4.21. Reaktörlerde 30 °C ve 3.substrat seviyesi için (a) amonyum ve (b) ORP değişimi

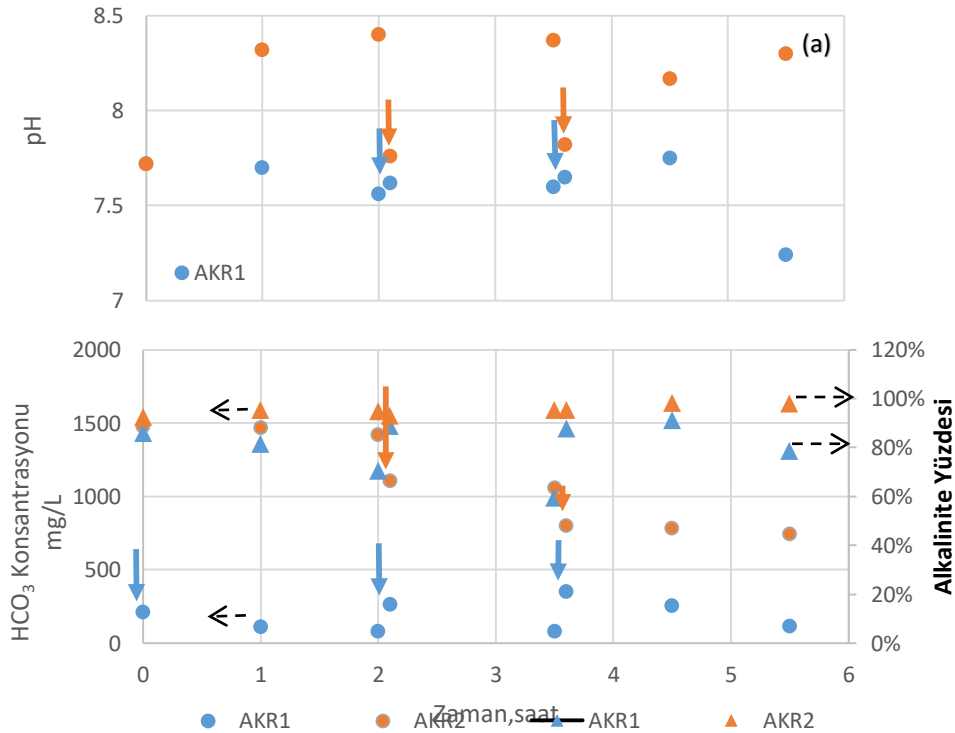
Reaksiyonun başlaması ile AKR1'de pH'da belirgin değişim olmazken, AKR2'de yükselme gözlemlenmiştir (Şekil 4.22 a). SnA ile beslenen AKR1'de nitritasyon sürecinde bikarbonat azalmış fakat yapılan ilavelerle pH 7,5-7,8 aralığında tutulmuştur. AÇSS ile beslenen reaktörde ise atık suyun içeriğindeki bikarbonat, nitritasyon süresince yeterli seviyede mevcut olduğu için, sadece pH yükselmesine asit ile müdahale edilerek pH kontrol altına alınmıştır. Nitritasyonun başlamasını takiben asit ilavesine rağmen AKR2'de pH sürekli olarak 8,2 üzerine yükselmiştir (Şekil 4.22 b). AÇSS beslemesinde pH'nın sürekli artışı diğer setlerle benzerlik gösterirken, sentetik beslemede pH'nın artış göstermeden sürekli düşmesi bikarbonatın bu sette daha kontrollü verilmesi sebebiyle gerçekleşmiştir.

Bikarbonat tüketim oranı ($\text{HCO}_3/\text{NH}_4^+\text{-N}$) SnA ile beslenen AKR1’de 2,54 ve AÇSS ile beslenen AKR2’de 0,69 g $\text{CaCO}_3/\text{g N}$ olarak (asit ilavesi ile) gerçekleşmiştir. HCO_3 tüketim hızı ise AKR1’de 122-130 mg/L.sa seviyesinde hesaplanırken AKR2’de hesaplanamamıştır.

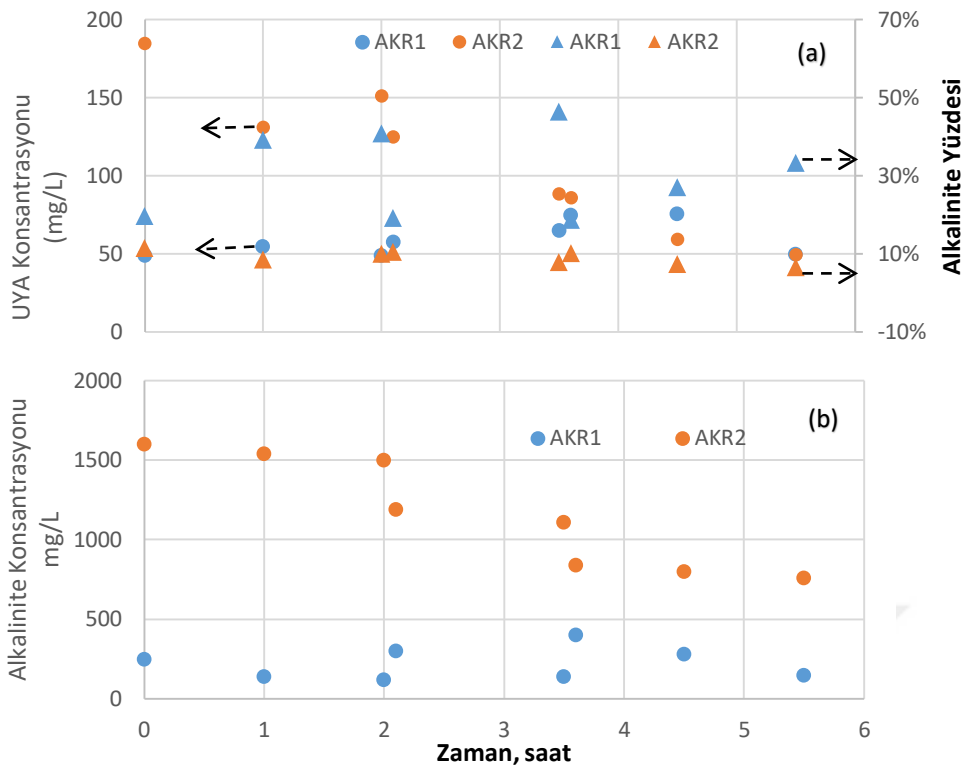
Nitritasyon sürecinde UYA AKR1’de 50-55 mg/L seviyelerinde olup değişim göstermezken AKR2’de 185 den 50 mg/L konsantrasyonuna azalmıştır (Şekil 4.23 a). Alkalinite AÇSS artırımında yüksek seviyede yüksek bikarbonat katkısı ile gerçekleşirken SnA için bikarbonat tüketimi sebebiyle UYA’nın daha yüksek (%30(+/-)15) seviyede katkısı elde edilmiştir (Şekil 4.23 b).

Kütle dengesi yapıldığında AKR1’de giderilen amonyumun %35’i nitrite, %65’i nitrate, AKR2’de ise %26’sı nitrite, %74’ü nitrate dönüştüğü belirlenmiştir (Şekil 4.24 a-b). AKR1 ve AKR2’de kütle dengesi tamamlanmıştır.

SNA, AKR1’de 0,6-2,24 $\mu\text{g/L}$ aralığında oluşurken reaksiyonun sonlarına doğru pH’nın ani düşüşü ile 10,05 $\mu\text{g/L}$ değerine ulaşmıştır. AKR2’de ise 0-0,56 $\mu\text{g/L}$ seviyelerinde gerçekleşmiştir (Şekil 4.24 c). SA, AKR1’de 5 ± 4 mg/L seviyesinde oluşarak toksik eşğin altında kalmıştır. AKR2’de ise reaksiyon sırasında pH artışı ile 35 mg N/L seviyesine kadar yükselmesine rağmen amonyum oksidasyonunu etkilememiştir.



Şekil 4.22. Reaktörlerde 30 °C ve 3.substrat seviyesi için (a) pH ve (b) bikarbonat konsantrasyon ve alkaliniteye katkı yüzdesi (turuncu ok: asit ilavesi, mavi ok: HCO_3^- ilavesi)



Şekil 4.23. Reaktörlerde 30 °C ve 3. substrat seviyesi için (a) UYA ve (b) alkalinite değişimleri

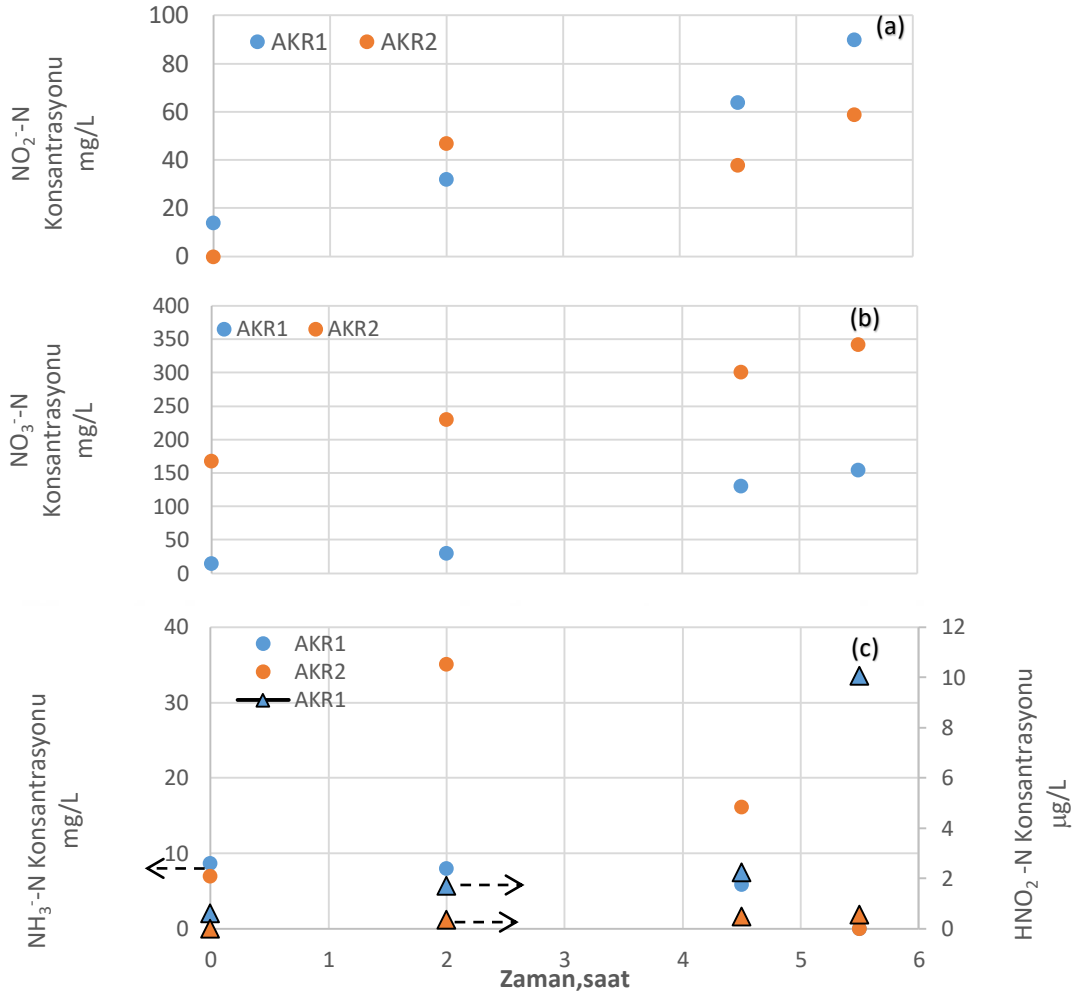
4.3. 35 °C'de Kinetik Çalışma Sonuçları

4.3.1. Birinci Substrat Seviyesi

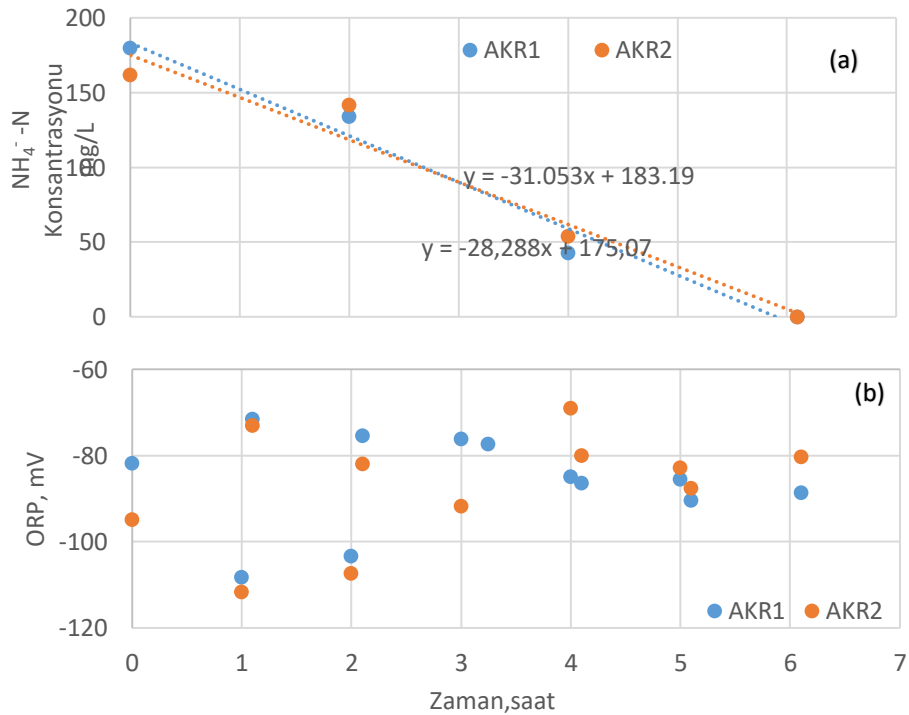
Birinci substrat seviyesinde (160-180 mg/L) AGH SnA ve AÇSS arıtımı için sırasıyla 31,1 (0,75 kg/m³.gün) ve 28,3 mg NH₄⁺-N/L.sa (0,68 kg/m³.gün) olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.25 a). Pra ve ark. (2012) 35 °C'de yüzen yatak reaktörde anaerobik arıtılmış domuz çiftliği atıksuyundan 0.9 kg N/m³.gün azot yükleme hızında, 0,46 kg N/m³.gün AGH elde etmiştir. Ganigue ve ark. (2009) çalışmalarında ise 36±1 °C'de AKR'de çöp sızıntı suyundan 0,85 kg N/m³.gün amonyum yükleme hızında 0,4-0,5 kg N/m³.gün AGH gerçekleşmiştir. Bu substrat seviyesinde her iki reaktördeki hızlar Pra ve ark. (2012) ve Ganigue ve ark. (2009)'nın çalışmalarında gerçekleşen AGH'ından daha hızlı gerçekleşmiştir.

Reaksiyonun her iki atıksu için 0. derecede ilerlediği belirlenmiştir. ORP AKR1'de -108,3 – (-71,6) mV, AKR2'de -111,7 – (-69) mV aralığında değişim göstermiştir (Şekil 4.25 b).

Bu substrat seviyesinde SnA ile beslenen AKR1 (440 mg/L) ve AÇSS ile beslenen AKR2'de (420 mg/L) neredeyse eşit konsantrasyonda biyokütle ile çalışma



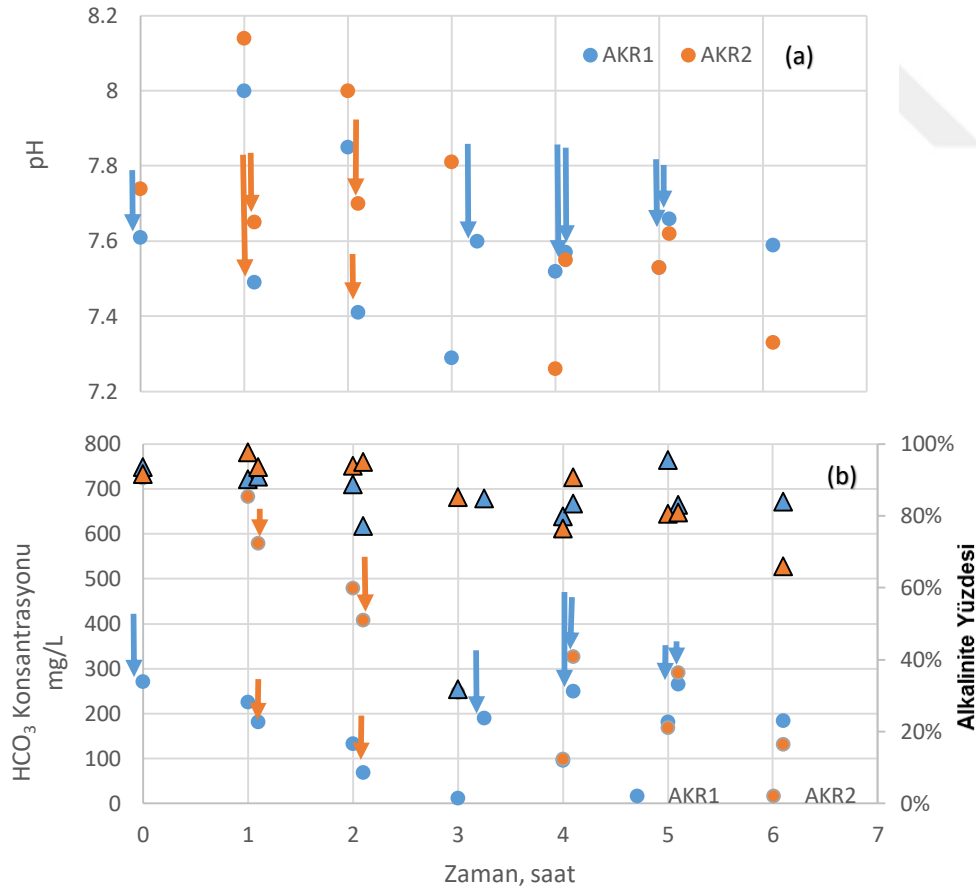
Şekil 4.24. Reaktörlerde 30 °C ve 3. substrat seviyesi için nitritasyon sürecinde (a) nitrit, (b) nitrat ve (c) SA/SNA değişimi



Şekil 4.25. Reaktörlerde 35 °C ve 1. substrat seviyesi için (a) amonyum ve (b) ORP değişimi

yürütülmüştür. Reaksiyon hızları biyokütle bazında AKR1 ve AKR2 için sırasıyla 70,7 mg N/g UKM.sa (1,70 g N/g UKM.gün) ve 67,4 mg N/g UKM.sa (1,61 g N/g UKM.gün) olarak gerçekleşmiştir.

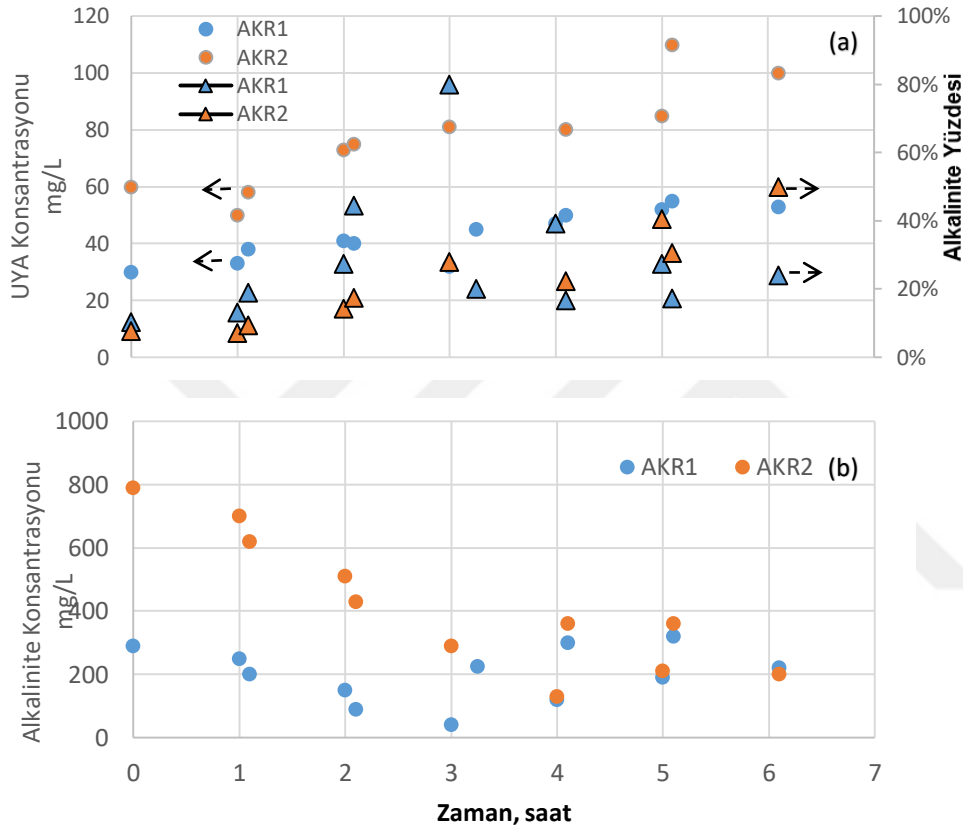
Reaksiyonun başlaması ile her iki reaktörde de pH yükselmiştir (Şekil 4.26 a.). Fakat AKR2’de $8\pm 0,2$ seviyesi ile AKR1’de gerçekleşen $7,9\pm 0,1$ seviyesine göre daha yüksek gerçekleşmiştir. Reaksiyonun ilk zamanlarındaki pH yükselmesi yüksek/toksik SA konsantrasyonları oluşturduğu için asit ilavesi ile pH düşürülmüştür. SnA ile beslenen AKR1’e hem pH kontrolü için sülfürik asit hem bikarbonat ihtiyacından dolayı NaHCO_3 ilavesi hem atıksu içeriğinde hem de reaksiyon sürecinde yapılmıştır. Nitritasyon sürecinde AKR1’de bikarbonat tükenmiş, fakat yapılan ilavelerle pH 7,5-8 aralığında tutulmuştur. AÇSS ile beslenen reaktörde ise atık suyun içeriğindeki bikarbonat yüksek miktarda bulunduğu için reaksiyon başlarında sadece pH yükselmesine asit ile müdahale edilerek pH (7,6-8) kontrol altına alınmıştır. Bikarbonat ilerleyen nitritasyon reaksiyonda tükendiği için AKR2’ye de NaHCO_3 eklemesi yapılmıştır.



Şekil 4.26. Reaktörlerde 35 °C ve 1.substrat seviyesi için (a) pH ve (b) bikarbonat konsantrasyon ve alkaliniteye katkı yüzdesi (turuncu ok: asit ilavesi, mavi ok: HCO_3^- ilavesi)

Bikarbonat tüketim oranı ($\text{HCO}_3/\text{NH}_4^+\text{-N}$) AKR1’de 2,19 ve AKR2’de 4,72 g $\text{CaCO}_3/\text{g N}$ olarak gerçekleşmiştir. HCO_3 tüketim hızı ise 64 mg/L.sa, AKR2’de 125 mg/L.sa olarak elde edilmiştir.

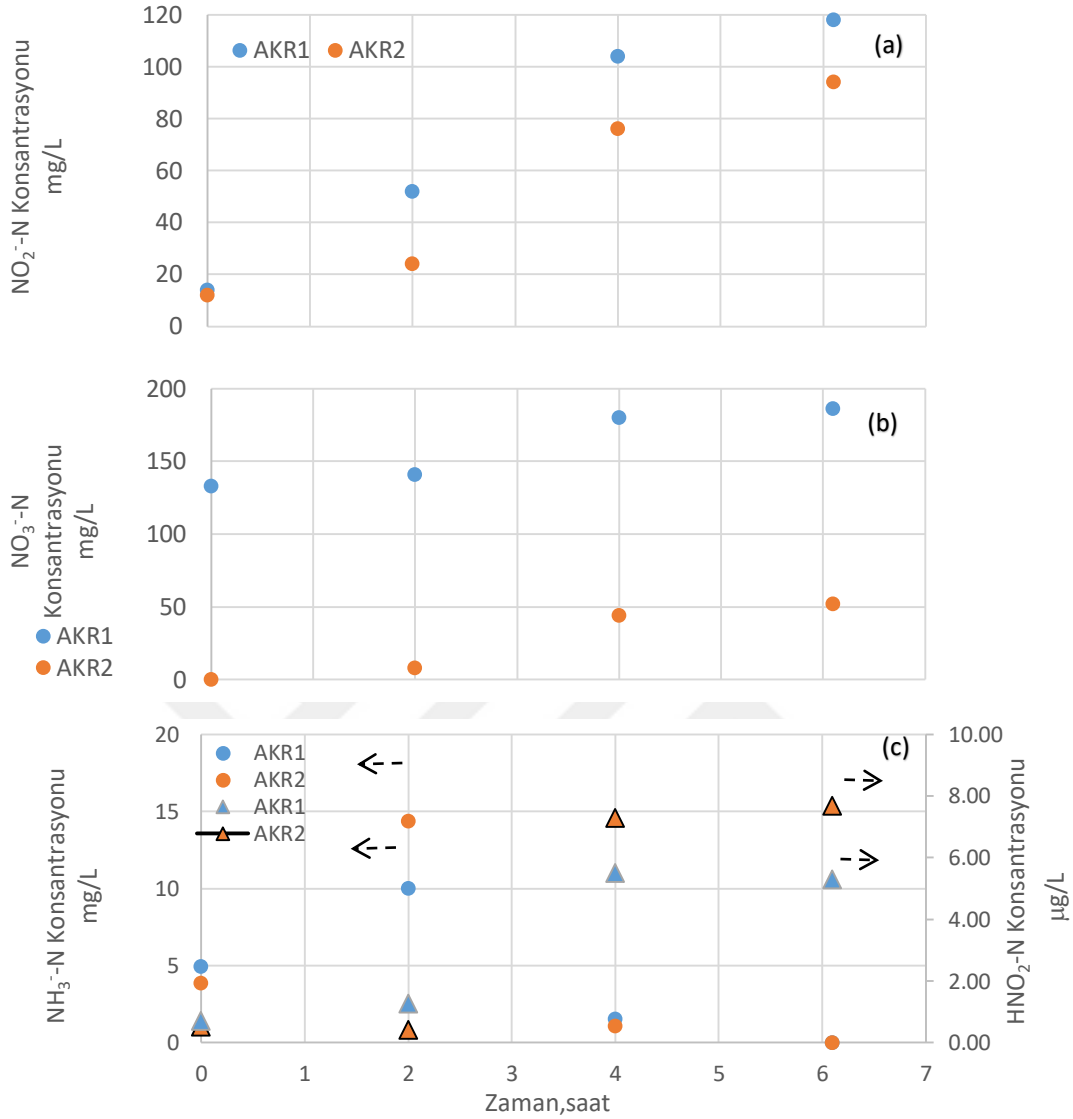
Nitritasyon sürecinde UYA her iki reaktörde de artış göstermiş ve muhtemel denitritasyon için substrat sağlamıştır (Şekil 4.27 a). Alkaliniteye UYA katkısı her iki reaktörde de benzer seviyede (%10-50 aralığında) gerçekleşmiştir (Şekil 4.27 b).



Şekil 4.27. Reaktörlerde 35 °C ve 1.substrat seviyesi için (a) UYA ve (b) alkalinite değişimleri

Kütle dengesi yapıldığında SnA ile beslenen AKR1’de giderilen amonyumun %57,8’i nitrite, %29,4’ü nitrata, AÇSS ile beslenen AKR2’de ise %50,6’sı nitrite, %32,1’i nitrata dönüştüğü belirlenmiştir (Şekil 4.28 a-b). AKR1’de giderilen amonyumun %12,8’i ve AKR2’de %17,3’ü kayıp olarak görülmektedir. Bu da AKR1 ve AKR2’de denitrifikasyonla nitrit/nitrat giderimi gerçekleştiğini göstermektedir.

SNA, AKR1’de 0,72-5,51 $\mu\text{g/L}$, AKR2’de 0,54-7,7 $\mu\text{g/L}$ seviyelerinde gerçekleşmiştir (Şekil 4.27 c). SA, pH artışı ile AKR1’de 10 mg/L ve AKR2’de 14 mg N/L’e yükselmiştir. Amonyumun tüketilmesi ve pH’nın düşürülmesi ile 0 mg N/L seviyesine düşmüştür. Reaksiyon süresince her iki reaktörde de toksik seviyelere ulaşılmış, fakat etkin nitritasyon ile AOB’lerin adaptasyon geliştirdiği gözlenmiştir.

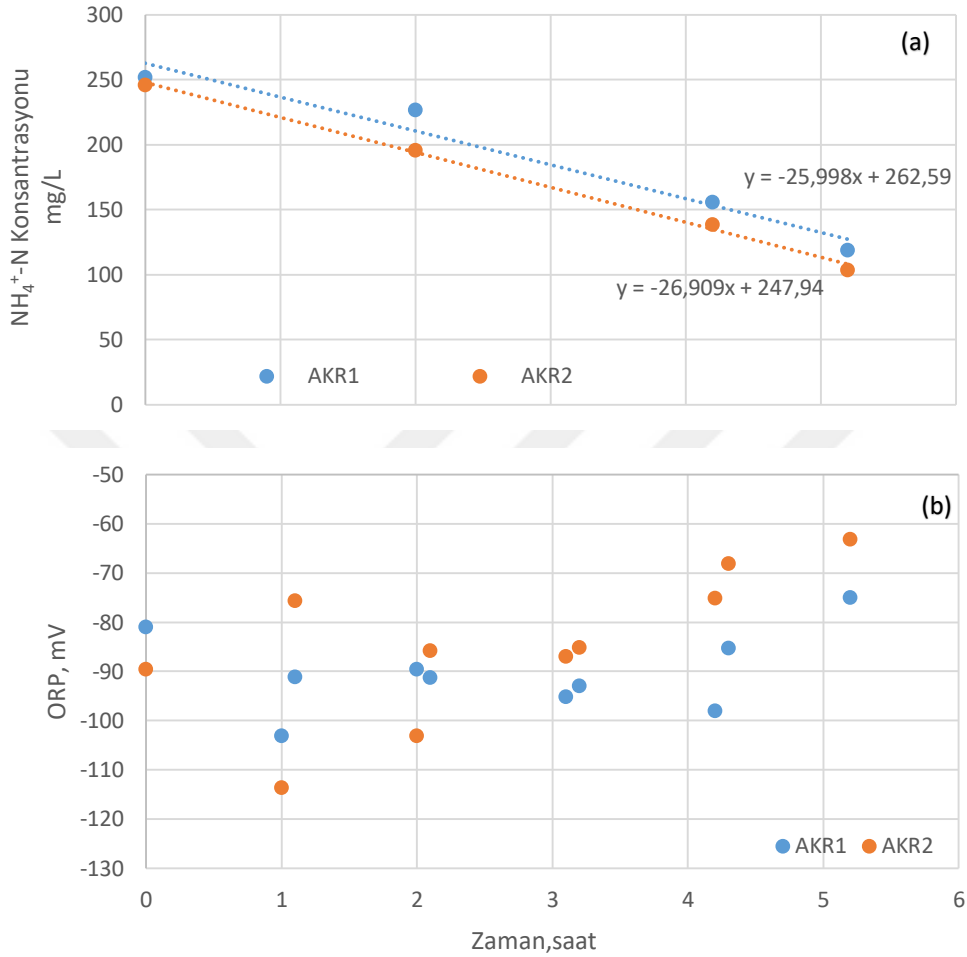


Şekil 4.28. Reaktörlerde 35 °C ve 1. substrat seviyesi için nitritasyon sürecinde (a) nitrit, (b) nitrat ve (c) SA/SNA değişimi

4.3.2. İkinci Substrat seviyesi

İkinci substrat seviyesinde (245-252 mg/L) AGH, SnA ve AÇSS için sırasıyla 26 mg NH₄⁺-N/L.sa (0,62 kg/m³.gün) ve 26,9 mg NH₄⁺-N/L.sa (0,65 kg/m³.gün)) olarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.29 a). Bu sonuçlarla her iki reaktör için de bir önceki substrat seviyesinden daha yavaş nitritasyon gerçekleştiği gözlenmiştir. Yine bu substrat seviyesinde AGH her iki reaktörde de 25 ve 30 °C sıcaklık seviyesindeki tüm substrat seviyelerinden daha yüksek (30 °C SnA istisnaten) gerçekleşmiştir.

Reaksiyonun her iki atıksu için 0. derecede ilerlediği belirlenmiştir. ORP AKR1’de -103,1 – (-75) mV, AKR2 de (-113,7)–(-63,1) mV aralığında değişim göstermiştir (Şekil 4.29 b).



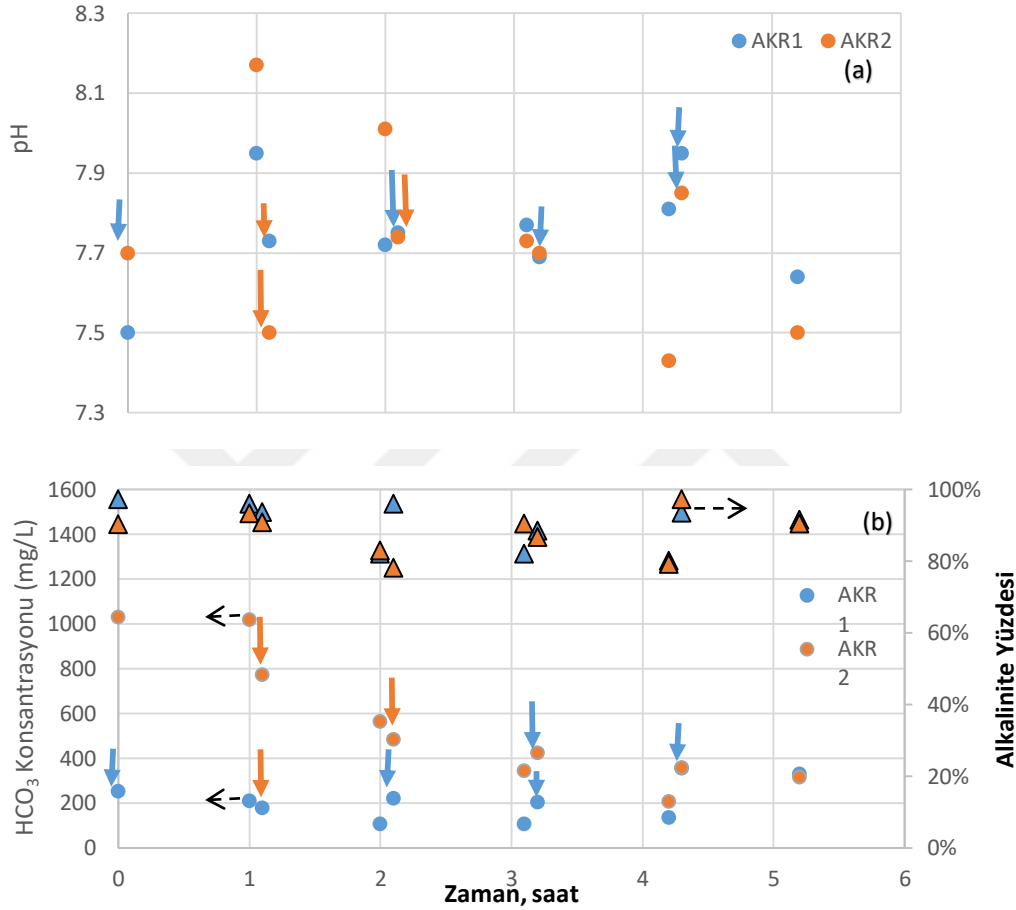
Şekil 4.29. Reaktörlerde 35 °C ve 2.substrat seviyesi için (a) amonyum ve (b) ORP değişimi

Bu substrat seviyesinde AKR1’de 360 ve AKR2’de 380 mg/L biyokütle ile çalışma yürütülmüştür. Reaksiyon hızları biyokütle bazında SnA ve AÇSS için sırasıyla 72,2 mg N/g UKM.sa (1,73 g N/g UKM.gün) ve 70,8 mg N/g UKM.sa (1,7 g N/g UKM.gün) olarak gerçekleşmiştir.

Reaksiyonun başlaması ile her iki reaktörde de pH yükselmiştir (Şekil 4.30 a). Fakat AKR2’de pH seviyesi 8,17 ile AKR1’e göre daha yüksek (7,95) gerçekleşmiştir. AKR1 ve AKR2’e uygun pH aralığı (7,5-8) için sülfürik asit ve bikarbonat ihtiyacından dolayı NaHCO₃ ilavesi yapılarak nitritasyon reaksiyonu için gerekli şartlar sağlanmıştır. AKR1’e 4 kez bikarbonat eklenmesi yapılırken AKR2’e ise AÇSS içeriğinden gelen

bikarbonatın reaksiyonun sonlarına doğru azalması sebebiyle 2 sefer bikarbonat eklemesi yapılmıştır (Şekil 4.30 b).

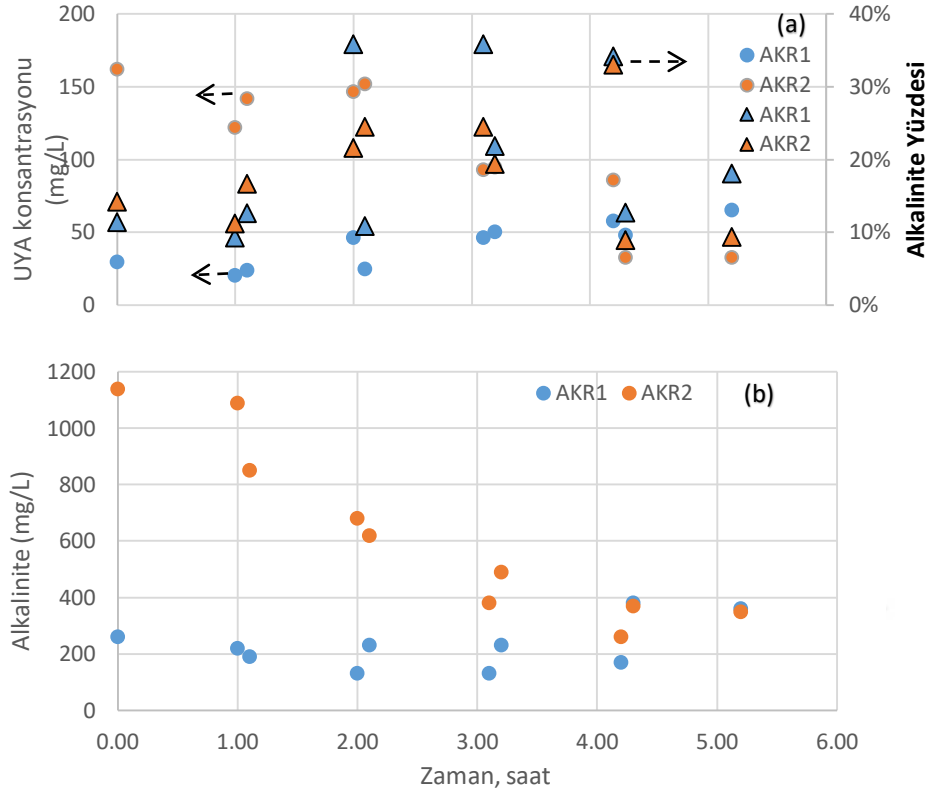
Bikarbonat tüketim oranı ($\text{HCO}_3^-/\text{NH}_4^+-\text{N}$) AKR1’de 2,41 ve AKR2’de 4,4 g $\text{CaCO}_3/\text{g N}$ olarak gerçekleşmiştir. HCO_3^- tüketim hızı ise AKR1’de 61,7 mg/L.sa, AKR2’de 88,6 mg/L.sa olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.30. Reaktörlerde 35 °C ve 2. substrat seviyesi için (a) pH ve bikarbonat konsantrasyonu ve (b) alkaliniteye katkı yüzdesi (turuncu ok: asit ilavesi, mavi ok: HCO_3^- ilavesi)

Nitritasyon sürecinde UYA AKR1’de 65 mg/L konsantrasyonuna artış gösterirken AKR2’de 162 mg/L’den 33 mg/L konsantrasyonuna azalmıştır (Şekil 4.31 a). Her iki reaktörde de alkaliniteye (%25±15) seviyede UYA katkısı elde edilmiştir (Şekil 4.31 b). Reaksiyonun yirmi dördüncü saatinde her iki reaktörde de alkalinitenin tükendiği gözlenmiştir.

5,2 saatlik reaksiyon sonunda, kütle dengesi yapıldığında AKR1’de giderilen amonyumun %42,1’i nitrite, %35,3’ü nitrata, AKR2’de ise %57,7’si nitrite, %33,1’i



Şekil 4.31. Reaktörlerde 35 °C ve 2.substrat seviyesi için (a) UYA ve (b) alkalinite değişimleri

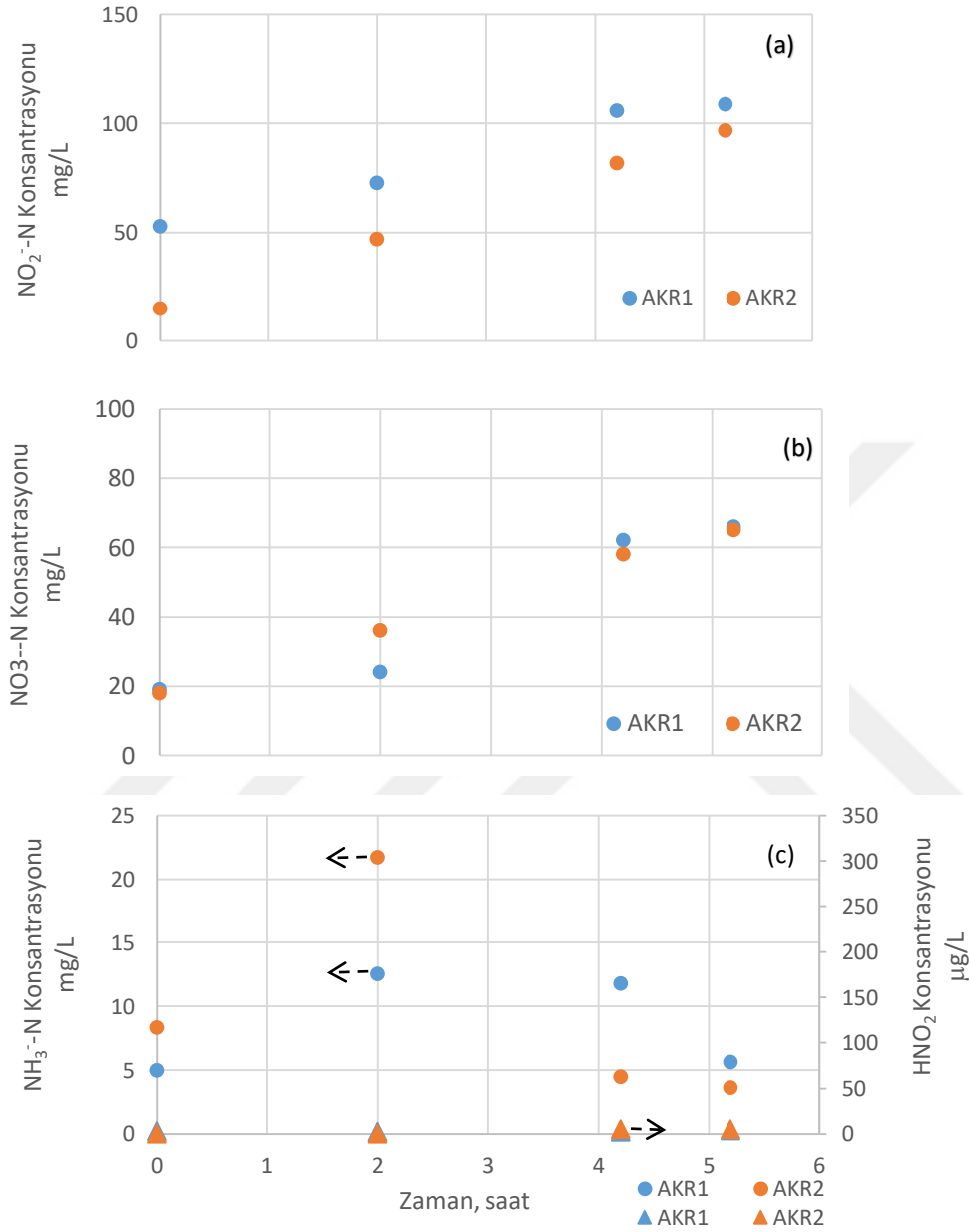
nitrate dönüşüğü belirlenmiştir (Şekil 4.32 a-b). Giderilen amonyumun AKR1’de %22,6’sı AKR2’de 9,2 si kayıp olarak görülmektedir.

5,2 saat izlenilen reaksiyon boyunca SNA, AKR1’de 2,45-4,36 $\mu\text{g/L}$, AKR2’de 0,62-5,33 $\mu\text{g/L}$ seviyelerinde gerçekleşmiştir (Şekil 4.32 c). 24.saatin sonunda AKR1’de 212,81 AKR2’de 332,76 $\mu\text{g/L}$ seviyelerine yükselmiştir. Bunun başlıca sebebi pH’nın 6 civarlarında olmasıdır. SA AKR1’de 9 ± 4 mg/L iken AKR2’de reaksiyon sırasında pH artışı ile 22 mg N/L civarlarına yükselmiştir. Amonyumun tüketilmesi ve pH’nın düşürülmesi ile 4 mg N/L seviyesine düşmüştür. Reaksiyon süresince toksik seviyelere ulaşmıştır.

4.3.3. Üçüncü Substrat Seviyesi

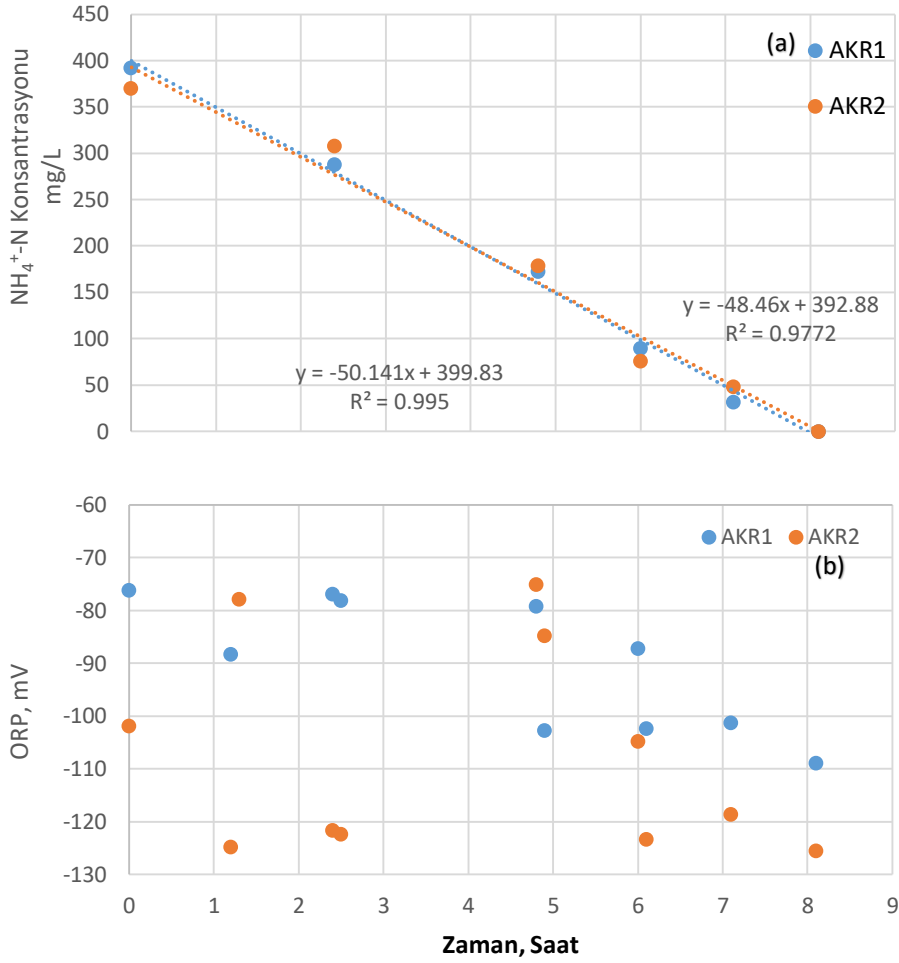
Üçüncü substrat seviyesinde (370-395 mg/L) AGH, SnA ile beslenen AKR1 ve AÇSS ile beslenen AKR2 için sırasıyla 50,1 (1,2 $\text{kg/m}^3\cdot\text{gün}$) ve 48,5 mg $\text{NH}_4^+\text{-N/L}$.sa (1,16 $\text{kg/m}^3\cdot\text{gün}$) olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.33 a). Bu hızların, tüm sıcaklık ve substrat seviyelerinde gerçekleşen AGH’ından yüksek olduğu gözlenmiştir. Reaksiyonun

her iki atıksu için 0. derecede ilerlediği belirlenmiştir. ORP AKR1’de -108,9 – (-76,2) mV, AKR2’de (-125,5) – (-75,1) mV aralığında değişim göstermiştir (Şekil 4.33 b).



Şekil 4.32. Reaktörlerde 35 °C ve 2.substrat seviyesi için nitritasyon sürecinde (a) nitrit, (b) nitrat ve (c) SA/SNA değişimi

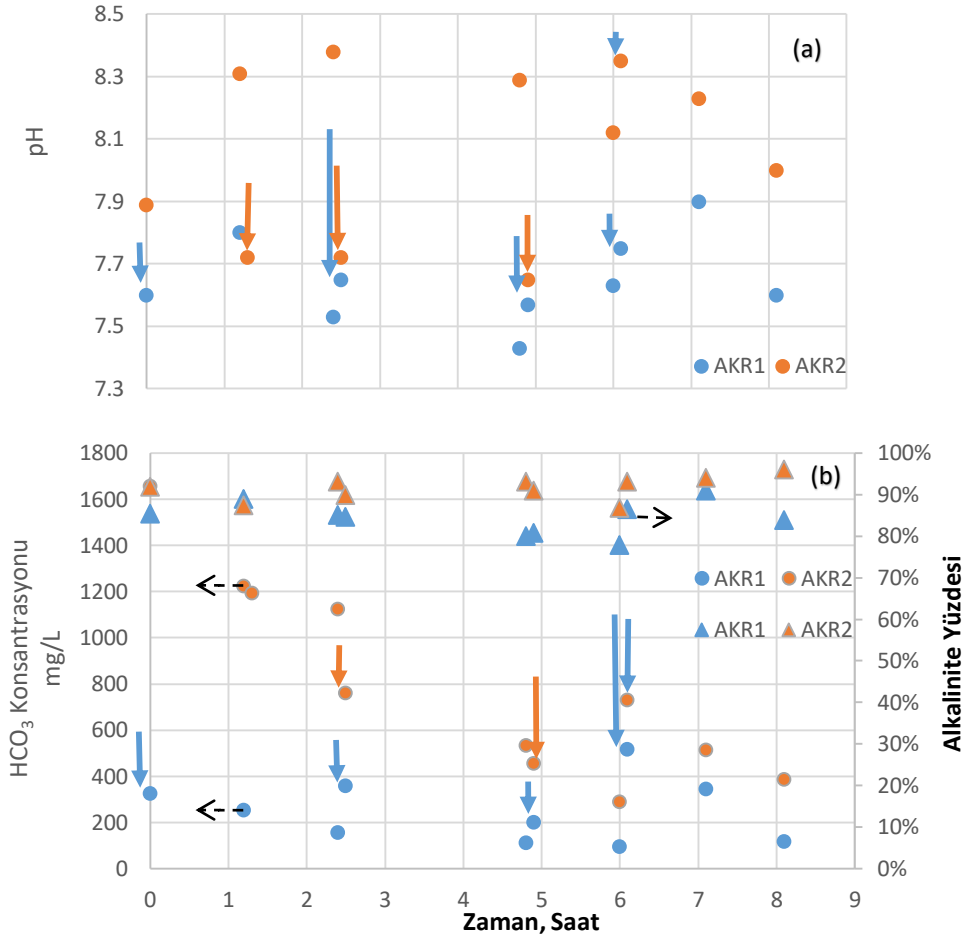
Bu substrat seviyesinde her iki reaktöre de yeni aşılı çamur eklenmiştir. SnA’da 950 mg/L iken AÇSS’na daha yüksek seviyede (1050 mg/L) biyokütle ile çalışma yürütülmüştür. Reaksiyon hızları biyokütle bazında SnA ve AÇSS için sırasıyla 52,7 mg N/g UKM.sa (1,26 g N/g UKM.gün) ve 46,2 mg N/g UKM.sa (1,11 g N/g UKM.gün) olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 4.33. Reaktörlerde 35°C ve 3.substrat seviyesi için (a) amonyum ve (b) ORP değişimi

Reaksiyonun başlaması ile her iki reaktörde de pH yükselmiştir (Şekil 4.34 a). Fakat reaksiyonun ilerlemesiyle AKR2’de pH artışı devam ederken AKR1’de azalma gözlemlenmiştir. SnA ile beslenen AKR1’e Nitritasyon sürecinde bikarbonat azalmış fakat yapılan ilavelerle pH 7,5-7,9 aralığında tutulmuştur. AÇSS ile beslenen reaktörde pH yükselmesine asit ile müdahale edilerek pH (7,6-8,4) kontrol altına alınmıştır. Bikarbonat değişimi de ilerleyen nitritasyon reaksiyonunda tükendiği için bir kez NaHCO_3 eklemesi yapılmıştır (Şekil 4.34 b).

Bikarbonat tüketim oranı ($\text{HCO}_3/\text{NH}_4^+\text{-N}$) AKR1’de 2,34, AKR2’de 3,35 g $\text{CaCO}_3/\text{g N}$ olarak gerçekleşmiştir. HCO_3 tüketim hızı ise AKR1’de 113 mg/L.sa, AKR2’de 153 mg/L.sa olarak elde edilmiştir.

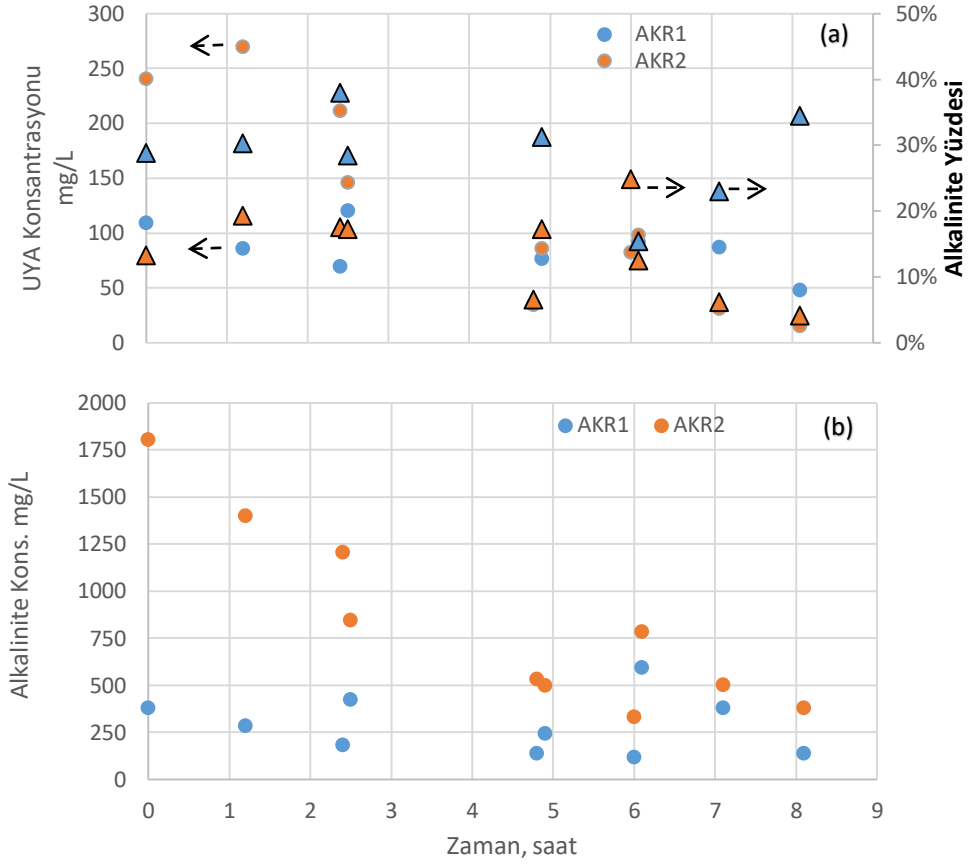


Şekil 4.34. Reaktörlerde 35 °C ve 3. substrat seviyesi için (a) pH ve (b) bikarbonat konsantrasyonu ve alkaliniteye katkı yüzdesi (turuncu ok: asit ilavesi, mavi ok: HCO_3^- ilavesi)

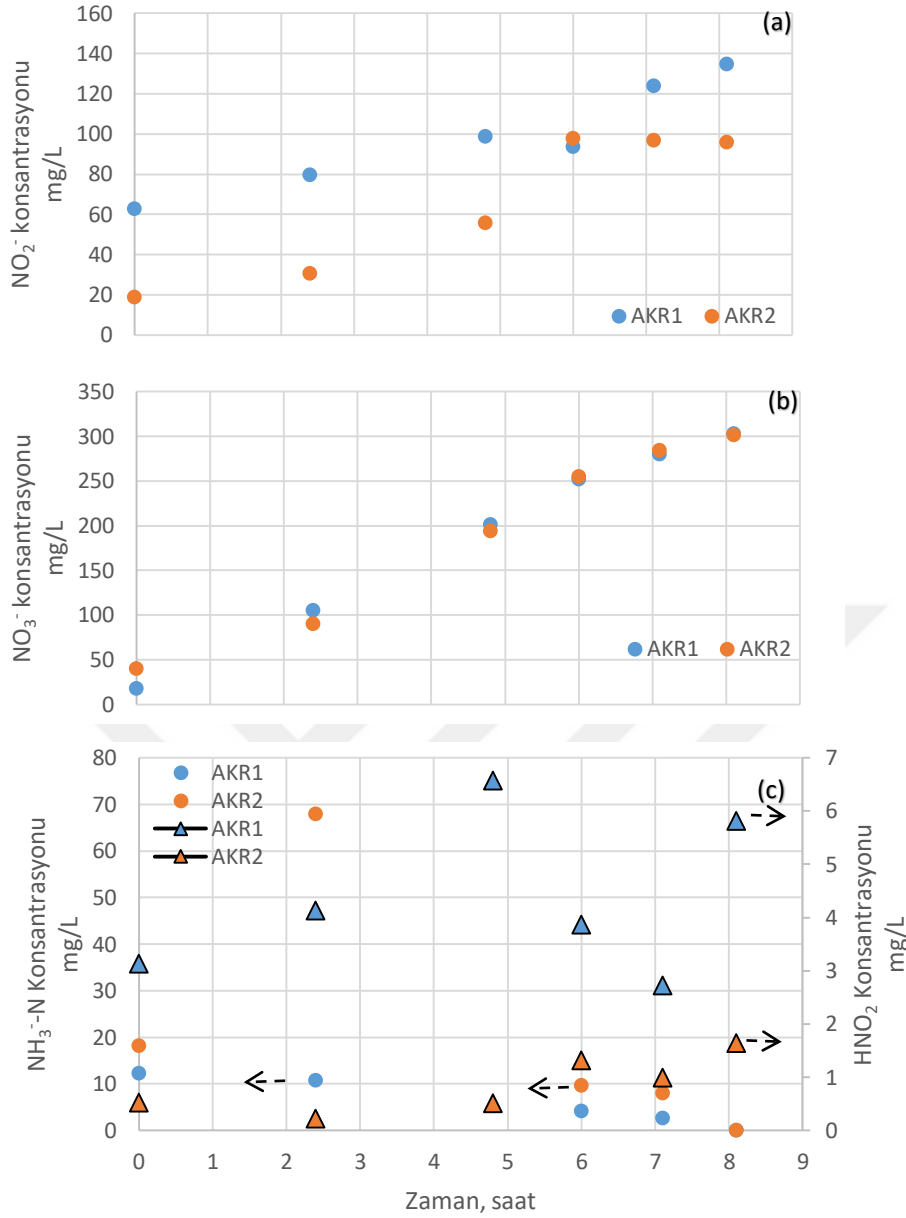
Nitritasyon sürecinde UYA AKR1’de 110 mg/L’den 48 mg/L’e, AKR2’de 241 mg/L’den 16 mg/L konsantrasyonuna azalma göstermiştir (Şekil 4.35 a). Alkalinite AKR2’de yüksek seviyede yüksek bikarbonat katkısı ile gerçekleşirken AKR1’de UYA’nın daha yüksek (%30(+/-)10) seviyede katkısı elde edilmiştir (Şekil 4.35 b).

Kütle dengesi yapıldığında AKR1’de giderilen amonyumun %18,4’ü nitrite, %72,7’si nitrate, AKR2’de ise %21,3’ü nitrite, %70,5’i nitrate dönüştüğü belirlenmiştir (Şekil 4.36 a-b). AKR1’de %8,9’u ve AKR2’de 8,2’si kayıp olarak hesaplanmıştır.

SNA, AKR1’de 2,72-6,56 $\mu\text{g/L}$, AKR2’de 0,22-1,64 $\mu\text{g/L}$ seviyelerinde gerçekleşmiştir (Şekil 4.36 c). SA AKR1’de reaksiyon başlangıcında 12 mg/L iken reaksiyon boyunca azalarak 2,68 mg/L seviyesine düşmüştür. AKR2’de ise reaksiyon sırasında pH artışı ile 68 mg N/L seviyesine kadar yükselmiş ve amonyumun tüketilmesi ile 0 mg N/L seviyesine düşmüştür. Reaksiyon süresince toksik seviyelere ulaşılmıştır.



Şekil 4.35. Reaktörlerde 35 °C ve 3.substrat seviyesi için UYA (a) ve alkalinite (b) değişimleri



Şekil 4.36. Reaktörlerde 35 °C ve 3. substrat seviyesi için nitritasyon sürecinde (a) nitrit, (b) nitrat ve (c) SA/SNA değişimi

4.4. Değerlendirme ve Tartışma

Üç farklı sıcaklık seviyesindeki çalışmalarımız sıcaklık arttıkça AGH'nin arttığını göstermiştir. Zaman bazında en yüksek AGH'ı, 35 °C ve 3. substrat (350-400 mg N/L) seviyesinde 50,1 (1,2 kg/m³.gün)(AKR1) ve 48,5 mg NH₄⁺-N/L.sa (1,16 kg/m³.gün)(AKR2), fakat biyokütle bazında 35 °C ve 2. substrat seviyesinde (250 mg N/L) 72,2 mg N/g UKM.sa (1,73 g N/g UKM.gün)(AKR1) ve 70,8 mg N/g UKM.sa (1,7 g N/g UKM.gün)(AKR2) olarak elde edilmiştir. Bu farklılığın sebebi, en yüksek AGH değerinde reaktörlere yeni eklenmiş aşı çamurunun yüksek konsantrasyonda

gerçekleşmesi olmuştur. Tüm substrat ve sıcaklık seviyelerinde AÇSS arıtımında gerçekleşen bikarbonat tüketim oranı (BTO) SnA arıtımında gerçekleşen orandan daha yüksek hesaplanmıştır. Her iki reaktörde de teorik orandan ($7.07 \text{ mg CaCO}_3 / \text{mg NH}_4^+$) daha düşük BTO gerçekleşmiştir. SnA arıtımında sıcaklık artışı ile BTO'nda azalma gözlenmiştir ($2,21-3,56 \text{ g CaCO}_3 / \text{g N}$ (25°C), $1,98-2,96 \text{ g CaCO}_3 / \text{g N}$ (30°C), $2,19-2,41 \text{ g CaCO}_3 / \text{g N}$ (35°C)). AÇSS arıtımında ise sıcaklık artışının BTO üzerinde belirgin bir etkisi gözlenmemiştir ($2,98-4,43 \text{ g CaCO}_3 / \text{g N}$ (25°C); $0,69-3,75 \text{ g CaCO}_3 / \text{g N}$ (30°C); $3,35-4,72 \text{ g CaCO}_3 / \text{g N}$ (35°C)). Literatürde ise Zhang ve ark.'nın (2011) $28-30^\circ\text{C}$ sıcaklıkta yüzen yatak reaktördeki çalışmalarında kısmi nitrifikasyon için $\text{Alk}/\text{NH}_4^+ = 4,8$ oranının optimum olarak elde etmişlerdir.

pH tüm substrat ve sıcaklık seviyesinde AÇSS arıtımında asitle müdahale edilmesine rağmen $8,5-9$ (25°C) $8,2-8,6$ (30°C) ve $7,8-8,3$ (35°C) olarak sürekli artış göstermiştir. Anaerobik arıtım çıkış sularının yüksek seviyede $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{CO}_3$ içeriği nitrasyon prosesinde havalandırmanın etkisi ile atmosfere sıyrılmakta ve asidite kaybı pH'nın yükselmesine sebep olmaktadır. Bunda ayrıca UYA maddelerinin de oksitlenmesi eklenerek asiditenin azalması etken olmaktadır. SnA arıtımında ise pH artışı ise sadece yüksek konsantrasyonda bikarbonat eklendiğinde gözlemlenmiştir.

Bu çalışma sürecinde SnA'da giderilen amonyumun %35-59 oranı nitrite ve 29-65'i nitrate oksitlenirken beslemede %5,7-22,6'lik azot kaybı ve AÇSS'de giderilen amonyumun %23-58 nitrite ve 13-74'ü nitrate oksitlenirken, biri hariç tüm beslemelerde %8,2-63 kayıp gerçekleşmiştir. UYA'nın her iki reaktörde de oluşması ve düşük seviyelerde kalması, denitrifikasyonu desteklediğini göstermektedir.

Alkaliniteye UYA katkısı 25 ve 30°C 'de 3. substrat seviyesinde SnA arıtımında AÇSS beslemesine göre daha yüksek gerçekleşmiştir. AÇSS içeriğinde gelen yüksek bikarbonat sayesinde UYA'nın alkaliniteye katkısı düşük seviyede gerçekleşmiştir. Diğer substrat seviyelerinde ise iki reaktör karşılaştırıldığında da benzer sonuçlar görülmüştür.

Bu çalışmada SNA SnA için $0,1-6,56 \mu\text{g/L}$ ve AKR2'de $0-7,7 \mu\text{g/L}$ aralığında üç sıcaklıktaki tüm substrat seviyelerinde her iki reaktörde de toksik seviyelerin çok altında gerçekleşmiştir. SA tüm substrat seviyelerinde AKR2'de $10-68 \text{ mg/L}$ toksik aralığında gerçekleşmiştir. SnA'da ise 25°C sıcaklıkta $10-40 \text{ mg/L}$ aralığında toksik seviyelerde gerçekleşirken 30°C sıcaklıkta hiç toksik seviyelere ulaşmamış ve 35°C de reaksiyon başlangıcında ani pH yükselmesi ile $10-13 \text{ mg/L}$ konsantrasyonunda toksik sınırına ulaşmıştır. Fakat reaksiyon boyunca toksik seviye altında gerçekleşmiştir. AOB ve

NOB'nin oluşan yüksek SA seviyelerine tolerans geliştirdiği gözlenmiştir. Literatürde de çok yüksek konsantrasyonda SA oluşumlarında benzer şekilde, SA'nın 122–224 mg/L seviyesinde nitrit oksidasyonu'nu inhibe ettiği, amonyum oksidasyonunun ise inhibe olmadığı gösterilmiştir (Liang ve Liu, 2007).

Bu çalışmadaki 25, 30 ve 35 °C sıcaklıklarda gerçekleşen AGH'ları literatürdeki benzer sıcaklıklarla karşılaştırdığımızda literatürde daha yüksek biyokütle, benzer ve daha yüksek yükleme hızında çalışmıştır (Çizelge 4.1). Örneğin, Lopez-Palau ve ark. (2011) AKR'de 28 °C ve 2600-3800 mg/L biyokütle şartlarında 1,01-1,05 kg N/m³.gün hızında AÇSS'dan amonyum giderimi elde edilmiştir. Scaglione ve ark. (2013) ise domuz çiftiği atıksuyun'dan azot giderimi 25 °C sıcaklıkta 7000 mg/L biyokütle ile 0,5 kg N/m³.gün hızında amonyum giderimi gerçekleşmiştir. Dosta ve ark. (2005) 30 °C 3000 mg/L biyokütle şartlarında 0,85 kg N/m³.gün hızında AÇSS'dan amonyum giderimi gerçekleşmiştir. Pra ve ark. (2012) 35 °C sıcaklıkta 2100 mg/L biyokütle konsantrasyonunda AGH'nı 0,46 kg N/m³.gün olarak elde etmişlerdir.

Çalışmanın en önemli sonucu olarak nitritasyonun sağlanmasında ve nitrit oksidasyonunun durdurulmasında en önemli parametrenin ÇO konsantrasyonu olduğu belirlenmiştir. Diğer tüm parametrelerin (sıcaklık, SA, sınırlı bikarbonat ve AYH) NOB'ler üzerinde kısıtlayıcı etkisi oluşmamıştır.

Çizelge 4.1. Literatürdeki nitritasyon çalışmalarının karşılaştırılması

Atıksu Tipi	Reaktör Tipi	T (°C)	Biyokütle (mg/L)	Ç.O. (mg O ₂ /L)	AYH	AGH (kg N/m ³ .gün)	Referans
AÇSS	AKR	30	3000	<1	0,87	0,85	Dosta ve ark. (2005)
AÇSS	AKR	30±0,5	1200±100	3	1,71	1,1±0,1	Gali ve ark. (2007)
AÇSS	AKR	26±4	7080	Sıfıra yakın	4,2	2,1	Yang ve ark. (2010)
AÇSS	AKR	28	2600-3800	2	2,03	1,01-1,05	Lopez-Palau ve ark. (2011)
AÇSS	Yüzen yatak reaktör	28±1	6520	Sıfıra yakın	5,9	3,1	Zhang ve ark. (2011)
Çöp sızıntı suyu	Yukarı akışlı sabit yataklı biofilm	30±1		0,8-2,3	0,2-1,0	0,12-0,7	Liang ve Liu (2007)
Çöp sızıntı suyu	AKR	36±1		2	0,85	0,4-0,5	Ganigue ve ark. (2009)
Çöp sızıntı suyu	AKR	20		0,8-0,9	0,3	0,3	Kulikowska (2012)
Hayvan atığı beslenen AÇSS	yüzen yatak reaktörü	30-32		<1	1,6	0,8	Yamamoto ve ark. (2011)
Domuz çiftliği atıksuyu	yüzen yatak reaktörü	35	2100	1,84	0,9	0,46	Pra ve ark. (2012)
Domuz çiftliği atıksuyu	AKR	25	7000	0,8-0,9	0,52± 0,04	0,5	Scaglione ve ark. (2013)
SnA	AKR	25	1230 1400 720	>2,5*	0,53 1,05 1,36	0,3 0,4 0,48	Bu çalışma
AÇSS	AKR	25	720 1110 1090	>2,5*	0,53 1,23 1,22	0,14 0,36 0,31	Bu çalışma
SnA	AKR	30	470 440 600	>2,5*	0,49 1,18 1,35	0,39 0,71 0,97	Bu çalışma
AÇSS	AKR	30	920 820 610	>2,5*	0,5 1,19 1,25	0,22 0,62 0,95	Bu çalışma
SnA	AKR	35	440 360 950	>2,5*	0,75 1,17 1,2	0,75 0,62 1,2	Bu çalışma
AÇSS	AKR	35	420 380 1050	>2,5*	0,68 1,13 1,16	0,68 0,65 1,16	Bu çalışma

* Reaksiyon boyunca

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışma ile SnA ve AÇSS için sıcaklığın nitritasyon proses performansına etkileri ve elde edilen sonuçlar aşağıda açıklanmıştır.

- Nitritasyon her iki atıksu için de 0. derece kinetikle gerçekleşmiştir.
- AGH'nın her iki reaktörde de artan sıcaklıkla arttığı gözlenmiştir.
- Biyokütle bazında incelenen reaksiyon hızları SnA'da AÇSS'dan daha hızlı gerçekleşmiştir.
- En yüksek AGH'ı 35 °C 3. substrat seviyesinde (350-400 mg N/L) 50,1 (1,2 kg/m³.gün)(SnA) ve 48,5 mg NH₄⁺-N/L.sa (1,16 kg/m³.gün)(AÇSS), ve biyokütle bazında 35 °C 2. substrat seviyesinde (250 mg N/L) 0,072 g N/g UKM.sa (1,73 g N/g UKM.gün)(SnA) ve 0,071 g N/g UKM.sa (1,7 g N/g UKM.gün)(AÇSS) olarak gerçekleşmiştir.
- Her iki atıksu için de kısıtlı olmayan ÇO şartı bütün substrat seviyelerinde SBNR'ı desteklememiştir. Organik madde varlığı eşzamanlı oksidasyona sebep olsa da nitritasyonu ve nitratasyonu kısıtlamamıştır.
- Amonyum azotunun SnA için %29-73'ü ve AÇSS arıtımında %13-70,5 kısmı nitrate kadar oksitlenirken, sırasıyla %35-59 ve %23-58'i nitrite kadar oksitlenmiştir. SnA için sadece 5 beslemede azot kaybı %7,9-18,4 aralığında gerçekleşirken, AÇSS arıtımında biri hariç bütün setlerde %13-63 aralığında azot kaybı gerçekleşmiş ve aerobik denitrifikasyona bağlanmıştır.
- Her iki atıksu arıtımında da UYA oluşumu gerçekleşmiş ve aerobik denitrifikasyonu desteklediği kabul edilmiştir. AÇSS arıtımında tüm substrat seviyelerinde düşük seviyede UYA oluşumu gözlenmiştir.
- ORP, organik madde varlığında daha düşük seviyede gerçekleşerek daha yoğun oksidasyon şartlarını göstermiştir.
- pH, SnA arıtımında 7,5-8 aralığında dengelenirken AÇSS için yüksek pH değerlerinde (8,5-9,14) gerçekleşmiş ve sürekli asit müdahalesi gerektirmiştir. Bu nedenle toksik SA konsantrasyonları oluşmuştur ve nitritasyon hızı düşmüştür.

- Tüm sıcaklık ve substrat seviyelerinde bikarbonat giderim hızı (BGH) ve harcanan bikarbonatın, AÇSS arıtımında daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bikarbonat tüketim oranı SnA için 1,92-3,56 g CaCO₃/g N ve AÇSS için 2,98-4,72 CaCO₃/g N olarak gerçekleşmiştir.
- SNA her iki atıksu için de yüksek pH seviyesi nedeniyle toksik değerin çok altında gerçekleşmiştir. Toksik SA değerlerine her iki reaktörde de tolerans gözlenmiştir.

5.2. Öneriler

Tez çalışmasında Ç.O dışında ki parametrelerin amonyum oksidasyonu'nun nitritte kalmasını sağlayamadığı gözlenmiştir. Özellikle SA toksisitesi'nin etkisiz kalması sistemin Ç.O bakımından kısıtlanması ve yüksek amonyum yükleme hızlarının tercih edilmesi gerektiğini göstermiştir.

KAYNAKLAR

- Abeling, U., Seyfried, C.F. 1992. "Anaerobic-aerobic treatment of high-strength ammonium wastewater nitrogen removal via nitrite", *Water Science and Technology*, 26, 1007-1015.
- Bernardes, R.S., Klapwijk, A. 1996. "Biological Nutrient Removal in a Sequencing Batch Reactor Treating Domestic Wastewater", *Water Science and Technology*, 33(3), 29-38.
- Braker, G., Fesefeldt, A., Witzel, K. P. 1998. "Development of PCR primer systems for amplification of nitrite reductase genes (*nirK* and *nirS*) to detect denitrifying bacteria in environmental samples", *Applied and Environmental Microbiology*, 64, 3769–3775.
- Carrío, L., Sexton, J., Lopez, A., Gopalakrishnam, K., Sapienza, V. 2003. "Ammonia-Nitrogen removal from centrate, 10 years of testing and operating experience in New York City", *Water Environment Federation*, 42(14), 140-153.
- Celant De Pra, M., Kunz, A., Bortoli, M., Peronidid, T., China, A. 2012. "Simultaneous removal of TOC and TSS in swine wastewater using the partial nitrification process", *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 87 (12), 1641–1647.
- Chen, C., Huang, X., Lei, C., Zhang, T. C., Wu, W. 2013. "Effect of organic matter strength on anammox for modified greenhouse turtle breeding wastewater treatment", *Bioresource Technology*, 148, 172-179.
- Dapena-Mora, A., Vázquez-Padín, J.R., Campos, J.L., Mosquera-Corral, A., Jetten, M.S.M., Méndez, R. 2010. "Monitoring the stability of an Anammox reactor under high salinity conditions" *Biochemical Engineering Journal*, 51(3), 167-171.
- Deng, L., Zheng, P., Chen, Z., 2006, Anaerobic digestion and post-treatment of swine wastewater using IC–SBR process with bypass of raw wastewater, *Process Biochemistry* 41, 965–969
- Dosta, J., Gali, A., Benabdallah El-Hadj, T., Mace, S. and Mata-Alvarez, J., 2007, Operation and model description of a sequencing batch reactor treating reject water for biological nitrogen removal via nitrite, *Bioresource Technology*, 98, 2065–2075.
- EPA 1993. *Process Design Manual for Nitrogen Control*, Cincinnati, Ohio. U.S. Environmental Protection Agency.
- Erdirencelebi, D., Kucukhemek, M. 2015a. „Diagnosis of the anaerobic reject water effects on WWTP operational characteristics as a precursor of bulking and foaming“, *Water Science and Technology*, 71(4), 572-579.

- Gali, A., Dosta, J., Van Loosdrecht, M.C.M. and Mata-Alvarez, J., 2007, Two ways to achieve an anammox influent from real reject water treatment at lab-scale: Partial SBR nitrification and SHARON process, *Process Biochemistry*, 42, 715–720.
- Ganigue, R., Gabarro, J., Sanchez-Melsio, A., Rusalleda, M., Lopez, H., Vila, X., Colprim, J. and Balaguer, M. D., 2009, Long-term operation of a partial nitrification pilot plant treating leachate with extremely high ammonium concentration prior to an anammox process, *Bioresource Technology*, 100, 5624–5632.
- Güven D., Sözen S. 2003. “ANAMMOX Prosesi ile Amonyum Giderimi ve ANAMMOX Popülasyonunun Karakterizasyonu”, *İTÜ Dergisi*, 2(5), 27-34.
- Jetten, M. S. M., Wagner, M., Fuerst, J., van Loosdrecht, M., Kuenen, G., Strous M. 2001. “Microbiology and application of the anaerobic ammonium oxidation (anammox) process”, *Current Opinion in Biotechnology*, 12, 283–288.
- Khin, T., Annachatre, A.P. 2004. “Novel Microbial Nitrogen Removal Processes”, *Biotechnology Advances*, 22, 519-532.
- Kulikowska, D., 2012, Nitrogen removal from landfill leachate via the nitrite route, *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 29 (2), 211 - 219.
- Liang, Z. and Liu, J., 2007, Control factors of partial nitrification for landfill leachate treatment, *Journal of Environmental Sciences*, 19, 523–529.
- Lopez-Palau, S., Dosta, J., Pericas, A. and Mata-Alvarez, J., 2011, Partial nitrification of sludge reject water using suspended and granular biomass, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 86, 1480–1487.
- Mace S ve Mata-Alvarez J, 2002, Utilization of SBR technology for wastewater treatment: an overview. *Ind Eng Chem Res* 41:5539–5553.
- Metcalf ve Eddy, 2003. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse* (4. Basım). New York: McGRAW-Hill Companies.
- Mulder, A., Van de Graaf, A.A., Robertson, L.A., Kuenen, J.G. 1995. “Anaerobic ammonium oxidation discovered in a denitrifying fluidized-bed reactor”, *FEMS Microbiology Ecology*, 16, 177–183.
- Mulder, J. W., Duin, J. O .J., Goverde, J., Poiesz, W. G. , Van Veldhuizen, H. M., Van Kempen, R., Roeleveld, P. 2006. “Full-scale experience with the SHARON process through the eyes of the operators”, *Water Environment Foundation*, 5256-5270.
- Peng, B., Zhu, G. 2006. “Biological nitrogen removal with nitrification and denitrification via nitrite pathway”, *Applied Microbiology Biotechnology*, 73, 15–26.
- Rittmann, B., McCarty, P.L. 2001. *Environmental Biotechnology: Principles and Applications*, McGraw-Hill.

- Scaglione, D., Tornotti, G., Teli, A., Ficara, E., Canziani, R. and Malpei, F., 2013, Nitrification denitrification via nitrite in a pilot-scale SBR treating the liquid fraction of co-digested piggery/poultry manure and agro-wastes, *Chemical Engineering Journal*, 228, 935–943.
- Singh, M., Srivastava, R. K. 2011. “Sequencing batch reactor technology for biological wastewater treatment: a review”, *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*, 6, 3–13.
- Sri Shalini, S., Joseph, K. 2012. “Nitrogen management in landfill leachate: application of SHARON, ANAMMOX and combined SHARON–ANAMMOX process”, *Waste Management*, 32, 2385–2400.
- STOWA (Dutch Foundation for Applied Water Research), 2006. “SHARON and SHARON/ANAMMOX Process Sheets”, <http://stowa-selectedtechlogies.nl/Sheets/index.html>
- Strous, M., Kuenen, J. G., Jetten, M. 1999. “Key physiological parameters of anaerobic ammonium oxidation”, *Applied Microbiology Biotechnology*, 65, 3248–3250.
- Strous, M., van Gerven, E., Kuenen, J. G., Jetten, M. 1997. “Ammonium removal from concentrated waste streams with the anaerobic ammonium oxidation (Anammox) process in different reactor configurations”, *Water Research*, 31, 1955–1962.
- Vadivelu, V. M., Keller, J., Yuan, Z. 2007. “Effect of free ammonia on the respiration and growth processes of an enriched Nitrobacter culture”, *Water Research*, 41(4), 826-834.
- Van de Graaf, A.A., Bruijn, P.D., Robertson, L.A., Jetten, M.S.M., Kuenen, J.G. 1996. “Autotrophic growth of anaerobic ammonium-oxidising micro-organisms in a fluidized bed reactor”, *Microbiology*, 142, 2187–2196.
- Van der Star, W.R.L., Abma, W.R., Blommers, D., Mulder, J.-W., Tokutomi, T., Strous, M., Picioreanu, C., Van Loosdrecht, M.C.M. 2007. “Startup of reactors for anoxic ammonium oxidation: Experiences from the first full scale anammox reactor in Rotterdam”, *Water Research*, 41(18), 4149-4163.
- Van Hulle, S.W.H., Volcke, E. I.P., Teruel, J. L., Donckels, B., Van Loosdrecht, M. C. M., Vanrolleghem, P. A. 2007. “Influence of temperature and pH on the kinetics of the Sharon nitritation process”, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 82, 471–480.
- Yamamoto, T., Wakamatsu, S., Qiao, S., Hira, D., Fujii, T. and Furukawa, K., 2011, Partial nitritation and anammox of a livestock manure digester liquor and analysis of its microbial community, *Bioresource Technology*, 102, 2342–2347.
- Yang, J., Zhang, L., Hira, D., Takahiro, S., Ma, Y., Li, Z. and Furukawa, K., 2010, High rate partial nitrification treatment of reject wastewater, *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 110 (4), 436–440.

Zhang, L., Yang, J., Hira, D., Fujii, T. and Furukawa, K., 2011, High-rate partial nitrification treatment of reject water as a pretreatment for anaerobic ammonium oxidation (anammox), *Bioresource Technology*, 102, 3761–3767



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Beyza Sağkan
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Konya-01.07.1992
Telefon : 0553 854 85 22
Faks :
e-mail : beyzasagkan@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Özel ideal koleji	2011
Üniversite	: Selçuk üniversitesi	2016
Yüksek Lisans	: Selçuk üniversitesi	2019

UZMANLIK ALANI

Çevre Mühendisliği

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR