



**T.C.**  
**SELÇUK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ANAEROBİK SÜZÜNTÜ SULARINDAN AZOT  
GİDERİMİ İÇİN KİSMİ NİTRİFİKASYON VE  
ANAMMOX PROSESLERİNİN  
UYGULANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Fulya BİZDEN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Kasım-2011**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Fulya BİZDEN tarafından hazırlanan “ANAEROBİK SÜZÜNTÜ SULARINDAN AZOT GİDERİMİ İÇİN KISMİ NİTRİFİKASYON VE ANAMMOX PROSESLERİNİN UYGULANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması 30/11/2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

#### Başkan

Doç. Dr. Bilgehan NAS



#### Danışman

Yrd. Doç. Dr. Dilek ERDİRENÇELEBİ



#### Üye

Yrd. Doç. Dr. İlkay ÖZAYTEKİN



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. ....  
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

## 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.



Fulya BİZDEN

Tarih: 30.11.2011

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

# ANAEROBİK SÜZÜNTÜ SULARINDAN AZOT GİDERİMİ İÇİN KİSMİ NİTRİFİKASYON VE ANAMMOX PROSESLERİNİN UYGULANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Fulya BİZDEN

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Dilek ERDİRENÇELEBİ

2011, 50 Sayfa

Jüri

Yrd. Doç. Dr. Dilek ERDİRENÇELEBİ

Doç. Dr. Bilgehan NAS

Yrd. Doç. Dr. İlkey ÖZAYTEKİN

Bu çalışmada laboratuvar ölçekli ardışık kesikli reaktörlerle KOSKİ Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi'nden alınan ve yüksek amonyak azotu ve fosfat içeriğine sahip anaerobik çamur çürütücü süzüntü sularından azot giderimi için kısmi nitrifikasyon ve anaerobik amonyak oksidasyonu (Anammox) proseslerinin ardışık uygulanabilirliği araştırılmıştır. Aerobik ve anaerobik şartlarda ardışık kesikli reaktörlerle haftalık beslemeler yapılarak çalışılmıştır. Çalışma, KOSKİ Atıksu Arıtma Tesisi'nin Aktif Çamur Ünitesi'nden, anaerobik çürütücüsünden ve Başarakavak Atıksu Arıtma Tesisi'nden alınan aktif çamur kültürleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Çalışma süresince KOİ,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2^-\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ , UYA, Bikarbonat Alkalinitesi, ÇO, pH, sıcaklık değerleri günlük ve UKM haftalık bazda izlenmiştir. 19 haftalık süreç sonunda kısmi nitrifikasyon ve Anammox reaktörlerinde toplam azot giderimi yaklaşık %58-72, toplam fosfor giderimi %71-82 ve toplam KOİ giderimi %84-97 aralığında elde edilmiştir. İkinci kademe anaerobik reaktörlerde azot giderimini arttırmak için ilk kademe kısmi nitrifikasyonda iki farklı hidrolik bekletme süresi uygulanarak oksitlenen amonyak ve oluşan nitrit oranları değiştirilmiştir. İlk kademe kısmi nitrifikasyon basamağında  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  14-27 mg/L seviyesinde oluşmuş ve pH 7.16-8.32 seviyesinde gerçekleşmiştir. Bikarbonat seviyesi nitrifikasyon sürecinde 167-587 mg/L seviyelerine düşmüş, ama prosesin ototrofik özelliğine rağmen tüketilen bikarbonata ilave gerekmemiştir. Bunun sebebi, bu basamakta gerçekleşen heterotrofik organik madde gideriminin ortama yeterli karbon dioksit sağlamış ve atıksudaki UYA'ların giderimi ile mevcut asiditeyi düşürmüş olmasıdır. Ayrıca, organik madde giderimi ikinci basamakta da devam etmiş ve pH dengesinin 7.18-7.54 seviyesinde gerçekleşmesini ve ortama besi kaynağı olarak karbon dioksit üretimini sağlamıştır. Elde edilen fosfor giderimi de heterotrofik büyüme reaksiyonları ile ilişkilendirilmiştir. Anammox reaktöründe 1/12 oranında nitrat:amonyum oluşumu elde edilmiştir.

Çalışılan iki basamaklı sistem heterotrofik organik madde/fosfor giderimi ve ototrofik azot giderimi sağlamıştır. Bu iki bakteriyel faaliyet sisteme kimyasal ilavesi gerektirmeden birbirlerini desteklemişlerdir. Özellikle hem organik madde hem de yüksek miktarda amonyak azotu içeren ve orta/büyük ölçekli kentsel AAT'lerinde ilave enerji sarfiyatı ve işletim problemlerine yol açan anaerobik çamur çürütücü süzüntü suyunun arıtımında uygulanabilirliği yüksek bir sistem olduğu gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Anaerobik amonyum oksidasyonu, anaerobik çürütücü süzüntü suyu, biyolojik azot giderimi, kısmi nitrifikasyon, yan akım arıtımı.

## ABSTRACT

## MS THESIS

### INVESTIGATION OF APPLICABILITY OF PARTIAL NITRIFICATION AND ANAMMOX PROCESSES FOR NITROGEN REMOVAL FROM ANAEROBIC FILTRATE WASTEWATERS

Fulya BİZDEN

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF  
SELÇUK UNIVERSITY  
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE  
IN ENVIRONMENTAL ENGINEERING

Advisor: Asst. Prof. Dr. Dilek ERDİRENÇELEBİ

2011, 50 Pages

#### Jury

Asst. Prof. Dr. Dilek ERDİRENÇELEBİ

Assoc. Prof. Dr. Bilgehan NAS

Asst. Prof. Dr. İlkay ÖZAYTEKİN

In this study, the feasibility of sequential partial nitrification and anaerobic ammonia oxidation processes was investigated for anaerobic digester filtrate from KOSKİ WWTP in laboratory scale sequential batch reactors. Weekly feeding batch periods were applied as aerobic and anaerobic treatment processes. The study was conducted with active seed sludges from KOSKİ WWTP's anaerobic digesters Bardenpho Unit ve Başarakavak WWTP.

During the study, system parameters as COD,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2^-\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ , VFA, bicarbonate alkalinity, D.O., pH, temperature were monitored in daily and  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  and volatile suspended solids in weekly base. At the end of 19 weekly periods, total nitrogen, fosfate and COD removal were obtained at 58-72%, 71-82 and 84-97%, respectively. Two different hydraulic retention times were experimented in the first stage partial nitrification to maximize the nitrogen removal in the second ammonia oxidation step.  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  was produced at 14-27 mg/L concentration level and pH at 7.16-8.32. Bicarbonate alkalinity dropped to 167-587 mg/L concentration range in the partial nitrification stage, but did not necessitate any alkali addition, due to heterotrophic organic matter degradation as it supplied carbon dioxide to the process and degraded VFA in the wastewater reducing acidity. Besides, organic matter removal proceeded in the second stage too, providing inorganic carbon source to the process and keeping pH above 7.0. Fosfate removal obtained was also correlated to heterotrophic growth. A ratio of 1/12 for nitrate:ammonia was obtained in the Anammox process.

The sequential reactor system studied provided both heterotrophic organic matter/fosfate removal and ototrophic nitrogen removal. These two bacterial activities supported each other without necessitating alkali addition to the system. The system proved itself as an efficient and high feasibility process for the side stream treatment of anaerobic digester filtrate containing high levels of organic matter, ammonia and fosfate in medium/large scale WWTP as it will eliminate operational problems and extra energy costs in the main stream.

**Keywords:** Anaerobic ammonia oxidation, anaerobic digester filtrate, biological nitrogen removal, partial nitrification, side stream treatment.

## ÖNSÖZ

Bu tezin yürütülmesi ve yönlendirilmesindeki değerli katkılarından dolayı danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Dilek ERDİRENÇELEBİ'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalışmanın gerçekleştirilmesinde sağladıkları katkılarından dolayı Konya Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi Şube Müdürü Murat KÜÇÜKHEMEK'e ve KOSKİ Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ederim.

Son olarak, bana her şeyden önce çok güvenen, maddi manevi destekleri ve gösterdikleri anlayıştan dolayı sevgili aileme ve arkadaşlarıma içten teşekkür ederim.

Fulya BİZDEN  
KONYA-2011

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>vii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR</b> .....	<b>viii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Azot Döngüsü ve Bileşikleri.....	2
1.2. Biyolojik Azot Giderimi.....	5
1.2.1. Konvansiyonel Arıtım.....	6
1.2.2. Azot gideriminde yeni prosesler.....	9
1.2.2.1. Kısmi Nitrifikasyon Prosesi.....	15
1.2.2.2. Anammox Prosesi.....	17
1.2.2.3. Ardışık Kısmi Nitrifikasyon + Anammox Prosesi.....	22
<b>2. MATERYAL VE METOT</b> .....	<b>26</b>
2.1. Atıksu Karakteristiği.....	26
2.2. Deney Düzenegi.....	27
2.3. Ölçüm Yöntemleri.....	28
<b>3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA</b> .....	<b>29</b>
3.1. Süzüntü Suyunun Anaerobik Arıtım Çalışması Sonuçları.....	29
3.2. Süzüntü Suyunun Kısmi Nitrifikasyon ve Anammox prosesleri ile Arıtımı.....	31
3.2.1. KOI giderimi.....	31
3.2.2. Azot giderimi.....	34
3.2.3. Fosfat giderimi.....	40
3.2.4. pH.....	43
3.2.5. UKM.....	46
3.2.6. Genel Değerlendirme.....	47
<b>4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER</b> .....	<b>49</b>
4.1. Sonuçlar.....	49
4.2. Öneriler.....	50
<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>51</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>55</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

$\text{NH}_4^+$ -N: Amonyak azotu

$\text{NO}_2^-$ -N: Nitrit azotu

$\text{NO}_3^-$ -N: Nitrat azotu

$\text{PO}_4^{3-}$ -P: Fosfat fosforu

T-N: Toplam azot

T-P: Toplam fosfor

### Kısaltmalar

AAA: Dönüşümlü Aerobik-Anaerobik Yöntemi

AAT: Atıksu Arıtma Tesisi

AKR: Ardışık Kesikli Reaktör

ANAMMOX: Anaerobik Amonyum Oksidasyonu

AOB: Amonyak Oksitleyici Bakteri

BOİ: Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı

ÇO: Çözünmüş Oksijen

HBS: Hidrolik Bekletme Süresi

HÇYR: Yukarı Akışlı Havasız Çamur Yatağı Reaktör

Kısmi NTR: Kısmi Nitritasyon

KOİ: Kimyasal Oksijen İhtiyacı

MLSS: Aktif Çamur Havuzundaki Askıda Katılar

NOB: Nitrit Oksitleyici Bakteri

SA: Serbest Amonyak

UKM: Uçucu Katı Madde

UYA: Uçucu Yağ Asitleri

## 1. GİRİŞ

Evsel ve endüstriyel atıksuların arıtımında alıcı ortamda zararlı etkilerinden dolayı amonyum azotu giderilmesi gereken en önemli parametrelerden biridir. Atıksularda bulunan azot ve fosfor bileşimleri, alıcı sularda kirliliğe sebep olur ve bu yüzden, atıksu arıtımında bu maddelerin giderimi için düzenlemeler yapılmalıdır. Fosfat ve nitrat ötrofikasyonu neden olup, nitrat sağlık riskini artırır, amonyak klor ile reaksiyona girer, oksijen gereksinimi yükselir, sudaki yaşama toksik etki yapabilir ve fosfat atıksu arıtmada kullanılan koagülasyon proseslerinde reaksiyonları yavaşlatabilir (Winkler, 1981). Biyolojik azot giderimi yaygın olarak nitrifikasyon ve denitrifikasyon prosesleri ile gerçekleştirilmektedir (Can Doğan ve ark., 2008).

Yapılan çalışmalar, bu proseslerin etkin işlerliği için zaman ve mekan olarak ayrılması gerektiğini göstermektedir (Can Doğan ve ark., 2008).

Konvansiyonel nitrifikasyon ve denitrifikasyon reaksiyonları uzun beklétme ve çamur yaşı süreleri gerektirmektedir. Ayrıca mevcut atıksu işletmelerinin çoğu azot giderimi için dizayn edilmemiştir ve bu işletmelerde nitrifikasyon/denitrifikasyon proseslerinin gereksinimlerini karşılamak zordur (Can Doğan ve ark., 2008).

Nitrifikasyon reaksiyonları fazla miktarda oksijen harcayan reaksiyonlardır. Atıksudaki organik madde yeterli olmadığında özellikle son basamakta denitrifikasyon için tasarlanmış tesislerde dışarıdan karbon ilavesi gerekmekte ve bu da arıtım maliyetine ek yük gerektirmektedir. Yüksek amonyak azotu, düşük organik madde içeren atıksuların arıtımında konvansiyonel azot giderim prosesi yerine kısmi nitrifikasyon-denitrifikasyon sistemi yenilikçi bir teknoloji olarak uygulama alanı bulmuştur.

Bundan dolayı son yıllarda yüksek miktarda amonyum içeren atıksulardan azotun giderilmesini hedef alan yüksek miktardaki amonyağın nitrit üzerinden dönüşümünü içeren tek reaktör sistemi (SHARON) ve anaerobik amonyum oksidasyon prosesi (ANAMMOX)'dur (Can Doğan ve ark., 2008).

Bu yeni teknolojilerin arıtma sistemlerinde ayrı veya birlikte kullanıldığı uygulamalar son yıllarda büyük ilgi görmektedir. Bu prosesler kentsel atıksu arıtma tesislerinde (AAT) yan akım arıtımında ve yüksek protein ve amino asit içeren endüstriyel atıksuların anaerobik arıtımı aşamasında oluşan yüksek amonyak ve düşük organik karbon içeren akımların arıtılmasında etkili bir proses olarak uygulama alanı bulmuştur.

Sharon ve Anammox proseslerinin yüksek amonyak içeren atıksuların arıtımında yeni, efektif ve düşük maliyetli bir arıtım alternatifi olduğu (Güven ve ark., 2010) laboratuvar ölçekli çalışmalarla ortaya konmuş ve gerçek ölçekli uygulamaları yaygınlaşmaya başlamıştır.

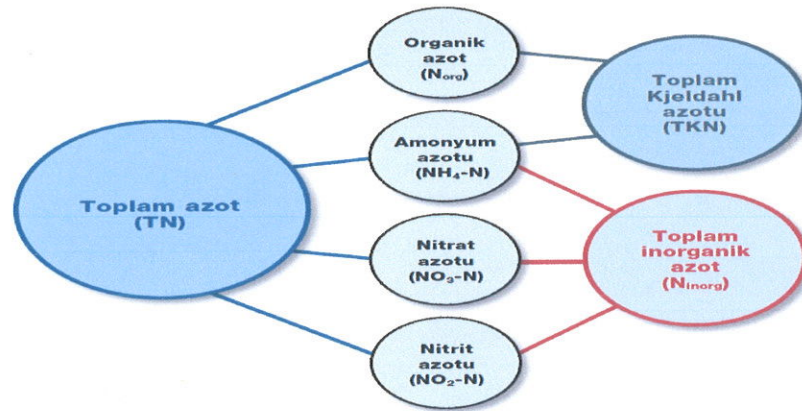
Bu iki prosesin ardışık kullanımının, dışarıdan karbon ilavesi olmadan, düşük oksijen ve enerji gereksinimi ve atık çamur oluşumu özellikleriyle yüksek amonyak içeren anaerobik çürütücü çamur süzüntü sularında ve endüstriyel atıksuların arıtımında özellikle kentsel AAT'lerinde gerçek ölçekli uygulamaları arttırmaktadır (Güven ve ark., 2010).

EU-25 hedeflerinde AB ülkelerinde 1100 çamur çürütücü suyuna bu arıtımın uygulanması ile yıllık 500 milyon Avro, 1000 kton CO<sub>2</sub> ve toplamda 800 ha alandan tasarruf sağlanması planlanmaktadır (Vereijken ve ark., 2006).

Halihazırda bu iki sistem New York (ABD) ve Rotterdam'da (Hollanda) gerçek ölçekli olarak kentsel (kapasite 5,000 kgN/day, 470.000 p.e.) (Vereijken ve ark., 2006; Thomas ve ark., 2010) AAT çamur çürütücü süzüntü sularının arıtımı için ardışık olarak kullanılmaktadır (Güven ve ark., 2010).

### 1.1. Azot Bileşikleri ve Döngüsü

Azot; renksiz, kokusuz, tatsız ve inert bir gazdır. Dünya atmosferinin %78.08'ini oluşturur. Azot, aminoasitlerle, bunlardan türeyen proteinler başta olmak üzere; amin, amid, nitro bileşikleri gibi organik maddelerin yapısına girebilen bir elementtir. Anorganik azotlu bileşikleri ise  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}_5$  şeklinde bulunmaktadır.



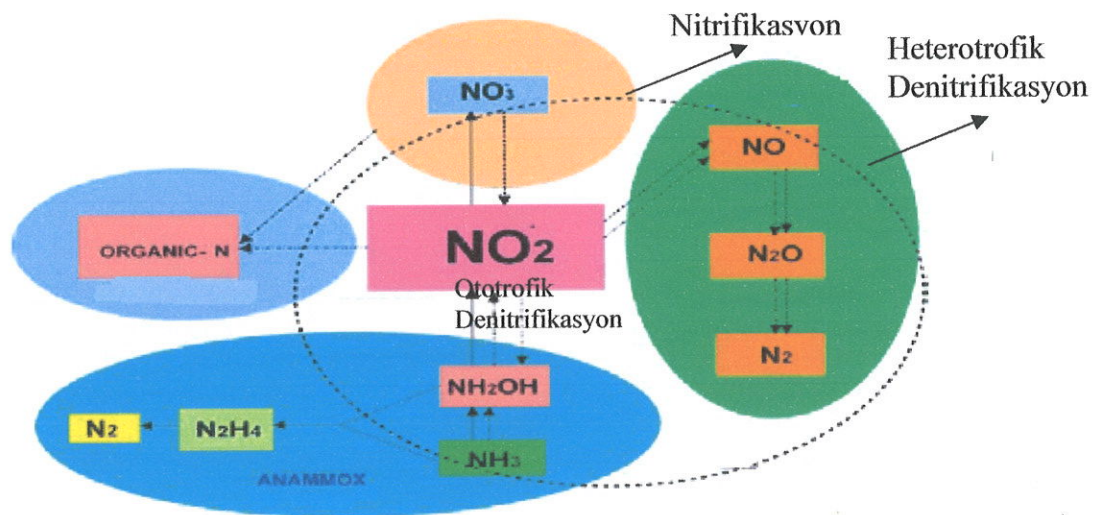
Şekil 1.1. Azot Bileşikleri

Azot, canlılardaki temel elemanlardan biridir (Amino asitler ile bunlardan oluşan protein ve peptidler). Bu yüzden azot, canlı besin maddelerinin de vazgeçilmez bir bileşeni teşkil eder. Gerek canlı bünyesinde, gerek besin maddelerinde ve gerekse de ölü organizmalarda bulunan azot, doğada azot çevrimi dediğimiz bir döngü içinde sürekli bir dolanım içindedir. Bu biyojeokimyasal döngü sırasında azot, çeşitli oksidasyon aşamalarından geçer.

Moleküler azot, atmosferde reaktif değildir fakat doğada, canlı organizmalar (bakteriler) tarafından biyolojik ve endüstriyel anlamda faydalı bileşiklere dönüştürülür. Endüstriyel anlamda azot ve doğalgaz, amonyaka dönüştürülür. Amonyak da ya gübre olarak, ya da patlayıcılar gibi başka maddelerin üretiminde (Ostwald prosesi ile nitrik asit üretimi) başlangıç maddesi olarak kullanılır.

Moleküller haldeki azot çok zor reaksiyona girer ve bu yüzden birçok bitki tarafından doğrudan kullanılması mümkün olmaz. Ancak belirli mikroorganizmalar azotu indirgeyerek protein sentezinde kullanılabilir. Bunların yanısıra bazı yüksek bitkilerin yumruları ile simbiyoz halde yaşayan rihizobium türleri de moleküler azotu bağlayabilirler. Azot indirgenmesi gerek heterotrof gerekse de ototrof mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilebilmektedir.

Azot gideriminde 3 önemli biyolojik proses; amonifikasyon, nitrifikasyon ve denitrifikasyondur. Organik azot amonyağa dönüştürüldüğü zaman amonifikasyon oluşur (Whichard, 2001). Nitrifikasyon amonyum azotunun nitrit ve nitrate biyolojik oksitlenmesidir. Amonyum azotu önce amonyak oksitleyici bakteriler tarafından nitrite, sonra nitrit oksitleyici bakteriler tarafından nitrate dönüştürülür.



Şekil 1.2. Azot Döngüsü (Oğuz Temizer, 2005)

## 1.2. Biyolojik Azot Giderimi

Atıksularda azot genellikle amonyak veya organik azot olarak bulunurlar. Çok az miktarlarda da nitrit veya nitrat azotu bulunabilir. Azot formlarından çözülmüş organik azot atıksuda daha çok üre ve aminoasit halinde bulunur. Katı halindeki organik maddeler ise kentsel atıksu arıtma tesislerinde ön çöktürme ile giderilir. Biyolojik arıtma sırasında, organik azotun birçoğu amonyum ve diğer inorganik formlara dönüşürken amonyumun bir kısmı da mikroorganizmalar tarafından hücre sentezinde kullanılır. Bu nedenle aktif çamur prosesinden oluşan biyolojik arıtma ile toplam azotun en fazla %30'u giderilebilmektedir (Öztürk ve ark., 2005).

Atıksudan azot giderimi önce amonyumun oksitlenerek nitrata dönüşmesi ve daha sonra da indirgenerek azot gazı ( $N_2$ ) haline gelerek atmosfere bırakılmasıyla gerçekleşen bir işlemdir. Bu işlem için büyük miktarda oksijen (enerji) ve elektron vericileri (kimyasallar) gerekmektedir. Bundan dolayı, azot içeren maddelerin nitrifikasyon ve denitrifikasyon metoduyla giderilmesi atıksu arıtma tesislerine ekonomik açıdan büyük bir yük getirmektedir (Oğuz Temizer, 2005).

Azotlu bileşiklerin alıcı ortamlarda sebep oldukları zararlı etkiler nedeniyle azot giderimine ancak son yıllarda önem verilmeye başlanmış, karbon-azot gideriminin birlikte gerçekleştirildiği biyolojik sistemlerin (nitrifikasyon, denitrifikasyon) en ekonomik çözüm olarak ortaya çıktığı görülmüştür. Biyolojik azot giderim yöntemleri yavaş işleyen proseslerdir. Bunun sebebi, sorumlu mikroorganizmaların yavaş çoğalmasıdır. Buna ek olarak, nitrifikasyon ve denitrifikasyon için ihtiyaç duyulan aerobik ve anaerobik şartların işletme kontrollerini sağlamak oldukça zordur.

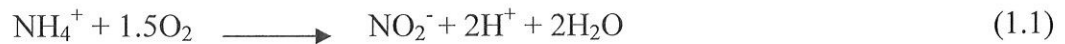
Azot giderimi için amonyak sıyırma, kırılma noktası klorlaması ve seçici iyon değişimi gibi sayısız fizikokimyasal metot uygulanmıştır; ancak yüksek işletim maliyeti ve işletme zorluğu yüzünden bunlar popüler olamamışlardır. Azot giderimi için en ucuz ve en başarılı teknik, atıksu arıtma tesislerindeki reaktörlerde oluşan biyolojik nütrient çevriminin ve mühendislik şartlarının içinde bulunduğu reaksiyonları işletmektir (Eckenfelder ve ark., 1978; Horan, 1990).

### 1.2.1. Konvansiyonel Azot Giderimi

Mevcut su kaynaklarının korunumunun oldukça önem kazandığı günümüzde deşarj edildiği alıcı ortamlarda başta ötrofikasyon olmak üzere ciddi çevresel sorunlara sebep olan azot için sıkı deşarj limitleri mevcuttur. Bu nedenle evsel ve endüstriyel atıksularda amonyum azotu giderimi son yıllarda oldukça önem kazanmıştır. Atıksulardan amonyum gideriminde fiziko-kimyasal metotlara göre daha ucuz ve daha yüksek arıtma verimi elde edilebilen biyolojik nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesi tercih edilmektedir (Alpaslan Kocamemi ve ark., 2008).

Günümüzde atıksulardan azot gideriminde yaygın olarak kullanılmakta olan konvansiyonel nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesi ototrofik nitrifikasyon ve heterotrofik denitrifikasyon proseslerinden oluşmaktadır.

Nitrifikasyon ototrofik bakteriler tarafından gerçekleştirilen aerobik bir reaksiyondur. Bu proses atıksudan azot gideriminde birinci basamaktır. Nitrifikasyon sırasında öncelikle amonyak, amonyak oksitleyici bakteri (AOB) grupları tarafından nitrite dönüştürülür. İkinci adımda ise nitrit, nitrit oksitleyici bakteri (NOB) grupları tarafından nitrata oksitlenir (Oğuz Temizer, 2005).



Nitrifikasyon bakterilerinin büyüme hızları, heterotrof bakterilerden çok daha düşüktür. Bu nedenle nitrifikasyon bakterileri aktif çamurda heterotroflara göre daha az bulunmaktadır. Dolayısıyla nitrifikasyonla atıksu arıtımının gerçekleşebilmesi için çamur yaşının en az 7,5 gün olması gerekmektedir (Grady ve ark., 1999).

Nitrifikasyon bakterileri toksik maddelere, sıcaklık, çözülmüş oksijen ve pH değişimi gibi çevresel faktörlere karşı oldukça hassastırlar (Oğuz Temizer, 2005). Bu proseslerden ilk adım olan nitrifikasyon havalandırma ihtiyacına bağlı olarak enerji ve

alkalinite gerektiren, nitrifikasyon bakterilerinin düşük çoğalma hızı sebebiyle yüksek hacimli reaktörler gerektiren bir prosestir.

Denitrifikasyon, nitrat veya nitritin anaerobik ortamda azot ( $N_2$ ) gazına indirgenmesi reaksiyonudur. Denitrifikasyon bakterileri heterotroftur ve nitrat ya da nitriti elektron alıcısı, karbonlu bileşikleri de enerji kaynağı olarak kullanırlar (Oğuz Temizer, 2005).



Denitrifikasyon sonucunda oluşması istenen en son ürün  $N_2$ 'dur, çünkü NO ve  $N_2O$  atmosfere zararlı, sera etkisi yapan gazlardır (Oğuz Temizer, 2005).

- Karbonlu organik madde olarak metanol ilavesi hızlı ve yeni organizmaların büyümesi için minimum enerjiyi sağlar fakat pahalıdır. Teorik ihtiyaç 1.9 mg/l metanol: 1 mg  $NO_3^- - N$ 'dur. Pratikte ise bu değer, 3 mg metanol / mg  $NO_3^- - N$ 'dur.
- Çamur üretimi yaklaşık olarak 0.2 kg/kg metanol besinidir.
- Diğer biyokimyasal reaksiyonlar gibi denitrifikasyon hızı da sıcaklıktan etkilenmektedir.  $5^{\circ}C$ 'nin altında hız son derece düşmektedir.  $20^{\circ}C$ 'nin üzerinde ise bazı araştırmacılar hızın sabit kaldığını rapor etmişlerdir.

Atıksu arıtma sistemlerinin çalışmasına katkı alıkonma süresi ve hidrolik bekleme süresi gibi birçok parametre etki ederken bazı koşullar, özellikle biyolojik azot giderimi sistemleri için önemlidir. Bunlardan birkaçı atıksu C/N oranı, sıcaklık, reaktör pH'ı ve nitrifikasyon inhibisyonudur. Atıksudan azot gideriminde karbon:azot oranı (C:N) çok önemli bir parametredir.

Son yıllarda BIODENIPHO adıyla bilinen alternatif tip aktif çamur prosesi geliştirilmiştir. Aerobik ve anoksik bölgelerin dönemsel olarak değiştirildiği bu yöntem üzerinde çeşitli araştırmacıların yayınları bulunmaktadır. Bu yayınlarda pilot tesiste yapılan bir araştırmada toplam azot gideriminin proses yüküne, nitrifikasyon ve denitrifikasyon hızına, döngü uzunluğuna ve çözünmüş oksijen ayar noktasına bağlı olduğu belirtilmiştir (Zhao ve ark., 1995). Potter ve ark. (1996) yine BIODENIPHO prosesinde altı fazlı döngü kullanarak aynı reaktörde değişik zamanlarda istenilen biyokimyasal dönüşümleri oluşturarak (nitrifikasyon, denitrifikasyon vb.) kontrol stratejileri geliştirmiştir.

Dönüşümlü aerobik-anoksik (AAA) yöntemi ile 1996 yılında yapılan bir çalışmada sentetik olarak oluşturulan atıksuda incelemeler yapılmış ve havalı yöntem ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmaya göre havalı yöntemde %20-37 olan toplam azot giderimi, AAA yöntemi ile %72-83'e ulaşmaktadır (Huang ve Hao, 1996). Bir başka deneysel çalışmada besi maddeleri içeren sentetik atıksuda bakteri çoğalması sağlanarak HÇYR (yukarı akışlı havasız çamur yatağı reaktör) çıktısı endüstriyel atıksu için kısa havalandırma dönemleri ile azot giderimi sağlanmıştır (Villaverde ve ark., 2000).

Mevcut aktif çamur tesislerinde herhangi bir maliyet olmadan toplam azot giderimi yapılabileceği ve enerji tasarrufu sağlanabileceği sonucuna varılmıştır (Villaverde ve ark., 2001). Chachuat ve ark. (2001) havalandırmanın açılıp kapatılması suretiyle aynı sistemde aerobik ve anoksik ortam yaratılarak azot giderimi yapılmasını enerji optimizasyonu ile birleştirmiştir.

Azot bileşiklerinin öneminin kirletici olarak tanımlanmasından beri azot giderimi ve azot kontrolü için yeni prosesler geliştirmek ve geleneksel atıksu arıtma tesislerinin modifikasyonu için prosesler geliştirilmesine yoğun çaba harcanmıştır (Winkler, 1981).

### 1.2.2. Azot Gideriminde Yeni Prosesler

Son yıllarda evsel ve endüstriyel atıksulardan amonyum azotu giderilmesinde enerji ve kimyasal sarfiyatının minimize edilmesini sağlayacak yeni biyolojik azot giderim teknolojileri (örn: kısmi nitrifikasyon-nitrit üzerinden denitrifikasyon, nitrit üzerinden yüksek amonyak giderimi için tek reaksiyon sistemi, nitrit üzerinden tamamen ototrofik azot giderimi, anaerobik amonyum oksidasyonu, sınırlı oksijende ototrofik nitrifikasyon-denitrifikasyon) prosesleridir (Alpaslan Kocamemi ve ark., 2008).

Araştırılmakta olan bu yeni teknolojilerin tümü öncesinde kısmi nitrifikasyon prosesini gerekli kılmaktadır. Bu nedenle yukarıda bahsi geçen yeni biyolojik azot giderim proseslerinin uygulanabilirliği nitrifikasyon prosesinde nitritin nitrate oksitlenmesinin inhibe edilerek stabil kısmi nitrifikasyon veya kısmi nitritifikasyon sağlanması hususunun detaylı bir şekilde incelenmesini gerekli kılmaktadır (Alpaslan Kocamemi ve ark., 2008).

Konvansiyonel nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesinin ilk aşaması olan nitrifikasyon prosesinde amonyum azotunun oksitlenmesi için gerekli olan yüksek oksijen ihtiyacı (yaklaşık 4.57 g O<sub>2</sub>/g NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N) bu sistemlerin işletim masraflarının önemli ölçüde yüksek olmasına sebep olmaktadır. Ayrıca, konvansiyonel nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesinin düşük karbon/azot (C/N) oranlı endüstriyel atıksular için olan uygulamalarında ise denitrifikasyon prosesinin karbon ihtiyacı (yaklaşık 2.47 g metanol/g NO<sub>3</sub>-N) dışarıdan karbon ilavesini gerekli kılmakta ve buna bağlı olarak kimyasal sarfiyatını ve oluşacak çamur miktarını arttırmaktadır (Alpaslan Kocamemi ve ark., 2008).

Bu nedenlerden dolayı son yıllarda evsel ve endüstriyel atıksulardan amonyum azotu giderilmesinde enerji ve kimyasal sarfiyatının kullanımının minimize edilmesini sağlayacak yeni biyolojik azot giderim teknolojilerinin geliştirilmesine yönelik pek çok çalışma yürütülmektedir.

Araştırılmakta olan yeni biyolojik azot arıtım teknolojilerinin başlıcaları şunlardır: Kısmi Nitrifikasyon-Nitrit üzerinden Denitrifikasyon, SHARON (Single reaction system for High Ammonium Removal Over Nitrite), ANAMMOX (Anaerobic Ammonium Oxidation), CANON (Completely Autotrophic Nitrogen removal Over Nitrite), OLAND (Oxygen Limited Autotrophic Nitrification Denitrification) prosesleridir (Alpaslan Kocamemi ve ark., 2008).

Tablo1’de görüldüğü gibi konvansiyonel arıtımda maliyet anammox prosesine göre 2 kat daha fazladır. Anammox prosesinde metanol ilavesi gerekli değildir. Çamur oluşumu, güç gereksinimi ve CO<sub>2</sub> emisyonu konvansiyonel arıtıma göre çok düşüktür. Bu nedenlerden dolayı anammox prosesi son yıllarda önem kazanmaya başlamıştır.

**Tablo 1.1.** Konvansiyonel Arıtım ile ANAMMOX Prosesinin Karşılaştırılması (Vereijken ve ark., 2006).

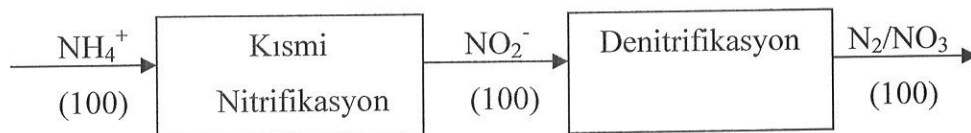
	<b>Konvansiyonel Arıtım</b>	<b>ANAMMOX</b>	
Güç	2.3	1	kWh/kgN
Metanol	2.3	0	kg/kgN
Çamur üretimi	0.5 – 1,0	0.1	kg vss/kgN
CO <sub>2</sub> emisyonu	>4.7	0.7	kg/kgN
Maliyet	3 - 5	1.5 – 2,5	€/kgN

Tablo2’de görüldüğü gibi SHARON – ANAMMOX ile süzüntü suyu arıtımında konvansiyonel arıtıma göre 112 400 €/yıl tasarruf sağlanır ve ek karbon ilavesi konvansiyonel arıtıma göre çok düşüktür.

**Tablo 1.2.** Anaerobik Süzüntü Suyu Arıtımında Konvansiyonel Arıtım ile Kısmi Nitrifikasyon (Sharon) - Anammox Prosesinin Karşılaştırılması (Volcke ve ark., 2007).

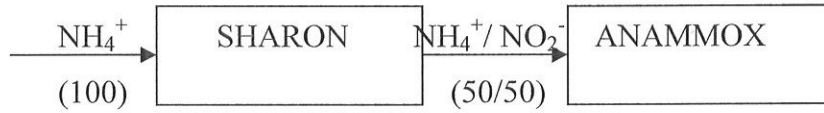
Maliyet ( €/yıl)	Süzüntü suyu arıtımı olmadan	SHARON – ANAMMOX ile süzüntü suyu arıtım
Çıkış kalitesi	437 400	359 700
Havalandırma enerjisi	194 330	194 530
Karıştırma enerjisi	16 200	16 570
Pompalama enerjisi	57 770	66 620
Çamur üretimi	239 000	231 000
Ek karbon ilavesi	43 900	2 000
Metan üretimi	-128 800	-123 000
<b>Toplam</b>	<b>859 800</b>	<b>747 400</b>
<b>Tasarruf</b>	<b>0</b>	<b>112 400</b>

Şekil 1.3’de Kısmi nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesi gösterilmektedir. Bu proseste amonyum nitrite oksitlenmekte ancak nitrit nitrata dönüşmemekte ve denitrifikasyon nitrit üzerinden gerçekleşmektedir. Bu proses konvansiyonel nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesine kıyasla %25 oranında oksijen tasarrufu sağlamanın yanı sıra düşük karbon/azot (C/N) oranlı atıksuların denitrifikasyonu için gerekli dışarıdan karbon ilavesini yaklaşık olarak %40 oranında azaltmaktadır. Ayrıca, kısmi nitrifikasyon-nitrit üzerinden denitrifikasyon sistemlerinde oluşan çamur miktarı konvansiyonel nitrifikasyon-denitrifikasyon sistemlerine kıyasla yaklaşık %30 oranında daha azdır (Alpaslan Kocamemi ve ark., 2008).



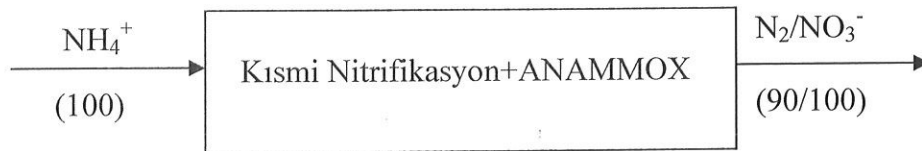
**Şekil 1.3.** Kısmi Nitrifikasyon - Denitrifikasyon Prosesi (Alpaslan Kocamemi ve ark., 2008).

Şekil 1.4'de Sharon ve anammox proseslerinin birlikte kullanımı gösterilmektedir. Sharon prosesi yüksek amonyum içeren çamur çürütme üniteleri süzüntü suları için geliştirilmiştir. Bu proses yüksek sıcaklıklarda uygulanan kısmi nitrifikasyon teknolojisidir (Alpaslan Kocamemi ve ark., 2008). Prosesin temeli yüksek sıcaklıklarda (30-35<sup>0</sup>C) nitrit oksitleyen bakterilerin (NOB) amonyum oksitleyen bakterilere (AOB) göre oldukça düşük büyüme hızına sahip olması esasına dayanır. Bu proses, yüksek sıcaklıkta ve yüksek amonyum azotu (>500 mg/L) içeren atıksular (örn: çamur çürütme üniteleri süzüntü suyu) için denitrifikasyon yapılmaksızın uygulanması durumunda kısmi nitritifikasyon prosesi olarak çalışabilmekte ve Anammox prosesi için gerekli olan %50 nitrit oluşumunu sağlayabilmektedir (Alpaslan Kocamemi ve ark., 2008). ANAMMOX prosesi *Planctomycete* gurubuna ait bakteriler tarafından gerçekleştirilen litototrofik biyolojik dönüşüm prosesi olup bu bakteriler elektron alıcısı olarak nitriti kullanmak suretiyle amonyum azotunu azot gazına indirgemektedir. Anammox prosesinin giriş suyunda %50 amonyum - %50 nitrit gerekliliği bu prosesin uygulanacağı atıksularda öncelikli olarak kısmi nitritifikasyon prosesinin uygulanmasını gerekli kılmaktadır (Alpaslan Kocamemi ve ark., 2008).



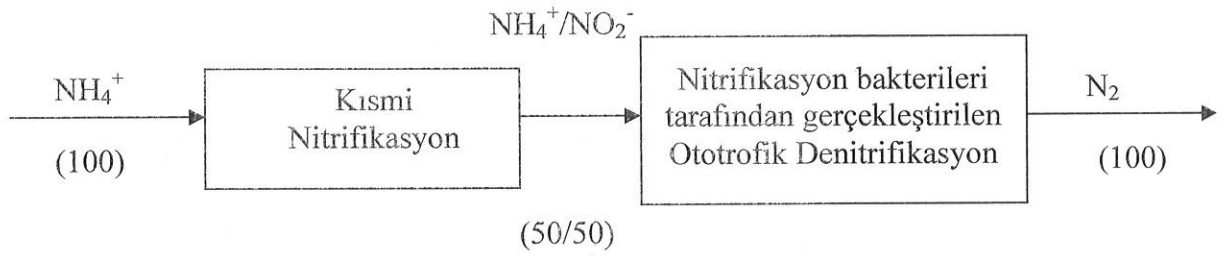
Şekil 1.4. SHARON ve Anaerobik Amonyum Oksidasyonu (ANAMMOX) Prosesi

Şekil 1.5'de CANON prosesinde Kısmi Nitritifikasyon ve Anammox birlikte yapılmaktadır. Ancak, bu proses ardışık nitritifikasyon ve Anammox proseslerini kısıtlı oksijen şartlarında tek bir reaktör içerisinde gerçekleştirmekte olup sistemde *Nitrosomonastipi* aerobik bakteriler ve *Planctomycete*-tipi anaerobik bakteriler işbirliği içerisindeyler. (Alpaslan Kocamemi ve ark., 2008).



Şekil 1.5. CANON prosesi

Şekil 1.6'da OLAND prosesi konvansiyonel aerobik, ototrofik nitrifikasyon bakterilerinden bazılarının kısıtlı oksijen altında denitrifikasyon yapabilme özelliğini kullanmaktadır. Bu proseste nitrifikasyon bakterileri öncelikle amonyumu %50 oranında nitrite çevirmekte ve bunu takiben aynı bakteriler sistemde kalan amonyumu nitriti elektron alıcısı olarak kullanmak suretiyle azot gazına dönüştürmektedir (Alpaslan Kocamemi ve ark., 2008).



Şekil 1.6. OLAND prosesi

Yukarıda özetlenmekte olan kısmi nitrifikasyon prosesine dayalı yeni biyolojik azot giderim sistemleri esas olarak yüksek amonyum azotu ihtiva eden düşük karbon/azot oranlı atıksular (örn: çamur çürütme üniteleri süzüntü suları, agro sanayi atıksuları) için geliştirilmiştir. Bu proseslerin evsel atıksulardan azot giderimi için uygulanabilirliği nitrifikasyon prosesinde nitritin nitrate oksitlenmesinin inhibe edilerek stabil kısmi nitrifikasyon veya kısmi nitritifikasyon sağlanması hususunun detaylı bir şekilde incelenmesini gerekli kılmaktadır (Alpaslan Kocamemi ve ark., 2008).

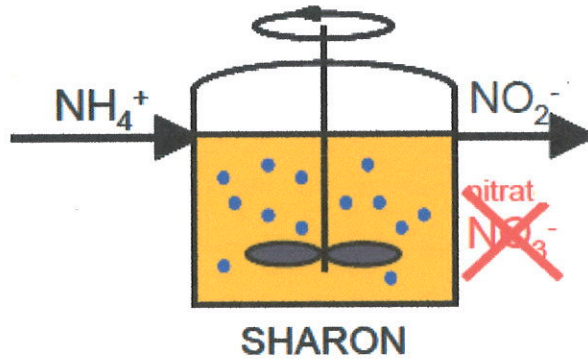
Atıksu arıtma tesislerinde normal su sıcaklıklarında ( $5-20^\circ\text{C}$ ) nitrit oksitleyen bakteriler (NOB) amonyum oksitleyen bakterilere (AOB) kıyasla daha hızlı olarak büyümektedirler. Bu nedenle, optimum işletim şartlarında çalıştırılan atıksu arıtma tesislerinde nitrit birikimi yaygın olarak rastlanan bir durum olmamakta ve amonyum tamamen nitrate dönüşebilmektedir. Ancak, sıcaklık, pH, serbest amonyak (SA), çamur yaşı ve çözülmüş oksijen ( $\text{ÇO}$ ) gibi işletim parametreleri kısmi nitrifikasyon oluşumuna sebep verebilmekte ve nitritin nitrate oksitlenmesinin inhibe edilmesine neden olabilmektedir (Alpaslan Kocamemi ve ark., 2008).

### 1.2.2.1. Kısmi Nitrifikasyon Prosesi

Kısmi Nitrifikasyon için geliştirilen SHARON (Single Reactor System For High Activity Ammonia Removal Over Nitrite) prosesi biyolojik nitrifikasyon için yeni bir prodestir. Bu proses yüksek sıcaklıkta ( $T=30-55^{\circ}\text{C}$ ) ve  $\text{pH}=7$ 'nin üzerinde havalandırmalı reaktörde biyokütle alıkonması olmadan işletilir (Can Doğan ve ark., 2008).

Şekil 1.7'de olduğu gibi Kısmi Nitrifikasyon prosesi amonyumun nitrite, kısmi nitrifikasyonunu içerir. Bu durum arıtma tesisinde havalandırma maliyetini oldukça azaltmaktadır. Ayrıca yüksek amonyak konsantrasyonlarındaki ( $>0,5 \text{ gN/L}$ ) atıksulardan amonyumu oksitlemek uzaklaştırmak için uygun bir prodestir (Can Doğan ve ark., 2008).

Bu proses Hollanda'da Delft Üniversitesi'nde geliştirilmiştir (Can Doğan ve ark., 2008). Tam ölçekli nitritasyon prosesi Ocak 1999'dan beri Rotterdam Sluisjesdijk Atıksu Arıtma Tesisi'nde işletilmektedir.



Şekil 1.7. Sharon Reaktörü (Volcke ve ark., 2007)

Sharon prosesi stabil şartlar altında gerçekleştirilen ve nitrifikasyon/denitrifikasyon ile ara ürün olarak nitritin oluştuğu bir prodestir. Stabil nitrifikasyonu sağlamak için işletme değişkenleri (sıcaklık, pH, hidrolik alıkonma süresi, substrat konsantrasyonu, çözülmüş  $\text{O}_2$ ) kemostat şartlarında kontrol edilmelidir.

Fakat büyük ölçekli işletmelerde proses değişkenlerini kontrol etmek oldukça zordur. İşletme sıcaklığı olan  $35^{\circ}\text{C}$ 'de nitrit oksitleyicilerin maksimum spesifik büyüme hızı amonyum oksitleyenlerinin yarısı kadardır ( $0,5 \text{ gün}^{-1}$  ve  $1 \text{ gün}^{-1}$ ) (Can Doğan ve ark., 2008).

Çamur alıkonma süresi hidrolik alıkonma süresi ile kontrol edilebilir. Kısa hidrolik alıkonma ve çamur yaşı süresinde nitrit oksitleyiciler reaksiyon gerçekleştiremez ve üreyemez (Can Doğan ve ark., 2008).

Amonyum oksidasyonu asit üreten bir prosestir. Bundan dolayı inhibisyonu önlemek için pH kontrolü şarttır. pH 6,5'dan düşük olduğunda amonyum oksidasyonu gerçekleşmez. pH 8'den yukarı olduğu zaman nitrit oksitleyiciler için fazla  $\text{NH}_3$  toksik olduğundan nitrifikasyon azalır.

Aerobik alıkonma süresine bağlı olarak, çıkışta farklı konsantrasyonlarda amonyum elde edilebilir. Bunun yanında  $\text{HNO}_2$  amonyum oksitleyicilerini inhibe eder, fakat bunlar yüksek konsantrasyonlardaki  $\text{NO}_2^-$ 'yi ( $>0,5 \text{ gNO}_2^- \text{-N /L}$ ) tolere edebilir (Can Doğan ve ark., 2008).

Farklı prosesler içinde Sharon prosesi yüksek sıcaklık ve pH'da  $\text{NH}_4^+$  gideriminde etkili bir prosestir. Sharon prosesi ile %90 oranında azot dönüşümü sağlanmaktadır. Çamur alıkonması olmadan iyi karışımli bir reaktör tank bu proses için yeterlidir (Can Doğan ve ark., 2008).

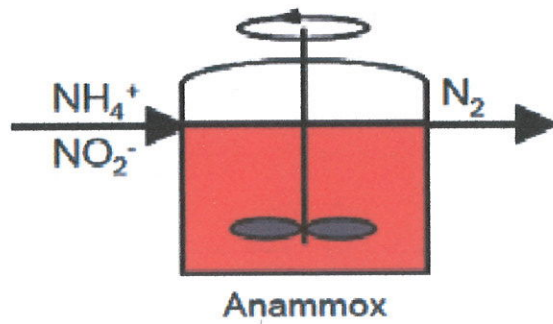
Proseste kimyasal çamur oluşmaz ve nispeten daha düşük miktarda biyolojik çamur oluşur. Oksidasyon nitrit adımı olduğu için oksijen ihtiyacı düşüktür. Bu da enerji ihtiyacını azaltır. Nitrat açısından konvansiyonel nitrifikasyon/denitrifikasyon ile karşılaştırılırsa, nitritasyon prosesi %25 daha az havalandırma ve %40 daha az karbona gereksinim duyar (Can Doğan ve ark., 2008).

### Sharon Prosesinin Avantajları:

- Düşük yatırım maliyetine sahiptir.
- Düşük işletme maliyetine sahiptir.
- Kimyasal yan ürünler olmaz.
- Kolay kullanım ve bakım gerektirir.
- Koku problemi azdır.
- Yüksek giriş katı madde seviyelerine duyarlıdır.
- Daha düşük oksijen ihtiyacından dolayı enerji tasarrufu sağlar.
- Denitrifikasyon için karbon kaynağından tasarruf sağlar.
- Düşük çamur üretimi sağlar.

### 1.2.2.2. Anaerobik Amonyum Oksidasyonu (Anammox) Prosesi

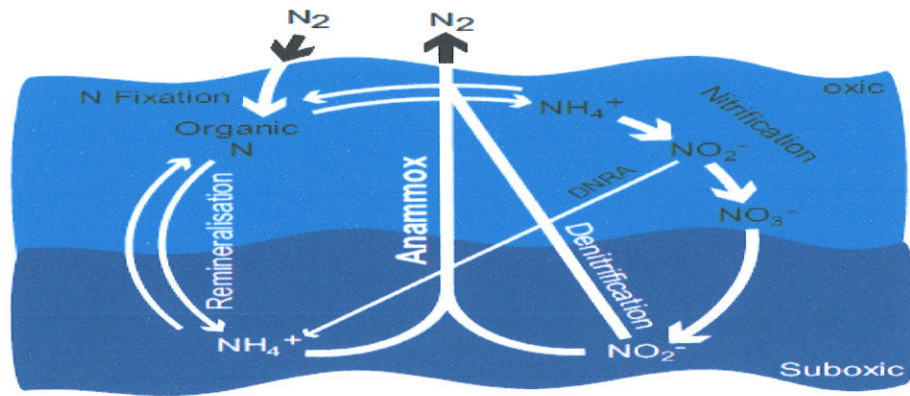
Anaerobik amonyak oksidasyonu (Anammox) son yıllarda keşfedilmiş azot çevrim reaksiyonlarından biridir (Mulder ve ark., 1995). Şekil 1.8’de anammox prosesi gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü üzere amonyumun anaerobik koşullar altında doğrudan azot gazına indirgendiği yeni bir biyolojik proses olarak tanımlanmıştır (Can Doğan ve ark., 2008).



Şekil 1.8. Anammox Prosesi(Volcke ve ark., 2007).

Bu proses düşük organik C:N oranına sahip atıksulardan amonyumun gideriminde düşük maliyet fırsatı sağlayabilmektedir. Ana ürün azot gazı olmakla birlikte bir miktar nitrat da oluşmaktadır. Nitrat, anammox aktivitesi sonucu oluşmakta ve reaktör içinde zamanla birikmektedir. Bu proseste amonyak elektron verici, nitrit ise elektron alıcı olarak kullanılmaktadır (Can Doğan ve ark., 2008).

Anammox, amonyağın elektron vericisi olarak kullanıldığı nitritin denitrifikasyonu olarak tanımlanabilir. Şekil 1.9'da anammox döngüsünde görüldüğü gibi bu reaksiyonda nitrifikasyonun ikinci basamağı olan nitritin nitrata oksidasyonu engellenir ve nitrit nitrata dönüşmeden  $N_2$  gazına indirgenir. Nitritin indirgenmesi sırasında diğer denitrifikasyon ürünleri olan NO ve  $N_2O$  oluşmamaktadır. Azot dioksit, karbon dioksitten 310 kez daha güçlü sera gazı etkisine sahiptir. Konvansiyonel arıtımda azot dioksit ara üründür. %1 azot dioksite dönüşümde eşdeğer  $CO_2$  emisyonu iki katına çıkar (Vereijken, 2006). Anammox prosesinde ise bu gazın oluşmaması en büyük avantajdır.



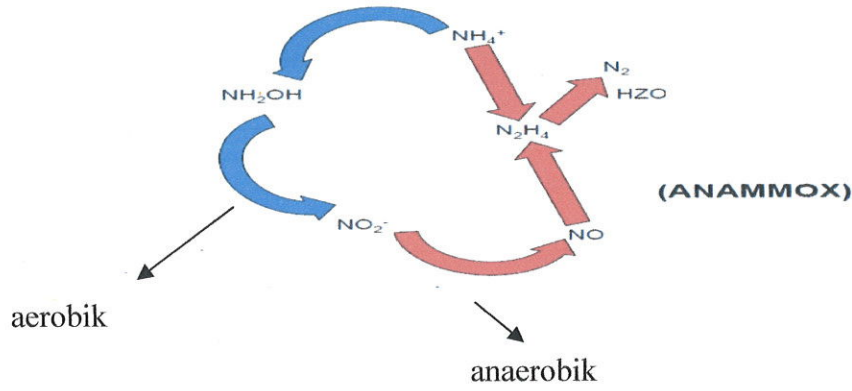
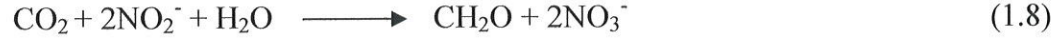
Şekil 1.9. Anammox Döngüsü (Rattray ve ark., 2007)

Bu işlemle oksijen ihtiyacı yaklaşık %50 azaltılmış olur ve denitrifikasyon için organik karbon eklenmesine gerek kalmaz. Ayrıca sonuçta çıkan çamur miktarı da çok azdır. Bu reaksiyonu gerçekleştiren bakteriler *Planctomycetales* bakterileridir. Ancak bu bakterilerin büyüme hızları oldukça düşüktür ( $0.1-0.05 \text{ day}^{-1}$ ). Şekil 1.10'da anammox reaksiyonu gösterilmektedir. Anammox reaksiyonu için sıcaklık  $20-43 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de ve pH 6.7-8.3 aralığında olmalıdır (Oğuz Temizer, 2005). 5mM (70 mg N/L)'den yüksek nitrit konsantrasyonları reaksiyonu inhibe etmektedir.

Katabolizma (15x):



Anabolizma:



Şekil 1.10. Anammox Reaksiyonu

1990'ların başında amonyumun anaerobik oksidasyonuna ait ilk doğrudan delil Hollanda'da Delft'deki bir atıksu arıtma tesisinden gelmiştir. Burada Anammox prosesi çamur çürütme süzüntü suyunu arıtan, denitrifikasyon yapan akışkan yataklı reaktörde keşfedilmiştir. Uzun süren çalışmalar sonunda laboratuvar ölçekli denitrifikasyon pilot tesisinde akışkan yataklı bir reaktörde anaerobik amonyum oksidasyonu varlığı ispatlanmıştır. Birkaç yıl sonra da doğal çevrede anaerobik amonyum oksidasyonu ile ilgili ilk bulgular yayınlanmıştır. Anammox kelimesi hem prosesi hem de bunu gerçekleştiren mikroorganizmaları tanımlar (Can Doğan ve ark., 2008).

Proses ilk olarak 1977 yılında Broda tarafından mikrobiyal metabolizma olarak tanımlanmıştır ve anaerobik amonyum oksidasyonunun kemolitotrofik bakterilerin varlığında gerçekleştiği tahmin edilmiştir. Bu keşfe kadar anaerobik oksidasyonu gerçekleştirebilen herhangi bir bakteri türü bulunamamıştır. Anaerobik amonyum oksidasyonu, çok kısa bir zaman öncesine kadar biyolojik azot döngüsünün keşfedilmemiş bir bölümünü oluşturmaktaydı. Bu prosesi oluşturan mikroorganizma

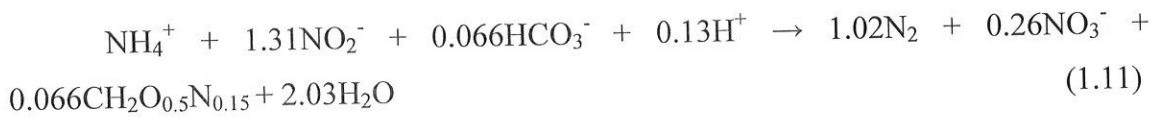
topluluğu Planktomiset türünün ototrofik grubunun bir üyesi olarak tanımlanmaktadır (Can Doğan ve ark., 2008).

Şimdiye kadar amonyum oksidasyonu için sadece aerobik prosesler tartışılmış olmasına rağmen, Mulder ve ark. (1995)'nin yaptıkları çalışmada anoksik şartlarda, nitrat tüketimi ve  $N_2(g)$  üretimi sürekli yükselirken yüksek miktarda amonyumun yok olduğu gözlenmiştir. Daha sonra  $NO_2$  gazının varlığında anoksijenik şartlarda amonyak oksitleyiciler tarafından amonyağın oksitlenebildiği belirtilmiş ve proses için elektron alıcı olarak nitritin tercih edildiği gözlemlenmiştir (Can Doğan ve ark., 2008).



Bazı önemli fiziksel parametreler Strous ve ark. (1999) tarafından yapılan araştırmaya atıf yapan (Can Doğan ve ark., 2008) çalışması verilmiştir. Bunlar; amonyum tüketiminin maksimum spesifik hızı ( $45 \pm 5 \text{ nmol mg}^{-1}_{\text{protein}} \text{dak}^{-1}$ ), maksimum spesifik büyüme hızı ( $0,0027 \text{ sa}^{-1}$ , çiftlenme süresi 11 gün) ve dönüşüm oranı ( $0,066 \pm 0,01 \text{ mol C mol}^{-1} NH_4^+ - N$ )'dir (Can Doğan ve ark., 2008).

Anammox sitokiyometrisi, zenginleştirilmiş anammox bakteri topluluğu üzerinde kütle dengesini esas alınarak şöyle tahmin edilmiştir (Stone ve ark., 2010):



Hidrazin ( $N_2H_4$ ) ve hidroksilamin ( $NH_2OH$ ) prosesin bilinen ara ürünleridir (Can Doğan ve ark., 2008). Anammox bakterilerinin çoğalma hızları çok yavaştır ve 10-30 gün arasında değişir (Can Doğan ve ark., 2008). Anammox bakterilerinin büyümesi için gerekli olan ana karbon kaynağı karbon dioksittir. Anammox prosesi için sabit yataklı, akışkan yataklı, ardışık kesikli ve yukarı akışlı reaktörler bulunmuştur. Anammox bakterileri amonyak ve nitriti stokiyometrik oranında (1:1) değil, 1:1,31

oranında tüketir (Can Doğan ve ark., 2008). Fazla nitrit anaerobik yollarla nitrata okside olur. Bu oksidasyon sırasında açığa çıkan elektronlar CO<sub>2</sub> fiksasyonunda kullanılır.

Bu proses endüstriyel atıksuların arıtımında da uygulanan bir prosestir. Prosesin en önemli dezavantajı, anammox mikroorganizmalarının büyüme hızının yavaş olmasıdır. Anammox biyokütlesinin büyümesi için en uygun reaktör tipinin ardışık kesikli reaktör olduğu belirtilmiştir. Ardışık kesikli reaktör ile yapılan çalışmada, azot yükleme hızı 0,3 gN/L gün olarak alınmıştır. İşletme periyodunun hemen hemen tamamında anammox reaktöründe nitrit uzaklaştırma oranı %98 olarak gerçekleştirilmiştir. Biyokütlenin spesifik anammox aktivitesi sabit tutulmuştur ve bu değer yaklaşık olarak 0,4 g N/g UAKM.gün olarak elde edilmiştir (Can Doğan ve ark., 2008).

#### **Anammox Prosesinin Avantajları**

- Organik karbon ihtiyacı yoktur.
- Oksijen ihtiyacında %60 azalma sağlar.
- Biyokütle üretiminde %40 azalma sağlar.
- N<sub>2</sub>O gazı emisyonu yoktur.
- Yüksek azot giderim oranı sağlar.
- Düşük güç tüketimi sağlar.
- Çıkan çamur miktarı çok azdır.
- Düşük CO<sub>2</sub> emisyonu sağlar (Yiğit ve ark., 2008).

**Avantajlarına rağmen Anammox prosesinin dezavantajları aşağıda belirtilmiştir:**

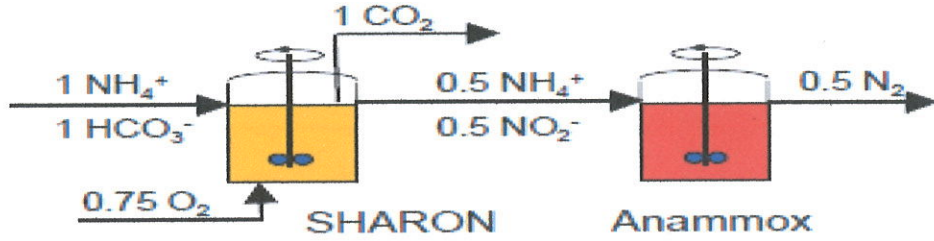
- Düşük büyüme hızına sahiptir.
- Yüksek çamur yaşı ihtiyacı gerektirir.
- Tam anaerobik koşullar olmalıdır.
- Yüksek sıcaklıkta (30-35°C) işletilir.
- İnorganik karbon kaynağı için besleme (ototrofik bakteri) gerekir. (Yiğit ve ark., 2008).

### **1.2.2.3. Ardışık Kısmi Nitrifikasyon ve Anammox Prosesi**

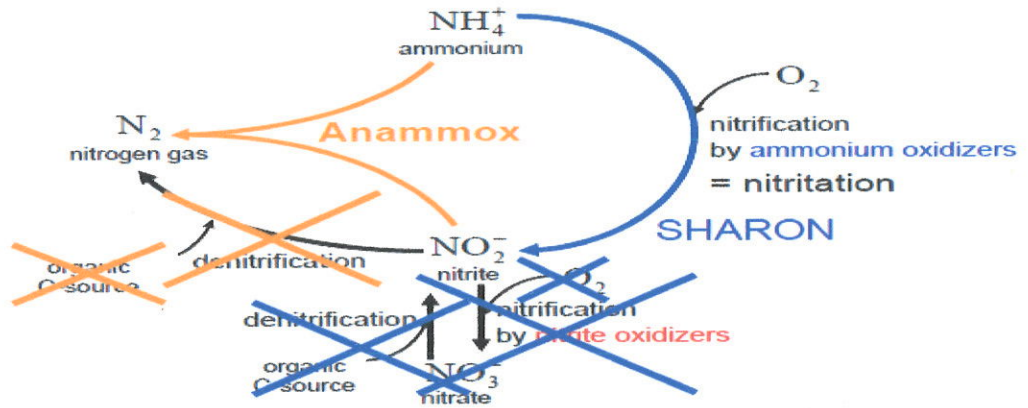
Anammox ile Kısmi Nitrifikasyon prosesi kombinasyonu ve nütrient bakımından zengin akarsu kenarlarında maliyeti etkileyici arıtım sağlar. Nitritasyon ve Anammox prosesleri yüksek amonyak içeren atıksuların arıtımında yeni, efektif ve düşük maliyetli bir arıtım alternatifi olabilecektir.

Bu iki prosesin birlikte kullanımı dışarıdan karbon ilave edilmeksizin düşük oksijen ve enerji gereksinimi ve düşük atık çamur oluşumu özellikleriyle yüksek amonyak içeren endüstriyel atıksuların arıtımında da büyük bir potansiyel oluşturması beklenmektedir.

Bu iki sistem Hollanda Rotterdam'da Dokhaven-Sluisjesdijk arıtma tesisi çamur arıtma süzüntü sularının arıtımı için birlikte kullanılmaktadır (Güven ve ark., 2010). Ardışık Sharon ve Anammox prosesleri 2002'den beri tam ölçekli olarak New York ve Hollanda kentsel AAT'lerinde kullanılmaktadır.



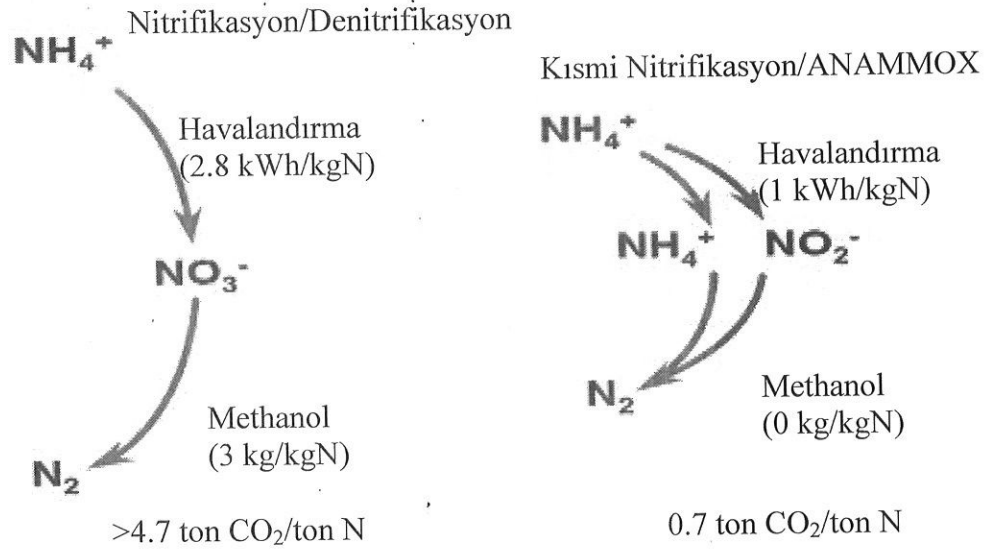
Şekil 1.11. Ardışık Kısmi Nitrifikasyon ile Anammox Prosesi (Volcke ve ark., 2007).



Şekil 1.12. Ardışık Kısmi Nitrifikasyon - Anammox Döngüsü (Volcke ve ark., 2007).

Kısmi Nitrifikasyon ve ANAMMOX prosesinin birlikte kullanılmasında;

- Yan arıtımda havalandırma maliyetlerinde % 63'e varan tasarruf sağlar.
- Yan arıtımda C kaynağında % 100'e kadar ek tasarruf sağlar.
- Nitritasyon-Anammox prosesi ile ortamda daha az miktarda nitrat ve azot bulunmaktadır (Volcke ve ark., 2007).
- Yan arıtımda metanol ilavesi gerekmez.



Şekil 1.13. Nitrifikasyon/Denitrifikasyon ile Nitritasyon/Anammox Proseslerinin Karşılaştırılması (Paques, 2008).

Çamur çürütücü süzüntü suyunun nitritasyon prosesi ile arıtılabildiğinin araştırıldığı laboratuvar ölçekli çalışmada, giriş amonyak 0.5–1.5 gN/L seviyesinde çalışılmıştır. Sıcaklık 30–40<sup>0</sup>C arasında tutulmuştur. Amonyum azotu giderimi %90 seviyesinde elde edilmiştir (Kempen ve ark., 2001).

Anaerobik çürütücü süzüntü suyunun nitritasyon ve anammox prosesi ile arıtılabildiğinin araştırıldığı çalışmada, ardışık kesikli reaktörler kullanılarak 35<sup>0</sup>C de, pH 7.5’da, Ç.O. 2 mg/L ve 1 gün’lük hidroluk bekletme süresi (HBS)’nde çalıştırılmıştır. Giriş atıksu NH<sub>4</sub>-N konsantrasyonu 0.78-1.67 g/L, TOC konsantrasyonu 0-1 g/L, UKM konsantrasyonu 0.12-0.17 g/L ve CF konsantrasyonu 5.3-6.7 g/L olarak gerçekleştirilmiştir. Anammox reaktörü, 35<sup>0</sup>C’de, pH 7.5-8.2 ve 1.8 günlük HBS’de işletilmiştir. Anammox reaktörüne gelen amonyum konsantrasyonu 265-900 mg/L ve nitrit konsantrasyonu 115-695 mg/L olarak gerçekleştirilmiştir. Yaklaşık %100 NO<sub>2</sub><sup>-</sup> giderimi ve %40-80 arasında da toplam azot giderimi elde edilmiştir (Vazquez-Padin ve ark., 2009).

Anaerobik çürütücü balık konserve çıkışından azot giderimi için anaerobik çürütücü çıkışı suyunun nitritasyon ve anammox prosesi ile arıtılabildiğinin araştırıldığı çalışmada, 3L’lik ardışık kesikli reaktörler kullanılmıştır. Sıcaklık 35<sup>0</sup>C ve pH 8.0-8.2

arasında tutulmuştur.  $\text{NH}_4\text{-N}$  konsantrasyonu 700-1000 mg/L olarak gerçekleştirilmiştir. Nitritasyon reaktöründe %50  $\text{NH}_4\text{-N}$  oksidasyonu ve  $\text{NO}_2\text{-N}$  oluşumu gözlenmiştir. Anammox reaktöründe ortalama azot yükleme oranı  $500 \text{ gNm}^{-3}$  tür. %68 giderim elde edilmiştir (Dapena ve ark., 2006).

Atıksuyun ardışık kesikli reaktör ve gaz-kaldırma reaktörlerle çalışıldığı çalışmada ardışık kesikli reaktördeki çalışmada sıcaklık  $35^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{pH} = 7.8\text{-}8.0$  aralığında tutulmuş ve sürekli karışım sağlanmıştır. Giriş amonyum ve nitrit konsantrasyonu  $375 \text{ mg l}^{-1}$  dir. Ortalama amonyak azotu giderim verimi %78'dir ve nitrit tamamen tüketilmiştir. (Dapena ve ark., 2004).

Nitritasyon reaktörü kısmi nitrifikasyon-denitrifikasyon ve doldur - boşalt yöntemi ile işletilmiş bir çalışmada sıcaklık  $25\text{-}35^{\circ}\text{C}$  aralığında tutulmuş ve  $\text{pH} 7.2\text{-}7.4$  aralığındadır. Amonyak miktarı 800 mg/L ye kadar artan miktarda reaktöre verilmiştir. Anammox reaktörü  $30^{\circ}\text{C}$  sıcaklığında hidrolik bekleme süresi 5 gün olacak şekilde işletilmiştir. Artan amonyak nitrit konsantrasyonlarındaki sentetik atıksu ile beslenmiştir. Nitritasyon reaktöründe %90 amonyum oksidasyonu ve %95 nitrit oluşumu gözlemlenmiştir. Anammox reaktöründe %90 amonyum ve %99 nitrit giderimi elde edilmiştir (Güven ve ark., 2010).

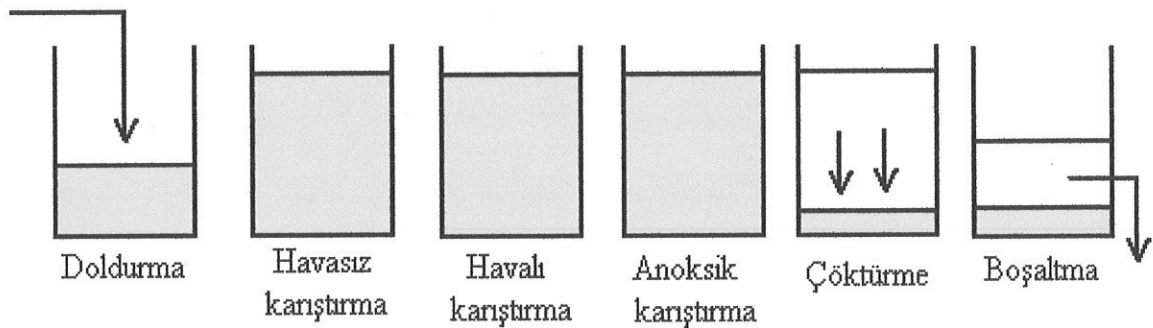
Bu çalışmada, KOSKİ Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi'nin anaerobik çürütücüsünün süzöntü suyundan azot, fosfor ve giderimi için ilk aşamada anaerobik ve kısmi nitrifikasyon prosesleri, ikinci aşamada ardışık kısmi nitrifikasyon-anaerobik amonyak oksitlenmesi prosesleri laboratuvar ölçekli ardışık kesikli reaktörlerde çalışılmıştır. Üçüncü aşamada kısmi nitrifikasyon reaktörlerinde bekletme süresi farklı kombinasyonda çalışılarak amonyak:nitrit stokiyometresi modifiye edilmiş ve toplam azot giderimi arttırılmaya çalışılmıştır. Çalışmada  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ,  $\text{KOl}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ , UKM,  $\text{pH}$ , bikarbonat alkalinitesi ve UYA değerlerindeki değişim izlenmiştir.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Yüksek miktarda amonyum azotu içeren anaerobik çürütücünün dekantör suyu, laboratuvar ölçekli aerobik ve anaerobik ardışık kesikli reaktörlere beslenerek arıtım süreci günlük olarak takip edilmiştir.

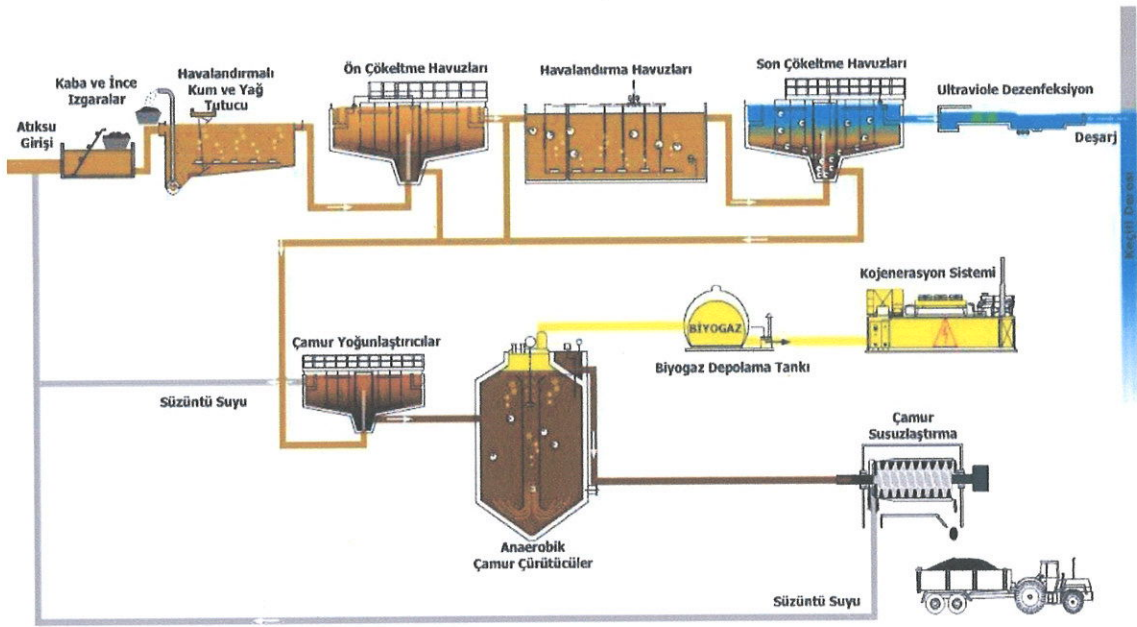
Arıtım çalışmasında 2 adet anaerobik, 2 adet aerobik ve 2 adet anoksik reaktör kullanılmıştır. Reaktörler haftalık beslemelerle izlenmiştir. Reaktörler günlük ve haftalık olarak; pH, bikarbonat alkalitesi, UYA, KOİ,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2^-\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  ve UKM parametreleri ile izlenmiştir.

Ardışık kesikli reaktörler, hem karbon oksidasyonu, hem de azot ve fosfor giderimi için kullanılırlar. Gerekli arıtma reaktörün işletme şartlarını değiştirerek gerektiğinde kimyasal ilavesi ile sağlanabilir. Bu sistemde reaksiyon zamanı 3 ile 24 saat arasında değişebilir. Havalı ve havasız reaksiyon süreleri değiştirilerek nitrifikasyon ve denitrifikasyon reaksiyonlarında aynı sistemde gerçekleştirilebilir. Anlatılan bu mekanizma Ardışık Kesikli Biyoreaktör prosesi birbirini takip eden 5 fazdan oluşmaktadır (Öztürk ve ark., 2005).

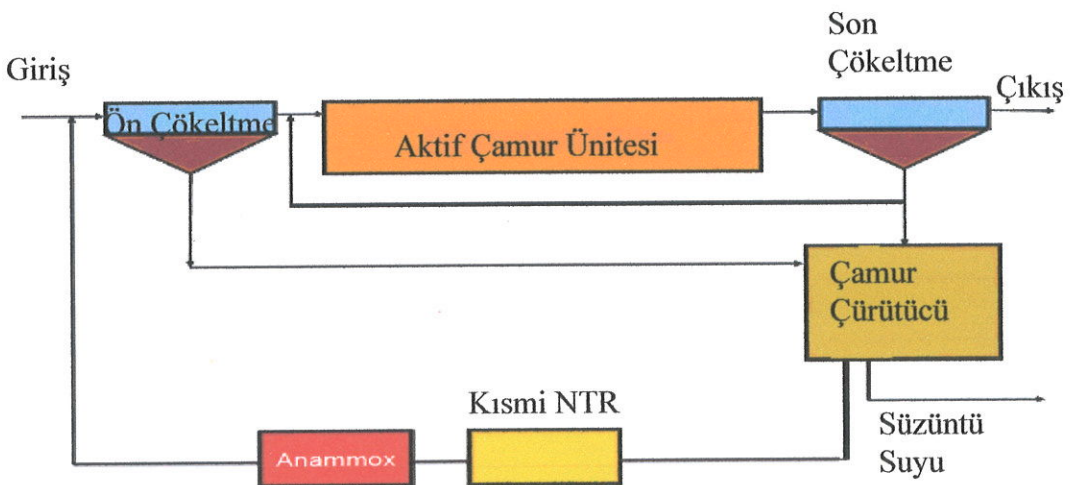


Şekil 2.1. Ardışık Kesikli Reaktör Prosesi Çalışma Prensibi ( Öztürk ve ark., 2005).

Şekil 2.2’de Konya Atıksu Arıtma Tesisinin genel akım şeması gösterilmektedir. Anaerobik çamur çürütücüdeki süzüntü suyunda yüksek amonyak ve fosfat içeriğinden dolayı süzüntü suyunun doğrudan Aktif Çamur Ünitesi’ne verilmesi yerine Şekil 2.3’deki gibi süzüntü suyu çıkış kısmına kısmi nitrifikasyon+anammox proseslerinin birlikte uygulanmasıyla hem daha düşük azot konsantrasyonu elde edilmesi hemde maliyette çok fazla tasarruf sağlanması hedeflenmektedir. En önemlisi denitrifikasyonda oluşan sera gazı etkisi yapan  $N_2O$  gazının oluşmaması bu proseslerle sağlanmaktadır.



Şekil 2.2. Konya Atıksu Arıtma Tesisinin Genel Akım Şeması



Şekil 2.3. Kısmi Nitrifikasyon+Anammox Proseslerinin Atıksu Arıtma Tesisindeki yeri (Volcke ve ark., 2007).

## 2.1. Atıksu Karakteristiği

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen tüm deneyler kentsel atıksu arıtma tesisinin anaerobik urtcnn dekantör suyu ile 19 hafta boyunca gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan atıksuyun değerleri Tablo 2.1’de özetlenmektedir. Anaerobik süzüntü suyu günlük 1500 m<sup>3</sup> debide oluşmaktadır ve içerdiği amonyak azotu ve fosfat ile yüksek nütrient içeriğine sahip bir atıksu özelliğindedir. Bu özelliğinden dolayı Konya AAT’nin günlük çamur oluşumunun %18’ini oluşurmaktadır.

Tablo 2.1. Anaerobik amur urtc Süzüntü Suyu Değerleri

<b>SÜZÜNTÜ SUYU DEĞERLERİ (mg/L)</b>			
	<b>Min (mg/L)</b>	<b>Ort. (mg/L)</b>	<b>Max. (mg/L)</b>
<b>KOİ</b>	333	860	1387
<b>BOİ</b>	180	440	700
<b>UKM</b>	550	975	1400
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N</b>	523	625	727
<b>T-P</b>	20.6	34	46.7
<b>T-N</b>	554	706	857
<b>pH</b>	7.15	7,64	8.36

## 2.2. Deney Düzeneği

### 2.2.1. Anaerobik Reaktör İşletimi

Deneyler laboratuvar ölçekli ardışık kesikli reaktörlerde gerçekleştirilmiştir. KOSKİ kentsel AAT anaerobik çamur urtc ünitesinden alınan çamur ve süzüntü suyu ile 2L’lik reaktörlerde 1000 mL çamur ve 1000 mL atıksu ile deneyler haftalık beslemeler ve izlemeler şeklinde yrtlmştir. Reaktörler sürekli karıştırılmıştır. Sıcaklık 25-30<sup>0</sup>C aralığında ve pH 6.9-7.5 aralığında gerçekleşmiştir. Günlük ve haftalık alınan numunelerle analizler yrtlmştir. Reaktörler 6 hafta boyunca izlenmiştir.

### 2.2.2. Kısmi Nitrifikasyon Reaktörü İşletimi

Laboratuvar ölçekli 2 adet ardışık kesikli reaktörlerle kısmi nitrifikasyon deneyleri yürütülmüştür. 10 L'lik reaktörlere Başarakavak Atıksu Arıtma Tesisi'nden alınan aktif çamur hacmi 2500 mL ve KOSKİ'den alınan süzüntü suyu 2500-3000 mL ile beslenerek haftalık beslemelerle deneyler yürütülmüştür. Reaktörler atıksu ile beslemenin ardından karıştırılarak ilk gün, 2., 3., ve 7. günde alınan numunelerle arıtım çalışması izlenmiştir. 25-30<sup>0</sup>C aralığında sıcaklıkta, çözünmüş oksijen 2.1-4 aralığında ve pH 7.15-9 aralığında 19 hafta boyunca kesikli modda reaktörler beslenerek işletilmiştir. Günlük ve haftalık alınan numunelerle analizler yürütülmüştür.

### 2.2.3. Anammox Reaktörü İşletimi

2L'lik 2 adet anaerobik reaktörde deneyler yürütülmüştür. Bir reaktöre nitrifikasyon reaktöründen alınan çamur, diğerine de KOSKİ Aktif Çamur ünitesinden alınan çamurla reaktörler aşılacaktır. Reaktörler, sürekli karışımla, 30-35<sup>0</sup>C sıcaklıkta ve kısmi nitrifikasyondan alınan atıksu ile beslenerek işletilmiştir. İlk gün, 2., 3., ve 7. günlerde alınan numunelerle arıtım performansı izlenmiştir. Günlük ve haftalık alınan numunelerle analizler yürütülmüştür.

## 2.3. Ölçüm Yöntemleri

Analizler 2 noktalı titrasyon metodu (Anderson ve Yang, 1992) ve Standart Metotlar ile uygulanmıştır (APHA, 2005). Azot gideriminin yanısıra organik madde ve fosfat giderimi de belirlenerek elde edilecek arıtımın kapsamı ortaya konmuştur.

KOİ (5220.C), Alkalinite ( 2320.B), Uçucu Katı Madde ( 2540.B,D,E), PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P (4500-P-C), Amonyak (4500-NH<sub>4</sub><sup>-</sup> B), Nitrit (4500-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> B), Nitrat (4500-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> B), Uçucu yağ asitleri ve bikarbonat konsantrasyonu Anderson ve Yang'ın oluşturduğu metotla titrimetrik olarak (1992) belirlenmiş ve mg CaCO<sub>3</sub>/L olarak hesaplanmıştır. pH WTW315i Model pHmeter ve Sen Tix 20 elektrodu ile ölçülmüştür.

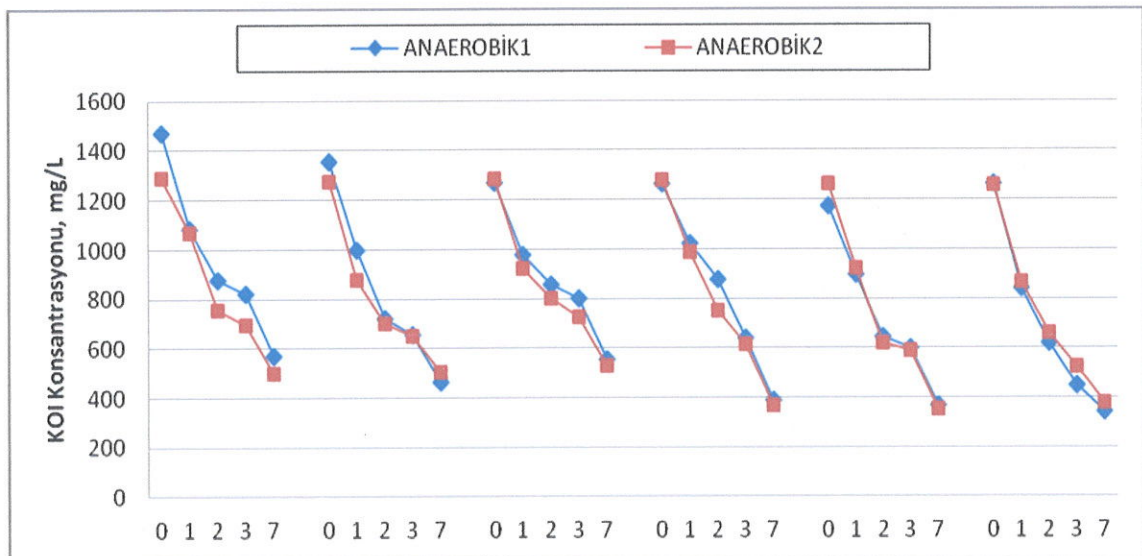
### 3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

KOSKİ Atıksu Arıtma Tesisi'nin çamur çürütücüsünden alınan süzüntü suyuna ilk 6 hafta aerobik ve anaerobik arıtmalar uygulanmıştır. Anaerobik arıtmada azot giderimi elde edilemediği için 6 hafta sonunda Kısmi NTR + Anammox proseslerinin uygulanabilirliği 19 hafta boyunca ardışık kesikli beslemelerle incelenmiştir.

#### 3.1. Süzüntü Suyu Anaerobik Arıtım Çalışması:

Şekil 3.1'de anaerobik reaktörlerde süzüntü suyunun KOİ değerlerinin haftalık beslemeler sonucunda giderimi gösterilmiştir. Anaerobik 1 ve 2 reaktörleri aynı çamur kültürüyle beslenerek eşit şartlar altında çalıştırılmıştır. Anaerobik1 reaktöründe beslenen KOİ değerleri 1175-1472 mg/L seviyelerinde değişmiştir. Haftalık beslemeler boyunca, KOİ çıkış konsantrasyonları 342-570 mg/L arasında kalmıştır. Ortalama KOİ giderim verimi %56-72 aralığında gerçekleşmiştir.

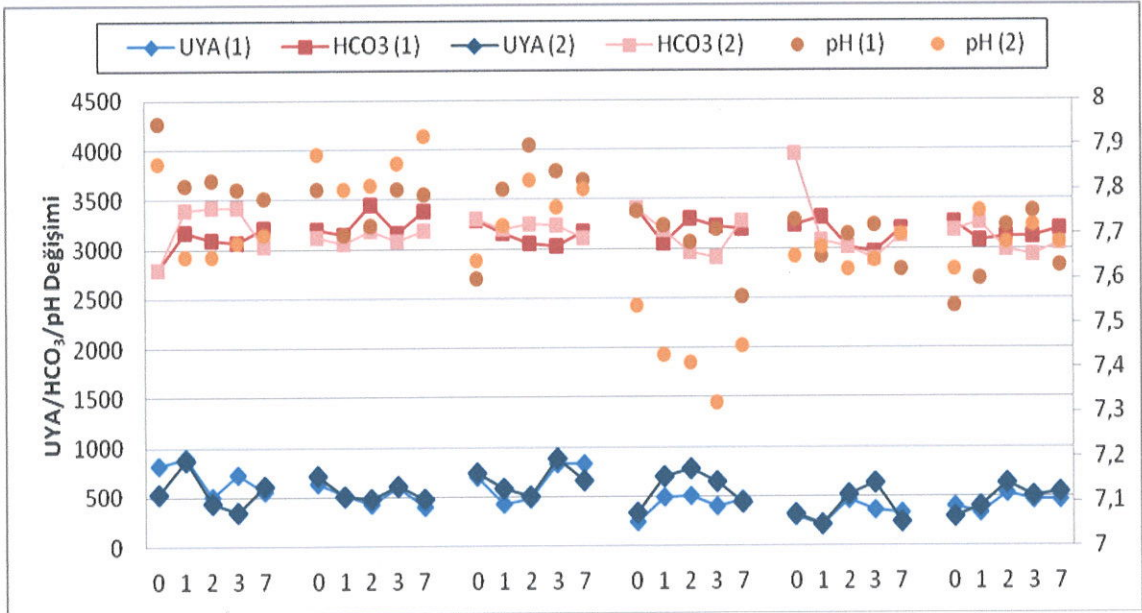
Anaerobik2 reaktöründe beslenen KOİ değerleri 1260-1288 mg/L arasında değişmiştir. Haftalık beslemeler sırasında, KOİ çıkış konsantrasyonları 351-526 mg/L arasında kalmıştır. Ortalama KOİ giderim verimi %59-72 aralığında gerçekleşmiştir.



Şekil 3.1. Süzüntü Suyunun Anaerobik Arıtımında KOİ Giderimi

Şekil 3.2’de süzüntü suyunun anaerobik arıtımında UYA -  $\text{HCO}_3$  ve pH değişimleri gösterilmiştir.

Anaerobik1 reaktöründe pH 7.54-7.95 aralığında gerçekleşmiştir. Sistemde arıtım, heterotrofik bakterilerce gerçekleştirilmektedir. Organik madde gideriminde sistemde oluşan  $\text{CO}_2$  ve UYA’ları ortamın asitliğini ve alkalinite ihtiyacını arttırlar. UYA’ların metana dönüşümü ise asitliği düşürüp pH’yı yükseltir. Anaerobik2 reaktöründe ise pH 7,32-7,92 aralığında gerçekleşmiştir. UYA’ların 1000 mg/L’nin altında seyretmesi ve 500 mg/L seviyesine giderilmesi sistemin pH’ını nötr seviyenin üstünde tutmuştur. Bikarbonat alkalinitesi 3000 mg/L seviyesinin üstünde gerçekleşerek tampon ihtiyacını karşılamıştır.



Şekil 3.2 Süzüntü Suyunun Anaerobik Arıtımında UYA-HCO<sub>3</sub>-pH Değişimi

Anaerobik arıtımda yetersiz seviyede amonyum azotu giderimi elde edilmesi sonucunda bu reaktörler kapatılarak çalışmalara aerobik arıtım ile devam edilmesine karar verilmiştir.

### 3.2. Süzüntü Suyunun Ardışık Kısmi Nitrifikasyon ve Anammox Prosesleri ile Arıtımı

#### 3.2.1. KOİ Giderimi

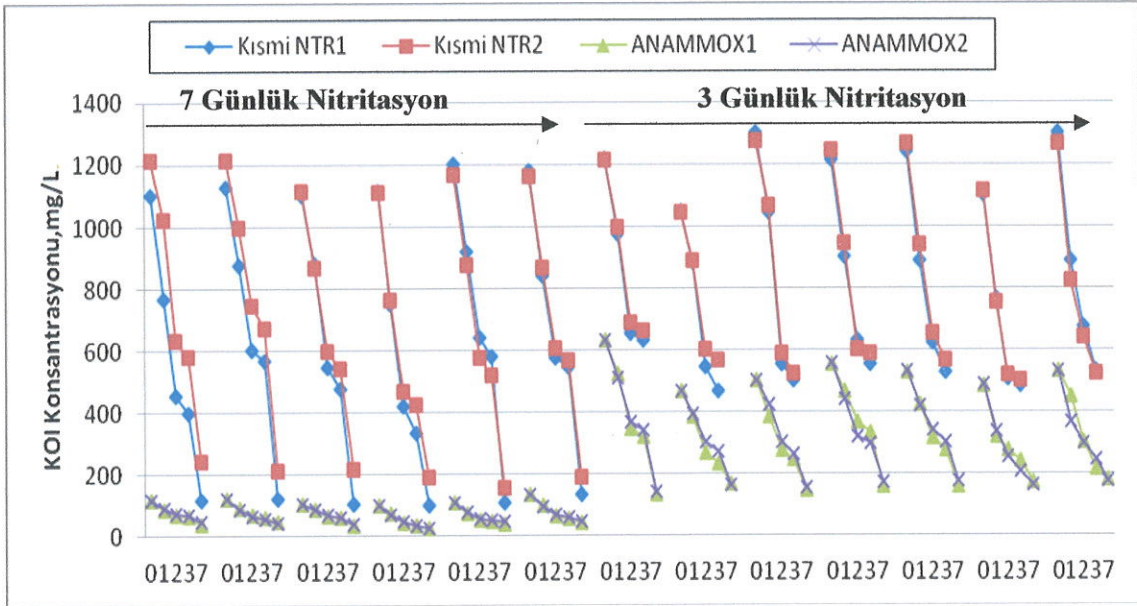
Şekil 3.3’de süzüntü suyunun Kısmi NTR ve Anammox reaktörlerinde değerlerinin haftalık beslemeler sonucunda izlenen giderimi gösterilmiştir.

Kısmi NTR1 reaktöründe 7 günlük kısmi nitrifikasyon sonunda beslenen başlangıç değerleri 1050–1300 mg/L arasında değişmiş, %88-91 arasında KOİ giderim verimleri elde edilmiştir. Ortalama KOİ giderim verimi %90 olarak gözlenmiştir. 3 günlük kısmi NTR sonunda başlangıç KOİ değerleri 1050–2024 mg/L arasında değişmiş, %48-61 arasında KOİ giderim verimleri elde edilmiştir. Ortalama KOİ giderim verimi %55 olarak gözlenmiştir.

Kısmi NTR2 reaktöründe 7 günlük kısmi nitrifikasyon sonunda beslenen KOİ değerleri 1045–2392 mg/L arasında değişmiş, %80-86 arasında KOİ giderim verimleri elde edilmiştir. Ortalama KOİ giderim verimi %83 olarak gözlenmiştir. 3 günlük kısmi nitrifikasyon beslenen giriş KOİ değerleri 1112–1214 mg/L arasında değişmiş, %45-59 arasında KOİ giderim verimleri elde edilmiştir. Ortalama KOİ giderim verimi %52 olarak gözlenmiştir. Kısmi NTR’de bekletme süresinin düşürülmesi KOİ giderimini düşürmüştür.

Anammox 1 ve 2 reaktörlerinde 7 günlük kısmi nitrifikasyon sonunda beslenen başlangıç KOİ değerleri 98–134 mg/L arasında değişmiş, %60-75 arasında KOİ giderim verimleri elde edilmiştir. Ortalama KOİ giderim verimi %68 olarak gözlenmiştir.

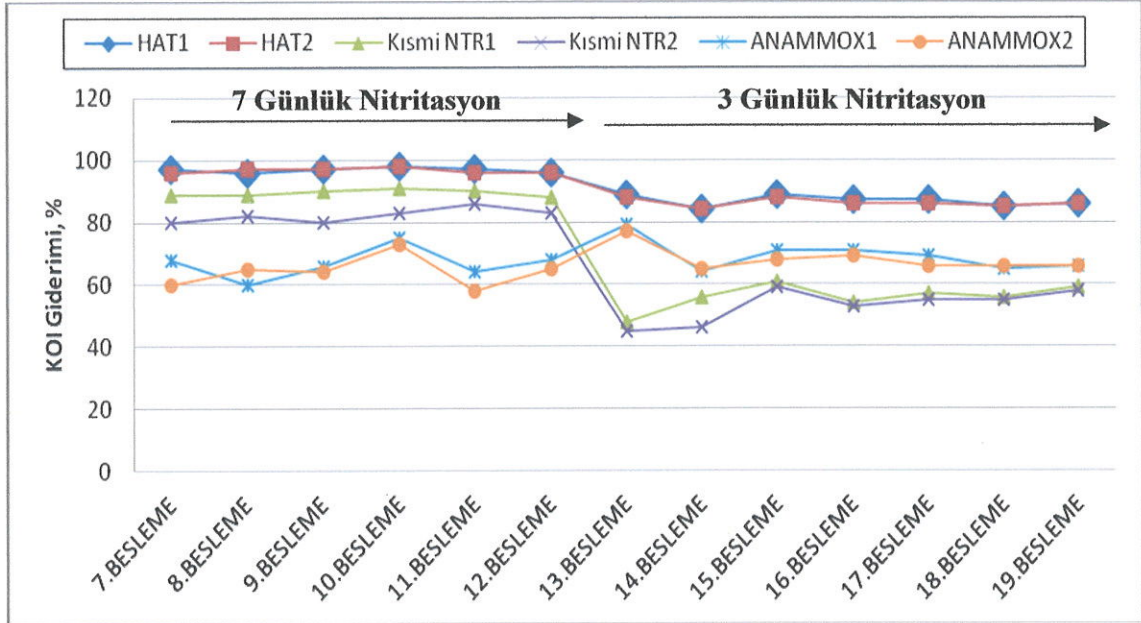
3 günlük kısmi nitrifikasyon sonunda Anammox 1 ve 2 reaktörlerinde beslenen KOİ değerleri 467–634 mg/L arasında değişmiş, %64-78 arasında KOİ giderim verimleri elde edilmiştir. Ortalama KOİ giderim verimi %71 olarak gözlenmiştir.



Şekil 3.3. Süzüntü Suyunun Kısmi Nitrifikasyon ve Anammox Reaktörlerinde KOİ Giderimi

Şekil 3.4'de süzüntü suyunun Kısmi NTR + Anammox basamağında toplam KOİ giderim verimi gösterilmektedir. Toplam KOİ giderimi reaktör1 ve 2'de 7 günlük kısmi nitrifikasyon sonunda %96-98 mg/L aralığındadır. Ortalama toplam KOİ giderimi %97 olarak gerçekleşmiştir.

3 günlük kısmi nitrifikasyon sonunda Toplam KOİ giderimi reaktör1 ve 2'de %84-89 aralığındadır. Ortalama toplam KOİ giderimi %87 olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 3.4. Süzüntü Suyunun Kısmi Nitritasyon ve Anammox-N Reaktörlerinde Toplam KOİ Giderim Verimi (%)

Kısmi NTR basamağında HBS süresinin 3 güne düşürülmesi ile bu basamaktaki KOİ giderimi, %60 seviyesine düşmüş, bu da toplam KOİ giderimini düşürmüştür. Bu düzenlemeden amaç, ikinci basamaktaki azot giderimini maksimize etmek olduğu için bu düşüş önemsenmemiştir.

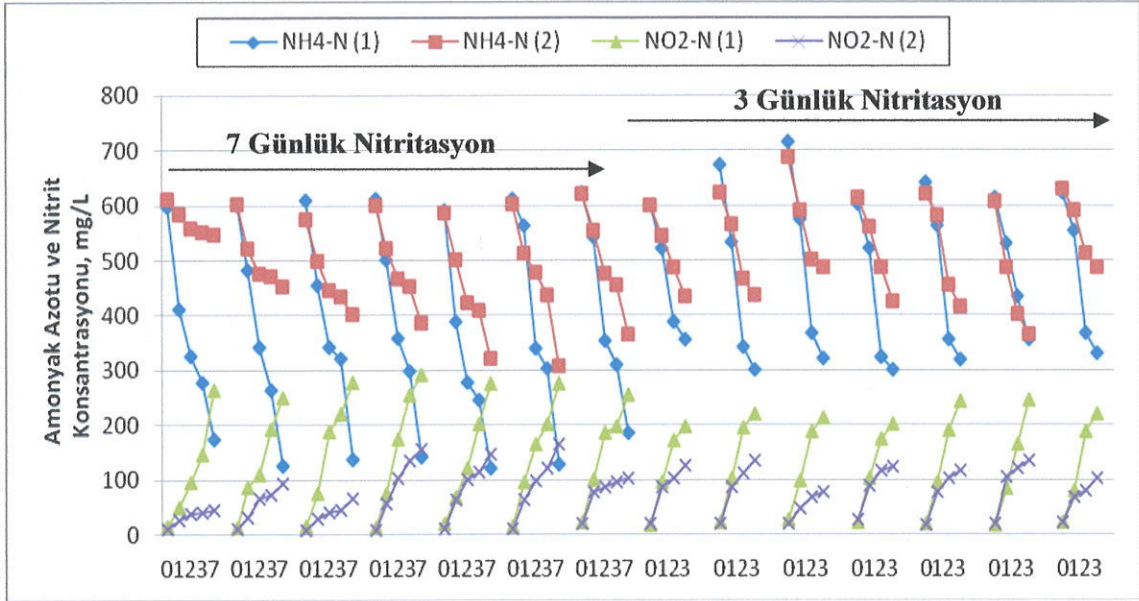
İlk basamakta organik madde giderimi, heterotrofik aktivite ile gerçekleşmiş, bu sayede nitritasyonda ihtiyaç duyulan CO<sub>2</sub> ve alkalinite kaynağı, bu reaksiyon ürünleriyle karşılanmış ve ilave alkalinite ihtiyacı gerekmemiştir. İleri bölümde bahsedileceği üzere heterotrofik reaksiyonlar, KOİ gideriminin her iki basamakta da gerçekleşmesini sağlayarak pH seviyelerinin optimum seviyede seyretmesini sağlamıştır. KOİ varlığı ikinci basamak Anammox reaksiyonlarına inhibisyon etkisi yapmamıştır.

### 3.2.2. Azot giderimi

Şekil 3.5’de süzüntü suyunun Kısmi Nitrifikasyon reaktörlerindeki  $\text{NH}_4^+$ -N değerlerinin haftalık beslemeler sonucunda giderimleri ve  $\text{NO}_2^-$ -N oluşumu gösterilmiştir.

Kısmi NTR1 reaktöründe 7 günlük kısmi nitrifikasyon sonunda beslenen  $\text{NH}_4^+$ -N değerleri 592–715 mg/L arasında değişmiş, %70-79 arasında  $\text{NH}_4^+$ -N giderim verimleri elde edilmiştir. Ortalama  $\text{NH}_4^+$ -N giderim verimi %75 olarak gözlenmiştir. Son  $\text{NH}_4^+$ -N değerleri 122–214 mg/L arasında değişmiştir. 3 günlük kısmi nitrifikasyon süresinde beslenen  $\text{NH}_4^+$ -N değerleri 600–715 mg/L arasında değişmiş, %41-56 arasında  $\text{NH}_4^+$ -N giderim verimleri elde edilmiştir. Ortalama  $\text{NH}_4^+$ -N giderim verimi %49 olarak gözlenmiştir. Son  $\text{NH}_4^+$ -N değerleri 302–357 mg/L arasında değişmiştir. Kısmi Nitrifikasyon1 reaktöründe 7 günlük kısmi nitrifikasyon sonunda 249–291 mg/L arasında  $\text{NO}_2^-$ -N oluşumu elde edilmiştir. 3 günlük kısmi nitrifikasyon sonunda 198–245 mg/L arasında  $\text{NO}_2^-$ -N oluşumu elde edilmiştir.

Kısmi NTR2 reaktöründe 7 günlük kısmi nitrifikasyon sonunda ise beslenen  $\text{NH}_4^+$ -N değerleri 576–687 mg/L arasında değişmiş, %10-48 arasında  $\text{NH}_4^+$ -N giderim verimleri elde edilmiştir. Ortalama  $\text{NH}_4^+$ -N giderim verimi %29 olarak gözlenmiştir. Son  $\text{NH}_4^+$ -N değerleri 287–548 mg/L arasında değişmiştir. 3 günlük kısmi nitrifikasyon sonunda beslenen  $\text{NH}_4^+$ -N değerleri 600–687 mg/L arasında değişmiş, %23-40 arasında  $\text{NH}_4^+$ -N giderim verimleri elde edilmiştir. Ortalama  $\text{NH}_4^+$ -N giderim verimi %32 olarak gözlenmiştir. Son  $\text{NH}_4^+$ -N değerleri 300–360 mg/L arasında değişmiştir. Kısmi NTR2 reaktöründe 7 günlük kısmi nitrifikasyon sonunda 44,3–165 mg/L aralığında  $\text{NO}_2^-$ -N oluşumu elde edilmiştir. 3 günlük kısmi nitrifikasyon sonunda 198–145 mg/L arasında  $\text{NO}_2^-$ -N oluşumu elde edilmiştir.



Şekil 3.5. Süzüntü Suyunun Kısmi Nitrifikasyon Reaktörlerinde Amonyak Azotu Giderimi ve Nitrit Azotu Oluşumu

Kısmi NTR basamağında HBS süresinin 3 güne düşürülmesi ile bu basamaktaki amonyak azotu giderimi, %41-56 seviyesine düşmüş, fakat toplam azot giderimini değiştirmemiş sadece daha az nitrit oluşumuna neden olmuştur. Bu düzenlemeden amaç, ikinci basamaktaki nitrit giderimini maksimize etmek olduğu için bu düşüş önemsenmemiştir. Literatürlerde belirtildiği gibi amonyak azotu giderimi nitritasyon reaktöründe %50 NH<sub>4</sub>-N oksidasyonu ve NO<sub>2</sub>-N oluşumu gözlenmiştir (Dapena ve ark., 2006).

Şekil 3.6'da süzüntü suyunun Kısmi NTR reaktörlerindeki NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N değerlerinin haftalık beslemeler sonucunda değişimi gözlenmiştir.

Kısmi NTR reaktörlerinde başlangıç nitrat konsantrasyonları 1.7-4 mgN/L arasında değişmiştir. Kısmi nitrifikasyon1 reaktöründe 7 günlük kısmi nitrifikasyon sonunda 17,6–27 mg/L arasında NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N oluşumu elde edilmiştir. 3 günlük kısmi nitrifikasyon sonunda 14–26 mg/L arasında NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N oluşumu elde edilmiştir.

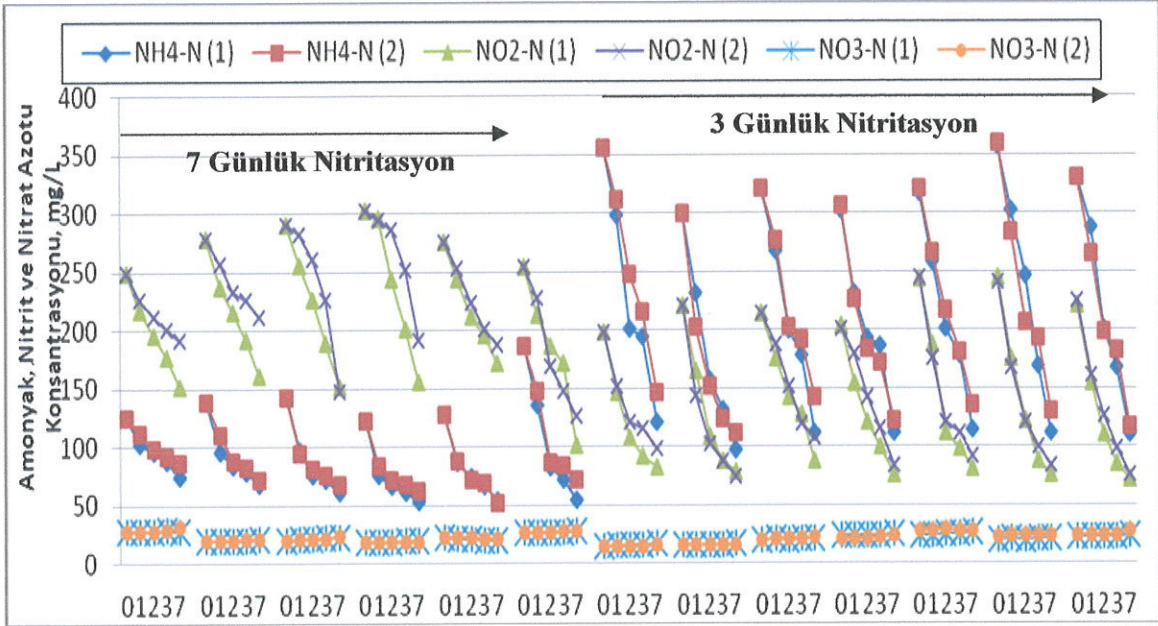


konsantrasyonu 152 – 172 mg/L arasında değişmiştir. Başlangıç  $\text{NO}_3^-$ -N değerleri 17,6–27 mg/L arasında değişmiş,  $\text{NO}_3^-$ -N miktarında değişim gözlenmemiştir.

3 günlük kısmi nitrifikasyon sonunda alınan atıksu ile beslenen Anammox1 reaktöründe başlangıç  $\text{NH}_4^+$ -N değerleri 300–357 mg/L arasında değişmiş, %63-73 arasında  $\text{NH}_4^+$ -N giderim verimleri elde edilmiştir. Ortalama  $\text{NH}_4^+$ -N giderim verimi %68 olarak gözlenmiştir. Son amonyak konsantrasyonu 97–121 mg/L arasında değişmiştir. Amonyak ve nitritin reaksiyona girmesi ile nitrit giriş  $\text{NO}_2^-$ -N değerleri 198–245 mg/L arasında değişmiş, %58-68 arasında  $\text{NO}_2^-$ -N giderim verimleri elde edilmiştir. Ortalama  $\text{NO}_2^-$ -N giderim verimi %63 olarak gözlenmiştir. Son  $\text{NO}_2^-$ -N konsantrasyonu 72-88 mg/L arasında değişmiştir.  $\text{NO}_3^-$ -N miktarında değişim gözlemlenmemiştir.

7 günlük kısmi nitrifikasyon geçiren atıksu ile beslenen Anammox2 reaktöründe ise başlangıç  $\text{NH}_4^+$ -N değerleri 122–186 mg/L arasında değişmiş, %31-61 arasında  $\text{NH}_4^+$ -N giderim verimleri elde edilmiştir. Ortalama  $\text{NH}_4^+$ -N giderim verimi %46 olarak gözlenmiştir. Son amonyak konsantrasyonu 52–86 mg/L aralığında değişmiştir. Amonyak ve nitritin reaksiyona girmesi ile nitrit giriş  $\text{NO}_2^-$ -N değerleri 249–303 mg/L arasında değişmiş, %23-50 arasında  $\text{NO}_2^-$ -N giderim verimleri elde edilmiştir. Ortalama  $\text{NO}_2^-$ -N giderim verimi %37 olarak gözlenmiştir. Son  $\text{NO}_2^-$ -N konsantrasyonu 148–211 mg/L aralığında değişmiştir.  $\text{NO}_3^-$ -N miktarında değişim gözlenmemiştir.

3 günlük kısmi nitrifikasyon sonunda alınan atıksu ile beslenen Anammox2 reaktöründe giriş  $\text{NH}_4^+$ -N değerleri 300–360 mg/L arasında değişmiş, %55-64 arasında  $\text{NH}_4^+$ -N giderim verimleri elde edilmiştir. Ortalama  $\text{NH}_4^+$ -N giderim verimi %60 olarak gözlenmiştir. Son amonyak konsantrasyonu 112–146 mg/L aralığındadır. Amonyak ve nitritin reaksiyona girmesi ile nitrit giriş  $\text{NO}_2^-$ -N değerleri 198–245 mg/L arasında değişmiş, %49-60 arasında  $\text{NO}_2^-$ -N giderim verimleri elde edilmiştir. Ortalama  $\text{NO}_2^-$ -N giderim verimi %55 olarak gözlenmiştir. Son  $\text{NO}_2^-$ -N konsantrasyonu 74–108 mg/L aralığında bulunmuştur.  $\text{NO}_3^-$ -N miktarında fazla bir değişim olmamıştır.



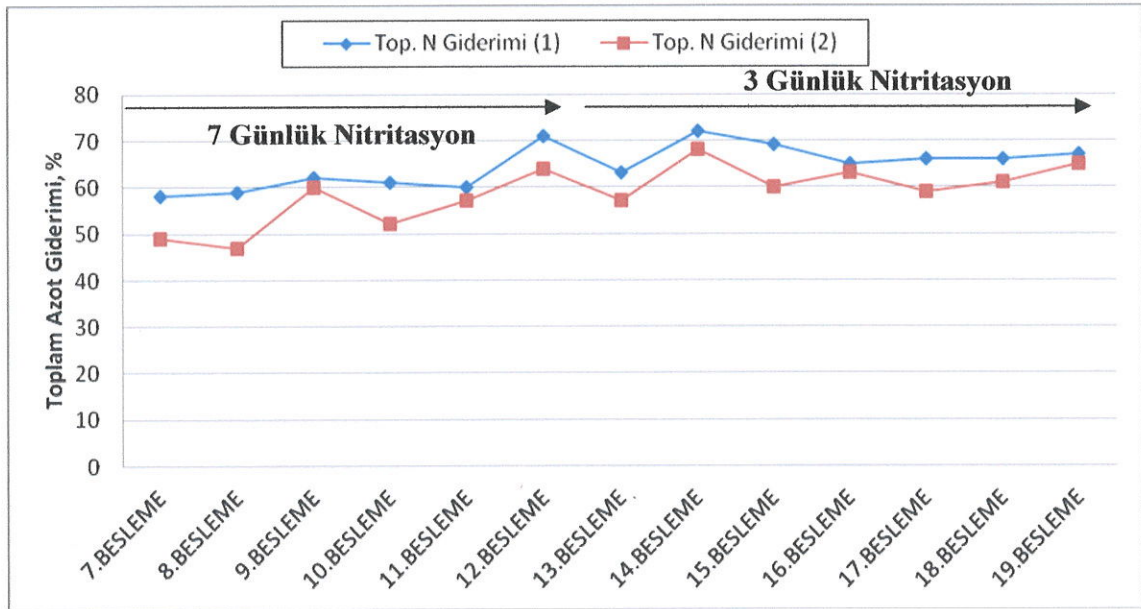
Şekil 3.7. Süzüntü Suyunun Anammox-N Reaktörlerinde Amonyak, Nitrit Giderimi ve Nitrat Azotu Oluşumu

Kısmi NTR basamağında HBS süresinin 3 güne düşürülmesi ile bu basamaktaki amonyak azotu giderimi, %63-73 seviyesindedir. HBS süresinin 3 güne düşürülmesi ile ikinci basamağa gelen atıksu daha az nitrit ve daha çok amonyak miktarı gelerek nitriti oksitlemek daha verimli olmuştur. Nitrit:Amonyum oranı yaklaşık 1/2 oranında oluşmaktadır. Toplam azot gideriminde fazla değişiklik olmamasına rağmen nitrit gideriminde artış olduğu görülmüştür. Literatürlerde anammox reaktörüne gelen amonyum konsantrasyonu 265-900 mg/L ve nitrit konsantrasyonu 115-695 mg/L olarak gerçekleştirilmiştir. Yaklaşık %100  $\text{NO}_2^-$ -N giderimi ve %40-80 arasında da toplam azot giderimi elde edilmiştir (Vazquez-Padin ve ark., 2009). Anammox reaktöründe ortalama azot yükleme oranı  $500 \text{ gNm}^{-3}$  tür. %68 giderim elde edilmiştir (Dapena ve ark., 2006). Giriş amonyum ve nitrit konsantrasyonu  $375 \text{ mg l}^{-1}$  dir. Ortalama amonyak azotu giderim verimi %78'dir ve nitrit tamamen tüketilmiştir (Dapena ve ark., 2004). Anammox reaktöründe %90 amonyum ve %99 nitrit giderimi elde edilmiştir (Güven ve ark.,2010).

Şekil 3.8'de Süzüntü suyunun Kısmi NTR + Anammox basamağında toplam N giderim verimi gösterilmektedir.

Toplam azot giderimi reaktör1'de 7 günlük kısmi nitrifikasyon sonunda %58-71 aralığındadır. 3 günlük kısmi nitrifikasyon sonunda %63-72 aralığındadır.

Toplam azot giderimi reaktör2'de 7 günlük kısmi nitrifikasyon sonunda %47-64 aralığındadır. 3 günlük kısmi nitrifikasyon sonunda %57-68 aralığındadır.



Şekil 3.8. Süzüntü suyunun Kısmi Nitrifikasyon ve Anammox-N reaktörlerinde Toplam N giderim verimi (%)

Kısmi Nitrifikasyon basamağında HBS süresinin 3 güne düşürülmesi ile ardışık kısmi nitrifikasyon+anammox prosesinde toplam azot gideriminde fazla değişiklik olmamıştır.

### 3.2.3 Fosfat

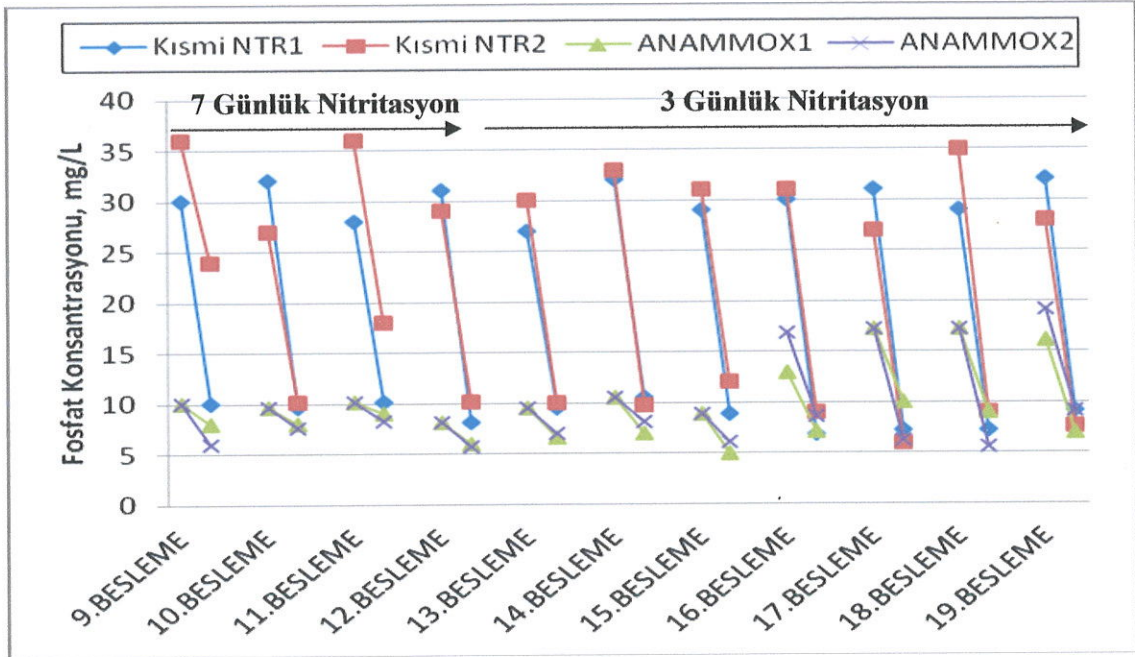
Şekil 3.9'da süzüntü suyunun Kısmi NTR ve Anammox-N reaktörlerindeki fosfat değerlerinin haftalık beslemeler sonucunda giderimleri gösterilmiştir. Fosfat giderimi olması hücrenin yenilendiğini gösterir.

Kısmi NTR1 reaktöründe 7 günlük kısmi nitrifikasyon sonunda giriş fosfat değerleri 28–32 mg/L arasında değişmiş, %64-74 arasında fosfat giderim verimleri elde edilmiştir. Çıkış fosfat konsantrasyonu 8.12–10.2 mg/L aralığında gözlemlenmiştir. 3 günlük kısmi nitrifikasyon sonunda beslenen başlangıç fosfat değerleri 27–32 mg/L arasında değişmiş, %65-77 arasında fosfat giderim verimleri elde edilmiştir. Son fosfat konsantrasyonu 6.89–10.5 mg/L aralığında gözlemlenmiştir.

Kısmi NTR2 reaktöründe 7 günlük kısmi nitrifikasyon sonunda ise beslenen fosfat değerleri 27–36 mg/L arasında değişmiş, %33-65 arasında fosfat giderim verimleri elde edilmiştir. Son fosfat konsantrasyonu 10.1-24 mg/L aralığında gözlemlenmiştir. 3 günlük kısmi nitrifikasyon sonunda beslenen fosfat değerleri 27-35 mg/L arasında değişmiş, %61-78 arasında fosfat giderim verimleri elde edilmiştir. Son fosfat konsantrasyonu 6–12 mg/L aralığında gözlemlenmiştir.

Anammox1 reaktöründe 7 günlük kısmi nitrifikasyon sonunda giriş fosfat değerleri 8.12–10.2 mg/L arasında değişmiş, %12-26 arasında fosfat giderim verimleri elde edilmiştir. Çıkış fosfat konsantrasyonu 6–9 mg/L aralığında gözlemlenmiştir. Anammox1 reaktöründe 3 günlük kısmi nitrifikasyon sonunda beslenen fosfat değerleri 8.89–17.31 mg/L arasında değişmiş, %30-57 arasında fosfat giderim verimleri elde edilmiştir. Son fosfat konsantrasyonu 5–10 mg/L aralığında gözlemlenmiştir.

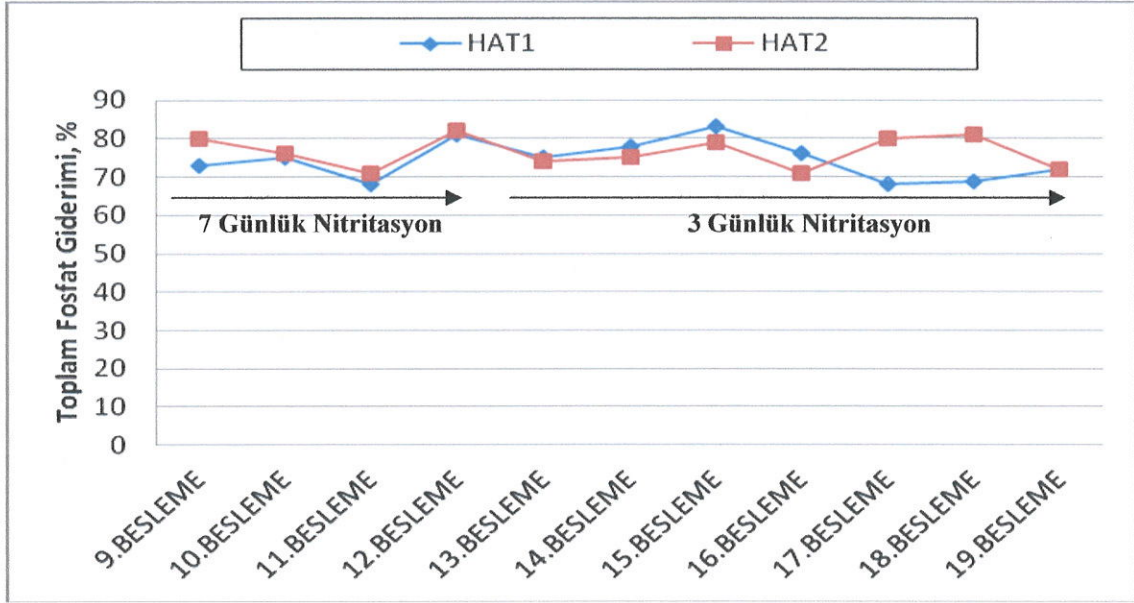
Anammox2 reaktöründe 7 günlük kısmi nitrifikasyon sonunda ise beslenen fosfat değerleri 8.12–10.2 mg/L arasında değişmiş, %20-40 arasında fosfat giderim verimleri elde edilmiştir. Son fosfat konsantrasyonu 5.7–8.2 mg/L aralığında gözlemlenmiştir. Anammox2 reaktöründe 3 günlük kısmi nitrifikasyon sonunda beslenen fosfat değerleri 8.89–19.1 mg/L arasında değişmiş, %22-67 arasında fosfat giderim verimleri elde edilmiştir. Son fosfat konsantrasyonu 6.1–9.1 mg/L aralığında gözlemlenmiştir.



Şekil 3.9. Süzüntü Suyunun Kısmi Nitrifikasyon ve Anammox-N Reaktörlerinde Fosfat Giderimi

Kısmi Nitrifikasyon basamağında HBS süresinin 3 güne düşürülmesi ile ilk basamakta fazla değişiklik olmamasına rağmen, ikinci basamaktaki fosfat gideriminde artış olduğu görülmüştür.

Şekil 3.10'da Süzüntü suyunun Kısmi NTR + Anammox basamağında toplam  $PO_4^{3-}$ -P giderim verimi gösterilmektedir. Toplam  $PO_4^{3-}$ -P giderimi Hat1 ve Hat2'de benzer şekilde, 7 günlük ve 3 günlük kısmi nitrifikasyon sonunda %75-76 ve %77-76 olarak elde edilmiştir. Fosfat giderimi, KOİ giderimi ile paralellik göstermiştir, bu sebeple her iki basamakta da dominant olarak heterotrofik hücre büyümesi ile ilişkilendirilmiştir.



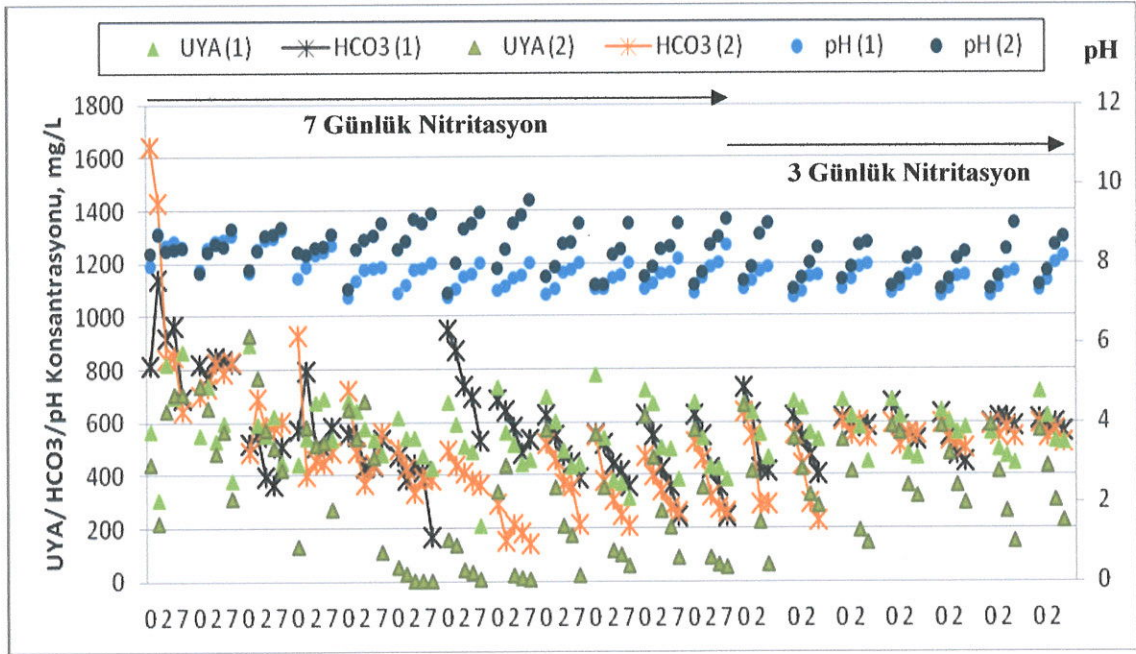
Şekil 3.10. Süzüntü Suyunun Kısmi Nitrifikasyon ve Anammox-N Reaktörlerinde Toplam Fosfat Giderimi

### 3.2.4. pH

Şekil 3.11’de süzüntü suyunun kısmi nitrifikasyon basamaklarında UYA-HCO<sub>3</sub> ve pH değişimleri gözlemlenmektedir.

Kısmi NTR1 reaktöründe 7 günlük kısmi nitrifikasyon süresince pH’ın 7.16 seviyesinden 8.45 seviyesine, 3 günlük kısmi nitrifikasyon süresince pH’ın 7.15 seviyesinden 8 seviyesine arttığı gözlemlenmektedir. pH’ın artması reaktörde asitliğin azaldığını göstermektedir. Reaktörde amonyak gideriminden dolayı inorganik karbon kaynağı olarak HCO<sub>3</sub> kullanılmaktadır. Bu yüzden HCO<sub>3</sub> (CO<sub>2</sub>) miktarı da amonyak giderimi ile azalarak 167-542 mg/L seviyesine düşmüştür. UYA ve CO<sub>2</sub>’in tüketilmesi asitliği azalttığı için pH’nın artmasını sağlamış ve ilave alkalinite ihtiyacı gerektirmemiştir. 7 günlük kısmi nitrifikasyon süresince HCO<sub>3</sub>’ü 517-947 mg/L seviyesinden 507-167 mg/L seviyesine, 3 günlük kısmi nitrifikasyon süresince HCO<sub>3</sub>’ün 595-729 mg/L seviyesinden 404-587 mg/L seviyesine azaldığı gözlemlenmektedir.

Kısmi NTR2 reaktöründe 7 günlük kısmi nitrifikasyon süresince pH'ın 7.25 seviyesinden 9 seviyesine, 3 günlük kısmi nitrifikasyon süresince pH'ın 7.36 seviyesinden 8.26 seviyesine arttığı gözlemlenmektedir. pH'ın artması reaktörde asitliğin azaldığını göstermektedir. 7 günlük nitritasyon süresince  $\text{HCO}_3$ 'ün 473-1642 mg/L seviyesinden 139-831 mg/L seviyesine, 3 günlük nitritasyon süresince  $\text{HCO}_3$ 'ün 592-637 mg/L seviyesinden 227-553 mg/L seviyesine azaldığı gözlemlenmektedir.

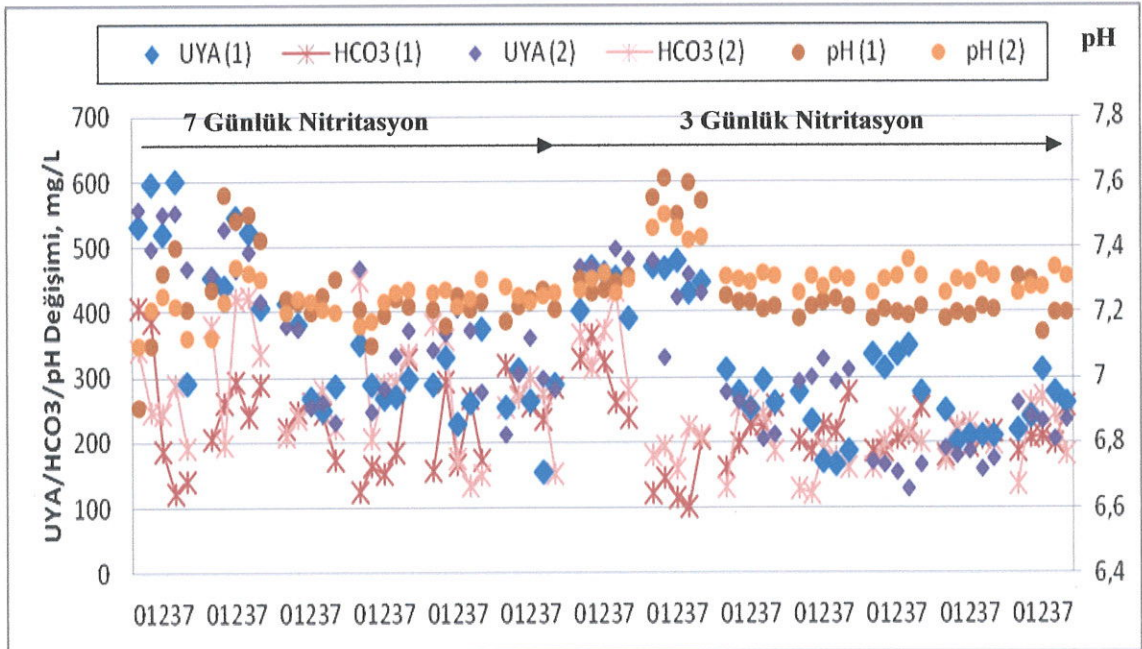


Şekil 3.11 Stütüntü Suyunun Kısmi Nitrifikasyon Reaktörlerinde UYA-HCO<sub>3</sub>-pH Değişimi

7 günlük HBS için kısmi nitrifikasyon süresince pH'ın artması reaktörde asitliğin azalması ile gerçekleşmiştir. Reaktörde amonyak gideriminden dolayı inorganik karbon kaynağı olarak  $\text{HCO}_3$  kullanılmaktadır. Bu yüzden  $\text{HCO}_3$  ( $\text{CO}_2$ ) miktarı da amonyak giderimi ile azalmıştır.  $\text{CO}_2$ 'in yanında UYA'nın da hetetrofik reaksiyonlarla tüketilmesi asitliği azalttığı için pH'ın artmasını sağlamış ve ilave alkalinite ihtiyacı gerektirmemiştir. 3 günlük kısmi nitrifikasyon süresince pH'ın artış miktarı daha düşük seviyede gerçekleşmiştir.  $\text{HCO}_3$  ve UYA miktarındaki düşüş de daha az olduğu için bekletme süresinin düşürülmesi, Anammox reaktörüne daha düşük pH seviyesinde atıksu girmesine sebep olmuştur.

Şekil 3.12’de süzüntü suyunun Anammox reaktörlerinde UYA-HCO<sub>3</sub> ve pH değişimleri gözlemlenmiştir. Anammox1 reaktöründe 7 günlük kısmi nitrifikasyon sonunda pH 6.91–7.42 aralığında olduğu gözlemlenmektedir. Sistemde ototrofik bakterilerin yanında heterotrofik bakteriler de faaliyet göstermektedir. Reaktörde organik madde gideriminde oluşan CO<sub>2</sub>, inorganik karbon kaynağı sağlamış ve yeterli HCO<sub>3</sub> seviyesi sağlayarak pH’ın nötr seviyede dengede kalmasını sağlamıştır. Organik karbon kaynağı olarak UYA, 254-532 mg/L seviyesinden 287-407 mg/L seviyesine tüketilmiştir. HCO<sub>3</sub> 140-328 mg/L aralığında değişmiştir. 3 günlük kısmi nitrifikasyon süresinde pH 7.18–7.54 aralığında artış gösterdiği gözlemlenmektedir. UYA 220-470 mg/L seviyesinden 187-446 mg/L seviyesine düşmüştür. HCO<sub>3</sub>, 206-277 mg/L seviyesi aralığında değişmiştir.

Anammox2 reaktöründe 7 günlük kısmi nitrifikasyon sonunda pH, 7.1–7.3 aralığında gerçekleşmiştir. UYA, 212-578 mg/L seviyesinden 230-467 mg/L seviyesine tüketilmiştir. HCO<sub>3</sub>, 149-336 mg/L seviyesi aralığında değişmiştir. 3 günlük kısmi nitrifikasyon sonunda pH, 7.26–7.43 aralığında seyretmiştir. UYA, 171-478 mg/L seviyesinden 167-430 mg/L seviyesine düşmüştür. HCO<sub>3</sub>, 162-279 mg/L aralığında değişmiştir.

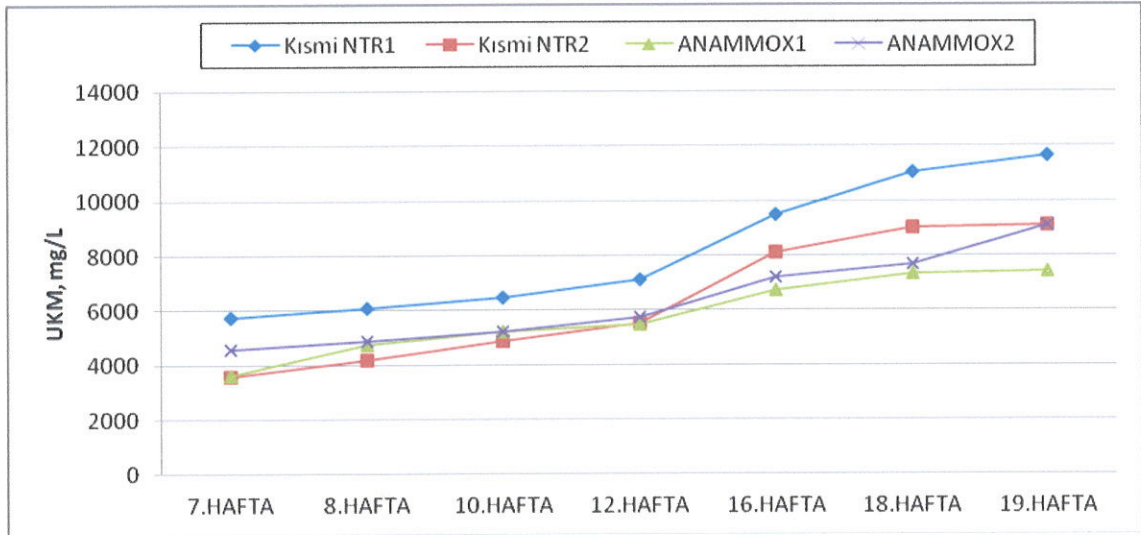


Şekil 3.12. Süzüntü suyunun Anammox-N reaktörlerinde UYA-HCO<sub>3</sub>-pH değişimi

Reaktörde organik madde gideriminde oluşan  $\text{CO}_2$ , inorganik karbon kaynağı sağlamış ve yeterli  $\text{HCO}_3$  seviyesi sağlayarak pH'ın nötr seviyede dengede kalmasını sağlamıştır.

### 3.2.5. UKM DEĞİŞİMİ:

Şekil 3.13'de süzüntü suyunun Kısmi NTR ve Anammox basamağında UKM oluşumları gözlemlenmiştir. Zamanla reaktörlerde UKM miktarlarında artış olduğu gözlemlenmektedir. Bu da reaktörlerdeki biyokütle oluşumunu göstermektedir. İlk basamakta daha yüksek UKM artışı elde edilmiştir. Ototrofik bakterilerin oldukça düşük büyüme hızına sahip olmaları sebebiyle, gözlenen büyüme, çoğunlukla heterotrofik büyümeyle ilişkilendirilmiştir.



Şekil 3.13. Süzüntü Suyunun Kısmi Nitritasyon ve Anammox-N Reaktörlerinde UKM Oluşumu

### 3.2.6. Genel Değerlendirme

Çalışmanın genel sonuçları Tablo 3.1’de özetlenmiştir. 6 hafta boyunca çalışılan anaerobik arıtım sonunda amonyum azotu giderimi olmadığı belirlenmiştir. Bundan dolayı çalışmada, Kısmi NTR+Anammox prosesinin uygulanabilirliği üzerine yoğunlaşmıştır. Kısmi NTR prosesinde bekletme süresi değiştirilerek Anammox prosesindeki azot giderimindeki değişim araştırılmıştır. Bunun sonucunda daha fazla amonyum azotu ve daha az nitrit miktarı Anammox prosesine verildiğinden toplam azot gideriminde fazla değişiklik olmamasına rağmen çıkışta nitrit miktarının daha düşük olduğu gözlenmiştir. Bu da kısmi nitrifikasyon prosesinde bekletme süresinin, dolayısıyla amonyum:nitrit stokiyometresinin iyi ayarlanması gerektiğini göstermektedir.

Fosfat giderimi ve UKM artışının olması da hücre çoğalmasının gerçekleştiğini göstermektedir. KOİ gideriminde bekletme süresi düşürüldüğü zaman çok az bir düşüş olduğu gözlenmiştir. KOİ varlığı ikinci basamak Anammox reaksiyonlarına inhibisyon etkisi yapmamıştır. Prosesinin etkin çalışması için uygun pH değerleri olduğu için pH parametresinin belli bir aralıkta kalmasında herhangi bir kimyasal ilavesi yapılmamıştır. Bekletme süresi değiştirildiği zaman Anammox reaktörüne daha düşük pH, daha yüksek HCO<sub>3</sub> ve UYA seviyesinde atıksu geldiği gözlemlenmiştir. Kısmi nitrifikasyon prosesinde UYA ve CO<sub>2</sub>’nin tüketilmesinden dolayı pH’nın artması sağlanmış ve ilave alkalinite ihtiyacı gerekmemiştir. İkinci basamakta ise oluşan CO<sub>2</sub>’den dolayı inorganik karbon sağlanmış ve yeterli HCO<sub>3</sub> seviyesi sağlanarak pH’nın dengede kalmasını sağlamıştır.

Tablo 3.1.: Çalışmanın Genel Değerlendirilmesi

KİSMİ NİTRİFİKASYON + ANAMMOX PROSESİ					
GİDERİM DEĞERLERİ					
PARAMETRELER	ANAEROBİK	KİSMİ NTR+ANAMMOX 7 GÜNLÜK KİSMİ NTR		KİSMİ NTR+ANAMMOX 3 GÜNLÜK KİSMİ NTR	
		KİSMİ NTR	ANAMMOX	KİSMİ NTR	ANAMMOX
N Giderimi (%)	-	%75 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	%55 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N %49 NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	%49 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	%68 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N %63 NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N
Toplam N Giderimi (%)	-	%65		%68	
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P Giderimi (%)	-	%69	%30	%71	%45
Toplam PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P Giderimi (%)	-	%77		%76	
KOİ Giderimi (%)	%66	%87	%68	%54	%71
Toplam KOİ Giderimi (%)	%66	%97		%87	
ÇO	-	2.1 - 4	-	2.1 - 4	-
pH	7.32-7.92	7.15- 8.47	7.1 - 7.54	7.15- 8.47	7.1 - 7.54
SICAKLIK (°C)	23 - 32	23 - 30	25 - 35	23 - 30	25 - 35

## 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 4.1 Sonuçlar

- Anaerobik arıtımda; 6 haftalık besleme sonucunda; KOİ giderimi ortalama %66 seviyesinde kalmıştır. pH 7.54–7.95 aralığındadır. Amonyak giderimi olmamıştır. Gaz oluşumu gözlemlenmemiştir.

- Kısmi NTR 'arıtımında; 7 günlük kısmi nitrifikasyon sonunda KOİ giderimi ortalama %87 seviyesinde kalmıştır.  $\text{NH}_4^+$ -N giderimi ortalama %75'dir.  $\text{NO}_2^-$ -N oluşumu ortalama 270 mg/L ve  $\text{NO}_3^-$ -N oluşumu ortalama 22.3 mg/L dir.  $\text{PO}_4^{3-}$ -P giderimi ortalama %69'dur. UKM 5725–1640 mg/L aralığındadır. pH 7.15 – 8.45 aralığındadır. Kısmi NTR2 reaktöründe  $\text{NH}_4^+$ -N giderimi ortalama %29 dur.  $\text{NO}_2^-$ -N oluşumu ortalama 105 mg/L dir.  $\text{NO}_3^-$ -N oluşumu ortalama 13 mg/L dir.  $\text{PO}_4^{3-}$ -P giderimi ortalama %49'dur. UKM 3567 mg/L'den 9075 mg/L'ye yükselmiştir. pH 7.25–9 aralığında gerçekleşmiştir.

3 günlük kısmi nitrifikasyon sonunda KOİ giderimi ortalama %54'e düşmüştür.  $\text{NH}_4^+$ -N giderimi ortalama %49,  $\text{NO}_2^-$ -N oluşumu ortalama 222 mg/L,  $\text{NO}_3^-$ -N oluşumu ortalama 20 mg/L ve  $\text{PO}_4^{3-}$ -P giderimi ortalama %71'dir.  $\text{NH}_4^+$ -N giderimi ortalama %32,  $\text{NO}_2^-$ -N oluşumu ortalama 222 mg/L ve  $\text{NO}_3^-$ -N oluşumu ortalama 7.9 mg/L dir.

- ANAMMOX prosesi arıtımında; 7 günlük kısmi nitrifikasyon sonunda KOİ giderimi ortalama %68'dir.  $\text{NH}_4^+$ -N giderimi ortalama %55,  $\text{NO}_2^-$ -N giderimi ortalama %49 mg/L, ortalama  $\text{NO}_3^-$ -N oluşumu ortalama 24 mg/L olarak gerçekleşmiştir.  $\text{PO}_4^{3-}$ -P giderimi ortalama %19'dur. UKM 3600 mg/L'den 7431 mg/L'ye yükselmiştir. pH 6,91–7,54 aralığında gerçekleşmiştir.  $\text{NH}_4^+$ -N giderimi ortalama %46,  $\text{NO}_2^-$ -N giderimi ortalama %37 ve  $\text{PO}_4^{3-}$ -P giderimi ortalama %30'dur. UKM 4561 mg/L'den 9114 mg/L'ye yükselmiştir.

3 günlük kısmi nitrifikasyon sonunda KOİ giderimi ortalama %71,  $\text{NH}_4^+$ -N giderimi ortalama %64,  $\text{NO}_3^-$ -N oluşumu ortalama 22 mg/L ve  $\text{PO}_4^{3-}$ -P giderimi ortalama %45'dür. Anammox1 ve 2 reaktörlerinde  $\text{NO}_2^-$ -N giderimi sırasıyla ortalama %63 ve %55 olduğu gözlemlenmiştir.

- Ardışık Kısmi NTR + Anammox prosesi ile toplam N giderimi Reaktör 1' de 7 günlük kısmi nitrifikasyon sonunda ortalama %65 seviyesinde kalmıştır. Reaktör 2'de 7 günlük kısmi nitrifikasyon sonunda ortalama %56 giderim olmuştur. Reaktörlerde 3 günlük kısmi nitrifikasyon sonunda ortalama %66 giderim olmuştur.

Toplam KOİ Giderimi; Reaktörlerde 7 günlük kısmi nitrifikasyon sonunda ortalama %97 giderim olmuştur. 3 günlük kısmi nitrifikasyon sonunda ortalama %87 giderim olmuştur.

Toplam  $\text{PO}_4$ -P Giderimi; Reaktörlerde 7 ve 3 günlük kısmi nitrifikasyon sonunda ortalama %77 giderim olmuştur.

## 4.2 Öneriler

Konya Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi'nde anaerobik çamur çürütücüsünde bulunan yüksek amonyum ve fosfat içeriğine sahip süzüntü suyu tesisin başına verilerek aktif çamur ünitesine gelmektedir. Aktif çamur ünitesinin amonyum azotu yükünü arttıran bu akım, fazla çamur üretimi, ilave oksijen ihtiyacı ve çamur kabarması gibi işletim problemlerine yol açmakta ve çıkış suyu azot miktarını arttırmaktadır. Süzüntü suyunun yan akımla arıtımı son yıllarda uygulanmaya başlamış, yüksek maliyetinden dolayı konvansiyonel nitrifikasyon-denitrifikasyon metotları yerine kısmi nitrifikasyon-Anammox proseslerinin laboratuvar ölçekli çalışmalarını takiben gerçek ölçekli tesislere uygulanmaya başlanmıştır ve yaygınlaştırılması yönünde çalışmalar sürmektedir.

Anaerobik çamur çürütücüden çıkan süzüntü suyuna bu iki proses uygulandığı zaman kısmi nitrifikasyondan dolayı oksijen ihtiyacı azaldığından havalandırma maliyetinde düşüş olduğu, denitrifikasyon için gerekli olan kimyasal ilavesinin gerekli olmadığı, koku probleminin ortadan kalktığı görülmüştür. En önemlisi denitrifikasyonda oluşan sera gazı etkisi yapan  $N_2O$  gazının bu proseslerde oluşmadığı görülmüştür. Bu avantajlarından dolayı anaerobik süzüntü sularının yanısıra, anaerobik reaktör çıkış suları için de uygulanabilirliğinin yüksek olduğu görülmektedir.

Bu çalışma boyunca azot türlerinin gideriminin yanısıra KOİ ve fosfat giderimi de elde edilmiştir. Bu sonuçlar kısa dönem çalışması ile elde edilmiştir. Çalışma sonunda bu proseslerin ardışık uygulanabilirliği ile yüksek nütrient ve KOİ giderimine önemli katkı sağlayacağı belirlenmiştir. Proseslerin uygulamaya yönelik geliştirilmesi için aşağıda belirtilen çalışmaların gerçekleştirilmesi gereklidir:

- Birinci basamak kısmi nitrifikasyonda HBS'nin optimize edilmesi gerekmektedir.
- Oksitlenen amonyak ve oluşan nitrit oranının optimizasyonu için ikinci kademe Anammox reaksiyonunun azot giderim hızının artırılması gerekmektedir.
- Her iki proses için de farklı reaktör tipleri ile pilot ölçekli çalışılması, ardışık prosesin optimizasyonu ve uygulanabilirliğinin artırılması için gereklidir.

## KAYNAKLAR

- Alpaslan Kocamemi, B., Çiçek E., (2008), Kısıtlı Şartlarda Kısmi Nitrifikasyon/Nitrifikasyon Proseslerinin İncelenmesi, *TÜBİTAK-ÇAYDAG grubu Hızlı Destek (1002) Projesi No: 107Y117*
- APHA, (2005), Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, *American Public Health Association, Washington, DC*
- Can - Doğan, E., Kırılı, L., (2008), Anammox (anaerobik amonyum oksidasyonu) prosesi, *C.B.Ü Fen bilimleri dergisi 4.2.*, 153-168
- Chachuat, B., Roche, N. and Latifi, M.A. (2001), Dynamic optimisation of small size wastewater treatment plants including nitrification and denitrification processes, *Computers and Chemical Engineering*, 25, 585-593.
- Dapena, A.-Mora, Campos, J.L., Mosquera, A.-Corral, Jetten, M.S.S., Mendez, R., (2004), Stability of the ANAMMOX process in a gas-lift reactor and a SBR *Journal of Biotechnology, Volume 110, Issue 2, Pages 159-170.*
- Dapena, A.-Mora, Campos, J.L., Mosquera, A.-Corral, Mendez, R., (2006), Anammox process for nitrogen removal from anaerobically digested fish canning effluents, *Water Science & Technology Vol. 53 No: 12 pp 265-274.*
- Eckenfelder ve Argaman, (1978), eng.harran.edu.tr/moodle/moodledata/26/Nuetrient\_Giderimi.docx, [Ziyaret Tarihi: 3.12.2011]
- Grady, L.C.P.Jr, Daigger, G.T. ve Lim, H.C., (1999), Biological Wastewater Treatment, 2<sup>nd</sup> Ed., *Marcel Dekker, New York*
- Güven, D., Sözen, S., (2010), Biyolojik azot giderimi için yenilikçi teknolojiler; ANAMMOX ve SHARON prosesleri, *İtü Dergisi Su Kirlenmesi Kontrolü Cilt:20, Sayı:2, 48-56.*
- Huang J. and Hao, O.J., (1996), Alternating aerobic-anoxic process for nitrogen removal: Process evaluation, *Water Environment Research*, 68 (1), 83-93.
- Horan, (1990), eng.harran.edu.tr/moodle/moodledata/26/Nuetrient\_Giderimi.docx, [Ziyaret Tarihi: 3.12.2011]
- Kempen, R. van, Loosdrecht, M.C.M. van, Uijterlinde, C.A., Mulder, J.W., (2001), Overview:full scale experience of the SHARON process for treatment of rejection water of digested sludge dewatering, *Water Science and Technology: Vol. 44 No:1 pp 145-152*

- Mulder, E.B, Stouthamer, A.H, Vanverseveld, H.W., (1995), "Simultaneous NH<sub>3</sub> Oxidation and N<sub>2</sub> Production at Reduced O<sub>2</sub> Tensions by Sewage-Sludge Subcultured with Chemolithotrophic Medium", *Biodegradation*, 6/4:339–349.
- Oğuz Temizer, M., (2005), Nitrojen Giderimi İçin Nitrit Ana Madde Olarak Belirlenerek Geliştirilen Model, *VI. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, İstanbul*
- Öztürk, İ., Timur, H., Koşkan, U., (2005), Atıksu Arıtımının Esasları, *T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, İstanbul*.
- Paques, B.V., Scheringa, A., (2008), Sustainable and cost effective green energy production, *BIOP Conference, Montreal*.
- Potter, T.G., Koopman, B. and Svoronos, S.P., (1996), Optimization of a periodic biological process for nitrogen removal from wastewater. *Water Research*, 30 (1), 142-152.
- Rattray J.E., Hopmans E.C., Schouten S. and Sinninghe Damsté J.S., (2007), Control and distribution of anammox bacteria and ladderane lipids, *Annual report*
- Stone W., Wilsenach J., Mouton M., Botha, A., (2010), Bioprospecting for Indigenous Bacteria Capable of Anaerobic Ammonium Oxidation (Anammox), *SWWW Conference*
- Thomas G., BSc CEng MICE FCIWEM MCIWM and Wim de Mooij MSc MRNIE H., (2010), Mersey Valley Processing Centre [MVPC] Shell Green SHARON Process advanced Stable High rate Ammonia Removal Over Nitrite system for removal of ammonia, *Wastewater Treatment & Sewerage*
- Vázquez-Padín J., Fernández I., Figueroa M., Mosquera-Corral A., Campos J., Méndez R., (2009), Applications of Anammox based processes to treat anaerobic digester supernatant at room temperature, *Bioresource Technology Volume 100, Issue 12, Pages 2988-2994*.
- Vazquez-Padin J.R., Figueroa M., Fernandez I., Mosquera-Corral A., Campos J.L. and Mendez R., (2009), Post-treatment of effluents from anaerobic digesters by the Anammox process, *Water Science & Technology—WST 60.5*
- Vereijken T., Paques B.V., (2006), ANAMMOX demonstration on full scale in Rotterdam, *Local Action 1782, Topic Session FT3 04 FT3*
- Villaverde, S., Garcia-Encina, P.A., Lacalle, M.L., and Fdz-Polanko, F., (2000), New operational strategy for SBR technology for total nitrogen removal from industrial wastewaters highly loaded with nitrogen. *Water Science Technology*, 41 (12), 85-93.

- Villaverde, S., Lacalle, M.L., García-Encina, P.A. and Fdz-Polanko, F., (2001), Nitrification-denitrification of UASB effluents highly loaded with nitrogen in an activated sludge reactor operated with short cycled aeration. *Water Science Technology*, 44 (4), 279-286.
- Volcke, E.I.P., Mark, C.M. van Loosdrecht and Peter, A., (2007), The SHARON-Anammox process for reject water treatment: the most economic plant-wide solution, *BIOMATH Department of Applied Mathematics, Biometrics and Process Control, Vanrolleghem CLONIC workshop, Barcelona*,
- Whichard, D.P., Dr. Nancy Love, G., Chairperson, Dr. Knowlton, K., Dr. Widdowson M., (2001), Nitrogen Removal From Dairy Manure Wastewater Using Sequencing Batch Reactors, *Master Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University*
- Winkler, M.A., (1981), Biological treatment of waste-water, *Ellis Horwood Limited, p.301, Reprint, U.S.A.*
- Yigit S., Yılmaz A.G., (2008), Identification And Enrichment Of Anammox Bacteria, *Marmara University, Environmental Engineering*, <http://meg.marmara.edu.tr/Anammox.pdf>, [Ziyaret Tarihi: 05.12.2011]
- Zhao, H., Isaacs, H., Soeberg, H. and Kümmel, M., (1995), An analysis of nitrogen removal and control strategies in an alternating activated sludge process. *Water Research*, 29 (2), 535-544. 128

**ÖZGEÇMİŞ****KİŞİSEL BİLGİLER**

**Adı Soyadı** : FULYA BİZDEN  
**Uyruğu** : T.C  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : KONYA-1986  
**Telefon** : 0534 973 98 18  
**Faks** : -  
**e-mail** : [fulyabizden@gmail.com](mailto:fulyabizden@gmail.com)

**EĞİTİM**

<b>Derece</b>	<b>Adı, İlçe, İl</b>	<b>Bitirme Yılı</b>
Lise	SELÇUKLU ATATÜRK LİSESİ SELÇUKLU/KONYA	2004
Üniversite	SELÇUK ÜNİVERSİTESİ-KONYA	2010
Yüksek Lisans	SELÇUK ÜNİVERSİTESİ-KONYA	-

**YABANCI DİL: İNGİLİZCE**