İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇAMUR MİNİMİZASYONUNUNUN VE AZOT GİDERİMİNİN BİRLİKTE GERÇEKLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emine Simge TAYBUĞA

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı

EKİM 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇAMUR MİNİMİZASYONUNUNUN VE AZOT GİDERİMİNİN BİRLİKTE GERÇEKLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emine Simge TAYBUĞA
(501101733)

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Nevin YAĞCI

EKİM 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501101733 numaralı Yüksek Lisans **Emine Simge Taybuğa**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"TEZ ÇAMUR MİNİMİZASYONUNUNUN VE AZOT GİDERİMİNİN BİRLİKTE GERÇEKLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİ"** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Doç. Dr. Nevin YAĞCI** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Prof.Dr. İzzet ÖZTÜRK** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Prof. Dr. Ayşen ERDİNÇLER Boğaziçi Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : **3 Mayıs 2013**
Savunma Tarihi : **25 Ekim 2013**

ÖNSÖZ

Çalışma, her geçen gün gelişen ve ilerleyen teknoloji ile evsel ve endüstriyel alanda uygulanabilirliğinde şüphe bırakmayan aktif çamur atıksu arıtma proseslerinin yan ürünü olarak oluşan aşırı aktif çamurun tehlikeli atık sınıfına girmesi ve uzaklaştırılması konusunda getirilen kısıtlarla, aktif çamur işletme maliyetlerinin büyük payını oluşturan ve mühendislik açısından değerlendirildiğinde günümüz şartlarında aşırı çamur minimizasyonunun aktif çamur giderim prosesleriyle birlikte gerçekleştirilebilirliğinin zaman ve maliyet yönetiminde ideal yaklaşım olduğunun ve aynı zamanda mikroorganizmaların da bir canlı olması ve kendi yaşam döngüsü içerisinde yaşam sürecini daha ideal şartlarda tamamlayabilirliğinin maksimize edilmesi konusunda bir çözüm olması için İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Dr. Sedat Üründül Çevre Bilimleri Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

Lisansüstü eğitimim boyunca ilminden faydalandığım, insani ve ahlaki değerleri ile de örnek aldığım, lisansüstü öğrencisi olmaktan onur duyduğum ve ayrıca tecrübelerinden yararlanırken göstermiş olduğu hoşgörü ve sabırdan dolayı saygıdeğer, değerli hocam, Doç. Dr. Nevin YAĞCI'ya, sonsuz teşekkürlerimi borç bilirim.

Eğitim hayatım boyunca güler yüzlerini esirgemeyen, ilerlememi sağlayan saygıdeğer hocalarıma teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışması boyunca birlikte çalışmaktan zevk aldığım, laboratuvar çalışmalarının neşeli geçmesini sağlayan, yanımda olan tüm laboratuvar çalışanı arkadaşlarıma, IC ölçümlerinde yardım eden Gökhan Cüceloğlu ve Gökçe Kor Bıçakcı'ya, bana yardım eden Cem Cantekin'e teşekkür ederim.

Tez çalışması süresince moral desteğini eksik etmeyen, bana güç veren değerli arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Zor zamanlarımda gülümsememi sağlayan kedilerime teşekkür ederim.

Hayat boyu yanımda olan bana sabrı, yaşamı, iyiliği, müsembayı, inanmayı öğreten anneanneme, yardımlarını esirgemeyen anneme, babama, ablama, dayıma, yengeme, küçük kuzenlerime; aileme, teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2013

Emine Simge Taybuğa
(Çevre Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **v**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
KISALTMALAR ..... **ix**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xi**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xiii**
ÖZET ..... **xv**
SUMMARY ..... **xvii**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Çalışmanın Anlam ve Önemi 1
1.2 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı 2
2. AKTİF ÇAMUR PROSESİ VE ÇAMUR SORUNUNA GENEL BAKIŞ **5**
2.1 Aktif Çamur Prosesi 5
2.2 Aktif Çamur Sistemlerinde Azot Giderimi 6
2.2.1 Nitrifikasyon 7
2.2.2 Denitrifikasyon 8
2.3 Aktif Çamur Sistemlerinde Oluşan Çamurun Uzaklaştırılması Sorunu 9
2.4 Katı Madde Azaltılması 11
3. HAVALI/ÇÖKELME/ANAEROBİK (OSA) PROSES **13**
3.1 OSA Proses Tanımı ve Prosese Genel Bakış 13
3.2 OSA Prosesin Özellikleri 15
3.3 OSA Sistemde Anaerobik Ortama Maruz Bırakılan Çamurun Akıbeti 16
3.4 OSA Prosesinde Besi Maddesi Giderimi 17
4. MATERYAL VE METOT **19**
4.1 Deneysel Tasarım 19
4.1.1 Deneysel düzenek 19
4.1.2 İşletme koşulları 22
4.1.2.1 Set 1 22
4.1.2.2 Set 2 23
4.1.2.3 Set 3 23
4.1.2.4 Set 4 24
4.1.2.5 Set 5 24
4.1.3 Atıksu karakterizasyonu 25
4.1.4 İzleme programı 26
4.1.4.1 Günlük izlemeler 27
4.1.4.2 Çevrimiçi izlemeleri 28
4.2 Analitik Methodlar 28
5. SONUÇLAR **31**
5.1 Alışma Devresi 31
5.2 Klasik Aktif Çamur Sistemi ve OSA Sisteminde Besi Maddesi Gideriminin Karşılaştırılması 31
5.3 Tek Beslemeli Besleme Düzeninde Anoksik Faz Süresinin Etkisi 36

5.4 Besleme Düzeninin Etkisi 40
5.5 İki kademeli Besleme Düzeninde Anoksik Faz Süresinin Etkisi 45
5.6 İki kademeli Besleme Düzeninde Anoksik Faz Süresinin Etkisi 51
6. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER 53
KAYNAKLAR 55
EKLER 59
ÖZGEÇMİŞ 87

KISALTMALAR

ABD : Amerika Birleşik Devletleri
AKM : Askıda Katı Madde
AKR : Ardışık Kesikli Reaktör
BAFG : Biyolojik aşırı fosfor giderimi
ÇBD : Çökelme, Boşaltma ve Dinlendirme
EPS : Hücre dışı polimerik maddeler
KOI : Kimyasal Oksijen İhtiyacı
ORP : Oksidasyon Redüksiyon Potansiyeli
OSA : Yan Akımda Anaerobik Biyoreaktör
TKM : Toplam Katı Madde
TKN : Toplam Kjeldahl Azotu
VFA : Uçucu Yağ Asitleri
UAKM : Uçucu Askıda Katı Madde
UTKM : Uçucu Toplam Katı Madde

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 : Ardışık Kesikli Reaktör işletme koşulları 25
Çizelge 4.2 : Pepton çözeltisi bileşimi..... 25
Çizelge 4.3 : Solüsyon B Bileşimi..... 26
Çizelge 4.4 : Sentetik atıksu karakteri 26
Çizelge 4.5 : Çalışma süresince numune alma noktaları ve yürütülen analizler listesi sentetik atıksu karakteri..... 28
Çizelge 5.1 : Kontrol ve Set-1 günlük KOİ, anyon ve amonyak konsantrasyonu ortalama değerleri..... 33
Çizelge 5.2 : Set-2 günlük KOİ, anyon ve amonyak konsantrasyonu ortalama değerleri..... 37
Çizelge 5.3 : Set-3 günlük KOİ, anyon ve amonyak konsantrasyonu ortalama değerleri..... 44
Çizelge 5.4 : Set-4 ve set-5 günlük KOİ, anyon ve amonyak konsantrasyonu ortalama değerleri. 50
Çizelge 5.5 : Çevrim içi ölçümlere göre hesaplanan azot giderme ve katı madde azalması değerlerinin tüm setler için değerlendirilmesi..... 52
Çizelge A-1.1: Günlük izleme sonuçları (Kontrol Set'i)..... 60
Çizelge A-1.2: Günlük izleme sonuçları (Set-1) 63
Çizelge A-1.3: Günlük izleme sonuçları (Set-2) 66
Çizelge A-1.4: Günlük izleme sonuçları (Set-3) 67
Çizelge A-1.5: Günlük izleme sonuçları (Set-4) 68
Çizelge A-1.6: Günlük izleme sonuçları (Set-5) 68
Çizelge A-2.1: Günlük izleme sonuçları (Kontrol set'i, karıştırma fazı sonu)..... 69
Çizelge A-2.2: Günlük izleme sonuçları (Kontrol set'i, havalandırma fazı sonu). ... 69
Çizelge A-2.3: Günlük izleme sonuçları (Set-1, karıştırma fazı sonu)..... 70
Çizelge A-2.4: Günlük izleme sonuçları (Set-1, havalandırma fazı sonu). 70
Çizelge A-2.5: Günlük izleme sonuçları (Set-2, karıştırma fazı sonu)..... 71
Çizelge A-2.6: Günlük izleme sonuçları (Set-2, havalandırma fazı sonu). 72
Çizelge A-2.7: Günlük izleme sonuçları (Set-3, 1. karıştırma fazı sonu 60. dakika).73
Çizelge A-2.8: Günlük izleme sonuçları (Set-3, 1. havalandırma fazı sonu 120. dakika)..... 74
Çizelge A-2.9: Günlük izleme sonuçları (Set-3, 2. karıştırma fazı sonu 240. Dakika) 75
Çizelge A-2.10: Günlük izleme sonuçları (Set-3, 2. havalandırma fazı sonu 300. dakika)..... 76
Çizelge A-2.11: Günlük izleme sonuçları (Set-4, 1. karıştırma fazı sonu 90. Dakika) 76
Çizelge A-2.12: Günlük izleme sonuçları (Set-4, 1. havalandırma fazı sonu 180. dakika)..... 77
Çizelge A-2.13: Günlük izleme sonuçları (Set-4, 2. karıştırma fazı sonu 240. Dakika) 77

Çizelge A-2.14: Günlük izleme sonuçları (Set-4, 2. havalandırma fazı sonu 300. dakika).. 78
Çizelge A-2.15: Günlük izleme sonuçları (Set-5, 1. karıştırma fazı sonu 120. Dakika) 78
Çizelge A-2.16: Günlük izleme sonuçları (Set-5, 1. havalandırma fazı sonu 180. dakika).. 78
Çizelge A-2.17: Günlük izleme sonuçları (Set-5, 2. karıştırma fazı sonu 240. Dakika) 79
Çizelge A-2.18: Günlük izleme sonuçları (Set-5, 2. havalandırma fazı sonu 300. dakika).. 79
Çizelge B.1: Çevrim içi izleme sonuçları (Kontrol Set'i) 80
Çizelge B.2: Çevrim içi izleme sonuçları (Set-1) 81
Çizelge B.3: Çevrim içi izleme sonuçları (Set-2) 82
Çizelge B.4: Çevrim içi izleme sonuçları (Set-3) 83
Çizelge B.5: Çevrim içi izleme sonuçları (Set-4) 84
Çizelge B.6: Çevrim içi izleme sonuçları (Set-6) 85

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Aktif çamur prosesi akım şeması. 6
Şekil 3.1: OSA sistem şematik gösterimi 13
Şekil 4.1: OSA proses genel akım şeması 20
Şekil 4.2: Deneysel düzenek görünümü. 21
Şekil 4.3: Ardışık Kesikli Reaktör işletme düzeni: Kontrol Set'i ve Set-1 (ÇBD: Çökelme, boşaltma ve dinlendirme). 23
Şekil 4.4: Ardışık Kesikli Reaktör işletme düzeni: Set-2 (ÇBD: Çökelme, boşaltma ve dinlendirme) 23
Şekil 4.5: Ardışık Kesikli Reaktör işletme düzeni: Set-3 (ÇBD: Çökelme, boşaltma ve dinlendirme) 24
Şekil 4.6: Ardışık Kesikli Reaktör işletme düzeni: Set-4 (ÇBD: Çökelme, boşaltma ve dinlendirme) 24
Şekil 4.7: Ardışık Kesikli Reaktör işletme düzeni: Set-5 (ÇBD: Çökelme, boşaltma ve dinlendirme) 24
Şekil 4.8: İyon kromotograf görüntüsü..... 29
Şekil 5.1: Kontrol seti ve Set-1 için amonyak ve oksitlenmiş azot değerlerinin günlük değişimleri..... 32
Şekil 5.2: Kontrol setine ait AKM ve UAKM konsantrasyonlarının günlük değişimleri..... 33
Şekil 5.3: Kontrol setine ait günlük oluşan/sistemden atılan UAKM miktarlarının kümülatif toplamı 34
Şekil 5.4: Set-1'e ait AKM ve UAKM konsantrasyonlarının günlük değişimi..... 34
Şekil 5.5: Set-1'e ait günlük oluşan/sistemden atılan UAKM miktarlarının kümülatif toplamı 35
Şekil 5.6: Kontrol ve Set-1 için çevrim süresince amonyak ve oksitlenmiş azot konsantrasyonlarının değişimi 36
Şekil 5.7: Set-2 için Amonyak ve oksitlenmiş azot değerlerinin günlük değişimleri. 37
Şekil 5.8: Set-2'ye ait AKM ve UAKM konsantrasyonlarının günlük değişimi..... 38
Şekil 5.9: Set-2'ye ait günlük oluşan/sistemden atılan UAKM miktarlarının kümülatif toplamı. 38
Şekil 5.10: Set-1 ve Set-2 için çevrim süresince amonyak ve oksitlenmiş azot konsantrasyonlarının değişimi. 39
Şekil 5.11: Set-3 için ikinci besleme öncesi karıştırma ve havalandırma fazları sonunda amonyak ve oksitlenmiş azot değerlerinin günlük değişimleri... 41
Şekil 5.12: Set-3 için reaksiyon fazı başlangıcından ikinci beslemeye kadar karıştırma ve havalandırma fazları sonunda amonyak ve oksitlenmiş azot değerlerinin günlük değişimleri.. 42
Şekil 5.13: Set-3'e ait AKM ve UAKM konsantrasyonlarının günlük değişimi..... 43

Şekil 5.14: Set-3'e ait günlük oluşan/sistemden atılan UAKM miktarlarının kümülatif toplamı 43
Şekil 5.15: Set-1 ve Set-2 için çevrim süresince amonyak ve oksitlenmiş azot konsantrasyonlarının değişimi..... 44
Şekil 5.16: Set-4 ve Set-5 için ikinci besleme öncesi karıştırma ve havalandırma fazları sonunda amonyak ve oksitlenmiş azot değerlerinin günlük değişimleri.. 46
Şekil 5.17: Set-4 ve Set-5 için reaksiyon fazı başlangıcından ikinci beslemeye kadar karıştırma ve havalandırma fazları sonunda amonyak ve oksitlenmiş azot değerlerinin günlük değişimleri. 47
Şekil 5.18: Set-4'e ait AKM ve UAKM konsantrasyonlarının günlük değişimi..... 48
Şekil 5.19: Set-5'e ait AKM ve UAKM konsantrasyonlarının günlük değişimi..... 48
Şekil 5.20: Set-4'e ait günlük oluşan/sistemden atılan UAKM miktarlarının kümülatif toplamı. 49
Şekil 5.21: Set-5'e ait günlük oluşan/sistemden atılan UAKM miktarlarının kümülatif toplamı. 49
Şekil 5.22: Set-3, Set-4 ve Set-5 için çevrim süresince amonyak konsantrasyonlarının değişimi..... 50
Şekil 5.23: Set-3, Set-4 ve Set-5 için çevrim süresince oksitlenmiş azot (Nox) konsantrasyonlarının değişimi..... 51

AKTİF ÇAMUR PROSESİNDE AŞIRI ÇAMUR ÜRETİMİNİ AZALTMA VE AZOT GİDERİMİNİN BİRLİKTE GERÇEKLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİ

ÖZET

Aktif çamur prosesi evsel ve endüstriyel atıksuların biyolojik olarak arıtılmasında yaygın olarak kullanılan bir prosestir. Bir aktif çamur sistemi esas olarak bir ön çöktürme havuzu, biyolojik proseslerin gerçekleştiği bir havalandırma havuzu ve bir son çöktürme havuzundan oluşur. Son çöktürme havuzunda çökelmiş biyolojik çamurun bir kısmı sistemde belirli bir çamur yaşını sağlamak üzere atılarak çamur arıtma proseslerine gönderilirken bir kısmı da havalandırma havuzuna geri devrettirilir. Havalandırma havuzunda gerçekleşen biyolojik prosesler çözünmüş ve askıdaki organik maddelerin biyokütleye (yeni organizmaların oluşumu) ve son ürün olarak ilgili gazlara dönüşmesini içerir.

Aktif çamur prosesi, güvenilirliği, esnekliği, nitrifikasyonun sağlanabilirliği ve benzeri açılardan en yaygın olarak kullanılan proses olmasına karşın fazla çamur oluşumu bu prosesin en önemli dezavantajı olarak karşımıza çıkmaktadır. Proses verimli bir şekilde çalışsa dahi çamur yaşının kontrolü amacıyla mikroorganizmaların çoğalması sonucu uzaklaştırılması gereken yüksek miktarda çamur üretimi sözkonusudur. Bu çamurun arıtılması çürütme, kimyasal arıtma, susuzlaştırma ve yoğunlaştırmanın birlikte uygulanılması ile mümkündür. Fazla çamurun arıtılması, genellikle arıtma tesisi işletme maliyetlerinin %60'ını oluşturken, ilk yatırım maliyetlerini de arttırır. Bu nedenle, aktif çamur sistemlerinde oluşan fazla çamur miktarının azaltılması, arıtma çamurlarının yarattığı çamur problemlerinin azaltılması yönünde akılcı bir yaklaşım olarak karşımıza çıkmaktadır.

Aktif çamur prosesinde oluşan fazla çamurun miktarını azaltmak üzere çeşitli yöntemler önerilmiştir. Bu yöntemler (1) çamurun çeşitli etkilerle (ozon, klor, termokimyasal, mekanik, enzimatik) parçalanması, (2) enerji ayırımı, (3) işletme şartları optimizasyonu (çözünmüş oksijen, çamur yaşı, pH, sıcaklık, aşırı karbon, mikroorganizma seçimi)'dur. Çamur azaltılması amacıyla geliştirilen teknolojiler arasında yer alan ve ticari adıyla Cannibal prosesi olarak yaygınlaşan proses, aşırı çamur üretiminde azalma, KOİ gideriminde ve çamurun çökebilme kapasitesinde iyileşme gibi avantajları dolayısıyla bu proje kapsamında araştırılacaktır. Son yıllarda yaygınlaşan bu proses esas olarak aktif çamur prosesine geri devir hattı ile bağlı bir anaerobik tanktan oluşmaktadır. Bu prosesin pratik uygulamaları ile %60-70 oranında çamur azalması sağlanabildiği ortaya konulmuştur.

Bu çalışma, OSA sistemi veriminin, aktif çamur sistemlerinde çamur azalmasının ve azot gideriminin optimizasyonunun araştırılması amacıyla yapılmıştır. Bu amaçla, aralarında geri devir hattı ile bağlı anaerobik biyoreaktör ve aktif çamur sisteminden oluşan laboratuvar ölçekli bir sistem işletilmiştir. Paralel olarak işletilen iki adet OSA sistemi, bir ardışık kesikli reaktör (AKR) ile bir anaerobik biyoreaktörden oluşmuştur. Sistemler oda sıcaklığında tutulmuşlardır.

Her bir AKR çevrimi 5 saat reaksiyon fazı (havalandırma veya karıştırma), 45 dakika çökelme ve 15 dakika boşaltma ve dinlendirme fazından oluşmuştur.

Kontrol reaktörü haricinde tüm AKR sistemlerinde istemli olarak çamur atma işlemi uygulanmamıştır. Bu AKR'lerde çamur kaybı sadece anaerobik biyoreaktöre gidiş sırasında ve bir miktar çıkış suyundan kaçan katı maddeler dolayısıyla olmuştur. Biyoreaktör ve AKR arasındaki çamur geçişi 1/10 oranındadır. Buna göre, anaerobik biyoreaktörün hidrolik bekletme süresi ve çamur yaşı 10 olarak işletilmiştir.

Sistem teorik olarak 450 mg/L KOİ içerecek şekilde karbon kaynağı olarak pepton ve et ekstraktı ile hazırlanan sentetik atıksu ile beslenmiştir. Sentetik atıksu günlük olarak hazırlanmıştır. Atıksuya karbon kaynağının yanısıra makro ve mikro besi maddeleri ilave edilmiştir.

Deneysel çalışma; besleme koşulları ve karıştırma süreleri farklı olarak tasarlanmış OSA sistemlerinden oluşmuştur. Reaktörlerin başlangıç çamurları Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi'nden temin edilmiştir.

Azot gideriminin optimizasyonu amacıyla besleme düzeninin (tek yada iki beslemeli) ve anoksik faz süresinin etkisinin araştırıldığı 5 set tasarlanmıştır. İlk üç sette atıksu beslemesi sadece reaksiyon fazının başlangıcında gerçekleştirilmiştir. Bu setlerden birisi çamur atmanın gerçekleştirildiği kontrol setidir.

Elde edilen veriler ışığında, OSA sisteminde besleme düzeni ve karıştırma süresi/toplam reaksiyon süresi oranının azot giderim verimi üzerinde önemli rol oynadığı, karıştırma süresi/toplam reaksiyon süresi oranındaki değişimlerin çamur minimizasyonu üzerinde dikkate alınması gereken olumsuz bir etkiye yol açmadığı ortaya konulmuştur.

Tüm OSA setlerinde %45'in üzerinde çamur azalması görülmüştür. Besleme frekansının birden (reaksiyon fazı başlangıcında) ikiye (reaksiyon fazının başında ve ortasında iki eşit hacimde) gerçekleştirilmesi çamur miktarı azalması üzerinde önemli bir olumsuz etki yaratmaz iken azot gideriminde önemli bir artışa sebep olduğu görülmüştür. Buna göre; çamur minimizasyonunun yanında azot giderimin de gerçekleştirilebileceği gösterilmiş ve deneysel çalışma sonuçları azot giderim verimi açısından değerlendirilerek, beslemenin iki eşit hacimde reaksiyon fazı başında ve ortasında yapılması önerilmiştir.

En uygun anoksik faz süresi/toplam reaksiyon süresi oranı (T_{anox}/T_C) olarak 0,6 belirlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen veriler ve değerlendirmeler doğrultusunda eşit-iki-aşamalı besleme düzeni ve $T_{anox}/T_C = 0,6$ değeri hem çamur azalması hem de azot giderimi açısından önerilmektedir.

THE POSSIBILITY OF NITROGEN REMOVAL TOGETHER WITH SLUDGE MINIMIZATION IN THE ACTIVATED SLUDGE PROCESS

SUMMARY

The activated sludge which is flexible, reliable process capable of removing soluble organic matter, stabilizing insoluble organic matter, and achieving a high degree of nitrification, is a widely used process for the treatment of domestic and industrial wastewaters. The production of waste sludge to control the solids retention time in the activated sludge systems is inevitable. Active sludge process is usefullness in wastewater treatment, however this process produces excess sludge as a byproduct that needs to be disposed. Combination of dewatering, thickening, digestion, and chemical treatment is generally used to treat excess sludge. Otherwise treatment and disposal of excess sludge from wastewater treatment plants account for up to %60 of the total plant operation cost. Considering the municipal and industrial wastewater treatment plants, sludge treatment and disposal are often the most important cost factors. Besides, using the most recent technologies, organic matter content of the treatment sludges cannot be reduced to the level to meet new regulatory requirements in the existing legislation related to sludge treatment and disposal. Consequently, the high cost of sludge treatment and disposal, and the characteristics of treated sludge to be disposed are still vital problems waiting for a practical solution. These problems were brought researchers and engineers to use potential sludge reduction strategies for activated sludge systems.

Several strategies and technologies have been proposed to reduce excess sludge generation in biological wastewater treatment processes such as ozonation, addition of uncoupling chemical, and a thermophilic aerobic digestion. Several approaches which were applied to minimise excess sludge need chemical addition such as surfactant, ozone, enzyme, uncouplers or weren't cost effective. Many chemicals long-term bioacclimation may be xenobiotic and potentially harmful to the environment. OSA process that is cost effective by comparison with another sludge minimization process and don't need any chemical addition and xenobiotic and potentially harmful to the environment. An innovative process, called the OSA (Oxic/Settling/Snaerobic) Process, focusing on the further volatile solids (VS) destruction has been developed to reduce excess sludge generation. OSA process is called an activated sludge system that incorporates a sidestream anaerobic bioreactor. There are several variations of the OSA Process, including the use of a low dissolved re-aeration unit that is coupled with the anaerobic bioreactor prior to return of the sludge to the aeration basin. The basic configuration for this process utilizes an anaerobic unit through which recycled sludge passes prior to being returned to the aeration basin. This process has been shown in field operations to reduce solids by approximately 60 to 70%.

The focus of this study was to obtain information about the effectiveness of minimization of excess sludge with nitrogen removal. This study was designed to investigate the performance of the OSA process, optimize excess sludge reduction

and nitrogen removal in the activated sludge process. For those objectives, laboratory scale activated sludge systems incorporating an anaerobic bioreactor into the sludge recycle stream were operated. Each system was consisted of an sequencing batch reactor (SBR) and a sidestream anaerobic bioreactor and kept at room temperature (22±1 ˚C).

The operation cycle of each SBR consisted of 5 hours of reaction (aeration or mixing provided) phase and 45 min of settling phase, 15 min of decanting and idle phase.

The sludge was not wasted intentionally from the SBRs except reference reactor during the entire study. The only losses of sludge from the SBRs were daily sludge interchange between SBR and anaerobic bioreactor and a low amount of sludge escaped from the systems. The interchange rate was chosen as 10%. It was maintained by returning 1/10th of settled sludge from SBRs in both systems. Thus, the hydraulic retention time (HRT) and sludge age were maintained at 10 days in the anaerobic bioreactors.

The systems were fed with the same synthetic wastewater containing 450 mg/l of COD. The synthetic wastewater was composed of peptone and meat extract as carbon sources. Feed solution was prepared daily using tap water by completely mixing of carbon sources with macro- and micronutrients. The synthetic wastewater was fed from a single feeding tank which is then distributed to other reactors. Each reactor was fed 500 ml per cycle. The synthetic wastewater was continuously stirred to obtain homogeneity.

The experimental study was consisted parallel operation of two OSA systems operated in the same manner except their feeding patterns and duration of mixing periods. The seed sludge from Paşaköy Advanced Biological Wastewater Treatment Plant, Istanbul was used in order to start up the systems.

For the optimization of nitrogen removal 5 runs were designed to investigate the effect of feeding pattern (as one and double feeding) and duration of anoxic phase. The SBR was operated at 4 cycles per day which is controlled by timers. First three runs were included one feeding at the beginning of reaction phase. Feeding volume of synthetic waste water is 500 ml for the first three runs for each cycle. Last three runs One of these operation was containing a control (reference) run with sludge wastage from the reactors. Last three sets included two feeding phases and 250 ml synthetic wastewater was transferred to each reactor in feeding phase. Each cycle included six steps which takes 6 hours for each except control run. These phases are feeding, reacting, settling, decanting, exchanging and idling. Furthermore, exchanging phase occurs only one cycle in a day. There were two steps: aeration and mixing which takes 5 hours. Control run was not including an interchange phase. Reaction phase consisted of aeration and mixing that takes 5 hours. After reaction phase, settling process took 45 minutes and then in the decant phase, treated wastewater was discharged from the SBR tank in 4 minutes. Decanting phase took 4 minutes. In exchanging phase after settling and decanting in the SBR tank, 100 ml of the activated sludge in SBR tank, was transferred to bioreactor. At the same time 100 ml of the actived sludge in continuous stirred bioreactor transfered to SBR. After idling phase which takes 11 minutes, shock feding is made to the SBR tank again and a new cycle begins.

In this experimental work, given the process conditions above, there are totally 4 cycles in each run. This cycle is thought to represent the other cycles as well. Sludge disposal in the control system and sludge interchange (Run-1 to Run -5) between

anaerobic reactor and SBR in OSA Systems, occured during this cycle. First sample is taken from the end of 3. cycle's decanting phase. And then, experiments are performed with sample taken from the end of aeration, mixing and decanting phases during 4.Cycle. According to Run's operation scheme, phase number and time change in cycles, so number of sample and sampling time were varied from run to run. Syntetic wastewater analysis are performed weekly due to weekly preparation of stock solution. Because of anaerobic operation conditions of bioreactor it is given a lot of importance to keep close even monitoring suspended solids concentration and it is taken samples from feeding line of SBR tank for analysing SS, VSS, TS and VTS at least 1 time in a week. Also COD, Ammonia and Anion analysis are performed occasionally for these samples.

Daily experiments are in progress for detecting the time of equilibrium. Each run, system parameters (SS, VSS, ions and KOİ, TKN) were monitored daily experiments after steady state was reached. When the system reach to steady state, in other words when the daily experiment results are consistent to each other, taking first sample from end of third cycle's output water, the system is scrutinised with half-hourly sample. After detailed analysis, the operation of the system was changed. Total solids (TS), total suspended solids (TSS), total volatile solids (VS), volatile suspended solids (VSS), and soluble COD, (TKN) total kjeldahl nitrogen were measured according to Standard Methods (APHA, 2005). Ion chromatography (Dionex ICS-1500) is used for anion (orthophosphate, chloride, sulfate, fluoride, nitrate and nitrite) analysis.

The experimental results showed that sludge reduction has been demonstrated by incorporating a sidestream anaerobic bioreactor with a 10 day the hydraulic retention time (HRT) as compared to Control systems without performans problem.

The results indicate that feeding pattern and the rate of duration of mixing period (Tanox) to total reaction time (Tc) plays an important role on nutrient removal in the OSA systems without any affect on sludge reduction.

It is proved that nitrogen removal is possible besides sludge minimization. The sludge reduction values above 45% was achieved during the all runs. An increase in the number of feeding (from one at the beginning of reaction phate to two: one at the beginning and in the middle of reaction phase) did not affect sludge reduction but improved nitrogen removal. Eventually, feeding patter with two equal feeding of wastewater is proposed to be most efficient way in order to increase nitrogen removal.

The most appropriate ratio of Tanox/TC was determined as 0,6. The operation condition in OSA configuration with two-shared feeding (at the beginning and in the middle of reaction phase) and the ratio of Tanox/TC = 0,6 is proposed to be the most efficient for both nitrogen removal and sludge reduction.

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Anlam ve Önemi

Aktif çamur prosesi kentsel ve endüstriyel atıksularda organik maddelerin ayrışması ve nutrient giderimi için uygulanan temel biyolojik arıtma yöntemidir. Artan atıksu arıtımı ihtiyacının doğal bir sonucu olarak oluşan aktif çamur miktarı da artmakta ve arıtma çamurlarının uzaklaştırılması giderek büyüyen, önem kazanan ve çözüm bekleyen bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Atılan aktif çamurun işlenmesi ve bertaraf edilmesi maliyeti toplam arıtma tesisi maliyeti içinde önemli bir orana sahiptir (yaklaşık %60). Atıksu arıtma işlemleri aşamasından itibaren oluşan aktif çamur miktarının azaltılması ve uygun yöntemlerle (stabilizasyon, minimizasyon, şartlandırma ve susuzlaştırma vb.) işlenerek uzaklaştırılması hem teknik hem yasal açıdan önem arzetmektedir.

Sorunun özellikle çamurun uzaklaştırılması konusunda artan yasal kısıtlamaları da karşılayacak yönde çözüm önerileri için son yıllarda çeşitli yöntemler geliştirilmekte ve araştırılmaktadır. Çamurun nihai uzaklaştırılmasına getirilen kısıtlamaların karşılanabilmesi için iki yol karşımıza çıkmaktadır. Bunlar, çamurun enerji ve geri dönüşebilir madde kaynağı olarak kullanılması veya çamurun atık olarak değerlendirilmesine yönelik olarak oluşan çamur miktarının azaltılmasıdır. Aşırı çamur üretimi problemine mühendislik açısından bakıldığında günümüz teknolojisinde en ideal yaklaşım çamurun nihai uzaklaştırılmasından çok çamur minimizasyonu daha uygun bir yöntemdir. Çamur minimizasyonu için uygulanacak yöntem çamur miktarı azaltımında verimli olurken aynı zamanda mevcut arıtma verimi işleyişini de bozmamalıdır. Bu yüzden iki temel konu ele alınmalıdır. Bunlar; aşırı çamur üretimini önlerken maliyeti de azaltacak fizibil mühendislik yaklaşımının ve uygulanmakta olan mevcut arıtma sistem dizaynının ne olduğudur. Bu soruya 3 önemli mühendislik yaklaşımıyla cevap verilir. Bu yaklaşımlar; ozonlama, klorlama, termokimyasal yöntem, mekanik kayma kuvveti gibi kimyasal ya da fiziksel arıtma yöntemleri kullanılarak aşırı çamurun parçalanması ya da minerilizasyonu,

metabolizma bozucu özel kimyasallar kullanılarak çamur gelişiminin kısıtlanması, geleneksel aktif çamur prosesine bir anaerobik çamur bekletme tankı ekleyerek AKR sistemle çamur tankı arasında çamur geri devrini sağlayan modifikasyonun gerçekleştirilmesidir. Çamur minimizasyon yöntemleri karşılaştırıldığında; biyokütle parçalanması ile çamur miktarı azaltımında başarılı olan ozonlama ozon üretimi için gerekli aşırı enerji ihtiyacından dolayı yüksek maliyetlidir ayrıca ozon seçici bir oksitleyici olmadığından aktif çamur üzerindeki oksidasyon verimi düşüktür ve oksitleme sonucunda bazı toksisite problemine sebep olan yan ürünler oluşmaktadır. Klorloma çamur minimizasyonu için ozonlamayla karşılaştırıldığında en düşük maliyete sahip kimyasal alternatiftir ancak ozona göre oksitleyici özelliği daha azdır ve trihalometan gibi istenmeyen klorlu yan ürünler oluşturur. Termokimyasal yöntem korozyon ve koku oluşumuna neden olur. Mekanik yöntemlerde, uygulama seçimine göre tıkanma, aşınma problemleri ve yüksek enerji ihtiyacı yöntemin dezavantajlarıdır. Metabolik ayırıcıların çevreye zararlı olmasıyla birlikte çamur çökelme karakteristiğini bozarak proses işletme problemlerine yol açar ayrıca zamanla mikroorganizmaların metabolik ayırıcılara alışması sonucu proses verimi düşer. Oksik-çökelme-anaerobik (OSA: oxic-settling-anaerobic) proses, fiziksel-kimyasal arıtmaya ya da eklenilecek kimyasala ihtiyaç duymadan çamur azaltılması amacıyla kullanımı yaygınlaşan bir prosestir. OSA proses modifikasyonu mevcut tesislerin geri devir hattına bir anaerobik tank yerleştirilmek suretiyle düşük maliyetle sağlanabilmektedir.

OSA prosesinin biyolojik mekanizmasının anlaşılması üzerine çeşitli araştırmalar mevcuttur. Bu çalışmalarda OSA prosesin çamur minimizasyonu üzerinde etkili olduğu gösterilmiştir. Ancak hala araştırmaya açık yanları bulunmaktadır. Bununla birlikte bu sistemlerde besi maddesi giderimi ile ilgili çalışmalar oldukça kısıtlıdır. Bu doğrultuda, OSA proses konfigürasyonunda katı madde minimizasyonu ile birlikte aynı anda azot gideriminin de verimli bir şekilde gerçekleştirilebilirliğinin araştırılması bu çalışmanın esas konusunu oluşturmaktadır.

1.2 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Deneysel çalışma, günümüzde Türkiye'de kullanımına sık rastlanmasa da dünyada kullanımı yaygınlaşan OSA (oksik/çökelme/anaerobik) sistemlerinde evsel nitelikli atıksuların biyolojik arıtılması sırasında çamur minimizasyonunun yanı sıra azot

gideriminin de uygulanabilirliğini araştırmak amacıyla gerçekleştirilmektedir. Deneysel çalışma boyunca çamur minimizasyonu amaçlı yapılan modifikasyonun AKR sistem verimi üzerinde etkisi ve OSA sistemlerde azot giderimi ile beraber çamur minimizasyonununda sağlanacağı optimum işletme koşulları araştırılmıştır.

Deneysel çalışma, OSA sistemi prensibine uygun olarak işletilen bir ardışık kesikli reaktör (AKR) sisteminde gerçekleştirilmiştir. Sistemde hem katı madde azalması hem de azot gideriminin araştırılması için analizler yürütülmüştür. Katı madde azalmasının ortaya konulması amacıyla çamur atılan klasik aktif çamur sistemi düzeninde işletilen bir kontrol sistemi işletilmiştir. Azot gideriminin optimizasyonuna yönelik olarak tekli ve ikili besleme düzenleri ve anoksik (karıştırma) faz sürelerinde değişiklikler gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde 5 set gerçekleştirilmiştir. Sistemler kentsel atıksu karakterizasyonuna uygun sentetik atıksu ile beslenmiştir.

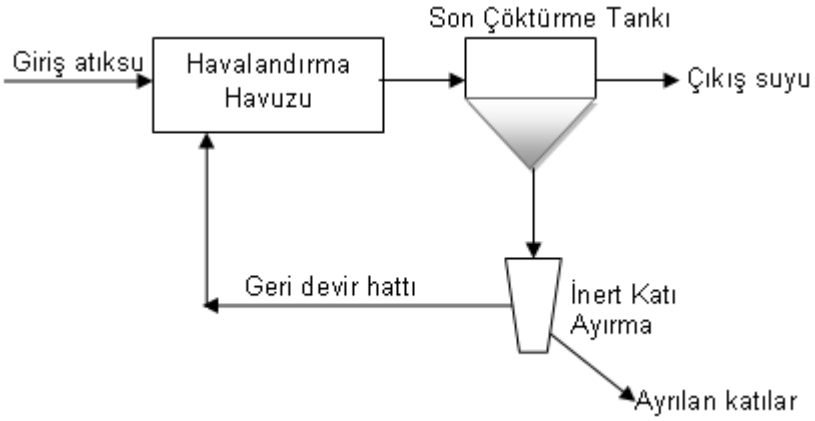
2. AKTİF ÇAMUR PROSESİ VE ÇAMUR SORUNUNA GENEL BAKIŞ

2.1 Aktif Çamur Prosesi

Aktif çamur prosesi evsel ve endüstriyel atıksuların biyolojik olarak arıtılmasında yaygın olarak kullanılan bir prosestir. Genel olarak, organik maddelerin aktif mikroorganizmalar tarafından stabilize edilmesi prosesi aktif çamur prosesi olarak tanımlanmaktadır (Metcalf ve Eddy, 2003). Bir aktif çamur sistemi, ön çöktürme havuzu, biyolojik proseslerin gerçekleştiği havalandırma havuzu ve son çöktürme havuzundan oluşur. Aktif çamur sisteminde çamur yaşını sabit tutmak için son çöktürme havuzunda çökelmiş biyolojik çamurun bir kısmı havalandırma havuzuna geri devrettirilirken, bir kısmı sistemden uzaklaştırılarak çamur arıtma proseslerine gönderilir. Çözünmüş ve askıda organik maddeler havalandırma havuzunda gerçekleşen biyolojik prosesler sonucunda biyokütleye (yeni organizmalara) ve son ürün olarak ilgili gazlara dönüşür. Mühendislik alanındaki araştırmalar ve teknolojik gelişmeler nitrifikasyon, denitrifikasyon ve fosfor giderimi proseslerinin de geliştirilmesi suretiyle aktif çamur sistemlerinin verimlerinin arttırılabilmesini sağlamıştır.

Aktif çamur prosesi, güvenilirliği, uygulama esnekliği, nitrifikasyonun uygulanabilirliği ve benzeri avantajlarından dolayı kullanılan en yaygın prosestir ancak fazla çamur oluşumu bu prosesin en önemli dezavantajıdır. Çamur yaşının kontrolü amacıyla mikroorganizmaların çoğalması sonucu yüksek miktarda üretilen çamurun arıtılması, uzaklaştırılması gerekmektedir. Çamur arıtımı çürütme, kimyasal arıtma, susuzlaştırma ve yoğunlaştırma proseslerinin birlikte kullanılması ile gerçekleşir ve yüksek maliyetlidir. Fazla çamurun arıtılması, genellikle arıtma tesisi işletme maliyetlerinin %60'ını oluşturken, ilk yatırım maliyetlerini de arttırır (Horan, 1990).

Aktif çamur prosesi akım şeması şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 : Aktif çamur prosesi akım şeması.

Aktif çamur prosesleri esas olarak bioflokulasyona, mikrobial üretimlere ve mikroorganizmaların kümeleşmesine bağlıdır. Mikroorganizmaların oluşturduğu biofloklar organik maddeleri son ürünlere (CO_2, NH_4^+, SO_4, and PO_4) okside eder ve yeni biokütlelerin oluşumunu sağlar. Yoğun ve geniş floklar atıksudan çöktürme tankında ayrılır (Low ve Chase, 1999).

Aktif çamur; mikroorganizmaların, hücredışı polimer maddelerin ve katyonların matrisinde organik ve inorganik partiküllerin beraber olduğu yığındır. Hücre dışı polimerik maddeler (EPS), aktif çamur flok yapısının temel parçasıdır. Aktif çamur floklarındaki hücredışı polimerik maddeler bakteriler ve diğer partiküller ile bir matris oluşturur. Çamur bekletme süresi aktif çamur prosesinin verimi ve aktif çamurun fiziksel ve kimyasal karakteristiğinin kontrolü üzerinde etkilidir (Chon, 2005).

2.2 Aktif Çamur Sistemlerinde Azot Giderimi

Önemli besi maddelerinden olan azot su kalitesi yönetiminde başlıca parametrelerdendir. Pek çok atıksu, taşkın suyu ve drenaj suyunda bulunur. Amonyak azotu (NH_4^+-N) su bitkilerinin temel besin kaynağı olup, alıcı ortamda fazlalığı bitkilerin aşırı büyümesine böylece ötrifikasyona sebep olur. İyonize olmamış amonyak (NH_3) su ortamı için toksiktir ve bakteriyel nitrifikasyon proseslerinden dolayı çözünmüş oksijen ihtiyacı artar (Tanner, 2004). Alıcı ortamlarda ötrifikasyon, çözünmüş oksijen tükenmesi, zehirlilik problemleri azot parametresinin kontrolüyle denetim altına alınabilmektedir. Günümüzde biyolojik arıtma proseslerinde azot parametresi giderimi başarıyla sağlanabilmektedir.

Azot oksidasyon basamağı aquatik sistemde -3 ile +5 arasında değişim göstermektedir. Doğada bulunan azot forumları için; azot gazı (N_2), amonyum azotu (NH_4^+) , nitrit azotu (NO_2^-), nitrat azotu (NO_3^-) olmak üzere inorganik nitrojenin 4 temel formu tanımlanmıştır. Atmosferin %81'i N_2(g)'dan oluşmaktadır. Atmosfer moleküler azot (N_2) kaynağı ve nihai alıcı ortamıdır. Moleküler azot fiksasyon sonucunda organik azota sonrada mikrobiyolojik aktiviteler sonucunda amonyağa dönüşür ancak fiksasyon reaksiyon hızı çok düşük olduğundan geleneksel atıksu arıma tesisleri için azot giderim hesapları yapılırken inert kabul edilir. Amonyak azotu (NH_4^+) , nitrit azotu (NO_2^-), nitrat azotu (NO_3^-) suda yüksek oranda çözülebilir. Azot, pH değerine bağlı olarak amonyak ve amonyak azotu formunda bulunur. Nötral pH'ın üzerine çıkan amonyak azotu (NH_4^+) proton kaybederek amonyak (NH_3) formuna dönüşür (Paerl and Piehler, 2008; Wilkerson and Dugdale, 2008).

Biyolojik arıtma proseslerinde azotun aktif çamurdaki akıbetleri, azot içeren bileşiklerin mikrobiyolojik indirgenmesi ve deaminasyon reaksiyonları ile azotun amonyak formunda serbest kalması, azotun mikroorganizma bünyesine alınarak uzaklaştırılması, azotun mikrobiyolojik redoks reaksiyonları ile moleküler azot formuna dönüşümü olarak ifade edilebilir.

Tesis çıkış suyundaki azot formları genellikle amonyak azotu ya da organik azot formundadır ve aktif çamur sistemlerinde kompleks azot formları deaminize olabilir. Atıksu azot giderim prosesinde etkili olan mekanizma nitrifikasyon ve denitrifikasyon prosesleridir. Nitrifikasyon ototrof bakterilerin amonyum iyonunu bir ara ürün olan nitrite ardından nitrata dönüşümünü sağladığı oksidasyon reaksiyonudur. Denitrifikasyon, heterotrof bakterilerin anoksik ortamda nitratı ara ürün olan nitrite ve ardından nitriti azot gazına biyolojik indirgeme reaksiyonudur (Groffman, P. M. ve Marshall, E. R., 2013; EPA,1993).

2.2.1 Nitrifikasyon

Nitrifikasyon, aerobik şartlarda amonyaktan başlayarak, nitrit üzerinden nitrata yükseltgenme reaksiyonları her bir adımı aslında aynı zamanda gerçekleşen enerji ve sentez reaksiyonlarının toplamı olarak ifade edilebilmektedir.

Nitrifikasyon 2 kademeli bir reaksiyon olup, amonyağın önce nitrite sonra nitrata oksidasyonudur. Nitrifikasyon reaksiyonlarında amonyağın nitrite oksidasyonu nitrosomonas,

$NH_4^+ + 3/2\ O_2 \rightarrow NO_2 + 2\ H^+ + H_2O$ (1)

nitritin nitrata oksidasyonunu,

$NO_2 + ½\ O_2 \rightarrow NO_3^-$ (2)

nitrobakter türü bakteriler etkili olarak gerçekleştirmekle birlikte nitrifikasyon yapan bakterilere genel olarak nitrifier adı verilir ancak nitrosomonas ve nitrobakterlerin evrimsel olarak bağlantısı yoktur (Bock ve diğ., 1991; Randall ve diğ., 1992).

Biyolojik nitrifikasyon sürecinde inorganik azot kaynağının enerjisinin bir kısmı ototrofik organizmaların hücre bakımı (maintenance) reaksiyonları için, bir kısmı aynı organizmalara uygun çevre koşulları sağlandığı takdirde yeni biyokütle sentezi için kullanılırken, bir kısmı da ısı enerjisi olarak kaybolmaktadır.

Yükseltgenen inorganik azotun bir kısmı enerji bir kısmı da sentez reaksiyonlarında kullanılmaktadır. Diğer bir ifade ile inorganik azot kaynağının yükseltgenirken verdiği elektronların bir kısmı oksijene transfer olurken, bir kısmı da sentezlenen biyokütlede kalmaktadır.

Nitrifikasyon prosesi amonyağı önce nitrite sonra da nitrata dönüştüren bakteriler tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu proseste yer alan 2 önemli bakteri türü " *nitrosomonas* " ve " *nitrobakter* " dir. Her iki tür de enerji gereksinimlerini inorganik azotun oksidasyonundan sağladıkları için ototrofik organizmalar sınıfına dahil edilmektedirler. Ayrıca bu organizmalar, sentez için organik karbon yerine inorganik karbonu ($C0_2$) kullanmaktadırlar. *Nitrosomonaslar* sadece amonyağı nitrite, nikrobakterler ise nitriti nitrata oksitlemektedirler. Nitrifikasyon, bu iki prosesin ardışık olarak gerçekleşmesinden ibaret olduğu için arıtma tesisi tasarımında bu iki nitrifikasyon bakterisinin yaşayabilmesi için gerekli koşulların sağlanması gerekmektedir.

2.2.2 Denitrifikasyon

Bu proses nitratın önce nitrite ve daha sonra da inert azot gazına dönüştürülmesi aşamalarını içerir. Böylece azotun doğal çevreye zararlı olan çözünmüş formları, zararsız gaz formuna dönüştürülmüş olur. Bu reaksiyonda, mikrobiyal solunumda oksijenin yerini nitrat ve nitrit alır. Bu nedenle denitrifikasyon genellikle, çözünmüş oksijenin bulunmadığı anoksik ortamlarda gerçekleşir. Hücre solunumunda oksijenin yerini nitrit ve nitratın aldığı anoksik koşullarda, denitrifikasyon bakterilerinin, nitratı

indirgemelerine nitrat disimilasyonu adı verilir. Nitrifikasyonun tersine, denitrifikasyon bakterileri çok çeşitli olup, fakültatif özelliktedirler. Ortamda nitrat ile birlikte oksijenin de bulunması durumunda, bu bakteriler derhal oksijeni elektron alıcısı olarak kullanmaya başlamakta ve denitrifikasyon prosesi inhibe olmaktadır.

Denitrifikasyon prosesi, farklı elektron alıcılarının kullanılması dışında, karbon giderim prosesi ile tamamen aynı ilkelere dayanmaktadır. Bununla beraber karbon gideriminde elektron vericisi olan organik maddenin son ürünlere dönüştürülebilmesi için yeterince elektron alıcısının sisteme verilmesi gerekmektedir. Denitrifikasyon prosesinde ise esas amaç, yeterince organik madde mevcut olması durumunda, elektron alıcısı olan nitratı gidermektir. Biyolojik denitrifikasyonun gerçekleşebilmesi için aşağıdaki dört temel koşulun sağlanması gereklidir:

- Nitratın (veya nitritin) varlığı
- Ortamda çözünmüş oksijenin bulunmaması
- Fakültatif bir biyokütle topluluğu
- Uygun bir elektron vericisinin (enerji kaynağı) varlığı.

Denitrifikasyon sistemlerinde elektron vericisi olarak hizmet edecek üç farklı karbon kaynağı sözkonusudur.

- Dışarıdan karbon ilavesi (metanol, etanol, asetik asit vb.)
- Atıksudaki organik karbonun kullanılması
- İçsel solunumdan kaynaklanan karbonun kullanılması.

Atıksudaki organik karbon ve metanol en çok kullanılan karbon kaynaklarıdır. Ancak uygun karbon kaynağının seçiminde maliyet, arazinin uygunluğu vb. faktörler de göz önüne alınmalıdır.

2.3 Aktif Çamur Sistemlerinde Oluşan Çamurun Uzaklaştırılması Sorunu

Genel olarak arıtma çamurları, sıvı ya da yarı katı halde, kokulu, %0.25 ile %12 arasında katı madde içeren atıklardır. Sadece küçük bir kısmı katı madde olduğunda büyük hacimler kaplar. FrØlund ve diğ. (2006) tarafından yürütülen deneysel çalışmada aktif çamur flokları katyon değiştirici reçine tekniği kullanılarak ekstraksiyonu sağlanmış ve aktif çamur flok bileşenleri uçucu maddelerin %46-52

oranında protein, %18-52 oranında humik bileşenlerin, %18-23 oranında karbonhidratdan oluştuğu saptanmıştır.

Artan atıksu arıtımı ihtiyacının doğal bir sonucu olarak çamur oluşumu da artmakta ve arıtma çamurlarının uzaklaştırılması giderek büyüyen, önem kazanan ve çözüm bekleyen bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır.

Hızla AB Çevre mevzuatına uyumlaştırılmakta olan ulusal çevre mevzuatında arıtma tesislerinden kaynaklanan atık çamurlarla ilgili çeşitli hükümler yeralmaktadır. Bu konudaki ilk yasal düzenleme 1991'de yayımlanan "Katı Atıkların Kontrolu Yönetmeliği (KAKY, 1991) olup bu yönetmelikteki en önemli husus, atık çamurların düzenli depolama alanlarına verilmeden önce çamurun su oranının en fazla % 65 olması gerekliliğidir. Öte yandan, 2004 yılında yürürlüğe giren "Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği" çamurlar için tehlikeli atık kapsamına alınma kriterlerini ve bunların yönetimi esaslarını belirtmektedir (TAKY, 2004). Buna göre tehlikeli atık kapsamına giren çamurların geri kazanılması, atık miktarının azaltılması, düzenli depolanabilmesi veya çevreye olan zararlarının en aza indirilmesi için fiziksel, kimyasal veya biyolojik işlemlere tabi tutulmaları gerektiği belirtilmektedir. Çamurlarla ilgili bir başka mevzuat ise 2005 yılında yürürlüğe giren "Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği"dir (TKKY, 2005). Buna göre arıtma çamurları stabilize ve ham çamur olarak ikiye ayırılmakta ve ham çamurun toprağa serilmesi yasaklanırken stabilize çamurların toprakla karıştırılmasına ağır metal içerikleri esas alınarak belirli düzenlemelerle izin verilmektedir.

Ülkemizdeki uygulamalara bakıldığında klasik çamur arıtma yöntemleri ile arıtılan çamurun nihai uzaklaştırma yöntemi çoğunlukla düzenli depolama alanlarına verilmesi şeklinde olmaktadır. Düzenli depolama alanlarına verilen arıtılmış çamurdaki en önemli problem ise çamurun organik katı madde içeriğinin yeterince azaltılamamış olmasıdır.

Yukarıda sıralanan, yönetmelikler ile sınırlandırılmış ve sağlanması ciddi sorunlar yaratan pekçok kısıt sebebiyle çamur arıtımında alınacak tebdirler sözkonusu olabileceği gibi oluşan çamur miktarının azaltılması da önemli bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yöndeki çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Çamur üretimindeki azalma çamur yoğunlaştırma, susuzlaştırma, çürütme, taşıma maliyetlerini azaltacağından toplam işletme maliyetleri azalacaktır. Bu sebeple aşırı

çamur minimizayonu için uygun ve etkili yöntemler geliştirilmiştir. Aktif çamur sistemlerine uygulanan aşırı çamur minimizasyonu yöntemleri ile proses çıkış suyu kalitesi etkilenmeden %20-100 oranında aşırı çamur üretimi azaltılabilmektedir (Liu ve Tay, 2001)

2.4 Katı Madde Azaltılması

Aktif çamur proseslerinden üretilen aşırı çamur minimizasyonu hücre parçalanması, çamur bekletme sürelerinin uzatılması ve aralıklı-havalı koşullara maruz bırakma yaklaşımlarından bir ya da birkaçına dayanan 3 temel yaklaşıma dayanmaktadır (Roxborough, R. ve diğ. 2006). Çamur minimizasyon yöntemleri mekanik, fiziko-kimyasal, biyolojik yöntemler olarak 3 ana katagoride sınıflandırılabilir.

Çamur üretiminin azaltılması, özellikle çamurun uzaklaştırılması konusunda artan kısıtlamaları karşılayacak yöntemlerin geliştirilmeye başlanmasıyla büyük önem kazanmıştır. Bu konuda iki temel amaç söz konusudur: (1) çamurun bir enerji ve geri dönüşebilir madde kaynağı olarak kullanılması, (2) çamurun atık olarak değerlendirilmesi durumunda oluşan çamur miktarının azaltılması. Çamur yönetimi açısından sıfır çamur prosesi hala bir ütopya olarak gözükmekte, ancak buna karşılık en gerçekçi ve yapılabilir uygulama çamurun hacim ve kütlece azaltılması olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yaklaşım doğrultusunda temel olarak iki konu öne çıkmaktadır: (1) ıslak çamur hacminin azaltılması, ve (2) çamurun kuru ağırlığının azaltılması.

Aktif çamur prosesinin en önemli dezavantajı olarak karşımıza çıkan arıtılması gereken yüksek çamur oluşumunun azaltılması için yeni alternatif arayışları ideal bir yaklaşım ve araştırma konusu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yaklaşım maliyet açısından olduğu kadar çıkış suyu kalitesi ve çökelme özellikleri gibi arıtma özelliklerini olumlu yönde etkilemesi açısından da avantajlar getirmelidir.

Arıtma çamurlarının minimizasyonu, çamurun katı kütlesinde gerçekleştirilebilecek herhangi bir azaltmayı kapsamaktadır. Kullanılan minimizasyon teknikleri, atıksu arıtımı sonrasında oluşan çamur miktarının azaltılmasının yanı sıra, çamur oluşumunu baştan engelleyerek toplam kütle ve hacimde belli oranda azalmayı sağlayan teknikler olarak bilinmektedir. Arıtma işlemleri sonucunda oluşan çamurun biyolojik arıtma sistemlerinde arıtımı ve bertaraf edilmesi yaklaşık olarak toplam

atıksu arıtma maliyetinin yarısını oluşturmaktadır (Yasui ve Shibata, 1994). Çamur miktarının kaynağında azaltılması, bu nedenle, taşıma maliyetinin minimize edilmesi ve bertaraf işlemlerinin kolaylaşması açısından oldukça önemlidir. Dolayısı ile çamur minimizasyonu ile hem arıtıma giren çamur miktarında azalma sağlanarak arıtım hacimleri ve maliyetlerinin düşürülmesi, hem de arıtım sonunda elden çıkarılması gereken çamur hacimlerinin azaltılması hedeflenmektedir.

Çamurun çeşitli etkilerle (ozon, klor, termokimyasal, mekanik, enzimatik) parçalanması, enerji ayırımı, işletme şartları (çözünmüş oksijen, çamur yaşı, pH, sıcaklık, aşırı karbon, mikroorganizma seçimi) aktif çamur prosesinde oluşan fazla çamurun miktarını azaltmak üzere uygulanan yöntemlerdir (Gürtekin ve Şekerdağ, 2006). Bu doğrultuda, fazla çamurun mineralizasyonu veya dezentegrasyonu konularında pek çok araştırma yürütülmüştür (Yasui ve diğ., 1996; Saby ve diğ., 2002a).

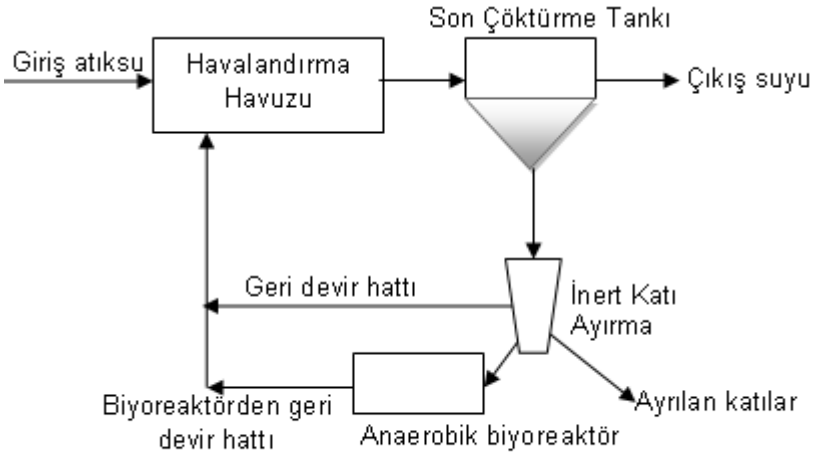
Çamur azaltılması amacıyla geliştirilen yeni teknolojiler arasında ise yan akımda anaerobik biyoreaktörler (OSA), membran reaktörler, iki kademeli sistemler ve anaerobik reaktörler ve bunların kombinasyonları yer almaktadır (Gürtekin ve Şekerdağ, 2006). Ticari adıyla Cannibal prosesi olarak yaygınlaşan OSA prosesi aşırı çamur üretiminde azalma, KOİ gideriminde ve çamurun çökebilme kapasitesinde iyileşme gibi avantajları dolayısıyla bu çalışma kapsamında araştırılacaktır. Son yıllarda yaygınlaşan bu proses esas olarak aktif çamur prosesine geri devir hattı ile bağlı bir anaerobik tanktan oluşmaktadır (Chudoba ve diğ., 1992; Novak ve diğ., 2007). 3. Bölümde bu konu detaylı olarak anlatılmaktadır.

3. HAVALI/ÇÖKELME/ANAEROBİK (OSA) PROSES

3.1 OSA Proses Tanımı ve Prosese Genel Bakış

OSA proses, temel mühendislik methodlarına dayalı atıksu arıtma tesislerinin aşırı çamur problemine ekonomik, çevresel, yönetmeliklere uygun çözüm getiren çamur minimizasyonu için geliştirilen stratejilerden biridir.

Yan akımda anaerobik biyoreaktörler (OSA) geleneksel aktif çamur sistemlerinin çöktürme tankı ile bu sisteme eklenen anaerobik çamur bekletme tankı arasına çamur geri devir hattı ile modifikasyonudur. Proses, anaerobik tanka çamur geçişleri ardışık kesikli reaktör çöktürme fazı sonunda, çamur anaerobik şartlardayken gerçekleşir. Geleneksel anaerobik fazın başında harici substrat ilavesi yapılır fakat OSA proses çamur geçişi çöktürme fazı sonunda gerçekleştiğinden substrat miktarı göz ardı edilebilecek kadar düşük seviyededir. Aynı zamanda anaerobik çamur bekletme tankında bekletme süresi geleneksel aerobik bekletme sürelerine göre çok daha uzundur. Çamur geçişleri de boşaltma fazı sonunda yapıldığından, anaeobik çamur bekletme tankına devir daim edilen çamur konsantrasyonu SBR sistemdeki çamur konsantrasyonundan yoğundur. OSA sistemi Şekil 3.1'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.1 : OSA sistem şematik gösterimi.

Aşırı çamur prosesini minimizasyonunu arttırmak amacıyla aşırı çamur azaltma prosesi mekanizmasının anlaşılması önemlidir. Yapılan çalışmalarda, çamur minimizasyonunun sebebi mikrobiyal enerjinin eşitsizlik teorisiyle açıklanmaktadır. Teoriye göre çamur bekletme tankında muhafaza edilen çamurun ATP'si düşük oksidasyon redüksiyon potansiyeli (ORP) ve harici besi eklenmemesiyle beraber tükenir. SBR sistemden anaerobik çamur bekletme tankına çamur geçişi sağlanırken eş miktarda anaerobik çamur bekletme tankında düşük ORP'ye, anaerobik ya da anoksik ortama besisiz olarak maruz bırakılan yoğun çamur da SBR sisteme geri döndürülür. Böylece OSA sistem aktif çamuru periyodik olarak bu şartlara maruz bırakılır. Çamurun aerobik tanka taşınmasıyla yeterli oksijen ve besin ihtiyacı karşılanır ve çamurun ATP'si artış gösterir. Her anaerobik-aerobik tank arasındaki devirde çamurun ATP içeriğinde oluşan değişim sebebiyle anabolizma ve katabolizma arasında enerji eşitsizliği gözlenir. Bu yüzden çamur gelişim verimi düşer (Chen ve diğ, 2003). Aktif çamur prosesini anaerobik şartlara maruz bırakmanın aşırı çamur üretimini anaerobik reaktörü olmayan geleneksel aktif çamur sistemleriyle karşılaştırdığında %50 oranında azalttığı OSA prosesler üzerine yapılan ilk çalışmada rapor edilmiştir (Westgarth ve diğ. 1964).

Laboratuar ölçekli yapılan diğer bir OSA proses çalışmasında OSA prosesin çamur minimizasyonunu gerçekleştiği gösterilmiştir (Chudoba ve diğ, 1992) Çalışmada çamur yükleme hızının artmasıyla geleneksel AKR sistem çamur üretimi artan eğilim gösterirken OSA proseste çamur üretimi azalan eğilim göstermektedir. Aynı zamanda OSA prosesin ciddi çamur problemleri olmadan yüksek dirençli organik kirleticilere uygulanabilirliği belirtilmiştir.

OSA prosesinde diğer bir başarılı uygulama Ghiglizza ve diğ. (1996) tarafından yapılmış ve OSA sistemde çamur üretiminin ardışık kesikli reaktöre göre daha iyi olduğunu ve çamur karakterinin mükemmel çökelebilme yeteneğine sahip olduğunu göstermişlerdir. Diğer bir çalışmaya göre AKR proses ile OSA proses karşılaştırmasında aşırı çamur üretiminin %50'nin üzerinde azaltıldığı bununla birlikte atıksu çıkış kalitesinin ve çamur çökelme kabiliyetinin etkilenmediği rapor edilmiştir (Chen ve diğ, 2003; Saby ve diğ. 2003b).

3.2 OSA Prosesin Özellikleri

Sistemde sabit bir askıda katı madde konsantrasyonu sağlamak için anaerobik reaktör ile aktif çamur sistemi arasında günlük olarak karşılıklı değiş tokuş edilen çamur oranının optimizasyonu önem taşımaktadır. Novak tarafından yürütülen çalışmalarda bu oranın optimum olarak toplam geri devir debisinin onda biri (1/10) olması gerektiği önerilmiştir (Chon, 2005; Easwaran, 2006; Novak ve diğ. 2007).

Cannibal sistemi, özellikle Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD), pek çok tesise kurulmuş olmasına rağmen hala tam olarak anlaşılabilmiş değildir. Yapılan araştırmalar neticesinde, sistemin işletme verimini etkileyen bazı özellikler aşağıdaki gibi ortaya konmuştur.

Aktif çamur sistemi konfigürasyonun sistemin verimi üzerinde önemli bir etkisi sözkonusudur. Piston akımlı sistemlerde tam karışımlı sistemlere göre daha yüksek verim elde edilebilmektedir.

Cannibal sistemlerine özgü bir mikroorganizma henüz tanımlanmış değildir. Ancak bu sistemlere özgü olarak yavaş çoğalan bir mikroorganizma topluluğunun geliştiği bilinmektedir. Klasik aktif çamur sistemlerinde, sistemden kaçtıkları için yavaş çoğalan mikroorganizmalara fazla rastlanmamaktadır. Bu organizmalar fermentasyon yapan, demir indirgeyen, polifosfat depolayan ve annamox organizmalarıdır (Chon, 2005; Goel ve Noguera, 2006; Novak ve diğ. 2007).

Bu sistemlerde inorganik maddelerin birikmesini önlemek üzere, özellikle ön çöktürme tankının bulunmadığı tesislerde, bir katı madde ayırma ünitesinin (ince ızgara ve siklon kum giderici) bulunması ve küçük bir miktar da olsa bir katı madde ayırımı yapılması gerekmektedir.

Bu sistemlerde dönüşüm oranı oldukça düşüktür. İçsel solunum prosesi, dönüşüm oranının düşmesine katkıda bulunur (Goel ve Noguera, 2006).

Cannibal sisteminin tasarımı için dikkat edilmesi gereken diğer noktalar ise şöyledir:

- Sistemin, endüstriyel atıksusular gibi özel atıksu akımlarına ve membranlar gibi ileri arıtma sistemlerine uygulanabilirliği;
- Özellikle fosfor gibi besi maddesi giderebilme kapasitesi (fosforun sistemde birikmesi ve tesis çıkışında yüksek konsantrasyonlarda bununması sonucunu

doğuran iki sebep mevcuttur: düşük miktarlarda çamur atıldığından fosfor depolayan organizma fazlasının yeterince sistemden atılamaması, ve yüksek katyon konsantrasyonlarından dolayı muhtemel inorganik fosfor bileşiklerinin oluşumu (Goel ve Noguera 2006);

- Büyük arıtma tesislerine uygulanabilirliği.

OSA prosesin diğer çamur minimizasyon yöntemlerine göre üstünlükleri söyle sıralayabiliriz; Geleneksel aktif çamur proseslerine uygulanabilirliği kolaydır, fiziksel ya da kimyasal arıtmaya ihtiyaç duymamaktadır, aşırı çamur üretimi minimizasyonu için mevcut arıtma tesislerinin OSA prosesine modifikasyonu ekonomiktir aynı zamanda OSA proses sadece çamur minimizasyonunda etkili olmayıp çamur çökelme karakterini, KOI ve nütrient giderim prosesini de geliştirmektedir. Böylece mühendislik açısından değerlendirildiğinde OSA prosesin çamur minimizasyonu için uygun bir alternatif yöntem olduğu ortaya konulmaktadır.

3.3 OSA Sistemde Anaerobik Ortama Maruz Bırakılan Çamurun Akıbeti

Anaerobik bekletme tankı; çamur üretimine etki eden seri reaksiyonların olduğu OSA sistemin temel birimidir. Anaerobik bekletme tankı minimizasyon mekanizmasının anaerobik çürütücü çamur çürütme mekanizmasına benzer olduğu belirlenmiştir. Genellikle atıksudaki organiklerin ve biokatıların anaerobik ayrışması hidroliz, asidifikasyon ve metan üretimi fazlarından oluşur. Aşırı çamur dayanıklı organik maddelerden oluşur ancak anaerobik çürütücüler tarafından ayrıştırılabilir. Proteinler, polisakkaritler, yağlar gibi bazı makromoleküller hidrolitik bakteriler tarafından hidrolize edilerek fermantative bakterilerce fermantasyon reaksiyonu girdilerinde yer alacak amino asit, glikoz, yağ asitleri gibi monomerlere ayrıştırılarak asetat, laktat, bütirat, propiyanat, hidrojen gibi bileşiklere indirgenirler. Hidroliz ve asidifikasyon fazlarında uçucu yağ asitleri (VFAs) üretilir. Anaerobik şartlar altında çözülebilir kimyasal oksijen ihtiyacı (KOI), nitrojen ve fosfor serbest kalır. Hücre parçalanması anaerobik çamur bekletme tankında artan fosfor ve amonyak konsantrasyonu ile daha da doğrulanmıştır. Literatür araştırmalarında çamurun anaerobik arıtımı sırasında önemli miktarda amonyum azotu ($NH4^{+}$-N) ve çözünebilir fosfor salındığı görülmektedir. Yapılan bir çalışmaya göre, OSA sistemde anaerobik çamur bekletme tankında bulunan flokların partikül boyutu 16. Saatin sonunda 87.4 mm'den 81.6 mm'ye küçülmüştür (An and Chen 2008). Partikül

boyutundaki küçülme de OSA proses anaerobik bekletme tankında belirli sürelerde bekletilen çamurun ayrıştığını veya çamur ölümlerinin gerçekleştiğini gösterdiği savunulmuştur. VFA'ların üretiminden ve tankta birikmesinden dolayı pH genellikle düşer ancak denitrifikasyon, sülfat indirgemesi ve gaz üretimi, üretilen VFA'ların tüketimine sebep olarak pH'ın düsmesini önler. Bunun sonucunda da tüm kimyasal reaksiyonların gerçekleşmesine izin verecek stabil pH'ta kalır.

3.4 OSA Prosesinde Besi Maddesi Giderimi

Çamur minimizasyonu (azaltılması) yöntemi olarak gelecek vaad eden OSA prosesinde aynı zamanda besi maddesi gideriminin gerçekleştirilebilmesi konusundaki araştırmalar oldukça kısıtlıdır.

Goel ve Noguera (2006) OSA prosesinde çamur minimizasyonu ve biyolojik aşırı fosfor giderimini (BAFG) birlikte gerçekleşmesi üzerine yaptıkları çalışmada fosfor giderim verimi ve dönüşüm oranını değerlendirmişlerdir. OSA prosesi bir ardışık kesikli reaktör ve ona bağlı bir anaerobik reaktör ile kurulmuştur. Bu çalışmada, reaktörde biyolojik fosfor giderimi gerçekleşebilmesi için bir anaerobik-aerobik döngü mevcuttur. Sistemin bu işletme koşullarında dönüşüm oranı 0.16 g UAKM/g KOİ olarak belirlenmiştir. Bu dönüşüm oranı, OSA proses konfigürasyonu olmadan çalıştırılan bir BAFG (Biyolojik Aşırı Fosfor Gidrimi) sistemine göre %16-33 oranında daha düşük katı madde oluşumunun olduğunu göstermiştir. Bu çalışmada, %98 oranında fosfor giderimi gözlendiği ancak kütle dengeleri açısından bakıldığında (çamur atılmadığından) fosfor için dengenin kapatılamadığı (fosforun %33'ünün kayıp olduğu) ortaya konmuştur. Bu çalışma aynı zamanda bu tip sistemlerde uzun süreli işletilmesi durumunda fosfor gideriminin ne yönde değişeceği ile ilgili bilginin eksik olduğunu da ortaya koymuştur (Datta ve diğ., 2009).

Datta ve diğ. (2009) tarafından yürütülen deneysel çalışma, çamur azaltılması ve besi maddesi gideriminin birlikte gerçekleştirebileceğini bildiren ilk çalışmadır. Bu çalışmada iki ardışık kesikli reaktörde (AKR) (klasik aktif çamur sistemi düzeninde işletilen kontrol reaktörü ve yan akımda anaerobik biyoreaktör olan modifiye reaktör) deneysel olarak besi maddelerinin (azot ve fosfor) değişimi izlenmiştir. Reaktörler anaerobik-aerobik-anoxic-(aerobik) döngüde günde 4 çevrim yapacak şekilde işletilmişlerdir.

OSA prosesinde, fosfor gideriminin çamur atılması suretiyle gerçekleştiği dikkate alındığında fosfor gideriminin yüksek verimle gerçekleştirilmesi oldukça zor gözükmektedir. Literatürdeki kısıtlı da olsa yapılan çalışmalar ve genel bilgi ve tecrübe birikimi bu yargıyı desteklemektedir. Ancak azot giderimi ile ilgili yayınlanmış herhangi bir çalışma bulunmamaktadır.

4. MATERYAL VE METOT

4.1 Deneysel Tasarım

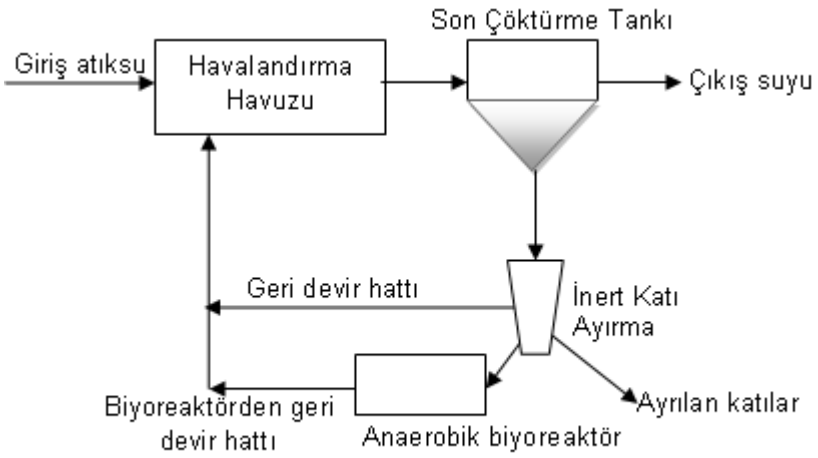
Deneysel çalışma, günümüzde Türkiye'de kullanımına sık rastlanmasa da dünyada kullanımı yaygınlaşan OSA (havalı/çökelme/anaerobik) sistemlerinde evsel nitelikli atıksuların biyolojik arıtılması sırasında çamur minimizasyonunun yanısıra azot gideriminin de gerçekleştirilebilirliğini araştırmak amacıyla farklı işletme koşullarının uygulandığı laboratuvar ölçekli bir sistemde sentetik atıksu ile yürütülmüştür. Deneysel çalışma boyunca evsel atıksu karakterine uygun hazırlanmış sentetik atıksu özellikleri değiştirilmezken, paralel olarak işletilen iki sistemde işletme şartları değiştirilerek optimum azot giderimi ve çamur minimizasyonunun sağlanacağı işletme koşulları belirlenmeye çalışılmıştır.

Deneysel düzenekte, işletme esnekliği ve çevrim içindeki dinamik davranışın izlenebilme özelliği nedeniyle ardışık kesikli reaktörler kullanılmıştır.

Sistemler, biyolojik azot ve fosfor giderimi gerçekleştirilen bir evsel/kentsel atıksu arıtma tesisinin (Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi) havalandırma havuzundan alınan biyolojik çamur ile başlatılmış ve karbon kaynağı olarak peptonun kullanıldığı sentetik atıksu ile günlük olarak beslenmişlerdir. Her bir işletme koşulu için alışma devresi süresince sistemler günlük analizler ile izlenmiştir. Sistem parametrelerinin kararlı dengeye ulaşmasının ardından çevrim içi analizler yürütülerek bir çevrim süresi içinde kirletici parametreler detaylı olarak ölçülmüştür. Bunların yanısıra, ilk işletme setinin işletme koşullarında bir kontrol sistemi işletilmiştir. Bu kontrol sisteminde günlük çamur atma gerçekleştirilmiştir.

4.1.1 Deneysel düzenek

OSA sistemi, bir ardışık kesikli reaktör (AKR) ve ona bağlı bir anaerobik biyoreaktörden oluşmaktadır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 : OSA proses genel akım şeması.

AKR, iç çapı 120 mm ve yüksekliği 270 mm olan silindirik bir cam reaktördür. AKR'lere günde bir kez çamur alış-verişine izin veren hortum bağlantıları ile bağlanan ve tamamen kapalı olarak sürekli karıştırılan cam anaerobik biyoreaktörün iç çapı 57 mm ve yüksekliği 160 mm'dir. Deneysel çalışmada 2 adet OSA sistemi paralel olarak işletilmiştir. Kullanılan ardışık kesikli reaktörlerin toplam hacmi 1.5 L' dir. Boşaltma sonrası reaktörde toplam 1.0 L (V_O) çamur ve arıtılmış su kalmaktadır. Tabandan 44 cm yüksekliğe yerleştirilen ucu özel tasarlanmış cam boru ile sistemden camur kaçağının azaltılması amaçlanmıştır. Cam boruya bağlı silikon boru ve pompa vasıtasıyla reaktörden çıkış suyu alınmıştır. Sisteme her çevrimde toplam 0.5 L sentetik atıksu beslemesi yapılmıştır. Kontrol sistemi hariş reaktörlerden düzenli çamur atma işlemi yapılmamıştır. Günde 1 defa olmak üzere AKR'de boşaltma fazı sonrası tam karışımdan (1 litre'den) 100 ml biyolojik çamur anaerobik biyoreaktöre devredilmiş, ardından da aynı miktarda çamur biyoreaktörden AKR'ye alınmıştır. Buna göre, AKR ile anaerobik rekatör arasındaki çamur alış-veriş oranı 1/10 olarak gerçekleştirilmiştir. Bu işlemler için de ayrı iki adet pompa düzeneği kullanılmıştır. Kontrol reaktöründe ise havalandırma fazı sonunda toplam reaktör hacminden 150 ml çamur atılmıştır. Buna göre kontrol reaktöründe çamur yaşı 10 gün olarak gerçekleşmiştir. Şekil 4.2'de bu çalışma kapsamında laboratuar ölçekli tasarlanıp işletilen sistemler çökelme fazında iken görülmektedir.



Şekil 4.2 : Deneysel düzenek görüntüsü.

Doldurma ve boşaltma ile AKR ve biyoreaktör arasında çamur geçişleri Pump Drive 5201 ve Pump Drive 5006 marka değiştirilebilir debili peristaltik pompalarla sağlanmakta ve debi kalibrasyonu sistem işletmeye alınmadan evvel tamamlanmış olan peristaltik pompaların her işletme koşuluna göre çalışma süreleri zaman ayarlayıcılar (timer) ile kontrol edilmektedir.

Reaktörlerin tüm setleri günlük 4 çevrim olarak işletilmekte ve her bir çevrim sonunda boşaltma tek bir pompa ve zaman ayarlayıcı ile gerçekleştirmektedir. Ancak besleme fazı çevrimlerin farklı saatlerinde ve beslemenin farklı miktarlarıyla gerçekleştirildiğinden her bir reaktör için farklı zaman ayarlayıcı ve pompa kullanılmıştır.

AKR sistemde karıştırma işlemi için; tam karışımı sağlayacak hızı ayarlanabilen analog kontrollü, 2 vitesli, ateşlemesiz motorlu mekanik Heidolph RZR 2020 karıştırıcı motor ve pervaneli karıştırma çubuğu kullanılmıştır. Havalandırma işlemi ise AKR'lere yerleştirilmiş hava taşlarının aeratörlere bağlanmasıyla sağlanmıştır. Reaktörlerin karıştırma ve havalandırma süreleri zaman ayarlayıcı ile kontrol edilmiştir.

4.1.2 İşletme koşulları

Deneysel çalışmada azot giderimini gerçekleştirmek üzere ön-denitrifikasyonlu biyolojik aktif çamur sistemi düzeninde işletilen ardışık kesikli reaktörde mekanik karıştırıcılar, havalandırıcılar, zaman ayarlayıcılar, peristaltik pompalar ile gerçekleştirilen altı temel işletme fazı bulunmaktadır. Bunlar;

- Doldurma fazı
- Reaksiyon fazı
- Çöktürme fazı
- Boşaltma fazı
- Çamur alış-verişi
- Dinlendirme fazı

Bu çalışmada, yukarıda sıralanan fazları içeren AKR'lerde günlük 6'şar saatlik 4 çevrim gerçekleştirilmiştir. Sadece kontrol reaktöründe çamur alış-verişi fazı bulunmamaktadır. Farklı işletme koşullarının uygulandığı ardışık kesikli reaktörde her bir işletme düzeni bir set olarak adlandırılmıştır. Kontrol sistemi olarak işletilen ve çamur atma dışında paralel çalıştırılan OSA sisteminin işletme düzenine sahip set kontrol seti olarak adlandırılmıştır. Kontrol seti ile aynı işletme düzenine sahip set ise Set-1 olarak adlandırılmıştır. İşletme koşulları için faz sürelerinin dağılımı aşağıda şekiller ile gösterilerek açıklanmaktadır.

Tüm setler için boşaltma ve dinlenme süreleri aynıdır. Sistemler hızlı besleme esasına göre birkaç dakika içerisinde doldurulmuştur. Ardışık Kesikli Reaktör ile Bioreaktör arasında çamur geçişleri tüm setler için aynı zamanda ve aynı miktarda yapılmıştır.

Deneysel çalışmada, tüm setlerde havalandırma ve karıştırma sürelerinin değiştirilmesi, toplamda günlük beslenen atıksu debisi değişmemek üzere atıksuyun farklı zaman ve oranlarda beslenmesi şeklinde değişiklikler ile gerçekleştirililen kontrol seti ile birlikte toplam 6 setten oluşmaktadır.

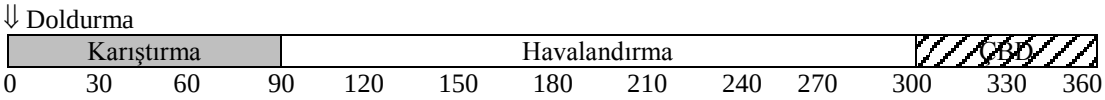
4.1.2.1 Set 1

Kontrol reaktörü işletme koşulları, sırasıyla 0,5 L sentetik atıksuyun ani beslenmesi, 1,5 saat karıştırma, 3,5 saat havalandırma, 45 dakika çökelme ve 15 dakika boşaltma

ve dinlenme fazlarını içermektedir. Azot giderimine yönelik olarak başlangıçta bir 90 dk. Karıştırma fazı (anoksik faz) ve takip eden havalandırma (aerobik faz) fazından oluşmaktadır.

Set-1'de AKR işletme koşulları kontrol setindeki ile aynı işletme koşullarına sahiptir. Ancak, bu sette reaksiyon fazından sonra çamur çökelip üst faz (0,5 L) boşaltıldıktan sonra günde bir kez (son fazda) dinlenme fazı öncesi biyoreaktörle AKR arasında karşılıklı 100 ml çamur geçişi gerçekleştirilmiştir.

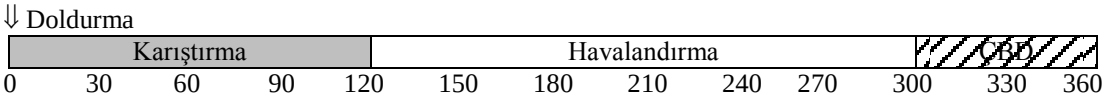
Kontrol Set'i ve Set-1'de uygulanan AKR işletme düzeni Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3 : Ardışık Kesikli Reaktör işletme düzeni: Kontrol Set'i ve Set-1 (ÇBD : (Çökelme, boşaltma ve dinlendirme).

4.1.2.2 Set 2

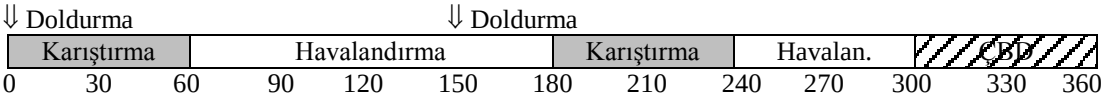
AKR işletme koşulları Set-1 ile benzerdir. Set-1'de karıştırma fazı sonunda daha düşük nitrat konsantrasyonlarına ulaşılıp ulaşılamadığının gözlenebilmesi amacıyla karıştırma fazı 30 dk uzatılmış ve 2 saat olarak reaktör işletilmiştir. Bu sette uygulanan AKR işletme düzeni Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4 : Ardışık Kesikli Reaktör işletme düzeni: Set-2 (ÇBD : Çökelme, boşaltma ve dinlendirme).

4.1.2.3 Set 3

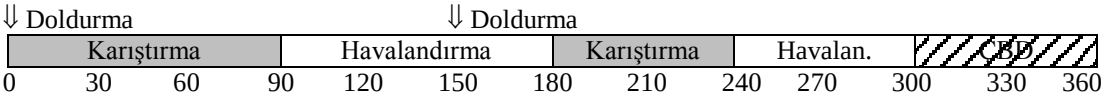
Bu sette, AKR işletme koşulları Set-3'de seçilen toplam karıştırma süresinin iki eşit sürede gerçekleştirilmesi ve her iki karıştırma fazının başlangıçlarında giriş atıksu debisinin eşit olarak sisteme verilmesi durumu incelenmiştir. Buna göre, toplam 2 saatlik karıştırma fazının ilki 0-60. dakikalar arasında, diğeri ise 180.-240. dakikalar arasında gerçekleştirilmiştir. Sisteme bir çevrimde verilen toplam atıksu debisi değiştirilmeden, her çevrimde iki kez (0. ve 180. dakikalarda) olmak üzere toplam atıksu debinin yarısı kadar atıksu beslemesi gerçekleştirilmiştir. Bu sette uygulanan AKR işletme düzeni Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5 : Ardışık Kesikli Reaktör işletme düzeni: Set-3 (ÇBD : Çökelme, boşaltma ve dinlendirme).

4.1.2.4 Set 4

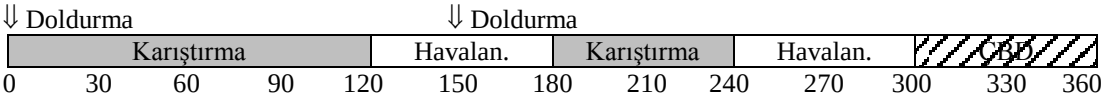
Bu sette, AKR işletme koşulları Set-3'te gerçekleştirilen ilk karıştırma fazının süresinin arttırılması dışında aynen uygulanmıştır. Buna göre, toplam karıştırma süresi 2,5 saat olarak gerçekleşmiştir. Toplam karıştırma fazının ilki 0-90. dakikalar arasında, diğeri ise 180.-240. dakikalar arasında gerçekleştirilmiştir. Sisteme bir çevrimde verilen toplam atıksu debisi değiştirilmeden, her çevrimde iki kez (0. ve 180. dakikalarda) olmak üzere toplam atıksu debinin yarısı kadar atıksu beslemesi gerçekleştirilmiştir. Bu sette uygulanan AKR işletme düzeni Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6 : Ardışık Kesikli Reaktör işletme düzeni: Set-4 (ÇBD : Çökelme, boşaltma ve dinlendirme).

4.1.2.5 Set 5

Bu sette, AKR işletme koşulları Set-3 ve Set-4'te sırasıyla 60 ve 90 dakika olarak uygulanan ilk karıştırma faz süresinin 120 dakikaya yükseltilmesi ile gerçekleşecek çıkış nitrat konsantrasyonlarındaki değişim gözlenmeye çalışılmıştır. Bunun dışındaki tüm diğer işletme şartları bahsedilen setler ile aynıdır. Bu sette uygulanan AKR işletme düzeni Şekil 4.7'te verilmiştir.



Şekil 4.7 : Ardışık Kesikli Reaktör işletme düzeni: Set-5 (ÇBD : Çökelme, boşaltma ve dinlendirme).

Deneysel çalışma süresince yürütülen tüm setlerde ardışık kesikli reaktörler için işletme koşulları Çizelge 4.1'de özetlenmiştir.

Çizelge 4.1: Ardışık Kesikli Reaktör işletme koşulları.

Parametre		Değeri
Çevrim süresi (saat)		6
Doldurma süresi (dk)		2-3
Karıştırma süresi (dk)	Kontrol	90
	Set-1	90
	Set-2	120
	Set-3	120+60
	Set-4	90+60
	Set-5	60+60
Havalandırma süresi (dk)	Kontrol	210
	Set-1	210
	Set-2	180
	Set-3	120+60
	Set-4	90+60
	Set-5	60+60
Çökelme süresi (dk)		45
Boşaltma süresi (dk)		4
Dinlenme süresi (dk)		11
Başlangıç hacmi (L)		1.0
Toplam hacim (L)		1.5
Sıcaklık (°C)		20±2

4.1.3 Atıksu karakterizasyonu

Evsel/kentsel nitelikli atıksu karakterine uygun olması amacıyla ISO 8192 yöntemine göre hazırlanan pepton ve mikro besi maddesi çözeltisi (Çözelti B) kullanılarak besleme için sentetik atık su hazırlanmıştır. Atıksu hazırlanırken çeşme suyu kullanılmıştır. Hazırlanan sentetik atıksu için kullanılan çözeltilerin bileşimi aşağıda Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.2: Pepton çözeltisi bileşimi.

Kimyasal madde	Formül	Miktar (g/l)
Pepton	-	16
Et ekstraktı	-	11
Üre	$H_2N\text{-}CO\text{-}NH_2$	3
Sodyum Klorür	NaCl	0,7
Kalsiyum klorür dihidrat	$CaCl_2.2H_2O$	0,4
Magnezyum Sülfat Heptahidrat	$MgSO_4.7H_2O$	0,2
Potasyum Fosfat	K_2HPO_4	2,8
Potasyum Dihidrojen Fosfat	KH_2PO_4	1,4

Çizelge 4.3: Solüsyon B Bileşimi

Kimyasal madde	Formül	Miktar (g/l)
Magnezyum Sülfat Heptahidrat	$MgSO_4.7H_2O$	15
Demir Sülfat Heptahidrat	$FeSO_4.7H_2O$	0,5
Çinko Sülfat Heptahidrat	$ZnSO_4.7H_2O$	0,5
Mangan Sülfat	$MnSO_4.H_2O$	0,7
Kalsiyum klorür dihidrat	$CaCl_2.2H_2O$	0,4

Pepton çözeltisi haftalık olarak 0,5 L'lik hazırlanmıştır ve +4 derecede saklanmıştır. ISO 8192 yönteminde çözelti potasyum dihidrojen fosfat içermemektedir. Kentsel atıksu karakterine daha uygun olması için bu çalışma sırasında kentsel/evsel atıksulardaki fosfor içeriği göz önünde bulundurularak pepton çözeltisine uygun miktarda potasyum dihidrojen fosfat ilave edilmiştir.

Pepton çözeltisi ile hazırlanan atıksuya Solüsyon B ilave edilmiştir. Biyolojik çoğalma için gerekli mikronütrientler Solüsyon B'den sağlanmıştır. Solüsyon B'nin içeriği Çizelge 4.3'te verilmiştir. Çözelti, koyu renkli cam numune saklama şişesinde uygun koşullarda saklanmıştır.

Besleme için kullanılan sentetik atıksu 12,5 g/l pepton çözeltisi, 4,5 g/l sol B çözeltisi içerecek şekilde çeşme suyu kullanılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan sentetik atıksu belirli aralıklarla analiz edilmiş ve kompozisyonu Çizelge 4.4'te verildiği gibi elde edilmiştir.

Çizelge 4.4: Sentetik atıksu karakteri.

Parametre	Konsantrasyon (mg/L)
KOİ	400 ± 10
TKN	65 ± 4
NH_3-N	48 ± 2
PO_4-P	12 ± 2
Klorür	75 ± 3
Sülfat	105 ± 5

4.1.4 İzleme programı

Deneysel çalışmada, yukarıda işletme koşulları verilen her sette toplam 4 çevrim bulunmaktadır. Deneysel sistem günlük ve detaylı çevrim içi analizler ile sadece son çevrim (4. çevrim) süresince izlenmiştir. Bu çevrimin diğer çevrimleri de temsil ettiği düşünülmüştür. Kontrol sisteminde çamur atılması ve OSA sistemlerinde (Set-

1'den Set-5'e) anaerobik biyoreaktör ile AKR arasındaki çamur geçişleri bu çevrim sırasında gerçekleştirilmiştir.

Herbir set sistem parametreleri (AKM, UAKM, iyonlar ve KOİ) kararlı dengeye ulaşana kadar günlük olarak izlenmiş, ardından bir çevrimin yarım saatlik aralıklar ile alınan numunelerin analizi ile detaylı olarak incelenmiştir. Buna göre sistem veriminin takibi,

- Günlük izlemeler
- Çevrim içi izlemeleri

olarak iki şekilde gerçekleştirilmiştir.

4.1.4.1 Günlük izlemeler

Günlük izlemeler, sistemin kararlı dengeye gelip gelmediğini gözlemlemek amacıyla aşağıda belirtilen noktalarda yapılmıştır.

1. Karıştırma fazlarının sonunda
2. Aerobik fazların sonunda
3. Çıkış atıksuyunda

Setlerin işletme düzenine göre çevrimlerdeki faz sayısı ve süreleri değiştiğinden alınan numune sayısı ve numune alma zamanları setler arasında farklılık göstermektedir.

Yukarıda belirtilen faz sonlarından ve çıkış atıksuyundan alınan numunelerde KOİ, amonyak ve anyon analizleri yapılmıştır. Reaksiyon fazı (aerobik) sonunda ise tam karışımdan alınan numunelerle günlük olarak TKM, UTKM, AKM ve UAKM değişimleri izlenmiştir.

Sentetik atıksu analizleri, stok çözeltilerin haftalık hazırlanması dolayısıyla haftada bir olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

Anaerobik biyorekatörde katı madde konsantrasyonlarının izlenmesi için reaktörün havasız şartlarda çalıştırılmasından dolayı açılmamasına gayret gösterilmiş ve en az haftada bir olacak şekilde biyoreaktörden AKR'ye gelen akım hattından numune

alınarak AKM, UAKM, TKM ve UTKM analizleri yapılmıştır. Ayrıca, bu numunede zaman zaman KOİ, amonyak ve anyon analizler yapılmıştır.

Çizelge 4.5'te çalışma süresince numune alma noktaları ve yürütülen analizler listesi verimiştir.

Çizelge 4.5: Çalışma süresince numune alma noktaları ve yürütülen analizler listesi

Numune alma noktası → Parametre ↓	Giriş	AKR*	Çıkış**	Anaerobik Devir***
Toplam KOİ	X			
Çözünmüş KOİ	X	X	X	X
TKN	X			
Amonyak	X	X	X	X
Çözünmüş anyonlar	X	X	X	X
TKM, AKM, UAKM		X	X	X

*Ardışık kesikli reaktörde faz sonlarında

**Ardışık kesikli reaktör çıkışında

*** Anaerobik biyoreaktörden AKR'ye giden çamur hattında

4.1.4.2 Çevrimiçi izlemeleri

Sistemin kararlı hale ulaştığı görüldükten sonra o deney setini temsil etmek üzere yukarıda günlük izleme noktalarına ilave olarak son çevrimde doldurma işleminden itibaren çevrimin sonuna dek yarım saat sıklıkla alınan numunelerde ölçümler yapılmıştır. Çevrim boyunca alınan bu numunelerde KOİ, amonyak ve anyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Çevrim içi ölçümlerde, bir önceki çevrim (3. çevrim) çıkışında ölçülen değerler t=0 anındaki (reaktör dolmaya başlamadan önce V0 hacmindeki) değer olarak gözönüne alınmıştır.

Çevrim içi detaylı analiz gerçekleştirilen günlerde anaerobik biyoreaktörden AKR'ye gelen akımda yukarıda günlük izlemeler kapsamında gerçekleştirilen izlemeler de gerçekleştirilmiştir. Aynı gün giriş atıksuyu da analiz edilmiştir.

4.2 Analitik Methodlar

Deneysel çalışmada yürütülen günlük ve çevrim içi izlemelerde Askıda Katı Madde (AKM), Uçucu Askıda Katı Madde (UAKM), Toplam Katı Madde (TKM), Uçucu Toplam Katı Madde (UTKM), Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ), Toplam Kjeldahl Azotu (TKN) analizleri Standart Metotlarda verilen prosedüre uygun olarak

yapılmıştır (APHA, 2005). KOİ analizleri için kapalı reflux yöntemi tercih edilmiştir. Bu analizler için, katı maddeler dışındaki numuneler Whatman GF/C cam elyaf filtreden (0,45 µm) süzülmüştür.

Yürütülen anyon (ortofosfat, klorür, sülfat, florür, nitrit ve nitrat) analizleri için Dionex marka ICS-1500 model bir iyon kromotograf kullanılmıştır (Şekil 4.8). Numuneler 0,22 µm filtreden süzülmüştür.



Şekil 4.8 : İyon kromotograf görüntüsü.

5. SONUÇLAR

Bu çalışma, evsel/kentsel nitelikli atıksuların biyolojik arıtımı gerçekleştirilirken OSA proses uygulaması ile çamur minimizasyonu sağlanırken biyolojik arıtma sistem verimini bozmadan azot gideriminin sağlandığını göstermek bununla birlikte optimum işletme şartlarının belirlenmesi amaçlı yapılmıştır.

Çalışma boyunca evsel atıksu karakterine uygun hazırlanmış sentetik atıksu özellikleri değiştirilmezken, paralel olarak işletilen iki sistemde işletme şartları değiştirilerek optimum azot giderimi ve çamur minimizasyonunun belirlenmesine çalışılmıştır.

Çalışma, kontrol reaktörü olarak işletilen bir AKR sistemi ve beş OSA işletme düzeninde işletilen sistemden olmak üzere 6 setten oluşmaktadır.

5.1 Alışma Devresi

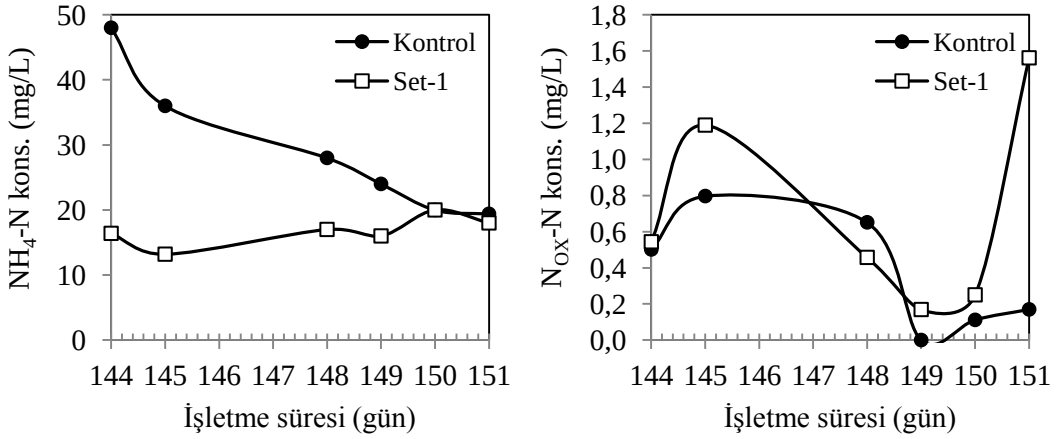
Deneysel çalışma, ön-denitrifikasyon sistemi düzeninde çalışan bir klasik aktif çamur seti (kontrol) ve bir OSA işletme düzeninde çamur atılmaksızın anaerobik biyoreaktöre çamur devri ile gerçekleştirilen set (Set-1) ile başlatılmıştır. Biyolojik besi maddesi gideren ve evsel atıksu karakterinde atıksu kabul eden bir aktif çamur tesisinin havalandırma havuzundan alınan çamur ile başlatılmıştır. Anaerobik biyoreaktör ise bu çamurun bir hafta süreyle havasız şartlarda tutulması ile elde edilmiştir. Bu devreye ait katı madde ve anyon izlemelerine ait sonuçlar Ek-A'da sunulmaktadır.

5.2 Klasik Aktif Çamur Sistemi ve OSA Sisteminde Besi Maddesi Gideriminin Karşılaştırılması

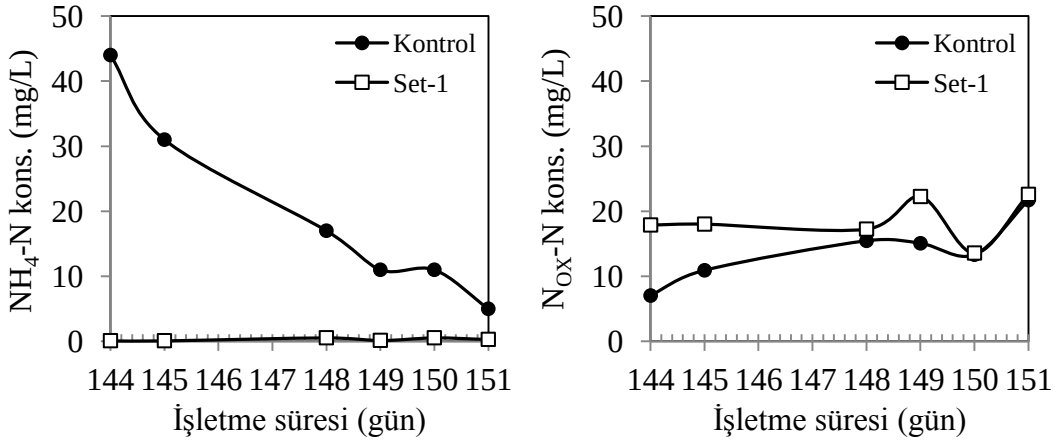
Kontrol seti ve Set-1, atıksu özellikleri ve işletme özellikleri açısından aynı olan setlerdir. Bu setler ile, çamur atılan klasik aktif çamur sistemi ile OSA işletme düzeninde bir anaerobik biyoreaktöre çamurun iletildiği durum karşılaştırılmak

istenmiştir. Bu amaçla, her iki sette elde edilen çamur oluşumları ve azot formlarının değişimleri izlenmiştir.

Yürütülen günlük izlemelerde elde edilen amonyak ve oksitlenmiş azot (N_{ox}) konsantrasyonlarının değişimleri Şekil 5.1'de verilmiştir.



Karıştırma fazı sonu (90. dk)



Havalandırma fazı sonu NH_4-N ve N_{ox}-N (300. dk)

Şekil 5.1: Kontrol seti ve Set-1 için amonyak ve oksitlenmiş azot değerlerinin günlük değişimleri.

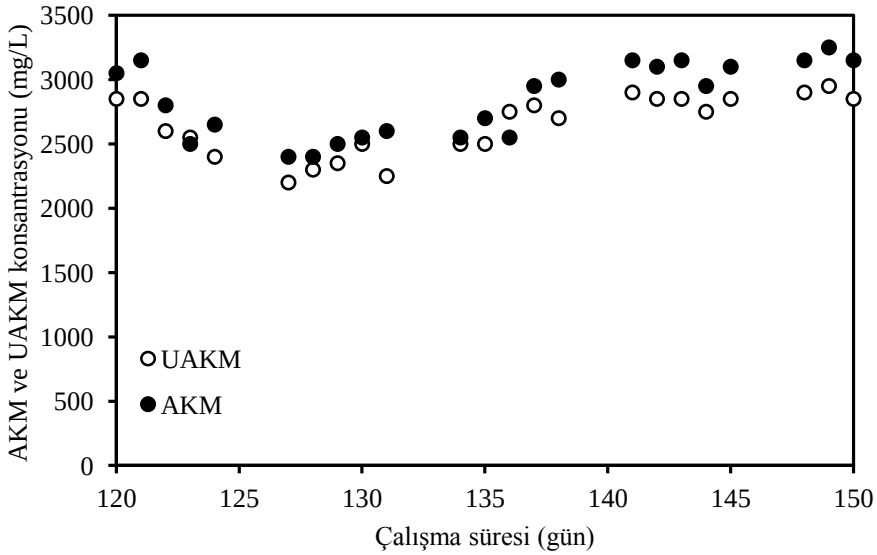
Çizelge 5.1'de bu setlerin karıştırma fazı sonrası ve havalandırma fazı sonrası (aynı zamanda çıkış) KOİ, anyon ve amonyak konsantrasyonlarının günlük ortalama değerleri verilmektedir.

Çizelge 5.1: Kontrol ve Set-1 günlük KOİ, anyon ve amonyak konsantrasyonu ortalama değerleri.

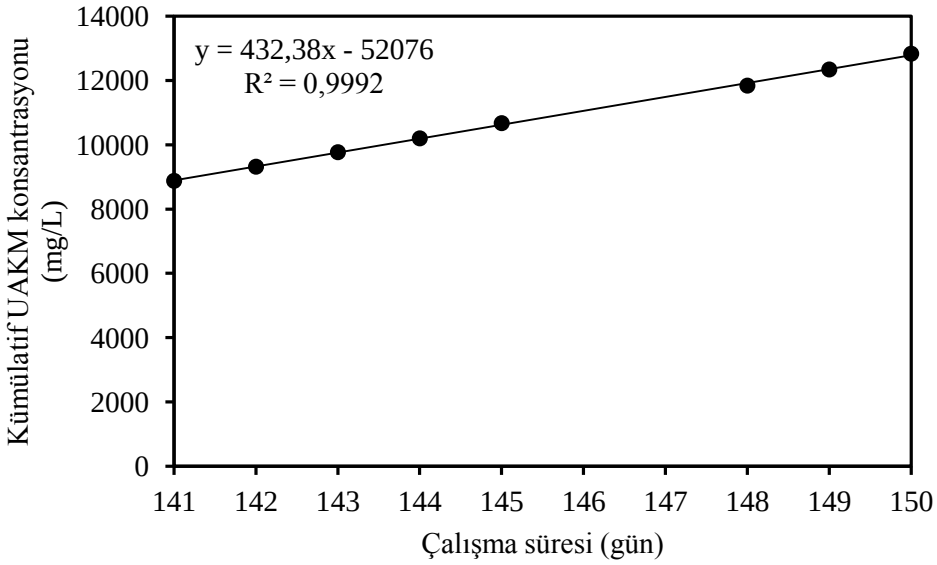
Set↓	Parametre→	SO_4	NO_2-N	NO_3-N	PO_4-P	N_{ox}-N	NH_4-N	KOİ
		mg/L						
Kontrol	Karıştırma sonu (90 dk)	93±4	0,1±0,1	0,1±0,2	10,1±1,7	0,3±0,4	22,9±4,0	54±9
	Havalandırma sonu (210 dk)	93±4	0,4±0,1	16,0±3,7	6,5±2,1	16,4±3,7	11,0±4,9	17±1
Set-1	Karıştırma sonu (90 dk)	94±5	0,4±0,4	0,2±0,2	11,7±1,2	1,6±1,0	17.8±1,7	44±7
	Havalandırma sonu (210 dk)	94±5	0,4±0,4	18,1±3,7	10,6±2,6	18,9±4,3	0,4±0,2	21±6

Çizelge 5.1'den de görüldüğü üzere her iki sistem de KOİ giderimini yüksek verimle gerçekleştirebilmektedir. Fosfor giderimi açısından bakıldığında, kontrol sisteminin çıkışında nispeten daha düşük fosfor konsantrasyonlarına ulaşılsa da standartları sağlayacak düzeyde giderim verimi elde edilemediği görülmektedir.

Kontrol setinde havalandırma fazı sonunda alınan katı madde örneklerinden elde edilen AKM ve UAKM konsantrasyonlarının günlük değişimi Şekil 5.2'de verilmiştir. Ayrıca, bu set için günlük oluşan/sistemden atılan (atılan çamur, çıkış suyu ile kaçma ve numune alımı ile) UAKM miktarlarının kümülatif toplamı grafikleştirilerek (Şekil 5.3) kontrol reaktöründen uzaklaşan ortalama UAKM miktarının günlük 432,4 gram olduğu hesaplanmıştır.

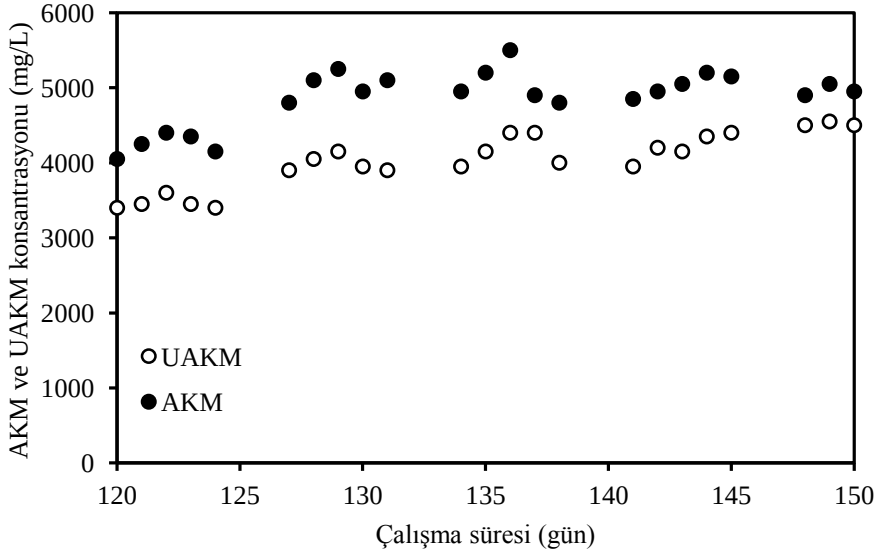


Şekil 5.2: Kontrol setine ait AKM ve UAKM konsantrasyonlarının günlük değişimi.

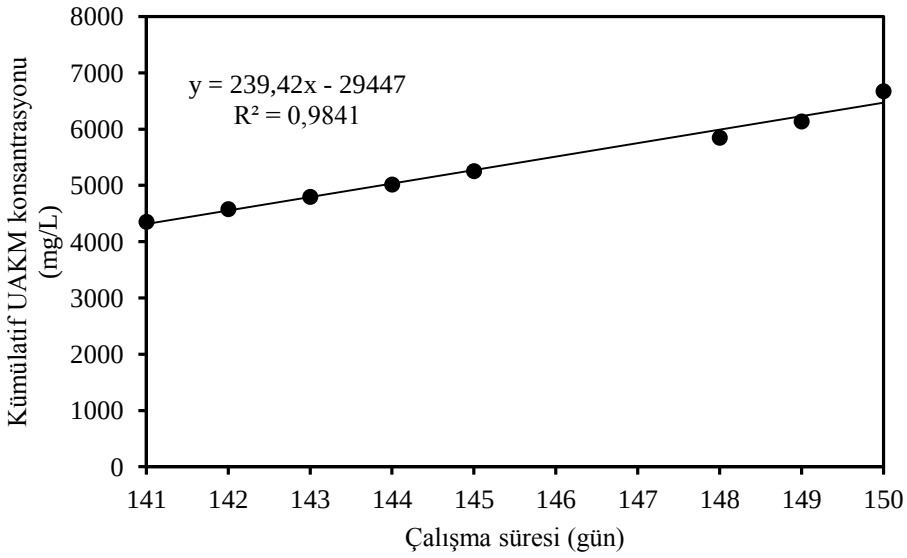


Şekil 5.3: Kontrol setine ait günlük oluşan/sistemden atılan UAKM miktarlarının kümülatif toplamı.

Set-1 havalandırma fazı sonunda alınan katı madde örneklerinden elde edilen AKM ve UAKM konsantrasyonlarının günlük değişimi Şekil 5.4'de ve bu set için günlük oluşan/sistemden atılan UAKM miktarlarının kümülatif toplamı Şekil 5.5'te verilmiştir. Çıkış suyu ile kaçma ve numune alımı dolayısıyla bu sette reaktörden uzaklaşan ortalama UAKM miktarı günlük 239,4 mg'dır. Buna göre ***kontrol reaktöründen %47 daha az katı madde oluşumu*** sağlanmıştır.



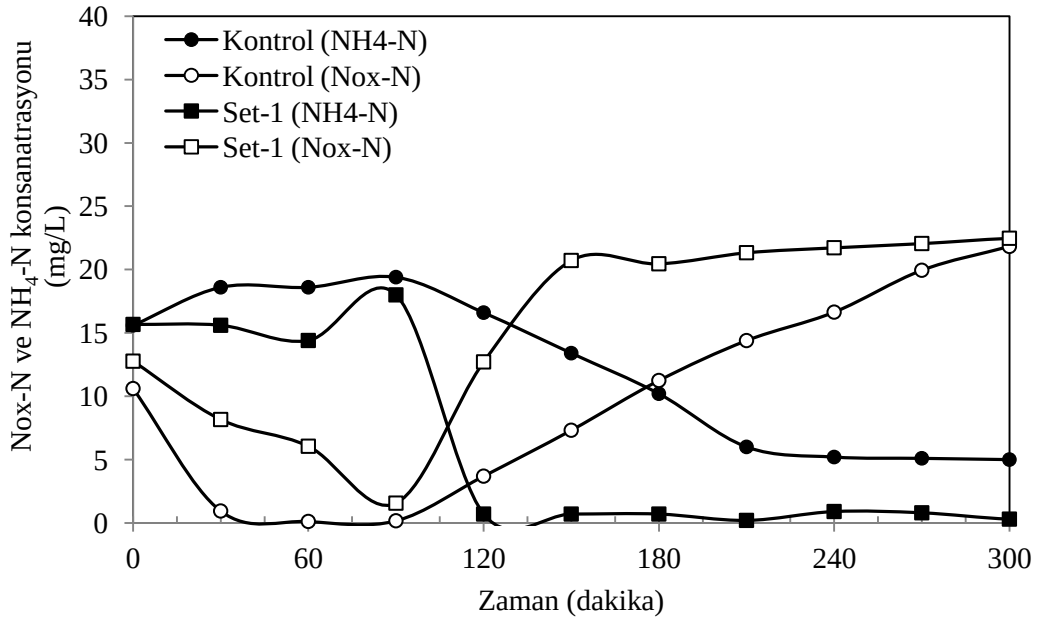
Şekil 5.4: Set-1'e ait AKM ve UAKM konsantrasyonlarının günlük değişimi.



Şekil5.5: Set-1'e ait günlük oluşan/sistemden atılan UAKM miktarlarının kümülatif toplamı.

Azot bileşiklerini baktığımızda ise, 90 dakikalık karıştırma fazı sonunda amonyak konsantrasyonunun kontrol sisteminde günlük olarak azalmaya devam ederken yaklaşık 20 mg/L civarında sabitlendiği görülmektedir. OSA sisteminde (Set-1) ise daha dengeli ve nispeten düşük amonyak konsantrasyonları gözlenmiştir. Bu durumun, kontrol sisteminde OSA sistemine nazaran çıkış amonyak konsantrasyonlarının daha yüksek olmasından düşünülmektedir. Oksitlenmiş azot formlarının ise her iki sistemin çıkışlarında günlük değişimler olmasına rağmen oldukça yakın seyrettikleri görülmektedir. Ayrıca, oksitlenmiş azot formlarından baskın olanın nitrat olduğu, kararsız bir bileşik olan nitritin sistemde oldukça düşük konsantrasyonlarda olduğu gözlenmiştir.

Özellikle azot giderimine yönelik olarak çalıştırılan bu sistemlerin (kontrol ve Set-1) detaylı çevrim içi analizleri de yapılmıştır. Şekil 5.6'da, her iki set için bir çevrim süresince amonyak ve oksitlenmiş azot konsantrasyonlarının değişimi verilmektedir.



Şekil 5.6: Kontrol ve Set-1 için çevrim süresince amonyak ve oksitlenmiş azot konsantrasyonlarının değişimi.

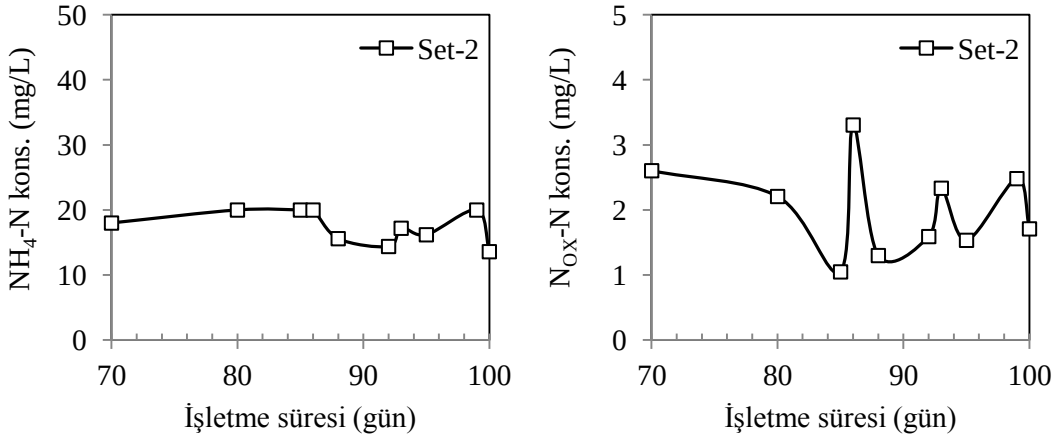
Şekilden de görüldüğü üzere, çevrim süresince izlenen göreceli düşük amonyak konsantrasyonlarına karşılık OSA sisteminin klasik aktif çamur sistemi ile yaklaşık aynı çıkış oksitlenmiş azot konsantrasyonlarına ulaştığı belirlenmiştir. OSA sisteminde havalandırma fazının başlaması ile birlikte yüksek hızlı bir nitrat oluşumu sözkonusudur. Ayrıca, amonyak azotunun da havalandırma ile birlikte hızla düşmesi ve tükenmesinden sonra nitrat konsantrasyonunda herhangi bir değişim görülmemektedir.

Kontrol ve Set-1'in günlük ve detaylı izlenen çevrim süresince alınan numunelerde yapılan analizlere ait tüm sonuçlar Ek-B'de verilmiştir.

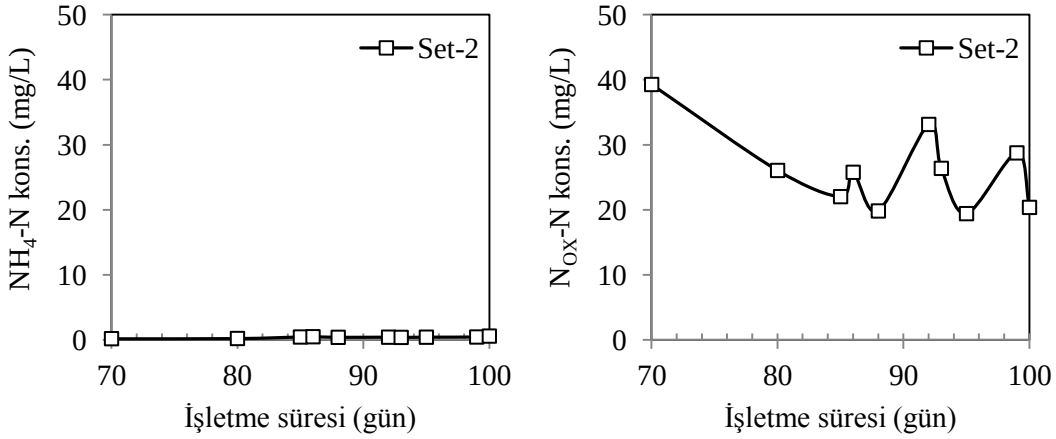
5.3 Tek Beslemeli Besleme Düzeninde Anoksik Faz Süresinin Etkisi

Set-1 sisteminde azot gideriminin arttırılmasına yönelik olarak anoksik faz süresinin toplam reaksiyon faz süresine oranının (T_{anox}/T_c) arttırılmasının çıkış nitrat konsantrasyonuna etkisini araştırmak üzere başlangıç karıştırma süresi 90 dakikadan 120 dakikaya çıkarılmıştır. Bunun için havalandırma süresi 210 dakikadan 180 diakikaya düşürülmüştür.

Set-2 olarak adlandırılan bu sette yürütülen günlük izlemelerde elde edilen amonyak ve oksitlenmiş azot (N_{ox}) konsantrasyonlarının değişimleri Şekil 5.7'de verilmiştir.



Karıştırma fazı sonu NH_4-N ve N_{ox}-N (120. dk)



Havalandırma fazı sonu NH_4-N ve N_{ox}-N (300. dk)

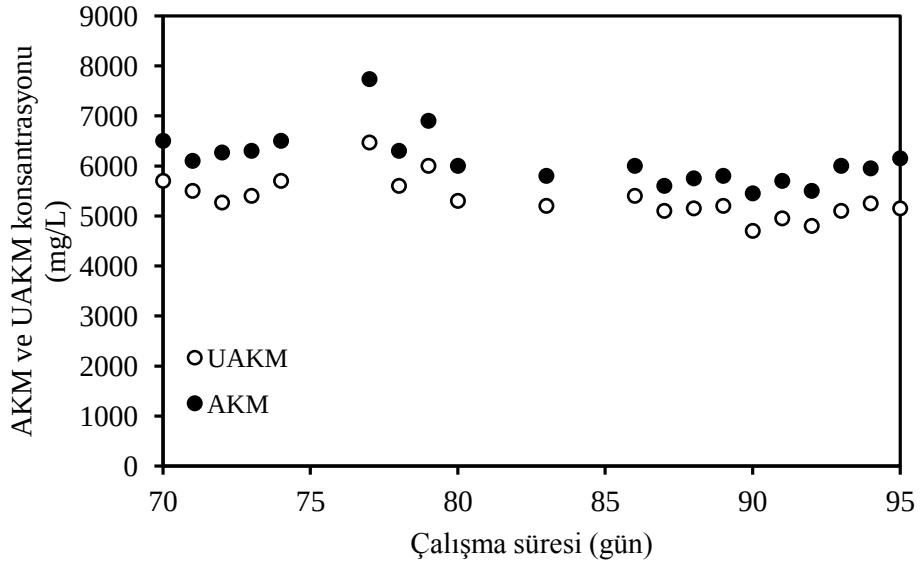
Şekil 5.7: Set-2 için Amonyak ve oksitlenmiş azot değerlerinin günlük değişimleri.

Çizelge 5.2'de ise bu setin karıştırma fazı sonrası ve havalandırma fazı sonrası (aynı zamanda çıkış) KOİ, anyon ve amonyak konsantrasyonlarının günlük ortalama değerleri verilmektedir.

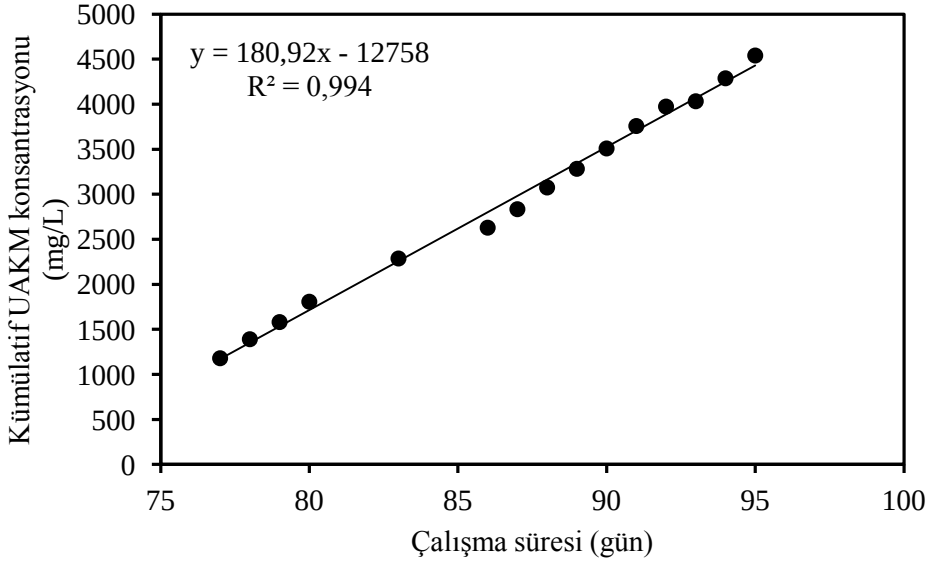
Çizelge 5.2: Set-2 günlük KOİ, anyon ve amonyak konsantrasyonu ortalama değerleri.

Set↓	Parametre→	SO_4	NO_2-N	NO_3-N	PO_4-P	N_{ox}-N	NH_4-N	KOİ
					mg/L			
Set-2	Karıştırma sonu (120 dk)	111±4	0,9±0,9	0,9±0,7	11,6±1,0	1,8±0,5	16,2±2,3	26±8
	Havalandırma sonu (180 dk)	113±2	0,1±0,1	24,5±5,6	11,4±1,6	24,7±5,7	0,4±0,1	18±1

Bu sette (Set-2) havalandırma fazı sonunda alınan katı madde örneklerinden elde edilen AKM ve UAKM konsantrasyonlarının günlük değişimi Şekil 5.8'de ve bu set için günlük oluşan/sistemden atılan (çıkış suyu ile kaçma ve numune alımı ile) UAKM miktarlarının kümülatif toplamı Şekil 5.9'da verilmiştir. Buna göre, çıkış suyu ile kaçma ve numune alımı ile bu sette reaktörden uzaklaşan ortalama UAKM miktarı günlük 180,9 mg'dır. Buna göre ***kontrol reaktöründen %65,6 daha az katı madde oluşumu*** sağlanmıştır.

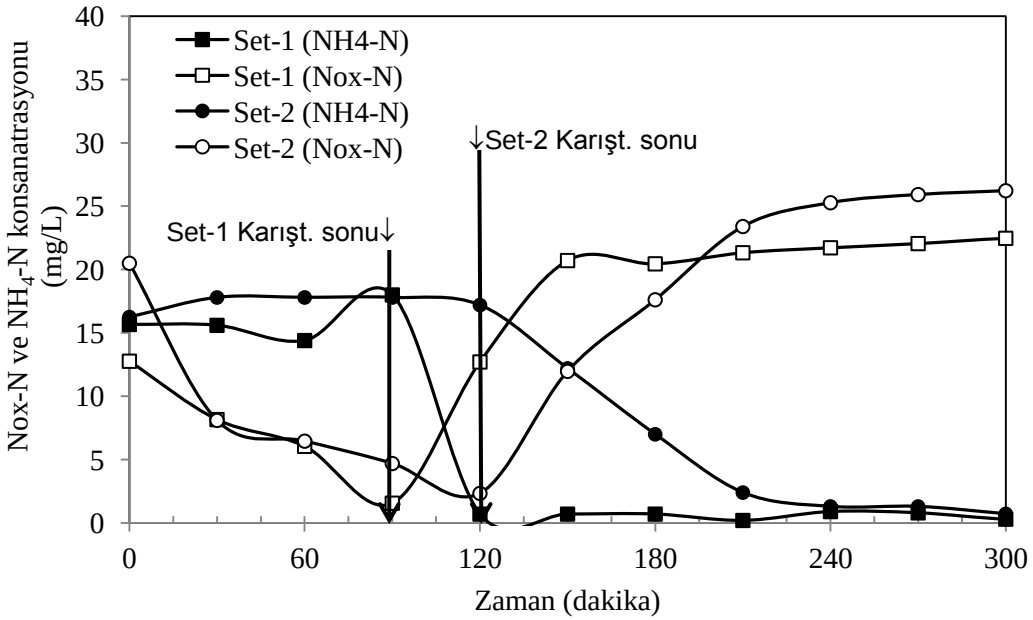


Şekil 5.8: Set-2'ye ait AKM ve UAKM konsantrasyonlarının günlük değişimi



Şekil 5.9: Set-2'ye ait günlük oluşan/sistemden atılan UAKM miktarlarının kümülatif toplamı

Bu sette T_{anox}/T_c oranının arttırılmasının azot bileşikleri (amonyak ve oksitlenmiş azot) üzerine etkisini görebilmek amacıyla Set-1 ve Set-2'de bu bileşiklerin çevrim süresince değişimleri yapılan çevrim içi detaylı analizler ile gözlenmiştir. Şekil 5.10'da, her iki set için bir çevrim süresince amonyak ve oksitlenmiş azot konsantrasyonlarının değişimi görülmektedir.



Şekil 5.10: Set-1 ve Set-2 için çevrim süresince amonyak ve oksitlenmiş azot konsantrasyonlarının değişimi.

Şekilden de görüldüğü üzere, karıştırma fazının arttırılması özellikle havalı fazda amonyak konsantrasyonlarının değişiminde önemli bir etki yaratmıştır. Amonyak azalması daha yavaşlarken buna karşılık çıkış nitrat konsantrasyonu daha yüksek gerçekleşmiştir. Bunun sonucu olarak reaksiyon fazı başında daha yüksek nitrat konsantrasyonu bulunan Set-2'de beklenen düşük nitrat konsantrasyonlarına 120. dakikada da ulaşılamamıştır.

Bu sette elde edilen bilgiler ışığında azot giderimini optimize etmek amacıyla iki kademeli besleme düzenine geçilmesinin azot giderimi açısından uygulanabilirliğinin ortaya konulması hedeflenmiştir.

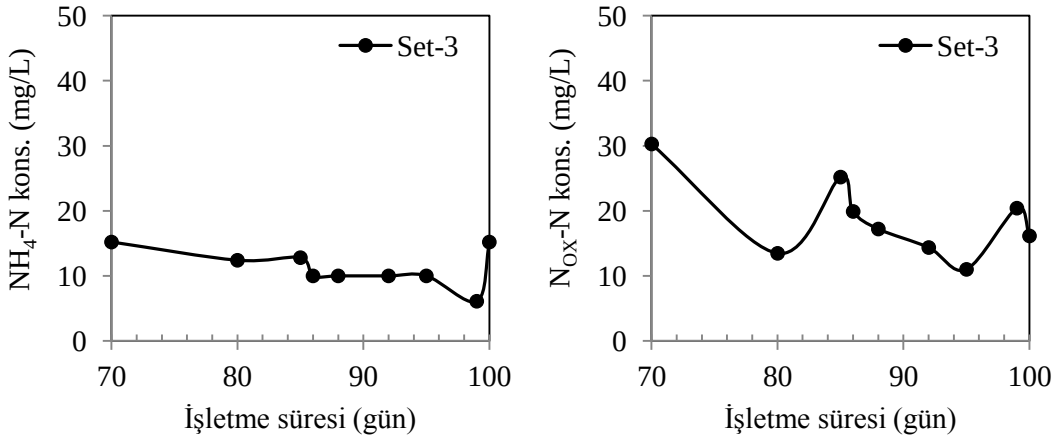
Set-2'in günlük ve detaylı izlenen çevrim süresince alınan numunelerde yapılan analizlere ait tüm sonuçlar Ek-B'de verilmiştir.

5.4 Besleme Düzeninin Etkisi

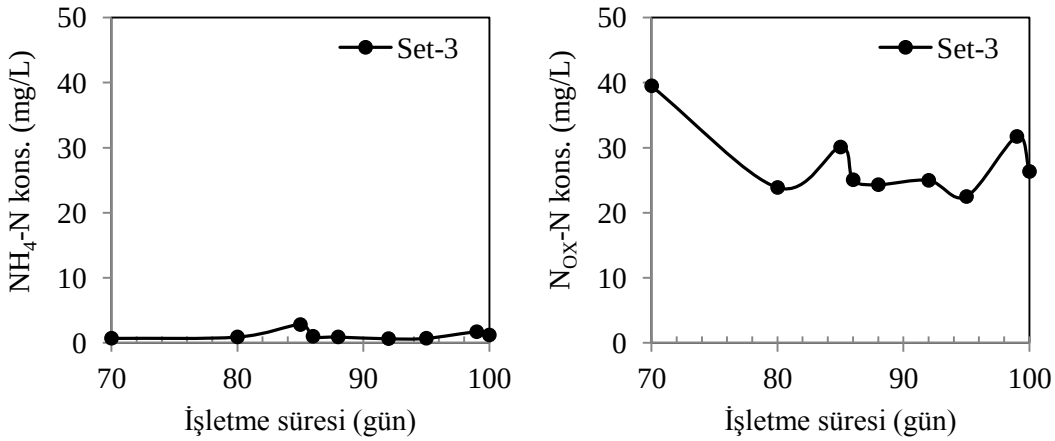
Besleme düzeninin azot giderimindeki etkisi gözönünde bulundurularak (Orhon ve Artan, 2005), OSA sisteminde yürütülen ilk iki sette reaksiyon bazı başında yapılan hızlı besleme (2-3 dk) düzeninde beslenen ardışık kesikli reaktör sisteminden iki aşamalı besleme düzenine geçilmiştir. Buna göre, sentetik atıksu birkaç dakika içerisinde, yarısı reaksiyon fazı başında (0. dk) diğeri ise 180. dk'da olmak üzere iki eşit hacimde (1/2 V_F) olacak şekilde ardışık kesikli reaktöre beslenmiştir.

Set-3 olarak adlandırılan sette toplam karıştırma süresi değiştirilmeden tek ve iki kademeli besleme düzenlerinde çıkış nitrat konsantrasyonun değişimi gözlenmeye çalışılmıştır. Bu sette ilk beslemeyi takiben 60 dk. karıştırma, sonrasında da ikinci beslemeye kadar 120 dk havalandırma gerçekleştirilmiştir. İkinci beslemenin ardından ise 1 saat karıştırma ve 1 saat havalandırma yapılmıştır. Buna göre, Set-3'te $\mathbf{T_{anox}/T_c}$ oranı 0,40 olarak gerçekleşmiştir. Bu durumda Set-2 ve Set-3 T_{anox}/T_c oranları aynı ancak besleme düzenleri farklı iki set olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu sette (Set-3) yürütülen günlük izlemelerde elde edilen amonyak ve oksitlenmiş azot (Nox) konsantrasyonlarının değişimleri ikinci besleme öncesi ve sonrası olmak üzere sırasıyla Şekil 5.11 ve Şekil 5.12'de verilmiştir.

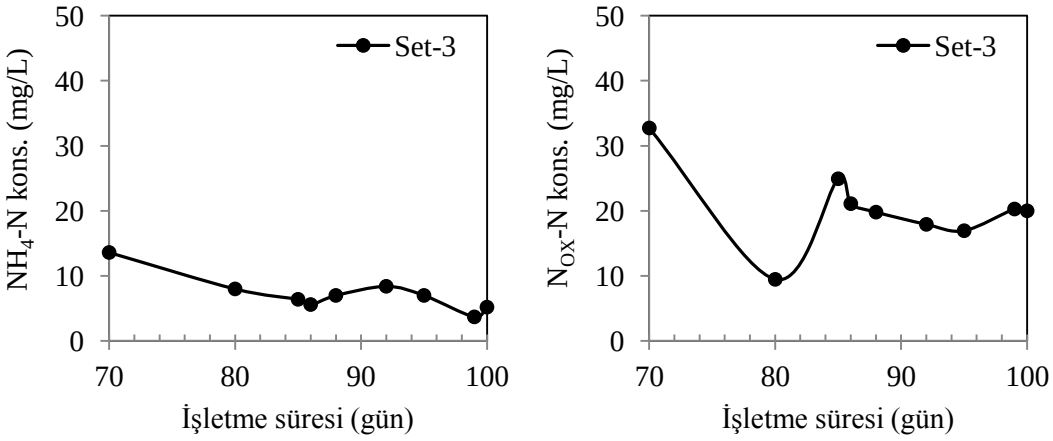


Karıştırma fazı sonu NH_4-N ve N_{ox}-N (60. dk)

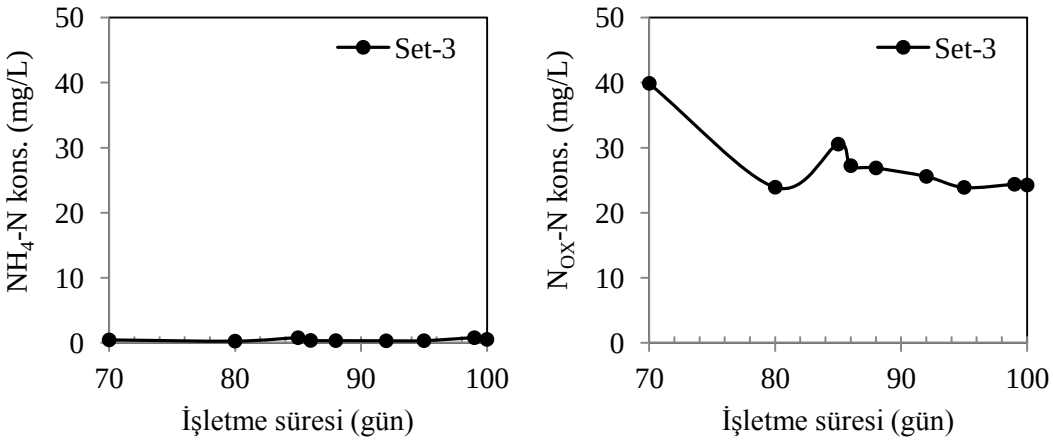


1. Havalandırma fazı sonu NH_4-N ve N_{ox}-N (180. dk)

Şekil 5.11: Set-3 için ikinci besleme öncesi karıştırma ve havalandırma fazları sonunda amonyak ve oksitlenmiş azot değerlerinin günlük değişimleri.

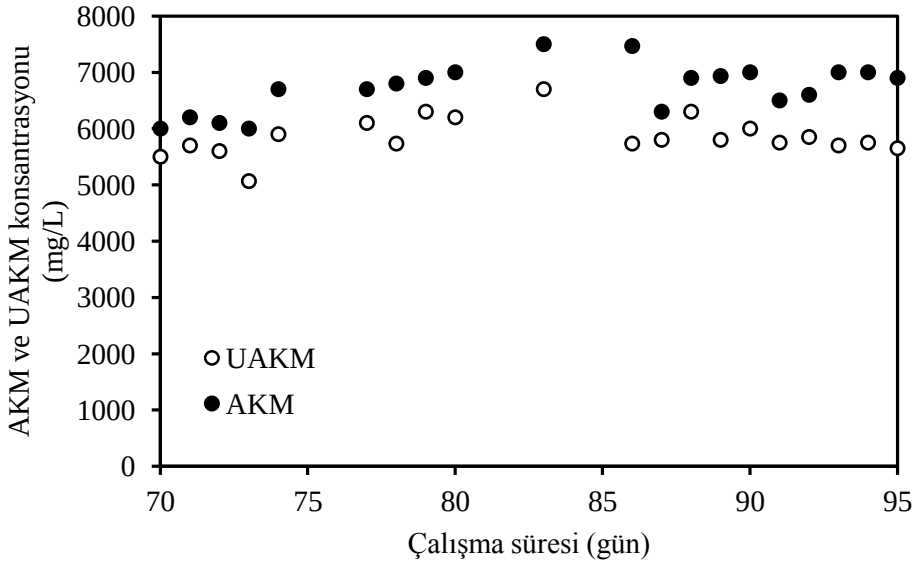


2. Karıştırma fazı sonu NH_4-N ve N_{ox}-N (240. dk)

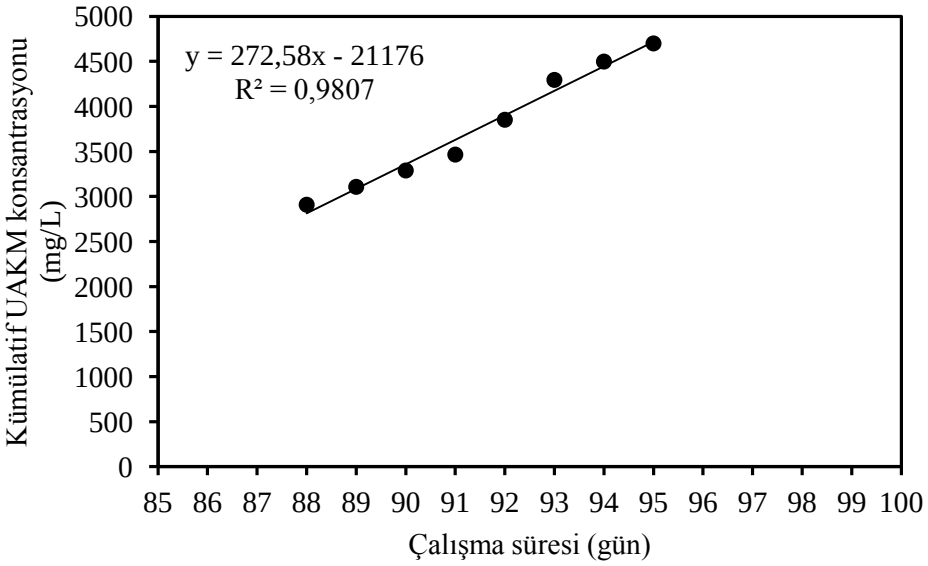


2. Havalandırma fazı sonu NH_4-N ve N_{ox}-N (300. dk)

Şekil 5.12: Set-3 için reaksiyon fazı başlangıcından ikinci beslemeye kadar karıştırma ve havalandırma fazları sonunda amonyak ve oksitlenmiş azot değerlerinin günlük değişimleri.



Şekil 5.13: Set-3'e ait AKM ve UAKM konsantrasyonlarının günlük değişimi.



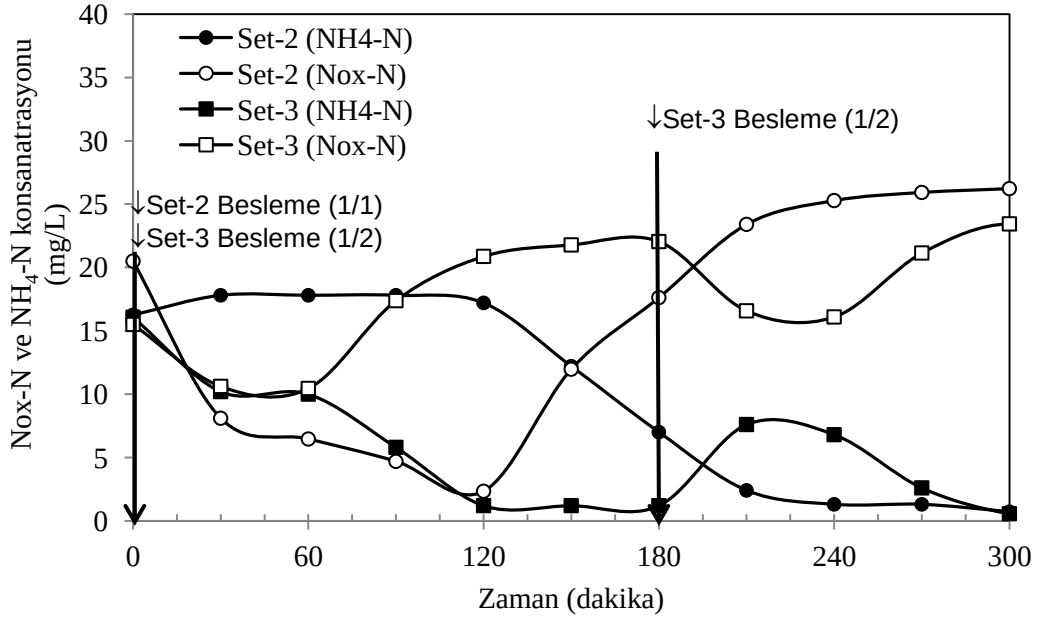
Şekil 5.14: Set-3'e ait günlük oluşan/sistemden atılan UAKM miktarlarının kümülatif toplamı.

Çizelge 5.3'te ise bu setin (Set-3) karıştırma fazı sonrası ve havalandırma fazı sonrası (aynı zamanda çıkış) KOİ, anyon ve amonyak konsantrasyonlarının günlük ortalama değerleri verilmektedir.

Bu sette besleme düzeninin değiştirilmesinin azot bileşikleri (amonyak ve oksitlenmiş azot) üzerine etkisini görebilmek amacıyla Set-2 ve Set-3'te bu bileşiklerin çevrim süresince değişimleri yapılan çevrim içi detaylı analizler ile gözlenmiştir. Şekil 5.15'te, her iki set için bir çevrim süresince amonyak ve oksitlenmiş azot konsantrasyonlarının değişimi görülmektedir.

Çizelge 5.3: Set-3 günlük KOİ, anyon ve amonyak konsantrasyonu ortalama değerleri.

Set↓	Parametre→	SO_4	NO_2-N	NO_3-N	PO_4-P	N_{ox}-N	NH_4-N	KOİ
		mg/L						
Set-3	1.Karıştırma sonu (60 dk)	108±7	4,9±2,2	10,5±2,4	12,1±0,8	15,5±3,9	10,3±3,7	36±4
	1.Havalandırma sonu (120 dk)	110±6	0±0,1	26,3±3,9	12,6±1,1	26,4±3,9	1,1±0,5	19±7
	2.Karıştırma sonu (60 dk)	109±6	2,3±1,4	17,6±2,3	11,9±0,8	18,8±1,6	6,1±2,1	23±7
	2.Havalandırma sonu (60 dk)	111±6	0,1±0,0	26,6±3,1	12,3±0,9	24,5±0,7	0,4±0,2	11±4



Şekil 5.15: Set-1 ve Set-2 için çevrim süresince amonyak ve oksitlenmiş azot konsantrasyonlarının değişimi.

Şekilden de görüldüğü üzere, besleme düzeninin iki kademeli hale getirilmesi karıştırma fazının arttırılması toplam anoksik (karıştırma) süreleri aynı iki sistemde çıkış Nox konsantrasyonlarını nispeten düşürücü bir etki göstermiştir. Her iki sistemde de gerek KOİ gerekse amonyak giderimleri oldukça yüksektir. OSA sistemi düzeninde işletilen sistemlerde klasik aktif çamur sistemine nazaran daha yüksek amonyak giderimleri gözlenebilmiştir.

Bu sette elde edilen bilgiler ışığında, azot giderimini optimize etmek amacıyla iki kademeli besleme düzeninde çalışan ardışık kesikli reaktör olarak işletilen OSA sistemlerinde anoksik faz süresinin etkisinin ortaya konması hedeflenerek deneysel çalışmalara devam edilmiştir.

Set-3'ün günlük ve detaylı izlenen çevrim süresince alınan numunelerde yapılan analizlere ait tüm sonuçlar Ek-B'de verilmiştir.

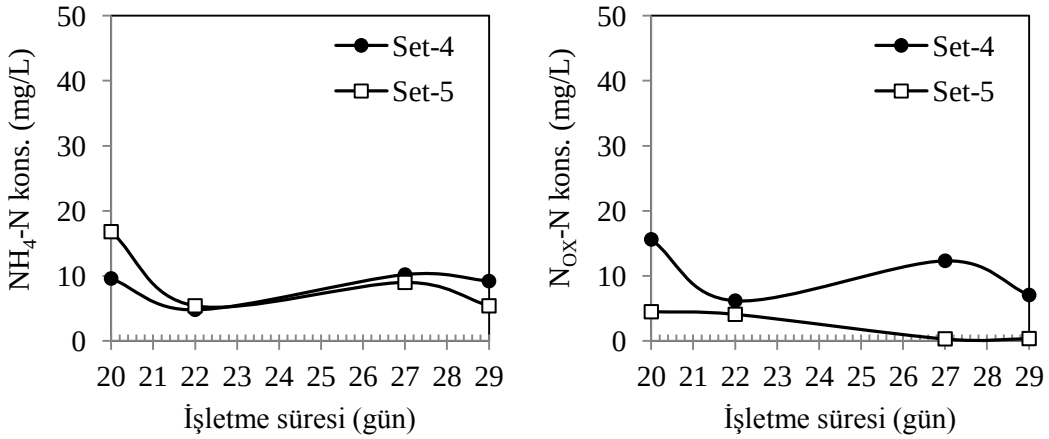
5.5 İki kademeli Besleme Düzeninde Anoksik Faz Süresinin Etkisi

Set-4 ve Set-5 olarak adlandırılan setlerde anoksik faz süresinin toplam reaksiyon faz süresine oranının (T_{anox}/T_c) arttırılmasının çıkış nitrat konsantrasyonuna etkisinin belirlenmesine çalışılmıştır. Bu setler ile aynı besleme rejimine sahip Set-3'te 60 dk olan 1. karıştırma süresi Set-4 ve Set-5'te sırasıyla 90 ve 120 dk'ya çıkarılmıştır. Set-3'te olduğu gibi, İkinci beslemeye (180. dakikaya kadar) kadar olan sürede reaktör havalandırılmış, ikinci beslemenin ardından ise 1 saat karıştırma ve 1 saat havalandırma yapılmıştır. Buna göre, Set-3, Set-4 ve Set-5'te $\mathbf{T_{anox}/T_c}$ oranı sırasıyla 0,40, 0,50 ve 0,60 olarak gerçekleşmiştir.

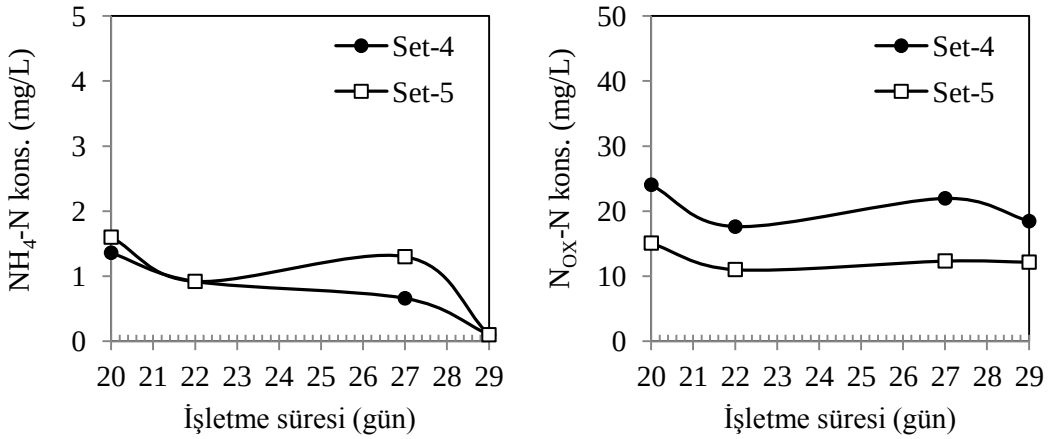
Set-4 ve Set-5'te yürütülen günlük izlemelerde elde edilen amonyak ve oksitlenmiş azot (N_{ox}) konsantrasyonlarının değişimleri ikinci besleme öncesi ve sonrası olmak üzere sırasıyla Şekil 5.16 ve Şekil 5.17'de verilmiştir.

Set-4 ve Set-5'te havalandırma fazı sonunda alınan katı madde örneklerinden elde edilen AKM ve UAKM konsantrasyonlarının günlük değişimleri sırasıyla Şekil 5.18 ve Şekil 19'da verilmektedir. Ayrıca, bu setlerde günlük oluşan/sistemden atılan (çıkış suyu ile kaçma ve numune alımı ile) UAKM miktarlarının kümülatif toplamı sırasıyla Şekil 5.20 ve Şekil 5.21'de verilmiştir.

Buna göre, çıkış suyu ile kaçma ve numune alımı ile bu sette reaktörden uzaklaşan ortalama UAKM miktarı Set-4 için günlük 110,7 mg, Set-5 için ise günlük 159,9 mg'dır. Buna göre ***kontrol reaktörüne göre Set-4'te %73,9, Set-5'te %69,5 daha az katı madde oluşumu*** sağlanmıştır.

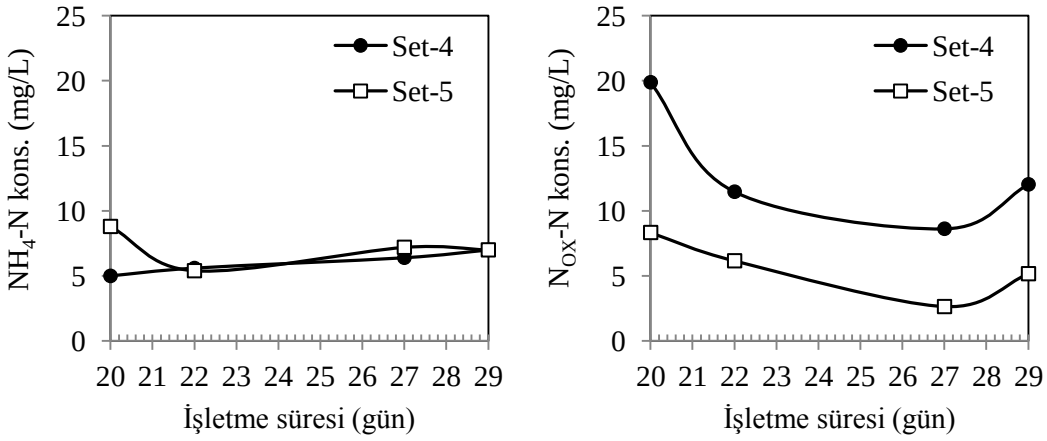


1. Karıştırma fazı sonu NH_4-N ve N_{ox}-N (Set-4 için 60. dk; Set-5 için 90. dk))

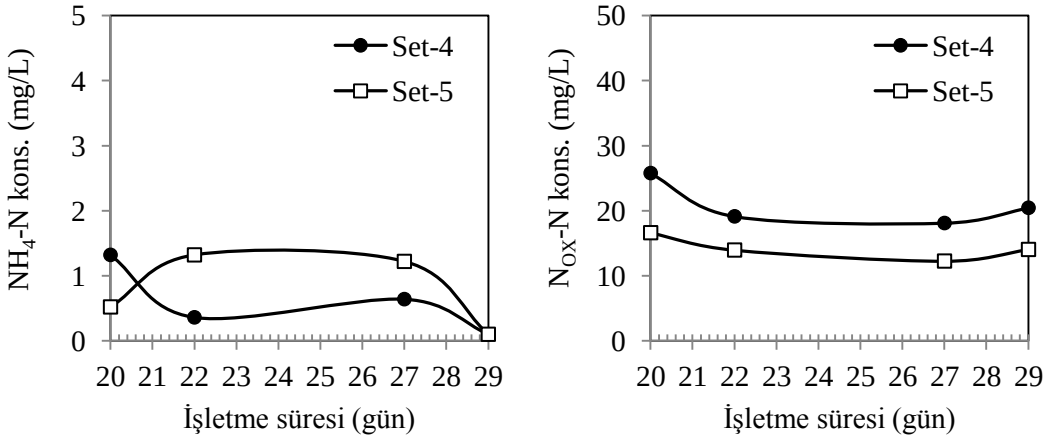


1. Havalandırma fazı sonu NH_4-N ve N_{ox}-N (180. dk)

Şekil 5.16: Set-4 ve Set-5 için ikinci besleme öncesi karıştırma ve havalandırma fazları sonunda amonyak ve oksitlenmiş azot değerlerinin günlük değişimleri.

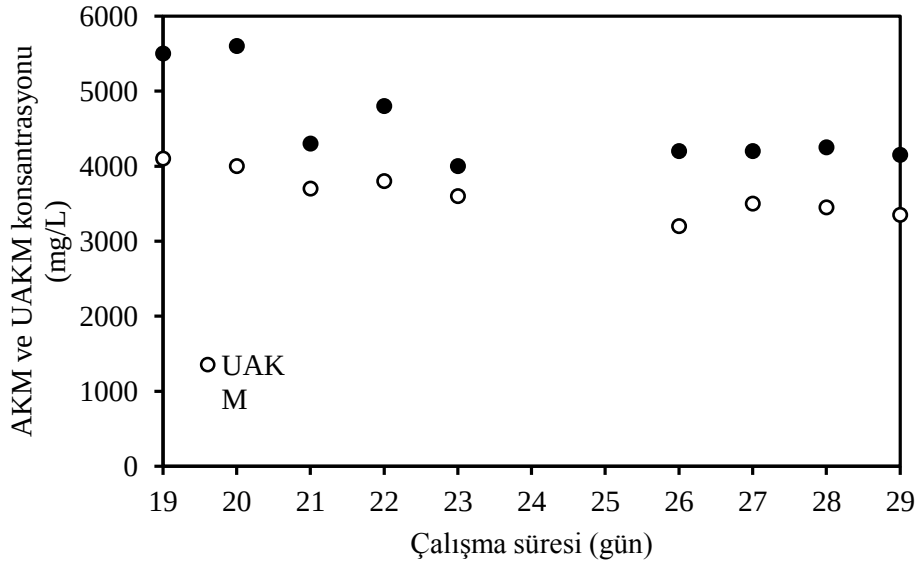


2. Karıştırma fazı sonu NH_4-N ve N_{ox}-N (240. dk)

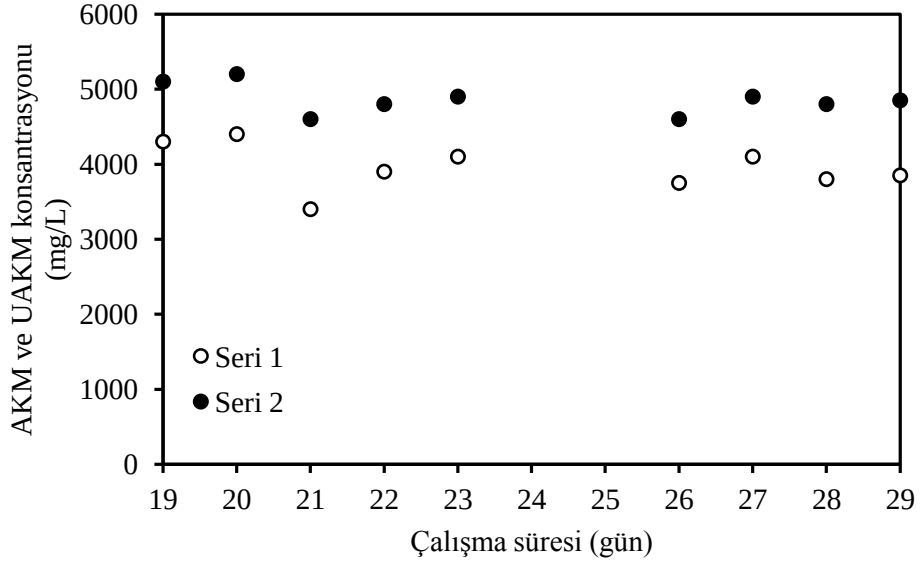


2. Havalandırma fazı sonu NH_4-N ve N_{ox}-N (300. dk)

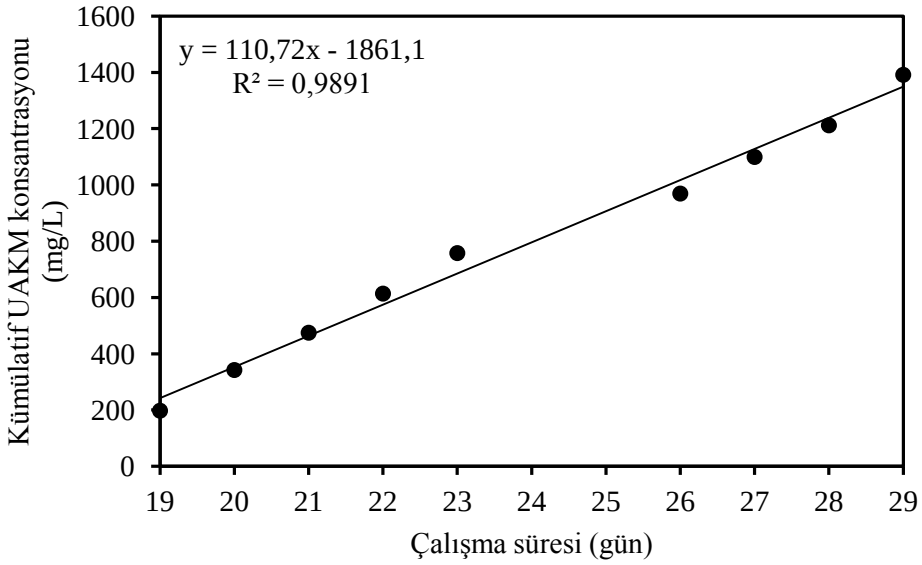
Şekil 5.17: Set-4 ve Set-5 için reaksiyon fazı başlangıcından ikinci beslemeye kadar karıştırma ve havalandırma fazları sonunda amonyak ve oksitlenmiş azot değerlerinin günlük değişimleri.



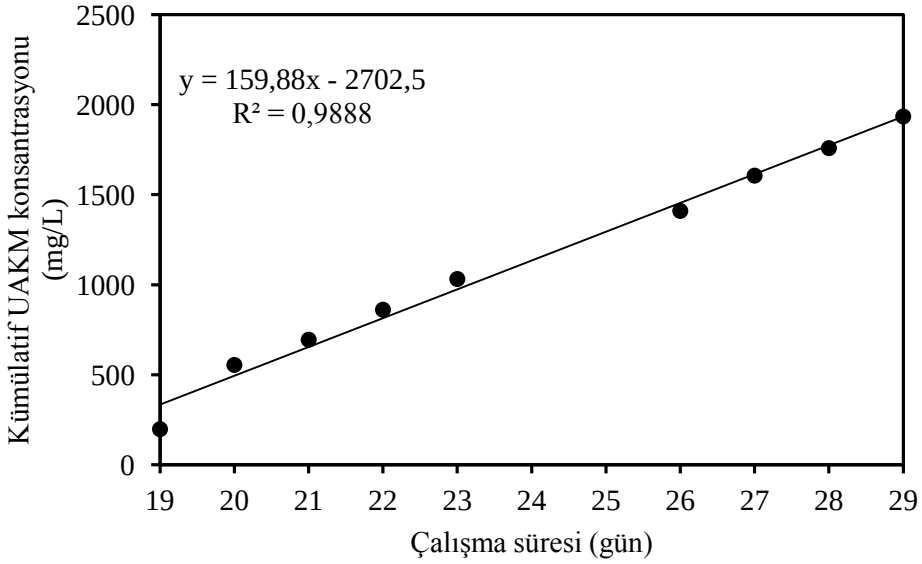
Şekil 5.18: Set-4'e ait AKM ve UAKM konsantrasyonlarının günlük değişimi



Şekil 5.19: Set-5'e ait AKM ve UAKM konsantrasyonlarının günlük değişimi



Şekil 5.20: Set-4'e ait günlük oluşan/sistemden atılan UAKM miktarlarının kümülatif toplamı.



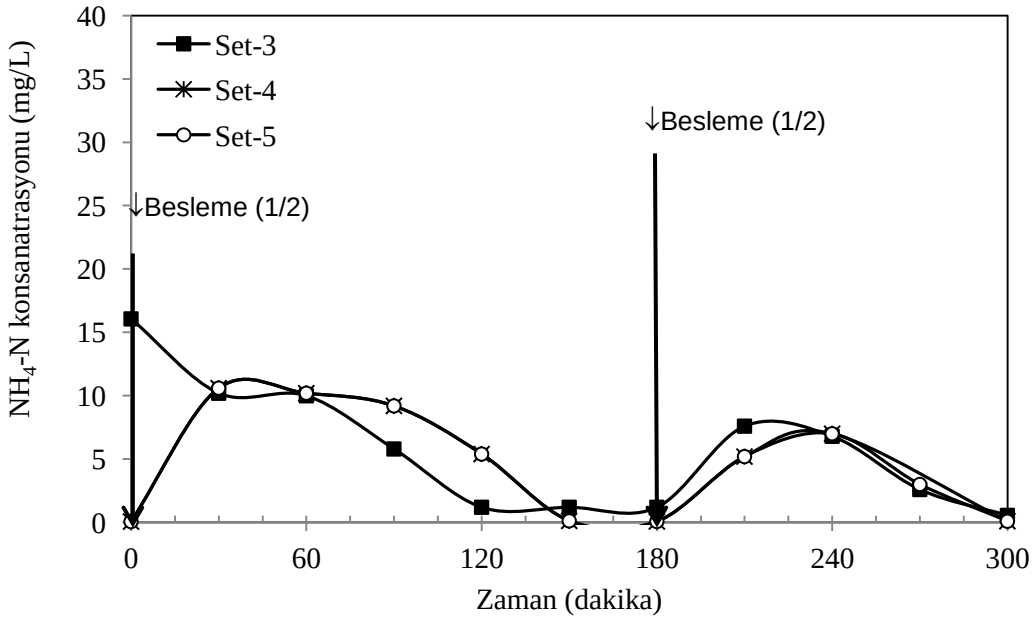
Şekil 5.21: Set-5'e ait günlük oluşan/sistemden atılan UAKM miktarlarının kümülatif toplamı.

Aynı besleme düzenine sahip Set-3, Set-4 ve Set-5'te anoksik faza ayrılan toplam karıştırma süresinin arttırılmasının azot bileşikleri (amonyak ve oksitlenmiş azot) üzerine etkisini görebilmek amacıyla bu bileşiklerin çevrim süresince değişimleri karşılaştırılmıştır. Her üç set için bir çevrim süresince amonyak ve oksitlenmiş azot konsantrasyonlarının değişimi karşılaştırmalı olarak sırasıyla Şekil 5.22 ve Şekil 5.23'te verilmektedir.

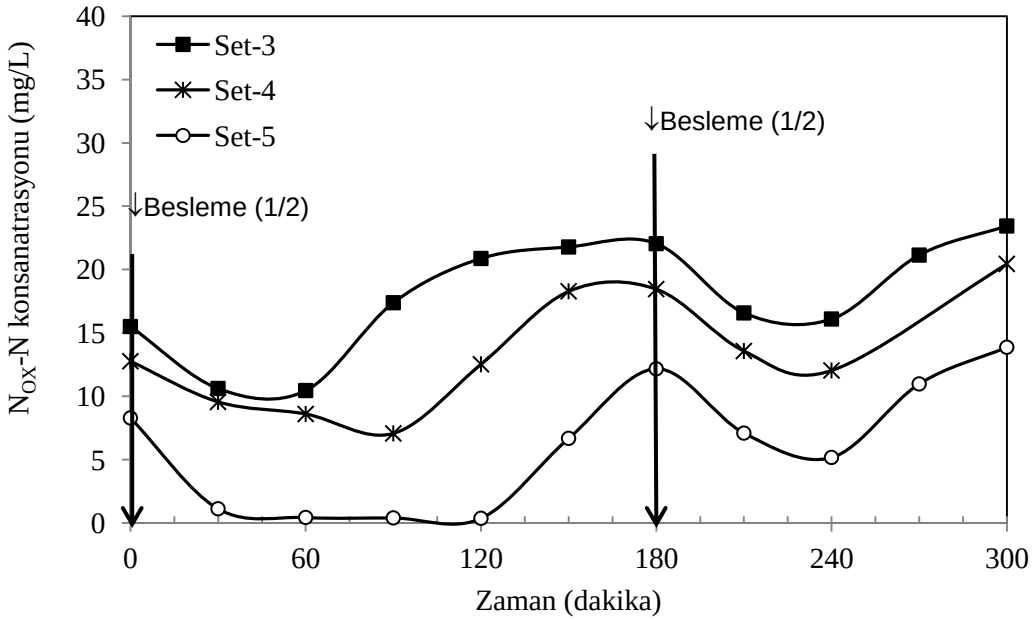
Çizelge 5.4'te bu setlerin karıştırma fazı sonrası ve havalandırma fazı sonrası KOİ, anyon ve amonyak konsantrasyonlarının günlük ortalama değerleri verilmektedir.

Çizelge 5.4: Set-4 ve set-5 günlük KOİ, anyon ve amonyak konsantrasyonu ortalama değerleri.

Set↓	Parametre→	SO_4	NO_2-N	NO_3-N	PO_4-P	N_{ox}-N	NH_4-N	KOİ
		mg/L						
Set-4	1.Karıştırma sonu (90 dk)	94±6	6,0±3,8	4,3±2,7	11,7±0,5	10,3±4,5	8,5±2,5	35±11
	1.Havalandırma sonu (90 dk)	95±7	0,1±0,1	20,4±2,9	11,7±0,6	21,6±1,2	0,8±0,5	32±8
	2.Karıştırma sonu (60 dk)	93±6	1,6±1,0	11,4±3,8	11,4±0,5	14,6±3,9	6±0,9	34±8
	2.Havalandırma sonu (60 dk)	95±7	0,4±0,2	20,4±3,3	11,6±0,5	22,1±2,9	0,6±0,5	34±10
Set-5	1.Karıştırma sonu (120 dk)	94±2	0,6±0,5	0,2±0,1	11,7±1,6	2,3±2,3	9,2±5,4	33±9
	1.Havalandırma sonu (60 dk)	96±2	2,9±2,0	9,7±1,0	11,1±1,7	12,7±1,7	1,0±0,6	33±9
	2.Karıştırma sonu (60 dk)	94±2	4,0±1,7	1,6±1,1	11,0±1,6	5,6±2,4	7,1±1,4	34±8
	2.Havalandırma sonu (60 dk)	96±3	4,0±2,1	10,2±2,1	10,7±1,5	14,2±1,8	0,8±0,6	27±8



Şekil 5.22: Set-3, Set-4 ve Set-5 için çevrim süresince amonyak konsantrasyonlarının değişimi.



Şekil 5.23: Set-3, Set-4 ve Set-5 için çevrim süresince oksitlenmiş azot (Nox) konsantrasyonlarının değişimi.

Daha önce de belirtildiği üzere iki kademeli besleme düzeni nispi bir çıkış Nox konsantrasyonunda düşüş sağlamıştır. Bu sistemde anoksik faza ayrılmış karıştırma süresinin kademeli olarak 60 dakikadan 120 dakikaya çıkarılması ile çıkış nitrat konsnatrasyonlarında yaklaşık 10 mg/L'lik bir düşüş sağlanabilmiştir.

Her iki sistemde de gerek KOİ gerekse amonyak giderimleri oldukça yüksektir.

Buna göre, *çıkış amonyak konsantrasyonu da düşük olduğundan standartlarını sağlamaya en yakın adayın toplam karıştırma süresinin 120+60=180 dk (T_{anox}/T_c=0,6) olduğu iki kademeli beslenen OSA sistemi olduğu ortaya çıkmıştır.*

Set-4 ve Set-5'in günlük ve detaylı izlenen çevrim süresince alınan numunelerde yapılan analizlere ait tüm sonuçlar Ek-B'de verilmiştir.

5.6 İki kademeli Besleme Düzeninde Anoksik Faz Süresinin Etkisi

Yukarıda verilen herbir setin çevrim süresince yapılan analiz sonuçları derlenerek herbir sette elde edilen azot giderim verimleri ve katı madde azalması oranları Çizelge 5.5'te verilmiştir.

Çizelge 5.5: Çevrim içi ölçümlere göre hesaplanan azot giderme ve katı madde azalması değerlerinin tüm setler için değerlendirilmesi

Parametreler	Tek Kademeli Besleme			İki Kademeli Besleme		
	Kontrol	Set-1	Set-2	Set-3	Set-4	Set-5
Nox-N (mg/L)	21,6	22,3	26,2	23,4	20,4	12,5
NH_4-N (mg/L)	5,0	0,3	0,7	0,6	0,1	0,1
N_{ox}-N+NH_4-N (mg/L)	26,6	22,6	26,9	24,0	20,5	12,6
Giderilen N kons. (mg/L)	29,4	33,4	29,1	32,0	35,5	43,4
N Giderimi	53%	60%	52%	57%	63%	78%
Tanox/Tc	0,43	0,43	0,67	0,4	0,5	0,6
Üretilen UAKM (mg/gün)	432,4	239,4	180,9	272,6	110,7	180,0
Katı madde azalması (%)	-	47,3	65,6	48,4	73,9	69,5

Buna göre, iki beslemeli durumda azot gideriminin arttırılabildiği, her durumda OSA sistem konfigürasyonu ile klasik aktif çamur sistemine göre yüksek katı madde azalması oranlarına ulaşılabildiği görülmüştür.

6. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, çamur azaltılması amacıyla yeni ve yaygınlaşan bir proses olan OSA prosesinde azot gideriminin optimizasyonuna yönelik olarak gerçekleştirilen deneysel çalışmanın sonuçları verilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda çalışmadan elde edilen sonuçlar ve değerlendirmeler aşağıda sıralandığı şekilde oluşturulmuştur:

- Çamur minimizasyonu hedefi başarıyla gerçekleşirken aynı zamanda azot giderimi sağlanabilmektedir. İki beslemeli besleme durumunda ve anoksik faz süresinin arttırılması ile azot gideriminin arttırılabildiği, her durumda OSA sistem konfigürasyonu ile klasik aktif çamur sistemine göre yüksek katı madde azalması oranlarına ulaşılabildiği görülmüştür.
- Kademeli beslemenin katı madde azalmasına etkisi görülmemiştir. Birbirlerine yakın T_{anox}/T_c oranlarında oldukça yakın katı madde azalması değerleri elde edilmiştir. İki kademeli besleme, özellikle azot giderimine yönelik olumlu etki sağlamıştır.
- Azot giderim verimleri iki kademeli besleme yapılması durumunda artan anoksik faz süresi ile artarken, tek besleme yapılan durumda bu durum beklenmedik şekilde ters olarak gerçekleşmiştir.
- Aynı anoksik faz sürelerine sahip olmalarına rağmen Set-1'de (OSA sistemi) kontrol sistemine göre daha yüksek amonyak giderimi gözlenmiştir. Çıkış oksitlenmiş azot konsantrasyonları nispeten daha düşük olmasına rağmen kontrol sisteminin azot giderme verimi daha düşük gerçekleşmiştir.
- Artan anoksik faz süreleri ile iki kademeli besleme yapılan setlerde en yüksek katı madde giderimi T_{anox}/T_c oranının 0.5 olması durumunda gerçekleşmiştir. Anoksik faza ayrılan süre arttıkça katı madde azalmasında düşüş görülmüştür.

Bu çalışma çerçevesinde gerçekleştirilen deneysel çalışma sonuçlarına göre, azot gideriminin en yüksek olduğu iki kademeli besleme düzeninde Tanox/Tc oranının 0,6 olduğu OSA sistemi, kabul edilebilir bir katı madde azalmasını (yaklaşık %70) da sağlayarak, en uygun işletme düzeni olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmanın, besi maddesi giderimine yönelik olarak fosfor giderimini de içerecek şekilde devam ettirilmesi önerilmektedir. Ayrıca, çamur minimizasyonunun mekanizmasının anlaşılması ile ilgili çalışmalara da katkıda bulunacak oksijen tüketimi analizleri deneysel çalışmalara dahil edilmelidir.

KAYNAKLAR

An K.J., Chen G.H. (2008). Chemical oxygen demand and the mechanism of excess sludge reduction in an oxic-settling-anaerobic activated sludge process. *Journal of Environmental Engineering*, 134(6), 469–477.

Bock, E., Koops, H.P. Harms, H., Ahlers, A. (1991). The Biochemistry of Nitrifying Organisms. Shively, J. M., Barton, L. L. (Ed), *Variations in Autotrophic Life* (Sf. 171-200). Academic Press: New York.

Chen G.H., An K.J., Saby S, Brois E, Djafer M. (2003). Possible cause of excess sludge reduction in an oxic-settling-anaerobic activated sludge process (OSA process). *Water Research*, 37(16), 3855-3866.

Chon, D.H. (2005). *Performance and Mechanisms of Excess Sludge Reduction in the Cannibal^{TM} process*, Yüksek Lisans Tezi, Virginia Polytechnic Institute & State University Blacksburg.

Chudoba P., Chudoba J., Capdeville B. (1992). The aspect of energetic uncoupling of microbial growth in the activated sludge process: OSA system. *Water Science and Technology*, 26, 2477–2480.

Datta, T., Liu, Y., Goel, R. (2009) Evaluation of simultaneous nutrient removal and sludge reduction using laboratory scale sequencing batch reactors. *Chemosphere*, 76, 697–705.

Easwaran, S.P. (2006). *Developing a Mechanistic Understanding and Optimization of the Cannibal Process Phase II.* Yüksek Lisans Tezi, Virginia Polytechnic Institute & State University, Blacksburg, Virginia

FrØlund, B., Palmgren, R., Keiding, K., and Nielsen, P.H. (1996). Extraction of Extracellular Polymers from Activated Sludge Using a Cation Exchange Resin. *Water Research*, 30(8), 1749-1758.

Ghiglizza R, Lodi A, Converti A, Nicolella C & Rovarti M. (1996) Influence of the ratio of the initial substrate concentration to biomass concentration on the performance of a sequencing batch reactor. *Bioprocess Engineering*, 14(3), 131–137.

Goel, R. K., and Noguera, D. R. (2006). Evaluation of sludge yield and phosphorus removal in a Cannibal solids reduction process. *Journal of Environmental Engineering*, 132(10), 1331-1337.

Groffman, P. M. ve Marshall, E. R. (2013). The Nitrogen Cycle. Wheather, K.C. Strayer, D. L., Likens, G., E. (Ed), *Fundamentals of ecosystem science*, (Cilt 7, Sf. 137-158). Academic Press: New York.

Gürtekin, E., Şekerdağ, N. (2006) Aktif Çamur Proseste Aşırı Çamur Üretimini Azaltmak İçin Kullanılan Yöntemler, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 11(1), 1-8.

Horan, N.J. (1990). *Biological Wastewater Treatment Systems*. Chichester, London: Wiley.

KAKY. (1991). Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, 14/03/1991 Tarih ve 20814 Sayılı Resmi Gazete, Çevre ve Orman Bakanlığı.

Liu, Y. ve Tay, J. H. (2001). Strategy for minimization of excess sludge production from the activated sludge process. *Biotechnology Advances*, 19(2), 97-107.

Low EW, Chase HA. (1999). Reducing production of excess biomass during wastewater treatment. *Water Research*, 33(5), 1119–1132.

Metcalf ve Eddy, Inc. (2003). Tchobanoglous, G., Burton, F. L., Stensel, H. D. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse. 3. baskı, McGraw Hill Education, New York.

Novak, J.T., Chon, Dong, H., Curtis, Betty-Ann., Doyle, Mike. (2007) Biological Solids Reduction Using the Cannibal Process. *Water Environmental Research*, 79(12), 2380-2386.

Orhon, D., Artan N. (2005). Mechanism and Design of Sequencing Batch Reactors for Nutrient Removal. 19. cilt/Scientific and technical report: International Water Association, ISBN: 1843390825, 9781843390824, 100 sayfa.

Paerl H. W. ve Piehler M. F. (2008) Nitrogen and Marine Eutrophication. Capone, D. G., Bronk, D. A., Mulholland, M. R., Carpenter, E. J. (Ed), *Nitrogen in the Marine Environment* (2. Baskı) (Cilt 11, Sf. 529-567). Elsevier Science: Academic Press: New York.

Randall, C. W.; Barnard, J. L.; Stensel, H. D. (1992). Design and Retrofit of Wastewater Treatment Plants for Biological Nutrient Removal. *Water Quality Management Library*, 5. Cilt. Technomic Publishing Company. Lancaster, Pennsylvania.

Roxborough, R., **Sieger, R., Johnson, B., Rabinowitz, B., Goodwin, S. Crawford, G., Daigger, G.** (2006). Sludge Minimization Technologies—Doing More to Get Less, *Proceedings of the Water Environment Federation, WEFTEC 2006*, 1(10), 506–525.

Saby, S., Djafer, M., Chen G. H. (2002)a. Feasibility of using a chloronation step to reduce excess sludge in activated sludge process. *Water Research*, 36(3), 656-666.

Saby S., Djafer M., Chen G. H. (2003)b. Effect of low ORP in anoxic sludge zone on excess sludge production in oxic-settling-anoxic activated sludge process. *Water Research*, 37(1), 11–20.

TAKY. (2004) Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, 14 Mart 2005 Tarih ve 25755 Sayılı Resmi Gazete, Çevre ve Orman Bakanlığı.

Tanner, C. C. (2004). Nitrogen Removal Processes in Constructed Wetlands. Wong M.H. (Ed), *Wetlands Ecosystems in Asia*, (Sf. 331-346). Elsevier, Amsterdam.

TKKY. (2005) Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, 31/05/2005 tarih ve 25831 sayılı Resmi Gazete, Çevre ve Orman Bakanlığı.

US EPA. (1993). Manual: Nitrogen Control, *United States Environmental Protection Agency Raporu*, EPA/625/R93/010, United States Environmental Protection Agency, Washington D.C.

Westgarth W. C., Sulzer F. T., Okun D. A. (1964). Anaerobiosis in the activated sludge process. *Proceedings of the Second International Association on Water Pollution Research and Control Conference*, (Cilt 17, Sf. 43-55). Biennial, Tokyo, Japan.

Wilkerson, F. ve Dugdale, D. C. (2008). Coastal Upwelling. Capone, D. G., Bronk, D. A., Mulholland; M. R., Carpenter, E. J. (Ed). *Nitrogen in the Marine Environment*, (Sf. 771-807). Elsevier Science: New York.

Yasui, H., Nakamura, K., Sakuma, S., Iwasaki, M., Sakai, Y. (1996) A Full-Scale Operation of a Novel Activated Sludge Process without Excess Sludge Production. *Water Science and Technology*, 14(3/4), 395-404.

EKLER

EK A-1 : Günlük izleme sonuçları (katı madde)
EK A-2 : Günlük izleme sonuçları (anyon, amonyak ve KOİ)
EK B : Çevrim içi izleme sonuçları

EK A-1

Çizelge A-1.1 : Günlük izleme sonuçları (Kontrol Set'i).

Tarih	Havalandırma fazı sonu		Çıkış	
	AKM (mg/L)	UAKM (mg/L)	AKM (mg/L)	UAKM (mg/L)
11.07.2012	3200	1820		
12.07.2012	3900	2920		
13.07.2012	3560	2780	420	385
16.07.2012	4180	3240	7,7	10,5
17.07.2012	3940	3020	16,5	17,3
18.07.2012	4200	3180	18,5	17,5
19.07.2012	3900	2960	13,8	15,3
20.07.2012	4280	3340	11,0	13,5
23.07.2012	4020	3180	10,0	11,8
24.07.2012	3920	3080	11,5	13,5
25.07.2012	4000	3200	13,8	16,0
26.07.2012	4020	3260	8,0	11,3
27.07.2012	3620	2880	9,0	12,0
30.07.2012	3440	2800	20,8	19,5
31.07.2012	3480	2820	15,3	17,0
01.08.2012	2680	2260	11,8	14,3
02.08.2012	2380	2080	23,3	23,0
03.08.2012	1260	820	23,5	23,5
06.08.2012	1780	1580	370	289
07.08.2012	2280	1860	18,2	19,8
08.08.2012	2160	1820	21,0	22,0
09.08.2012	560	640	25,3	25,0
10.08.2012	2080	1840	18,8	20,8
13.08.2012	1360	1320	110	93,8
14.08.2012	1600	1440	21,0	22,3
15.08.2012	700	700	18,2	20,3
16.08.2012	320	500	16,5	19,5
17.08.2012	2240	2000	16,8	19,3
22.08.2012	1620	1520	123	107
23.08.2012	880	960	29,8	31,8
24.08.2012	1560	1480	25,5	25,3
27.08.2012	900	900	176	156
28.08.2012	980	1040	17,5	19,3
29.08.2012	380	460	13,8	16,3
31.08.2012	760	880	11,0	15,5
03.09.2012	120	260	34,8	37,0
04.09.2012	960	1040	4,5	10,5
05.09.2012	100	300	7,0	11,5
06.09.2012	1580	1620	8,8	14,3
07.09.2012	1480	1520	11,0	14,8
10.09.2012	600	740	149	134

Çizelge A-1.1 (devam): Günlük izleme sonuçları (Kontrol Set'i).

Tarih	Havalandırma fazı sonu		Çıkış	
	AKM (mg/L)	UAKM (mg/L)	AKM (mg/L)	UAKM (mg/L)
13.09.2012	2440	2120	13,8	14,5
14.09.2012	2100	1880	10,0	11,0
17.09.2012	1140	980	374	317
18.09.2012	1240	1120	14,8	15,8
19.09.2012	1560	1340	14,0	15,0
20.09.2012	1660	1420	13,5	15,0
21.09.2012	1760	1420	13,3	14,5
24.09.2012	1980	1680	72,8	65,8
25.09.2012	1200	1100	9,5	13,8
26.09.2012	2180	1580	11,0	12,5
27.09.2012	2140	1620	16,8	17,0
28.09.2012	2240	1800	16,5	17,0
01.10.2012	1520	1100	174	157
02.10.2012	2260	1300	17,5	18,8
03.10.2012	1660	1380	11,8	15,3
04.10.2012	1700	1300	17,0	18,0
05.10.2012	1840	1500	14,8	18,0
08.10.2012	1340	1080	173	162
09.10.2012	1500	1220	14,3	17,3
10.10.2012	1980	1580	21,5	24,3
11.10.2012	1660	1420	26,3	28,0
12.10.2012	1740	1440	8,5	12,5
17.10.2012	2120	1840	26,5	23,5
18.10.2012	1900	1620	15,7	18,5
19.10.2012	1900	1800	21,3	25,5
22.10.2012	2340	1940	18,5	24,5
23.10.2012	2767	2433	12,5	15,8
05.11.2012	3050	2850	14,5	16,0
06.11.2012	3150	2850	13,0	16,3
07.11.2012	2800	2600	13,3	16,3
08.11.2012	2500	2550	18,3	21,3
10.09.2012	600	740	149	134
13.09.2012	2440	2120	13,8	14,5
14.09.2012	2100	1880	10,0	11,0
17.09.2012	1140	980	374	317
18.09.2012	1240	1120	14,8	15,8
19.09.2012	1560	1340	14,0	15,0
20.09.2012	1660	1420	13,5	15,0
21.09.2012	1760	1420	13,3	14,5
22.11.2012	2950	4050	18,5	25,5
23.11.2012	3000	2700	17,8	19,8
26.11.2012	3150	3000	9,3	13,5

Çizelge A-1.1 (devam) : Günlük izleme sonuçları (Kontrol Set'i).

Tarih	Havalandırma fazı sonu		Çıkış	
	AKM (mg/L)	UAKM (mg/L)	AKM (mg/L)	UAKM (mg/L)
27.11.2012	3100	2850	13,3	16,5
28.11.2012	3150	2700	15,5	18,0
29.11.2012	2950	2550	14,0	16,8
30.11.2012	3100	2850	20,0	21,8
03.12.2012	3150	1700	13,5	16,5
04.12.2012	3250	5200	13,0	16,5
05.12.2012	3150	2450	13,5	16,5

Çizelge A-1.2 : Günlük izleme sonuçları (Set-1).

Tarih	Havalandırma fazı sonu		Çıkış	
	AKM (mg/L)	UAKM (mg/L)	AKM (mg/L)	UAKM (mg/L)
11.07.2012	2580	1920		
12.07.2012	4020	3040		
13.07.2012	3900	2860	190	115
16.07.2012	3700	2860	12,0	13,5
17.07.2012	3240	2640	12,3	14,0
18.07.2012	4120	3100	10,0	14,0
19.07.2012	3820	2840	14,3	15,0
20.07.2012	4720	3460	9,5	12,0
23.07.2012	7200	5060	24,5	16,0
24.07.2012	7480	5120	410	282
25.07.2012	6940	4860	293	207
26.07.2012	6920	4720	581	396
27.07.2012	7200	4840	271	201
30.07.2012	7433	5200	753	505
31.07.2012	6800	5000	166	122
01.08.2012	6350	4700	129	95,5
02.08.2012	3550	3000	1844	1207
03.08.2012	8050	7500	617	403
06.08.2012	1900	1900	992	669
07.08.2012	2300	2050	28,3	24,3
08.08.2012	3000	2700	19,0	17,8
09.08.2012	2800	2433	17,0	17,5
10.08.2012	3500	2867	15,0	15,3
13.08.2012	1367	1300	812	568
14.08.2012	1733	1667	30,0	22,3
15.08.2012	1700	1600	18,5	17,0
16.08.2012	1833	1700	20,5	19,0
17.08.2012	2533	2100	19,5	18,5
22.08.2012	1233	1167	343	244
23.08.2012	1067	1200	40,0	34,0
24.08.2012	1567	1500	32,3	28,5
27.08.2012	367	667	374	285
28.08.2012	533	700	34,3	32,0
29.08.2012	567	700	28,8	26,0
31.08.2012	533	800	47,3	42,5
03.09.2012	400	733	122	106
04.09.2012	540	700	23,3	24,8
05.09.2012	20	240	19,5	21,0
06.09.2012	620	740	29,0	28,5
07.09.2012	800	860	26,5	27,0
10.09.2012	420	540	130	120
11.09.2012	1100	1100	23,2	24,0
13.09.2012	1820	1460	32,5	23,8
14.09.2012	2060	1660	29,0	24,0

Çizelge A-1.2 (devam) : Günlük izleme sonuçları (Set-1).

Tarih	Havalandırma fazı sonu		Çıkış	
	AKM (mg/L)	UAKM (mg/L)	AKM (mg/L)	UAKM (mg/L)
17.09.2012	1200	940	475	345
18.09.2012	1680	1300	27,0	22,5
19.09.2012	1820	1440	22,8	19,8
20.09.2012	1700	1400	27,3	23,3
21.09.2012	1940	1560	29,8	24,5
24.09.2012	967	1000	374	290
25.09.2012	867	867	30,0	26,8
26.09.2012	1267	1133	25,0	22,0
27.09.2012	1567	1300	32,8	26,3
28.09.2012	1700	1400	29,0	23,0
01.10.2012	733	733	303	236
02.10.2012	940	860	33,3	29,0
03.10.2012	1267	1267	23,8	23,0
04.10.2012	1300	1367	24,5	21,8
05.10.2012	1467	1467	20,5	21,0
08.10.2012	1067	1067	439	359
09.10.2012	2200	1767	22,8	19,8
10.10.2012	2400	2000	29,0	22,3
11.10.2012	2033	1800	23,0	18,5
12.10.2012	2767	2000	11,5	13,0
17.10.2012	3600	2500	18,3	23,0
18.10.2012	2133	2200	47,0	26,5
19.10.2012	3267	2500	28,5	23,0
22.10.2012	3100	2467	7,0	11,0
23.10.2012	3400	2667	14,3	13,8
05.11.2012	4050	3400	21,5	27,5
06.11.2012	4250	3450	28,5	35,0
07.11.2012	4400	3600	33,5	35,0
08.11.2012	4350	3450	99,5	84,0
09.11.2012	4150	3400	21,0	24,5
12.11.2012	4800	3900	55,0	48,5
13.11.2012	5100	4050	13,5	12,8
14.11.2012	5250	4500	10,0	14,0
15.11.2012	4950	3950	12,3	14,5
16.11.2012	5100	2400	15,8	16,8
19.11.2012	4950	3950	12,3	14,5
20.11.2012	5200	4150	16,0	23,5
21.11.2012	5500	4400	11,0	19,0
22.11.2012	4900	2600	12,5	19,5
23.11.2012	4800	4000	10,0	19,0
26.11.2012	4850	3550	6,5	10,7
27.11.2012	4950	3550	16,0	23,5
28.11.2012	5050	4150	14,5	22,5
29.11.2012	5200	4350	22,3	22,0

Çizelge A-1.2 (devam) : Günlük izleme sonuçları (Set-1).

Tarih	Havalandırma fazı sonu		Çıkış	
	AKM (mg/L)	UAKM (mg/L)	AKM (mg/L)	UAKM (mg/L)
30.11.2012	5150	3200	21,8	25,0
03.12.2012	4900	4500	21,0	28,0
04.12.2012	5050	200	27,5	33,0
05.12.2012	4950	5600	83,0	74,5

Çizelge A-1.3 : Günlük izleme sonuçları (Set-2).

Tarih	Havalandırma fazı sonu		Çıkış	
	AKM (mg/L)	UAKM (mg/L)	AKM (mg/L)	UAKM (mg/L)
30.01.2013	2900	3600	8,25	12,3
31.01.2013	3100	3500	7,5	12
01.02.2013	3100	3600		
03.02.2013			11,3	15
04.02.2013	4000	3800		
05.02.2013	3600	3800		
06.02.2013	2600	3200	6,5	9,5
07.02.2013	3300	3800	6,25	9,5
08.02.2013	4600	4500	7,25	10,5
11.02.2013	5600	5300	7,5	9,5
14.02.2013	6000	5500	32	29
15.02.2013	5400	5000	12,75	14
18.02.2013	6500	5700	17	16,8
19.02.2013	6100	5500	15	14,8
20.02.2013	6267	5267	12,8	14,5
21.02.2013	6300	5400	13,8	15,8
22.02.2013	6500	5700	13,3	14,8
25.02.2013	7733	6467	11	13,8
26.02.2013	6300	5600	17	18
27.02.2013	6900	6000	11,8	14,8
28.02.2013	6000	5300		
01.03.2013	5800	4867	9,5	12
04.03.2013	6000	5400	19	19,5
05.03.2013	5600	5100	16	17,25
06.03.2013	6533	5400	17,3	18,5
07.03.2013	5800	5200		
08.03.2013	5100	4700		
11.03.2013	6700	5700	63,5	57
12.03.2013	5500	4800		
13.03.2013	5900	5000	18,5	18,25
14.03.2013	5100	4500		
15.03.2013	3600	4100		

Çizelge A-1.4 : Günlük izleme sonuçları (Set-3).

Tarih	Havalandırma fazı sonu		Çıkış	
	AKM (mg/L)	UAKM (mg/L)	AKM (mg/L)	UAKM (mg/L)
30.01.2013	5000	4700	17,5	19,3
31.01.2013	5400	4900	8,9	11,8
01.02.2013	4600	4600		
03.02.2013			18,5	19,8
04.02.2013	4900	4500		
05.02.2013	4100	4300	8,5	12,8
06.02.2013	4100	4800	7,0	10,0
07.02.2013	4900	4800	9,7	11,2
08.02.2013	4700	4600	10,8	13,5
11.02.2013	4800	4800	18,0	17,5
14.02.2013	7400	6200	43,5	39,5
15.02.2013	5100	4900	10,8	11,3
18.02.2013	20100	15200	9,0	10,3
19.02.2013	6200	5700	10,7	13,0
20.02.2013	6100	5600	10,5	14,0
21.02.2013	6000	5067	7,7	11,0
22.02.2013	6700	5900	7,7	10,8
25.02.2013	6700	6100	11,8	14,0
26.02.2013	6800	5733	16,3	18,3
27.02.2013	6900	6300	12,5	15,0
28.02.2013	7000	6200		
01.03.2013	7500	6700	12,8	15,0
04.03.2013	7467	5733	12,3	15,5
05.03.2013	6300	5800	14,0	17,0
06.03.2013	6900	6300	14,7	13,7
07.03.2013	6933	5800		
08.03.2013	8000	6700		
11.03.2013	6500	5900	14,0	15,0
12.03.2013	6600	6000		
13.03.2013	6400	5500	15,0	14,8
14.03.2013	9300	7300		
15.03.2013	5200	5300		

Çizelge A-1.5 : Günlük izleme sonuçları (Set-4).

Tarih	Havalandırma fazı sonu		Çıkış	
	AKM (mg/L)	UAKM (mg/L)	AKM (mg/L)	UAKM (mg/L)
04.03.2013			13	9
05.03.2013			14	15
08.03.2013			14	12
15.03.2013			10	12
20.03.2013			18	15
02.04.2013			12	14
03.04.2013			16	15
04.04.2013			14	15
05.04.2013			15	13
08.04.2013	5500	4100	23	19
09.04.2013	5600	4000	12	11
10.04.2013	4300	3700	13	10
11.04.2013	4800	3800	14	11
12.04.2013	4000	3600	13	12
15.04.2013	4200	2900	13	12
16.04.2013	4200	3500	11	10
17.04.2013	5000	3600	10	7
18.04.2013	5600	4700	13	19
19.04.2013			10	7

Çizelge A-1.6 : Günlük izleme sonuçları (Set-5).

Tarih	Havalandırma fazı sonu		Çıkış	
	AKM (mg/L)	UAKM (mg/L)	AKM (mg/L)	UAKM (mg/L)
04.03.2013			16	16
05.03.2013			9	12
08.03.2013			6	7
15.03.2013			11	13
20.03.2013			3	5
02.04.2013			27	27
03.04.2013			36	32
04.04.2013			21	21
05.04.2013			18	15
08.04.2013	5100	4300	29	19
09.04.2013	5200	4400	54	45
10.04.2013	4600	3400	17	12
11.04.2013	4800	3900	17	15
12.04.2013	4900	4100	19	15
15.04.2013	4100	3200	23	21
16.04.2013	4900	4100	24	19
17.04.2013	4800	3800	18	13
18.04.2013	6400	5200	23	17
19.04.2013			15	12

EK A-2

Çizelge A-2.1 : Günlük izleme sonuçları (Kontrol set'i, karıştırma fazı sonu).

Tarih	Florür (mg/l)	Klorür (mg/l)	Sülfat (mg/l)	NO_2-N (mg/l)	NO_3-N (mg/l)	PO_4-P (mg/l)	N_{ox}-N (mg/l)	NH_4-N (mg/l)	KOİ (mg/l)
29.11.12	0,0	72,4	85	0,0	0,7	21,0	0,7	48,0	
30.11.12	0,1	73,2	89	0,3	0,5	6,5	0,8	36,0	
03.12.12	0,1	74,5	97	0,2	0,7	8,2	0,9	28,0	
04.12.12	0,1	74,7	88	0,0	0,0	12,2	0,0	24,0	
05.12.12	0,0	75,5	94	0,1	0,0	10,7	0,1	20,0	
06.12.12	0,1	75,5	92	0,2	0,0	9,6	0,2	19,4	
Günlük değişimler			93±4			10,1±1,7	0,3±0,4	22,9±4,0	

Çizelge A-2.2 : Günlük izleme sonuçları (Kontrol set'i, havalandırma fazı sonu).

Tarih	Florür (mg/l)	Klorür (mg/l)	Sülfat (mg/l)	NO_2-N (mg/l)	NO_3-N (mg/l)	PO_4-P (mg/l)	N_{ox}-N (mg/l)	NH_4-N (mg/l)	KOİ (mg/l)
29.11.12	0,0	72,4	85	0,0	0,7	21,0	0,7	48,0	27
30.11.12	0,1	73,2	89	0,3	0,5	6,5	0,8	36,0	16
03.12.12	0,1	74,5	97	0,2	0,7	8,2	0,9	28,0	17
04.12.12	0,1	74,7	88	0,0	0,0	12,2	0,0	24,0	16
05.12.12	0,0	75,5	94	0,1	0,0	10,7	0,1	20,0	18
06.12.12	0,1	75,5	92	0,2	0,0	9,6	0,2	19,4	18
Günlük değişimler			93±4			10,1±1,7	0,3±0,4	22,9±4,0	

Çizelge A-2.3 : Günlük izleme sonuçları (Set-1, karıştırma fazı sonu).

Tarih	Florür (mg/l)	Klorür (mg/l)	Sülfat (mg/l)	NO_2-N (mg/l)	NO_3-N (mg/l)	PO_4-P (mg/l)	N_{ox}-N (mg/l)	NH_4-N (mg/l)	KOİ (mg/l)
29.11.12	0,1	72,0	85	0,3	0,3	13,3	0,5	16,4	
30.11.12	0,1	75,1	88	0,8	3,5	10,0	4,3	13,2	
03.12.12	0,1	75,0	97	0,3	1,9	12,6	2,1	1,7	
04.12.12	0,1	72,5	87	0,2	0,0	11,6	0,2	1,6	
05.12.12	0,1	75,1	96	2,5	0,0	12,6	2,5	2,0	
06.12.12	0,1	76,0	95	1,0	0,5	10,0	1,6	1,8	
Günlük değişimler			94±5			11,7±1,2	1,6±1,0	1,8±0,2	

Çizelge A-2.4 : Günlük izleme sonuçları (Set-1, havalandırma fazı sonu).

Tarih	Florür (mg/l)	Klorür (mg/l)	Sülfat (mg/l)	NO_2-N (mg/l)	NO_3-N (mg/l)	PO_4-P (mg/l)	N_{ox}-N (mg/l)	NH_4-N (mg/l)	KOİ (mg/l)
29.11.12	0,1	75,2	88	0,1	17,8	8,4	17,9	0,1	20
30.11.12	0,1	74,0	88	1,1	16,9	8,5	18,0	0,1	21
03.12.12	0,1	77,1	99	0,6	16,7	14,9	17,3	0,6	16
04.12.12	0,1	76,8	91	0,2	22,1	12,4	22,3	0,2	22
05.12.12	0,1	76,5	91	0,8	12,7	8,9	13,6	0,6	16
06.12.12	0,1	79,9	100	0,1	22,5	10,6	22,6	0,3	30
Günlük değişimler			94±5			10,6±2,6	18,9±4,3	0,4±0,2	21±6

Çizelge A-2.5 : Günlük izleme sonuçları (Set-2, karıştırma fazı sonu).

Tarih	Florür (mg/l)	Klorür (mg/l)	Sülfat (mg/l)	NO_2-N (mg/l)	NO_3-N (mg/l)	PO_4-P (mg/l)	N_{ox}-N (mg/l)	NH_4-N (mg/l)	KOİ (mg/l)
18.02.13	0,2	77,0	122	0,3	2,3	12,9	2,6	-	-
28.02.13	0,1	71,9	108	2,0	0,2	15,0	2,2	20,0	-
05.03.13	0,1	72,3	114	0,4	0,7	11,9	1,0	20,0	-
06.03.13	0,1	71,8	114	0,1	3,2	16,1	3,3	20,0	29
08.03.13	0,1	72,9	113	0,2	1,1	10,7	1,3	15,6	22
12.03.13	0,1	74,8	114	0,4	1,2	13,4	1,6	14,4	23
13.03.13	0,1	69,8	105	0,4	1,9	11,1	2,3	17,2	18
15.03.13	0,1	74,5	115	0,5	1,0	11,1	1,5	16,2	29
19.03.13	0,1	72,8	110	2,5	0,0	11,8	2,5	20,0	41
20.03.13	0,1	71,0	109	1,6	0,1	11,3	1,7	13,6	25
Günlük değişimler			111±4			11,6±1,0	1,8±0,5	16,2±2,3	26±8

Çizelge A-2.6 : Günlük izleme sonuçları (Set-2, havalandırma fazı sonu).

Tarih	Florür (mg/l)	Klorür (mg/l)	Sülfat (mg/l)	NO_2-N (mg/l)	NO_3-N (mg/l)	PO_4-P (mg/l)	N_{ox}-N (mg/l)	NH_4-N (mg/l)	KOİ (mg/l)
18.02.13	0,1	77,6	123	0,2	39,0	14,9	39,3	-	-
28.02.13	0,1	74,2	113	0,2	25,9	13,4	26,1	0,2	-
05.03.13	0,1	74,6	118	0,2	21,9	12,5	22,0	0,5	-
06.03.13	0,1	72,7	109	0,7	25,1	13,6	25,8	0,5	12
08.03.13	0,1	74,7	116	0,1	19,7	10,0	19,8	0,4	7
12.03.13	0,1	75,9	116	0,2	32,9	13,9	33,1	0,4	9
13.03.13	0,1	73,0	110	0,1	26,3	12,2	26,4	0,4	9
15.03.13	0,1	74,1	116	0,1	19,3	10,9	19,4	0,4	9
19.03.13	0,1	73,3	112	0,3	28,5	11,9	28,8	0,5	9
20.03.13	0,1	71,5	111	0,0	20,4	9,7	20,4	0,6	6
Günlük değişimler			113±2			11,4±1,6	24,7±5,7	0,4±0,1	8±1

Çizelge A-2.7 : Günlük izleme sonuçları (Set-3, 1. karıştırma fazı sonu 60. dakika).

Tarih	Florür (mg/l)	Klorür (mg/l)	Sülfat (mg/l)	NO_2-N (mg/l)	NO_3-N (mg/l)	PO_4-P (mg/l)	N_{ox}-N (mg/l)	NH_4-N (mg/l)	KOİ (mg/l)
18.02.13	0	78	123	0,2	13,1	13,8	13,3	15,2	21
28.02.13	0	74	114	3,1	10,3	14,9	13,5	12,4	
05.03.13	0	75	121	0,7	14,5	17,1	15,2	12,8	
06.03.13	0	72	111	4,8	15,1	15,0	19,9	10,0	29
08.03.13	0	74	115	0,4	16,8	11,9	17,2	10,0	29
12.03.13	0	75	110	5,7	8,7	13,0	14,4	10,0	41
15.03.13	0	74	116	1,6	9,4	11,2	11,0	10,0	35
19.03.13	0	72	101	6,4	14,0	12,1	20,4	6,1	38
20.03.13	0	71	103	6,1	10,1	12,1	16,1	15,2	32
Günlük değişimler			108±7			12,1±0,8	15,5±3,9	10,3±3,7	36±4

Çizelge A-2.8 : Günlük izleme sonuçları (Set-3, 1. havalandırma fazı sonu 120. dakika).

Tarih	Florür (mg/l)	Klorür (mg/l)	Sülfat (mg/l)	NO_2-N (mg/l)	NO_3-N (mg/l)	PO_4-P (mg/l)	N_{ox}-N (mg/l)	NH_4-N (mg/l)	KOİ (mg/l)
18.02.13	0	77	123	0,1	29,4	15,4	29,5	0,7	23
28.02.13	0	74	112	0,0	23,9	13,6	23,9	0,9	
05.03.13	0	75	117	0,0	30,1	16,0	30,1	2,8	
06.03.13	0	72	109	0,7	25,0	13,5	25,7	1,0	50
08.03.13	0	74	117	0,3	24,0	12,5	24,3	0,9	22
12.03.13	0	75	114	0,0	25,0	13,7	25,0	0,6	23
15.03.13	0	74	117	0,1	22,3	11,2	22,5	0,7	9
19.03.13	0	72	103	0,0	31,7	13,0	31,7	1,7	20
20.03.13	0	71	108	0,0	26,3	12,5	26,3	1,2	23
Günlük değişimler			110±6			12,6±1,1	26,4±3,9	1,1±0,5	19±7

Çizelge A-2.9 : Günlük izleme sonuçları (Set-3, 2. karıştırma fazı sonu 180. dakika).

Tarih	Florür (mg/l)	Klorür (mg/l)	Sülfat (mg/l)	NO_2-N (mg/l)	NO_3-N (mg/l)	PO_4-P (mg/l)	N_{ox}-N (mg/l)	NH_4-N (mg/l)	KOİ (mg/l)
18.02.13	0	78	124	0,2	23,6	14,0	23,7	13,6	21
28.02.13	0	73	113	0,7	8,8	13,1	9,5	8,0	
05.03.13	0	75	116	1,6	23,3	14,5	24,9	6,4	
06.03.13	0	72	109	3,0	18,1	12,2	21,1	5,6	29
08.03.13	0	74	116	0,6	19,2	12,1	19,8	7,0	29
12.03.13	0	75	112	2,3	15,6	12,9	17,9	8,4	17
15.03.13	0	74	115	0,4	16,6	10,8	16,9	7,0	17
19.03.13	0	73	101	3,8	21,0	12,0	24,8	3,7	26
20.03.13	0	72	107	2,8	17,2	11,9	20,0	5,2	32
Günlük değişimler			109±6			11,9±0,8	19,9±3,5	6,1±2,1	23±7

Çizelge A-2.10 : Günlük izleme sonuçları (Set-3, 2. havalandırma fazı sonu 300. dakika).

Tarih	Florür (mg/l)	Klorür (mg/l)	Sülfat (mg/l)	NO_2-N (mg/l)	NO_3-N (mg/l)	PO_4-P (mg/l)	N_{ox}-N (mg/l)	NH_4-N (mg/l)	KOİ (mg/l)
18.02.13	0	79	125	0,2	30,7	14,7	30,9	0,4	18
28.02.13	0	74	112	0,1	23,8	14,1	23,9	0,3	
05.03.13	0	76	117	0,1	30,4	15,9	30,5	0,8	
06.03.13	0	73	111	0,1	27,1	13,4	27,2	0,4	15
08.03.13	0	74	117	0,1	26,8	12,8	26,9	0,3	12
12.03.13	0	75	114	0,1	25,5	13,3	25,6	0,3	9
15.03.13	0	74	117	0,1	23,8	11,2	23,9	0,3	9
19.03.13	0	73	104	0,2	31,0	12,6	31,1	0,8	17
20.03.13	0	72	111	0,1	26,4	12,2	26,5	0,5	9
Günlük değişimler			111±6			12,3±0,9	26,8±3,1	0,4±0,2	11±4

Çizelge A-2.11 : Günlük izleme sonuçları (Set-4, 1. karıştırma fazı sonu 90. dakika).

Tarih	Florür (mg/l)	Klorür (mg/l)	Sülfat (mg/l)	NO_2-N (mg/l)	NO_3-N (mg/l)	PO_4-P (mg/l)	N_{ox}-N (mg/l)	NH_4-N (mg/l)	KOİ (mg/l)
09.04.13	0,1	65,5	91	7,6	8,0	11,5	15,6		
11.04.13	0,1	63,0	98	1,7	4,5	11,1	6,2		
16.04.13	0,1	63,9	87	10,4	1,9	12,4	12,3		
18.04.13	0,1	63,0	100	4,2	2,8	11,6	7,1		
Günlük değişimler			94±6			11,7±0,5	10,3±4,5		

Çizelge A-2.12 : Günlük izleme sonuçları (Set-4, 1. havalandırma fazı sonu 180. dakika).

Tarih	Florür (mg/l)	Klorür (mg/l)	Sülfat (mg/l)	NO_2-N (mg/l)	NO_3-N (mg/l)	PO_4-P (mg/l)	N_{ox}-N (mg/l)	NH_4-N (mg/l)	KOİ (mg/l)
09.04.13	0,1	65,6	92	1,9	23,9	11,6	25,8		
11.04.13	0,1	61,3	99	0,1	17,5	11,0	17,6		
16.04.13	0,1	64,1	87	2,9	21,7	12,4	24,6		
18.04.13	0,1	63,7	102	0,0	18,5	11,6	18,5		
Günlük değişimler			95±7			11,7±0,6	21,6±1,2		

Çizelge A-2.13 : Günlük izleme sonuçları (Set-4, 2. karıştırma fazı sonu 240. dakika).

Tarih	Florür (mg/l)	Klorür (mg/l)	Sülfat (mg/l)	NO_2-N (mg/l)	NO_3-N (mg/l)	PO_4-P (mg/l)	N_{ox}-N (mg/l)	NH_4-N (mg/l)	KOİ (mg/l)
09.04.13	0,1	65,4	90	3,1	16,8	11,4	19,9	0,1	65,4
11.04.13	0,1	61,1	95	1,3	10,2	11,0	11,5	0,1	61,1
16.04.13	0,1	64,5	85	7,3	7,9	12,2	15,2	0,1	64,5
18.04.13	0,1	63,0	100	1,3	10,7	11,4	12,0	0,1	63,0
Günlük değişimler			93±6			11,4±0,5	14,6±3,9		

Çizelge A-2.14 : Günlük izleme sonuçları (Set-4, 2. havalandırma fazı sonu, 300. dakika).

Tarih	Florür (mg/l)	Klorür (mg/l)	Sülfat (mg/l)	NO_2-N (mg/l)	NO_3-N (mg/l)	PO_4-P (mg/l)	N_{ox}-N (mg/l)	NH_4-N (mg/l)	KOİ (mg/l)
09.04.13	0,1	66,0	93	0,7	25,1	11,7	25,8		
11.04.13	0,1	61,9	97	0,4	18,7	10,9	19,1		
16.04.13	0,1	64,1	87	5,4	17,6	12,2	23,0		
18.04.13	0,1	64,0	103	0,1	20,4	11,8	20,4		
Günlük değişimler			95±7			11,6±0,5	22,1±2,9		

Çizelge A-2.15 : Günlük izleme sonuçları (Set-5, 1. havalandırma fazı sonu 120. dakika).

Tarih	Florür (mg/l)	Klorür (mg/l)	Sülfat (mg/l)	NO_2-N (mg/l)	NO_3-N (mg/l)	PO_4-P (mg/l)	N_{ox}-N (mg/l)	NH_4-N (mg/l)	KOİ (mg/l)
09.04.13	0,1	63,8	96	4,2	0,3	11,2	4,5		
11.04.13	0,1	59,9	93	1,4	2,7	10,1	4,1		
16.04.13	0,1	62,7	92	0,2	0,1	13,8	0,3		
18.04.13	0,1	62,2	95	0,2	0,1	11,6	0,4		
Günlük değişimler			94±2			11,7±1,6	2,3±2,3		

Çizelge A-2.16 : Günlük izleme sonuçları (Set-5, 1. havalandırma fazı sonu, 180. dakika).

Tarih	Florür (mg/l)	Klorür (mg/l)	Sülfat (mg/l)	NO_2-N (mg/l)	NO_3-N (mg/l)	PO_4-P (mg/l)	N_{ox}-N (mg/l)	NH_4-N (mg/l)	KOİ (mg/l)
09.04.13	0,1	64,6	98	4,9	10,2	11,1	15,1		
11.04.13	0,1	60,4	94	0,2	10,8	9,2	11,0		
16.04.13	0,1	63,2	95	3,7	8,6	13,2	12,3		
18.04.13	0,1	62,9	97	3,0	9,2	10,8	12,2		
Günlük değişimler			96±2			11,1±1,7	12,7±1,7		

Çizelge A-2.17 : Günlük izleme sonuçları (Set-5, 2. karıştırma fazı sonu 240. dakika).

Tarih	Florür (mg/l)	Klorür (mg/l)	Sülfat (mg/l)	NO_2-N (mg/l)	NO_3-N (mg/l)	PO_4-P (mg/l)	N_{ox}-N (mg/l)	NH_4-N (mg/l)	KOİ (mg/l)
09.04.13	0,1	64,9	97	6,4	1,9	11,0	8,3		
11.04.13	0,1	60,3	92	3,4	2,7	9,4	6,2		
16.04.13	0,1	63,1	93	2,5	0,1	13,1	2,6		
18.04.13	0,1	62,1	95	3,7	1,5	10,4	5,2		
Günlük değişimler			94±2			11,0±1,6	5,6±2,4		

Çizelge A-2.18 : Günlük izleme sonuçları (Set-5, 2. havalandırma fazı sonu 300. dakika).

Tarih	Florür (mg/l)	Klorür (mg/l)	Sülfat (mg/l)	NO_2-N (mg/l)	NO_3-N (mg/l)	PO_4-P (mg/l)	N_{ox}-N (mg/l)	NH_4-N (mg/l)	KOİ (mg/l)
09.04.13	0,1	65,2	98	6,5	10,1	11,1	16,6		
11.04.13	0,1	60,9	93	3,3	10,6	9,2	13,9		
16.04.13	0,1	63,7	94	4,7	7,6	12,7	12,3		
18.04.13	0,1	64,1	100	1,5	12,6	10,0	14,0		
Günlük değişimler			96±3			10,7±1,5	14,2±1,8		

EK B

Çizelge B.1: Çevrim içi izleme sonuçları (Kontrol Set'i).

Dakika	Florür (mg/l)	Klorür (mg/l)	Sülfat (mg/l)	NO_2-N (mg/l)	NO_3-N (mg/l)	PO_4-P (mg/l)	N_{ox}-N (mg/l)	NH_4-N (mg/l)	KOİ (mg/l)
0	0,1	75,2	95	0,2	10,4	9,0	10,6	15,6	130
30	0,1	74,9	91	0,9	0,0	10,3	0,9	18,6	68
60	0,0	74,9	92	0,1	0,0	10,5	0,1	18,6	61
90	0,1	75,5	92	0,2	0,0	9,6	0,2	19,4	61
120	0,1	76,3	93	0,4	3,3	8,4	3,7	16,6	53
150	0,1	77,1	94	0,4	6,9	7,7	7,3	13,4	48
180	0,1	77,2	93	0,5	10,7	5,0	11,2	10,2	45
210	0,1	77,2	96	0,6	13,8	5,8	14,4	6,0	45
240	0,1	77,3	95	0,5	16,1	5,7	16,6	4,0	45
270	0,1	79,2	97	0,4	19,5	6,0	19,9	3,0	45
300	0,1	77,8	96	0,6	21,2	4,1	21,8	3,0	45
330	0,1	77,8	96	0,4	21,3	4,2	21,7	1,4	18

Çizelge B.2: Çevrim içi izleme sonuçları (Set-1).

Dakika	Florür (mg/l)	Klorür (mg/l)	Sülfat (mg/l)	NO_2-N (mg/l)	NO_3-N (mg/l)	PO_4-P (mg/l)	N_{ox}-N (mg/l)	NH_4-N (mg/l)	KOİ (mg/l)
0	0,1	74,2	101	0,0	0,0	13,6	0,0	46,0	352
30	0,1	75,4	94	0,1	19,0	9,7	19,2	0,5	30
60	0,1	75,0	96	0,1	12,7	11,0	12,8	15,7	137
90	0,1	75,1	94	5,4	2,7	11,3	8,2	15,6	88
120	0,1	75,1	93	4,9	1,2	10,8	6,1	14,4	53
150	0,1	76,0	95	1,0	0,5	10,0	1,6	1,8	45
180	0,1	76,7	96	3,5	9,2	10,6	12,7	0,7	45
210	0,1	78,0	97	3,7	17,0	10,4	20,7	0,7	37
240	0,1	76,7	96	1,4	19,0	8,9	20,5	0,7	30
270	0,1	78,4	98	0,1	21,2	9,9	21,3	0,2	37
300	0,1	78,5	98	0,1	21,6	10,3	21,7	0,9	37
330	0,1	78,2	99	0,1	21,9	9,9	22,1	0,8	37

Çizelge B.3: Çevrim içi izleme sonuçları (Set-2).

Dakika	Florür (mg/l)	Klorür (mg/l)	Sülfat (mg/l)	NO_2-N (mg/l)	NO_3-N (mg/l)	PO_4-P (mg/l)	N_{ox}-N (mg/l)	NH_4-N (mg/l)	KOİ (mg/l)
0	0,1	74,0	111	0,4	20,1	13,1	20,5	16,3	141
30	0,1	68,0	102	0,5	7,6	11,0	8,1	17,8	48
60	0,1	68,5	103	0,4	6,0	11,0	6,5	17,8	30
90	0,1	69,3	104	0,5	4,2	10,9	4,7	17,8	30
120	0,1	69,8	105	0,4	1,9	11,1	2,3	17,2	18
150	0,1	70,1	106	3,8	8,2	10,5	12,0	12,2	21
180	0,1	70,8	107	2,8	14,8	10,6	17,6	7,0	24
210	0,1	71,5	108	1,5	21,9	11,0	23,4	2,4	21
240	0,1	71,7	108	0,1	25,2	11,6	25,3	1,3	22
270	0,1	71,4	109	0,0	25,9	11,9	25,9	1,3	27
300	0,1	71,8	110	0,0	26,2	12,0	26,2	0,7	23
330	0,1	73,0	110	0,1	26,3	12,2	26,4	0,4	9

Çizelge B.4: Çevrim içi izleme sonuçları (Set-3).

Dakika	Florür (mg/l)	Klorür (mg/l)	Sülfat (mg/l)	NO_2-N (mg/l)	NO_3-N (mg/l)	PO_4-P (mg/l)	N_{ox}-N (mg/l)	NH_4-N (mg/l)	KOİ (mg/l)
0	0	72	112	0,1	15,4	11,3	15,5	16,1	141
30	0	68	102	3,6	7,0	10,6	10,6	10,2	52
60	0	69	103	3,5	7,0	10,6	10,4	10,0	21
90	0	70	105	1,2	16,2	10,7	17,4	5,8	24
120	0	70	107	0,1	20,8	11,0	20,9	1,2	24
150	0	70	108	0,0	21,8	11,1	21,8	1,2	27
180	0	71	109	0,0	22,0	11,1	22,0	1,2	27
210	0	71	107	1,5	15,1	10,9	16,6	7,6	36
240	0	72	109	1,2	14,9	11,0	16,1	6,8	33
270	0	72	110	0,8	20,3	11,1	21,1	2,6	18
300	0	73	111	0,0	23,9	11,4	23,9	0,6	18
330	0	72	111	0,0	23,5	11,5	23,5	0,1	10

Çizelge B.5: Çevrim içi izleme sonuçları (Set-4).

Dakika	Florür (mg/l)	Klorür (mg/l)	Sülfat (mg/l)	NO_2-N (mg/l)	NO_3-N (mg/l)	PO_4-P (mg/l)	N_{ox}-N (mg/l)	NH_4-N (mg/l)	KOİ (mg/l)
0	0,1	62,1	102	0,9	11,9	12,2	12,8	18,1	135
30	0,1	62,2	97	4,9	4,6	11,6	9,6	11	30
60	0,1	63,0	99	4,5	4,1	11,5	8,6	11,2	24
90	0,1	63,0	100	4,2	2,8	11,6	7,1	11,4	27
120	0,1	63,3	102	2,8	9,7	11,6	12,5	10,4	24
150	0,1	63,4	102	1,0	17,2	11,7	18,3	6	38
180	0,1	63,7	102	0,0	18,5	11,6	18,5	0,1	38
210	0,1	63,5	99	1,5	12,1	11,5	13,6	6	38
240	0,1	63,0	100	1,3	10,7	11,4	12,0	8	33
270	0,1	64,0	103	0,1	20,4	11,8	20,4	2,2	38
300	0,1	64,2	103	0,1	19,9	11,7	20,0	6	35
330	0,1	62,1	102	0,9	11,9	12,2	12,8	0,1	21

Çizelge B.6: Çevrim içi izleme sonuçları (Set-5).

Dakika	Florür (mg/l)	Klorür (mg/l)	Sülfat (mg/l)	NO_2-N (mg/l)	NO_3-N (mg/l)	PO_4-P (mg/l)	N_{ox}-N (mg/l)	NH_4-N (mg/l)	KOİ (mg/l)
0	0,1	61,1	98	2,0	6,3	11,5	8,3	16,7	123
30	0,2	60,7	93	1,0	0,1	10,5	1,1	10,6	35
60	0,1	61,5	94	0,3	0,1	10,6	0,4	10,2	44
90	0,1	62,5	95	0,2	0,2	11,3	0,4	9,2	33
120	0,1	62,2	95	0,2	0,1	11,6	0,4	5,4	41
150	0,1	62,6	96	2,7	3,9	11,0	6,7	0,1	38
180	0,1	62,9	97	3,0	9,2	10,8	12,2	0,1	38
210	0,1	63,5	96	4,0	3,1	10,7	7,1	5,2	46
240	0,1	62,1	95	3,7	1,5	10,4	5,2	7	38
270	0,1	63,5	97	5,4	5,6	10,3	11,0	3	38
300	0,1	63,2	98	3,4	10,4	10,0	13,9	0,1	38
330	0,1	64,1	100	1,5	12,6	10,0	14,0	0,1	8

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: **Emine Simge Taybuğa**

Doğum Yeri ve Tarihi: **İstanbul 22.09.1985**

E-Posta: **taybuga@itu.edu.tr**

Lisans: **İstanbul Teknik Üniversitesi**

Yayın ve Patent Listesi:

▪ Alaton, İ., Ölmez, T., Genç, B., Dursun, D., Aytaç, E., Taybuğa, E., S., Bilgin, N., (2010), Ozonlama ve İleri Oksidasyon Prosesleri ile Endokrin Bozucu Bisfenol A Kirleticisinin Arıtımı, Ulusal Kimya Kongresi 2010.