

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AKTİF ÇAMUR SİSTEMLERİNDE ATIK ÇAMUR AZALTIMI AMACIYLA
OSA KONFIGÜRASYONUNUN İNCELENMESİ: TAM-ÖLÇEKLİ BİR
ARITMA TESİSİNİN MODELLEMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şadiye KOŞAR

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı

OCAK 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AKTİF ÇAMUR SİSTEMLERİNDE ATIK ÇAMUR AZALTIMI AMACIYLA
OSA KONFIGÜRASYONUNUN İNCELENMESİ: TAM-ÖLÇEKLİ BİR
ARITMA TESİSİNİN MODELLEMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Şadiye KOŞAR
(501111753)**

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Erdem GÖRGÜN

ARALIK 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501111753 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Şadiye KOŞAR**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**AKTİF ÇAMUR SİSTEMLERİNDE ATIK ÇAMUR AZALTIMI AMACIYLA OSA KONFIGÜRASYONUNUN İNCELENMESİ: TAM-ÖLÇEKLİ BİR TESİSİNİN MODELLEMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Erdem GÖRGÜN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. İzzet ÖZTÜRK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Gülsüm YILMAZ
İstanbul Üniversitesi

Teslim Tarihi : **15 Aralık 2014**
Savunma Tarihi : **23 Ocak 2015**

ÖNSÖZ

Lisansüstü eğitimim süresince bana her türlü katkıyı sağlayan, eleştirel bakış açısı ile beni geliştiren, pratik tecrübelerinden faydalandığım değerli danışman hocam Prof. Dr. Erdem GÖRGÜN'e teşekkürü bir borç bilirim. Sayın Hocamın önderliğinde faaliyetlerini sürdürmekte olan "İÖ Çevre Çözümleri Ar-Ge Ltd. Şti." ekibine çalışmama sağladıkları katkılardan dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımın en önemli destekçisi olan; gerek göndermiş oldukları atıksu numuneleri gerek arıtma sistemini yakından tanıma fırsatı vermelerinden ötürü 'İnegöl OSB Yönetimi'ne, OSB Bölge Müdürü *Erol ERUĞUR* ve Çevre Mühendisi *Osman ÖZCAN*'a teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmalarımın başlangıcından itibaren teknik anlamda desteklerini esirgemeyen sevgili hocam, Doç. Dr. Nevin Yağcı'ya teşekkür ederim.

Laboratuvarda gerçekleştirdiğim çalışmalar süresince bana sabreden, gerektiğinde öncelik tanıyan, içtenlikleriyle bana huzur veren ve beni daima motive eden sevgili çalışma arkadaşlarım Nilay Sayı Uçar, Soodeh Salimi ve Efe Gümüşlü'ye teşekkür ederim.

Aralık 2014

Şadiye Koşar
(Biyolog)

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET	xv
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Anlam ve Önemi	1
1.2 Tezin Amacı ve Kapsamı	2
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
2.1 Aktif Çamur Prosesi	5
2.2 OSA Prosesi	7
2.3 Çamur Azaltım Teknolojileri ve Mekanizmalarının İncelenmesi.....	11
2.3.1 Hücre parçalanması ve kriptik çoğalma.....	12
2.3.2 Endojenik metabolizma.....	12
2.3.3 Mikrobiyal predasyon	13
2.3.4 Hidrotermal oksidasyon	13
2.3.5 Ayrık metabolizma.....	13
2.4 Askıda Çoğalan Aerobik Sistemlerde Proses Stokiyometrisi	14
2.5 Aktif Çamur Sistemlerinin Modellenmesi	15
2.5.1 ASM 1 modeli.....	15
2.5.1.1 ASM 1 durum değişkenleri	18
2.5.1.2 ASM 1 model parametreleri.....	21
2.5.1.3 ASM 1 model kısıtları.....	21
2.5.2 ASM 2 ve ASM 2d modeli	21
2.5.2.1 ASM 2d çözünmüş bileşenler	22
2.5.2.2 ASM 2d partiküler bileşenler	23
2.5.2.3 ASM 2d prosesleri	24
2.6 Respirometre ve Ölçüm Esasları	28
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	35
3.1 Deneysel Tasarım.....	35
3.1.1 Deney düzeneği.....	36
3.1.2 OSA ve Kontrol deney setleri	39
3.1.3 Giriş atıksuyu karakterizasyonu.....	40
3.1.4 AKM/UAKM ve KOİ analizlerinin gerçekleştirilmesi.....	41
3.1.5 Günlük numune izlemeleri.....	41
3.2 Respirometre Ölçümleri	42

3.3 Model Yaklaşımı	46
3.3.1 Tesisin Tanıtımı.....	46
3.3.2 GPS-X Programının Tanıtılması	48
3.3.3 Kalibrasyon – Doğrulama Çalışmaları	51
3.3.4 Senaryo Çalışmaları	52
4. ÇALIŞMA SONUÇLARI.....	57
4.1 Deneysel Çalışma Sonuçları.....	57
4.1.1 OSA seti anaerobik biyoreaktör AKM/UAKM sonuçları.....	57
4.1.2 Kontrol seti – OSA seti AKM/UAKM sonuçları	58
4.1.3 Kontrol seti – OSA seti KOİ sonuçları.....	61
4.2 Respirometre Deney Sonuçları.....	62
4.3 Modelleme Çalışmalarının Sonuçları	65
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	75
5.1 Deneysel Çalışmanın Sonuçları.....	75
5.2 Modelleme Çalışmalarının Sonuçları	76
5.3 Öneriler.....	77
5.4 Gelecekteki çalışmalar.....	77
KAYNAKLAR	79
EKLER.....	83
ÖZGEÇMİŞ.....	113

KISALTMALAR

AKM	: Askıda Katı Madde
AKR	: Ardışık Kesikli Reaktör
ASM	: Aktif Çamur Modeli (Activated Sludge Model)
CAS	: Klasik Aktif Çamur (Conventional Activated Sludge)
COD	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı (Chemical Oxygen Demand)
ETC	: Elektron Transfer Zinciri (Electron Transfer Chain)
HRT	: Hidrolik Bekletme Süresi (Hydraulic Retention Time)
IR	: Değişim Oranı (Interchange Rate)
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
OSA	: Oksik-Çökelme-Anaerobik/Anoksik (Oxic-Settling-Anaerobic/Anoxic)
OTH	: Oksijen Tüketim Hızı
OUR	: Oksijen Tüketim Hızı (Oxygen Uptake Rate)
SBR	: Ardışık kesikli Reaktör (Sequencing Batch Reactor)
SS	: Askıda Katı Maddeler (Suspended Solids)
SRT	: Çamur Bekletme Süresi (Sludge Retention Time)
RAS	: Geri Devir Aktif Çamuru (Return Activated Sludge)
UAKM	: Uçucu Askıda Katı Madde
VSS	: Uçucu Askıda Katı Madde (Volatiled Suspended Solids)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : ASM 2d proses hız ifadeleri	26
Çizelge 2.2 : KOİ fraksiyonları (Orhon ve ark., 2009).....	32
Çizelge 3.1 : OSA sistemi faz süreleri.....	40
Çizelge 3.2 : Kontrol sistemi faz süreleri	40
Çizelge 3.3 : Giriş atıksuyu karakterizasyonu	41
Çizelge 3.4: OTH deney setleri	45
Çizelge 4.1 : Kontrol ve OSA setleri AKR karşılaştırmalı tablo.....	60
Çizelge 4.2 : Kontrol ve OSA setleri karşılaştırmalı tablo.	62
Çizelge 4.3 : OTH grafikleri alan değerleri & Δ KOİ değeri.	64
Çizelge 4.4 : KOİ fraksiyonları.	64
Çizelge 4.5 : ASM 2d model parametreleri (Henze ve ark., 2000).	66
Çizelge 4.6 : Simülasyon sonuçları.	68
Çizelge A.1 : Kontrol seti AKM/UAKM günlük izleme sonuçları.	83
Çizelge A.2 : OSA seti AKM/UAKM günlük izleme sonuçları.	84
Çizelge A.3 : Kontrol seti KOİ günlük izleme sonuçları.	85
Çizelge A.4 : OSA seti KOİ günlük izleme sonuçları.	86
Çizelge A.5 : Kontrol seti günlük çamur miktarı.	87
Çizelge A.6 : OSA seti günlük çamur miktarı.	89
Çizelge A.7 : Tesis giriş atıksu karakterizasyonu.....	91
Çizelge A.8 : Set 1 Oksijen Tüketim Hızı (R_a)sonuçları	93

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Aktif çamur prosesi.	5
Şekil 2.2 : OSA sistemi.....	7
Şekil 2.3 : OSA sistemindeki mekanizma (Novak ve ark., 2006).	10
Şekil 2.4 : ASM 1 matrisi.	17
Şekil 2.5 : Giriş atıksuyu KOİ fraksiyonları (Spanjers ve ark., 1995).....	19
Şekil 2.6 : Tipik OTH profili (Orhon ve ark., 2009).	31
Şekil 3.1 : AKR prosesi genel akım şeması (EPA).	35
Şekil 3.2 : OSA prosesi ve Kontrol sistemi şematik gösterimi.	37
Şekil 3.3 : OSA prosesi ve Kontrol sistemi deney düzeneği.	38
Şekil 3.4 : Ardışık kesikli reaktör işletme süreleri.	39
Şekil 3.5 : Respirometre cihazı.	43
Şekil 3.6 : Tesis konfigürasyonu.	47
Şekil 3.7 : GPS-X programı simülasyonu modu genel görünüm.	49
Şekil 3.8 : GPS-X programında tesis akım şeması.	53
Şekil 4.1 : Anaerobik biyoreaktör AKM ve UAKM konsantrasyonları.	58
Şekil 4.2 : Kontrol sistemi AKR’de AKM ve UAKM konsantrasyonları.	58
Şekil 4.3 : OSA sistemi AKR’de AKM ve UAKM konsantrasyonları.	59
Şekil 4.4 : Kontrol sisteminde günlük oluşan ya da sistemden atılan UAKM’nin kümülatif toplamı	59
Şekil 4.5 : OSA sisteminde günlük oluşan ya da sistemden atılan UAKM’nin kümülatif toplamı	60
Şekil 4.6 : Kontrol sisteminde çıkış suyu günlük KOİ sonuçları.	61
Şekil 4.7 : OSA sisteminde çıkış suyu günlük KOİ sonuçları.	62
Şekil 4.8 : Set 1 Oksijen tüketim hızı grafiği.	63
Şekil 4.9 : Set 2 Oksijen tüketim hızı grafiği.	63
Şekil 4.10 : Set 3 Oksijen tüketim hızı grafiği.	64
Şekil 4.11 : Tesis ve model AKM sonuçlarının karşılaştırılması.	67
Şekil 4.12 : Tesis ve model UAKM sonuçlarının karşılaştırılması.	67
Şekil 4.13 : Tesis ve model KOİ sonuçlarının karşılaştırılması.	68
Şekil 4.14 : Tesis ve model mevcut durumlarının karşılaştırılması.	69
Şekil 4.15 : Model mevcut durumu ile Cannibal’siz durumun karşılaştırılması.	69
Şekil 4.16 : IR değerlerinin karşılaştırılması.	70
Şekil 4.17 : % 5 IR değeri ile mevcut durumun karşılaştırılması.	70
Şekil 4.18 : % 15 IR değeri ile mevcut durumun karşılaştırılması.	71
Şekil 4.19 : Çamur yaşının 10 gün & 15 gün olduğu durumların karşılaştırılması.	71

Şekil 4.20 : Çamur yaşının 10 gün olduğu durum ile mevcut durumun.....	72
Şekil 4.21 : Çamur yaşının 15 gün olduğu durum ile mevcut durumun.....	72
Şekil 4.22 : Mevcut durum modeli ile senaryoların karşılaştırılması.	73

AKTİF ÇAMUR SİSTEMLERİNDE ATIK ÇAMUR AZALTIMI AMACIYLA OSA KONFIGÜRASYONUNUN İNCELENMESİ: TAM-ÖLÇEKLİ BİR ARITMA TESİSİNİN MODELLEMESİ

ÖZET

Evsel ve endüstriyel atıksuların arıtılmasında kullanılan aktif çamur sistemi, sırasıyla havalandırma havuzu (biyolojik prosesler gerçekleşir) ve son çökeltme havuzundan oluşmaktadır. Sistemde istenilen çamur yaşına ulaşmak amacıyla son çökeltme havuzundaki çökelmiş çamurun bir kısmı sistemin başında bulunan havalandırma havuzuna geri devredilir. Bu sayede organik maddenin bir bölümünün biyokütleyle dönüşmesi sağlanır. Biyokütle oluşumu ve beraberinde nitrifikasyonun gerçekleştirilebilirliği her ne kadar sistemin avantajlı olduğunu düşündürse de *fazla çamur* oluşumu ciddi bir problem olarak karşımıza çıkar. Söz konusu çamurun kontrolü çürütme, susuzlaştırma, stabilizasyon, kimyasal arıtma ve yoğunlaştırma ile mümkün olup; maliyetlidir. Maliyetin yüksek olması sebebiyle alternatif birtakım sistemler incelenmiş ve bunlar arasından uygulanabilirliği kolay ve çamur azaltımında “Aktif çamur sistemi” ile mukayese edildiğinde yaklaşık % 50 - 60 oranında azalma sağlayan “OSA (Oksik-çökeltme-anaerobik/ anoksik) sistemi” seçilmiştir.

Çalışmada “Aktif çamur sistemi” ile “OSA sistemi” çamur azaltımı bakımından karşılaştırılmıştır. Her iki sistem benzer işletme koşulları sağlanarak çalıştırılmıştır. Aktif çamur prosesini temsilen ardışık kesikli reaktör kurulmuştur. OSA prosesi, anaerobik reaktörün entegre edildiği ardışık kesikli reaktör kullanılarak kurulmuştur. Sistemlerde gün içerisinde 6’şar saatten oluşan toplam 4 döngü gerçekleşmektedir. Reaktörlerin kurulum aşamasında kullanılan çamur ile işletmeye alındıktan sonra kullanılan atıksu aynı tesisten temin edilmiştir.

Tesis giriş atıksuyu yaklaşık % 60 oranında evsel, % 40 oranında endüstriyel atıksudan oluşmaktadır. Endüstriyel atıksuyun büyük çoğunluğunu da tekstil endüstrisinden kaynaklanan atıksular meydana getirmektedir.

Çalışma üç aşamada yürütülmüştür. İlk aşama, aktif çamur sistemi ile OSA sistemlerinin laboratuvar ölçekli kurulması ve işletilmesidir. Bu aşamada günlük izlemeler yapılarak sistemlerin takibi yapılmıştır.

İkinci aşama, kararlı duruma ulaşan sistemlerde respirometre deneylerinin gerçekleştirilmesidir. Respirometre deneylerinden elde edilen oksijen tüketim hızlarından yola çıkarak gerçek atıksuya ait b_H , μ_H kinetik katsayıları ile Y_H stokiyometrik katsayısı hesaplanmıştır.

Üçüncü aşama, ilk iki aşamadan elde edilen ve/veya hesaplanan veriler ile tesisin modellenmesini içermektedir. Modelleme çalışmasında matematiksel denklemlerle hesaplama yapan bir yazılım, GPS-X[®] adlı ticari program kullanılmıştır. Bunun için öncelikle tesis konfigürasyonunda bulunan her bir ünite modele girilmiştir.

Ünitelerdeki prosesler ve boyutsal ifadeler modelde işlenmiştir ve ardından modelin kalibrasyonuna başlanmıştır. Kalibrasyon işleminde; deneysel çalışmalardan elde edilen katsayılar ve hesaplanan KOİ fraksiyonları giriş atıksu karakterizasyonuna yansıtılmıştır. Tesise ait 1 yıllık giriş KOİ ve debi verileri kullanılarak modelin kalibre edilmesi sağlanmıştır. Bu aşamada stokiyometrik ve kinetik katsayılarla oynanarak model çıktılarının, özellikle KOİ, AKM ve UAKM verilerinin, tesis gerçek verileriyle örtüşmesi sağlanmıştır. Kalibrasyon işleminin ardından tesise ait diğer 1 yıllık giriş KOİ ve debi verileri kullanılarak doğrulama işlemi gerçekleştirilmiştir. Modelin kalibrasyon ve doğrulamasının yapılmasının ardından tez deneysel çalışma sonuçları ve literatür verilerinden yararlanılarak farklı senaryolar oluşturulmuştur. Mevcut durum dahil olmak üzere toplam 4 *farklı senaryo* geliştirilmiştir. Model çıktılarına göre işletme açısından anlamlı senaryo seçilmiş ve optimizasyon açısından değerlendirilmiştir.

Senaryo analizleri 3 durum için incelenmiştir: (1) OSA sisteminin bulunmadığı durum, (2) IR değerinin % 5 ve % 15 olduğu durum, (3) Anaerobik reaktördeki çamur yaşının 10 gün ve 15 gün olduğu durum.

Senaryo analizleri sonucu OSA sisteminin olmadığı durumda tesisten atılan günlük çamur miktarında 27 ton artış olduğu tespit edilmiştir. Çamur yaşının önemli bir

etkisinin olmadığı ancak IR değeriindeki artış ile sistemden atılan günlük çamur miktarında 12 tonluk bir azalmanın yanı sıra çamur dönüşüm oranında da bir azalma sağladığı belirlenmiştir.

Gelecek çalışmalarda OSA sisteminin çamur azaltım mekanizmasının daha iyi anlaşılması açısından mikrobiyal populasyonun tespitine yönelik moleküler deneylerin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Böylelikle proseste gerçekleşen metabolik aktivitelerin ne olduğunu netleştirecektir.

EXAMINATION OF THE OSA PROCESS FOR THE PURPOSE OF EXCESS SLUDGE MINIMIZATION AT ACTIVATED SLUDGE PROCESS: MODELLING OF A FULL-SCALE PLANT

SUMMARY

Activated sludge process, which is used for domestic and industrial wastewater treatment, is consisted of an aeration basin (biological processes occur) and a final clarifier respectively. Certain amount of the sludge is recycled back to the aeration tank, in order to achieve a desired sludge age at whole of the system. Thus, a part of the organic matter is converted to biomass while nitrification is carried out.

Excess sludge production emerges as a serious problem in activated sludge processes even if it is implied as an advantageous system with biomass formation and the capability to do nitrification. Control of the excess sludge is possible with digestion, stabilization, chemical treatment and thickening; though still burdensome in terms of cost. Some alternatives are investigated and the one, whose applicability's easy and that can approximately provide % 60 reduction in sludge minimization in comparison with the conventional activated sludge system, called as "OSA (Oxic-settling-anoxic) process", has been chosen of other systems due to high costs.

In this research "conventional activated sludge" and "OSA process" were compared in terms of excess sludge reduction capacity via using a mathematical modelling program which is called GPS-X[®]. Study was conducted following the three steps; experimental set-up (daily analysis were conducted), respirometric analysis and modelling.

In the first phase, reactors were set up to exhibit Activated sludge process and OSA process. Sequencing batch reactor was used to simulate conventional activated sludge process. An anaerobic bioreactor integrated with the sequencing batch reactor was used to simulate the OSA process.

Sequencing batch reactors were chosen in both of the systems due to its performance on both carbon removal and nitrification/denitrification. Both systems were operated at the same time, having a total of 4 cycles each including 6 hours during the day. The sludge used at the beginning of the installation of the reactors and the wastewater that's used during the operation were obtained from the same treatment plant. Domestic and industrial wastewater's are treated in the wastewater treatment plant. Around % 40 of the wastewater is coming from industrial activities, which are almost textile industries. The rest of the wastewater is coming from domestic activities. Though it's known that wastewater entering to the plant was intensive in terms of suspended solids; for this reason wastewater was added to the lab-scale systems, after having settled about 30 minutes.

Sequencing batch reactor's volume used in the experimental set-up were 2 liters, both were fed with 500 ml of wastewater during feeding phase. Timed pumps were used for the addition of the wastewater to the systems, for the exchange ($1/10^{\text{th}}$ of the aerobic sludge was exchanged with the anaerobic sludge on a daily basis) and for the discharge from the systems. Some analysis were conducted to the samples taken from sequencing batch reactors and to the discharged wastewater from the systems.

Samples were taken from each reactors twice a week to perform suspended solids and volatile suspended solids analysis. Daily samples were taken from discharges to do SS and VSS analysis after having a stable condition in both of the systems. In addition to these experiments COD analysis was also performed to interrogate the COD removal rate of the systems.

Samples were taken once a week from the anaerobic reactor to conduct suspended solids, volatile suspended solids and soluble COD analysis. All of the experiments performed in the first phase were to ensure of the steady-state conditions in the systems.

In the second phase, respirometric tests were conducted to measure the oxygen uptake rate of the systems after having steady-state conditions. Experiments were done to have a comparable result of the systems by means of the oxygen consumption rate of the microbial population during the operation of the systems. System's differ from each other in terms of anaerobic reactor integrated to the sequencing batch reactor. Three sets of respirometric test were performed to differentiate the endogenous decay

levels. In the first two set-up, sludge was taken from the SBR's and then used with the addition of nitrification inhibitor, wastewater and tap water for the oxygen uptake rate test. For the last set-up, sludge was taken from OSA system's SBR and also from the anaerobic reactor; while nitrification inhibitor, wastewater and tap water was added.

According to the respirometric experiments some of the COD fractions were estimated by using the OUR values in the calculations.

In the third phase, a model was created in order to represent the wastewater treatment plant. While doing it a mathematical model approach was adopted to perform the optimization of the treatment plant by using a commercial software called GPS-X[®] program. In modelling study, every unit in the plant configuration was entered to the model. Calibration was carried out just after entering the processes occurring in every unit including its dimensions. Plant influent wastewater's characterization was demonstrated in the model with the data obtained from laboratory experiments. Beneath these data, COD and flow values of 1 year relevant to the influent wastewater has been entered for the calibration step of this phase. Some kinetic and stoichiometric coefficients were tried to calibrate the system. Shortly after the calibration step, verification was done by using 1 year COD and flow data of the plant.

After having a steady-state in the model, scenarios were created. 4 scenarios were simulated additionally to the current situation of the treatment plant. These scenarios were build up in accordance with the literature review and also on the basis of treatment plant's configuration.

Model data was compared in terms of sludge production at the system in the absence of Cannibal tank and belt filter. Sludge amount is increased about 27 tonnes on a daily basis and yield was decreased to 0.506 gVSS/gBOD₅ from 0.729 gVSS/g BOD₅ within this scenario.

Sludge age in the anaerobic tank was changed as 10 days and 15 days. In both of the sludge ages little difference was observed.

Interchange rate value was assessed to interrogate the sludge production. IR value was % 10 in the current condition; for the modelling this was changed as % 5 and % 15. Regarding the yield and sludge production it's found that increase in IR value is feasible via reduction of excess sludge. Sludge was reduced 12 tonnes on a daily basis and yield was also decreased when compared to the current situation.

In the OSA process, some approaches were followed to explain the mechanisms of the sludge reduction. While none of them are verified. According to the literature review sludge is reduced by one of the following hypothesis: (1) microorganisms in the system is related to the slow growers, then due to this assumption they have low yield. (2) energy yielded in the metabolic activities of the microbial population is not equally shared between anabolic and catabolic activities. (3) sludge decay rate in the anaerobic reactor is above the normal values.

Further research should be done to clarify the uncertainties of the system caused by inadequate information on the microbial population of the OSA system. For a better understanding of the excess sludge reduction mechanism molecular methods could be performed to observe microbial population for having an idea on the metabolic activities of the organisms.

1. GİRİŞ

1.1 Tezin Anlam ve Önemi

Gün geçtikçe artan atıksu arıtma ihtiyacına yönelik yapılan uygulamalar arasında popülerliğini koruyan aktif çamur sistemi, evsel ve endüstriyel atıksuların arıtılmasında kullanılan biyolojik arıtma yöntemidir. Atıksuyun arıtılması ile ilgili zorluklar büyük ölçüde aşılmış olmasına rağmen, tesiste oluşan çamurun uygun ve ekonomik bir şekilde bertarafı ile ilgili sorunlar hala devam etmektedir. Tesis işletme maliyetinin yaklaşık % 50 - 60 kadarını atık çamurların uzaklaştırılması ve bertarafı işlemleri oluşturmaktadır (Tchobanoglous ve ark., 2003).

Atık çamurların bertarafı sadece ekonomik olarak bir yük olarak değerlendirilmemelidir. Çamurların uygun bir şekilde bertaraf edilmemeleri ve gelişigüzel bir şekilde toprak veya su alıcı ortamlarına bırakılmaları, doğanın kirlenmesi açısından da büyük riskler oluşturmaktadır. Öte yandan kütleli olarak da büyük boyutlara ulaşan bu çamurlar, depolanabilecek kaliteye getirilseler bile, kapladıkları alanlar ve hacimler açısından da büyük bir dezavantaj oluşturmaktadırlar.

Bütün bu nedenlerle biyolojik atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan atık çamurların bertaraf edilmeden önce arıtılmaları (doğaya zarar vermeyecek hale getirilmeleri, olabildiğince geri kazanım/yeniden kullanım uygulamalarının hayata geçirilmesi ve kütleli olarak oluşmalarının azaltılması “sürdürülebilir çamur yönetimi”nin en önemli bileşenleri olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu tez çalışmasında, fazla çamur oluşumunu kaynağında azaltan yöntemlerden biri olan OSA prosesi incelenmiştir. OSA prosesinde, aktif çamur sisteminden farklı olarak geri devir hattına ilave edilmiş olan anoksik (veya anaerobik) bir reaktör bulunmaktadır. Anoksik/Anaerobik tankın ilave edilmesi mevcut aktif çamur sisteminlerine kolaylıkla entegre edilebilmektedir.

1.2 Tezin Amacı ve Kapsamı

Bu bilimsel çalışmanın nihai hedefi, evsel ve endüstriyel aktif çamur sistemlerinden kaynaklanan “atık çamurların” azaltılmasına yönelik öneriler geliştirmek ve bu yolla çevre kirliliğinin en uygun ve ekonomik bir şekilde önlenmesine katkıda bulunmaktır.

Tezin spesifik amacı ise, gerçek bir evsel ve endüstriyel biyolojik atıksu arıtma tesisinden kaynaklanan çamurların OSA sistemi ile azaltılması amacıyla uygulanması gereken işletme koşullarının incelenmesi ve optimizasyonuna ilişkin öneriler geliştirilmesidir.

Bu amaçla İnegöl OSB Evsel ve Endüstriyel Atıksu Arıtma Tesisi’nden gerçek atıksu ve çamur örnekleri alınarak öncelikle bir dizi deneysel çalışma yürütülmüş ve atıksuyun karakterizasyonu ve biyolojik arıtılabilirliğine/ayrışabilirliğine ilişkin özelliklerin (kinetik/stokiyometrik katsayıların) belirlenmesi planlanmıştır.

Daha sonra elde edilen bulgular kullanılarak, dünyanın en gelişmiş aktif çamur model simülatörlerinden GPS-X programı kullanılarak incelenen gerçek tesis modellenmiş ve farklı senaryolar yardımıyla OSA prosesine etki eden temel parametre ve değişkenlerin sisteme olan etkileri incelenmiştir.

Tez kapsamında OSA prosesini içermeyen bir aktif çamur prosesi ile OSA prosesini içeren bir sistemin karşılaştırılabilmesi amacıyla biz dizi deneysel çalışma yürütülmüştür. Deneysel çalışmalar iki aşamadan oluşmaktadır: kararlı durum elde edilmesine kadar geçen süre ve sürdürülen analizler; kararlı durum sonrası respirometre deneylerinin gerçekleştirildiği süre. Bu aşamaların her ikisi de tezin nihai amacı olan model çalışmalarına veri sağlamak üzere gerçekleştirilmiştir. Çalışma ile tam-ölçekli bir tesinin modellenmesi yapılmış; optimizasyonuna yönelik çeşitli modifikasyonlar üzerinde durulmuştur.

Çalışmada tam-ölçekli sistem olarak OSA prosesini içeren Türkiye’deki ilk ve tek örnek atıksu arıtma tesisi seçilmiştir. Tesis dünyadaki örneklerinin aksine yalnızca evsel atıksular için değil aynı zamanda endüstriyel atıksuların arıtılması amacıyla da kullanılmaktadır.

Tesisten alınan atıksular ile laboratuvar ölçekli bir sistem kurulmuştur. Bu amaçla; iki deney düzeneği oluşturulmuştur. Bunlardan ilki aktif çamur sistemini temsilen ardışık kesikli reaktörün kullanıldığı ve bundan sonra “Kontrol Seti” olarak anılacak olan

sistemdir. İkincisi ise OSA konfigürasyonunu temsilen ardışık kesikli reaktör ve buna bağlı anaerobik reaktörün bulunduğu sistemdir. Kontrol seti, OSA prosesi ile aktif çamur sisteminin arasındaki farkı ortaya koymak için kurulmuştur. Sistemlerin çalıştırılmasının ardından belli bir süre kararlı hale gelmeleri beklendi.

Kararlı hale ulaşılmasının ardından mikroorganizmaların dakikada tükettikleri oksijen miktarını ölçmede kullanılan respirometre deneyleri gerçekleştirilmiştir. Respirometre deneylerinden elde edilen oksijen tüketim hızı ile de bazı KOİ fraksiyonları hesaplanmıştır.

Son olarak nihai amaç olan atıksu arıtma tesisinin modellenme aşamasına geçilmiştir. Bunun için öncelikle tesis konfigürasyonu modelde oluşturulmuş; ardından tank hacimleri, geri devir oranı vb. fiziksel veriler ile tesis giriş KOİ, giriş debi verileri modele girilmiştir. Tesis giriş atıksuyu 1 yıllık KOİ ve debi verileri ile modelin *kalibrasyonu*; 1 yıllık KOİ ve debi verileri ile de modelin *doğrulaması* yapılmıştır. Modelin mevcut durum için doğru şekilde çalıştığının gözlemlenmesinin ardından sistemde IR oranı ve çamur yaşına yönelik modifikasyonlar gerçekleştirilerek farklı senaryolar üzerinde durulmuştur. Laboratuvar çalışması ile başlayan ve model çalışması ile devam eden bu süreç nihai olarak tesis optimizasyonuna yönelik yapılmıştır.

Tez kapsamında; Bölüm 1’de tezin anlam ve önemi üzerinde durulmuş; çalışmanın amaç ve kapsamı belirtilmiştir. Bölüm 2’de tez çalışmasında kullanılan materyal ve metodu da kapsayacak şekilde literatür bilgisine verilmiştir. Bölüm 3’de ise çalışma süresince gerçekleştirilen deneyler ile model yaklaşımına yönelik materyal ve metod bilgisine yer verilmiştir. Bölüm 4’de deneysel ve model çalışmalarının sonuçlarına yer verilmiştir. Bölüm 5’de ise bir önceki bölümde verilen sonuçlara kısaca yeniden değinilmiş ve bazı önerilerde bulunulmuştur. Son bölümde ise kaynaklar, ekler ve özgeçmişe yer verilmiştir.

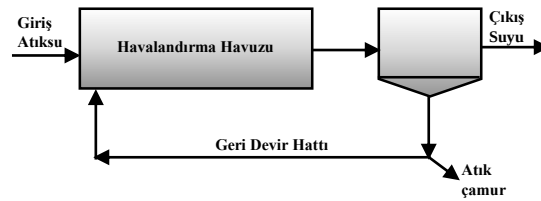
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Aktif Çamur Prosesi

Atıksu arıtma sistemlerinde uygulanan prosesler iki ayrı kategoride incelenmektedir; askıda büyüyen prosesler ve bağlı büyüyen prosesler. Askıda büyüyen proseslerden biri de aktif çamur prosesidir (Grady ve ark., 1998). Aktif çamur prosesi, adını atıksuya sürekli hava verilmesi sebebiyle oluşan biyokütleden almaktadır. Aktif çamur prosesinde, atıksuda bulunan organik bileşikler ile mikroorganizmalar biraradadır. Bakteriler atıksudaki organik bileşikleri substrat olarak kullanılır ve çoğalırlar.

Evsel ve endüstriyel atıksuların arıtılmasında kullanılan aktif çamur prosesi, 1914 yılında Arden ve Lockett tarafından İngiltere’de geliştirilmiştir. Teoride ve pratik uygulamalarda yer bulan bu proses birçok atıksu arıtma tesisinde kullanılmaktadır (Grady ve ark., 1998, Metcalf & Eddy, 2003).

Aktif çamur sistemi en basit haliyle havalandırma tankı (biyolojik aktivitenin gerçekleştiği yer) ve son çökeltme tankından oluşmaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 : Aktif çamur prosesi.

Aktif çamur prosesi; karbon oksidasyonu, nitrifikasyon, denitrifikasyon ve fosfor giderim amaçlı uygulanabilmektedir. Nutrient giderimi sistemde aerobik, anoksik koşullar oluşturularak sağlanmaktadır. Sistemde bulunan mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilen çoğalma ve içsel solunum reaksiyonları sırasında biyolojik

olarak ayrışan substratlar kullanılır ve organizmaların enerji ihtiyacı karşılanır. İçsel solunum, oksijen, nitrit, nitrat ve sülfat gibi inorganik bileşiklerin elektron alıcısı olarak kullanıldığı metabolik bir aktivite olup; bu elektron alıcılarından oksijenin bulunduğu durumlar aerobik prosesler olarak tanımlanmaktadır. Metabolik aktivite esnasında substrattan sağlanan moleküler enerji hücre tarafından ATP enerjisine dönüştürülür ki bu enerji organizma tarafından daha sonra yeni ürünler oluşturmada ve/veya büyüme aktivitesi için kullanılır (Spanjers ve ark., 1998).

Aktif Çamur Biyokimyası : Aktif çamur bakterileri tarafından yürütülen biyokimyasal reaksiyonlar esnasında; karbonhidratlar, lipitler ve benzeri organik bileşiklerde olduğu gibi oksidasyon reaksiyonları gerçekleştirilir ve son ürün olarak karbondioksit ile suya oksitlenir; bir yandan da proteinlerden amonyum oluşturulur. Bakteri metabolik faaliyetlerinin amacı yeni hücre oluşumu için gereken enerjiyi elde etmektir. Enerji reaksiyonları sentez reaksiyonları ile yakından ilişkilidir; çünkü enerji açığa çıkar çıkmaz yeni hücre oluşumu gözlenir. Her iki reaksiyon arasındaki bu bağlantı göz önüne alındığında; enerji reaksiyonlarındaki asetat ve format gibi primer ara ürünlerinin sentez reaksiyonlarında da görülmesi doğaldır. Aktif çamur biyokimyasının saf bakteri kültürleri, saf protozoa kültürleri ve ileri organizmalar ile birebir aynı olduğu bilinmelidir. Aralarındaki temel fark aktif çamurun karışık bakteri, protozoa kültürü ve ileri organizmalardan meydana gelmiş olmasıdır. Biyokimyasal olaylarla ilgili yapılan araştırmaların çoğu saf kültürler üzerine olduğu için bu çalışmalardan elde edilen verilerin aktif çamur sistemlerinde kullanımında dikkat edilmesi gerekmektedir (Liu ve ark., 2001).

Çamur Oluşumunu Etkileyen Faktörler:

Hücre Ölümü : Aktif çamur sistemlerinde hücre parçalanması gerçekleşmektedir ve mikroorganizmalar sürekli ölmektedir. Bu şekilde açığa çıkan organik maddeler de ortamdaki bakteriler tarafından kullanılmaktadır. Mikrobiyal metabolizma ile yeniden kullanılan bu organik maddelerin solunumda yeniden kullanılması ile karbonun bir kısmı uzaklaştırılmış olur. Bu sayede toplam biyokütle miktarında azalma meydana gelir ve hücre parçalanmasındaki verim dolayısıyla toplam çamur oluşumunda da azalmaya neden olur (Wei ve ark., 2003).

SRT (Çamur Yaşı) : Çamur yaşı ile aktif çamurun fiziksel ve biyolojik özellikleri kontrol edilebilir. Kinetik teorisine göre çamur yaşının uzun tutulması ile atıksudaki

substrat giderimi daha fazla olmaktadır. Ancak bu durumda atıksu özellikleri, aktif çamur sistemi konfigürasyonu ve özellikle nutrient giderimi göz önünde bulundurulmalıdır (Metcalf & Eddy, 2003).

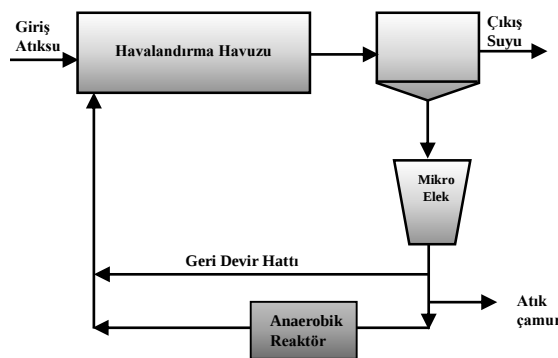
S/X oranı : Chudoba ve ark. (1992a) tarafından yürütülen çalışmalarda başlangıç substrat konsantrasyonunun, başlangıç biyokütle konsantrasyonuna oranının oldukça düşük olduğu durumlarda harici substrat azlığından hücre bölünmesinin gerçekleşmediği tespit edilmiştir. Bu durumda biyokütle oluşumunun depo polimerlerden enerji elde edilmesi ile sağlandığı ortaya konmuştur.

Aktif Çamur Prosesinde Çamur Problemi : Aktif çamur sistemi, atıksuların arıtılmasında, alternatiflerine göre verimli ve maliyeti düşük olsa da oluşturduğu çamur miktarı oldukça fazladır. Sistemde meydana gelen fazla çamurun birikmesini önlemek amacıyla sistemden ya arıtma işlemleri için ya da bertaraf edilmesi için uzaklaştırılmalıdır.

2.2 OSA Prosesi

OSA sistemi prensipte aktif çamur sistemine anaerobik bir tankın ilave edilmesi ile oluşturulmuştur (Şekil 2.2). Ticari adıyla, Cannibal® Prosesi olarak bilinen OSA prosesinin yalnızca Amerika'da yirmiden fazla tesiste uygulaması mevcuttur (Easwaran, 2006).

Geri devir hattında yapılan bu değişiklik ile herhangi bir biyolojik arıtma sistemine kolaylıkla entegre edilebilirliği nedeniyle pratiktir (Liu ve ark., 2001).



Şekil 2.2 : OSA sistemi.

Anaerobik reaktörde aktif çamur sisteminden farklı organizmalar bulunmaktadır. Bunlar aerobik çamur floklarını parçalar ve egzopolimerik maddelerin (EPS) açığa çıkmasını sağlar. Ardından bu maddeleri organik madde olarak kullanarak çoğalırlar.

Aşırı çoğalan bu bakteriler sonrasında aeroblar tarafından degradasyona uğradıkları aktif çamur sistemine geri devredilir. Bu aşamada yeniden EPS ve diğer organik maddeler oluşturulur (Easwaran, 2006, Novak ve ark., 2007a).

Açığa çıkan ve kullanılan farklı organik maddelerin tüketimi ile sistemdeki substrat konsantrasyonunun sabit tutulması sağlanır. Sistemdeki askıda katı madde konsantrasyonunu kararlı halde tutmak için IR olarak ifade edilen ve anaerobik reaktör ile aktif çamur arasındaki çamur değişim oranını gösteren bu değer optimizasyonu önemlidir. Birçok çalışma ile bu oranın aktif çamur sistemindeki toplam biyokütlenin 1/10'u olarak alındığında optimum değerde olduğu ortaya konmuştur (Chon, 2005, Easwaran, 2006, Novak ve ark., 2007a).

OSA sisteminin işletmeye alındığı birçok tesis bulunmasına rağmen henüz tam anlamıyla anlaşılmış değildir; ancak sistem performansını etkilediği düşünülen bazı durumlar aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir:

- Aktif çamur sisteminin konfigürasyonu belirgin şekilde sistem performansını etkilemektedir. Örneğin; piston-akımlı sistemler, tam karışımli sistemlerden daha verimlidir.
- Spesifik olarak Cannibal'e özgü bir mikroorganizma bulunmamaktadır. Aksine aktif çamur sisteminde tipik olarak sistemden çıkış suyu ile kaçan yavaş büyüyen mikroorganizmaları (fosforu bünyesinde biriktirenler, Anamox organizmaları, demiri indirgeyenler) içermektedir (Chon, 2005, Novak ve ark., 2007a).
- Sistemde bulunan katı madde ayırma ünitesi (özellikle ön çökeltme tankının bulunmadığı durumlarda kullanılması önerilir) ile inorganik maddelerin birikimi önlenmektedir. Bu durum özellikle ön çökeltmenin bulunmadığı durumlar için önemlidir.
- Endojenik aktivite sonucu görülen bakteriyel ölümün, toplam dönüşüm oranının azalmasına katkısı bulunmaktadır (Goel ve ark., 2006).

Sistem işletmesinde gün içerisinde anaerobik reaktör ve aerobik reaktör arasında biyokütle değişimi gerçekleştirilir. Proses işletmesinde önemli olduğu düşünülen bazı parametreler üzerinde durulmuştur. Bu parametreler oksidasyon-redüksiyon potansiyeli (ORP), hidrolik bekletme süresi (HRT) ve IR değerleridir. Yapılan çalışmalardan elde edilen bulgulara göre oksidasyon-redüksiyon potansiyeli -250 mV

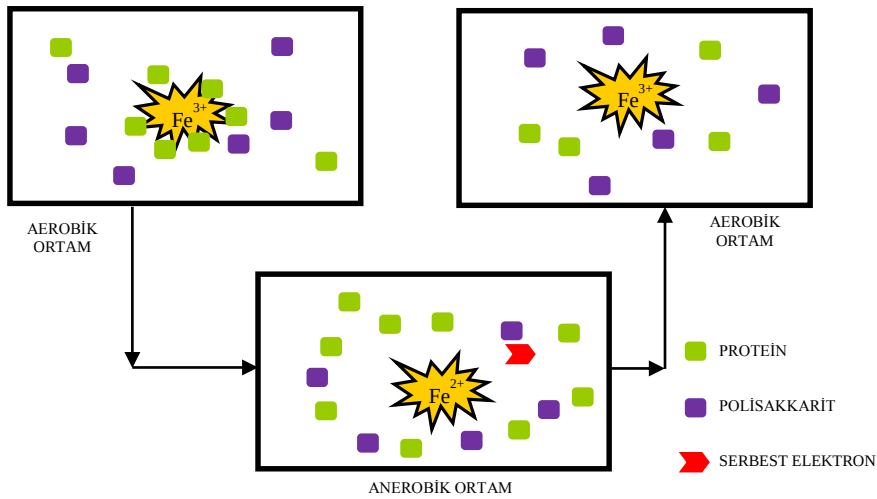
değerinde olan OSA prosesi ile + 100 mV değerinde işletilen aktif çamur sistemi mukayese edildiğinde; OSA prosesinde % 36 oranında çamur azaltımı gerçekleştirildiği gözlenmiştir. Düşük ORP seviyelerinin aynı zamanda düşük SVI (çamur hacim indeksi) değerinin elde edilmesine katkısı olduğu tespit edilmiştir.

Herhangi bir atıksu arıtma sisteminde, aerobik ya da anaerobik biyokimyasal reaksiyonlar SRT (çamur yaşı) değerine bağlıdır. Çamur yaşı, mikroorganizmaların hayatsal fonksiyonlarını yerine getirmelerini ve minimum seviyede proliferasyonlarına olanak sağlayacak şekilde seçilmelidir. OSA prosesindeki anaerobik reaktör tam karışımli olarak işletildiği için SRT ve HRT değerleri aynıdır. Hidrolik bekletme süresi kritik bir parametre olup üzerinde daha fazla çalışma yapılması gerekmektedir. Benzer şekilde IR değeri de kritik bir öneme sahiptir. Her iki değerin optimizasyonu ile işletme koşulları ve dolayısıyla maliyetlerin olumlu yönde düzeltilmesi mümkün olacaktır (Novak ve ark., 2003; Sabby ve ark., 2003).

OSA prosesi ile çamur azaltımının nasıl gerçekleştiğine dair birkaç teori bulunmakla beraber bunlardan ilki mikrobiyal enerji ayrımı teorisidir. Mikrobiyal enerji ayrımı teorisine göre biyoreaktörde tutulan çamurun ATP içeriği, düşük ORP (oksidasyon redüksiyon potansiyeli) değerinde, sisteme nutrient ilavesi yapılmadığı için hızlıca düşmektedir ve bu durumda da harici besin kaynağı kalmamaktadır. Aerobik koşullara geçiş gerçekleştiğinde ise yeterli miktarda besin maddesinin olması ile beraber ATP miktarı hızlıca artmaktadır. Bu durumda gerçekleşen döngüsel çamur değişimi ile ATP içeriği metabolik faaliyetlerde; yani anabolizma ve katabolizmada kullanılır ve dönüşüm oranının azalması sağlanır. Bu oranın azalması ile daha düşük miktarda çamur oluştuğu ortaya konmuştur (Chudoba ve ark., 1992a; Sabby ve ark., 2003).

Başka bir teoriye göre; biyoreaktörde sağlanan düşük ORP seviyesinin hücre ölümünü hızlandırdığı ve bu durumda da çözünmüş KOİ'nin açığa çıktığı öngörülmektedir. Son çökeltme tankındaki çamur konsantrasyonu ile karşılaştırıldığında KOİ konsantrasyonunda beklenmeyen bir artış görülür. Bu durumun hücre ölümünden kaynaklandığı düşünülmektedir. Hipotez doğrultusunda, biyoreaktörün hücre parçalayıcı rol üstlendiği düşünülmektedir. Açığa çıkan çözünmüş KOİ ise döngü içerisinde tekrar aerobik koşullara geçiş yaparak büyümeyi destekler ve bu sayede de toplam çamur miktarında azalma sağlanır (Foladori ve ark., 2010).

Bahsi geçen ikinci teorinin temelinde aerobik ve anaerobik koşullar arasında gerçekleştirilen çamur değişiminin büyük katkısı bulunmaktadır. Novak ve ark., (2003) tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda aerobik ve anaerobik koşullar altında biyopolimerlerin salınımı ve degradasyonu sebebiyle farklı prosesler olduğu ortaya konmuştur. Çalışmada aktif çamur floklarındaki protein ve polisakkaritlerin, floktaki farklı katyonlarla ilişkili oldukları tespit edilmiştir. Proteinlerin bir kısmının demir diğer kısmının ise lektin benzeri divalent katyonlarla; polisakkaritlerin ise lektin benzeri divalentlerle ilişkili oldukları düşünülmektedir. Aerobik koşullarda protein yapıdaki polimerler fazla iken; koşullar anaerobik olduğunda polisakkarit yapıdaki polimerlerin sayıca daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir. Bu durum Fe^{2+} ile ilişkili proteinlerin koşullar değiştiğinde hücre yapısından salınmaları ve çözünmüş KOİ meydana getirmeleri ile açıklanmaktadır (Novak ve ark.; 2003, Novak ve ark, 2006). Ancak kesinlik ifade etmediğinden teoriden öteye geçememektedir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 : OSA sistemindeki mekanizma (Novak ve ark., 2006).

Teoriden de yola çıkılarak OSA prosesindeki mekanizmanın 0'te belirtilen mekanizmalardan ayrık metabolizma mekanizması (uncoupled metabolism) ile bağlantılı olduğu söylenebilir. OSA prosesindeki aerobik ve anaerobik fazlar arasındaki geçiş söz konusu mekanizmada belirtildiği gibi katabolizma ve anabolizma reaksiyonlarının döngüsel olarak gerçekleşmesini sağlamaktadır. Harici substrat yokluğunda, anaerobik koşullara maruz bırakılan mikroorganizmalar hücrelerinde depo halde bulunan ATP enerjisini tüketirler. ATP'nin enerji olarak kullanılması ortamda oksijen ve besin olmamasından kaynaklanmaktadır (Chudoba ve ark., 1992a, An ve ark., 2008, Chen ve ark., 2003).

Novak ve ark. (2003) anaerobik koşullar altında Fe^{3+} iyonu ile proteinler arasında güçlü bir ilişki olduğunu ve indirgenmesi ile birlikte çözünmüş proteinlerin ortama salındığı tahmininde bulunmuşlardır. Bu durumda flok yapısında bulunan demirin OSA proses mekanizması için önemli bir etkiye sahip olabileceği kanısına varmışlardır. Bunlara ilaveten demirin indirgenmesi ile anaerobik reaktördeki sülfitin inhibisyonunu azalmaktadır.

Novak ve ark. (2007a) yaptığı çalışmada demir gibi oksidasyon-redüksiyon reaksiyonlarına katılmayan alüminyumun da aktif çamurdaki demir konsantrasyonu gibi kritik bir öneme sahiptir. İki iyonun da optimum dozda bulunması gerekmektedir.

OSA Prosesindeki çamurun akıbeti :

Bu proste kullanılan anaerobik tankın çamur oluşum miktarına ciddi oranda etkisi bulunmaktadır. Mekanizma olarak anaerobik çürütme ile benzerlik gösterdiği; hidroliz, asidifikasyon ve metan üretimi ile sonlanan fazlardan oluştuğu belirlenmiştir. Degradasyonu zor olan fazla çamurun anaerobik ortamda ayrışması ile çözünebilir haldeki KOİ, azot ve fosfat serbest kalır. Literatür verileri de dikkate alındığında hücre parçalanmasının anaerobik fazda daha fazla olduğu bilinmektedir. OSA prosesinde bulunan anaerobik tanktan alınan numunelerin flok boyutunda gözlemlenen azalma bu aşamada bekletilen çamurun ayrıştığını göstermektedir (Novak ve ark., 2006, Chudoba ve ark., 1992b).

2.3 Çamur Azaltım Teknolojileri ve Mekanizmalarının İncelenmesi

Çamur azaltımında kullanılan teknolojilerde fiziksel, kimyasal, termal, mekanik ve biyolojik arıtma yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin birçoğunda katıların çözünmesi ya da çamur bünyesindeki bakteri hücrelerinin dezentegrasyonu söz konusudur. Bu metotlar ile çamurun atıksu arıtma ünitelerinde azaltılması; çamur ünitelerindeki çamurun, beraberinde biyogaz üretimi sağlanarak azaltılması ve bazı durumlarda denitrifikasyon ile fosfor gideriminde kullanılmak üzere ilave karbon kaynağı oluşturulması amaçlanmaktadır (Orhon ve ark., 2009).

Çamur azaltım yöntemlerinde aşağıda belirtilen mekanizmalardan biri ya da birkaçı birlikte gerçekleşmektedir:

- 2.3.1 Hücre parçalanması ve kriptik çoğalma,
- 2.3.2 Endojenik metabolizma,
- 2.3.3 Mikrobiyal predasyon,
- 2.3.4 Hidrotermal oksidasyon,
- 2.3.5 Ayrık metabolizma

2.3.1 Hücre parçalanması ve kriptik çoğalma

Kriptik çoğalma, hücre parçalanması esnasında açığa çıkan hücre dışı bileşiklerin yeniden kullanımını ifade etmektedir. Bu bileşikler arasında karbonlu bileşikler ve nutrientler de bulunmaktadır. Hücre parçalanması sonucu açığa çıkan ürünler substrat olarak kullanılmaktadır. Bu ürünler, biyolojik olarak ayrıştırıldıkları için sistemin tümüne bakıldığında çamur oluşumunda azalma sağlamaktadır.

Hücre parçalanması ve kriptik çoğalma gerçekleştiği durumlar:

- Enzim ilavesi ile ya da enzim ilavesi olmadan enzimatik hidroliz,
- Homojenizatör veya bazı diğer ekipmanlar kullanılarak mekanik parçalama,
- Ultrasesle parçalama,
- Geniş sıcaklık aralıklarında (40° – 200°) termal parçalama,
- Asit ya da alkali reaktif ilavesi ile kimyasal ya da termo-kimyasal parçalama,
- Ozon, peroksit ya da klorinasyon ile oksidasyon,
- Elektriksel parçalama,
- Yukarıda belirtilen metotların kombinasyonu

Bu metotlar sayesinde çamur flok boyutları dispersiyon ile azaltılır ve hidroliz için yüzey alanının artırılması sağlanır. Yüzey alanındaki artışın hidroliz hızını doğrudan etki ettiği bilinmektedir (Orhon ve ark., 2009).

2.3.2 Endojenik metabolizma

Bakteriler, harici substrat varlığında substratı biyolojik olarak degrade ederek enerji açığa çıkarırlar ve bu enerji ile metabolik enerji ihtiyaçları karşılarlar. Bu enerji

metabolik faaliyetler dışında yeni hücre oluşumu için de kullanılmaktadır. Harici substrat olmadığında ise yalnızca hücre içinde depo edilmiş olan glikojen ya da polihidroksi alkonat (PHA) kullanılarak karbondioksit veya suya dönüştürülerek hücre faaliyetleri için gerekli olan enerji üretilmektedir. Endojenik metabolizma, harici substratın tamamen tükendiği durumlarda hücre içindeki depo bileşiklerin metabolik faaliyetlerinde kullanılır. Endojenik aktivitenin gözlemlendiği durumlar aşağıda belirtilmiştir:

- Hücresel dokuların oksidasyonu,
- Hücrelerarası glikojen veya PHA gibi rezerv maddelerin dönüşümü,
- Hücre ölümü ve ölü hücrelerin tüketilmesi

2.3.3 Mikrobiyal predasyon

Atıksu arıtma sisteminde gerçekleşen biyokimyasal reaksiyonlarda oldukça karmaşık bir ekosistem söz konusudur. Çamur üretimi, mikrobiyal predasyon arttırılarak azaltılabilir. Sistemde bulunan canlı ya da ölü bakteriler protozoa ve metazoa gibi yüksek organizmalar için besin kaynağıdır. Bir organizma diğerini tükettiğinde doğal olarak biyokütle miktarı azalır ve besin zincirinde daha yüksek trofik seviyeye ulaşılır. Böyle bir durumda biyokütle ve potansiyel enerjinin ısı ve hücre dışı ürünler olarak kaybı söz konusudur. Bu durumda da biyokütle çoğalması azalır, buna bağlı olarak da çamur üretimi azalır.

2.3.4 Hidrotermal oksidasyon

Bu yöntem ile bertaraf edilmesi gereken çamurun arıtılması mümkündür. Çamur mineralizasyonu, çamurun yüksek sıcaklıklara, insinerasyon (yakma işlemi, gaz fazına geçiş) ya da düşük sıcaklıklara (suyun reaksiyon maddesi olarak kullanılması) maruz bırakılması ve oksijenin kullanımı ile sağlanmaktadır (Orhon ve ark., 2009). Yüksek sıcaklık ve basınç altında güçlü oksidanların ilavesi ile organik bileşiklerin çoğu okside edilir ya da çözünür. Hidrotermal oksidasyon metodu bakteri biyokütlesi ve organik katılar inert olsa dahi etkili olmaktadır.

2.3.5 Ayrık metabolizma

Mikroorganizmalar atıksudaki organik maddeleri karbon kaynağı olarak kullanarak enerji elde eder ve yeni hücre oluştururlar. Katabolik prosesler ile organik madde, enerji ve metabolitlere dönüştürülmektedir. Buradan elde edilen enerji daha sonra

anabolik proseslerde, metabolitlerin yeni biyokütleye dönüştürüldüğü proseslerde, kullanılmaktadır. ATP hem anabolik hem de katabolik proseslerde kilit rol oynamaktadır (Orhon ve ark., 2009).

2.4 Askıda Çoğalan Aerobik Sistemlerde Proses Stokiyometrisi

Askıda çoğalan sistemlerde, substrat giderimini açıklamada oksijen tüketim miktarı ve biyokütle oluşumu kullanılır. Oksijen tüketim miktarı atıksu arıtma tesisi işletmesinde maliyeti etkilemesi sebebiyle önemlidir. Modelde oksijen tüketim miktarı ve sistemde üretilen fazla çamuru ifade etmede dönüşüm oranı kullanılmaktadır. Dönüşüm oranı, sistemde çoğalma ile giderilen organik maddenin birim miktar başına oluşan biyokütleyle ifade etmektedir. Bu değer ile atıksu arıtma tesisinde gerçekleşen biyokimyasal proseslerdeki parametrelerin arasındaki bağlantı bulunur.

Söz konusu mekanizmanın stokiyometrisi olmadan dönüşüm oranının yorumlaması ya da değerlendirilmesi mümkün değildir. Stokiyometri ifadesi mekanizmaya yönelik düşünüldüğünde reaksiyon hızından bağımsızdır ve süregelen her reaksiyon adımı için geçerlidir. Bu bağlamda Y_H , gerçek dönüşüm oranı çoğalma mekanizmasındaki reaksiyon hızından etkilenmeyen stokiyometrik bir sabit olup; farklı karbon ve enerji kaynakları için enerji oluşumu ve kullanımı substrata özeldir. Ayrıca herbir substrat için farklı stokiyometrik ifade bulunması nedeniyle de Y_H değişebilir.

Aktif çamur prosesi ve benzeri biyolojik sistemlerdeki farklı işletme koşullarına bağlı olarak değişen çoğalma ve içsel metabolik faaliyetlerin gerçekleşmesi nedeniyle stokiyometrik ifadeyi bulunmaz. Bu nedenle işletme parametrelerinin her biri için gözlemlenen farklı Y_H değeri olacaktır. Bu durumu tanımlayan farklı bir toplam stokiyometri olacaktır (Orhon ve ark., 2009). Y_H 'ın değişken olması ve toplam stokiyometrinin söz konusu olması nedeniyle aktif çamurdaki nutrient ihtiyacı ve çamur oluşum hızı etkilenmektedir. Biyokütle ve giderilen substrat miktarını karakterize edecek dönüşüm oranı değerini bulmada farklı parametreler kullanılmaktadır. Örneğin; biyokütle konstrasyonu askıda katı maddeler türünden ifade edilmektedir. Benzer şekilde substrat konsantrasyonunda doğrudan tanımlanamadığı için BOI_5 , KOI türünden ifade edilmektedir. Söz konusu parametreler ile ifade edilen bu değerler ile dönüşüm oranına ulaşılabilir.

Her iki ifadenin de KOI türünden tanımlanması aktif çamur kinetiğinin ve beraberinde stokiyometrisinin anlaşılır olmasını sağlamaktadır. Bu sayede oksijen tüketimi,

substrat giderimi ve biyokütle oluşumu arasında ilişki daha net ortaya konmaktadır (Orhon ve ark., 2009).

2.5 Aktif Çamur Sistemlerinin Modellenmesi

1983 yılında, biyolojik atıksu arıtma tesislerinin dizaynı ve işletilmesinde kullanılmak üzere matematik modellerin geliştirilmesi ve uygulanması amacıyla IAWPRC (International Association on Water Pollution Research and Control), Uluslararası Su Kirliliği Araştırma ve Kontrol Birliği, tarafından uluslararası bir çalışma grubu kurulmuştur. Çalışma grubu, konuyla ilgili mevcut modellerin incelenmesini, karbon oksidasyonu, nitrifikasyon ve denitrifikasyon proseslerini gerçekleştiren sistemlerin performansını gerçeğe en yakın şekilde tahmin edebilmek amacıyla mümkün olan en basit modelin geliştirilmesini amaçlamıştır (Henze ve ark., 2000).

Johnson ve ark. (2008) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda OSA prosesinin ASM 2d modeli ile modellenmesi gerektiğini ortaya koymuşlardır. Ancak ASM 2d modeli bilindiği üzere ASM 1 ve ASM 2'nin genişletilmiş versiyonu olduğu için her iki model ile ilgili bilgiye yer verilmiştir.

2.5.1 ASM 1 modeli

IAWPRC grubunun gerçekleştirdiği çalışmalar sonucu 1987 yılında ASM 1 (Aktif Çamur Modeli) olarak adlandırılan model ortaya konmuştur. ASM 1 modeli, oluşturulmasının ardından modele yeni KOİ fraksiyonlarının ilave edilmesi, flok oluşturan ve filamentli bakterilerin populasyon dinamiklerinin yansıtılması, biyolojik fosfor giderimini de içeren proseslerin tanımlanmasıyla daha da genişletilmiştir (Henze ve ark., 2000).

ASM 1 modelinde bahsedilen birçok kavram UCT (University of Cape Town) modelinden yola çıkılarak hazırlanmıştır. Bu modelde belirtilen iki önemli kavram ASM 1 modelinde de işlenmiştir. Bu kavramlar; bisubstrat hipotezi ile ölüm-rejenerasyon hipotezleridir. Bisubstrat hipotezine göre KOİ fraksiyonları iki ana gruba ayrılmıştır; kolay ayrışabilen KOİ ve yavaş ayrışabilen KOİ. Kolay ayrışabilen KOİ, mikroorganizmaların hücre çeperlerinden kolayca geçebilen ve hızlıca sentez reaksiyonlarında kullanılabilen basit molekülleri içermektedir. Yavaş ayrışabilen KOİ ise, mikroorganizmaların çeperlerinden geçemediği için hücre dışı enzimlerle hidrolize maruz kalan daha büyük yapıdaki kompleks molekülleri içermektedir.

ASM 1 modelinde mikroorganizmaların büyüme kinetikleri matematiksel sürekli denklem olan Monod tipi denklemlerle ifade edilmektedir. Monod tipi denklemler ile simülasyonlar esnasında ortaya çıkabilecek sayısal hatalar en aza indirilmiştir. Model, daha anlaşılır olması amacıyla matris formatında verilmiştir (Şekil 2.4). Model matrisinden de anlaşılacağı üzere modelde nitrifikasyon, denitrifikasyon ile karbon giderimi proseslerini ifade eden 8 proses denklemi ve 13 durum değişkeni bulunmaktadır (Henze ve ark., 2000).

<i>i</i>	<i>Bileşen</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	<i>Proses Hız Denklemi</i> $\rho_i, [M \cdot L^{-3} \cdot T^{-1}]$
<i>J</i>	<i>Proses</i>	<i>S_I</i>	<i>S_S</i>	<i>X_I</i>	<i>X_S</i>	<i>X_{B,H}</i>	<i>X_{B,A}</i>	<i>X_P</i>	<i>S_O</i>	<i>S_{NO}</i>	<i>S_{NH}</i>	<i>S_{ND}</i>	<i>X_{ND}</i>	<i>S_{ALK}</i>	
1	Heterotrofların aerobik çoğalması		$-1/Y_H$			1			$1 - Y_H/Y_H$		$-i_{XB}$			$i_{XB}/14$	$\mu_H \cdot \left(\frac{S_S}{K_S + S_S}\right) \cdot \left(\frac{S_O}{K_{O,H} + S_O}\right) \cdot X_{B,H}$
2	Heterotrofların anoksik çoğalması		$-1/Y_H$			1				$1 - Y_H/2.86 \cdot Y_H$	$-i_{XB}$			$1 - Y_H/14 \cdot 2.86 \cdot Y_H$ $- i_{XB}/14$	$\mu_H \cdot \left(\frac{S_S}{K_S + S_S}\right) \cdot \left(\frac{K_{O,H}}{K_{O,H} + S_O}\right) \cdot \left(\frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}}\right) \cdot \eta_B \cdot X_{B,H}$
3	Ototrofların çoğalması						1		$-4.57/Y_A$ $+1$	$1/Y_A$	$-i_{XB}$ $-1/Y_H$			$-i_{XB}/14 - 1/7 \cdot Y_A$	$\mu_A \cdot \left(\frac{S_{NH}}{K_{NH} + S_{NH}}\right) \cdot \left(\frac{S_O}{K_{O,A} + S_O}\right) \cdot X_{B,A}$
4	Heterotrofların ölümü				$1 - f_P$	-1								$i_{XB} - f_P \cdot i_{XB}$	$b_H \cdot X_{B,H}$
5	Ototrofların ölümü				$1 - f_P$		-1							$i_{XB} - f_P \cdot i_{XB}$	$b_A \cdot X_{B,A}$
6	Çözünmüş organik azotun amonifikasyonu										1	-1		$1/14$	$k_a \cdot S_{ND} \cdot X_{B,H}$
7	Partiküler organik maddenin hidrolizi		1		-1										$k_h \cdot \frac{X_S/X_{B,H}}{K_X + X_S/X_{B,H}} \cdot \left[\left(\frac{S_O}{K_{O,H} + S_O}\right) + \eta_h \cdot \left(\frac{K_{O,H}}{K_{O,H} + S_O}\right) \cdot \left(\frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}}\right) \right] \cdot X_{B,H}$
8	Partiküler organik azotun hidrolizi											1	-1		$\rho_7 \cdot (X_{ND}/X_S)$
Gözlenen dönüşüm hızları (M/L³·T)											$r_i = \sum_j v_{ij} \rho_j$				
Stokiyometrik parametreler : <i>Y_H</i> : Heterotrofik dönüşüm oranı <i>Y_A</i> : Ototrofik dönüşüm oranı <i>f_P</i> : Partiküler ürünlere dönüşen biyokütle oranı <i>i_{XB}</i> : Aktif biyokütle için N/KOI <i>i_{XP}</i> : İnert biyokütle için N/KOI															
	Çözünmüş inert organik madde	Kolay ayrışabilen substrat	Partiküler inert organik madde	Yavaş ayrışabilen organik madde	Aktif heterotrofik	Aktif ototrofik biyokütle	İçsel solunumda oluşan	Oksijen (negatif KOI)	Nitrat ve nitrit azotu	Biyolojik ayrışabilen çözünmüş organik azot	Biyolojik ayrışabilen partiküler organik azot (	Alkalinite (molar)			

Şekil 2.4 : ASM 1 matrisi.

2.5.1.1 ASM 1 durum değişkenleri

KOI bileşenleri ve durum değişkenleri

ASM 1’de karbonlu organik madde üç kısımdan oluşmaktadır. Bunlar; biyolojik olarak ayrışabilen KOİ, biyolojik olarak ayrışamayan KOİ (inert KOİ) ve biyokütledir. Biyolojik olarak ayrışabilen KOİ de kendi içerisinde iki alt gruba ayrılmaktadır; kolay ayrışabilen özünmüş KOİ (S_s), yavaş ayrışabilen partiküler KOİ (X_s). Yavaş ayrışabilen KOİ’nin bir kısmı çözünmüş halde olmasına rağmen bu kısım modelde yavaş ayrışabilen partiküler KOİ içerisinde irdelenmektedir.

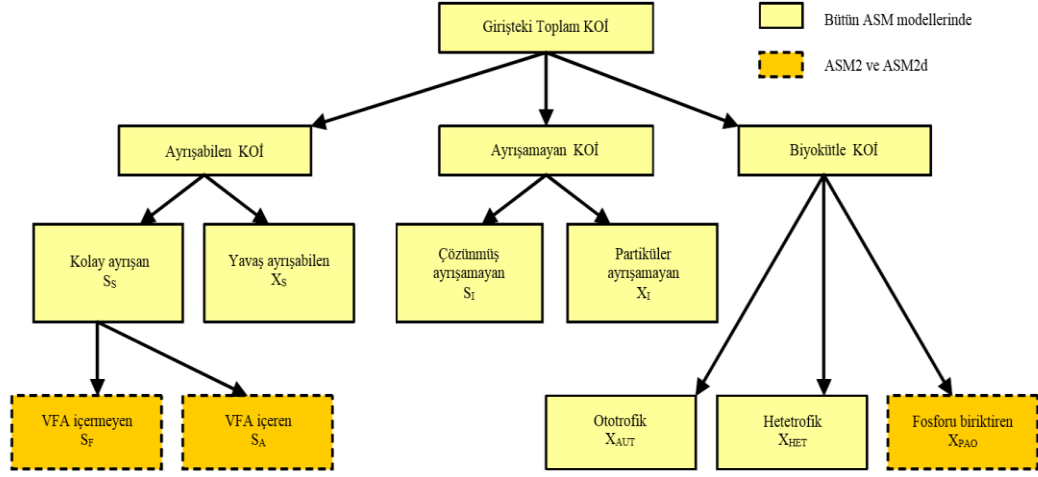
Biyolojik olarak ayrışamayan KOİ ise iki kısımdan oluşmaktadır: Çözünmüş inert (S_i) ve partiküler inert (X_i). Bunlardan özünmüş inert olanı son çökelme havuzu çıkış suyu ile birlikte arıtma sistemini terk etmektedir. Partiküler inert olanı ise çamur içinde hapsolur ve inert uçucu katı madde olarak sistemde birikime neden olur. Partiküler inert maddenin büyük bir kısmı fazla çamur ile birlikte sistemden uzaklaştırılırken az bir kısmı ise son çökelme havuzu çıkış suyunda görülebilmektedir.

ASM 1’de aktif biyokütleden kastedilen, karbon giderimi ve denitrifikasyon yapan (X_{BH}) heterotrofik biyokütle ile nitrifikasyon yapan (X_{BA}) ototrofik biyokütledir. Heterotrofik ve ototrofik biyokütlelere ilaveten biyokütlenin, mikroorganizmaların, ölümü sonucu açığa çıkan inert partiküler ürünleri temsil etmesi için bir de durum değişkeni (X_p) bulunmaktadır. $KOI_{topl.} = S_i + S_s + X_{BH} + X_i + X_p$ denklemi ile toplam KOİ değerine ulaşılmaktadır (Henze ve ark., 2000). şekil 2.5’den giriş atıksuyu KOİ fraksiyonlarına ulaşılabilir.

Azot bileşenleri ve durum değişkenleri

ASM 1’de azotlu maddeler de kendi içinde ayrı fraksiyonlara ayrılarak irdelenmiştir. Bunlar; toplam kjeldahl azotu; amonyak azotu (S_{NH}), organik bağlı azot ve aktif biyokütle bünyesinde bulunan azottur. Organik maddeye bağlı olan azot, biyolojik olarak ayrışabilen ya da ayrışamayan çözünmüş ve partiküler kısımlardan oluşmaktadır. Biyolojik olarak ayrışabilen organik azot (X_{ND}) ve biyolojik olarak ayrışabilen çözünmüş azot modele birer durum değişkeni olarak dahil edilmiştir. Biyokütle ölümünden açığa çıkan biyolojik ayrışabilen organik azotu temsil etmesi açısından aktif biyokütle bünyesinde bulunan azot da modele dahil edilmiştir (Henze ve ark., 2000).

Azot dengesinin korunması ve denitrifikasyonun da modellenmesi için amonyakın oksidasyonu sonucu oluşan tek ürün olarak kabul edilen nitrat (S_{NO}) modele ilave edilmiştir (Henze ve ark., 2000).



Şekil 2.5 : Giriş atıksuyu KOİ fraksiyonları (Spanjers ve ark., 1995).

Diğer durum değişkenleri

ASM 1'de yukarıda belirtilen durum değişkenleri dışında; negatif KOİ olarak ifade edilen çözülmüş oksijen konsantrasyonu (S_o) ve alkalinite (S_{ALK}) bulunmaktadır.

Dinamik prosesler

ASM 1'de bulunan dinamik prosesler aşağıda belirtilen başlıklar altında ifade edilmiştir:

Heterotrof biyokütlenin (X_{BH}) aerobik şartlarda çoğalması : Daha öncede belirtildiği üzere ASM 1'de mikroorganizma büyümesi Monod kinetiğine göre modellenmiştir. Heterotrofik biyokütlenin çoğalması için kolay ayrışan substrat (S_s) kullanılmaktadır ve bu durumda da oksijen ihtiyacı (S_o) ortaya çıkmaktadır ki her ikisi de büyüme için hız sınırlayıcı olabilir. Yeni hücre sentezi için gerekli olan azotu amonyaktan sağlamaktadırlar.

Heterotrof biyokütlenin (X_{BH}) anoksik şartlarda çoğalması (denitrifikasyon) :

Denitrifikasyon prosesi bilindiği üzere moleküler oksijenin olmadığı ortamlarda nitrat azotunun ortamda bulunan bakteriler tarafından alınması ve ETC (electron transfer chain)'de elektron alıcısı olarak kullanılmasıdır (Henze ve ark., 2000).

Oksijenli solunuma alternatif olarak görülen bu proses, anoksik şartlar altında bakterilerin nitratı indirgemelerine dayanır. İki aşamada, nitratın nitrite ardından azot gazına dönüşümü, şeklinde gerçekleştirilen denitrifikasyon işleminde rol alan

bakteriler nitrifikasyonda olduğu gibi sınırlı sayıda tür tarafından gerçekleştirilmemektedir. Fakültatif olduğu bilinen bu organizmalar hem aerobik hem de anoksik şartlarda yaşayarak metabolik faaliyetlerini sürdürebilmektedir. Bu durum bakterilerin oksijenli solunumdan anoksik solunuma rahatça geçiş yapabilmelerine imkan sağlamaktadır. Nitrat, oksijen olmadığında heteretrof organizmalar tarafından oksijen alıcısı olarak kullanılmaktadır. İki kademede son ürüne ulaşılan bu proses ASM 1’de tek bir reaksiyon olarak modellenmektedir (Henze ve ark., 2000).

Ototrof biyokütlenin ($X_{B,A}$) aerobik şartlarda çoğalması (nitrifikasyon) : Nitrifikasyon prosesini gerçekleştiren bakteriler obligat (zorunlu) aerob olup; kemolitotroftur. Ototrof olmalarından dolayı karbon kaynağı olarak inorganik maddeleri kullanırlar. Bu işlem fazla enerji harcanmasına neden olduğu için biyokütle dönüşüm oranı (Y_A), aktif çamur ve biyofilm sistemlerindeki aerob heterotroflarinkine göre küçüktür. Kemolitotroflar elektron kaynağı olarak azot bileşiklerini kullanırlar. Bu sebeple organik elektron kaynaklarından, H_2 ’den ve sülfattan daha az enerji açığa çıkarırlar. Nitrifikasyon prosesi iki adımda gerçekleşmektedir. İlk olarak amonyum (NH_4^+)’un nitrite oksitlenmesi; ardından da nitritin nitrate yükseltgenmesi reaksiyonları gerçekleşir.

Heterotrof biyokütlenin (X_{BH}) ölümü (içsel solunum) : ASM 1’de heterotrofik biyokütle ölümü, ölüm-rejenerasyon hipotezine bağlı olarak modellenir. Mikroorganizmaların sabit bir hızla öldüğü varsayılır ve bu esnada açığa çıkan organik maddenin bir kısmı biyolojik olarak ayrıştırılamayan madde olarak kabul edilir ve bunlar inert partiküler madde (X_p) olarak görülür. Geri kalan kısım ise yavaş ayrıştırılabilen organik madde olarak X_s olarak ifade edilir. Bu prosesin aerobik, anaerobik ve anoksik şartlarda aynı hızda gerçekleştiği kabul edilir.

Ototrof biyokütlenin ölümü : Hetetrof organizmaların içsel solunumunda olduğu gibi modellenmiştir (Henze ve ark., 2000).

Çözünmüş organik azotun amonyağa dönüşmesi : Biyolojik olarak ayrışan organik azot, heterotrof organizmaların yürüttüğü 1. dereceden denklem ile amonyağa dönüşür.

Biyolojik olarak yavaş ayrışan partiküler organik maddelerin aerobik ve anoksik koşullarda hidrolizi : Bu proste yavaş ayrışan substrat hücre dışı enzimatik reaksiyonlarla kolay ayrışan çözünmüş substrata dönüştürülür. Bu proses yüzey reaksiyonu kinetiğine göre modellenmiştir.

Organik azotun hidrolizi : Biyolojik olarak ayrışan partiküler organik azot partiküler organik maddenin hidroliz reaksiyonu ile çözünmüş organik azota dönüştürülür.

2.5.1.2 ASM 1 model parametreleri

Deneysel ölçüm sonuçlarını en iyi yansıtacak kinetik ve stokiyometrik katsayıların seçilmesi işlemine modelin kalibrasyonu denir. Kalibrasyon genelde kararlı durumda işletilen pilot ölçekli tesislerde gerçekleştirilen deneylerle sağlanmaktadır. Ancak verilerin bu şekilde elde edilmesi tam ölçekli tesis koşullarının pilot veya laboratuvar ölçekli sistemlerde aynen yansıtılamamasından dolayı örtüşmemektedir. Ayrıca tam ölçekli sistemdeki mikroorganizmaların davranışları ile diğer sistemlerdeki canlıların davranışları arasında da farklılıklar gözlemlenebilmektedir. Bu nedenle parametreler üzerinde etkili olan koşulların iyi bilinmesi gerekmektedir. Aktif çamur modellerinde deneyler, hesaplamalar yapılırken kinetik ve stokiyometrik katsayıların sabit olduğu varsayılır. Bazı deneyler, uzun sürmesi nedeniyle sıklıkla tekrarlanamamaktadır. Bu sebeple zamana bağlı değişken olan birçok parametrenin belli bir periyot içerisinde gösterdiği değişikliğin yansıtılması mümkün olmamaktadır. Bunlara ilaveten tesis konfigürasyonu, sıcaklık, pH, atıksu karakterizasyonu, inhibitor maddelerin varlığı vb durumlardan kinetik ve stokiyometrik katsayılar etkilenmektedir.

Bazı model parametrelerinin daha hassas ve değişken olması model sonuçları üzerinde daha etkili olmaktadır. Örneğin; ASM 1’de nitrifikasyon ve denitrifikasyonun görüldüğü tesislerdeki yüksek çamur yaşında dolayı, giriş KOİ değerlerinin model üzerinde etkili olmadığı görülmüştür (Henze ve ark., 2000).

2.5.1.3 ASM 1 model kısıtları

ASM 1’de atıksu arıtma sistemlerinin modellenmesinde modelin izlenebilirliği sağlamak için çok sayıda kabul ve basitleştirme yapılır. Kabullerin bazıları sistemin fiziksel yapısı ile ilgiliyken bazıları da matematiksel model ile ilgilidir.

2.5.2 ASM 2 ve ASM 2d modeli

ASM 1 modelinin genişletilmiş versiyonu olup; daha kompleks bir modeldir. Model öncelikle biyolojik fosfor gideriminin olduğu sistemlerde kullanılmak üzere geliştirilmiştir. ASM 2d modeli ASM 2 modelinin biraz değiştirilmiş versiyonudur. ASM 2’ye ilaveten iki proses bulunmaktadır.

ASM 2'de fosforu bünyesinde biriktiren organizmaların yalnızca aerobik koşullar altında çoğaldıkları varsayılırken; ASM 2d'de ise bu organizmaların hücre içi depo organik ürünleri denitrifikasyonda kullandıkları varsayılır.

Biyolojik proseslere ek olarak fosforun kimyasal olarak çöktürülmesini modellemede kullanabilmek adına bazı kimyasal prosesleri içermektedir. Model bileşenlerinde çözünmüş ya da partiküler formdaki bileşenler ayırt edilmeye çalışılmıştır. Çözünmüş ve partiküler formdaki bileşenler 0.45 µm membran filtrelerden geçirilse dahi birbirlerinden ayırt edilemezler. Bütün bileşenlerin sistem içerisinde homojen dağıldıkları kabul edilir.

Stokiyometrik katsayılardan amonyum ve çözünmüş fosfor için olanlar tablo dışı bırakılmıştır. Bunun nedeni artık bağlı fraksiyon olan çözünmüş ve partiküler organik bileşenlerle ilişkilendirilen organik azot durum değişkenlerinin (X_{ND} , S_{ND}) elimine edilmek istenmesidir. Modelde 4 proses tanımlanmıştır. Bunlar; hidrolizi içeren prosesler, fakültatif heterotrofları içeren prosesler, ototrofları içeren prosesler ve fosforu bünyesinde biriktirenleri içeren proseslerdir.

2.5.2.1 ASM 2d çözünmüş bileşenler

S_A

Fermentasyon ürünleri asetat olarak dikkate alınır. Bilindiği üzere biyolojik proseslerdeki fermentasyon ürünleri çözünmüş diğer çözünmüş organik maddelerden ayrı değerlendirilerek modellenmelidir. Bütün stokiyometrik hesaplamalarda bu bileşenin asetata eşit olduğu varsayılır (Henze ve ark., 2000).

S_{ALK}

Bu ifade ile atıksuyun alkalinitesi anlaşılmalıdır. Alkalinite, biyolojik prosesleri inhibe edebilecek düşük pH koşullarının habercisi olarak bilinir. Bütün hesaplamalarda alkalinite bikarbonat olarak ifade edilmektedir.

S_F

Fermente edilen, kolay ayrışabilen organik maddeleri içermektedir. Çözünmüş KOİ, biyolojik olarak ayrıştırılabilmeleri için heterotrofik organizmalar için hazır durumdadır. Bu fraksiyonun fermentasyon için substrat olduğu varsayılır ki bu durumda fermentasyon ürünlerini içermemektedir.

S_{N2}

Denitrifikasyon sonucu oluşan tek azotlu bileşik olarak kabul edilir.

SNH4

Amonyum ya ilaveten amonyak azotunu içermektedir.

SNO3

Nitrit tek başına bir model bileşeni kabul edilmediğinden nitrat ve nitrit azotunu birlikte içermektedir.

SO2

Çözünmüş oksijeni ifade etmektedir.

SPO4

Öncelikli orto-fosfatlar olmak üzere çözünmüş inorganik fosfatları içermektedir.

Ss

Kolay ayrışabilen substratı ifade etmektedir.

2.5.2.2 ASM 2d partiküler bileşenler**XAUT**

Nitrifikasyondan sorumlu organizmaları ifade etmektedir. Bu organizmalar obligat aerob, kemolitotroftur ve amonyumu direkt olarak nitrata okside ettikleri varsayılır (Henze ve ark., 2000).

XH

Heterotrofik organizmaları belirtmektedir. Aerobik, anoksik ve anaerobik koşullarda aktif olabilirler. Partiküler substratın hidrolizinden sorumlulardır ve ilgili tüm çevre koşullarında ayrışabilir organik maddeleri kullanabilirler.

XI

İnert partiküler organik maddeleri ifade etmektedir. Sistemde ayrıştırılmazlar ve aktif çamur üzerine floküle olurlar. Bu fraksiyon giriş suyu ile ya da bakteri ölümleri ile sisteme dahil olur.

XMeOH

Metal hidroksitleri kapsamaktadır. Bu bileşen atıksuda bulunan ya da sisteme sonradan ilave edilen metal hidroksitlerin fosfora bağlanma kapasitesini belirlemede kullanılır. Bütün stokiyometrik hesaplamalarda $Fe(OH)_3$ olarak kabul edilir.

XMeP

Metal fosfatı içermektedir. Bütün stokiyometrik hesaplamalarda $Fe(PO)_4$ olarak alınır.

X_{PAO}

Fosforu biriktiren orgnaizmaları içermektedir. Fosforu biriktiren tüm organizmaları kapsar ve hücre içi depo ürünlerini içermez.

X_{PHA}

Fosforu biriktiren organizmalar tarafından oluşturulan hücre içi ürünü ifade etmektedir. Öncelikli olarak polihidroksi alkaonatlarından oluşmaktadır.

X_{PP}

Fosforu biriktiren organizmalar tarafından üretilen hücre içi inorganik depo maddelerini ifade etmektedir.

X_s

Yavaş ayrışabilen substratları ifade etmektedir. Bunlar, hücre dışı hidrolizi gerçekleştiren molekül ağırlığı büyük, kolloidal ve partiküler organik substratlardan oluşmaktadır (Henze ve ark., 2000).

X_{TSS}

Toplam askıda katı maddeleri içermektedir. Stokiyometride hesaplanabilmeleri için biyokinetik ifadelerde kullanılırlar.

2.5.2.3 ASM 2d prosesleri

ASM 2d modelinde kullanılan proseslere aşağıda yer verilmiştir. Herbir prosese ait proses hızına Çizelge 2.1'den ulaşılabilir.

Hidroliz prosesi

Birçok büyük molekül, kolloidal veya partiküler organik substratlar mikroorganizmalar tarafından direkt olarak kullanılamaz. Ancak hidroliz olarak adlandırılan hücre dışı enzimatik reaksiyonlarla kullanılabilir hale getirilirler. Hidroliz ürünlerinin gerçekten var olup olmadıkları ya da hidrolizi katalizleyen organizmalar tarafından bünyeye alınıp alınmadıkları hala net olarak bilinmemektedir. Hidroliz reaksiyonları organizmalar arasındaki yakın temas ile hidrolitik enzimlerin açığa çıkması ve kendilerine yavaş ayrışan substratları sağlamaları sebebiyle yüzey reaksiyonları olarak tanımlanırlar. Hidrolizin yanı sıra protozoa aktivitesi de hidrolize katkı sağlamaktadır. Bu nedenle gerçekte hidroliz ile protozoa aktivitesini ayırt etmek zordur. Ancak protozoanın aktif olmamasından yararlanılarak hidroliz prosesindeki elektron alıcıları belirlenebilirse bu durum mümkün olabilir (Henze ve ark., 2000).

Hidroliz prosesi 3 koşulda mümkün olmaktadır:

- Aerobik hidroliz

Aerobik hidroliz, yavaş ayrışabilen substratın aerobik ortamdaki hidrolizini ifade etmektedir. Ortamdaki oksijen konsantrasyonu sıfırdan büyük olmalıdır.

- Anoksik hidroliz

Anoksik hidroliz, yavaş ayrışabilen substratın anoksik ortamdaki hidrolizini ifade etmektedir. Ortamdaki oksijen konsantrasyonu yaklaşık sıfıra eşit olmalı, ve amonyum konsantrasyonu sıfırdan büyük olmalıdır. Bu proses tipik olarak aerobik hidrolizden daha yavaş gerçekleşmektedir.

- Anaerobik hidroliz

Anaerobik hidroliz, yavaş ayrışabilen substratın anaerobik ortamdaki hidrolizini ifade etmektedir. Ortamdaki oksijen ve amonyum konsantrasyonlarının yaklaşık sıfıra eşit olması gerekmektedir. Bu proses tipik olarak aerobik hidrolizden daha yavaş gerçekleşmektedir.

Fakültatif heterotrof organizmaların (X_H) gerçekleştirdiği prosesler

Heterotrof organizmalar aşağıda maddeler halinde belirtilen;

- Yavaş ayrışabilen substratların (X_S) hidrolizinden,
- Fermente edilebilen organik substratların (S_F) aerobik degradasyonundan,
- Fermentasyon ürünlerinin (S_A ; aerobik çoğalmadan gelen) aerobik degradasyonundan,
- S_F ve S_A 'nın anoksik oksidasyonundan sorumludur.

Bu reaksiyonların dışında ayrıca hücre ölümü ve parçalanmasını gerçekleştirirler.

Fosforu bünyesinde biriktiren organizmaların (X_{PAO}) gerçekleştirdiği prosesler

Bu organizmalar fosforu bünyelerinde polifosfat olarak biriktirirler. Bu organizmalar ve mekanizmaları net değildir. Bu organizmaların aerobik koşullarda ($S_{O_2} > 0$) ve aynı zamanda anoksik koşullar altında ($S_{O_2} \approx 0$, $S_{NO_3} > 0$) çoğaldıkları kabul edilir. Mikroorganizmalar yalnızca hücre depo edilen organik maddeleri (X_{PHA}) kullanarak çoğalır. Bu kabuller doğrultusunda elde edilen proses hızı 0'de ifade edilmiştir.

Nitrifikasyon prosesi

Nitrifikasyon amonyumun direct nitrata dönüştürüldüğü tek basamaklı bir proses olarak kabul edilmektedir. Ara ürün olan nitrit model bileşeni olarak işlenmemiştir. Bu sayede nitrifikasyonda tüketilen ve üretilen nitritin belirlenmesi kolaylaşır. Ancak yine de nitritin denitrifikasyon reaksiyonlarında da yer aldığı unutulmamalıdır.

Fosfatların kimyasal çöktürülmesi

Modelde belirtilen 4 prosesin dışında atıksu bünyesinde bulunan metallerin (Ca^{2+} vb.) suda bulunan yüksek konsantrasyondaki çözünmüş ortofosfatlar ile reaksiyona girerek çökmeleri de dikkate alınmalıdır. Fosfor giderimi, demir veya alüminyum çöktürmesi ile de mümkündür (Henze ve ark., 2000).

Çizelge 2.1 : ASM 2d proses hız ifadeleri.

<i>j</i>	<i>Proses</i>	<i>Proses Hız Denklemi</i> $\rho_j, \rho_j \geq 0 [M \cdot L^{-3} \cdot T^{-1}]$
Hidroliz prosesi		
1	Aerobik hidroliz	$K_h \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{X_S/X_H}{K_X + X_S/X_H} \cdot X_H$
2	Anoksik hidroliz	$K_h \cdot \eta_{NO_3} \cdot \frac{K_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}} \cdot \frac{X_S/X_H}{K_X + X_S/X_H} \cdot X_H$
3	Anaerobik hidroliz	$K_h \cdot \eta_{fe} \cdot \frac{K_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{K_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}} \cdot \frac{X_S/X_H}{K_X + X_S/X_H} \cdot X_H$
Heterotrof organizmalar: X_H		
4	Fermente edilebilen substrat ile çoğalma, S_F	$\mu_H \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_F}{K_F + S_F} \cdot \frac{S_F}{S_F + S_A} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_P + S_{PO_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_H$
5	Fermentasyon ürünüyle çoğalma, S_A	$\mu_H \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_A}{K_A + S_A} \cdot \frac{S_A}{S_F + S_A} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_P + S_{PO_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_H$
6	Fermente edilebilen substratların denitrifikasyonu, S_F	$\mu_H \cdot \eta_{NO_3} \cdot \frac{K_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{K_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}} \cdot \frac{S_F}{K_F + S_F} \cdot \frac{S_F}{S_F + S_A} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_P + S_{PO_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_H$
7	Fermentasyon ürünlerinin denitrifikasyonu, S_A	$\mu_H \cdot \eta_{NO_3} \cdot \frac{K_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{K_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}} \cdot \frac{S_A}{K_A + S_A} \cdot \frac{S_F}{S_F + S_A} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_P + S_{PO_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_H$
8	Fermentasyon	$q_{fe} \cdot \frac{K_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{K_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}} \cdot \frac{S_F}{K_F + S_F} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_H$
9	Parçalanma (liziz)	$b_H \cdot X_H$

Fosforu-biriktiren organizmalar

- 10 X_{PHA} depolanması $q_{PHA} \cdot \frac{S_A}{K_A + S_A} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot \frac{X_{PP}/X_{PAO}}{K_{PP} + X_{PP}/X_{PAO}} \cdot X_{PAO}$
- 11 X_{PP} aerobik depolanması $q_{PP} \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_{PS} + S_{PO_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot \frac{X_{PHA}/X_{PAO}}{K_{PHA} + X_{PHA}/X_{PAO}} \cdot \frac{K_{MAX} - X_{PP}/X_{PAO}}{K_{PP} + K_{MAX} - X_{PP}/X_{PAO}} \cdot X_{PAO}$
- 12 X_{PP} anoksik depolanması $\rho_{11} \cdot \eta_{NO_3} \cdot \frac{K_{O_2}}{S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}}$
- 13 X_{PHA} aerobik çoğalma $\mu_{PAO} \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_P + S_{PO_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot \frac{X_{PHA}/X_{PAO}}{K_{PHA} + X_{PHA}/X_{PAO}} \cdot X_{PAO}$
- 14 X_{PP} anoksik çoğalma $\rho_{13} \cdot \eta_{NO_3} \cdot \frac{K_{O_2}}{S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}}$
- 15 X_{PAO} parçalanması $b_{PAO} \cdot X_{PAO} \cdot S_{ALK}/(K_{ALK} + S_{ALK})$
- 16 X_{PP} parçalanması $b_{PP} \cdot X_{PP} \cdot S_{ALK}/(K_{ALK} + S_{ALK})$
- 17 X_{PHA} parçalanması $b_{PHA} \cdot X_{PHA} \cdot S_{ALK}/(K_{ALK} + S_{ALK})$

Nitrifiye eden organizmalar (Ototrof organizmalar):

- 18 X_{AUT} aerobik büyümesi $\mu_{AUT} \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_P + S_{PO_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_{AUT}$
- 19 X_{AUT} parçalanması $b_{AUT} \cdot X_{AUT}$

Fosforun demir hidroksitle, $Fe(OH)_3$ eşzamanlı çöktürülmesi

- 20 Çöktürme $k_{PRE} \cdot S_{PO_4} \cdot X_{MeOH}$
- 21 Yeniden çözülmesi $k_{RED} \cdot X_{MeP} \cdot S_{ALK}/(K_{ALK} + S_{ALK})$
-

2.6 Respirometre ve Ölçüm Esasları

İleri matematik modelleri aktif çamur arıtma sistemleri hakkında özet bilgi verir. Modellerin uygulanabilmesi için atıksu ve aktif çamur karakteristiği hakkında fikir sahibi olunması gerekmektedir ki bu sayede işletme ve dizayn parametrelerinde kullanılabilmeleri mümkün olsun. Kesikli ölçümler genellikle bu özelliklerin tanımlanmasında kullanılmakta olup; kinetik ve stokiyometrik parametreler ile bileşen konsantrasyonları ile ifade edilirler. Respirometre bu özelliklerin değerlendirilmesinde iyi bir araçtır. Respirometre, iyi tanımlanmış koşullar altında aktif çamurun solunum hızının ölçülmesidir ve bu ölçümlerin aktif çamur modelinde, dizayn ve işletmesinde uygulanmasıdır. Mikroorganizmalar çoğalma ve genel faaliyetleri için gereken enerjiyi substratların ayrıştırılmasıyla elde ederler.

Solunum esnasında substrattan uzaklaştırılan elektronlar ETC (elektron taşıma sistemi)'ye geçiş yapar ve sonunda son elektron alıcısı tarafından alınırlar. Aerobik biyodegradasyonda son elektron alıcısı moleküler oksijendir. Bu durumda oksijen tüketiminin direkt olarak substrat giderimi ve biyokütle büyümesinde kullanıldığı anlamına gelmektedir. Anoksik koşullar altında nitrat gibi diğer elektron alıcılarının tüketilmesi de bu prosesler ile ilişkilidir. İşte bakteri tarafında birim hacim ve birim zamanda tüketilen oksijen oksijen tüketim hızı ya da solunum hızı olarak ifade edilmektedir. Model pratikte her ne kadar aktif çamur sisteminin dizaynı ve kontrolünde önemli olsa da aynı zamanda solunum prosesinin anlaşılmasında ve solunum hızı ölçümlerinin uygulanmasında rol oynamaktadır. ASM 1 modelinde oksijen tüketimi, heterotrof ve ototrof biyokütlenin aerobik çoğalması ile ilişkilidir. Modele göre atıksudan kaynaklanan substratın tamamı okside edilse dahi, ölüm ve hidroliz olayları esnasında açığa çıkan substrat nedeniyle hala oksijen tüketimi mümkün olabilmektedir. Açığa çıkan substrattan oluşan yeni biyokütle her zaman için kaybedilen biyokütle miktarından daha azdır. Bundan dolayı, biyokütle kendi haline bırakılacak olursa oksijen tüketimi, tüm biyokütle ölümü gerçekleşene kadar, kademeli olarak azalacaktır. Bu proses esnasında gözlemlenen solunum hızı, endojenik (içsel) solunum hızı olarak adlandırılmaktadır. İçsel solunum hızı, harici substrat kaynakları yokluğunda organizmalar tarafından gerçekleştirilen oksijen tüketim hızını ifade etmektedir.

Bu tanımdan yola çıkarak içsel solunum hızının yalnızca bakteri ölümü ve metabolik faaliyetleri sonucu açığa çıkan substratın oksidasyonundan kaynaklanmadığı, aynı zamanda protozoanın oksijen tüketimini de içerdiği ortaya konmaktadır. Aktif çamurun substrat ilavesine verdiği respirometrik yanıtın grafiksel gösterimi *respirogram* olarak adlandırılır. Substrat konsantrasyonu yeterince fazla ise oksijen tüketim hızı maksimum değere yaklaşacaktır; bu değer maksimum solunum hızı olarak ifade edilir. Biyokütle maksimum solunum hızında maksimum çoğalır.

Solunum, heterojenik mikroorganizma popülasyonu (farklı türlerin birarada olması durumu) tarafından çok sayıda substratın kullanılması ile oksidasyonunu ifade eder.

Respirometre, solunum hızını ölçmeden kullanılan, birim hacim ve birim zamandaki oksijen tüketim hızını veren alettir. Birçok respirometre cihazı geliştirilmiştir ancak hepsi de belli başlı prensiplere dayanmaktadır. Bu prensipler iki kritere göre sınıflanmaktadır:

- a) Oksijenin ölçüldüğü faz, ve
- b) Diğer fazların dinamiği.

Respirometrede oksijen konsantrasyonu gaz fazında ya da sıvı fazda ölçülebilmektedir. Oksijen ölçümünün yapıldığı noktadan bağımsız olarak fazlar akışkan ya statik olabilir. Bütün respirometreler bu kriterlere bağlı olarak açıklanabilir. Bu bölümde tez çalışmasında da kullanılan sıvı fazdaki ölçümlerin nasıl yapıldığına Bölüm 2’de yer verilmiştir.

Solunum hızı direkt olarak çoğalma ve substrat kullanımı ile ilgili olduğu için aktif çamur prosesi için kilit bir parametredir. Bu nedenle solunum hızı ölçümü, proses hakkında daha fazla fikir sahibi olunmasını sağlar. Aşağıda bazı başlıklar altında solunum hızının kullanıldığı durumlara yer verilmiştir;

Havalandırma Tankında Solunum Hızı : Havalandırma tankındaki solunum hızı, gerçek solunum hızı hakkında ayrıca tank yükleme ve biyokütle aktivitesi hakkında bilgi sağlamaktadır. Gerçek solunum hızı, respirometrenin de bulunduğu farklı birçok metot ile belirlenebilir. Ancak respirometre ile ölçüm yapılacağı zaman numune alma ve ölçüm arasında geçen sürenin minimum olmasına azami surette dikkat edilmelidir (Spanjers, 1998).

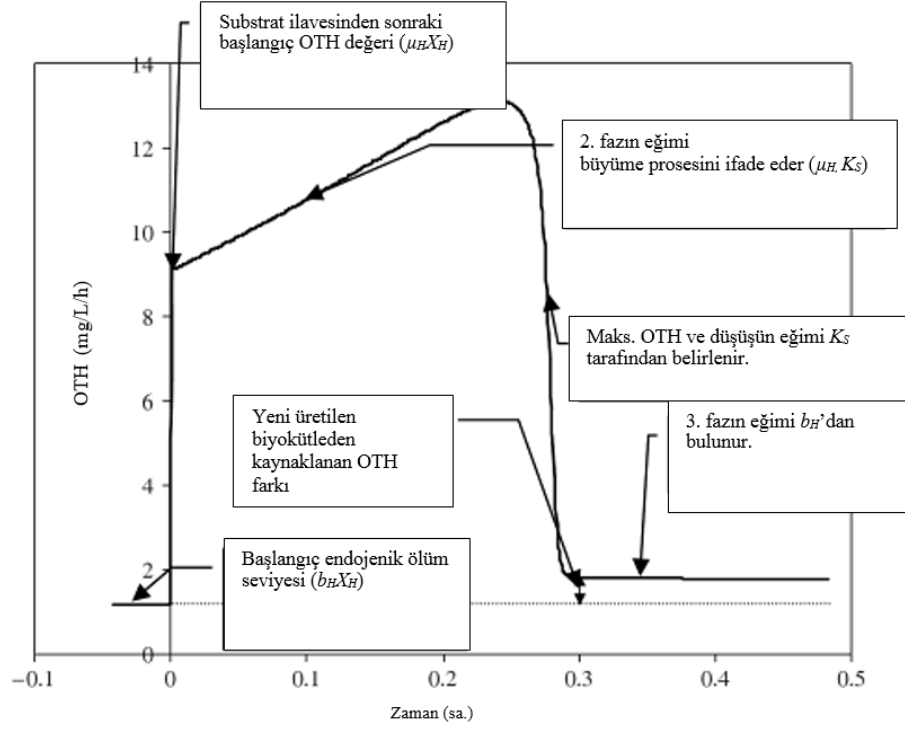
Toksisite : Toksik etkileri ortaya koymak amacıyla gerçek solunum hızı kullanılabilir. Ancak bu hız aynı zamanda yüklemekten de kaynaklanabileceği için bu durumun netleştirilmesi gerekmektedir. Bu durumun toksik madde ilavesi yapılmasından mı yoksa yüklemekten mi kaynaklandığının tespit edilmesi şarttır. Bu nedenle aktif çamur yüklemesine daha az hassas olan, içsel solunum hızı ve maksimum solunum hızı gibi yükleme değişkenleri kullanılmalıdır. Bu hızlardan maksimum solunum hızı, potansiyel aktivite ve biyokütle üzerindeki toksik etkileri tespit etmede kullanılmaktadır. Respirometredeki çamur fazla miktarda atıksu ile beslenirse substrat konsantrasyonu çok yüksek olur ve sonuç olarak da istenilen maksimum solunum hızına ulaşılabilir. Hız ifadesi toksisite yokluğunda referans değerdir ve ayrıca toksik maddeler tesisde inhibisyona neden olmadan önce toksik etkisi olan atıksuyun tespit edilmesini sağlar. Sürekli değişken karakterdeki atıksudan dolayı kararlı bir maksimum solunum hızı tespit etmek mümkün değilse; bu durumda sentetik atıksu kullanımı uygundur. Genelde respirometre ölçümleri erken uyarı sistemi olarak algılandığı için; atıksu numunesi arıtma tesisine ulaşmadan önceki bir noktadan alınarak incelenmelidir.

Model Parametrelerinin Tahmin Edilmesi : Atıksu arıtma tesislerinin dizaynı ve işletmesinde kullanılan aktif çamur modeli sistem performansını belirlemede; alternatif arıtma yöntemlerinin araştırılmasında faydalı bir araçtır. Modellemenin aktif çamur sistemi tasarımında kullanılabilmesi için öncelikle; model bileşeni olarak kullanılan atıksu fraksiyonları ile biyokimyasal reaksiyonların özelliklerini belirlemede kullanılan kinetik ve stokiyometrik katsayıların belirlenmesi gerekmektedir. Atıksu karakterizasyonunu belirlemede, biyolojik olarak ayrışan ve ayrışamayan organik karbonlu bileşikler temsil etmesi sebebiyle KOİ parametresi kullanılır (Orhon ve ark., 2009).

Oksijen tüketiminin substrat kullanımı ve biyokütle oluşumu ile ilişkili olması sebebiyle aktif çamur modellerinde respirometrenin kullanılması oldukça faydalıdır. Sürekli respirometre deneyleri, stokiyometrik katsayıların tahmin edilmesinde; kesikli respirometre deneyleri ise kinetik katsayılar ile atıksu konsantrasyonlarını tahmin etmede uygundur. Aktif çamurun kinetik parametrelerini tahmin etmede, substratın biyokütleyle oranının yeterince küçük olması önemlidir. Bu oranın küçük olması ile biyokütle çoğalması ve populasyon değişimleri ihmal edilebilir. Parametreler,

respirogram ve benzeri zamana bağılı respirometrik ölçüm sonuçlarına modelin uygulanması ile değerlendirilebilir (Spanjers, 1998).

ASM1 modeline göre kolay ayrışan substratla beslenen havalandırılmış kesikli reaktörden elde edilecek tipik OTH profili Şekil 2.6'da gösterildiği gibidir. OTH profilindeki her seviye farklı biyolojik prosesi temsil etmektedir.



Şekil 2.6 : Tipik OTH profili (Orhon ve ark., 2009).

Grafikte 3. faz olarak belirtilen kısım içsel solunumu ifade etmektedir. Başlangıç ve nihai OTH seviyeleri arasındaki fark oluşan yeni biyokütleyle bağlıdır.

Endüstriyel ve evsel atıksudaki tipik KOİ fraksiyonlarına Çizelge 2.2'den ulaşılabilir (Orhon ve ark., 2009). Model çalışmasında da bu fraksiyonların yüzdesel ifadelerinden yola çıkılarak hesaplama yapılmıştır. Tesis atıksuyunun yaklaşık % 40 oranında endüstriyel atıksu içerikli olması sebebiyle yapılan hesaplamalarda endüstriyel fraksiyon için belirtilen yüzde değerleri kullanılmıştır.

Çizelge 2.2 : KOİ fraksiyonları (Orhon ve ark., 2009).

Parametre	Endüstriyel Atıksu		Evsel atıksu	
	mg/L	% C _{TI}	mg/L	% C _{TI}
Toplam KOİ, C _{TI}	1500		500	
Toplam Çözünmüş KOİ, S _{TI}	1125	75	175	35
Toplam partiküler KOİ, X _{TI}	375	25	325	65
Toplam Ayrışabilen KOİ, C _{SI}	1250	83	425	85
Kolay Ayrışabilen KOİ, S _{SI}	225	15	50	10
Hızlı hidrolize edilebilen KOİ, S _{H1}	800	53	100	20
Çözünmüş İnert KOİ, S _{I1}	100	7	25	5
Partiküler İnert KOİ, X _{I1}	150	10	50	10

μ_H hesaplanmasında; $\mu_H = \frac{1}{1-(f_{cv} \cdot Y_H)} \cdot \Delta_{O_2} \cdot 24 \cdot \frac{(V_{ww} + V_{ml})}{f_{av} \cdot V_{ww} \cdot V_{ml}} \cdot Y_H$ kullanılmıştır (Orhon ve ark., 2009).

Y_H hesaplanmasında; $Y_H = 1 - \frac{\Delta_{O_2}}{\Delta_{KOİ}} \cdot \Delta_{O_2} / (1.42 g O_2 / g UAKM)$ kullanılmıştır (Choung ve ark., 1999).

Katsayıların hesaplanmasında yapılan kabuller;

$$f_{cv} = 1.42 g O_2 / g UAKM$$

$\Delta_{KOİ}$: respirometre deneyinin başlangıç ve son KOİ değerleri arasındaki fark

Çökeltilmiş atıksu için toplam biyokütledeki aktif fraksiyonun belirlenmesinde;

$$f_{av} = 1.57 \cdot \theta_x^{-0.43} \text{ ampirik formülü kullanılmıştır.}$$

μ_H değeri hesaplandıktan sonra % 5 oranında olduğu kabul edilen b_H / μ_H oranından yola çıkarak b_H değeri hesaplanmıştır (Orhon ve ark., 2009).

Johnson ve ark. (2008) yaptıkları çalışmalarda ASM 2d matrisinde bulunan anaerobik hidroliz proses denkleminde bulunan k_H (maksimum spesifik hidroliz hızı) değerinin OSA prosesi için 3 gün⁻¹ yerine 1.2 gün⁻¹ olması gerektiğini bulmuşlardır.

Kontrol Değişkeni Olarak Solunum Hızı : Aktif çamur prosesi enerji maliyeti, çamur oluşumu ve çıkış suyundaki biyolojik ayrışan madde konsantrasyonuna bağlı olarak belirlenebilir. Enerji maliyeti kontrolünü sağlamak için gerçekleşen proseslerin herbirinin irdelenmesi gerekmektedir. Bu sayede prosese müdahale edilerek çıkış suyu kalitesi ve çamur oluşum miktarı kontrol altına alınabilir. Yaygın olarak kullanılan kontrol stratejileri arasında havalandırma tankındaki çözünmüş oksijen miktarını ve biyokütleyi, geri devir debisini ve havalanma kapasitesine müdahale ederek, belli

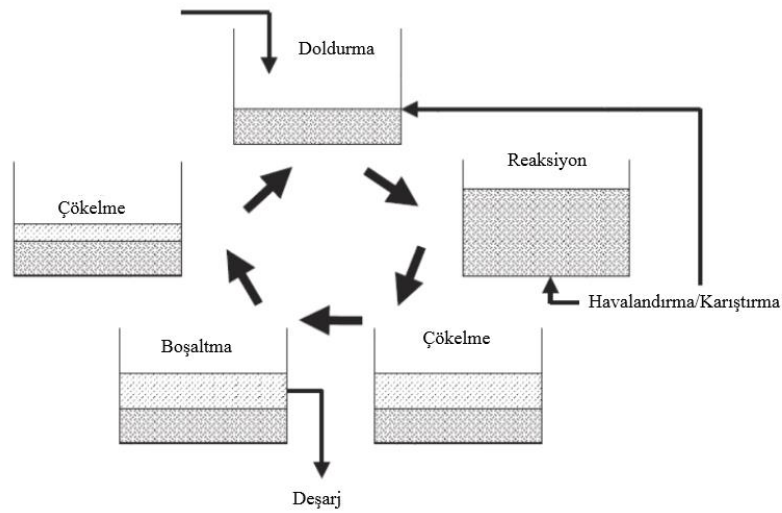
seviyelerde tutmak bulunur. Bu tip stratejiler MLSS ve çözünmüş oksijen konsantrasyonu hesaplanmasına dayanır. Aktif çamur solunum hızı, bir kontrol değişkeni olarak biyokütle konsantrasyonu ve aktivitesi hakkında ve ayrıca giriş suyu konsantrasyonu, toksisitesi ve çıkış suyu biyolojik ayrışabilen maddelerle ilgili bilgi sağlamaktadır. Respirometreden yararlanılarak aşağıda belirtilen değişkenlere ulaşılabilir:

- spesifik oksijen tüketim hızı;
- içsel solunum hızı;
- arıtma için gereken süre;
- kısa süreli BOİ;
- inhibisyon yüzdesi;
- model parametreleri (ölüm katsayıları, maksimum çoğalma hızları, afinite sabiti, dönüşüm oranı, hidroliz hızı);
- Model değişkenleri (S_s , X_{BH} , S_N) (Spanjers, 1998).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Deneysel Tasarım

Çalışma ile OSA sisteminin, ticari adıyla Cannibal® prosesinin, kullanıldığı Türkiye’deki ilk ve tek tesisten atıksu ve atık çamur temin edilerek tam-ölçekli tesis ile benzer koşulların sağlandığı laboratuvar ölçekli bir sistem kurulmuştur. İşletme koşulları tesis tasarım verileri ile uyumlu olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu amaçla bir aktif çamur biyolojik arıtma prosesi olan ardışık kesikli reaktör kullanılmıştır. Ardışık kesikli reaktörler ile çözünebilen askıda katı maddeler ve nutrientlerin giderimi sağlanabilmektedir (Damar ve ark., 2006). AKR sistemi beş fazdan oluşmakta olup; bunlar sırasıyla doldurma, reaksiyon, çökelme, bekleme ve boşaltma fazlarıdır. Ardışık kesikli reaktör genel akış diyagramı Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1 : AKR prosesi genel akım şeması (EPA).

AKR prosesindeki doldurma fazı; atıksuyun beslemesinin yapıldığı statik, havalandırmalı ya da karıştırılmalı olabilen bir fazdır. Reaksiyon fazında ise; tamamlanması istenen reaksiyonların gerçekleştiği fazdır. Bu aşamada ya yalnız havalandırma ya da yalnız karıştırma veya her ikisi birlikte yapılır.

Çökeltme fazıyla ise arıtılmış atıksudan mikroorganizmaların ayrılması sağlanır. Boşaltma fazında ise çökeltme fazındaki arıtılmış atıksu sistemden atılır.

Evsel ve endüstriyel atıksuların arıtılmasında kullanılan bu sistem ile karbonun oksidasyonunun yanısıra nitrifikasyon, denitrifikasyon ve fosfor giderimi de gerçekleştirilmektedir.

Nutrient giderimini sağlamak için ise reaksiyon döngüsünde bulunan anaerobik, anoksik ve aerobik fazların sayısı ve sıralamasının ayarlanması gerekmektedir (Uygur ve ark., 2004).

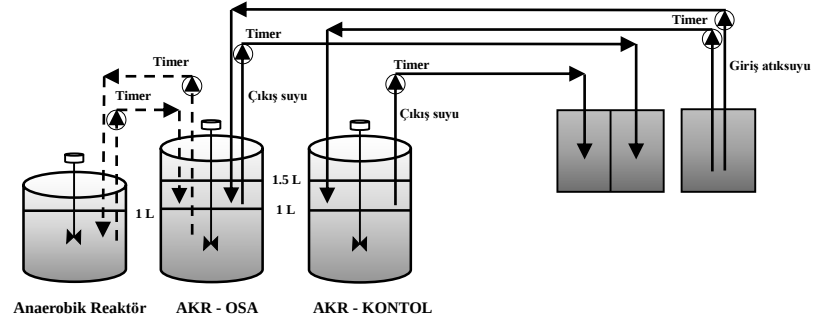
3.1.1 Deney düzeneği

Çalışmada iki farklı deney seti kurulmuştur. Bunların ilkinde ardışık kesikli reaktör kullanılarak aktif çamur sistemi temsil edilmeye çalışılmıştır ki bu deney seti bundan sonra “kontrol seti” olarak anılacaktır. İkinci deney setinde ise OSA prosesini temsilen ardışık kesikli reaktör ve buna bağlı olan bir anaerobik reaktör kullanılmıştır (Şekil 3.2, Şekil 3.3).

Her iki sistemin kurulmasında ardışık kesikli reaktör olarak iç cidarı 120 mm çapında ve yüksekliği 270 mm olan silindir şeklinde 2 L hacminde cam reaktör kullanılmıştır. Anaerobik biyoreaktör olarak ise iç cidarı 57 mm çapında ve yüksekliği 160 mm olan, toplam 1 L hacmindeki cam reaktör kullanılmıştır.

İki sistemdeki ardışık kesikli reaktörün her birine tesisten alınmış ve yarım saat bekletilerek çökmesi sağlanmış geri devir çamurundan 500'er ml konulmuş; üzerlerine ise 1500 ml'ye tamamlayacak şekilde tesisten temin edilen giriş atıksuyundan ilave edilmiştir. Tesisten alınan geri devir çamurundan 0.9 L alınarak cam reaktöre konulmuş ve ağzı tamamen kapatılarak anaerobik şartların oluşması sağlanmıştır. Anaerobik reaktörün içindeki çamurun renginin koyu siyah renge dönüşmesi için beklendi ki bu rengi yaklaşık 3 - 4 gün içerisinde almaktadır. Bu rengin elde edilmesi demirin ve sülfatın indirgenmesinin gerçekleştiği OSA sisteminin artık işletmeye alınabileceğini gösterir çünkü anaerobik koşullar altında demirsülfatın çöktüğü ve sonucunda siyah renk aldığı bilinmektedir (Nielsen ve ark., 2005).

Anaerobik reaktöre konulan çamurun siyah renk alması için bir hafta bekletildikten sonra yalnızca havalandırma işleminin gerçekleştirildiği ardışık kesikli reaktörlerde çalıştırılmaya başlanmıştır.



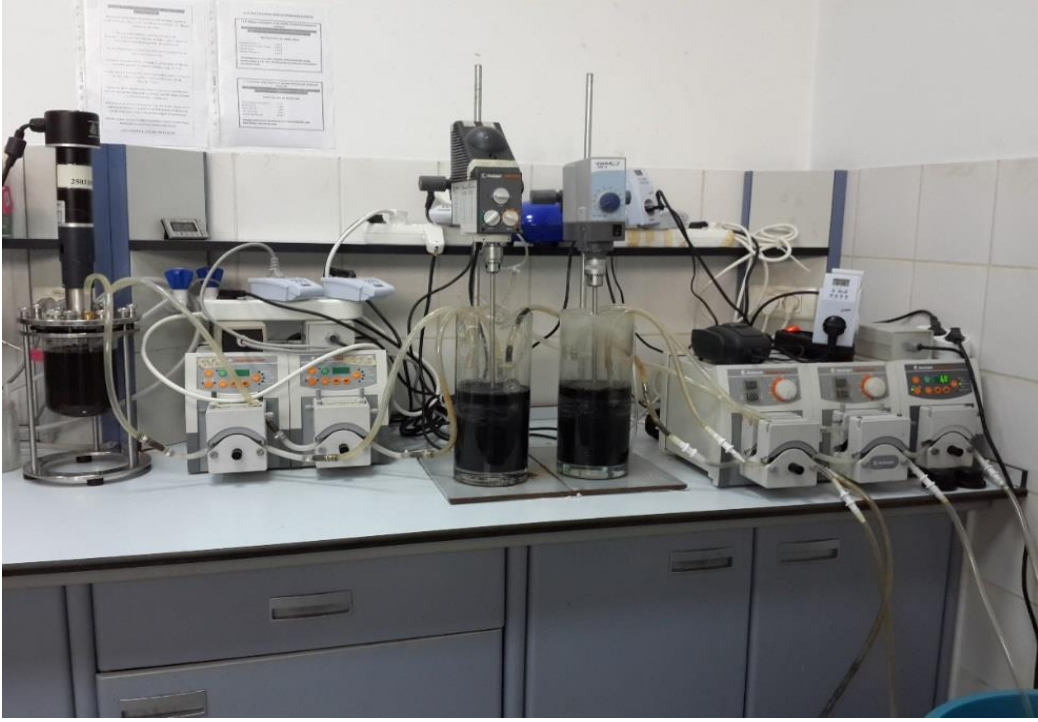
Şekil 3.2 : OSA prosesi ve Kontrol sistemi şematik gösterimi.

İki sistemde de kullanılan ardışık kesikli reaktörün karıştırma ve havalandırma fazları ile besleme ve deşarj işlemlerinde kullanılan pompalar için ayrı zaman ayarlayıcılar kullanılmıştır. OSA sistemi için kullanılan anaerobik reaktör ile ardışık kesikli reaktörü arasındaki çamur geçişini sağlamak için kullanılan pompalar için de ayrıca zaman ayarlayıcılar kullanılmıştır. İki reaktör arasındaki çamur alış-verişi silikon hortum bağlantıları ile sağlanmıştır.

Ardışık kesikli reaktörler gün içerisinde her biri 6 saatten oluşan toplam 4 döngü ile işletilmiştir. Bu döngüler sırasıyla besleme, karıştırma, havalandırma, karıştırma, havalandırma, çökelme ve boşaltma fazlarıdır. Reaksiyon fazı karıştırma ve havalandırmanın olduğu aşamalarda gerçekleşmektedir. Sistemlere karıştırma esnasında ani besleme (2 dk. boyunca 500 ml atıksu verilmiştir) yapılmıştır. Fazların başlangıç ve bitiş sürelerine Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2’den ulaşılabilir.

Ardışık kesikli reaktörlerin boşaltma fazı sonrasında toplamda 1.0 L hacimde olmaları cam reaktörlere konulan U-tipi cam boruya takılan silikon hortum ile deşarj edilmeleri sağlanmıştır. U-tipi borunun kullanılarak çamur kaçağı olması önlenmiştir.

Gün içerisinde bir defa olmak üzere OSA sistemindeki ardışık kesikli reaktörün boşaltma fazı sonrasında tam karışımdan 100 mL çamur anaerobik reaktöre aktarılmıştır. Aynı şekilde anaerobik reaktörden de 100 ml çamur AKR’ye aktarılmıştır. Bu miktar toplam biyokütlenin 1/10 olarak ayarlanmıştır. Sistemde stabil AKM konsantrasyonu elde etmek bu oranın optimizasyonuna bağlıdır ve yapılan çalışmalar bu oranın 1/10 olduğunda sağlandığını ortaya koymuştur (Chon 2005, Easwaran 2006, Novak ve ark. 2007a).



Şekil 3.3 : OSA prosesi ve Kontrol sistemi deney düzeneği.

Her iki sistemin işletilmeleri esnasında doldurma, boşaltma ve biyoreaktör arasındaki geçişi sağlamak üzere Pump Drive (5201 ve 5006) marka peristaltik pompalar kullanılmıştır. Ardışık kesikli reaktörlere doldurma fazında 500 mL; boşaltma fazında 500 mL ve anaerobik biyoreaktör ile AKR arasında faz sonu 100 mL olmak üzere her bir pompanın istenilen miktarlarda pompalaması için kalibrasyonları yapılmıştır. Gün içerisinde toplam 4 döngü olarak işletilen sistemlerin deşarjını yapan pompa bir adet olup; her ikisi için de diğer pompalar da olduğu üzere zaman ayarlayıcı ile istenilen sürede gereken miktarda boşaltma işlemi gerçekleştirilmektedir. Tüm pompaların istenilen zamanlarda çalışmasını sağlamak için kullanılan zaman ayarlayıcılar kontrol edilmiştir.

Ardışık kesikli reaktörlerdeki karıştırma fazları tam karışımı sağlayabilecek nitelikteki iki farklı karıştırıcı modeli ile sağlanmıştır. Bunlardan ilki hızı ayarlanabilen, 2 vitesli, ateşlemesiz motorlu mekanik Heidolph RZR 2020 karıştırıcı motordur. İkincisi ise VWR VOS 1200 karıştırıcı motordur.

Çalışmada daha önce belirtildiği üzere tam-ölçekli tesisi temsil etmesi açısından ardışık kesikli reaktör ve buna bağlı anaerobik reaktör kullanılmıştır. Ayrıca kontrol seti olarak ifade edilen sistem de aktif çamur prosesinin temsilen ve mukayese amaçlı kurulmuştur.

Aşağıda maddeler halinde ardışık kesikli reaktörlerde uygulanan herbir faz verilmiştir. Bu fazlar gün içerisinde 6 saatten oluşan 4 döngü olarak tekrar edilmiştir. Kontrol setinde de OSA setinde de aynı fazlar uygulanarak işletme koşullarının aynı olması sağlanmıştır. Ancak farklı olarak OSA setinde bulunan anaerobik reaktör ile AKR arasında faz sonu çamur alış-verişi gerçekleştirilmiştir.

- Doldurma fazı
- Reaksiyon fazı
- Çökelme fazı
- Boşaltma fazı
- Çamur değiş-tokuşu
- Dinlenme fazı (Uygur ve ark., 2004)

3.1.2 OSA ve Kontrol deney setleri

Ardışık kesikli reaktörlere herbir döngü içerisinde ani besleme ile 500 mL giriş atıksuyu verildikten sonraki ilk 1 saat karıştırma fazı, ardından 2 saat havalandırma fazı gerçekleştirilmiştir. Sonrasında ise yine 1 saat karıştırma ve 1 saat havalandırma fazı tekrarlanmıştır. Son bir saat içerisinde de 30 dk çökelme, 15 dk boşaltma ve 15 dk dinlenme fazları uygulanmıştır. Önceden belirtildiği gibi gün içerisinde bir defa olmak üzere biyoreaktör ile AKR arasındaki çamur alış-verişi 4 döngü sonunda, yani faz sonunda, gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.4'te ardışık reaktörün bir fazında gerçekleştirilen işletme süreleri verilmiştir.

Karıştırma	Havalandırma	Karıştırma	Havalandırma	Çökelme/Boşaltma/ Dinlenme
------------	--------------	------------	--------------	-------------------------------

Şekil 3.4 : Ardışık kesikli reaktör işletme süreleri.

Açıklayıcı olması amacıyla Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2'de herbir faz ve süreleri gösterilmiştir. ‘*’ ile işaretli olan süreler OSA AKR ile anaerobik biyoreaktör arasındaki çamur alış-verişinin gerçekleşmesinden sonraki; yani bir fazın bitmesi sonucu gerçekleştirilen karıştırma işlemini belirtilmektedir.

Çizelge 3.1 : OSA sistemi faz süreleri

OSA Ardışık Kesikli Reaktör							
Doldurma Fazı		Karıştırma Fazı		Havalandırma Fazı		Boşaltma Fazı	
10:00	10:02	10:00	11:00	11:00	13:00	15:30	15:45
	16:02	13:00	14:00	14:00	15:00		
		15:50*	15:56*				
16:00	22:02	16:00	17:00	17:00	19:00	21:30	21:45
	04:02	19:00	20:00	20:00	21:00	03:30	
22:00		22:00	23:00	23:00	01:00		03:45
		01:00	02:00	02:00	03:00	09:30	
04:00		04:00	05:00	05:00	07:00		09:45
		07:00	08:00	08:00	09:00		

Çizelge 3.2 : Kontrol sistemi faz süreleri

KONTROL Ardışık Kesikli Reaktör							
Doldurma Fazı		Karıştırma Fazı		Havalandırma Fazı		Boşaltma Fazı	
10:00	10:02	10:00	11:00	11:00	13:00	15:30	15:45
	16:02	13:00	14:00	14:00	15:00		
16:00	22:02	16:00	17:00	17:00	19:00	21:30	21:45
	04:02	19:00	20:00	20:00	21:00	03:30	
22:00		22:00	23:00	23:00	01:00		03:45
		01:00	02:00	02:00	03:00	09:30	
04:00		04:00	05:00	05:00	07:00		09:45
		07:00	08:00	08:00	09:00		

3.1.3 Giriş atıksuyu karakterizasyonu

Çalışma süresince atıksu artıma tesisinden gerçek atıksu temin edilmiştir. Atıksu karakteristiğini belirlemek için Çizelge 3.3'te belirtilen analizler gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.3 : Giriş atıksuyu karakterizasyonu

	AKM	UAKM	TKN
	181	174	-
	255	227	-
	170	160	-
	426	240	54
	446	288	52
Ortalama Değer	295	217	53

Tesisten alınan giriş atıksuyu numuneleri için toplam KOİ ve çözünmüş KOİ analizleri gerçekleştirilmiştir. Ancak su numunelerinin karakteristiğinin değişme ihtimali göz önünde bulundurulduğunda; tesis sorumlu personeli tarafından alınan numunelerin anında incelenmesi ve çıkan sonuçların gerçeği daha çok yansıttığı düşüncesiyle tesis ortalama KOİ değeri 670 mg/L olarak alınmıştır. Buna ek olarak tez çalışmasında gerçekleştirilen KOİ analizlerine eklerden ulaşılabilir.

3.1.4 AKM/UAKM ve KOİ analizlerinin gerçekleştirilmesi

Deneysel çalışmalardan AKM, UAKM, KOİ, ve TKN tayinleri APHA standart metotlarına göre gerçekleştirilmiştir. AKM ve UAKM tayininde, alınan su numuneleri Millipore AP40 cam elyaf filtreden süzölmüştür. Analiz sonuçlarındaki saplamaları önlemek için her numunede çift çalışma gerçekleştirilmiştir. Kimyasal oksijen ihtiyacı analizi için AKR çıkış sularından alınan numunelerde toplam KOİ incelemesi yapılırken; numuneler herhangi bir ön işleme tabi tutulmadan analizleri yapılmıştır. Çıkış sularında çözünmüş KOİ tayini için numuneler 0.45'lik hidrofilik, PVDF, 33 mm steril olmayan Millex-HV şırınga ucu ile süzöldükten sonra deney için kullanıma hazır hale getirilmiştir (APHA, 2005). Toplam KOİ ve çözünmüş KOİ tayininde AKM ve UAKM tayininde olduğu gibi çift çalışma yapılmıştır. Her iki tayin kapalı-reflux metoduna göre gerçekleştirilmiştir.

3.1.5 Günlük numune izlemeleri

Deney setleri kurulup işletmeye alındıktan sonra yaklaşık 6 hafta boyunca sistemin kararlı hale ulaşması beklendi.

Aklımasyon periyodu sonunda aşağıda belirtilen sürelerde ilgili analizler gerçekleştirilmiştir:

- Çıkış atıksularında her gün AKM, UAKM, toplam KOİ ve çözünmüş KOİ analizleri yapılmıştır.

- ii. Ardışık kesikli reaktörlerde haftada 2 gün olmak üzere AKM, UAKM analizleri yapılmıştır.
- iii. Giriş atıksularında; her gelen numunede toplam KOİ ve çözünmüş bakılmıştır. Ancak AKM ve UAKM değerlerine atıksu karakterizasyonunda belirtildiği üzere her zaman bakılmamıştır. Bunun nedeni tesisten bu dataların günlük olarak alınabiliyor olmasıdır.
- iv. Anaerobik biyoreaktördeki koşulların oksijene olan hassasiyetinden dolayı sıklıkla açılmamasına dikkat edilmiş ve bu sebeple haftada 1 gün olmak üzere ardışık kesikli reaktöre gelen hat üzerinden AKM ve UAKM tayinini gerçekleştirmek üzere numuneler alınmıştır.

3.2 Respirometre Ölçümleri

Oksijen tüketim hızı, atıksuyun kalitesine bağlı olarak değişen ve aktif çamur sisteminde metabolizma hızını belirlemede kullanılan parametrelerden biridir. OTH ile mikroorganizmaların dakikada tükettikleri oksijen miktarı tespit edilir. Oksijen tüketim hızı değerine bağlı olarak aktif çamur kalitesi hakkında fikir sahibi olunabilir. Örneğin; ani ve yüksek organik madde yüklemelerinde OTH değerinde artış, toksik elementlerin varlığında ise OTH değerinde düşüş gözlemlenir.

Oksijen tüketim hızı, çözünmüş oksijen konsantrasyonundaki değişimlerin ölçülmesi ile tahmin edilebilir ya da özel elektrodlar ile ölçümü yapılabilir (Chalasani ve ark., 2007).

Çözünmüş oksijen özellikle aerobik proseslerdeki biyolojik olarak ayrıştırılabilen KOİ, biyokütle ve elektron alıcıları arasındaki elektron dengesini belirlemede büyük önem kazanır. Biyokimyasal reaksiyonlar sonucu zaman içerisinde çözünmüş oksijen konsantrasyonunda meydana gelen değişimler oksijen tüketim hızını belirtir. Oksijen tüketim hızı ile KOİ fraksiyonlarının yanısıra kinetik ve stokiyometrik model katsayılarına ulaşılmaktadır (Orhon ve ark., 2009).

Sıvı fazdaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu ölçümünde kullanılan respirometrelerde polarografik çözünmüş oksijen probu kullanılmaktadır. Prob, genellikle yarı-geçirgen membran ile kaplı içsel elektrolit solüsyonunda bulunan iki elektroddan oluşmaktadır. Çözünmüş oksijen molekülleri membrandan geçerek sıvıdan iç solüsyona difüze olurlar ve katotta indirgenirler ve bu esnada elektrik akımı

oluştururlar. Bu akım, membrandan geçen oksijen moleküllerinin difüzyon hızı ile ve dolayısıyla solüsyondaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu ile de orantılıdır. Elektrik akımı ve çözünmüş oksijen konsantrasyonu arasındaki bu bağlantı probun kalibrasyonu ile kurulmuştur. Bütün respirometrik prensipler aktif çamur çözünmüş oksijen kütle dengesi kurularak, çözünmüş oksijen ölçümüne dayanmaktadır (Spanjers, 1998).

Respirometre deney düzenekleri : Oksijen tüketim hızı, atıksuyun kalitesine bağlı olarak değişen ve aktif çamur sisteminde metabolizma hızını belirlemede kullanılan parametrelerden biridir. Her bir deney setinde sabit bir biyokütle değerinin gözlemlenmesinin ardından respirometre deneylerine geçilmiştir. Biyokütlenin oksijen tüketim hızını belirlemek amacıyla gerçekleştirilen bu deneyler üç aşama olarak kurgulanmıştır. Öncelikli olarak Kontrol seti ve OSA setinde çoğalan mikroorganizmaların oksijen tüketimlerine bakılmıştır. Ardından da OSA anaerobik biyoreaktörde oluşan mikroorganizmaların etkisini gözlemlemek için OSA ardışık kesikli reaktör ve anaerobik biyoreaktörden alınan çamur ile toplamda üç farklı deney gerçekleştirilmiştir.

Deneylerde havalandırılmalı reaktörü bulunan RA-Combo® (AppliTek Co.) marka cihaz kullanılmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 : Respirometre cihazı.

Cihazda herhangi bir ölçüm işlemine başlamadan önce reaktörünün temizliği ardından da oksijen probunun kalibrasyonu yapılmıştır. Bu işlemler esnasında ve ölçüm yapılırken bekletilmiş çeşme suyu kullanılmıştır. Çeşme suyu bünyesinde bulunan klor ve klorlu bileşiklerden arındırmak amacıyla bekletildikten sonra kullanılmıştır.

Cihaz reaktör temizliği ile reaktör cidarındaki kalıntıların temizlenmesi ve sistem içerisinde atıksuyun devredildiği plastik boruların çeperlerindeki muhtemel tortuların giderilmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda reaktör haznesine bekletilmiş çeşme suyu konulmuş ve cihaz bu şekilde çalıştırılmıştır. Bu işlem temizlendiğindenemin oluncaya kadar tekrarlanmıştır.

Cihaz prob kalibrasyonu ise; probun ucunun bekletilmiş çeşme suyu ile temizlenmesi ve ardından kendi kabına daldırılarak ana ekranda bulunan “calibration” tuşuna basılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyonda okunan değer 102’de sabitlenene kadar “calibrate” tuşuna sürekli basıldı. Kalibrasyon süresi, probun ne kadar iyi kalibre edildiğinin göstergesi olduğu için mümkün olduğunca uzun tutulmuştur.

Her çalışma öncesi temizleme ve kalibrasyon işlemleri uygulanmıştır. Üç çalışmada birbirini müteakip yapıldığı için doğal olarak birinin son temizleme işlemi sonrakinin ilk temizleme işlemi olmuştur.

Cihaz temizliği ve prob kalibrasyonunun yapılmasından sonra deneyde kullanılacak olan çamur, atıksu vb. miktarlarına karar verilmiştir. Bu amaçla respirometre cihazına konulması planlanan çamur ve atıksu miktarlarına bakılarak S/X (substrat/mikroorganizma) oranı hesaplanmıştır. Seçilen bu değer in respirometrik deneyde en iyi sonucu vermesi açısından mümkün olduğunca düşük tutulmasına (0.1 – 0.2 g KOİ/g UAKM) dikkat edilmiştir. Bu oranın hesaplanmasında aşağıda belirtilen ifade kullanılmıştır (İnsel ve ark., 2003).

$$\frac{S}{X} = \frac{C_{TI}}{X_T} \times \frac{V_{atıksu}}{V_{çamur}}$$

V_{ww} : İlave edilen atıksu miktarı(L)

$V_{çamur}$: İlave edilen aktif çamur miktarı (L)

C_{TI} : Atıksu numunesindeki toplam KOİ değeri ($\frac{mg}{L}$)

X_T : Aktif çamur UAKM değeri ($\frac{mg}{L}$)

Yukarıda belirtilen formülden yola çıkılarak yapılan S/X hesaplama sonucunda bulunan değerlere Çizelge 3.4’te yer verilmiştir.

Yeterince düşük ve literatür çalışmalarında belirtilen aralıkta kalan oranların bulunması ile miktarların uygun olduğuna karar verilmiştir. Çamur miktarının

doğruluğunun tespiti ile kullanılan çamurdan AKM ve UAKM analizleri için 5'er ml numune alınmış ve çift çalışma gerçekleştirilmiştir. Deneylerde yalnızca karbon giderimi amacıyla oksijenin tüketildiğinden emin olmak için nitrifikasyon inhibitörü kullanılmıştır. Bu sayede nitrifikasyon nedeniyle oksijen tüketimi önlenmiş olundu. İnhibitör miktarına ürün bilgisinden ulaşılarak karar verilmiştir. Hach nitrifikasyon inhibitöründen, 2533TM, TCMP - 2-klor-6-triklormetil pridin ve sodyum sülfat içerikli, her 300 ml çamur numunesi için 0.16 g olacak şekilde ilave edilmiştir.

Respirometre cihazının reaktörüne ilk olarak ardışık kesikli reaktörde kullanılan çamurdan 500 ml konulmuştur. Çamur, sabah 9:30'da çökme fazının bitmesi ve boşaltma işleminin ardından alınmıştır. Reaktöre çamurun konmasıyla beraber içerisine yerleştirilmiş hava taşının hava vanası açılarak çözünmüş oksijen miktarına bakılmış ve çözünmüş oksijen giriş değerinin 7.0'ın altında olmamasına, çıkış değerinin ise 2.0'ın altına düşmemesine dikkat edilerek ayarlanmıştır. Reaktöre verilen oksijen miktarının kriterlere uymasının ardından reaktöre sırasıyla Çizelge 3.4'te belirtilen miktarlarda bekletilmiş çeşme suyu, atıksu ve hesaplanan miktarlarda nitrifikasyon inhibitörü ilave edilmiştir.

Ardından cihaz üzerinde bulunan "Start BOD" tuşuna basılarak ölçüm işlemlerine başlanmıştır.

Yukarıda bahsedilen işlemler üç farklı OTH deney seti için ayrı ayrı yapılmıştır. İlk olarak Kontrol seti AKR'de respirometre deneyi gerçekleştirilmiş; ardından da sırasıyla OSA AKR ile OSA AKR ve anaerobik reaktör için oksijen tüketim hızlarını tespiti için deneyler yapılmıştır.

Çizelge 3.4: OTH deney setleri

		Tam karışıklı çamur	Bekletilmiş çeşme suyu	Anaerobik Çamur	Nitrifikasyon inhibitörü	Atıksu	S/X oranı
SET 1	Kontrol AKR	500 ml	1250 ml	-	0,266 g	250 ml	0,11
SET 2	OSA AKR	500 ml	1250 ml	-	0,266 g	250 ml	0,11
SET 3	OSA AKR ve Anaerobik Reaktör	500 ml	1550 ml	50 ml	0,266 g	250 ml	0,13

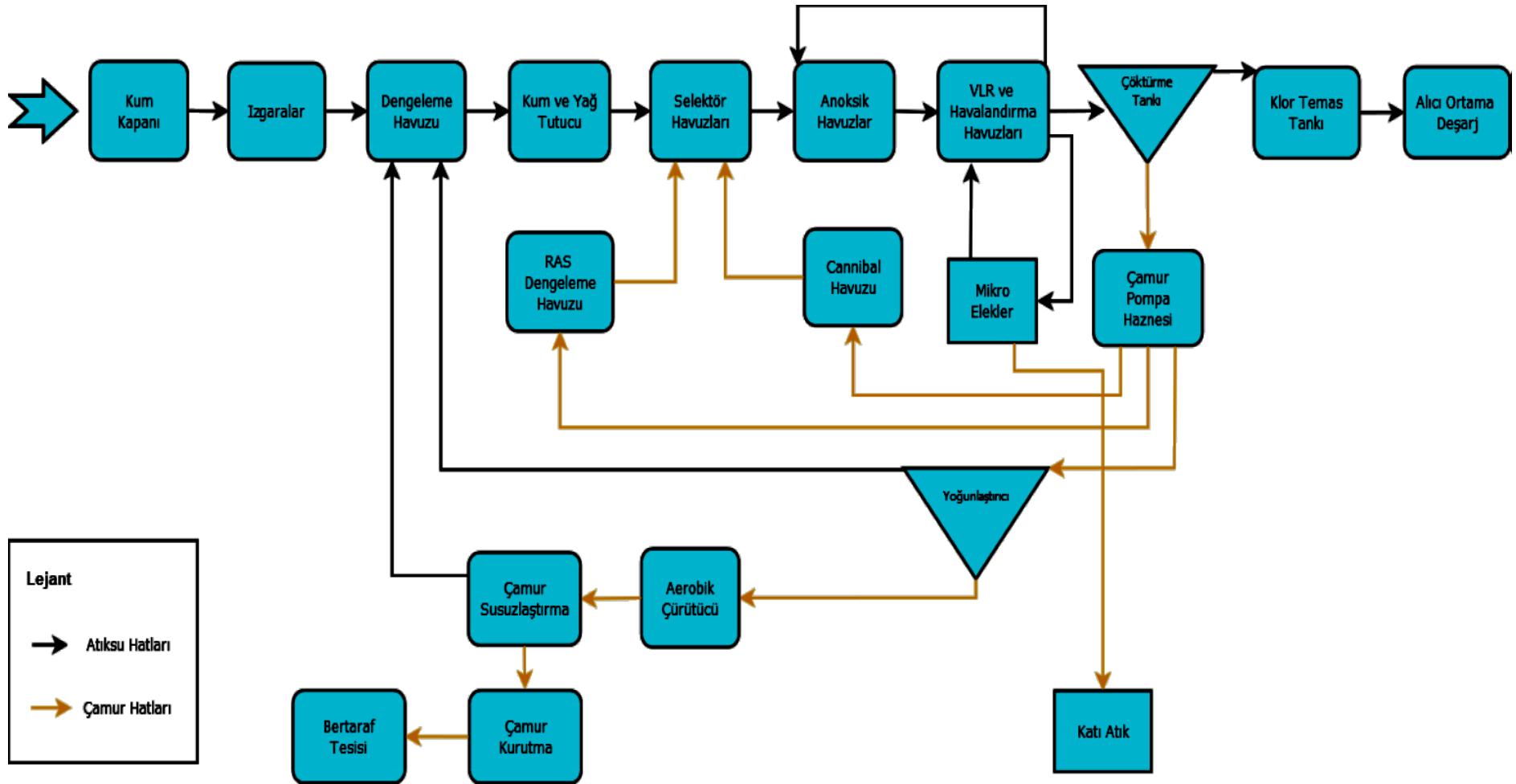
3.3 Model Yaklaşımı

3.3.1 Tesisin Tanıtımı

Çalışmada, bünyesinde Cannibal sistemi bulunan İnegöl OSB Evsel ve Endüstriyel Atıksu Arıtma Tesisı modellenmiştir. Deneysel yaklaşımda kullanılan gerçek atıksular ve çamurlar da bu tesisten alınmıştır.

Tesise ortalama 93.000 m³/gün atıksu gelmekte olup; bunun yaklaşık % 40'ı endüstriyel ve % 60'ı evsel içeriklidir. Tesis 2000 yılında ilk kurulduğunda A²/O olarak işletmeye alınmıştır. İşletmeye alındığındaki debisi 64.000 m³/gün kapasitedir. 2008 yılında ise kapasite artırımı söz konusu olmuş ve sistem revize edilerek OSA sistemine dönüştürülmüştür. Tesisin akım şeması Şekil 3.6'da verilmiştir. Tesise evsel ve endüstriyel atıksular sisteme ayrı akım şeklinde gelmektedir. İki ayrı akım halinde gelen atıksu öncelikle kum kapanından geçerek ızgaralara ulaşır ardından da dengeleme havuzuna alınmaktadır. Dengeleme havuzu, tesis giriş atıksuyunun hem homojen hale gelmesi hem de gelen debinin dengeli bir şekilde sisteme verilmesini sağlamada önemli bir rol oynamaktadır. Dengeleme havuzundan sonra havalandırmalı kum ve yağ tutuculara alınan atıksu terfi istasyonu ile anoksik selektör havuzlarına buradan da sırasıyla disk tipi havalandırmaların bulunduğu VLR (Vertical Loop Reactor) tanklarına ve difüzörlü havalandırma sisteminin olduğu havalandırma havuzlarına alınır. Havalandırma tanklarındaki atıksuyun bir bölümü içsel geri devir ile anoksik havuzlara alınırken diğer bölümü çökeltme tankına aktarılır. Çökeltme tankındaki arıtılmış su sistemden atılarak uzaklaştırılırken çamur ise terfi pompa istasyonu ile sisteme geri devredilir. Çamurun büyük çoğunluğu, debinin % 80 - 95 kadarı, RAS dengeleme havuzuna devredilir. Toplam debinin 95 m³/sa. kadarı Cannibal anoksik havuzlarına aktarılırken; geri kalan kısım da çamur yoğunlaştırma havuzuna gönderilir.

Anoksik havuzlar (Cannibal biyoreaktör) ardışık kesikli reaktör olarak işletilmekte olup ve toplam 3 adettir. Bu havuzlara gelen çamur, aktif çamur sistemindeki toplam aktif biyokütlenin %10'u kadardır ve bu değer literatür verileri ile örtüşmektedir.



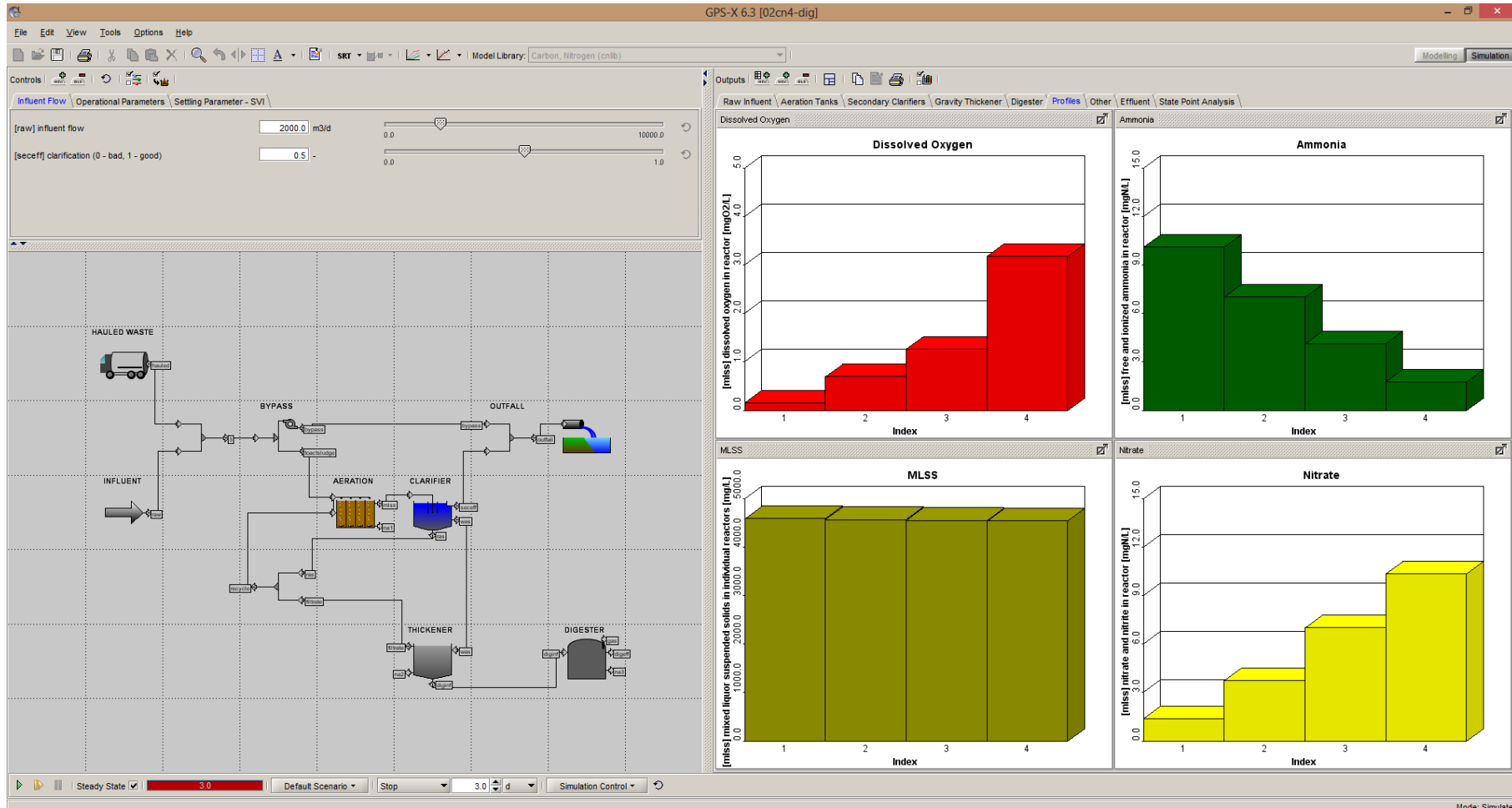
Şekil 3.6 : Tesis konfigürasyonu.

3.3.2 GPS-X Programının Tanıtılması

GPS-X, kentsel ve endüstriyel atıksu arıtma tesisi simülasyonuna olanak sağlayan modüler çok amaçlı bir programdır. Dinamik modelleme ve simülasyon için ileri grafik arayüzleri kullanılmaktadır. Aslında atıksu arıtma tesisinde bulunan temel işlemlerin hepsini kapsamaktadır. Bunlara ilaveten ileri besin giderim modellerini, anaerobik reaktörleri ve daha birçok prosesi içermektedir. GPS-X programında analiz eden ve optimize eden iki ayrı önemli modül bulunmaktadır. İlki, proses taslağında hassasiyet analizini gerçekleştirmede kullanılır. Hassasiyet analizi ile model simülasyonu çıktılarındaki hassasiyete bağlı olarak giriş parametrelerinin değiştirilmesi amaçlanır. Bu analiz sonucu model parametrelerini ayarlamaya yardımcı olmaktadır. Optimizasyon modülü deneysel verileri modele uydurmak ve modelin kinetik, stokiyometrik parametrelerinin kalibrasyonunu sağlamada kullanılır. Bu sayede ölçüm sonucu elde edilen verilere modelin tepkisi arasında en iyi uyum sağlanır.

GPS-X, kendi veri tabanında kayıtlı olan ASM modellerini ya da sisteme kaydedilen yeni modelleri kullanarak farklı simülasyon denemeleri ile tesis optimizasyonunu yapmada kullanılan bir yazılımdır. Program kendi içerisinde bulunan modellerin dışında da ilavelerin yapılmasına izin verdiği için kullanıcıya model matriksinde değişiklik yapma esnekliği sağlamaktadır. Varolan modellerdeki değişiklikleri izlemesini sağlayan “model developer” diye adlandırılan modelin geliştirilebildiği bir bölüm mevcuttur. Model oluşturulurken farklı proses birimleri ayrı ayrı sisteme tanıtıldığı için, her bir ünitenin gerçek boyutları gibi fiziksel parametreler ile kinetik ve stokiyometrik parametrelerin de girilmesi gerekmektedir. Aynı zamanda havalandırma tankının da farklı tiplerde de seçilebileceği ve buna göre tasarımı etkileyeceği de göz önünde bulundurulmalıdır (www.hydromantis.com).

Program içerisinde ASM modellerinde bulunan tüm durum değişkenleri ve dinamik prosesler işlenmiştir. Matematik modellemeler ile simülasyon gerçekleştirilmesine; ardından da farklı senaryoların test edilmesine olanak sağlamaktadır. Herbir senaryo sonucu oluşturulan simülasyonlar ile tesis optimizasyonunda dikkate alınması gereken durumlar ortaya konmaktadır. Programın simülasyon modundaki görünümü Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7 : GPS-X programı simülasyonu modu genel görünüm.

Programda OSA sistemi modellenirken tesis konfigürasyonu esas alınmıştır. Tesis tanıtımında yer alan üniteler modelde ayrı ayrı işlenmiştir. Daha önce de belirtildiği gibi tesis giriş atıksuyu evsel ve endüstriyel atıksu karışımından oluştuğu için; model oluşturulurken atıksuyu karakterizasyonunda bu duruma dikkat edilmiştir. Çizelge A.7’den modelde kullanılan atıksu karakterizasyonu detaylarına ulaşılabilir. Literatürde aktif çamur optimizasyonu ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Örneğin; ardışık kesikli reaktörlerdeki optimum oksijenli ve oksijensiz süreler üzerinde durulmuştur (Damar ve ark., 2004).

Tesis modellenirken birçok kısıt ile karşılaşmıştır.. Bunlar arasında en önemlileri havalandırma tankındaki çözünmüş oksijen konsantrasyonunun belirlenmesi olmuştur. Çünkü bu durum içsel devir nedeniyle denitrifikasyon ve nitrifikasyon zonlarındaki çözünmüş oksijen konsantrasyonunu da etkilemektedir. Havalandırma tankına verilen oksijen miktarının, mikroorganizmalar tarafından aktif çamurdaki organik maddeleri okside etmedeki ve işletme için gerekli minimum ihtiyacı karşılamadaki miktarların eşit olmasına dikkat edilmiştir. Ortamdaki oksijen limitleyici bir faktör olduğunda mikroorganizmaların çoğalmaları yavaşladığı gibi filamentli organizmaların dominant durumda olmaları, beraberinde aktif çamur çökeltme karakteristiği ve kalitesi de negatif yönde etkilenmektedir. Diğer yanda ise çözünmüş oksijen konsantrasyonunun aşırı fazla olması enerji tüketimini artırır, yanısıra çamur kalitesini de kötü yönde etkileyebilir. Havalandırma tankındaki çözünmüş oksijen konsantrasyonunun pratik bilgilerden yola çıkarak $1.5 - 4 \text{ g O}_2/\text{m}^3$ arasında tutulması gerektiği bilinmektedir. Her ne kadar aralık değeri verilse de yaygın kanı bu değer optimum $2 \text{ g O}_2/\text{m}^3$ olması gerektiği yönündedir. Ancak daha öncede belirtildiği üzere anoksik zonda daha düşük konsantrasyonlara ihtiyaç vardır. Aşağıda çözünmüş oksijen konsantrasyonunun hangi zonda ne kadar olması gerektiği üzerinde durulmuştur:

Aerobik zonda: $1.5 - 4 \text{ g O}_2/\text{m}^3$

Anoksik zonda: $0.05 - 0.5 \text{ g O}_2/\text{m}^3$

Çözünmüş oksijen konsantrasyonunun dışında çamur yaşı ve S/X oranı da modellemede büyük önem kazanmaktadır. Laboratuvar çalışmalarında çamur yaşının 3 – 15 gün arasında olması ile kararlı durum elde edildiği ve böylelikle çıkış çamur kalitesinin mükemmel çökelebilmek karakteristiğinde olduğu bulunmuştur. Bu değerlerin güvenlik faktörü denilen 1.5 – 2.5 ile çarpılmasıyla nitrifikasyonu gerçekleştiren organizmaların kinetiğinin etkilenmemesi ve

prosesin güvenli tarafta kalması sağlanmıştır. Bu şekilde bu organizmaların çoğalmaları için ihtiyaç duyulan minimum değerlere de ulaşabilmektedir.

S/X oranı ise respirometre deneyinde üzerinde durulan ve proses kontrolünde kullanılan önemli bir parametredir. Bu orana havalandırma tankındaki UAKM/AKM'den ulaşabilmektedir ve bu değer 0.05 ile 11 gKOİ·gKM⁻¹·d⁻¹ arasındadır (Olsson ve ark., 2005, Ingildsen ve ark., 2002, Samuelsson ve ark., 2005).

3.3.3 Kalibrasyon – Doğrulama Çalışmaları

İdeal koşullarda atıksu arıtma tesisine ait fiziksel, işletme ve giriş parametrelerinin hepsi bilinir; kinetik, stokiyometrik katsayılar gibi önemli parametreler deneysel olarak belirlenir. Böyle bir durumda en başında modeldeki varsayılan değerler kullanılarak eksik parametreler tespit edilir ve değişikliğe ihtiyaç duyulan parametrelerde uygun değerlere ulaşılabilir.

Model kalibrasyonu daima gerçek atıksu ile sürdürülen deneysel çalışmalara dayanmalıdır. Modelin tesis optimizasyonunda kullanılması durumunda deneysel veriler tam-ölçekli tesisten ya pilot ölçekli kurulan sistemden elde edilmiş olmalıdır. Bir ya da birkaç değişkenin defalarca tekrarlanan analiz sonuçları model kalibrasyonunda bazı sabitlerin tahmin edilmesine olanak sağlayabilir. İncelenen değişken sayısının artırılması ile modelde daha fazla sabitin belirlenmesi mümkün olabilir. Bu sayede daha gerçekçi bir kalibrasyonun yapılması sağlanabilir.

Modelin kalibrasyonu esnasında birçok durumda değişiklik göstermeyen çoğu parametrenin değiştirilmemesi önemlidir. Bunlar arasında Y_H , $Y_{AUT.}$, μ_H gibi parametreler bulunmaktadır. Eğer kalibrasyon için kullanılan deneylerden elde edilen sonuçlar söz konusu parametre için değişimlerine karşı hassas değilse bu parametrenin değiştirilmemesi önerilir. Bir şekilde parametrenin değiştirilmesi kaçınılmaz ise deneyimlere dayanarak mantık doğrultusunda değiştirilmelidir.

Eş zamanlı olarak 2 ya da daha fazla parametrenin değiştirilmesinden tek bir parametrenin belli zaman süresi için değiştirilmesi uygundur. Özellikle bazı parametrelerin birbirleriyle olan yakın ilişkisi hangi parametrenin değiştirilmesi gerektiğini konusunda kararsızlığa neden olmaktadır. Bu durumda deneysel koşulların hangisinden daha çok etkilendiğine bakmak gerekir.

Tüm koşullarda kullanıma uygun olabilecek türden bir kalibrasyon metodu bulunmamaktadır. Ancak eldeki verilere dayalı olarak ve simülasyon sonuçlarının muhtemel kullanım durumuna göre farklı kalibrasyon seviyeleri bulunmaktadır:

1. Dinamik olmayan veri

Dinamik olmayan veri kullanarak kalibrasyon yapılması mümkündür. Bunun için kararlı durumdaki deneyler ya da kompozit numunelerle gerçekleştirilen dinamik deneylerden elde edilen sonuçlar kullanılmaktadır. MLVSS konsantrasyonu ölçümü bazı stokiyometrik sabitlerin ve daha detaylı giriş atıksuyu karakterizasyonu kalibrasyonuna olanak sağlamaktadır.

2. Dinamik deneyler

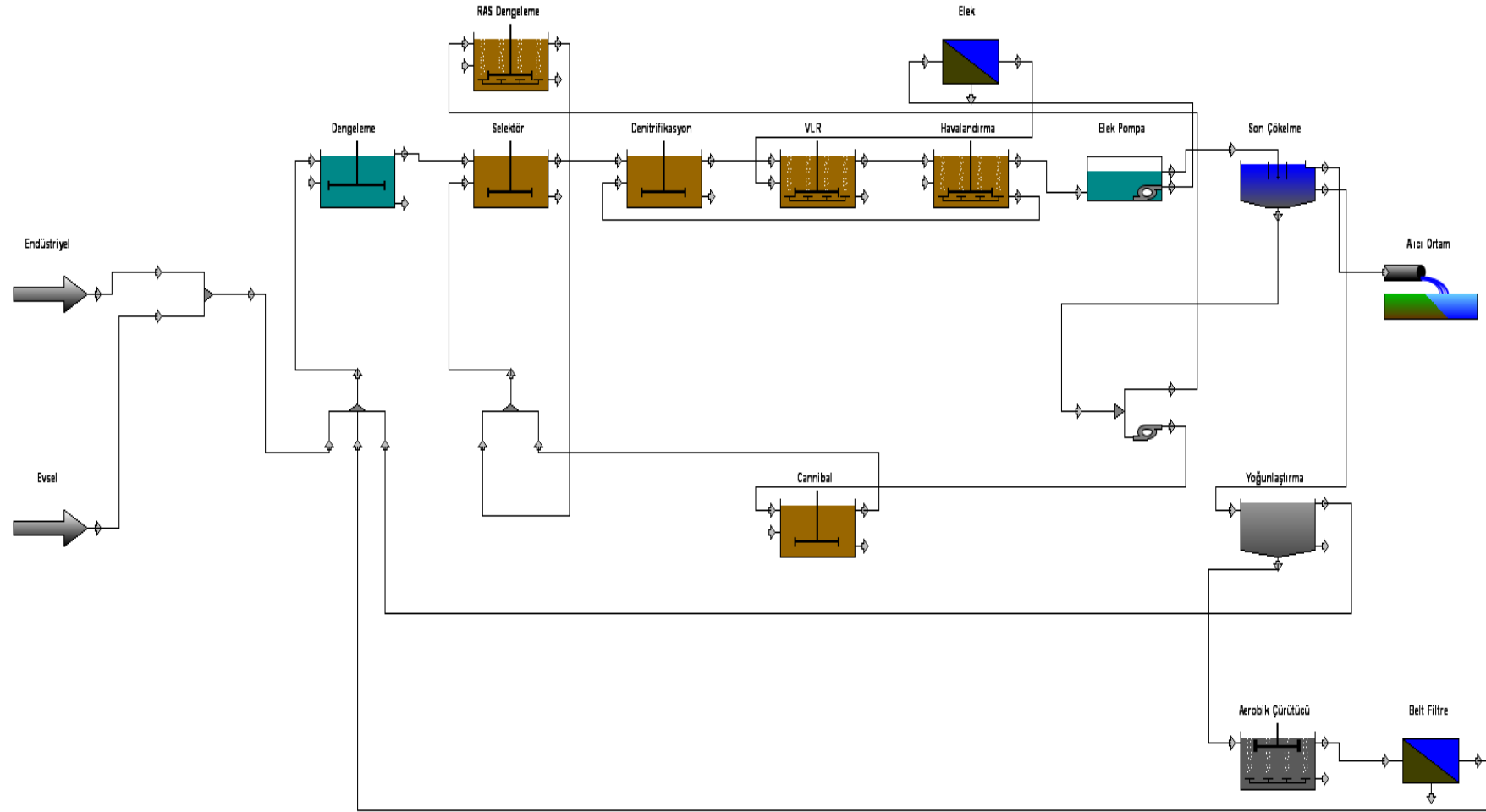
Atıksu KOİ fraksiyonları, giriş atıksuyu ile çıkış atıksuyu toplam azot ve toplam fosfor miktarları, çıkış suyundaki NH_4^+ ve ortofosfat miktarlarının bilinmesine ihtiyaç vardır. Bunların dışında ayrıca oksijen tüketim hızlarının da ölçülmesi gerekmektedir. Bu sayede güvenilirliği fazla bir kalibrasyon gerçekleştirilmesi sağlanır. Eğer BOİ ölçümleri varsa bunlar da kalibrasyon işleminde kullanılmalıdır ancak öncesinde KOİ türüne çevrilmeleri gerekmektedir. Çünkü stokiyometri prensipte KOİ'ye dayanarak oluşturulmuştur.

Giriş atıksuyu ve çıkış atıksuyu KOİ parametresinin bilinmesi ile giriş atıksuyundaki S_I , S_A , ve S_F belirlenebilir. Oksijen tüketim hızının ölçümü ile de heterotrofların maksimum çoğalma hızı belirlenebilir (Henze ve ark., 2000).

3.3.4 Senaryo Çalışmaları

Tez kapsamında yürütölen deneysel çalışmalardan elde edilen veriler ile tesis çalışma koşullarından edinilen bilgiler doğrultusunda tesis optimizasyonuna yönelik bazı senaryo çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Senaryolar tesis ve proses özelinde oluşturulmuştur.

Şekil 3.8'den modelleme programında oluşturulan tesis konfigürasyonuna ulaşılabilir. Bu akım şeması yalnızca tesis mevcut durumunu göstermekte olup; geliştirilen senaryolar ile ilgili ayrıca akım şemasına yer verilmemiştir.



Şekil 3.8 : GPS-X programında tesis akım şeması.

Mevcut durumun incelenmesi :

Tesis mevcut durumunda bulunan tüm üniteler, hacim vb. sayısal değerleri ve gerçekleşen prosesleri içerecek şekilde modele girilmiştir. Tesis giriş parametreleri modele girilerek çıkış suyu değerlerinin sağlanıp sağlanamadığına bakılmıştır. Tesis mevcut durumunda IR değeri % 10 olarak alınmıştır.

Aşağıda mevcut duruma ilaveten farklı senaryolar oluşturulmuş ve her birinin tesis geneline olan etkisine bakılmıştır. Özellikle tesis çıkış değerleri ve belt filtre çıkışındaki çamur miktarındaki değişimler dikkate alınmıştır.

S.1 Cannibal tankı ve inert partiküler maddelerin etkisinin incelenmesi :

Mevcut durumda havalandırma havuzundan çıkan ve çamur toplama yapısına giden çamurun büyük çoğunluğu son çökeltme tankına aktarılırken; yaklaşık 1250 m³/sa kadarı 250 mikron gözenek çapındaki mikro elekklere gönderilmektedir. Mikro eleklerden geçen bu çamur daha sonra VLR havuzlarına geri devredilmektedir. Mikro elekler ile inert madde içeriği yüksek olan AKM'nin sistemde tutulması sağlanır ve sonuç olarak da atıksudaki organik madde miktarı yükseltilir. Son çökeltme tankındaki çamurun 95 m³/sa kadarı ise Cannibal tanklarına gönderilmektedir.

Bu senaryo analizinde Cannibal tankı, mikroelekler ve RAS tankı konfigürasyonda iptal edilmiştir. Cannibal prosesinin hiç uygulanmadığı durumdaki çamur miktarına ve dönüşüm oranındaki değişime bakılmıştır.

S.2 IR değerinin incelenmesi :

Mevcut durumdaki IR değeri literatür verisi ile aynı olup 1/10 oranındadır. Bu oranın elde edilmesi için tesiste günlük olarak Cannibal havuzlarına aktarılan çamur debisi 95 m³/saat'tir.

Bu senaryo ile;

(S.2a) IR değerinin % 5 olduğu durum ($Q \approx 50 \text{ m}^3/\text{sa}$),

(S.2b) IR değerinin % 15 olduğu durum ($Q \approx 150 \text{ m}^3/\text{sa}$) incelenerek, IR değerinin sisteme etkileri değerlendirilmiştir.

S.3 Çamur yaşının etkisinin incelenmesi :

Tesiste mevcut durumda 3 adet Cannibal tankı bulunmaktadır. Her bir tanktaki çamur yaşı yaklaşık 13 gün olarak belirlenmiştir. Bu senaryo çalışmasında Cannibal tankındaki çamur yaşı;

(S.3a) $SRT = 10$ gün olduğu durum,

(S.3b) $SRT = 15$ gün olduğu durum incelenerek, çamur yaşının sisteme olan etkisi değerlendirilmiştir.

4. ÇALIŞMA SONUÇLARI

Çamur azaltımında kullanılan OSA prosesinin, tesis özelinde optimizasyonunu sağlamak amacıyla modelleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Modelleme çalışmalarında dinamik verilerin elde edilmesi gerektiği için proses laboratuvar ölçekli sistem kurularak işletilmiştir. Laboratuvar ortamında kurulan sistemde tesisten alınan gerçek atıksu ve çamur kullanılmıştır. Bu sayede tesis proses stokiyometrisi daha iyi yansıtılmıştır. Deneysel çalışmalar iki ana aşamayı içermektedir; aklimasyon periyodu olarak ifade edilen ve sistemin kararlı hale gelmesi için beklenen süreç ile kararlı durumdaki sistemde bulunan mikroorganizmaların oksijen tüketim hızlarının ölçümünü sağlayan respirometre deneylerinin gerçekleştirildiği süreçtir.

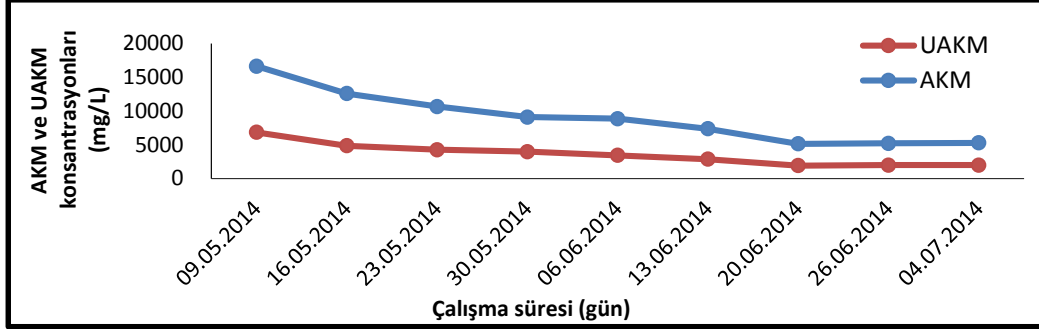
Deneysel çalışmaları takiben nihai amaç olan modelleme çalışmalarına geçilmiştir. Deneysel çalışmalardan elde edilen veriler modelleme programında kullanılarak tesis modeli oluşturulmuştur. Tesis modeli gerçek veriler ve deneysel çalışmalardan hesaplanan verilerle oluşturulduğu için optimizasyona yönelik anlamlı sonuçlar elde edilmiştir.

4.1 Deneysel Çalışma Sonuçları

Kontrol seti ve OSA setine ait detaylı deney sonuçları aşağıda belirtildiği gibidir:

4.1.1 OSA seti anaerobik biyoreaktör AKM/UAKM sonuçları

OSA setinde kullanılan anaerobik reaktörün AKM ve UAKM konsantrasyonları haftada bir gün numune alınarak takip edilmiştir (Şekil 4.1). Reaktör içerisinde minimum çamur kaybına uğranmasını sağlamak için numune aralığı seyrek olarak belirlenmiştir.

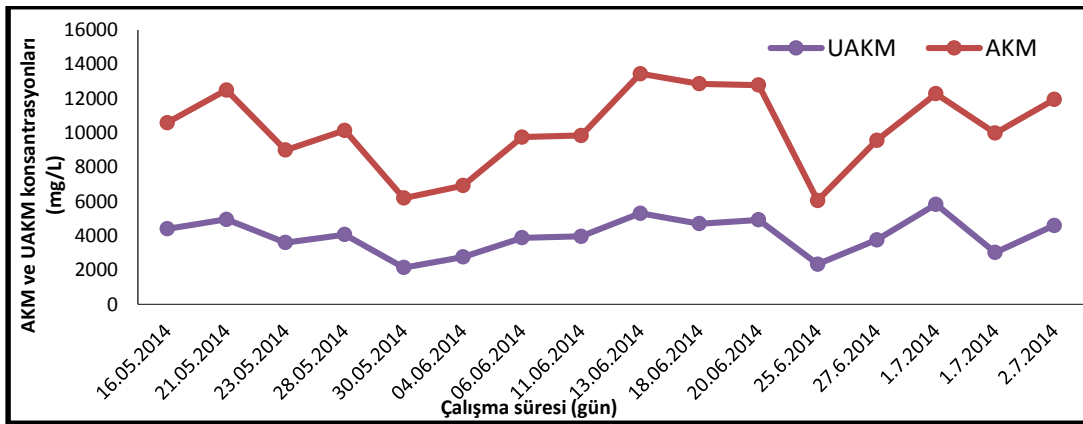


Şekil 4.1 : Anaerobik biyoreaktör AKM ve UAKM konsantrasyonları.

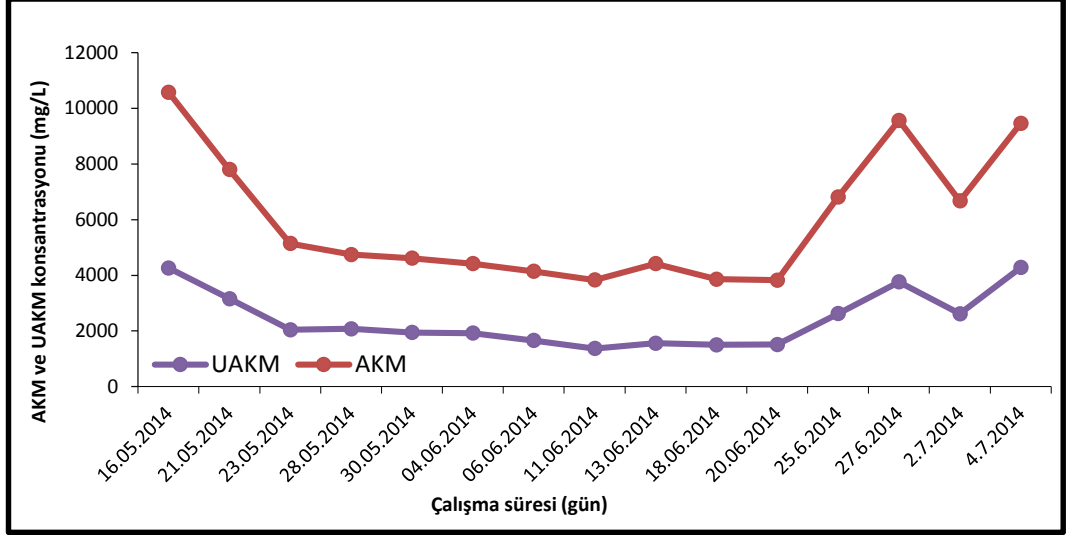
4.1.2 Kontrol seti – OSA seti AKM/UAKM sonuçları

İşletme koşulları bakımından aynı özelliklere sahip olan bu iki sistemde temel olarak anaerobik reaktörün kattığı fark ortaya konmak istenmiştir. Bu amaçla sürdürülen deneysel çalışmalardan AKM ve UAKM analizlerine yönelik verilere aşağıda yer verilmiştir. Bu grafiklerdeki değerler ardışık kesikli reaktörlerin içinden alınan ve bu reaktörlerden deşarj edilen su numunelerine aittir. Grafiklere bakıldığında her iki ardışık kesikli reaktör çıkış suyundaki değerlerin belli bir seviyede olmaları sistemlerin kararlı hale geldiklerini göstermiştir. Ancak aynı durumun ardışık kesikli reaktörlerin içinden alınan su numuneleri için benzer olmadığı açıkça gözlemlenmiştir. Bu durum, sistemlerin her ikisini de ilave edilen atıksuyun karakterizasyonunun sürekli değişken olması ile açıklanabilir.

Kontrol seti ile OSA seti ardışık kesikli reaktörlerindeki AKM ve UAKM değerleri incelendiğinde OSA setinde kararlı durumun daha net bir şekilde gözlemlendiği belirlenmiştir (Şekil 4.2, Şekil 4.3). Bu durumun OSA sisteminde bulunan anaerobik reaktörden kaynaklandığı belirlenmiştir.

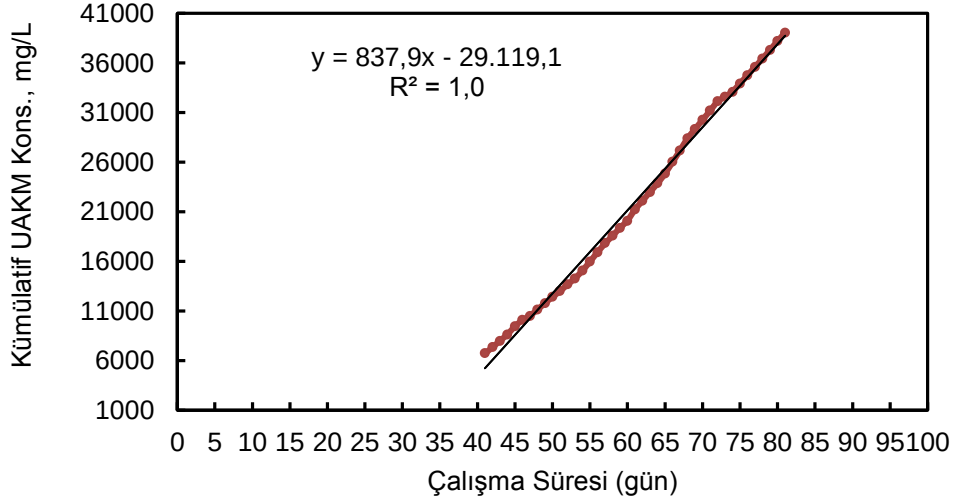


Şekil 4.2 : Kontrol sistemi AKR'de AKM ve UAKM konsantrasyonları.

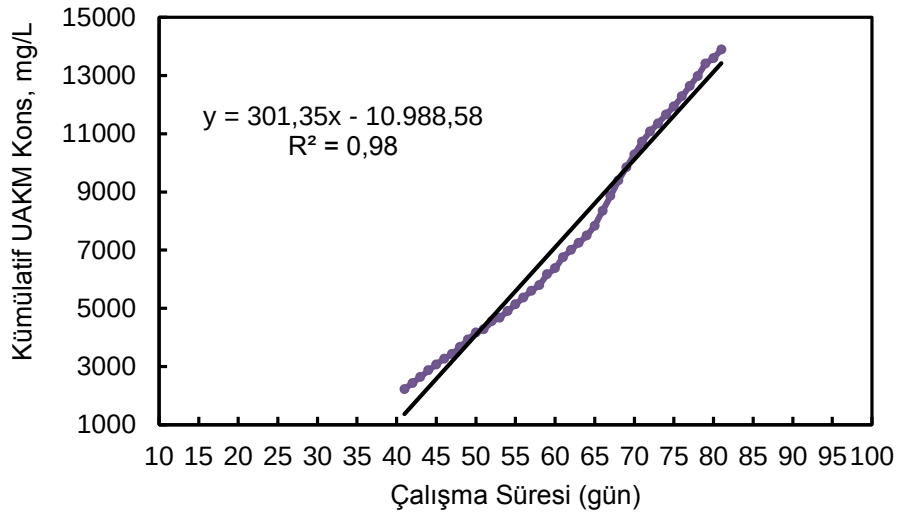


Şekil 4.3 : OSA sistemi AKR’de AKM ve UAKM konsantrasyonları.

Her iki deney seti için günlük oluşan ve/veya sistemden gerek çıkış suyu ile gerek kaçma ya da numune alınmasıyla atılan uçucu askıda katı madde kütsel miktarları Kontrol ve OSA sistemlerinde sırasıyla 837,9 g ve 315,53 g olup; iki sisteme ait grafikler Şekil 4.4 ve Şekil 4.5 sunulmuştur. Kümülatif UAKM konsantrasyonlarına bakıldığında AKM kullanımı hakkında fikir sahibi olunmaktadır. Şöyle ki atılan kümülatif UAKM miktarı ne kadar az ise AKM kullanımı da o kadar fazladır.



Şekil 4.4 : Kontrol sisteminde günlük oluşan ya da sistemden atılan UAKM’nin kümülatif toplamı.



Şekil 4.5 : OSA sisteminde günlük oluşan ya da sistemden atılan UAKM’nin kümülatif toplamı.

Her iki sistemden uzaklaştırılan günlük UAKM miktarlarından yola çıkılarak yapılan hesaplamalar ile OSA prosesinde % 64 daha az katı madde oluştuğu tespit edilmiştir.

Bu sonuca çıkış suyu kalitesinde herhangi bir negatif etki gözlemlenmeden ulaşılmış olması OSA sisteminin performansının ne kadar verimli olduğunu ortaya koymuştur. İki deney setine yönelik yapılan dönüşüm oranı ve çamur azaltımına yönelik verilere Çizelge 4.1’de yer verilmiştir.

Çizelge 4.1 : Kontrol ve OSA setleri AKR karşılaştırmalı tablo.

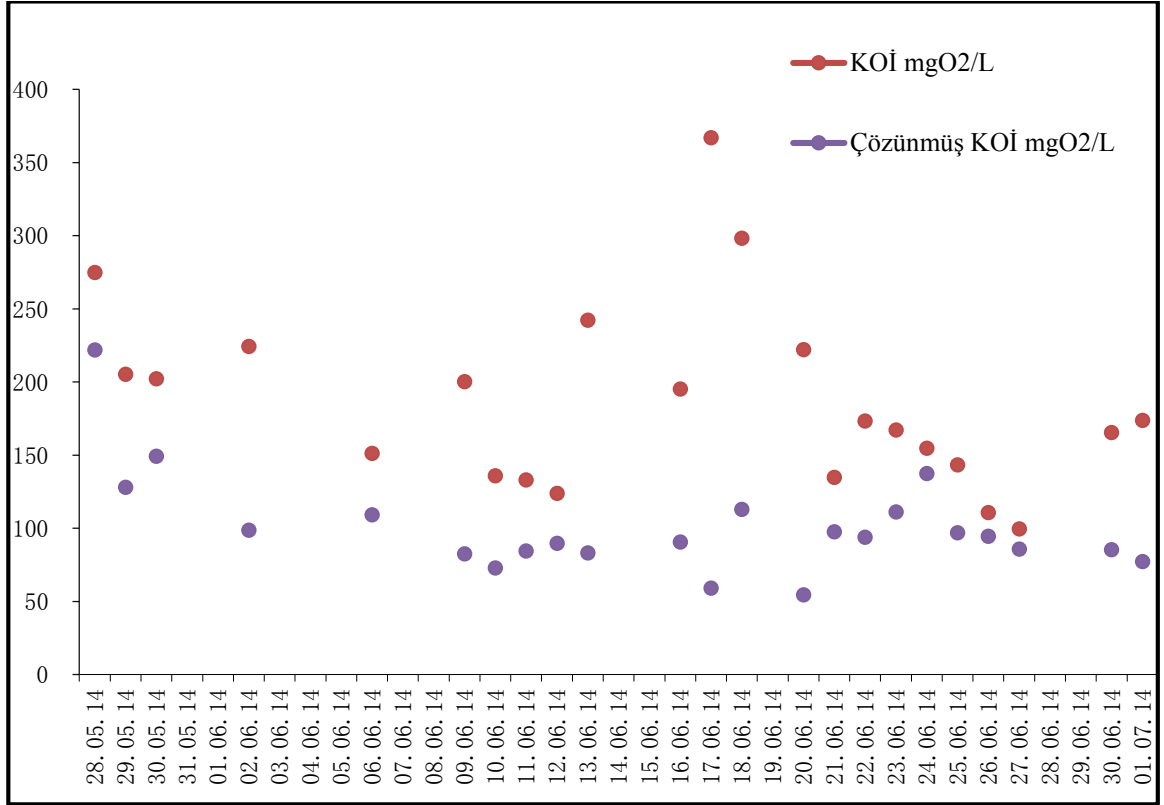
Kontrol SBR	
Ortalama giriş KOİ, mg/L	670
Ortalama çıkış KOİ, mg/L	92
Günlük kaybedilen biyokütle	837,9
Dönüşüm oranı (deneysel), gUAKM/gKOİ	0,73
Dönüşüm oranı (deneysel), g hücre KOİ/gKOİ	1,03
OSA SBR	
Ortalama giriş KOİ, mg/L	670
Ortalama çıkış KOİ, mg/L	89
Günlük kaybedilen biyokütle	301,35
Dönüşüm oranı (deneysel), gUAKM/gKOİ	0,26
Dönüşüm oranı (deneysel), g hücre KOİ/gKOİ	0,37
Çamur azaltımı	64%

İki deney setine ait çalışma süresince ardışık kesikli reaktörlerden ve çıkış sularından alınan numunelerdeki KOİ analiz sonuçlarına, ve çıkış suları ile giriş atıksuyuna ait AKM, UAKM ve KOİ analiz sonuçlarına eklerden ulaşılabilir.

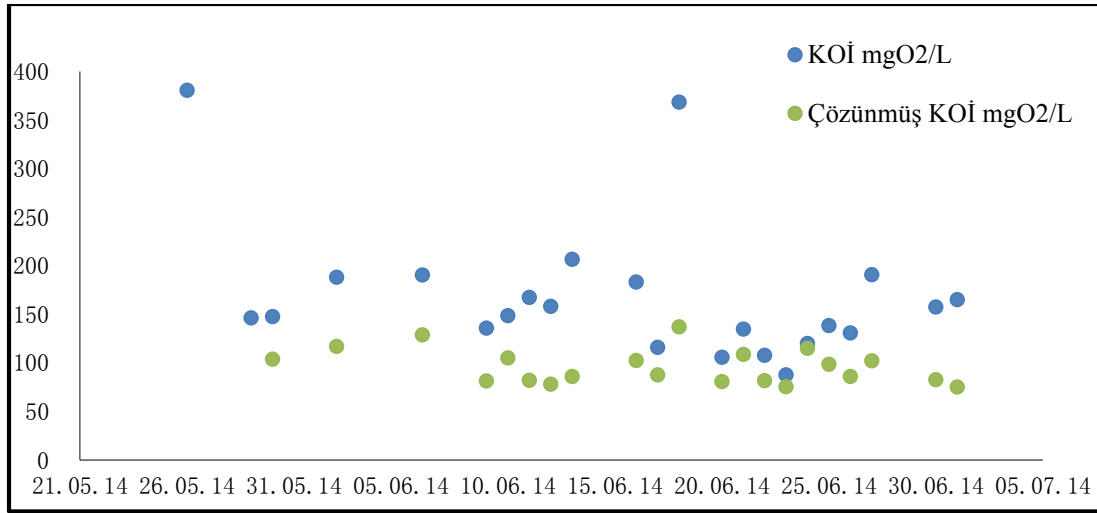
4.1.3 Kontrol seti – OSA seti KOİ sonuçları

İşletme koşulları bakımından aynı özelliklere sahip olan her iki deney setinin ardışık kesikli reaktör çıkış sularında günlük KOİ izlemeleri gerçekleştirilmiştir. KOİ izlemeleri iki amaca yönelik yapılmıştır: (1) Çıkış suyu kalitesinde negatif etki göstermediği belirtilen OSA prosesinin aktif çamur sistemi ile mukayese edilmesi, (2) Stabil bir KOİ değeri elde edilmesi ile sistemlerde kararlı durum elde edildiğinin belirlenmesi.

Şekil 4.6 ve Şekil 4.7 incelendiğinde kararlı duruma ulaşıldığı tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra en önemli çıkış suyu parametresi olan KOİ değerinin OSA prosesinde aktif çamur sistemine kıyasla benzer bir profil gösterdiği belirlenmiştir. Sonuç olarak aktif çamur sistemi ile karşılaştırıldığında OSA prosesi ile çıkış suyunda herhangi bir negatif etki göstermeden atıksuyun arıtılması sağlanmıştır.



Şekil 4.6 : Kontrol sisteminde çıkış suyu günlük KOİ sonuçları.



Şekil 4.7 : OSA sisteminde çıkış suyu günlük KOİ sonuçları.

4.2 Respirometre Deney Sonuçları

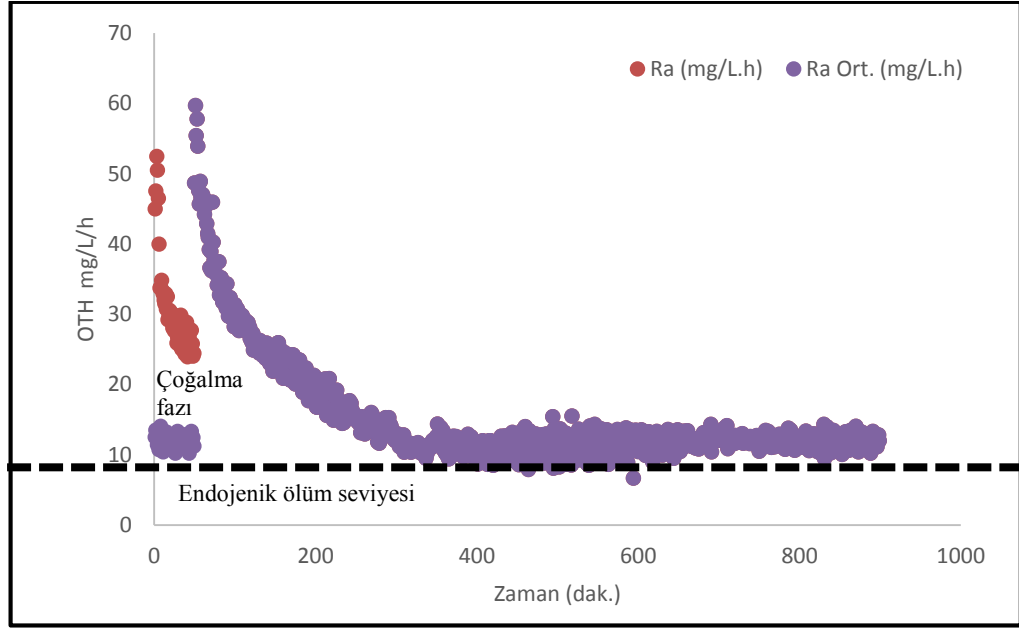
Materyal ve metot kısmında belirtildiği üzere 3 farklı OTH ölçümü gerçekleştirilmiştir. Respirometre deney sonuçlarından yapılan hesaplamalarla her bir deney seti için başlangıç b_H seviyeleri belirlenmiştir. Her set için bulunan başlangıç b_H seviyesine Çizelge 4.2’den ulaşılabilir. Set 1’e ait oksijen tüketim hızı verileri Çizelge A.8’de bulunmaktadır.

Çoğalma fazı ($1-Y_H$) substratın yalnızca enerji ihtiyacını karşılamak için tüketildiği aşamadır. İçsel solunum seviyesi (b_H seviyesi) ise ayrışabilen substratın tamamının tüketildiği ve biyokütlenin yaşamsal faaliyetlerini sürdürmek için yalnızca oksijeni kullandığı durumda ulaşılan sabit seviyedir. Sisteme atıksu ilave edildikten sonra gözlemlenen içsel solunumu ifade etmektedir. Set 1, Set 2 ve Set 3’de b_H seviyesine ulaşmak için geçen süreler sırasıyla 0.817 sa., 0.817 sa., 0.817 sa. Olarak belirlenmiştir. Başlangıçta yavaş ayrışabilen ve kolay ayrışabilen substrat birlikte oksidasyonda kullanılır. Bir süre sonra kolay ayrışabilen substratın tükenmesi ile oksijen yalnızca hidrolize edilen partiküler ve kolloidal organik substratın ayrıştırılmasında kullanılır. İçsel solunum için harcanan dışında toplam net oksijen tüketimi Set 1, Set 2 ve Set 3 için sırasıyla 45 mg/L, 61 mg/L, 24 mg/L’dir.

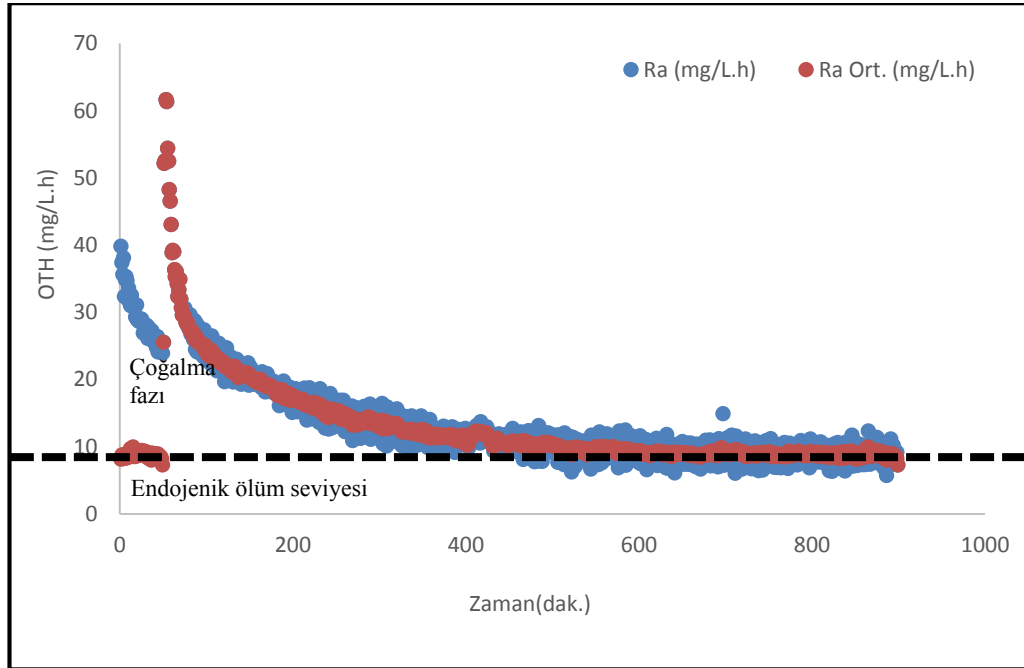
Çizelge 4.2 : Kontrol ve OSA setleri karşılaştırmalı tablo.

	$b_H \text{ O}_2/\text{L}\cdot\text{h}$
Set 1	11.97
Set 2	8.76
Set 3	10.12

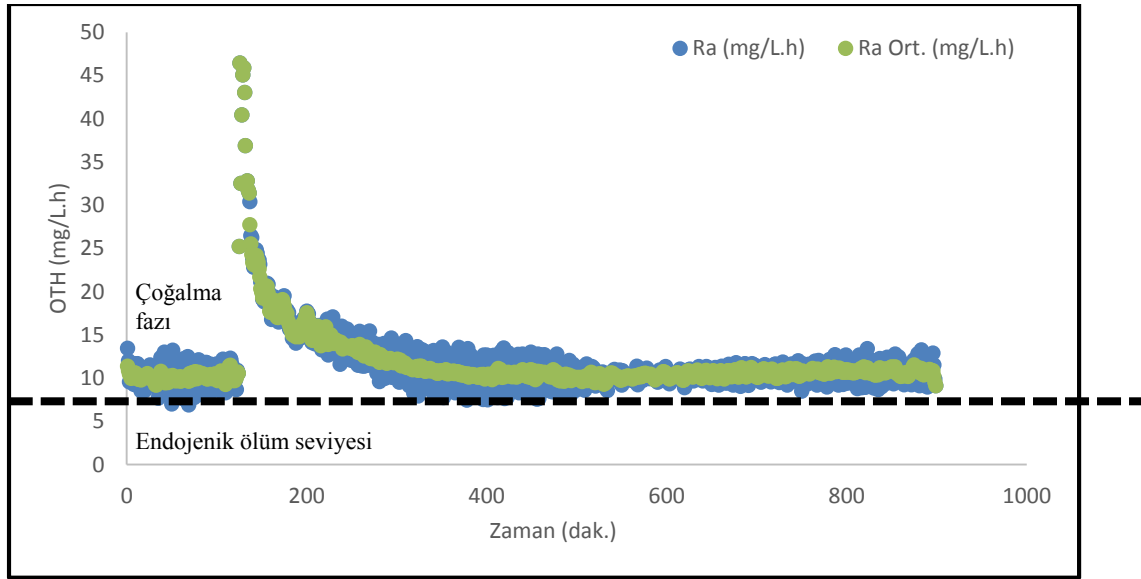
Her bir deney setine ait respirometre sonuçlarına Şekil 4.8, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10’da yer verilmiştir. Elde edilen bu grafikler üzerindeki alanlar hesaplanmış ve katsayıların hesaplanmasında kullanılmıştır.



Şekil 4.8 : Set 1 Oksijen tüketim hızı grafiği.



Şekil 4.9 : Set 2 Oksijen tüketim hızı grafiği.



Şekil 4.10 : Set 3 Oksijen tüketim hızı grafiği.

Yukarıda verilen respirometre grafiklerinde b_H seviyesinin altındaki alan (endojenik ölüm seviyesi) ve toplam alan hesaplanarak büyümenin olduğu b_H seviyesinin üstünde kalan alan (çoğalma fazı) hesaplanmıştır. Oksijen tüketim hızı grafikleri kullanılarak bulunan alan değerlerine Çizelge 4.3'den ulaşılabilir.

Çizelge 4.3 : OTH grafikleri alan değerleri & $\Delta KOİ$ değeri.

	Toplam Alan (mg/L)	İçsel Solunum (mg/L)	Büyüme (mg/L) - ΔO_2	$\Delta KOİ$ (mg/L)
Set 1	224	179	45	-
Set 2*	192	131	61	780
Set 3	176	151	24	-

*Katsayı hesaplanmasında kullanılan değerler

Çizelge 4.4'te verilen KOİ fraksiyonları literatür çalışmalarında belirtilen atıksu KOİ yüzdesel değerlerine göre hesaplanmıştır. Yalnızca modelde kullanılan ve OSA sistemini yansıtan Set-2'ye ait KOİ fraksiyonları hesaplanmıştır (Çizelge 4.4). KOİ fraksiyonları bu şekilde tahmini olarak hesaplanmış ve model giriş atıksuyu karakterizasyonuna yansıtılmıştır.

Çizelge 4.4 : KOİ fraksiyonları.

Parametre	mg/L
Toplam KOİ, C_{TI}	1076
Toplam Ayrışabilen KOİ, C_{SI}	893
Çözülmüş İnert KOİ, S_{II}	75
Partiküler İnert KOİ, X_{II}	108

Respirometre deney sonuçları kullanılarak aşağıda belirtilen hesaplamalar ile modellemede kullanılan katsayılar bulunmuştur.

Y_H hesaplanmasında:

$$Y_H = 1 - \frac{\Delta_{O_2}}{\Delta_{KOİ}} \cdot \Delta_{O_2} / (1.42 gO_2 / gUAKM) = 1 - \frac{61}{780} \cdot 61 / (1.42 gO_2 / gUAKM)$$

$$Y_H = 0.649 gKOİ / gKOİ$$

μ_H hesaplanmasında:

$$\mu_H = \frac{1}{1 - (f_{cv} \cdot Y_H)} \cdot \Delta_{O_2} \cdot 24 \cdot \frac{(V_{ww} + V_{ml})}{f_{av} \cdot V_{ww} \cdot V_{ml}} \cdot Y_H = \frac{1}{1 - (1.42 \cdot Y_H)} \cdot \Delta_{O_2} \cdot 24 \cdot \frac{(V_{ww} + V_{ml})}{f_{av} \cdot V_{ww} \cdot V_{ml}} \cdot Y_H$$

$$\mu_H = 4.22 \text{ 1/gün}$$

Katsayıların hesaplanmasında yapılan kabuller:

$$f_{cv} = 1.42 gO_2 / gUAKM$$

$$f_{av} = 1.57 \cdot \theta_x^{-0.43} = 1.57 \cdot 10g^{-0.43}$$

$$f_{av} = 0.6$$

$$b_H = \mu_H \cdot \% 5 = 4.22 \cdot \% 5$$

$$b_H = 0.211 \text{ 1/gün}$$

Respirometre deneylerinden hesaplanan katsayılar ile modelde üzerinde durulan önemli ASM 2d bileşenleri Çizelge 4.5’de verilmiştir.

4.3 Modelleme Çalışmalarının Sonuçları

Gerçek atıksu ile deneysel çalışmalar yapılmış ve burdan elde edilen verilerle dinamik deneylere dayanan bir kalibrasyon gerçekleştirilerek model oluşturulmuştur.

Model çalışmasında ilk olarak tesis mevcut durum konfigürasyonu tüm üniteleriyle birlikte modele girilmiştir. Ünitelerin her biri için bilinen boyutsal ifadelerin yanısıra hesaplanan KOİ fraksiyonları ile kinetik ve stokiyometrik katsayılar modelde veri olarak kullanılmıştır. Senaryo çalışmalarına başlamadan önce modelin kalibrasyonu, ve doğrulaması yapılmıştır. Bunun için model ilk olarak tek bir atıksu karakterizasyonu, tek bir debi değeri girilerek simulasyon modunda “steady-state (kararlı hal)”de çalıştırılmıştır. Kararlı durumda çalıştırılan modele ardından dinamik veri girişi yapılmıştır.

Dinamik veri olarak tesise ait 1 yıllık giriş KOİ ve debi verilerinin yanı sıra toplam azot değerleri kullanılmıştır. Bu aşamada respirometre çalışmalarından elde edilen katsayılar dışındaki kinetik ve stokiyometrik katsayıların biri ya da birkaçı ile oynanarak çıkış değerleri ve belt filtre çamur miktarı (çamur keki katı madde oranı % 23 olarak alınmıştır) kontrol edilmiştir.

Johnson ve ark., (2008) gerçekleştirdiği çalışmadan yararlanarak hidroliz hızı parametresi değiştirilerek modelin kalibrasyonu sağlanmıştır.

Kalibrasyon işleminin hemen ardından yine tesise ait farklı bir yılın giriş KOİ ve debi verileri ile toplam azot verileri modele girildi. Bu sefer de bu veriler ile model çalıştırılmıştır. Kalibrasyon aşamasında olduğu gibi model çıktıları ile tesis çıktıları karşılaştırılmıştır. Sonuçların birbiriyle örtüşmesi ile modelin kalibre edildiği ve doğrulandığı sonuca varılmıştır. Bu aşamalarda kullanılan model kinetik ve stokiyometrik katsayıları Çizelge 4.5’de yer verilmiştir.

Çizelge 4.5 : ASM 2d model parametreleri (Henze ve ark., 2000).

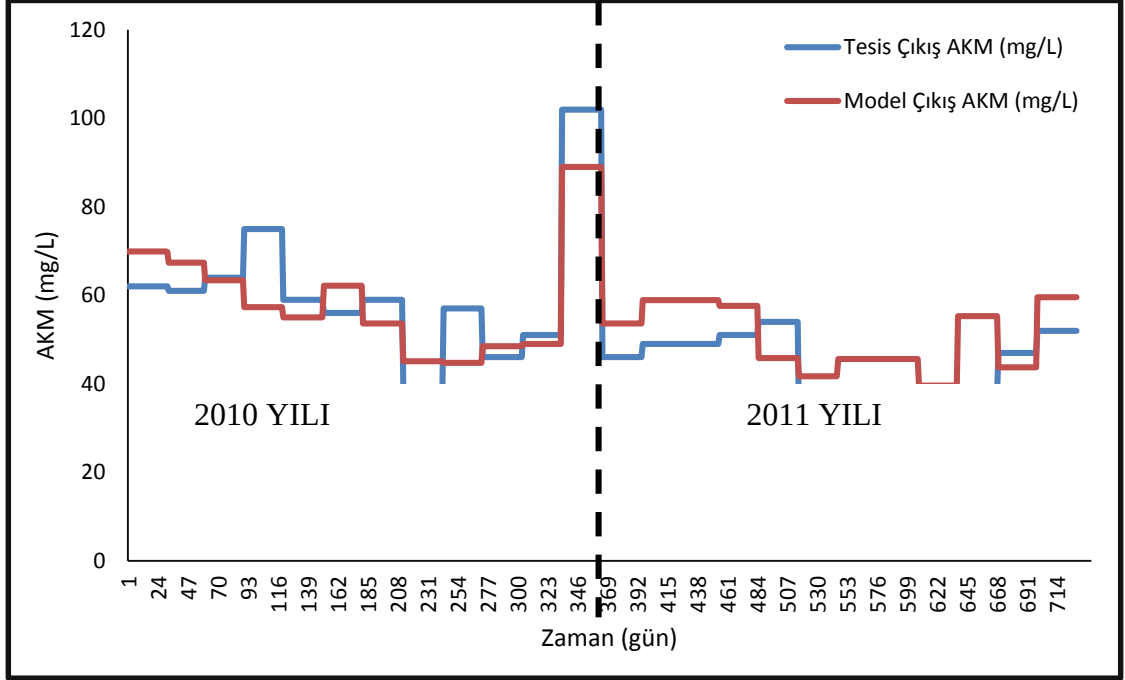
		ASM 2d Değerleri (20°C)	Değiştirilen Değerler	
<i>Heterotrofik dönüşüm oranı*</i>	Y_H	0,625	0,649	[gKOİ/gKOİ]
<i>Ototrofik dönüşüm oranı</i>	Y_A	0,24	0,24	[gKOİ/gN]
<i>Biyokütle parçalanmasındaki inert KOİ fraksiyonu</i>	f_{XI}	0,1	0,1	[gKOİ/gKOİ]
<i>Hidrolizde üretilen çözünmüş inert maddeler</i>	f_{SI}	0	0	[gKOİ/gKOİ]
<i>Heterotrofik maks. Spesifik büyüme hızı*</i>	μ_H	6	4,2	[1/g]
<i>Heterotrofik ölüm hızı*</i>	b_H	0,4	0,211	[1/g]
<i>Ototrofik maks. Spesifik büyüme hızı</i>	$\mu_{AUT.}$	1	1	[1/g]
<i>Ototrofik ölüm hızı</i>	$b_{AUT.}$	0,2	0,2	[1/g]
<i>Hidroliz hızı**</i>	k_H	3	1,2	[1/g]
<i>Anaerobik hidroliz düzeltme faktörü</i>	η_{fe}	0,4	0,4	[-]

(*) Respirometre deneylerinden hesaplanan değerler -

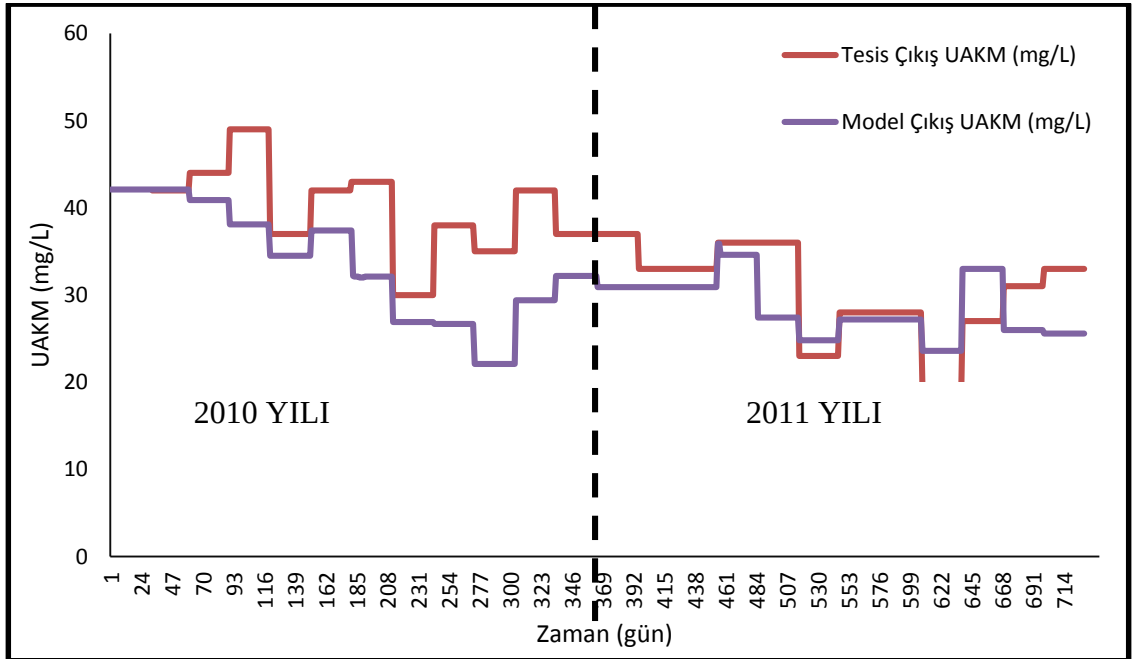
(**) Kalibrasyonda denenerek bulunan değer

Tesise ait 2 yıllık veriler ile modelin oluşturduğu verilerin karşılaştırıldığı grafikler Şekil 4.11, Şekil 4.12, Şekil 4.13’de gösterilmiştir. Grafiklerde 2010 yılı olarak ifade

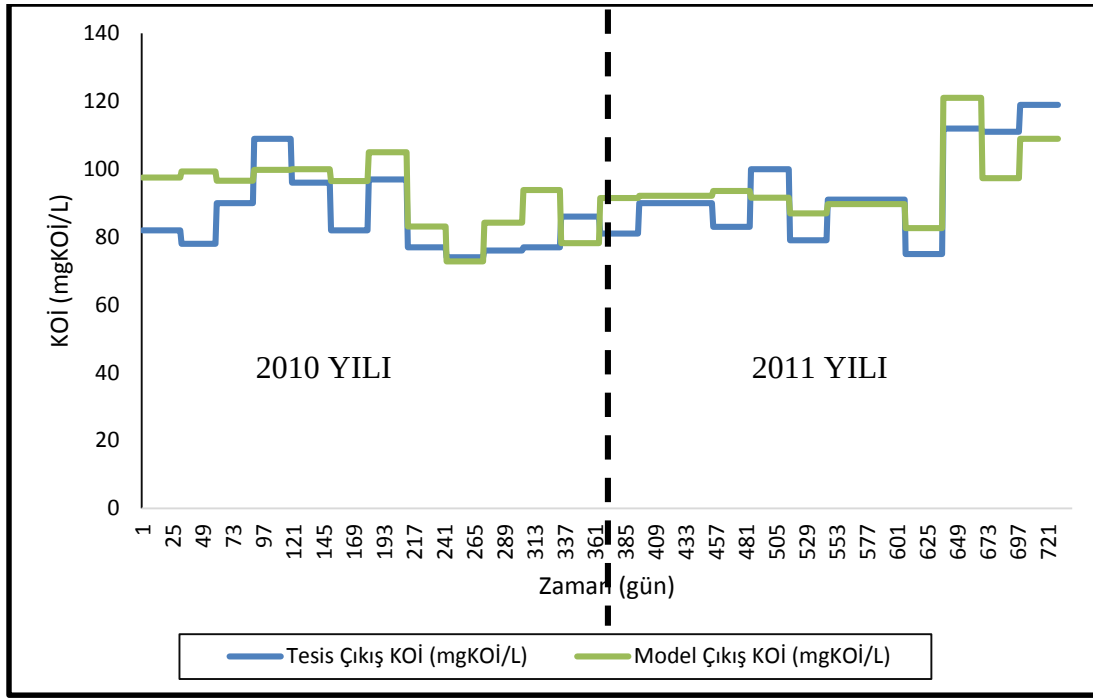
edilen kısım kalibrasyon aşamasında elde edilen değerleri; 2011 yılı olarak belirtilen bölüm ise doğrulama aşaması sonucu elde edilen değerleri göstermektedir.



Şekil 4.11 : Tesis ve model AKM sonuçlarının karşılaştırılması.



Şekil 4.12 : Tesis ve model UAKM sonuçlarının karşılaştırılması.



Şekil 4.13 : Tesis ve model KOİ sonuçlarının karşılaştırılması.

Bu şekillerden de görüleceği gibi, modelin kalibrasyonu ve doğrulaması başarı ile gerçekleştirilmiştir.

Simülasyon sonuçları mevcut durumunda dahil olduğu toplamda 4 farklı senaryo için belirlenmiştir. Herbir senaryo çalışmasına ait simülasyon sonuçlarına Çizelge 4.6'dan ulaşılabilir.

Senaryo Analizlerinin Sonuçları :

Modelleme çalışmalarının sonuçları çamur oluşumu ve çamur dönüşüm oranı açısından mukayese edilmiştir:

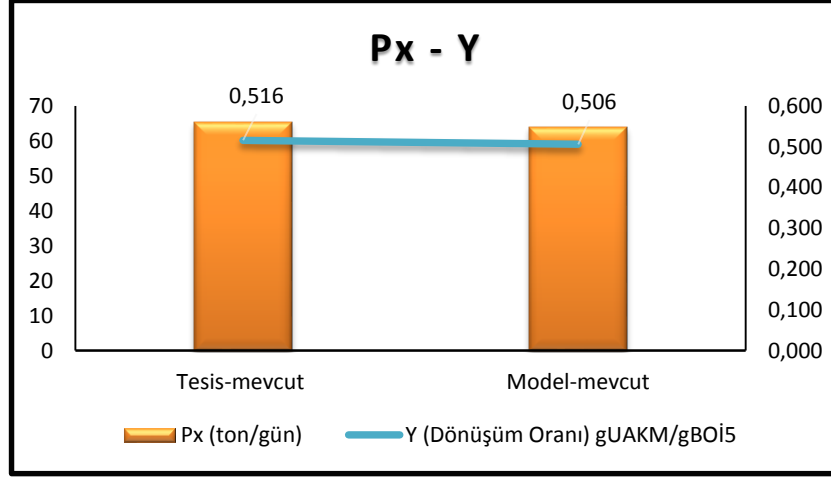
Çizelge 4.6 : Simülasyon sonuçları.

<i>Simülasyon Sonuçları</i>	<i>Tesis</i>	<i>Mevcut Durum</i>	<i>S.1</i>	<i>S.2a</i>	<i>S.2b</i>	<i>S.3a</i>	<i>S.3b</i>
<i>Çamur dönüşüm oranı (gUAKM/gBOİ₅)</i>	0,516	0,506	0,729	0,485	0,347	0,489	0,458
<i>Çamur keki (t/gün)</i>	65,4	64	91	63	46	61	57

Mevcut Durum :

Tesis'ten alınan 2010 yılı ve 2011 yılı verileri ile modelleme programında mevcut durum modellenmiştir. Şekil 4.14'de tesisin bu yıllardaki hesaplanan çamur dönüşüm oranı ile tesisten atılan çamur keki miktarı modelleme programında oluşturulan

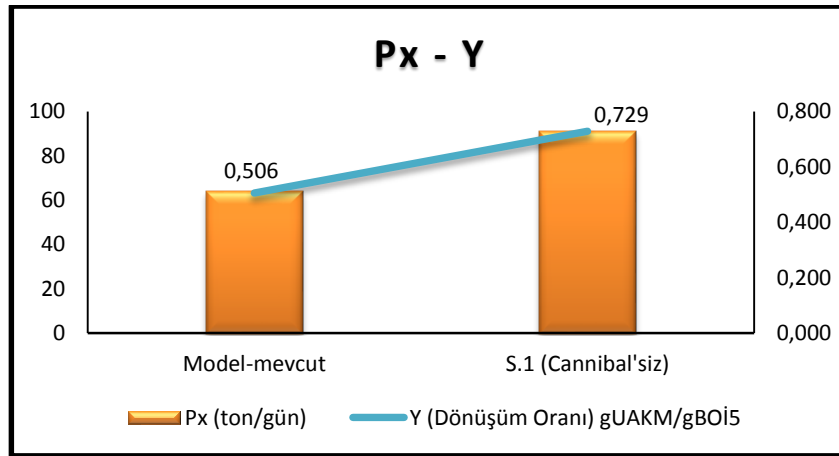
mevcut durumdaki değerler ile karşılaştırılmıştır. Sonuçların birbirine çok yakın bulunmuştur ki bu durum modelin doğru bir şekilde oluşturulduğunu göstermiştir.



Şekil 4.14 : Tesis ve model mevcut durumlarının karşılaştırılması.

S.1 Cannibal Tankı ve inert partiküler maddelerin etkisinin incelenmesi :

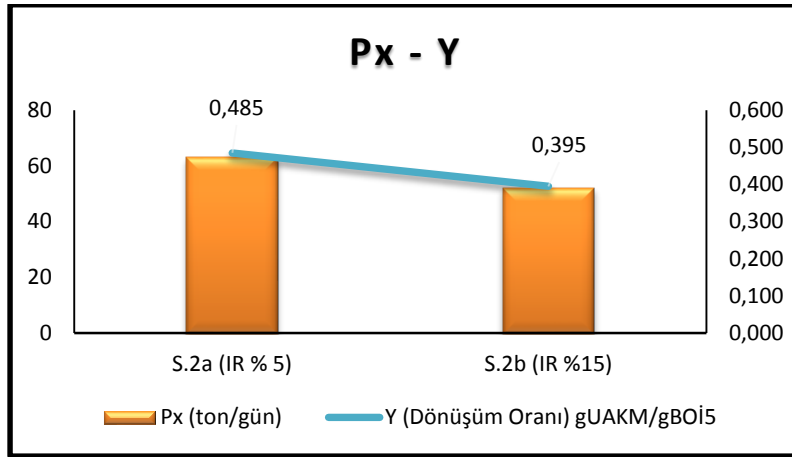
Atıksu arıtma tesisinde Cannibal tankı ile sistemdeki inert partiküllerin tutulmasını sağlayan mikroelekler ve RAS havuzu hiç ilave edilmeseydi nasıl bir durum ile karşılaşacağı incelenmiştir. Şekil 4.15’den de anlaşılacağı üzere Cannibalin olmadığı durumda çıkış çamur miktarında önemli bir artış gözlemlenmiştir. Model çıktılarına göre Cannibal’in olmadığı durumda sistemden atılan çamur miktarının günlük 27 ton daha fazla olduğu belirlenmiştir. Buna paralel olarak da çamur dönüşüm oranında önemli bir artış tespit edilmiştir. Bu tespitler doğrultusunda Cannibal’in aktif çamur sistemindeki atık çamur miktarını önemli oranda azalttığı görülmüştür.



Şekil 4.15 : Model mevcut durumu ile Cannibal’siz durumun karşılaştırılması.

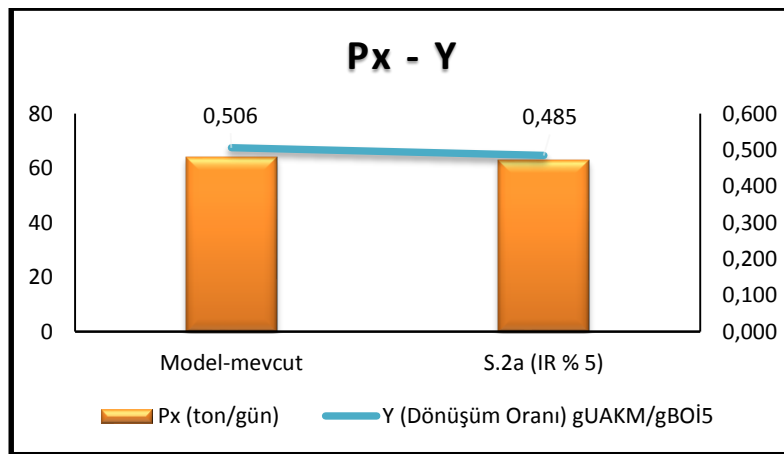
S.2 IR değerinin etkisinin incelenmesi :

Cannibal sistemindeki anaerobik reaktöre aktrarılan çamur miktarının toplam biyokütledeki oranını veren IR değeri % 5 ve % 15 olarak denenmiştir. IR değerinin takibi Cannibal havuzlarına pompalanan çamur debisi ile ayarlanmıştır. Şekil 4.16 incelendiğinde IR değerinin artırılması ile çıkış çamur keki miktarında önemli oranda azalma görülmüştür. Benzer şekilde çamur dönüşüm oranında da önemli azalma tespit edilmiştir.

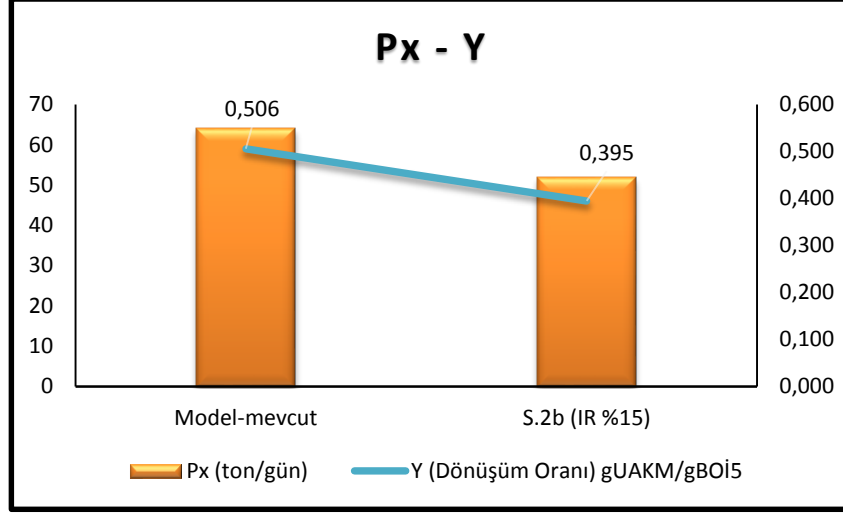


Şekil 4.16 : IR değerlerinin karşılaştırılması.

Modelleme programında oluşturulan mevcut durum modeli ile karşılaştırıldığında IR değerinin % 5 (S.2a) olduğu durumda çamur miktarı ve çamur dönüşüm oranı açısından önemli bir fark görülmemiştir (Şekil 4.17). Öte yandan IR değerinin % 15 (S.2b) olduğu durum ile mevcut durum karşılaştırıldığında çamur miktarında da çamur dönüşüm oranında da önemli oranda azalma olduğu görülmüştür (Şekil 4.18).



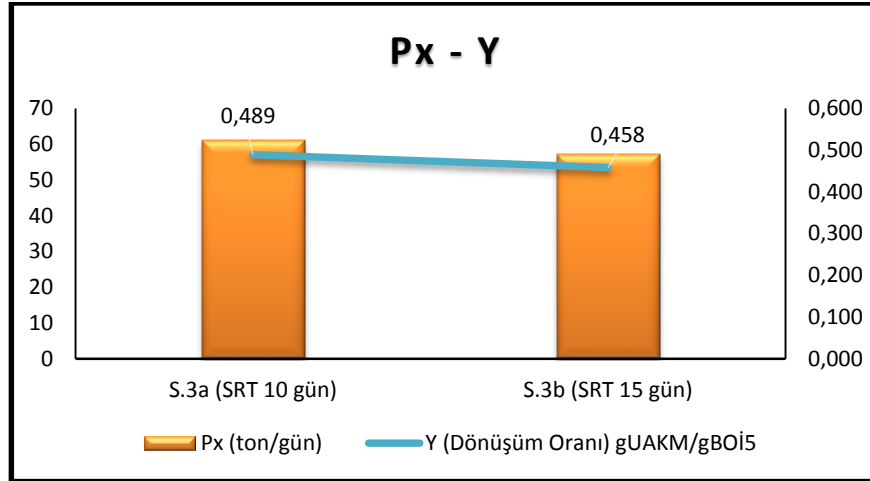
Şekil 4.17 : % 5 IR değeri ile mevcut durumun karşılaştırılması.



Şekil 4.18 : % 15 IR değeri ile mevcut durumun karşılaştırılması.

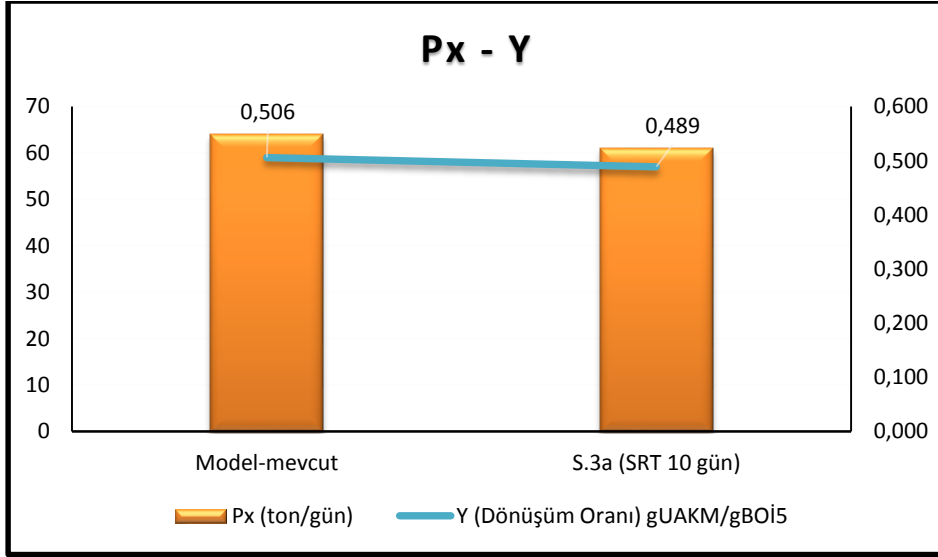
S.3 Çamur yaşının etkisinin incelenmesi

Cannibal anaerobik reaktörlerindeki çamur yaşı her bir reaktör için mevcut durumda yaklaşık 13 gündür. Bu senaryo çalışması ile her bir Cannibal reaktöründeki çamur yaşı 10 gün (S.3a) ve 15 gün (S.3b) olarak denenmiştir. Çamur yaşının 10 günden 15 güne çıkarıldığı durum incelendiğinde çamur miktarında günlük 4 tonluk bir azalma olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.19).



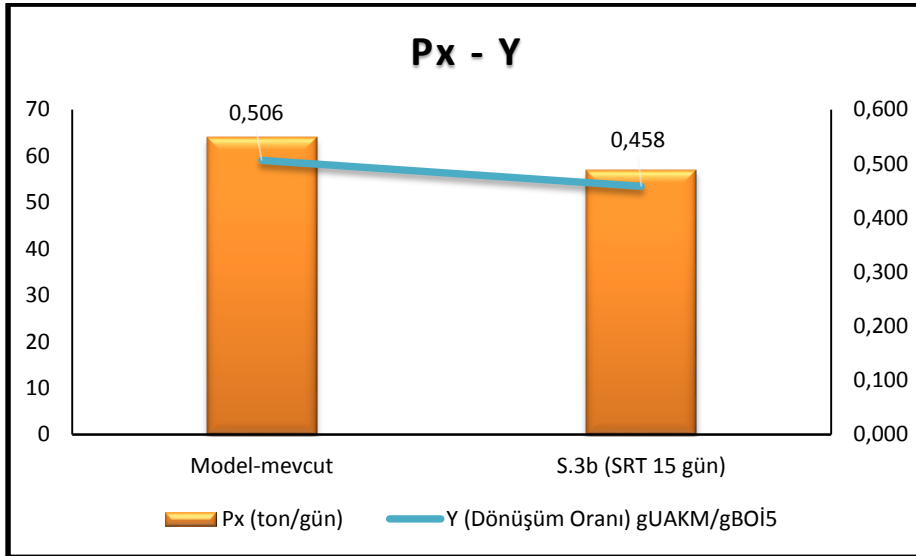
Şekil 4.19 : Çamur yaşının 10 gün & 15 gün olduğu durumların karşılaştırılması.

Çamur yaşının 10 gün olduğu durum ile mevcut durum karşılaştırıldığında; her bir Cannibal tankında çamur yaşındaki 3 günlük azalmanın sistemden atılan çamur miktarında da çamur dönüşüm oranında da önemsenmeyecek kadar az etki gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 4.20).



Şekil 4.20 : Çamur yaşının 10 gün olduğu durum ile mevcut durumun karşılaştırılması.

Çamur yaşının 15 güne çıkarıldığı durumda ise mevcut durum ile karşılaştırıldığında sistemden atılan çamur miktarında 7 ton kadar bir azalma tespit edilmiştir. Çamur dönüşüm oranında kayda değer bir azalma tespit edilmemiştir (Şekil 4.21).

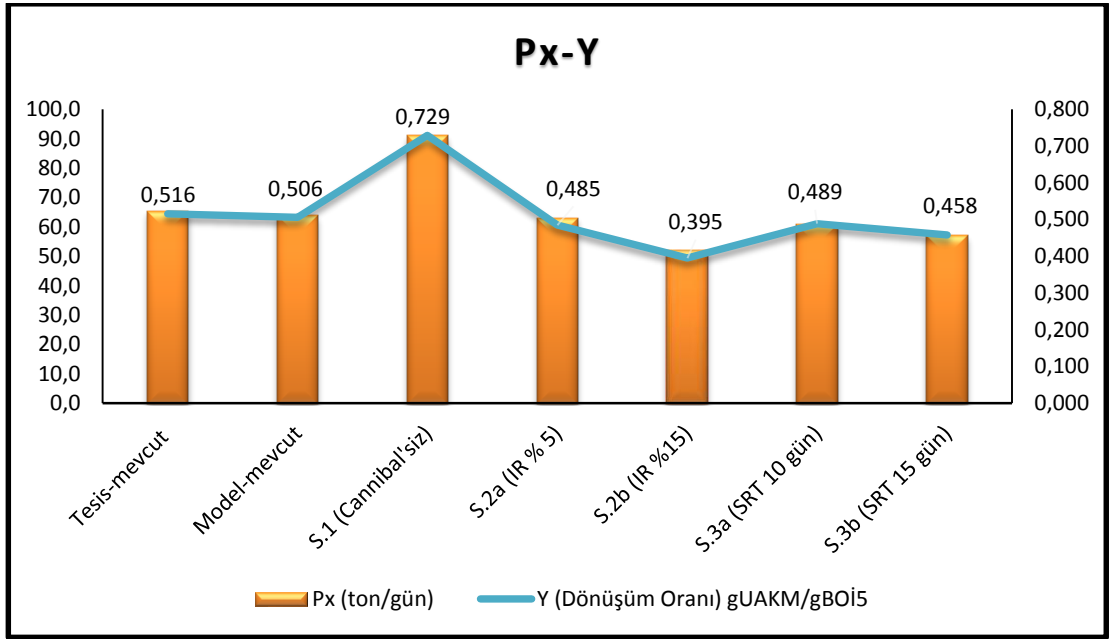


Şekil 4.21 : Çamur yaşının 15 gün olduğu durum ile mevcut durumun karşılaştırılması.

Modelleme çalışmasında kurgulanan tüm senaryo analizleri (Şekil 4.22) birlikte değerlendirildiğinde; Cannibal sisteminin aktif çamur prosesi ile mukayese edildiğinde çıkış çamur keki miktarını önemli derecede azalttığı ve çamur dönüşüm oranında da % 30 oranında bir azalma sağladığı belirlenmiştir.

Tesis konfigürasyonunda bulunan her bir Cannibal tankındaki çamur yaşının değiştirilmesinin çamur dönüşüm oranına önemli bir etkisinin olmadığı, ve sistemden atılan çamur miktarında da dikkate değer bir değişime neden olmadığı tespit edilmiştir.

Mevcut tesiste Cannibal tanklarına gönderilen çamur miktarındaki artışın hem çamur keki miktarında hem de çamur dönüşüm oranında önemli oranda azalma sağladığı görülmüştür. Bu miktarın kontrolü ise IR değeri ile sağlanmaktadır. Bu durumda anaerobik tanklara gelen debinin artırılmasının sistem performansında olumlu yönde bir etki sağlayacağı kanısına varılmıştır.



Şekil 4.22 : Mevcut durum modeli ile senaryoların karşılaştırılması.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünyada, çoğunlukla evsel atıksuların arıtılmasında kullanılan ve sistemdeki fazla çamur miktarının azaltılmasını sağlayan sistemlerden biri de OSA prosesidir. Bu çalışmada bünyesinde OSA prosesi barındıran gerçek bir evsel ve endüstriyel biyolojik atıksu arıtma tesisi incelenmiştir. Tesisten kaynaklanan çamurların azaltılmasını amaçlayan OSA prosesinin işletme optimizasyonuna yönelik öneriler geliştirilmiştir.

Bu amaçla öncelikle bir dizi deneysel çalışma yürütülmüş ve respirometrik deneylerle gerçek atıksu ve çamura ait kinetik ve stoykometrik katsayılar bulunmuştur. Daha sonra bu katsayıların matematik modelde kullanıldığı bir atıksu arıtma tesisi modelleme çalışması yapılmıştır.

Laboratuvar ölçekli kurulan sistemde aklımasyon periyodunun sağlanması ile birlikte söz konusu katsayıların hesaplanmasında kullanılacak olan verilerin elde edilmesi için respirometre deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Deneysel çalışmalarını takiben modelleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Modelleme çalışmaları, tesis optimizasyonuna yönelik gerçekleştirildiği için literatür verileri ve tesis işletme koşulları dikkate alınarak yürütülmüştür. Bu doğrultuda farklı senaryolar geliştirilmiş ve her biri modelde koşulmuştur. İlgili çalışmaların sonuçlarına aşağıda kısaca değinilmiştir.

5.1 Deneysel Çalışmanın Sonuçları

Çamur azaltımında önemli oranda etkili olduğu bilinen OSA sistemi laboratuvar ölçekli olarak kurulmuştur. OSA sisteminden elde edilecek sonuçları reel anlamda mukayese edebilmek adına eş zamanlı aynı koşullarda işletilen bir kontrol sistemi kurulmuştur. Kontrol sistemi ile aktif çamur sistemini temsil edilmiştir.

Eşit sürelerde işletilen sistemlerin günlük izlemeler ile takip edilmiş ve kararlı duruma ulaşmaları beklenmiştir. Kararlı duruma gelen sistemlerdeki çamur oluşumları sistemden alınan kümülatif UAKM olarak ölçüldüğünde; OSA sisteminde kontrol sistemine göre % 64 daha az çamur oluştuğu tespit edilmiştir.

Kararlı durumun elde edilmesiyle birlikte modelleme çalışmasına veri oluşturmak üzere respirometre deneyleri gerçekleştirilmiştir. Respirometre deneylerinden elde edilen verilerle b_H , μ_H , ve Y_H katsayıları hesaplanmıştır.

5.2 Modelleme Çalışmalarının Sonuçları

Modelleme programının çıktıları değerlendirildiğinde; respirometre deneylerinden hesaplanan katsayılar ve diğer deneysel çalışmalarla oluşturulan modelin tesis mevcut durumu ile örtüştüğü tespit edilmiştir. Bu durum model kalibrasyonunda kullanılan verilerin gerçeğe yakın bulunmuş olmasından kaynaklanmaktadır.

Model çalışmalarında tesis mevcut durumu dahil toplam 4 senaryo analizi gerçekleştirilmiştir. Bunlar; (1) Cannibal sisteminin olmadığı durum, (2) Cannibal tankına gelen çamur miktarı; IR % 5 ve IR % 15 olmak üzere, (3) Cannibal tankındaki çamur yaşı; 10 gün ve 15 gün olmak üzere.

Her senaryo mevcut durum ile karşılaştırılmış ve kendi içinde değerlendirilmiştir. Senaryo analizi sonucunda Cannibal sisteminin tesis çıkış çamur keki miktarını önemli oranda azalttığı belirlenmiştir. Çamur miktarını azaltmasının yanı sıra çamur dönüşüm oranında da azalma sağladığı görülmüştür.

Çamur yaşı ve IR değeri ile ilgili gerçekleştirilen senaryo incelemeleri sonucunda Cannibal tankındaki çamur yaşının sistem genelinde çamur oluşumu ve çamur dönüşüm oranı bakımından önemli bir etkiye sahip olmadığı belirlenmiştir.

IR değeri ile ilgili yapılan incelemelerde ise bu değer artırılmasının sistem performansında etkili olduğu belirlenmiştir. IR değerinin % 15'e çıkarıldığı durumda tesisten atılan çamur miktarında 12 tonluk bir azalma kaydedildiği gibi aynı zamanda çamur dönüşüm oranının da 0.506 gUAKm/g BOİ₅'den 0.395 gUAKM/gBOİ₅'ye düştüğü tespit edilmiştir. Bu sebeple Cannibal sisteminin optimizasyonunda IR değerinin %15 seçilmesi gerektiği kanısına varılmıştır.

5.3 Öneriler

Çoğunlukla evsel atıksuların arıtılmasında kullanılan OSA prosesi, yapılan deneysel çalışmalar ve modelleme çalışmaları sonucu sistemdeki fazla çamur miktarının azaltılmasında etkili bulunmuştur. Dünyadaki örneklerinin aksine tez çalışmasına konu olan bu arıtma tesisi evsel ve endüstriyel içerikli atıksu arıtımında kullanılmakta olup; prosese yönelik çalışmalar tesis işletme koşulları ve atıksu karakterizasyonuna göre gerçekleştirilmiştir. Bu anlamda benzer özelliklerdeki arıtma tesisleri için örnek teşkil etmiş olacaktır.

Prosesin aktif çamur sistemleri ile karşılaştırıldığında % 50 -60 oranında çamur azaltımını sağladığı bilinmektedir ki bu tezde yürütülen deneysel çalışmalar ile bu oran % 64 olarak bulunmuştur.

Deneysel çalışmaların yanı sıra gerçekleştirilen modelleme yaklaşımı ile OSA prosesindeki anaerobik reaktörlere gönderilen çamur miktarını ifade eden IR değerinin proses optimizasyonunda önemli bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir.

IR değerinin % 15 olduğu durumun sistem optimizasyonuna önemli oranda katkı sağlayacağı belirlenmiştir.

5.4 Gelecekteki çalışmalar

Tez çalışması spesifik olarak söz konusu arıtma tesisine yönelik gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular her ne kadar tesise özel olsa da gerçek işletme koşullarında ilgili senaryolar doğrultusunda denemelerin yapılması gerekmektedir.

Literatür çalışmalarında da bahsedildiği üzere sistem performansında önemli etkisi olduğu düşünülen oksidasyon-redüksiyon-potansiyeli değerinin ve aynı zamanda proses mekanizmasında etkisi olduğu tahmin edilen Fe^{2+} , Fe^{3+} iyonlarının ve alüminyumun tesiste takip edilmesi; ilgili parametre sonuçlarının yorumlanarak modele yansıtılması ilerleyen çalışmalar için önemli bir veri oluşturacaktır.

KAYNAKLAR

- APHA**, 2005. Standards methods for the examination of water and wastewater. 21st edition. American Public Health Association, Washington DC.
- An, K., Chen, G.** 2008. Chemical Oxygen Demand and the Mechanism of Excess Sludge Reduction in an Oxic-Settling-Anaerobic Activated Sludge Process. *J Environ Eng*, 134, 469-477.
- Chalasani, G., Sun, W.**, (2007), A report on Measurement of temperature effects on oxygen uptake rate in activated sludge treatment
- 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 Res*, 37, 3855-3866.
- Chon, D. H.** (2005). "Performance and mechanisms of excess sludge reduction in the CannibalTM process," Virginia Polytechnic Institute and State University Blacksburg.
- Choung, Y., Kim, H., Yoo, S.**, (1999). "Estimation of Bio-Kinetic Parameters of Heterotrophic Biomass Using Oxygen Uptake Rate" *Environmental Modeling, Water Resources Publications*, 229-238.
- Chudoba, B., Chudoba, J., Capdeville, B.** 1992a. The case of both energetic uncoupling and metabolic selection of microorganisms in the OSA activated sludge system. *Environmental Technology* 13, 761-770
- Chudoba, B., Morel, A., Capdeville, B.** 1992b. The aspect of energetic uncoupling of microbial growth in the activated sludge process:OSA system. *Water Science and Technology*, 26(9-11), 2477-2480
- Corbitt A.R.** (2004), *Standard Handbook of Environmental Engineering*, 2nd Edition, McGrawhill.
- Damar Y., İleri, R., Şendil, İ.A., Kulaç, S., U.**, (2006) İlaç Endüstrisi Ve Evsel Karışık Atıksuyun Ardışık Kesikli Reaktör ile Arıtılması Üzerine Deneysel ve Teorik

Bir Çalışma, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, ÇevreMühendisliği Bölümü, Sakarya.

Easwaran, S. P. (2006). "Developing a mechanistic understanding and optimization of the CannibalTM process phase II," Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg.

EPA, Sequencing Batch Reactor Systems, Onsite Wastewater Treatment Systems Technology Fact Sheet 3

Falodari P., Andreottola G., Ziglio G. (2010) Sludge Reduction Technologies in Wastewater Treatment Plants, IWA Publishing

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.

Grady, C. P. L., Daigger, G.T., and Lim, H.C. (1998) *Biological Wastewater Treatment*. 2nd Ed., Marcel Dekker, Inc. New York, N.Y.

Henze M., Gujer W., Mino T., Loosdrecht M.C.M. 2000, "Activated Sludge Models: ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3", Scientific and Technical Report No:9, IWA Publishing, London.

İnsel, G., Orhon, D. and Vanrolleghem, P.A. (2003) Identification and modelling of aerobic hydrolysis mechanism-application of optimal experimental design. *J. Chem. Technol. Biot.* 78(4), 437-445.

Johnson R. B., Daigger T. G., Novak J.T. 2008. The use of ASM based models for the simulation of biological sludge reduction processes. *Water Practice Technol*, 3, 3-11.

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

Metcalf and Eddy, Inc. (2003) *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse*. 3rd Ed., McGraw hill Inc., New York, NY.

Novak, J.T., Chon, D. H., Curtis, B.A. ve Doyle, M. (2006), Reduction of Sludge Generation Using the Cannibal Process: Mechanisms and Performance, *Residuals and Biosolids management Conference*

Novak, J.T., D. H. Chon, Curtis, B. A. ve Doyle, M., (2007a) Biological solids Reduction using the Cannibal process. *Water Environment Research*, 79(12), 2380-2386.

- Novak, J.T.; Sadler, M. E.; Murthy, S. N.** (2003) Mechanisms of Floc Destruction During Anaerobic and Aerobic Digestion and the Effect on Conditioning and Dewatering of Biosolids. *Water Res.*, 37 (13), 3136 – 3144.
- Nielsen, A. H., Lens, P., Vollertsen, J. ve Jacobson, T. H.,** (2005), Sulfide-Iron Interactions in Domestic Wastewater from a Gravity Sewer, *Water Res.*, 39, 2747-2755.
- Olsson, G., Nielsen, M. K., Yuan, Z., Lyngaard-Jensen, A. ve Steyer, J. P.,** (2005) Instrumentation, control and automation in wastewater systems. Technical Report 15, IWA Publishing, 2005.
- Orhon, D., Babuna, F. G., Karahan, Ö.,** (2009), Industrial Wastewater Treatment by Activated Sludge, 1st Ed., IWA Publishing, Pg. 103-146
- P. Ingildsen, P.,** (2002). Realising full-scale control in wastewater treatment system using in situ nutrient sensors. PhD thesis, Dep. of Industrial Electrical Engineering and Automation, Lund University
- Sabby S., Djafer M., ve Chen G.H.** (2003) 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.
- Samuelsson, P., Halvarsson, B. ve Carlsson, B.,** (2005) Cost-efficiency operation of a denitrifying activated sludge process - an initial study. Technical report, Div. of System and Control, Dep. of Information Technology, Uppsala, Sweden
- Spanjers, H.; Vanrolleghem, P.,** (1995). Respirometry as tool for rapid characterization of wastewater and activated sludge., *Water Sci. Tech.*, 31 (2), 105-114.
- Spanjers, H.,** (1998). Respirometry in Activated Sludge
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L., and Stensel, H. D.** (2003). Wastewater engineering : treatment and reuse, 4th Ed., McGraw-Hill, Boston.
- Uygur, A., Kargı, F., Başkaya, H. S.,** (2004) Ardışık zamanlı Kesikli BiyoReaktörde Biyolojik Nitrient Gideriminde Hidrolik Alıkonma Süresinin Optimizasyonu, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 9, Sayı 1.
- Wei, Y., Van Houten, R.T., Borger, A.R., Eikelboom, D.H., Fan, Y.** 2003. Minimization of excess sludge production for biological wastewater treatment. *Water Res*, 37, 4453-4467.
- www.hydromantis.com (11/29/2014, 2014).

EKLER

Çizelge A.1 : Kontrol seti AKM/UAKM günlük izleme sonuçları.

<i>Tarih</i>	Havalandırma fazı sonu		Çıkış suyu	
	<i>AKM (mg/L)</i>	<i>UAKM (mg/L)</i>	<i>AKM (mg/L)</i>	<i>UAKM (mg/L)</i>
16.05.2014	6192	4402	164	147
20.05.2014	-	-	93	85
21.05.2014	7546	4952	106	90
22.05.2014	-	-	114	88
23.05.2014	5390	3602	144	117
26.05.2014	-	-	106	84
27.05.2014	-	-	128	95
28.05.2014	6070	4072	165	145
29.05.2014	-	-	110	71
30.05.2014	4044	2150	111	52
02.06.2014	-	-	212	188
03.06.2014	-	-	175	142
04.06.2014	4160	2760	170	154
05.06.2014	-	-	138	129
06.06.2014	5866	3884	140	130
09.06.2014	-	-	284	221
10.06.2014	-	-	135	128
11.06.2014	5876	3964	129	124
12.06.2014	-	-	130	110
13.06.2014	8132	5310	265	220
16.06.2014	-	-	185	105
17.06.2014	-	-	180	158
18.06.2014	8160	4700	404	278
20.06.2014	7858	4930	369	278
23.06.2014	-	-	176	158
24.06.2014	-	-	175	166
25.06.2014	3712	2346	74	65
26.06.2014	-	-	108	101
27.06.2014	5802	3762	179	159

30.06.2014	-	-	309	184
01.07.2014	6446	5834	143	138
01.07.2014	6962	3020	-	-
02.07.2014	7340	4600	154	139
03.07.2014	9448	5506	145	105
04.07.2014	-	-	190	140
08.07.2014	-	-	135	108
09.07.2014	-	-	144	141

Çizelge A.2 : OSA seti AKM/UAKM günlük izleme sonuçları.

<i>Tarih</i>	Havalandırma fazı sonu		Çıkış suyu	
	<i>AKM (mg/L)</i>	<i>UAKM (mg/L)</i>	<i>AKM (mg/L)</i>	<i>UAKM (mg/L)</i>
16.05.2014	6316	4264	100	97
20.05.2014	-	-	136	126
21.05.2014	4646	3156	91	81
22.05.2014	-	-	145	106
23.05.2014	3100	2042	199	172
26.05.2014	-	-	120	105
27.05.2014	-	-	136	112
28.05.2014	2668	2080	110	90
29.05.2014	-	-	122	101
30.05.2014	2666	1946	98	68
02.06.2014	-	-	137	124
03.06.2014	-	-	95	53
04.06.2014	2492	1924	144	128
05.06.2014	-	-	92	62
06.06.2014	2488	1656	115	106
09.06.2014	-	-	152	116
10.06.2014	-	-	110	95
11.06.2014	2460	1372	185	182
12.06.2014	-	-	125	103
13.06.2014	2858	1560	186	182
16.06.2014	-	-	136	124
17.06.2014	-	-	173	167
18.06.2014	2360	1500	300	250
20.06.2014	2312	1512	264	258
23.06.2014	-	-	234	222
24.06.2014	-	-	204	174
25.06.2014	4190	2624	126	124
26.06.2014	-	-	166	152
27.06.2014	5802	3762	149	122
30.06.2014	-	-	260	174

01.07.2014	-	-	224	200
01.07.2014	-	-	-	-
02.07.2014	-	-	107	95
03.07.2014	-	-	198	148
04.07.2014	5176	4280	115	78
08.07.2014	5820	4800	186	154
09.07.2014	8358	4416	131	128

Çizelge A.3 : Kontrol seti KOİ günlük izleme sonuçları.

Çıkış suyu		
<i>Tarih</i>	<i>KOİ (mgO₂/L)</i>	<i>Çözünmüş KOİ (mgO₂/L)</i>
28.05.14	275	222
29.05.14	205	128
30.05.14	202	149
02.06.14	224	99
06.06.14	151	109
09.06.14	200	83
10.06.14	136	73
11.06.14	133	85
12.06.14	124	90
13.06.14	242	83
16.06.14	195	91
17.06.14	367	59
18.06.14	298	113
20.06.14	222	55
21.06.14	135	98
22.06.14	173	94
23.06.14	167	111
24.06.14	155	137
25.06.14	143	97
26.06.14	111	95
27.06.14	100	86
30.06.14	166	86
01.07.14	174	77

Çizelge A.4 : OSA seti KOİ günlük izleme sonuçları.

Çıkış suyu		
<i>Tarih</i>	<i>KOİ</i> (mgO ₂ /L)	<i>Çözünmüş</i> <i>KOİ</i> (mgO ₂ /L)
30.05.14	148	104
02.06.14	188	117
06.06.14	191	129
09.06.14	136	81
10.06.14	148	105
11.06.14	167	82
12.06.14	158	78
13.06.14	207	86
16.06.14	183	103
17.06.14	116	88
18.06.14	368	137
20.06.14	106	81
21.06.14	135	109
22.06.14	108	82
23.06.14	88	75
24.06.14	120	115
25.06.14	138	98
26.06.14	131	86
27.06.14	191	102
30.06.14	158	83
01.07.14	165	75

Çizelge A.5 : Kontrol seti günlük çamur miktarı.

		Kontrol seti AKR çıkış suyu			Kontrol seti AKR			Çıkış suyunda günlük kaybedilen biyokütle	AKR'den numune alımı ile kaybedilen biyokütle	Günlük atılan çamur*	Sistemden gün içinde kaybedilen toplam biyokütle	Kümülatif katı madde kons.	Kümülatif harcanan KOİ
Numune Tarihi	Gün	Ort. AKM	Ort. UAKM	UAKM/AKM	Ort. AKM	Ort. UAKM	UAKM/AKM	(mg)	(mg)	(mg)	(mg)	(mg)	(mg)
16.05.2014	33	164	147	0,90	6192	4402	0,71	294	44,02	550	888	888	1155
17.05.2014	34	93	85	0,91	-	-	-	170	-	550	720	1609	2310
18.05.2014	35	93	85	0,91	-	-	-	170	-	550	720	2329	3465
19.05.2014	36	93	85	0,91	-	-	-	170	-	550	720	3049	4620
20.05.2014	37	93	85	0,91	-	-	-	170	-	550	720	3769	5776
21.05.2014	38	106	90	0,85	7546	4952	0,66	180	49,52	619	849	4618	6931
22.05.2014	39	114	88	0,77	-	-	-	176	-	619	795	5413	8086
23.05.2014	40	144	117	0,81	5390	3602	0,67	234	36,02	450	720	6133	9241
24.05.2014	41	106	84	0,79	-	-	-	168	-	450	618	6751	10396
25.05.2014	42	106	84	0,79	-	-	-	168	-	450	618	7370	11551
26.05.2014	43	106	84	0,79	-	-	-	168	-	450	618	7988	12706
27.05.2014	44	128	95	0,74	-	-	-	190	-	450	640	8628	13861
28.05.2014	45	165	145	0,88	6070	4072	0,67	290	40,72	509	840	9468	15016
29.05.2014	46	110	71	0,65	-	-	-	142	-	509	651	10119	16172
30.05.2014	47	111	52	0,47	4044	2150	0,53	104	21,5	269	394	10513	17327
31.05.2014	48	212	188	0,89	-	-	-	376	-	269	645	11158	18482
01.06.2014	49	212	188	0,89	-	-	-	376	-	269	645	11803	19637
02.06.2014	50	212	188	0,89	-	-	-	376	-	269	645	12447	20792
03.06.2014	51	175	142	0,81	-	-	-	284	-	269	553	13000	21947
04.06.2014	52	170	154	0,91	4160	2760	0,66	308	27,6	345	681	13681	23102
05.06.2014	53	138	129	0,93	-	-	-	258	-	345	603	14284	24257
06.06.2014	54	140	130	0,93	5866	3884	0,66	260	38,84	486	784	15068	25412

07.06.2014	55	284	221	0,78	-	-	-	442	-	486	928	15995	26568
08.06.2014	56	284	221	0,78	-	-	-	442	-	486	928	16923	27723
09.06.2014	57	284	221	0,78	-	-	-	442	-	486	928	17850	28878
10.06.2014	58	135	128	0,95	-	-	-	256	-	486	741	18592	30033
11.06.2014	59	129	124	0,96	5876	3964	0,67	248	39,64	496	783	19375	31188
12.06.2014	60	130	110	0,85	-	-	-	220	-	496	715	20091	32343
13.06.2014	61	265	220	0,83	8132	5310	0,65	440	53,1	664	1157	21247	33498
14.06.2014	62	185	105	0,57	-	-	-	210	-	664	874	22121	34653
15.06.2014	63	185	105	0,57	-	-	-	210	-	664	874	22995	35808
16.06.2014	64	185	105	0,57	-	-	-	210	-	664	874	23869	36964
17.06.2014	65	180	158	0,88	-	-	-	316	-	664	980	24848	38119
18.06.2014	66	404	278	0,69	8160	4700	0,58	556	47	588	1191	26039	39274
19.06.2014	67	369	278	0,75	-	-	-	556	-	588	1144	27182	40429
20.06.2014	68	369	278	0,75	7858	4930	0,63	556	49,3	616	1222	28404	41584
21.06.2014	69	176	158	0,90	-	-	-	316	-	616	932	29336	42739
22.06.2014	70	176	158	0,90	-	-	-	316	-	616	932	30269	43894
23.06.2014	71	176	158	0,90	-	-	-	316	-	616	932	31201	45049
24.06.2014	72	175	166	0,95	-	-	-	332	-	616	948	32149	46204
25.06.2014	73	74	65	0,88	3712	2346	0,63	130	23,46	293	447	32596	47360
26.06.2014	74	108	101	0,94	-	-	-	202	-	293	495	33091	48515
27.06.2014	75	179	159	0,89	5802	3762	0,65	318	37,62	470	826	33917	49670
28.06.2014	76	309	184	0,60	-	-	-	368	-	470	838	34755	50825
29.06.2014	77	309	184	0,60	-	-	-	368	-	470	838	35593	51980
30.06.2014	78	309	184	0,60	-	-	-	368	-	470	838	36432	53135
01.07.2014	79	143	138	0,97	6704	4427	0,66	276	44,27	553	874	37305	54290
02.07.2014	80	154	139	0,90	7340	4600	0,63	278	46	575	899	38204	55445
03.07.2014	81	145	105	0,72	9448	5506	0,58	210	55,06	575	840	39044	56600

Çizelge A.6 : OSA seti günlük çamur miktarı.

OSA AKR çıkış suyu					OSA AKR			Çıkış suyunda günlük kaybedilen biyokütle	AKR'den numune alımı ile kaybedilen biyokütle	Sistemden gün içinde kaybedilen toplam biyokütle	Kümülatif katı madde kons.
Numune Tarihi	Gün	Ort. AKM	Ort. UAKM	UAKM/AKM	Ort. AKM	Ort. UAKM	UAKM/AKM	(mg)	(mg)	(mg)	(mg)
16.05.2014	33	100	97	0,97	6316	4264	0,68	194	42,64	237	237
17.05.2014	34	136	126	0,93	-	-	-	252	-	252	489
18.05.2014	35	136	126	0,93	-	-	-	252	-	252	741
19.05.2014	36	136	126	0,93	-	-	-	252	-	252	993
20.05.2014	37	136	126	0,93	-	-	-	252	-	252	1245
21.05.2014	38	91	81	0,89	4646	3156	0,68	162	31,56	194	1438
22.05.2014	39	145	106	0,73	-	-	-	212	-	212	1650
23.05.2014	40	199	172	0,86	3100	2042	0,66	344	20,42	364	2015
24.05.2014	41	120	105	0,87	-	-	-	210	-	210	2225
25.05.2014	42	120	105	0,87	-	-	-	210	-	210	2435
26.05.2014	43	120	105	0,87	-	-	-	210	-	210	2645
27.05.2014	44	136	112	0,82	-	-	-	224	-	224	2869
28.05.2014	45	110	90	0,82	2668	2080	0,78	180	20,8	201	3069
29.05.2014	46	122	101	0,83	-	-	-	202	-	202	3271
30.05.2014	47	98	68	0,69	2666	1946	0,73	136	19,46	155	3427
31.05.2014	48	137	124	0,91	-	-	-	248	-	248	3675
01.06.2014	49	137	124	0,91	-	-	-	248	-	248	3923
02.06.2014	50	137	124	0,91	-	-	-	248	-	248	4171
03.06.2014	51	95	53	0,56	-	-	-	106	-	106	4277
04.06.2014	52	144	128	0,89	2492	1924	0,77	256	19,24	275	4552
05.06.2014	53	92	62	0,67	-	-	-	124	-	124	4676
06.06.2014	54	115	106	0,92	2488	1656	0,67	212	16,56	229	4905
07.06.2014	55	152	116	0,76	-	-	-	232	-	232	5137

08.06.2014	56	152	116	0,76	-	-	-	232	-	232	5369
09.06.2014	57	152	116	0,76	-	-	-	232	-	232	5601
10.06.2014	58	110	95	0,86	-	-	-	190	-	190	5791
11.06.2014	59	185	182	0,98	2460	1372	0,56	364	13,72	378	6168
12.06.2014	60	125	103	0,82	-	-	-	206	-	206	6374
13.06.2014	61	186	182	0,98	2858	1560	0,55	364	15,6	380	6754
14.06.2014	62	136	124	0,91	-	-	-	248	-	248	7002
15.06.2014	63	136	124	0,91	-	-	-	248	-	248	7250
16.06.2014	64	136	124	0,91	-	-	-	248	-	248	7498
17.06.2014	65	173	167	0,97	-	-	-	334	-	334	7832
18.06.2014	66	300	250	0,83	2360	1500	0,64	500	15	515	8347
19.06.2014	67	264	258	0,98	-	-	-	516	-	516	8863
20.06.2014	68	264	258	0,98	2312	1512	0,65	516	15,12	531	9394
21.06.2014	69	234	222	0,95	-	-	-	444	-	444	9838
22.06.2014	70	234	222	0,95	-	-	-	444	-	444	10282
23.06.2014	71	234	222	0,95	-	-	-	444	-	444	10726
24.06.2014	72	204	174	0,85	-	-	-	348	-	348	11074
25.06.2014	73	126	124	0,98	4190	2624	0,63	248	26,24	274	11348
26.06.2014	74	166	152	0,92	-	-	-	304	-	304	11652
27.06.2014	75	149	122	0,82	5802	3762	0,65	244	37,62	282	11934
28.06.2014	76	260	174	0,67	-	-	-	348	-	348	12282
29.06.2014	77	260	174	0,67	-	-	-	348	-	348	12630
30.06.2014	78	260	174	0,67	-	-	-	348	-	348	12978
01.07.2014	79	224	200	0,89	-	-	-	400	26,18	426	13404
02.07.2014	80	107	95	0,89	4056	2618	0,65	190	-	190	13594
03.07.2014	81	198	148	0,75	-	-	-	296	0	296	13890

Çizelge A.7 : Tesis giriş atıksu karakterizasyonu.

Giriş atıksuyu karakterizasyonu

cod*	Toplam KOİ	gKOİ/m ³	551
tkn*	Toplam Kjeldahl Azotu	gN/m ³	32
tp	Toplam fosfor	gP/m ³	10

Çözünmüş oksijen

so	Çözünmüş oksijen	gO ₂ /m ³	0
----	------------------	---------------------------------	---

Fosforlu bileşikler

sp	Çözünmüş orto-fosfat	gP/m ³	8
----	----------------------	-------------------	---

Azotlu bileşikler

snh	Serbest ve iyonize amonyak	gN/m ³	29
sno	nitrat ve nitrit	gN/m ³	0

Alkalinite

salk	Alkalinite	mol/m ³	7
------	------------	--------------------	---

Giriş atıksu fraksiyonları

icv*	partiküler KOİ / UAKM	gKOİ/gUAKM	1,964
fbod*	BOİ ₅ / BOİ _{ni} hai	-	0,771
ivt*	UAKM / AKM	gUAKM/gAKM	0,626

Organik fraksiyonlar

frsi*	Toplam KOİ'nin çözünmüş inert fraksiyonu	-	0,07
frsf*	Toplam KOİ'nin fermente edilebilen ayrışan fraksiyonu	-	0,15
frslf	Toplam KOİ'nin VFA (uçucu yağ asitleri) fraksiyonları	-	0
frxi*	Toplam KOİ'nin partiküler inert fraksiyonu	-	0,1
frxbh	Toplam KOİ'nin heterotrofik biyokütle fraksiyonu	-	0
frxba	Toplam KOİ'nin ototrofik biyokütle fraksiyonu	-	0
frxbp	Toplam KOİ'nin polyP biyokütle fraksiyonu	-	0
frxbt	Toplam KOİ'nin PHA fraksiyonu	-	0

Fosfor fraksiyonları

frsp	Çözünmüş fosforun orto-fosfat fraksiyonu	-	0,9
frxpp	partiküler fosforun xpp fraksiyonu	-	0

Azot fraksiyonları

frsnh	Çözünmüş TKN amonyak fraksiyonu	-	1
frsni	Çözünmüş TKN inert fraksiyonu	-	0

ASM2d Nutrient fraksiyonları

inbm	Aktif biyokütle azot miktarı	gN/gKOİ	0,07
inxi	Partiküler inert madde azot miktarı	gN/gKOİ	0,02
inxs	Partiküler substrat azot miktarı	gN/gKOİ	0,04
insi	Çözünmüş inert madde azot miktarı	gN/gKOİ	0,01
insf	Fermente edilebilen substratın azot miktarı	gN/gKOİ	0,03
ipbm	Aktif biyokütle fosfor miktarı	gN/gKOİ	0,02
ipxi	Partiküler inert madde fosfor miktarı	gN/gKOİ	0,01
ipxs	Partiküler substrat fosfor miktarı	gN/gKOİ	0,01
ipsi	Çözünmüş inert madde fosfor miktarı	gN/gKOİ	0
ipsf	Fermente edilebilen substratın fosfor miktarı	gN/gKOİ	0,01

İnorganik AKM

xii*	inert inorganik askıda katı madde	g/m3	130,738045
------	-----------------------------------	------	------------

Organik değişkenler

si	Çözünmüş inert organik madde	gKOİ/m3	38,57
ss	kolay ayrışan substrat	gKOİ/m3	0
sf	fermente edilebilen kolay ayrışan substrat	gKOİ/m3	82,65
slf	Uçucu yağ asitleri	gKOİ/m3	0
xi	Partiküler inert organik madde	gKOİ/m3	55,1
xs	Kolay ayrışabilen substrat	gKOİ/m3	374,68
xbh	aktif heterotrofik biyokütle	gKOİ/m3	0
xba	aktif ototrofik biyokütle	gKOİ/m3	0
xbp	aktif poli-P biriktiren biyokütle	gKOİ/m3	0
xu	hücre ölümündeki ayrışmayan partiküler madde	gKOİ/m3	0
xsto	hücre içi depo ürünü	gKOİ/m3	0
xbt	poli-hidroksi-alkanoat (PHA)	gKOİ/m3	0
xgly	depo glikojen	gKOİ/m3	0

Çözünmüş oksijen

so	çözünmüş oksijen	gO2/m3	0
----	------------------	--------	---

Fosforlu bileşikler

sp	Çözünmüş orto-fosfat	gP/m3	8
xpp	Depo polifosfat	gP/m3	0
xppr	Depo poli-fosfat (salınabilen)	gP/m3	0

Azotlu bileşikler

snh	Serbest ve iyonize amonyak	gN/m3	29
snd	Çözünmüş ayrışabilen organik azot	gN/m3	0
xnd	Partiküler ayrışabilen organik azot	gN/m3	0
sno	nitrat ve nitrit	gN/m3	0
sni	Çözünmüş ayrışamayan organik azot	gN/m3	0

Alkalinite

salk	alkalinite	mol/m3	7
------	------------	--------	---

İlave Değişkenler

x	askıda katı madde	g/m3	349,566966
vss	uçucu askıda katı madde	g/m3	218,828921
xiss	toplam inorganik AKM	g/m3	130,738045
bod	toplam karbonlu BOİ5	gO2/m3	352,60143
cod	Toplam KOİ	gKOİ/m3	551
tkn	Toplam Kjeldahl Azotu	gN/m3	32
tp	Toplam fosfor	gP/m3	10

sbod	çözünmüş karbonlu BOİ5	gO2/m3	63,72
xbod	partiküler karbonlu BOİ5	gO2/m3	288,88
sbodu	çözünmüş nihai BOİ	gO2/m3	82,65
xbodu	partiküler nihai BOİ	gO2/m3	374,68
bodu	toplam nihai BOİ	gO2/m3	457,33
scod	Süzülmüş KOİ	gKOİ/m3	121,22
xcod	partiküler KOİ	gKOİ/m3	429,78
stkn	çözünmüş TKN	gN/m3	29
xtn	partiküler TKN	gN/m3	3
tn	toplam azot	gN/m3	32
stp	çözünmüş fosfor	gP/m3	8,89
xtp	partiküler fosfor	gP/m3	1,11

Çizelge A.8 : Set 1 Oksijen Tüketim Hızı (Ra)sonuçları

Zaman (dk)	O2 giriş	O2 çıkış	Ra (mg/L.h)	Ra Ort. (mg/L.h)
1	7,19	5,54	45	12,54
2	7,18	5,59	48	13,54
3	7,20	5,56	52	12,26
4	7,22	5,58	51	11,46
5	7,25	5,65	46	11,48
6	7,32	5,79	40	10,75
7	7,35	5,98	34	11,41
8	7,41	6,11	34	14,09
9	7,42	6,19	35	12,07
10	7,47	6,27	33	11,91
11	7,46	6,33	33	10,43
12	7,47	6,37	32	10,86
13	7,49	6,42	32	11,57
14	7,50	6,43	33	13,11
15	7,52	6,47	31	13,26
16	7,54	6,48	33	11,16
17	7,58	6,54	29	11,90
18	7,56	6,57	30	11,29
19	7,62	6,59	31	11,34
20	7,63	6,62	30	11,52
21	7,61	6,65	29	12,59
22	7,61	6,67	29	12,84
23	7,63	6,69	28	11,81
24	7,62	6,68	30	11,86
25	7,63	6,71	28	11,02
26	7,63	6,69	30	10,27
27	7,65	6,70	29	12,29
28	7,63	6,75	26	12,06
29	7,62	6,76	27	13,37
30	7,65	6,74	29	12,30
31	7,66	6,74	28	12,50
32	7,62	6,77	25	11,27
33	7,66	6,74	30	11,39
34	7,62	6,78	25	11,19
35	7,64	6,75	29	12,78
36	7,62	6,78	25	12,86
37	7,64	6,75	29	12,05
38	7,62	6,79	24	12,59
39	7,66	6,77	28	12,84
40	7,62	6,75	29	11,81
41	7,64	6,80	24	11,86
42	7,65	6,78	28	11,02
43	7,63	6,78	27	10,27

44	7,67	6,82	24	12,29
45	7,70	6,84	26	12,06
46	7,69	6,83	28	13,37
47	7,65	6,83	26	12,30
48	7,67	6,86	24	12,50
49	7,69	6,88	24	11,27
50	7,65	6,56	49	48,69
51	7,15	6,13	60	59,72
52	7,27	5,85	55	55,41
53	7,29	5,68	58	57,79
54	7,28	5,63	54	53,95
55	7,35	5,70	48	47,62
56	7,41	5,79	46	45,69
57	7,42	5,82	49	48,91
58	7,42	5,86	47	46,67
59	7,45	5,91	46	45,86
60	7,46	5,92	47	47,04
61	7,47	5,95	46	46,25
62	7,46	5,99	44	44,22
63	7,47	5,99	46	46,34
64	7,46	6,00	45	45,46
65	7,44	6,03	43	42,90
66	7,47	6,07	42	41,51
67	7,47	6,11	41	40,96
68	7,50	6,16	39	39,23
69	7,54	6,24	37	36,63
70	7,59	6,27	39	38,93
71	7,61	6,34	36	36,23
72	7,56	6,25	46	45,98
73	7,58	6,26	40	40,27
74	7,59	6,31	38	37,66
75	7,64	6,35	38	37,63
76	7,58	6,40	36	35,82
77	7,61	6,40	38	37,52
78	7,61	6,45	34	34,18
79	7,58	6,45	35	35,38
80	7,56	6,42	37	37,48
81	7,63	6,47	33	32,75
82	7,62	6,51	33	33,04
83	7,58	6,50	35	35,19
84	7,61	6,52	33	32,68
85	7,62	6,55	32	31,74
86	7,61	6,55	34	33,58
87	7,62	6,56	32	32,39
88	7,66	6,59	32	31,88
89	7,65	6,62	31	30,91

90	7,60	6,58	34	34,34
91	7,62	6,58	32	32,08
92	7,65	6,63	30	29,74
93	7,66	6,66	30	29,81
94	7,63	6,64	32	32,37
95	7,63	6,64	31	31,21
96	7,64	6,66	29	29,45
97	7,66	6,68	29	29,41
98	7,64	6,69	30	30,05
99	7,64	6,71	28	28,26
100	7,62	6,67	31	31,40
101	7,63	6,67	30	29,84
102	7,65	6,69	30	29,52
103	7,66	6,68	31	30,77
104	7,66	6,71	29	28,53
105	7,62	6,73	28	27,71
106	7,64	6,72	29	28,51
107	7,62	6,70	30	29,97
108	7,60	6,71	28	28,16
109	7,62	6,69	30	29,84
110	7,64	6,70	29	28,77
111	7,66	6,70	29	29,27
112	7,67	6,72	29	28,98
113	7,67	6,73	29	29,16
114	7,68	6,75	28	28,18
115	7,69	6,77	28	27,56
116	7,68	6,77	29	28,84
117	7,68	6,78	27	27,44
118	7,68	6,78	28	28,14
119	7,67	6,80	27	26,56
120	7,65	6,80	27	26,91
121	7,65	6,81	26	26,08
122	7,66	6,80	27	27,29
123	7,65	6,82	25	24,91
124	7,67	6,83	26	25,72
125	7,64	6,83	26	25,51
126	7,64	6,83	25	25,25
127	7,67	6,84	25	25,48
128	7,66	6,84	26	25,66
129	7,64	6,84	25	25,47
130	7,67	6,85	25	24,52
131	7,64	6,84	26	26,27
132	7,65	6,83	26	25,62
133	7,65	6,84	25	25,49
134	7,66	6,86	24	24,21
135	7,65	6,85	26	25,65

136	7,67	6,87	24	24,02
137	7,67	6,87	25	25,01
138	7,69	6,89	24	23,73
139	7,68	6,88	26	25,94
140	7,69	6,90	24	23,67
141	7,67	6,91	24	23,98
142	7,66	6,90	24	24,18
143	7,67	6,91	23	23,00
144	7,65	6,92	23	23,11
145	7,66	6,92	23	23,10
146	7,68	6,92	23	23,36
147	7,67	6,94	22	21,91
148	7,68	6,94	23	23,34
149	7,69	6,93	24	24,13
150	7,71	6,96	22	22,13
151	7,71	6,96	23	23,31
152	7,69	6,94	25	24,66
153	7,69	6,91	26	25,93
154	7,71	6,89	26	25,95
155	7,68	6,89	25	25,29
156	7,68	6,89	25	24,89
157	7,67	6,91	23	22,84
158	7,65	6,93	22	21,61
159	7,66	6,93	23	22,55
160	7,68	6,96	21	20,90
161	7,70	6,94	25	24,60
162	7,72	6,94	24	24,24
163	7,71	6,94	24	24,43
164	7,72	6,95	23	23,45
165	7,70	6,95	24	24,05
166	7,68	6,98	21	21,12
167	7,67	6,99	21	20,82
168	7,68	7,00	21	21,11
169	7,70	7,01	21	20,66
170	7,71	6,98	24	24,23
171	7,71	6,97	24	23,76
172	7,72	6,96	24	24,26
173	7,69	6,97	23	22,77
174	7,68	6,99	21	20,81
175	7,68	7,01	20	20,11
176	7,68	7,00	22	21,58
177	7,70	7,01	21	20,93
178	7,71	7,01	21	21,44
179	7,72	6,99	24	23,51
180	7,72	6,98	23	23,49
181	7,69	7,01	21	20,97

182	7,69	7,03	20	19,82
183	7,68	7,03	20	20,19
184	7,70	7,05	19	18,89
185	7,70	7,06	20	19,95
186	7,73	7,06	20	20,19
187	7,73	7,05	22	22,17
188	7,72	7,03	22	22,37
189	7,72	7,04	21	20,76
190	7,72	7,06	20	20,03
191	7,71	7,10	18	17,73
192	7,71	7,11	18	18,02
193	7,71	7,11	19	18,59
194	7,73	7,13	18	18,00
195	7,74	7,13	19	18,99
196	7,76	7,10	21	21,27
197	7,76	7,10	21	20,53
198	7,75	7,09	21	21,30
199	7,72	7,12	18	18,12
200	7,72	7,13	18	18,08
201	7,71	7,15	17	16,83
202	7,71	7,16	17	16,83
203	7,74	7,13	20	19,88
204	7,74	7,13	19	19,15
205	7,74	7,11	21	20,69
206	7,73	7,10	20	20,06
207	7,71	7,13	17	17,39
208	7,70	7,14	17	16,83
209	7,71	7,13	19	19,06
210	7,74	7,11	20	19,66
211	7,75	7,11	20	20,40
212	7,75	7,10	21	20,84
213	7,73	7,12	19	18,56
214	7,73	7,16	16	15,63
215	7,71	7,17	17	16,68
216	7,72	7,18	16	16,21
217	7,75	7,14	21	20,88
218	7,75	7,14	19	18,98
219	7,75	7,15	19	18,70
220	7,73	7,18	16	15,99
221	7,72	7,19	16	16,33
222	7,72	7,21	15	14,94
223	7,73	7,22	16	15,65
224	7,76	7,19	19	18,65
225	7,78	7,19	18	18,48
226	7,76	7,17	19	19,21
227	7,77	7,18	18	17,75

228	7,77	7,19	18	17,95
229	7,74	7,21	16	16,29
230	7,74	7,22	16	16,05
231	7,74	7,22	16	15,77
232	7,73	7,23	16	15,62
233	7,71	7,24	14	14,47
234	7,72	7,24	15	14,82
235	7,72	7,25	15	14,59
236	7,73	7,24	15	15,48
237	7,74	7,23	16	16,50
238	7,76	7,24	16	15,53
239	7,76	7,23	17	17,20
240	7,78	7,24	16	15,98
241	7,78	7,24	17	16,87
242	7,78	7,23	18	17,73
243	7,77	7,23	17	16,52
244	7,78	7,23	17	17,36
245	7,77	7,24	16	16,40
246	7,76	7,25	16	16,00
247	7,77	7,26	15	15,19
248	7,76	7,27	15	15,08
249	7,77	7,27	16	15,51
250	7,76	7,27	16	15,63
251	7,76	7,27	15	15,42
252	7,77	7,27	15	15,19
253	7,75	7,28	15	14,63
254	7,77	7,29	14	14,47
255	7,76	7,29	15	14,76
256	7,74	7,31	13	13,15
257	7,76	7,29	15	15,45
258	7,75	7,30	14	13,92
259	7,73	7,30	14	13,87
260	7,74	7,29	15	14,68
261	7,73	7,30	13	12,97
262	7,74	7,30	13	13,48
263	7,73	7,30	14	14,00
264	7,74	7,29	15	14,65
265	7,76	7,30	14	13,79
266	7,76	7,28	16	15,56
267	7,78	7,28	15	15,32
268	7,78	7,28	15	15,32
269	7,79	7,28	16	16,03
270	7,79	7,28	16	15,76
271	7,78	7,29	15	15,37
272	7,79	7,30	15	14,86
273	7,78	7,31	14	14,14

274	7,77	7,32	14	13,96
275	7,76	7,33	13	13,08
276	7,76	7,33	14	13,53
277	7,75	7,35	12	11,86
278	7,75	7,34	13	12,84
279	7,75	7,36	12	11,67
280	7,74	7,33	14	13,96
281	7,74	7,34	12	12,16
282	7,75	7,33	13	13,42
283	7,75	7,31	14	14,25
284	7,76	7,31	14	13,89
285	7,77	7,31	14	14,12
286	7,77	7,32	14	13,51
287	7,77	7,31	15	15,33
288	7,79	7,30	15	14,95
289	7,78	7,32	14	14,23
290	7,80	7,31	15	14,97
291	7,79	7,31	15	15,30
292	7,78	7,32	14	14,41
293	7,79	7,32	14	14,21
294	7,77	7,33	14	13,86
295	7,77	7,34	13	12,87
296	7,77	7,35	13	12,78
297	7,76	7,35	13	12,76
298	7,75	7,36	12	12,12
299	7,76	7,36	12	12,05
300	7,75	7,36	12	12,46
301	7,78	7,37	12	12,20
302	7,77	7,37	13	12,97
303	7,75	7,37	12	12,18
304	7,76	7,38	11	11,22
305	7,75	7,38	12	11,93
306	7,75	7,37	12	12,36
307	7,75	7,37	12	11,78
308	7,75	7,39	11	10,90
309	7,74	7,36	13	12,87
310	7,74	7,38	10	10,41
311	7,74	7,38	11	11,10
312	7,74	7,38	12	11,53
313	7,75	7,38	11	11,42
314	7,75	7,38	12	11,58
315	7,74	7,39	11	10,81
316	7,75	7,39	11	11,36
317	7,75	7,38	12	11,66
318	7,75	7,40	10	10,39
319	7,76	7,39	12	11,56

320	7,76	7,39	11	11,48
321	7,75	7,40	11	11,04
322	7,75	7,40	11	10,60
323	7,76	7,41	11	10,90
324	7,75	7,40	11	11,10
325	7,76	7,41	11	10,82
326	7,77	7,41	11	10,78
327	7,76	7,40	12	11,78
328	7,76	7,41	11	10,59
329	7,76	7,41	11	11,11
330	7,76	7,41	11	11,14
331	7,75	7,42	10	10,27
332	7,76	7,41	11	10,92
333	7,76	7,42	11	10,61
334	7,76	7,41	11	10,95
335	7,75	7,41	11	11,10
336	7,74	7,40	11	11,32
337	7,74	7,42	10	9,51
338	7,75	7,42	10	10,17
339	7,76	7,42	11	10,71
340	7,76	7,41	11	11,44
341	7,75	7,40	11	11,39
342	7,76	7,40	11	11,42
343	7,75	7,39	12	11,66
344	7,77	7,40	11	11,06
345	7,78	7,40	12	12,09
346	7,79	7,40	12	11,51
347	7,79	7,40	12	12,18
348	7,79	7,40	12	12,06
349	7,80	7,41	12	12,07
350	7,79	7,40	13	12,62
351	7,79	7,37	14	14,38
352	7,79	7,38	13	12,68
353	7,78	7,38	12	12,45
354	7,79	7,37	13	13,15
355	7,78	7,36	14	13,91
356	7,79	7,38	12	11,85
357	7,78	7,39	12	12,11
358	7,79	7,38	13	13,43
359	7,78	7,40	11	10,67
360	7,77	7,40	12	11,79
361	7,76	7,42	10	10,26
362	7,76	7,42	11	10,54
363	7,76	7,43	10	10,01
364	7,76	7,44	10	9,75
365	7,76	7,45	9	9,42

366	7,77	7,44	10	10,32
367	7,77	7,45	10	9,68
368	7,77	7,42	12	12,07
369	7,78	7,42	11	11,31
370	7,80	7,42	12	11,77
371	7,80	7,41	13	12,66
372	7,81	7,41	12	11,94
373	7,81	7,42	12	12,38
374	7,80	7,41	13	12,64
375	7,81	7,42	12	12,01
376	7,80	7,42	12	11,93
377	7,78	7,42	11	11,31
378	7,78	7,43	11	10,58
379	7,79	7,43	11	11,36
380	7,78	7,44	11	10,71
381	7,75	7,44	10	10,10
382	7,75	7,43	11	10,62
383	7,74	7,43	10	9,74
384	7,73	7,42	10	10,43
385	7,74	7,42	10	9,78
386	7,73	7,41	10	10,46
387	7,75	7,40	11	11,06
388	7,77	7,41	11	10,74
389	7,78	7,39	13	12,96
390	7,79	7,38	13	12,70
391	7,79	7,41	11	10,90
392	7,79	7,41	12	12,10
393	7,78	7,40	13	12,56
394	7,79	7,40	12	11,93
395	7,78	7,41	11	11,22
396	7,77	7,43	10	10,44
397	7,76	7,43	10	10,30
398	7,77	7,44	9	9,32
399	7,76	7,45	10	9,93
400	7,75	7,46	9	8,97
401	7,74	7,46	9	8,72
402	7,76	7,46	9	9,08
403	7,76	7,43	11	11,41
404	7,77	7,44	10	10,15
405	7,77	7,43	11	11,14
406	7,78	7,42	11	11,40
407	7,78	7,41	12	12,03
408	7,78	7,41	11	11,43
409	7,78	7,42	11	11,05
410	7,77	7,43	10	9,97
411	7,74	7,43	11	10,54

412	7,73	7,43	9	9,47
413	7,74	7,44	9	8,68
414	7,75	7,45	9	9,31
415	7,77	7,42	12	12,04
416	7,78	7,41	12	11,86
417	7,79	7,41	12	12,03
418	7,80	7,41	12	11,85
419	7,78	7,42	11	11,36
420	7,76	7,45	9	8,54
421	7,76	7,46	9	9,06
422	7,73	7,44	10	10,37
423	7,75	7,42	10	10,50
424	7,78	7,41	11	11,46
425	7,80	7,42	11	11,42
426	7,79	7,43	11	10,89
427	7,77	7,45	9	9,31
428	7,76	7,44	11	11,05
429	7,77	7,42	12	11,78
430	7,80	7,40	13	12,69
431	7,79	7,42	11	10,61
432	7,77	7,45	9	9,32
433	7,76	7,45	10	9,53
434	7,75	7,43	11	10,94
435	7,79	7,41	13	12,72
436	7,80	7,42	11	11,31
437	7,75	7,44	9	9,41
438	7,76	7,43	10	10,27
439	7,78	7,41	12	12,31
440	7,79	7,41	12	11,86
441	7,77	7,44	9	9,24
442	7,74	7,45	9	9,40
443	7,77	7,41	13	12,61
444	7,79	7,39	13	13,19
445	7,76	7,41	10	10,00
446	7,74	7,42	10	10,50
447	7,77	7,40	12	12,19
448	7,78	7,41	11	11,18
449	7,75	7,44	9	8,97
450	7,76	7,40	13	12,51
451	7,79	7,39	13	12,59
452	7,76	7,44	9	8,61
453	7,76	7,41	12	12,29
454	7,79	7,39	13	12,53
455	7,77	7,42	10	10,09
456	7,74	7,42	10	10,48
457	7,78	7,38	14	13,57

458	7,76	7,41	10	9,65
459	7,74	7,41	10	10,43
460	7,78	7,37	14	14,04
461	7,76	7,42	9	9,28
462	7,74	7,40	12	11,73
463	7,78	7,38	13	12,65
464	7,74	7,44	8	7,93
465	7,77	7,39	13	13,46
466	7,78	7,41	11	10,67
467	7,74	7,42	10	10,44
468	7,79	7,40	12	12,26
469	7,76	7,43	9	9,21
470	7,76	7,40	13	12,57
471	7,78	7,42	10	9,77
472	7,75	7,42	11	10,77
473	7,79	7,39	13	12,99
474	7,76	7,43	9	8,99
475	7,77	7,41	12	12,32
476	7,78	7,43	10	9,65
477	7,75	7,40	12	12,49
478	7,79	7,42	10	10,43
479	7,74	7,43	10	9,74
480	7,79	7,40	13	12,78
481	7,75	7,43	9	9,29
482	7,77	7,40	13	12,89
483	7,75	7,43	9	8,86
484	7,76	7,40	12	12,24
485	7,76	7,43	10	9,54
486	7,76	7,39	13	12,99
487	7,78	7,42	10	10,13
488	7,74	7,41	11	11,14
489	7,78	7,42	11	10,50
490	7,75	7,40	12	12,36
491	7,77	7,42	10	9,61
492	7,75	7,41	12	11,76
493	7,76	7,43	9	9,24
494	7,76	7,36	15	15,44
495	7,76	7,42	8	8,12
496	7,77	7,38	14	13,71
497	7,75	7,43	8	8,39
498	7,79	7,41	12	12,48
499	7,75	7,42	11	10,57
500	7,78	7,42	10	10,30
501	7,76	7,40	13	12,68
502	7,77	7,44	8	8,29
503	7,77	7,40	14	13,73

504	7,76	7,43	9	9,38
505	7,79	7,42	12	11,67
506	7,76	7,41	12	11,54
507	7,79	7,43	10	10,14
508	7,77	7,41	13	12,68
509	7,77	7,44	9	8,65
510	7,79	7,41	13	13,14
511	7,75	7,42	10	10,32
512	7,79	7,43	10	10,29
513	7,77	7,40	13	12,90
514	7,77	7,44	9	8,97
515	7,79	7,41	13	12,79
516	7,75	7,41	11	11,42
517	7,79	7,44	9	8,55
518	7,77	7,38	16	15,53
519	7,76	7,42	9	8,96
520	7,79	7,42	12	11,57
521	7,75	7,40	13	12,74
522	7,75	7,42	9	9,11
523	7,79	7,40	13	12,90
524	7,75	7,39	12	12,04
525	7,78	7,40	11	10,83
526	7,78	7,38	14	13,65
527	7,75	7,39	12	11,61
528	7,78	7,42	10	9,73
529	7,77	7,40	13	12,83
530	7,76	7,42	10	9,79
531	7,79	7,43	10	10,47
532	7,76	7,40	13	12,75
533	7,77	7,43	9	9,27
534	7,79	7,42	12	11,92
535	7,76	7,41	12	11,53
536	7,78	7,44	9	8,84
537	7,78	7,41	13	13,10
538	7,76	7,42	11	10,77
539	7,79	7,45	9	8,50
540	7,78	7,40	14	14,15
541	7,76	7,42	11	10,51
542	7,79	7,43	11	10,56
543	7,77	7,40	13	13,03
544	7,75	7,43	9	9,41
545	7,77	7,44	10	9,81
546	7,78	7,39	14	14,36
547	7,74	7,40	11	10,69
548	7,77	7,42	10	9,61
549	7,79	7,41	12	11,95

550	7,76	7,39	13	12,90
551	7,77	7,42	10	9,77
552	7,78	7,43	10	9,88
553	7,77	7,39	14	13,76
554	7,75	7,39	11	11,28
555	7,76	7,41	10	9,87
556	7,78	7,42	11	10,66
557	7,78	7,39	13	13,41
558	7,75	7,40	11	10,84
559	7,76	7,42	10	9,96
560	7,79	7,42	11	11,15
561	7,77	7,39	14	13,56
562	7,75	7,41	10	10,35
563	7,77	7,44	9	8,65
564	7,79	7,43	12	11,69
565	7,77	7,40	13	13,10
566	7,76	7,41	11	10,85
567	7,76	7,42	10	10,19
568	7,78	7,44	9	9,29
569	7,78	7,42	13	12,60
570	7,75	7,39	13	12,75
571	7,75	7,39	11	11,04
572	7,75	7,42	9	9,27
573	7,78	7,41	11	11,40
574	7,78	7,38	14	13,64
575	7,75	7,38	12	12,45
576	7,74	7,40	10	9,87
577	7,77	7,41	10	10,22
578	7,78	7,40	12	12,00
579	7,77	7,38	13	13,11
580	7,75	7,37	13	13,19
581	7,74	7,38	11	10,75
582	7,76	7,38	12	11,67
583	7,78	7,40	11	10,93
584	7,78	7,39	13	12,96
585	7,76	7,36	14	13,86
586	7,73	7,34	13	13,33
587	7,75	7,39	9	8,92
588	7,77	7,41	10	10,24
589	7,78	7,42	11	10,70
590	7,78	7,39	14	13,56
591	7,75	7,39	12	11,93
592	7,74	7,39	11	11,05
593	7,71	7,36	13	13,01
594	7,75	7,42	7	6,69
595	7,78	7,42	11	10,87

596	7,78	7,41	12	12,05
597	7,75	7,38	14	13,55
598	7,75	7,37	12	12,03
599	7,74	7,39	11	10,74
600	7,75	7,40	10	10,47
601	7,77	7,41	11	10,61
602	7,78	7,42	11	10,53
603	7,77	7,41	12	11,94
604	7,75	7,38	14	13,57
605	7,74	7,36	13	12,73
606	7,74	7,37	11	11,20
607	7,73	7,37	12	11,56
608	7,75	7,36	12	12,43
609	7,75	7,39	10	9,92
610	7,77	7,38	12	12,18
611	7,77	7,37	13	13,08
612	7,76	7,36	13	12,80
613	7,76	7,35	13	13,31
614	7,73	7,35	13	12,55
615	7,72	7,36	11	11,26
616	7,74	7,35	12	11,88
617	7,75	7,37	11	10,86
618	7,75	7,41	9	9,04
619	7,77	7,40	12	11,61
620	7,77	7,39	12	11,95
621	7,77	7,40	12	11,75
622	7,76	7,40	11	11,24
623	7,74	7,37	13	13,34
624	7,74	7,37	12	11,79
625	7,74	7,36	13	12,64
626	7,74	7,34	13	13,02
627	7,73	7,35	11	11,48
628	7,72	7,36	11	11,07
629	7,75	7,36	12	11,85
630	7,75	7,39	10	10,00
631	7,76	7,38	12	11,70
632	7,75	7,38	12	12,06
633	7,76	7,36	13	13,10
634	7,77	7,37	12	11,76
635	7,76	7,37	13	12,60
636	7,75	7,38	11	11,42
637	7,75	7,35	14	13,63
638	7,73	7,34	13	12,73
639	7,73	7,35	12	11,91
640	7,72	7,34	12	12,13
641	7,74	7,36	11	10,65

642	7,74	7,38	11	10,76
643	7,75	7,38	11	11,01
644	7,75	7,41	10	9,52
645	7,77	7,39	13	12,57
646	7,77	7,38	12	12,43
647	7,76	7,38	12	12,29
648	7,76	7,37	12	12,46
649	7,74	7,35	14	13,56
650	7,73	7,34	13	12,91
651	7,73	7,33	13	13,22
652	7,73	7,35	10	10,47
653	7,74	7,36	12	11,70
654	7,74	7,36	12	11,52
655	7,76	7,36	12	12,27
656	7,76	7,38	11	11,10
657	7,77	7,36	13	13,40
658	7,75	7,37	12	12,09
659	7,76	7,35	13	13,15
660	7,75	7,35	13	12,79
661	7,74	7,34	13	13,46
662	7,73	7,34	12	12,39
663	7,73	7,35	12	11,56
664	7,72	7,35	12	11,54
665	7,72	7,35	11	11,31
666	7,73	7,36	11	11,25
667	7,73	7,35	12	11,83
668	7,75	7,36	12	11,55
669	7,73	7,36	12	11,84
670	7,73	7,35	12	12,28
671	7,74	7,37	11	10,99
672	7,75	7,37	12	11,56
673	7,76	7,38	12	11,55
674	7,76	7,38	12	11,54
675	7,76	7,39	11	10,85
676	7,76	7,38	12	12,27
677	7,77	7,39	12	11,57
678	7,76	7,38	13	12,58
679	7,77	7,38	12	12,05
680	7,76	7,39	11	11,33
681	7,76	7,37	13	13,16
682	7,76	7,36	13	12,63
683	7,75	7,36	12	12,39
684	7,75	7,37	12	11,70
685	7,73	7,36	13	12,64
686	7,75	7,36	12	12,02
687	7,74	7,37	11	11,37

688	7,74	7,35	13	12,91
689	7,74	7,34	13	13,14
690	7,76	7,32	14	14,33
691	7,75	7,36	10	10,45
692	7,74	7,36	12	12,39
693	7,74	7,35	13	12,76
694	7,75	7,35	12	12,42
695	7,73	7,35	12	12,42
696	7,74	7,34	13	12,86
697	7,74	7,35	12	12,11
698	7,74	7,34	13	12,79
699	7,74	7,34	12	12,16
700	7,73	7,34	13	12,74
701	7,73	7,34	12	12,12
702	7,74	7,34	13	12,62
703	7,74	7,34	12	12,10
704	7,74	7,33	13	13,05
705	7,74	7,34	12	12,40
706	7,74	7,34	12	12,44
707	7,73	7,32	14	13,87
708	7,74	7,34	12	11,88
709	7,73	7,34	13	12,63
710	7,73	7,31	14	14,19
711	7,73	7,34	11	10,88
712	7,74	7,34	13	12,58
713	7,73	7,33	13	12,74
714	7,74	7,34	12	11,80
715	7,74	7,35	12	12,16
716	7,74	7,35	12	12,39
717	7,73	7,35	12	11,76
718	7,74	7,35	12	12,42
719	7,73	7,35	12	11,63
720	7,74	7,34	13	12,76
721	7,74	7,34	13	12,74
722	7,75	7,35	12	12,15
723	7,74	7,36	12	11,84
724	7,75	7,36	12	11,88
725	7,76	7,36	12	12,13
726	7,75	7,37	12	11,87
727	7,76	7,36	12	12,41
728	7,76	7,37	12	12,06
729	7,76	7,36	13	13,03
730	7,76	7,37	12	11,68
731	7,76	7,37	12	11,81
732	7,76	7,36	13	12,68
733	7,76	7,37	12	12,21

734	7,75	7,37	12	11,95
735	7,75	7,36	13	12,54
736	7,75	7,36	12	12,21
737	7,75	7,36	12	12,37
738	7,74	7,37	12	11,60
739	7,73	7,35	13	12,62
740	7,74	7,35	12	12,37
741	7,74	7,35	12	12,30
742	7,72	7,35	12	11,82
743	7,73	7,35	12	11,56
744	7,72	7,34	13	12,56
745	7,72	7,34	12	11,77
746	7,73	7,34	13	12,51
747	7,72	7,33	13	12,76
748	7,72	7,33	12	12,15
749	7,72	7,33	12	11,88
750	7,73	7,36	11	10,53
751	7,73	7,35	12	12,48
752	7,74	7,36	11	11,41
753	7,74	7,37	11	11,13
754	7,75	7,37	12	11,62
755	7,75	7,37	11	11,37
756	7,75	7,37	12	11,79
757	7,76	7,38	11	11,16
758	7,74	7,36	13	13,48
759	7,74	7,34	13	13,20
760	7,73	7,34	12	12,15
761	7,72	7,32	13	13,36
762	7,72	7,33	12	12,04
763	7,71	7,32	12	12,48
764	7,71	7,32	12	12,01
765	7,71	7,34	11	11,07
766	7,72	7,33	12	12,21
767	7,73	7,34	11	11,40
768	7,74	7,35	12	11,98
769	7,74	7,36	11	11,17
770	7,75	7,37	11	11,19
771	7,75	7,37	12	11,61
772	7,75	7,37	12	12,06
773	7,74	7,36	12	12,18
774	7,74	7,37	11	11,48
775	7,74	7,35	13	12,95
776	7,73	7,35	12	11,73
777	7,73	7,34	13	12,85
778	7,71	7,33	13	12,60
779	7,71	7,32	12	12,41

780	7,72	7,34	11	11,05
781	7,71	7,34	12	11,82
782	7,74	7,36	11	10,81
783	7,75	7,37	11	10,94
784	7,75	7,37	12	11,95
785	7,75	7,36	13	12,62
786	7,74	7,34	14	13,82
787	7,72	7,33	13	12,53
788	7,73	7,33	12	12,43
789	7,71	7,31	14	13,54
790	7,71	7,32	12	12,18
791	7,72	7,33	12	11,51
792	7,73	7,35	11	10,98
793	7,73	7,35	12	11,51
794	7,74	7,37	11	10,65
795	7,75	7,37	12	11,56
796	7,75	7,36	12	12,48
797	7,74	7,36	12	12,34
798	7,73	7,35	12	12,42
799	7,72	7,36	11	11,04
800	7,72	7,35	12	12,12
801	7,71	7,34	12	12,35
802	7,72	7,34	12	11,72
803	7,72	7,35	11	11,19
804	7,74	7,36	11	11,11
805	7,75	7,37	11	11,40
806	7,75	7,38	11	11,22
807	7,75	7,36	13	13,20
808	7,72	7,34	13	13,39
809	7,73	7,35	11	11,12
810	7,72	7,34	13	12,75
811	7,71	7,32	13	13,00
812	7,73	7,35	11	10,63
813	7,73	7,35	11	11,48
814	7,75	7,36	11	11,37
815	7,75	7,36	12	11,75
816	7,73	7,35	13	12,98
817	7,72	7,34	12	12,33
818	7,71	7,34	12	11,63
819	7,71	7,33	13	12,97
820	7,72	7,33	12	11,75
821	7,72	7,35	11	10,78
822	7,73	7,36	11	11,02
823	7,75	7,38	10	10,45
824	7,74	7,37	12	12,43
825	7,73	7,35	13	12,54

826	7,72	7,34	12	12,46
827	7,71	7,34	12	12,08
828	7,71	7,32	13	12,87
829	7,71	7,35	10	9,96
830	7,73	7,32	14	14,34
831	7,73	7,36	9	9,50
832	7,75	7,37	11	11,23
833	7,74	7,36	12	12,38
834	7,73	7,33	14	13,99
835	7,71	7,34	12	12,06
836	7,71	7,34	12	11,67
837	7,71	7,33	12	11,83
838	7,73	7,35	11	10,79
839	7,74	7,37	10	10,28
840	7,74	7,35	13	12,91
841	7,74	7,35	13	12,52
842	7,72	7,33	13	13,48
843	7,72	7,32	13	12,62
844	7,72	7,33	12	12,16
845	7,73	7,35	11	10,77
846	7,74	7,36	11	10,88
847	7,75	7,37	11	11,29
848	7,74	7,36	12	12,11
849	7,71	7,36	12	11,78
850	7,71	7,34	12	12,43
851	7,71	7,34	12	11,93
852	7,72	7,35	11	10,68
853	7,74	7,38	10	10,08
854	7,74	7,37	12	11,73
855	7,75	7,37	11	11,37
856	7,74	7,37	12	12,04
857	7,72	7,34	13	13,31
858	7,72	7,32	13	13,08
859	7,71	7,34	11	11,10
860	7,71	7,34	11	11,29
861	7,72	7,36	11	10,66
862	7,75	7,36	12	11,99
863	7,73	7,35	13	12,54
864	7,73	7,33	14	13,54
865	7,71	7,33	12	12,26
866	7,71	7,33	11	11,46
867	7,72	7,34	11	11,48
868	7,74	7,36	11	10,75
869	7,73	7,36	11	11,41
870	7,72	7,33	14	14,09
871	7,71	7,33	12	12,07

872	7,70	7,33	12	11,91
873	7,72	7,35	10	10,43
874	7,74	7,36	11	10,86
875	7,74	7,37	12	11,57
876	7,73	7,35	13	13,11
877	7,72	7,33	13	13,26
878	7,71	7,34	11	11,16
879	7,71	7,34	12	11,90
880	7,73	7,35	11	11,29
881	7,73	7,36	11	11,34
882	7,74	7,36	12	11,52
883	7,73	7,35	13	12,59
884	7,71	7,33	13	12,84
885	7,71	7,33	12	11,81
886	7,71	7,33	12	11,86
887	7,72	7,35	11	11,02
888	7,73	7,37	10	10,27
889	7,75	7,36	12	12,29
890	7,74	7,36	12	12,06
891	7,72	7,34	13	13,37
892	7,71	7,33	12	12,30
893	7,71	7,32	12	12,50
894	7,72	7,34	11	11,27
895	7,74	7,35	11	11,39
896	7,74	7,36	11	11,19
897	7,74	7,35	13	12,78
898	7,72	7,34	13	12,86
899	7,71	7,33	12	12,05

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Şadiye Koşar

Doğum Yeri ve Tarihi: Bursa 04.01.1984

Adres:

E-Posta: skosar@itu.edu.tr

Lisans: Marmara Üniversitesi

Yüksek Lisans :-

Mesleki Deneyim ve Ödüller:-

Yayın ve Patent Listesi:-

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

-