

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ATIKSU ARITMA TESİSLERİNİN MODEL DESTEĞİ İLE
İYİLEŞTİRİLMESİ VE OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gamze KIRIM

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı

OCAK 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ATIKSU ARITMA TESİSLERİNİN MODEL DESTEĞİ İLE
İYİLEŞTİRİLMESİ VE OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Gamze KIRIM
501111716**

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Özlem KARAHAN ÖZGÜN

OCAK 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501111716 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Gamze KIRIM**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**ATIKSU ARITMA TESİSLERİNİN MODEL DESTEĞİ İLE İYİLEŞTİRİLMESİ VE OPTİMİZASYONU**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Özlem KARAHAN ÖZGÜN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. H. Erdem GÖRGÜN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Gülsüm YILMAZ
İstanbul Üniversitesi

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

ÖNSÖZ

Öncelikle, bu çalışmanın başlangıcından sonuna kadar her aşamasında bana destek olan, karşılaştığım tüm güçlüklerde teknik bilgisi ve bana duyduğu güvenle önümü açan ve motive eden tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Özlem KARAHAN ÖZGÜN'e teşekkür etmek isterim. Kendisini tanıştığımız ilk günden beri sergilediği çalışma prensibi ve insani duruşu ile hayatım boyunca örnek almaktan gurur duyacağım.

Çalışma açısından büyük önem taşıyan GPS-X model programının temin edilmesindeki katkıları ve tez hazırlama sürecinde ihtiyaç duyduğum her zaman maddi ve manevi desteğini esirgemeyen Hocam Prof. Dr. Erdem GÖRGÜN'e ve io Çevre Çözümleri ailesine en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarımın başlangıcında uygulama örneğini gerçekleştirmek üzere tesis bulabilmek için bana yardımcı olan, ricam üzerine yoğun iş programı arasında bana vakit ayıran ve tesis ziyaretlerinde yanımda olan Doç Dr. Yalçın GÜNEŞ'e tüm desteği ve içten tavrı için çok teşekkür ederim. Çalışmalarında veri temini ve bilgi paylaşımı konusunda bana kapılarını sonuna kadar açan ve bu akademik çalışmaya katkısı büyük olan tesis yetkilerine ve Çevre Müh. Ferhat BARUT'a katkılarından ve iş birlikçi tavırlarından ötürü teşekkür ederim.

Bu zorlu süreçteki desteği ve sağladığı motivasyonla çalışmalarımın her türlü zorluk karşısında inançlı bir şekilde devam etmem gerektiğini bana hatırlatan ve beni buna inandıran iş arkadaşım ve dostum Çevre Yük. Müh. Ayten ÖZKÖK'e; tezimin yazım aşamasındaki yardımları ve bu sürece ilişkin tecrübelerini bana aktararak daha programlı bir şekilde ilerlememe katkısı olan değerli arkadaşım Ar. Gör. Gökhan CÜCELOĞLU'na ve teknik bilgisini her daim benimle paylaşarak, ihtiyaç duyduğum her an desteğini esirgemeyen dostum Çevre Müh. Ceren EROPAK'a çok teşekkür ederim.

Son olarak, bugüne kadar özveri ile beni yetiştiren ve bu süreçte de yalnız bırakmayan, manevi desteğini her zaman hissettiğim aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Aralık 2014

Gamze Kırım
Çevre Mühendisi

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ŞEKİL LİSTESİ	xiii
ÖZET	xvii
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Tezin Kapsamı	2
2. LİTERATÜR	3
2.1 Aktif Çamur Prosesi	3
2.1.1 Biyolojik organik madde giderimi	5
2.1.2 Biyolojik azot giderimi	7
2.2 Aktif Çamur Modelleri	8
2.2.1 Aktif çamur modeli no.1	9
2.2.2 Aktif çamur modeli no.2	13
2.2.3 Aktif çamur modeli no.2d	14
2.2.4 Aktif çamur modeli no.3	15
2.3 Modelleme ve Simülasyon Çalışmaları	16
2.4 Atıksu Arıtma Tesislerinin Modellenmesi	20
2.4.1 WEST	21
2.4.2 SIMBA	22
2.4.3 BİOWIN	23
2.4.4 GPS-X	24
3. TESİSE İLİŞKİN BİLGİLER	25
3.1 Üretim Prosesi ve Genel Bilgiler	25
3.2 Su Tüketimi	32
3.3 Atıksu Arıtma Tesisi Konfigürasyonu ve Üniteleri	33
3.3.1.1 Fiziksel arıtma üniteleri	34
3.3.1.2 Biyolojik arıtma üniteleri	36
3.3.1.3 Kimyasal arıtma üniteleri	38
3.3.1.4 Çamur arıtma üniteleri	38
3.4 Tesis Deşarj Standartları	38
3.5 Atıksu Arıtma Tesisi Enerji Tüketimi	39
4. ARAÇLAR VE YÖNTEMLER	43
4.1 Kavramsal Yaklaşım	43
4.2 Modelleme Yaklaşımı	45
4.3 Model Programı Seçimi	45
5. BULGULAR VE TARTIŞMALAR	47
5.1 Atıksu Karakterizasyonunun Belirlenmesi	47
5.1.1 Mevcut tesis verilerinin değerlendirilmesi	47

5.1.2 İzleme periyodu analiz sonuçlarının değerlendirilmesi	50
5.2 Başlangıç Modelinin Hazırlanması	65
5.3 Model Kalibrasyonu	69
5.4 Model Doğrulaması	74
5.5 Optimizasyon ve İyileştirmeye Yönelik Senaryoların Geliştirilmesi.....	75
5.5.1 Senaryo 1: Tesis enerji tüketiminin azaltılması	76
5.5.1.1 Senaryo 1.a	76
5.5.1.2 Senaryo 1.b.....	80
5.5.1.3 Senaryo 1.c	84
5.5.2 Senaryo 2: Çıkış atıksu kalitesinin artırılması	88
5.5.2.1 Senaryo 2.a	90
5.5.2.2 Senaryo 2.b.....	91
5.5.2.3 Senaryo 2.c	94
5.5.2.4 Senaryo 2.d.....	98
5.5.3 Senaryo 3: Kapasite artışı sonrası tesis yeterliliği.....	101
5.5.3.1 Senaryo 3.a	103
5.5.3.2 Senaryo 3.b.....	104
5.6 Sonuçların Kıyaslanması	106
5.6.1 Senaryo 1.....	106
5.6.2 Senaryo 2.....	109
5.6.3 Senaryo 3.....	112
6. SONUÇ.....	113
KAYNAKLAR.....	119
EKLER.....	123
ÖZGEÇMİŞ.....	137

KISALTMALAR

AAT	: Atıksu Arıtma Tesisi
AB	: Avrupa Birliği
AKM	: Askıda Katı Madde
ASM1	: Aktif Çamur Modeli No.1
ASM2	: Aktif Çamur Modeli No.2
ASM2d	: Aktif Çamur Modeli No.2.d
ASM3	: Aktif Çamur Modeli No.3
BOİ	: Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
ÇŞB	: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
IAWPRC	: Uluslararası Su Kirlenmesi Araştırma ve Kontrolü Komitesi
IWA	: Uluslararası Su Komitesi
KAAY	: Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
MLSS	: Karışık Sıvı Askıda Katı Madde
MLVSS	: Karışık Sıvı Uçucu Askıda Katı Madde
NH₄-N	: Amonyum Azotu
NO_x-N	: Oksitlenmiş Azot Formları
ORP	: Oksidasyon Redüksiyon Potansiyeli
OSB	: Organize Sanayi Bölgesi
OSİB	: Orman ve Su İşleri Bakanlığı
PAO	: Polifosfat Bakterileri
PHA	: Polihidroksialkonat
SÇD	: Su Çerçeve Direktifi
SKKY	: Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
TKN	: Toplam Kjeldahl Azotu
TKR	: Tam Karışımli Reaktör
TN	: Toplam Azot
TP	: Toplam Fosfor
UAKM	: Uçucu Askıda Katı Madde

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : ASM1 modeli bileşenleri.....	11
Çizelge 3.1: Tasarımda esas alınan giriş atıksu karakterizasyonu.....	33
Çizelge 3.2: Atıksu arıtma tesisi deşarj kriterleri (SKKY, 2004).....	39
Çizelge 4.1: Çalışma kapsamında değerlendirilen AAT modellemede kullanılabilir yazılımlar.	45
Çizelge 5.1: İzleme dönemi giriş atıksu karakterizasyonu.	52
Çizelge 5.2: Giriş atıksuyu KOİ fraksiyonları.	55
Çizelge 5.3: İzleme dönemi biyolojik reaktör çıkışı atıksu karakterizasyonu.	57
Çizelge 5.4: Biyokütle azot içeriği değerleri.	62
Çizelge 5.5: İzleme dönemi tesis çıkış atıksuyu karakterizasyonu.	62
Çizelge 5.6: Başlangıç modeli giriş atıksu karakterizasyonu.	68
Çizelge 5.7: Kalibre edilen kinetik ve stokiyometrik parametreler.....	70
Çizelge 5.8: Mevcut ve senaryo 1.a kesikli havalandırma prensipleri kapsamında havalandırıcı çalıştırma saat aralıkları.	77
Çizelge 5.9: Toplam azot parametresi için mevcut durum ve senaryo 1.a sonuçları.	79
Çizelge 5.10: Mevcut ve senaryo 1.b kesikli havalandırma prensipleri kapsamında havalandırıcı çalıştırma saat aralıkları.	81
Çizelge 5.11: Toplam azot parametresi için mevcut durum ve senaryo 1.b sonuçları.	83
Çizelge 5.12: Mevcut ve senaryo 1.c kesikli havalandırma prensipleri kapsamında havalandırıcı çalıştırma saat aralıkları.	85
Çizelge 5.13: Toplam azot parametresi için mevcut durum ve senaryo 1.c sonuçları.	87
Çizelge 5.14: Senaryo 2.b fiziksel ve tasarım parametreleri.	92
Çizelge 5.15: Senaryo 2.c fiziksel ve tasarım parametreleri.	96
Çizelge 5.16: Senaryo 2.d fiziksel ve operasyonel parametreler.....	99
Çizelge 5.17: Senaryo 3 giriş atıksuyu karakterizasyonu.....	102
Çizelge 5.18: Senaryo 3.a çıkış atıksuyu model sonuçları.	103
Çizelge 5.19: Senaryo 3.b fiziksel ve tasarım parametreleri.	105
Çizelge 5.20: Senaryo 3.b çıkış atıksuyu model sonuçları.	105
Çizelge 5.21: Toplam azot parametresi için mevcut durum ve senaryo 1 sonuçları.	107
Çizelge 5.22: Senaryo 1 alternatifleri için yıllık ortalama elektrik maliyetlerinin karşılaştırılması.	108
Çizelge 5.23: Senaryo 2 alternatifleri fiziksel ve tasarım parametreleri.	110
Çizelge 5.24: Senaryo 2.c ve 2.d alternatiflerinin kıyaslaması.....	111
Çizelge A. 1 : GPS-X model programı Mantis model matrisi.....	125
Çizelge B. 1 : Tesis günlük elektrik sarfiyat bilgileri.....	127
Çizelge C. 1 : Uygulama örneği AAT giriş ve çıkış atıksu karakterizasyonu.....	133

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Aktif çamur sistemi genel akım şeması.....	4
Şekil 2.2 : Organik maddenin biyolojik olarak giderim prosesi.....	6
Şekil 2.3 : ASM1 modeline göre KOİ bileşenleri.....	10
Şekil 2.4 : ASM1 modeline göre model bileşenlerinin (a) aerobik ve (b) anoksik koşullar altında dönüşümü.	12
Şekil 2.5 : ASM1 modeline göre azot bileşenleri.....	13
Şekil 2.6 : ASM2 modeline göre (a) anaerobik ve (b) aerobik koşullar altında fosfor giderim mekanizması.	14
Şekil 2.7 : ASM2d modeline göre (a) anaerobik ve (b) aerobik/anoksik koşullar altında fosfor giderim mekanizması.....	15
Şekil 2.8 : ASM2d modeline göre model bileşenlerinin (a) anaerobik ve (b) anoksik/aerobik koşullar altında dönüşümü.....	15
Şekil 2.9 : ASM3 modeline göre model bileşenlerinin anoksik ve aerobik koşullar altında dönüşümü (Henze ve diğ, 2000).	16
Şekil 2.10 : Modelleme ve simülasyon çalışma adımları (Langergraber ve diğ, 2004).	17
Şekil 2.11 : WEST model programı kullanıcı ara yüzü (DHI, 2014).	22
Şekil 2.12 : SIMBA model programı kullanıcı ara yüzü (ifak, 2014).	23
Şekil 2.13 : BioWin model programı kullanıcı ara yüzü (EnviroSim, 2014).	23
Şekil 2.14 : GPS-X model programı kullanıcı ara yüzü (Hydromantis, 2014).	24
Şekil 3.1 : Pad-batch boyama ve baskı işlemleri üretim akış şeması.	26
Şekil 3.2 : Kasarlama, boyama ve baskı işlemleri üretim akış şeması.	27
Şekil 3.3 : Kasarlama ünitelerinin fotoğrafı.	28
Şekil 3.4 : Pad-Bach ünitelerinin fotoğrafı.	29
Şekil 3.5 : Yıkama ünitelerinin fotoğrafı.	29
Şekil 3.6 : Şardon ünitesi fotoğrafı.	30
Şekil 3.7 : Tumlör ünitesi fotoğrafı.	30
Şekil 3.8 : Rotasyon baskı ünitelerinin fotoğrafı.	31
Şekil 3.9 : Dijital baskı ünitesi fotoğrafı.	31
Şekil 3.10 : Paketleme ünitesi fotoğrafı.	32
Şekil 3.11 : Pilot atıksu arıtma tesisi akım şeması.	34
Şekil 3.12 : Kaba ızgara üniteleri fotoğrafı.	35
Şekil 3.13 : Dengeleme havuzu fotoğrafı.	35
Şekil 3.14 : Statik elek üniteleri fotoğrafı.	36
Şekil 3.15 : Nötralizasyon ünitesi fotoğrafı.	36
Şekil 3.16 : Havalandırma havuzu fotoğrafı.	37
Şekil 3.17 : Son çökeltme ünitesi fotoğrafı.	37
Şekil 3.18 : Çamur arıtma üniteleri fotoğrafı.	38
Şekil 3.19 : Atıksu arıtma tesisi aylık ortalama elektrik sarfiyatları.	40
Şekil 3.20 : Atıksu arıtma tesisi 2014 yılı temmuz ayı günlük elektrik sarfiyatları. .	41

Şekil 5.1 : Giriş atıksuyu ortalama KOİ konsantrasyonları	48
Şekil 5.2 : Çıkış atıksuyu ortalama KOİ konsantrasyonları	48
Şekil 5.3 : Giriş atıksuyu ortalama NH ₄ -N konsantrasyonları	49
Şekil 5.4 : Çıkış atıksuyu ortalama NH ₄ -N konsantrasyonları	49
Şekil 5.5 : İzleme çalışmaları kapsamındaki numune alım noktaları	51
Şekil 5.6 : Tesis giriş atıksuyunda AKM ve UAKM konsantrasyonlarının değişimi.	53
Şekil 5.7 : Tesis giriş atıksuyunda toplam KOİ ve çözülmüş KOİ konsantrasyonlarının değişimi	54
Şekil 5.8 : Tesis giriş atıksuyunda azot parametrelerinin konsantrasyonlarının değişimi	55
Şekil 5.9 : Tesis giriş atıksuyunda KOİ ve TKN parametrelerinin konsantrasyonlarının değişimi	56
Şekil 5.10 : Biyolojik reaktör atıksuyunda AKM ve UAKM konsantrasyonlarının değişimi	57
Şekil 5.11 : Biyolojik reaktör atıksuyunda UAKM ve partiküler KOİ konsantrasyonlarının karşılaştırılması	59
Şekil 5.12 : Biyolojik reaktör atıksuyunda azot parametrelerinin konsantrasyonlarının değişimi	60
Şekil 5.13 : Biyolojik reaktör atıksuyunda partiküler KOİ ve organik azot konsantrasyonlarının karşılaştırılması	61
Şekil 5.14 : KOİ bazında tesis arıtma performansı	63
Şekil 5.15 : TKN bazında tesis arıtma performansı	63
Şekil 5.16 : Giriş ve çıkış atıksuyunda amonyum azotu konsantrasyonlarının karşılaştırılması	64
Şekil 5.17 : Giriş ve çıkış atıksuyunda toplam fosfor konsantrasyonlarının karşılaştırılması	65
Şekil 5.18 : Model tesis konfigürasyonu	66
Şekil 5.19 : Tesis havalandırma prensibinin model ara yüzünde tanımlanması şematik gösterimi	67
Şekil 5.20 : KOİ parametresi için analiz sonuçları ve kalibre model sonuçlarının karşılaştırılması	71
Şekil 5.21 : NH ₄ -N parametresi için analiz sonuçları ve kalibre model sonuçlarının karşılaştırılması	71
Şekil 5.22 : TKN parametresi için analiz sonuçları ve kalibre model sonuçlarının karşılaştırılması	72
Şekil 5.23 : AKM ve UAKM parametreleri için analiz sonuçları ve kalibre model sonuçlarının karşılaştırılması	73
Şekil 5.24 : Elektrik sarfiyatı için analiz sonuçları ve kalibre model sonuçlarının karşılaştırılması	73
Şekil 5.25 : KOİ parametresi için analiz sonuçları ve doğrulama model sonuçlarının karşılaştırılması	74
Şekil 5.26 : NH ₄ -N parametresi için analiz sonuçları ve doğrulama model sonuçlarının karşılaştırılması	75
Şekil 5.27 : KOİ parametresi için mevcut durum ve senayo 1.a sonuçlarının karşılaştırılması	77
Şekil 5.28 : NH ₄ -N parametresi için mevcut durum ve senayo 1.a sonuçlarının karşılaştırılması	78
Şekil 5.29 : Toplam azot parametresi için mevcut durum ve senayo 1.a sonuçlarının karşılaştırılması	78

Şekil 5.30 : Elektrik tüketimi için mevcut durum ve senaryo 1.a sonuçlarının karşılaştırılması.	80
Şekil 5.31 : KOİ parametresi için mevcut durum ve senaryo 1.b sonuçlarının karşılaştırılması.	81
Şekil 5.32 : NH ₄ -N parametresi için mevcut durum ve senaryo 1.b sonuçlarının karşılaştırılması.	82
Şekil 5.33 : Toplam azot parametresi için mevcut durum ve senaryo 1.b sonuçlarının karşılaştırılması.	83
Şekil 5.34 : Elektrik tüketimi için mevcut durum ve senaryo 1.b sonuçlarının karşılaştırılması.	84
Şekil 5.35 : KOİ parametresi için mevcut durum ve senaryo 1.c sonuçlarının karşılaştırılması.	85
Şekil 5.36 : NH ₄ -N parametresi için mevcut durum ve senaryo 1.c sonuçlarının karşılaştırılması.	86
Şekil 5.37 : Toplam azot parametresi için mevcut durum ve senaryo 1.c sonuçlarının karşılaştırılması.	86
Şekil 5.38 : Elektrik tüketimi için mevcut durum ve senaryo 1.c sonuçlarının karşılaştırılması.	88
Şekil 5.39 : Çıkış atıksuyu TN parametresi için mevcut durum (Senaryo 2.a) ve deşarj kriterinin karşılaştırılması.	91
Şekil 5.40 : Senaryo 2.b tesis konfigürasyonu.	92
Şekil 5.41 : Çıkış atıksuyu KOİ parametresi için Senaryo 2.b sonuçları ve deşarj kriterinin karşılaştırılması.	93
Şekil 5.42 : Çıkış atıksuyu NH ₄ -N parametresi için Senaryo 2.b sonuçları ve deşarj kriterinin karşılaştırılması.	93
Şekil 5.43 : Çıkış atıksuyu TN parametresi için Senaryo 2.b sonuçları ve deşarj kriterinin karşılaştırılması.	94
Şekil 5.44 : Senaryo 2.c tesis konfigürasyonu.	95
Şekil 5.45 : Çıkış atıksuyu KOİ parametresi için Senaryo 2.c sonuçları ve deşarj kriterinin karşılaştırılması.	96
Şekil 5.46 : Çıkış atıksuyu NH ₄ -N parametresi için Senaryo 2.c sonuçları ve deşarj kriterinin karşılaştırılması.	97
Şekil 5.47 : Çıkış atıksuyu TN parametresi için Senaryo 2.c sonuçları ve deşarj kriterinin karşılaştırılması.	97
Şekil 5.48 : Çıkış atıksuyu KOİ parametresi için Senaryo 2.d sonuçları ve deşarj kriterinin karşılaştırılması.	99
Şekil 5.49 : Çıkış atıksuyu NH ₄ -N parametresi için Senaryo 2.d sonuçları ve deşarj kriterinin karşılaştırılması.	100
Şekil 5.50 : Çıkış atıksuyu TN parametresi için Senaryo 2.d sonuçları ve deşarj kriterinin karşılaştırılması.	100
Şekil 5.51 : Senaryo 1 alternatiflerinin elektrik tüketimi açısından karşılaştırılması.	108
Şekil 5.52 : Senaryo 2 alternatiflerinin çıkış TN konsantrasyonlarının karşılaştırılması.	110

ATIKSU ARITMA TESİSLERİNİN MODEL DESTEĞİ İLE İYİLEŞTİRİLMESİ VE OPTİMİZASYONU

ÖZET

Günümüzde nüfus ve kentleşmenin hızla artışı, endüstriyel üretim faaliyetlerinin gelişmesi ve tarımsal aktiviteler temiz su kaynaklarının olan ihtiyacı artırmakta ve mevcut su kaynaklarının korunmasını zorunlu kılmaktadır. Atıksu arıtma tesisleri su kaynaklarında kirliliğin azaltılması ve önlenmesi için büyük önem taşımaktadır. Kentleşme ve sanayiye bağlı artan atıksu oluşumu daha etkin ve verimli çalışan arıtma tesislerine ihtiyacı artırmaktadır. Ancak birçok atıksu arıtma tesisinin tasarım ve işletme hatalarından dolayı tam verimle çalışmaması söz konusudur. Mevcut tesislerin mevzuatın zorunlu kıldığı deşarj standartlarını sağlayamaması veya işletme maliyetlerinin yüksek olması iyileştirme ve optimizasyon ihtiyacını beraberinde getirmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında, model programı desteği ile örnek bir endüstriyel atıksu arıtma tesisinin daha az enerji tüketimi sağlayacak şekilde optimize edilmesi ve arıtma performansının artırılarak deşarj kriterlerinin sağlanabilmesine yönelik bir modelleme çalışması gerçekleştirilmiştir. Çalışmada mevcut durumda işletilmekte olan bir tekstil endüstriyel tesisine ait atıksu arıtma tesisinin, GPS-X model programı vasıtasıyla bilgisayar ortamında simüle edilmiş ve farklı işletme senaryoları için tesisin davranışı incelenmiştir. Böylece, farklı işletme koşulları ve proses alternatiflerinin uygulanması ile arıtma performansının artırılması ve işletme giderlerinin azaltılması için en uygulanabilir çözüm önerilerinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

Çalışma kapsamında literatürde yer alan, atıksu arıtma tesislerinin modellenmesi ve simülasyonu çalışmalarında izlenmesi gereken çalışma adımları incelenmiş ve modelleme çalışmasının metodolojisi belirlenmiştir. Öncelikle atıksu arıtma tesisine ait tesis yetkilileri tarafından kayıt altına alınmış mevcut analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Tesis deşarj kriterleri dikkate alındığında organik madde gideriminin sağlanabildiği, amonyum azotu açısından ise zaman zaman standardın sağlanamadığı görülmüştür. Modelleme çalışmasının gerçekleştirilebilmesi için yeterli veri bulunmadığından, 5 günlük bir izleme periyodu kapsamında tesis giriş ve çıkışı ile biyolojik reaktörden alınan numuneler üzerinde karakterizasyon analizleri yürütülmüştür. Tesis modellenmesi GPS-X model programında ASM1 aktif çamur modeli kullanılarak yapılmış, tesis tasarım ve izleme dönemi analiz sonuçları dikkate alınarak başlangıç modeli hazırlanmıştır. Tesis arıtma üniteleri tasarım boyutlarına uygun şekilde model yerleşimine eklenerek atıksu ve çamur hatlarına ilişkin bağlantılar tanımlanmıştır. İzleme dönemi giriş ve çıkış analiz sonuçları kullanılarak model kalibrasyonu, atıksu arıtma tesisine ait 10 aylık giriş ve çıkış analiz sonuçları dikkate alınarak model doğrulaması yapılmıştır.

Modellemesi tamamlanan atıksu arıtma tesisi için farklı senaryo alternatifleri türetilerek tesis enerji optimizasyonu ve performansının iyileştirmesine yönelik uygulamalar araştırılmıştır. Bu kapsamda ilk olarak tesis elektrik tüketimine bağlı olarak işletme maliyetlerinin azaltılmasına yönelik farklı alternatifler türetilerek

optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Senaryo alternatifleri kapsamında atıksu arıtma tesisinde mevcut durumda uygulanmakta olan havalandırma prensibinin değiştirilerek, farklı kesikli havalandırma koşulları altında tesis davranışının ve enerji tüketiminin incelenmesi hedeflenmiştir. Senaryo model sonuçlarına göre tesiste uygulanan havalandırma prensibi ile sağlanan çözünmüş oksijen konsantrasyonunun biyolojik proseslerin gerçekleşmesi açısından ihtiyaç duyulan miktarın üzerin olduğu anlaşılmış; tesiste yer alan yüzeysel aeratörlerin kapasiteleri azaltılarak mevcut durumdan farklı işletme saatleri ve periyotları ile çalıştırılması durumunda daha az çözünmüş oksijen konsantrasyonu sağlanarak, azot gideriminin iyileştirilmesinin yanı sıra tesis elektrik sarfiyatının da azaldığı belirlenmiştir. Çıkış atıksuyundaki TN konsantrasyonunun azalmasına bağlı performans kazanımı ve işletme giderlerinden sağlanan tasarruf göz önüne alındığında, tesise ek yatırım yapılmadan mevcut tesis kapasitesi ve yürürlükteki deşarj standartları uyarınca en uygulanabilir alternatif aeratör kapasitelerinin yarıya düşürüldüğü ve sisteme 1,0 mg/L çözünmüş oksijen konsantrasyonunun sağlandığı Senaryo 1.b'dir. Model sonuçlarına göre Senaryo 1.b kesikli havalandırma prensibinin tesiste uygulanması çıkış atıksuyunda mevcut duruma göre toplam azot konsantrasyonlarını %10 oranında azaltmakta, elektrik sarfiyatını ise %28 oranında artırmaktadır. Bu uygulama ile tesis işletme giderlerinin yıllık 70.000 TL civarında azalması öngörülmektedir. Senaryo sonuçlarına göre, tesiste giriş atıksu karakterizasyonundaki artış durumları ve deşarj kriterleri de göz önüne alınarak havalandırmanın daha düşük oksijen konsantrasyonları sağlanacak biçimde kontrollü olarak uygulanmasının elektrik tüketim miktarını azaltırken arıtma performansı da iyi yönde etkileyeceği belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında ikinci olarak tesis çıkış atıksu kalitesinin artırılmasına yönelik iyileştirme yapılması hedeflenmiştir. Atıksu arıtma tesisinin mevcut durumda uymakla yükümlü olduğu deşarj kriterlerinin gelecekte değişmesi ve daha yüksek arıtma performansının gerekliliği halinde mevcut tesisin yeterliliği tahkik edilmiş ve uygulanabilecek proses modifikasyonları araştırılmıştır. Bu kapsamda öncelikle ulusal ve uluslar arası mevzuat değerlendirilmiş, tesisin toplam azot parametresi açısından Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği kapsamında belirlenen TN standartlarına uyumunun sağlanması hedeflenmiştir. Giriş kirlilik yükleri dikkate alınarak tesis eş değer nüfusu belirlenmiş ve toplam azot standardı 15 mg/L olarak belirlenmiştir. Mevcut tesis yalnızca biyolojik karbon giderimi ve nitrifikasyon proseslerini gerçekleştirebildiğinden azot giderimi tamamen sağlanamamaktadır. Tesisin önde denitrifikasyon yapan aktif çamur sistemi ile işletilmesi durumunda toplam azot giderim veriminin arttığı belirlenmiştir. Senaryo alternatiflerinin model sonuçlarına göre tesisin mevcut biyolojik reaktöründe sağlanacak aerobik ve anoksik hacimlerle azot gideriminin istenilen oranda sağlanamayacağı, bu nedenle denitrifikasyon prosesinin gerçekleşmesi için ilave reaktör hacmi gerektiği belirlenmiştir. Farklı tasarım parametreleri ve reaktör boyutlarının esas alındığı senaryo sonuçlarına göre; tesis biyolojik reaktör boyutunun %33 oranında artırılarak, içsel geri devir oranının 4 olması halinde çıkış atıksuyunda toplam azotun 15 mg/L'nin altında olması sağlanabilmektedir. Giriş atıksuyunda azot konsantrasyonunun yüksek olduğu zamanlar için nitrifikasyon prosesinin kısıtlayıcı olduğu ve yetersiz kaldığı belirlenmiştir. Buna göre, tesis çıkış atıksuyundaki amonyum azotu salınımlarını dengeleyecek şekilde mevcut aerobik reaktördeki havalandırma miktarı ve sisteme sağlanan çözünmüş oksijen konsantrasyonunun aeratör çalıştırma saatleri değiştirilerek artırılmasının azot giderimi açısından iyileşme sağlayacağı belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında son olarak tesisin hizmet verdiği işletmede üretim kapasite artışına bağlı arıtma tesisi giriş azot yükünün artması durumu için mevcut tesisin arıtma kapasitesinin yeterliliği tahkik edilmiş ve çıkış atıksu kalitesinin iyileştirilmesine yönelik tesiste uygulanabilecek proses modifikasyonları değerlendirilmiştir. Senaryo kapsamında, atıksu debisi ve işletmedeki üre tüketimindeki artışın giriş atıksu konsantrasyonuna etkisi belirlenmiş ve bu giriş karakterizasyonu esas alınarak model koşulmuştur. Buna göre, giriş atıksuyundaki TKN konsantrasyonu mevcut durum atıksu karakterizasyonuna göre yaklaşık iki kat artmaktadır. Senaryo sonuçlarına göre kapasite artışına bağlı giriş kirlilik konsantrasyonlarının artması durumunda mevcut tesiste herhangi bir proses değişikliği yapılmaksızın KOİ ve NH₄-N için deşarj kriterlerinin sağlanabildiği belirlenmiştir. Ancak, tesis çıkış atıksuyunda TN konsantrasyonunun azaltılabilmesi için tesiste önde denitrifikasyon prosesi uygulanmış ve çıkış atıksu karakterizasyonu belirlenmiştir. Senaryo kapsamında tesisteki mevcut biyolojik reaktör boyutu %66 oranında artırılıp, anoksik hacim ilave edilmiş, bu esnada aerobik hacim aynı bırakılarak, 4R oranında içsel geri devir oranı uygulanmıştır. Senaryo sonuçlarına göre atıksu arıtma tesisinin biyolojik olarak azot giderim veriminin maksimum %59 olabileceği belirlenmiştir.

MODEL SUPPORTED REHABILITATION AND OPTIMIZATION OF WASTEWATER TREATMENT PLANTS

SUMMARY

Nowadays, the necessity for clean water resources increases due to the progressive increment of population and urbanization, development of industrial production activities and agricultural activities. Therefore, deterioration of water resources and the large amount of polluted water generated in industrialized societies, gives a fundamental importance to wastewater treatment processes in terms of water prevention. National and international regulations enforce the adoption of specific quality indexes for the treated wastewater. Taking into account current environmental problems, it is not unrealistic to believe that this trend will continue. At the same time loads on existing plants are expected to increase due to growth of urban areas. Wastewater generation due to urbanization and industrialization demands more efficient treatment procedures for wastewater which means more effective treatment plants. However, many wastewater treatment plants (WWTPs) are not able to operated properly due to design and operation mistakes. This situation requires rehabilitation and optimization of existing wastewater treatment plants in order to meet the discharge criteria and decrease unaffordable operation costs.

Optimizing the operation of existing facilities is becoming more important as effluent criteria become more stringent and available funds for upgrades/expansions become less available. Furthermore, operating costs are now raised as a major concern, especially energy costs. In the scope of the thesis, a modelling study of an existing industrial wastewater treatment plant was carried out and optimization of the plant was aimed by reducing energy consumption. Also, rehabilitation of the plant were considered in order to be able to meet discharge criteria.

A textile industry wastewater treatment plant was modelled as a case study which locates in Muratlı Organized Industrial Zone. The facility is one of the largest dyeing plants in Turkey which includes printing operations also. Bleaching and washing activities which are necessary for dyeing of textile products are the main sources of wastewater. Also, domestic usage and water used for cleaning of the facility generate a small part of total wastewater. The wastewater treatment plant has 4,500 m³/day treatment capacity and includes biological and chemical treatment units. Average influent flow is about 4,000 m³/day. The plant is designed and operated as an extended aeration activated sludge system for organic material removal and nitrification. Plant design and operation data are considered while modelling study.

A commercial wastewater treatment plant simulator that is called GPS-X is used for this case study. GPS-X is a software developed in Canada which provides the platform and input/output capability to utilize activated sludge models and the flexibility to compute numerical solutions. With the use of GPS-X, it is possible to considerably reduce the time required to build, calibrate and simulate treatment processes. Therefore, GPS-X software was used to simulate the plant and system behaviour was evaluated under different operation senarios. By this way, the most

applicable operation conditions were determined to increase treatment performance and reduce operating costs.

In the scope of the study, methodology of wastewater treatment plant modelling and simulation studies were evaluated in literature and the methodology of the thesis study was determined. First of all, wastewater analysis results were evaluated which were recorded by plant operators. According to effluent wastewater analysis results, WWTP is able to treat organic matter when discharge criteria are considered. However, ammonium concentrations in effluent wastewater are above the discharge criteria occasionally. Due to lack of data for modelling of full plant, a monitoring campaign was carried out for 5 days. Characterization analysis of samples were taken from influent, effluent and biological reactor. Total chemical oxygen demand (COD), soluble COD, total kjeldahl nitrogen (TKN), ammonium nitrogen ($\text{NH}_4\text{-N}$), total suspended solids (TSS), volatile suspended solids (VSS) and total phosphorus (TP) concentrations of samples were determined.

Plant modelling were done by using Activated Sludge Model no.1 (ASM1) which is a default mathematical model in GPS-X software library. ASM1 proposed by the International Water Association (IWA) task group on mathematical modelling for design and operation of biological wastewater treatment. It is one of the most commonly used mathematical description for modelling biological wastewater treatment processes for carbon and nitrogen removal.

At the beginning of modelling study definition of preliminary model was done according to monitoring period analysis results. Treatment units were added to model layout according to design dimensions. Wastewater and sludge lines' connections were also defined in preliminary model. Calibration and validation of model were done after definition of preliminary model.

Model calibration is defined as the adaptation of a model so that it fitted a certain set of data from the full-scale WWTP. For that reason, it is done by using influent and effluent analysis results in monitoring campaign. Model validation was the next step. The model is considered to be validated when model predictions agree with measured values from an independent dataset within the acceptable tolerance. 10 months average influent and effluent analysis results were used for model validation. After completion of plant modelling, different scenarios were derived in order to reduce energy consumption and improve treatment efficiency of the WWTP with Scenario 1. Within this scope, optimization studies were carried out by considering electricity consumption to decrease operating costs. The current aeration is done by 3 mechanical surface aerators in the plant and 2.0 mg/L dissolved oxygen is supplied to biological reactor. System behaviour and energy consumptions were evaluated under different intermittent aeration implementations with Scenario 1 alternatives. According to Scenario 1 model results, dissolved oxygen concentration supplied with current aeration system in the plant is higher than needed for biological processes. For that reason, capacity of aerators were reduced to supply lower dissolved oxygen concentrations to biological reactor and operated for different time periods than current aeration principle. It is determined that intermittent aeration applications with lower dissolved oxygen concentrations have positive effect on total nitrogen removal and energy saving. Due to process gain with reduction of TN concentration in effluent wastewater and energy savings, Scenario 1.b is determined as the most applicable alternative for the plant. It is assumed that aerators' capacity is reduced %50 and 1.0 mg/L dissolved oxygen supplied to biological reactor in Scenario 1.b. According to the model results, TN concentrations in effluent wastewater and electricity consumption can be reduced %10 and %28 respectively. It is predicted

that yearly operation costs can be reduced about 70,000 TL with the application of Scenario 1.b aeration principle in WWTP. Scenario 1 results show that application of intermittent aeration with controlled lower dissolved oxygen concentrations by considering the increment on influent loads and discharge criteria leads reduction in electricity consumption and affect treatment performans positively.

In Scenario 2, rehabilitation of the plant is aimed in order to improve effluent wastewater quality if the WWTP has to meet restricted discharge criteria in future. The current plant's capability was invastigated and applicable process modifications were considered. Within this context, national and international legislation was evaluated and TN discharge criteria of Urban Wastewater Treatment Regulations (UWTR) was choosen for WWTP effluent wastewater quality. The regulations call for advanced treatment methods to eliminate nitrogen and phosphorus in addition to the elimination of organic carbon in sensitive areas. The purpose of the instrument is to protect the environment from the impact of such wastewater discharge. Firstly, population equivalent of WWTP is determined by considering influent wastewater loads. TN discharge criterion is considered as 15 mg/L according to the population equivalent. Due to the existing plant can only perform organic carbon removal and nitrification processes, nitrogen removal is not achieved strictly. It is determined that WWTP's total nitrogen removal performance increases when pre-denitrification activated sludge system is applied. According to Scenario 2 alternatives' model results, the existing plant is not able to achieve TN removal by creating aerobic and anoxic conditions in current biological reactor. For that reason, additional anoxic reactor volumes were added to plant for denitrification process occurrence. According scenario results for different design parameters and reactor volumes, if the biological reactor's volume is increased %33 and 4 internal recycle ratio, TN concentration in effluent wastewater would be below 15 mg/L. In addition to that, nitrification is found the restrictive process in WWTP when influent nitrogen load is higher than average. It is determined that if existing aeration system is operated longer time periods, higher dissolved oxygen concentration can be supplied to biological reactor. Thus, TN concentration fluctuation in effluent can be prevented and nitrogen removal efficiency can be increased.

In Scenario 3, WWTP's capability was investigated if influent nitrogen load is increased due to the increment on production capacity of the industrial plant. Applicable process modifications were evaluated in order to improve effluent wastewater quality. In scope of the scenario, effects of increased wastewater flowrate and urea consumption were determined on influent wastewater characterization. Model was run by considering the new wastewater characterization. According to the obtained data relevant with capacity increament from plant operators, TKN concentration of influent is calculated as two times more than current situation. Model results show that COD and $\text{NH}_4\text{-N}$ discharge criteria can be achieved without any process modification in WWTP when influent pollution loads were increased. However, TN concentrations in effluent will be too much and it might be dangerous for receiving water body. In order to achieve nitrogen removal, pre-denitrification activated sludge system was applied to WWTP and effluent wastewater characterization was determined. Model results show that existing biological reactor volume should be increased about %66 and anoxic conditions should be created. Meanwhile, aerobic reactor volume should be same in current system and increased volume will be used for anoxic reactor. Thus, V_D/V ratio will be 0.4 in the system. Internal recycle ratio was determined as 4. According to model results, wastewater treatment plant's biological nitrogen removal efficiency can be %59 as maximum.

1. GİRİŞ

1.1 Tezin Amacı

Günümüzde nüfus ve kentleşmenin hızla artışı, endüstriyel üretim faaliyetlerinin gelişmesi ve tarımsal aktiviteler temiz su kaynaklarının olan ihtiyacı artırmakta ve mevcut su kaynaklarının korunmasını zorunlu kılmaktadır. Atıksu arıtma tesisleri su kaynaklarında kirliliğin azaltılması ve önlenmesi için büyük önem taşımaktadır. Kentleşme ve sanayiye bağlı artan atıksu oluşumu daha etkin ve verimli çalışan arıtma tesislerine ihtiyacı artırmaktadır.

Ülkemizde halen birçok şehir ve endüstriyel tesisten kaynaklanan atıksular arıtılmadan alıcı ortamlara deşarj edilmektedir. Mevcut atıksu arıtma tesislerinin ise tasarım ve işletme hatalarından dolayı tam verimle çalışamaması söz konusudur. Mevcut tesislerin mevzuatın zorunlu kıldığı deşarj standartlarını sağlayamaması veya işletme maliyetlerinin karşılanamaz derece yüksek olması iyileştirme ve optimizasyon ihtiyacını beraberinde getirmektedir.

Modelleme yaklaşımı ve model programlarının kullanımı, atıksu arıtma tesislerinde tasarım ve işletme parametrelerinin değiştirilerek farklı işletme koşulları altında tesis davranışının belirlenmesi, enerji tüketiminin azaltılması, farklı proses uygulamaları ile çıkış atıksu kalitesinin artırılması veya çamur miktarının azaltılması gibi hedeflere yönelik kullanımı uygun olan bir araçtır. Bu çalışmada mevcut durumda işletilmekte olan atıksu arıtma tesislerinin model programı vasıtasıyla bilgisayar ortamında simüle edilmesi ve farklı işletme senaryoları karşısında tesislerin davranışı incelenmiştir. Böylece, örnek bir arıtma tesisi için farklı işletme koşulları ve proses alternatiflerinin uygulanması ile arıtma performansının artırılması ve işletme giderlerinin azaltılması için en uygun çözüm önerilerinin belirlenmesi ve uygulamaya geçirilmesi hedeflenmiştir.

1.2 Tezin Kapsamı

Bu tez çalışması kapsamında tekstil sektöründe faaliyet gösteren bir endüstriyel tesise ait atıksu arıtma tesisinde azot gideriminin iyileştirilmesine ve enerji tasarrufunun sağlanmasına yönelik model programı destekli bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Modelleme çalışmasında GPS-X model programı kullanılmış olup, ASM1 aktif çamur modeli dikkate alınmıştır.

Bu tez 6 ana bölümden oluşmakta olup, her bir bölümde tez çalışmasının hedeflerine yönelik yapılmış olan çalışmalara ve değerlendirmelere yer verilmiştir. “Giriş” bölümünde çalışmanın amacı ve kapsamı belirtilmiş olup, genel olarak çalışmanın hedeflerine yönelik değerlendirmeler sunulmuştur. Bu bölümde atıksu arıtma tesislerinde iyileştirme ve optimizasyon ihtiyacının nedenlerinden ve bu kapsamda tez çalışmasının öneminden kısaca bahsedilmiştir.

“Literatür” bölümünde, atıksulardan organik madde ve azot giderimine yönelik biyolojik süreçler hakkında bilgi verilmiş olup, matematiksel aktif çamur modellerinin içeriği ve kapsamına yönelik bilgiler sunulmuştur. Ayrıca, atıksu arıtma tesislerinin model desteği ile optimizasyonu ve iyileştirilmesi yönelik yapılan çalışmaların genel sonuçları, modelleme çalışmalarındaki genel yaklaşım ve izlenmesi gereken adımlara ilişkin bilgiler verilmiştir. Modellemede kullanılabilecek simülasyon programları özellikleri sunulmuştur.

Uygulama örneği kapsamında modellemesi gerçekleştirilen endüstriyel tesis ve atıksu arıtma tesisine ilişkin bilgiler “Tesis İlişkin Bilgiler” bölümünde sunulmuştur. Atıksu arıtma tesisine ilişkin tasarım bilgileri ve her bir üniteye ait modellemede kullanılan fiziksel ve tasarım parametreleri hakkında bilgi verilmiştir.

“Araçlar ve Yöntemler” bölümünde, çalışmada uygulanan modelleme yaklaşımı ve kullanılan model programının seçim kriterleri hakkında bilgi verilmiştir. Başlangıç modelinin oluşturulması, model kalibrasyonu ve doğrulamasına ilişkin bilgiler “Bulgular ve Tartışmalar” bölümünde verilmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen verilerin doğruluğu ve tutarlılığı değerlendirilmiştir. Bu bölümde ayrıca, tesis optimizasyonu ve iyileştirilmesine yönelik oluşturulan senaryolar hakkında bilgi verilmiş ve sonuçları değerlendirilmiştir. Modelleme çalışması ile elde edilen sonuçlar çalışma hedefleri doğrultusunda “Sonuç” bölümünde genel olarak değerlendirilmiştir.

2. LİTERATÜR

2.1 Aktif Çamur Prosesi

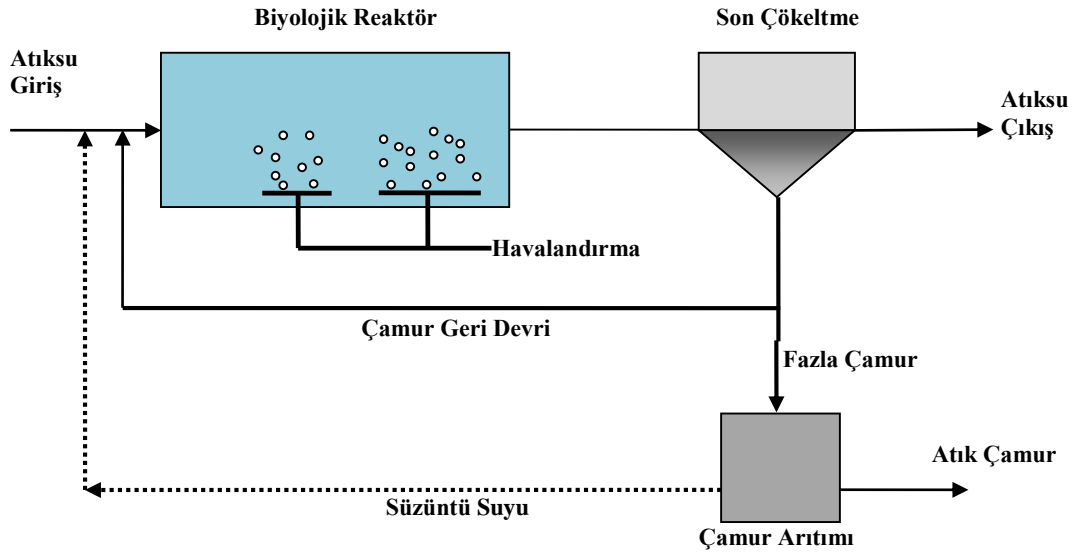
Aktif çamur prosesi tüm dünyada atıksu arıtımında en yaygın olarak kullanılan metotlardan birisidir. Aktif çamur sistemleri atıksu arıtımında düşük maliyetli olması ve farklı türdeki atıksu karakterizasyonlarına uygulanabilmesi sebebiyle sıkça tercih edilmektedir (Mulas, 2006). Bu sistemlerde atıksu içerisindeki çözünmüş ve koloidal yapıdaki çökelemeyen kirleticiler çökelebilen yumaklara dönüştürülerek atıksudan uzaklaştırılmaktadır. Atıksu içerisindeki alıcı su ortamlarında kirliliğe sebep olan organik karbon ve besi maddelerinin giderimi için askıda veya yüzeye tutunmuş mikroorganizmaların kullanıldığı yöntemler aktif çamur sistemleri olarak adlandırılmaktadır (OSİB, 2012).

Aktif çamur sistemleri ile atıksu arıtımı, biyokütle adı verilen mikroorganizmaların atıksudaki biyolojik olarak parçalanabilen organik madde ve diğer kirleticileri metabolik faaliyetlerinde kullanarak büyüme ve çoğalma amacıyla tüketmesi esasına dayanmaktadır. Böylece, biyokütlenin yapısına geçen kirleticilerin atıksudan arıtımı sağlanmakta, biyokütlenin çökmesi ile sistemden atılmaktadır. Aktif çamur sistemleri tasarım ve konfigürasyonuna bağlı olarak karbonun yanı sıra azot ve fosfor gibi besi maddelerinin arıtımında da yaygın olarak kullanılmaktadır. Biyolojik olarak ayrışamayan kirleticilerin söz konusu olması durumunda aktif çamur sistemini içeren biyolojik arıtma süreçleri düşük verime sahiptirler (Toprak, 2005).

Proseste, atıksu içerisinde bulunan kirleticiler konsantre haldeki bakteriyel biyokütle (aktif çamur) tarafından ayrıştırılarak giderilmektedir. Aktif çamur sistemleri ile esas olarak atıksu içerisinde bulunan organik karbon giderimi oldukça kolay proses tasarımları ile sağlanabilmektedir. Ancak, son yıllarda alıcı su ortamlarının korunmasına yönelik olarak sıkılaştırılan deşarj standartları, atıksu içerisindeki besi maddelerinin (azot ve fosfor) giderimini zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle, aktif çamur sistemi ile işletilen arıtma tesislerinin ileri arıtma yapabilecek şekilde

geliştirilmesi ve biyolojik karbon, azot ve fosfor giderimini sağlayabilecek proseslerin uygulanmasını gerektirmektedir.

Aktif çamur prosesi ile işletilen sistemlerde yer alan genel akım şeması Şekil 2.1 ile görülmektedir. Son çökeltme tankında çöktürülen biyokütlenin büyük bir kısmı biyolojik reaktöre geri devrettirilerek sistemin çamur yaşı ve istenilen F/M oranı sağlanmaktadır. Çamurun kalan kısmı ise çökeltme tankının tabanından çekilerek fazla çamur olarak sistemden uzaklaştırılmaktadır.



Şekil 2.1 : Aktif çamur sistemi genel akım şeması.

Sistemdeki biyokütle çoğalma ve büyüme için ihtiyaç duyduğu enerjiyi organik maddenin oksidasyonundan sağlamaktadır. Gerekli oksijen ise sistemde bulunan havalandırma ile karşılanmaktadır. Sistemde gelişen mikroorganizmalar atıksu içerisinde askıda yada bir yüzeye tutunarak atıksudaki substrat ve besin maddelerini tüketmekte ve çoğalmaya devam etmektedirler. Aktif çamur sistemlerindeki biyokütlenin büyük bir kısmı ve atıksu içerisindeki öncelikli kirletici olan karbon (organik madde) ve nitratın moleküler azot (N_2) formuna dönüştürülmesini sağlayan heterotrof bakterilerdir. Heterotroflar aerobik ortamda çözülmüş organik karbonu substrat, oksijeni ise elektron alıcı olarak kullanmaktadırlar (Orhon ve Artan, 1994). Anoksik ortamda ise azot giderimine katkıda bulunan heterotroflar nitrat azotunu (NO_3-N) elektron alıcısı olarak kullanmakta ve N_2 'ye dönüşümünü sağlamaktadırlar. Sistemde önem taşıyan bir diğer mikroorganizma grubu ototrof mikroorganizmalardır. Ototroflar aerobik ortamda inorganik azotu (NH_4-N) substrat

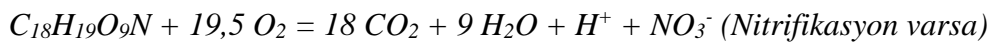
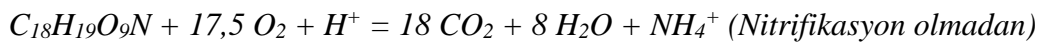
olarak kullanırken, oksijeni elektron alıcı olarak kullanmakta ve nitrat azotuna oksidasyonunu sağlamaktadırlar. Çoğalan mikroorganizmalar ve atıksu içerisindeki partiküler inert maddeler atık çamur olarak sistemden uzaklaştırılmaktadır (Mulas, 2006).

Tezin bu bölümünde incelenen atıksu arıtma tesisinde de söz konusu olan biyolojik karbon ve azot giderim prosesleri hakkında bilgi verilmektedir.

2.1.1 Biyolojik organik madde giderimi

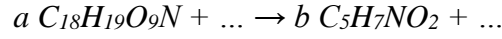
Atıksu içerisinde bulunan ve alıcı su ortamlarında oksijen tüketimine bağlı olarak kirliliğe yol açan en öncelikli parametre organik karbondur. Atıksu karakterine göre organik madde çözünmüş ve partiküler (askıda veya koloidal) fiziksel formlarında, biyolojik olarak ise ayrıştırılabilir ya da ayrıştırılamaz formlarda bulunmaktadır (Henze ve diğ, 2008).

Aktif çamur sistemleri ile karbon giderimi biyolojik olarak gerçekleşmektedir. Aerobik şartlarda işletilen bir biyolojik arıtma tesisinde organik maddenin giderimi oksidasyon veya biyokütleyle dönüşüm ile gerçekleşmektedir. Sistemde yer alan biyokütle yaşamsal faaliyetlerinde ve enerji üretiminde kullanılmak üzere biyolojik olarak parçalanabilen organik maddenin tüketimini sağlar. Organik madde oksijenin varlığında yükseltgenerek karbondioksit dönüşmektedir. Bu esnada açığa çıkan enerji mikroorganizmaların gelişimi ve çoğalmasında kullanılmaktadır (Henze ve diğ, 2002). Atıksu içerisinde bulunan organik maddenin kimyasal bileşimi genel olarak $C_{18}H_{19}O_9N$ şeklindedir (Pöpel, 1988). Organik maddenin mikroorganizmalar tarafından karbondioksit oksidasyonu şu şekilde gerçekleşmektedir;

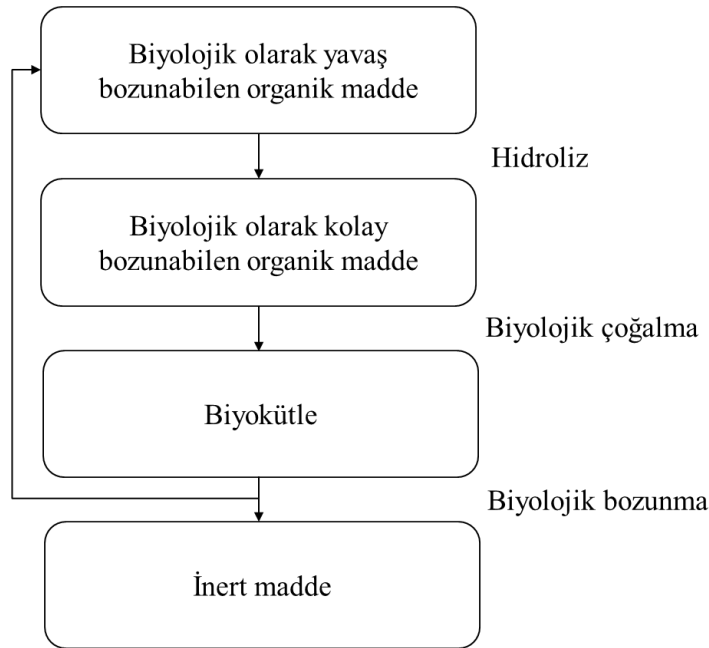


Organik maddenin biyokütle tarafından tüketilmesi durumunda ise, biyolojik olarak parçalanabilen organik maddenin zor ayrışan kısmı öncelikle hidroliz prosesi ile mikroorganizmalar tarafından substrat olarak kullanılabilecek forma dönüştürülmektedir. Karbon giderim prosesi esas olarak aerobik ortamda heterotrof mikroorganizmalar tarafından gerçekleşmektedir. Biyokütlenin kimyasal yapısı genel olarak $C_5H_7NO_2$ şeklinde kabul edilmektedir. Mikroorganizmaların ortamda çoğalması ve karbon giderim verimi biyokütle miktarı, atıksu içerisinde kullanılabilir

substrat miktarı, sıcaklık ve pH gibi birçok değişkene bağlıdır (Mulas, 2006). Organik maddenin biyokütle bünyesine geçişi, diğer bir deyişle aerobik büyüme, enerji birimleri ile ifade edilip, dönüşüm oranı olarak tanımlanmaktadır. Üretilen biyokütlenin tüketilen organik maddeye oranı olan dönüşüm oranı aktif çamur sistemleri için yaklaşık %55-60 civarındadır ve maksimum dönüşüm oranı sabiti olarak adlandırılmaktadır (Henze ve Harremoes, 1983). Aktif çamur sisteminde gözlenen dönüşüm oranı atıksu içerisindeki mikroorganizmalar tarafından kullanılabilir substrat miktarına ve sistem tasarımına bağlı olarak değişebilmektedir. Sistemdeki dönüşüm oranı sabiti biliniyorsa, aerobik büyüme için üretilen biyokütle ile giderilen substrat arasında bir eşitlik yazabilmek mümkündür (Henze ve diğ., 2002).



Aktif çamur sistemlerinde ayrıca biyokütlenin içsel solunumuna ve ölümüne bağlı olarak oluşan biyolojik olarak inert olan metabolik ürünlerin oluşumu da söz konusudur. Atıksu içerisinde de bulunan partiküler formdaki inert organik madde ve biyokütle kaybına bağlı oluşan inert partiküler metabolik ürünler çökeltme ile sistemden uzaklaştırılmaktadır. Biyokütle kaybına bağlı olarak oluşan çözülmüş inert maddeler ise biyolojik olarak bozunmadığı için çıkış atıksuyu içerisinde kalmaktadır. Organik maddenin biyolojik olarak giderim prosesi Şekil 2.2 ile görülmektedir.



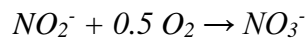
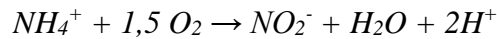
Şekil 2.2 : Organik maddenin biyolojik olarak giderim prosesi.

Atıksu içerisinde mevcut olan çözülmüş inert organik madde ise sistemde biyolojik olarak giderilemediğinden miktarı değişmeden sistemden çıkmaktadır (Henze ve diğ, 2008).

2.1.2 Biyolojik azot giderimi

Atıksularda azot serbest ve iyonize olmuş amonyak (NH_3 ve NH_4^+), nitrat (NO_3^-), nitrit (NO_2^-) ve organik azot olmak üzere farklı formlarda, -3 ile +5 değerlik aralığında bulunmaktadır (Orhon ve Artan, 1994). Bu farklı formdaki azot türlerinin tümü toplam azot içeriğini oluşturmaktadır. Azot aktif çamur sistemlerinde ve tüm yaşayan organizmalarda yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilmesi için gerekli olsa da, alıcı su ortamlarında yüksek konsantrasyonlarda sebep olduğu problemler azotun atıksulardan giderimini gerektirmektedir. Amonyak formundaki azotun su ortamındaki canlılara toksik etkisi ve çözülmüş oksijeni tüketme eğiliminde olması azot gideriminin en önemli sebepleridir (Wiesmann, 1994).

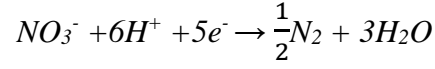
Atıksu içerisinde arıtma tesislerine iletilen azotun büyük bir kısmı amonyak formundadır. Arıtma tesislerinde azotun biyolojik olarak giderim süreci 2 aşamalı olarak gerçekleşebilmektedir. İlk olarak aerobik koşullar altında amonyak azotunun okside edilerek nitrate dönüştürülmesi nitrifikasyon olarak adlandırılmaktadır. Nitrifikasyon prosesinde amonyum azotu öncelikle nitrite, daha sonra nitrate aşağıdaki kimyasal reaksiyonlara göre dönüştürülmektedir (Henze ve diğ, 2008).



Nitrifikasyon prosesinin gerçekleşmesinde rol olan ototrof mikroorganizmalar oksidasyonun gerçekleşebilmesi için oksijene ihtiyaç duymaktadırlar. Nitrat formuna dönüştürülen azot halen çözülmüş formda atıksu içerisinde yer almaktadır (Pell ve Wörman, 2011).

Atıksudaki azot gideriminin tamamlanabilmesi nitratın azot gazı formuna dönüştürülmesi denitrifikasyon prosesi olarak adlandırılmaktadır. Denitrifikasyon prosesi elektron alıcısının nitrat olduğu anoksik ortamda gerçekleşebilmektedir. Denitrifikasyon yapabilen heterotrof mikroorganizmalar nitratın moleküler azot formuna yükseltgenmesi esnasında elektron alıcısı olarak oksijen yerine nitratı

kullanılmaktadırlar (Henze ve diğ, 2002). Denitrifikasyon aşığı belirtilen kimyasal reaksiyona göre gerçekleşmektedir;



Nitrifikasyon ve denitrifikasyon prosesleri ile atıksu içerisinde bulunan azotun arıtımı biyolojik olarak sağlanabilmektedir. Dolayısıyla biyolojik azot giderim prosesi aerobik ve anoksik ortamların birlikte bulunmasını gerektirmektedir. Anoksik ortam tesis tasarımına göre aerobik ortamda öncesinde (nde denitrifikasyon) veya sonrasında (sonda denitrifikasyon) bulunabilmektedir.

2.2 Aktif amur Modelleri

Atıksu arıtma tesisi proses tasarımı ve kontrolünde aktif çamur sistemlerinin kullanılabilmesi için gerçekleşen biyolojik reaksiyonların denge ve dinamik koşullar altındaki durumunun anlaşılması önemlidir. Günümüzde azot ve fosfor giderebilen aktif çamur sistemlerinin tasarımı, işletilmesi ve kontrolü için aktif çamur modellerinin kullanımı oldukça yaygındır (Sözen ve diğ, 2009). Aktif amur modelleri ile atıksu arıtma tesislerinin dinamik davranışı arıtma üniteleri ve parametreleri arasındaki ilişkinin matematiksel olarak ifade edilmesi sağlanmaktadır (Rivas ve diğ, 2008). Aktif amur modelleri biyolojik arıtma prosesinin anlaşılabilmesi için eğitim amaçlı olarak da kullanılmaktadır.

İlk olarak 1982 yılında Uluslararası Su Kirlenmesi Araştırma ve Kontrolü Komitesi (IAWPRC) tarafından oluşturulan çalışma grubu aktif çamur proseslerinin tasarımı ve işletilmesi için matematiksel modelleme çalışmalarına başlamıştır. Günümüze kadar uzanan süreçte farklı arıtma proseslerine ilişkin aktif çamur modelleri oluşturulmuş ve güncellenmiştir. Çalışma grubunun amacı aktif çamur modelleri oluşturulurken ve kullanılırken tüm ilgililer tarafından ortak bir dil oluşturulmasını sağlamaktır. Mümkün olduğunca anlaşılabilir modellerin oluşturulmasına gayret edilmiş, kompleks olmasından kaçınılmıştır (Henze ve diğ, 2000).

Uluslararası Su Komitesi (IWA) tarafından tanımlanan aktif çamur modelleri bu bölümde sunulmaktadır.

2.2.1 Aktif çamur modeli no.1

Aktif çamur modeli no.1 (ASM1) 1987 yılında tamamlanan ve kabul gören ilk aktif çamur modelidir. Modelde yer alan birçok temel kavram Cape Town Üniversitesi modeli olarak adlandırılan aktif çamur modelinden uyumlandırılmıştır. ASM 1 biyolojik proses modellemesinde referans model olarak kabul edilmektedir. Esas olarak organik maddenin ve azotun giderilmesi tanımlamak amacıyla geliştirilmiştir. Modelde karbon ve amonyum azotu giderimi için eş zamanlı oksijen tüketimi ve azotunda tamamen giderimi için nitratın elektron alıcısı olarak kullanımı söz konusudur. Buna ek olarak model çamur oluşumunun tanımlanmasını amaçlamaktadır (Mulas, 2006).

Modelde uyumlandırılan ve kabul edilen önemli kavramlar bisubstrat hipotezi ve ölüm yenilenme (death-regeneration) hipotezidir.

Yapılan deneysel çalışmalar ile atıksu içerisindeki biyolojik olarak bozunabilen KOİ'nin hızlı ve yavaş ayrışabilen olmak üzere 2 fraksiyonu olduğu tespit edilmiş ve modelde önerilmiştir. 1980'lerde bisubstrat hipotezi olarak sunulan bu durum, kolay ayrışabilen KOİ'nin mikroorganizmaların hücre duvarından kolayca geçebilen basit moleküllerden oluştuğunu ve sentez reaksiyonlarında direkt olarak kullanılabilirdiğini öngörmektedir. Biyolojik olarak yavaş bozunabilen KOİ ise daha kompleks ve büyük moleküllerden oluşmakta ve hücre dışı enzimatik reaksiyonlar (hidroliz reaksiyonları) sonrasında biyokütle tarafından tüketilebilmekte ve metabolizmada kullanılabilir. Bahsedilen yaklaşım özellikle proses model tahminlerinin çevrimsel yük ve akım koşulları altında geliştirilebilmesi için benimsenmiştir (Jeppsson, 1996).

Ölüm yenilenme hipotezi ise organizmalar canlılığını yitirdiğinde oluşabilecek farklı reaksiyonların değerlendirilebilmesi için ileri sürülmüştür. Geleneksel içsel solunum kavramı organizma kütlelerinin ölüm sonrasında metabolik faaliyetlerde enerji için kullanılan fraksiyonunu tanımlamaktadır.

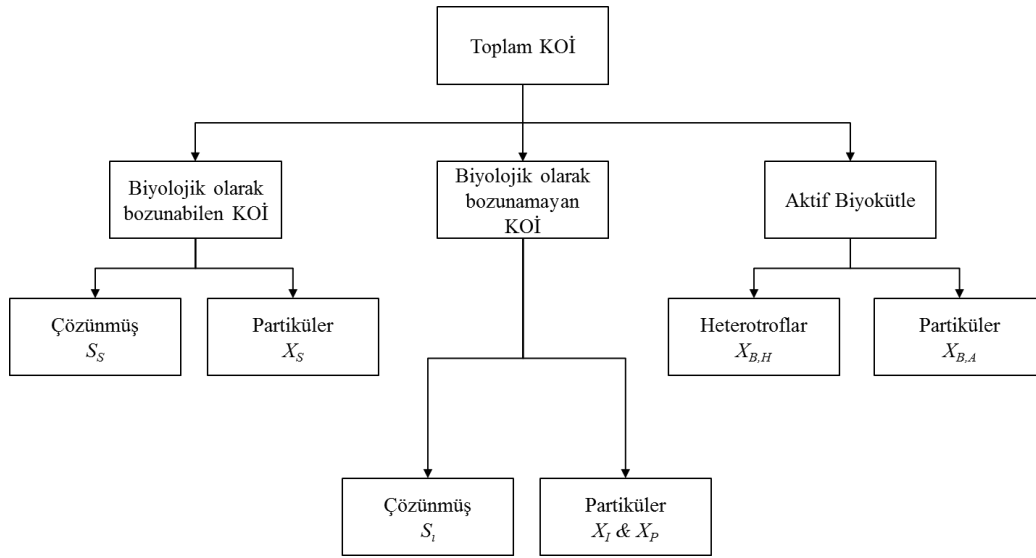
Yukarıda belirtilen karbon içerikli bisubstrat ve ölüm yenilenme yaklaşımları aktif çamur prosesindeki azot dönüşümleri içinde uygun biçimde entegre edilebilir (Jeppsson, 1996).

ASM1'de heterotrofik ve ototrofik biyokütlelerin büyüme hızları Monod ilişkisi ile tanımlanmaktadır. Modelde organik substrat, biyokütle ve oksijen tüketimi arasında

elektron eşdeğerleri açısından bağlantı sağlayabildiğinden organik maddenin tanımlanmasında KOİ parametresi kullanılmıştır. Dolayısıyla, kütle dengeleri KOİ cinsinden yapılmaktadır.

Aktif çamur modeli no.1 model bileşenleri

ASM1’de organik madde (karbon içeriği) esas olarak biyolojik olarak bozunabilen, biyolojik olarak bozunamayan ve biyokütle olmak üzere 3’e ayrılmaktadır. Çözünmüş bileşenler S (soluble), partiküler bileşenler ise X ile ifade edilmektedir. Biyolojik olarak bozunabilen KOİ ise kolay ayrışabilen (S_s) ve yavaş ayrışabilen (X_s) substrat olarak 2’ye ayrılmaktadır. Şekil 2.3 ile ASM 1’de kabul edilen KOİ fraksiyonları görülmektedir.



Şekil 2.3 : ASM1 modeline göre KOİ bileşenleri

Şekil 2.3 ile görüldüğü üzere ASM1 modelinde organik madde biyolojik olarak bozunabilen KOİ (S_s ve X_s), biyolojik olarak bozunamayan KOİ (S_i ve X_i) ve aktif biyokütle ($X_{B,H}$ ve $X_{B,A}$) olmak üzere ayrılmaktadır. Kolay ayrışabilen KOİ'nin basit çözünmüş moleküllerden oluştuğu ve mikroorganizmalar tarafından kolayca absorbe edilerek metabolik faaliyetlerde enerji ve sentez reaksiyonlarında kullanıldığı kabul edilmektedir. Yavaş ayrışabilen KOİ ise tam tersine daha kompleks yapıda olduğundan enzimatik reaksiyonlar ile parçalanarak metabolik aktivitelerde kullanılmaktadır. Biyolojik olarak parçalanamayan organik madde ise biyolojik olarak inerttir ve formunda herhangi bir değişim olmadan aktif çamur sisteminden çıkmaktadır. İntert KOİ'nin çözünmüş kısmı (S_i) giriş atıksuyu içerisindeki konsantrasyonu değişmeden sistemden çıkmakta iken, partiküler kısmı (X_i) ise aktif

biyokütle ile birlikte çamur içerisinde sistemden atılmaktadır. Buna ek olarak, biyokütle heterotrof (X_{BH}) ve ototrof (X_{BA}) biyokütle olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. İnert partiküler KOİ (X_P) ise hücre ölümüne bağlı olarak aktif çamur sistemi içerisinde oluşup, çamur içerisinde sistemde bulunmaktadır.

Aktif Çamur Modeli 1’de yer alan model bileşenlerine ait notasyonlar Çizelge 2.1 ile görülmektedir.

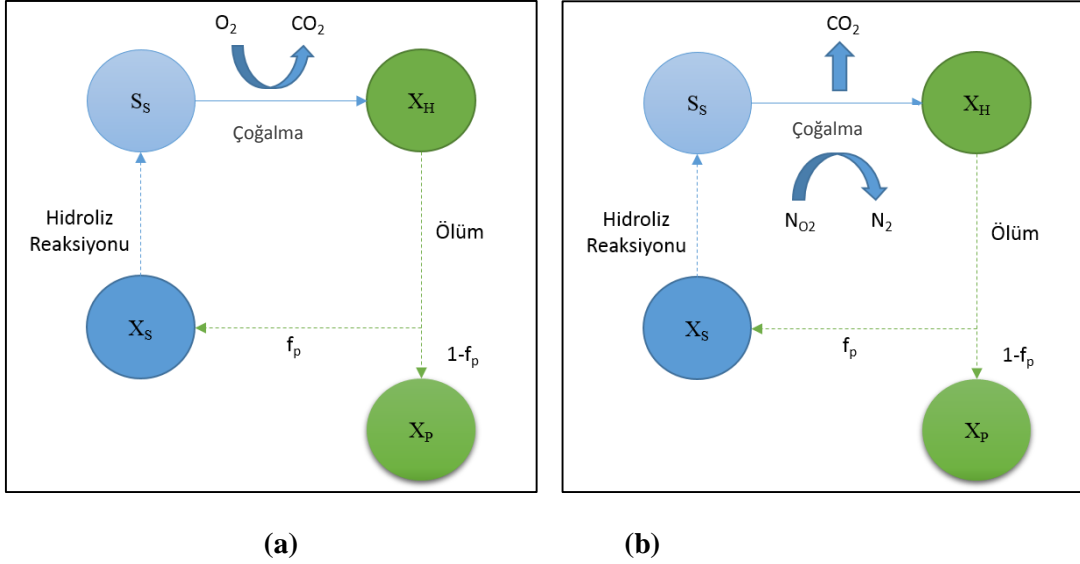
Çizelge 2.1 : ASM1 modeli bileşenleri.

Model Bileşeni	ASM 1 Notasyonu	
Çözünmüş inert organik madde	S_I	$g\ KOİ/m^3$
Kolay ayrışabilen substrat	S_S	$g\ KOİ/m^3$
Partiküler inert organik madde	X_I	$g\ KOİ/m^3$
Yavaş ayrışabilen substrat	X_S	$g\ KOİ/m^3$
Heterotrof biyokütle	X_{BH}	$g\ KOİ/m^3$
Ototrof biyokütle	X_{BA}	$g\ KOİ/m^3$
İnert partiküler madde	X_P	$g\ KOİ/m^3$
Çözünmüş oksijen	S_O	$g\ O_2/m^3$
Nitrit ve nitrat azotu	S_{NO}	$g\ N/m^3$
Serbest ve iyonize amonyak	S_{NH}	$g\ N/m^3$
Çözünmüş biyolojik olarak ayrışabilen organik azot	S_{ND}	$g\ N/m^3$
Partiküler biyolojik olarak ayrışabilen organik azot	X_{ND}	$g\ N/m^3$
Alkalinite	S_{ALK}	<i>Molarite birimi</i>

ASM1 modeli esas olarak biyolojik olarak kolay bozunabilen KOİ’nin (S_S) sistemde mevcut biyokütle tarafından metabolik faaliyetlerde oksijen kullanılarak tüketilmesini içermektedir. Hücre ölümüne bağlı olarak belirli bir oranda (f_P) inert partiküler madde (X_P) oluşumu söz konusudur. Hücre ölümü sonrasında geri kalan oranda ($1 - f_P$) oluşan organik madde ise yavaş ayrışan substrat (X_S) olarak sistemde

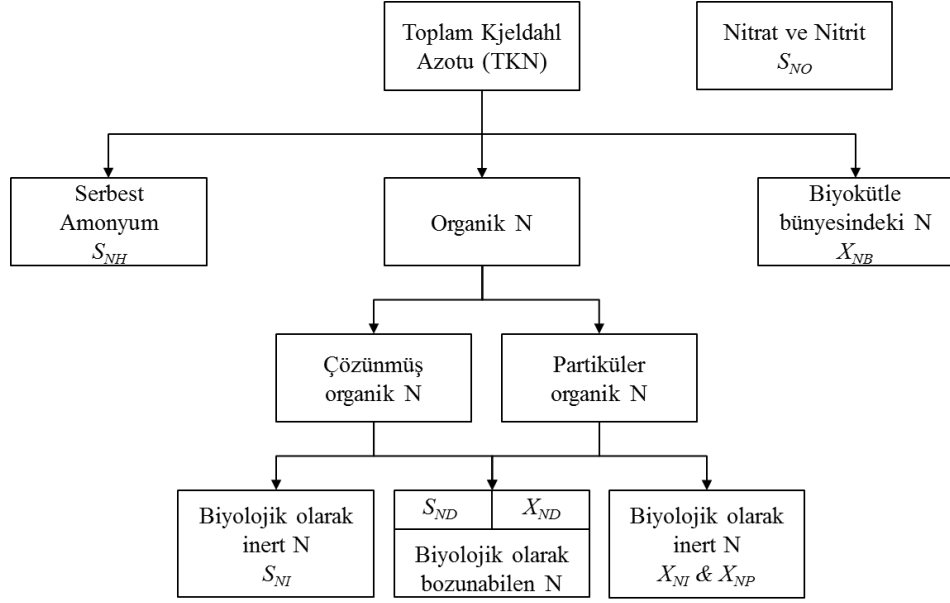
aerobik hidroliz prosesine tabi olmaktadır. Anoksik koşullar altında ise modelde değişen parametre elektron alıcısı olarak oksijen yerine nitratın kullanımındır.

Aktif çamur modeli 1'e göre KOİ model bileşenlerinin aerobik ve anoksik koşullar altında göstermiş olduğu dönüşümler Şekil 2.4 ile görülmektedir.



Şekil 2.4 : ASM1 modeline göre model bileşenlerinin (a) aerobik ve (b) anoksik koşullar altında dönüşümü.

ASM1 modeline göre atıksu içerisindeki azot bileşenleri Şekil 2.5 ile görülmektedir. Toplam Kjeldahl azotu (TKN) analizi ile belirlenen azot içeriği atıksudaki amonyum azotu (S_{NH}) ve organik azotun toplamını ifade etmektedir. Ayrıca, biyokütlenin yapısında bulunan azot da organik azot formundadır. Organik maddenin bileşenlerine benzer olarak organik azot da çözülmüş ve partiküler formlarda biyolojik olarak bozunabilir ya da inert olarak atıksu içerisinde bulunmaktadır. Biyolojik olarak bozunabilir partiküler organik azot (X_{ND}) ve biyolojik olarak bozunabilir çözülmüş organik azot (S_{ND}) bileşenleri ASM1 aktif çamur modelinde açık bir şekilde yer almaktadır. Model matrisinde biyokütlenin yapısında bulunan organik azot (X_{NB}) yalnızca biyokütle ölümü sonucunda biyolojik olarak bozunabilir organik azot oluşumu prosesinde yer almaktadır. Biyokütle ölümü sonucu oluşan biyolojik olarak inert partiküler organik ürünler (X_{NP}) ve inert organik partiküler azot (X_{NI}) model matrisinde tanımlanmasa da kolayca hesaplanabilmektedir. Amonyum azotunun nitrifikasyon prosesi ile nitrate azotuna (S_{NO}) dönüşümü modelde tek basamaklı bir proses olarak tanımlanmıştır.



Şekil 2.5 : ASM1 modeline göre azot bileşenleri

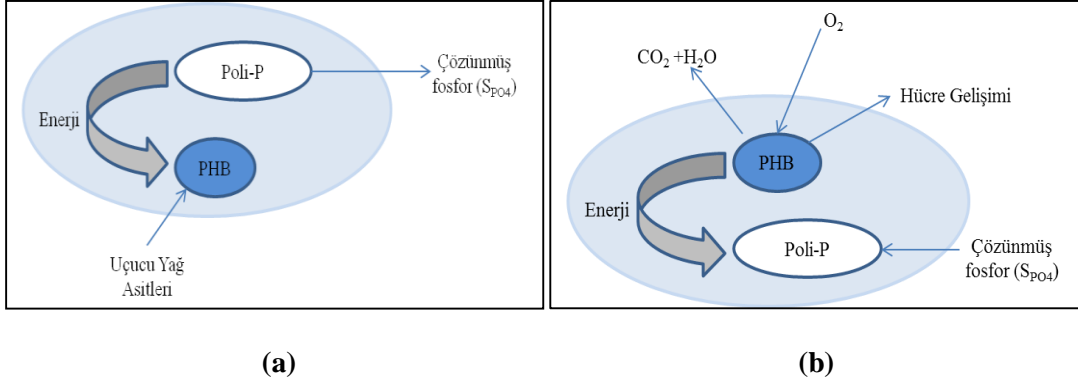
ASM1 modelinde tanımlanan diğer model bileşenleri çözülmüş oksijen konsantrasyonu (S_O) ve alkalinitedir (S_{alk}).

2.2.2 Aktif çamur modeli no.2

2 numaralı aktif çamur modeli ASM1 modelinin ileri fosfor giderim prosesinin dahil edildiği bir versiyonudur. 1995 yılında sunulmuştur. Modelde biyolojik karbon, azot ve fosfor giderim mekanizmaları kombine edilmiştir. Dolayısıyla, ASM1 modeline göre daha karmaşık ve atıksu karakterizasyonu ile biyolojik proseslerin açıklanabilmesi için daha fazla bileşene sahiptir. Bu modelin ilkinden önemli farkı biyokütlenin iç yapısının da göz önüne alınmasıdır. Modele dahil edilen ve fosforu bünyesinde depolayan polifosfat bakterileri (PAO), asetatı (S_A) uçucu yağ asitlerinin (VFA) ortamda bulunması ile polihidroksialkonat (X_{PHA}) olarak depolayabilmektedir (Henze ve diğ., 2000).

ASM2 modelinde PAO bakterileri anaerobik ortamda fosforu bünyelerinde poli-P ve PHA olarak formunda depolayabilmektedir. Ancak modele göre, bu bakteriler denitrifikasyon gerçekleştirememektedir. Büyümeleri için gerekli enerjiyi anaerobik ortamda bünyelerinde depoladıkları polifosfatların hidrolizi ile sağlamakta ve uçucu yağ asitlerini PHA olarak depolamaktadırlar. Polifosfat hidrolizi sonrasında ortama fosfor salınımı gerçekleşmektedir. PAO'ların fosfor depolamaları herhangi bir elektron alıcısı gerektirmemekte, ancak yalnızca asetat gibi fermentasyon ürünlerinin ortamda bulunması ile gerçekleşebilmektedir (Zuthi ve diğ., 2013). PAO

bakterileri aerobik ortamda ise PHA olarak depoladıkları enerjiyi kullanarak fosforu bünyelerinde tekrar almakta ve poli-P olarak depolayabilmektedir. ASM2 modeline göre anaerobik ve aerobik koşullar altında PAO bakterileri tarafından gerçekleştirilen fosfor giderim mekanizması şematik olarak Şekil 2.6 ile görülmektedir.

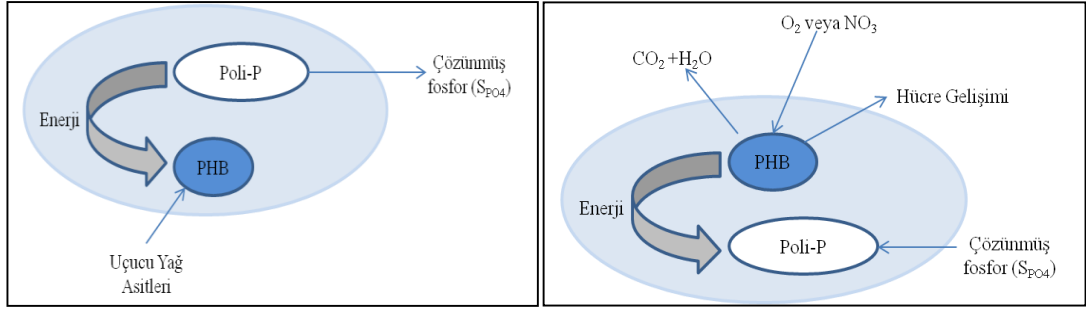


Şekil 2.6 : ASM2 modeline göre (a) anaerobik ve (b) aerobik koşullar altında fosfor giderim mekanizması.

ASM2 modelinde fosfor bileşenleri çözünmüş fosfor (S_P) ve partiküler fosfor (X_P) olarak tanımlanmaktadır. Partiküler formdaki fosfor aktif çamur sistemi içinde biyokütle ile floküle olmuş durumdadır. Çökme veya yoğunlaşma prosesleri ile sistemde konsantre hale getirilerek atılmaktadır. Çözünmüş formdaki fosfor ise atıksu ile birlikte aktif çamur sistemi içinde taşınmakta, biyokütlenin metabolik faaliyetlerine bağlı olarak hücre içine alınmakta ve biyokütlenin çökmesi sonrasında sistemden çıkmaktadır (Henze ve diğ, 2000).

2.2.3 Aktif çamur modeli no.2d

ASM2d modeli Aktif Çamur Modeli 2'nin geliştirilmiş bir versiyonudur. Modelin en önemli farkı fosfor gideriminde rol alan PAO bakterilerinin denitrifikasyon prosesindeki işlevinin de dikkate alınmasıdır. Dolayısıyla ASM2 modelinden farklı olarak PAO bakterileri denitrifikasyon yapabilmektedir. Modele göre PAO'lar hücre içinde depoladıkları organik maddeyi denitrifikasyon için kullanabilmektedir. ASM2 fosfor depolayabilen bakterilerin yalnızca aerobik ortamda çoğalabildiklerini esas alırken, ASM2d modeli denitrifikasyon yapabilen PAO bakterilerini de dikkate almaktadır (Henze ve diğ, 2000). Anoksik ortamda PAO bakterileri oksijen yerine nitratı kullanabilmekte ve PHA depolamaya devam edebilmektedir. ASM2d modeline göre farklı koşullar altında PAO bakterileri tarafından gerçekleştirilen fosfor giderim mekanizması şematik olarak Şekil 2.7 ile görülmektedir.

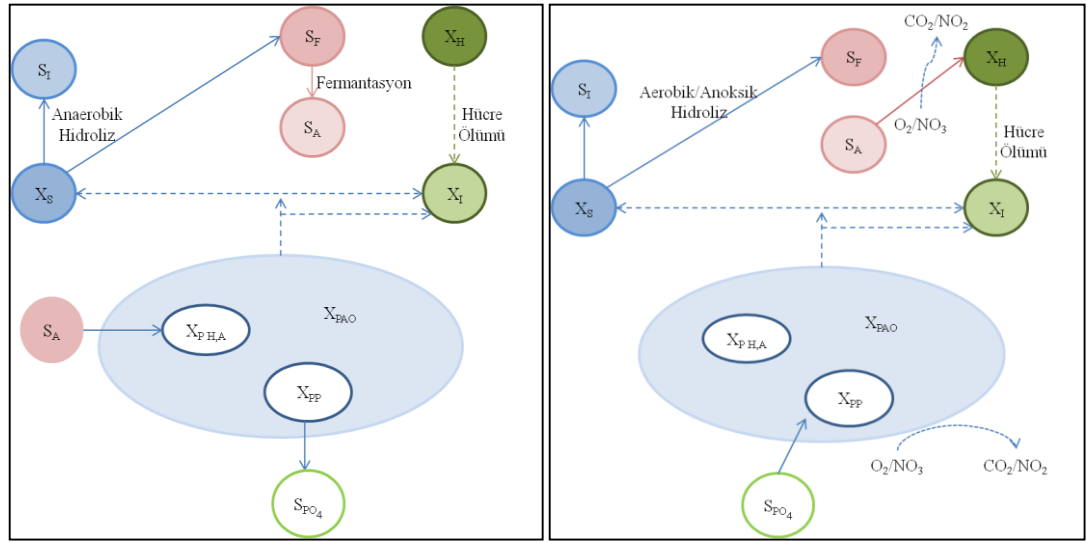


(a)

(b)

Şekil 2.7 : ASM2d modeline göre (a) anaerobik ve (b) aerobik/anoksik koşullar altında fosfor giderim mekanizması.

ASM2 modeline göre model bileşenlerinin aerobik ve anoksik koşullar altında göstermiş olduğu dönüşümler Şekil 2.8 ile görülmektedir.



(a)

(b)

Şekil 2.8 : ASM2d modeline göre model bileşenlerinin (a) anaerobik ve (b) anoksik/aerobik koşullar altında dönüşümü.

AMS2d modelinde biyolojik proseslerin yanısıra iki kimyasal proses de ilave edilmiştir. Böylelikle kimyasal fosfor çöktürme prosesinin modellenmesinde de kullanılabilir.

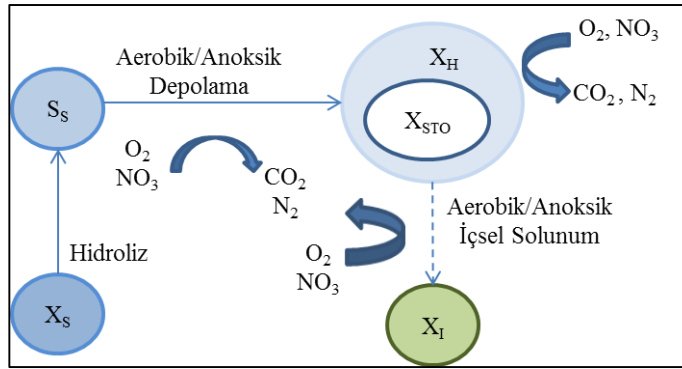
2.2.4 Aktif çamur modeli no.3

3 numaralı aktif çamur modeli ASM1 modelinin geliştirilmiş ve bazı eksikliklerinin tamamlandığı, 1999 yılında sunulan bir versiyonudur. ASM1 modelinde farklı olarak hücre içi depolama kavramı ASM3 modelinde dikkate alınmıştır. ASM1'e benzer olarak oksijen tüketimi ve çamur üretimi ile nitrifikasyon ve denitrifikasyon proseslerini ele almakta, karbon ve azotun aktif çamur sistemlerinde giderimini

içermektedir (Henze ve diğ, 2000). Ayrıca modelde ASM1'den farklı olarak bozunma prosesi içsel solunum mekanizması ile tanımlanmıştır. ASM2 ve ASM2d modellerinde yer alan fosfor giderim mekanizması, kimyasal çöktürme, filamentli organizmaların gelişimi ve pH hesaplamaları ASM3 modeline dahil edilmemiştir, fakat ilgili modüllerin eklenebilmesi söz konusudur.

ASM1 modelinde heterotrof ve ototrof biyokütlenin bozunma prosesleri birbiri ile yakından ilgili iken gerçekte bu iki prosesin birbirinden farklı gelişmesi ASM3 modelinde göz önünde bulundurulmuştur. ASM1 modelinde bu iki proses için farklı içsel solunum katsayıları belirtilmiştir. ASM3'de ise bu iki biyokütle grubu için tüm dönüşüm prosesleri açık bir şekilde ayrılmış ve bozunma prosesleri tamamen aynı ifadelerle tanımlanmıştır (Henze ve diğ, 2000).

ASM3 modelinin en önemli bileşeni olan hücre içi substrat depolama prosesi substrat depolama dönüşüm oranı (Y_{STO}) ile tanımlanmaktadır. Depolama dönüşüm oranı, proses içinde substratın stokiyometrik olarak hangi oranda hücre içi depolama ürünlerine dönüşebileceğini tanımlayan bir model bileşenidir (Karahana ve diğ, 2005). ASM3 modeline göre KOİ model bileşenlerinin aerobik ve anoksik koşullar altında göstermiş olduğu dönüşümler Şekil 2.9 ile görülmektedir.

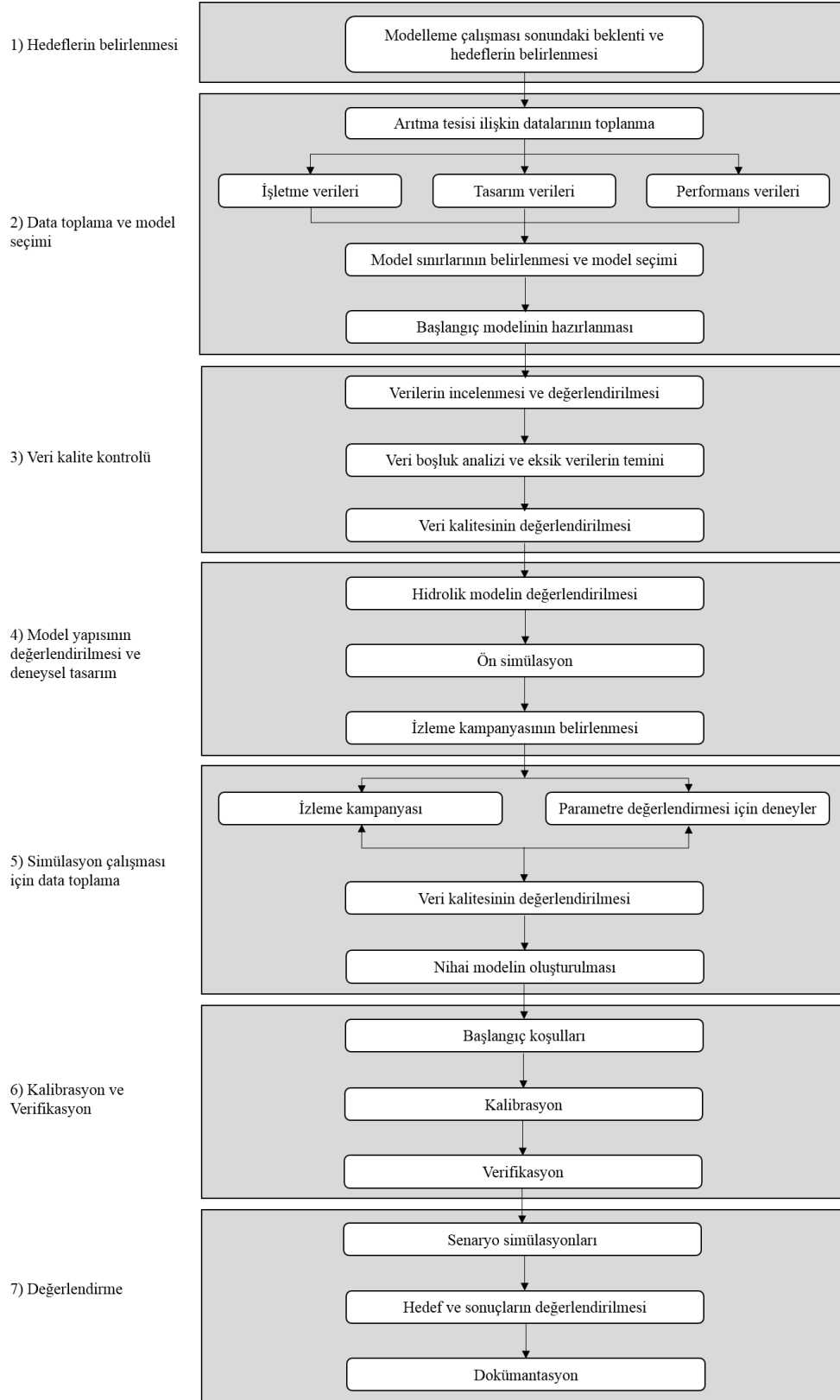


Şekil 2.9 : ASM3 modeline göre model bileşenlerinin anoksik ve aerobik koşullar altında dönüşümü (Henze ve diğ, 2000).

2.3 Modelleme ve Simülasyon Çalışmaları

Atıksu arıtma tesislerinin dinamik simülasyonu tesis optimizasyonu ve tesis davranışını incelemeye yönelik en etkin ve kullanımı kolay araçlardan biridir. Ancak model kullanımı ve simülasyon sonuçlarının doğruluğu veri miktarı, verilerin doğruluğu ve model kalibrasyonu ile yakından ilgilidir. Modelleme çalışmasında

kullanılması önerilen genel metodolojiye ait adımlar Şekil 2.10 ile gösterilmekte ve bu bölümde açıklanmaktadır.



Şekil 2.10 : Modelleme ve simülasyon çalışma adımları (Langergraber ve diğ, 2004).

Atıksu arıtma tesislerinin modellenmesi ve simülasyonu çalışmalarında öncelikle uygulama yapılacak arıtma tesisinin özelliklerinin ve ne amaçla simülasyon çalışmalarının yürütüleceğinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Tesiste enerji minimizasyonun sağlanması, deşarj kriterlerinin sağlanması, arıtma performansının artırılması gibi farklı hedefler, modelleme çalışmasının ileriki aşamalarında doğru ve anlamlı sonuçların alınabilmesi için önem taşımaktadır (Gernaey ve diğ, 2004).

Modelleme çalışması yapılan atıksu arıtma tesisine ait verilerin temini ve verilerin doğruluğu simülasyon çalışmaları en önemli adımlardandır. Tesise ilişkin tasarım verilerinin temini daha kolayken, tesis işletme ve performans verilerine ulaşmak modelleme çalışmalarında güçlük yaratmaktadır (Langergraber ve diğ, 2004). Model çalışmasına başlarken yapılan bu ön çalışmalar esnasında hazırlanan modelin sınırlarının belirlenmesi ve uygulama yapılacak tesisin hangi detayda modelleneceğinin belirlenmesi gerekmektedir. Tesise ait hangi ünitelerin ve kontrol ekipmanlarının modele yansıtılacağı çalışmanın amaçlarına bağlı olarak belirlenmeli ve modele eklenmelidir. Aktif çamur prosesine ilişkin olarak mümkün olduğunca basit ve temsil edici özellikli bir model ve alt model seçimi çalışmalarındaki en önemli kurallardan biridir. Tesisteki biyokimyasal dönüşüm ve bozunma proseslerini tanımlayan aktif çamur modelleri modelleme çalışmalarında alt model olarak kullanılabilir. Bunlardan en sık kullanılanlar IWA tarafından sunulan Aktif Çamur Modelleri'dir (Henze ve diğ, 2000). Prosesi tanımlayan modellerin yanı sıra son çökeltme tankı için çökeltme prosesinin de tanımlanması gerekmektedir. Çamur depolamayı dikkate almayan ve ideal katı sıvı ayrımını kabul eden oldukça basit çökeltme modelleri uygulanabilmektedir. Eğer yağmur yada tesis hidroliğini etkileyebilecek önemli dinamik olaylar söz konusu ise daha dinamik çökeltme modelleri uygulanabilmektedir (Takács ve diğ, 1991).

Modelleme çalışmaları öncesinde ilgili arıtma tesisine ilişkin verilerin kontrolü ve güvenilirliğinin doğrulanması gerekmektedir. İlk aşamada tesis datalarının debi, KOİ, toplam azot yada toplam fosfor gibi farklı parametreler için yapılan kütle dengesi hesaplamaları ile kontrol edilmesi gereklidir (Nowak ve diğ, 1999). Kütle dengesi hesapları arıtma tesisinin farklı ünitelerine ilişkin mevcut datanın kıyaslanabilmesi açısından da önem arz etmektedir. Atıksu arıtma tesisine ait günlük atıksu karakterizasyon değerlerinin doğruluğunun kontrolü için analiz çalışmalarını yürüten

laboratuvarın ölçüm hassasiyetinin bilinmesi ve kontrolünün yapılması tavsiye edilmektedir (Thomann ve diğ, 2002).

Tesis hidroliğinin de kontrol edilmesinin ardından oluşturulan modelin kararlı durum için ön simülasyon çalışmaları yürütülmelidir. Ön simülasyon sonuçlarına uygun olmadığı ya da güvenilirliğinin düşük olduğu düşünülen tesis datasının temin edilmesi ya da belirlenebilmesi için arıtma tesisinin ilgili noktalarında ve ilgili parametrelerine ilişkin analiz çalışmaları yürütülmelidir (Langergraber ve diğ, 2004). Analiz çalışmaları belirli bir periyot için düzenli olarak yapılmalı ve atıksu karakterizasyonunun yanı sıra gerekli ise respirometre deneyleri gibi parametre değerlendirme çalışmaları da yürütülmelidir (Roeleveld ve Loosdrecht, 2002). İzleme periyodu genel olarak kuru hava şartlarında yapılmalıdır.

İzleme periyodu sonunda elde edilen verilerin direkt olarak model girdisi olarak kullanımı tavsiye edilmemektedir. İzleme ve işletme verilerinin kalite kontrollerinin farklı parametreler için kütle dengesi ya da güvenilirlik analizleri ile teyit edilmeli ve sonrasında model kalibrasyonunda ve verifikasyonunda kullanılmalıdır (Meijer ve diğ, 2001).

Modelleme çalışmalarında biyolojik atıksu arıtımını tanımlayan matematiksel modellerin başarılı kullanımı ve simülasyonu için kalibrasyon yapılması gereklidir. Model kalibrasyonu model parametrelerin uygulama yapılan tam ölçekli atıksu arıtma tesisine ait kesin veri setine uygun şekilde tahmin edilmesi olarak tanımlanmaktadır (Gernaey ve diğ, 2004). Model kalibrasyonu için izlenen metodoloji çalışmanın amacına bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Atıksu arıtma tesisleri modelleme çalışmalarında izleme periyodunda sağlanan verilerle kalibrasyon yapılmalı ve arıtma tesisinin performansının modele aktarılması sağlanmalıdır. Kalibrasyon esnasında öncelikle model yapısı ve hidroliği, atıksu karakterizasyonu ve biyokinetik modele ait parametreler sırasıyla dikkate alınmalıdır (Langergraber ve diğ, 2004). Modele ait bileşenlerin birbirleri ile yakından ilgili olmaları, işletme verisi eksikliği yada yanlış verilerin model girdisi olarak kullanımı kalibrasyonun güçleşmesine neden olmaktadır.

Verifikasyon, kalibrasyonu tamamlanan modelin izleme periyodu haricindeki farklı işletme ve karakterizasyon verileri ile doğrulanması ve kontrolü işlemidir. Verifikasyon adımı farklı parametrelere ait modelde tahmin edilen sonuçların

gerçekte ölçülen farklı bir veri seti ile kıyaslanması ve kabul edilebilir düzeyde uyuşması amaçlanmaktadır (Liwerska ve Biernacki, 2010). Verifikasyonda kullanılan veri seti kalibrasyonda kullanılan izleme verilerinden çamur yaşı, sıcaklık ya da karakterizasyon gibi farklı durum koşullarını içermelidir (Langergraber ve diğ., 2004). Ancak, kalibrasyon ile belirlenen modele ilişkin kinetik ve stokiyometrik parametrelerin verifikasyon esnasında değiştirilmemesi ve bu şekilde model doğruluğunun kontrolünün yapılması gerekmektedir.

Kalibrasyon ve verifikasyonu tamamlanmış modellerde farklı senaryolar için simülasyonlar yapılabilir. Çalışma başlangıcındaki hedeflere bağlı olarak oluşturulan senaryolara göre simülasyonlar yapılarak sonuçları değerlendirilmelidir. Özellikle mevcut atıksu arıtma tesislerinin optimizasyonu amacıyla yapılan modelleme çalışmalarında farklı atıksu karakterizasyonu ve işletme parametreleri ile tesis davranışı değerlendirileceğinden, kalibrasyon ve verifikasyon sonrasında çalışma amacına uygun farklı senaryoların oluşturulması ve simülasyonların tamamlanması önem taşımaktadır (Langergraber ve diğ., 2004). Simülasyon sonuçlarına göre en uygun arıtma performansının sağlandığı işletme koşullarının ve gerekli revizyon çalışmalarının gerçek tesiste uygulanması sağlanabilecektir.

2.4 Atıksu Arıtma Tesislerinin Modellenmesi

Hızla gelişen bilgi teknolojileri ile çevresel kirlenme kontrolü alanında birçok informatik metot geliştirilmektedir. Çevresel problemlerin daha verimli çözülebilmesi için araştırmacılar bu problemlerin simülasyon yoluyla tasarım ve proses kontrolü optimizasyonuna odaklanmışlardır (Zhang ve diğ., 2009).

Matematik modeller atıksu arıtma sistemlerinin tasarımı ve optimum koşullarda işletilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Model programlarının kullanımı ilk aşamada, arıtma tesisinden elde edilen verilerle yürütülen model kalibrasyonu ile tesisin dinamik giriş ve çevresel koşullar altındaki davranışının incelenebilmesini hedeflemelidir (Sözen ve diğ., 2009).

Oluşturulan model ele alınan sistemin işletme koşullarına uygun olarak kalibre edildikten sonra arıtma tesisinin optimizasyonu, çıkış standartlarının sağlanması, işletme maliyetinin azaltılması, uygun kontrol stratejilerinin geliştirilmesi ve arıtma

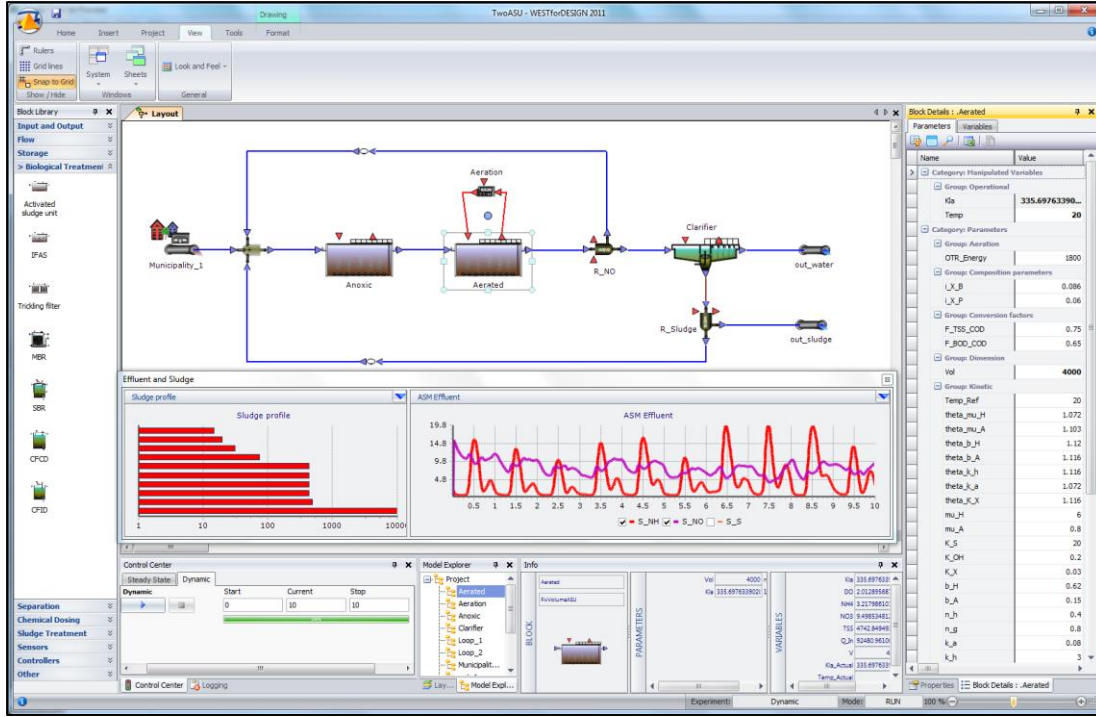
prosesinin ve sistem davranışının kavranabilmesi amaçlarıyla kullanılabilir (Langergraber ve diğ, 2004).

Model programları aracılığıyla yapılan simülasyonlar, farklı çevresel ve işletme koşulları altında arıtma tesisinin performansını gösterebilmektedir. Arıtma tesisinin etkin kullanımı ve arıtma performansının artırılmasına yönelik olarak uygulanabilecek farklı kontrol konfigürasyonlarını belirlemeye yardımcı olmaktadır. Söz konusu simülasyonlar ticari yazılımlar kullanılarak yada aktif çamur proses modelinin Matlab/Simulink ve ACL gibi genel amaçlı simülatörler vasıtasıyla bilgisayar ortamına aktarılması ile gerçekleştirilebilmektedir (Mulas, 2006). Bunun yanısıra, Fortran veya C++ gibi program dillerinde manuel olarak program yazımı mümkündür (Vanhooren ve diğ, 2003).

Aktif çamur sistemlerinin etkin olarak proses tasarımı ve kontrolünde kullanılabilmesi için kompleks yapıdaki biyolojik reaksiyonların denge ve dinamik koşullar altında davranışının anlaşılması gerekmektedir. Bunun için günümüzde karbon, azot ve fosfor giderimi yapan aktif çamur tesislerinin tasarımı, işletilmesi ve kontrolünde aktif çamur modelleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu bölümde arıtma tesislerinin bilgisayar ortamında modellenmesinde yaygın olarak kullanılan ticari simülasyon yazılımları ve içerikleri hakkında bilgi verilmektedir.

2.4.1 WEST

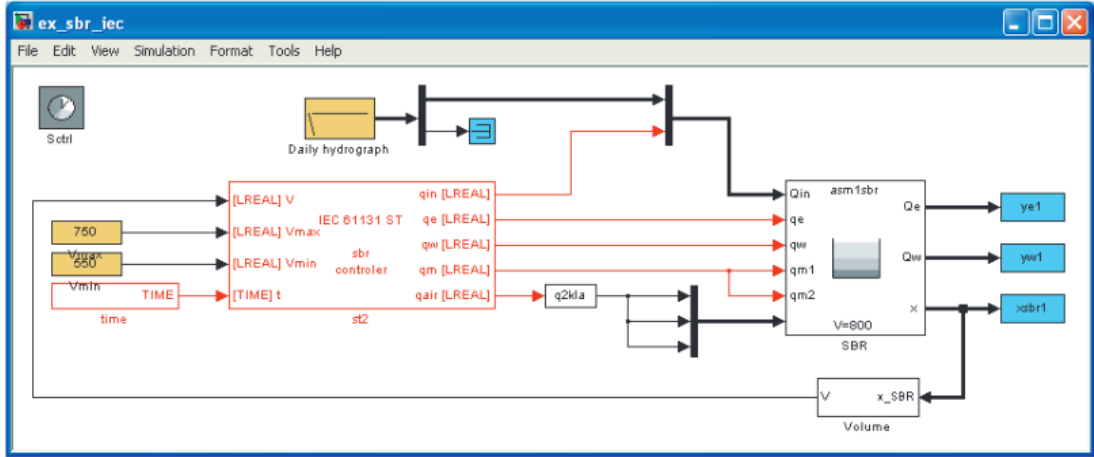
WEST (Wastewater treatment plant Engines for Simulation and Training) arıtma tesislerinin modellenmesi ve simülasyonunda kullanılan yazılımlardan biridir. Kullanıcıya yazılım içinde yer alan aktif çamur modelinin kullanımı yada model spesifik dili ile kendi modellerini oluşturma fırsatını vermektedir (Vanhooren ve diğ, 2003). Model programında yer alan aktif çamur modeli yalnızca ASM1 modelidir. Tüm ticari yazılımlar olduğu gibi diferansiyel cebirsel denklemlerle tanımlanmış bir yapıya sahiptir. Fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma proseslerinin modellenmesi mümkündür (DHI, 2014). Model programının ara yüzüne ait bir örnek Şekil 2.11 ile görülmektedir.



Şekil 2.11 : WEST model programı kullanıcı ara yüzü (DHI, 2014).

2.4.2 SIMBA

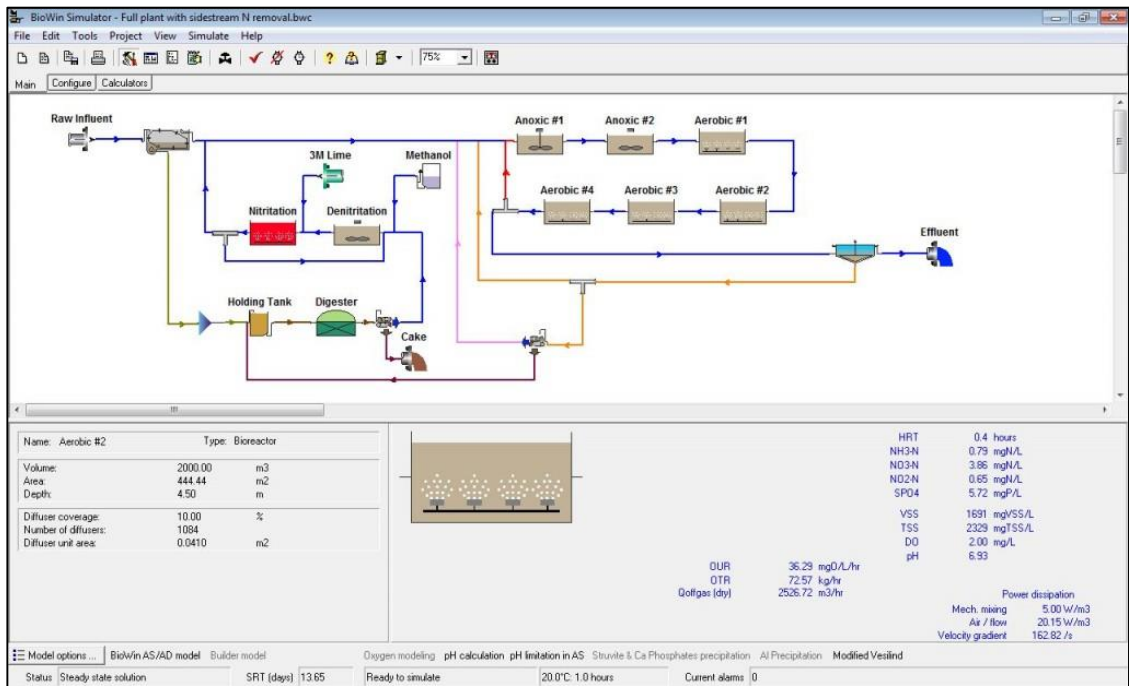
SIMBA model oluşturma ve biyolojik atıksu arıtma proseslerinin dinamik simülasyonuna yönelik oluşturulmuş çok yönlü bir yazılımdır. Arıtma tesisine ait hidrografların ve kirlilik yükü değişimine ilişkin hesaplamalar ve grafik gösterimleri model çıktılarından bazılarıdır. Farklı senaryo ve arıtma proseslerinde gerçek tesis datasına erişim olmaksızın dinamik simülasyon gerçekleştirilebilmekte ve arıtma performansı değerlendirilebilmektedir. ASM1, ASM2/2d ve ASM3 modellerinin tümü program kütüphanesinde yer almaktadır. Ayrıca bu modellerin farklı arıtma proseslerine uygun olarak geliştirilmiş versiyonları da program içeriğinde yer almaktadır. Diğer ticari model programlarından farklı olarak arıtma tesisinin yanı sıra kanalizasyon sistemleri ve alıcı su ortamlarının modellenmesi de SIMBA ile gerçekleştirilebilmektedir (İfak, 2014). Ancak, program Matlab/Simulink yazılımı ile birlikte çalışabilmektedir (Schütze ve diğ., 2002). Bu durumda diğer programlara göre kullanıcı için güçlük yaratmakta ve program maliyetini artırmaktadır. Model programının ara yüzüne ait bir örnek Şekil 2.12 ile görülmektedir.



Şekil 2.12 : SIMBA model programı kullanıcı ara yüzü (ifak, 2014).

2.4.3 BIOWIN

BioWin biyolojik, kimyasal ve fiziksel proseslerin birlikte ele alabilen bir atıksu arıtma proses simülatörü olarak geliştirilmiştir. Kullanıcı dostu ara yüzü arıtma tesisi tasarımı, geliştirilmesi ve optimizasyonunda yaygın olarak kullanımına katkı sağlamaktadır. Aktif çamur prosesi modellenirken ASM1 ve ASM3 aktif çamur modelleri program kütüphanesinde bulunmaktadır. Su kimyası modelleri, kütle transferi modelleri ve farklı gaz-sıvı etkileşim modellerini de içermektedir (EnviroSim, 2014). Model programının ara yüzüne ait bir örnek Şekil 2.13 ile görülmektedir.

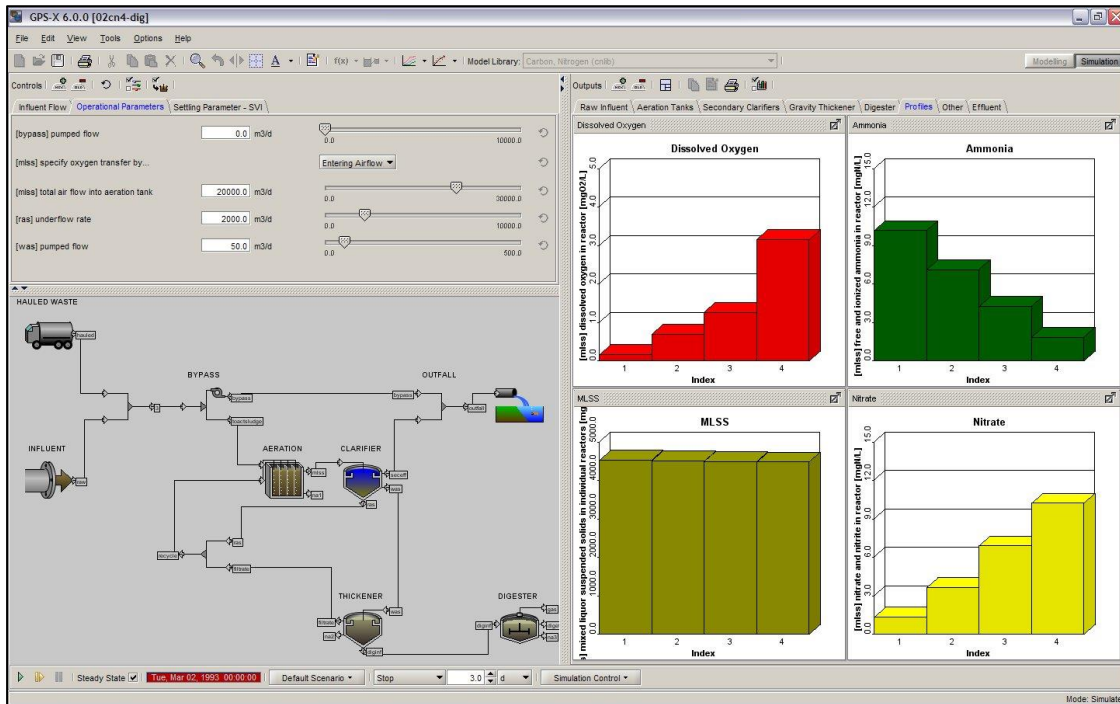


Şekil 2.13 : BioWin model programı kullanıcı ara yüzü (EnviroSim, 2014).

2.4.4 GPS-X

GPS-X model programı; matematik modellemeler ve simülasyon özellikleri ile atıksu arıtma tesisi işletme stratejisinin belirlenmesinde kullanılan bir yazılım programıdır. Farklı senaryolara ait simülasyon sonuçlarının değerlendirilmesi ile tesis optimum işletme maliyeti ile istenen deşarj standartlarını sağlayabilir duruma getirilebilmektedir (Hydromantis, 2014). Programda hali hazırda konfigüre edilmiş modeller veya sürükle- bırak çizim paneli kullanımı ile gerçek değerler girilerek hızlı bir şekilde atıksu arıtma tesisi modeli oluşturulabilmektedir. ASM1, ASM2/2d, ASM3'ün yanısıra program üretici tarafından geliştirilmiş olan Mantis aktif çamur modeli program kütüphanesinde yer almaktadır (EK-A). Programın önemli kazanımlarından biri, otomatik olarak hesaplanan anahtar performans göstergeleriyle performans ölçümü yapılabilmesidir. Ayrıca, zaman ya da kaynaklar riske edilmeden “What-If” senaryoları ile gerekli çalışmalar gerçekleştirilebilmektedir.

Model programının ara yüzüne ait bir örnek Şekil 2.14 ile görülmektedir.



Şekil 2.14 : GPS-X model programı kullanıcı ara yüzü (Hydromantis, 2014).

3. TESİSE İLİŞKİN BİLGİLER

Tez çalışması kapsamındaki modelleme çalışması tekstil sektöründe faaliyet gösteren ve deşarj standartları açısından iyileştirmeye ihtiyaç duyan bir atıksu arıtma tesisinin işletme bilgileri ile gerçekleştirilmiştir. Tesis Tekirdağ ili Murat ilçesine bağlı Kurudere Mevkiinde 2007 yılından beri faaliyet göstermektedir. Söz konusu tesis, iki yıl içerisinde kurulması planlanan Muratlı OSB içerisinde yer almaktadır. Tesiste mevcut durumda 430 kişi çalışmakta ve 3 vardiya olarak üretim yapılmaktadır.

Atıksu arıtma tesisi genel olarak mevzuat kapsamında sağlaması gereken deşarj standartlarını sağlamakla beraber, zaman zaman KOİ ve TKN parametreleri bakımından zorluk yaşanmaktadır. Lokasyon olarak İstanbul'a yakın olduğu ve ülkemizde yaygın olarak faaliyet gösteren bir sektöre ait olduğu için çalışma kapsamında uygulama örneği olarak tasarım ve işletme verilerinin kullanımı tercih edilmiştir.

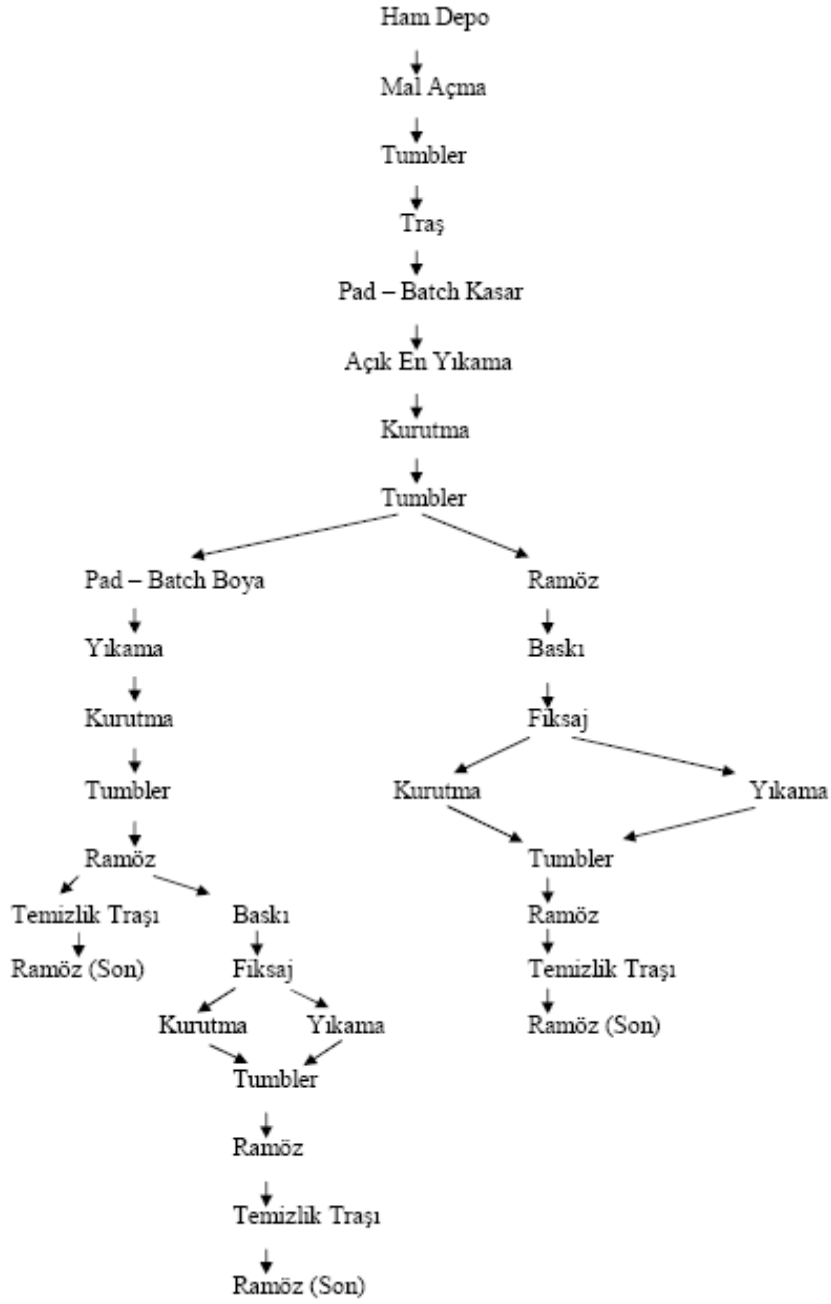
3.1 Üretim Prosesi ve Genel Bilgiler

Tesis hazır kumaş boyama ve baskı konusunda hizmet vermekte ve tekstil son işlemleri gerçekleştirmektedir. Fason olarak üretim yapan tesis ürettiği ürünleri ihracatçı firmalara, yurt dışı ve talep halinde yurtiçi firmalara satmaktadır. Fabrikada ana işlem olarak boyama, baskı ve pad – batch işlemi yapılmaktadır. Ürünlerin kasarı, boyanması, kurutulması ve müşteri isteği doğrultusunda diğer son işlemlerinin yapılması üretim adımları içerisinde yer almaktadır.

İşletmeye fason olarak gelen kumaşlar boyanıp terbiye işlemleri yapılarak müşteriye sevk edilmektedir.

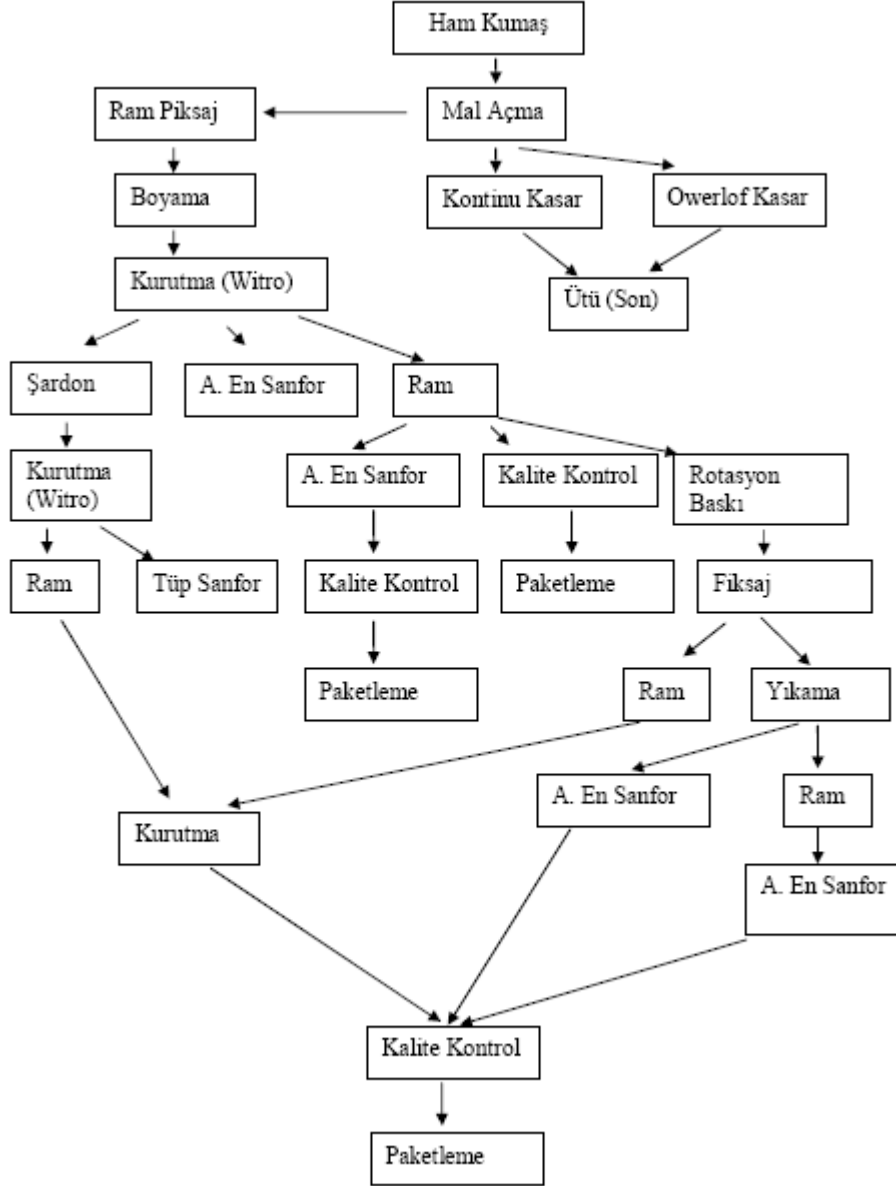
İşletmede uygulanan üretim yöntemleri ve kullanılan teknolojiler hakkındaki detaylı bilgiler ve iş akım şemaları bu bölümde sunulmaktadır. Fabrikada müşteri talebine bağlı olarak farklı ürünlere farklı boyama ve baskı işlemleri uygulanmakta, genel olarak farklı tür ve kalitelere düz kumaş, nevresim, havlu ve giysi kumaşlarının boyama işlemi gerçekleştirilmektedir.

Tesiste havlu kumaşlar için uygulanan pad-batch boyama ve baskı faaliyetlerine ilişkin üretim akış şeması Şekil 3.1 ile görülmektedir.



Şekil 3.1 : Pad-batch boyama ve baskı işlemleri üretim akış şeması.

Tesiste diğer türlerde kumaşlara uygulanabilen kasarılama, boyama ve baskı faaliyetlerine ilişkin üretim akış şeması Şekil 3.2 ile görülmektedir.



Şekil 3.2 : Kasarlama, boyama ve baskı işlemleri üretim akış şeması.

Tesiste uygulanan proses adımları ve açıklamaları bu bölümde sunulmaktadır.

Mal Açma: İşleme zamanı gelen hammadde depodan alınarak mal açma bölümüne getirilmektedir. Boyama veya overflowda kasar işlemi gerçekleştirilecek ise hammadde partisi gözlere eşit olarak dağıtılmaktadır. Kontinü kasar yapılacak ise toplar uç uca dikilmektedir. Mal açma esnasında ham kumaştan kaynaklanacak hatalar da kontrol edilmektedir.

Overflow Kasar: Overflow kasar makinesinde; kasar ağartma optik işlemi birlikte gerçekleştirilmektedir. Kasar işleminde hidrojen peroksit ile kumaşın üzerindeki yağlar sabunlaştırılarak uzaklaştırılmakta ve böylece kumaşa hidrofik bir yapı

kazandırılmaktadır. Tesiste yer alan overflow kasar üniteleri Şekil 3.3 ile görülmektedir.



Şekil 3.3 : Kasarlama ünitelerinin fotoğrafı.

Kontinü Kasar: Kontinü kasar makinesinde kasar ve ağartma işlemi yapılmaktadır. İşlemin esası overflow ile aynıdır. Ancak burada işlem daha kısa sürede gerçekleştirilmektedir.

Balon Sıkma: Overflow kasar makinesinden gelen beyaz kumaşlar ve tüp halde işlem göreceğ boyalı kumaşlar, balon sıkma makinesinde mevcut iki adet silindir arasından geçirilmekte ve kumaş yüzeyindeki su miktarı azaltılmaktadır.

Boyama: Ağartma işlemi sonrasında kumaşta kalan peroksit artıkları katalaz enzimi yardımı ile kumaştan uzaklaştırılmakta, daha sonra istenen nüansa uygun boyama işlemi gerçekleştirilmektedir. Boyama işlemi sonrasında fikse olmamış yani kumaşa bağlanmamış boyar maddelerin uzaklaştırılması için yıkama yapılmaktadır.

Pad-Batch (Fulard) Boyama: Pad-Batch ünitesi bir tekne ve iki hassas sıkma silindirinden oluşmaktadır. Burada dokuma kumaşların haşıl sökme işlemi, örme kumaşların ise kasar ağartma ve boyama işlemleri gerçekleştirilmektedir. Haşıl sökme işleminin amacı, çözgü iplikleri üzerindeki haşıl maddelerini uzaklaştırmaktır. Haşıl maddeler kumaşa sert bir tutum verdiği ve kumaşın hidrofilik özelliğini azalttığı için giderilmektedir. Fabrikada bulunan Pad-Batch ünitesi Şekil 3.4 ile görülmektedir.



Şekil 3.4 : Pad-Bach ünitelerinin fotoğrafı.

Ramöz: Boyama işlemi gerçekleşen açık renk kumaşların müşteri istekleri doğrultusunda en gramaj çekmezlik oranlarının sabitlendiği, tuşe efektinin sağlandığı, fiske işleminin gerçekleştiği işlemdir.

Yıkama: Kasar ağartma ve boya işlemleri sonucunda kumaş üzerinde bulunan elyaf, yağ, vaks, renk pigmentleri ve fikse olmamış boyar madde gibi yabancı maddeler yıkanmak sureti ile kumaştan uzaklaştırılmaktadır. Yıkama üniteleri Şekil 3.5 ile görülmektedir.



Şekil 3.5 : Yıkama ünitelerinin fotoğrafı.

Sanfor: Açık renk kumaşların çekmezlik ayarlarının yapıldığı bölümdür.

Yaş kesme: Tüp kumaşların mayalarından veya dikişlerinden kesilmek sureti ile eninin açıldığı ve aynı zamanda yüzeyindeki fazla suyun sıkılarak ön kurutma işleminin gerçekleştiği işlemdir.

Kurutma: Kumaşların kurutma işleminin yapıldığı makinelerdir. Ürünlere kurutma hızı ve çıkış nem yüzdesi % 8 olacak şekilde kurutma yapılmaktadır.

Şardon: Müşteri istekleri doğrultusunda, kumaş yüzeyinin şardon teli adı verilen kancalı teller vasıtası ile tüylendirildiği bölümdür. Genelde penye türündeki giysi

üretiminde kullanılan kumaşlara uygulanmaktadır. Tesiste yer alan şardon ünitesi Şekil 3.6 ile görülmektedir.



Şekil 3.6 : Şardon ünitesi fotoğrafı.

Zımpara: Kumaşın zımpara kağıtları vasıtası ile tüylendirerek süet efekti kazandırıldığı bölümdür.

Tumpler İşlemi: Tumpler makinesi yoğun bir hava sirkülasyonu ve çarpma kuvvetinin etkisi ile kumaşın yüzeyinde hav tabir edilen ilmeklerin kumaş yüzeyine çıkarılmasını ve hav yüksekliklerinin eşitlenmesini sağlamaktadır. Tesiste bulunan tumpler ünitesi Şekil 3.7 ile görülmektedir.



Şekil 3.7 : Tumpler ünitesi fotoğrafı.

Traşlama: Kumaş yüzeyindeki havları kesmek sureti ile tüy efektinin ayarlandığı bölümdür.

Rotasyon Baskı: Rotasyon baskı ünitesinde hazırlanan baskı patları ile farklı şablonlar kullanılarak rakle yardımı ile şablonun üzerindeki desen mümkün mertebe kumaş üzerine aktarılmakta ve desen oluşturulmaktadır. Daha sonra desenin mekanik etkiler ile bozunmasını engellemek amacı ile kumaş kurutulmaktadır. Tesiste yer alan rotasyon baskı üniteleri Şekil 3.8 ile görülmektedir.



Şekil 3.8 : Rotasyon baskı ünitelerinin fotoğrafı.

Baskı Fiksaj: Baskı işlemi ile aktarılan boyar maddenin kumaşta kalıcı olması için bu işlem uygulanmaktadır. Reaktif baskının fiksajı buharlı ortamda yapılırken, pigment baskının fiksajı sıcak hava ortamında gerçekleştirilmektedir. Reaktif baskıda buharın yaptığı görev yüzeyde basılmış olarak bulunan boyar maddenin mikro bölgesel boyama işlemi ile kumaşa nüfuz etmesi sağlanmaktadır. Pigment baskıda kuru havanın yaptığı işlev ise boyar madde ile kumaş arasında bağ oluşturan makro moleküler yapıdaki binder tabakasının polimerizasyon reaksiyonuna sokulmasıdır.

Dijital Baskı: Tesise son dönemde temin edilen dijital baskı makinesi ile istenilen desen baskı veya renk boyama işlemi gerçekleştirilebilmektedir. Geleneksel baskı yöntemlerine oranla daha hızlı, çözünürlüğü yüksek ve tüm son işlemler (renk sabitleme ve kurutma dahil) makine içinde gerçekleştirilebilmektedir. Dijital baskıda herhangi bir atık yada atıksu oluşumu söz konusu değildir. Bu avantajları nedeniyle dijital baskı son dönemde Türkiye tekstil sektöründe gelişim göstermekte ve pazar payını artırmaktadır. Tesiste yer alan dijital baskı ünitesi Şekil 3.9 ile görülmektedir.



Şekil 3.9 : Dijital baskı ünitesi fotoğrafı.

Ütü işlemi: Buhar ve sıcak silindir ile kumaşın istenen forma getirilmesi ve yüzey düzgünlüğünün sağlanması işlemidir. Boyama, yıkama ve kurutma işlemi gerçekleştirilmiş son ürüne uygulanmaktadır.

Katlama işlemi: Dağınık haldeki kumaşların istenilen genişlikte katlanması işlemidir.

Paketleme: Kontrol işlemi tamamlanan kumaşlar paketlenip sevke hazır hale getirilmektedir. Tesiste boyama işlemi tamamlanmış ve paketlenmiş son ürünler Şekil 3.10 ile görülmektedir.



Şekil 3.10 : Paketleme ünitesi fotoğrafı.

3.2 Su Tüketimi

Tesiste işletmedeki faaliyet ünitelerinde kullanılan su, personelin içme ve kullanma suyu ihtiyacı faaliyet alanında ve faaliyet alanı yakınında bulunan kuyulardan karşılanmaktadır. Kuyulardan elde edilen sular, tam otomatik tandem su yumuşatma sisteminden geçirilerek kullanılmaktadır.

Faaliyet alanında mevcut tesislerde kullanılan ve ilave edilecek tesislerde kullanılacak suları karşılamak amacıyla 5 adet kuyu bulunmaktadır. Beş adet kuyunun bir tanesi fabrika sahasında, bir tanesi fabrikanın sahasına sınır olan arazide ve diğer üç tanesi fabrika sahasının dışında bulunmaktadır. Faaliyet sahasının dışında bulunan kuyulardan alınacak sular kurulan şebeke hattı ile fabrikaya ulaştırılmaktadır. Beş adet kuyu için alınmış olan yeraltı suyu kullanma belgesinde X1-A.Te. 06-54 kayıt nolu kuyudan çekilecek su miktarı $1.110 \text{ m}^3/\text{gün}$, X1-A.Te. 06-55 kayıt nolu kuyudan çekilecek su miktarı $600 \text{ m}^3/\text{gün}$, X1-A.Te. 06-59 kayıt nolu kuyudan çekilecek su miktarı $1.600 \text{ m}^3/\text{gün}$, X1-A.Te. 06-60 kayıt nolu kuyudan çekilecek su miktarı $1.600 \text{ m}^3/\text{gün}$ ve X1-A.Te. 06-61 kayıt nolu kuyudan çekilecek su miktarı $1.600 \text{ m}^3/\text{gün}$ 'dür. Kuyulardan çekilebilecek toplam su miktarı $6.500 \text{ m}^3/\text{gün}$ 'dür.

Faaliyet alanında bulunan mevcut tesislerde kullanılan ve ilave edilecek tesislerde kullanılacak toplam su miktarı günlük 3.500 ile 4.500 m^3 arasında değişmektedir.

Tesiste üretim prosesi ve su kullanımı müşteri talebine göre şekillenen üretim faaliyetleri nedeniyle değişiklik gösterebilmektedir. Üretimde genel olarak boyama ve baskı öncesi kasarılama ve yıkama ile boyama ve baskı sonrası yıkama işlemleri esnasında su ihtiyacı söz konusudur. Ayrıca, tesis içi yıkama suları ve personel su ihtiyacı da temin edilen su miktarını etkilemektedir.

3.3 Atıksu Arıtma Tesisi Konfigürasyonu ve Üniteleri

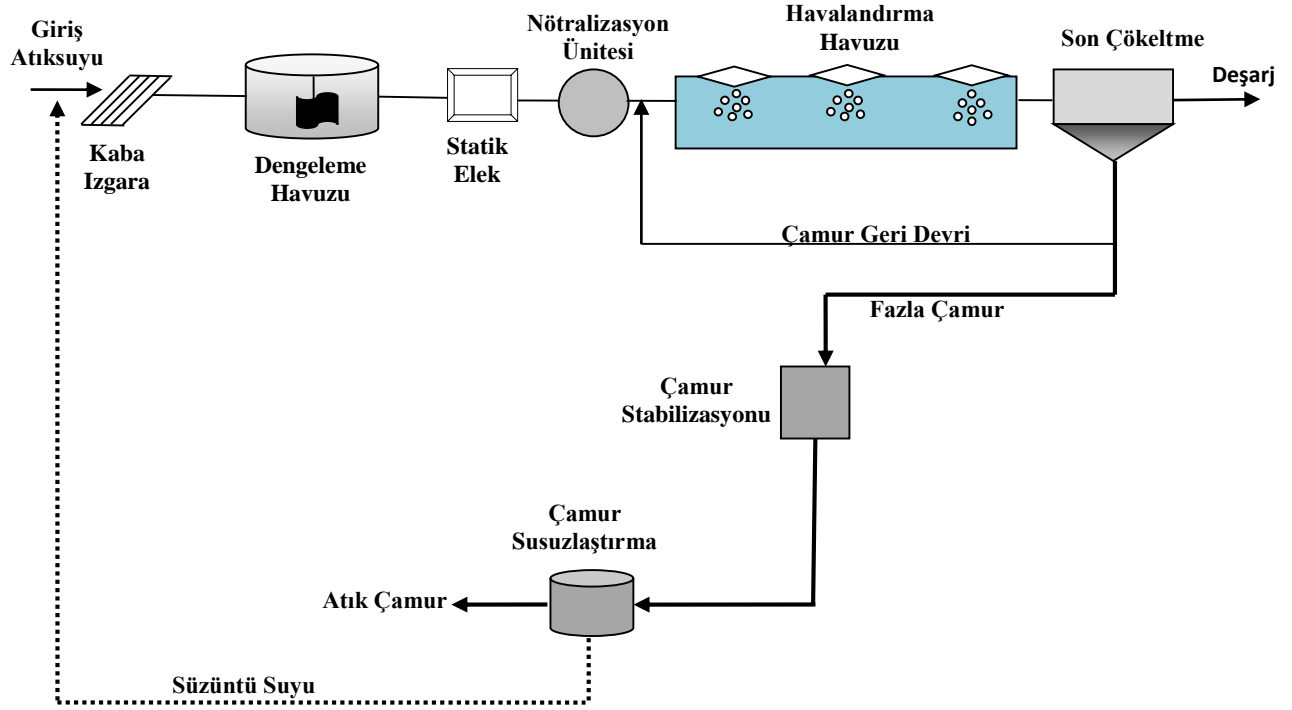
Fabrikada gerçekleşen üretim faaliyetleri sonucu oluşan endüstriyel nitelikli ve personel su tüketimine bağlı oluşan evsel nitelikli atıksuların tümü tesise ait atıksu arıtma tesisine iletilerek arıtılmaktadır. Tesis tasarımı 4.500 m³/gün atıksu debisine göre yapılmış olup, karbon giderimi yapan uzun havalandırılmalı aktif çamur sistemine göre dizayn edilmiştir. Arıtılan atıksu tesis yakınından geçen Kurudere'ye deşarj edilmektedir.

Tesis tasarımında esas alınan giriş atıksu karakterizasyonu Çizelge 3.1 ile görülmektedir. Konsantrasyon değerleri tesis giriş atıksuyunda yapılan analizler sonucunda belirlenmiştir.

Çizelge 3.1: Tasarımda esas alınan giriş atıksu karakterizasyonu.

Parametre	Konsantrasyon (mg/L)
Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ ₅)	210
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)	980
Askıda katı madde (AKM)	110
Serbest klor	2,29
Amonyum azotu (NH ₄ -N)	3,06
Toplam krom	0,516
Sülfür	0,022
Sülfid	0,52
Fenol	0,26
pH	10,7

Atıksu arıtma tesisinde fiziksel, biyolojik ve kimyasal olmak üzere üç kademeli bir arıtma uygulanabilecek şekilde tasarım ve inşaa yapılmış olup, mevcut durumda kimyasal arıtma üniteleri kullanılmamaktadır. Tesiste kullanılan arıtma ünitelerini gösteren akım şeması Şekil 3.11 ile görülmektedir.



Şekil 3.11 : Pilot atıksu arıtma tesisi akım şeması.

3.3.1.1 Fiziksel arıtma üniteleri

Tesiste biyolojik arıtma öncesi yer alan fiziksel ön arıtma üniteleri kaba ızgaralar, statik elek, dengeleme havuzu ve nötralizasyon üniteleridir. Bu ünitelerde atıksuyun biyolojik arıtmaya uygun hale getirilmesi ve biyolojik arıtma performansını etkileyecek kirlenici parametrelerin giderilmesi sağlanmaktadır.

Tesiste giriş atıksuyu öncelikle kaba ızgaralardan geçirilmektedir. Böylelikle arıtma tesisinin diğer ünitelerine ve arıtma prosesine zarar verebilecek kaba maddelerin tutulması sağlanmaktadır. 2 adet 70x160 cm'lik 1,5 metre derinliğinde ızgara kanalında, 2 adet 1 cm aralıklı ve manuel temizlenen kaba ızgara kullanılmaktadır. Kaba ızgara üniteleri Şekil 3.12 ile görülmektedir.



Şekil 3.12 : Kaba ızgara üniteleri fotoğrafı.

Daha sonra atıksu debisindeki salınımları dengelemek ve kirletici parametrelerdeki değişimi minimuma indirmek için blower ve difüzör sistemi ile havalandırılarak karışımın sağlandığı dengeleme havuzuna aktarılmaktadır. Dengeleme havuzunun net hacmi 500 m³ olup, boyutları 11x11x4,5 m'dir. Dengeleme tankındaki bekletme süresi 2-2,5 saattir. Dengeleme havuzu Şekil 3.13 ile görülmektedir.



Şekil 3.13 : Dengeleme havuzu fotoğrafı.

Dengeleme sonrası atıksular statik eleklerden geçirilerek nötralizasyon havuzuna iletilmektedir. 0,5 mm aralıklı eleklerde atıksu içerisindeki ince maddeler ve elyaf tutularak ön arıtımı sağlanmaktadır. 4 adet statik elek kullanılmaktadır. Statik elek üniteleri Şekil 3.14 ile görülmektedir.



Şekil 3.14 : Statik elek üniteleri fotoğrafı.

Tesis giriş atıksuyu pH değeri 10-11 civarında değişmektedir. Biyolojik arıtma öncesinde nötralizasyon havuzunda sülfürik asit kullanılarak atıksu pH'ı 6.5 değerine getirilmektedir. Nötralizasyon havuzu 64 m³ hacminde 4x4x4,5 m. boyutlarındadır. Bekletme süresi 20 dakikadır. Nötralizasyon ünitesi Şekil 3.15 ile görülmektedir.



Şekil 3.15 : Nötralizasyon ünitesi fotoğrafı.

3.3.1.2 Biyolojik arıtma üniteleri

Pilot atıksu arıtma tesisinde biyolojik arıtma havalandırma havuzunda gerçekleşmektedir. Nötralizasyon ünitesinde pH ayarlaması yapılan atıksu tesiste yer alan 1 adet havalandırma havuzuna iletilmektedir. Havalandırma havuzu karbon giderimine yönelik tam karışimli reaktör olarak tasarlanmıştır ve dikdörtgen biçimindedir. Tesis uzun havalandırmalı aktif çamur sistemi ile işletilmektedir.

Havuz üzerinde yer alan 3 adet yüzeysel havalandırıcıyla sisteme oksijen sağlanmaktadır. Havalandırıcılar sıra ile teker teker 8 saat süre ile çalıştırılmakta, hem havalandırma hemde havuz içindeki karışım sağlanmaktadır. Havalandırma tankının net hacmi 4.750 m³'dür. Tasarımda esas alınan bekleme süresi 24 saat olup, atıksu debisine bağlı olarak işletmede 26 saate kadar çıkmaktadır. Havuz boyutları 19x50x5 m olup, tanktaki su yükseliği 4,5 metredir. Havuzun orta kısmında yer alan bir adet oksijenmetre ile tek bir noktada çözülmüş oksijen kontrolü yapılmaktadır. Sistemdeki çamur yaşı yaklaşık 30 gün olup, çamur atma işlemi tekstil endüstrisi atıksu arıtma tesislerine benzer olarak çok sık yapılmamaktadır. Havalandırma tankında biyokütle konsantrasyonu 2000 ile 2500 mg/L arasında değişmektedir. Tesiste yer alan havalandırma havuzları Şekil 3.16 ile görülmektedir.



Şekil 3.16 : Havalandırma havuzu fotoğrafı.

Havalandırma sonrasında aktif çamurun atıksudan ayrılabilmesi için son çökeltme tankına iletilmektedir. Tesiste 1 adet dairesel son çökeltme tankı bulunmaktadır. Son çökeltme havuzu 15 metre çapında ve 3 metre derinliktedir. Son çökeltme esnasında herhangi bir çökeltme problemi görülmemektedir. Tesiste yer alan son çökeltme tankı Şekil 3.17 ile görülmektedir.



Şekil 3.17 : Son çökeltme ünitesi fotoğrafı.

3.3.1.3 Kimyasal arıtma üniteleri

Son çökeltme tankından savaklanan atıksu kimyasal arıtma ünitelerine iletilmektedir. Hızlı karıştırma tankında atıksuya $FeSO_4$ eklenmekte, yavaş karıştırma da ise polielektrolit ilavesi yapılmaktadır. Oluşan floklar kimyasal çöktürme havuzunda çöktüldükten sonra çıkış atıksuyu deşarj noktasına iletilmektedir. Koagülasyon ve flokülasyon üniteleri $80 m^3$ 'er hacme sahiptirler. Mevcut durumda tesiste kimyasal arıtma üniteleri kullanılmamaktadır.

3.3.1.4 Çamur arıtma üniteleri

Tesiste biyolojik çamur ve kimyasal çamur birlikte çamur haznesinde toplanarak şartlandırılmaktadır. Çamur şartlandırma tankı $40 m^3$ olup, $3,5 \times 3,5 \times 8 m$ boyutlarındadır. Şartlandırma katyonik polimer ilavesi ile yapılmaktadır. Şartlandırma sonrası atık çamur susuzlaştırılmak üzere filtre presse iletilmektedir. Tesiste 1 adet filtre press kullanılmaktadır. Filtre pressde 57 adet, $1000 \times 1000 mm$ boyutlarında plaka bulunmaktadır. Filtre pressele çamurun %20 katı madde oranına ulaşması sağlanmaktadır. Çamur arıtma üniteleri Şekil 3.17 ile görülmektedir.



Şekil 3.18 : Çamur arıtma üniteleri fotoğrafı.

Susuzlaştırma sonrasında çamur keki depolama sahasına gönderilerek uzaklaştırılmaktadır.

3.4 Tesis Deşarj Standartları

Atıksu arıtma tesisi Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Tablo 10.3 ile belirtilen tekstil sanayi (pamuklu tekstil ve benzerleri) deşarj kriterlerine uymakla yükümlüdür (SKKY, 2004). Sağlanması gereken deşarj limitleri Çizelge 3.2 ile verilmektedir.

Çizelge 3.2: Atıksu arıtma tesisi deşarj kriterleri (SKKY, 2004).

Parametre	Konsantrasyon (mg/L)	
	2 saatlik	24 saatlik
BOİ ₅	90	60
KOİ	250	200
AKM	160	120
Serbest klor	0,3	-
NH ₃ -N	5	-
Top. Cr	2	1
Sülfür	0,1	-
Sülfit	1	-
Fenol	10	-
pH	6-9	6-9

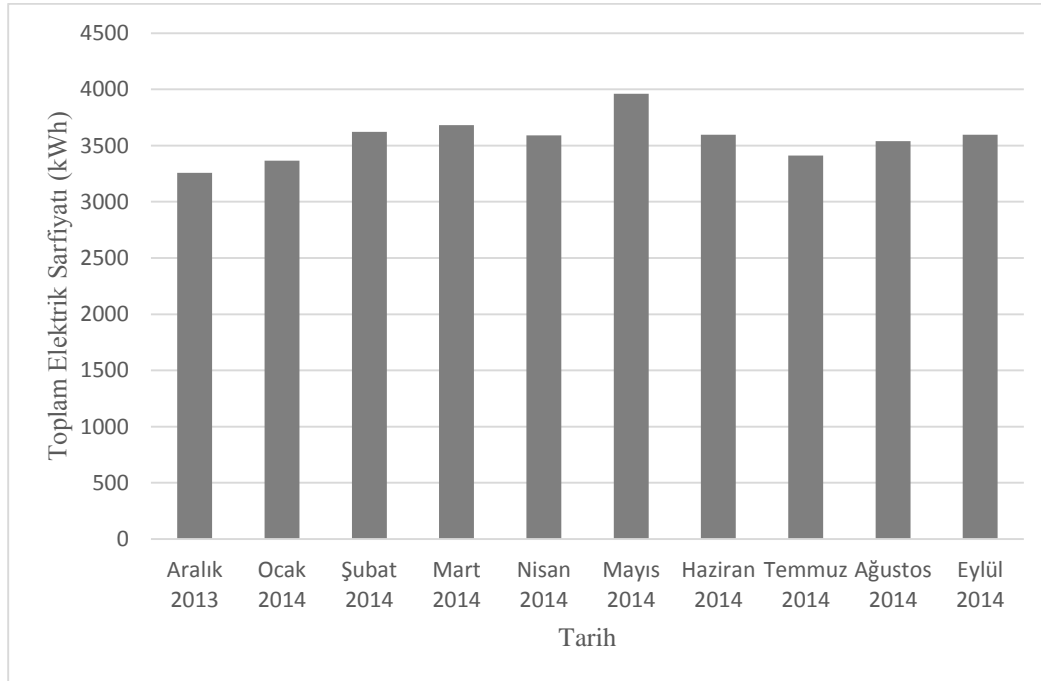
Çizelge 3.2 ile sunulan kriterlerin yanı sıra Ergene Havzası özelinde hedeflenen su kalitesinin (II. sınıf) sağlanabilmesi için SKKY ekleri Tablo5-Tablo 25 arasında verilen deşarj standartlarında bölge özelinde kısıtlamaya gidilmiş ve KOİ parametresi açısından kriterler sıkılaştırılmıştır (ÇŞB, 2011). Mevcut durumda Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yayımlanan Ergene Nehrinde Deşarj Standartlarında Kısıtlamansına ilişkin Genelge ile çalışma kapsamında modellenmesi yapılan atıksu arıtma tesisinin uymakla yükümlüğü olduğu SKKY Tablo 10.3 ile belirtilen tekstil sanayi (pamuklu tekstil ve benzerleri) deşarj kriterlerinden KOİ parametresi deşarj kriteri 06 Mayıs 2014 tarihinden itibaren 250 mg/L'den 200 mg/L'ye çekilmiştir.

3.5 Atıksu Arıtma Tesisi Enerji Tüketimi

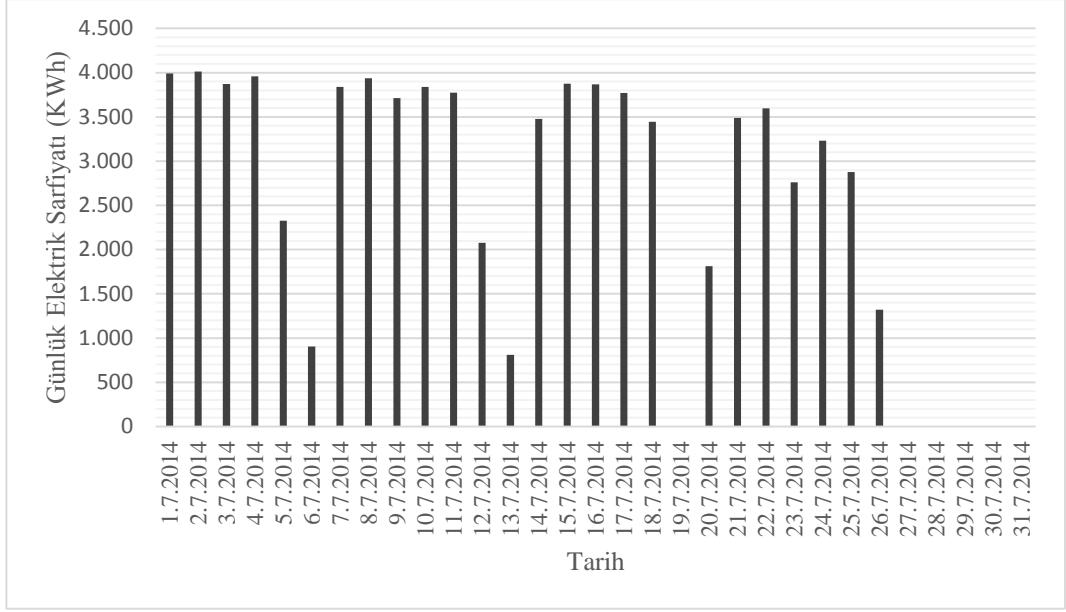
Bu bölümde pilot atıksu arıtma tesisi yetkililerinden temin edilen tesis enerji tüketim bilgileri hakkında değerlendirmeler sunulmaktadır. Atıksu arıtma tesislerinde enerji tüketimi tesis kapasitesi ve arıtma prosesine göre farklılık gösterebilmektedir. Tesisteki enerji tüketimi atıksu arıtma ve çamur yönetimi süreçlerinden kaynaklanmaktadır. Arıtma tesislerinde anaerobik çamur stabilizasyonu prosesine bağlı biyogaz üretimi ve elektrik üretimi söz konusu ise tesis içindeki enerji tüketim miktarı azalacaktır. Pilot atıksu arıtma tesisinde enerji eldesi sağlayan herhangi bir

proses mevcut değildir. Tesis enerji ihtiyacı büyük oranda ünitelerin işletilebilmesi için gereken elektriği ifade etmektedir (Geilvoet ve diğ, 2010).

Bu kapsamda pilot atıksu arıtma tesisinin enerji tüketimini değerlendirmek amacıyla tesis aylık elektrik sarfiyat değerleri incelenmiştir. Tesiste mevcut durumda enerji sarfiyatı günlük olarak izlenmekte ve kayıt altına alınmaktadır. Bir haftalık periyot için sarfiyat değerleri incelendiğinde hafta içi günlerinde üretim proseslerinin yoğun olması nedeniyle elektrik tüketim miktarları haftasonu günlerine oranla daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca, cumartesi günleri arıtma tesisi hafta içi iş günlerinden kaynaklanan atıksuyu arıtmaya devam ettiği için tam kapasiteye yakın hizmet vermektedir. Tesiste tüketilen enerji miktarının değerlendirilebilmesi için üretim faaliyetlerinin yoğun olarak gerçekleştiği ve atıksu oluşumu ile arıtımının normal işletme şartlarını temsil ettiği hafta içi ve cumartesi günleri için sarfiyat bilgileri dikkate alınmıştır. Pazar günleri tesis çok düşük kapasite işletildiği ve enerji tüketim bilgileri temsil edici nitelikte olmadığından değerlendirmenin dışında bırakılmıştır. Buna göre tesisten temin edilebilen 2013-2014 yılları için aylık ortalama elektrik sarfiyatı Şekil 3.19, çalışma kapsamındaki izleme periyodunu içine alan 2014 yılı Temmuz ayı günlük elektrik tüketim miktarı Şekil 3.20 ile görülmektedir.



Şekil 3.19 : Atıksu arıtma tesisi aylık ortalama elektrik sarfiyatları.



Şekil 3.20 : Atıksu arıtma tesisi 2014 yılı temmuz ayı günlük elektrik sarfiyatları.

Şekil 3.19 ile görüldüğü üzere tesiste elektrik sarfiyatı değerleri aylık olarak 3.200 ile 4.000 kWh/gün arasında değişmektedir. Şekil 3.20 ile görüldüğü üzere, tesiste üretim faaliyetlerinin ve atıksu oluşumunun yoğun olduğu günlerin ortalamaları birbirine oldukça yakındır. Tesis yetkililerinden temin edilebilen Aralık 2013 - Eylül 2014 tarihleri arası günlük elektrik tüketim miktarları EK-B ile sunulmaktadır.

Tesis elektrik giderleri tek tarife üzerinden hesaplanmakta ve 0,19468 TL/kWh olarak ücretlendirilmektedir. Aylık ortalama elektrik sarfiyatına bağlı olarak ödenen fatura bedeli ortalama olarak 18.000 ile 20.000 TL arasında değişmektedir.

4. ARAÇLAR VE YÖNTEMLER

4.1 Kavramsal Yaklaşım

Günümüzde atıksu arıtma tesislerinin tasarımı ve optimum koşullarda işletmesinin sağlanabilmesi için matematik modeller yaygın olarak kullanılmaktadır (Sözen ve diğ., 2004). Model simülasyonları birçok biyolojik arıtma prosesinin tasarımı ve işletmesi için sağlam bir temel oluşturmaktadır (Ni ve Yu, 2007). Tez çalışması kapsamında arıtma performansı zaman zaman deşarj standartlarını sağlayamakta zorluk yaşayan bir atıksu arıtma tesisi seçilerek, tasarım ve işletme verilerine uygun olarak modelleme çalışması gerçekleştirilmiştir. Model bazlı yaklaşımla tesisin ilgili deşarj kriterlerini sağlarken, mevcut durumdan daha az enerji tüketimi ile işletilebilmesi, çıkış atıksu kalitesinin iyileştirilmesi ve atıksu kirlilik konsantrasyonlarının artması durumunda tesis davranışının belirlenebilmesi hedeflenmiştir.

Çalışmalar kapsamında izlenen temel metodoloji şu şekildedir;

1) Hedeflerin belirlenmesi:

- Modelleme çalışmasının tesis enerji optimizasyonu ve azot parametresi açısından arıtma performansının iyileştirilmesine yönelik hedefleri belirlenmiştir.

2) Data toplama ve model seçimi:

- Literatürde yer alan aktif çamur modelleri incelenerek, tesisteki biyolojik prosese ilişkin en uygun matematiksel model belirlenmiştir.
- Seçilen matematiksel modele göre kullanımı uygun olan bir ticari model seçilmiş ve temin edilmiştir.
- Uygulama örneği yapılan tesis tasarım ve mevcut 4 yıllık işletme ve izleme verileri tesisten temin edilmiştir.

3) Veri kalite kontrolü:

- Temin edilen tesis tasarım ve mevcut 4 yıllık işletme ve izleme verileri değerlendirilmiştir.

4) Simülasyon çalışması için data toplama:

- Üretim prosesinin genel durumu yansıttığı 5 günlük dönem için atıksu arıtma tesisi girişi, havalandırma havuzu ve deşarj edilen atıksudan numuneler alınarak temel kirletici parametrelere ilişkin analiz çalışmaları yürütülmüştür.
- 5 günlük izleme periyodu analiz sonuçları değerlendirilerek mevcut izleme verileri ile kıyaslanmıştır.

5) Model kalibrasyon ve verifikasyonu:

- Atıksu analiz sonuçlarının ortalama değerleri ile tesis enerji tüketim bilgileri ve literatür bilgileri dikkate alınarak model programında tesisin mevcut davranışını yansıtan kararlı durum için kalibrasyon yapılmıştır.
- 5 günlük izleme analiz sonuçlarına göre dinamik simülasyon gerçekleştirilerek, model doğrulaması yapılmıştır.

6) Değerlendirme:

- Tesisin mevcut durumdaki işletme şartları değiştirilerek daha az enerji tüketimini sağlamaya yönelik senaryo alternatifleri geliştirilerek, simülasyon sonuçları değerlendirilmiştir.
- Mevcut durumda azot giderimi sağlanmayan tesisin toplam azot parametresi açısından herhangi bir deşarj kısıtlamasına tabii olması durumu göz önüne alınarak, tesiste uygulanması gereken arıtma prosesi ve operasyonel parametrelere ilişkin senaryo alternatifleri geliştirilerek, sonuçları değerlendirilmiştir.
- Fabrika üretim kapasitesinin gelecekte artması durumu göz önüne alınarak atıksu debisi ve kirlilik konsantrasyonlarının artması halinde mevcut atıksu arıtma tesisinin yeterliliği tahkik edilerek, sonuçları değerlendirilmiştir.

4.2 Modelleme Yaklaşımı

Atıksu arıtma tesisinin mevcut ve izleme periyodundaki analiz sonuçları kullanılarak çalışmanın temel amacını oluşturan örnek atıksu arıtma tesisinin modellenmesi yapılmıştır. Modellemede içeriğinde farklı arıtma prosesleri ve matematiksel aktif çamur modellerini içeren bir ticari yazılım kullanılmıştır. Çalışma kapsamında öncelikle izleme periyodu detaylı analiz sonuçları kullanılarak kalibrasyon yapılmış, sonrasında tesis izleme verileri giriş ve çıkış atıksu karakterizasyon verileri kullanılarak model doğrulaması yapılmıştır. Doğrulaması yapılan modelde farklı senaryo alternatiflerine göre atıksu arıtma tesisinin enerji tüketiminin azaltılması ve arıtma performansının artırılmasına yönelik olarak uygulanabilecek yöntemler araştırılmıştır.

4.3 Model Programı Seçimi

Çalışmada kullanılan model programı atıksu arıtma tesislerinin modellenmesinde yaygın olarak kullanılan 4 farklı aktif çamur simülatörü arasından seçilmiştir. Bölüm 2.4 ile verilen yazılımlar çalışma kapsamında değerlendirilmiş ve Çizelge 4.1 ile sunulmuştur.

Çizelge 4.1: Çalışma kapsamında değerlendirilen AAT modellemede kullanılabilir yazılımlar.

Program	Program İçeriğindeki Aktif Çamur Modelleri	Yetkili Firma
WEST	ASM1	DHI www.mikebydhi.com/products/west
SIMBA	ASM1, ASM2/2d, ASM3	ifak system www.ifak-system.com
BIO-WIN	ASM1, ASM2/2d, ASM3	EnviroSim envirosim.com
GPS-X	ASM1, ASM2/2d, ASM3	Hydromantis www.hydromantis.com

GPS-X model programı içeriğinde birçok arıtma prosesi bulundurması, kullanım kolaylığı ve teknik destek avantajları sebebiyle çalışma kapsamında kullanılmıştır.

5. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Çalışmanın bu bölümünde modellenmesi yapılan atıksu arıtma tesisine ait izleme çalışmalarının sonuçlarının değerlendirilmesi, modelleme çalışmaları ile optimizasyon ve iyileştirmeye yönelik geliştirilen senaryo alternatifleri ve sonuçları hakkında bilgi verilmektedir.

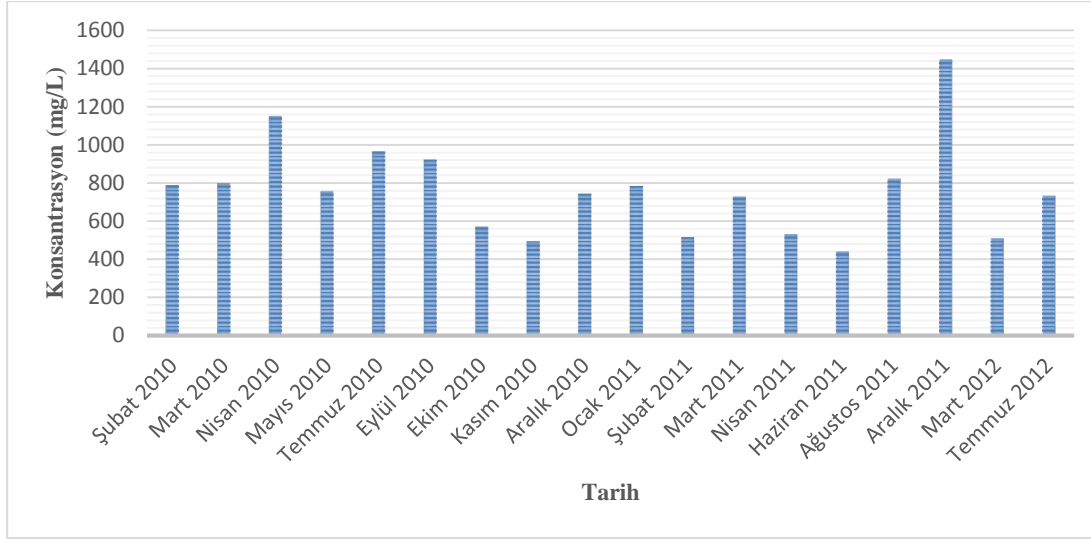
5.1 Atıksu Karakterizasyonunun Belirlenmesi

Atıksu arıtma tesisi giriş atıksu karakterizasyonu üretim prosesine bağlı olarak farklılık göstermekle beraber, kirletici konsantrasyonları genel olarak belirli aralıklarda değişmektedir. Atıksudaki temel kirletici parametreler AKM, KOİ ve TKN'dir. Özellikle baskı ve pad-batch üretim faaliyetlerinde kullanılan üre atıksudaki azot miktarını artırmakta, böylece giriş atıksuyundaki TKN konsantrasyonu yükselmektedir. Tesis işletme verilerine ve tez çalışması kapsamında izleme periyodundaki analiz sonuçları bu bölümde sunulmaktadır.

5.1.1 Mevcut tesis verilerinin değerlendirilmesi

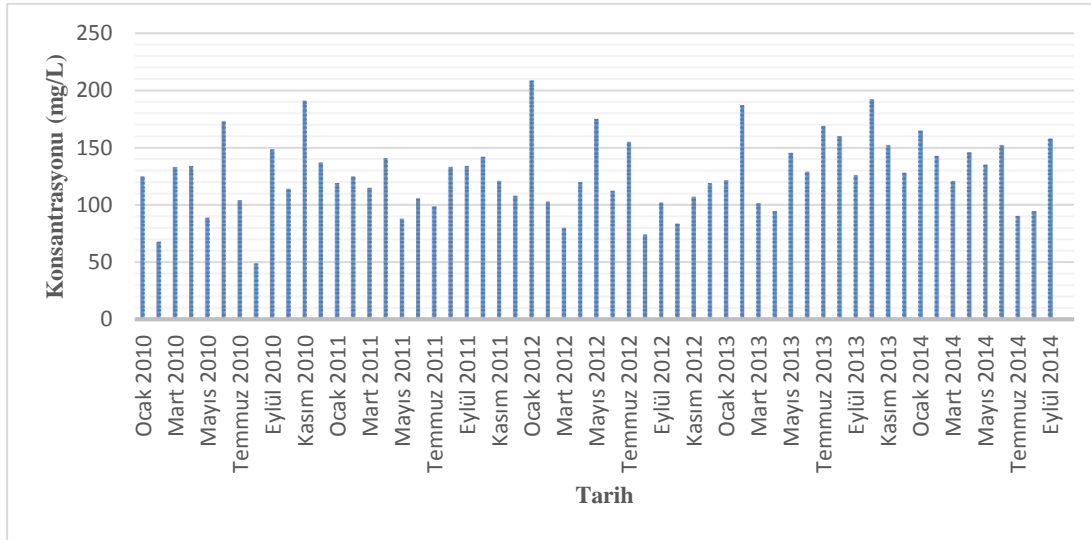
Tesis işletmesi esnasında giriş ve çıkış atıksuyu kirlilik konsantrasyonları izlenmekte, veriler aylık olarak kayıt altına alınmaktadır. 15 günde bir atıksu kirlilik konsantrasyonları tesisin anlaşmalı olduğu bir akredite laboratuvar tarafından analiz edilmektedir. Tesisten 2010-2014 yıllarına ait izleme verileri temin edilmiş ve EK-C ile sunulmuştur. Genellikle çıkış atıksuyunda izleme yapılmış olup, giriş atıksuyu 2012 yılı ve sonrasında analiz edilmemiştir. İzleme verileri deşarj standartlarına paralel olarak KOİ, NH₄-N, AKM, pH, sıcaklık, toplam krom, serbest klor, fenol, sülfat, sülfid ve çinko parametrelerini içermektedir. Ayrıca, havalandırma havuzunda ölçülen çözülmüş oksijen konsantrasyonları da veriler içerisinde yer almaktadır.

Tesis izleme verilerine göre giriş atıksuyundaki KOİ parametresinin değişimi Şekil 5.1 ile görülmektedir. İzleme sonuçları aylık ortalama olarak sunulmaktadır.



Şekil 5.1 : Giriş atıksuyu ortalama KOİ konsantrasyonları.

Şekil 5.1 ile görüldüğü üzere giriş atıksuyunda KOİ parametresi 2010-2012 yılları arasında izlenmiş olup, 500 mg/L ile 1400 mg/L arasında değişim göstermektedir. Tesis izleme verilerine göre çıkış atıksuyundaki KOİ parametresinin değişimi Şekil 5.2 ile görülmektedir.

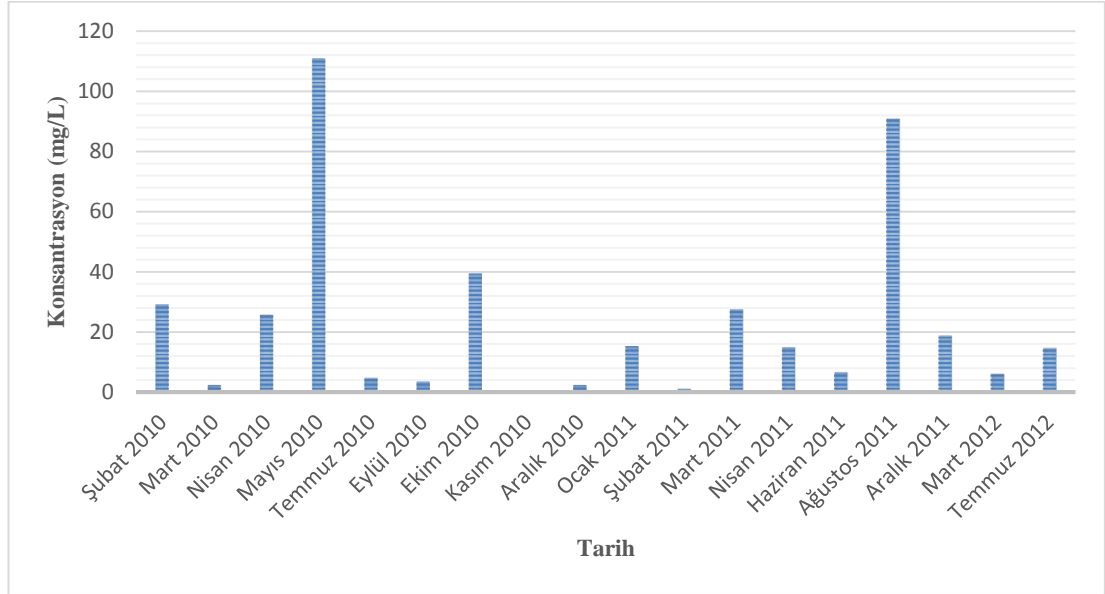


Şekil 5.2 : Çıkış atıksuyu ortalama KOİ konsantrasyonları.

Şekil 5.2 ile görüldüğü üzere çıkış atıksuyunda KOİ parametresi 2010-2014 yılları arasında aylık olarak izlenmiş olup, 50 mg/L ile 210 mg/L arasında değişim göstermektedir. Giriş ve çıkış izleme verileri birlikte değerlendirildiğinde arıtma tesisinde ortalama olarak %83 civarında organik madde giderimi sağlanabilmektedir.

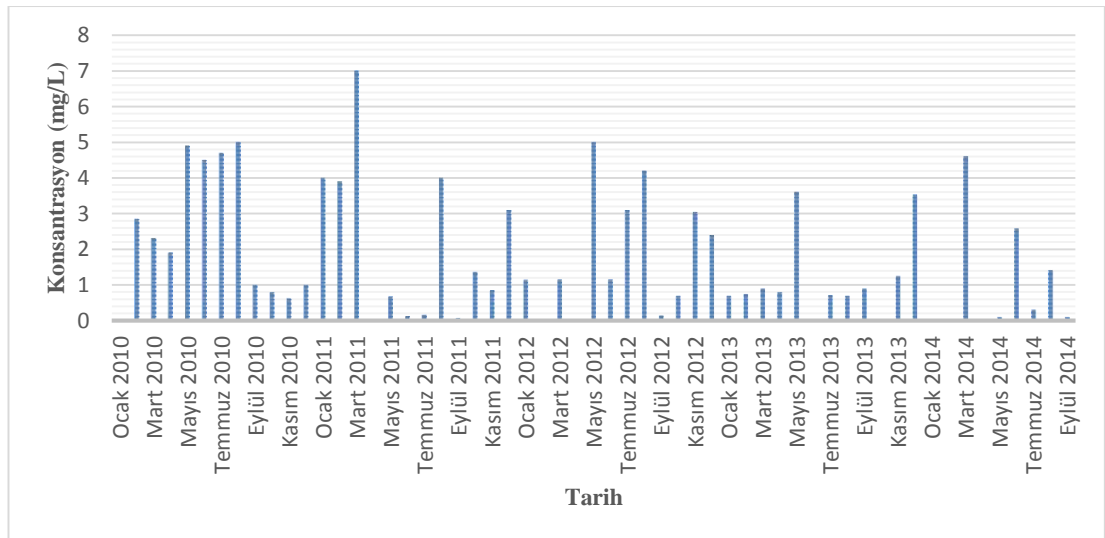
Atıksu karakterizasyonunda önem taşıyan diğer bir önemli kirletici azottur. Tesiste deşarj standartları esas alınarak izleme çalışmaları yürütüldüğünden yalnızca

amonyum azotu için giriş ve çıkış atıksuyunda analizler yapılmaktadır. Tesis izleme verilerine göre giriş atıksuyundaki amonyum azotu parametresinin değişimi Şekil 5.3 ile görülmektedir. İzleme sonuçları aylık ortalama olarak sunulmaktadır.



Şekil 5.3 : Giriş atıksuyu ortalama NH₄-N konsantrasyonları.

Şekil 5.3 ile görüldüğü üzere giriş atıksuyunda amonyum azotu 2010-2012 yılları arasında belirli aylarda izlenmiş olup, konsantrasyonu 0,5 mg/L ile 110 mg/L kadar geniş bir aralıkta değişim göstermektedir. Tekstil üretim prosesinde kullanılan boya türüne bağlı olarak atıksudaki azot konsantrasyonunun değişmesi bu farklılığın sebebi olarak öngörülmektedir. Tesis izleme verilerine göre çıkış atıksuyundaki amonyum azotu parametresinin değişimi Şekil 5.4 ile görülmektedir.



Şekil 5.4 : Çıkış atıksuyu ortalama NH₄-N konsantrasyonları.

Şekil 5.4 ile görüldüğü üzere tesis çıkış atıksuyundaki amonyum azotu miktarı 0,1 mg/L ile 7 mg/L arasında değişmektedir. Şubat 2014 ve Nisan 2014 tarihlerinde çıkış atıksuyunda ölçülen $\text{NH}_4\text{-N}$ konsantrasyonları sırası ile 30 mg/L ve 15 mg/L olup, genel durumu yansıtmadığından grafikte gösterilmemiştir.

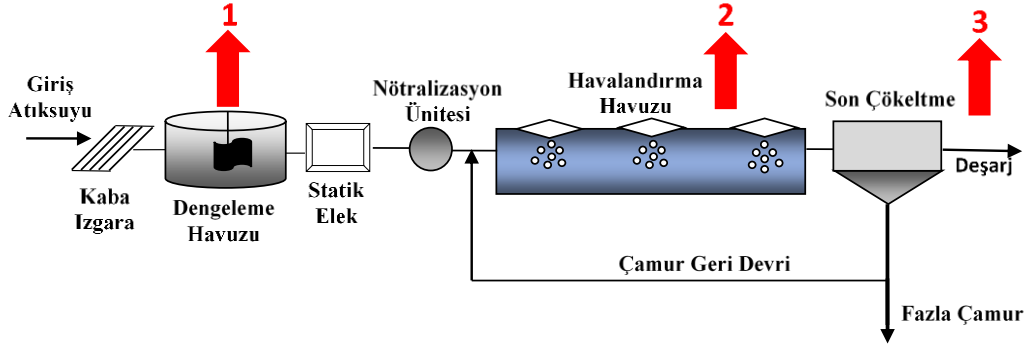
Giriş ve çıkış izleme verileri birlikte değerlendirildiğinde arıtma tesisinde ortalama olarak %87 civarında amonyum azotu giderimi sağlanabilmektedir.

5.1.2 İzleme periyodu analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

Tez çalışması kapsamında tesise ait mevcut izleme verileri modelleme çalışmaları için yeterli görülmemiş ve atıksu karakterizasyonu ile tesis performansını etkileyen parametrelerin bilinebilmesi için 08-12 Temmuz 2014 tarihleri arasında haftanın tüm günlerini temsil edecek şekilde 5 günlük bir izleme çalışması yürütülmüştür. Bu kapsamda;

- Tesis dengeleme havuzu girişinden giriş atıksu karakterizasyonunun bilinebilmesi için numune alım ve izleme çalışmaları yürütülmüştür. Giriş atıksuyunun günlük salınımları dengelemesi ve temsil edici nitelikte olması için 10 saatlik kompozit numune alınmıştır.
- Havalandırma havuzundan son çöktelmeye iletilen atıksudan biyolojik arıtma ünitesinin performansı ve biyolojik çamurun karakterizasyonunun belirlenebilmesi için 10 saatlik kompozit numune alımı gerçekleştirilmiştir.
- Son çöktelme havuzundan çıkan ve deşarj edilen atıksudan ise çıkış atıksuyu karakterizasyonunun ve tesis arıtma performansının belirlenebilmesi için numune alımı ve analiz çalışmaları yürütülmüştür. Tesis toplam hidrolik bekleme süresi 1 günün üzerinde olduğundan çıkış atıksuyunun temsil edici nitelikte olduğu öngörülmüş ve bu noktadan anlık numune alımı yapılmıştır.

İzleme çalışmaları kapsamındaki numune alım noktaları tesis akım şeması üzerinde Şekil 5.5 ile görülmektedir.



Şekil 5.5 : İzleme çalışmaları kapsamındaki numune alım noktaları.

Tüm numuneler üzerinde atıksu karakterizasyonunu ve modelleme çalışmasında gerekli olacak fraksiyonların belirlenebilmesi için AKM, UAKM, toplam KOİ, çözülmüş KOİ, TKN, $\text{NH}_4\text{-N}$ ve TP olmak üzere 7 parametrenin analiz çalışmaları yapılmıştır.

AKM ve UAKM analizleri ile atıksudaki partiküler ve uçucu katı madde fraksiyonları belirlenerek, modelleme çalışması için gerekli oranlar belirlenebilmiştir. Biyokütle içeren atıksudan (2 numaralı numune alım noktası) alınan numunede yapılan analizlerle biyokütle konsantrasyonu belirlenebilmiştir. 2 numaralı numune alım noktasındaki AKM analiz sonuçları ile çıkış atıksuyundaki analiz sonuçları kıyaslanarak, son çöktürme ünitesinin performansı değerlendirilebilmiştir.

Giriş ve çıkış atıksuyunda organik maddenin bileşenlerinin belirlenebilmesi için toplam ve çözülmüş KOİ analizleri yapılmıştır. Böylece atıksu içerisindeki çözülmüş ve partiküler formdaki KOİ konsantrasyonu belirlenmiş, model kalibrasyon ve doğrulama çalışmaları ile kütle dengesinin kurulmasında fayda sağlamıştır.

Atıksu karakterizasyonda en fazla önem taşıyan parametre olan azot bileşenlerinin belirlenebilmesi için atıksu numunelerinde TKN ve $\text{NH}_4\text{-N}$ azotu analizleri yapılmıştır. Giriş atıksu içerisinde oksitlenmiş azot konsantrasyonu sıfır kabul edilerek, amonyum azotu ve organik azot konsantrasyonları belirlenebilmiştir. Biyokütle içeren atıksudan alınan numunede yürütülen analiz çalışmaları ile biyokütle bünyesindeki azot miktarı da dikkate alınarak arıtma performansının belirlenmesine yönelik değerlendirmeler yapılabilmektedir. Çıkış atıksuyunda ölçülen TKN ve $\text{NH}_4\text{-N}$ konsantrasyonları ile deşarj edilen atıksuda hangi oranda azot

bileşeni olduğu öngörülebilmüş ve tesisin deşarj standartlarını sağlama durumu tahkik edilmiştir.

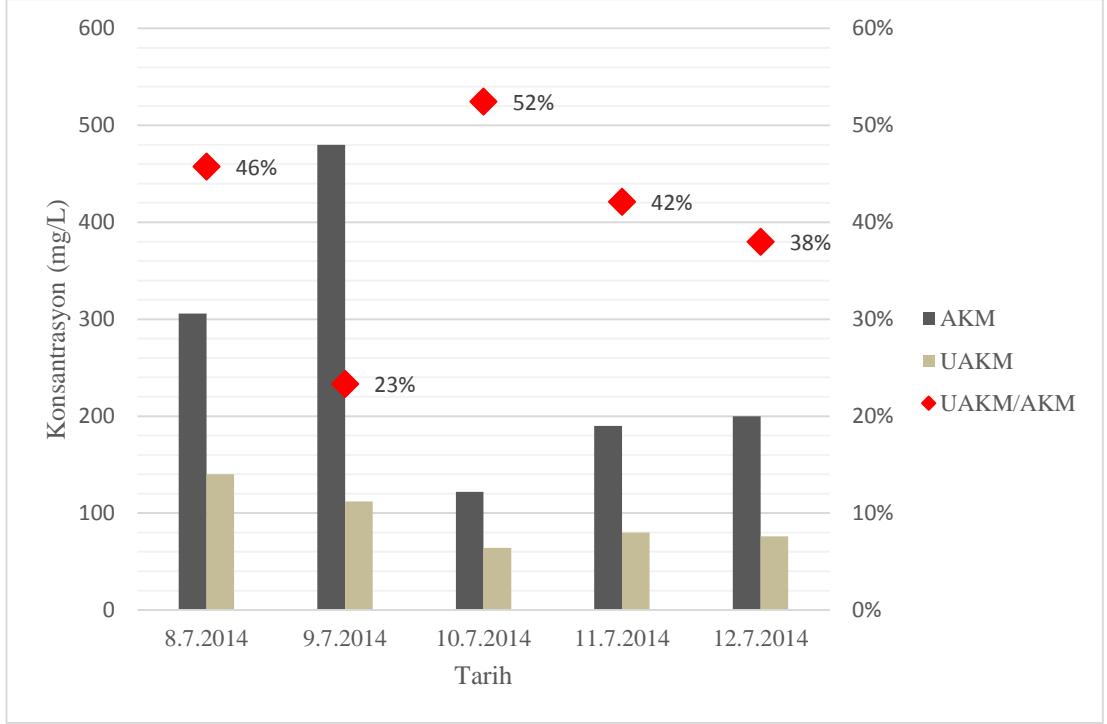
Atıksu karakterizasyonunda az miktarda bulunan fosfor parametresinin mevcut durumda tesiste izlenmemiş olması ve biyokütlenin çoğalma esnasında fosfor ihtiyacı dikkate alınarak numuneler üzerinde toplam fosfor analizleri gerçekleştirilmiştir.

1 numaralı numune alım noktasından alınan giriş atıksuyunda yapılan analiz sonuçları Çizelge 5.1 ile sunulmaktadır.

Çizelge 5.1: İzleme dönemi giriş atıksu karakterizasyonu.

Parametre	08.07.2014	09.07.2014	10.07.2014	11.07.2014	12.07.2014
AKM (mg/L)	306	480	122	190	200
UAKM (mg/L)	140	112	64	80	76
Toplam KOİ (mg/L)	773	620	894	976	849
Çözünmüş KOİ (mg/L)	673	440	672	659	607
TKN (mg/L)	70	46	179	129	116
NH ₄ -N (mg/L)	14	20	13	11	2
Organik N (mg/L)	56	26	166	118	114
TP (mg/L)	1,20	3,08	1,45	2,25	2,00

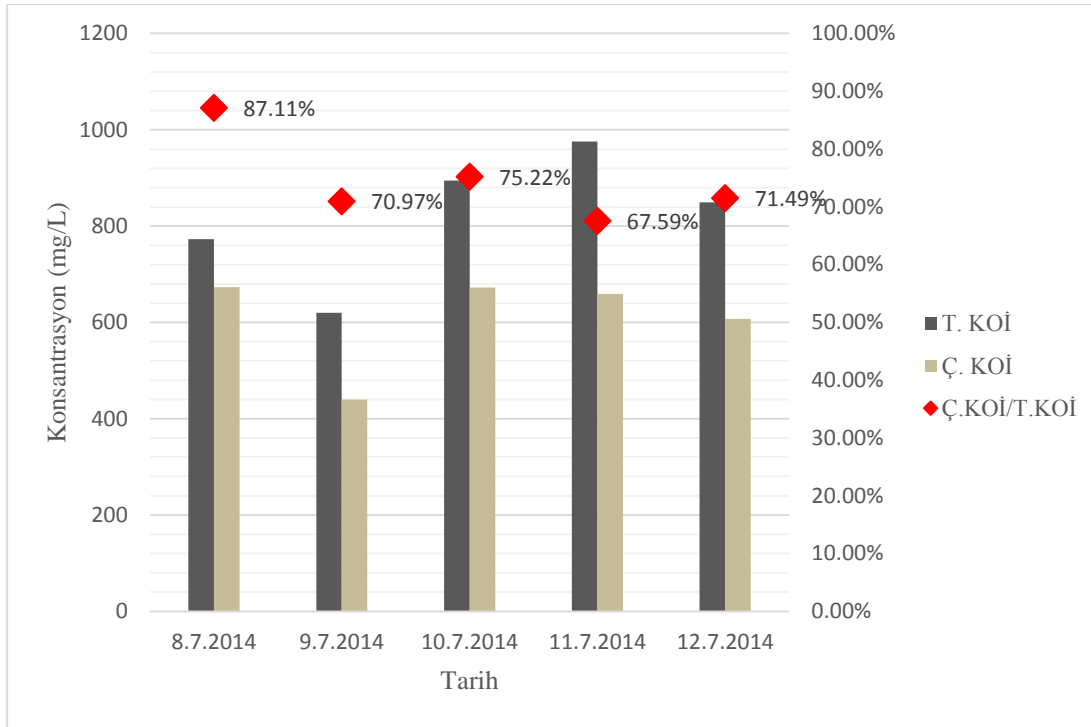
Çizelge 5.1 ile 5 günlük izleme periyodu süresince giriş atıksuyundaki askıda katı madde (AKM) miktarının 120 ile 480 mg/L aralığında değişim gösterdiği ve genelde 200-300 mg/L seviyelerinde seyrettiği görülmektedir. Uçucu askıda katı madde (UAKM) konsantrasyonları değerlendirildiğinde 65 ile 140 mg/L arasında olduğu ve AKM değerine paralel olarak UAKM değerlerinin de arttığı gözlenmiştir. Giriş atıksuyundaki AKM ve UAKM konsantrasyonlarının değişimi Şekil 5.6 ile görülmektedir.



Şekil 5.6 : Tesis giriş atıksuyunda AKM ve UAKM konsantrasyonlarının değişimi.

Şekil 5.6 ile görüldüğü üzere giriş atıksuyunda UAKM/AKM oranı genel olarak %40 ile %50 oranında değişmektedir. Yalnızca 9 Temmuz numunesinde yapılan analiz sonuçlarına göre UAKM/AKM oranının %23 seviyelerine kadar düştüğü görülmektedir. Bu durumun analiz çalışmaları esnasında yapılabilecek hatalardan kaynaklandığı öngörülmektedir. AKM ve UAKM analizleri sonuçlarının farkına bağlı olarak giriş atıksuyundaki inert partiküler madde miktarı da belirlenebilmiştir.

Çizelge 5.1'ye göre arıtma tesisi giriş atıksuyu toplam KOİ konsantrasyonlarının 620 ile 970 mg/L değerleri arasında değişmektedir. Çözülmüş KOİ konsantrasyonları ise toplam KOİ'deki değişime paralel olarak artış yada azalma göstermekte ve 440 ile 670 mg/L aralığında değişmektedir. Tesis üretim proseslerindeki günlük değişime bağlı olarak KOİ parametrelerindeki değişim beklenen bir durumdur. Giriş atıksuyundaki toplam ve çözülmüş KOİ konsantrasyonlarının değişimi Şekil 5.7 ile görülmektedir.



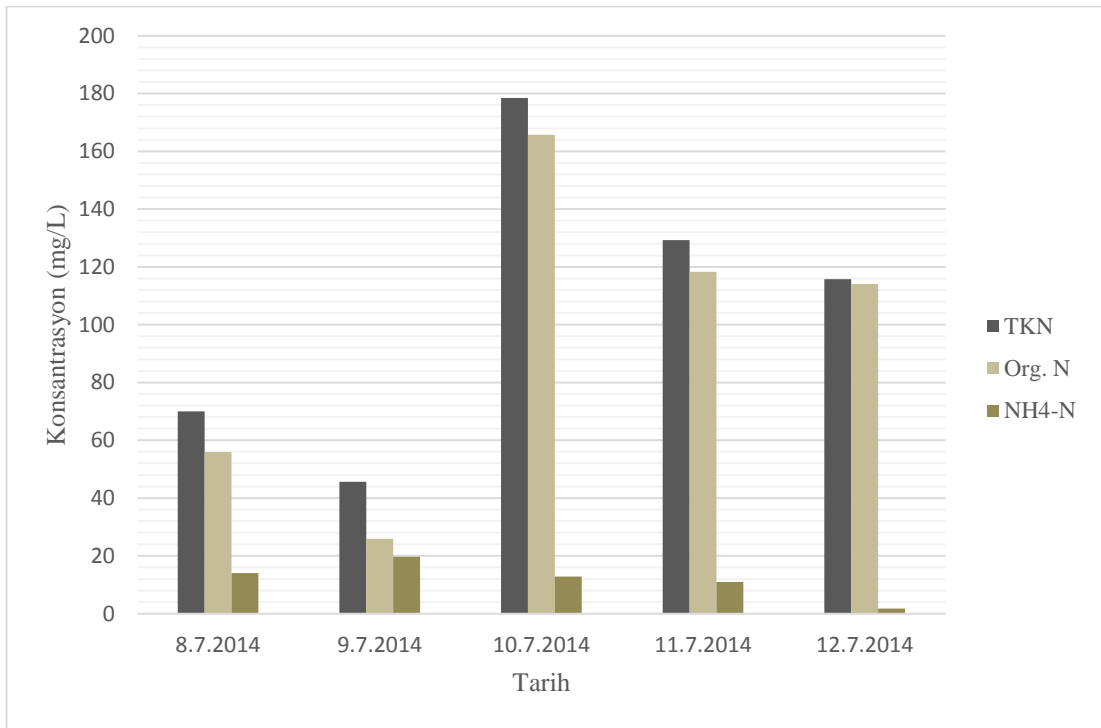
Şekil 5.7 : Tesis giriş atıksuyunda toplam KOİ ve çözünmüş KOİ konsantrasyonlarının değişimi.

Tesis giriş atıksuyunda yapılan toplam KOİ (C_s) ve çözünmüş KOİ analizleri sonuçları değerlendirildiğinde üretim prosesleri sonucu oluşan atıksudaki organik maddenin büyük oranda çözünmüş olduğu anlaşılmaktadır. Analiz sonuçlarına göre çözünmüş KOİ'nin toplam KOİ'ye olan oranı %70 ile %85 civarı değiştiği belirlenmiştir (Şekil 5.7). Böylelikle giriş atıksuyu S_s ve S_I ile ve X_s ve X_I fraksiyonları toplam olarak hesaplanabilmektedir. Çözünmüş KOİ'nin toplam KOİ'ye oranı S_s ve S_I 'nin C_s 'e toplam fraksiyonunu göstermektedir. Çözünmüş KOİ ve toplam KOİ farkının toplam KOİ'ye oranı ise X_s ve X_I 'nin toplam fraksiyonu olarak dikkate alınmıştır. Analiz sonuçlarına göre hesaplanan KOİ fraksiyonları Çizelge 5.2 ile görülmektedir. Elde edilen KOİ fraksiyonları modelleme çalışmalarında giriş atıksu modelinde kullanılmıştır. Çizelge 5.2 ile görüldüğü üzere tesis giriş atıksuyunda KOİ'nin çözünmüş fraksiyonlarının toplamı (S_s+S_I) %67 ile %87 arasında değişim göstermekte, buna bağlı olarak partiküler KOİ'nin fraksiyonları toplamı (X_s+X_I) %13 ile %33 arasında kalmaktadır.

Çizelge 5.2: Giriş atıksuyu KOİ fraksiyonları.

Parametre	08.07.2014	09.07.2014	10.07.2014	11.07.2014	12.07.2014
Ç.KOİ/T.KOİ (S _s + S _i)	% 87,11	% 70,97	% 75,22	% 67,59	% 71,49
P.KOİ/T.KOİ (X _s + X _i)	% 12,89	% 29,03	% 24,78	% 32,41	% 28,51

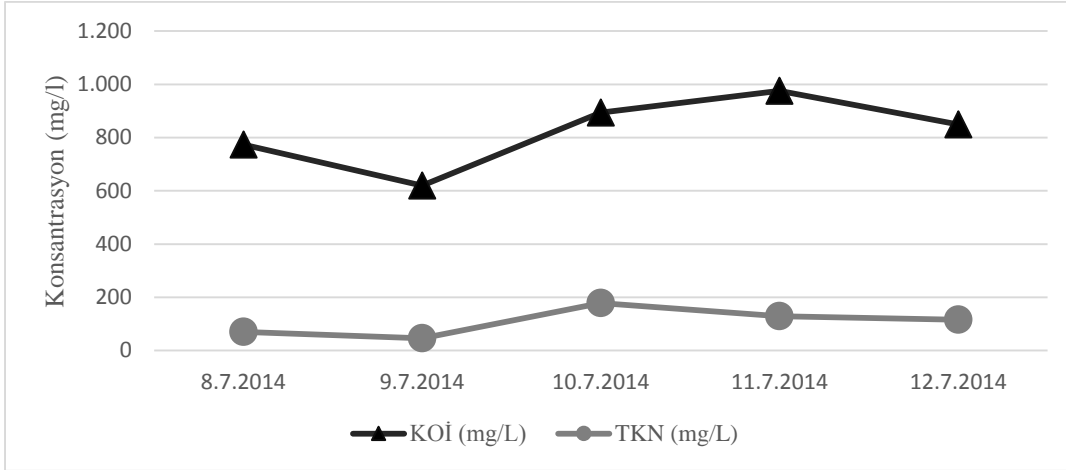
Çizelge 5.1'ye göre arıtma tesisi giriş atıksuyu TKN konsantrasyonlarının 45 ile 178 mg/L değerleri arasında geniş bir salınım göstermektedir. Giriş atıksuyunda izlenen diğer bir parametre olan amonyum azotu (NH₄-N) ise 2 ile 20 mg/L aralığında oldukça düşük değerlerde seyretmektedir. TKN parametresi amonyak azotu ve organik azot parametrelerinin toplamını gösterdiğinden TKN ve NH₄-N konsantrasyon farkı, giriş atıksuyundaki organik azot miktarını göstermektedir. Buna göre organik azot miktarı 25 ile 165 mg/L aralığında değişmekte olup, TKN'nin %80-95'i oranındadır. Giriş atıksuyundaki TKN, organik azot ve NH₄-N konsantrasyonlarının değişimi Şekil 5.8 ile görülmektedir. Analiz sonuçları ile belirlenmiş olan amonyak azotu ve TKN oranları modelleme çalışmalarında giriş atıksu modelinin oluşturulmasında kullanılmıştır.



Şekil 5.8 : Tesis giriş atıksuyunda azot parametrelerinin konsantrasyonlarının değişimi.

Şekil 5.8 ile görüldüğü üzere, giriş atıksuyu içerisindeki azotun esas olarak organik azottan kaynaklandığını anlaşılmaktadır. Tesisteki üretim faaliyetlerine bağlı olarak giriş atıksuyundaki azot parametreleri geniş bir aralıkta ve günden güne fark göstermektedir. Bu salınımın sebebi tekstil endüstrisi boyama prosesine bağlı olarak atıksudaki azot miktarının değişimi olarak öngörülmektedir. Proseste kullanılan boya tipi ve miktarına bağlı olarak atıksuya geçen azot miktarının farklılaşması beklenen bir durumdur.

Giriş atıksuyundaki organik madde ve azot parametrelerinin değişimini değerlendirmek için KOİ ve TKN parametreleri birlikte değerlendirilmiş ve Şekil 5.9 ile gösterilmiştir. Şekil 5.9 ile görüldüğü üzere giriş atıksuyunda KOİ ve TKN parametrelerinin konsantrasyonları genel olarak birbirine paralel değişim göstermektedir.



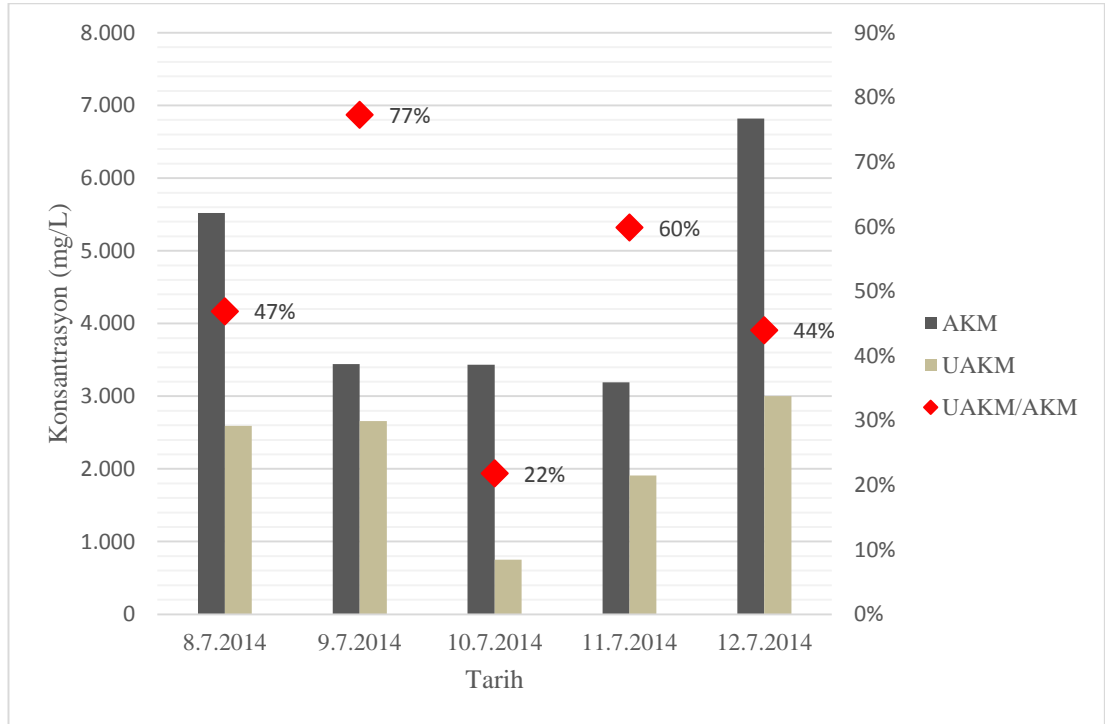
Şekil 5.9 : Tesis giriş atıksuyunda KOİ ve TKN parametrelerinin konsantrasyonlarının değişimi.

Biyolojik reaktör çıkışından (2 numaralı numune alım noktası-Şekil 5.5) alınan numunelerde yürütülen analiz çalışmalarında biyokütle karakterizasyonu, arıtma ve son çökeltme performansının değerlendirilebilmesi hedeflenmiştir. 1 numaralı numune alım noktasından alınan atıksuda yapılan analiz sonuçları Çizelge 5.3 ile sunulmaktadır.

Çizelge 5.3: İzleme dönemi biyolojik reaktör çıkışı atıksu karakterizasyonu.

Parametre	08.07.2014	09.07.2014	10.07.2014	11.07.2014	12.07.2014
AKM (mg/L)	5.520	3.440	3.435	3.190	6.820
UAKM (mg/L)	2.590	2.660	750	1.910	3.000
Toplam KOİ (mg/L)	3.430	3.536	3.079	1.855	4.643
Çözülmüş KOİ (mg/L)	56	84	175	193	167
TKN (mg/L)	151	161	60	103	150
NH ₄ -N (mg/L)	2,02	2,06	0,73	0,92	2,46
Organik N (mg/L)	148,58	159,34	59,57	101,58	147,54
TP (mg/L)	9,70	7,82	11,30	0,59	15,80

Çizelge 5.3 ile 5 günlük izleme periyodu süresince biyolojik reaktördeki askıda katı madde (AKM) miktarının 3.000 ile 7.000 mg/L aralığında değişim göstermektedir. Uçucu askıda katı madde (UAKM) konsantrasyonları değerlendirildiğinde 2.000 ile 3.000 mg/L arasında olduğu ve AKM değerine paralel olarak UAKM değerlerinin de arttığı gözlenmiştir. Biyolojik reaktördeki AKM ve UAKM konsantrasyonlarının değişimi Şekil 5.10 ile görülmektedir.

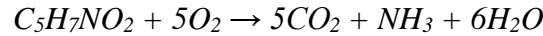


Şekil 5.10 : Biyolojik reaktör atıksuyunda AKM ve UAKM konsantrasyonlarının değişimi.

Şekil 5.10 ile görülen biyolojik reaktörden alınan numunelerin AKM ve UAKM konsantrasyonları değerlendirildiğinde; UAKM/AKM oranının %44 ile %77 arasında değiştiği görülmektedir. Yalnızca 10 Temmuz numunesi üzerindeki analiz sonuçlarına göre UAKM/AKM oranının %22 seviyelerine kadar düştüğü görülmektedir. Bu durumun analiz çalışmaları esnasında yapılabilecek hatalardan kaynaklandığı öngörülmektedir.

Havalandırma havuzundan alınan numunelerde yürütülen AKM ve UAKM analizleri ile biyolojik reaktördeki MLSS ve MLVSS miktarları belirlenebilmiştir. Buna göre biyolojik reaktördeki MLSS miktarı AKM analizi sonuçlarına göre 3.000 ile 5.000 mg/L mertebelerindedir. Reaktörde arıtma prosesinin gerçekleştiren aktif biyokütle miktarı ise UAKM analizi sonuçlarına göre 2.000 ile 3.000 mg/L arasındadır. Tesis işletme verilerine göre havalandırma havuzundaki MLVSS miktarı 2.000 ile 2.500 mg/L değerlerini arasındadır. Buna göre izleme döneminde yapılan analizlerin sonuçlarının tesis işletme verileri ile uyumlu olduğu anlaşılmaktadır.

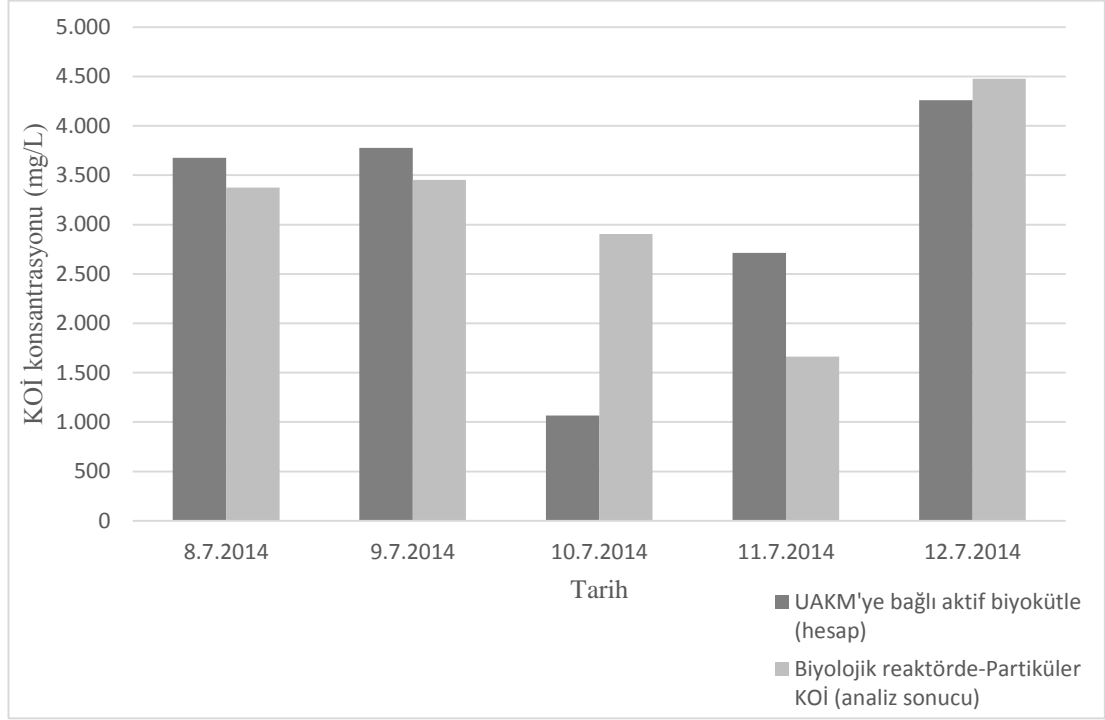
Tesis biyolojik reaktöründeki aktif biyokütle miktarının değerlendirilebilmesi için havalandırma havuzundan alınan numunelerdeki UAKM ve partiküler KOİ ölçümlerinin karşılaştırması yapılmıştır. Uçucu askıda katı madde (UAKM) miktarı biyokütle konsantrasyonunun belirlenebilmesine yönelik kullanılan en uygun parametredir. Askıda katı madde (AKM) miktarına kolayca çevrilebilmekte ve fazla biyolojik çamur miktarının tahmininin yapılmasında kullanılabilir. UAKM'nin biyokütle tahmininde kullanılması aktif çamur sistemindeki bir mikroorganizmanın içsel solunumunu yansıtan toplam oksidasyon reaksiyonu ile hesaplanabilmektedir.



Bu denkleme göre 113 gram olan biyokütle UAKM değerine karşılık 160 gram oksijen tüketimi söz konudur. Buna göre aktif çamur sisteminde var olan bir mikroorganizmanın KOİ karşılığı $fx = \frac{160}{113} = 1,42$ g hücre KOİ/g UAKM olarak belirlenmiştir ve benzer değerlendirmelerde biyokütle UAKM'sinin KOİ karşılığı olarak kabul edilen en yaygın değerdir (Orhon ve diğ, 2009).

Bu değer üzerinden yapılan hesaplamalarla, tesis biyolojik reaktöründen alınan numunelerdeki UAKM değeri KOİ'ye çevrilerek partiküler KOİ analiz sonuçları ile

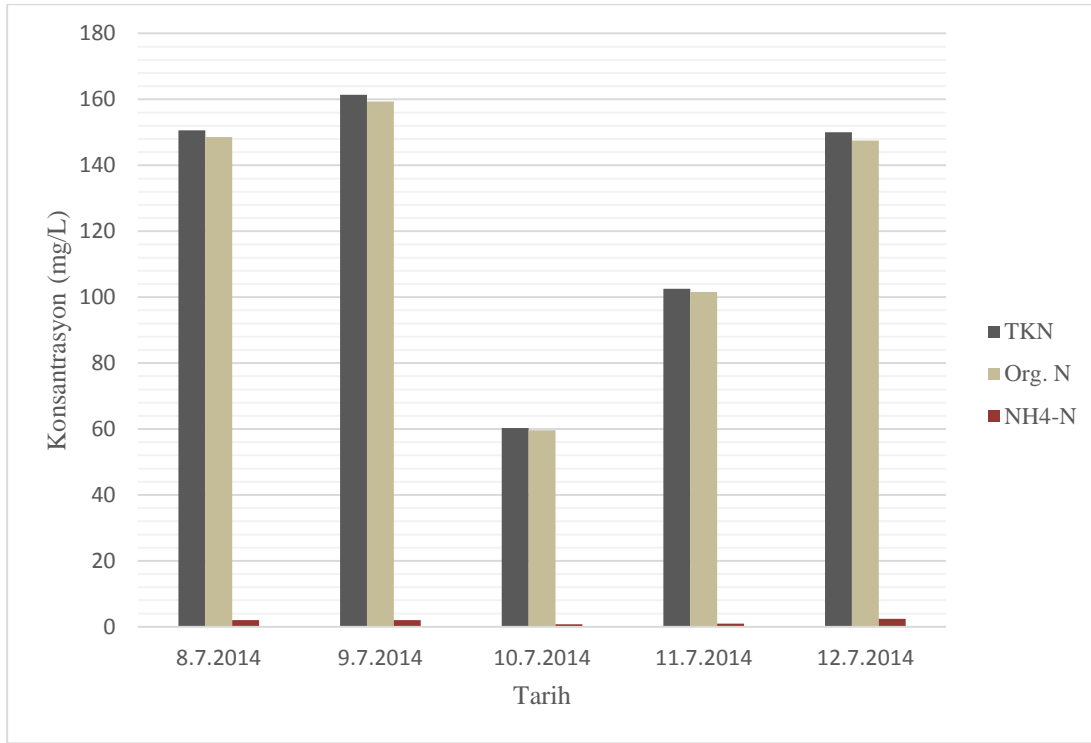
kıyaslanmıştır (Şekil 5.11). Partiküler KOİ değerleri toplam KOİ analiz sonuçlarından çözülmüş KOİ'nin çıkarılması ile hesaplanmıştır.



Şekil 5.11 : Biyolojik reaktör atıksuyunda UAKM ve partiküler KOİ konsantrasyonlarının karşılaştırılması.

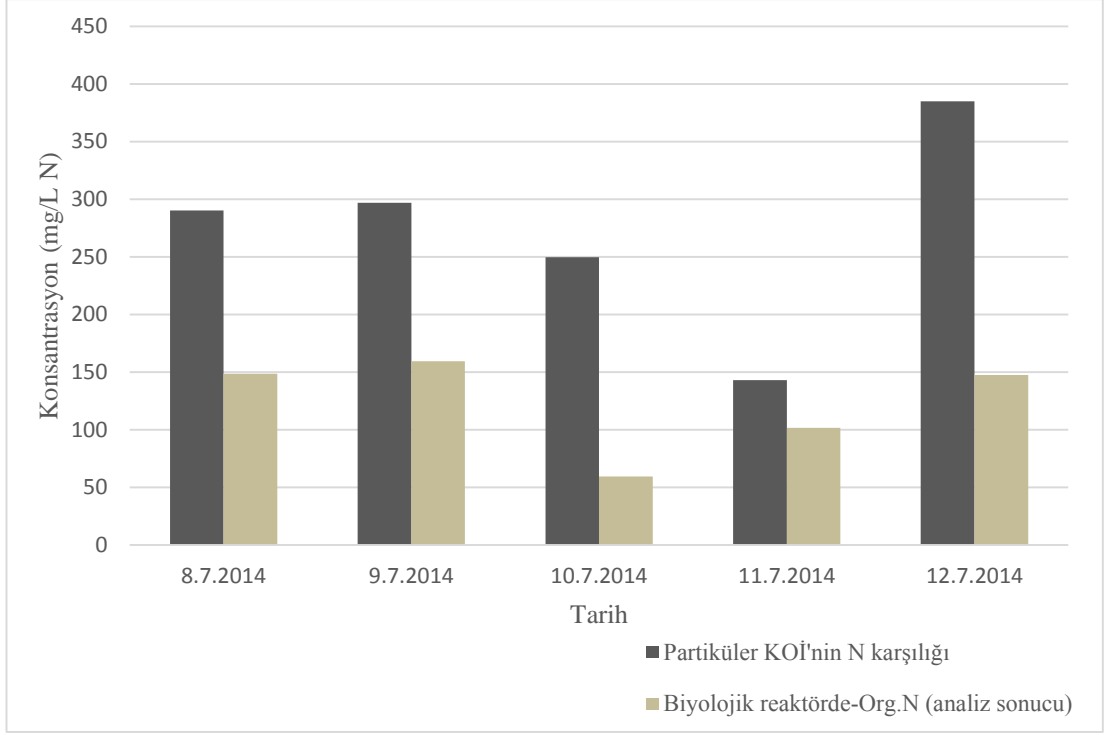
Şekil 5.11 ile görüldüğü üzere biyolojik reaktördeki UAKM konsantrasyonunun KOİ karşılığı, analiz çalışmaları ile belirlenen partiküler KOİ değerleri ile oldukça uyumludur. Yalnızca 10 Temmuz tarihli numunede UAKM analizi hatasına bağlı olarak değerlerin uyuşmadığı görülmektedir.

Biyolojik reaktörden alınan numunelerde azot parametrelerinin değişimi Şekil 5.12 ile görülmektedir. Numunelerde yürütülen TKN ve NH₄-N azot parametreleri sonucu farkı organik azot miktarları hesaplanmıştır.



Şekil 5.12 : Biyolojik reaktör atıksuyunda azot parametrelerinin konsantrasyonlarının değişimi.

Şekil 5.12 ile görüldüğü üzere biyolojik reaktördeki azotun büyük bir kısmı organik azot formundadır. Analiz sonuçlarının tutarlılığının değerlendirilebilmesi ve biyolojik reaktördeki azot türlerinin belirlenebilmesi için giriş atıksuyu ile biyolojik reaktördeki organik azot konsantrasyonu arasında kütle dengesi kontrol edilmiştir. Biyolojik reaktördeki organik azotun bir kısmı biyokütle bünyesinde bulunan azottur. Biyokütle içerisindeki azot oranı %8,6 ($i_{xb} = 0,0086 \text{ g N/g KOİ}$) olarak kabul edilirse, reaktördeki partiküler KOİ'nin bu oranda azot içereceği öngörülmektedir (Henze ve diğ, 2000). Buna göre biyolojik reaktördeki partiküler KOİ değerlerinin azot karşılığı hesaplanmış, analiz sonuçlarında elde edilen organik azot miktarı ile karşılaştırılarak Şekil 5.13 ile gösterilmiştir.



Şekil 5.13 : Biyolojik reaktör atıksuyunda partiküler KOİ ve organik azot konsantrasyonlarının karşılaştırılması.

Şekil 5.13 ile görüldüğü üzere biyokütlenin azot içeriği kabulü ile hesaplanan azot değerleri analiz sonuçları ile örtüşmemektedir. Buna göre tesisteki biyokütle yapısındaki azot oranının daha düşük olduğu anlaşılmaktadır.

Biyolojik reaktördeki analiz sonuçlarına göre izlenebilecek diğer bir yaklaşım biyokütle bünyesine alınan organik azot miktarının analiz sonuçlarına göre belirlenmesidir. Buna göre havalandırma havuzu numunelerinde ölçülen organik azot miktarının partiküler KOİ'ye oranı tesisteki aktif biyokütlenin i_{xp} oranını yansıtmalıdır. Buna göre izleme periyodu analiz sonuçları ile hesaplanan biyokütle bünyesinde organik azot fraksiyonu Çizelge 5.4 ile görülmektedir. Buna göre tesisteki aktif biyokütlenin bünyesindeki azot miktarı ortalama olarak %4,5-5 civarındadır. Bu nedenle modelleme çalışmalarında i_{xp} oranı 0,05 olarak alınmıştır.

Çizelge 5.4: Biyokütle azot içeriği değerleri.

Parametre (mg/L)		08.07.2014	09.07.2014	10.07.2014	11.07.2014	12.07.2014
Biyolojik organik azot	reaktörde	148,58	159,34	59,57	101,58	147,54
Biyolojik partiküler KOİ	reaktörde	3.374,4	3.452	2.904,4	1.661,9	4.476
i_{xp} oranı		% 4,4	% 4,6	% 2,1	% 6,1	% 3,3

Arıtma tesisinde son çökeltme işlemi tamamlanan ve deşarj edilen atıksudan, arıtma performansı ve deşarj kriterlerinin sağlanıp sağlanmadığı konusunda değerlendirme yapılabilmek için izleme ve numune alma çalışmaları yürütülmüştür. İzleme periyodu süresince tesis çıkış atıksuyunda (3 numaralı numune alım noktası) yapılan analiz sonuçları Çizelge 5.5 ile görülmektedir.

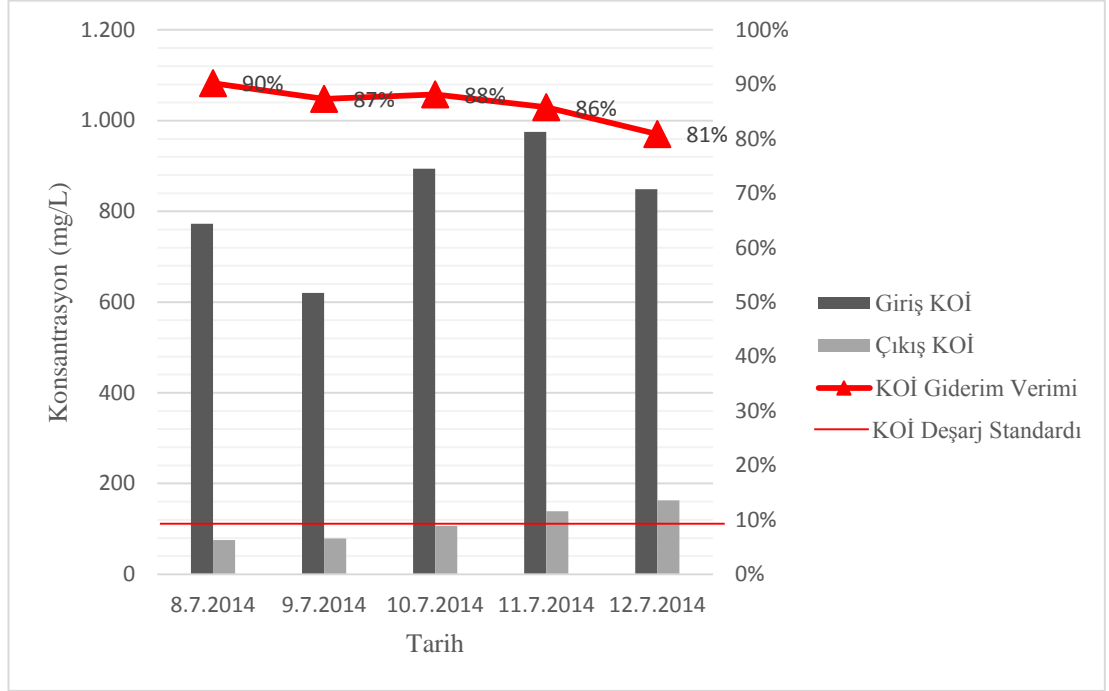
Çizelge 5.5: İzleme dönemi tesis çıkış atıksuyu karakterizasyonu.

Parametre	08.07.2014	09.07.2014	10.07.2014	11.07.2014	12.07.2014
AKM (mg/L)	20	10	22	60	40
UAKM (mg/L)	10	10	10	28	28
Toplam KOİ (mg/L)	76	79	106	139	163
Çözünmüş KOİ (mg/L)	72	67	79	120	151
TKN (mg/L)	12	6,7	10	12,2	10
NH ₄ -N (mg/L)	0,10	0,02	2,31	0,11	2,32
Organik N (mg/L)	11,90	6,68	7,6	12,09	7,67
TP (mg/L)	2,34	0,91	1,33	8,15	1,52

Tesis giriş atıksuyu karakterizasyonu ile deşarj edilen atıksuyun karakterizasyonu karşılaştırılarak parametreler bazında arıtma performansları belirlenebilmiştir. Atıksuyu karakterizasyonu ve tesis deşarj standartları dikkate alındığında KOİ ve azot en önemli parametrelerdir. İzleme süreci için tesis arıtma performansı bu parametreler üzerinden değerlendirilmiştir.

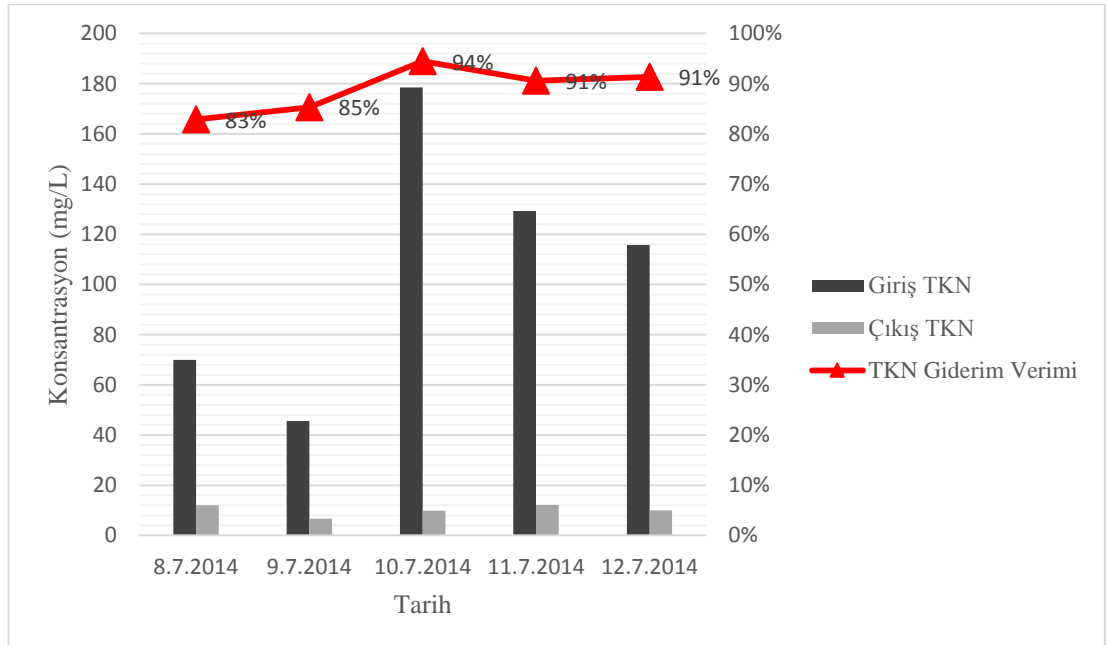
İzleme periyodu için tesis giriş atıksuyu ve çıkış atıksuyunda KOİ konsantrasyonlarının değişimi ve KOİ bazında arıtma performansı Şekil 5.14 ile görülmektedir. Giriş ve çıkış atıksuyunda toplam KOİ parametresi konsantrasyonları karşılaştırıldığında giderim veriminin %80 ile %90 arasında olduğu görülmektedir.

İzleme süresi boyunca çıkış KOİ miktarı en fazla 162,70 mg/L olup, deşarj standardının (200 mg/L) altında kaldığı görülmektedir.



Şekil 5.14 : KOİ bazında tesis arıtma performansı.

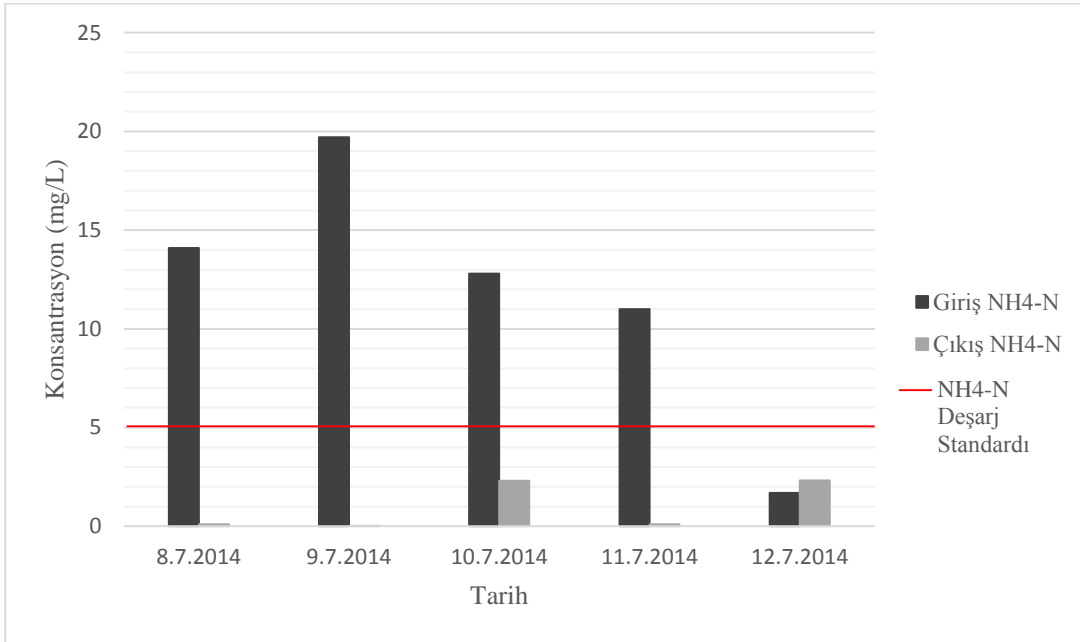
İzleme periyodu için tesis giriş atıksuyu ve çıkış atıksuyunda TKN konsantrasyonlarının değişimi ve TKN bazında arıtma performansı Şekil 5.15 ile görülmektedir.



Şekil 5.15 : TKN bazında tesis arıtma performansı.

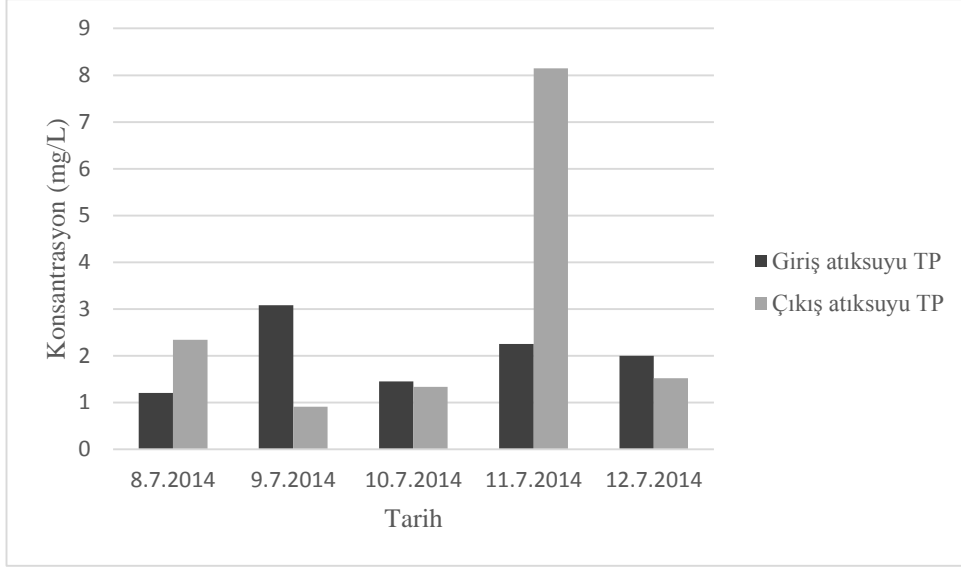
TKN parametresi için tesisteki giderim verimleri incelendiğinde %83 ile %94 arasında arıtma performansının sağlandığı görülmektedir. Analiz sonuçlarına göre, çıkış atıksuyunda TKN konsantrasyonlarının 6 ile 12 mg/l aralığında değiştiği anlaşılmakta olup, tesisin TKN parametresi için herhangi bir deşarj standardı olmadığından sorun teşkil etmemektedir.

Arıtma tesisinin Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) çerçevesinde deşarj kriterlerini sağlaması gereken tek azot parametresi amonyak azotudur. Tesis giriş atıksuyunda oldukça düşük değerlere sahip olan amonyum azotu değerleri çıkış atıksuyunda da oldukça düşük değerlere almakta ve deşarj standartlarının altında kalmaktadır (Şekil 5.16).



Şekil 5.16 : Giriş ve çıkış atıksuyunda amonyum azotu konsantrasyonlarının karşılaştırılması.

Toplam fosfor parametresi atıksu arıtma tesislerinde tasarım ve modelleme açısından önemli parametre olması itibarıyla analiz çalışmaları kapsamında izlenen parametrelerden biridir. Tesis giriş ve çıkış atıksuyunda fosfor konsantrasyonlarının değişimi Şekil 5.17 ile görülmektedir.



Şekil 5.17 : Giriş ve çıkış atıksuyunda toplam fosfor konsantrasyonlarının karşılaştırılması.

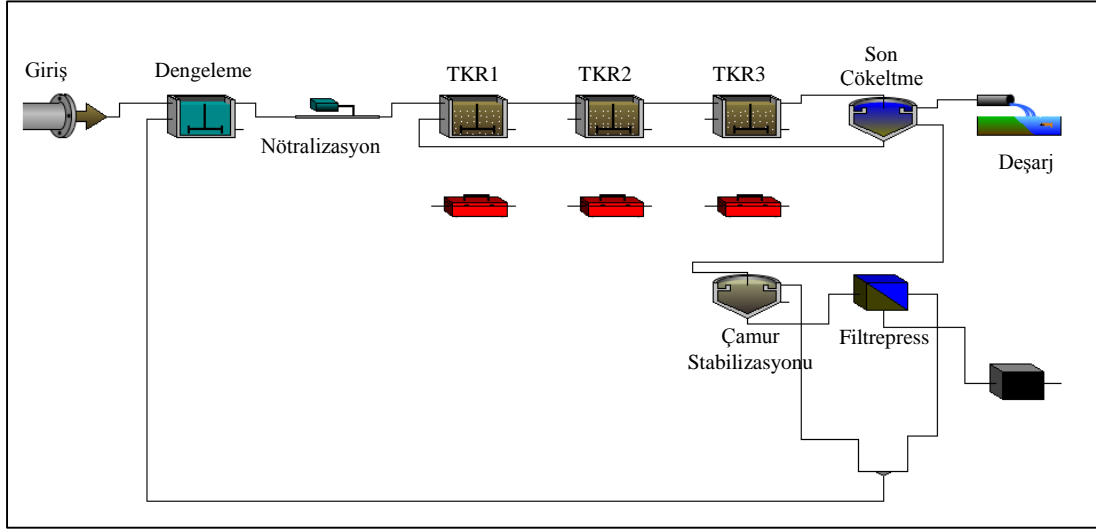
Şekil 5.17 ile görüldüğü üzere giriş atıksuyunda toplam fosfor konsantrasyonları 1 mg/L ile 3 mg/L aralığında değişmekte olup, çok düşük değerlere sahiptir. Aktif çamur sistemlerinde biyokütlenin gelişebilmesi için gerekli besi elementlerinden biri olan fosforun pilot tesis işletme verilerine göre giriş atıksuyunda yetersiz olduğu bilinmektedir. Bu nedenle biyolojik reaktöre zaman zaman fosfor beslemesi yapılmaktadır. Şekil 5.17 ile de görüldüğü üzere çıkış atıksuyunda toplam fosfor konsantrasyonunun zaman zaman giriş değerlerinden yüksek olmasının fosfor beslemesinden nedeniyle kaynakladığı öngörülmektedir. Tesis deşarj standartları arasında fosfor parametresinin olmaması ve çıkış fosfor değerlerinin genellikle oldukça düşük olması bu parametre açısından herhangi bir işletme sorununa neden olmamaktadır.

5.2 Başlangıç Modelinin Hazırlanması

Modelleme çalışmaları kapsamında öncelikle tesisteki aktif çamur prosesini yansıtan bir matematiksel aktif çamur modeli belirlenmiştir. Buna göre GPS-X programında ön tanımlı olan ASM1 modeli esas olarak karbon giderimi ve nitrifikasyon proseslerini gerçekleştiren tesisin modellemesi için seçilmiştir.

Başlangıç çalışmalarında tesis arıtma üniteleri model yerleşimine eklenerek atıksu ve çamur hatlarına ilişkin bağlantılar tanımlanmıştır. Tesis ünitelerinin boyutları bire bir model girdisi olarak atanmış, bu esnada gerçekte tam karışımli tek bir reaktör olan

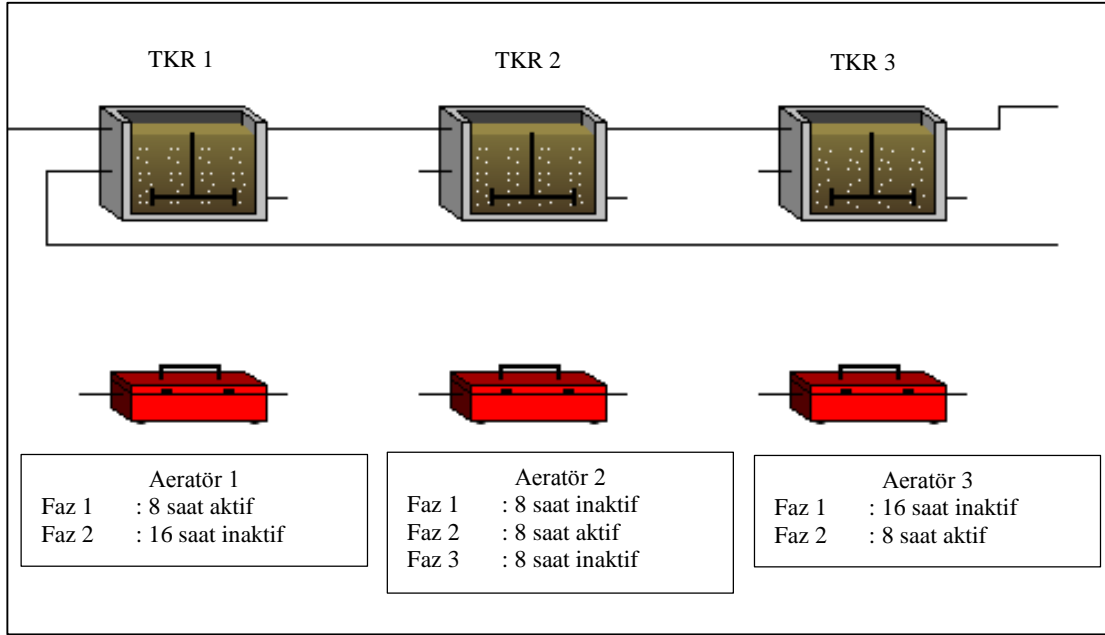
havalandırma havuzu üç ayrı TKR olarak modelde tanımlanmıştır. Bunun sebebi biyolojik reaktörde havalandırma için üç ayrı yüzeysel havalandırıcı kullanılmasıdır. Buna göre gerçekteki havalandırma hacmi üçe bölünerek her bir TKR havuzunun fiziksel boyutlandırması modele girilmiştir. Atıksu arıtma tesisindeki her bir ünite benzer şekilde model yerleşimine eklenmiştir. Tesis konfigürasyonu Şekil 5.18 ile görülmektedir.



Şekil 5.18 : Model tesis konfigürasyonu.

Tesiste havalandırma presibi Bölüm 3.3.1.2 ile açıklandığı üzere havalandırıcıların sıra ile teker teker 8 saat süre ile çalıştırılmasıdır. Havalandırma prensibinin modele aktarılabilmesi için GPS-X modelinin araç kutusu (modelling tool box) isimli işlevi kullanılmış, her bir aeratörün birbiri ardına 8'er saat boyunca çalıştırılması ve istenilen çözünmüş oksijen konsantrasyonunu sisteme temin edilmesi sağlanmıştır. Buna göre modelde yer alan ilk TKR ünitesindeki aeratör 24 saatlik toplam bekletme süresinin ilk 8 saati çalıştırılacak ve gerçek tesiste havalandırma havuzunda ölçülen ortalama 2,0 mg/L'lik çözünmüş oksijen konsantrasyonunu sağlayacak şekilde modele yansıtılmıştır. Bu tanımlamanın yapılabilmesi için model araç kutusunda 1 numaralı aeratörün kriptik adı girilmiş ve 1 günlük süreç 2 ayrı zaman fazına ayrılarak (sırasıyla 0,33 ve 0,64 oranlarında) ilk fazında aktif, ikinci inaktif olduğu tanımlanmıştır. Böylece aeratörün 8 saatlik çalışma periyodu tanımlanmıştır. Modelde yer alan 2. TKR ünitesindeki aeratör 24 saatlik toplam bekletme süresinin ikinci 8 saati çalıştırılacak ve gerçek tesiste havalandırma havuzunda ölçülen ortalama 2,0 mg/L'lik çözünmüş oksijen konsantrasyonunu sağlayacak şekilde modele yansıtılmıştır. Bu tanımlamanın yapılabilmesi için model araç kutusunda 2

numaralı aeratörün kriptik adı girilmiş ve 1 günlük süreç 3 ayrı zaman fazına ayrılarak (sırasıyla 0,33; 0,34 ve 0,33 oranlarında) ilk fazında inaktif, ikinci fazında aktif, üçüncü fazında ise inaktif olduğu tanımlanmıştır. Böylece aeratörün 8 saatlik çalışma periyodu tanımlanmıştır. 3 numaralı TKR'de aeratörün çalışma saati 24 saatlik toplam hidrolik bekletme süresinin son 8 saatinde çalıştırılacak şekilde tanımlanmıştır. Aeratörlerin belirtilen çalışma süreleri ve sıralarına ilişkin model ara yüzünde yapılan tanımlama Şekil 5.19 ile görülmektedir.



Şekil 5.19 : Tesis havalandırma prensibinin model ara yüzünde tanımlanması şematik gösterimi.

Model başlangıç çalışmaları kapsamında 5 günlük izleme analiz sonuçları kullanılarak giriş atıksuyu modeli (influent model) de oluşturulmuştur. Buna göre giriş atıksuyu analiz sonuçları ortalama değerleri dikkate alınarak (Bölüm 5.1.2) ortalama toplam KOİ, TKN ve NH₄-N konsantrasyonları ile UAKM/AKM ve partiküler KOİ/UAKM oranları belirlenmiştir. Ayrıca giriş atıksu modelinde verilmesi gereken KOİ fraksiyonları da analiz sonuçlarına uygun olarak girilmiştir (Çizelge 5.6).

Çizelge 5.6: Başlangıç modeli giriş atıksu karakterizasyonu.

Parametre	Değer
Toplam KOİ (mg/L)	822,36
TKN (mg/L)	107,84
NH ₄ -N (mg/L)	11,86
Çözünmüş oksijen (mg/L)	0,00
Alkalinite (mg/L CaCO ₃)	400,00
UAKM/AKM	0,36
Partiküler KOİ/UAKM	2,24
S _i oranı	0,10
S _s oranı	0,65
X _i oranı	0,05
NH ₄ -N / S _{TKN}	0,15
ixp	0,045

Çizelge 5.6 ile sunulan KOİ fraksiyonları literatürde yer alan tekstil endüstrisi atıksuyu üzerinde yapılmış karakterizasyon analizleri sonuçları ile de karşılaştırılmıştır. Tekstil endüstrisinin farklı alt sektörlerine ait atıksular üzerinde yapılan çalışmalara göre ham atıksudaki çözünmüş KOİ'nin toplam KOİ'ye oranı 0,63 ile 0,94 arasında değişmek olup, genel olarak 0,7-0,8 aralığındadır. İzleme sonuçları ile belirlenen ve modelleme çalışmalarında giriş atıksu modelinde esas alınan çözünmüş inert KOİ (S_I) ve kolay ayrışabilen KOİ (S_S) toplam fraksiyonu da (0,75) bu değer aralığında kalmaktadır. Çalışma kapsamında izleme periyodu analiz sonuçları ile çözünmüş KOİ'nin toplam fraksiyonu belirlenebildiğinden, S_I ve S_S için literatürde yer alan tekstil endüstrisi KOİ fraksiyonları incelenmiş, bu oranların sırasıyla 0,02-0,21 ve 0,53-0,66 gibi değişken aralıklarda olduğu görülmüştür (Orhon ve diğ, 1992). Başlangıç modeli hazırlanırken S_I ve S_S için verilen fraksiyonlar bu değer aralıkları dikkate alınarak seçilmiştir. Aynı şekilde partiküler inert KOİ'nin toplam KOİ'ye oranı da literatür bilgileri dikkate alınarak seçilmiş olup, 0,01-0,07 aralığında kalmaktadır (Orhon ve diğ, 2009).

5.3 Model Kalibrasyonu

Çalışmanın bu aşamasında atıksu arıtma tesisi 5 günlük izleme analiz sonuçları esas alınarak model kalibre edilmiştir. Model kalibrasyonunda tesis çıkış atıksuyu ortalama kirlilik konsantrasyonlarının sağlanması hedeflenmiştir. İlk olarak modelde ön tanımlı olarak yer alan parametreler değiştirilmeden kararlı durum sağlanana kadar (steady state) model koşulmuştur. Biyolojik reaktördeki biyokütle konsantrasyonu ve sağlanan çözülmüş oksijen konsantrasyonu kontrol edilmiştir. Kalibrasyon yapılırken kontrol parametresi olarak 5 günlük analiz sonucu bilinen çıkış atıksuyu KOİ, NH₄-N, TKN, AKM ve UAKM konsantrasyonlarının model sonuçları ile örtüşmesi esas alınmıştır. Giriş atıksuyu izleme verileri ile 5 günlük dinamik simülasyon yapılmış ve çıkış atıksuyu analiz sonuçlarını elde edecek şekilde ilgili parametrelerde manuel kalibrasyon gerçekleştirilmiştir.

Modelleme çalışmasının yapıldığı atıksu arıtma tesisinde gerçekleşen prosesler organik karbon giderimi ve nitrifikasyondur. Organik madde giderimi heterotrof biyokütle tarafından gerçekleştirilmekte, amonyumun oksitlenmesine dayanan nitrifikasyon ise ototrof biyokütle tarafından sağlanmaktadır. Bu proseslerle ilgili olarak, Weijers ve Vanrolleghem tarafından yapılan hassasiyet analizi çalışmalarına göre ASM1 aktif çamur modelinde en etkili parametreler heterotroflar için dönüşüm oranı (Y_H), ototroflar için dönüşüm oranı (Y_A), heterotroflar için maksimum çoğalma hızı (μ_H), ototroflar için maksimum çoğalma hızı (μ_A), heterotroflar için spesifik ölüm katsayısı (b_H), heterotrofik biyokütle için substrat yarı doygunluk sabiti (K_S), ototrof biyokütle için oksijen yarı doygunluk sabiti (K_{OA}) olarak belirlenmiştir (Weijers ve Vanrolleghem, 1997). Manuel model kalibrasyonunda öncelikli olarak bu parametrelerin düzeltilmesi yapılmış ve kalibre edilen parametre değerleri literatür değerleri ile karşılaştırmalı olarak Çizelge 5.7 ile sunulmuştur.

Çizelge 5.7: Kalibre edilen kinetik ve stokiyometrik parametreler

Parametre	Birim	Ön Tanımlı Değer	Kalibre Edilen Değer	Literatür
Heterotroflar için dönüşüm oranı	g KOİ/g KOİ	0,666	0,6	0,60 ^[1] - 0,69 ^[2]
Ototroflar için dönüşüm oranı	g KOİ/g N	0,24	0,17	0,24 ^[3]
Heterotroflar için maksimum spesifik çoğalma hızı	1/gün	6,0	3,5	3,9 ^[4]
Kolay bozunabilen substrat yarı doygunluk sabiti	mg KOİ/L	20,0	15,0	10 ^[5] - 20 ^[6]
Heterotroflar için ölüm hızı	1/gün	0,62	0,2	0,14 ^[2] – 0,18 ^[5]
Ototroflar için maksimum spesifik çoğalma hızı	1/gün	0,8	0,4	0,345-0,411 ^[7]
Ototrofların çoğalması için amonyak yarı doygunluk sabiti	mg N/L	1,0	1,2	1,441-2,947 ^[7]
Ototroflar için ölüm hızı	1/gün	0,04	0,05	0,05 ^[3]
Maksimum spesifik hidroliz hızı	1/gün	3,0	2,0	2,0 ^[5]

[1] (Babuna ve diğ., 1999)

[2] (Babuna ve diğ., 1998)

[3] (Henze ve diğ., 1987)

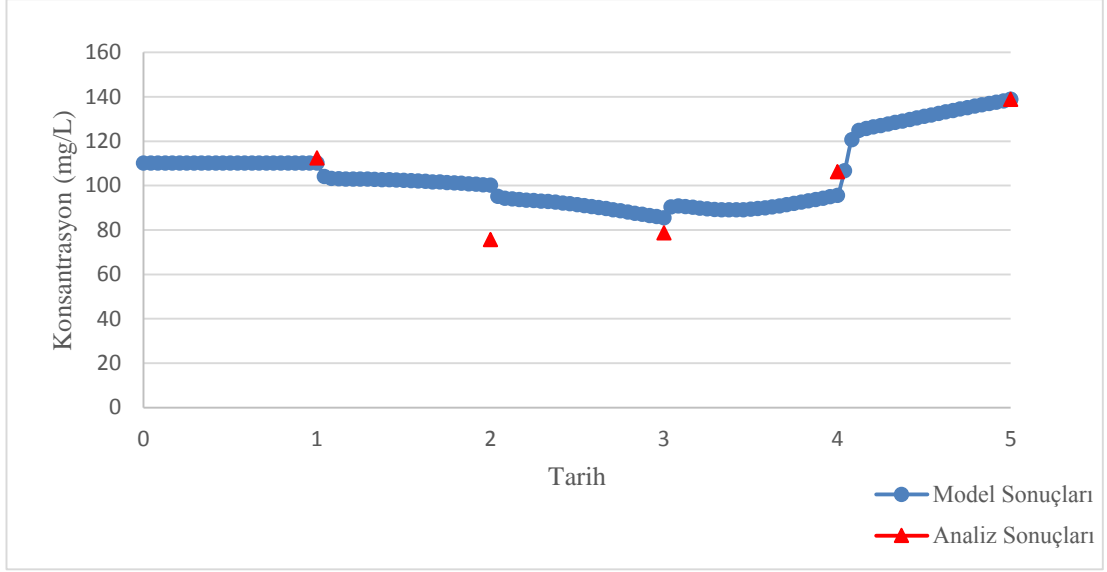
[4] (Sözen ve diğ., 1998)

[5] (Ubay Çokgör., 1997)

[6] (Orhon ve diğ., 2001)

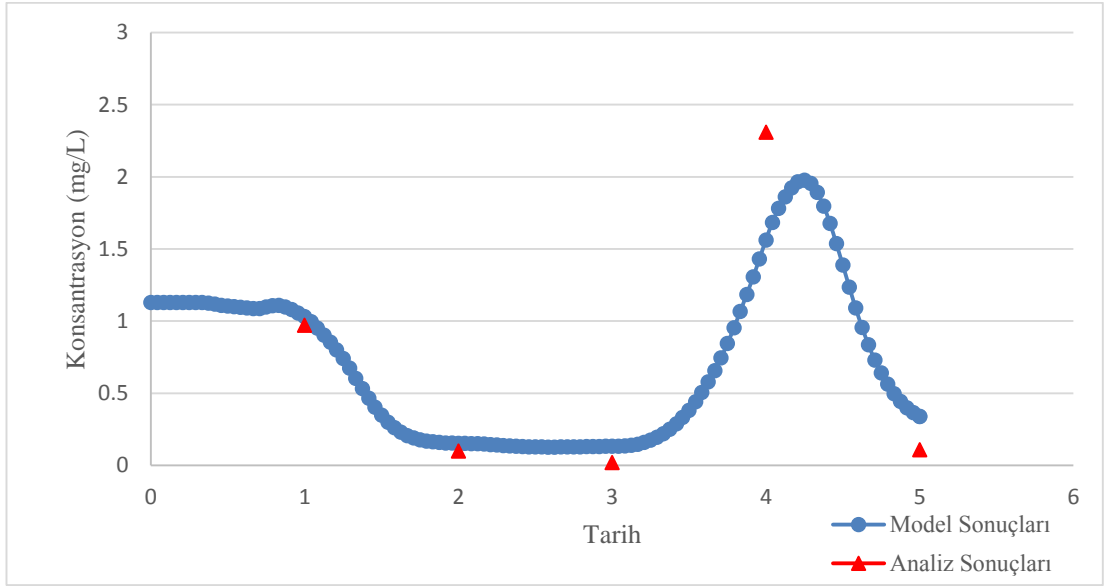
[7] (Gounder, 2006)

KOİ parametresi için kalibre edilen model sonuçları ve izleme periyodu analiz sonuçları Şekil 5.20 ile sunulmaktadır. Kalibrasyon sonrası model sonuçlarının tesis izleme analiz sonuçları ile örtüştüğü görülmektedir.



Şekil 5.20 : KOİ parametresi için analiz sonuçları ve kalibre model sonuçlarının karşılaştırılması.

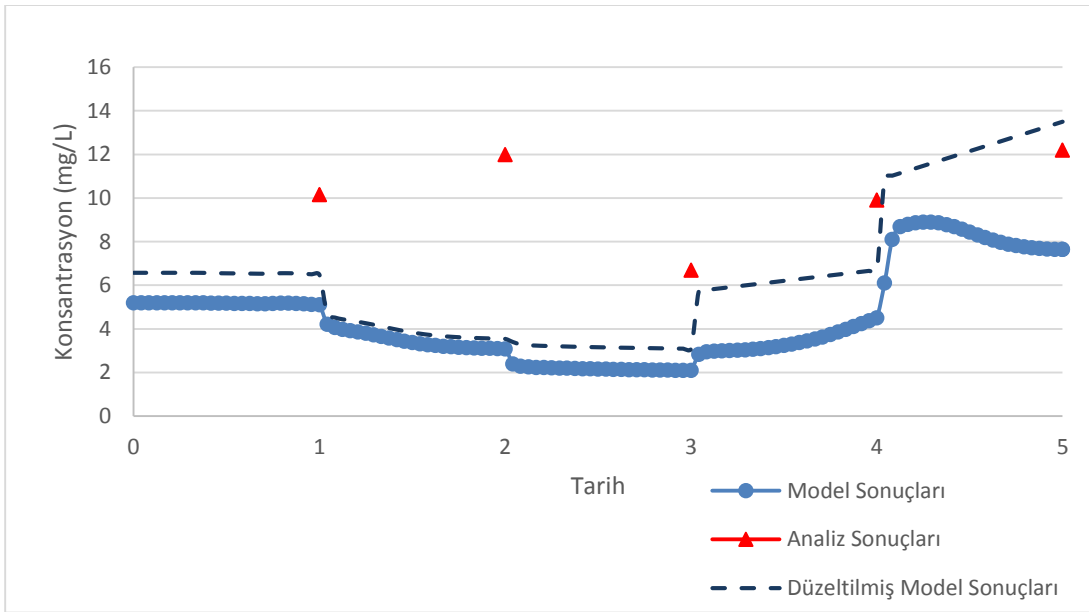
NH₄-N parametresi için kalibre edilen model sonuçları ve izleme periyodu analiz sonuçları Şekil 5.21 ile sunulmaktadır. Kalibrasyon sonrası model sonuçlarının tesis izleme analiz sonuçları ile örtüştüğü görülmektedir.



Şekil 5.21 : NH₄-N parametresi için analiz sonuçları ve kalibre model sonuçlarının karşılaştırılması.

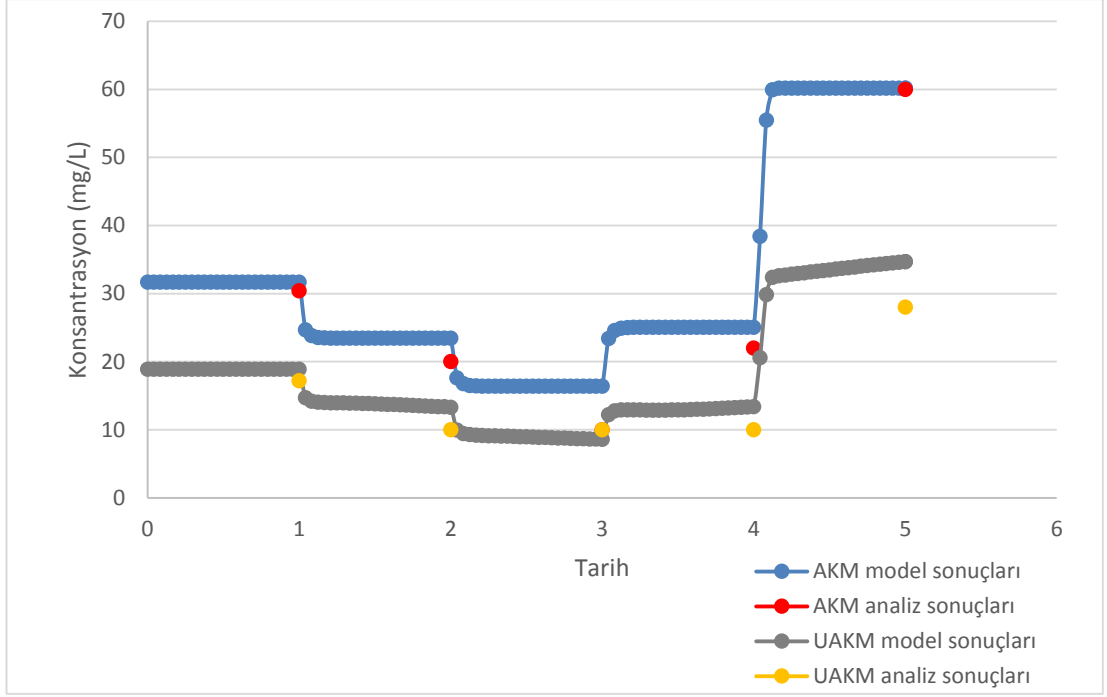
TKN parametresi için kalibre edilen model sonuçları ve izleme periyodu analiz sonuçları Şekil 5.22 ile sunulmaktadır. Kalibrasyon sonrası model sonuçlarının tesis izleme analiz sonuçları ile örtüştüğü, ancak genel olarak analiz sonuçlarından daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durumun giriş atıksuyundaki TKN'nin büyük

oranda partiküler organik azottan kaynaklanması (biyokütle yapısındaki organik azot) ve son çökeltme performansına bağlı olarak çıkış atıksuyunda yüksek konsantrasyonlarda ölçülmesine sebep olduğu öngörülmektedir. Model sonuçları ile analiz sonuçları arasında ortalama olarak 5 mg/L azot farkı olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, çıkış atıksuyundaki UAKM analiz sonuçları ile belirlenen ve son çökeltmede çökelemediği öngörülen biyokütle yapısındaki TKN karşılığı hesaplanarak model sonuçlarına ilave edilmiş ve Şekil 5.22 ile sunulan grafiğe yansıtılmıştır. Düzeltilmiş model sonuçlarının analiz sonuçları ile arasındaki farkın azaldığı görülmektedir.



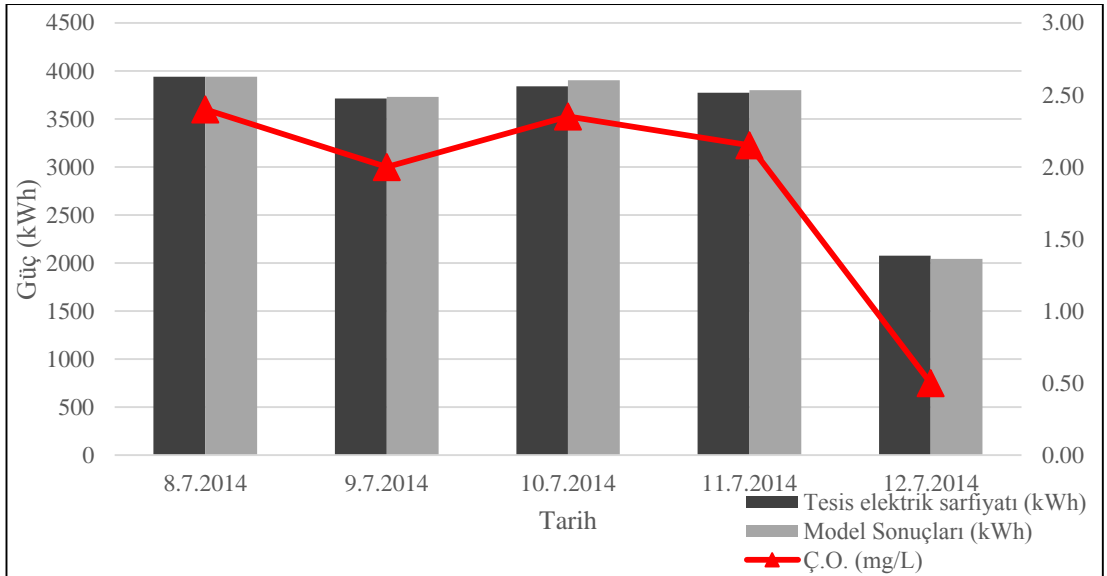
Şekil 5.22 : TKN parametresi için analiz sonuçları ve kalibre model sonuçlarının karşılaştırılması.

AKM ve UAKM parametreleri için kalibre edilen model sonuçları ve izleme periyodu analiz sonuçları Şekil 5.23 ile sunulmaktadır. Kalibrasyon sonrası model sonuçlarının tesis izleme analiz sonuçları ile örtüştüğü görülmektedir. 3. gün analiz sonuçlarına göre AKM ve UAKM konsantrasyonunun 10 mg/L olması genel olarak analiz sonuçlarında AKM/UAKM oranının değişimi ile değerlendirildiğinde beklenmeyen bir durumdur. Model sonuçlarına göre 3. gün AKM konsantrasyonunun 20 mg/L civarındadır.



Şekil 5.23 : AKM ve UAKM parametreleri için analiz sonuçları ve kalibre model sonuçlarının karşılaştırılması.

Model kalibrasyonu çalışması kapsamında çıkış atıksuyunda kirletici parametrelerin yanısıra tesis enerji tüketimi de değerlendirilmiştir. İzleme sürecinde tesiste tüketilen elektrik sarfiyat bilgisi dikkate alınarak, model elektrik tüketim değerleri karşılaştırılmıştır (Şekil 5.24).



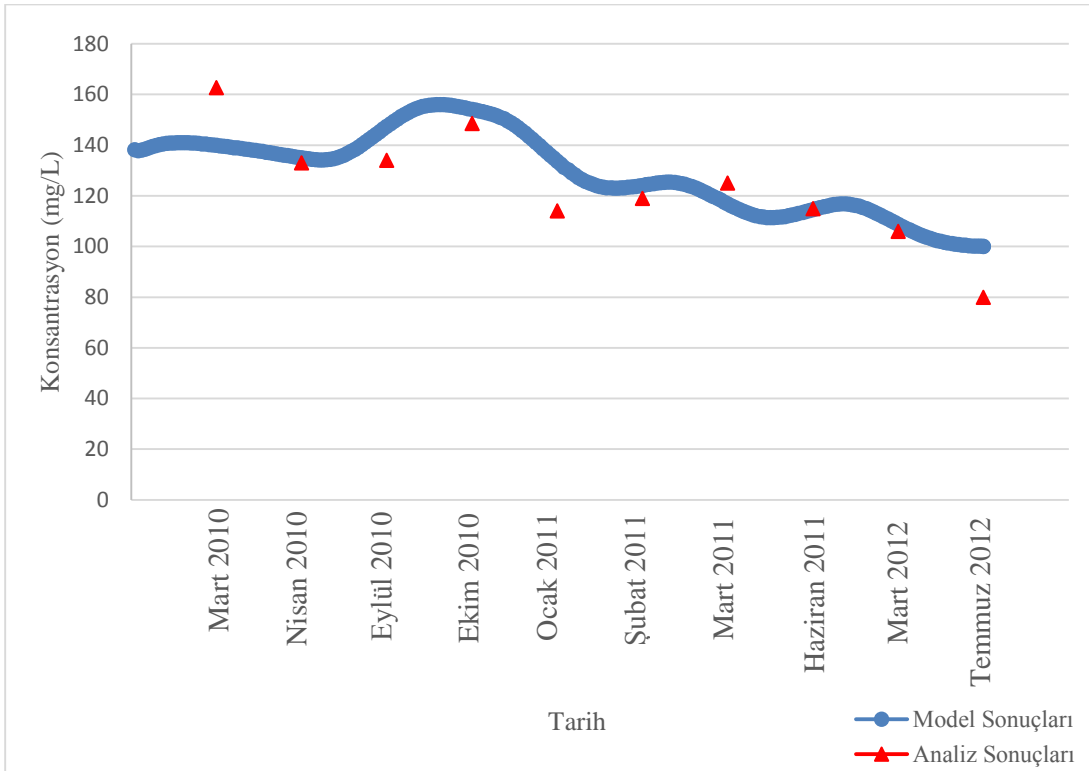
Şekil 5.24 : Elektrik sarfiyatı için analiz sonuçları ve kalibre model sonuçlarının karşılaştırılması.

Tesiste kayıt altına alınan elektrik sarfiyat bilgileri dikkate alındığında, yüzeysel havalandırıcıların çalıştırılma süresi ve sistemde sağlanan çözünmüş oksijen konsantrasyonuna bağlı olarak elektrik sarfiyatının değişim gösterdiği anlaşılmaktadır.

5.4 Model Doğrulaması

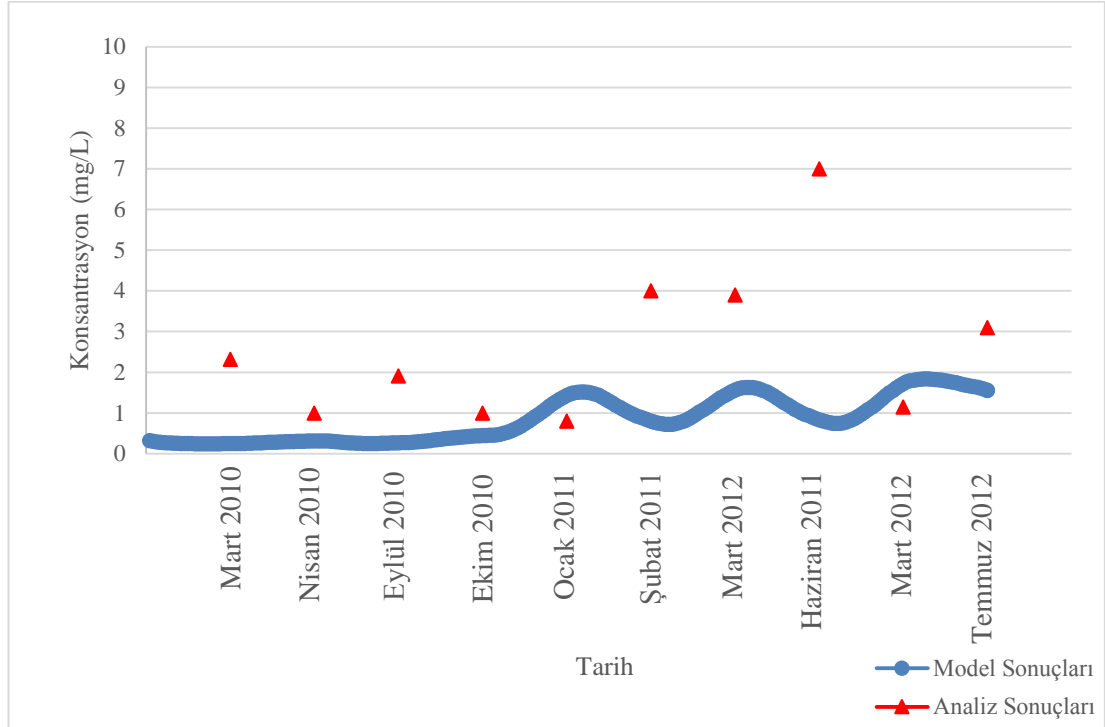
Kalibrasyonun tamamlanmasının ardından, tesis yetkileri tarafından kayıt altına alınan 10 aylık ortalama giriş ve çıkış atıksuyu analiz sonuçları esas alınarak KOİ ve NH₄-N parametreleri için model doğrulaması yapılmıştır. Kayıt altına alınmış izleme verileri ayda 1 yada 2 kez yapılmış olan ölçüm sonuçları yansıttığından doğrulamada model günlük olarak koşulmuştur. Arıtma tesisi deşarj kriterleri açısından yalnızca KOİ ve NH₄-N için kısıtlamalara tabii olduğundan mevcut izleme sonuçları bu parametreler için mevcuttur ve doğrulamada kullanılabilmiştir.

KOİ parametresi için doğrulama model sonuçları ve mevcut izleme analiz sonuçları Şekil 5.25 ile sunulmaktadır. Model sonuçlarının tesis izleme analiz sonuçları ile örtüştüğü görülmektedir.



Şekil 5.25 : KOİ parametresi için analiz sonuçları ve doğrulama model sonuçlarının karşılaştırılması.

NH₄-N parametresi için doğrulama model sonuçları ve mevcut izleme analiz sonuçları Şekil 5.26 ile sunulmaktadır. Model sonuçlarının tesis izleme analiz sonuçları ile merite seviyesinde genel olarak örtüştüğü görülmektedir.



Şekil 5.26 : NH₄-N parametresi için analiz sonuçları ve doğrulama model sonuçlarının karşılaştırılması.

5.5 Optimizasyon ve İyileştirmeye Yönelik Senaryoların Geliştirilmesi

Çalışmanın bu bölümünde modellenmesi tamamlanan atıksu arıtma tesisi için farklı senaryo alternatifleri türetilerek tesis enerji optimizasyonunun ve tesis performansının iyileştirmesine yönelik uygulamalar araştırılmıştır. Bu kapsamda değerlendirilen alternatifler şunlardır;

- Senaryo 1 : Mevcut tesis havalandırma presibinin değiştirilmesi ve enerji tüketiminin azaltılması,
- Senaryo 2 : Tesis deşarj kriterlerinin sıkılaştırılması ve çıkış atıksu kalitesinin artırılması gerekliliği,
- Senaryo 3 : Üretim kapasitesi artışı sonrasında tesis yeterliliğinin değerlendirilmesi.

5.5.1 Senaryo 1: Tesis enerji tüketiminin azaltılması

Bu senaryoda atıksu arıtma tesisinde mevcut durumda uygulanmakta olan havalandırma prensibinin (Bölüm 3.3.1.2) değiştirilerek, farklı kesikli havalandırma koşulları altında tesis davranışının ve enerji tüketiminin incelenmesi hedeflenmiştir. Atıksu arıtma tesislerinde kesikli havalandırma uygulamasının, sağladığı aerobik ve anoksik koşullar neticesinde nitrifikasyon ve denitrifikasyon verimini artırarak azot giderim verimi artırdığı bilinmektedir (Battistoni ve diğ., 2003). Bu kapsamda tesiste bulunan yüzeysel havalandırıcıların çalışma kapasitelerinin değiştirilmesi ve farklı zaman periyotları için çalıştırılması ve durdurulması modelde simüle edilerek, mevcut enerji sarfiyatının azaltılması ve çıkış toplam azot konsantrasyonunun azaltılması araştırılmıştır.

Atıksu arıtma tesislerinde sistemde istenilen çözülmüş oksijen konsantrasyon değeri aşağı çekilerek havalandırma hızının azaltılması tesis enerji optimizasyonu için uygulanan bir yöntemdir. Havalandırma hızının düşürülmesi aeratör kapasitesinin azaltılmasına karşık gelmekte, sistemdeki oksijen transfer hızında veya diğer sistem bileşenlerinde herhangi bir olumsuzluk yaratmamaktadır. Genel olarak tam olarak havalandırılmış ve iyi karıştırılmış havalandırma havuzlarında minimum 0,8 mg/L ile maksimum 2,0-2,5 mg/L oksijen konsantrasyon değerleri uygulanabilir (ÇŞB, 2010).

Çalışma kapsamında mevcut tesisin havalandırma havuzunda sağlanan çözülmüş oksijen konsantrasyonları azaltılarak farklı kesikli havalandırma koşulları oluşturulmuş, mevcut duruma göre enerji sarfiyatı sağlanabilen uygulanabilir alternatifler belirlenmiş ve bu bölümde sunulmuştur.

5.5.1.1 Senaryo 1.a

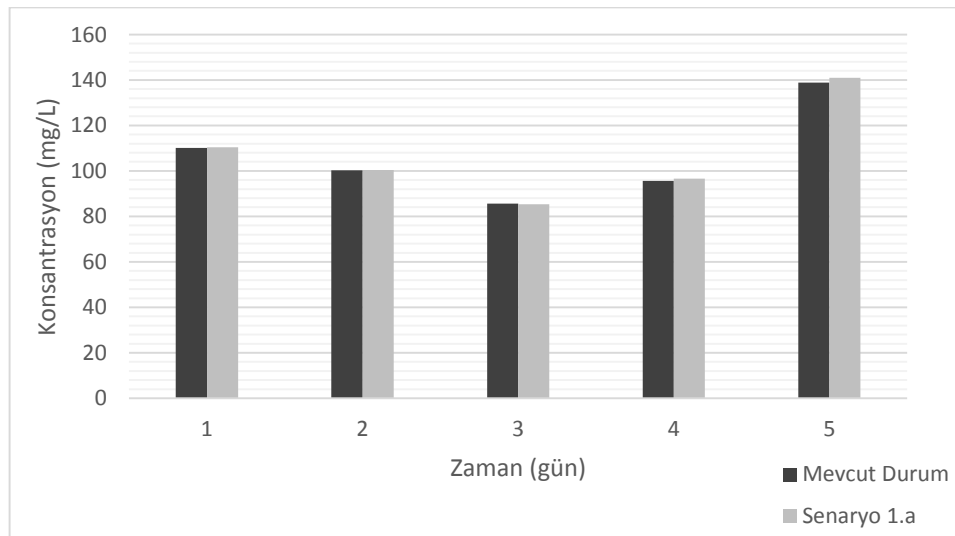
Senaryo 1.a alternatifinde tesiste yer alan 3 yüzeysel havalandırıcının çalışma kapasiteleri %25 oranında azaltılmış, işletme sıraları değiştirilmemiştir. Mevcut tesis çalışma presibi ile sisteme ortalama olarak 2,0 mg/L çözülmüş oksijen konsantrasyonu sağlanabilmektedir. Aeratör kapasitelerinin %25 oranında azaltılması havalandırma hızını ve aeratör devir sayısını azaltarak sisteme sağlanan çözülmüş oksijen konsantrasyonunu 1,5 mg/L çözülmüş oksijen konsantrasyonuna düşürmektedir.

Modelde tesisteki toplam 24 saatlik hidrolik bekleme süresi 8'er saatlik 3 periyot olarak değerlendirilmiştir. Buna göre, Aeratör-1 ilk 8 saatlik periyot boyunca, Aeratör-2 ikinci 8 saatlik periyot boyunca, Aeratör-3 üçüncü 8 saatlik periyot boyunca çalıştırılmaktadır. Geri kalan zaman periyotlarında aeratörler durdurulmaktadır. Tesisteki mevcut havalandırıcı işletme prensibi ve Senaryo 1.a kapsamında araştırılan işletme prensibinin karşılaştırması Çizelge 5.8 ile görülmektedir.

Çizelge 5.8: Mevcut ve senaryo 1.a kesikli havalandırma prensipleri kapsamında havalandırıcı çalışma saat aralıkları.

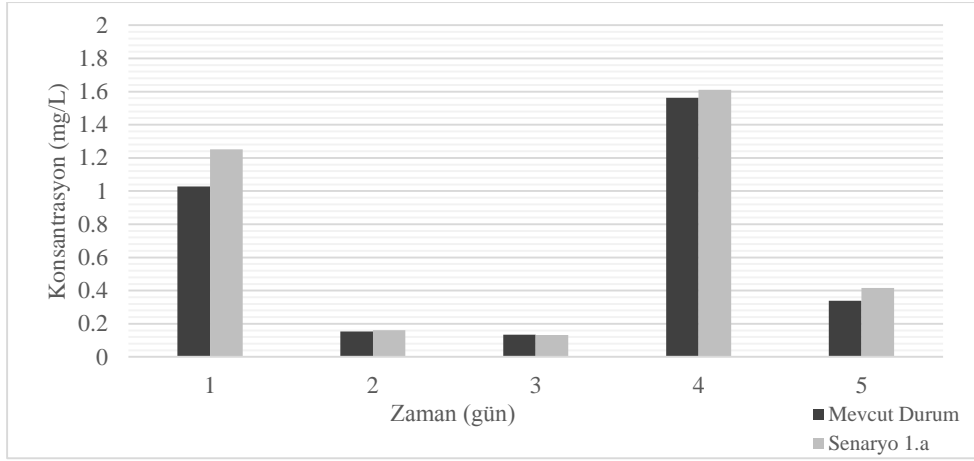
Prensip	Aeratör 1 çalışma saatleri	Aeratör 2 çalışma saatleri	Aeratör 3 çalışma saatleri	Çözünmüş O ₂ (mg/L)
Mevcut	00.00-08.00	08.00-16.00	16.00-24.00	2,0
Senaryo 1.a	00.00-08.00	08.00-16.00	16.00-24.00	1,5

Senaryo 1.a'da aeratörler mevcut durum ile aynı süre çalıştırılmış, ancak biyolojik reaktörde çözünmüş oksijen konsantrasyonunun 1,5 mg/L seviyesine çekildiğinde, tesis çıkış atıksuyu kirlilik konsantrasyonları ve enerji tüketiminin değişimi belirlenmiştir. Çalışma kapsamında 5 günlük izleme dönemi giriş ve çıkış atıksu karakterizasyonu esas alınarak Senaryo 1.a havalandırma prensibine göre model koşulmuş, KOİ, NH₄-N ve TN parametreleri bazında çıkış atıksu karakterizasyonunun mevcut durumu yansıtan kalibrasyon sonuçları ile karşılaştırması Şekil 5.27, Şekil 5.28 ve Şekil 5.29 ile sunulmuştur.



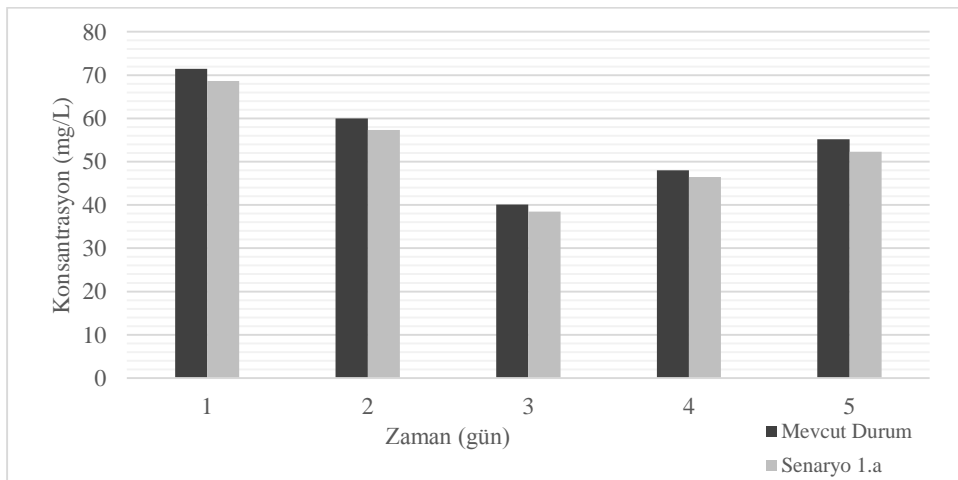
Şekil 5.27 : KOİ parametresi için mevcut durum ve senaryo 1.a sonuçlarının karşılaştırılması.

Şekil 5.27 ile görüldüğü üzere tesis havalandırma prensibinin Senaryo 1.a uyarınca değiştirilmesi durumunda çıkış atıksuyu KOİ konsantrasyonlarında belirgin bir değişim gözlenmemekte ve tesisin uymakla yükümlü olduğu deşarj standartları (200 mg/L) sağlanabilmektedir.



Şekil 5.28 : NH₄-N parametresi için mevcut durum ve senayo 1.a sonuçlarının karşılaştırılması.

Şekil 5.28 ile görüldüğü üzere aeratör kapasitenin azaltılarak sisteme sağlanan çözünmüş oksijen konsantrasyonunun 1,5 mg/L'ye azaltılması çıkış atıksuyunda mevcut duruma göre (2,0 mg/L çözünmüş oksijen sağlanması) amonyum azotu konsantrasyonlarının artışına sebep olmaktadır. Model sonuçlarına göre daha düşük çözünmüş oksijen konsantrasyonu altında işletilen sistemin nitrifikasyon prosesini etkilediği ve azalttığı anlaşılmaktadır. Ancak, tesis çıkış atıksuyunun uymakla yükümlü olduğu NH₄-N deşarj kriteri (5 mg/L) sağlanabilmektedir.



Şekil 5.29 : Toplam azot parametresi için mevcut durum ve senayo 1.a sonuçlarının karşılaştırılması.

Şekil 5.29 ile görüldüğü üzere tesis havalandırma prensibinin Senaryo 1.a uyarınca değiştirilmesi durumunda çıkış atıksuyu toplam azot konsantrasyonlarında bir azalma söz konusudur. Senaryo sonuçlarına göre çıkış atıksuyundaki toplam azot konsantrasyonları ile mevcut durumu yansıtan kalibrasyon sonuçları Çizelge 5.9 ile verilmektedir.

Çizelge 5.9: Toplam azot parametresi için mevcut durum ve senaryo 1.a sonuçları.

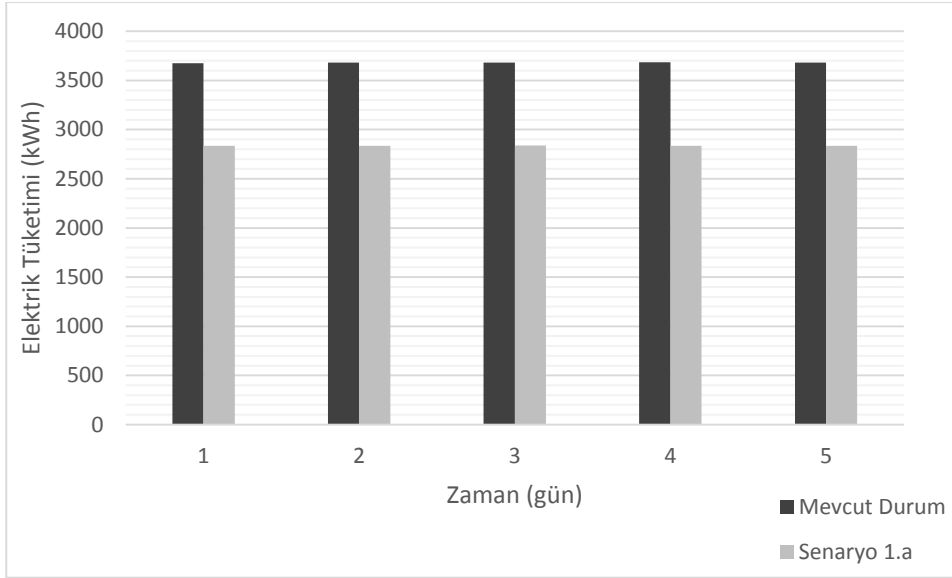
Zaman (gün)	Mevcut durum çıkış TN konsantrasyonu (mg/L)	Senaryo 1.a çıkış TN konsantrasyonu (mg/L)	Fark (%)
1	71,46	68,61	3,99
2	59,98	57,29	4,48
3	40,12	38,45	4,16
4	48	46,44	3,25
5	55,18	52,32	5,18

Çizelge 5.9 ile de görüldüğü üzere Senaryo 1.a havalandırma prensibinin uygulanması durumunda çıkış atıksuyu TN konsantrasyonları %3 ile %5 arasında azalmaktadır. Kesikli havalandırma prensibinin Senaryo 1.a uyarınca tesiste uygulanması ve çözünmüş oksijen konsantrasyonunun 1,5 mg/L seviyelerine düşürülmesi, çıkış atıksuyunda oksitlenmiş azot fraksiyonlarının düşmesini ve denitrifikasyon prosesinin oluşumu için anoksik koşulların oluşumunu daha kolay sağlayabilmekte ve TN parametresinin azalmasını sağlamaktadır.

Senaryo 1.a model sonuçlarına göre organik madde giderimi ve nitrifikasyon prosesleri verimleri ile tesis deşarj kriterleri dikkate alındığında mevcut işletme koşullarında sağlanmaya çalışılan 2 mg/L ve genelde üzerinde seyreden çözünmüş oksijen konsantrasyonu sistemde arıtmanın sağlanabilmesi için ihtiyaç duyulanın üzerindedir.

Senaryo 1.a havalandırma prensibinin tesiste uygulanması sonucu elektrik sarfiyat miktarları belirlenmiş, mevcut durumdaki tesis ortalama enerji sarfiyatı miktarları ile birlikte Şekil 5.30 ile sunulmuştur. Karşılaştırmanın doğru yapılabilmesi için mevcut durum elektrik sarfiyatı çözünmüş oksijen konsantrasyonunun günlük olarak değişmediği ve 2,0 mg/L olduğu kabul edilmiştir. Bu nedenle günlük elektrik tüketim miktarı genel olarak aynı seviyelerde seyretmektedir. Şekil 5.30 ile görüldüğü üzere tesisteki aeratörlerin mevcut duruma göre kapasitesinin %25 oranında azaltılarak

çalıştırılması ve çözülmüş oksijen konsantrasyonunun 1,5 mg/L seviyelerine çekilmesi elektrik tüketiminde de belirgin bir azalma sağlamaktadır. Bu senaryonun model sonuçlarına göre tesiste sarf edilen elektrik miktarının ortalama olarak %23 oranında azaldığı belirlenmiştir.



Şekil 5.30 : Elektrik tüketimi için mevcut durum ve senaryo 1.a sonuçlarının karşılaştırılması.

5.5.1.2 Senaryo 1.b

Senaryo 1.a model sonuçlarına göre aeratör kapasitelerinin azaltılarak biyolojik reaktördeki çözülmüş oksijen konsantrasyonunun azaltılması ile tesiste deşarj kriterleri ve enerji tasarrufu sağlanabildiği anlaşılmaktadır. Buna göre aeratör kapasitelerinin ve çözülmüş oksijen konsantrasyonunun daha da azaltılması durumu Senaryo 1.b ile değerlendirilmiştir.

Senaryo 1.b alternatifinde tesiste yer alan 3 yüzeysel havalandırıcının çalışma kapasiteleri %50 oranında azaltılmış, işletme sıraları değiştirilmemiştir. Aeratör kapasitelerinin %50 oranında azaltılması havalandırma hızını ve aeratör devir sayısını azaltarak sisteme sağlanan çözülmüş oksijen konsantrasyonunu 1,0 mg/L çözülmüş oksijen konsantrasyonuna düşürmektedir.

Modelde tesisteki toplam 24 saatlik hidrolik bekletme süresi 8'er saatlik 3 periyot olarak değerlendirilmiştir. Buna göre, Aeratör-1 ilk 8 saatlik periyot boyunca, Aeratör-2 ikinci 8 saatlik periyot boyunca, Aeratör-3 üçüncü 8 saatlik periyot boyunca çalıştırılmaktadır. Geri kalan zaman periyotlarında aeratörler

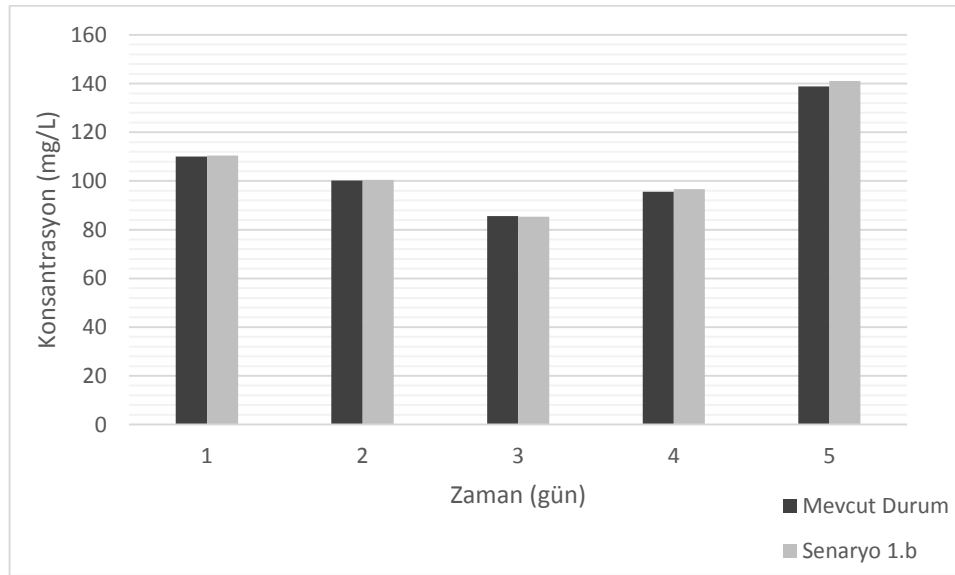
durdurulmaktadır. Tesisteki mevcut havalandırıcı işletme prensibi ve Senaryo 1.b kapsamında araştırılan işletme prensibinin karşılaştırması Çizelge 5.10 ile görülmektedir.

Çizelge 5.10: Mevcut ve senaryo 1.b kesikli havalandırma prensipleri kapsamında havalandırıcı çalıştırma saat aralıkları.

Prensip	Aeratör 1 çalıştırma saatleri	Aeratör 2 çalıştırma saatleri	Aeratör 3 çalıştırma saatleri	Çözünmüş O ₂ (mg/L)
Mevcut	00.00-08.00	08.00-16.00	16.00-24.00	2,0
Senaryo 1.b	00.00-08.00	08.00-16.00	16.00-24.00	1,0

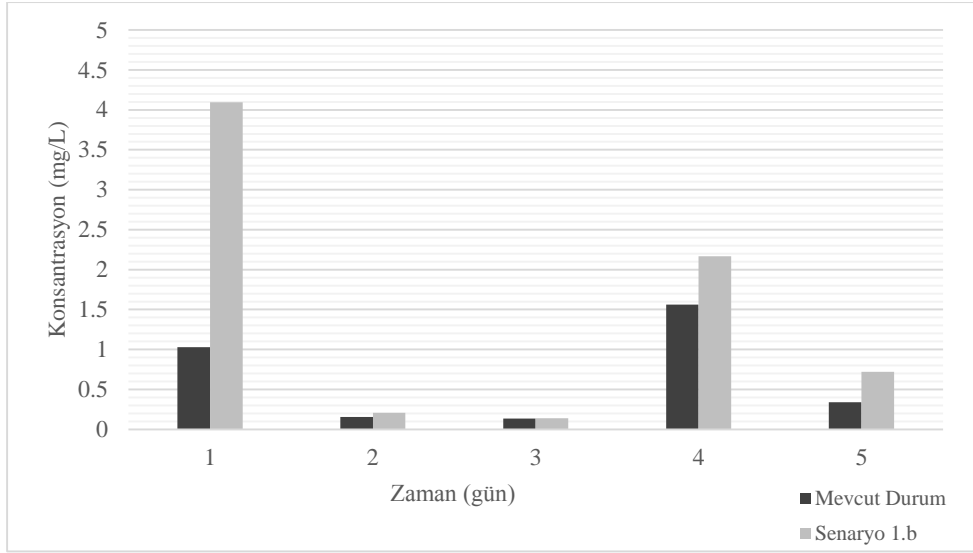
Çizelge 5.10 ile görüldüğü üzere mevcut durumda tesiste aeratörler toplam 24 saat çalıştırılıp, biyolojik reaktörde 2,0 mg/L çözünmüş oksijen sağlanırken, Senaryo 1.b'de aeratörler günde toplam aynı süre çalıştırılmış ve biyolojik reaktörde çözünmüş oksijen konsantrasyonu 1,0 mg/L seviyesine çekilerek, tesis çıkış atıksuyu kirlilik konsantrasyonları ve enerji tüketiminin değişimi belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında 5 günlük izleme dönemi giriş ve çıkış atıksu karakterizasyonu esas alınarak Senaryo 1.b havalandırma prensibine göre model koşulmuş, KOİ, NH₄-N ve TN parametreleri bazında çıkış atıksu karakterizasyonunun mevcut durumu yansıtan kalibrasyon sonuçları ile karşılaştırması Şekil 5.31, Şekil 5.32 ve Şekil 5.33 ile sunulmuştur.



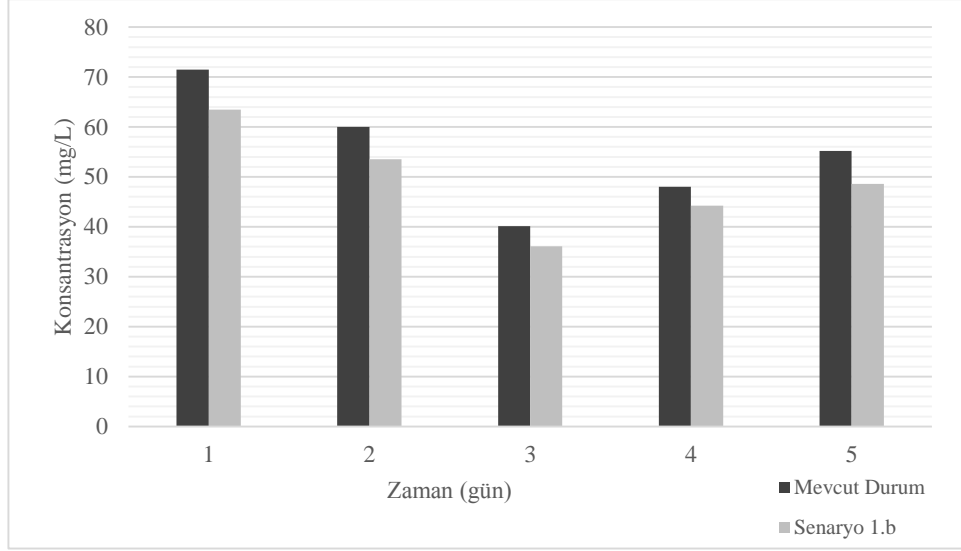
Şekil 5.31 : KOİ parametresi için mevcut durum ve senaryo 1.b sonuçlarının karşılaştırılması.

Şekil 5.31 ile görüldüğü üzere tesis havalandırma prensibinin Senaryo 1.b uyarınca değiştirilmesi durumunda çıkış atıksuyu KOİ konsantrasyonlarında belirgin bir değişim gözlenmemekte ve tesisin uymakla yükümlü olduğu deşarj standartları (200 mg/L) sağlanabilmektedir.



Şekil 5.32 : NH₄-N parametresi için mevcut durum ve senayo 1.b sonuçlarının karşılaştırılması.

Şekil 5.32 ile görüldüğü üzere aeratör kapasitenin azaltılarak sisteme sağlanan çözünmüş oksijen konsantrasyonunun 1,0 mg/L'ye azaltılması çıkış atıksuyunda mevcut duruma göre (2,0 mg/L çözünmüş oksijen sağlanması) amonyum azotu konsantrasyonlarında belirgin bir artışına sebep olmaktadır. Senaryo 1.b havalandırma prensibi ile biyolojik reaktörde sağlanan 1,0 mg/L çözünmüş oksijen konsantrasyonu nitrifikasyonun azalmasına ve çıkış amonyum azotu konsantrasyonlarının artmasına sebep olmaktadır. Ancak, 5 günlük izleme dönemi giriş atıksu karakterizasyonu ile koşulan model sonuçlarına göre tesis çıkış atıksuyunun uymakla yükümlü olduğu NH₄-N deşarj kriteri (5 mg/L) sağlanabilmektedir.



Şekil 5.33 : Toplam azot parametresi için mevcut durum ve senaryo 1.b sonuçlarının karşılaştırılması.

Şekil 5.33 ile görüldüğü üzere tesis havalandırma prensibinin Senaryo 1.b uyarınca değiştirilmesi durumunda çıkış atıksuyu toplam azot konsantrasyonlarında belirgin bir azalma söz konusudur. Senaryo sonuçlarına göre çıkış atıksuyundaki toplam azot konsantrasyonları ile mevcut durumu yansıtan kalibrasyon sonuçları Çizelge 5.11 ile verilmektedir.

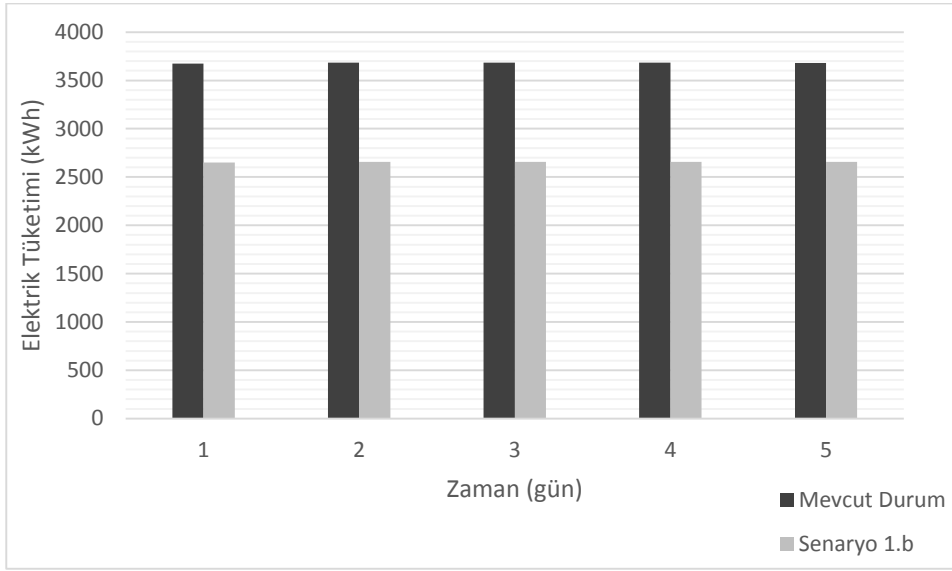
Çizelge 5.11: Toplam azot parametresi için mevcut durum ve senaryo 1.b sonuçları.

Zaman (gün)	Mevcut durum çıkış TN konsantrasyonu (mg/L)	Senaryo 1.b çıkış TN konsantrasyonu (mg/L)	Fark (%)
1	71,46	63,46	11,20
2	59,98	53,5	10,80
3	40,12	36,11	10,00
4	48	44,22	7,88
5	55,18	48,61	11,91

Çizelge 5.11 ile de görüldüğü üzere Senaryo 1.b havalandırma prensibinin uygulanması durumunda çıkış atıksuyu TN konsantrasyonları %8 ile %12 arasında azalmakta, 5 günün ortalama çıkış değerleri esas alındığında %10 oranında azalma söz konusudur. Kesikli havalandırma prensibinin Senaryo 1.b uyarınca tesiste uygulanması ve çözünmüş oksijen konsantrasyonunun 1,0 mg/L seviyelerine düşürülmesi, çıkış atıksuyunda oksitlenmiş azot fraksiyonlarının düşmesini ve

denitrifikasyon prosesinin oluşumu için anoksik koşulların oluşumunu daha kolay sağlayabilmekte ve TN parametresinin azalmasını sağlamaktadır.

Senaryo 1.b havalandırma prensibinin tesiste uygulanması sonucu elektrik sarfiyat miktarları belirlenmiş, mevcut durumdaki tesis ortalama enerji sarfiyatı miktarları ile birlikte Şekil 5.34 ile sunulmuştur. Şekil 5.34 ile görüldüğü üzere tesisteki aeratörlerin mevcut duruma göre kapasitesinin %50 oranında azaltılarak çalıştırılması ve çözülmüş oksijen konsantrasyonunun 1,0 mg/L seviyelerine çekilmesi elektrik tüketiminde de belirgin bir azalma sağlamaktadır. Bu senaryonun model sonuçlarına göre tesiste sarf edilen elektrik miktarının ortalama olarak %28 oranında azaldığı belirlenmiştir.



Şekil 5.34 : Elektrik tüketimi için mevcut durum ve senaryo 1.b sonuçlarının karşılaştırılması.

5.5.1.3 Senaryo 1.c

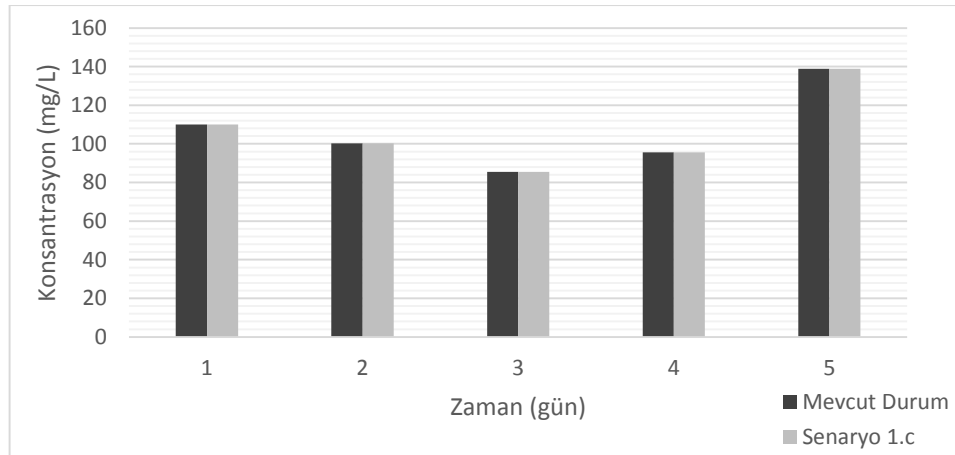
Senaryo 1.c alternatifinde tesiste uygulanan mevcut havalandırma prensibi değiştirilmiş, 3 yüzeysel havalandırıcının üç saatlik zaman periyotları içinde 1 saat çalıştırılması ve devamındaki 2 saat boyunca durdurulması işletme prensibi uygulanmıştır. Tesisteki toplam 24 saatlik hidrolik bekletme süresi 3'er saatlik 8 periyot olarak değerlendirilmiştir. Tüm aeratörler eş zamanlı olarak çalıştırılmakta ve durdurulmaktadır. Buna göre, tesisteki mevcut havalandırıcı işletme prensibi ve Senaryo 1.c kapsamında araştırılan işletme prensibinin karşılaştırması Çizelge 5.12 ile görülmektedir.

Çizelge 5.12: Mevcut ve senaryo 1.c kesikli havalandırma prensipleri kapsamında havalandırıcı çalışma saat aralıkları.

Prensip	Aeratör 1 çalışma saatleri	Aeratör 2 çalışma saatleri	Aeratör 3 çalışma saatleri
Mevcut	00.00-08.00	08.00-16.00	16.00-24.00
Senaryo 1.c	00.00-01.00	00.00-01.00	00.00-01.00
	03.00-04.00	03.00-04.00	03.00-04.00
	06.00-07.00	06.00-07.00	06.00-07.00
	09.00-10.00	09.00-10.00	09.00-10.00
	12.00-13.00	12.00-13.00	12.00-13.00
	15.00-16.00	15.00-16.00	15.00-16.00
	18.00-19.00	18.00-19.00	18.00-19.00
	21.00-22.00	21.00-22.00	21.00-22.00

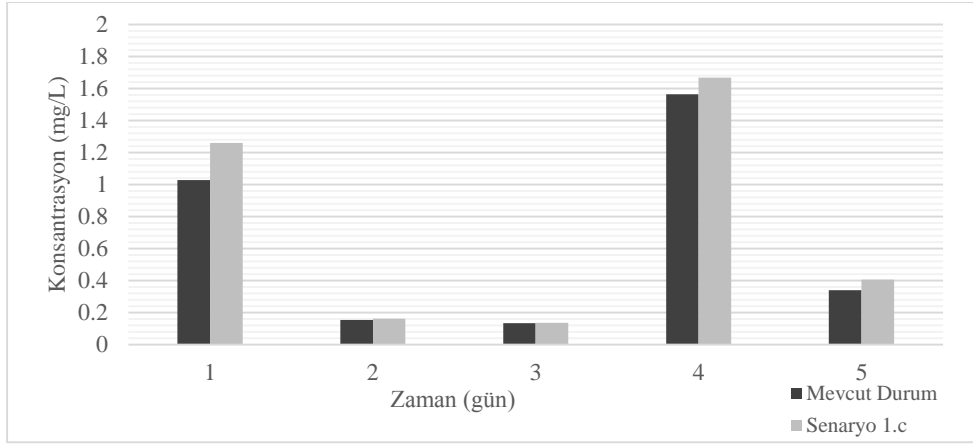
Çizelge 5.12 ile görüldüğü üzere mevcut durumda tesiste aeratörler toplam 24 saat çalıştırılıp, biyolojik reaktörde 2,0 mg/L çözülmüş oksijen sağlanırken, Senaryo 1.c'de de aeratörler günde de toplam 24 saat, ancak eş zamanlı olarak çalıştırılmışlardır. Aeratör kapasiteleri %25 oranında azaltılıp biyolojik reaktörde çözülmüş oksijen konsantrasyonunun 1,5 mg/L seviyesine çekilerek, tesis çıkış atıksuyu kirlilik konsantrasyonları ve enerji tüketiminin değişimi belirlenmiştir.

Senaryo 1.c havalandırma prensibine göre model koşulmuş, KOİ, NH₄-N ve TN parametreleri bazında çıkış atıksu karakterizasyonunun mevcut durumu yansıtan kalibrasyon sonuçları ile karşılaştırması sırasıyla Şekil 5.35, Şekil 5.39 ve Şekil 5.37 ile sunulmuştur.



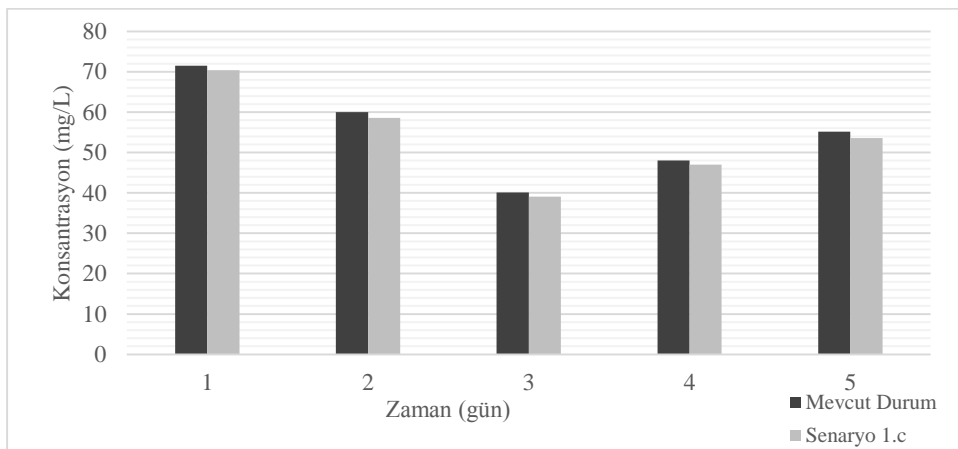
Şekil 5.35 : KOİ parametresi için mevcut durum ve senaryo 1.c sonuçlarının karşılaştırılması.

Şekil 5.35 ile görüldüğü üzere tesis havalandırma prensibinin Senaryo 1.c uyarınca değiştirilmesi durumunda çıkış atıksuyu KOİ konsantrasyonlarında belirgin bir değişim gözlenmemekte ve tesisin uymakla yükümlü olduğu deşarj standartları sağlanabilmektedir.



Şekil 5.36 : NH₄-N parametresi için mevcut durum ve senayo 1.c sonuçlarının karşılaştırılması.

Şekil 5.39 ile görüldüğü üzere Senaryo 1.c kapsamındaki havalandırma prensibinin tesiste uygulanması amonyum azotu konsantrasyonlarında çok düşük bir artışa sebep olmaktadır. Senaryo 1.c havalandırma prensibi ile biyolojik reaktörde sağlanan 1,5 mg/L çözünmüş oksijen konsantrasyonu mevcut duruma göre düşük bir konsantrasyon olmasına rağmen, aeratörlerin eş zamanlı çalıştırılması nitrifikasyona çok etki etmemekte ve çıkış atıksuyunda amonyum azotu konsantrasyonları mevcut duruma göre değişmemektedir. Model sonuçlarına göre tesis çıkış atıksuyunun uymakla yükümlü olduğu NH₄-N deşarj kriteri (5 mg/L) sağlanabilmektedir.



Şekil 5.37 : Toplam azot parametresi için mevcut durum ve senayo 1.c sonuçlarının karşılaştırılması.

Şekil 5.37 ile görüldüğü üzere tesis havalandırma prensibinin Senaryo 1.c uyarınca değiştirilmesi durumunda çıkış atıksuyu toplam azot konsantrasyonlarında düşük azalma söz konusudur. Senaryo sonuçlarına göre çıkış atıksuyundaki toplam azot konsantrasyonları ile mevcut durumu yansıtan kalibrasyon sonuçları Çizelge 5.13 ile verilmektedir.

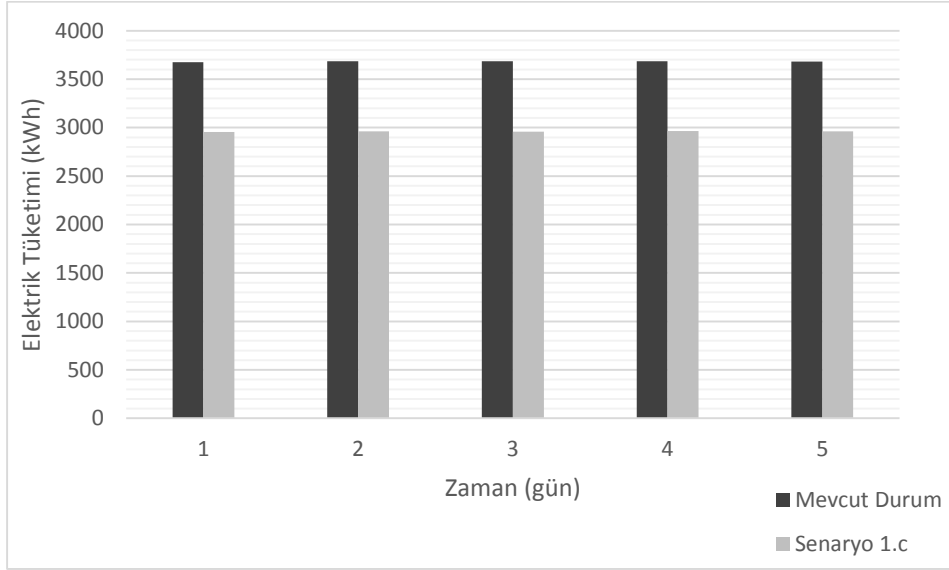
Çizelge 5.13: Toplam azot parametresi için mevcut durum ve senaryo 1.c sonuçları.

Zaman (gün)	Mevcut durum çıkış TN konsantrasyonu (mg/L)	Senaryo 1.c çıkış TN konsantrasyonu (mg/L)	Fark (%)
1	71,46	70,41	1,47
2	59,98	58,59	2,32
3	40,12	39,07	2,62
4	48	46,99	2,10
5	55,18	53,58	2,90

Çizelge 5.13 ile de görüldüğü üzere Senaryo 1.c havalandırma prensibinin uygulanması durumunda çıkış atıksuyu TN konsantrasyonları %1,5 ile %3 arasında iyileşme sağlamaktadır. Kesikli havalandırma prensibinin Senaryo 1.c uyarınca tesiste uygulanması ve havalandırma havuzunda normal şartlarda sağlanan çözünmüş oksijen konsantrasyonundan daha düşük bir değerin sağlanması tesis giderim verimini organik madde giderimi açısından etkilememekte, TN giderimini düşük bir oranda artırmaktadır. Bu senaryo alternatifinin tesiste uygulanabilmesi ve çözünmüş oksijen konsantrasyonunun 1,5 mg/L seviyelerine çekilebilmesi için aeratörlerin kapasitesinin %25 oranında azaltılması gerekmektedir. Senaryoya göre toplamda aeratörlerin çalışma süresi değişmezken, çalışma sırası değiştirildiği için denitrifikasyon prosesinin gerçekleşmesi mevcut duruma göre daha uygun koşullar oluşmakta, bu durum çıkış oksitlenmiş azot fraksiyonlarının düşmesi, dolayısıyla TN parametresinin azalmasını sağlamaktadır.

Senaryo 1.c havalandırma prensibinin tesiste uygulanması sonucu elektrik sarfiyat miktarları belirlenmiş, mevcut durumdaki tesis ortalama enerji sarfiyatı miktarları ile birlikte Şekil 5.38 ile sunulmuştur. Şekil 5.38 ile görüldüğü üzere tesisteki aeratörlerin kapasitesinin %25 oranında azaltılması ve eş zamanlı çalıştırılması elektrik tüketiminde azalma sağlamaktadır. Bu senaryonun model sonuçlarına göre tesiste sarf edilen elektrik miktarının ortalama olarak %20 oranında azaldığı

belirlenmiştir. Model sonuçlarına göre Senaryo 1.c havalandırma prensibinin tesiste uygulanması toplam azot giderimi açısından sisteme çok etki etmemekte iken, enerji tasarrufu açısından mevcut duruma göre avantaj sağlamaktadır.



Şekil 5.38 : Elektrik tüketimi için mevcut durum ve senaryo 1.c sonuçlarının karşılaştırılması.

5.5.2 Senaryo 2: Çıkış atıksu kalitesinin artırılması

Senaryo 2 kapsamında atıksu arıtma tesisinin mevcut durumda uymakla yükümlü olduğu deşarj kriterlerinin gelecekte değişmesi ve daha yüksek arıtma performansının gerekliliği halinde mevcut tesisin yeterliliği tahkik edilmiş ve uygulanabilecek proses modifikasyonları araştırılmıştır.

Arıtma tesisinin lokasyon açısından Ergene Havzası içerisinde yer alması ve bölgedeki alıcı su ortamlarının su kalitesi açısından düşük değerlere sahip olması (IV. sınıf su kalitesi), bölge özelinde deşarj kriterlerinin oluşturulması ve su kalitesinin iyileştirilmesine yönelik önlemlerin alınmasını gerektirmektedir. Bu kapsamda yapılmış çalışmalarda havzadaki bütün tesisler atıksularını mevcut mevzuatta yer alan deşarj standartlarına uygun olarak arıtsalar dahi, Ergene Nehri'nde hedeflenen II. sınıf su kalitesinin sağlanmasının mümkün olmayacağı tespit edilmiştir. Bu sebeplerden dolayı, hedeflenen su kalitesinin sağlanabilmesi için SKKY ekleri Tablo5-Tablo 25 arasında verilen deşarj standartlarında bölge özelinde kısıtlamaya gidilmiş ve KOİ parametresi açısından kriterler sıkılaştırılmıştır (ÇŞB, 2011). Mevcut durumda Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yayımlanan Ergene

Nehrinde Deşarj Standartlarında Kısıtlanmasına ilişkin Genelge ile çalışma kapsamında modellenmesi yapılan atıksu arıtma tesisinin uymakla yükümlüğü olduğu SKKY Tablo 10.3 ile belirtilen tekstil sanayi (pamuklu tekstil ve benzerleri) deşarj kriterlerinden KOİ parametresi deşarj kriteri 06 Mayıs 2014 tarihinden itibaren 250 mg/L'den 200 mg/L'ye çekilmiştir.

2000 yılında yürürlüğe giren 2000/60/EC sayılı Su Çerçeve Direktifi (SÇD) ile su yönetimine yeni bir yaklaşım getirerek AB ülkelerinde su kaynaklarının koruma altına alınmasını ve su kalitesinin 2015 yılına kadar iyi seviyeye ulaştırılması hedeflenmiştir. Bu direktif, mevcut su yönetmeliklerine, havza bazlı planlama yaklaşımını getirmesi, su kalitesinin artırılmasına yönelik hedeflerin ekolojik standartlar esas alınarak belirlenmesi prensibini benimsemesi, yüzeysel ve yeraltı sularını birlikte değerlendirmesini gerektirmektedir. Direktife göre, yüzeysel su kaynaklarında kimyasal ve ekolojik kirlenmenin önlenmesi için gerekli ölçütlerin belirlenmesi, 2015 yılına kadar kimyasal ve ekolojik olarak kaliteli durumun sağlanması gerekmektedir (EC, 2000).

SÇD ile belirlenen su kalitesi iyileştirme hedefinin ulusal mevzuatımızdaki yansımalarından biri 2006 yılında yayımlanarak yürürlüğe giren "Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği (KAAY)"dir. Yönetmelik esas olarak kentsel atıksuların toplanması, arıtılması ve deşarjı ile belirli endüstriyel sektörlerden kaynaklanan atıksu deşarjının olumsuz etkilerine karşı çevrenin korunmasını hedeflenmektedir. Yönetmelik kapsamında hassas ve az hassas tanımlaması yapılarak, hassas alanların daha sıkı arıtma ihtiyaçları olduğu belirtilmiştir. Ergene Havzası yüzeysel su kalitesi açısından düşük kalite sınıfına sahip ve hassas olarak nitelendirilebileceğinden, çalışma kapsamında değerlendirilen atıksu arıtma tesisinin deşarj kriterlerinin sıkılaştırılması durumunda uymakla yükümlü olduğu kriterler belirlenirken KAAY dikkate alınmıştır (ÇOB, 2006).

Atıksu arıtma tesisinin mevcut durumda organik madde ve azot giderimi sağladığı bilinmektedir. KOİ parametresi açısından deşarj kriterlerine uyum konusunda herhangi bir problem olmamasına rağmen, azot parametresi açısından yalnızca NH₃-N parametresinin azaltılmasına yönelik kriterler söz konusu olduğu için (Bölüm 3.4) azot giderimi tamamen sağlanmamaktadır. Senaryo 2 kapsamında atıksu arıtma tesisinin toplam azot parametresi açısından deşarj kriterine tabii olması durumu göz önüne alınmış ve çıkış atıksu TN konsantrasyonunun azaltılması için yapılabilecekler

belirlenmiştir. Tesis için bir çıkış TN deşarj kriteri belirlenirken Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği kapsamında belirlenen TN standartları dikkate alınmıştır. Yönetmelik kapsamında TN parametresi için arıtma tesisinin hizmet ettiği nüfus değeri esas alınmakta ve kriter nüfusa göre değişmektedir. Bu kapsamda, modelleme çalışması yapılan atıksu arıtma tesisinin eş değer nüfusu belirlenmiştir.

Eş değer nüfus tesis toplam KOİ yüküne bağlı olarak hesaplanmıştır. Tesis ortalama KOİ konsantrasyonu 822,36 mg/L (5 günlük izleme dönemi giriş atıksuyu ortalama KOİ konsantrasyonu), atıksu debisi 4.000 m³/gün alındığında; giriş atıksu KOİ yükü 3.289.440 g/gün olarak belirlenmiştir. Eş değer nüfus hesaplanırken kişi başı KOİ yükü 100 g/kişi/gün alınmış (Henze ve diğ, 2002). Buna göre tesis eş değer nüfusu 32.894 kişi olarak belirlenmiştir.

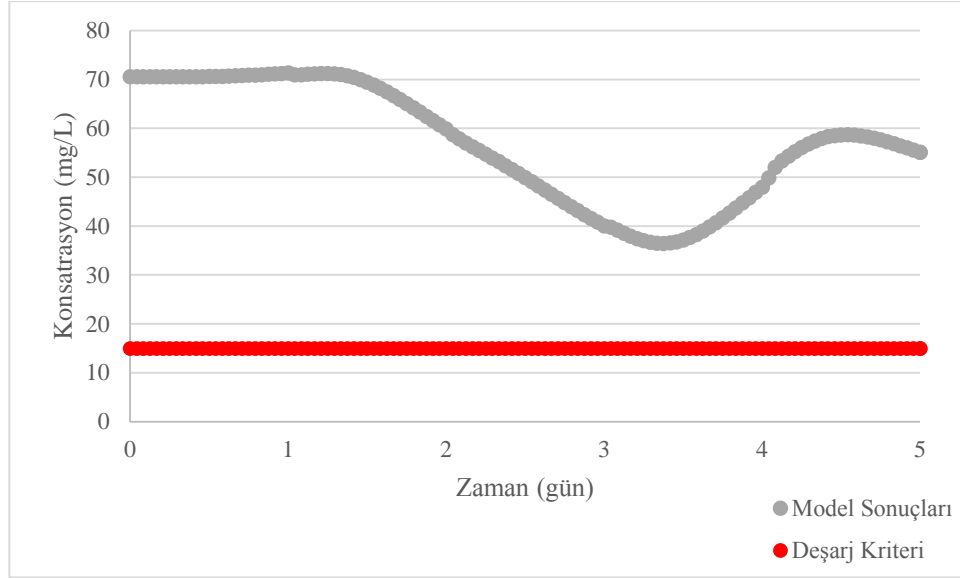
Kentsel Atıksu Arıtma Yönetmeliği'ne göre 10.000-100.000 eşdeğer nüfus değeri için TN deşarj standardı 15 mg/L olarak verilmiş, Senaryo 2 kapsamında da bu değer dikkate alınmıştır. Çalışma kapsamında diğer ülkelerde tekstil endüstrisi atıksularına uygulanan TN deşarj kriterleri incelenmiş olup, Çin ve Almaya'da boyama ve baskı sektöründe faaliyet gösteren tekstil endüstrisi için standardın 20 mg/L olduğu görülmüştür (Wang ve diğ, 2011). Bu açıdan da çalışma kapsamında dikkate alınan 15 mg/L değeri uygun bulunmuştur.

Senaryo 2 alternatifleri kapsamında mevcut atıksu arıtma tesisin TN deşarj kriterininin 15 mg/L olması durumunda yeterliliğinin tahkiki yapılmış, ilgili deşarj standardınının sağlanabilmesi için tesiste uygulanabilecek proses modifikasyonu belirlenmiştir. Tesisin amonyak azotuna ilişkin deşarj standardı olan 5 mg/L'nin sağlanması durumu da dikkate alınmıştır.

5.5.2.1 Senaryo 2.a

Senaryo 2.a kapsamında mevcut tesisde herhangi bir proses modifikasyonu yapılmadan çıkış atıksuyu toplam azot konsantrasyonu değerleri incelenmiş ve belirlenen 15 mg/L deşarj kriteri ile kıyaslanmıştır. Değerlendirmelerde çalışma kapsamında yapılan 5 günlük izleme dönemi giriş atıksu karakterizasyonu esas alınmış ve model kalibrasyonunda elde edilen TN çıkış konsantrasyonlarının değişimi belirlenmiştir. Senaryo 2.a kapsamında elde edilen model sonuçları Şekil 5.39 ile görülmektedir. Şekil 5.39 ile görüldüğü üzere mevcut tesiste herhangi bir proses modifikasyonuna gidilmemesi durumunda denitrifikasyon prosesi yeterli

oranda gerçekleşmemekte ve çıkış atıksuyunda TN konsantrasyonu deşarj kriterinin çok üzerinde kalmaktadır. Senaryo 2.a sonuçlarına göre TN parametresi açısından deşarj kriterlerinin sıkılaşması durumunda tesiste denitrifikasyonun verimli bir şekilde gerçekleşebilmesi için mevcut tesiste proses değişikliği yapılması gerektiği belirlenmiştir.



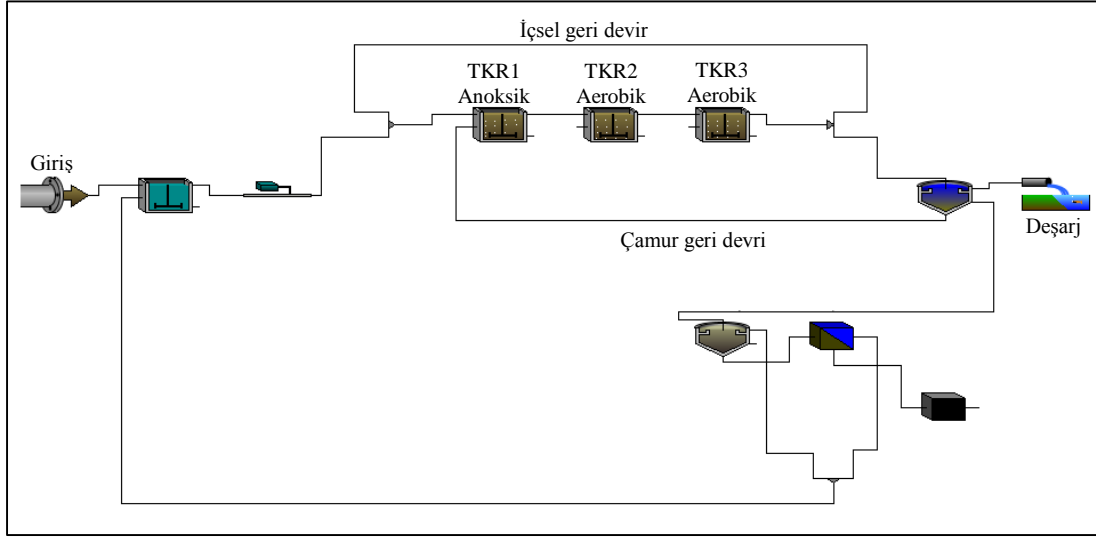
Şekil 5.39 : Çıkış atıksuyu TN parametresi için mevcut durum (Senaryo 2.a) ve deşarj kriterinin karşılaştırılması.

Senaryo 2.a kapsamında tesisteki aeratörleri sırayla 8'er saat çalıştırılarak sisteme ortalama 2,0 mg/L çözülmüş oksijen sağlanması prensibi değiştirilmeden çıkış atıksuyundaki toplam azot değerleri belirlenmiştir. Çalışma kapsamında Senaryo 1 alternatifleri uyarınca aeratörlerin sisteme daha düşük çözülmüş oksijen konsantrasyonları sağlayacak şekilde işletilmesinin toplam azot giderimi açısından iyileştirme sağladığı belirlenmiştir. Ancak, Bölüm 5.5.1.1 ve Bölüm 5.5.1.2 ile sunulan çıkış atıksuyu TN konsantrasyonları da Senaryo 2 kapsamında belirlenen 15 mg/L deşarj kriterinin üzerinde kalmaktadır.

5.5.2.2 Senaryo 2.b

Senaryo 2.b kapsamında atıksu arıtma tesisinde çıkış TN konsantrasyonlarının azalması ve denitrifikasyonun gerçekleştirilebilmesi için önde denitrifikasyon yapan aktif çamur sistemi ile işletilmesi durumu değerlendirilmiştir. Buna göre, modelde 3 ayrı aerobik TKR olarak işletilen biyolojik reaktörlerden birincisinde havalandırma yapılmayarak anoksik koşulların oluşumu sağlanmıştır. Bu durum, gerçekte tesiste

yer alan Aeratör 1'in çalıştırılmamasına karşılık gelmektedir. Biyolojik reaktörde aerobik kısımlarda gerçekleşen nitrifikasyon prosesi sonucunda oluşan nitratın, anoksik koşullar altında N_2 'ye dönüşümü ve denitrifikasyonun gerçekleşebilmesi için havalandırma havuzu çıkışından biyolojik reaktörün girişine farklı oranlarda içsel geri devir yapılmıştır. Senaryo 2.b kapsamında model programındaki tesis konfigürasyonu Şekil 5.40 ile görülmektedir.



Şekil 5.40 : Senaryo 2.b tesis konfigürasyonu.

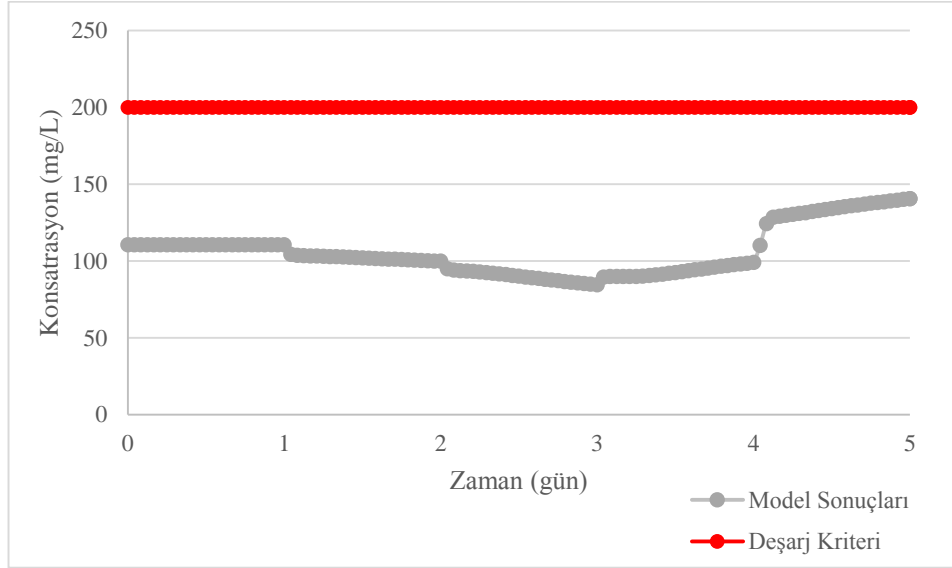
Senaryo 2.b kapsamında modelde esas alınan tasarım parametreleri Çizelge 5.14 ile sunulmaktadır.

Çizelge 5.14: Senaryo 2.b fiziksel ve tasarım parametreleri.

Parametre	Değer
V_D/V	0,33
$V_{Anoksik} (V_D)$	1.583 m ³
$V_{Aerobik}$	3.167 m ³
V_{Toplam}	4.750 m ³
$R_{içsel}$	3
$Q_{içsel}$	12.000 m ³ /gün

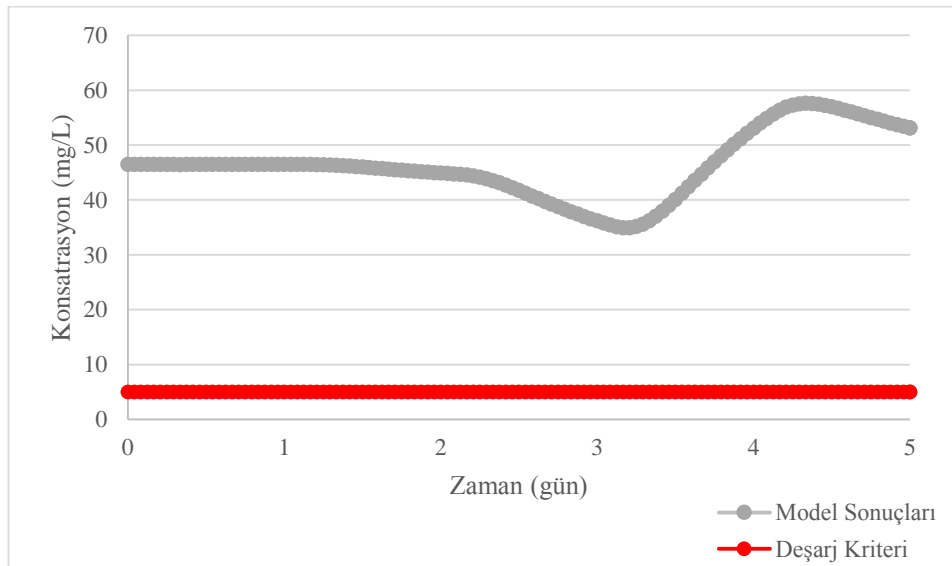
Mevcut tesis biyolojik reaktör boyutunda herhangi bir değişikliğe gidilmeden, yalnızca içsel geri devir eklenerek yapılan proses modifikasyonu ile çıkış TN konsantrasyonunun minimum olması için içsel geri devir oranı ($R_{içsel}$) giriş atıksu debisinin 3 katı olarak esas alınmıştır.

Senaryo 2.b işletme prensibine göre 5 günlük izleme periyodu için çıkış atıksuyundaki KOİ, NH₄-N ve TN konsantrasyonları Şekil 5.41, Şekil 5.42 ve Şekil 5.43 ile görülmektedir.



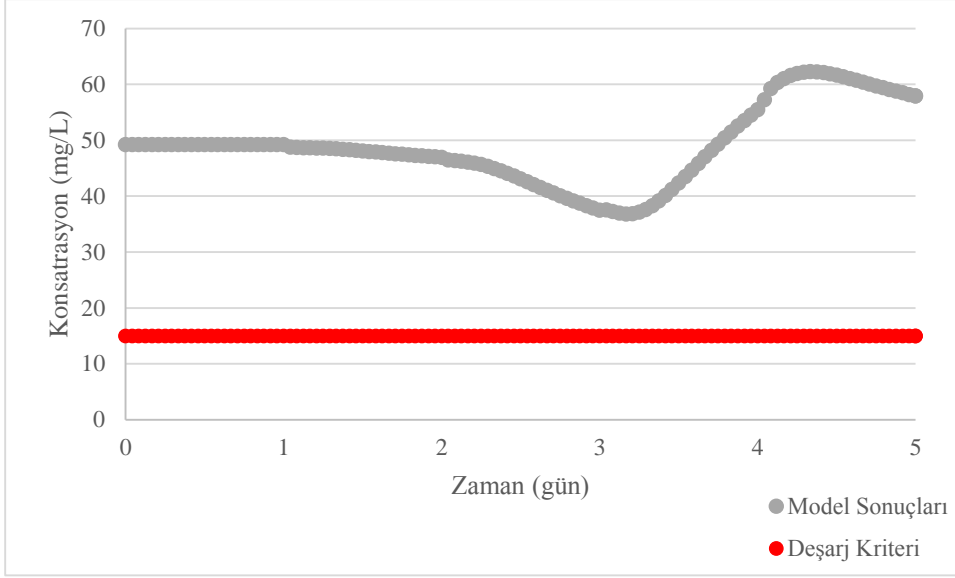
Şekil 5.41 : Çıkış atıksuyu KOİ parametresi için Senaryo 2.b sonuçları ve deşarj kriterinin karşılaştırılması.

Şekil 5.41 ile görüldüğü üzere tesisin Senaryo 2.b uyarınca mevcut fiziksel boyutları ile önde denitrifikasyon yapan sistemle işletilmesi durumunda organik madde giderimi açısından bir değişiklik olmayacağı belirlenmiştir.



Şekil 5.42 : Çıkış atıksuyu NH₄-N parametresi için Senaryo 2.b sonuçları ve deşarj kriterinin karşılaştırılması.

Şekil 5.42 ile görüldüğü üzere Senaryo 2.b uyarınca mevcut tesis havalandırma havuzunun 1/3'ünde anoksik ortamın oluşturulması ve aerobik hacmin küçültülmesi nitrifikasyonun gerçekleşmesi için yetersiz kalmakta ve olumsuz yönde etkilemekte, tesis çıkış atıksuyunda uymakla yükümlü olduğu amonyum azotu deşarj kriterini sağlayamamaktadır.



Şekil 5.43 : Çıkış atıksuyu TN parametresi için Senaryo 2.b sonuçları ve deşarj kriterinin karşılaştırılması.

Şekil 5.43 ile görülen Senaryo 2.b sonuçları incelendiğinde, mevcut tesis biyolojik reaktörü ile uygulanabilecek önde denitrifikasyon prosesi ile çıkış TN konsantrasyonlarının belirlenen deşarj kriterini sağlayamadığı, ancak hiçbir proses değişikliğinin yapılmadığı Senaryo 2.a sonuçlarına göre azaldığı görülmektedir.

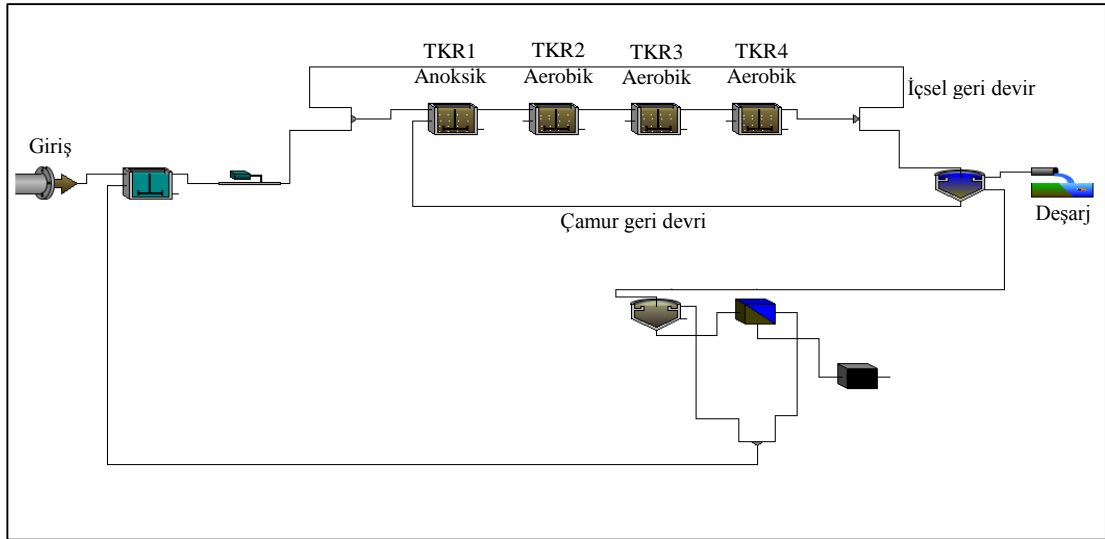
Bu senaryo alternatifinde aerobik hacim 1/3 oranında azaldığı için çıkış atıksuyundaki $\text{NH}_4\text{-N}$ konsantrasyonlarının arttığı gözlenmiştir. Bu durum, tesisteki nitrifikasyon ve denitrifikasyon prosesinin daha etkin biçimde sağlanabilmesi için reaktör hacminin artırılması gerektiğine işaret etmektedir.

5.5.2.3 Senaryo 2.c

Senaryo 2.c kapsamında atıksu arıtma tesisinde çıkış TN konsantrasyonlarının azalması ve denitrifikasyonun gerçekleştirilebilmesi için önde denitrifikasyon yapan aktif çamur sistemi ile işletilmesi durumu değerlendirilmiştir. Senaryo 2.b sonuçları göz önüne alınarak, mevcut tesisteki aerobik reaktör hacminin değiştirilmemesi, denitrifikasyon prosesinin gerçekleştiği anoksik reaktör için ilave bir hacim

eklenerek, biyolojik reaktör toplam hacminin artırılması sağlanmıştır. Aerobik reaktördeki havalandırma prensibi mevcut tesis işletme prensibi ile aynı olup, aeratörlerin sırasıyla 8'er çalıştırılması ve 2,0 mg/L çözülmüş oksijen sağlanması şeklindedir.

Buna göre, modelde 3 ayrı aerobik TKR olarak işletilen biyolojik reaktörlerin önüne eşit hacimli 1 adet TKR daha eklenmiştir. Bu reaktörde havalandırma yapılmayarak anoksik koşulların oluşumu sağlanmıştır. Bu durum, gerçekte tesiste yer alan havalandırma hacminin %33 oranında artırılmasına karşılık gelmektedir. Biyolojik reaktörde aerobik kısımlarda gerçekleşen nitrifikasyon prosesi sonucunda oluşan nitratın, anoksik koşullar altında N_2 'ye dönüşümü ve denitrifikasyonun gerçekleşebilmesi için havalandırma havuzu çıkışından biyolojik reaktörün girişine farklı oranlarda içsel geri devir yapılmıştır. Senaryo 2.c kapsamında model programdaki tesis konfigürasyonu Şekil 5.44 ile görülmektedir.



Şekil 5.44 : Senaryo 2.c tesis konfigürasyonu.

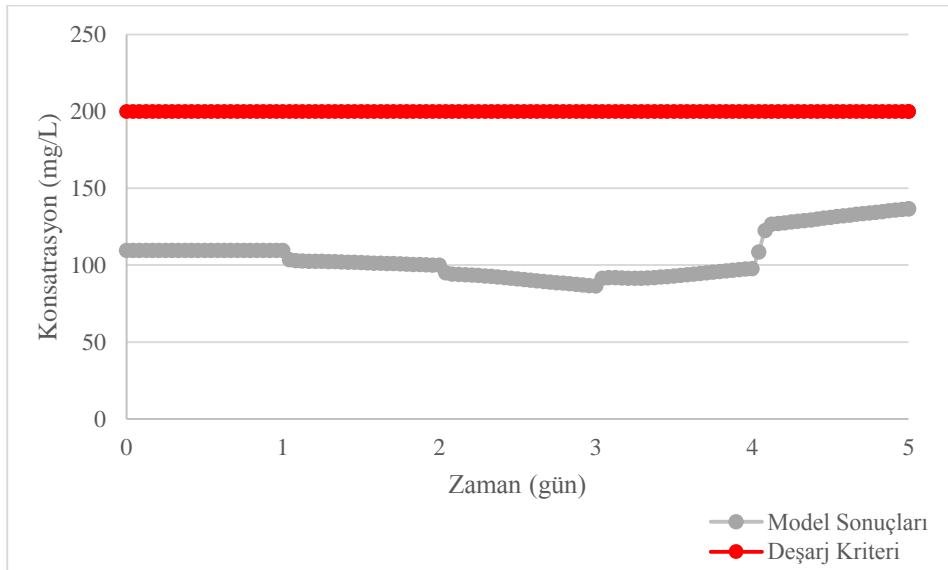
Senaryo 2.c kapsamında modelde esas alınan fiziksel ve tasarım parametreleri Çizelge 5.15 ile sunulmaktadır. Mevcut tesis biyolojik reaktör boyutunun %33 oranında artırılması ve içsel geri devir eklenerek yapılan proses modifikasyonu ile çıkış TN konsantrasyonunun minimum olması için içsel geri devir oranı ($R_{içsel}$) giriş atıksu debisinin 4 katı olarak esas alınmıştır.

Senaryo 2.c kapsamında birbirinden farklı birçok içsel geri devir oranı için model koşullu, çıkış atıksuyunda en düşük TN konsantrasyonlarına sağlayan içsel geri devir oranı esas alınmıştır.

Çizelge 5.15: Senaryo 2.c fiziksel ve tasarım parametreleri.

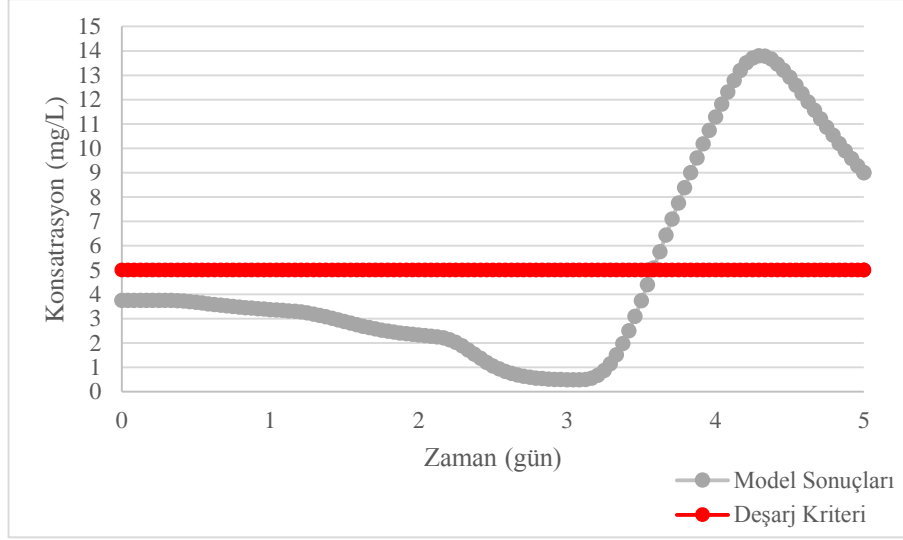
Parametre	Değer
V_D/V	0,25
$V_{Anoksik} (V_D)$	1.583 m ³
$V_{Aerobik}$	4.750 m ³
V_{Toplam}	6.333 m ³
$R_{içsel}$	4
$Q_{içsel}$	16.000 m ³ /gün

Senaryo 2.c işletme prensibine göre 5 günlük izleme periyodu için çıkış atıksuyundaki KOİ, NH₄-N ve TN konsantrasyonları sırasıyla Şekil 5.45, Şekil 5.46 ve Şekil 5.47 ile görülmektedir.



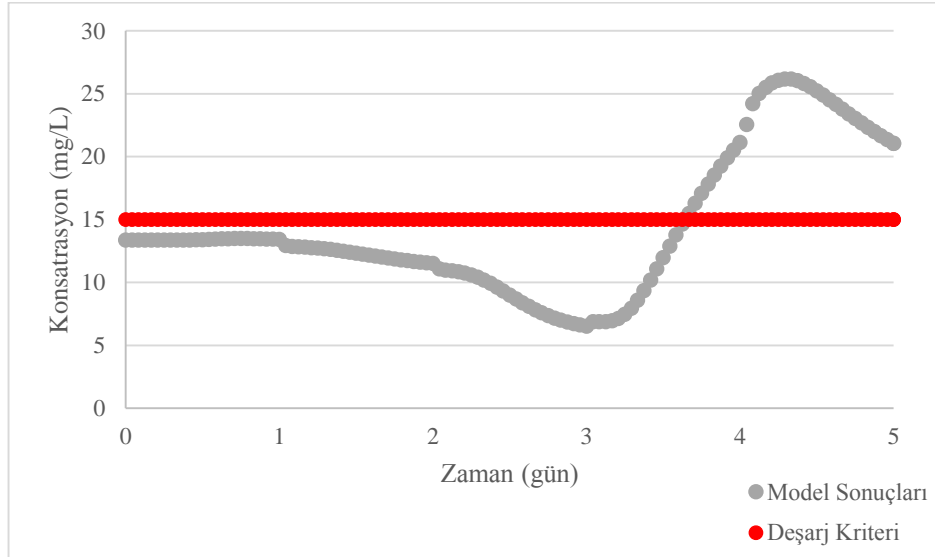
Şekil 5.45 : Çıkış atıksuyu KOİ parametresi için Senaryo 2.c sonuçları ve deşarj kriterinin karşılaştırılması.

Şekil 5.45 ile görüldüğü üzere tesisin Senaryo 2.c uyarınca mevcut fiziksel boyutları ile önde denitrifikasyon yapan sistemle işletilmesi durumunda organik madde giderimi açısından bir değişiklik olmayacağı belirlenmiştir.



Şekil 5.46 : Çıkış atıksuyu $\text{NH}_4\text{-N}$ parametresi için Senaryo 2.c sonuçları ve deşarj kriterinin karşılaştırılması.

Şekil 5.46 ile görüldüğü üzere Senaryo 2.c uyarınca mevcut tesise havalandırma havuzunun 1/3'ü kadar anoksik reaktör ilave edilmesi ve aerobik hacmin değiştirilmemesi nitrifikasyonun gerçekleşmesi için yeterli olmaktadır. Senaryo 2.c model sonuçlarına göre tesis çıkış atıksuyunda uymakla yükümlü olduğu $\text{NH}_4\text{-N}$ deşarj kriteri genel olarak sağlanmakla birlikte giriş azot yüklerinin yüksek olduğu günler için sağlanamamaktadır.



Şekil 5.47 : Çıkış atıksuyu TN parametresi için Senaryo 2.c sonuçları ve deşarj kriterinin karşılaştırılması.

Şekil 5.47 ile görülen Senaryo 2.c sonuçları incelendiğinde, mevcut tesis havalandırma hacminin artırılması ile uygulanabilecek önde denitrifikasyon prosesi

ile çıkış TN konsantrasyonlarının belirlenen deşarj kriterini genel olarak sağladığı, ancak bazı günler için kriterin üzerinde kaldığı görülmektedir. Amonyum azotu ve toplam azot çıkış değerleri birlikte değerlendirildiğinde, Senaryo 2.c'nin uygulanması durumunda giriş atıksuyunda azot konsantrasyonunun yüksek olduğu zamanlar için nitrifikasyonun yetersiz kaldığı anlaşılmaktadır. Buna göre, tesis çıkış atıksuyundaki amonyum azotu salınımlarını dengeleyecek şekilde mevcut aerobik reaktördeki havalandırma miktarı ve sisteme sağlanan çözünmüş oksijen konsantrasyonunun aeratör çalıştırma saatleri değiştirilerek artırılmasının azot giderimi açısından iyileşme sağlayacağı öngörülmektedir.

5.5.2.4 Senaryo 2.d

Senaryo 2.d kapsamında atıksu arıtma tesisinde çıkış TN konsantrasyonlarının azalması ve denitrifikasyonun gerçekleştirilebilmesi için önde denitrifikasyon yapan aktif çamur sistemi ile işletilmesi durumu değerlendirilmiştir. Senaryo 2.c sonuçlarına göre giriş azot yükünün yüksek olduğu zamanlarda nitrifikasyonun yetersiz kaldığı görülmüş, bu nedenle Senaryo 2.d'de mevcut tesisteki aerobik reaktör hacminin de artırılması durumu değerlendirilmiştir. Denitrifikasyon prosesinin gerçekleştiği anoksik reaktör hacminin Senaryo 2.c'deki ile aynı bırakılarak, biyolojik reaktör toplam hacminin artırılması sağlanmıştır.

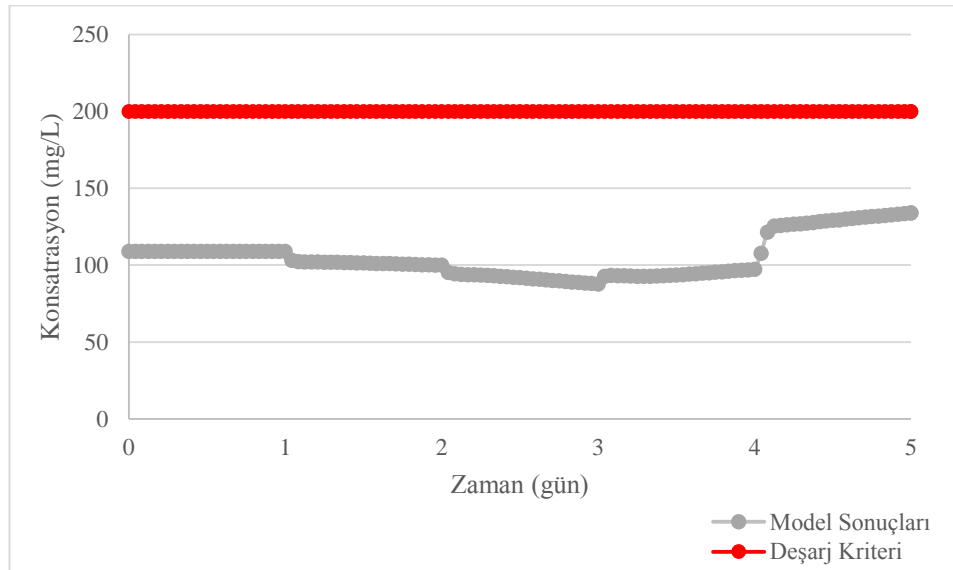
Buna göre, modelde 3 ayrı aerobik TKR olarak işletilen biyolojik reaktörlerin önüne eşit hacimli 1 adet TKR daha eklenmiştir. Bu reaktörde havalandırma yapılmayarak anoksik koşulların oluşumu sağlanmıştır. Aerobik olarak işletilen TKR'lerden birinin hacmi iki kat artırılmıştır. Biyolojik reaktörde aerobik kısımlarda gerçekleşen nitrifikasyon prosesi sonucunda oluşan nitratın, anoksik koşullar altında N_2 'ye dönüşümü ve denitrifikasyonun gerçekleşebilmesi için havalandırma havuzu çıkışından biyolojik reaktörün girişine farklı oranlarda içsel geri devir yapılmıştır.

Senaryo 2.d kapsamında modelde esas alınan tasarım parametreleri Çizelge 5.16 ile sunulmaktadır. Mevcut tesis biyolojik reaktör boyutunun toplam %66 oranında artırılması ve içsel geri devir eklenerek yapılan proses modifikasyonu ile çıkış TN konsantrasyonunun maksimum olması için içsel geri devir oranı ($R_{içsel}$) giriş atıksu debisinin 4 katı olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.16: Senaryo 2.d fiziksel ve operasyonel parametreler.

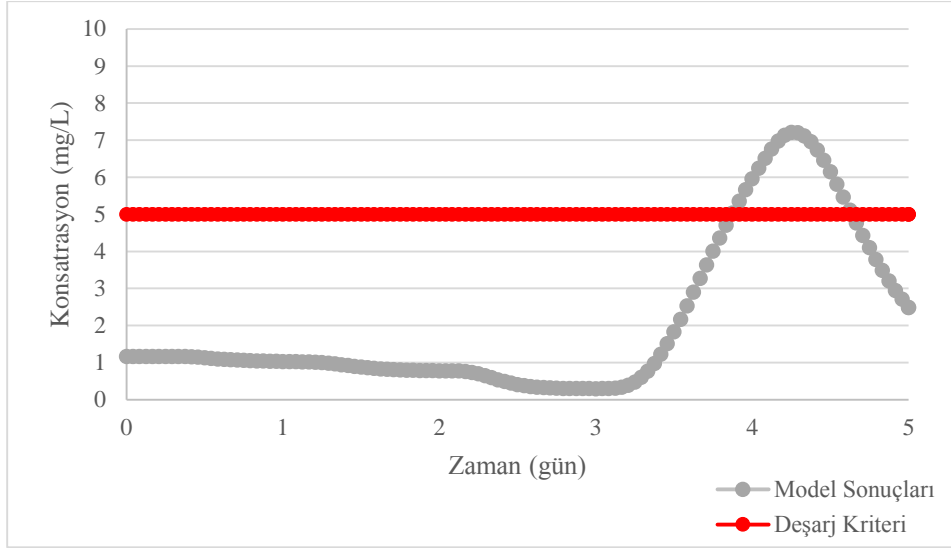
Parametre	Değer
V_D/V	0,2
$V_{Anoksik} (V_D)$	1.583 m ³
$V_{Aerobik}$	6.333 m ³
V_{Toplam}	7.916 m ³
$R_{içsel}$	4
$Q_{içsel}$	16.000 m ³ /gün

Senaryo 2.d işletme prensibine göre 5 günlük izleme periyodu için çıkış atıksuyundaki KOİ, NH₄-N ve TN konsantrasyonları sırasıyla Şekil 5.48, Şekil 5.49 ve Şekil 5.50 ile görülmektedir.



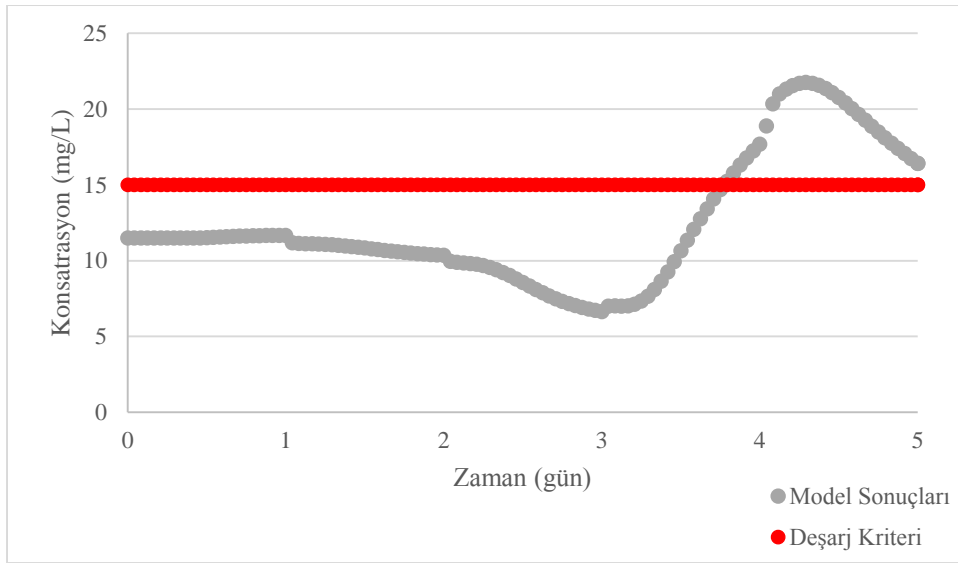
Şekil 5.48 : Çıkış atıksuyu KOİ parametresi için Senaryo 2.d sonuçları ve deşarj kriterinin karşılaştırılması.

Şekil 5.48 ile görüldüğü üzere tesisin Senaryo 2.d uyarınca tesise anoksik hacim eklenmesi ve aerobik hacminin artırılarak önde denitrifikasyon yapan sistemle işletilmesi durumunda organik madde giderimi açısından bir değişiklik olmayacağı belirlenmiştir.



Şekil 5.49 : Çıkış atıksuyu $\text{NH}_4\text{-N}$ parametresi için Senaryo 2.d sonuçları ve deşarj kriterinin karşılaştırılması.

Şekil 5.49 ile görüldüğü üzere Senaryo 2.d uyarınca tesiste ilave anoksik hacmin yanı sıra aerobik hacmin de 1/3 oranında artırılması nitrifikasyonun gerçekleşmesi için yeterli olmaktadır. Senaryo 2.d model sonuçlarına göre tesis çıkış atıksuyunda uymakla yükümlü olduğu $\text{NH}_4\text{-N}$ deşarj kriteri genel olarak sağlanmakla birlikte giriş azot yüklerinin yüksek olduğu günler için sağlanamamaktadır. Ancak model sonuçlarına göre tesisteki havalandırma hacminin artırılması çıkış atıksuyunda amonyum azotu konsantrasyonları açısından Senaryo 2.c'ye göre iyileşme sağlamaktadır.



Şekil 5.50 : Çıkış atıksuyu TN parametresi için Senaryo 2.d sonuçları ve deşarj kriterinin karşılaştırılması.

Şekil 5.50 ile görülen Senaryo 2.d sonuçları incelendiğinde, mevcut tesis havalandırma hacminin artırılması ile uygulanabilecek önde denitrifikasyon prosesi ile çıkış TN konsantrasyonlarının belirlenen deşarj kriterini genel olarak sağladığı görülmektedir. 5 günün ortalama çıkış TN konsantrasyonu 12 mg/L olarak hesaplanmış ve bu uygulama alternatifi ile ortalama olarak 15 mg/L olan deşarj kriterinin sağlanabileceği öngörülmüştür. Senaryo sonuçlarına göre, aerobik reaktör hacminin artırılması nitrifikasyonu artırmaktadır. Buna göre tesis giriş atıksuyunda bazı günler TKN giriş yükünün artış göstermesi durumunda tesisteki mevcut aeratör işletme prensibinin değiştirilerek, sisteme daha fazla çözülmüş oksijen sağlanması ile çıkış atıksuyundaki TN salınımlarının dengelenebileceği öngörüsünü desteklemektedir.

5.5.3 Senaryo 3: Kapasite artışı sonrası tesis yeterliliği

Bu senaryoda atıksu arıtma tesisinin hizmet ettiği işletmede üretim kapasitesinin artması, buna bağlı olarak atıksu debisi ve kirlilik konsantrasyonlarının artması durumunda mevcut tesisin arıtma kapasitesinin yeterliliği tahkik edilmiş ve çıkış atıksu kalitesinin iyileştirilmesine yönelik tesiste uygulanabilecek proses modifikasyonları değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, modelleme çalışmasının gerçekleştirildiği AAT yetkilileri ile görüşülerek, gelecekte fabrikada gerçekleşmesi planlanan kapasite artışına ilişkin bilgiler temin edilmiştir.

Tekstil boyama ve baskı işlemlerinin gerçekleştiği fabrikada yakın gelecekte bir baskı hattının daha üretimde kullanılması planlanmaktadır. Tesis yetkililerinden alınan bilgiye göre, baskı hattının işletmeye alınması ile birlikte tesis üretim prosesleri sonucunda oluşan atıksu miktarının yaklaşık olarak 500 m³/gün artması; bununla birlikte baskı faaliyetlerinde üre tüketiminin 750-1.000 kg/gün oranında artması öngörülmektedir. Senaryo kapsamında, atıksu debisi ve üre tüketimindeki artışın giriş atıksu konsantrasyonuna etkisi belirlenmiş ve bu giriş karakterizasyonu esas alınarak model koşulmuştur.

Mevcut durumda işletmeden kaynaklanan ve atıksu arıtma tesisine iletilen ortalama atıksu miktarı 4.000 m³/gün iken kapasite artışı sonrasında atıksu debisinin 4.500 m³/gün olacağı anlaşılmaktadır. Üretim faaliyetlerinde kullanılan ürenin azot içeriği sebebiyle AAT giriş atıksuyunda TKN parametresini artırması öngörülmektedir. Buna göre, işletmede mevcut durumda tüketilen üre miktarı (500 kg/gün) ve oluşan

atıksu debisi (4.000 m³/gün) esas alınarak, mevcut durumda tesis giriş atıksuyundaki TKN konsantrasyonunun 125 mg/L olması gerektiği hesaplanmıştır. Bu değer tesis giriş atıksuyu izleme verileri ile kıyaslandığında (Bölüm 5.1.2) uygun bir değerdir. Aynı yaklaşımla, kapasite artışı sonrasında toplam atıksu debisinin 4.500 m³/gün olması ve işletmede tüketilen toplam üre miktarının 1.000 kg/gün olması durumunda, giriş atıksuyunda TKN konsantrasyonu 222 mg/L olarak belirlenmiştir. Buna göre, giriş atıksuyundaki TKN konsantrasyonu mevcut durum atıksu karakterizasyonuna göre yaklaşık iki kat artmaktadır. AAT giriş atıksuyunda diğer kirlilik konsantrasyonlarının değişmediği, yalnızca TKN ve buna bağlı olarak NH₄-N konsantrasyonlarının arttığı esas alınarak giriş modeli oluşturulmuş ve Çizelge 5.17 ile sunulmuştur.

Çizelge 5.17: Senaryo 3 giriş atıksuyu karakterizasyonu.

Parametre	Değer
Toplam KOİ (mg/L)	822
TKN (mg/L)	222
NH ₄ -N (mg/L)	24,50
Çözünmüş oksijen (mg/L)	0
Alkalinite (mol/m ³)	16
UAKM/AKM	0,36
Partiküler KOİ/UAKM	2,24
S _i oranı	0,1
S _s oranı	0,65
X _i oranı	0,05
NH ₄ -N / S _{TKN}	0,15
ixp	0,045

Senaryo 3 kapsamında yapılan modelleme çalışmalarında herhangi bir iyileştirme yada optimizasyondan ziyade, gelecekte oluşması beklenen bir atıksu karakterizasyonuna istinaden durum değerlendirmesi yapıldığından dinamik simülasyon yapılmamış, yalnızca başlangıç modeli oluşturularak (Çizelge 5.17 ile görülen karakterizasyon esas alınarak) model kararlı durum sağlanana kadar koşulmuş ve çıkış konsantrasyonları değerlendirilmiştir.

5.5.3.1 Senaryo 3.a

Senaryo 3.a ile kapasite artışı olması durumunda mevcut AAT'nin fiziksel ve operasyonel hiçbir değişiklik yapılmaması durumunda göstereceği davranış ve sağlayacağı arıtma performansı belirlenmiştir. Çizelge 5.17 ile görülen giriş atıksu karakterizasyonu kullanılarak başlangıç modeli oluşturulmuş ve model koşulmuştur. Model sonuçları Çizelge 5.18 ile sunulmaktadır.

Çizelge 5.18: Senaryo 3.a çıkış atıksuyu model sonuçları.

Parametre	Değer
Toplam KOİ (mg/L)	112
TKN (mg/L)	4,36
NH ₄ -N (mg/L)	1,72
NO _x (mg/L)	177,7
TN (mg/L)	182,1
Alkalinite (mg/L CaCO ₃)	80

Çizelge 5.18 ile görüldüğü üzere çıkış atıksuyunda KOİ konsantrasyonu 112 mg/L olup, tesis deşarj standardı (200 mg/L) sağlanabilmektedir. Aynı şekilde, çıkış atıksuyunda NH₄-N konsantrasyonu 1,72 mg/L olup, deşarj standardının (5 mg/L) altındadır. Giriş atıksuyunda yaklaşık 2 kat artan TKN'nin büyük bir kısmının oksitlenen azot formlarına dönüştüğü (NO_x) görülmektedir. Buna göre tesiste karbon giderimi ve nitrifikasyon prosesleri gerçekleşebilmektedir. Ancak, giriş atıksuyunda TKN'nin yüksek olması, nitrifikasyonun gerçekleşebilmesi için daha fazla alkalinite ihtiyacını beraberinde getirmiştir. Modelleme çalışması sonuçlarına göre çıkış atıksuyunda yaklaşık 100 mg/L CaCO₃ alkalinite sağlanacak şekilde arıtma prosesinin gerçekleşebilmesi için giriş atıksuyundaki alkalinitenin 800 mg/L CaCO₃ olması gerekmektedir. Buna göre, atıksu arıtma tesisi giriş atıksuyunda mevcut durum için 400 mg/L CaCO₃ olduğu kabul edilen ve model kalibrasyonunda esas alınan alkalinite miktarının 2 kata kadar arttırılması gerekmekte, dolayısıyla nitrifikasyon prosesinin Senaryo 3.a giriş atıksu karakterizasyonuna göre gerçekleşebilmesi için sisteme alkalinite ilavesi yapılması gerekmektedir. Kapasite artışı sonrasında, giriş atıksu karakterizasyonu ve debisinin Senaryo 3.a durumuna göre değişmesi halinde mevcut tesiste uygulanan dengeleme ve nötralizasyon

işlemlerinin biyolojik karbon ve azot giderim proseslerine etki etmemesi için pH 6,5-8 aralığına getirilerek, alkalinite konsantrasyonunu azaltmayacak şekilde gerçekleştirilmesi de uygulanabilecek bir alternatiftir.

Çizelge 5.18 ile görüldüğü üzere Senaryo 3.a sonuçlarına göre çıkış atıksuyu NO_x konsantrasyonu yaklaşık 177,7 mg/L olup, çıkış atıksuyu toplam azot konsantrasyonunun büyük bir kısmını (%98) oluşturmaktadır. Model sonuçlarına göre giriş atıksuyu ve çıkış atıksuyu toplam azot konsantrasyonları dikkate alındığında, mevcut tesisin hiçbir fiziksel veya proses değişikliği yapmaması durumunda Senaryo 3.a uyarınca %18 oranında azot giderimi sağlayabildiği belirlenmiştir. Bu giderim oranının tesiste mevcut durumda aeratörler işletilirken uygulanan kesikli havalandırmanın reaktör içinde anoksik koşulların oluşumuna katkı sağlaması ve böylece denitrifikasyonun gerçekleşmesine bağlı olarak sağlanabildiği öngörülmektedir.

5.5.3.2 Senaryo 3.b

Senaryo 3.a sonuçlarına göre mevcut tesis kapasite artışı sonrasında uymakla yükümlü olduğu deşarj kriterlerini sağlayabilmekte, ancak çıkış atıksuyunda çok yüksek konsantrasyonda nitrat veya nitrit azotunun oluşması beklenmektedir. Bu kadar yüksek miktarda oksitlenmiş azot fraksiyonlarının da alıcı su ortamlarına deşarj edilmesi sakıncalı olduğundan, Senaryo 3.b ile arıtma tesisinin biyolojik olarak azot giderim performansının artırılması değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, tesisin önde denitrifikasyon yapan aktif çamur sistemi ile işletilmesi ve çıkış toplam azot miktarının azaltılması hedeflenmiştir.

Mevcut tesisin sahip olduğu biyolojik reaktör hacmi ile kapasite artışı olmasa bile (giriş TKN konsantrasyonu değişmese dahi) anoksik koşullar havalandırma tankının belirli bir kısmında oluşturulduğunda, çıkış toplam azot konsantrasyonunun azaltılmadığı Bölüm 5.5.2.2 ile sunulan Senaryo 2.b ile belirlenmiştir. Bu nedenle, giriş azot yükünün artması durumu için mevcut aerobik reaktör hacmi değiştirilmemiş, sisteme ilave olarak anoksik reaktör eklenmesi ile denitrifikasyon gerçekleştirecek şekilde tesis modellemesi yapılmıştır. Senaryo 3.b model çalışmaları kapsamında denitrifikasyon hacmi arttıkça çıkış NO_x ve TN konsantrasyonlarının azaldığı gözlenmiş, V_D/V oranının 0,5'den büyük olması durumunda çıkış NH₄-N konsantrasyonunun ise arttığı belirlenmiştir. Buna göre, arıtma tesisinin mevcut

durumda NH₄-N için deşarj standardı olan 5 mg/L sınır koşulu olarak kabul edilmiş, NH₄-N konsantrasyonu bu değeri aşmayacak şekilde tesiste uygulanabilecek anoksik hacim ve TN giderim miktarı belirlenmiştir. Senaryo kapsamında modelde esas alınan tasarım parametreleri Çizelge 5.19 ile görülmektedir.

Çizelge 5.19: Senaryo 3.b fiziksel ve tasarım parametreleri.

Parametre	Değer
V_D/V	0,4
$V_{Anoksik} (V_D)$	3.166 m ³
$V_{Aerobik}$	4.750 m ³
V_{Toplam}	7.916 m ³
$R_{içsel}$	4
$Q_{içsel}$	18.000

Çizelge 5.19 ile görüldüğü üzere Senaryo 3.b kapsamında mevcut biyolojik reaktör boyutu %66 oranında artırılmıştır. Bu esnada aerobik hacim aynı bırakılarak, yalnızca anoksik hacim ilave edilmiş ve gerçekleşebilecek maksimum içsel geri devir oranı uygulanmıştır. Çizelge 5.19 ile sunulan parametreler ve çıkış NH₄-N deşarj standardı esas alınarak Senaryo 3.b için model koşulmuş, sonuçları Çizelge 5.20 ile sunulmuştur.

Çizelge 5.20: Senaryo 3.b çıkış atıksuyu model sonuçları.

Parametre	Değer
Toplam KOİ (mg/L)	110,6
TKN (mg/L)	7,54
NH ₄ -N (mg/L)	4,90
NO _x (mg/L)	84,55
TN (mg/L)	92,00
Alkalinite (mg/L CaCO ₃)	73,21

Çizelge 5.20 ile görüldüğü üzere çıkış atıksuyunda KOİ konsantrasyonu 110 mg/L olup, tesis deşarj standardı (200 mg/L) sağlanabilmektedir. Aynı şekilde, çıkış atıksuyunda NH₄-N konsantrasyonu 4,90 mg/L olup, deşarj standardının (5 mg/L) altındadır. Senaryo kapsamında sisteme eklenen anoksik hacim ile sağlanan

denitrifikasyon prosesi ile çıkış nitrat ve nitrit azotu miktarı 85 mg/L'ye kadar azaltılmış, toplam azot konsantrasyonu ise 92 mg/L olarak belirlenmiştir. Ayrıca, denitrifikasyon prosesi ile gerçekleşen alkalinite üretimine bağlı olarak nitrifikasyon prosesi için gerekli alkalinite ilavesinin yapılmasına gerek kalmadığı belirlenmiştir. Buna göre tesis giriş atıksuyunda mevcut durumu temsil eden ve model kalibrasyonunda esas alınan 400 mg/L CaCO₃ alkalinite miktarının sistem için yeterli olduğu görülmüştür.

Senaryo 3.b kapsamında sistemde gerçekleşen denitrifikasyon veriminin artırılabilmesi için kolay ayrışan organik madde miktarının artması durumunda denitrifikasyon potansiyelinin artış durumu da tahkik edilmiştir. Bu kapsamda, giriş atıksuyundaki kolay ayrılabilir KOİ fraksiyonu artırılarak model koşulmuş, çıkış atıksuyundaki toplam azot konsantrasyonunun daha da azaldığı (75 mg/L'ye kadar) belirlenmiştir. Buna göre giriş atıksuyunda toplam KOİ'nin artması ve kolay ayrışan KOİ konsantrasyonunun yükselmesi Senaryo 3.b uyarınca önde denitrifikasyon yapan sistemin denitrifikasyon potansiyelini artıracaktır.

Senaryo 3.b model sonuçlarına göre atıksu arıtma tesisinin biyolojik olarak azot giderim performansı maksimum %59 olarak belirlenmiştir. Tesiste daha ileri azot gideriminin sağlanabilmesi için farklı arıtma konfigürasyonları ve proseslerinin uygulanması gerektiği anlaşılmaktadır.

5.6 Sonuçların Kıyaslanması

Bu bölümde çalışma kapsamında atıksu arıtma tesisinin iyileştirilmesi ve optimizasyonuna yönelik belirlenen senaryo alternatifleri birbirleri ile kıyaslanmış ve tesiste uygulanabilecek çözüm önerileri belirlenmiştir.

5.6.1 Senaryo 1

Senaryo 1 kapsamında çalışılan kesikli havalandırma prensibine dayalı çıkış atıksu karakterizasyonunun TN parametresi açısından iyileştirilmesi ve mevcut tesis elektrik sarfiyatlarının azaltılmasına yönelik alternatifler birlikte değerlendirilmiştir. Senaryo 1 kapsamındaki alternatiflere ilişkin aeratör çalıştırma süreleri ve sisteme sağlanan çözünmüş oksijen konsantrasyonları ile çıkış atıksu TN giderim verimlerindeki ortalama artış oranı Çizelge 5.21 ile sunulmaktadır.

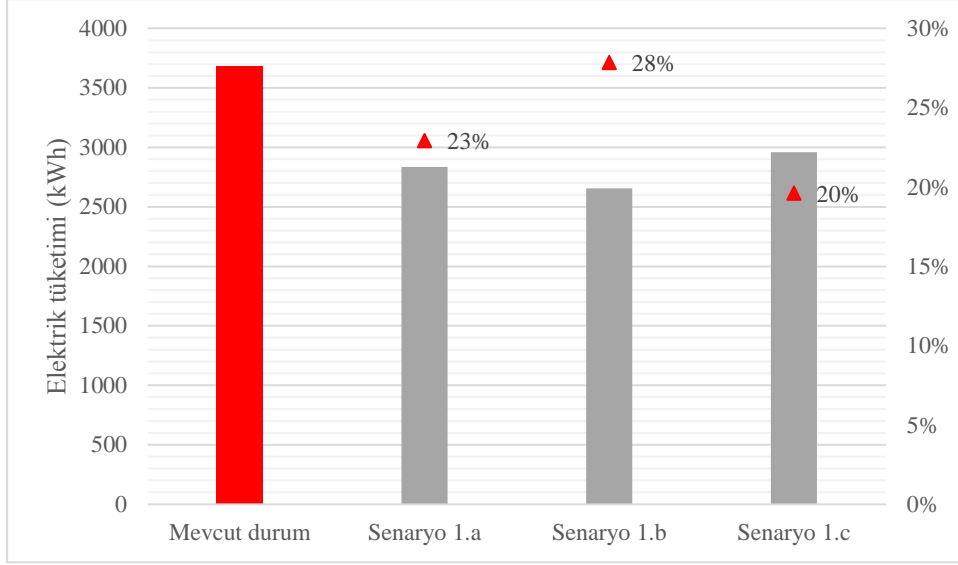
Çizelge 5.21: Toplam azot parametresi için mevcut durum ve senaryo 1 sonuçları.

Durum	Aeratörlerin toplam çalıştırılma süresi (sa)	Çözünmüş O ₂ konsantrasyonu (mg/L)	TN giderim verimindeki ortalama artış (%)
Mevcut durum	24	2,0	-
Senaryo 1.a	24	1,5	4
Senaryo 1.b	24	1,0	10
Senaryo 1.c	24	1,5	2

Çizelge 5.21 ile görüldüğü üzere çalışılan tüm senaryo alternatiflerinde azot giderimi açısından mevcut duruma göre iyileşme söz konusudur. Senaryo kapsamında uygulanan kesikli havalandırma prensibinin daha düşük çözünmüş oksijen konsantrasyonları sağlanarak uygulanması azot giderimine fayda sağlamaktadır. Alternatiflere ilişkin model sonuçlarına göre amonyum azotu ve KOİ parametreleri açısından da değerlendirildiğinde tesisin uymakla yükümlü olduğu deşarj kriterlerinin altında kaldığı belirlenmiştir. Buna göre, mevcut durumda tesiste uygulanan havalandırma prensibi ile sağlanan 2,0 mg/L ve üzeri çözünmüş oksijen konsantrasyonu değerleri biyolojik arıtma için ihtiyaç duyulandan fazladır. Çözünmüş oksijen konsantrasyonunun bu değerlere ulaşabilmesi için aeratörlerin tam kapasite çalıştırılması beraberinde elektrik sarfiyatının artmasına sebep olmaktadır.

Alternatifler kendi aralarında değerlendirildiğinde TN giderimi açısından en fazla performans artışı Senaryo 1.b kapsamında uygulanan havalandırma prensibi ile sağlanmaktadır. Ancak, Senaryo 1.b ile aeratörlerin kapasitesinin yarıya indirilerek sisteme sağlanabilen 1,0 mg/L çözünmüş oksijen konsantrasyonunun gerçek işletme şartları altında istenilen performansı sağlayamama ihtimali göz önünde bulundurulmalıdır.

Senaryo alternatifleri model sonuçlarına göre tesisteki elektrik ortalama tüketim miktarları ve elektrik sarfiyatları yüzde oranları mevcut durum ile karşılaştırmalı olarak Şekil 5.51 ile sunulmaktadır.



Şekil 5.51 : Senaryo 1 alternatiflerinin elektrik tüketimi açısından karşılaştırılması.

Şekil 5.51 ile görüldüğü üzere elektrik tüketiminin azaltılması açısından en yüksek oran Senaryo 1.b ile sağlanabilmektedir. Bu alternatif kapsamında aeratörlerin kapasitesinin %50 oranında azaltılması ile sistem için yeterli olan 1,0 mg/L çözülmüş oksijen konsantrasyonu işletme prensibi uyarınca sağlanabilmekte, bu durum elektrik sarfiyatlarını azaltmaktadır.

Alternatiflere ilişkin sağlanan elektrik tüketim miktarındaki azalma oranının tesise yıllık olarak sağlayacağı işletme maliyetindeki azalma Çizelge 5.22 ile görülmektedir. Yıllık karşılaştırma yapılırken, mevcut tesisteki günlük ortalama elektrik sarfiyatının 1 yıl boyunca her gün için aynı olacağı ve elektrik bedelinin 0,19468 TL/kWh olacağı esas alınmıştır.

Çizelge 5.22: Senaryo 1 alternatifleri için yıllık ortalama elektrik maliyetlerinin karşılaştırılması.

Durum	Elektrik tasarruf oranı (%)	Yıllık elektrik tüketimi (kWh)	Yıllık elektrik tüketim bedeli (TL)	Yıllık tasarruf (TL)
Mevcut durum	-	1.343.649	261.582	-
Senaryo 1.a	23	1.035.527	201.596	59.985
Senaryo 1.b	28	969.399	188.723	72.859
Senaryo 1.c	20	1.080.226	210.298	51.283

Çizelge 5.22 ile görüldüğü üzere elektrik sarfiyatındaki azalma oranına bağlı olarak en tasarruflu/ekonomik alternatif Senaryo 1.b olarak belirlenmiştir. Buna göre Senaryo 1.b'nin arıtma tesisinde uygulanması ile yıllık işletme giderlerinin 70.000 TL civarında azalması öngörülmektedir. Çıkış atıksuyundaki TN konsantrasyonunun azalmasına bağlı performans kazanımı ve işletme giderlerinden sağlanan tasarruf göz önüne alındığında, tesise ek yatırım yapılmadan mevcut tesis kapasitesi ve yürürlükteki deşarj standartları uyarınca en uygulanabilir alternatif Senaryo 1.b'dir.

Senaryo 1 alternatifleri model sonuçlarına genel olarak kesikli havalandırma prensibinin tesiste mevcut duruma göre daha düşük çözünmüş konsantrasyonları sağlanarak yapılması gerek azot giderim verimi gerekse enerji tasarrufu açısından kazanım sağlamaktadır. Bu nedenle tesiste giriş atıksu karakterizasyonundaki artış durumları ve deşarj kriterleri de göz önüne alınarak havalandırmanın daha düşük oksijen konsantrasyonları sağlanacak biçimde kontrollü olarak uygulanmasının elektrik tüketim miktarını azaltırken arıtma performansı da iyi yönde etkileyeceği öngörülmektedir. Senaryo kapsamındaki uygulamaların tümünde havalandırma havuzundaki çözünmüş oksijen ve ORP değerlerinin doğru ölçümü ve bu değerlere bağlı otomasyon sisteminin kullanılarak aeratör kapasitesinin ayarlanması büyük önem taşımaktadır.

5.6.2 Senaryo 2

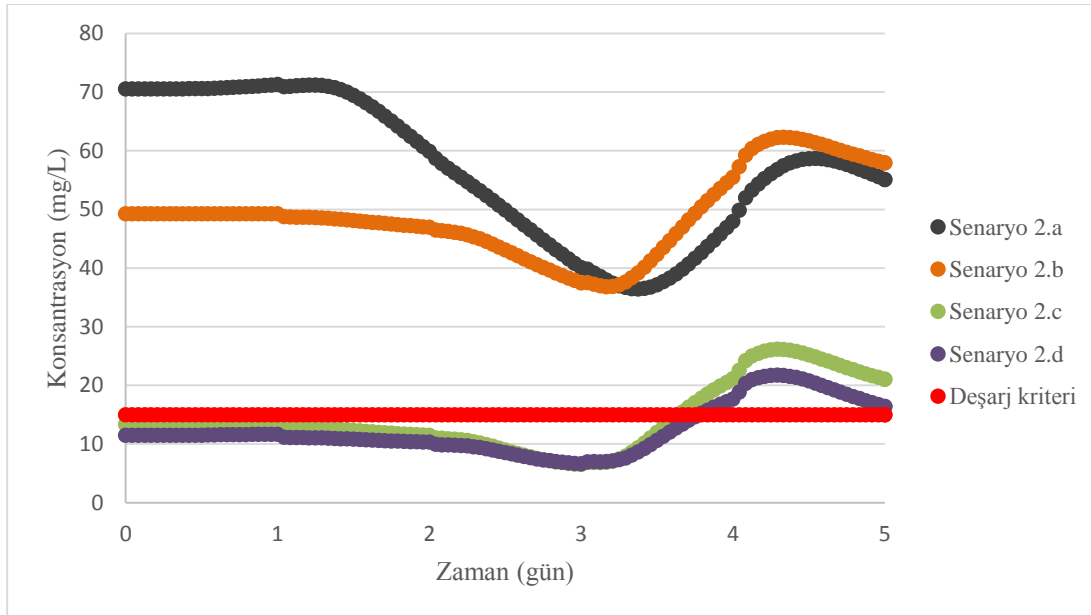
Senaryo 2 kapsamında atıksu arıtma tesisinin çıkış TN parametresi açısından çıkış kalitesinin iyileştirilmesi için uygulanabilecek alternatifler değerlendirilmiştir. Senaryo 2.a ile mevcut tesiste herhangi bir proses modifikasyonu yapılmadan sağlanan çıkış TN konsantrasyonları belirlenen deşarj kriterinin çok üzerinde kalmaktadır. Senaryo 2.b, 2.c ve 2.d ile tesisin önde denitrifikasyon yapan aktif çamur sistemi ile işletilmesi durumu farklı fiziksel ve operasyonel değişikliklerle modellenmiş ve azot giderimi sağlanmıştır. Tüm alternatiflere ilişkin mevcut tesiste uygulanması gereken tasarım parametreleri Çizelge 5.23 ile sunulmaktadır.

Çizelge 5.23: Senaryo 2 alternatifleri fiziksel ve tasarım parametreleri.

Parametre	Senaryo 2.a	Senaryo 2.b	Senaryo 2.c	Senaryo 2.d
V_D/V	-	0,33	0,25	0,20
$V_{Anoksik} (V_D)$	-	1.583 m ³	1.583 m ³	1.583 m ³
$V_{Aerobik}$	4.750 m ³	3.167 m ³	4.750 m ³	6.333 m ³
V_{Toplam}	4.750 m ³	4.750 m ³	6.333 m ³	7.916 m ³
Hacim artışı	-	-	1.583 m ³	3.166 m ³
$R_{içsel}$	-	3	4	4
$Q_{içsel}$	-	12.000 m ³ /gün	16.000 m ³ /gün	16.000 m ³ /gün

Çizelge 5.23 ile görüldüğü üzere Senaryo 2.c ve 2.d alternatiflerin deşarj kriterinin sağlanabilmesi için biyolojik reaktör boyutlarının artırılması gerekmektedir. Bu durum tesiste proses modifikasyonunun yapılabilmesi için ilave yatırım maliyeti gerektirmektedir. Ayrıca önde denitrifikasyon yapan sistemin uygulanabilmesi için gerekli içsel geri devir tesis işletme maliyetlerini artıracaktır.

Senaryo 2 alternatiflerinin 5 günlük izleme verileri esas alınarak koşulan model sonuçları çıkış TN konsantrasyonları Şekil 5.52 ile sunulmaktadır.



Şekil 5.52 : Senaryo 2 alternatiflerinin çıkış TN konsantrasyonlarının karşılaştırılması.

Şekil 5.52 ile görüldüğü üzere çıkış atıksuyunda belirlenen TN deşarj kriterinin sağlanabilmesi için proses modifikasyona gidilmesi ve biyolojik reaktör hacminin artırılması gerekmektedir. Çıkış atıksuyunda deşarj kriteri (15 mg/L) Senaryo 2.c ve Senaryo 2.d alternatifleri ile genel olarak sağlanabilmektedir. Alternatiflerin kıyaslanabilmesi için modelin koşulduğu 5 günlük çıkış TN konsantrasyonlarının ortalaması hesaplanmış ve alternatiflerin deşarj kriterini ortalama olarak sağlaması durumu değerlendirilmiştir (Çizelge 5.24). Değerlendirmede ayrıca alternatiflere ilişkin yatırım maliyetleri görece olarak kıyaslanmıştır. Yatırım maliyetleri ilave havalandırma hacmi değerleri göz önüne alınarak öngörülmüştür.

Çizelge 5.24: Senaryo 2.c ve 2.d alternatiflerinin kıyaslaması.

Durum	Ortalama TN konsantrasyonu (mg/L)	Yatırım bedeli
Senaryo 2.c	14,3	Daha düşük
Senaryo 2.d	12,4	Daha yüksek

Çizelge 5.24 ile görüldüğü üzere her iki alternatifte çıkış atıksuyunda deşarj kriterini sağlayabilmektedir. Buna göre, mevcut tesis biyolojik reaktör boyutunun %33 oranında artırılması da yeterli olacaktır. Senaryo 2.d alternatifi çıkış TN konsantrasyonunu sağlamasına rağmen gerektiği %66 oranında havalandırma havuzu hacmi artırımı ve ilave aeratör ihtiyacı sebebiyle daha fazla yatırım maliyeti gerektirmektedir. Ayrıca, mevcut tesisin aeratör çalışma prensibi değiştirilerek havalandırma havuzundaki çözünmüş oksijen konsantrasyonunu artıracak şekilde işletilmesi mümkündür. Sonuç olarak, atıksu arıtma tesisinin gelecekte TN parametresi açısından deşarj kriterine uyma yükümlülüğü olması durumunda Senaryo 2.c daha uygulanabilir bir alternatiftir.

Senaryo 2 alternatif sonuçlarına göre tesiste azot giderimi için önde denitrifikasyon yapan aktif çamur sisteminin uygulanması ve proses değişikliği yapılması gerekmektedir. Giriş atıksuyunda azot konsantrasyonunun yüksek olduğu zamanlar için nitrifikasyon prosesinin kısıtlayıcı olduğu ve yetersiz kaldığı belirlenmiştir. Buna göre, tesis çıkış atıksuyundaki amonyum azotu salınımlarını dengeleyecek şekilde mevcut aerobik reaktördeki havalandırma miktarı ve sisteme sağlanan çözünmüş oksijen konsantrasyonunun aeratör çalıştırma saatleri değiştirilerek artırılmasının azot giderimi açısından iyileşme sağlayacağı belirlenmiştir.

5.6.3 Senaryo 3

Senaryo 3 ile değerlendirilen üretim kapasite artışına bağlı arıtma tesisi giriş azot yükünün artması durumu için çalışılan senaryo alternatifleri bu bölümde karşılaştırılmıştır. Öncelikle, Senaryo 3.a kapsamında kapasite artışına bağlı giriş kirlilik konsantrasyonlarının artması durumunda mevcut tesiste herhangi bir değişiklik yapılmaksızın tesis davranışı ve sağlanabilecek arıtma performansı belirlenmiştir. Senaryo 3.b kapsamında ise tesis çıkış atıksuyunda TN konsantrasyonunun azaltılabilmesi için önde denitrifikasyon prosesi tesiste uygulanmış ve çıkış atıksu karakterizasyonu belirlenmiştir.

Senaryo 3.a ile Senaryo 3.b karşılaştırıldığında, her iki alternatif içinde KOİ ve NH₄-N parametreleri için deşarj kriterleri sağlanabilmektedir. Ancak, Senaryo 3.a ile denitrifikasyon gerçekleştirilemediğinden çıkış NO_x konsantrasyonu çok yüksektir. Senaryo 3.b kapsamında sisteme ilave edilen anoksik hacimler ve proses değişikliği mevcut tesisin %66 oranında büyümesine sebep olmakta, ancak Senaryo 3.a'ya göre %52 oranında çıkış nitrat ve nitrit konsantrasyonunun azalmasını sağlamaktadır.

Senaryo alternatifleri toplam azot giderimi performansı açısından kıyaslandığında ise Senaryo 3.a ile %18 giderim sağlanırken, Senaryo 3.b ile bu oran % 60'a kadar artmaktadır. Ayrıca, mevcut tesis yalnızca nitrifikasyon yapabilmekte ve giriş azot yükünün artışına bağlı olarak nitrifikasyonun gerçekleşebilmesi için sisteme 400 mg/L CaCO₃'e kadar alkalinite ilavesi yapılması gerekmektedir. Senaryo 3.b ile gerçekleşebilen denitrifikasyon sisteme alkalinite ilavesi yapılmadan nitrifikasyonun da gerçekleşmesi sağlamakta ve önde denitrifikasyonla azot giderim prosesi daha avantajlı hale gelmektedir. Ancak, Senaryo 3.b ile tesise ilave edilmesi gereken anoksik reaktörler mevcut tesisin %66 oranında genişletilmesine bağlı yatırım maliyeti ve prosesin içsel geri devir ihtiyacı için ilave işletme maliyeti gerektirmektedir.

6. SONUÇ

Bu tez çalışması kapsamında, model programı desteği ile örnek bir endüstriyel atıksu arıtma tesisinin daha az enerji tüketimi sağlayacak şekilde optimize edilmesi ve arıtma performansının artırılarak deşarj kriterlerinin sağlanabilmesine yönelik bir modelleme çalışması gerçekleştirilmiştir. Çalışmada mevcut durumda işletilmekte olan bir tekstil endüstriyel tesisine ait atıksu arıtma tesisinin, GPS-X model programı vasıtasıyla bilgisayar ortamında simüle edilmiş ve farklı işletme senaryoları için tesisin davranışı incelenmiştir. Böylece, farklı işletme koşulları ve proses alternatiflerinin uygulanması ile arıtma performansının artırılması ve işletme giderlerinin azaltılması için en uygun çözüm önerilerinin belirlenmesi ve uygulamaya geçirilmesi hedeflenmiştir.

Tez çalışmasının literatür araştırması kısmında aktif çamur prosesi ile biyolojik atıksu arıtımı hakkında bilgi verilmiş; prosesin modellenmesinde kullanılacak matematiksel aktif çamur modelleri araştırılmıştır. Buna ek olarak atıksu arıtma tesislerinin modellenmesi ve simülasyonu çalışmalarında izlenmesi gereken adımlar ve metodoloji incelenmiş, bu konuda yaygın olarak kullanılan ticari model programları ve içerikleri hakkında bilgi verilmiştir.

Çalışma metodolojisine göre öncelikle atıksu arıtma tesisine ait mevcut analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Tesis deşarj kriterleri dikkate alındığında organik madde gideriminin sağlanabildiği, amonyum azotu açısından ise zaman zaman standardın sağlanamadığı görülmüştür. Modelleme çalışmasının gerçekleştirilebilmesi için yeterli veri bulunmadığından, 5 günlük bir izleme periyodu kapsamında tesis giriş ve çıkışı ile biyolojik reaktörden alınan numuneler üzerinde karakterizasyon analizleri yürütülmüştür. Tesis modellenmesi GPS-X model programında ASM1 aktif çamur modeli kullanılarak yapılmış, tesis tasarım ve izleme dönemi analiz sonuçları dikkate alınarak başlangıç modeli hazırlanmıştır. İzleme dönemi giriş ve çıkış analiz sonuçları kullanılarak model kalibrasyonu yapılmış ve model parametreleri uygulama yapılan tam ölçekli atıksu arıtma tesisine ait kesin veri setine uygun şekilde belirlenmiştir. Kalibrasyon sonrasında, atıksu arıtma

tesisine ait 10 aylık giriş ve çıkış analiz sonuçları dikkate alınarak model doğrulaması yapılmıştır. Model doğrulaması tesis deşarj kriterlerine istinaden analiz sonuçları mevcut olan KOİ ve NH₄-N parametreleri için yapılmıştır.

Tez çalışmasının sonraki adımında modellenmesi tamamlanan atıksu arıtma tesisi için farklı senaryo alternatifleri türetilerek tesis enerji optimizasyonuna ve performansının iyileştirmesine yönelik uygulamalar araştırılmıştır.

- Senaryo 1 kapsamında mevcut tesis havalandırma prensibinin değiştirilmesi ve enerji tüketiminin azaltılması hedeflenmiş, uygulanan kesikli havalandırma işlemi ile çıkış atıksuyunun toplam azot parametresi açısından arıtma performansı da değerlendirilmiştir. Atıksu arıtma tesislerinde sistemde istenilen çözünmüş oksijen konsantrasyon değeri aşığı çekilerek havalandırma hızının azaltılması tesis enerji optimizasyonu için uygulanan bir yöntemdir. Uygulama örneği yapılan arıtma tesisinde de yüzeysel havalandırıcıların çalışma kapasitelerinin değiştirilmesi ve sisteme sağlanan çözünmüş oksijen konsantrasyonunun azaltılması ile farklı zaman periyotları için çalıştırılması ve durdurulması modelde simüle edilerek, elektrik sarfiyatının azaldığı belirlenmiştir. Tüm senaryo alternatiflerinde azot giderimi açısından mevcut duruma göre iyileşme söz konusudur. Senaryo kapsamında uygulanan kesikli havalandırma prensibinin biyolojik reaktöre daha düşük çözünmüş oksijen konsantrasyonları sağlanarak uygulanması azot giderimine fayda sağlamaktadır. Alternatiflere ilişkin model sonuçlarına göre amonyum azotu ve KOİ parametreleri açısından da değerlendirildiğinde tesisin uymakla yükümlü olduğu deşarj kriterlerinin altında kaldığı belirlenmiştir. Buna göre, mevcut durumda tesiste uygulanan havalandırma prensibi ile sağlanan 2,0 mg/L ve üzeri çözünmüş oksijen konsantrasyonu değerleri biyolojik arıtma için ihtiyaç duyulandan fazladır. Çözünmüş oksijen konsantrasyonunun bu değerlere ulaşabilmesi için aeratörlerin tam kapasite çalıştırılması beraberinde elektrik sarfiyatının artmasına sebep olmaktadır. Senaryo 1 kapsamında 3 farklı alternatif için modelleme çalışmaları yürütülmüştür. Enerji sarfiyatının en fazla gerçekleştiği alternatif Senaryo 1.b olarak belirlenmiştir. Bu alternatif kapsamında, aeratör kapasiteleri %50 oranında azaltılarak, biyolojik reaktörde ortalama 1,0 mg/L çözünmüş oksijen konsantrasyonunun sağlanması ve aeratörlerin tesisteki mevcut uygulama ile

aynı şekilde sırasıyla 8'er saat çalıştırılması işletme prensibi uygulanmıştır. Senaryo 1.b'nin arıtma tesisinde uygulanması ile tesis günlük elektrik tüketiminin yaklaşık %28 oranında azaldığı ve bu kazanımın yıllık işletme giderlerini 70.000 TL civarında azalmasını sağladığı belirlenmiştir. Ayrıca, model sonuçlarına göre toplam azot giderim verimi mevcut duruma göre %10 oranında artmaktadır. İşletme giderlerinden sağlanan kar da göz önüne alındığından en uygulanabilir alternatif Senaryo 1.b olarak belirlenmiştir. Senaryo 1 alternatifleri model sonuçlarına genel olarak kesikli havalandırma prensibinin tesiste mevcut duruma göre daha düşük çözünmüş konsantrasyonları sağlanarak yapılması gerek azot giderim verimi gerekse enerji tasarrufu açısından kazanım sağlamaktadır. Bu nedenle tesiste giriş atıksu karakterizasyonundaki artış durumları ve deşarj kriterleri de göz önüne alınarak havalandırmanın daha düşük oksijen konsantrasyonları sağlanacak biçimde kontrollü olarak uygulanmasının elektrik tüketim miktarını azaltırken arıtma performansı da iyi yönde etkileyeceği öngörülmektedir. Senaryo kapsamındaki uygulamaların tümünde havalandırma havuzundaki çözünmüş oksijen ve ORP değerlerinin doğru ölçümü ve bu değerlere bağlı otomasyon sisteminin kullanılarak aeratör kapasitesinin ayarlanması büyük önem taşımaktadır.

- Senaryo 2 kapsamında tesis çıkış atıksu kalitesinin artırılmasına yönelik iyileştirme yapılması hedeflenmiştir. Atıksu arıtma tesisinin mevcut durumda uymakla yükümlü olduğu deşarj kriterlerinin gelecekte değişmesi ve daha yüksek arıtma performansının gerekliliği halinde mevcut tesisin yeterliliği tahkik edilmiş ve uygulanabilecek proses modifikasyonları araştırılmıştır. Tesis deşarj standartlarına göre azot parametresi açısından yalnızca NH₄-N parametresi için bir standart değer söz konusudur ve mevcut tesis yalnızca biyolojik karbon giderimi ve nitrifikasyon proseslerini gerçekleştirebilmektedir. Bu nedenle tesiste azot giderimi tamamen sağlanmamaktadır. Senaryo 2 alternatifleri kapsamında, KAAV deşarj standartları göz önüne alınarak, mevcut atıksu arıtma tesisin TN deşarj kriterinin 15 mg/L olması durumunda yeterliliğinin tahkiki yapılmış, ilgili deşarj standardının sağlanabilmesi için tesiste uygulanabilecek proses modifikasyonu belirlenmiştir. Tesisin önde denitrifikasyon yapan aktif çamur

sistemi ile işletilmesi durumunda toplam azot giderim veriminin arttığı belirlenmiştir. Senaryo 2 alternatifleri model sonuçlarına göre mevcut tesisin mevcut biyolojik reaktöründe sağlanacak aerobik ve anoksik hacimlerle azot gideriminin istenilen oranda sağlanamayacağı, bu nedenle denitrifikasyon prosesinin gerçekleşmesi için ilave reaktör hacmi gerektiği belirlenmiştir. Senaryo alternatifleri sonuçları değerlendirildiğinde, Senaryo 2.c ile ortalama olarak 15 mg/L TN standardını sağlanabildiği ve diğer alternatiflere göre daha az ilave reaktör hacmi ve yatırım maliyeti gerektiğinden en uygun alternatif olarak belirlenmiştir. Buna göre, tesis biyolojik reaktör boyutunun %33 oranında artırılarak, içsel geri devir oranının 4 olması halinde çıkış atıksuyunda toplam azotun 15 mg/L'nin altında olması sağlanabilmektedir. Senaryo 2 alternatif sonuçlarına göre tesiste azot giderimi için önde denitrifikasyon yapan aktif çamur sisteminin uygulanması ve proses değişikliği yapılması gerekmektedir. Giriş atıksuyunda azot konsantrasyonunun yüksek olduğu zamanlar için nitrifikasyon prosesinin kısıtlayıcı olduğu ve yetersiz kaldığı belirlenmiştir. Buna göre, tesis çıkış atıksuyundaki amonyum azotu salınımlarını dengeleyecek şekilde mevcut aerobik reaktördeki havalandırma miktarı ve sisteme sağlanan çözünmüş oksijen konsantrasyonunun aeratör çalıştırma saatleri değiştirilerek artırılmasının azot giderimi açısından iyileşme sağlayacağı belirlenmiştir.

- Senaryo 3 ile üretim kapasite artışına bağlı arıtma tesisi giriş azot yükünün artması durumu için mevcut tesisin arıtma kapasitesinin yeterliliği tahkik edilmiş ve çıkış atıksu kalitesinin iyileştirilmesine yönelik tesiste uygulanabilecek proses modifikasyonları değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, modelleme çalışmasının gerçekleştirildiği AAT yetkilileri ile görüşülerek, gelecekte fabrikada gerçekleşmesi planlanan kapasite artışına ilişkin bilgiler temin edilmiştir. Senaryo kapsamında, atıksu debisi ve işletmedeki üre tüketimindeki artışın giriş atıksu konsantrasyonuna etkisi belirlenmiş ve bu giriş karakterizasyonu esas alınarak model koşulmuştur. Buna göre, giriş atıksuyundaki TKN konsantrasyonu mevcut durum atıksu karakterizasyonuna göre yaklaşık 2 kat (222 mg/L) artmaktadır. AAT giriş atıksuyunda diğer kirlilik konsantrasyonlarının değişmediği, yalnızca TKN ve buna bağlı olarak NH₄-N konsantrasyonlarının arttığı esas alınarak modelleme çalışmaları

yürütülmüştür. Senaryo 3.a kapsamında kapasite artışına bağlı giriş kirlilik konsantrasyonlarının artması durumunda mevcut tesiste herhangi bir proses değişikliği yapılmaksızın KOİ ve NH₄-N için deşarj kriterlerinin sağlanabildiği belirlenmiştir. Ancak, tesis çıkış atıksuyunda TN konsantrasyonunun azaltılabilmesi için tesiste önde denitrifikasyon prosesi uygulanmış ve çıkış atıksu karakterizasyonu belirlenmiştir. Model çalışmaları kapsamında denitrifikasyon hacmi arttıkça çıkış NO_x ve TN konsantrasyonlarının azaldığı gözlenmiş, V_D/V oranının 0,5'den büyük olması durumunda çıkış NH₄-N konsantrasyonunun ise arttığı belirlenmiştir. Buna göre, arıtma tesisinin mevcut durumda NH₄-N için deşarj standardı olan 5 mg/L sınır koşulu olarak kabul edilmiş, NH₄-N konsantrasyonu bu değeri aşmayacak şekilde tesiste uygulanabilecek anoksik hacim ve TN giderim miktarı belirlenmiştir. Senaryo 3.b kapsamında tesisteki mevcut biyolojik reaktör boyutu %66 oranında artırılıp, anoksik hacim ilave edilmiş, bu esnada aerobik hacim aynı bırakılarak, 4R oranında içsel geri devir oranı uygulanmıştır. Senaryo 3.b model sonuçlarına göre atıksu arıtma tesisinin biyolojik olarak azot giderim verimi maksimum %59 (çıkış atıksuyunda 92 mg/L TN) olarak belirlenmiştir. Tesiste daha ileri azot gideriminin sağlanabilmesi için farklı arıtma konfigürasyonları ve proseslerinin uygulanması gerektiği anlaşılmaktadır.

KAYNAKLAR

- Battistoni, P., Boccadoro, R., Bolzonella, D., & Marinelli, M.** (2003). An alternate oxic-anoxic process automatically controlled. Theory and practice in a real treatment plant network. *Water Science and Technology*, **48**, 337-344.
- ÇOB.** (2006). Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği. *Resmi Gazete Sayısı: 26047*. Ankara: Çevre ve Orman Bakanlığı.
- ÇŞB.** (2010). Atıksu Arıtımında Enerji Verimliliği Rehberi. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara.
- ÇŞB.** (2011). Ergene Nehrinde Deşarj Standartlarında Kısıtlama Genelgesi (2011/10). Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara.
- EC.** (2000). Water Framework Directive (2000/60/EC). European Communities.
- Geilvoet, S., Geraats, S., Schelleman, F., & Teunissen, M.** (2010). Atıksu Arıtımında Enerji Verimliliği Projesi Sonuç Raporu, *Proje no. 283439*. Ankara.
- Germirli Babuna, F., Orhon, D., Ubay Çokgör, E., İnsel, G., & Yapraklı, B.** (1998). Modelling of activated sludge for textile wastewaters. *Water Science and Technology* Cilt **38**, sayı. 4-5, Sf. 9-17.
- Germirli Babuna, F., Soyhan, B., Eremektar, G., & Orhon, D.** (1999). Evaluation of treatability for two textile mill effluents. *Water Science and Technology* Cilt **40**, sayı. 1, Sf. 145-152.
- Gernaey, K. V., Loosdrecht, M. C., Henze, M., Lind, M., & Jørgensen, S. B.** (2004). Activated sludge wastewater treatment plant modelling and simulation: state of the art. *Environmental Modelling & Software*, Cilt **19**, Sf. 763-783.
- Gounder, P.** (2006). *Modelling of the effects of textile industry wastewaters on the performance of a municipal wastewater treatment plant*. Durban, (doktora tezi), School of Chemical Engineering University of KwaZulu, Natal.
- Henze, M., & Harremoes, P.** (1983). Anaerobic treatment of wastewater in fixed film reactors - a literature review. *Water Science and Technology* Cilt **15**, Sf. 1-101.
- Henze, M., Grady, C. J., Gujer, W., Marais, G., & Matsuo, T.** (1987). Activated sludge model no.1 science and technology reports.

- Henze, M., Gujer, W., Mino, T., & Loosdrecht, M.** (2000). Activated sludge models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3., IWA Publishing, London.
- Henze, M., Harremoës, P., Jansen, J. C., & Arvin, E.** (2002). Wastewater Treatment: Biological And Chemical Processes. Springer-Verlag Publishing, Berlin.
- Henze, M., Loosdrecht, M., Ekama, G. A., & Brdjanovic, D.** (2008). Biological Wastewater Treatment Principles, Modelling and Design. IWA Publishing, Londra.
- Jeppsson, U.** (1996). Modelling aspects of wastewater treatment processes. Lund, Sweden: Lund Institute of Technology, ISBN 91-88934-00-4.
- Karahan, Ö., Orhon, D., & Loosdrecht, C.** (2005). Substrat depolama dönüşüm oranının deneysel oranının deneysel olarak belirlenmesi. *itü dergisi/e su kirlenmesi kontrolü* Cilt **15**, Sf. 73-82.
- Langergraber, G., Rieger, L., Winkler, S., Alex, J., Wiese, J., Owerdieck, C., Maurer, M.** (2004). A guideline for simulation studies of wastewater treatment plants. *Water Science and Technology*, Cilt **50**, Sf 131-138.
- Liwarska-Bizukoje, E., & Biernacki, R.** (2010). Identification of the most sensitive parameters in the activated sludge model implemented in BioWin software. *Bioresource Technology*, Sf.7278-7285.
- Meijer, S., Loosdrecht, M., & Heijnen, J.** (2001). Metabolic modelling of full-scale biological nitrogen and phosphorus removing WWTP's. *Water Research*, Sf. 2711–2723.
- Metcalf, & Eddy.** (2004). Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. McGraw-Hill Education.
- Mulas, M.** (2006). *Modelling and Control of Activated Sludge Processes*. (doktora tezi), Università degli Studi di Cagliari, Cagliari.
- Ni, B.-J., & Yu, H.-Q.** (2007). Simulation of heterotrophic storage and growth processes in activated sludge under aerobic conditions. *Chemical Engineering Journal*, Cilt **140** (2008), Sf. 101-109.
- Nowak, O., Franz, A., Svardal, K., Mueller, V., & Kuehn, V.** (1999). Parameter estimation for activated sludge models with the help of mass balances. *Water Science and Technology*, Cilt **39**, Sf. 113-120.
- Orhon, D., Artan, N., Büyükmurat, S., & Görgün, E.** (1992). The effect of residual COD on the biological treatability of textile wastewaters. *Water Science and Technology*, Cilt **26**, Sf. 815-825.
- Orhon, D., & Artan, N.** (1994). Modelling of Activated Sludge Systems. Technomic Publishing Company, Inc., USA.
- Orhon, D., Babuna, F. G., & Karahan, Ö.** (2009). Industrial Wastewater Treatment by Activated Sludge. IWA Publishing, London.
- Orhon, D., Germirli Babuna, F., & Insel, G.** (2001). Characterization and modelling of denim processing wastewaters for activated sludge. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, Cilt **76**, Sf. 919-931.

- OSİB.** (2012). Atıksu Arıtma Tesisleri Tasarım Rehberi. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Pell, M., & Wörman, A.** (2011). Biological Wastewater Treatment Systems. *Biochemical Engineering Journal*, Cilt **49**, Sf. 376-441.
- Pöpel, F.** (1988). Textbook for Wastewater Engineering and Protection of Aquatic Environment. Deutscher Fachschriften-Verlag, Wiesbaden.
- Rivas, A., Irizar, I., & Ayesa, E.** (2008). Model-based optimisation of Wastewater Treatment Plants design. *Environmental Modelling & Software*, Cilt **23**, Sf. 435-450.
- Roeleveld, P. J., & Loosdrecht, M.** (2002). Experience with guidelines for wastewater characterisation in The Netherlands. *Water Science and Technology*, Cilt **45**, Sf. 77-87.
- Schütze, M. R., Butler, D., & Beck, M. B.** (2002). Modelling, Simulation and Control of Urban Wastewater Systems. Springer, Great Britain.
- SKKY.** (2004). Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, 31.12.2004 tarih ve 25867 sayılı Resmi Gazete (Değişik: RG-13/02/2008-26786).
- Sözen, S., Ubay Çokgör, E., Orhon, D., & Henze, M.** (1998). Respirometric Analysis of activated sludge behaviour - II. heterotrophic growth under aerobic and anoxic conditions. *Water Research*, Cilt **32**, Sf. 476-488.
- Sözen, S., Orhon, D.** (2009). İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi Model Bazlı Proses Optimizasyonu. *itüdergisi/e su kirlenmesi kontrolü*, Cilt **19**, Sf. 101-110.
- Takács, I., Patry, G., & Nolasco, D.** (1991). A dynamic model of the thickening/clarification process. *Water Research*, Cilt **25**, Sf. 1263-1271.
- Thomann, M., Rieger, L., Frommhold, S., Siegrist, H., & Gujer, W.** (2002). An efficient monitoring concept with control charts for on-line sensors. *Waterscience and Technology*, Cilt **46**, Sf. 107-116.
- Toprak, H.** (2005). Aktif çamur sürecinin tasarımı. Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, İzmir.
- Ubay Çokgör, E.** (1997). *Respirometric evaluation of process kinetics and stoichiometry for aerobic systems*. (doktora tezi). İstanbul Technical University, İstanbul.
- USEPA.** (1995). Industrial waste treatment, a field study training program. Cilt **2**, California State University, USA.
- Vanhooren, H., Meirlaen, J., Amerlinck, Y., Claeys, F., Vangheluwe, H., & Vanrolleghem, P. A.** (2003). WEST: modelling biological wastewater treatment. *Journal of Hydroinformatics*, Cilt **5**, Sf. 27-50.
- Wang, Z., Xue, M., Huang, K., & Liu, Z.** (2011). Textile dyeing wastewater treatment. P. Hauser içinde, Advances in treating textile effluent, Sf. 953-978, Intech, Shanghai.

- Weijers, S. R., & Vanrolleghem, P. A.** (1997). A procedure for selecting best identifiable parameters in calibrating activated sludge model-1 to full-scale plant data. *Water science and technology*, Cilt 5, Sf. 69-79.
- Wiesmann, U.** (1994). *Biological Nitrogen Removal from Wastewater*. Springer, Berlin.
- Zhang, X. X., Zhao, D. Y., & Wang, Z. W.** (2009). Environmental Biological Model Based on Optimization of Activated Sludge Process, *Int. J. Environ. Sci. Tech*, Cilt 6, Sf. 69-76.
- Zuthi, M. R., Guo, W., Ngo, H., Nghiem, L., & Hai, F.** (2013). Enhanced biological phosphorus removal and its modelling for the activated sludge and membrane bioreactor processes. *Bioresource Technology*, Cilt 139, Sf. 363-374.
- DHI.** (t.y). *WEST* - modelling wastewater treatment plants. MIKE by DHI Software. Alındığı tarih: 23.06.2014, adres: <http://www.mikebydhi.com/Products/Cities/WEST>
- EnviroSim.** (t.y). *BioWin*. Developers of Leading Edge Wastewater Modeling Software. Alındığı tarih: 23.06.2014, adres: <http://envirosim.com/products/biowin>
- Hydromantis.** (t.y). *Hydromantis Software Products*. GPS-X Product Overview. Alındığı tarih: 25.06.2014, adres: <http://www.hydromantis.com/GPS-X.html>
- ifak.** (t.y). *SIMBA*. ifak System. Alındığı tarih: 23.06.2014, adres: <http://www.ifak-system.com/en/environmental-simulation/simba/>

EKLER

EK A : Mantis Model Matrisi

EK B: Tesis Günlük Elektrik Sarfiyat Bilgileri

EK C: Tesis Mevcut İzleme Verileri – Giriş ve Çıkış Atıksu Karakterizasyonu

EK-A

Çizelge A. 1 : GPS-X model programı Mantis model matrisi.

Bileşen	<i>i</i>	1 <i>S_I</i>	2 <i>S_S</i>	3 <i>X_I</i>	4 <i>X_S</i>	5 <i>X_{BH}</i>	6 <i>X_{BA}</i>	7 <i>X_U</i>	8 <i>X_{ND}</i>	9 <i>S_O</i>	10 <i>S_{NO}</i>	11 <i>S_{NN}</i>	12 <i>S_{NH}</i>	13 <i>S_{ND}</i>	14 <i>S_{ALK}</i>	$\mu_H \left(\frac{S_S}{K_{SH} + S_S} \right) \left(\frac{S_O}{K_{OH} + S_O} \right) \left(\frac{S_{NH}}{K_{NH} + S_{NH}} \right) X_{BH}$	
<i>j</i>	Proses																
1	Heterotrofların aerobik çoğalması Ss üzerinden Snh ile		$\frac{-1}{Y_H}$			1				$\frac{-(1-Y_H)}{Y_H}$						$\frac{-ibhn}{14}$	$\mu_H \left(\frac{S_S}{K_{SH} + S_S} \right) \left(\frac{S_O}{K_{OH} + S_O} \right) \left(\frac{S_{NH}}{K_{NH} + S_{NH}} \right) X_{BH}$
2	Heterotrofların Anoksik çoğalması Ss üzerinden Snh ile		$\frac{-1}{Y_H}$			1					$\frac{-(1-Y_H)}{2,86Y_H}$	$\frac{(1-Y_H)}{2,86Y_H}$				$\frac{-ibhn}{14} + \frac{(1-YH)}{(14 \cdot 2,86YH)}$	$etag \cdot \mu_H \left(\frac{S_S}{K_{SH} + S_S} \right) \left(\frac{K_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}} \right) \left(\frac{S_{NH}}{K_{NH} + S_{NH}} \right) \left(\frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}} \right) X_{BH}$
3	Heterotrofların aerobik çoğalması Ss üzerinden Sno ile		$\frac{-1}{Y_H}$			1				$\frac{-(1-Y_H)}{Y_H}$						$\frac{-ibhn}{14}$	$\mu_H \left(\frac{S_S}{K_{SH} + S_S} \right) \left(\frac{S_O}{K_{OH} + S_O} \right) \left(\frac{K_{NH}}{K_{NH} + S_{NH}} \right) \left(\frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}} \right) X_{BH}$
4	Heterotrofların Anoksik çoğalması Ss üzerinden Sno ile		$\frac{-1}{Y_H}$			1					$-ibhn - \frac{(1-Y_H)}{(2,86 \cdot Y_H)}$	$\frac{(1-Y_H)}{2,86Y_H}$				$\frac{-ibhn}{14} + \frac{(1-YH)}{(14 \cdot 2,86YH)}$	$etag \cdot \mu_H \left(\frac{S_S}{K_{SH} + S_S} \right) \left(\frac{K_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}} \right) \left(\frac{S_{NH}}{K_{NH} + S_{NH}} \right) \left(\frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}} \right) X_{BH}$
5	Heterotrofların ölümü				$1-fuh$	-1		fuh									$b_H \cdot X_{BH}$
6	Flok içindeki organik maddenin hidrolizi		1		-1												$k_H \left(\frac{X_S/X_{BH}}{K_A + X_S/X_{BH}} \right) \left(\left(\frac{S_O}{K_{OH} + S_O} \right) + etag \left(\frac{K_{OH}}{K_{OH} + S_O} \right) \left(\frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}} \right) \right) X_{BH}$
7	Flok içindeki organik azotun hidrolizi								-1					1			$r_6 \cdot \left(\frac{X_{NO}}{X_S} \right)$
8	Çözülmüş organik azotun amonifikasyonu												1	-1	1/14		$k_A \cdot S_{ND} \cdot X_{BH}$
9	Ototrofların çoğalması						1		$\frac{-(4,57-Y_A)}{Y_A}$		$\frac{1}{Y_A}$					$\frac{-iban}{14} - \frac{1}{Y_A \cdot 7}$	$\mu_A \left(\frac{S_{NH}}{K_{NH} + S_{NH}} \right) \left(\frac{S_{NH}}{K_{NH} + S_{NH}} \right) \left(\frac{S_O}{K_{OA} + S_O} \right) X_{BA}$
10	Ototrofların ölümü				$1-fua$		-1	fua									$b_A \cdot X_{BA}$

EK B**Çizelge B. 1 : Tesis günlük elektrik sarfiyat bilgileri.**

Tarih	Gün	Toplam Elektrik Sarfiyatı (kWh)
1.12.2013	Pazar	520,80
2.12.2013	Pazartesi	2.063,20
3.12.2013	Salı	3.815,20
4.12.2013	Çarşamba	3.911,20
5.12.2013	Perşembe	3.788,80
6.12.2013	Cuma	2.368,00
7.12.2013	Cumartesi	1.272,00
8.12.2013	Pazar	434,40
9.12.2013	Pazartesi	2.992,00
10.12.2013	Salı	3.743,20
11.12.2013	Çarşamba	3.684,00
12.12.2013	Perşembe	3.674,40
13.12.2013	Cuma	3.598,40
14.12.2013	Cumartesi	2.388,00
15.12.2013	Pazar	456,80
16.12.2013	Pazartesi	3.236,32
17.12.2013	Salı	3.761,28
18.12.2013	Çarşamba	3.652,80
19.12.2013	Perşembe	3.625,60
20.12.2013	Cuma	3.400,16
21.12.2013	Cumartesi	1.091,60
22.12.2013	Pazar	454,64
23.12.2013	Pazartesi	3.917,84
24.12.2013	Salı	3.516,00
25.12.2013	Çarşamba	3.723,20
26.12.2013	Perşembe	3.569,60
27.12.2013	Cuma	3.733,60
28.12.2013	Cumartesi	3.674,40
29.12.2013	Pazar	3.043,20
30.12.2013	Pazartesi	0,00
31.12.2013	Salı	0,00
1.1.2014	Çarşamba	582,00
2.1.2014	Perşembe	3.490,00
3.1.2014	Cuma	3.610,00
4.1.2014	Cumartesi	3.593,00
5.1.2014	Pazar	566,00
6.1.2014	Pazartesi	3.514,00
7.1.2014	Salı	3.625,00
8.1.2014	Çarşamba	3.626,00
9.1.2014	Perşembe	3.416,00
10.1.2014	Cuma	3.567,00
11.1.2014	Cumartesi	3.646,00
12.1.2014	Pazar	502,00
13.1.2014	Pazartesi	3.089,00
14.1.2014	Salı	3.434,00

Tarih	Gün	Toplam Elektrik Sarfiyatı (kWh)
15.1.2014	Çarşamba	3.477,00
16.1.2014	Perşembe	3.443,00
17.1.2014	Cuma	3.216,00
18.1.2014	Cumartesi	0,00
19.1.2014	Pazar	894,00
20.1.2014	Pazartesi	3.074,00
21.1.2014	Salı	3.390,00
22.1.2014	Çarşamba	3.446,00
23.1.2014	Perşembe	3.262,00
24.1.2014	Cuma	3.449,00
25.1.2014	Cumartesi	3.356,00
26.1.2014	Pazar	1.994,00
27.1.2014	Pazartesi	3.541,00
28.1.2014	Salı	3.649,00
29.1.2014	Çarşamba	3.603,00
30.1.2014	Perşembe	3.699,00
31.1.2014	Cuma	3.696,00
1.2.2014	Cumartesi	2.988,00
2.2.2014	Pazar	1.959,00
3.2.2014	Pazartesi	3.185,00
4.2.2014	Salı	3.857,00
5.2.2014	Çarşamba	3.705,00
6.2.2014	Perşembe	3.559,00
7.2.2014	Cuma	3.720,00
8.2.2014	Cumartesi	3.512,00
9.2.2014	Pazar	1.203,00
10.2.2014	Pazartesi	3.443,00
11.2.2014	Salı	3.607,00
12.2.2014	Çarşamba	3.755,00
13.2.2014	Perşembe	3.771,00
14.2.2014	Cuma	3.462,00
15.2.2014	Cumartesi	3.792,00
16.2.2014	Pazar	1.989,00
17.2.2014	Pazartesi	3.655,00
18.2.2014	Salı	3.680,00
19.2.2014	Çarşamba	3.690,00
20.2.2014	Perşembe	3.668,00
21.2.2014	Cuma	3.697,00
22.2.2014	Cumartesi	3.789,00
23.2.2014	Pazar	3.526,00
24.2.2014	Pazartesi	3.739,00
25.2.2014	Salı	3.729,00
26.2.2014	Çarşamba	3.716,00
27.2.2014	Perşembe	3.614,00
28.2.2014	Cuma	3.617,00
1.3.2014	Cumartesi	3.626,00
2.3.2014	Pazar	934,00

Tarih	Gün	Toplam Elektrik Sarfiyatı (kWh)
3.3.2014	Pazartesi	3.276,00
4.3.2014	Salı	4.046,00
5.3.2014	Çarşamba	3.919,00
6.3.2014	Perşembe	3.934,00
7.3.2014	Cuma	4.102,00
8.3.2014	Cumartesi	3.999,00
9.3.2014	Pazar	1.176,00
10.3.2014	Pazartesi	3.694,00
11.3.2014	Salı	4.038,00
12.3.2014	Çarşamba	4.051,00
13.3.2014	Perşembe	3.820,00
14.3.2014	Cuma	4.029,00
15.3.2014	Cumartesi	3.000,00
16.3.2014	Pazar	738,00
17.3.2014	Pazartesi	2.966,00
18.3.2014	Salı	3.958,00
19.3.2014	Çarşamba	4.010,00
20.3.2014	Perşembe	4.004,00
21.3.2014	Cuma	2.606,00
22.3.2014	Cumartesi	3.743,00
23.3.2014	Pazar	821,00
24.3.2014	Pazartesi	3.583,00
25.3.2014	Salı	4.046,00
26.3.2014	Çarşamba	4.035,00
27.3.2014	Perşembe	4.153,00
28.3.2014	Cuma	3.915,00
29.3.2014	Cumartesi	2.572,00
30.3.2014	Pazar	970,00
31.3.2014	Pazartesi	2.626,00
1.4.2014	Salı	3.514,00
2.4.2014	Çarşamba	3.873,00
3.4.2014	Perşembe	722,00
4.4.2014	Cuma	3.958,00
5.4.2014	Cumartesi	3.880,00
6.4.2014	Pazar	1.090,00
7.4.2014	Pazartesi	3.886,00
8.4.2014	Salı	4.038,00
9.4.2014	Çarşamba	4.047,00
10.4.2014	Perşembe	3.976,00
11.4.2014	Cuma	3.924,00
12.4.2014	Cumartesi	2.677,00
13.4.2014	Pazar	1.157,00
14.4.2014	Pazartesi	3.924,00
15.4.2014	Salı	3.884,00
16.4.2014	Çarşamba	3.776,00
17.4.2014	Perşembe	3.598,00
18.4.2014	Cuma	3.391,00

Tarih	Gün	Toplam Elektrik Sarfiyatı (kWh)
19.4.2014	Cumartesi	2.307,00
20.4.2014	Pazar	902,00
21.4.2014	Pazartesi	3.809,00
22.4.2014	Salı	3.945,00
23.4.2014	Çarşamba	3.972,00
24.4.2014	Perşembe	3.990,00
25.4.2014	Cuma	4.022,00
26.4.2014	Cumartesi	2.586,00
27.4.2014	Pazar	969,00
28.4.2014	Pazartesi	3.651,00
29.4.2014	Salı	4.014,00
30.4.2014	Çarşamba	3.986,00
1.5.2014	Perşembe	3.898,00
2.5.2014	Cuma	3.858,00
3.5.2014	Cumartesi	3.891,00
4.5.2014	Pazar	2.027,00
5.5.2014	Pazartesi	3.822,00
6.5.2014	Salı	4.117,00
7.5.2014	Çarşamba	3.926,00
8.5.2014	Perşembe	3.925,00
9.5.2014	Cuma	4.055,00
10.5.2014	Cumartesi	3.882,00
11.5.2014	Pazar	2.261,00
12.5.2014	Pazartesi	4.011,00
13.5.2014	Salı	4.162,00
14.5.2014	Çarşamba	3.992,00
15.5.2014	Perşembe	4.142,00
16.5.2014	Cuma	4.082,00
17.5.2014	Cumartesi	3.842,00
18.5.2014	Pazar	2.630,00
19.5.2014	Pazartesi	2.463,00
20.5.2014	Salı	4.034,00
21.5.2014	Çarşamba	4.013,00
22.5.2014	Perşembe	4.126,00
23.5.2014	Cuma	4.090,00
24.5.2014	Cumartesi	3.999,00
25.5.2014	Pazar	3.906,00
26.5.2014	Pazartesi	4.107,00
27.5.2014	Salı	4.070,00
28.5.2014	Çarşamba	4.075,00
29.5.2014	Perşembe	4.145,00
30.5.2014	Cuma	4.082,00
31.5.2014	Cumartesi	4.116,00
1.6.2014	Pazar	1.120,00
2.6.2014	Pazartesi	3.557,00
3.6.2014	Salı	4.141,00
4.6.2014	Çarşamba	3.939,00

Tarih	Gün	Toplam Elektrik Sarfiyatı (kWh)
5.6.2014	Perşembe	3.911,00
6.6.2014	Cuma	3.690,00
7.6.2014	Cumartesi	3.709,00
8.6.2014	Pazar	3.650,00
9.6.2014	Pazartesi	3.939,00
10.6.2014	Salı	3.924,00
11.6.2014	Çarşamba	3.888,00
12.6.2014	Perşembe	3.960,00
13.6.2014	Cuma	3.260,00
15.6.2014	Pazar	794,00
16.6.2014	Pazartesi	2.837,00
17.6.2014	Salı	3.958,00
18.6.2014	Çarşamba	3.962,00
19.6.2014	Perşembe	3.686,00
20.6.2014	Cuma	3.935,00
21.6.2014	Cumartesi	2.110,00
22.6.2014	Pazar	738,00
23.6.2014	Pazartesi	3.235,00
24.6.2014	Salı	3.750,00
25.6.2014	Çarşamba	3.182,00
26.6.2014	Perşembe	4.345,00
27.6.2014	Cuma	3.733,00
28.6.2014	Cumartesi	2.260,00
29.6.2014	Pazar	878,00
30.6.2014	Pazartesi	3.396,00
1.7.2014	Salı	3.992,00
2.7.2014	Çarşamba	4.012,00
3.7.2014	Perşembe	3.873,00
4.7.2014	Cuma	3.958,00
5.7.2014	Cumartesi	2.328,00
6.7.2014	Pazar	906,00
7.7.2014	Pazartesi	3.839,00
8.7.2014	Salı	3.938,00
9.7.2014	Çarşamba	3.713,00
10.7.2014	Perşembe	3.839,00
11.7.2014	Cuma	3.773,00
12.7.2014	Cumartesi	2.078,00
13.7.2014	Pazar	810,00
14.7.2014	Pazartesi	3.478,00
15.7.2014	Salı	3.874,00
16.7.2014	Çarşamba	3.869,00
17.7.2014	Perşembe	3.772,00
18.7.2014	Cuma	3.446,00
20.7.2014	Pazar	1.812,00
21.7.2014	Pazartesi	3.490,00
22.7.2014	Salı	3.598,00
23.7.2014	Çarşamba	2.762,00

Tarih	Gün	Toplam Elektrik Sarfiyatı (kWh)
24.7.2014	Perşembe	3.230,00
25.7.2014	Cuma	2.876,00
26.7.2014	Cumartesi	1.322,00
27.7.2014	Pazar	0,00
28.7.2014	Pazartesi	0,00
29.7.2014	Salı	0,00
30.7.2014	Çarşamba	0,00
31.7.2014	Perşembe	0,00
1.8.2014	Cuma	0,00
2.8.2014	Cumartesi	5.456,00
4.8.2014	Pazartesi	3.438,00
5.8.2014	Salı	3.674,00
6.8.2014	Çarşamba	3.716,00
7.8.2014	Perşembe	3.796,00
8.8.2014	Cuma	3.820,00
9.8.2014	Cumartesi	2.059,00
10.8.2014	Pazar	1.041,00
11.8.2014	Pazartesi	3.169,00
12.8.2014	Salı	3.789,00
13.8.2014	Çarşamba	3.746,00
14.8.2014	Perşembe	3.775,00
15.8.2014	Cuma	3.737,00
16.8.2014	Cumartesi	2.486,00
17.8.2014	Pazar	598,00
18.8.2014	Pazartesi	3.519,00
19.8.2014	Salı	3.789,00
20.8.2014	Çarşamba	3.850,00
21.8.2014	Perşembe	3.905,00
22.8.2014	Cuma	3.694,00
23.8.2014	Cumartesi	2.174,00
24.8.2014	Pazar	1.061,00
25.8.2014	Pazartesi	3.661,00
26.8.2014	Salı	3.699,00
27.8.2014	Çarşamba	3.823,00
28.8.2014	Perşembe	3.737,00
29.8.2014	Cuma	3.508,00
30.8.2014	Cumartesi	2.442,00
31.8.2014	Pazar	987,00
1.9.2014	Pazartesi	3.666,00
2.9.2014	Salı	3.823,00
3.9.2014	Çarşamba	3.788,00
4.9.2014	Perşembe	3.830,00
5.9.2014	Cuma	3.762,00
6.9.2014	Cumartesi	2.293,00
7.9.2014	Pazar	1.032,00
8.9.2014	Pazartesi	3.698,00
9.9.2014	Salı	3.917,00

EK C

Çizelge C. 1 : Uygulama örneği AAT giriş ve çıkış atıksu karakterizasyonu.

Tarih	KOİ (mg/L)		Yağ ve Gress (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)		pH		Sıcaklık (°C)		AKM (mg/L)		Toplam Cr (mg/L)	İletkenlik (mS/cm)		Serbest Cl (mg/L)		Fenol (mg/L)		Sülfür (mg/L)		Renk (Pt-Co)		Çinko (mg/L)		Çözünmüş O ₂ (mg/L)		
	Giriş	Çıkış		Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Hav.	Çıkış		Çıkış	Çıkış	Çıkış	Çıkış	Çıkış	Çıkış	Çıkış	Çıkış	Hav.	Çıkış					
Oca.10		125	<10			10,19	8,08	35	23	3092	41	<0,02			<0,05	<0,3	<0,008										
Şub.10	789	68	<2	29,2	2,85	10,22	8,03	36	25	2568	51	0,02			<0,05	<0,5	<0,1										
Mar.10	800	133	<2	2,39	1	10,12	7,99	36	26	2551	27	0,03			<0,05	<0,5	<0,1										
Nis.10	1150	134		25,8	1,91	10,14	8,04	37	29	2085	32	<0,01				<0,5		24									
May.10	757	89	<4	111	4,9	10,26	8,16	37	31	2488	22	<0,01			<0,05	<0,02	<0,1										
Haz.10		173	<5		4,5	10,14	8,21	37	33	2433	25	<0,01			<0,05	<0,02	<0,1		50								
Tem.10	966	104	<4	4,9	4,7	10,34	8,09	38	33	2668	8	<0,02			<0,05	<0,02	<0,1		70								
Ağu.10		49	<4		5	10,88	8,48	41	34	3890	1	<0,02			<0,05	0,08	<0,1										
Eyl.10	923	148,5		3,62	1	10,38	8,18	37	31	2681	2,5	<0,01				0,05											
Eki.10	572	114	<7	39,5	0,8	10,55	8,11	36	29	2409	24	0,11			<0,05	<0,1	<0,1										
Kas.10	495	191	<4	0,45	0,63	10,69	8,15	36,67	28,62	2785	20,5	0,02			<0,05	<0,02	<0,1										
Ara.10	745	137		2,39	1	10,53	8,14	35,56	26,81	1970	41,33	0,025			<0,05	<0,02	<0,1										
Oca.11	785	119	<4	15,3	4	10	8	34	26	2667	41	0,04	5,14	<0,05	<0,02	<0,1								1,76	1,93		
Şub.11	516	125	<4	1,2	3,9	10	8	35	26		17	0,1	4,7	<0,05	<0,02	<0,1								2,13	2,15		
Mar.11	729	115	<4	27,6	7	9,9	8	33	25		14	0,04	5,12	<0,05	<0,02	0,09								1,86	2,05		
Nis.11	532	141		15		10,06	7,97	34	26	2235	20	0,11	5,29		<0,02	<0,1								2,05	2,08		
May.11		88	<4		0,68	9,98	7,98	34	28		12	0,027	4,45	<0,05	<0,02	<0,1		925						1,85	1,95		
Haz.11	441	106	<4	6,7	1,15	9,99	8,03	35	29		8	0,03	5,91	<0,05	<0,02									1,73	1,74		
Tem.11		99	<4		0,17	10,02	8,08	36	30		7	0,015	5	<0,05	<0,02	<0,1								1,09	1,06		
Ağu.11	822	133	<10	91	4	10,03	8,01	36	31		14	0,2	5,21	<0,05	<0,02									0,6	0,59		
Eyl.11		134	<4		0,08	10,05	8,11	34	28		32	0,07	5,24	<0,05	<0,02	<0,1								2,35	2,17		

Tarih	KOİ (mg/L)		Yağ ve Gress (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)		pH		Sıcaklık (°C)		AKM (mg/L)		Toplam Cr (mg/L)	İletkenlik (mS/cm)	Serbest Cl (mg/L)	Fenol (mg/L)	Sülfür (mg/L)	Renk (Pt-Co)	Çinko (mg/L)	Çözünmüş O ₂ (mg/L)	
	Giriş	Çıkış		Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Hav.	Çıkış								Hav.	Çıkış
Eki.11		142	<4		1,37	9,63	7,86	31	24		52	0,05	4,86	<0,05	<0,02	<0,1		<0,05	2,84	2,46
Kas.11		121	<4		0,86	9,88	8,08	31	24	1844	39	0,02	4,82	<0,05	<0,02	<0,1	900	<0,05	3,01	2,6
Ara.11	1447	108	<4	18,9	3,1	9,87	8,11	31	25		57		4,8	<0,05	<0,02	<0,1		<0,05	2,83	2,27
Oca.12		208,5	<10		1,14	9,95	8,13	30	22		77	<0,5	4,68	<0,05	<0,1	<0,1		0,59	3,03	2,39
Şub.12		103	<10			10,01	8,11	30	22		20	<0,5	4,54		<0,1	<0,1		0,43	3,24	2,46
Mar.12	510	80	<10	6,3	3,1	9,96	8,08	31	24		16	0,36	4,49	0,02	<0,1	0,09		0,36	3,03	2,3
Nis.12		120				9,82	8,16	32	26		17	<0,5	4,65	<0,05	<0,1	<0,1		<0,25	3,09	2,37
May.12		175	<10		5	10	8,11	33	28		21	<0,5	5,37	<0,05	<0,1	<0,1		<0,25	2,93	2,24
Haz.12		112,5			1,15	10,01	8,03	35	30	2840	2,33	<0,01	6,32		<0,03			<0,05	2,35	1,84
Tem.12	732	155	G:23,5- Ç:6,85	14,8		9,54	7,93	39	32	1850	28	<0,03	6,94	<0,05	<0,03	<0,1		<0,05	3,03	2,34
Ağu.12		74	<10		4,2	9,53	7,91	38	31		10,5	<0,01	6,3	<0,05	<0,03			<0,05	2,98	2,39
Eyl.12		102	<4		0,15	9,7	7,93	36	29		16	<0,03	6,95	<0,05	<0,03	<0,1		<0,05	2,85	2,33
Eki.12		84	<4		0,7	9,87	7,96	36	28		15	0,05	5,84	<0,05	<0,03	<0,1		<0,05	2,79	2,31
Kas.12		107	<4		3,05	9,89	7,95	35	26		35,5	0,02	6	<0,05	<0,03	<0,1		<0,05	2,68	2,21
Ara.12		119	<4		2,4	9,7	7,95	33	23		16,5	0,03	6,09	<0,05	<0,03	<0,1		<0,05	2,74	2,29
Oca.13		121,5	<4		0,7	9,57	7,74	31,42	20,29		12	0,02	6,84	<0,05	<0,03	<0,1		0,07	2,9	2,44
Şub.13		187	<10		0,75	10,21	7,98	32,9	21,62		38	<0,5	6,83	<0,05	<0,03	<0,1		0,15	2,96	2,5
Mar.13		101,5	<4		0,9	9,95	7,91	33,65	22		14	0,02	7,31	<0,05	0,05	<0,1		<0,05	2,96	2,54
Nis.13		94,67			0,8	10,01	7,94	33,91	23,91		16	<0,01	7,12	<0,05	<0,03	<0,1		<0,05	3	2,61
May.13		145,5			3,6	9,99	7,99	36,55	28,45		22	<0,01	7,24		<0,03			<0,05	2,39	2,06
Haz.13		129				9,84	8,03	37,04	29,32		12	0,017	7,32		<0,03			<0,05	2,58	2,2
Tem.13		169	<10		0,71	9,5	8	36,81	29,59		16	<0,02	7,57	<0,05	0,15	<0,1		<0,05	2,27	1,97
Ağu.13		160	<10		0,7	9,83	8,03	37,63	30,16		38	<0,02	7,38	<0,05	<0,03	<0,1		0,2	2,69	2,24
Eyl.13		126	<10		0,9	9,96	7,98	38,3	29,59		12	<0,05	8,31	<0,05	<0,03	<0,1		0,17	2,53	2,14

Tarih	KOİ (mg/L)		Yağ ve Gress (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)		pH		Sıcaklık (°C)		AKM (mg/L)		Toplam Cr (mg/L)	İletkenlik (mS/cm)		Serbest Cl (mg/L)		Fenol (mg/L)	Sülfür (mg/L)		Renk (Pt-Co)	Çinko (mg/L)		Çözünmüş O ₂ (mg/L)	
	Giriş	Çıkış		Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Hav.	Çıkış		Çıkış	Çıkış	Çıkış	Çıkış		Çıkış	Çıkış		Hav.	Çıkış		
Eki.13	192				9,87	8,02	37,05	25,19		53	<0,01	8,28			<0,03					0,15	2,73	2,3		
Kas.13	152	<10		1,25	9,85	7,95	37,68	24,85		24	0,08	8,01	<0,05	<0,03	<0,1					0,11	2,89	2,58		
Ara.13	128	<10		3,53	9,86	7,91	35,63	21,69		70	<0,02	5,21	0,04	0,13	<0,1					0,4	2,81	2,46		
Oca.14	165				9,74	7,95	35,75	22,5		37	0,022	7,18			0,15					0,213	2,9	2,44		
Şub.14	143			30	9,6	7,88	36,29	24,46		20	0,053	6,23	<0,05	<0,1						0,09	2,61	2,27		
Mar.14	121	<10		4,6	9,8	7,9	36,95	25		18	0,05	6,07	<0,05	<0,1	<0,1					0,47	2,61	2,21		
Nis.14	145,9			15																				
May.14	135,25			0,1																				
Haz.14	152,15			2,58																				
Tem.14	90,7			0,31																				
Ağu.14	94,8																							
Eyl.14	157,9																							
Eki.14	1,41																							

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Gamze KIRIM

Doğum Yeri ve Tarihi: Şişli 14.04.1988

Adres: Çıksalın Mah. Elvandirek Sokak No:25 Halıcıoğlu/Beyoğlu İSTANBUL

E-Posta: gamzeekirim@gmail.com

Lisans: İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü-2011

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

- Ağustos 2011'den itibaren io Çevre Çözümleri Ar&Ge Ltd. Şti.'de proje mühendisi olarak çalışmaktadır.
- 2011 dönemi İTÜ Çevre Mühendisliği Bölüm 1.'liği

Yayın ve Patent Listesi:

- Cleaner Production and Water Minimization Approaches in Textile Industry, *International Conference on R&R, 4-6 Haziran 2012*

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR