

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KENTSEL ATIKSU ARITMA TESİSİ MİKROBİYAL YAPISI VE İŞLETME
PERFORMANSININ BEKLENEN TASARIM KABULLERİ İLE
KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Seferhan YILMAZ

Çevre Bilimleri Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2016

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KENTSEL ATIKSU ARITMA TESİSİ MİKROBİYAL YAPISI VE İŞLETME
PERFORMANSININ BEKLENEN TASARIM KABULLERİ İLE
KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Seferhan YILMAZ
501131755**

**Çevre Bilimleri Anabilim Dalı
Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı**

HAZİRAN 2016

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501131755 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Seferhan YILMAZ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “KENTSEL ATIKSU ARITMA TESİSİ MİKROBİYAL YAPISI VE İŞLETME PERFORMANSININ BEKLENEN TASARIM KABULLERİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Süleyman ÖVEZ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. H. Güçlü İNSEL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Bülent MERTOĞLU
Marmara Üniversitesi

Teslim Tarihi : 2 Mayıs 2016
Savunma Tarihi : 14 Haziran 2016

Rahmetli Babaanneme,

ÖNSÖZ

Bu çalışma sırasında bilgi, hoşgörü ve anlayışı ile daima yanımda olan, tavsiye ve yardımlarını benden esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Süleyman ÖVEZ'e tüm içtenliğimle teşekkür ederim. Çalışmamın her aşamasında yanımda olan, yardımlarını esirgemeyen, bu çalışmanın oluşmasında büyük paya sahip sayın hocam Doç. Dr. H. Güçlü İNSEL'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

İSKİ serüvenimin başlamasında büyük katkıları olan, her zaman için bana güvenip bilgi, tecrübe ve desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. İsmail KOYUNCU ve ASAT Genel Müdür Yardımcısı Osman YILDIZ'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam boyunca anlayış ve desteklerini esirgemeyen İSKİ Asya Bölgesi Atıksu Arıtma Şube Müdürü Ali İNCİ'ye ve İSKİ Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi İşletme Şefi Ayşe O. YAVUZ'a teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışma sürecinde beni yalnız bırakmayan, özverili çalışmalarını benden esirgemeyen, tüm anlayışları ile iş ortamında bana yardımcı olan başta Çev. Müh. Aydın İLHAN ve Çev. Müh. Zübeyde ÖZKAYA olmak üzere tüm Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkür ederim. Gösterdiği anlayış ve iyi niyetle her daim yardımlarını esirgemeyen Tesis Şefi Adem AYDIN'a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her alanında yanımda olan, her türlü sıkıntıda beni yalnız bırakmayan ve desteğini esirgemeyen, sabırla bana katlanıp dertlerimi dinleyen Araş. Gör. Burçin COŞKUN'a çok teşekkür ederim. Yıllardır tüm kahrımı çeken, her zaman yanımda olup moral ve motivasyonumu sağlayan; fakat stresli tez yazım sürecimde bana destek olmak bir kenara, kendi dertleri ile beni meşgul eden en yakın arkadaşım Buse BAYINDIR'a teşekkür etmeden geçemem. Hem iş arkadaşım hem yakın arkadaşım Özgür ŞEN'e esirgemediği yardım ve destekleri için çok teşekkürler.

Bugüne değin, maddi ve manevi desteklerini hiç esirgemeyen, elde ettiğim başarılarıdaki en büyük paya sahip, daima yanımda olacaklarına inandığım sevgili anneme, babama, ablalarıma ve enişteme sonsuz teşekkür ederim.

Mayıs 2016

Seferhan Yılmaz
(Çevre Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Anlam ve Önemi	1
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	2
2. LİTERATÜR	5
2.1 Aktif Çamur Sistemleri	5
2.1.1 Atıksu karakterizasyonu	5
2.1.2 Arıtma konfigürasyonları	6
2.1.2.1 A/O sistemi	6
2.1.2.2 A2/O sistemi	6
2.1.2.3 UCT (University of Cape Town) sistemi	7
2.1.2.4 Johannesburg sistemi	7
2.1.2.5 5 kademeli Bardenpho sistemi	8
2.1.3 Aktif çamur sistemlerinde model kavramı	9
2.1.3.1 Aktif çamur modeli	9
2.1.3.2 Kalibrasyon protokolleri	10
2.1.3.3 Giriş suyu karakterizasyonu	10
2.2 Aktif Çamur Karakteri	10
2.2.1 Aktif çamur mikrobiyolojisi	10
2.2.1.1 Mikrobiyal ekoloji	10
2.2.1.2 Mikrobiyal yapıya çamur yaşı etkisi	12
2.2.2 Aktif çamur çökelme problemleri	13
2.2.2.1 Kabarma	14
2.2.2.2 Köpürme	16
2.2.2.3 Yükselme	17
2.2.3 Aktif çamurun çökebilirliği	17
2.2.3.1 Katı akı teorisi	17
2.2.3.2 Vesilind modeli	18
2.2.3.3 Takács modeli	18
2.3 Aktif Çamur Prosesi Modelleri	19
2.3.1 ASM1	19
2.3.2 ASM2 ve ASM2d	20
2.3.3 ASM3	21
2.3.4 Biyolojik nütrient giderimi genel modeli (Barker ve Dold, 1997)	21

2.3.4.1 Genel modelde fosfor depolamayan heterotroflar ve ototroflar	21
2.3.4.2 Genel modelde fosfor depolayan heterotroflar	23
3. MATERYAL VE YÖNTEM	25
3.1 Arıtma Tesisi Bilgileri	25
3.1.1 Giriş yapısı, kaba ızgaralar ve terfi merkezleri	28
3.1.2 İnce ızgaralar ve havalandırmalı kum tutucular	28
3.1.3 Anaerobik tanklar	29
3.1.4 Anoksik ve oksik tanklar	30
3.1.5 Son çökeltim tankları	31
3.1.6 Kum filteri ve ultraviyole dezenfeksiyon ünitesi	32
3.1.7 Paşaköy İBAAT proses konfigürasyonları	32
3.2 Tasarım ve Simülasyon	33
3.2.1 ATV-DVWK-A 131 E tasarım metodu	33
3.2.2 BioWin simülasyonu	44
3.3 Deneysel Çalışmalar	45
3.3.1 Kimyasal analizler	45
3.3.1.1 İletkenlik, pH ve tuzluluk tayini	45
3.3.1.2 Alkalinite tayini	45
3.3.1.3 Uçucu yağ asidi (UYA) tayini	45
3.3.1.4 Toplam askıda katı madde (TAKM) tayini	45
3.3.1.5 Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) tayini	46
3.3.1.6 Toplam azot (TN) tayini	46
3.3.1.7 Toplam fosfor (TP) tayini	46
3.3.2 Mikrobiyolojik analizler	46
3.3.2.1 Metodoloji	53
3.3.2.2 Mikroskobik inceleme ve izleme	54
3.3.3 Çökelme hızı testi	56
4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	59
4.1 Simülasyon Sonuçları	59
4.1.1 Simülasyonda işletme koşulu – 1	60
4.1.2 Simülasyonda işletme koşulu – 2	60
4.2 ATV-DVWK-A 131 E Tasarım Metodu Sonuçları	62
4.3 Mikrobiyolojik İnceleme Sonuçları	63
4.3.1 Çamur hacim indeksi ve sistemin çökelme performansı	78
4.3.2 Mikroskobik incelemenin genel değerlendirmesi	79
4.4 Çökelme Hızı Testi Sonuçları	80
4.5 Değerlendirme	85
4.5.1 Proses sonuçlarının değerlendirilmesi	85
4.5.2 Çamur çökebilirliğinin değerlendirilmesi	87
KAYNAKLAR	91
EKLER	95
ÖZGEÇMİŞ	119

KISALTMALAR

A/O	: Anoksik/Oksik
A2/O	: Anaerobik-Anoksik/Oksik
AKM	: Askıda Katı Madde
ASM1	: Aktif Çamur Modeli No. 1 (Activated Sludge Model No. 1)
ASM2	: Aktif Çamur Modeli No. 2 (Activated Sludge Model No. 2)
ASM2d	: Aktif Çamur Modeli No. 2d (Activated Sludge Model No. 2d)
ASM3	: Aktif Çamur Modeli No. 3 (Activated Sludge Model No. 3)
BOİ	: Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
BOİ₅	: 5 günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
ÇHİ / SVI	: Çamur Hacim İndeksi (SludgeVolume Index)
F/M	: Besin/Biyokütle (Food/Mass)
IWA	: Uluslararası Su Birliği (International Water Association)
İBAAT	: İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi
İSKİ	: İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
mV	: Milivolt
PAO	: Fosfor depolayan organizma (Phosphorus accumulating organism)
PHA	: poli- β -hidroksialkanoat (PHA, poli- β -hydroxyalkanoate)
PHB	: poli- β -hidroksibütirat (PHB, poli- β -hydroxybutyrate)
RC	: Resirkülasyon oranı
SF	: Güvenlik faktörü (Safety factor)
TN	: Toplam Azot
TP	: Toplam Fosfor
UCT	: University of Cape Town
UV	: Ultraviyole
UYA	: Uçucu Yağ Asidi

SEMBOLLER

A_{ST}	: Son çöktürme havuzu alanı, m ²
C_{BOD, IAT}	: Arıtma tesisi girişinde BOİ konsantrasyonu, mg/L
C_{COD, IAT}	: Arıtma tesisi girişinde toplam KOİ konsantrasyonu, mg/L
C_{N, IAT}	: Giriş TKN konsantrasyonu, mg/L
C_{P, EST}	: Çıkış suyunda beklenen fosfor konsantrasyonu, mg/L
C_{P, IAT}	: Giriş fosfor konsantrasyonu, mg/L
DSV	: Seyreltilmiş çamur hacim indeksi, L/m ³
f_C	: Karbon için pik faktör
f_N	: Azot için pik faktör
F_T	: Sıcaklık düzeltme faktörü
G_S	: Yatay düzlemdeki katı akısı, kg.sa/m ²
h₁	: Temiz su bölgesi, m
h₂	: Ayırma bölgesi/ geri devir bölgesi, m
h₃	: Yoğun akış ve çamur depolama bölgesi, m
h₄	: Yoğunlaştırma ve çamur ayırma bölgesi, m
h_{tot}	: Toplam havuz derinliği, m
K	: Çökelme katsayısı, m ³ /kg
M_{SS, AT}	: Biyolojik reaktör içinde gerekli olan AKM kütlesi, kg
OU_{d, C}	: Karbon giderimi sonucu tüketilen oksijen miktarı, kgO ₂ /gün
OU_{d, D}	: Denitrifikasyon sonucu açığa çıkan oksijen miktarı, kgO ₂ /gün
OU_{d, N}	: Nitritifikasyon sonucu tüketilen oksijen miktarı, kgO ₂ /gün
OU_h	: Saatlik oksijen ihtiyacı, kgO ₂ /saat
q_A	: Yüzeysel yükleme hızı, m/sa
Q_d	: Ortalama kuru hava debisi, m ³ /gün
q_{SV}	: Çamur hacim yükleme hızı, m/sa
Q_{wwh}	: Saatlik yağışlı hava debisi, m ³ /sa
r_h	: Engellenmiş çökelme katsayısı, m ³ /kg
r_p	: Düşük konsantrasyonda yavaş çökelme katsayısı, m ³ /kg
SCOD, inert, EST	: Çıkış çözünmüş inert KOİ konsantrasyonu, mg/L
SNH_{4, EST}	: Çıkıştaki amonyak konsantrasyonu, mg/L
SNO_{3, D}	: Denitrifiye edilecek nitrat konsantrasyonu
SNO_{3, D}	: Günlük denitrifiye edilecek ortalama nitrat konsantrasyonu, mg/L
SNO_{3, IAT}	: Giriş nitrat konsantrasyonu
SNO_{3, EST}	: Çıkış nitrat konsantrasyonu, mg/L
S_{orgN, EST}	: Çıkıştaki organik azot konsantrasyonu, mg/L
SP_d	: Fosfor giderimi sonucu oluşan çamur miktarı, kg/gün
SP_{d, C}	: Karbon giderimi sonucu oluşan çamur miktarı, kg/gün
SP_{d, P}	: Fosfor giderimi sonucu oluşan çamur miktarı, kg/gün
SS_{EAT}	: Son çöktürme havuzu girişinde AKM konsantrasyonu, kg/m ³
T_{SS, aerob, dim}	: Çamur yaşı, gün
v	: Çökelme hızı, m/sa
V₀	: Başlangıç çökelme hızı, m/sa

$V_{AT} (V_T)$	: Toplam reaktör hacmi, m ³
V_D	: Anoksik bölme hacmi, m ³
V_S	: Çökelme hızı, m/sa
X	: Başlangıç katı madde konsantrasyonu, kg/m ³
$X_{COD, SP}$	: Karbon giderimi sonucu üretilen çamurun KOİ eşdeğeri, mg/L
X_{min}	: Minimum katı madde konsantrasyonu, kg/m ³
$X_{orgN, BM}$	: Hücre içine alınan azot konsantrasyonu, mg/L
$X_{P, BioP}$	: Biyolojik olarak giderilecek fosfor konsantrasyonu, mg/L
$X_{P, BM}$	: Heterotrofların çoğalmak amacıyla kullandıkları fosfor konsantrasyonu, mg/L
$X_{P, Prec}$	: Çöktürülmesi gereken fosfor konsantrasyonu, mg/L
$X_{SS, IAT}$	: Arıtma tesisi girişinde askıda katı madde konsantrasyonu, mg/L

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Evsel atıksu karakterizasyonu (Metcalf ve Eddy, 2003).	5
Çizelge 2.2 : Evsel atıksudaki bileşen oranları (Henze ve diğ, 2008).	6
Çizelge 2.3 : Literatürde yer alan Vesilind parametrelerinin ÇHİ kolerasyonları.....	19
Çizelge 3.1 : Paşaköy İBAAT giriş-çıkış tasarım parametreleri.	25
Çizelge 3.2 : Paşaköy İBAAT terfi merkezi ve kaba ızgaralar dizayn kriterleri.	29
Çizelge 3.3 : Paşaköy İBAAT ince ızgara ve kum tutucu dizayn kriterleri.	29
Çizelge 3.4 : Paşaköy İBAAT anaerobik tanklar dizayn kriterleri.....	30
Çizelge 3.5 : Paşaköy İBAAT oksik/anoksik tanklar dizayn kriterleri	31
Çizelge 3.6 : Paşaköy İBAAT son çökeltim tankları dizayn kriterleri.....	31
Çizelge 3.7 : Paşaköy İBAAT kum filtresi ve UV dezenfeksiyon dizayn kriterleri..	32
Çizelge 3.8 : Çamur yaşının arıtma amacı, ve sıcaklığına ve bunların yanında tesis büyüklüğüne bağlı olarak boyutlandırılması (ATV-DVWK-A 131 E, 2000).....	34
Çizelge 3.9 : Sıcaklık 10°C den 12°C ye kadar olan kuru hava için denitrifikasyonun boyutlandırılması için standart değerler ve ortak koşullar (ATV-DVWK-A 131 E, 2000).....	36
Çizelge 3.10 : Çamur hacim indeksi için standart değerler (ATV-DVWK-A 131 E, 2000).....	39
Çizelge 3.11 : Oksijen ihtiyaç oranı için pik faktörler (ATV-DVWK-A 131 E, 2000)	40
Çizelge 3.12 : Atıksu arıtma derecesine bağlı olarak tavsiye edilen yoğunlaştırma süresi (ATV-DVWK-A 131 E, 2000)	41
Çizelge 3.13 : Çamur hacim indeksi (mL/g) ölçüm sonuçları.	56
Çizelge 4.1 : Simülasyonda kullanılan giriş parametre konsantrasyon değerleri.....	59
Çizelge 4.2 : V_D/V_T oranı 0,35 iken çıkış suyu simülasyon sonuçları.	60
Çizelge 4.3 : V_D/V_T oranı 0,30 iken çıkış suyu simülasyon sonuçları.	60
Çizelge 4.4 : ATV-DVWK-A 131 E tasarımı proses hesap sonuçları.	62
Çizelge 4.5 : ATV-DVWK-A 131 E tasarımı son çökeltim tankları hesap sonuçları.	63
Çizelge 4.6 : Paşaköy İBAAT’de Tanımlanan Filamentli Mikroorganizmalar ve Çoklukları (Jenkins ve diğ. 2003 “Göreceli Filament Çokluk Sınıflandırma Sistemi”, 0-6 Aralığı)	74
Çizelge 4.7 : Çamur çökeltme hızı testi sonuçları.	82
Çizelge 4.8 : Vesilind ve Takacs modellerinde kullanılan parametre değerleri.	83
Çizelge 4.9 : Çökeltme katsayıları için referans değerlerin hesaplanması.	84
Çizelge C.1 : Proses hesaplarında kullanılan kinetik katsayılar.	105
Çizelge C.2 : Hava hesaplarında kullanılan parametreler.	109

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : A/O sistemi akım şeması.....	6
Şekil 2.2 : A2/O sistemi akım şeması.....	7
Şekil 2.3 : UCT sistemi akım şeması.....	8
Şekil 2.4 : Johannesburg sistemi akım şeması.....	8
Şekil 2.5 : 5 kademeli Bardenpho sistemi akım şeması.....	9
Şekil 3.1 : Paşaköy İBAAT akım şeması.....	27
Şekil 3.2 : Çamur çökeltme hızı ölçümü.....	57
Şekil 4.1 : İşletme koşulu – 1 için akım şeması.....	61
Şekil 4.2 : İşletme koşulu – 2 için akım şeması.....	61
Şekil 4.3 : Aralık 2015 havalandırma havuzu numunesi incelemeleri.....	64
Şekil 4.4 : Ocak 2016 havalandırma numunesi incelemeleri.....	67
Şekil 4.5 : Şubat 2016 havalandırma havuzu numunesi incelemeleri.....	71
Şekil 4.6 : Mart 2016 havalandırma havuzu numunesi incelemeleri.....	75
Şekil 4.7 : 18.02.2016 tarihli numune için farklı konsantrasyonlarda çamur battaniye seviyesi-zaman eğrileri.....	81
Şekil 4.8 : 22.04.2016 tarihli numune için farklı konsantrasyonlarda çamur battaniye seviyesi-zaman eğrileri.....	81
Şekil 4.9 : 28.04.2016 tarihli numune için farklı konsantrasyonlarda çamur battaniye seviyesi-zaman eğrileri.....	82
Şekil 4.10 : Hız-konsantrasyon trendleri.....	83
Şekil 4.11 : Ölçülen hızlara göre Vesilind ve Takács eğrilerinin oluşturulması.....	84
Şekil 4.12 : Proses tankları ORP değerleri (mV).....	86
Şekil 4.13 : CHİ - % oksik hacim ilişkisi (Lakay ve diğ, 1999).....	88
Şekil A.1 : Paşaköy İBAAT genel akım şeması.....	97
Şekil B.1 : Bio-P havuzları, A2/O – 5 kademeli Bardenpho prosesleri için çalışma düzeni.....	99
Şekil B.2 : Bio-P havuzları, Johannesburg prosesi (geri devir denitrifikasyonu) için çalışma düzeni.....	100
Şekil B.3 : Proses havuzları A2/O çalışma düzeni.....	101
Şekil B.4 : Proses havuzları 5 kademeli Bardenpho çalışma düzeni.....	102
Şekil B.5 : Proses havuzları Johannesburg prosesi için çalışma düzeni.....	103
Şekil B.6 : Proses havuzları kademeli besleme çalışma düzeni.....	104

KENTSEL ATIKSU ARITMA TESİSİ MİKROBİYAL YAPISI VE İŞLETME PERFORMANSININ BEKLENEN TASARIM KABULLERİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

Bu çalışmada, tesis tasarımında kabul edilen şartların ve beklenen performansın gerçek işletme ve farklı model ile karşılaştırılması yapılarak nutrient giderim sistemlerinde sağlanması gereken efektif azot giderim işletme koşulu ve bununla birlikte azot gideriminin gerektirdiği proses tanklarındaki oksik/anoksik hacmin optimum şekilde belirlenmesi amaçlanmaktadır. Tasarım kabullerinin işletme performansı üzerindeki etkisi ve tasarımlarda dikkat edilmesi gereken noktalar araştırılıp, yapılacak mikrobiyolojik karakterizasyon ile işletme şartlarının mevcut durumu ortaya konularak işletme için alınabilecek önlemler için fayda sağlaması hedeflenmektedir.

Birinci bölümde, yapılan çalışmanın önemi vurgulanarak amaç ve kapsamı açıklanmıştır. Yapılan tasarımlarda kullanılan tasarım kabullerinin gerçek işletme açısından önemi vurgulanarak kullanılacak model ve tesis gerçek işletme verilerinin tasarım kabulleri ile karşılaştırılacağı belirtilmiştir.

İkinci bölümde, aktif çamur sitemleri arıtma konfigürasyonları, aktif çamurun mikrobiyal karakterizasyonu ve neden olduğu problemler, çamur çökebilirliği, aktif çamur modelleri hakkında geniş bir literatür bilgisi verilmiştir.

Üçüncü bölümde, İSKİ Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi tanıtılmış, tesis tasarımında baz alınan tasarım metodu hakkında bilgi verilmiş, çalışmada kullanılan model tanıtılarak yapılan kimyasal ve mikrobiyolojik analizler açıklanmıştır. Yapılan analiz sonuçları ile tesisin işletme durumu ortaya konulmuş olup, bu değerler modelgirdisi olarak kullanılmıştır.

Dördüncü bölümde, modelde iki farklı işletme koşulu için simülasyon sonuçları, tasarım methodu hesaplama sonuçları, mikrobiyolojik inceleme sonuçları ve çamur çökebilirliği testi sonuçları verilmiş, bu sonuçlar ilişkilendirilerek değerlendirme yapılmıştır. Simülasyonda oluşturulan işletme koşullarında proses tanklarında farklı oksik/anoksik hacimler kullanılarak farklı V_D/V_T oranlarının özellikle azot giderim verimine etkisi araştırılmıştır. Yapılan kabuller ile hesaplanan tasarım metodu sonuçları gerçek işletme verileri ve model sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Mikrobiyolojik inceleme ile, sistemin mevcut mikrobiyal karakterizasyonu yapıp, baskın türler ortaya konmuştur. Aktif çamurun çökebilirliği incelenerek, çökeltme parametreleri belirlenmiştir. Farklı V_D/V_T oranlarının çamur çökebilirliği ve mikrobiyal analiz ile ilişkisi açıklanmış ve değerlendirmeler yapılmıştır.

COMPARISON OF MICROBIAL STRUCTURE AND OPERATING PERFORMANCE OF URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANT WITH DESIGN ASSUMPTIONS

SUMMARY

In this study, design assumptions and expected performance of treatment plant are compared with simulation model; moreover, detection of optimum effective removal operating condition and oxic/anoxic volume fraction of process tanks were aimed. Effects of design assumptions operating performance and point to consider on designing were investigated and current situation of operating activated sludge was presented with microbiological analysis to avail of plant operators by taking precautions with the results of microbiological investigations.

In the first section, the aim and the scope of the study were explained by emphasizing the importance of study. Importance of design assumptions in calculations was emphasized for plant operation; moreover, comparison of operating datas and design assumptions was stated.

In the second section, a detailed literature search on treatment configurations of activated sludge systems, microbial characterization of activated sludge and its operating problems, sludge settleability, and activated sludge modelling was made. Configurations for phosphorus removal were explained detailed and schematically. Microbial environment of activated sludge has various species and complicated. Assignments of species in the activated sludge was explained. Activated sludge has major problems based on microbiology. Problems were explained with their causes and control ways were suggested.

In the third section, Istanbul Water and Sewerage Administration (İSKİ) Paşaköy Advanced Biological Wastewater Treatment Plant was introduced. Design method is informed which was used the plant design. The model program that used in the study was introduced. Chemical analysis and microbiological examinations were explained. By the results of the analysis, operating conditions were established and these results were used in the model.

In the fourth section, two different operating conditions simulation results, calculations results of design method, microbiologic examinations results and sludge settleability tests results were given and association of the results were evaluated. Effect of different V_D/V_T ratio, provided by different oxic/anoxic volume fractions in the process tanks, were investigated on nitrogen removal efficiency. Biowin simulation program is used for modelling the plant. Plant operation datas were used as input parameters in the simulation program.

BioWin is an extensive simulation program that is used in design and analysis of biological wastewater treatment plants. This program was developed as assessment tool for process designers and management operators. BioWin is able to analyze the behaviour and analysis of configurations of the complex wastewater treatment plant with single or double data entry. In BioWin, the various modifications from general

models and other models (such as ASM1, ASM2 ve ASM3) developed for activated sludge systems removing biological nutrients have been used by Barker and Dold.

İSKİ Paşaköy Advanced Biological Wastewater Treatment Plant units were introduced to the Biowin. Wastewater firstly treated in primary treatment units and then anaerobic tanks are placed, after anaerobic tanks anoxic and oxic tanks are placed in İSKİ Paşaköy Advanced Biological Wastewater Treatment Plant. In the model, three anaerobic tanks were created, after anaerobic process first, third and last process were introduced for each except second tank. Second process tank was created as ten pieces. These pieces allowed to change the oxic volume fraction of process tanks.

Outputs of models are examined in two different solutions. In the first option, naming first operating condition, in the second process tank operated 60% oxic volume fraction. V_D/V_T ratio of process were 0,35 in the first operating conditions. Effluent nitrogen concentration is under discharge limitations, however, nitrate nitrogen concentration is nearly zero while ammonium nitrogen concentration is almost total nitrogen. Ammonium nitrogen removal can not be provided in the first operating condition. In the second operating condition, second process tank operated 80% oxic volume fraction which supply the 0,30 V_D/V_T ratio to the process. Effluent nitrogen concentration is under discharge limitations, moreover, nitrate nitrogen concentration is near total effluent nitrogen concentration while ammonium nitrogen concentration is nearly 0.30 mg/L. As a result of simulation model, low operating the process tanks in the low V_D/V_T ratio provides ammonium nitrogen removal efficiently. Increasing V_D/V_T ratio, hinders the ammonium nitrogen removal and can not produce nitrate nitrogen to the effluent.

V_D/V_T ratio has an important role on sludge settleability. Settling property of sludge can be determined in relation with percentage of oxic volume and sludge volume index in process. In 30% - 40% of oxic volume operations, it has been known that the sludge volume index is at maximum trend and settling property of sludge is poor. It can be said that settling property of sludge can be enhanced and better settleable sludge can be achieved with increase of oxic volume from 60% to 70% stated in other words decrease of V_D/V_T ratio from 0.35 to 0.30.

Gram and Neisser dye methods were applied to the samples of microscopically alive and original preparates taken from aeration basin and recycle unit and samples of preparates prepared as to be dried for examination of activated sludge of Paşaköy Advanced Biological Wastewater Treatment System. In between the dates of December 2015 and March 2016, microbiological, chemical and biochemical analysis of taken samples were examined, it was tried to be found out microbiological structure of the system and it was monitored by being viewed important activated sludge microorganisms. Long-term and continuous detection of microbiological structure contributes to increase of treatment plant performance and provides benefit in terms of development and controlled operation. It should not be forgotten that microbiological structure can change in short time in biological treatment systems according to wastewater characterization, operating conditions and physical environmental conditions. These monitoring studies are able to provide a very useful informations about future performance of the plant.

It was determined that activated sludge system has 9 species with filament (8 bacteria and 1 fungi) and the 2 species of them are dominant. Species of Type 0092 and *Microthrix parvicella* have been found widely and they are dominant in the system.

Besides, these types have been seen at approximately same number in bulk solution of each floc and free tens of filaments (>20 filaments). Type 0092 can be found numerical a bit more and it is distributed in the flocs.

The other filamentous bacteria types being less important and quadratic are Type 1701, Type 0675, Type 0765, *Nostocoida limicola* II ve *Beggiatoa* spp., *Bacillus* spp. The number of Type 1701 is 5-15 per floc; *Nostocoida limicola* II is 3-5 per floc; Type 0675, *Beggiatoa* spp. and *Bacillus* spp. are 1-3 per floc. Additionally, Type 0765 is not found every floc, it is 1-2 filament in some flocs and *Rhizopus* spp. (nonseptate fungi) is 1 filament. There is possibility of change of dominant types with condition changes for advantages of some types especially Type 1701 ve *Nostocoida limicola* II.

In application of settling velocity test, sludge sample was taken from exit of aeration tank of the plant. The samples diluted 2 times, 4 times and 5 times were used with the undiluted sample. These samples were mixed at first and precipitation of samples were observed after adding to cylinders. The sludge volume was measured at 0th, 5th, 10th, 15th, 20th, 25th minutes and the settling velocity was calculated from distance of sludge settlement against time. It was observed that the settling velocity in experiment doing in low concentrations is higher than in high concentrations. Velocity-concentration curves show exponential function and Vesilind and Takács models can be applied. The concentrations against to the velocity trends were adapted to Vesilind model and the exponential trend equations were obtained.

Changing V_D/V_T ratio gives well settling property to sludge; however, it has direct effect on filaments that can cause to bulking problem. It is determined that the 0.6 - 0.7 V_D/V_T ratio provides the maximum increase of Type 0092 ve *Microthrix parvicella* filaments being dominant types of the plant system. Besides, it has been predicted that if the V_D/V_T ratio is decreased from 0.35 to 0.30, increase of Type 0092 ve *Microthrix parvicella* filaments decrease and sludge bulking problem is prevented.

Results of design method calculations using assumptions were compared with plant operation data and model simulation results. Plant microbial characterization was investigated and dominant species identified by microbiologic examination. Settling parameters were determined by settleability tests of activated sludge. Association of V_D/V_T ratio with sludge settleability and microbial examination was explained and evaluated.

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Anlam ve Önemi

Su alanları en yaygın deşarj noktası olarak alıcı ortam şeklinde kullanılmaktadır. Yüksek nüfuslu bölgelerde alıcı ortam olan su alanlarının özümseme kapasitesi düşmekte ve özellikle nütrientlere bağlı olarak ötröfikasyon gibi olumsuz sonuçlar görülmektedir. Bu kötü sonuçların bir gereği olarak 1991 yılında Avrupa Komisyonu tarafından yayınlanmış olan Kentsel Atıksuların Arıtımı Direktifi (91/271/EEC) ile atıksulardan nütrient giderimi ve hassas alanlara arıtılmış suların deşarjı yasal boyut kazanmıştır. Nütrient giderim proseslerinde hem tecrübe hem de maliyet olarak avantajları bulunan aktif çamur sistemleri, yaygın olarak kullanılan konvensiyonel bir sistemdir. Ötröfikasyona sebep olan başlıca parametrelerden olan azot ve fosforun giderimi, klasik aktif çamur sistemlerinde çeşitli modifikasyonların uygulanması gerekliliğini doğurmuş olup ileri biyolojik nütrient giderim sistemlerini oluşturmuştur. Anlaşılması her daim zor olmuş olan biyolojik sistemler araştırma ve geliştirme alanında her zaman merak edilen sistemlerdir. Nütrient giderimini maksimum şekilde gerçekleştirebilecek aktif çamur sistemlerinin tasarımı ve işletilmesi daha yakından incelenmesi gereken bir noktadır.

Tasarım yapılırken kullanılan methodlarda bazı değerler kabul edilmekte ve buna göre tasarım sağlanmaktadır. Ancak kabul yapılan değerler geçmiş işletme tecrübelerine ve deneysel verilere dayalı olup, her tesis için beklenen performansı gösterememektedir. Atıksu karakterinin bölge, iklim, sıcaklık ve sosyoekonomik durumlara göre farklılık gösterdiği unutulmamalıdır. Bu sebeple, seçilen tasarım metodunun ve beklenen tasarım kabullerinin işletme performansı ile uygunluğu büyük önem oluşturmaktadır. Aktif çamurun mikrobiyal yapısı, biyolojik nütrient giderimindeki en önemli yapıyı oluşturmaktadır. Beklenen tasarım kabulleri ile işletme şartları arasındaki en küçük farklılık mikrobiyal yapıda çok büyük değişikliklerle sonuçlanmakta ve beklenen tasarım performansına ulaşılamamaktadır.

Bu çalışmada, İSKİ Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi tasarım kabulleri, gerçek işletme verileri ile yapılan model sonuçları ve işletme verileri karşılaştırılarak tasarımda beklenen performans değerlendirilecektir. Bu çalışma ile gelecekte yapılacak olan arıtma tesislerinin tasarımına, özellikle kabul edilen konfigürasyonun azot giderimi üzerinde etkisine yardımcı olunacaktır. Ayrıca mevcut işletmede, proses tanklarında oksik/anoksik hacmin belirlenerek giderim veriminin artırılmasında bu çalışma katkı sağlayacaktır. Çalışmada yapılacak mikrobiyolojik analizler mevcut işletme şartlarını gösterecek olup işletmede alınabilecek önlemler konusunda yardımcı olacaktır.

1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmada, tesis tasarımında kabul edilen şartların ve beklenen performansın gerçek işletme ve farklı model ile karşılaştırılması yapılarak nutrient giderim sistemlerinde sağlanması gereken efektif azot giderim işletme koşulu ve bununla birlikte azot gideriminin gerektirdiği proses tanklarındaki oksik/anoksik hacmin optimum şekilde belirlenmesi amaçlanmaktadır. Tasarım kabullerinin işletme performansı üzerindeki etkisi ve tasarımlarda dikkat edilmesi gereken noktalar araştırılıp, yapılacak mikrobiyolojik karakterizasyon ile işletme şartlarının mevcut durumu ortaya konularak işletme için alınabilecek önlemler için fayda sağlaması hedeflenmektedir.

Çalışma İSKİ Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi üzerinde yapılmış olup ilk olarak tesisin tasarımında kullanılan ATV-DVWK-A 131 E tasarım metodu incelenmiş ve arıtma performansı için gerekli kabuller ortaya çıkarılmıştır.

İkinci olarak, gerçek işletme koşulları incelenmiş olup işletme verileri derlenmiş, bu veriler Biowin modelinde kullanılarak proses tanklarında yapılan oksik/anoksik hacmin azot giderim performansı üzerine etkisi araştırılmıştır. Optimum işletme koşulu belirlenmiş ve işletme için önerilmiştir.

Üçüncü olarak, işletmedeki mevcut aktif çamurdan alınan numuneler üzerinde mikrobiyolojik incelemeler yapıp sistemin mevcut mikrobiyal karakterizasyonu ortaya konmuştur. Sistemdeki baskın türler belirlenmiş, bu türler hakkında bilgi ve türlerin kontrolü için önerilerde bulunulmuştur.

Son olarak, çamurun çökelme yapısı incelenmiş olup, optimum azot giderim işletme koşulu ve mikrobiyal türler ile ilişkilendirilmeye çalışılarak değerlendirme yapılmıştır.

2. LİTERATÜR

2.1 Aktif Çamur Sistemleri

2.1.1 Atıksu karakterizasyonu

Su tüketimi sonucu oluşan atıksuların karakteri yaşam kalitesi, yaşam tarzı, sosyo-ekonomik durum gibi etmenler neticesinde farklılık gösterebilmektedir. Atıksu bünyesinde mikroorganizmalar, organik maddeler, inorganik maddeler ve nütrientler bulunur (Henze ve diğ, 2008). Atıksu bünyesinde bulunan organik madde en önemli kirlilik olup BOİ ve KOİ olarak ölçülebilmektedir. Organik madde çeşitli fraksiyonlarda bulunabilir. Bu fraksiyonlar; çözünmüş inert, kolay biyobozunur, hızlı hidroliz olabilen, yavaş hidroliz olabilen ve askıda inert şeklindedir. Atıksu karakteri sıcaklığa, oksijene ve kanalizasyonda taşınma şekline göre değişiklik göstermektedir. (Henze, 1992). Bu değişiklik organik fraksiyonlarda olabileceği gibi, atıksuda bulunan tüm parametrelerde görülebilir. Evsel atıksuyun tipik karakterizasyonu Çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 : Evsel atıksu karakterizasyonu (Metcalf ve Eddy, 2003).

Parametre	Zayıf	Orta	Kuvvetli	Birim
AKM	120	210	400	mg/L
BOİ ₅	110	190	350	mg/L
KOİ	250	430	800	mg/L
TN	20	40	70	mg/L
TP	4	7	12	mg/L

Özellikle haftasonu debisi olarak kabul edilen Cuma ve Cumartesi günleri gelen atıksuda, haftanın diğer günleri gelen atıksu karakterine kıyasla ciddi değişiklikler görülür. Örneğin; haftasonu gelen atıksuda denitrifikasyon için büyük önem arz eden KOİ/TN oranı genel olarak düşüğe geçer ve denitrifikasyon prosesinde bozulmalar görülür (Henze ve diğ, 2002).

Atıksu bileşenlerinin oranları, seçilecek arıtma modifikasyonunu doğrudan etkiler. Atıksudaki karbonun azota oranı düşük olursa, denitrifikasyonun verimli olabilmesi için karbon kaynağı eklenmesi gerekmektedir. Düşük uçucu yağ asidi (UYA) ya da yüksek nitrat konsantrasyonu bulunan atıksular biyolojik fosfor giderimi için uygun

olmamaktadır. Atıksudaki yüksek KOİ/BOİ₅ oranı organik maddelerin biyolojik olarak çok zor giderilebileceğini göstermektedir. Evsel atıksulardaki bileşen oranları Çizelge 2.2’de verilmiştir (Henze ve diğ, 2008).

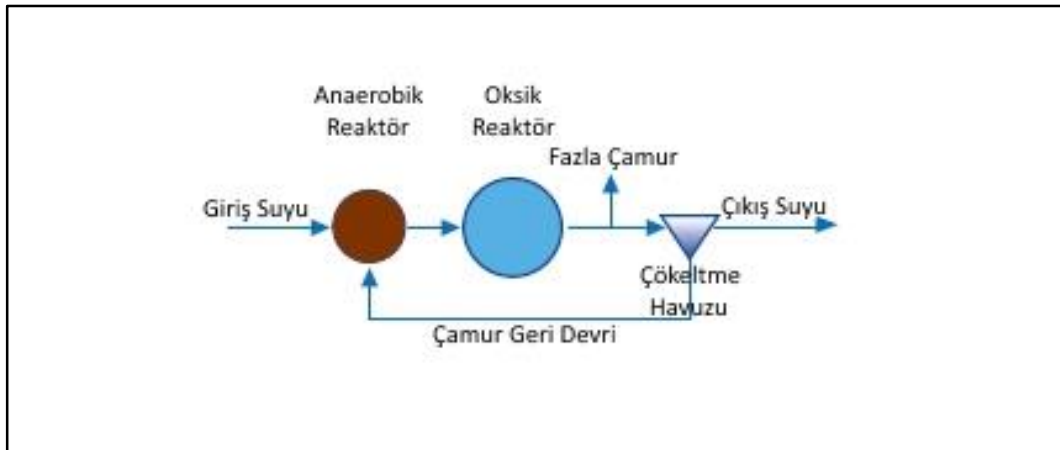
Çizelge 2.2 : Evsel atıksudaki bileşen oranları (Henze ve diğ, 2008).

Oran	Yüksek	Orta	Düşük
KOİ/BOİ ₅	2.5-3.5	2.0-2.5	1.5-2.0
UYA/KOİ	0.12-0.08	0.08-0.04	0.04-0.02
KOİ/TN	12-16	8-12	6-8
KOİ/TP	45-60	35-45	20-35
BOİ ₅ /TN	6-8	4-6	3-4
BOİ ₅ /TP	20-30	15-20	10-15
KOİ/UA KM	1.6-2.0	1.4-1.6	1.2-1.4
UA KM/A KM	0.8-0.9	0.6-0.8	0.4-0.6
KOİ/TOK	3-3.5	2.5-3	2-2.5

2.1.2 Arıtma konfigürasyonları

2.1.2.1 A/O sistemi

Biyolojik fosfor giderim mekanizması için en temel proses olan A/O prosesinde anaerobik tank ve hemen ardından oksik tank yer alır. Nitrifikasyonun gerçekleşmediği bu proste anaerobik bölgede hidrolik bekletme süresi 30 - 60 dk aralığında olup, oksik bölgede çamur yaşı 2 - 4 gün aralığındadır. Sisteme ait akım şeması Şekil 2.1’de gösterilmiştir.

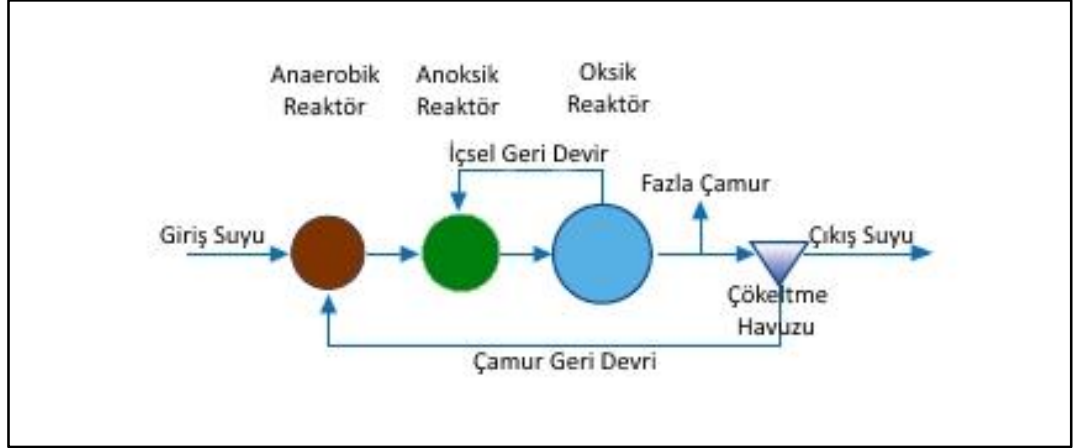


Şekil 2.1 : A/O sistemi akım şeması.

2.1.2.2 A2/O sistemi

A/O (anaerobik/oksik) prosesinin modifikasyonu olan A2/O prosesi, anaerobik, anoksik ve oksik tanklarla nütrient giderimi sağlayan bir prodestir. Anaerobik ve

oksik tanklara anoksik tank eklenmesi ile denitrifikasyon sağlanır. Oksik havuzlarda amonyum azotu nitrata çevrildikten sonra anoksik ortamda azot gazına dönüştürülerek azot giderimi sağlanır. Anoksik ortamda gerçekleştirilen denitrifikasyonun bir diğer faydası da, kimyasal bağlı oksijen bulunduran nitratin geri devir çamuru ile anaerobik tanklara gelmesi ve bu ortamı anoksiğe dönüştürmesini engellemesidir. Sisteme ait akım şeması Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 : A2/O sistemi akım şeması.

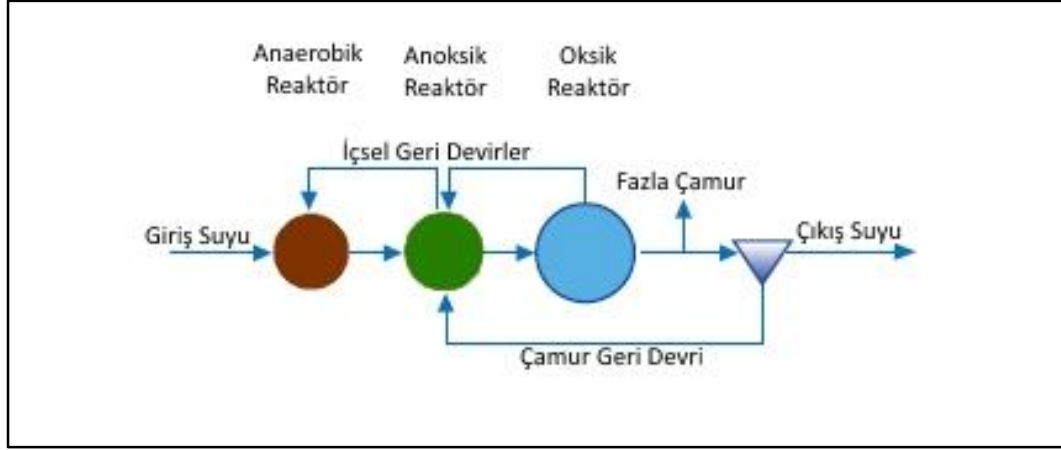
2.1.2.3 UCT (University of Cape Town) sistemi

Zayıf karakterdeki atıksularda biyolojik fosfor giderimi için anaerobik bölgeye nitrat girişini engellemek için geliştirilmiş bir prosestir. A2/O ya çok benzer olan bu prosesin farkı geri devir çamurunun anaerobik tank yerine anoksik tanka verilmesi ile geri devir çamurunda bulunan nitratin burada denitrifiye ettirilmesidir. Geri devir çamuru anoksik tanka gelip buradaki çamur ile birleştikten sonra buradaki çamur anaerobik tanka geri devrettirilir. Şekil 2.3’de UCT sistemi akım şeması gösterilmiştir.

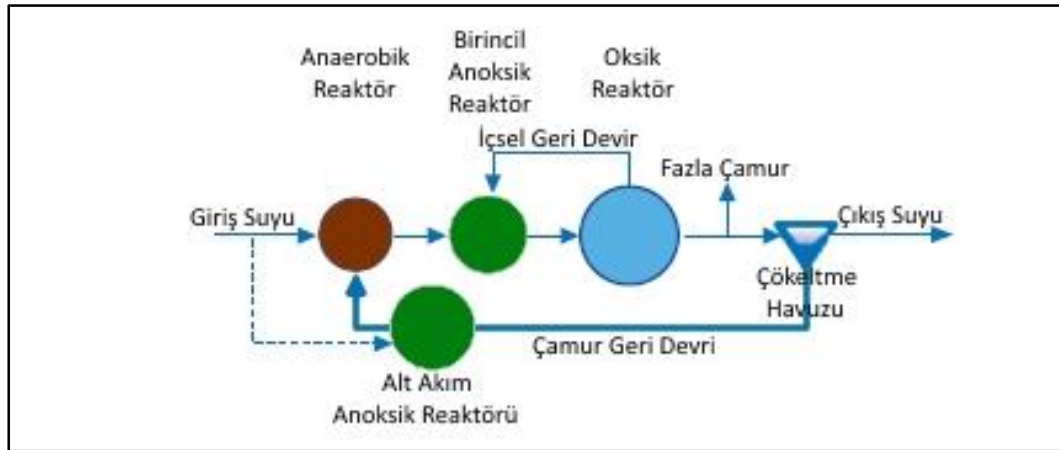
2.1.2.4 Johannesburg sistemi

Anaerobik tanklara nitrat karışmasını minimize ederek biyolojik fosfor giderim verimini artırmayı amaçlayan bu proseste geri devir çamuru anaerobik tanka gelmeden önce anoksik tanka alınarak yapısında bulunan nitrat denitrifiye ettirilir. Fiziksel arıtmadan geçen ham su anaerobik tanka alınır, anoksik tankta denitrifikasyonunu tamamlayan geri devir çamuru anaerobik tanka geçer ve ham su ile birleşir. Böylece hamsu ile geri devir çamurunun birleştiği anaerobik tankta

anaerobik ortam koşullarını bozup biyolojik fosfor giderim verimini düşürebilecek nitrat minimize edilmiş olur. Sisteme ait akım şeması Şekil 2.4’de verilmiştir



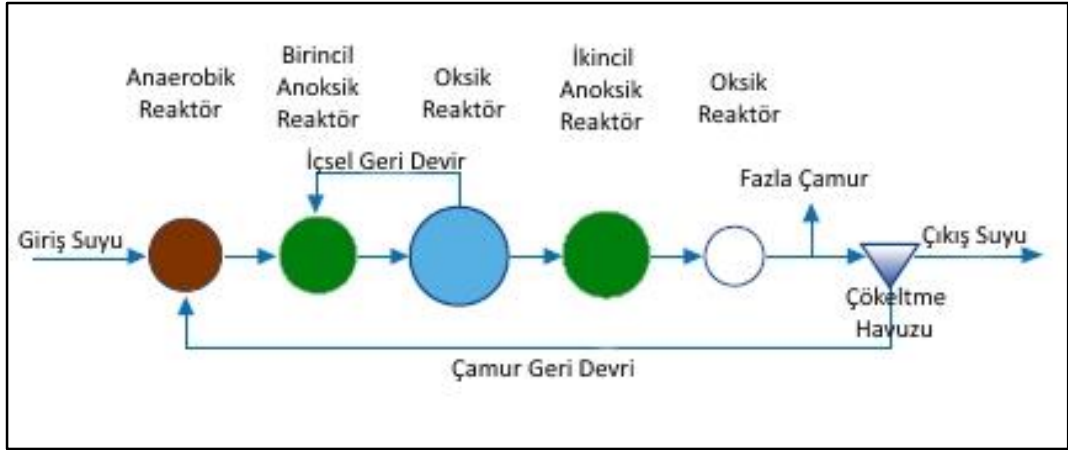
Şekil 2.3 : UCT sistemi akım şeması.



Şekil 2.4 : Johannesburg sistemi akım şeması.

2.1.2.5 5 kademeli Bardenpho sistemi

Azot ve fosfor gideriminin birlikte yapıldığı bir proses olan 5-kademeli Bardenpho prosesi sırası ile anaerobik-anoksik-oksik-anoksik-oksik tanklardan oluşur. Fosfor, azot ve karbon giderimi için anaerobik-anoksik-oksik tanklar kullanılır. İkinci anoksik tank, oksik bölgeden gelen nitrata denitrifiye edip azot gazına çevirmek amacıyla, ikinci oksik tank ise aktif çamurda kalan ya da kalmış olabilecek azot gazını sıyırma amacıyla proseste yer almaktadır. Sistemde geri devir çamuru hamsu ile karıştırarak anaerobik tanka verilmektedir. İkinci oksik tanktan ilk anoksik tanka içsel geri devir yapılmaktadır. Proseste çamur yaşı 10 - 20 gün aralığında olmalıdır. Sisteme ait akım şeması Şekil 2.5’de gösterilmiştir.



Şekil 2.5 : 5 kademeli Bardenpho sistemi akım şeması.

2.1.3 Aktif çamur sistemlerinde model kavramı

2.1.3.1 Aktif çamur modeli

Atıksu arıtımında biyolojik nütrient giderimi yasal prosedürlerin de etkisi ile hızla yaygınlaşmıştır. Bu yaygın uygulama, atıksu arıtımındaki karbon, azot ve fosfor gideriminde yer alan biyokimyasal proseslerin daha yakından gözlenmesine olanak sağlamıştır. Bu sayede, aktif çamur sistemleri için matematik modelleri ayrıntılı bir biçimde tanımlanabilmiştir. Uluslararası Su Birliği (IWA) tarafından hazırlanmış olan Aktif Çamur Modeli No. 1 (ASM1) bu alandaki temel formülüzasyona sahiptir (Henze ve diğ., 1986). Baker ve Dold (1997) aktif çamur sistemlerinde biyolojik nütrient giderimi için genel bir model formülüne etmişlerdir. Bu modelde ASM1 baz alınarak karbonlu bileşikler, nitrifikasyon ve denitrifikasyon için hazırlanmış olup Wentzel ve diğerleri tarafından biyolojik fosfor giderimi üzerine detaylandırılmıştır.

Aktif çamur modelleri çıkış suyundaki karbon, azot ve fosforu tahmin edilebilecek şekilde detaylı olarak kullanılabilir. Bu modeller atıksu arıtma tesisleri çıkış kalite optimizasyonu ve kontrol yöntemi geliştirilmesi açısından oldukça yararlı olmaktadır. Fakat, bir aktif çamur modelinin belirli bir atıksu arıtma tesisine uygulanması modellerin karmaşıklığı ve kalibrasyon ve geçerlilik gerektiren çok fazla data olması nedeniyle zorlaşmaktadır.

Kalibrasyon, model parametre değerlerinin değiştirilmesi ve akabinde model sonuçlarının saha ölçümleri ile kıyaslanması ile gerçekleştirilmektedir. Geçerlilik prosesi model simülasyon sonuçlarının kalibrasyon prosesinde kullanılmayan,

bağımsız bir veri grubu ile kıyaslanması ile uygulanmaktadır. (Liwarska-Bizukojc ve diğ, 2013)

2.1.3.2 Kalibrasyon protokolleri

Aktif çamur sistemlerinin matematiksel modellenme gereksinimi, aktif çamur model kalibrasyonları için bir takım sistematik protokollerin gelişmesini sağlamış olup bu protokoller çeşitli atıksu karakter protokollerini içermektedir. Bir çok araştırma grupları tarafından 4 ana protokol geliştirilmiştir. En basit ve uygulamalı düzeyden başlayan protokoller, akademik ve araştırma ilgileri sayesinde daha komplike seviyelere yükseltilmiştir. Bu protokoller aşağıda listelendiği gibidir (Henze ve diğ, 2008).

- STOWA protokolü (Hulsbeek ve diğ, 2002)
- BIOMATH protokolü (Vanrolleghem ve diğ, 2003)
- Model kalibrasyonu için WERF protokolü (Melcer ve diğ, 2003)
- Hochschulgruppe (HSG) kılavuzu (Langergraber ve diğ, 2004)

2.1.3.3 Giriş suyu karakterizasyonu

Aktif çamur modellenmesinde giriş suyunun karakterizasyonu büyük önem arz etmektedir. Karakterizasyon genellikle STOWA protokolüne göre karar verilmekte olup, yavaş bozunur KOİ için metodlar ve inert KOİ için BOİ ölçümleri baz alınmaktadır (Hulsbeek ve diğ, 2002).

2.2 Aktif Çamur Karakteri

2.2.1 Aktif çamur mikrobiyolojisi

2.2.1.1 Mikrobiyal ekoloji

Aktif çamur bünyesinde çok geniş çeşitlilikte mikroorganizma içerir. Prokaryot ve ökaryotlar olduğu gibi bakteriyofajlar da aktif çamurda yer alır. Prokaryotlara örnek olarak bakteriler, ökaryotlara örnek olarak protozoa ve rotiferler, bakteriyofajlara örnek olarak bakteriyel virüsler verilebilir. Fungiler seyrek de olsa aktif çamur mikroorganizmaları içerisinde yer almaktadır. Tüm bu mikroorganizmalar organik polimerler ve elektrostatik kuvvetlerle flock yapısında bir arada tutulmaktadır

(Rittman ve McCarty, 2001). Organik atıklar başlıca heterotrof bakteriler tarafından tüketilmekte olup protozoalar da önemli organik atık tüketicilerindendir. Bazı bakteri türleri çok çeşitli organik maddeyi tüketirken bazıları daha özelleşmiştir ve daha az organik türleri tüketebilmektedir.

Atıksu bünyesinde mikroorganizmalar için çeşitli enerji kaynakları bulunmaktadır ve bu kaynaklar mikroorganizmalar arasında yarışa sebep olur. Bazı türlerin (diğer türler tarafından yenmesiyle ya da başka sebeplerle) ölmesiyle ve çamur yaşı ya da sıcaklık gibi koşulların değişmesiyle aktif çamurun tür çeşitliliği zamanla değişebilmektedir. Aktif çamurda görülen tür değişikliği, flokların biraraya gelmesi, çökelme hızı, yumaklaşma özelliği ve yoğun çamur formu gibi floklaşma karakterinde değişikliğe neden olur.

Aktif çamurdaki bakteri türlerinin çoğunluğu gram negatif özelliktedir. Tanımlanmış başlıca türler *Pseudomonas*, *Arthrobacter*, *Comamonas*, *Lophomonas*, *Zoogloea*, *Sphaerotilus*, *Azotobacter*, *Chromobacterium*, *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Bacillus* ve *Nocardia* 'dır. Önceleri *Zoogloea* aktif çamur floklarını bir arada tutan baskın tür olarak kabul edildiyse de, bir çok bakteri türünün flokları birarada tutmak için polimer ürettiği bilinmektedir. Benzer şekilde, *Sphaerotilus* ve *Nocardia* türleri zayıf çökelmeye sebep olan türler olarak görülmüş, fakat sonradan çeşitli bakteri türlerinin çökme problemine sebep olduğu ortaya çıkmıştır.

Protozoalar organik atıkları birincil tüketicisi değilse de aktif çamur performansı için iyi bir gösterge olarak kabul edilmiştir. İyi olarak sınıflandırılan çamurda flok yapılarına tutunarak biraraya gelen kirpikli protozoalar baskın olarak bulunmaktadır. Protozoaların toksik kimyasallara karşı aşırı hassas olup, proseste toksik madde araştırmasında veya diğer problemlerde protozoa popülasyonu yararlı bir gösterge olmaktadır.

Enerji kaynağı için mikroorganizmaların yarış içinde olması nedeniyle arıtma prosesindeki en ufak bir değişiklik mikrobiyal popülasyonda ve flok yapısında çok büyük değişiklikler gösterebilir. Örneğin; tam karışımli sistemlerde sürekli olarak düşük substrat konsantrasyonları bulunurken piston akımlı sistemlerde subsrata karşı mikroorganizmaların aşırı doygunluk ve açlık döngüsü bulunmaktadır. Sistemlerdeki bu önemli besleme rejimleri, aynı substrat beslemesi ve aynı çamur yaşında tamamen farklı mikroorganizmaların büyümesine sebep olur. Çözünmüş oksijen

konsantrasyonu, nütrient bulunma durumu, sıcaklık, pH ve inhibitör maddelerin varlığı mikrobiyal ekolojiyi etkileyen diğer faktörlerdir.

Azot giderimi sağlayan aktif çamur sistemlerinde nitrifikasyonu ve denitrifikasyonu sağlayan iki ana populasyon bulunmaktadır. Nitrifikasyon bakterileri ototrof, kemolithotrof ve aerobik olarak sınıflandırılmaktadırlar. Nitrifikasyon bakterileri seçilirken ve sisteme yerleştirilirken her faktör göz önünde bulundurulmalıdır. Ototrof olmaları nedeniyle, nitrifikasyon bakterileri inorganik karbonu hedef almalı ve onu indirgemelidir. Amonyum azotunu nitrite yükseltgeyen nitrifikasyon bakteri türleri; *Nitrosomanas*, *Nitrosococcus*, *Nitrosopira*, *Nitrosovibrio* ve *Nitrosolobus*'tur. *Nitrosomanas* bu adımda g r len en yaygın tür d r. *Nitrobacter*, *Nitrospira*, *Nitrospina*, *Nitrococcus* ve *Nitrocystis* türleri nitriti nitrata okside eden türlerdir.

Fosfor giderimi sağlanabilmesi için aktif çamur sisteminde fosforu granül oluşturarak polifosfat formunda depolayabilen mikroorganizmaların bulunması gerekmektedir. Fosfor biriktiren organizma (PAO) olarak adlandırılan bu türler polifosfat depolayarak ileri biyolojik fosfor giderimini gerçekleştirmektedirler. Geçmişte geçerlilik gören fakat günümüzde yanlış olarak kabul edilen, fosfor gideren bakteri türleri *Acinetobacter*, *Microlunatus phosphovorus*, *Lampropedia* ve *Tetrasphaera* idi. Yakın geçmişte bağımsız kültür metotlarıyla *Rhodocyclus* cinsine ait tür olan *Accumulibacter phosphatis* türünün fosfor biriktiren organizma olduğu saptanmıştır.

2.2.1.2 Mikrobiyal yapıya çamur yaşı etkisi

Çamur yaşı, atıksu arıtım veriminin kontrolü ve çamur karakterinin kontrolü amacıyla aktif çamur sistemlerinde kullanılan parametredir. Kinetik teoriye göre; yüksek çamur yaşı, substrat giderim verimini artırmaktadır. Fakat  amur yaşının daha fazla önem arz ettiği sonuçları vardır. Çözünmüş mikrobiyal ürünlerin oluşumu ve t k edilmesi çıkış suyuunda BO   ve KOÇ olarak  l  leebilmekte, ve çıkış suyu kalitesini önemli derecede etkilemektedir. Çamur yaşı, çözünmüş mikrobiyal ürün konsantrasyonunu lineer olmayan bir şekilde etkilemektedir. Ayrıca,  amur yaşındaki değişim çamurun çökelme karakterinde değişime neden olabilmektedir. Çamur yaşındaki artış askıda katı maddenin tutunma özelliğini zayıflatır ve bunların çıkış suyuunda bulunması ile BO   giderim verimi düşer. Tecrübelere dayalı olarak, BO   giderim verimi ve maliyet dengesi sağlanmak istendiğinde çamur yaşının 4 ila 10 gün aralığında sınırlandırılması önerilmektedir. Fakat bu değer her tesisin kendi

işletmesine dayalı olarak optimum şekilde belirlenmelidir. Çamur yaşının yükseltilmesi, düşük çamur yaşlarında sistemden yıkanan yavaş büyüyen mikroorganizmaların tekrar sistemde birikmesine olanak sağlar.

ıkış suyunun bulanık olma sebebi, zayıf floklaşan bakteri varlığından olduğu kadar küçük çaplarından dolayı iyi çökelmeyen protozoa popülasyonundan da kaynaklanır. Protozoa populasyonu, serbest yzş yapan silli türleri yem olarak kullanmak için hızlı hareket edebilirler ve aktif çamurda en sağlıklı yaşayabilen populasyondur. Aktif amur sistemi işletmesi kompakt ve iyi çökelebilen floklu ve çamur yaşı 4 ila 10 gün aralığında stabil kaldığı zaman, kamçılı ve silli protozoa türlerinin diğer türleri yem olarak kullanarak sistemde önemli rol oynarlar. Bu türler serbest bakterileri silleri ile tutup yem olarak kullanarak çıkış suyu kalitesini artırmaktadır. Protozoalar floklara tutunarak ve onlarla bir çökelerek, geri devir çamuru ile havalandırma tanklarına geri döner. Sistemde bol miktarda kamçılı protozoa bulunması, sistemin iyi işletildiğini göstermektedir. (Rittman ve McCarty, 2001).

10 günden daha yüksek çamur yaşlarında yavaş büyüyen avcı türler sistemde yer almaktadır. Rotifer ve nematod gibi yavaş büyüyen türler, çok hücreli yapıda olup flokları oluşturan türlerle beslenir ve flok tanelerini parçalayabilmektedir. Avcı türlerin flok yapısını oluşturan bakteri türlerini yemesi sonucu çürümüş bakteri kalıntıları oluşmaktadır. Bu kalıntılar küçük floklaşmayı engelleyici taneciklerdir. Bu sebeple, yüksek çamur yaşında işletilen (>10 gün) aktif çamur sistemlerinde çıkış suyu kalitesi AKM ve BOI₅ bazında 4 ila 10 gün çamur yaşı aralığında işletilen sistemlere kıyasla daha kötüdür. Yavaş büyüyen tür olan nitrifikasyon bakterileri de aktif çamur sistemlerinde yüksek çamur yaşlarında yaşayabilen türlerdir. Eğer nitrifikasyon yapılmayacak ise, nitrifikasyon bakterilerinin sistemde bulunması istenmeyen bir durumdur.

2.2.2 Aktif amur çökelme problemleri

Aktif amur proseslerinin verimli bir şekilde uygulanabilmesi, son keltim tanklarında çamur floklarının iyi derecede yoğunlaşması ve kelebilmesi ile mümkündür. ıkış suyunda askıda katı madde konsantrasyonunun az olabilmesi için çamurun iyi kelebilmesi gerekmektedir. ıkış suyundaki yüksek askıda katı madde çıkış suyu kalitesinin bozmanın yanı sıra stabil çamur yaşı kontrolünü de zorlaştırmaktadır. Çamurun havalandırma tanklarına istenilen verimde geri

döndürülebilmesi, çamurun iyi yoğunlaşabilmesi ile mümkündür. İyi derecede yoğunlaşabilen çamur, çıkış suyu kalitesini artırmakla birlikte atık çamur susuzlaştırma maliyetini de düşürmektedir.

Aktif çamur işletmelerinde ana problem, zayıf çökelebilen çamurun gelişimidir. Çamur zayıf çökelebilmeye özelliği gösterdiğinde çıkış suyunda askıda katı madde ve BOİ₅ sınır değerleri aşılar ve istenilen çamur yaşı elde edilemez. Birçok çamur çökelebilmeye problemi görülebilmektedir ve nedenleri çok çeşitlilik gösterir.

2.2.2.1 Kabarma

Çamur kabarması en yaygın ve en zor çamur problemidir. Kabarma, terim olarak flokların zayıf yoğunlaşması ve yavaş çökmesini tanımlamaktadır. Aktif çamurun son çökeltim tanklarından havalandırma tanklarına geri devrettirilmesi kabarma nedeniyle zorlaşmaktadır. Kabarma gerçekleşince, çökelebilen çamur konsantrasyonu çok düşük olduğu için oldukça yüksek geri devir oranı gerekmektedir. Eğer çamur yeterince hızlı geri devrettirilemezse çamur battaniyesi çökeltim tankı dolana kadar yükselir. Sonuç olarak, aktif çamurdaki katı maddeler savaklardan kaçarak çıkış suyu ile birlikte deşarj olur. Bu durumda biyokütlede kayıp, çamur yaşında azalma ve çıkış suyu AKM ve BOİ₅ kalitelerinde bozulma görülür. Yoğun ve iyi çökelebilen aktif çamur, mikroyapıdaki flokların filamentli bakteriler ile yoğun makroyapı oluşturması ile mümkündür. Yeterli oranda filamentli tür bulunmazsa, floklar zayıf ve parçalanabilir karakterde olmaktadır.

Filamentli türlerin çamura iyi çökelebilir özellik kazandırmasının yanı sıra, çok fazla filamentli bakterinin aktif çamurda bulunması da çamur kabarmasına sebep olmaktadır. Yoğun floğun üzerine filamentli birikmesi ve burada uzaması ciddi kabarma probleminin başlangıcıdır. Uzayan filamentler floklar arası köprü oluştururlar. Bu köprü oluşumunun iki önemli ve negatif etkisi bulunmaktadır. Birincisi, köprüler flokların bir araya gelerek birleşmesini ve yoğunlaşmasını engeller. İkinci olarak ise, köprüler floklar arasında suyu hapseder. Flok yapısı aşağıya doğru çökmeye ve çökeltim tankında yoğunlaşmaya çalışırken köprüler arasına hapsolmuş su floğu yukarıya doğru harekete zorlar. Köprüleşme, suyun floktan kopmasını ve ayrılmasını engeller. Uzayarak köprüleşen filamentlerin bu iki etkisi çamurun yavaş çökmesine ve zayıf yoğunlaşmasına neden olarak kabarmayı gerçekleştirir.

Çamur kabarması 3 şekilde gözlemlenebilir. Birincisi, mikroskopik incelemedir. Düzenli mikroskopik incelemelerle köprüleşen ve uzayan filamentlilerdeki artış gözlemlenmektedir. Uzayan filamentlilerdeki düzenli artış trendi, çamur kabarmasının gerçekleşeceğini göstermektedir. İkinci olarak, çamur hacim indeksi (ÇHI) kabarma ile yakından ilişkilidir. 200 mg/L üzerindeki ÇHI genellikle ciddi çamur kabarması olduğunu göstermektedir. Üçüncü gözlem ise çamur battaniyesinin yükselmesine karşılık geri devir çamur konsantrasyonunun seyrelmesidir.

Çamur kabarması nedenleri için 3 faktör tanımlanmıştır; düşük çözünmüş oksijen, yüksek çamur yaşı ve indirgenmiş sülfür girişi. Kabarma problemine çözüm aranmadan önce nedeni tanımlanmalıdır.

Düşük çözünmüş oksijen kaynaklı çamur kabarması *Sphaerotilus natans*, Type 021N, ve Type 1701 filamentli bakterileri nedeniyle meydana gelmektedir. Bu gruptaki bakterilerin düşük oksijene olan eğilimi oksijen yarı doygunluk hızının düşük olması nedeniyledir.

Oksijen konsantrasyonunun flok yapısına nüfus edemeyecek kadar düşük olduğu durumlarda bu türler baskın gelmeye başlamaktadır. Düşük oksijen konsantrasyonu sonucu, bu ortamda gelişen türler baskın gelme avantajı kazanırlar ve floklar arası köprüleşmeye neden olurlar. Düşük çözünmüş oksijen kabarması problemi çözümü için spesifik BOİ tüketim hızı belirlenerek havalandırma tanklarına verilecek hava miktarı artırılmalı ya da giriş BOİ yüklemesi azaltılmalıdır.

Çamur yaşının yüksek olmasına bağlı olarak ortaya çıkan düşük F/M (besi/biyokütle) kabarması yaygın olarak uzun havalandırmalı aktif çamur sistemlerinde görülmektedir. *Microthrix parvicella*, Type 0041, Type 0092, Type 0581 ve *Haliscomenbacter hydrosis* düşük F/M kabarmasına sebep olan filamentli türleridir. Bu türlerin organik maddeye ilgisi yüksek olup içsel çürüme hızları düşüktür. Organik madde ve spesifik büyüme hızı düşüklüğünde bu türler avantajlı hale gelmektedir. Bu avantajlı durum uzun havalandırmalı sistemlerde görülmektedir. Uzun havalandırmalı sistemlerde, özellikle nitrifikasyon yapıyorsa, düşük F/M kabarmasını önlemek için çamur yaşını düşürmek mümkün olamamaktadır. Bu durumda düşük F/M kabarması kontrolü için sistemin başına ön selektör tasarlamak önleyici olabilmektedir. Bu işletme modelinde, giriş suyu ve geri devir çamuru ön selektör tanka verilir. Havalı ya da havasız çalıştırılabilir, fakat tam karışım

sağlanmalıdır. Bu tankın tasarım kriterleri; giriş suyundan gelen organik kirliliğin oksidasyonunu minimum seviyede tutacak kadar küçük hacimde olması ve organik uçucu asitler gibi çözülmüş maddelerin hızlıca flok oluşturan bakterilerin bünyesine alınıp poli- β -hidroksibütirat (PHB, poli- β -hydroxybutyrate) gibi içsel polimerler olarak depolanmasına imkan sağlamasına yetecek kadar geniş hacimde olmasıdır. Flok oluşturan bakteriler BOİ nin önemli kısmını hızlıca bünyesine alıp depolamaktadır. Bu bakteriler havalandırma tankına geldiğinde bünyesinde depoladıkları polimerleri oksidize ederken, kendisine depo oluşturmamayan filamentli organizmalar enerji kaynağı bulamadıkları için aç kalarak sistemden atılırlar. Buradaki seleksiyonun anahtar noktası, flok oluşturan bakterilerin kendilerine enerji kaynağı depolayabilmesi ve buna karşılık filamentli türlerin enerji kaynağı depolayamamasıdır.

İndirgenmiş-sülfür kabarması, indirgenmiş sülfür formlarının aktif çamur sistemine giriş yapması ile meydana gelir. *Thiothrix* ve 021N türleri sülfür yükseltgeyici türler olup filament oluşturuş türlerdir ve indirgenmiş sülfür varlığında kemolithotrophik elektron vericilerinden avantaj kazanmış olurlar. İndirgenmiş-sülfür kabarmasını engellemenin tek yolu, atıksuya indirgenmiş sülfür girişini engellemek ya da hamsu aktif çamur sistemine girmeden kimyasal olarak sülfürü okside etmektir.

2.2.2.2 Köpürme

Aktif çamur sistemlerinde görülen genel problemlerden biri de havalandırma tanklarında köpük oluşumudur. Köpük oluşumu, tesis işletmesinde çıkış suyuna etkisi, çamur depolama alanlarında taşma ve havalandırma tanklarında taşma gibi negatif sonuçlar doğurmaktadır.

Genel olarak köpük oluşumuna *Nocardia* ve *Microthrix* türleri neden olmaktadır. Köpük oluşumuna bir çok etmenin neden olabileceği gibi başlıca etmenler yüksek çamur yaşı ve yüksek atıksu sıcaklığıdır. Bu etmenler de köpük oluşumuna etki eden türlerin yavaş büyüyen türler oluğuna işaret etmektedir. Köpük problemi kotrolü için uygulanan en temel yöntem çamur yaşını 6 gün ve daha azına düşürmektir. Bazı durumlarda geri devir çamuruna klor dozlaması çözüm olabilmektedir. Fakat en etkili yöntem tank yüzeylerinde biriken köpüğün toplanması olarak görülmektedir. Biriken köpüğün toplanıp uzaklaştırılarak köpük oluşumuna neden olan organizmaların çamur yaşının keskin bir şekilde düşürülmesi gerekmektedir.

2.2.2.3 Yükselme

Çamur yükselmesi, amonyum azotunun nitrata nitrifiye olduğu aktif çamur sistemlerinin son çökeltim tanklarında görülen bir problemdir. Nitratin son çökeltim tanklarında azot gazına denitrifiye olması durumunda azot gazı baloncukları çökmüş olan çamura yapışır. Gaz baloncuklarının çökmüş çamura yapışması ile kalın ve iri çamur parçaları son çökeltim tankında yüzeye çıkarak burada yüzme eğilimine geçer. Yüzeye çıkmış olan çamur kitleleri işletme için kötü koşulları oluşturmakla beraber çıkış suyuna karışması durumunda askıda katı madde olarak deşarj limitasyonlarını zorlamaktadır.

Çamur yükselmesi için uygulanabilecek en temel yöntem, son çökeltim tankında denitrifikasyonun engellenmesidir. Bu yöntem çamur yaşını düşürüp yavaş büyüyen nitrifikasyon bakterilerini sistemden yıkatarak gerçekleştirilebilir (azot giderimi yapmayan sistemler için). Eğer aktif çamur sisteminde nitrat oluşturulmazsa, denitrifikasyon ile azot gazına dönüşebilecek azot formu çökeltim tanklarında bulunmayacaktır. Alternatif olarak, aktif çamur sisteminde nitrifikasyon engellenemiyorsa, sistemin bir parçası olarak denitrifikasyon prosesine de olanak sağlanmalıdır. Mevcut durumda azot giderimi sağlayan aktif çamur sistemlerinde denitrifikasyon verimi kontrol edilmeli ve artırılmalıdır.

2.2.3 Aktif çamurun çökebilirliği

Aktif çamur; yaşına, yapısına, yoğunluğuna ve flok oluşturabilme özelliğine göre farklı şekilde çöker ve kompaktlaşır. Çamurun bu çökebilme özelliği tasarımda ve son çökeltim tanklarının işletilmesinde büyük önem arz etmektedir. Çamurun çökebilme yeteneği için bir takım ölçüm yöntemleri kullanılmaktadır (Henze, 2008). Çamurun çökebilme özelliği üzerine yapılan deneyler ile modeller oluşturulmaktadır. Oluşturulan modellerin temelinde katı akı teorisi bulunmaktadır (Wilen, 1995).

2.2.3.1 Katı akı teorisi

Akı teorisi, çamurun çökme karakterini çökeltim tankı işletmesi amacıyla uygulanan pratik bir yöntemdir. Teori yer çekimi etkisiyle çökelmeye bırakılmış katı kütlesi taşımını belirlemektedir (Henze, 2008). Teoride katı akısı;

$$G_S = v * X \quad (2.1)$$

ile belirlenmektedir. Denklemden; G_S yatay düzlemdeki katı akısını ($\text{kg}/(\text{m}^2/\text{sa})$), v çökme hızını (m/sa), X katı konsantrasyonunu (kg/m^3) göstermektedir. Çökme hızı v , Stoke hızı ile ilişkili olan gerçek çökme hızı ile ya da deneysel ölçümler ile belirlenmektedir (Dick ve Young, 1972). Katı akısı çok düşük konsantrasyonlarda keskin bir artış göstermektedir. Orta dereceli konsantrasyonlarda akıda azalan hızlı artış, maksimum akı ve hemen akabinde kademeli azalma görülür. Çok yüksek konsantrasyonlarda hızın çok düşük olması nedeniyle akı sıfıra yaklaşmaktadır (Rittmann ve McCarty, 2001).

2.2.3.2 Vesilind modeli

Katı akı teorisindeki hız ve konsantrasyon parametreleri seyreltilmiş numunelerle yapılan deneylerle belirlenebilmektedir. Hız ve konsantrasyon arasındaki ilişki Vesilind eşitliği ile açıklanır (Vesilind, 1968);

$$V_S = V_0 * e^{-KX} \quad (2.2)$$

Bu denklemde, V_S çökme hızını (m/sa), V_0 başlangıç çökme hızını (m/sa), K çökme katsayısını (m^3/kg) ve X başlangıç katı madde konsantrasyonunu (kg/m^3) vermektedir.

Başlangıç çökme hızı ve çökme katsayısını belirlemede alternatif olarak Vesilind parametreleri çamur hacim indeksi (ÇHİ) ile ilişkilendirilir (Zhang ve diğ, 2006). Bu ilişkilendirme kapsamlı geçmiş dataların ÇHİ ve Vesilind parametrelerine ayarlanması ile sağlanır (Vanderhasselt ve Vanrolleghem, 2000). Çizelge 2.3’de çeşitli çalışmalardan alınmış çökme deneyleri ve parametrelerin korelasyon denklileri gösterilmiştir.

2.2.3.3 Takács modeli

Takács modeli Vesilind modeli üzerine kararlı ve dinamik haller için çamur çökme durumunu verebilmektedir (Vanderhasselt ve Vanrolleghem, 2000). Düşük konsantrasyonlara uygulanabilir olması modelin kullanılabilirliğini artırmıştır (Renko, 1998). Model;

$$V_S = V_0(e^{-r_h(X-X_{min})} - e^{-r_p(X-X_{min})}) \quad (2.3)$$

eşitliği ile verilmektedir. Burada; V_s çökme hızını (m/sa), V_0 başlangıç çökme hızını (m/sa), r_h engellenmiş çökme katsayısını (m^3/kg), r_p düşük konsantrasyonda yavaş çökme katsayısını (m^3/kg), X başlangıç katı madde konsantrasyonunu (kg/m^3) ve X_{min} minimum katı madde konsantrasyonunu (kg/m^3) vermektedir.

Çizelge 2.3 : Literatürde yer alan Vesilind parametrelerinin CHİ kolerasyonları.

Referans Çalışma	CHİ (mg/L) Aralığı	V_0 (m/sa) Korelasyonu	K (m^3/kg) Korelasyonu
Mines ve diğerleri	27-236	7.27	$0.0281+0.00229\text{CHİ}$
Hartel ve Pöpel	-	$17.4e^{-0.0113*\text{CHİ}}$	$1.043-0.983e^{-0.00581\text{CHİ}}$
Daigger ve Roper	36-402	7.8	$0.148+0.0021\text{CHİ}$
Akca ve diğerleri	-	$28.1\text{CHİ}^{-0.2667}$	$0.177+0.0014\text{CHİ}$
Wahlberg ve Keinath	48-235	$18.2e^{-0.00602*\text{CHİ}}$	$0.351+0.00058\text{CHİ}$
Daigger	36-402	6.5	$0.165+0.001586\text{CHİ}$
Ozinsky ve Ekama	-	$8.53094e^{-0.00165*\text{CHİ}}$	$0.20036+0.00091\text{CHİ}$

Takács modelinde çökme hızı; çökelemeyen, yavaş çökelebilen, hızlı çökelebilen gibi farklı çamur fraksiyonlarına ayrılmaktadır. Başlangıç konsantrasyonunun minimum konsantrasyondan düşük olması durumunda çökme hızı sıfır olacaktır. Başlangıç konsantrasyonu minimum konsantrasyonun üzerinde fakat düşük konsantrasyon değerlerinin altında olduğunda yavaş çökelebilen tanecikler çökme hızını belirlemede etkili olacaktır. Düşük konsantrasyonlarda; serbest çökme bölgesinde katı konsantrasyonu arttıkça ortalama katı tanecik çapı artmaktadır ve artan tanecik çapı çökme hızını artırmaktadır. Başlangıç konsantrasyonu orta dereceli konsantrasyonarda olduğunda floklar maksimum boyutuna ulaşacağı için çökme hızı konsantrasyondan bağımsız olarak değerlendirilmektedir.

2.3 Aktif Çamur Prosesi Modelleri

2.3.1 ASM1

Aktif çamur prosesleri modellemesinde ilk model olan Aktif Çamur Modeli No. 1 (ASM1), Uluslararası Su Birliği (IWA) tarafından yayımlanmıştır. Model, karbon giderimi ve nitrifikasyon-denitrifikasyon ile azot giderimi proseslerini içerir (Henze

ve diğ, 1986). Monod kinetikleri modelde baz alınmış olup bakteri büyümesi için iyi bilinen biyolojik reaksiyonlar kullanılmıştır. Modelde kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) üzerinden oksijen dengesi kurulur. Toplam giriş KOİ konsantrasyonu; çözünmüş, çözünmemiş, biyobozunur ve biyobozunur olmayan fraksiyonlar olarak tanımlanmıştır. Bu fraksiyonlar IWA'nın yayınladığı tüm aktif çamur modellerinde kullanılmıştır. ASM1'de, çözünmemiş substratlar (KOİ ve organiz azot) hidroliz olur ve çözünmüş maddelere dönüşür. Mikrobiyal büyümenin çözünmüş substrat üzerinden oksik ve anoksik ortamlarda gerçekleştiği varsayılır.

Mikrobiyal ölüm prosesi, ölüm-rejenerasyon teorisi üzerine kuruludur. Ölen mikroorganizma kütesinin bir kısmı inert maddeye dönüşürken kalan kısmı hidroliz sonucu mikroorganizmalar tarafından kullanılabilir olan çözünmüş substrata dönüşeceği varsayılır.

2.3.2 ASM2 ve ASM2d

Aktif Çamur Modeli No. 2 (ASM2), ASM1 baz alınıp biyolojik fosfor giderim prosesinin matematiksel ifadelerini içeren bir modeldir (Henze ve diğ, 1995). ASM2 karbon oksidasyonu, nitrifikasyon, denitrifikasyon ve biyolojik fosfor giderimini kapsar. Fosfor biriktiren organizmaların (PAO) metabolizması, poli- β -hidroksialkanoat (PHA, poli- β -hydroxyalkanoate) ve polifosfatı içeren içsel depolama ürünlerini tanımlayarak açıklanmıştır.

Model yapısında kullanılmadıysa da, glikojenin PAO metabolizmasında önemli rol oynadığına inanılmıştır. ASM2 oksik ortamlarda PAOların büyümesini açıklar. ASM1'de olduğu gibi, ASM2 de mikroorganizma ölümü için ölüm-rejenerasyon teorisini kullanır. ASM2 çözünmeyen azot ve fosfor için durum değişkenleri içermektedir. ASM2d (Henze ve diğ, 1998), çözünmemiş azot ve fosfor için çözünmemiş KOİ fraksiyonlarından durum değişkenleri tanımlanmıştır. Uygulamadaki zorlukları nedeniyle ASM2 pek fazla kullanım alanı bulamamıştır (WEF, 2014).

ASM2d PAOların metabolizmasına denitrifikasyonu da ekleyerek geliştirilmiş bir modeldir. Anoksik ortamda PAO büyümesinin bir kısım PAO popülasyonunun anoksik ortamda düşük hızda gerçekleştiği varsayılır. Heterotrof organizma büyümesi ASM1'de olduğu gibi kabul edilir.

2.3.3 ASM3

Aktif Çamur Modeli No. 3 (ASM3), karbon oksidasyonunu ve azot giderimini içerirken, biyolojik fosfor giderim prosesi burada tanımlanmamıştır (Gujer ve diğ., 1999). ASM3’de yer alan karbon oksidasyonu ve azot giderimi, konsept olarak ASM1’den farklıdır. ASM3’de mikroorganizma büyüme metabolizması içsel depolanan karbon üzerine baz alınmıştır. Çözünmemiş substrat önce hidroliz olur, daha sonra heterotrofik mikroorganizma tarafından içsel ürün olarak depolanır. Mikroorganizma büyümesinde yalnızca depolanmış substrat göz önünde bulundurulur. Bu yaklaşım efektif bir biçimde birincil hidroliz (atıksudaki çözünmemiş substratın hidrolizi) ile ikincil hidrolizi (ölen biyokütlenin hidrolizi) ayırır.

Mikroorganizma ölümü de ASM1’den farklı olarak tanımlanır. ASM3’te içsel solunum yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yaklaşımda, aktif biyokütlenin belirli fraksiyonunun inert maddeye dönüştüğü ve ek oksijen ihtiyacı olduğu varsayılır. ASM1’in aksine, ASM3’te tanımlanan mikroorganizma ölümünde herhangi bir kullanılabilir substrat oluşmaz.

2.3.4 Biyolojik nütrient giderimi genel modeli (Barker ve Dold, 1997)

Model, fosfor depolamayan heterotroflar ve ototrof mikroorganizmalar ile fosfor depolayan heterotrof mikroorganizmalar bölümlerinden oluşur.

2.3.4.1 Genel modelde fosfor depolamayan heterotroflar ve ototroflar

Fosfor depolamayan heterotrofların hızlı biyobozunur KOİ fraksiyonu üzerinden büyümesi: bu mikroorganizmaların büyümesi Monod eşitliği ile modellenmiştir. Büyümenin oksik ya da anoksik koşullarda gerçekleşmesine, ya da büyümenin nitrat ya da amonyağın azot kaynağı olduğu durumdaki hücre sentezine bağlı olarak fosfor depolamayan mikroorganizmaların büyümesi için 4 proses eşitliği tanımlanmıştır. Çözünmüş oksijen yokluğunda, fosfor depolamayan mikroorganizmaların belirli bir kısmı, eğer ortamda mevcutsa, organik maddenin oksidasyonu için elektron alıcısı olarak nitratı kullanabilme yeteneğine sahiptir. Proses hızı, susbtratın anoksik ortamda indirgenme hızının açıklanabilmesi için bir faktör ile düzeltilir. Oksik ve anoksik büyüme için farklı ürün faktörleri kullanılır. Evsel atıksu arıtımında, fosfor

depolamayan heterotrofların hızlı bozunur KOİ fraksiyonu üzerinden büyümesi sonucunda, organik maddenin büyük bir kısmı giderilir.

Fosfor depolamayan heterotrofların KOİ'nin kısa zincirli yağ asitleri fraksiyonu üzerinden büyümesi: oksik ya da anoksik koşullarda gerçekleşmesine, ya da büyümenin nitrat ya da amonyağın azot kaynağı olması durumuna bağlı olarak 4 proses eşitliği tanımlanmıştır. Normal şartlarda, kısa zincirli uçucu yağlar anoksik ve oksik bölgelerde çok az bulunduğu için, bu büyüme prosesleri nadiren gerçekleşir.

Heterotrof mikroorganizmaların ölümü: bu proses ölüm-rejenerasyon teorisine göre modellenmiştir. Bu organizmaların belirli bir hızda öldüğü, bir kısım ölü hücrelerin içsel hücre kalıntılarına eklendiği, kalan kısmının çözünmeyen biyobozunur KOİ fraksiyonunda toplandığı kabul edilir. Çözünmeyen biyobozunur KOİ fraksiyonuna ölüm prosesinden gelen hücresel azot ve fosfor, çözünmemiş organik azot ve çözünmüş fosfat olarak yer almış olur. Ölüm prosesinin oksik, anoksik ve anaerobik şartların tümünde gerçekleştiği kabul edilir.

Yavaş biyobozunur KOİ hidrolizi: yavaş biyobozunur KOİ'nin çamur kütlesi tarafından ağ gibi hapsedildiği kabul edilir ve bu fraksiyon hücre dışında parçalandığında oluşan ürünler hızlı bozunur KOİ fraksiyonuna dahil edilirler. Bu proses, Levenspiel'in yüzeysel reaksiyon kinetikleri baz alınarak ve oksik, anoksik, anaerobik tüm şartlarda gerçekleştiği kabul edilerek modellenmiştir. Anoksik ve anaerobik ortamlardaki hidroliz hızı, oksik ortamdaki hidroliz hızının bir fraksiyonu olarak kabul edilir. Bu nedenle, anoksik ve anaerobik ortamdaki hidroliz hızı, her zaman oksik ortamdakinden daha düşüktür. Anoksik ve anaerobik ortamlardaki hidroliz ürünleri sistemde kaybolur.

Çözünmeyen organik azotun hidrolizi: biyobozunur çözünmemiş organik azotun çözünmüş organik azota parçalanması, karbonlu yavaş bozunur maddelerin hidroliz hızıyla aynı kabul edilir.

Çözünmüş organik azotun amonyağa dönüşümü (amonifikasyon): çözünmüş organik azot, fosfor depolayan ve depolamayan heterotrofik mikroorganizmaların gerçekleştirdiği bir prosestir. Proses hızı, heterotrof mikroorganizmaların toplam konsantrasyonu ve çözünmüş biyobozunur organik azot konsantrasyonuna bağlı olarak birinci mertebede gerçekleştiği kabul edilir.

Kompleks hızlı biyobozunur KOİ'nin kısa zincirli uçucu yağ asitlerine fermentasyonu: Fosfor depolamayan fakültatif heterotrof mikroorganizmalar anaerobik şartlarda kompleks hızlı biyobozunur KOİ'nin kısa zincirli uçucu yağ asitlerine fermentasyonunu gerçekleştirirler. Bu fermentasyon, Monod büyümesi ile modellenir. Fermentasyon ürünlerinin belirli bir kısmının kısa zincirli uçucu yağ asitlerine dönüştüğü, kalan kısmının KOİ olarak sistemde kaybolduğu kabul edilir. Bu proses, evsel atıksularda ileri biyolojik fosfor giderim sisteminin fosfor depolayan ve fosfor depolamayan heterotrofik mikroorganizmalar arasındaki asıl ilişkiyi açıklar.

Ototrofların büyümesi: Ototrof mikroorganizmalar amonyum azotunun nitrata okside olmasından (nitrifikasyon) sorumludurlar. Ototrofların büyümesi sadece oksik ortamda gerçekleşen ve tek adımlı proses olarak modellenir. Bu prosesin oksijen ihtiyacı tahmini üzerinde önemli etkisi vardır. Heterotrofların büyümesi ile, amonyum azotu ve çözünmüş fosfor yeni hücrelerde kullanılır.

Ototrof mikroorganizmaların ölümü: Bu proses heterotrof mikroorganizmaların ölümüyle aynı şekilde modellenir. Fakat ototrofların ölüm hızı çok daha yavaş gerçekleşir.

2.3.4.2 Genel modelde fosfor depolayan heterotroflar

Fosfor depolayan heterotrofların poli- β -hidroksibütirat (PHB, poli- β -hydroxybutyrate) ile oksik ortamda büyümesi: çözünmüş fosfor kısıtlayıcı ya da olmaması ve amonyak ya da nitratin hücre sentezinde azot kaynağı olması durumuna bağlı olarak fosfor depolayan heterotrofların depolanmış PHB ile büyümesi 4 proses eşitliği tanımlanmıştır. Monod ifadeleriyle formülize edilmiş büyüme hızı, birim fosfor gideren organizma kütlesi başına depolanmış substrat miktarına bağlıdır.

Fosfor depolayan heterotrofların PHB ile anoksik ortamda büyümesi: Model, fosfor depolayan organizmaların bir kısmının depolanmış PHB'nin oksidasyonu için ve bünyesine fosfor alabilmesi için nitrati elektron alıcısı olarak kullanabildiğini varsayar. Organizma bünyesine fosfor alımın sitokiyometrisi oksik büyüme sitokiyometrisinden farklıdır.

Fosfor depolayan heterotrofların ölümü: bu proses elektron alıcılarının fosfor depolayan organizmalar üzerindeki etkisinin hesaba katılması ile hücre ölümü nedeniyle salınan azot, fosfor ve depolanmış PHB'nin salınımının hesaba katılması

yönüyle fosfor depolamayan heterotrofların ölüm modeline göre az da olsa farklı olarak modellenmiştir. Fosfor depolayan organizmaların oksik, anoksik ve anaerobik ortamlardaki ölümü ve polifosfat, PHB, hücresel azot ve hücresel fosforla ilişkili hücre yok olması simülasyonları ile 12 ölüm prosesi hız denklemi kullanılmaktadır.

Anaerobik ortamda idame için polifosfat kırılması: fosfor depolayan organizmalar anaerobik ortamda bazal enerji ihtiyaçlarını sağlayabilmek için polifosfat polimerleri depolarlar. Anaerobik ortamda polifosfatın enerji sağlanması için kırılması fosfor depolayan organizmalarına bağlı birinci derece proses olarak modellenmiştir.

Kısa zincirli yağ asitlerinin fosfor depolayan organizmalar tarafından ayrılması: fosfor depolayan heterotroflarda kısa zincirli yağ asitlerinin PHB olarak depolanması sırasında ihtiyaç duyulan enerji polifosfat polimerlerinin kırılması ile sağlanır. Kısa zincirli yağ asitlerinin organizma bünyesine alınımı kısa zincirli yağ asidi konsantrasyonuna bağlı olarak sıfırıncı dereceden, fosfor depolayan organizma konsantrasyonuna bağlı olarak birince dereceden kabul edilir. Polifosfat kırılması nedeniyle salınan fosfor, kısa zincirli yağ asitlerinin bünyeye alınımıyla doğrudan orantılı olarak kabul edilir. Polifosfat ya da kısa zincirli yağ asitleri bu süreçte limitleyici faktörlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Arıtma Tesis Bilgileri

Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesis (İBAAT) Ömerli Barajını atıksu kirliliğinden korumak amacıyla 2000 yılında 100.000 m³/gün' lük arıtma kapasitesi ile işletmeye alınmıştır. Ancak atıksu giriş kirletici parametrelerindeki değişimden dolayı 2014 yılında yapılan hesaplamalar neticesinde toplam debi 54.000 m³/gün olarak revize edilmiştir. Paşaköy tesisi; Ömerli su havzasında Sancaktepe (Sarığazi, Samandıra, Yenidoğan), Sultanbeyli, Alemdağ ve Sultançiftliği yerleşim bölgelerinde oluşan ve eskiden Ömerli barajına dökülen atıksuları arıtmaktadır. İleri biyolojik arıtma sistemiyle arıtılan atıksu 6 km uzunluğunda bir tünel vasıtası ile Riva deresine ulaştırılmakta ve bu yolla Karadeniz'e deşarj edilmektedir.

500.000 kişilik atıksu yüküne ve 100.000 m³/gün'lük debiye göre hizmet verecek şekilde tasarlanan 2. kademe tesisin inşaatı 2009 yılında tamamlanmıştır. Böylece tesisin toplam atıksu arıtma kapasitesi artırılmıştır.

Tesiste biyolojik nütrient giderimi prensibine göre, atıksuda bulunan karbonun yanı sıra, su kaynaklarında kirliliğe yol açan azot, fosfor gibi besin maddelerinin de giderilmesi sağlanmaktadır. Tesisin giriş ve çıkış tasarım parametreleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

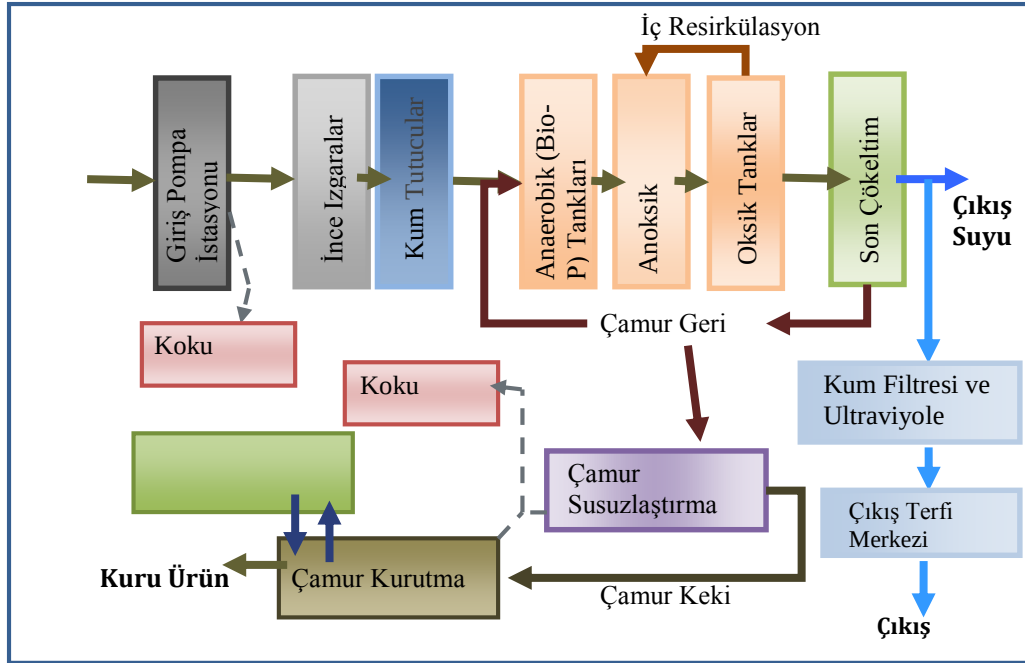
Çizelge 3.1 : Paşaköy İBAAT giriş-çıkış tasarım parametreleri.

Parametreler	Değer	Birim
Debiler		
Günlük debi	100.000	m ³ /d
Pik faktörü	1,25	-
Kuru hava debisi	100.000	m ³ /d
Yağışlı hava debisi	125.000	m ³ /d
Giriş konsantrasyonları		
Askıda katı madde (AKM)	500	mg/L
Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ5)	325	mg/L

Çizelge 3.1 (devam) : Paşaköy İBAAT giriş-çıkış tasarım parametreleri.

Parametreler	Değer	Birim
<i>Giriş konsantrasyonları</i>		
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)	600	mg/L
Partiküler KOİ	420	mg/L
Çözünmüş KOİ	180	mg/L
Toplam kjeldahl azotu (TKN)	70	mg/L
Organik azot (orgN)	28	mg/L
Amonyum azotu (NH ₄ -N)	42	mg/L
Nitrat azotu (NO ₃ -N)	0	mg/L
Toplam fosfor (TP)	8	mg/L
<i>Çıkış konsantrasyonları</i>		
Askıda katı madde (AKM)	35	mg/L
Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ ₅)	25	mg/L
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)	125	mg/L
Toplam azot (TN)	10	mg/L
Toplam kjeldahl azotu (TKN)	2	mg/L
Nitrat azotu (NO ₃ -N)	8	mg/L
Toplam fosfor (TP)	3	mg/L
<i>Giriş yükleri</i>		
Askıda katı madde (AKM)	50.000	kg/d
Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ ₅)	32.500	kg/d
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)	60.000	kg/d
Toplam kjeldahl azotu (TKN)	7.000	kg/d
Organik azot (orgN)	2.800	kg/d
Amonyum azotu (NH ₄ -N)	4.200	kg/d
Nitrat azotu (NO ₃ -N)	0	kg/d
Toplam fosfor (TP)	800	kg/d
<i>Çıkış yükleri</i>		
Askıda katı madde (AKM)	3.500	kg/d
Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ ₅)	2.500	kg/d
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)	12.500	kg/d
Toplam azot (TN)	1.000	kg/d
Organik azot (orgN)	200	kg/d
Nitrat azotu (NO ₃ -N)	800	kg/d
Toplam fosfor (TP)	300	kg/d

Arıtma tesisinde yer alan üniteler aşağıda listelenmiş olup Şekil 3.1’de Paşaköy İBAAT Akım Şeması gösterilmektedir. Paşaköy İBAAT genel akım şeması Ek A da verilmiştir.



Şekil 3.1 : Paşaköy İBAAT akım şeması

- Kaba ızgaralar
- Giriş pompa istasyonu
- İnce ızgaralar
- Kum ve yağ tutucu havuzlar
- Anaerobik tanklar
- Anoksik/Oksik tanklar
- Son çökeltim havuzları
- Kum filtreleri
- UV dezenfeksiyon
- Çıkış suyu pompa istasyonu
- Çamur susuzlaştırma
- Çamur kurutma

Tesis işletmesinde her 2 kademeden de ilk arıtma üniteleri, anaerobik tankları ve son çöktürme tankları kullanılırken, yalnızca ikinci kademeye ait oksik/anoksik tanklar işletmede kullanılmaktadır.

3.1.1 Giriş yapısı, kaba ızgaralar ve terfi merkezleri

Atıksu kanal sisteminin bir kısmı Uzundere terfi merkezi ile ana kollektör sistemine basılmaktadır. Ana kollektör hatları ile toplanan atıksu, ana terfi merkezi olan Paşaköy Giriş Terfi Merkezi'nin kaba ızgara giriş yapısına alınmaktadır. Bu noktaya Paşaköy deresinden su alma yapısı da sisteme dahil edilerek Ömerli baraj gölünün muhtemel kirliliğe karşı korunması hedeflenmiştir. Ayrıca, Sultanbeyli havzasının bir kısmından toplanan atıksular da Mimar Sinan terfi merkezi ile Paşaköy İBAAT ön arıtma giriş yapısına dahil edilmektedir.

Kaba ızgara giriş yapısı; atıksuyun giriş terfi merkezine kontrollü olarak verilmesi amacıyla sürgülü kapaklarla donatılmıştır. Tesiste herhangi bir arıza olması durumunda bu kapaklar kapatılarak atıksu, Riva tüneline mansaplanan by-pass hattına verilir.

Giriş yapısından gelen atıksu, ilk olarak içerisindeki kaba katı maddelerin pompa ve diğer ekipmanlara zarar vermesini önlemek için aralıkları 50 mm olan mekanik temizlemeli kaba ızgaradan geçirilmektedir. Kaba ızgaralar otomatik temizlemeli olarak çalışmakta ve ızgaradan tutulan atıklar bir konveyör ile konteynerlere boşaltılmakta ve katı atık düzenli depolama sahasına gönderilmektedir.

Izgaralardan geçen atıksu pompa haznesine gelerek hazne içine monte edilen ultrasonik tip seviye ölçerlere bağlı olarak değiştirilebilen debi ile her biri maksimum 650 L/sn debi kapasiteli giriş pompaları tarafından tesise basılmaktadır. Terfi hattı 1.200 mm çelik borudan oluşturulmuştur. Terfi yüksekliği ise 40 m' dir. Terfi merkezi ve ekipmanlarına ait teknik bilgiler Çizelge 3.2'de verilmiştir.

3.1.2 İnce ızgaralar ve havalandırılmalı kum tutucular

Terfi edilen atıksular çubuk aralığı 10 mm olan toplam 5 paralel hattan oluşan ince ızgaralardan geçer. Burada kaba ızgaralardan geçebilen daha küçük boyuttaki katı maddeler de tutulur. İnce ızgaralarda tutulan malzemeler bantlı konveyörle, ızgara atıkları preslerine iletilerek konteynere boşaltılır. İnce ızgaralardan geçen atıksu kaba kabarcıklı difüzör borularla donatılmış olan kum tutucu yapısına girmektedir.

Çizelge 3.2 : Paşaköy İBAAT terfi merkezi ve kaba ızgaralar dizayn kriterleri.

Parametre	1. Kademe	2. Kademe	Birim
By-pass hattı çapı		2.200	mm
Kaba Izgara sayısı	2	-	mm
Kaba ızgara çubuk aralığı	50	-	adet
Izgara boyu	10,5	-	kW
Izgara eğim açısı	75	-	adet
Sabit debili pompa kapasitesi	650	-	m ³
Sabit debili pompa sayısı	3 adet	-	adet
Değişken debili pompa kapasitesi	-	300-650	kW
Değişken debili pompa sayısı	-	3	108 m ³ /sa
Terfi Hattı Çapı (2 hat)	1.200	-	adet

Blowerlerden temin edilen hava ile atıksu havalandırılarak dibe çöken kum, gezer köprü üzerine monte edilen dalgıç pompalar vasıtası ile alınır. Ayrıca yüzeyde biriken yağlar yine köprü üzerindeki yüzey sıyrıcı ile sıyrılıp, köpük haznesine alınır ve buradan köpük pompaları yardımı ile döner tambur eleklere gönderilir.

Bu işlemler sonrasında atıksu içerisindeki yüzebileen katı maddeler, kum ve yağlar tamamen ayrıştırılır. Kum tutucu çıkışı atıksular parshall savağından geçirilerek debi ölçümü yapılmaktadır. Bu ölçüm tesiste çalışacak ekipmanların kapasitesinin ayarlanması için kullanılır. İnce ızgara ve kum tutucu havuzlara ait bilgiler Çizelge 3.3’de yer almaktadır.

Çizelge 3.3 : Paşaköy İBAAT ince ızgara ve kum tutucu dizayn kriterleri.

Parametre	1. Kademe	2. Kademe	Birim
İnce ızgara sayısı	2	3	adet
İnce ızgara çubuk aralığı	10	10	mm
Kum tutucu blower sayısı	3	3	adet
Kum tutucu blower gücü	7,5	15	kW
Kum tutucu havuzu sayısı	2	2	adet
Kum tutucu havuzu hacmi	560	397	m ³
Kum pompası sayısı	2	2	adet
Kum pompası gücü	5,5	3,7	kW
Kum pompası kapasitesi	100 m ³ /sa	108 m ³ /sa	108 m ³ /sa
Köpük pompası sayısı	1	4	adet
Köpük pompası gücü	0,8	3,1	kW
Köpük pompası kapasitesi	13,3	36	m ³ /sa
Kum bunkerı sayısı	2	2	adet

3.1.3 Anaerobik tanlar

İlk arıtma ünitelerinde fiziksel arıtmı tamamlanmış atıksu, anaerobik tanklarda geri devir çamuru ile karışarak giriş yapmaktadır. Burada geri devir çamurundan gelebilecek nitrata önlemek amacıyla Johannesburg modifikasyonu uygulanmış olup

geri devir çamuru her iki kademe anaerobik tanklarında ilk tanka girmekte; atıksu, seri bağlı olan olan ikinci tanklara giriş yaparak geri devir çamuru ile karışmaktadır. Havuzlarda çökmeyi önlemek için karıştırıcılar ve proses şartlarının devamlılığını izlemek amacıyla, her bir havuza yerleştirilen redoks metreler ve oksijenmetreler mevcuttur. Ayrıca ünite çıkışında kanal tipi debimetre ile proses debisi anlık olarak izlenmektedir. Anaerobik tankların dizayn kriterleri Çizelge 3.4’de verilmiştir.

Çizelge 3.4 : Paşaköy İBAAT anaerobik tanklar dizayn kriterleri

Parametre	1. Kademe	2.Kademe	Birim
Tank sayısı / beher tank hacmi	3 - 2.730	3 - 2.251	adet - m ³
Tank su yüksekliği	5,1	5,5	m
Tank uzunluğu	48	50	m
Tank genişliği	12	8	m
Tank bekleme süresi	1,1	0,9	saat
Tank karıştırıcı sayısı / gücü	6 - 2,3	3 - 3,1	adet - kW
Tank karıştırıcı devri	25	31	d/dk

3.1.4 Anoksik ve oksik tanklar

Biyofosfor havuzlarından geçen atıksu, arıtmanın gerçekleşmesi için oksik/anoksik tanklara alınır. Biyolojik arıtma, nitrifikasyon ve denitrifikasyon olarak iki kademede gerçekleştirilir. Nitrifikasyon için gerekli hava miktarı sağlanarak giriş suyundaki amonyum azotu nitrat azotuna çevirilir ve oluşan nitrat karbon giderimi için elektron alıcısı olarak kullanılır. Her tankta çamurun çökmesini önlemek, hava kabarcıklarının yolunu uzatarak havalandırma verimini arttırmak ve homojen karışım sağlamak üzere, kanat açıklığı 2.500 mm olan muz tipi karıştırıcılar monte edilmiştir. Tankların tabanına ince kabarcıklı membran difüzörler yerleştirilmiştir.

Her kanala verilecek hava miktarı motorlu kelebek vanalar ile ayarlanarak, tanklardaki çözünmüş oksijen seviyesi önceden belirlenmiş seviyede tutulmaktadır. Tanklardaki anoksik - oksik şartları izlemek amacıyla, havuzlara redoks metreler ve oksijen metreler yerleştirilmiştir. Tankların ortasında iç resirkülasyonu sağlamak, nitrifikasyon sonucu oluşan nitratlı suyu anoksik bölgeye pompalamak amacıyla resirkülasyon pompaları temin edilmiştir. Oksik/Anoksik tankların dizayn kriterleri Çizelge 3.5’de verilmiştir.

Çizelge 3.5 : Paşaköy İBAAT oksik/anoksik tanklar dizayn kriterleri

Parametre	1. Kademe	2.Kademe	Birim
Tank sayısı / beher tank tacmi	4 - 11.000	4 - 20.008	adet - m ³
Tank su yüksekliği	5,1	5,5	m
Tank uzunluğu	110	185,4	m
Tank genişliği	20	20	m
Tank karıştırıcı sayısı	16	16	adet
Tank karıştırıcı gücü	2,30	6,03	kW
Tank karıştırıcı devri	25	47	d/dk
Tank difüzör sayısı /çapı	7.852 - 9	16.000 - 9	adet – inç
Resirkülasyon pompa sayısı / gücü	4 - 25	4 - 16	adet – kW
Resirkülasyon pompa kapasitesi	4.032	4.500	m ³ /sa

3.1.5 Son çökeltim tankları

Havalandırma havuzlarından çıkan atıksu, dağıtım yapısı üzerinden dairesel çökeltim tanklarına verilir. Son çökeltim tankları döner yarım köprülerle ve sıyrıcılarla teçhiz edilmiştir. Çöken çamur dip sıyrıcılar ile yönlendirilerek, ortadaki çamur toplama konisinden geri devir terfi merkezine cazibeyle alınır ve anaerobik tankların girişine geri devredilir. Döner köprüler üzerindeki yüzey sıyrıcılar, yüzeyde biriken köpüğü cazibeyle köpük toplama haznesine taşımaktadır. Köpük buradan bir dalgıç pompa aracılığıyla çamur depolama tankına basılmaktadır. Arıtılmış su, tek savaklı çıkış savaklarından geçerken döner köprü üzerindeki tahrikli bir fırçayla kanalın temizlenmesi sağlanmaktadır. Son çökeltim tanklarına ait dizayn kriterleri Çizelge 3.6’da verilmiştir.

Çizelge 3.6 : Paşaköy İBAAT son çökeltim tankları dizayn kriterleri

Parametre	1. Kademe	2.Kademe	Birim
Havuz sayısı / çapı	4 - 42 / 2 – 43 (ek havuzlar)	4 - 43	adet - m
Havuz su derinliği	2,8 / 3,5 (ek havuzlar)	3,5	m
Havuz bekleme süresi	3,3	2,2	saat
Geri devir pompa sayısı / gücü	10 – 22	6 – 75	adet - kW
Geri devir pompa kapasitesi	540	1.875	m ³
Köpük pompa sayısı	4	4	adet
Köpük pompası kapasitesi	80	80	m ³ /sa

3.1.6 Kum filteri ve ultraviyole dezenfeksiyon ünitesi

Arıtılmış atıksu, 100.000 m³/gün kapasiteli betonarme tip açık kum filtreleri ve UV dezenfeksiyon ünitesinden geçirilerek endüstride kullanma suyu veya sulama suyu olarak kullanılabilir hale getirilmektedir. Son çökeltim tanklarından çıkan arıtılmış atıksu son aşama olarak bir kanal vasıtası ile 8 adet kum filtresinden oluşan kum filtresi ünitesine yönlendirilmektedir. Burada amaç UV dezenfeksiyon öncesi arıtılmış atıksuyun askıda katı madde (AKM) ve bulanıklık değerlerini bir kez daha düşürerek UV ışınlarının atıksu içindeki virüs ve bakterileri imha etme etkisini arttırmaktır. Kum filtrelerinden geçirilen ve nihai AKM giderimi gerçekleştiren atıksular UV kanalına alınır. UV kanalının tasarım debisi 5.420 m³/saattir. Kanal içinde, her birinde 180 adet UV lambası olan 3 seri set halinde toplam 540 adet UV lambası bulunmaktadır. Kum filtresi ve UV dezenfeksiyon ünitesi dizayn kriterleri Çizelge 3.7’de verilmiştir. Lambalar yüksek yoğunluk, düşük basınç, değişken çıkış gücü ve otomatik temizleme sistemi özelliklerine sahiptir. Sistem tasarımı, dezenfeksiyon sonrası arıtılmış suyun fekal koliform değerinin 0 – 2,2 CFU/100 mL aralığına indirilmesine göre yapılmıştır. Bu değer *Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, Ek 7:Arıtılmış Atıksuların Sulama Suyu Olarak Geri Kullanım Kriterleri, Tablo E7.1: Sulamada geri kullanılacak arıtılmış atıksuların sınıflandırılması* tablosundaki *Sınıf A* kriterlerini sağlamaktadır.

Çizelge 3.7 : Paşaköy İBAAT kum filtresi ve UV dezenfeksiyon dizayn kriterleri

Parametre	Değer	Birim
Kum filtre kapasitesi	100.000	m ³ /gün
UV hidrolik maksimum kapasite	125.000	m ³ /gün
Kum filtre sayısı	8	adet
Giriş bulanıklığı	30	mg/L
Çıkış bulanıklığı	10	NTU
UV giriş fecal koliform	100.000	CFU / 100 mL
UV çıkış fecal koliform	< 2,2	CFU / 100 ml
Kum dane çapı	0,8	mm
Havuz derinliği	310	cm
UV lamba uzunluğu	143	cm
UV kanalının tasarım debisi	5.420	m ³ /s
UV bank sayısı	3	adet
UV lamba sayısı	180	adet/bank

3.1.7 Paşaköy İBAAT proses konfigürasyonları

İlk arıtma ünitelerinden çıkan su TDO-2 adı verilen dağıtım yapısı üzerinden proses havuzlarına giriş yapmaktadır. Proses havuzları seri bağlı 4 havuz olarak

projelendirilmiştir ve ayrı ayrı bağımsız olarak da çalıştırılabilmektedir. Proses havuzları önde denitrifikasyonlu sisteme göre tasarlanmıştır ve istenildiğinde A2/O, 5 kademeli Bardenpho, Johannesburg prosesi ve kademeli besleme simultane denitrifikasyon sistemlerine göre çalıştırılabilecek şekilde projelendirilmiştir. Böylece, farklı işletme koşullarına ve ihtiyaçlara göre arıtma için sistemde bir esneklik sağlanmıştır. Farklı konfigürasyonlardaki proses havuzları akım şemaları Ek B de verilmiştir.

A2/O prosesi, mevcut tesisin proses konfigürasyonu olup anaerobik – anoksik – oksik sıralamasına göre işlemektedir ve son oksik bölgeden ilk anoksik bölgeye iç resirkülasyon gerektirmektedir. 5 kademeli Bardenpho prosesi ise anaerobik – anoksik – oksik – anoksik – oksik sıralamasına göre işlemektedir ve 1. oksik bölgeden 1. anoksik bölgeye iç resirkülasyon gerektirmektedir; 2. anoksik bölge içsel solunum denitrifikasyonu için ayrılmaktadır. Johannesburg prosesinde ise, Bio-P havuzları bölümünde belirtildiği gibi, geri devir çamurunun denitrifikasyonu dahil edilecektir. Proses havuzlarının çalışma düzeni ise, A2/O prosesi için tariflendiği şekildedir. Kademeli besleme ise istenildiğinde kullanılabilecektir ve nitrat giderimi simultane denitrifikasyon ile sağlanacaktır, dolayısıyla iç resirkülasyon gerektirmemektedir.

Tesiste proses havuzlarının ortasında iç resirkülasyonu sağlamak amacıyla resirkülasyon pompaları monte edilmiştir. Proses havuzunda sağlanan esnek konfigürasyon sayesinde, 4. havuzdan 1. havuza ve 3. havuzdan 1. havuza iç resirkülasyon sağlanabilmektedir; böylece sırasıyla sistem A2/O ve 5 kademeli Bardenpho olarak çalıştırılabilmektedir. Ayrıca sistem kademeli besleme yapmaya müsaade edecek esnekliktedir. Böylece iç resirkülasyon pompaları kullanılmayacaktır. Yukarıda anlatılan proses konfigürasyonları ve havuzlardaki kapak çalışma düzenleri Şekil B.1 ve Şekil B.6 arasında verilmiştir; yeşil renkler açık olan hatları, turuncu renkler kapalı hatları göstermektedir.

3.2 Tasarım ve Simülasyon

3.2.1 ATV-DVWK-A 131 E tasarım metodu

Nitrifikasyonsuz aktif çamur tesisleri, Çizelge 3.8’de verildiği üzere, çamur yaşı dört günden beş güne göre boyutlandırılmaktadır.

Çizelge 3.8 : Çamur yaşının arıtma amacı, ve sıcaklığına ve bunların yanında tesis büyüklüğüne bağlı olarak boyutlandırılması (ATV-DVWK-A 131 E, 2000)

Kriter	Tesisin büyüklüğü $B_{d,BOD,I}$			
	1.200 kg/gün'e kadar	6.000 kg/gün'den fazla		
Arıtma Amacı	10°C	12°C	10°C	12°C
Boyutlandırma sıcaklığı				
Nitrifikasyonsuz	5		4	
Nitrifikasyonlu	10	8,2	8	6,6
Nitrojen gideriminde				
$V_D/V_A = 0,2$	12,5	10,3	10,0	8,3
0,3	14,3	11,7	11,4	9,4
0,4	16,4	13,7	13,3	11,0
0,5	20,0	16,4	16,0	13,2
Nitrojen giderimini içeren çamur stabilizasyonu	25		Belirtilmemiş	

Nitrifikasyonu sürdürebilmek için (aerobik) boyutlandırma çamur yaşı:

$$t_{SS,aerob,dim} = SF * 3,4 * 1,103^{(T-15)} [d] \quad (3.1)$$

3,4 değeri, 15°C de (2,13 gün) ve 1,6 çarpanıyla amonyum oksidanlarının (*nitrosomonas*) maksimum büyüme oranlarının karşılığında elde edilmiştir. Buradan da yeterli oksijen transferi var ve hiçbir negatif etkileyen faktör yok ise yeterli nitrifikasyon gelişebileceğini ve aktif çamurda tutunabileceğini garanti eder. 2,13 günlük (15° C) çamur yaşıyla nitrifikasyon yapan bakteriler çoğalamazlar.

Güvenlik faktörünü kullanarak (SF) aşağıdakiler hesaba katılabilir:

- Atıksudaki bazı maddeler, kısa dönemli sıcaklık ve/veya pH değişiklikleri maksimum büyüme oranında değişikliklere neden olur.
- amonyumun ortalama çıkış konsantrasyonu.
- Giriş nitrojen konsantrasyonundaki değişikliklerin çıkış nitrojen konsantrasyonundaki değişikliklere oranı.

Bundan önceki bütün tecrübelerle dayanarak boyutlandırma kapasitesi $B_{d,BOD,I} = 1.200$ kg/güne kadar olan belediye tesislerinde etkili giriş yükü değişiklikleri yüzünden $SF = 1,8$ alınması ve $B_{d,BOD,I} \geq 6.000$ kg/gün için $SF = 1,45$ alınması tavsiye edilir. Bununla, ortalama çıkış konsantrasyonu $S_{NH_4,EST} = 1.0$ mg/l de tutulabilir, böylece nitrifikasyon yapan bakterilerin maksimum büyüme oranlarından hiçbir negatif etki olmaz.

Eğer $B_{d,BOD,I} < 6.000$ kg/gün olan tesislerde ölçülen f_N değeri 1,8 in altındadır ve SF 1,45 e kadar düşebilir.

Yükün günlük olarak dengelenmesi için bir buffer (tampon) tankı planlanıyorsa güvenlik faktörünün $SF = 1.45$ den küçük varsaymamak iyi olur.

Nitrojen giderimi için önkoşul güvenli bir nitrifikasyondur. Nitrifikasyon ve denitrifikasyon için boyutlandırma çamur yaşı sonuçları:

$$T_{SS,aerob,dim} = SF * 3,4 * 1,103^{(T-15)} * \frac{1}{1 - \left(\frac{V_D}{V_{AT}}\right)} \text{ [gün]} \quad (3.2)$$

Günlük denitrifike olacak nitrat konsantrasyonu aşağıdaki gibidir:

$$S_{NO_3,D} = C_{N,IAT} - S_{orgN,EST} - S_{NH_4,EST} - S_{NO_3,EST} - X_{orgN,BM} \text{ [mg/l]} \quad (3.3)$$

Çıkıştaki organik nitrojen konsantrasyonu $S_{orgN,EST} = 2 \text{ mg/l}$ ye sabitlenebilir. Güvenli kısımda olmak için boyutlandırma için çıkıştaki amonyum içeriği, kural olarak, $S_{NH_4,EST} = 0$ varsayılır.

Biyokütleyle dahil olan nitrojen;

$$X_{orgN,BM} = 0,04 \text{ den } 0,05 \text{ e kadar} \times C_{BOD,IAT} \text{ [mg/l]} \quad (3.4)$$

Biyolojik reaktöre (ya da anaerobik karıştırma tankı) giden giriş akışındaki uygun BOD_5 ile $S_{NO_3,D} / C_{BOD,IAT}$ oranı elde edilir, böylece gerekli denitrifikasyon kapasitesi elde edilir.

Eşzamanlı ve aralıklı denitrifikasyon prosesi için aşağıdaki V_D/V_A hesaplaması uygulanabilir;

$$\frac{S_{NO_3,D}}{C_{BOD,IAT}} = \frac{0,75 \times OU_{C,BOD}}{2,9} \times \frac{V_D}{V_{AT}} \text{ [mgN/mgBOD}_5\text{]} \quad (3.5)$$

10° den 12° C aralığındaki sıcaklıklarda boyutlandırma için Tablo 3’de verilen denitrifikasyon kapasitesi değerlerinin kullanılması tavsiye edilir. $V_D/V_{AT} = 0,2$ den küçük ve $V_D/V_{AT} = 0,5$ den büyük denitrifikasyon hacimleri boyutlandırma için tavsiye edilmez.

Değişimli denitrifikasyon prosesli denitrifikasyon kapasitesi ön-anoksik bölge ve aralıklı denitrifikasyon arasındaki ortalama olarak varsayılabilir. 12° C den yüksek sıcaklıklar için denitrifikasyon kapasitesi 1° C başına %1 şeklinde artırılabilir.

Çizelge 3.9 : Sıcaklık 10°C den 12°C ye kadar olan kuru hava için denitrifikasyonun boyutlandırılması için standart değerler ve ortak koşullar (ATV-DVWK-A 131 E, 2000)

V_D/V_{AT}	$S_{NO_3,D}/C_{BOD,IAT}$	
	Ön-anoksik bölge denitrifikasyonu ve karşılaştırılabilir prosesler	Eşzamanlı ve aralıklı denitrifikasyon
0,2	0,11	0,06
0,3	0,13	0,09
0,4	0,14	0,12
0,5	0,15	0,15

Eğer boyutlandırma veya yeniden hesaplama KOİ temel alınarak yapılırsa, $S_{NO_3,D} / C_{COD,IAT} = 0,5 \cdot (S_{NO_3,D} / C_{BOD,IAT})$ şeklinde hesaplanabilir.

Eğer gerekli denitrifikasyon kapasitesi $S_{NO_3,D} / C_{BOD} = 0,15$ den büyük ise V_D/V_{AT} nin daha fazla artması tavsiye edilmez. Birincil çöktürme tankı hacminde azalma veya kısmi by-pass olup olmadığı araştırılmalıdır ve/veya eğer mümkünse amacı karşılamak için ayrı bir çamur arıtma yardımcı olur. Bir alternatif de ilave dışardan karbon eklenmesi için bir plan yapmaktır.

Fosfor giderimi, eşzamanlı (simültane) çökelme, ek biyolojik fosfor gideriminin eşzamanlı çökelme ile birleşmesiyle ve ön veya son çökelme ile olabilir.

Biyolojik fosfor giderimi için olan anaerobik karıştırma tankları, minimum 0.5'den 0.75 saate kadar temas süresi için maksimum kuru hava debisi ve geri devir çamur debisine göre boyutlandırılmalıdırlar. Biyolojik fosfor gideriminin kademesi temas süresinden başka geniş derecede biyodegrede olabilecek organik madde konsantrasyonunun fosfor konsantrasyonu oranına bağlıdır. Eğer kışın anaerobik hacim denitrifikasyon için kullanılırsa o zaman bu dönemde daha düşük bir fosfor giderimi olur.

Çöktülecek fosforun belirlenmesinde eğer gerekirse farklı çeşitteki yükler için aşağıdaki denge kurulmuştur:

$$X_{P,Prec} = C_{P,IAT} - C_{P,EST} - X_{P,BM} - X_{P,BioP} \quad [mg/l] \quad (3.6)$$

$C_{P,IAT}$, biyolojik reaktöre gelen giriş akışındaki toplam fosfordur. Çıkış konsantrasyonu ($C_{P,EST}$) ise çıkışta gerekli fosfor gereksimine ($C_{P,ER}$) bağlı olarak seçilmelidir; örneğin, $C_{P,EST} = 0,6$ dan $0,7$ ye $C_{P,ER}$. Heterotrofik biyokütlenin ($X_{P,BM}$) oluşması için gerekli olan fosfor $0,01 C_{BOD,IAT}$ veya $0,005 C_{COD,IAT}$ olarak belirlenmelidir. Normal bir evsel atıksuda ek biyolojik fosfor giderimi ($X_{P,BioP}$) için aşağıdakiler yerine getirilebilir;

- anaerobik üst akıntılı tanklarda $X_{P,BioP} = 0,01$ den $0,015 C_{BOD,IAT}$ veya $0,005$ den $0,007 C_{COD,IAT}$.
- eğer üst akıntılı anaerobik tanklarda düşük sıcaklıklarda, $S_{NO3,EST}$ 15 mg/l den büyük veya eşit olacak şekilde artarsa $X_{P,BioP} = 0,005$ den $0,01 C_{BOD,IAT}$ veya $0,0025$ den $0,005 C_{COD,IAT}$ olacak şekilde alınabilir.
- anaerobik tankı olmayan ön-anoksik bölge denitrifikasyonunda veya aşamalı besleme (step-feed) denitrifikasyonda ek biyolojik fosfor giderimi olarak $X_{P,Bio} \leq 0,005 C_{BOD,IAT}$ ya da $0,002 C_{COD,IAT}$ olarak alınabilir.
- eğer düşük sıcaklıklarda ön-anoksik bölgenin iç resirkülasyonu anaerobik tanka deşarj oluyorsa, $X_{P,Bio} \leq 0,005 C_{BOD,IAT}$ ya da $0,002 C_{COD,IAT}$ olarak hesaplanabilir.

Bir aktif çamur tesisinde üretilen çamur, katı maddenin ayrışması ve depolanması sonucu oluşur ve ayrıca fosfor gideriminden de çamur oluşur.

$$SP_d = SP_{d,C} + SP_{d,P} \text{ [kg/gün]} \quad (3.7)$$

Karbon gideriminden oluşan çamurun hesaplanması için Hartwig katsayılarını kullanarak aşağıdaki ampirik denklem kullanılabilir;

$$SP_{d,C} = B_{d,BOD} * \left(0.75 + 0.6 * \frac{X_{SS,IAT}}{C_{BOD,IAT}} - \frac{(1 - 0.2) * 0.2 * 0.17 * 0.75 t_{SS} * F_T}{1 + 0.17 * t_{SS} * F_T} \right) \text{ [kg/gün]} \quad (3.8)$$

Endojen solunum için sıcaklık faktörü:

$$F_T = 1.072^{(T-15)} \quad (3.9)$$

Fosfor gideriminden oluşan toplam çamur ($SS_{d,P}$) aşağıdaki gibidir:

$$X_{P,BM} = 0.01 * C_{BOD,IAT} \text{ [mg/l]} \quad (3.10)$$

$$SP_{d,P} = Q_d * 3 * \frac{X_{p,BioP}}{1000} \text{ [kg/gün]} \quad (3.11)$$

Üretilen toplam çamur;

$$SP_d = SP_{d,C} + SP_{d,P} \text{ [kg/gün]} \quad (3.12)$$

KOİ bazlı üretilen çamur ise şu formülle hesaplanabilir;

$$SP_{d,C} = Q_d * \left(\frac{X_{COD,SP}}{0.8 * 1.45} * 1.45 \right) / 1000 \text{ [kgSS/gün]} \quad (3.13)$$

Çamur hacim indeksi atıksuyun içeriğine ve havalandırma tankının karıştırma özelliğine bağlıdır. Ticari ve endüstriyel atıksuda bulunan yüksek oranda biyodegrede olmuş organik maddenin yüksek çamur hacim indeksi olur.

Çamur hacim indeksinin doğru olarak tahmin edilmesi boyutlandırma için önemli bir kısımdır. Eğer biyolojik proses modifikasyonu olmadan yalnızca ikincil çöktürme tankının genişletilmesi gerekiyorsa, boyutlandırma için çamur hacim indeksi için kritik mevsimler için işletme kayıtları baz alınmalı veya alternatif olarak günlerin en az %85'inin değeri olmalıdır. Bununla birlikte, eğer biyolojik proses modifikasyonları planlandıysa, işletme kayıtları ile birlikte Çizelge 3.10'daki değerler çamur hacim indeksinin tahmin edilmesinde yardımcı olur. Eğer geçmişte çamur hacim indeksleri $SVI > 180 \text{ l/m}^3$ olarak gözlendiyse azaltma önlemleri alınmalıdır.

Eğer yarım saat bekleme süresinden sonra çamur hacmi 250 ml/l yi geçerse çamur sıvısı son çıkış suyuyla seyreltilmelidir, böylece 100 ve 250 ml/l arasında çamur hacmi ölçülür. Seyreltme oranları hesaba katılarak seyrelmiş çamur hacmi DSV elde edilir. Eğer hiç kullanılabilecek veri yoksa, kritik işletme şartlarını hesaba katarak yapılacak boyutlandırmada Çizelge 3.10'daki değerler tavsiye edilmektedir.

Çizelge 3.10 : Çamur hacim indeksi için standart değerler (ATV-DVWK-A 131 E, 2000)

Aritma hedefi	SVI (Lkg)	
	Endüstriyel/ ticari atıksu girişine Uygun	Uygun olmayan
Nitrifikasyonsuz	100-150	120-180
Nitrifikasyonlu (ve denitrifikasyon)	100-150	120-180
Çamur stabilizasyonu	75-120	100-150

Çamur hacim indeksi için düşük değerler aşağıdaki koşullarda uygulanabilir;

- ön çöktürme olmadığında,
- bir selektör ya da anaerobik karıştırma tankı üst akışa yerleştirilirse,
- biyolojik reaktör kaskat (piston akışlı) olarak dizayn edildiyse.

Askıda katı madde (SS_{AT}) yoğunluğu ikincil çöktürme tankının boyutlandırılmasında belirlenir. Biyolojik reaktördeki gerekli askıda katı maddenin kütlesi:

$$M_{SS,AT} = t_{SS,Dim} * SP_d \text{ [kg]} \quad (3.14)$$

Biyolojik reaktörün hacmi aşağıdaki gibi elde edilir:

$$V_{AT} = \frac{M_{SS,AT}}{SS_{AT}} \text{ [m}^3\text{]} \quad (3.15)$$

Nitrife olacak amonyum nitrojen konsantrasyonunu $S_{NH_4,N}$ kullanarak çıkan ön-anoksik bölge denitrifikasyonu sonuçları için gerekli toplam resirkülasyon akış oranı (RC) aşağıdaki gibidir:

$$RC = \frac{S_{NH_4,N}}{S_{NO_3,EST}} - 1 \quad (3.16)$$

Karbon giderimi sonucu tüketilen oksijen miktarı;

$$OU_{d,C} = Q_d * (C_{COD,IAT} - S_{COD,inert,EST} - X_{COD,SP}) / 1000 \text{ [kgO}_2\text{/gün]} \quad (3.17)$$

Nitrifikasyon sonucu tüketilen oksijen miktarı;

$$OU_{d,N} = Q_d * 4,3 * (S_{NO_3,D} - S_{NO_3,IAT} - S_{NO_3,EST}) / 1000 \quad [kgO_2/gün] \quad (3.18)$$

Denitrifikasyon sonucu açığa çıkan oksijen miktarı;

$$OU_{d,D} = Q_d * 2,9 * S_{NO_3,D} / 1000 \quad [kgO_2/gün] \quad (3.19)$$

Saatlik oksijen ihtiyacı:

$$OU_h = \frac{f_C * (OU_{d,C} - OU_{d,D}) + f_N * OU_{d,N}}{24} \quad [kgO_2/saat] \quad (3.20)$$

Oksijen ihtiyacının belirlenmesinde azot ve karbon yüklerindeki günlük salınımlar dikkate alınmalıdır. Bu amaçla karbon için f_C , azot için f_N pik faktörleri kullanılır. Bu değerlerin belirlenmesi şu şekilde yapılabilir: İlk olarak, f_C değeri 1 kabul edilerek tasarıma esas çamur yaşına göre Çizelge 3.11'den f_N değeri seçilir ve bu değerler kullanılarak OU_h hesaplanır. Bu adımdan sonra, f_N değeri 1 kabul edilerek tasarıma esas çamur yaşına göre Çizelge 3.11'den f_C değeri seçilir ve bu değerler kullanılarak OU_h hesaplanır. Büyük olan OU_h sonucu saatlik hava debisi olarak kabul edilir.

Çizelge 3.11 : Oksijen ihtiyaç oranı için pik faktörler (ATV-DVWK-A 131 E, 2000)

Pik faktörler	Çamur yaşı (gün)					
	4	6	18	10	15	25
f_C	1,3	1,25	1,2	1,2	1,15	1,1
BOD _{d,BOD,I} için $f_N \leq 1200 \text{ kg/gün}$	-	-	-	2,5	2,0	1,5
BOD _{d,BOD,I} için $f_N > 6000 \text{ kg/gün}$	-	-	2,0	1,8	1,5	-

İkincil çöktürme tanklarında boyutlandırmanın temelleri; yağmur suyuyla birlikte maksimum giriş debisi (en yüksek ıslak hava debisi) $Q_{WW,h}$ (m^3/h), çamur hacim indeksi SVI (l/kg) ve ikincil çöktürme tankının girişindeki askıda katı madde konsantrasyonu SS_{EAT} (kg/m^3).

İkincil çöktürme tankının dizaynının yapılmasında aşağıdakiler belirlenmelidir:

- ikincil çöktürme tanklarının şekli ve boyutları,
- izin verilen çamur depolama ve yoğunlaştırma süresi,
- geri devir çamur debisi ve kontrolü,

- çamur ayırma sisteminin tipi ve işletme metodu,
- giriş ve çıkışın düzeni ve dizaynı.

Belirtilen boyutlandırma kuralları aşağıdakiler için uygulanır:

- uzunluğu ya da yarıçapı yaklaşık 60 m ye kadar olan ikincil çöktürme tankları,
- çamur hacim indeksi $50 \text{ L/kg} \leq \text{SVI} \leq 200 \text{ L/kg}$,
- seyrelmiş çamur hacmi $\text{DSV} \leq 600 \text{ L/m}^3$,
- geri devir çamur oranları

$$Q_{RS} \leq 0,75 \cdot Q_{WW,h} \quad (\text{yatay akışlı tanklar}), \text{ veya}$$

$$Q_{RS} \leq 1,0 \cdot Q_{WW,h} \quad (\text{dikey akışlı tanklar}),$$

- ikincil çöktürme tankının girişindeki askıda katı madde konsantrasyonu $\text{SS}_{\text{EAT}} \cdot \text{SS}_{\text{AT}} > 10,0 \text{ kg/m}^3$

İkincil çöktürme tankındaki çamur hacim indeksi ile birlikte yoğunlaştırma süresi (t_{Th}) dip çamurun askıda katı madde konsantrasyonunu belirler. Tavsiye edilen yoğunlaştırma süreleri Çizelge 3.12’de verilmektedir.

Çizelge 3.12 : Atıksu arıtma derecesine bağlı olarak tavsiye edilen yoğunlaştırma süresi (ATV-DVWK-A 131 E, 2000)

Atıksu Arıtma Tipi	Yoğunlaştırma süresi t_{Th}
Nitrifikasyonsuz aktif çamur tesisleri	1,5 – 2,0
Nitrifikasyonlu aktif çamur tesisleri	1,0 – 1,5
Denitrifikasyonlu aktif çamur tesisleri	2,0 – (2,5)

Yoğunlaştırma süresinin $t_{\text{Th}} = 2,0$ saati aşması biyolojik reaktörde çok ileri bir denitrifikasyon gerektirir. Bu yoğunlaştırma süreleri sadece düşük çamur hacim indeks değerleri ve küçük çamur geri devir oranına uygun olarak sağlanır.

Dip çamurda ulaşılması gereken askıda katı madde konsantrasyonu SS_{BS} (çamur ayırma akışında ortalama askıda katı madde konsantrasyonu) çamur hacim indeksi SVI ve yoğunlaştırma süresi t_{Th} a bağlı olarak ampirik şekilde aşağıdaki gibi tahmin edilebilir.

$$\text{SS}_{\text{BS}} = \frac{1000}{\text{SVI}} * \sqrt[3]{t_{\text{Th}}} \quad [\text{kg/m}^3] \quad (3.21)$$

Havalandırma ve ikincil çöktürme tankının işletme şartları, karşılıklı olarak ikincil çöktürme tankına giden giriş suyundaki askıda katı madde konsantrasyonunun SS_{EAT} , geri devir çamuru askıda katı madde konsantrasyonunun SS_{RS} ve bunların yanında geri devir oranının $RS = Q_{RS}/Q$ birbirlerine bağlı olmasından etkilenmektedir. Denge durumu için $X_{SS,EST}$ ihmal edilirse, askıda katı madde dengesinden çıkan aşağıdaki sonuç elde edilir.

$$SS_{AT} = \frac{RS * SS_{RS}}{1 + RS} \quad [kg/m^3] \quad (3.22)$$

İkincil çöktürme tanklarını ve havalandırma tanklarının boyutlandırılmasında maksimum geri devir çamur debisi $Q_{RS} = 0,75 \cdot Q_{WW,h}$ temel alınır. İşletmeye ait sebeplerden dolayı geri devir çamuru pompalarının genel kapasitesi (yedek dahil), geri devir çamuru debisi $Q_{RS} = 1,0 \cdot Q_{WW,h}$ olacak şekilde tasarlanmalıdır.

Yüzey savak oranı q_A çamur hacmi yük oranı q_{SV} ve seyrelmiş çamur hacminden DSV hesaplanır:

$$q_A = \frac{q_{SV}}{DSV} = \frac{q_{SV}}{SS_{EAT} * SVI} \quad [m/sa] \quad (3.23)$$

$X_{SS,EST}$ askıda katı madde konsantrasyonunu ve oluşan KOİ ve fosfor konsantrasyonunu yatay akışlı ikincil çöktürme tanklarının çıkış suyunda düşük tutabilmek için aşağıdaki çamur hacmi yük oranı q_{SV} aşılmamalıdır:

$$X_{SS,EST} \leq 20 \text{ mg/l için } q_{SV} \leq 500 \text{ l / (m}^2 \cdot \text{saat)}$$

Ana olarak düşey akışlı ikincil çöktürme tanklarında, kapalı bir çamur battaniyesinin oluşmasında veya kolayca yumaklaşan aktif çamurda aşağıdaki uygulanır:

$$X_{SS,EST} \leq 20 \text{ mg/l için } q_{SV} \leq 650 \text{ l / (m}^2 \cdot \text{saat)}$$

Baskın yatay akışlı ikincil çöktürme tanklarında yüzey savak oranı q_A 1,6 m/saat'i geçmemelidir ve baskın düşey akışlı ikincil çöktürme tanklarında yüzey savak oranı q_A 2 m/saat'i geçmemelidir.

Gerekli olan ikincil çöktürme tanklarının yüzey alanı aşağıdaki gibidir:

$$A_{ST} = \frac{Q_{WW,h}}{q_A} \quad [m^2] \quad (3.24)$$

Genellikle sadece yatay akışlı ikincil çöktürme tanklarında giriş dağıtım bölgesi için ilave bir alan gerekmektedir. Dağıtım bölgesinin uzunluğu yaklaşık olarak tankın yan duvarının derinliğine eşittir.

Dikey akışlı ikincil çöktürme tanklarının etkili yüzey alanı, giriş deliği ile su seviyesinin orta noktasında olur.

İkincil çöktürme tanklarının birçok prosesleri, fonksiyonel vaziyetteki etkili hacimlerin yardımıyla açıklanmıştır.

İkincil çöktürme tanklarının gerekli derinliği fonksiyonel bölgelerin özel kısmi derinliğinden hesaplanır:

h_1 : temiz su bölgesi

h_2 : ayırma bölgesi/ geri devir bölgesi

h_3 : yoğun akış ve depolama bölgesi

h_4 : yoğunlaştırma (thickening) ve çamur ayırma bölgesi

Toplam havuz derinliği = h_{tot} ;

$$h_{tot} = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 \quad [m] \quad (3.25)$$

h_1 , temiz su bölgesi olup, min 0,5 m olmalıdır.

Ayırma/geri devir akış bölgesi, geri devir çamurunu da kapsayan ve serbest su hacmine bağlı giriş akışının bekleme süresi 0,5 saat olacak şekilde boyutlandırılmalıdır. Bundan çıkan sonuç:

$$h_2 = \frac{0.5 * q_A * (1 + RS)}{1 - DSV/1000} \quad [m] \quad (3.26)$$

Yoğun akış ve depolama bölgesinde ortaya çıkan atıksu-çamur karışımı, yüksek yoğunluğundan dolayı aşağıdaki çamur tabaksına doğru batar ve buradan da tankın dış köşesine doğru akar. Burada, tanktaki maksimum akışlar meydana gelir. Yağış suyunun artmasıyla yoğun akış ve depolama bölgesi genişler. Yüksek çamur oranı seçilmesine rağmen havalandırma tankından gelen çamur depolanır.

Yoğun akış ve depolama bölgesi öyle boyutlandırılmalıdır ki, yağışlı havalarda $Q_{WW,h}$ havalandırma tankından gelen 500 l/m^3 yoğunluk değerinde ilave çamurun hacmi ($0,3 \cdot SS_{EAT} \cdot SVI$) ile hesaplanır. Bu dönemde yoğunlaştırma bölgesinde

aktif çamur çöker ve ikincil çöktürme tankının yüzey alanında A_{ST} dağıldığı varsayılır.

Yoğun akış ve depolama bölgesinin derinliği aşağıdaki gibidir:

$$h_3 = \frac{1.5 * 0.3 * q_{SV} * (1 + RS)}{500} \quad [m] \quad (3.27)$$

Çöken çamurun yoğunlaşması yoğunlaştırma ve çamur ayırma bölgesinin dibinde meydana gelir. Burada bir çamur tabakası mevcuttur ve bu çamur, çamur hunisine dökülür.

Yoğunlaştırma ve çamur ayırma bölgesi, yoğunlaştırma süresi t_{Th} olan askıda katı madde konsantrasyonu SS_{EAT} olan giriş çamur yükünün dip çamur konsantrasyonu SS_{BS} kadar yoğunlaşacağı kadar büyük olmalıdır. İkincil çöktürme tankının yüzeyinde çamur kütlesinin düzgün yayılacağını varsayarsak yoğunlaştırma ve çamur giderme bölgesinin yüksekliği:

$$h_4 = \frac{SS_{EAT} * q_A * (1 + RS) * t_{Th}}{SS_{BS}} \quad [m] \quad (3.28)$$

Yatay akışlı ikincil çöktürme tanklarının eğimli tank dibi ile birlikte hesaplanmış toplam derinliği h_{tot} , akış yönü veya yarıçapın üçte ikisi olacak şekilde tutulmalıdır. En az 3 m olmalıdır. Dairesel ikincil çöktürme tanklarında yan kenar su derinliği 2,5 m den az olmamalıdır.

3.2.2 BioWin simülasyonu

BioWin biyolojik atıksu arıtma tesislerinin tasarım ve analizinde kullanılan kapsamlı bir simülasyon programıdır. Program proses tarasarımcıları ve işletme operatörlerine değerlendirme aracı olarak geliştirilmiştir. BioWin ile kompleks atıksu arıtma tesis konfigürasyonlarının davranışı ve analizi tek veya çeşitli veri girişi ile analiz edilebilmektedir. BioWin’de Barker ve Dold tarafından biyolojik nütrient gideren aktif çamur sistemleri için geliştirilen genel model ve diğer modellerden (ASM1, ASM2 ve ASM3 gibi) çeşitli modifikasyonlar kullanılmaktadır (Liwarska-Bizukojc ve diğ., 2013). Biowin’de kullanılan proses modelleri hakkında bilgi eklerde sunulmuştur.

3.3 Deneysel Çalışmalar

3.3.1 Kimyasal analizler

3.3.1.1 İletkenlik, pH ve tuzluluk tayini

Parametreler ilgili cihazlar ile doğrudan okunmuştur. SM 2510 B, SM 4500 H⁺ B ve SM 2520 standart metodları tayinlerde uygulanmıştır. WTW Multiline P4, WTW PH SenTix41, Hach-Lange HQ30D Flexi ve Hach-Lange HQ40D Multi cihazları tayinlerde kullanılmaktadır.

3.3.1.2 Alkalinite tayini

Bir suyun alkaliliği HCO₃, CO₃ ve OH ile Borat, silikat, fosfat ve organik maddelerin mevcudiyetinden ileri gelir. Alkaliliği oluşturan en önemli elemanlar Ca ve Mg bikarbonatlardır. Alkaliliğin insan sağlığı üzerinde bilinen zararlı etkileri olmamakla birlikte, gereğinden yüksek alkali suların fena bir tadı olması bakımından istenmediği gibi, yüksek pH, sertlik ve aşırı çözünmüş katılarla ilişkili alkalilik zararlıdır.

Alkalilik suyun proton alma kapasitesidir. Suyun alkaliliğini, özellikle kapsamındaki karbonat, bikarbonat ve hidroksil iyonları meydana getirir. Sudaki miktarları az olmakla beraber borat, fosfat ve silikat gibi asit kökleri de suyun alkaliliğini etkiler.

Alkalinite 2 indikatör ve asit titrasyonu ile veya elektro metrik metotlarla tayin edilebilir. Bu çalışmada tayin SM 2320 B ve SM 4500-H⁺ B standart metodlarına uygun olarak yapılmıştır.

3.3.1.3 Uçucu yağ asidi (UYA) tayini

Evsel ve endüstriyel atıksuda Uçucu Yağ Asidi (UYA) analizi üç noktalı titrasyon yöntemi ile gerçekleştirilir. Method, Buchauer K. (1998) 'un tariflediği yöntem ile uygulanmıştır. Filtrelenmiş numune pH 4.0'a gelinceye kadar sülfürik asitle titre edilir.

3.3.1.4 Toplam askıda katı madde (TAKM) tayini

AKM tayininde iyice karıştırılmış numune, tartımı alınmış standart bir cam-elyaf filtreden geçirilir ve filtre, üzerinde kalan maddelerle birlikte 103-105 °C'de sabit tartıma gelene kadar kurutulur. Filtre kağıdının ağırlığındaki artış miktarı, toplam askıda katı maddeyi temsil eder. Toplam askıda katı madde analizi sonucu filtre

kağıdında kalan kalıntı, 550 °C’de sabit tartıma gelinceye dek yakılır. Yakma sonucu uçucu katıların uzaklaşmasıyla sabit askıda katı madde elde edilir. Tayin SM 2540 D standart metoduna uygun olarak yapılmıştır.

3.3.1.5 Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) tayini

KOİ, açık reflaks (Open Reflux) metodu ile SM 5220 B (APHA, 2005) standart meodu ile tayin edilir. İyice karıştırılmış numunenin kuvvetli asit ortamında, kuvvetli bir oksitleyici olan $K_2Cr_2O_7$ ile kaynatılarak oksitlenmesi sağlanır. 2 saatlik bir kaynama sonunda, kalan oksitleyicinin miktarının standart indirgen madde (Demir amonyum sülfat) çözeltisi ile volumetrik yoldan saptanması esasına dayanır.

3.3.1.6 Toplam azot (TN) tayini

Yöntem bağlı azotun oksijen atmosferinde ve 700°C’nin üzerindeki sıcaklıkta katalitik yakılması ve azot oksitlere yükseltgendikten sonra kemilüminesans detektör ile tayin edilmesi esasına dayanır. Tayinde HIMADZU TOC-VPEN cihazı kullanılır. Cihazın ölçüm aralığı 0 - 4000 mg/L’dir. Metodun kaynağı DIN EN 12260:2003 olup TS EN 12260 Türk standartına uygun tayin yapılmıştır.

3.3.1.7 Toplam fosfor (TP) tayini

Otoanalizörde fosforun belirlenmesi şu reaksiyona dayanır; numune potasyum peroksodisülfat ile karıştırılır. Organik fosfat UV ışık ile parçalanır. Numune sülfürik asit ilavesiyle 107°C’ye ısıtılır. Kompleks inorganik fosfatlar orto-fosfata parçalanır. Sodyum hidroksit ile nötralize edildikten sonra çözelti distile suya karşı diyaliz edilir. Potasyum antimonil tartarat amonyum heptamolibdat ile katalize bir fosfo-molibdik asit kompleksini oluşturmak üzere asidik ortamda fosfat çözeltileriyle tepkimeye girer. L-askorbik asit ile yoğun mavi renkli kompleks meydana gelir. Oluşan bu kompleks 880 nm’de ölçülür. Tayinde Skalar Otoanalizör cihazı kullanılmıştır. Cihazın ölçüm aralığı 0,2 - 2 mg/L’dir. Tayin kaynağı SM 4500P F standart metodudur.

3.3.2 Mikrobiyolojik analizler

Geleneksel olarak normalde aktif çamur evsel atıksudan geliştirilir ve çok çeşitli mikroorganizmaları (karışık kültür) bir arada tutar. Bunların belli başlı gruplarını öbakteriler (gerçek bakteriler, prokaryotikler, ayrıştırıcılar), arkaik bakteriler (arke

bakterileri, ekstrem koşullarda yaşayabilen eski bakteriler), virüsler (konukçu hücrelerde hücre içi obligat, zorunlu parazitler), protozoalar (ökaryotikler, hayvan hücresi benzeri hücreler), algler (ökaryotikler, fotosentetik hücreler), mantarlar (ökaryotikler, funguslar, mayalar ve küfler, ayrıştırıcılar), rotiferler (ökaryotikler), nematodlar (ökaryotikler), annelidler (ökaryotikler), tartigradlar (ökaryotikler), kabuklular (ökaryotikler) ve daha yüksek hayat formları oluşturur.

Bu grupların, cinslerin ve türlerin popülasyon sayıları, çeşitleri ve etkinlikleri atıksuyun karakterine, işletme koşullarına ve sistemin bulunduğu coğrafik şartlara göre değişebilmektedir. Bu araştırmada kullanılan aktif çamur evsel atıksu arıtan biyolojik bir tesisin (bir miktar endüstriyel atıksu karışımı) havalandırma havuzu ve geri devir çamurundan alınmıştır. Sisteme verilen bu aktif çamur incelemelerinde çok çeşitli mikroorganizmalar tespit edilmiş ve zaman içerisinde değişiklikler gözlenmiş ve tespit edilmiştir. Bu durumu daha iyi irdeleyebilmek için aktif çamur hakkında aşağıda verilen genel bilgilerin bilinmesinde fayda bulunmaktadır.

Aktif çamur atıksu içerisinde bulunan inorganik ve organik maddeleri uzaklaştıran veya çevreye verilebilecek formlar haline çeviren mikrobiyolojik olarak zenginleştirilmiş kültür olup mikro- ve makro-organizmaların bir karışık kültürüdür. Bu karışık kültürün %95'ini bakteriler ve %5'ini daha yüksek organizasyonlu canlılar (ökaryotik hücreler, protozoalar, rotiferler ve daha yüksek organizasyonlu omurgasızlar) oluşturmaktadır (Jenkins ve diğ, 2003; Seviour ve Blackall, 1999; Bitton, 1994).

Tipik bir aktif çamur flok yapıcı bakteriler, serbest bakteriler, filamentli organizmalar ve diğer sözünü ettiğimiz ökaryotik hücre tipli mikroorganizmalardan oluşmaktadır. Filamentli mikroorganizmaların üzerlerine flok-yapıcı bakterileri (*Zoogloea ramigera* ve *Citromonas* sp.) hücre dışı polimerlerinin yardımıyla tespit etmesiyle aktif çamur floklarını oluştururlar. Bu yapıda filamentler flokun sıkı ve kuvvetli olması için yapı taşı olarak görev yapar. Aktif çamurda filamentli mikroorganizmaların çok fazla sayıda bulunması aktif çamur sisteminin işletim parametrelerinin birinde, birkaçında ve/veya birçoğunda dengesizlikler, bozukluklar veya bu koşulları tetikleyen durum veya durumların oluştuğunun göstergesidir. Kabaran çamurda filamentlerin sayısı çok miktarda olup (normal olarak 5-10 filament/flok) flok dışına uzanarak flokların çökme ve sıkılaşmasına engel teşkil ederler. Filamentlilerin yokluğunda ise floklar küçük olup kolayca çöker ancak su

fazı (süpernatant) bulanık kalır ki bu durum “pin point” olarak bilinir. Arzu edilen durum ise filamentli ve flok yapıcı organizmaların bir “denge” içinde çoğalması durumudur ki aktif çamur hızla çöker, sıkı floklardan oluşur ve düşük çamur hacim indeksli (ÇHİ) berrak süpernatant verir (Sezgin ve diğ, 1978; Jenkins ve diğ, 2003).

Aktif Çamur Bakterileri (Prokaryotik Mikroorganizmalar)

Aktif çamur sisteminin en önemli mikroorganizma grubunu oluşturan bakteriler çok değişik türleri ve etkinlikleri içerirler. Aerobik, anaerobik ve fakültatif bakteriler tek tek bulunabildikleri gibi bir arada floklar oluşturarak da faaliyette bulunurlar. *Vibrio cholerae* (kolera), *Shigella dysenteriae* (dizanteri), *Salmonella typhi* (tifo), *Escherichia coli* (ishal) gibi ve diğer bilinen tüm hastalık yapıcı bakterileri (patojenler), azot çevriminde önemli olan özellikle nitrifikasyon ve denitrifikasyon bakterileri (*Nitrosomonas sp.* ve *Nitrobacter sp.*), fosfor depolayan bakterileri (*Acinetobacter sp.*, *Aeromonas sp.*, *Pseudomonas sp.* ve diğerleri), sülfür bakterileri (*Thiobacillus sp.*, ve diğerleri), flok yapıcı bakterileri (*Zoogloea ramigera* ve *Citromonas sp.*), filamentli bakterileri (*Nocardia sp.*, *Microthrix parvicella*, *Sphaerotilus natans*, *Beggiatoa sp.*, *Haliscobenobacter hydrossis*, *Nostocoida limicola*, *Thiothrix sp.* gibi 30 dan fazla tür) ve diğer pek çok çeşitteki bakterileri *Streptococcus*, *Staphylococcus*, *Azotobacter*, *Micrococcus*, *Bacillus*, *Alcaligenes*, *Bacteroides*, *Enterobacter*, *Flavobacterium*, *Achromobacter*, *Chromobacterium*, *Arthrobacter*, *Acinetobacter*, *Mycobacterium*, *Lophomonas*, *Leptomit*, *Leucothrix*, *Microscilla*, *Flexibacter*, *Vitreoscilla*, *Geotrichum candidum*, *Lineola longa*, *Pelonema subtilissum*, *Spirulina albida*, aktif çamur sistemi yapısında bir arada tutulurlar (Bitton, 1994; Seviour ve Blackall, 1999; Eikelboom, 2000; Jenkins ve diğ, 2003).

Aktif çamur pek çok fekal orijinli patojenleri ve diğer kemoheterotrofik, kemoototrofik, filamentli bakterileri ve az miktarda fotoheterotrofik ve fotoototrofik gibi çok çeşitli önemli bakteriyel mikroorganizmaları barındırır. Ayrıca çok az ve nadiren de olsa bazı durumlarda mavi-yeşil (*Cyanobacteria*) alglerden bazılarını barındırabilir. Bunlar hava-su fazı kesiminde yapışkan bir film (biyofilm) oluşturarak reaktörlerde bulunabilirler.

Ayrıca moleküler tekniklerin gelişmesiyle yeni yeni tespit edilen birçok tür aktif çamur sistemi içerisinde bol miktarda bulunabilmektedir (Seviour ve Blackall, 1999; Eikelboom, 2000).

Aktif Çamur Protozoaları (Ökaryotik Mikroorganizmalar)

Doğal geliştirilmiş ve aklımasyonu yapılmış aktif çamur içerisinde çok çeşitli silli, kamçılı, amoboid veya tutunmuş-saplı protozoa türleri bulunabilir. Bu grupların bulunması sistemin işletilmesi ve atıksu girişine bağlı olarak tür çeşitliliği ve popülasyonunda artışlar veya azalmalar halinde kendilerini gösterebilir. Bu durum genelde taze aktif çamurlarda veya taze evsel atıksu girişi olan tesislerde serbest hareket eden protozoaların tür çeşitliliğinde artış olarak ve çamur bekletme süresi uzun olan tesislerde ise tutunmuş-saplı protozoaların (attached protozoa) kolonilerinin görülmesi şeklinde ortaya çıkmaktadır. Protozoalar genelde bakterilerle beslenirler ve ayrıca katı organik partikülleri ve diğer kendilerinden daha küçük protozoaları yedikleri olur ve son çıkışta bulunmaları durumunda floküle olmamış bakterileri tüketerek son çöktürme çıkış kalitesinin artmasına yardımcı olabilirler. Protozoaların bakterileri tüketmesi ayrıca sistemde bulunan ve biriken zehirli maddelerin varlığıyla da ilişkilidir ve zehirli madde bulunması kısa sürede sayılarının azalmasına ve sistemden kaybolmalarına yol açar. Yani zehirli maddelerin varlığında sistemde en önce ve en fazla etkilenen ökaryotik mikroorganizmalardır ve protozoalar bunların önemli göstergelerindendir. Protozoaların sistemdeki toplam sayıları 100-100000 adet/ml ve her bir tür de yaklaşık 500-5000 adet/ml kadar olabilir (Jenkins ve diğ, 2003).

Sporlu Protozoalar: *Cryptosporidium parvum* ve *Giardia lamblia* gibi önemli iki protozoa türünün trofozoit formları (beslenen olgun hücreler) ile oosistleri ve kistleri parazitik olup birçok arıtma metotlarına da dirençlidirler. Bu *Cryptosporidium* oosistleri ve *Giardia* kistleri normal klor dezenfeksiyonlarına dayanıklı ve kum filtrelerinin gözeneklerinden daha küçük boyutlu olduklarından son çöktürmeden kaçabilmektedir (Bitton, 1994; Jenkins ve diğ, 2003).

Amipler: Patojeniktirler (amipsel dizanteri gibi hastalıklara neden olurlar) ve yalancı ayaklarıyla (pseudopodlarıyla) amipsel hareket gösteren bu protozoalar sistemde sıkça rastlanmaktadır. Genelde düşük çözünmüş oksijen seviyelerine karşı tolerans

gösterebilirler. *Amoeba proteus* atıksularda ve aktif çamur sistemlerinde sık görülen bir rhizopoddur (Jenkins ve diğ, 2003).

Serbest Silli Protozoalar (Free Ciliated Protozoa): Boyutları genelde 20-400 µm kadar oval ve yuvarlak şekillidirler. Silli protozoaların en önemli özelliği katı gıda partiküllerini ve serbest bakteri hücrelerini yemeleridir. Serbest yüzücüler içerisinde silliler oldukça büyük protozoalar olup bunlardan *Paramecium* spp. (Terliksi hayvan), *Litonotus fasciola* (Şişe Tipli Protozoa, *Litonotus* olarak da bilinir), *Trachelophyllum pusillum* (düz hücre yapılı ve ağzının etrafında siller görülebilir), *Spirostomum* sp. (en büyük silli protozoalardan birisi, hücresinin her tarafı sillerle doludur), *Chilodonella* spp., *Colpidium* spp. önemli türlerindendir (Eikelboom, 2000; Jenkins ve diğ, 2003).

Emekleyen Silli Protozoalar (Crawling ciliated protozoa): Bu grupta floklar ve organik katı partiküller üzerinde yaşayan ve beslenen protozoalar yer almaktadır. En önemli türlerinden *Aspidisca costata*, *Aspidisca cicada* ve *Euplotes moebiusi* özellikle iyi aktif çamur göstergesi olarak kabul edilmektedir (Eikelboom, 2000; Jenkins ve diğ, 2003).

Tutunmuş Silli Protozoalar (Attached Ciliated Protozoa): Bu protozoalar genelde aktif çamur floklarına bağlanmış veya tutunmuş olarak bulunurlar. Bazıları tekil bazıları koloniler halinde bulunurlar. Tutunmuş silliler genelde dengede ve sabit olarak işletilen tesislerde görülmektedir. Eğer sistem yüksek çamur yaşlarında işletiliyorsa genelde koloniler halinde görülürler. Bu grup türleri içerisinde *Vorticella convallaria*, *V. campanula*, *V. microstoma*, *V. fromenteli*, *V. picta*, *Opercularia microdiscus*, *O. coarctata*, *Epistylis* spp., *Carchesium polypinum*, *Tokophrya* spp., *Vaginicola* spp. türleri tekli, ikili ve yüzlerce bireyden oluşan koloniler meydana getirebilirler (Eikelboom, 2000; Jenkins ve diğ, 2003).

Kamçılı Protozoalar (Flagellated protozoa): Vücutlarında bulunan genelde tekli veya çoklu kamçı tipli iplikçikleriyle serbest hareket ederler. Bu kamçılar oldukça uzun ve kırılmandır. *Pleuromonas* spp., *Hexamitus* spp., *Monosiga* spp., *Bodo* spp., ve *Tripanosoma* spp. (uyuma hastalığı yapar) önemli gösterge türleridir. Örneğin kistli protozoa *Giardia lamblia* 'nın 4 çift kamçısı bulunmaktadır. Genelde çok fazla flok olmadığı durumlarda rahatça yüzdüklerinden sistemin yeni kurulma aşamalarında fazla sayılarda görülürler (Eikelboom, 2000; Jenkins ve diğ, 2003).

Aktif Çamur Rotiferleri (Ökaryotik hücre)

Rotiferler aktif çamur sisteminin en önemli üçüncü grubunu oluşturan omurgasız hayvanlardır. Boyları yaklaşık 100-500 µm dir. Protozoalar gibi bakteri, organik partiküler maddeleri ve küçük protozoaları yerler. Bunlar genelde kontraktıl uzantıları ile floklara tutunan veya çok yavaş hareket eden aerobik, heterotrofik ve çok hücreli hayvanlardır. Rotiferleri şekilleri, (keseli, küresel, kurtçuk şeklinde) boyutu gonadlarının sayısı, ayak oluşumu, parmak sayısı ve koruyucu zırhı tanımlamasında ve tanınmalarında yardımcı olur. Rotiferler çok düşük BOİ yüklemelerindeki şartlarda görülür. Yüksek verimin ifadesidirler. Rotiferlerin bulunması uzun havalandırmalı sistemlerde olduğu gibi tam oksidasyona yaklaşıldığını ve aktif çamur sisteminin dengede olduğunu iyi bir göstergesidir. En önemlileri *Epiphanes* spp., *Euchlanis* spp., *Monostyla* sp., *Filinia* spp., *Philodina* spp., *Habrotrocha* spp., *Monogonanta* spp., *Lecane inermis* türleri sayılabilir (Bitton, 1994; Eikelboom, 2000; Jenkins ve diğ, 2003).

Mantarlar (Fungi)(Ökaryotik)

Mantarların tek hücrelilerine maya (yeast) ve çok hücrelilerine küf (mold) denmektedir. Ayrıca çok büyük olan zehirli ve yenebilen zehirsiz mantarlar bu grupta yer almaktadırlar. Ancak büyük olanlar genelde Mycology konusu ve grubunda incelenmektedir. Burada bahis konusu olanlar mikroorganizma olarak aktif çamurlarda görülebilen türleri içermektedir. Bunların trikomları oldukça büyüktür ve gerçek çekirdekli (Ökaryotik hücreler) dir. Boyutları 3-8 µm çapında ve 300-1000 µm uzunlukta, çoğunlukla flock içerisinde bulunurlar. Hücreleri dikdörtgen şekilli (3-8 x 5-15 µm), hücre içi granülleri ve organelleri olan ve sitoplazmik akıntıları bulunan organizmalardır. Filamentlerde gerçek dallanma görülür. Gram ve neisser boyama reaksiyonları negatiftir. Kılıf yoktur ve sülfür granülleri bulunmaz ancak yoğun bir hücre duvar yapıları göze çarpar. Genellikle pH 5,5-6-5 asidik aralığını ve nütriyentleri (azot ve fosfor) bakterilerden daha düşük oranda tercih eden mantarların en önemlileri içerisinde *Aspergillus*, *Geotrichum*, *Penicillium*, *Cephalosporium*, *Cladosporium*, *Alternaria* cinslerine ait türler oluşturmaktadır. Mantarlar kolay ayrışabilen karbohidratlı karbon kaynağı olan, azot oranı düşük ve pH sı hafif asidik (pH=5-6) olan atıksularda bakterilerle yarışma içerisine girebilirler ve üstünlük sağlayabilirler. Mantarlar, bakterilerle birlikte doğanın (organik maddelerin) gerçek

ayırıştırıcıları (decomposer) olarak görev yaparlar (Seviour ve Blackall, 1999; Eikelboom, 2000; Jenkins ve diğ, 2003;).

Nematodlar, Tartigratlar ve Annelidler (Ökaryotik hücreler)

Nematodlar yuvarlak solucanlar veya ipliksi solucanlar yuvarlak yapıda ve uzun ipliksi görünümlü, serbest yaşayan boyları 500-3000 µm boyunda ve çapları 1-20 µm olup çok değişken sayılarda arıtma sistemlerine giren omurgasızlardır. Uzun, silindirik ve iki uca doğru gittikçe incelen bir vücut yapıları vardır. Dişileri erkeklerinden daha büyüktür ve erkeklerin arka ucu kıvrıktır. *Aphelenchida*, *Ascaridida*, *Spirurida* gibi pek çok sınıf üyeleri vardır ve dünyadaki en fazla bulunan omurgasızlardır. *Enterobius vermicularis* tip örneklerdendir. Nematodlar flok partikülleri üzerinde kamçı hareketine benzer hareket gösterirler. Arıtma sistemlerinde nematodların bulunmaması bir toksik (zehirli) maddenin varlığının ilk biyolojik göstergesidir. Bu maddeler arıtma sisteminin içerisinde de zamanla oluşabilir. Taze evsel atıksularda genelde çoktur ve bu yüzden atıksu arıtma tesislerinde bolca rastlanır. Yüksek çamur yaşlarını ve organik madde içeriği yüksek atıksuları tercih ettikleri söylenmektedir. Boyları genelde 0,1-1 mm ve uygun ortamlarda daha da büyüyebilirler (Seviour ve Blackall, 1999; Jenkins ve diğ, 2003).

Tartigratlar (Su Ayıları, Yavaş Adımlılar) Latince tardus:yavaş ; gradi:adımlamak anlamına gelir. *Macrobiotus* spp. türleri iyi bir performans gösteren dengedeki aktif çamur sistemlerinde ve *Echiniscus virginicus*, *Hypsibius dujardini*, *Isohypsibius lunulatus* gibi türler de görülebilir. Omurgasızdırlar ve 4 çift (8 adet) kısa bacakları bulunur. Boyları genelde 0,1-1 mm ve daha büyük olabilirler. Özellikle amonyak zehirliliğine karşı hassastırlar (Seviour ve Blackall, 1999; Eikelboom, 2000; Jenkins ve diğ, 2003).

Annelidler omurgasız, hermafrodit yapıda, rejenerasyon yetenekleri son derece gelişmiş toprak solucanı, sülük gibi halkalı solucanları kapsamaktadır. Annelid'ler içerisinde oligoketlerden *Aelosoma hemprichi* ve *Nais* spp. türlerine ait üyeler aktif çamur sistemlerinde zehirli madde olmadığı durumlarda çoğalarak sayılarını ve boyutlarını arttırdıkları gözlemlenmiştir. Özellikle kırmızı renkli göz noktaları bulunmaktadır. Nematodlardan 3-5 kat daha büyük boyutta bulunmaktadır. Annelidler ve Tartigratlar genelde amonyak zehirliliğine duydukları hassasiyet

dolayısıyla nitrifikasyon yapan aktif çamurlarda daha fazla rastlanmaktadır (Bitton, 1994; Seviour ve Blackall, 1999; Eikelboom, 2000; Jenkins ve diğ., 2003).

Kabuklu (Crustacea) mikroorganizmalar eklembacaklılar (Arthropoda) sınıfında yer alırlar ve genelde normal işleyen aktif çamurlarda görülmemektedir. Bazı salyangozlar (kabuklu olanları) ve sümüklü böcekler Yumuşakçalara (Mollusklar) ait olup aktif çamurun hava ile temas ettiği yerlerde ve duvarlarda gelişen algleri yemek üzere görülebirlirler (Jenkins ve diğ., 2003).

3.3.2.1 Metodoloji

Mikroskobik ve diğer mikrobiyolojik incelemeler için gerçekte birkaç ml numune yeterlidir. 20-25 ml'lik temiz ve steril tüplere veya şişelere 5-10 ml numune konarak (septik koşulların oluşmasını önlemek için hızlıca laboratuvara veya incelenecek yere götürülmesi önemlidir) mikroskobik analiz için laboratuvara getirilir. Numunelere ökaryotik mikroorganizmaların, diğer bakteri, flok ve filamentli mikroorganizmaların özelliklerini bozmamak için kimyasal koruyucular konmaz veya dondurulmaz. Numuneler derhal incelemeye alınmalıdır veya inceleninceye kadar +4°C'de saklanmalıdır. Filamentli organizmaların boyama reaksiyonları uzun bekletme sürelerine oldukça hassastır. Eğer incelemeye kadar uzun taşıma zamanı geçecek ise numune alındığında 2-3 adet havada kurutulmuş preparat hazırlanması iyi olur.

Numunelerin canlı mikroskobik incelemesinde 40X, 100X, 200X, 400X ve 1000X'lik faz kontrast ve/veya aydınlık saha araştırma mikroskobu yeterlidir. Bununla birlikte mekanik tablalı, fotoğraf veya videolu görüntüleme sistemine sahip binoküler veya trinoküler mikroskoplar arşiv yapmada faydalıdır. Bir oküler mikrometre ve objektif mikrometre boyut ölçüm ve sayımların yapılmasında yardımcı olmaktadır. Ayrıca yeni bilgisayar programları sayma ve ölçüm analizlerinde kullanılabilmektedir. Filamentlerin tayininde rutin olarak iki boyama metodu kullanılmaktadır: 1) Gram Boyama, 2) Neisser Boyama. Bu parametreler dışında birçok farklı analiz metodları uygulanmaktadır. Bunların içinde en çok kullanılan testler, sülfür oksidasyonu ve filament içinde bulunan sülfür granülleri için "S testi", filamentlerin kılıfı için "kılıf boyama", hücre dışı (ekzosellüler) polimerik maddelerin boyanması için "Tersine Boyama" dır.

Mikroskop inceleme için alınan numune iki adet lam üzerine birer damla olarak damlatılır ve lamaların yarı alanını kaplayacak şekilde düzgünce yayılır. Bu lamalar

havada kurumaya bırakılır (alevde kurutulmaz). Burada en büyük problemlerden birisi fazla numune hacmi alarak kalın bir biyofilm kurutulması boyama metotları uygulandığında çok koyu bir film tabakasının ve görüntüleme problemlerinin oluşmasına neden olur. Bu yüzden preparat hazırlanırken çok ince film tabakası oluşturacak kadar numune almak gerekir ve iyi yayılması sağlanmalıdır. Eğer numune çok yoğun ise o zaman seyreltme yapmakta fayda vardır. Gram ve Neisser boyama uygulanan bu lamalar uzun bir süre için saklanabilir veya daha sonrada boyanabilir. Bu iki boyama metodu da oldukça kararlı olup kullanımında genellikle problem çıkmaz. Karşılaşılan en büyük problem aseton-alkol ile yapılan fazla boyanın giderilmesi (decolorization) işlemi sırasında fazla ve uzun süre bu işleme devam edilmesidir. Bunun sonucunda bazı Gram pozitif filamentli organizmalar boyayı kaybederek Gram negatif boyanabilirler (Gram boya farklılaşması, Gram variable).

3.3.2.2 Mikroskopik inceleme ve izleme

Canlı inceleme için iyi karıştırılmış numuneden bir damla lam üzerine damlatılır ve üzerine 22 mm'lik lamel kapatılarak lamelin üzerinden (kalem gibi bir madde ile) hafifçe bastırılır. Bu preparat aydınlık saha, faz kontrast veya karanlık saha mikroskop ile 100X büyütme (10X objektif ve 10X-15X'lik oküler kullanımı) ile dikkatlice incelenir ve aşağıdaki karakteristikler not edilir.

- mevcut flokların şekli ve boyutu,
- mevcut protozoa ve diğer yüksek organizasyonlu makroorganizmaların cins veya türleri,
- numunede mevcut bulunan serbest hücreler,
- filamentli organizmaların mevcudiyeti, miktarı, uzunluğu, bulk solüsyonda konumu ve flock yapısına olan etkisi, flock içerisinde veya floktan dışarıya doğru uzanıp uzanmadığı, üzerlerinde tutunmuş diğer serbest bakteri çoğalması (attached growth) olup olmadığı.

Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Sistemi aktif çamurunun mikrobiyolojik incelemesi havalandırma havuzu ve geri devir ünitesinden alınan numunelerin mikroskopik olarak canlı orijinal preparatları ve kurutularak preparatı hazırlanmış örneklerin Gram ve Neisser boyama metotları uygulanması ile yapılmıştır. Aralık

2015 – Mart 2016 tarihleri arasında 15 gün arayla alınan örneklerin mikrobiyolojik, kimyasal ve biyokimyasal analizleri yapılarak incelenmiş, önemli aktif çamur mikroorganizmalarının görüntülenmesi ile sistemin mikrobiyolojik yapısı ortaya çıkarılmaya çalışılmış ve izlenmiştir. Mikrobiyolojik yapının ortaya çıkarılmasının uzun süreli ve sürekli yapılmasında arıtma tesisinin performansının yükseltilmesinde, iyileştirilmesinde ve kontrollü işletilmesinde faydası görülecektir. Biyolojik arıtma sistemlerinde mikrobiyolojik yapının çok kısa sürelerde atıksu karakterizasyonuna, işletim koşullarına ve fiziksel çevre şartlarına bağlı olarak hızlıca değişebileceği unutulmamalıdır. Bu izleme çalışmaları bir öngörü olarak tesisin gidişatı ve gelecek performansı üzerine çok faydalı bilgiler sağlayabilmektedir.

İSKİ Paşaköy İBAAT'den alınan numunelerde canlı mikroskobik inceleme direkt olarak yapılmıştır. Daha sonra preparatlar hazırlanarak Gram ve Neisser boyama teknikleri uygulanmış ve mikroskopta incelemeye hazır hale getirilmiştir. Bu boyama metotları Jenkins ve diğ. (2003)'e ve Eikelboom (1975, 2000)'e göre uygulanmıştır. Flokların genel görüntüsü, büyüklükleri, makro yapısı ve sayısı ile filamentli mikroorganizmaların flok içi ve dışına uzaması durumları Sezgin ve diğ. (1978)'e göre tespit edilerek incelenmiştir. Ayrıca numunelerden alınan örneklerde yapılan incelemelerde aktif çamurun mikrobiyolojik yapısı tanımlanmış, mikroorganizmalar tanımlanarak aktif çamurdaki miktarları bulunmaya çalışılmıştır. Boyanan ve boyanmadan orijinal olarak incelenen numunelerin mikroskop fotoğraf makinesi ile görüntüleri tespit edilmiştir. Bu çalışmada Mikrosistem ve Olympus BX50 Model araştırma mikroskobu ve buna bağlı Kameram3 marka görüntüleme kameraları ve sistemleri kullanılmıştır. Alınan örneklerde öncelikle canlı preparatlar parlak alan ve faz kontrast mikroskopla genelde 100X büyütme ile ve ayrıca 40X, 200X ve 400X büyütmelerle de incelenmiş ve aktif çamurun genel mikrobiyolojik yapısı tespit edilmiştir. Bu canlı muayenede sistemdeki *flokların yapısı, protozoa, rotifer, filamentli mikroorganizmalar, nematodlar, kurtçuklar ve diğer mikroorganizmalar* araştırılmış, görüntüleri alınmış ve miktarları tespit edilmiştir. Hazırlanan ve boyanan diğer preparatlarda 40X, 100X, 200X, 400X ve 1000X büyütme kullanılarak filamentli mikroorganizmalar tanımlanmaya çalışılmış ve yine görüntüleme sistemiyle mikro fotoğrafları alınarak bilgisayar ortamında görüntüleri depolanmıştır.

3.3.3 Çökelme hızı testi

Çamur hacim indeksi

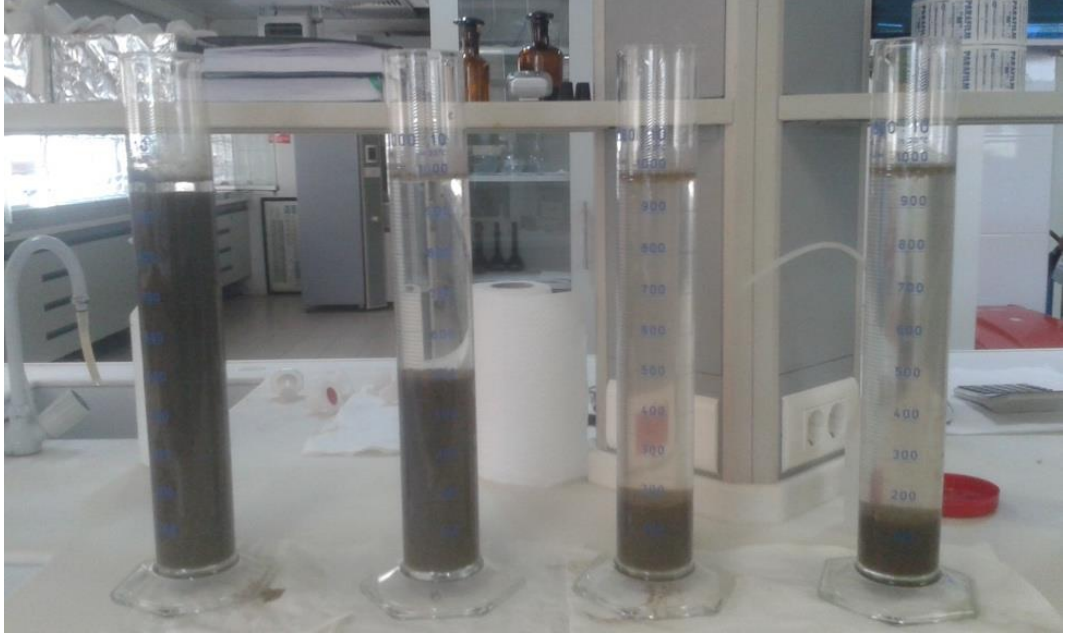
Tesis işletmelerinde kolaylığı nedeniyle en yaygın kullanılan ölçüm çamur hacim indeksidir (ÇHİ). Bu testte, tesisin proses havuzları çıkışından çamur numunesi alınmıştır ve 1 litrelik dereceli silindire konularak karıştırma işleminden sonra 30 dakika çökelmeye bırakılmıştır. ÇHİ hesaplamasında, 30 dakika sonunda silindirde çöken çamur hacmi (mL/L) askıda katı madde (MLSS) konsantrasyonuna (g/L) bölünürerek mL/g biriminde ÇHİ hesaplanmıştır. Sonuç olarak ÇHİ 1 gram çamurun deney koşullarında 30 dakikalık çökelme sonucunda kapladığı hacmi vermektedir. Yapılan çalışmaların sonucu Çizelge 3.13’ de verilmiştir.

Çizelge 3.13 : Çamur hacim indeksi (mL/g) ölçüm sonuçları.

Tarih	MLSS (mg/L)	30 dakika sonunda çamur hacmi (mL/L)	ÇHİ (mL/g)
18.2.2016	7780	640	82
22.4.2016	6750	765	113
28.4.2016	6580	640	97

Çökelme hızı ölçümü

Çökelme hızı, çamur battaniyesinin oturma hızını m/saat ya da benzer birimde standart metodlara uygun olarak (SM 2710 D) test kabında ölçer. Eğer test kabı yavaş karıştırılmalı ekipman ile karıştırılırsa test karıştırılmalı çökelme hızı adını alır. Bu testin uygulanmasında tesisin havalandırma havuzları çıkışından çamur numunesi alınmıştır. Ham (seyreltilmemiş) numunenin yanında 2 kat, 4 kat ve 5 kat seyreltilmiş numuneler kullanılmıştır. Numuneler ilk başta karıştırılmış ve dereceli silindirlere eklenerek çökmesi gözlenmiştir. 0, 5, 10, 15, 20, 25 ve 30. dakikalarda çamur hacmi ölçülmüştür. Çamur çökmesinin zamana karşı çöktüğü mesafeden hızı hesaplanmıştır. Deney yapımı esnasında çekilen fotoğraf Şekil 3.2’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 : Çamur çökelme hızı ölçümü.

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

4.1 Simülasyon Sonuçları

BioWin ile yapılan simülasyonda, 14.12.2015-16.12.2015 tarihleri arasında Paşaköy İBAAT giriş, çıkış ve proses havuzlarından alınan saatlik (toplam 48 saat) numuneler ile yapılan analiz sonuçları kullanılmıştır. Ayrıca, aynı 48 saat içerisinde proses havuzları enstrümanları ölçümleri de simülasyonda kullanılmıştır. Simülasyonda işletmede olan anaerobik, anoksik ve oksik tanklar, akabinde son çökeltim tankları modele girilmiştir.

Tarih seçiminde; yağışsız ve hafta içi olmasına dikkat edilmiş ve böylece kuru hava ve hafta içi debisi şartları kullanılarak yağışlı hava debisinin ve hafta sonu debisinin şartları yansıtılmamıştır. Simülasyonda kuru hava debisi ve ortalama debi işletme şartları modellenmesi amaçlanmıştır.

Sıcaklık 17 °C olarak belirlenmiş olup, 130.000 m³/gün olan o tarihlere ait debi simülasyonda kullanılmıştır. Çamur yaşı 18 gün olarak belirlenmiştir. Simülasyonda kullanılan giriş parametre konsantrasyonları Çizelge 4.1’ de verilmiştir.

Çizelge 4.1 : Simülasyonda kullanılan giriş parametre konsantrasyon değerleri.

Parametre	Birim	Değer
KOİ	mg/L	646
BOİ ₅	mg/L	340
AKM	mg/L	407
TN	mgN/L	60
TKN	mgN/L	60
TP	mgP/L	8,0

Simülasyonda 2 farklı işletme koşulu tasarlanmış olup, farklı V_D/V_T oranlarında anoksik hacmin efektif kullanımı ve çıkış amonyum ve nitrat azotları farklılıkları görülmeye çalışılmıştır.

Oluşturulan işletme koşullarının her ikisinde de anaerobik ve son çökeltim hacimleri aynı olacak şekilde oluşturulmuştur. Havalandırma havuzlarında farklı V_D/V_T oranlarını görebilmek amacıyla 2 nolu havalandırma havuzunda farklı hacimde anoksik bölge (ya da oksik bölge) simülasyonda tanımlanmıştır.

4.1.1 Simülasyonda işletme koşulu – 1

İlk işletme koşulu olarak daha yüksek V_D/V_T oranı seçilmiştir. 2 nolu havalandırma havuzunun %40' ı anoksik, kalan %60' ı da oksik olarak modele girilmiştir. Toplam V_D/V_T oranı 0,35 olarak belirlenmiştir. V_D/V_T oranı 0,35 olarak belirlendiğinde çıkış suyu simülasyon sonuçları Çizelge 4.2' de verilmiştir. Bu işletme koşulunda sistemde 38.033 kg/gün çamur oluşmaktadır.

Çizelge 4.2 : V_D/V_T oranı 0,35 iken çıkış suyu simülasyon sonuçları.

Parametre	Birim	Değer
KOİ	mg/L	36,7
BOİ ₅	mg/L	3,33
AKM	mg/L	9,39
TN	mgN/L	8,79
TKN	mgN/L	8,73
NH ₄ -N	mgN/L	6,56
NO ₃ -N	mgN/L	0,06
TP	mgP/L	0,30

Oluşturulan simülasyona ait akım şeması Şekil 4.1' de verilmiştir.

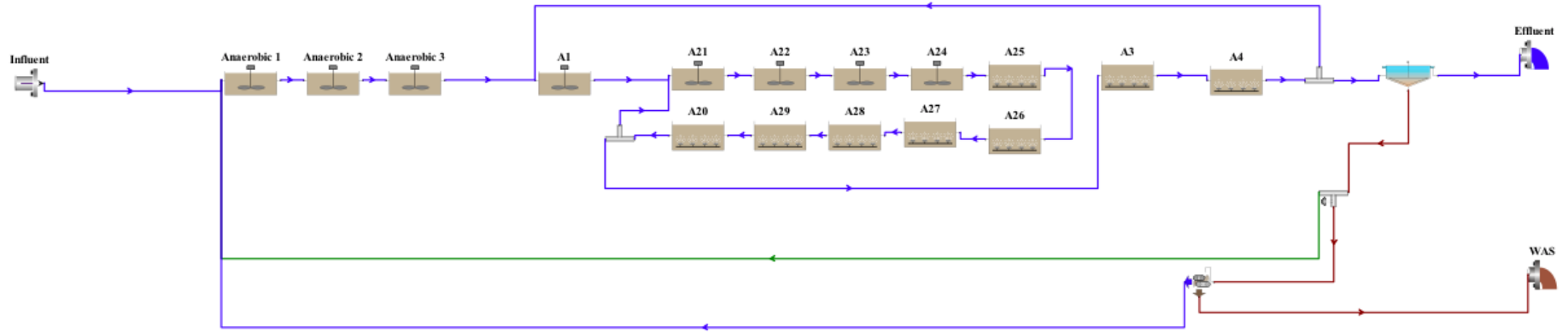
4.1.2 Simülasyonda işletme koşulu – 2

Bir diğer işletme koşulu olarak ilk işletme koşuluna göre daha düşük V_D/V_T oranı seçilmiştir. Bunun için 2 nolu havalandırma havuzunun %20' si anoksik, %80' i oksik olarak simüle edilmiştir. V_D/V_T oranı 0,30 olarak belirlenmiştir. V_D/V_T oranı 0,30 olarak belirlendiğinde çıkış suyu simülasyon sonuçları Çizelge 4.3' de verilmiştir. Oluşan çamur miktarı 36.106 kg/gün' dür.

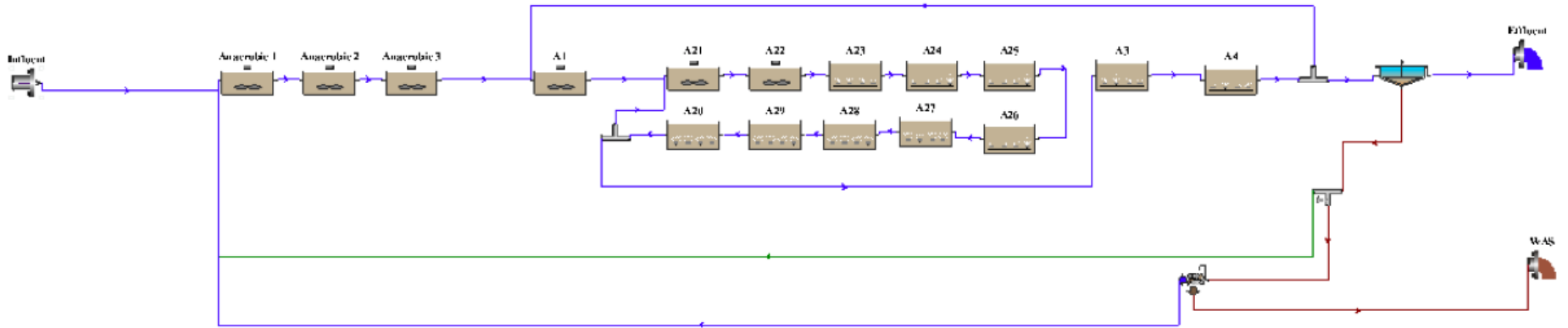
Çizelge 4.3 : V_D/V_T oranı 0,30 iken çıkış suyu simülasyon sonuçları.

Parametre	Birim	Değer
KOİ	mg/L	33,02
BOİ ₅	mg/L	2,56
AKM	mg/L	9,15
TN	mgN/L	9,56
TKN	mgN/L	2,40
NH ₄ -N	mgN/L	0,32
NO ₃ -N	mgN/L	6,97
TP	mgP/L	0,72

Oluşturulan simülasyona ait akım şeması Şekil 4.2' de verilmiştir.



Şekil 4.1 : İşletme koşulu – 1 için akım şeması.



Şekil 4.2 : İşletme koşulu – 2 için akım şeması

4.2 ATV-DVWK-A 131 E Tasarım Metodu Sonuçları

ATV-DVWK-A 131 E tasarım metoduna göre 15 °C ve 25 °C sıcaklıklarda tasarım hesapları yapılmıştır. Simülasyon sonuçları ile kıyaslama için 17 °C hesaplama sonuçları da yer almaktadır. Methoda göre yapılan proses hesaplama sonuçları Çizelge 4.4’de, son çökeltim tankları hesapları Çizelge 4.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.4 : ATV-DVWK-A 131 E tasarımı proses hesap sonuçları.

Parametre	Birim	Değer	Değer	Değer
Sıcaklık	°C	15,0	17,0	25,0
Çamur yaşı, $t_{SS,aerob}$	gün	5,5	4,6	2,2
Azot giderimi için gerekli çamur yaşı, $t_{SS,dim}$	gün	8,0	6,7	3,2
Havalandırma tankındaki AKM, SS_{AT}	mg/L	4.480	4.480	4.480
Günlük oluşan çamur miktarı, SP_d	kg/gün	44.456	44.691	45.636
Günlük fazla çamur debisi, Q_w	m ³ /gün	4.313	4.336	4.430
Hücrel olarak atılan azot miktarı, W_{ASN}	kg/gün	1.637	1.637	1.637
Nitrifiye olan azot miktarı, NN	kg/gün	5.184	5.184	5.185
Denitrifiye olan azot miktarı, DN	kg/gün	4.381	4.383	4.384
V_D/V_T	-	0,4	0,4	0,4
Anaerobik hacim, V_{BioP}	m ³	6.516	6.516	6.516
Aerobik hacim, V_{AT}	m ³	47.836	39.531	18.434
Anoksik hacim, V_D	m ³	30.238	25.551	13.018
Toplam hacim, V_T	m ³	78.075	65.083	31.452
Karbon giderimi sonucu tüketilen O ₂ , $OU_{d,C}$	kgO ₂ /gün	35.018	34.675	33.301
Nitrifikasyonla tüketilen O ₂ miktarı, $OU_{d,N}$	kgO ₂ /gün	22.272	22.499	22.499
Denitrifikasyonla üretilen O ₂ miktarı, $OU_{d,D}$	kgO ₂ /gün	12.705	12.711	12.712
Saatlik hava ihtiyacı, OU_h	kgO ₂ /saat	6.071	6.140	6.646

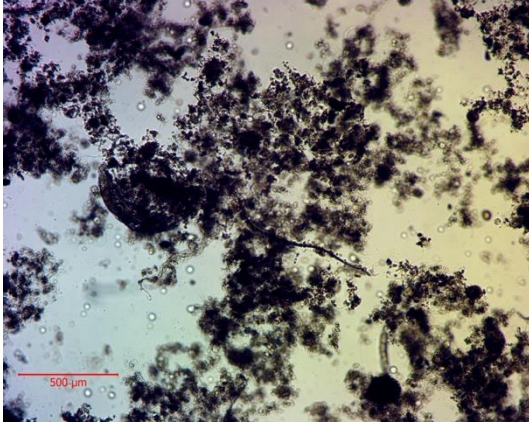
Hesaplamalarda çamurun yaşı, emniyet faktörü SF asgari 1,45 olarak kabul edilmiştir. Tüm hesaplamalar asgari sıcaklık (15°C) ve azami sıcaklık (25°C) göz önüne alınarak yapılmıştır. Boyutlandırma için kullanılan asgari ve azami su sıcaklığı 15°C ve 25°C’dir. Karbon salınım (en yüksek değer) faktörü (fc), hesaplanmış olan toplam çamur yaşının fonksiyonu olarak ATV-DVWK-A 131 E’e dayalı olarak seçilmiştir. Çamurun yaşının 8 günden daha az olması halinde azot salınım (en yüksek değer) faktörü f_N asgari 2,0 olarak alınmıştır. Oksijen kullanımı fc ve f_N değerlerinin tüm mümkün olan işletme şartları temeline dayalı olarak hesaplanmış ve hava gereksinimlerinin hesaplanmasında iki değer birlikte kullanılmıştır. Hesaplama detayları Ek C’de verilmiştir.

Çizelge 4.5 : ATV-DVWK-A 131 E tasarımı son çökeltim tankları hesap sonuçları.

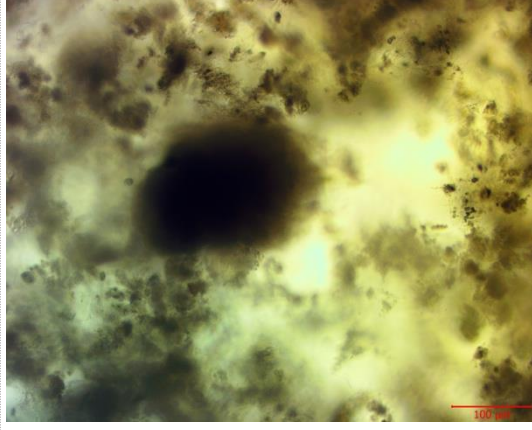
Parametre	Birim	Değer
Tank sayısı	adet	4
Havuz çapı	m	42
Kenar su derinliği	m	3,6
Taban eğimi	mm/m	100
2/3 yarıçapta su derinliği, h_{tot}	m	4,3
Duru su bölgesi, h_1	m	0,5
Ayrılma bölgesi, h_2	m	1,7
Depolama bölgesi, h_3	m	0,8
Yoğunlaşma bölgesi, h_4	m	1,3
Geri devir çamurundaki AKM konsantrasyonu, SS_{RS}	mg/L	10.080
Son çökeltim tank dibinde AKM konsantrasyonu, SS_{BS}	mg/L	12.600
Çamur hacim indeksi, SVI	mL/g	100
Seyreltilmiş çamur hacim indeksi, DSV	mL/L	490
Yüzey yükleme hızı, q_A	m/saat	0,98
Çamur hacmi yüzey yüklemesi, q_{SV}	mL/m ² /saat	0,48
Bekleme süresi	saat	2,2

4.3 Mikrobiyolojik İnceleme Sonuçları

Tesisten iki haftada bir yaklaşık 3 ay kadar havalandırma havuzu içerisinden ve geri devir hattından alınan numunelerde yapılan mikroskopik incelemelerde numunelerin aktif çamuru mikrobiyolojik çeşitlilik bakımından benzerlik gösterdiği görülmüştür. Numunelerin alındığı tarihlerdeki atıksu ve işletim koşullarına bağlı olarak mikroorganizma ve flok yapılarında bazı değişiklikler olduğu tespit olunmuştur. Genelde tür çeşitliliğinde büyük bir değişim ve farklılaşma görülmemiş ancak türlerin popülasyon sayılarında az miktarda azalma ve çoğalmalar gözlenmiştir. Mikrobiyolojik karakterizasyonla ilgili elde edilen Mikrofotoğraflar 1-64'de (ilk numune Mikrofotoğrafları 1-16, diğerleri sırasıyla 17-32, 33-48 ve son numune 49-64 nolu Mikrofotoğraflar) numunelerin tarihsel alım sırasına göre verilmektedir. Bu mikrofotoğraflar Şekil 4.3 – 4.6' da verilmiştir. Orijinal numunelerin canlı preparat incelemelerinde aktif çamurun genelde oldukça yoğun bir yapıya sahip olduğu anlaşılmıştır (5000-6000 mg/L). Bunun nedeni büyük ihtimalle işletim koşulları ile ilgili olarak fazla büyük çamur yaşlarının ve organik yükün düşük olarak sistemde uygulanıyor olmasıdır. Flok yapısında makro yapının mevcut olduğu ancak flokların sayıca yeteri kadar büyük ve sıkı (compact) olmadığı tespit edilmiştir.



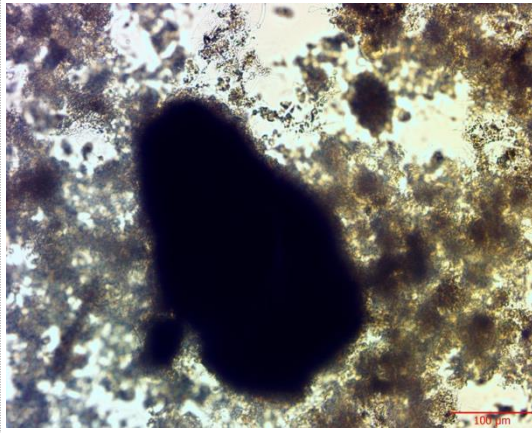
(a)



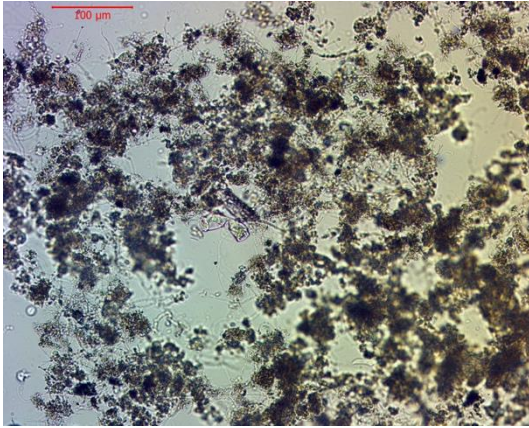
(b)



(c)



(d)



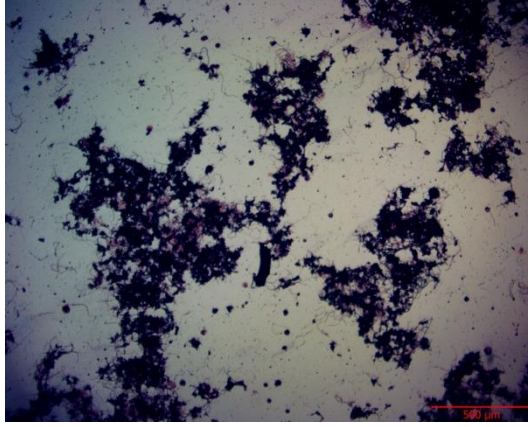
(e)



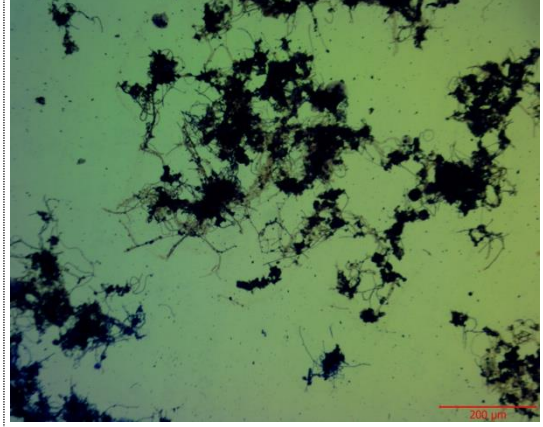
(f)

(a) Havalandırma Havuzu Aktif Çamuru Canlı İncelemesi, Genel Görüntüsü, Aralık 2015, Aydınlik Saha, 40X. (b) Geri Devir Aktif Çamuru Canlı İncelemesi, Genel Görüntüsü, Aralık 2015, Aydınlik Saha, 100X. (c) Havalandırma Havuzu Aktif Çamuru Canlı İncelemesi, Floklar, Diğer Ökaryotik protozoa ve Bulk Solusyonda Rotiferler, Aralık 2015, Faz Kontrast, 100X. (d) Geri Devir Aktif Çamuru, Canlı İncelemesi, İri ve Sıkı Flok (Sayıca Az, Tek) ve Gevşek ve Hafif Floklar (Sayıca Daha Fazla ve Küçük), Aydınlik Saha, Aralık 2015, 100X. (e) Havalandırma Havuzu Genel Görüntüsü, Floklar, Silli ve Saplı Protozoalar, Ökaryotik Hücreler, Filamentli Mikroorganizmalar, Floklar, Orijinal Numune, Aralık 2015, Aydınlik Saha Mikroskobu, 100X. (f) Havalandırma Havuzu Genel Görüntüsü Rotifer Bulk Solusyonda Besleniyor, Floklar Oldukça Gevşek Görünüyor, Orijinal Numune, Aralık 2015, Aydınlik Saha Mikroskobu, 100X.

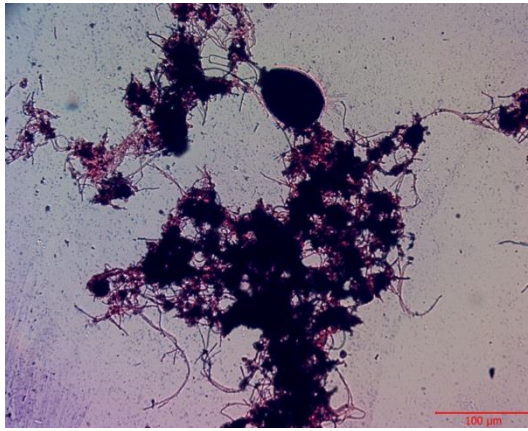
Şekil 4.3 : Aralık 2015 havalandırma havuzu numunesi incelemeleri.



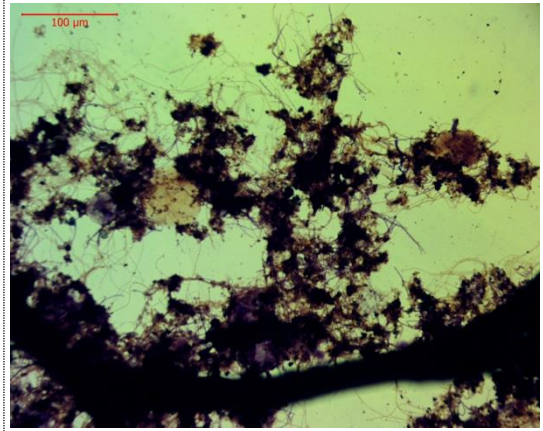
(g)



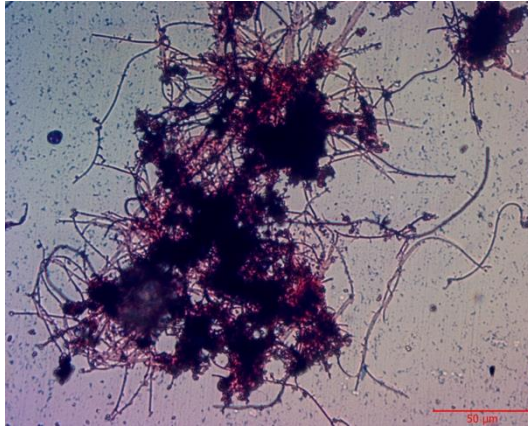
(h)



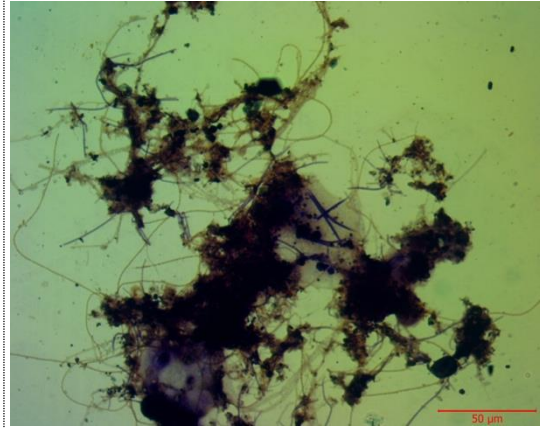
(i)



(j)



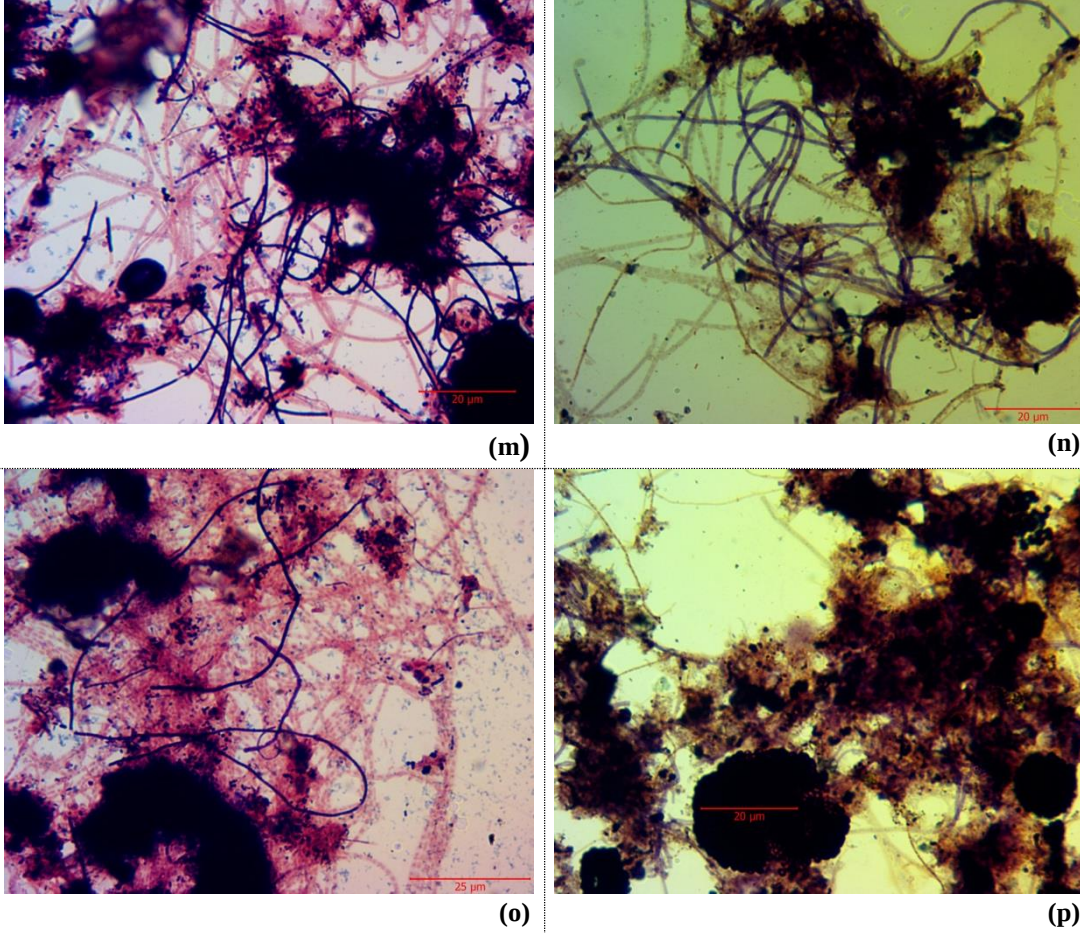
(k)



(l)

(g) Havalandırma Havuzu Aktif Çamuru Gram Boyama, Flokların Genel Durumu ve Filamentli Mikroorganizmalar, Gram Boyama, Aralık 2015, Aydınlik Saha Mikroskobu, 40X. (h) Geri Devir Aktif Çamuru, Flokların Genel Durumu ve Filamentli Mikroorganizmalar, Aralık 2015, Neisser Boyama, Aydınlik Saha Mikroskobu, 100X. (i) Havalandırma Havuzu Aktif Çamuru, Silli Protozoa, Floklar ve Filamentli Mikroorganizmalar, Aralık 2015, Gram Boyama, Aydınlik Saha Mikroskobu, 200X. (j) Geri Devir Aktif Çamuru, Flokların ve Filamentli Mikroorganizmaların Görünümü, Aralık 2015, Neisser Boyama, Aydınlik Saha Mikroskobu, 200X. (k) Havalandırma Havuzu Genel Görünüm, Floklar ve Filamentli Mikroorganizmalar, Filamentler Flokları Sarmış ve Bulk Solusyona Doğru Uzamış, Aralık 2015, Gram Boyama, Aydınlik Saha Mikroskobu, 400X. (l) Havalandırma Havuzu Genel Görünüm, Floklar ve Filamentli Mikroorganizmalar, Filamentler Flokları Sarmış ve Bulk Solusyona Doğru Uzamış, Aralık 2015, Neisser Boyama, Aydınlik Saha Mikroskobu, 400X.

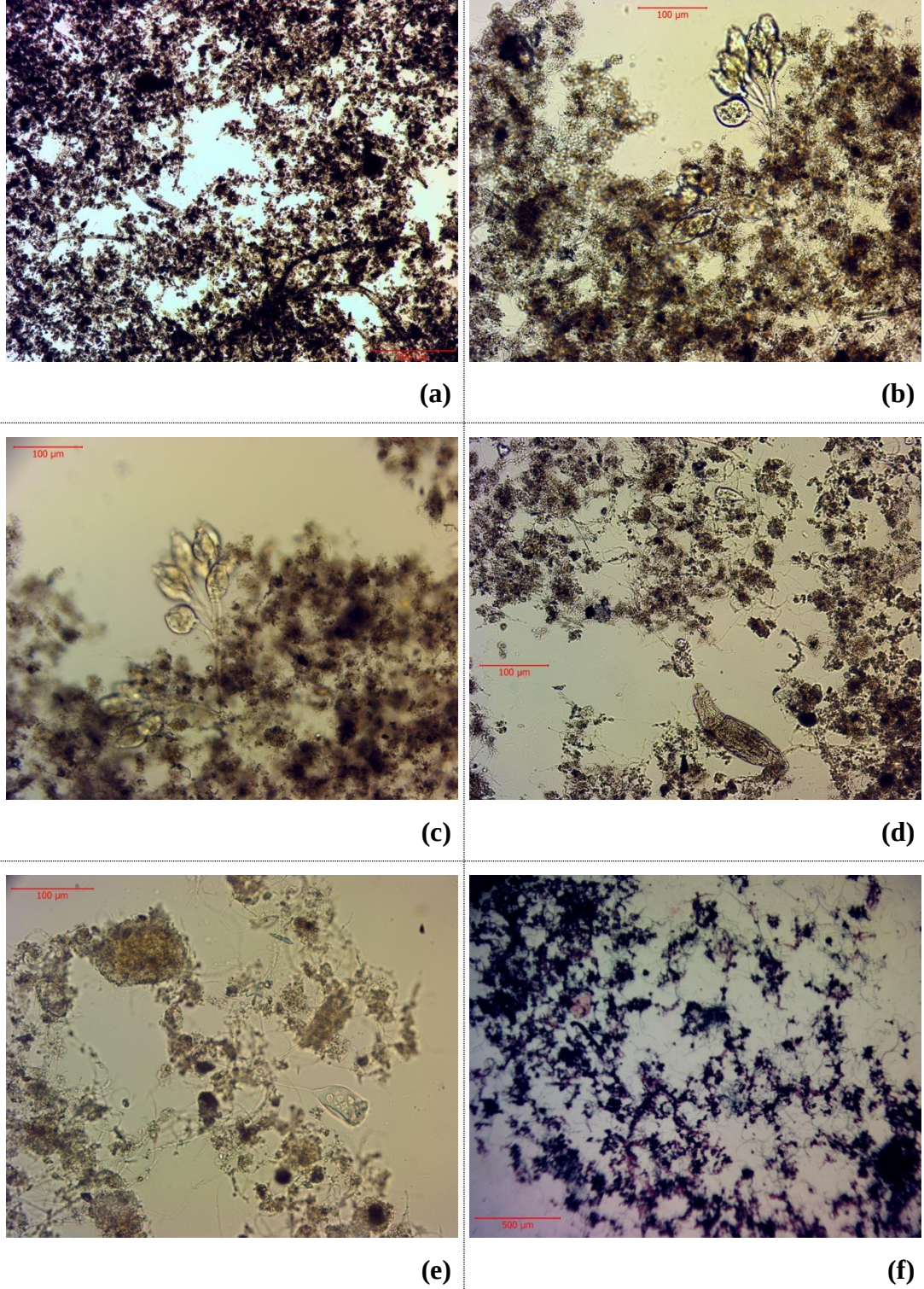
Şekil 4.3 (devam) : Aralık 2015 havalandırma havuzu numunesi incelemeleri.



(m) Havalandırma Havuzu, Floklar, 1. Derece Dominant Filamentli Bakteri Gram Negatif Type 0092 (Pembe Renkli) ve 2. Derece Dominant Bakteri Gram Pozitif *Microthrix parvicella* (Mavi Renkli) Aralık 2015, Gram Boyama, Aydınlik Saha Mikroskobu, 1000X (n) Havalandırma Havuzu, Floklar, Dominant Filamentli Mikroorganizmalar, Neisser Negatif *Microthrix parvicella* (Sarı Renkli Filamentler) ve Neisser Pozitif Type 0092 (Mavi Renkli), Aralık 2015, Neisser Boyama, Aydınlik Saha Mikroskobu, Mikroskobu, 1000X. (o) Havalandırma Havuzu, Floklar, Dominant Filamentli Mikroorganizmalar, Gram Pozitif *Microthrix parvicella* (Mavi Renkli Daha Az Sayıda) ve Gram Negatif Type 0092 (Pembe Renkli Daha Çok Sayıda), Aralık 2015, Gram Boyama, Aydınlik Saha Mikroskobu, 1000X. (p) Havalandırma Havuzu, Floklar ve Bakteri Kümeleri (Biyolojik Çeşitliliğin Az Olduğunu Gösterir Floklar) 1. Derece Dominant Neisser Pozitif Type 0092 (Mavi Renkli Flokların İçerisinde) ve 2. Derece Dominant Filamentli Bakteri Neisser Negatif *Microthrix parvicella* (Sarı Renkli Filamentler), Aralık 2015, Neisser Boyama, Aydınlik Saha Mikroskobu, 1000X.

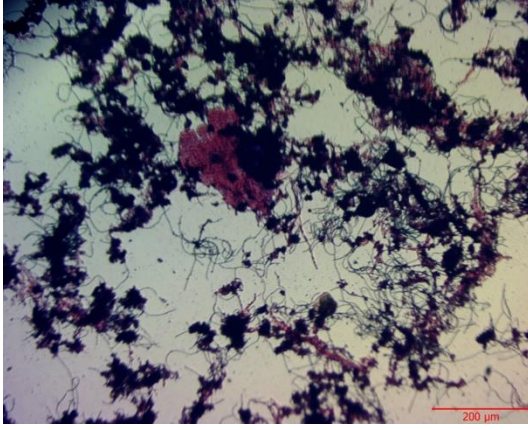
Şekil 4.3 (devam) : Aralık 2015 havalandırma havuzu numunesi incelemeleri.

Bazı floklar yeterli ve düzgün yapıda bulunmasına rağmen sayı ve yoğunluk bakımından geneldeki flokların istenen düzeylerde olmadığı, küçük ve gevşek flokların sayı ve yoğunluk bakımından normalden fazla olduğu tespit edilmiştir. Flokların birçoğunun küçük (<100 µm) ve yoğunluğunun az olmasından çökeltme özelliğinin istenilen düzeylerde olmamakla birlikte 2 saatlik çökeltme sonunda % 60-70 kadar sıvı ve %30-40 kadar katı faz olduğu yapılan ölçümlerden görülmüştür. Çamur Hacim İndeksi (ÇHİ) değeri genelde 80-90 ml/g civarında bir değer almakta ve çamur kabarması için belirlenen >150 ml/g seviyelerine ulaşmamaktadır. Ancak filamentli mikroorganizmaların toplam sayısı Jenkins ve diğ.'nin (2003) verdiği Rölatif Filament Sayı Sistemine göre flok başına düşen 4-5 (Çok-Çok fazla) seviyelerine zaman zaman ulaştığı tespit edilmiştir.

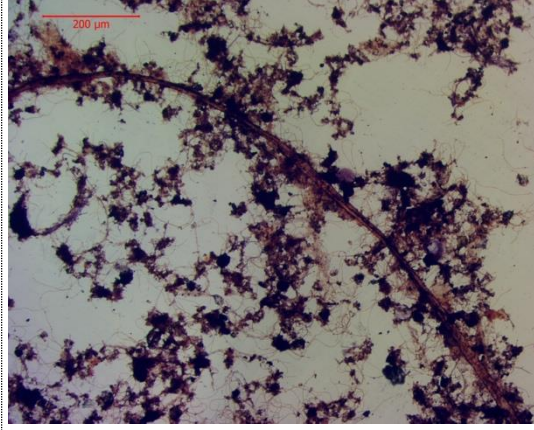


(a) Paşaköy İBAAT Havalandırma Havuzu Aktif Çamuru, Orijinal Canlı Numune, Genel Görüntü, Filamentli Bakteriler ve Floklar, Ocak 2016, Aydınlik Saha Mikroskobu, 40X. (b) Paşaköy İBAAT Havalandırma Havuzu Aktif Çamuru, Orijinal Canlı Numune, Genel Görüntü, Filamentli Bakteriler, Saplı Tutunmuş Protozoalar ve Floklar, Ocak 2016, Aydınlik Saha Mikroskobu, 100X. (c) Paşaköy İBAAT Havalandırma Havuzu Aktif Çamuru, Orijinal Canlı Numune, Genel Görüntü, Filamentli Bakteriler, Saplı Tutunmuş Protozoalar ve Floklar, Ocak 2016, Faz Kontrast Mikroskobu, 100X. (d) Paşaköy İBAAT Havalandırma Havuzu Aktif Çamuru, Orijinal Canlı Numune, Genel Görüntü, Filamentli Bakteriler, Rotifer, Saplı Tutunmuş Protozoalar ve Floklar, Ocak 2016, Aydınlik Saha Mikroskobu, 100X. (e) Paşaköy İBAAT Havalandırma Havuzu Aktif Çamuru, Orijinal Canlı Numune, Genel Görüntü, Filamentli Bakteriler, Saplı Tutunmuş Protozoa (*Epystilis* spp.) ve Floklar, Ocak 2016, Aydınlik Saha Mikroskobu, 200X. (f) Paşaköy İBAAT Havalandırma Havuzu Aktif Çamuru, Genel Görüntü, Filamentli Bakteriler ve Floklar, Gram Boyama, Ocak 2016, Aydınlik Saha Mikroskobu, 40X.

Şekil 4.4 : Ocak 2016 havalandırma numunesi incelemeleri.



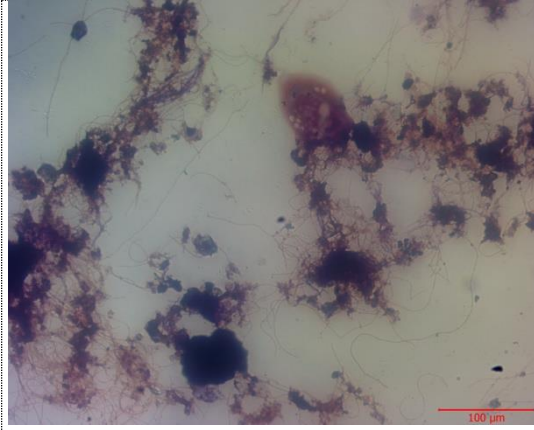
(g)



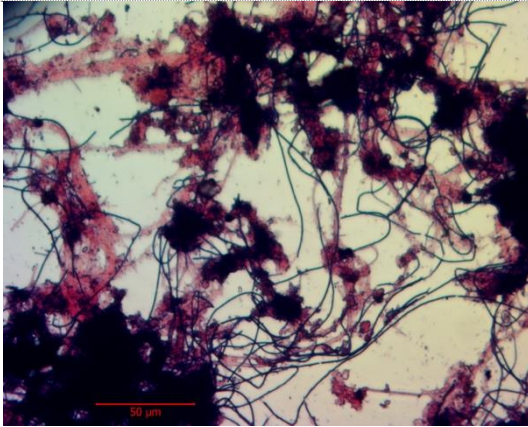
(h)



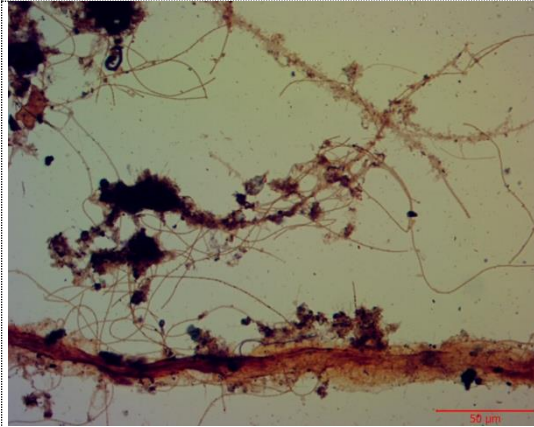
(i)



(j)



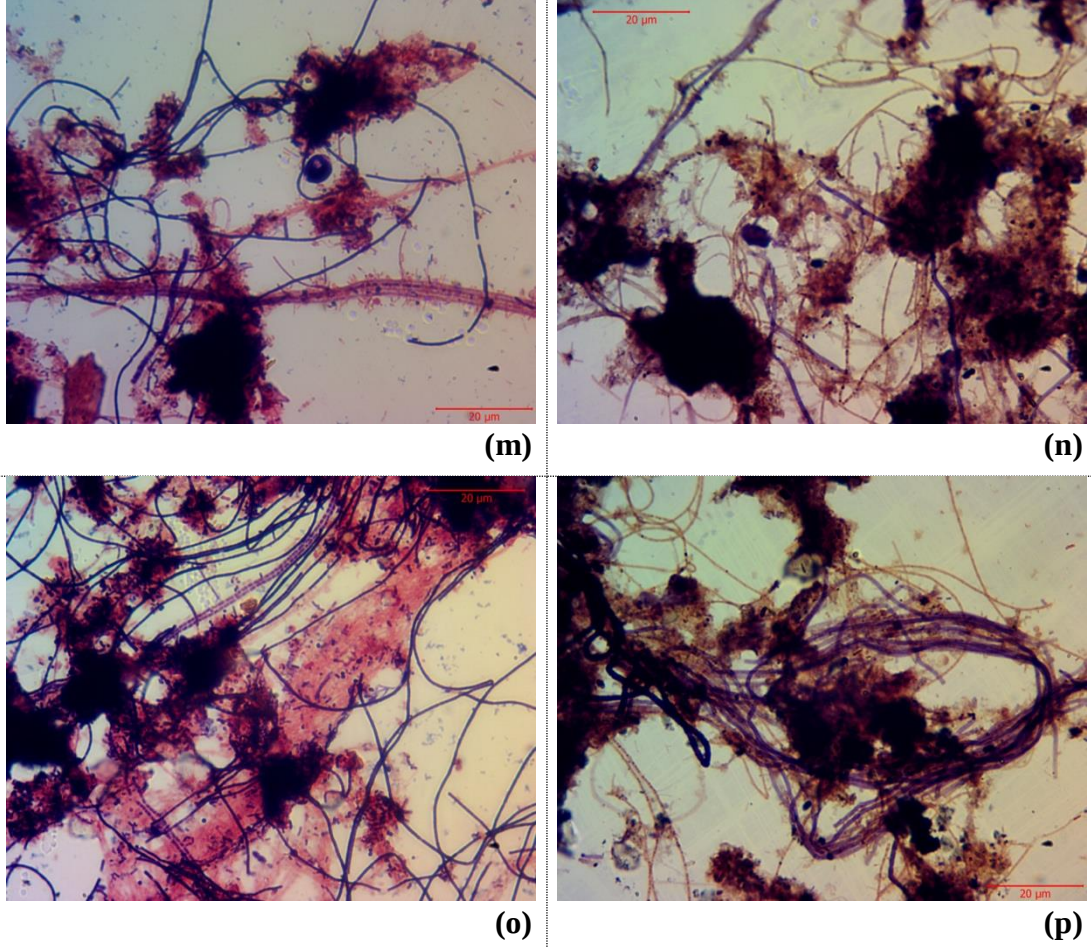
(k)



(l)

(g) Filamentli Bakteriler, Yeni Gelişen Flok Yapıcı *Zoogloea ramigera* (Pembe Renkli Matriks) ve Floklar, Gram Boyama, Aydınlik Saha Mikroskobu, 100X. (h) Filamentli Bakteriler, Floklar ve Mantar Filamenti (Uzun Sarı Renkli Filament Fungus *Rhizopus* spp.) Neisser Boyama, Aydınlik Saha Mikroskobu, 100X. (i) Filamentli Bakteriler ve Floklar Gram Boyama, Aydınlik Saha Mikroskobu, 200X. (j) Filamentli Bakteriler (Uzun Sarı Renkli Neisser Negatif ve Mavi Renkli Neisser Pozitif Filamentler), Floklar, Silli ve Kamçılı Protozoalar, Neisser Boyama, Aydınlik Saha Mikroskobu, 200X. (k) Gram Pozitif Filamentli Bakteri *Microthrix parvicella* (Mavi Renkli Filamentler) ve Type 0092 (Pembe Renkli Filamentler), Yeni Gelişen Flok Yapıcı *Zoogloea ramigera* (Pembe Renkli Matriksler) ve Floklar, Gram Boyama, Aydınlik Saha Mikroskobu, 400X. (l) Neisser Negatif *Microthrix parvicella* (Sarı Renkli Filamentler) ve Mantar Filamenti *Rhizopus* spp. (Kalın Sarı Filament) Yeni Gelişen Flok Yapıcı *Zoogloea ramigera* ve Floklar, Neisser Boyama, Aydınlik Saha Mikroskobu, 400X.

Şekil 4.4 (devam) : Ocak 2016 havalandırma havuzu numunesi incelemeleri.



(m) Paşaköy İBAAT Havalandırma Havuzu Aktif Çamuru, Gram Pozitif Filamentli Bakteri *Microthrix parvicella* (Mavi Renkli Filamentler) ve Type 0092 (Pembe Renkli Filamentler), Flok Yapıcı *Zoogloea ramigera* (Pembe Renkli Matrisler), İnce Pembe Renkli Gram Negatif Type 1701 (Tutunmuş Çoğalma Gösteren Filamentler), Gram Pozitif Type 0675 ve Floklar, Gram Boyama, Ocak 2016, Aydınlik Saha Mikroskobu, 1000X. (n) Paşaköy İBAAT Havalandırma Havuzu Aktif Çamuru, Genel Görüntü, Neisser Negatif Filamentli Bakteri *Microthrix parvicella* (Sarı Renkli Filamentler Granülleri Koyu Renkli), Neisser Pozitif Type 0092 (Mavi Renkli Filamentler), Tutunmuş Çoğalma Gösteren Filamentler ve Floklar, Neisser Boyama, Ocak 2016, Aydınlik Saha Mikroskobu, 1000X. (o) Paşaköy İBAAT Havalandırma Havuzu Aktif Çamuru, Gram Pozitif Filamentli Bakteri *Microthrix parvicella* (Mavi Renkli), Type 0092 (Pembe Renkli), Yeni Gelişen Flok Yapıcı *Zoogloea ramigera* (Pembe Renkli Matrisler İçlerinde Gram Pozitif ve Negatif Tekil Yuvarlak ve Çubuk Şekilli Bakteriler Dolu), Açık Mavi Renkli Gram Pozitif *Bacillus* spp. Zinciri, Gram Boyama, Ocak 2016, Aydınlik Saha Mikroskobu, 1000X. (p) Paşaköy İBAAT Havalandırma Havuzu Aktif Çamuru, 1. Derece Baskın Neisser Pozitif Type 0092 (Mavi Renkli Filamentler) ve 2. Derece Baskın Neisser Negatif Filamentli Bakteri *Microthrix parvicella* (Sarı Renkli Filamentler Granülleri Koyu Renkli) ve Koyu Renkli Flok İçinde *Bacillus* spp., Neisser Boyama, Ocak 2016, Aydınlik Saha Mikroskobu, 1000X.

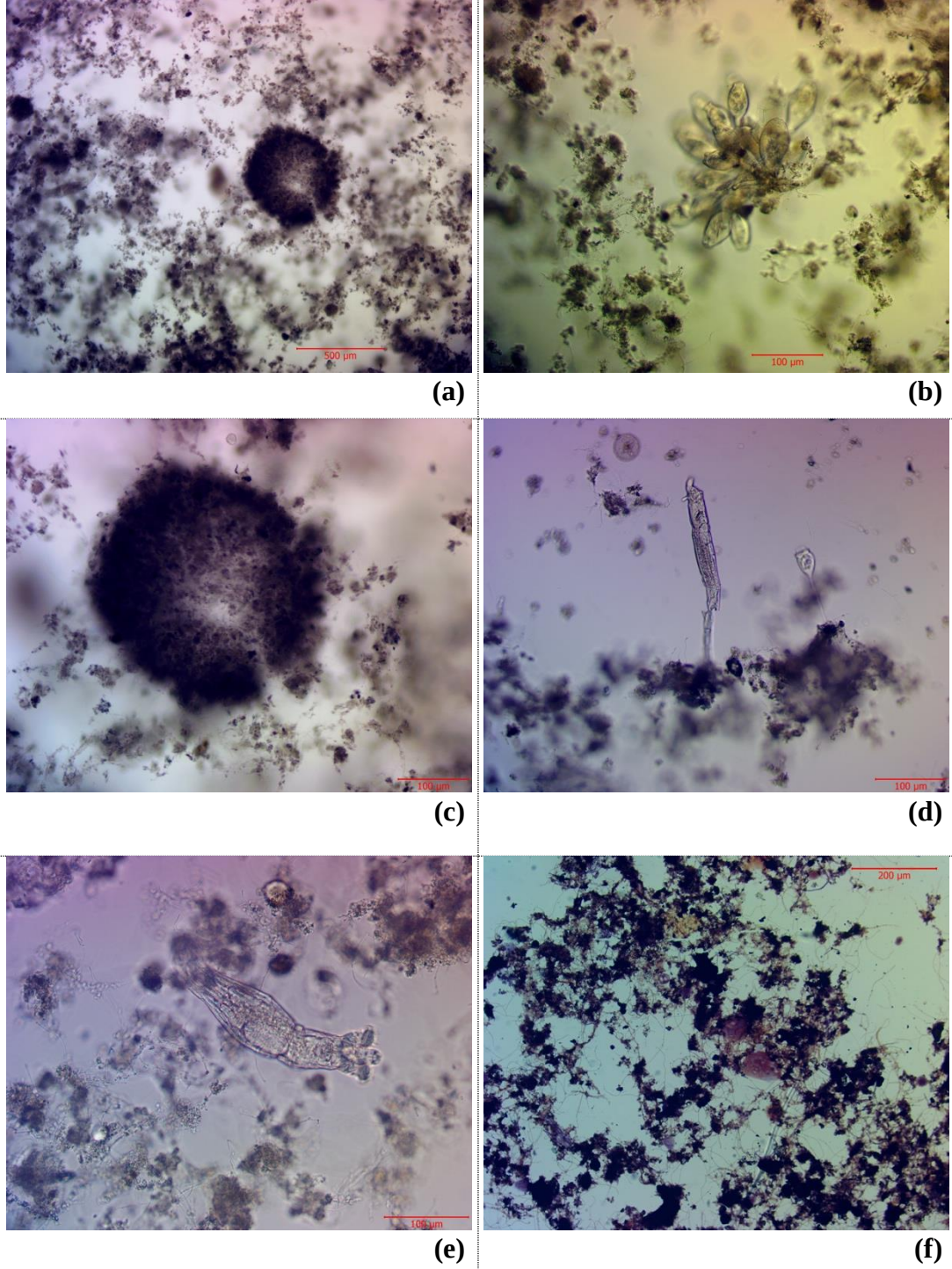
Şekil 4.4 (devam) : Ocak 2016 havalandırma havuzu numunesi incelemeleri.

Özellikle numunelerde tespit edilen 6 tür filamentli mikroorganizmanın 1. derecede dominantı olarak görülen Type 0092 ve 2. derecede dominant olan *Microthrix parvicella*'nın flok başına düşen sayıları 20-30 seviyelerine kadar ulaştığı tespit edilmiştir. Bu durum ilerleyen zaman içerisinde işletim koşullarında, atıksu karakterizasyonunda ve fiziksel koşullarda (hava sıcaklığı, mevsim geçiş dönemleri gibi) meydana gelecek farklılıklarda çamurun kabarma problemine yol açabileceği söylenebilir.

Havalandırma havuzundan ve geri devir hattından alınan örneklerin orijinal genel görüntüsü flok yapılarının genelde bazı flokların iri ve sıkı diğer bazı flokların küçük, gevşek olduğunu göstermektedir (Mikrofotoğraflar 1-64). Her bir mikrofotoğrafın altında tespit edilen silli, kamçılı, tutunmuş saplı protozoalar ve kolonileri, nematodlar, rotiferler, filamentli mikroorganizmalar (bakteri veya mantar filamentleri) bakteriler, floklar ve diğer mikro yapılar tespit edilerek yazılarak ifade edilmeye çalışılmıştır. Bazı flokların oldukça sıkı, büyük (yaklaşık 300 µm çapında) ve yoğun olduğu görülürken bazı flokların küçük (yaklaşık <100 µm) gevşek ve sünger gibi delik deşik olduğu tespit edilmiştir. Sistemlerin içerisinde serbest kalmış prokaryotik bakteri hücreleri bulk solüsyonda gözlenmiş ve ayrıca karışık grup bakteriler, nitrifikasyon bakterileri ve çoğu filamentli bakteriler flokların yapısında ve flokların dışına doğru uzadığı gözlenmiştir. Ökaryotik hücreler içerisinde önemli protozoalar çeşitlilik ve yüksek popülasyon değerlerinde (yaklaşık 1000-3000 adet/ml) (toplam miktarları ve tür sayısı) tespit edilmiştir. Ökaryotik saplı (tutunmuş) ve koloni meydana getirmiş protozoalardan *Epistylis* spp. ve az da olsa *Opercularia* spp. türleri Mikrofotoğraflar da verilmektedir. Bu protozoa türleri tek tek bulunabildiği gibi 20-30 bireyden meydana gelen koloniler halinde de bulunmuştur. Protozoaların ayrıca serbest yüzen kamçılı türlerinden *Bodo* spp., ve *Monosiga* spp., serbest yüzen silli türlerinden *Aspidisca* spp., *Paramecium* spp., *Lionotus* spp., ve *Colpidium* spp., hemen her numunede ve incelenen preparatların her alanında görülmüştür. Ökaryotik hücreler sınıfından yuvarlak ipliksi solucanlardan Nematodlar (*Ascaridia* spp.) 20-30 adet/ml kadar görülmüştür. Bu nematodların oldukça aktif ve çok miktarda bakteri ve katı madde tükettikleri, diğer ökaryotik önemli türler arasında Rotiferlerin (50-70 adet/ml)-flokların aralarında ve içerisinde çok hareketli oldukları, (özellikle bdelloid rotifer *Philodina* spp.) bakterilerle ve katı organiklerle beslendikleri görülmüştür.

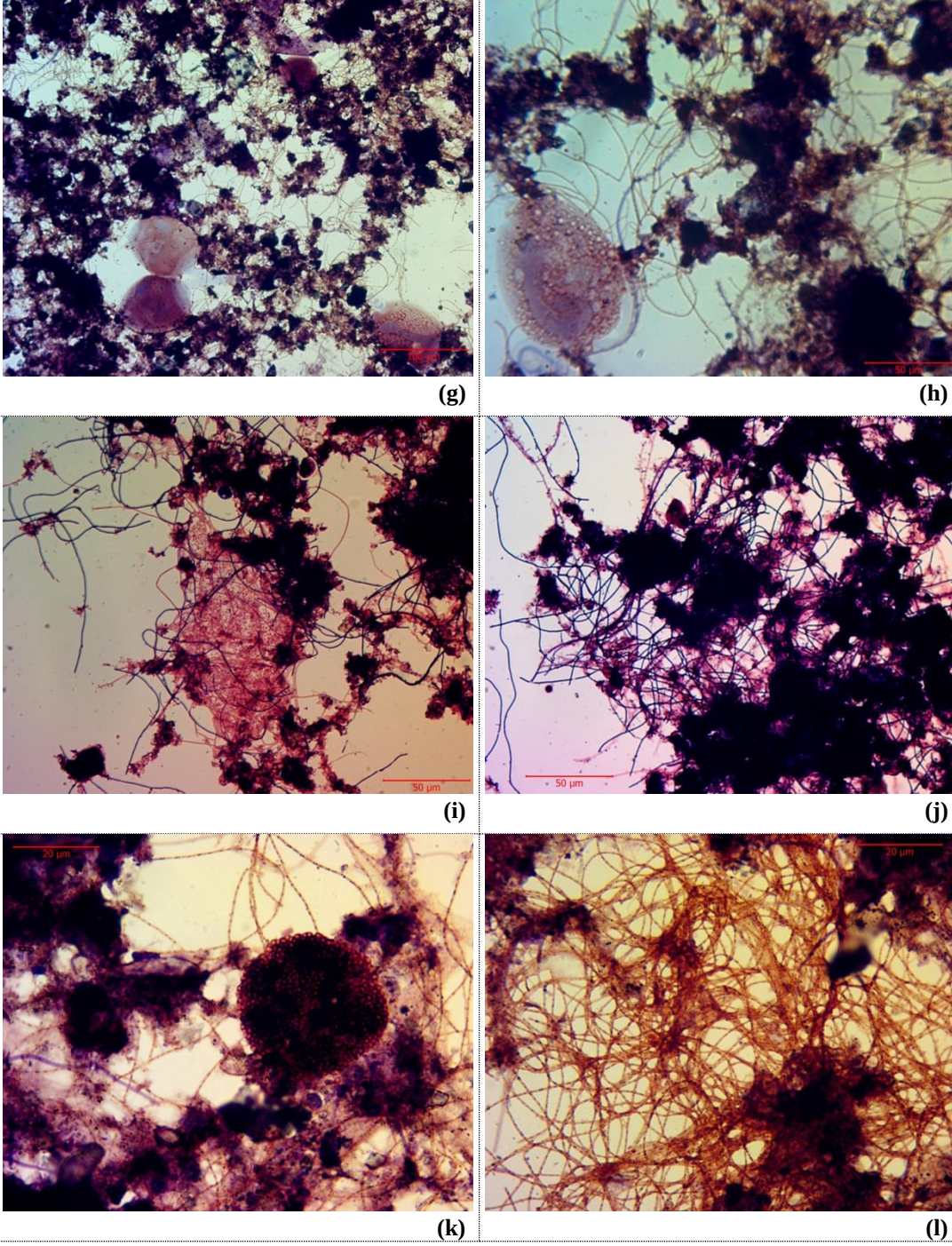
Aktif çamur içerisinde ayrıca çok miktarda ökaryotik diğer canlı hücreler ile katı bitki partikülleri, selüloz kağıt parçacıkları ve lifleri sıkça görülmüştür.

İncelenen aktif çamur örneklerinin hazırlanan preparatlarına uygulanan Gram ve Neisser Boyama sonrası yapılan mikroskopik incelemelerde filamentli mikroorganizmaların sayısının ve çeşitliliğinin oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir.



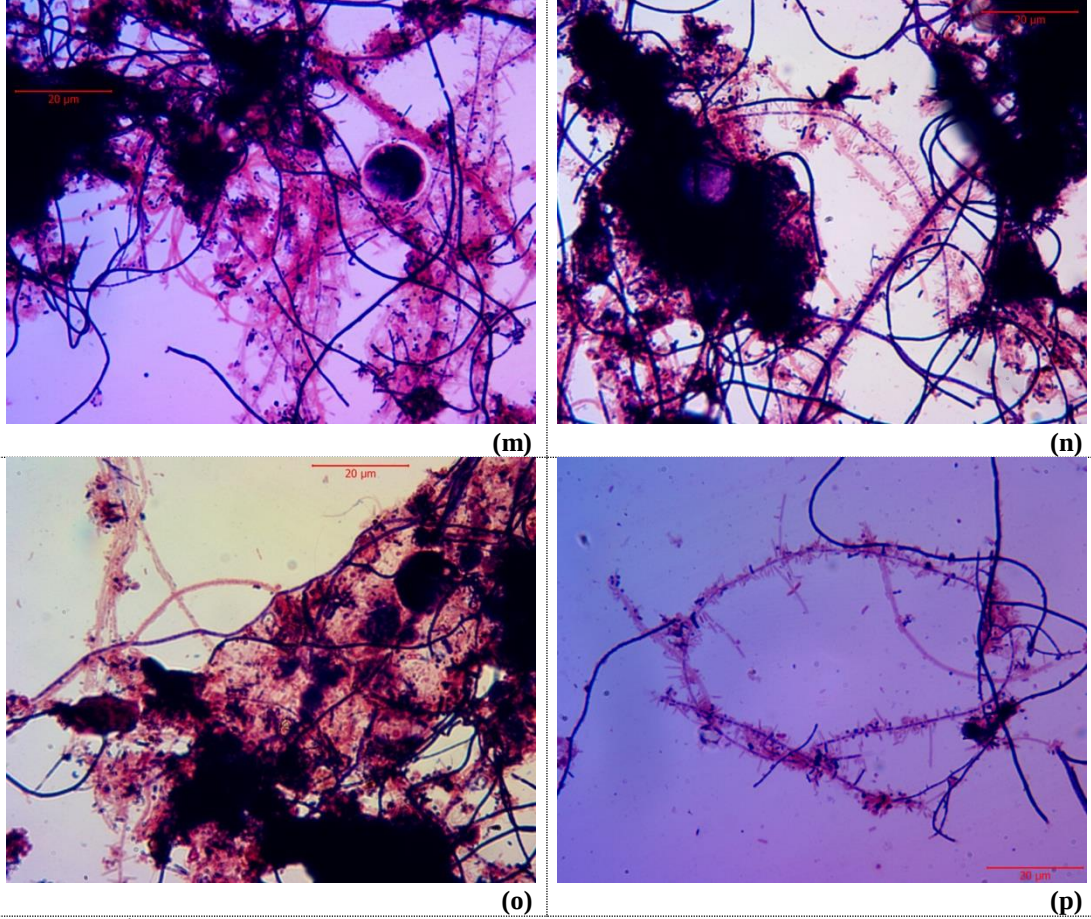
(a) Paşaköy İBAAT Havalandırma Havuzu Aktif Çamuru, Orijinal Canlı Numune, Genel Görüntü, İri Sıkı (Compact) Bir Flok ve Diğer Daha Gevşek (Loose) ve Küçük Floklar, Şubat 2016, Aydınlik Saha Mikroskobu, 40X. (b) Paşaköy İBAAT Havalandırma Havuzu Aktif Çamuru, Orijinal Canlı Numune, Genel Görüntü, Gevşek Floklar, Filamentli Bakteriler, Saplı Tutunmuş Protozoalar (*Opercularia* spp.), Şubat 2016, Aydınlik Saha Mikroskobu, 100X. (c) Paşaköy İBAAT Havalandırma Havuzu Aktif Çamuru, Orijinal Canlı Numune, İri, Sıkı Bir Flok ve Çevresinde Küçük Gevşek Floklar, Şubat 2016, Faz Kontrast Mikroskobu, 100X. (d) Paşaköy İBAAT Havalandırma Havuzu Aktif Çamuru, Orijinal Canlı Numune, Genel Görüntü, Filamentli Bakteriler, Ökaryotik Hücreler, Floğa Tutunmuş Bir Rotifer (*Philodina* spp.) ve Bir Saplı Protozoa (*Epistylis* spp.), Şubat 2016, Aydınlik Saha Mikroskobu, 100X. (e) Paşaköy İBAAT Havalandırma Havuzu Aktif Çamuru, Orijinal Canlı Numune, Genel Görüntü, Filamentli Bakteriler, Ökaryotik Hücreler, Serbest Yüzen Kamçılı Protozoa (*Aspidisca* spp.), Rotifer (*Philodina* spp.) ve Floklar, Şubat 2016, Aydınlik Saha Mikroskobu, 200X. (f) Paşaköy İBAAT Havalandırma Havuzu Aktif Çamuru, Genel Görüntü, Filamentli Bakteriler, Ökaryotik Hücreler (Silli Protozoalar) ve Floklar, Gram Boyama, Şubat 2016, Aydınlik Saha Mikroskobu, 100X.

Şekil 4.5 : Şubat 2016 havalandırma havuzu numunesi incelemeleri.



(g) Paşaköy İBAAT Havalandırma Havuzu Aktif Çamuru, Genel Görüntü, Filamentli Bakteriler, Ökaryotik Hücreler, Yeni Gelişen Flok Yapıcı *Zoogloea ramigera* (Pembe Renkli Matriks) ve Floklar, Neisser Boyama, Şubat 2016, Aydınlik Saha Mikroskobu, 200X. (h) Paşaköy İBAAT Havalandırma Havuzu Aktif Çamuru, Genel Görüntü, Neisser Negatif Filamentli Bakteriler *Microthrix parvicella* (Sarı Renkli Filament), Neisser Pozitif Mavi Renkli Filamentler Type 0092, Neisser Boyama, Şubat 2016, Aydınlik Saha Mikroskobu, 400X. (i) Paşaköy İBAAT Havalandırma Havuzu Aktif Çamuru, Genel Görüntü, Gram Pozitif Filamentli Bakteriler *Microthrix parvicella* (Mavi Renkli Filamentler), Gram Negatif Kırmızı-Pembe Renkli Filamentler Type 0092, Yeni Gelişen Flok Yapıcı *Zoogloea ramigera* (Pembe Renkli Matriks) Gram Boyama, Şubat 2016, Aydınlik Saha Mikroskobu, 400X. (j) Paşaköy İBAAT Havalandırma Havuzu Aktif Çamuru, Genel Görüntü, Filamentli Baskın Bakteri Türleri: Gram Pozitif Filamentli Bakteriler *Microthrix parvicella* (Mavi Renkli Filamentler) ve Gram Negatif Kırmızı-Pembe Renkli Filamentler Type 0092, Gram Boyama, Şubat 2016, Aydınlik Saha Mikroskobu, 400X. (k) Paşaköy İBAAT Havalandırma Havuzu Aktif Çamuru, Genel Görüntü, Neisser Negatif Filamentli Bakteriler *Microthrix parvicella* (Sarı Renkli İçleri Granüllü Filament), Neisser Pozitif Mavi Renkli Filamentler Type 0092, Zoogloea Matriksi İçerisinde Tekil Bakteriler (Pembe Yuvarlak Hücreler ve Floklar, Neisser Boyama, Şubat 2016, Aydınlik Saha Mikroskobu, 1000X. (l) Paşaköy İBAAT Havalandırma Havuzu Aktif Çamuru, Genel Görüntü, Bazı Floklarda ve Bulk Solusyonda Tamamen Dominant, Neisser Negatif Filamentli Bakteri *Microthrix parvicella* (Sarı Renkli İçleri Granüllü Filament), Neisser Boyama, Şubat 2016, Aydınlik Saha Mikroskobu, 1000X.

Şekil 4.5 (devam) : Şubat 2016 havalandırma havuzu numunesi incelemeleri.



(m) Paşaköy İBAAT Havalandırma Havuzu Aktif Çamuru, Genel Görüntü, Gram Pozitif Filamentli Bakteri *Microthrix parvicella* (Mavi Renkli Filamentler) ve Type 0092 (Pembe Renkli Filamentler), *Nostocoida limicola* II (Pembe kalın Filamentler), Pembe İnce Filamentler Type 1701 (Üzerinde Tutunmuş Bakteriyel Çoğalma(Attached Growth) ve Floklar, Gram Boyama, Şubat 2016, Aydınlik Saha Mikroskobu, 1000X. (n) Paşaköy İBAAT Havalandırma Havuzu Aktif Çamuru, Genel Görüntü, Gram Pozitif Filamentli Bakteri *Microthrix parvicella* (Mavi Renkli Filamentler) ve Gram Negatif Type 0092 (Pembe Renkli Filamentler), Pembe İnce Filamentler Type 1701 (Üzerinde Tutunmuş Bakteriyel Çoğalma(Attached Growth), *Beggiatoa* spp. (Kalın Mavi Filament), Yeni Gelişen Flok Yapıcı *Zoogloea ramigera* ve Floklar, Gram Boyama, Şubat 2016, Aydınlik Saha Mikroskobu, 1000X. (o) Paşaköy İBAAT Havalandırma Havuzu Aktif Çamuru, Gram Pozitif Filamentli Bakteri *Microthrix parvicella* (Mavi Renkli Filamentler) ve Type 0092 (İnce Pembe Renkli Filamentler), Flok Yapıcı *Zoogloea ramigera*, Kalın Pembe Renkli Filament *Nostocoida limicola* II, Gram Boyama, Şubat 2016, Aydınlik Saha Mikroskobu, 1000X. (p) Paşaköy İBAAT Havalandırma Havuzu Aktif Çamur Bulk Solusyonu, Gram Pozitif Filamentli Bakteri *Microthrix parvicella*, Gram Negatif Type 0092 (Pembe Renkli Filamentler), Tutunmuş Çoğalma Gösteren Filamentler Gram Boyama, Şubat 2016, Aydınlik Saha Mikroskobu, 1000X.

Şekil 4.5 (devam) : Şubat 2016 havalandırma havuzu numunesi incelemeleri.

Filament sayısı aktif çamur sistemlerinde kabarma ve köpük oluşturma sınırlarını aştığı görülmüştür. Bu miktar filamentli mikroorganizma sayısı Jenkins ve diğ. (2003) de belirlediği “Göreceli Filament Çokluk Miktarı Sınıflamasında” [0 (Hiç Yok-None), 1 (Az-Few), 2 (Biraz-Some), 3 (Yaygın-Common), 4 (Çok Yaygın-Very Common), 5 (Fazla-Abundant), 6 (Aşırı Çok Fazla-Excessive)] kabarma için belirtilen değerlerden ”4” (Çok Yaygın-Very Common) ve “5” (“Fazla-Abundant) mertebelerinde olduğu görülmüştür. Mikrofotografılardan görüldüğü gibi filament sayıları flok başına 20-30 dan fazla (hatta bazı numunelerin bazı floklarında 100 lerce, çok fazla sayıda olduğundan, koyu ve görünmez duruma geldiğinden, görüntüler seyreltilerek alınmıştır) olduğu ve flokların birbirlerine bu filamentlerce

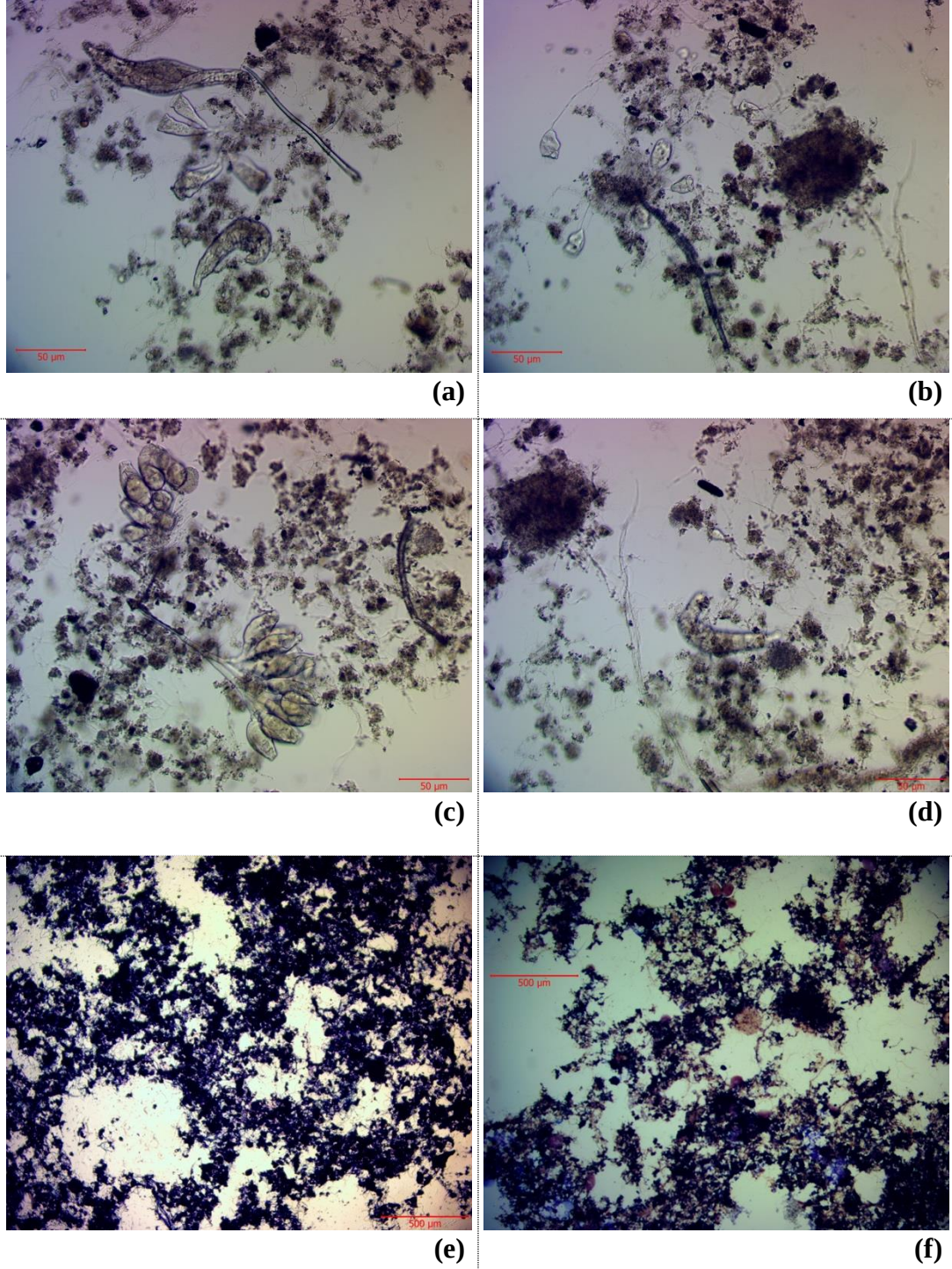
bağlandığı, yüzey alanlarını çok arttırdıkları tespit edilmiştir. Bu işletim koşulları ve atıksu karakterizasyonundaki farklılıkların süregelmeyeceği durumunda çamur hacim indeksinin (ÇHI) oldukça kritik seviyelere ulaşacağı ve kaçınılmaz olarak çamurun ikinci çökeltme havuzunda yeterince çökelemeyeceği ve çamur kaçağı meydana gelmesinin yüksek ihtimal olduğu söylenebilir. Birçok filamentli türünün daha çok flok içerisinde ve floktan dışarıya doğru çoğaldığını, birçok türün ise serbest halde aktif çamurun sıvı kısmında (bulk solusyonda) yer aldığı görülmüştür (Mikrofotografılar 1-64).

Aktif çamur sisteminde filamentli türler olarak en azından 9 türün (8 bakteri ve 1 mantar türü) var olduğu ve bunlardan özellikle 2 türün baskın olduğu tespit edilmiştir. Tespit edilen filamentli bakteri türleri en fazla sayıdan en aza doğru sıralanmış ve miktarları Jenkins ve diğ. (2003)'ün "Göreceli Filament Çokluk Miktarı" sınıflamasına göre Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6 : Paşaköy İBAAT'de Tanımlanan Filamentli Mikroorganizmalar ve Çoklukları (Jenkins ve diğ. 2003 "Göreceli Filament Çokluk Sınıflandırma Sistemi", 0-6 Aralığı)

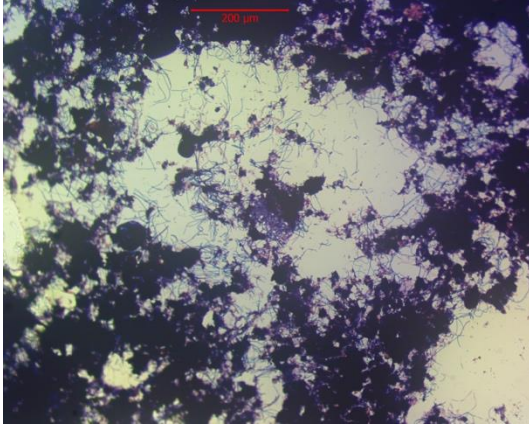
Tanımlanmış Filamentli Mikroorganizma	Jenkins'in "Göreceli Filament Çokluk Sınıflandırma Sistemi" Değeri	Flok Başına Sayılmış Filament Sayısı (Filaments/Flok)
Type 0092	5 (Çok Sık, Fazla)	20-25
<i>Microthrix parvicella</i>	4-5 (Çok Sık)	15-20
Type 1701	3 (Yaygın)	5-15
<i>Nostocoida limicola II</i>	2-3 (Biraz, Yaygın)	3-5
Type 0675	2 (Biraz)	1-3
<i>Bacillus spp.</i>	2 (Biraz)	1-3
<i>Beggiatoa spp.</i>	1 (Az)	1-2 (her flokta yok ve genelde bulk solusyonda)
Type 0765	1 (Seyrek, Az)	1-2 (her flokta yok, genelde flok kenarlarında ve bulk solusyonda)
Rhizopus spp.	1 (Çok Seyrek)	1 (nadiren bulk solusyonda görülüyor)

En önemli ve sayıca en fazla bulunan türlerden Type 0092 ve *Microthrix parvicella* sistemde baskın (dominant türler) türler olarak her flok ve serbest halde onlarca filament (>20 filament) bulk solüsyonda hemen hemen aynı sayılarda olmak üzere görülmüştür. Bu numunelerde sayıca Type 0092 birkaç adet daha fazla bulunabilmekte ve daha yayılı olarak floklarda yayılım göstermektedir.

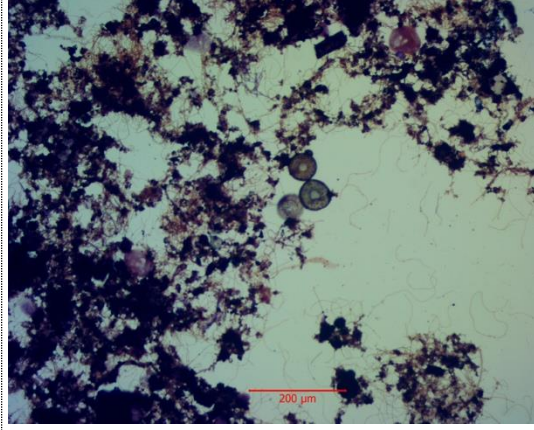


(a) Paşaköy İBAAT Havalandırma Havuzu Aktif Çamuru, Orijinal Canlı Numune, Genel Görüntü, Rotiferler (*Philodina* spp.), Tutunmuş Protozoalar (*Epistylis* spp.), Nematod ve Bulk Solusyondaki Flok Parçaları, Mart 2016, Aydınlik Saha Mikroskobu, 100X. (b) Paşaköy İBAAT Havalandırma Havuzu Aktif Çamuru, Orijinal Canlı Numune, Genel Görüntü, Tutunmuş Protozoalar (*Epistylis* spp.), Ökaryotik Bitki Lifi (Helozonik-Spiral Şekli) ve Bulk Solusyondaki Flok Parçaları, Filamentli Mikroorganizmalar, Mart 2016, Aydınlik Saha Mikroskobu, 100X. (c) Paşaköy İBAAT Havalandırma Havuzu Aktif Çamuru, Orijinal Canlı Numune, Genel Görüntü, Tutunmuş Koloni Protozoalar (*Opercularia* spp.), Mart 2016, Aydınlik Saha Mikroskobu, 100X. (d) Paşaköy İBAAT Havalandırma Havuzu Aktif Çamuru, Orijinal Canlı Numune, Genel Görüntü, Tutunmuş Protozoalar (*Epistylis* spp.), Rotifer (*Philodina* spp.), Ökaryotik Hücreler, Bulk Solusyondaki Uzun Filamentler, İri Sıkı Bir Flok ve Gevşek Flok Parçaları, Filamentli Mikroorganizmalar, Mart 2016, Aydınlik Saha Mikroskobu, 100X. (e) Paşaköy İBAAT Havalandırma Havuzu Aktif Çamuru, Genel Görüntü, Filamentli Bakteriler ve Flokların Durumu, Gram Boyama, Mart 2016, Aydınlik Saha Mikroskobu, 40X. (f) Paşaköy İBAAT Havalandırma Havuzu Aktif Çamuru, Genel Görüntü, Filamentli Bakteriler ve Flokların Durumu, Neisser Boyama, Mart 2016, Aydınlik Saha Mikroskobu, 40X.

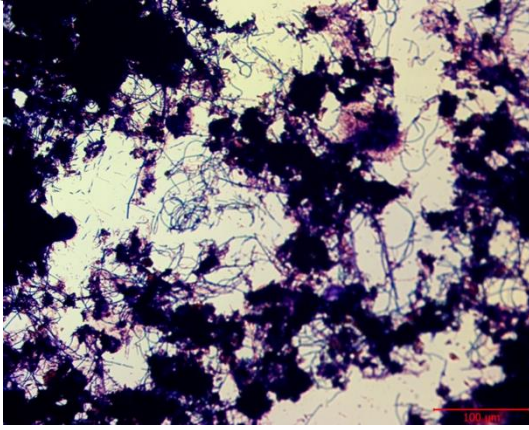
Şekil 4.6 : Mart 2016 havalandırma havuzu numunesi incelemeleri.



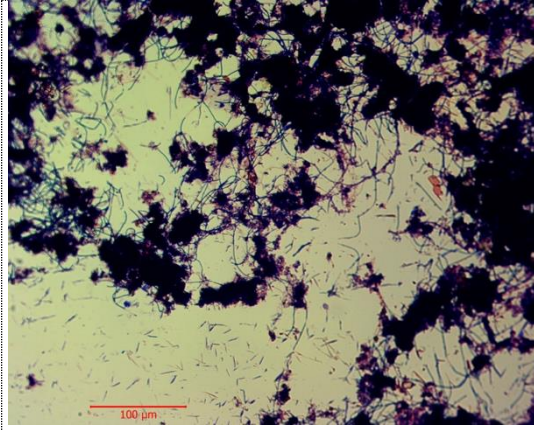
(g)



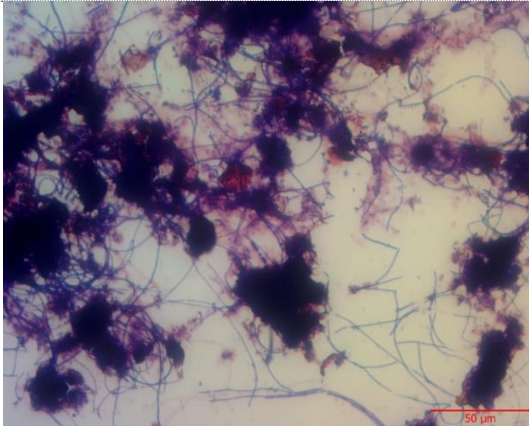
(h)



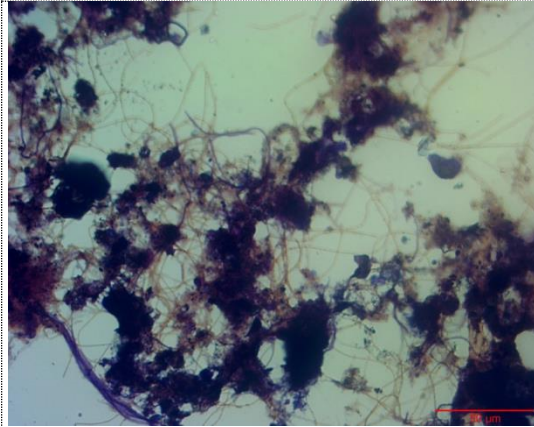
(i)



(j)



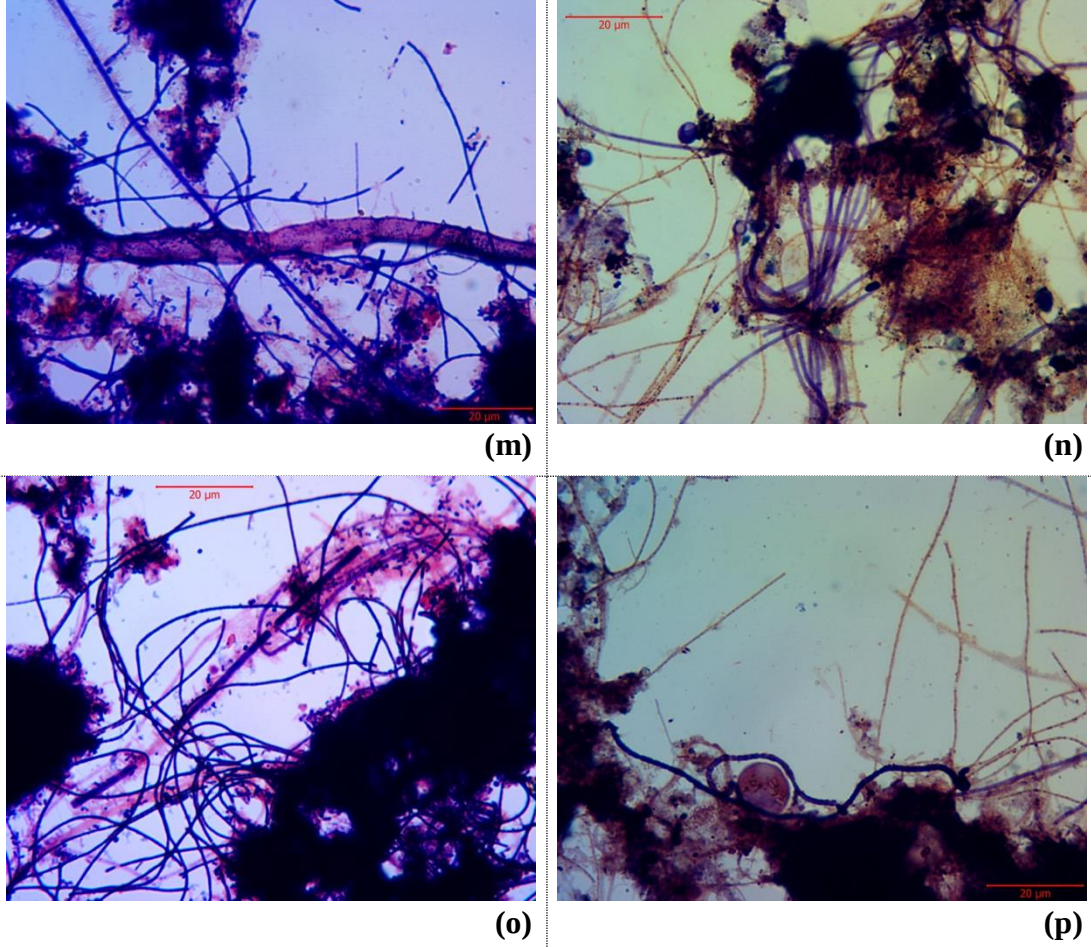
(k)



(l)

(g) Paşaköy İBAAT Havalandırma Havuzu Aktif Çamuru, Genel Görüntü, Filamentli Bakteriler ve Flokların Durumu, Gram Boyama, Mart 2016, Aydınlik Saha Mikroskobu, 100X. (h) Paşaköy İBAAT Havalandırma Havuzu Aktif Çamuru, Genel Görüntü, Ökaryotik Hücreler, Filamentli Bakteriler ve Flokların Durumu, Neisser Boyama, Mart 2016, Aydınlik Saha Mikroskobu, 100X. (i) Paşaköy İBAAT Havalandırma Havuzu Aktif Çamuru, Genel Görüntü, Filamentli Bakteriler ve Flokların Durumu, Gram Boyama, Mart 2016, Aydınlik Saha Mikroskobu, 200X. (j) Paşaköy İBAAT Havalandırma Havuzu Aktif Çamuru, Genel Görüntü, Filamentli Bakteriler ve Flokların Durumu, Neisser Boyama, Mart 2016, Aydınlik Saha Mikroskobu, 200X. (k) Paşaköy İBAAT Havalandırma Havuzu Aktif Çamuru, Genel Görüntü, Filamentli Bakteriler ve Yeni Gelişen Flok Matrisi (*Zoogloea ramigera* (Pembe Renkli Kümeler) Flokların Durumu, Gram Boyama, Mart 2016, Aydınlik Saha Mikroskobu, 400X. (l) Paşaköy İBAAT Havalandırma Havuzu Aktif Çamuru, Genel Görüntü, Dominant Neisser Negatif Filamentli Bakteri *Microthrix parvicella* (Sarı Renkli Filament) ve Neisser Pozitif Type 0092 (Mavi Renkli Filamentler), Neisser Boyama, Mart 2016, Aydınlik Saha Mikroskobu, 400X.

Şekil 4.6 (devam) : Mart 2016 havalandırma havuzu numunesi incelemeleri.



(m) Paşaköy İBAAT Havalandırma Havuzu Aktif Çamuru, Genel Görüntü, Gram Pozitif Filamentli Bakteri *Microthrix parvicella* (Mavi Renkli Filamentler) ve Type 0092 (Pembe Renkli Filamentler), Üzerinde Tutunmuş Bakteriye Çoğalma Olan (Attached Growth) Type 0765 (Kalın Mavi Gram Pozitif Filament), Pembe İnce Filamentler Type 1701, Mantar (*Rhizopus* spp., Pembe Kalın Filament) ve Floklar, Gram Boyama, Mart 2016, Aydınlik Saha Mikroskobu, 1000X. (n) Paşaköy İBAAT Havalandırma Havuzu Aktif Çamuru, Genel Görüntü, Neisser Negatif Filamentli Bakteri *Microthrix parvicella* (Sarı Renkli Filamentler) ve Neisser Pozitif Type 0092 (Mavi Renkli Filamentler), Sarı İnce Neisser Negatif Filamentler Type 1701, Yeni Gelişen Flok Yapıcı *Zoogloea ramigera* (Açık Kahve-Sarı Renkli Bakterilerle Dolu Matriks), Ökaryotik Hücreler ve Floklar, Neisser Boyama, Mart 2016, Aydınlik Saha Mikroskobu, 1000X. (o) Paşaköy İBAAT Havalandırma Havuzu Aktif Çamuru, Genel Görüntü, Gram Pozitif Filamentli Bakteri *Microthrix parvicella* (Mavi Renkli Filamentler) ve Type 0092 (Pembe Renkli Filamentler), Üzerinde Tutunmuş Bakteriye Çoğalma Olan (Attached Growth) Type 0765 (Kalın Mavi Gram Pozitif Filament), Gram Boyama, Mart 2016, Aydınlik Saha Mikroskobu, 1000X. (p) Paşaköy İBAAT Havalandırma Havuzu Aktif Çamuru, Genel Görüntü, Neisser Negatif Filamentli Bakteri *Microthrix parvicella* (Sarı Renkli Filamentler) ve Neisser Pozitif Type 0092 (Açık Mavi Renkli Filamentler), Sarı İnce Neisser Negatif Filamentler Type 1701, *Bacillus* spp. Zinciri (Koyu Mavi Filament), Ökaryotik Hücreler, Neisser Boyama, Mart 2016, Aydınlik Saha Mikroskobu, 1000X.

Şekil 4.6 (devam) : Mart 2016 havalandırma havuzu numunesi incelemeleri.

Diğer sayıca daha az önemli ikincil dereceden olan filamentli bakteri türleri Type 1701, Type 0675, Type 0765, *Nostocoida limicola* II ve *Beggiatoa* spp., *Bacillus* spp. dir. Bu türlerden Type 1701 sayıları flok başına 5-15; *Nostocoida limicola* II flok başına 3-5; Type 0675, *Beggiatoa* spp. ve *Bacillus* spp ise flok başına 1-3 ve Type 0765 her flokta olmamakla birlikte bazı floklarda 1-2 filament ve mantar *Rhizopus* spp. (septasız fungi) 1 filament kadar tespit edilmişlerdir. Özellikle Type 1701 ve *Nostocoida limicola* II mevcut durumda baskın türlerden (Type 0092 ve *Microthrix parvicella*) daha azdır olmakla birlikte ileride koşulların bu türlerin avantajına

değişmesi durumunda baskın duruma geçme potansiyelleri bulunmaktadır. Type 0675 ve Type 1701 filamentli bakterilerinin üzerlerinde tutunmuş diğer serbest bakterilerin çoğalmasa sıkça rastlanmış ve tespit edilmiştir.

4.3.1 Çamur hacim indeksi ve sistemin çökelme performansı

Çamur Hacim İndeksi (ÇHİ) sistemdeki aktif çamurun çökelme özelliğinin bir göstergesi olarak kullanılmakta ve 1 gram çamurun kapladığı hacim (ml) olarak tanımlanmaktadır. Arıtma tesisinin son 2 yılındaki ÇHİ değerlerine bakıldığında genelde 2015 yılında daha yüksek ortalamalarla çalıştığı (minimum 79 ml/g, maksimum 210 ml/g ve ortalama 137 ml/g) ve 2016 yılının ilk 4 aylık döneminde ölçülen ÇHİ değerleri ise daha düşük olarak (minimum 52 ml/g, maksimum 113 ml/g ve ortalama 84/g) seyrettiği görölmüştür. Burada literatür bilgisi olarak 150 ml/g ÇHİ değeri aktif çamurun kabarmaya başladığı seviye olarak gösterilmekte ve bu değerden büyük değerlerde aktif çamur sisteminin çökelme problemine sahip olacağı ifade edilmektedir. ÇHİ değerlerinin genelde 50 ml/g değerinin altında kalması durumunda ise bir başka çökelme problemi olan “iğne ucu flok oluşumu şeklinde çok küçük flokların gelişmesi ve dağılı çoğalma” (pin-point floc ve dispersed floc) ve yeterli sayıda veya hiç filamentli mikroorganizma olmaması durumu ortaya çıkmaktadır. Bu durum çalışmanın sürdürüldüğü zaman içerisinde tespit edilmemiş ve görölmemiştir. 2015 yılında 150 ml/g değerinin üzerinde görölen zamanlarda tesisin çamur kabarması ve şişmesi problemiyle karşı karşıya kaldığı söylenebilir. Ancak 2016 yılında henüz bu değeri aşan bir ölçüm olmamıştır. Bu durum sistemin çökelme problemi bakımından önemli bir problemi mevcut durumda olmadığının bir göstergesidir. Ancak koşullara bağılı olarak bu durumun çok kısa sürede değişerek bir önceki yıl işletim koşullarına dönerek hızla kabarma ve köpük problemi sonucunda çökelme problemiyle yüz yüze gelebileceği unutulmamalıdır. Ölçülen ve analiz edilen filamentli mikroorganizmaların miktarı hakkında Çizelge 4.3’de tespit edilerek verilen Jenkins ve diğ.’nin (2003) “Göreceli Filament Çokluk Miktarı” sınıflamasında çamur kabarması ve köpük oluşumu için kritik değerler olan 5-6 (filament sayısı çok fazla ve aşırı sayıda) seviyelerini aşmadığı görölmektedir. Bazı floklarda bu durum kritik eşik değerlerde görölmekle birlikte son çökelme tankından önemli bir askıda katı madde kaçağının olmadığı çıkış suyu analizlerinden anlaşılmaktadır. Bu durum ile sistemin özellikle Jenkins ve diğ.’nin (2003) sınıflamasında filamentli mikroorganizmaların 3-5 değerlerinde çalışması

durumunda veriminin yüksek ve problemsiz olarak çökelme işleminin tamamlanabileceği öngörülmektedir. Bu durumda mikroskobik olarak yapılacak izlemelerin sistemin çökelme performansı hakkında kısa sürede önemli bilgiler sağlayacağı öngörüsü yapılabilir. Özellikle sayıca kritik değerlerde bulunan Type 0092 ve *Microthrix parvicella* filamentli bakterilerin sürekli izlenerek gerekli önlemlerin alınması ve işletim koşullarının düzenlenerek bu türlerin durumuna göre değiştirilmesinin sistem verimi ve performansına yardımcı olacağı söylenebilir.

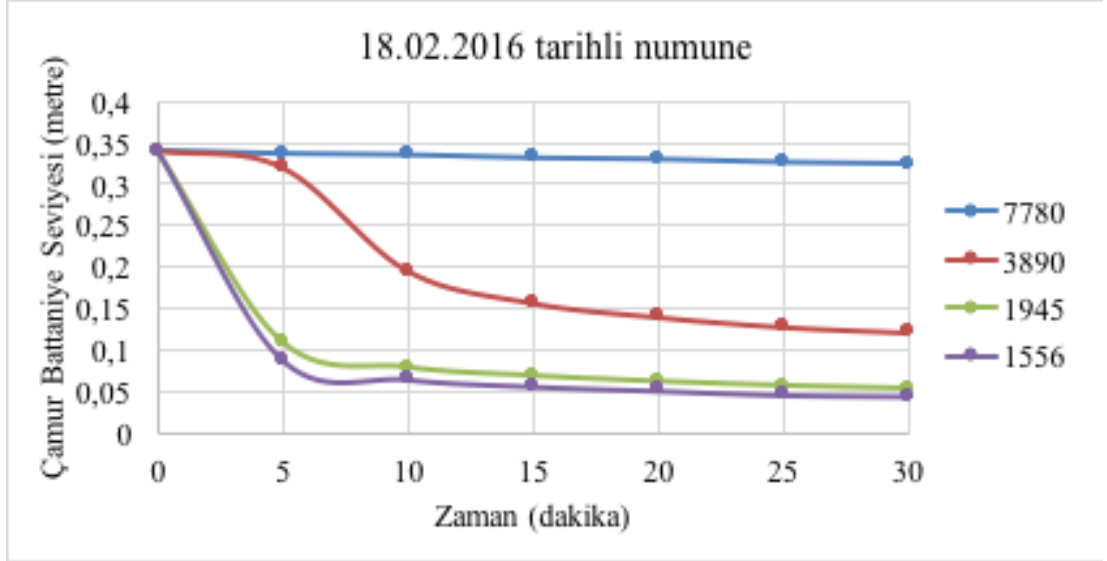
4.3.2 Mikroskobik incelemenin genel değerlendirmesi

Özet olarak flok yapıcı bakterilerin (*Zooglea ramigera*) sistemde zayıf kaldığı ve filamentli mikroorganizma türlerinin dominant hale geçerek çökelme ve katı ayırma problemine neden oldukları söylenebilir. Aktif çamur içerisinde çok kaliteli floklar görülmemiş ve ÇHİ değerleri oldukça yüksek olarak tespit edilmiştir. Aktif çamur floklarının genelde partikül boyutlarının 50-200 µm kadar olduğu düşük organik yüklemeler ve uzun zaman bekletme süreleri dolayısıyla flokların yeteri kadar büyümediği ve yeteri kadar flok yapıcı bakterilerin gelişmesine imkan tanımadığı anlaşılmaktadır. Bu flok boyutlarının biraz daha büyük olması durumunda (200-500 µm) ÇHİ değerlerinin daha iyi olabileceği ve katı ayırma probleminin çözülebileceği öngörülmektedir. Aktif çamur sistemi içerisinde mevcut durumda 2 filamentli bakteri türü Type 0092 (1. derece baskın) ve *Microthrix parvicella* (2. derece baskın) baskın (dominant) türler olarak bulunmuştur. Bu türlerin sistemde kontrol altına alınması ve gerekli uygulamaların yapılması gerekmektedir. Bu mikrobiyolojik izleme çalışmalarının daha anlamlı ve faydalı olabilmesi için bu çalışmalara ilaveten sürekli ve ayrıca sistemdeki diğer partiküllerin (virüs ve katı partiküller) boyut ve sayı analizinin yapılmasının faydalı ve etkili olacağı düşünülmektedir. Bu mikroskobik inceleme ve izlemeler kısa sürede bazı olumlu sonuçlar verebilse de bu çalışmaların doğrulanması ve daha uzun zamanda moleküler tekniklerle ve modern bilimsel enstrümanlarla çeşitli analiz ve testlerin yapılması sistemin işleyişini ve etkinliğini anlayabilme adına büyük önem taşımaktadır. Bu testlerin birlikte değerlendirilmesi ve paralel izlenmesi işletim problemlerin kontrol ve çözümünde yararlar sağlayacak ve önemli maliyet düşüşlerine yol açacaktır. Model çalışmalarına yol göstermesi bakımından anahtar parametrelerin aktif çamur gösterge mikroorganizmaları (indikatör organizma olarak saplı tutunmuş protozoalar, rotiferler, flok makro yapısı ve boyutları seçilebilir) ve filamentli mikroorganizmaların sayısal durumunun

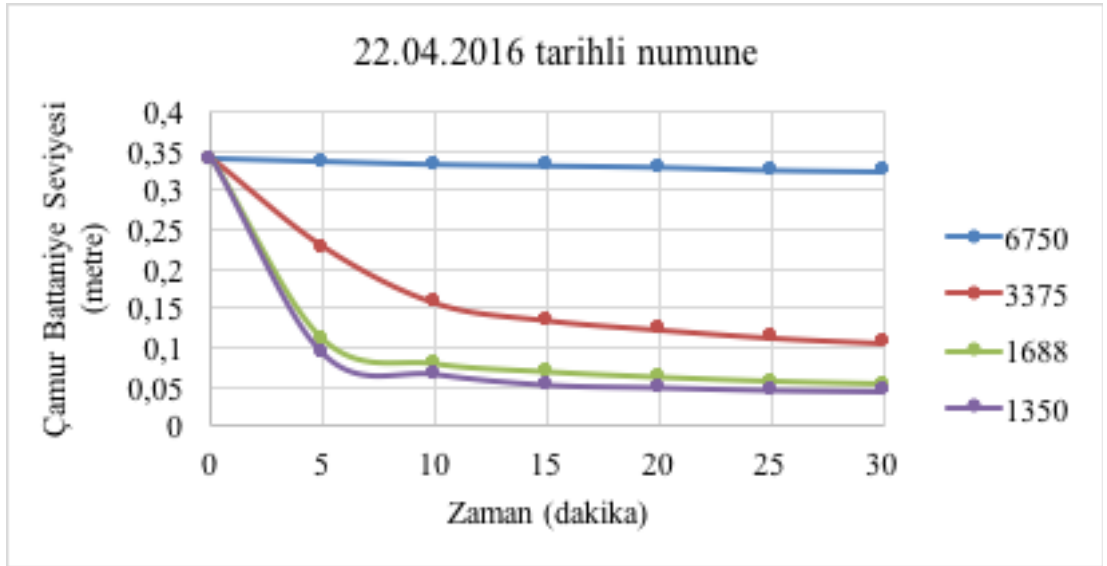
izlenmesinin biyolojik atıksu arıtma tesislerinin işleyişi ve verimliliği hakkında bir ön fikir verebileceği görülebilmektedir. İndikatör filamentli mikroorganizmaların sayısı Jenkins ve diğ.'nin (2003) “Göreceli Filament Çokluk Sınıflandırma Sistemi”nin “2”, “3”, “4”, “5” değerlerinde aktif çamurun çökeltme özelliğini koruduğu ve son çöktürmede problem yaşanmadığı söylenebilir. Ancak filamentli miktarının “0”, “1”, “5” (bazı türler için *Nocardia* spp. türleri gibi olduğunda problem) ve “6” mertebelerinde filament sayısının yetersiz veya aşırı fazla sayılarda olduğunda ise ya çökeltmeme yada diğer iğne ucu gibi küçük flok oluşumu (üst fazda bulanıklık) gibi diğer çökeltme problemleri görülmektedir. “6” mertebesinde hemen hemen her proseste kabarma ve köpük problemi ortaya çıkmaktadır. Bu durum birçok arıtma tesisinde tespit ve tecrübe edilmiştir. Filament sayısı ve bazı ökaryotik mikroorganizmaların aktif çamurun iyi işletilebilmesi için pratik olarak mikroskopta izlenmesi ve tanımlanması iyi bir indikatör olarak kullanılabilir. Katı-sıvı ayırma işleminin performansının artırılmasında flokların iri (1 mm den büyük) ve sıkı yapıda ve çok sayıda olmasının büyük önem taşıdığı görülmektedir. Aktif çamurun içerisindeki Zoogloea matriksin büyümesi ve sıkılaştırılması işletim parametreleriyle artırılabilir ve yapısının yeterli sayıdaki filamentli mikroorganizma ile desteklenmesinin fayda ancak fazla sayıda aşırı çoğalmasının yüzey alanı artması ve flok yoğunluğunun düşmesi nedeniyle zararlı olacağı anlaşılmaktadır. Bu durumda arıtma tesisi proses kontrolünün model çalışmalarının dinamik hale getirilmesi ile her bir ünitenin ve işletim parametrelerinin mikrobiyolojik kontrol ve izleme ile iyileştirilebileceği bu çalışma ile anlaşılmaktadır.

4.4 Çökeltme Hızı Testi Sonuçları

Numuneler 18.02.16, 22.04.16 ve 28.04.16 tarihlerinde Paşaköy tesisinden alınmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda farklı tarihlerde alınan 3 numunenin ham, 2 kat seyreltik, 4 kat seyreltik ve 5 kat seyreltik her konsantrasyonu için elde edilen çamur battaniye seviyesi-zaman grafikleri Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’ da gösterilmiştir. Çamur battaniye seviyesi-zaman eğrilerinde görülen ilk dakikalardaki düşüş ilgili konsantrasyondaki sabit çökeltme hızını vermektedir (Somogyi ve diğ., 2010). Eğrilerin bu bölgelerinden eğim ile hız hesaplanmıştır. Hesaplanan hızlar Çizelge 4.7’ de sunulmuştur. Elde edilen sonuçlardan çökeltme hızı-konsantrasyon trendleri elde edilmiştir. Bu trendler Şekil 4.10’de yer alan grafikte gösterilmektedir.

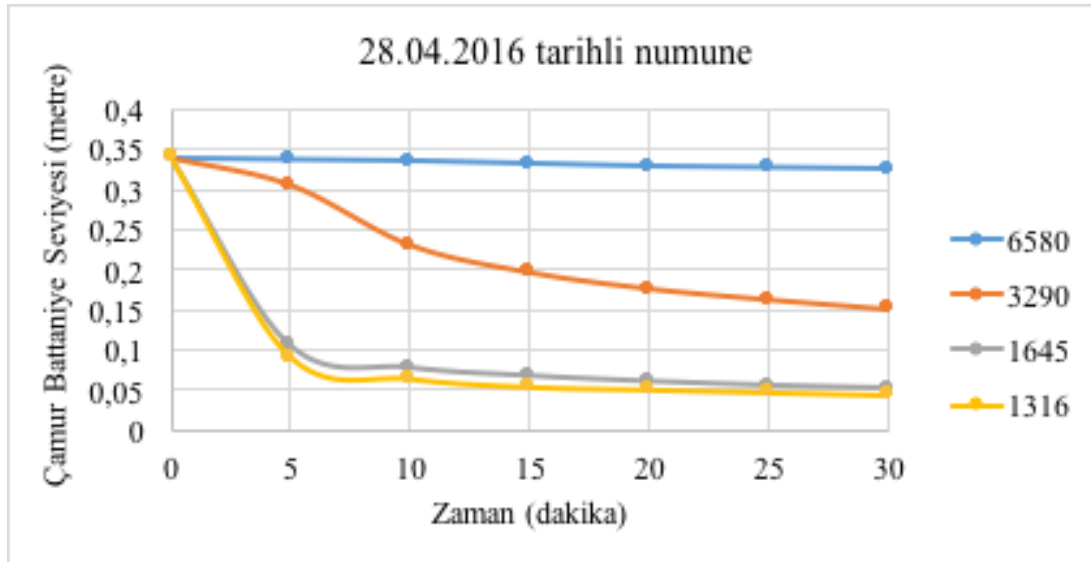


Şekil 4.7 : 18.02.2016 tarihli numune için farklı konsantrasyonlarda çamur battaniye seviyesi-zaman eğrileri.



Şekil 4.8 : 22.04.2016 tarihli numune için farklı konsantrasyonlarda çamur battaniye seviyesi-zaman eğrileri.

Şekil 4.8’ deki grafikte başlangıç azalma evresi ve devamındaki lineer kısım açıkça görülebilmektedir. Düşük konsantrasyonlarda yapılan deneylerde çökme hızı yüksek olup, konsantrasyonu yüksek numunelerin yavaş çökelmektedir. Hız-konsantrasyon eğrileri üstel fonksiyon göstermekte ve Vesilind ile Takács modelleri uygulanabilmektedir. Bu işlem için konsantrasyona karşı hız trendleri Vesilind modeline (denklem 2.2) oturtulacak şekilde üstel trend denklemleri elde edilmiştir.



Şekil 4.9 : 28.04.2016 tarihli numune için farklı konsantrasyonlarda çamur battaniye seviyesi-zaman eğrileri.

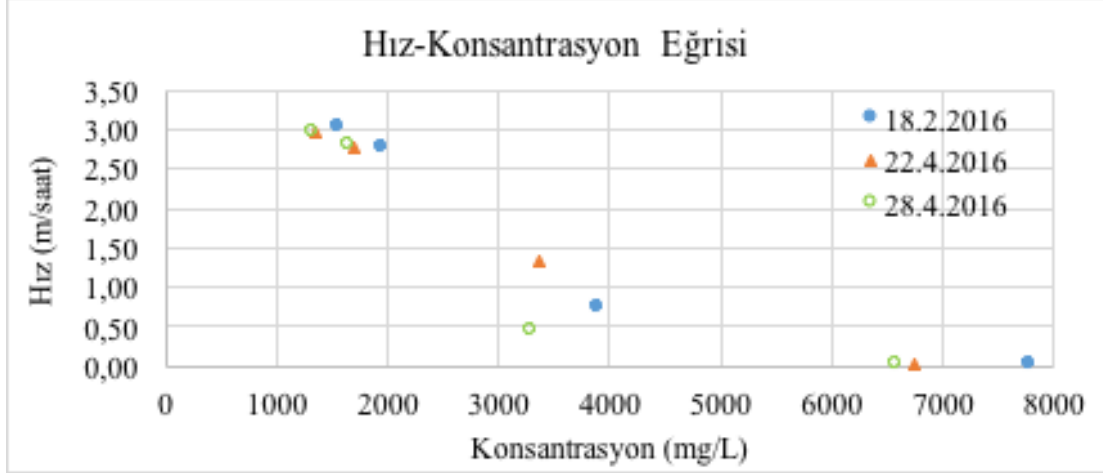
Çizelge 4.7 : Çamur çökelme hızı testi sonuçları.

	MLSS mg/L	HIZ m/sa
18.02.2016	1556	3,0192
	1945	2,7744
	3890	0,7446
	7780	0,0408
22.04.2016	1350	2,9784
	1687,5	2,7744
	3375	1,3464
	6750	0,0408
28.04.2016	1316	2,9784
	1645	2,8152
	3290	0,4488
	6580	0,0204

R^2 değerlerine bakılarak en yüksek R^2 değerine sahip ($R^2=0,99703$) olan 18.02.2016 tarihli numunenin konsantrasyon-hız eğrisi üstel trend denklemi elde etmek için kullanılmıştır. Üstel trend denklemi;

$$y = 10,284 * e^{-0.0007x} \quad (4.1)$$

şeklindedir.



Şekil 4.10 : Hız-konsantrasyon trendleri.

Bu denklem, 2.2 denklemindeki Vesilind eşitliğiyle özdeşleştirildiğinde V_0 başlangıç çökeltme hızı ve K çökeltme katsayısı elde edilmiştir. Denklem 4.1' e göre;

$$V_0 = 10,284 \text{ m/sa} = 246,8 \text{ m/gün} \quad (4.2)$$

$$K = 0,0007 \text{ m}^3/\text{g} = 0,7 \text{ m}^3/\text{kg} \quad (4.3)$$

olarak elde edilmiştir. Verilerin Vesilind ve Takács çökeltme eğrilerine oturtulması için yapılan düzeltmeler sonunda kullanılan parametrelerin değerleri Çizelge 4.8' de gösterilmiştir.

Çizelge 4.8 : Vesilind ve Takacs modellerinde kullanılan parametre değerleri.

Vesilind Modeli		
Parametre	Değer	Birim
V_0	246,8	m/gün
K	0,69	m ³ /kg
Takács Modeli		
Parametre	Değer	Birim
V_0	246,8	m/gün
r_h	0,64	m ³ /kg
r_p	0,79	m ³ /kg
f_{ns}	0,003	-
X_{min}	23	mg/L

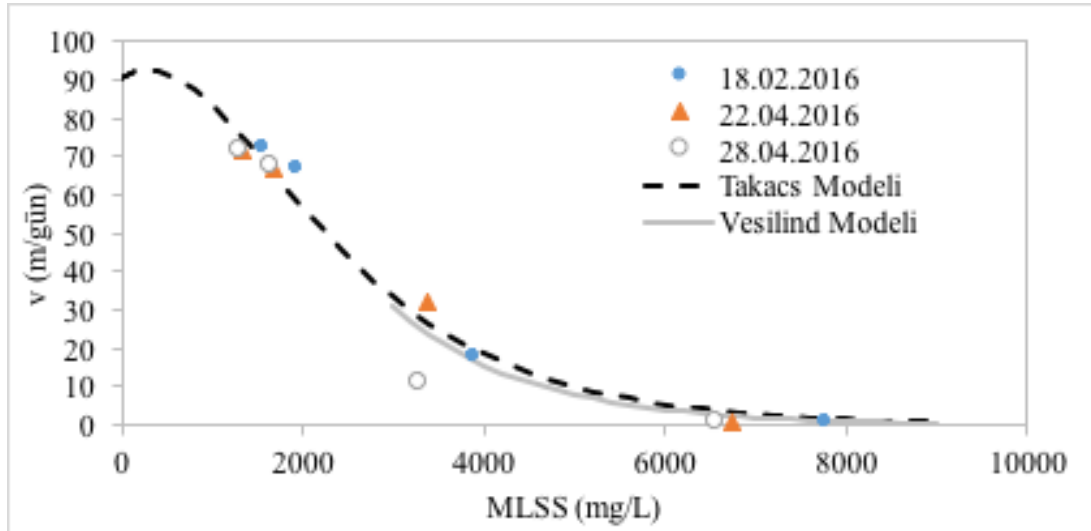
Çalışmada kullanılan parametreler Çizelge 2.3' deki literatür çalışmaları ile kıyaslanmıştır. Bu kıyaslama için hesaplamalarda CH_2 kullanılmaktadır. Yüksek R^2

değeri nedeniyle baz alınan numunenin ÇHİ Çizelge 3.13’ de görüldüğü üzere 82 mL/g dır. Çizelge 4.9’ da literatürde parametre hesaplanmasında kullanılan korelasyon denklemlerinin, üstel trendi alınan deneyin ÇHİ ile yapılan hesap sonuçları verilmiştir.

18.02.2016, 22.04.2016 ve 28.04.2016 tarihli numunelerin konsantrasyonlara karşı çökelme hızları verileri ile Vesilind ve Takács modellerinin belirlenen değerler ile oluşturulmuş eğrileri Şekil 4.11’ de verilmiştir.

Çizelge 4.9 : Çökelme katsayıları için referans değerlerin hesaplanması.

Referans Çalışma	ÇHİ (mL/g)	V_0 (m/sa)	K (m ³ /kg)
Mines ve diğerleri	27-236	7,27	0,22
Hartel ve Pöpel	-	6,91	0,43
Daigger ve Roper	36-402	7,80	0,32
Akca ve diğerleri	-	8,70	0,29
Wahlberg ve Keinath	48-235	11,14	0,40
Ozinsky ve Ekama	-	6,50	0,30
Daigger	36-402	7,45	0,27
Bu Çalışma	82	10,28	0,69



Şekil 4.11 : Ölçülen hızlara göre Vesilind ve Takács eğrilerinin oluşturulması.

Vesilind modelinde kullanılan parametreler literatürde verilen ÇHİ korelasyonlu referans denklemleri ile hesap yapıp karşılaştırıldığında V_0 başlangıç çökelme hızının Wahlberg ve Keinath referans değerlerine yakın olduğu görülmekte olup, K

çökelme katsayısı için referans değerler ile bir ilişki görülememiştir. Benzer şekilde, iyi çökelebilen çamurlar 13 m/sa civarında V_0 değerine sahip olup (Ekama ve diğ, 1997) bu çalışmada kullanılan çamurun V_0 değerine göre iyi çökebilir olarak değerlendirilmesi mümkündür. Fakat iyi çökelebilen çamurun 0,25 m³/kg civarlarında düşük K değerine sahip olması gerekirken (Ekama ve diğ, 1997) bu çalışmada 0,69 m³/kg çökelme katsayısı ile zayıf çökebilir çamur olarak sınıflandırılan değer üzerinde K değeri bulunmuştur. Vesilind modeli gerçek verileri belirli bir konsantrasyona kadar yansıtmakta olup, düşük konsantrasyonlar için kullanılamamaktadır. Takács modeli daha düşük konsantrasyonlar için gerçek verilerle örtüşmektedir.

Çökelme hızı testi yapılan günlerdeki tesis giriş ve çıkış 2a saatlik kompozit AKM konsantrasyonları şu şekildedir; 18.02.2016 tarihinde giriş 163 mg/L çıkış 13 mg/L, 22.02.2016 tarihinde giriş 344 mg/L çıkış 13 mg/L ve 28.04.2016 tarihinde giriş 262 mg/L çıkış 18 mg/L'dir.

4.5 Değerlendirme

4.5.1 Proses sonuçlarının değerlendirilmesi

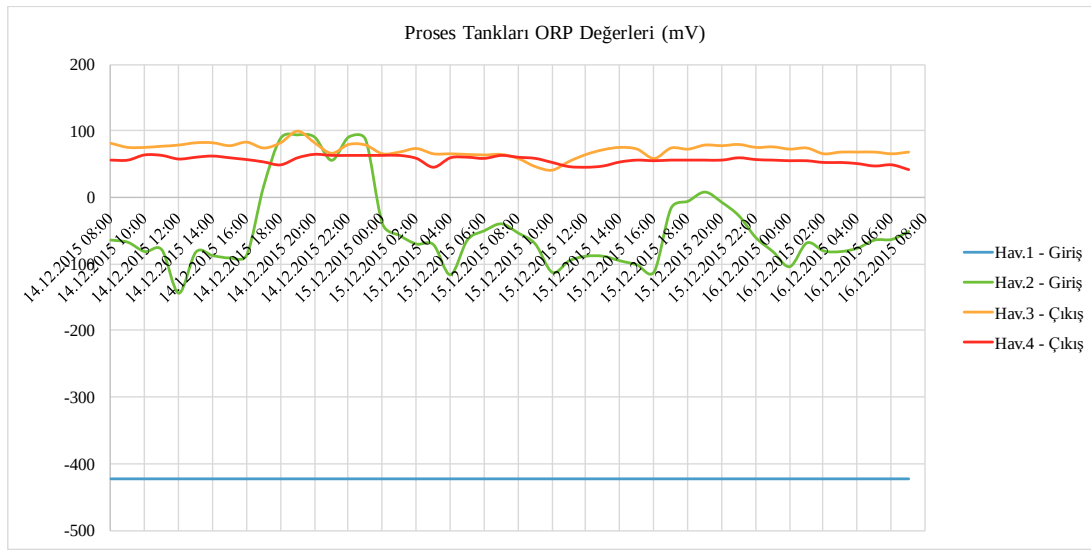
BioWin programı ile yapılan simülasyonda farklı V_D/V_T oranları ile yapılan model karşılaştırmasında çıkış azot değerleri incelendiğinde amonyum ve nitrat azotu sonuçlarında farklılıklar görülmektedir (Çizelge 4.2 ve 4.3). V_D/V_T oranı 0,35 olarak simüle edilen işletme koşulunda (işletme koşulu – 1) çıkış suyunda amonyum azotu konsantrasyonu 6,97 mg/L kaydedilerek amonyum azotu giderimin sağlanamadığı görülmekte, buna karşın 8,79 mg/L çıkış suyu toplam azot konsantrasyonu ile toplam azot çıkış konsantrasyonu deşarj standartlarına göre limit altı kalmaktadır (SKKY, 2004). Bu işletme koşulunda görülen çıkış nitrat azotu konsantrasyonu 0,06 mg/L'dir. Diğer işletme koşulunda ise (işletme koşulu – 2), V_D/V_T oranı 0,30 olup çıkış suyunda amonyum azotu 0,32 mg/L ve nitrat azotu 6,97 mg/L olarak kaydedilmiştir. Toplam azot konsantrasyonu simülasyona göre 9,56 mg/L olarak kaydedilerek, işletme koşulu – 2 için çıkış toplam azot konsantrasyonunun deşarj standartlarına göre limit altı kaldığı görülmüştür.

İşletme koşulu – 1 için son çökeltim amonyum azotu gideriminin sağlanamadığı ve deşarj ile alıcı ortamda bulunacağı söylenebilir. Bununla birlikte son çökeltim

tanklarında anaerobik ortamı engelleyecek nitrat azotu konsantrasyonunun bulunmadığı, düşük amonyum azotu giderimi neticesinde yeterli nitrat azotu üretilmediği görülmektedir.

Anoksik tankta elektron alıcısı olarak görev yapacak olan nitrat azotunun olmaması, anoksik hacmin büyük bir kısmında anaerobik şartların oluşmasına neden olmaktadır (İnsel vd., 2015). Paşaköy İBAAT proses tanklarında ölçülen ORP sonuçları (mV) Şekil 4.12’ de yer almaktadır.

Şekil 4.12 : Proses tankları ORP değerleri (mV).



Şekil 4.12’de oksik olarak işletilen 3 ve 4 nolu tanklarda ORP ölçümlerinin stabil ve 50-100 mV aralığında olduğu görülmektedir. 2 nolu proses havuzu; 14.12.2015 tarihinde 16:00-23:00 saatleri arası full oksik, 15.12.2015 tarihinde 16:00-21:00 saatleri arası %78 oksik, diğer saatlerde %50 olarak işletilmiştir. Buna göre, 14.12.2015 tarihinde 16:00-23:00 saatleri arası V_D/V_T oranı 0,25, 15.12.2015 tarihinde 16:00-21:00 saatleri arası V_D/V_T oranı 0,30, diğer saatlerde V_D/V_T oranı 0,38 olarak işletilmiş olmaktadır. V_D/V_T oranı 0,38 iken 2 nolu tankta ortalama -80 mV değerinde ORP görülmekte olup, tankın %50 oksik işletilmesine rağmen anoksik şartların görüldüğü söylenebilir. V_D/V_T oranı 0,30 olarak ayarlandığında 2 nolu tankta ORP değerinin 0 mV’ a kadar yükseldiği görülmekte ve %78 oksik işletilmesine rağmen oksik şartlar tankta sağlanamamaktadır. 0,25 V_D/V_T oranında ORP değerinin 100 mV’ a kadar yükseldiği görülmüş olup istenilen oksik şartların sağlandığı söylenebilir. Tüm bu sonuçlarla beraber, 1 nolu anoksik tankta -420 mV civarında ORP değeri ölçülmüş olup tankın anaerobik şartlarda işletildiği, V_D/V_T

oranının saatlik olarak kısa süreli düşürülmesinin bu tankta ORP değerlerinde bir değişiklik göstermediği görülmektedir. 1 nolu tankta ORP değerlerinde değişiklik (değerlerin yükselip anoksik şartların oluşması) gözlenmesi için yeterli hidrolik bekletme süresince $0,25 V_D/V_T$ oranının sürdürülmesi gerektiği düşünülmektedir.

ATV-DVWK-A 131 E tasarımına göre azot çıkış değerlerini güvenli olarak tutabilecek V_D/V_T oranının 0,50 olduğu, bu oranın düşürülmesinin bir işletme seçeneği olmadığı öngörülmektedir. V_D/V_T oranının düşürülmesi ile çıkış nitrat azotu konsantrasyonunda büyük bir artış görülecek ve çıkış toplam azotu konsantrasyonu limit üstü değere ulaşacaktır. İşletmede 14-16.12.2015 tarihleri arasında yapılan çalışmada V_D/V_T oranının 0,30 olduğu zaman diliminde çıkış suyunda ortalama 0,5 mg/L amonyum azotu, 5,8 mg/L nitrat azotu ve buna karşın toplam azot konsantrasyonu 8,6 mg/L olarak ölçülmüş olup ATV-DVWK-A 131 E tasarımında öngörülen deşarj suyunda toplam azotun limit üstü olma durumu ile karşılaşılmamıştır.

Simülasyonda çamur yaşı 18 gün olarak belirlenmiş olup, işletme şartlarında çamur yaşı 20 gün olarak görülmüştür. ATV-DVWK-A 131 E tasarımında 17 °C için çamur yaşları nitrifikasyon için 4,6 gün olup sistem için 6,7 gün olarak hesaplanmıştır. ATV-DVWK-A 131 E tasarımında hesaplanan çamur yaşlarında gerekli arıtımın bu tesis için sağlanamayacağı düşünülmektedir.

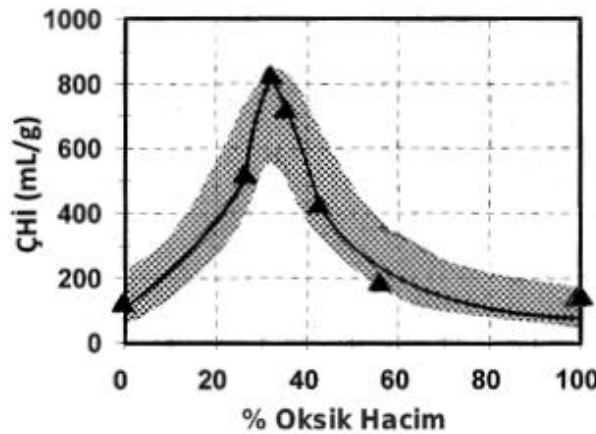
ATV-DVWK-A 131 E tasarımında 17 °C için üreyen çamur 44.691 kg/gün olarak hesaplanmış olup (V_D/V_T oranı 0,40), model simülasyonunda bu değer 0,35 V_D/V_T oranı için 38.033 kg/gün ve 0,30 V_D/V_T oranı için bu değer 36.106 kg/gün' dür. İşletmede ortalama üreyen çamur 36.330 kg/gün olarak kaydedilmiştir.

4.5.2 Çamur çökebilirliğinin değerlendirilmesi

Ekama ve diğ. (1997) çalışmasına göre iyi çökelebilen çamur 13 m/saat civarı yüksek V_0 değerine ve 0,25 m³/kg civarı düşük K değerine sahip olmalıdır. Tesisten alınan çamur numuneleri ile yapılan çalışmalarda, Vesilind parametreleri V_0 10,28 m/saat belirlenmiş olup iyi çökebilir çamur olarak değerlendirilebilirken K değeri 0,69 m³/kg olarak belirlenmiş olup zayıf çökebilir çamur olarak yorumlanabilir. Yapılan çalışmada ÇHİ 82 mL/g ölçülmüştür ve bu değere göre çamurun iyi çökebilir olarak değerlendirilebilmesi mümkündür.

ATV-DVWK-A 131 E tasarımında 4480 mg/L proses askıda katı madde (MLSS) konsantrasyonu için gerekli toplam çökeltme yüzey alanı 5.315 m² olarak hesaplanırken, yapılan çökeltme testinde oluşturulan eğriden gerekli alanın 11.588 m² olması gerektiği görülmektedir. Tesis işletmesinde 6000 mg/L MLSS konsantrasyonunda 13.594 m² yüzey alanının son çökeltim amacıyla kullanıldığı belirlenmiştir. ATV-DVWK-A 131 E tasarımında hesaplanan yüzey alanının efektif çökeltme için yeterli olmadığı, uygulanması halinde çamur çökeltmesinin sağlanamayacağı ve deşarj AKM konsantrasyonlarının yüksek ve hatta limit üstü olabileceği yorumu yapılabilir.

V_D/V_T oranının çamur çökebilirliği üzerinde büyük rolü vardır. Prosesteeki yüzde oksik hacim çamur hacim indeksi ile ilişkilendirilerek çamurun çökeltme özelliği belirlenebilmektedir (Lakay ve diğ, 1999). Yüzde oksik hacime karşılık çamur hacim indeksi grafiği Şekil 4.13' de verilmiştir.



Şekil 4.13 : ÇHI - % oksik hacim ilişkisi (Lakay ve diğ, 1999).

Şekil 4.13' de %30 - %40 oksik hacim işletmelerinde çamur hacim indeksinin maksimum trendte olduğu ve çökelebilmek özelliğinin kötü olduğu görülmektedir. Oksik hacmin % 65'ten %70'e artırılması, diğer bir deyiş ile V_D/V_T oranının 0,35'ten 0,30'a düşürülmesi ile çamurun çökelebilmek özelliğinin artırılabilirdiği ve daha iyi çökebilir çamur elde edilebileceği söylenebilir.

Değişen V_D/V_T oranının çamura iyi çökelebilmek özelliği vereceği gibi kabarma problemine de neden olabilecek filamentliler üzerinde doğrudan etkisi bulunmaktadır. 0,6-0,7 V_D/V_T oranı, tesis sisteminin mikrobiyal yapısında ilk iki sırasında bulunan baskın türler olan Type 0092 ve *Microthrix parvicella* filamentlilerinin artışının maksimum olduğu V_D/V_T oranı olarak tespit edilmiştir

(Lakay ve diğ, 1999). Bununla birlikte, V_D/V_T oranının 0,35' ten 0,30'a düşürülmesi Type 0092 ve *Microthrix parvicella* filamentlilerinin artışı azaltacağı ve çamurun çökebilirliğini iyileştirerek çamur kabama problemlerinin önleneceği görülmektedir.

Çökelme parametrelerinin (V_0 ve K) filamentli sayısı üzerine doğrudan ilişkisi gösterilememiştir (Jin ve diğ., 2003; Wagner ve diğ, 2015; Wilen ve diğ, 2008). Artan V_0 değerinin düşük CHI değeri ile ilişkisi bilinmemektedir. Wagner ve diğ (2015), CHI ile *Microthrix parvicella* sayısında doğru orantılı bir artış olduğunu göstermiştir. Bu sonuçla, 10,28 m/saat' lik V_0 değeri ile sistemde *Microthrix parvicella* sayısının düşük olması beklenmektedir. Çökelme parametrelerinin iyi çökebilirlik özellik gösterdiği numunelerde yapılan mikrobiyolojik incelemelerde *Microthrix parvicella* baskın tür olarak gözlenmiş olup literatürde bulunan bilgiler ile ilişkilendirilememiştir.

KAYNAKLAR

- APHA** (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21th Ed., Washington D.C.
- ATV-DWVK-A 131 E** (2000). Dimensioning of Single-Stage Activated Sludge Plants, GFA Publishing Company of ATV-DWVK Water, Wastewater and Waste, Hennef, Germany. ISBN: 3-935669-82-8.
- Barker, P. S. & Dold, P. L.** (1997). General model for biological nutrient removal activated-sludge systems: model presentation. *Water Environ. Res.* 69 (5), 969–984.
- Bitton, G.** (1994). *Wastewater Microbiology*. Wiley-Liss, A John Wiley & Sons, Inc., Publication, New York, 478 p.
- Buchauer, K.** (1998). A comparison of two simple titration procedures to determine volatile fatty acids in influents to waste-water and sludge treatment processes. *Water S. A.*, 24 (1), 49-56.
- Dick R. I. and Young K. W.** (1972). *Analysis of thickening performance of final settling tanks*. In Proceeding of the 27th Purdue Industrial Waste Conference, Lafayette, IN, ed. J. Ball, pp. 33-54.
- Eikelboom, D. H.** (1975). Filamentous organisms observed in bulking activated sludge, *Water Res*, 9, 365-388.
- Eikelboom, D. H.** (2000). *Process control of activated sludge plants by microscopic investigation*. IWA publishing, ISBN 1 900222 29 9, Latimer Trend and Co. Ltd., Plymouth, UK.
- Ekama, G. A., Barnard, J. L., Gunthert, F. W., Krebs, P., McCorquodale, J. A., Parker, D. S. and Wahlberg, E. J.** (1997). *Secondary settling tanks: theory, modeling, design and operation*. London: International Association on Water Quality.
- Gujer, W., Henze, M., Mino, T., and Van Loosdrecht, M. C. M.** (1999). *Activated sludge model No.3*. IWA, Scientific and Technical Report, England.
- Henze, M., Grady, C. P. L.jr., Gujer, W., Marais, G. v. R. And Matsuo, T.** (1986). *Activated sludge model no. 1*. IAWPRC, Scientific and Technical Report, London.
- Henze, M.** (1992). Characterization of water for modelling of activated sludge processes, *Water Science and Technology*, 25, (6), 1-15.
- Henze, M., Gujer, W., Mino, T., Matsuo, T., Wentzel, M. C., and Marais, G. v. R.** (1995). *Activated sludge model no. 2*. IAWQ, Scientific and Technical Report, England.
- Henze, M., Gujer, W., Mino, T., Matsuo, T., Wentzel, M. C., Marais, G. v. R. and Van Loosdrecht, M. C. M.** (1998). *Activated sludge model No. 2d*. IWA, Scientific and Technical Report, England.

- Henze, M., Harremoës, P., Jansen, J.I.C. & Arvin, E.** (2002). *Wastewater treatment. Biological and chemical processes*. 3rd ed. Springer, Berlin.
- Hulsbeek J.J.W., Kruit J., Roeleveld P.J. and Van Loosdrecht M.C.M.** (2002). A practical protocol for dynamic modelling of activated sludge systems, *Water Sci. Technol.*, 45 (6), 127-136.
- Insel, G., Cokgor, E., Tas, D.O., Sozen, S. ve Orhon, D.** (2015). Impact of the anoxic volume ratio on the dynamics of biological nitrogen removal under extended aeration conditions. *Water Air Soil Pollut.*, 226 (405), 1-13.
- Jenkins, D., Richard, M. G., Daigger, G. T.** (2003). *Manual on the causes and control of activated sludge bulking and foaming and other solids separation problems*. 3rd Edition, ISBN 1-56670-647-5, Lewis Publishers, A CRC Company, Boca Raton, London, New York, Washington D.C.
- Jin, B., Wilén, B.-M. ve Lant, P.** (2003). A comprehensive insight into floc characteristics and their impact on compressibility and settleability of activated sludge. *Chemical Engineering Journal*, 95, 221-234.
- Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği** (2006). 08 Ocak 2006 tarihli ve 26047 sayılı Resmi Gazete.
- Lakay, M.T., Hulsman, A., Ketley, D., Warburton, C., de Villiers, M., Casey, T.G., Wentzel, M.C. ve Ekama, G.A.** (1999). Filamentous organism bulking in nutrient removal activated sludge systems. Paper 7: Exploratory experimental investigations. *Water SA*, 25 (4), 383-396.
- Langergraber, G., Rieger, L., Winkler, S., Alex, J., Wiese, J., Owerdieck, C., Ahnert, M., Simon, J., Maurer, M.** (2004). A guideline for simulation studies of wastewater treatment plants. *Water Sci. Technol.*, 50 (7), 131–138.
- Liwarska-Bizukojc, E., Biernacki, R., Gendaszewska, D. ve Ledakowicz, S.** (2013). Improving the operation of the full scale wastewater treatment plant with use of a complex activated sludge model. *Environment Protection Engineering*, 39 (1), 183-195.
- Melcer, H., Dold, P.L., Jones, R.M., Bye, C.M., Takacs, I., Stensel, H.D., Wilson, A.W., Sun, P., Bury, S.** (2003). *Methods for wastewater characterisation in activated sludge modeling*. Water Environment Research Foundation (WERF), Alexandria, VA, USA.
- Metcalf and Eddy**, 2003. *Wastewater engineering, Treatment and Reuse*, McGraw-Hill, New York, USA.
- Renko, E.K.** (1998). Modeling hindered batch settling part I - A model for linking zone settling velocity and stirred sludge volume index. *Water S.A.*, 24 (4), 325-330.
- Rittman, B. E. ve McCarty, P. L.** (2001). *Environmental Biotechnology: Principles and Applications*. McGraw-Hill, USA.

- Seviour, R. J., Blackall, L. L.** (1999). *The Microbiology of activated sludge*. Kluwer Academic Publishers, ISBN 0-412-79380-6, Dordrecht, The Netherlands.
- Sezgin, M., Jenkins, D., Parker, D. S.** (1978). A unified theory of filamentous activated sludge bulking, *J. Water Polln. Control Fedn.*, 50, 362.
- Somogyi, V., Domokos, E. ve Rédey, Á.** (2010). Simulation of a secondary settler based on sedimentation curves. *Hungarian Journal of Industrial Chemistry.*, 38 (2), 159-162.
- Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği** (2004). 31 Aralık 2004 tarihli ve 25687 sayılı Resmi Gazete.
- Takács, I., Nolasco, D., and Patry, G. G.** (1991). A dynamic model of the clarification thickening process. *Water Research*, 25 (10), 1263–1271.
- Urban Wastewater Treatment Directive** (1991). The Council of the European Communities, *Directive 91/271/EEC*.
- Vanderhasselt, A. and Vanrolleghem, P. A.** (2000). Estimation of sludge sedimentation parameters from single batch settling curves. *Wat. Res.*, 34, 395-406.
- Vesilind P. A.** (1968). Design of prototype thickeners from batch settling tests. *Water Sewage Works* 115 (7), 302-307.
- Wágner, D.S., Ramin, E., Szabo, P., Dechesne, A. ve Plósz, B.Gy.** (2015). *Microthrix parvicella* abundance associates with activated sludge settling velocity and rheology – Quantifying and modelling filamentous bulking. *Water Research*, 78, 121-132.
- WEF** (2013). *Wastewater Treatment Process Modeling, WEF Manuel of Practise No. 31*, WEF Press, Alexandria, USA.
- Wilen B. R.** (1995). *Effect of different parameters on settling properties of activated sludge*. Rapport 1995:4, Chalmers Tekniska Högskola, Sweden, 64 pages.
- Wilén, B.-M., Lumley, D., Mattsson, A. ve Mino, T.** (2008). Relationship between floc composition and flocculation and settling properties studied at a full scales activated sludge plant. *Water Research*, 42, 4404-4418.
- Zhang, D., Li, Z., Lu, P., Zhang, T ve Xu, D.** (2006). A method for characterizing the complete settling process of activated sludge. *Water Research*, 40, 2637-2644.

EKLER

EK A: Paşaköy İBAAT Genel Akım Şeması

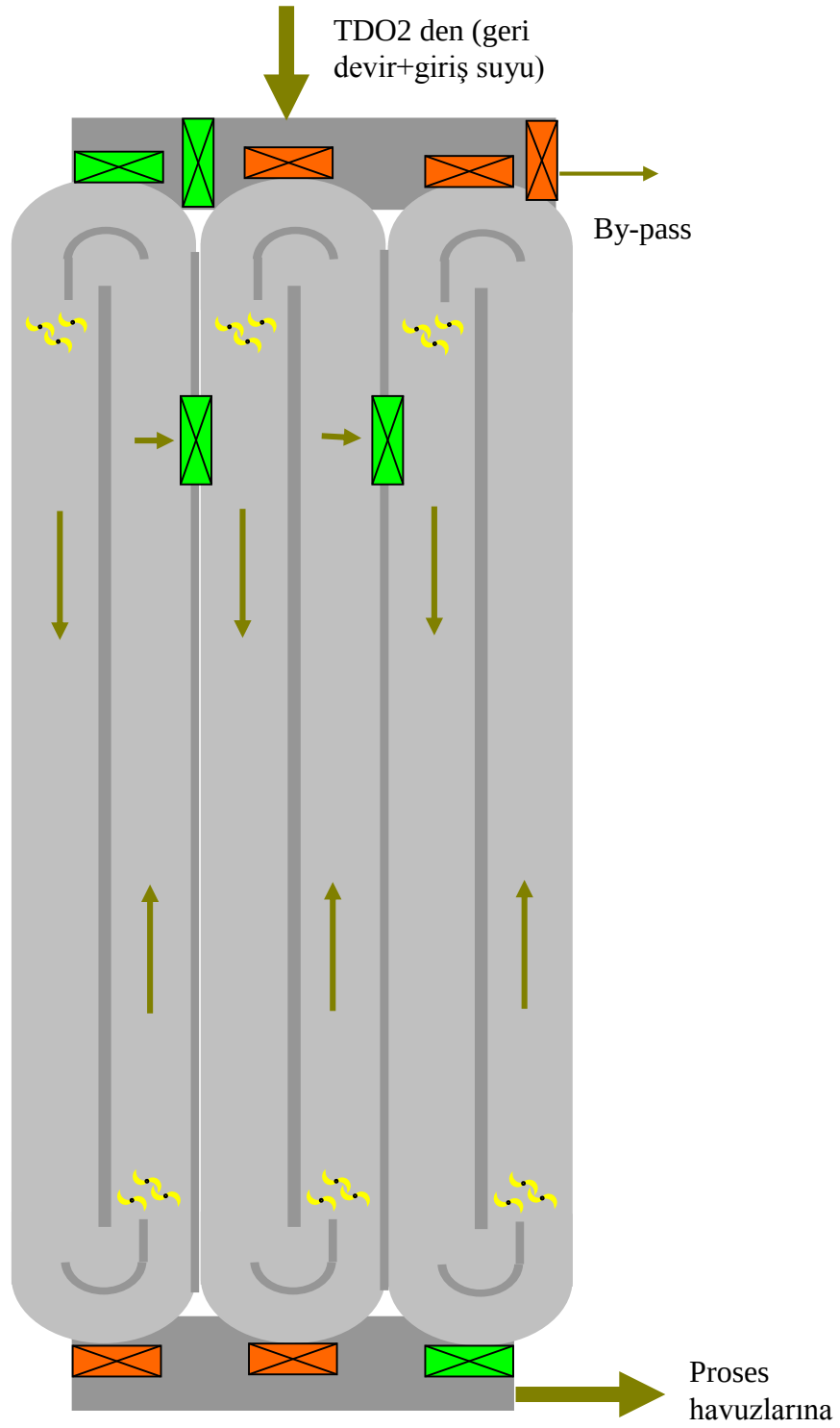
EK B: Paşaköy İBAAT Konfigürasyon Gösterimleri

EK C: Paşaköy İBAAT ATV-DVWK 131-E Hesaplamaları

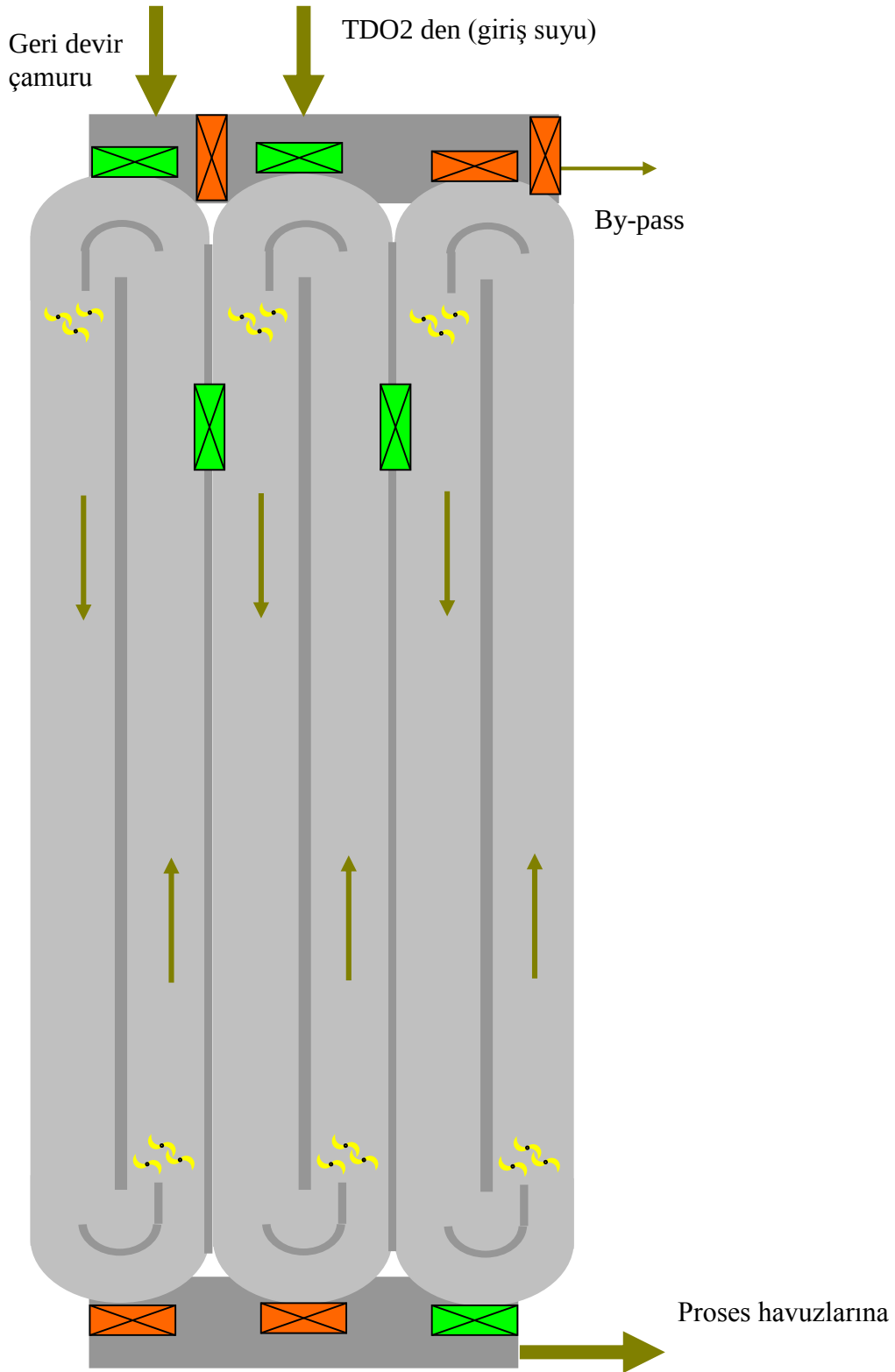
EK D: Biowin Programında Kullanılan Proses Modelleri

97

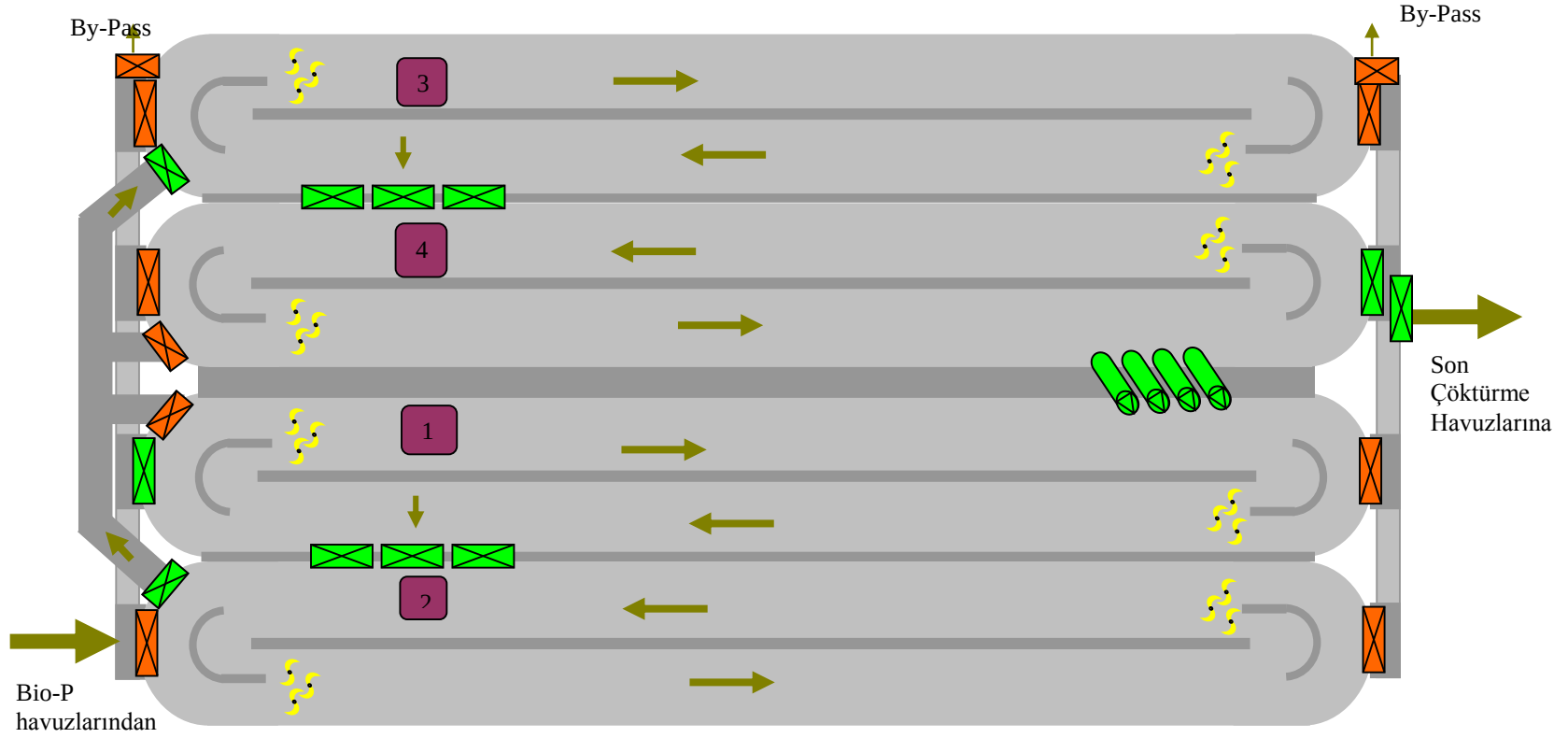
EK B



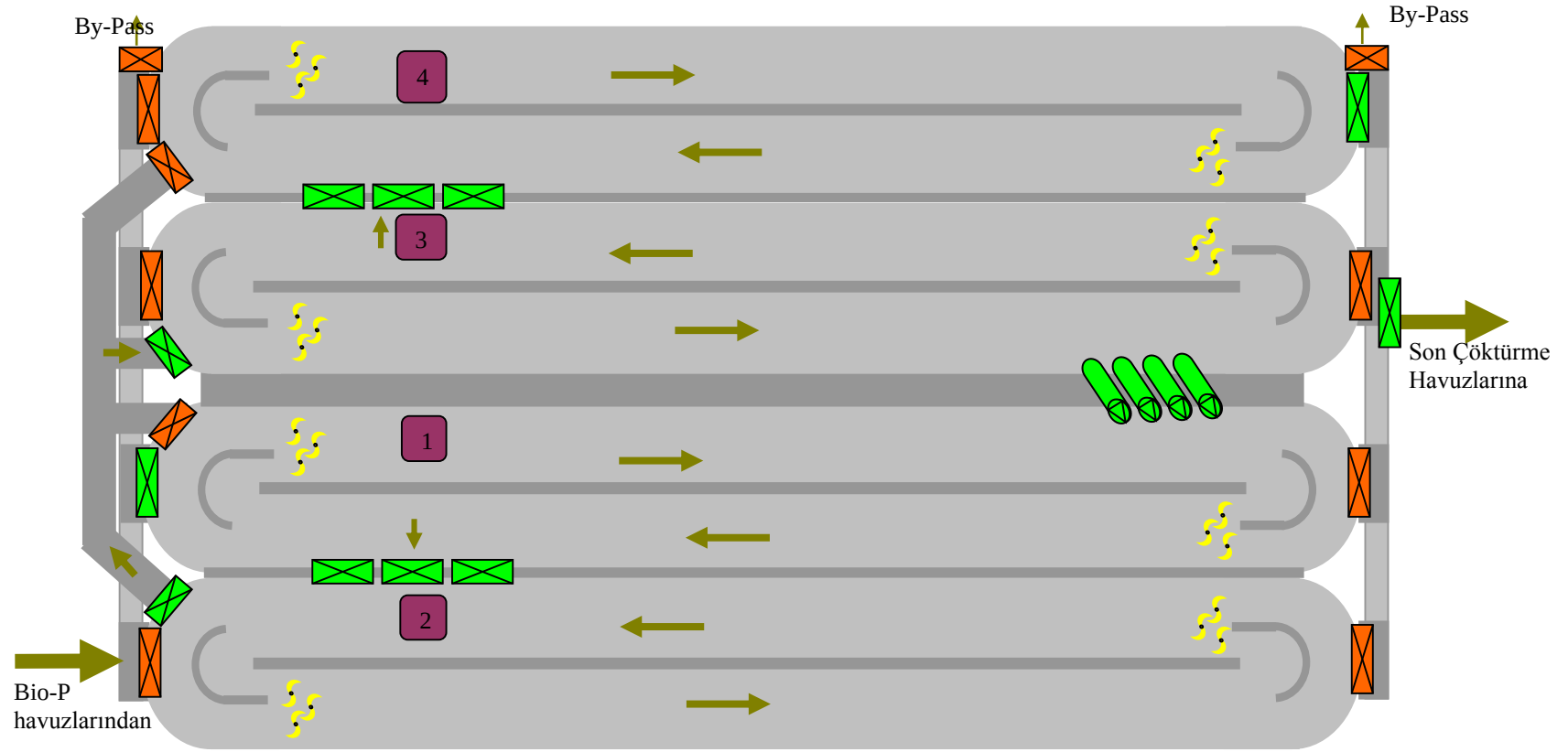
Şekil B.1 : Bio-P havuzları, A2/O – 5 kademeli Bardenpho prosesleri için çalışma düzeni.



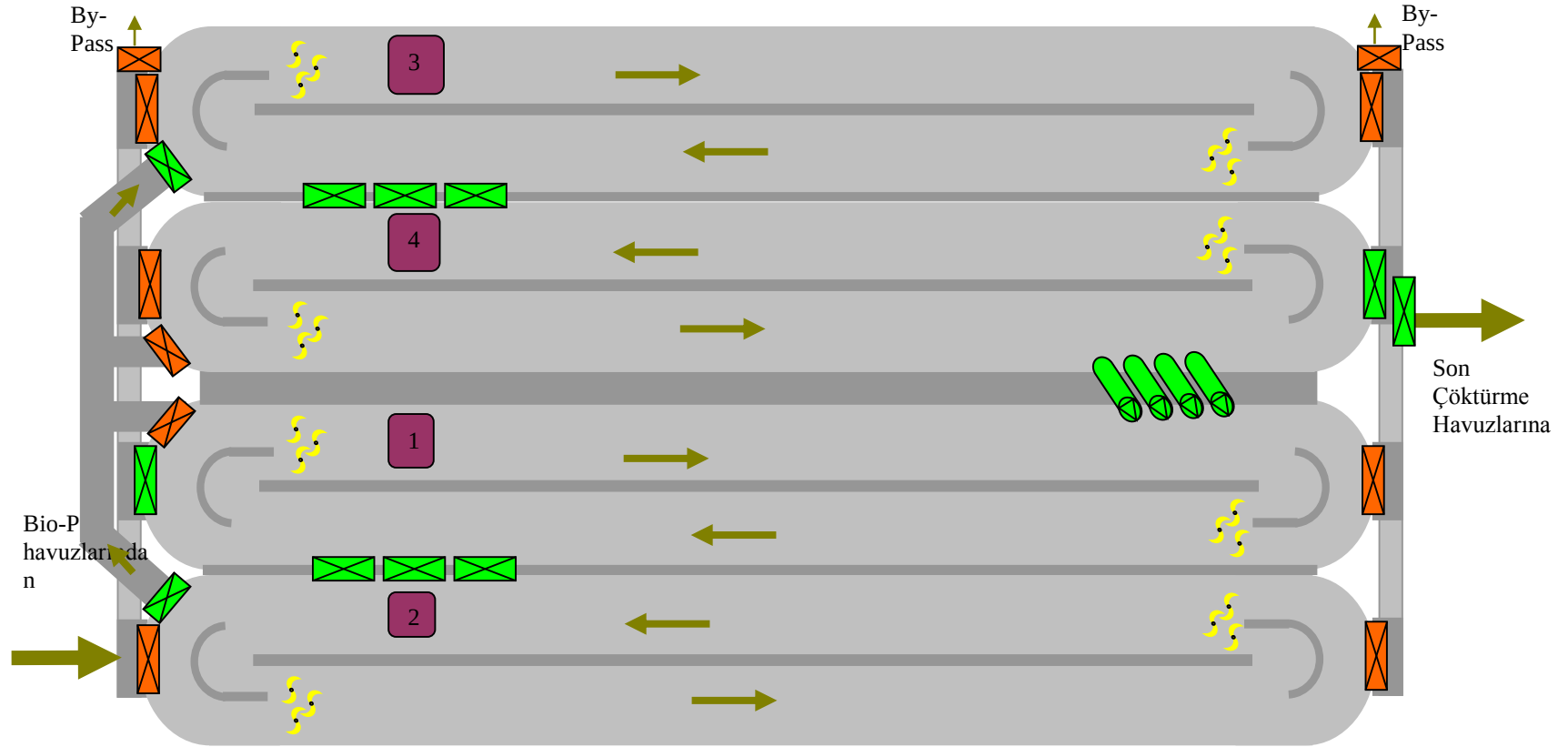
Şekil B.2 : Bio-P havuzları, Johannesburg prosesi (geri devir denitrifikasyonu) için çalışma düzeni.



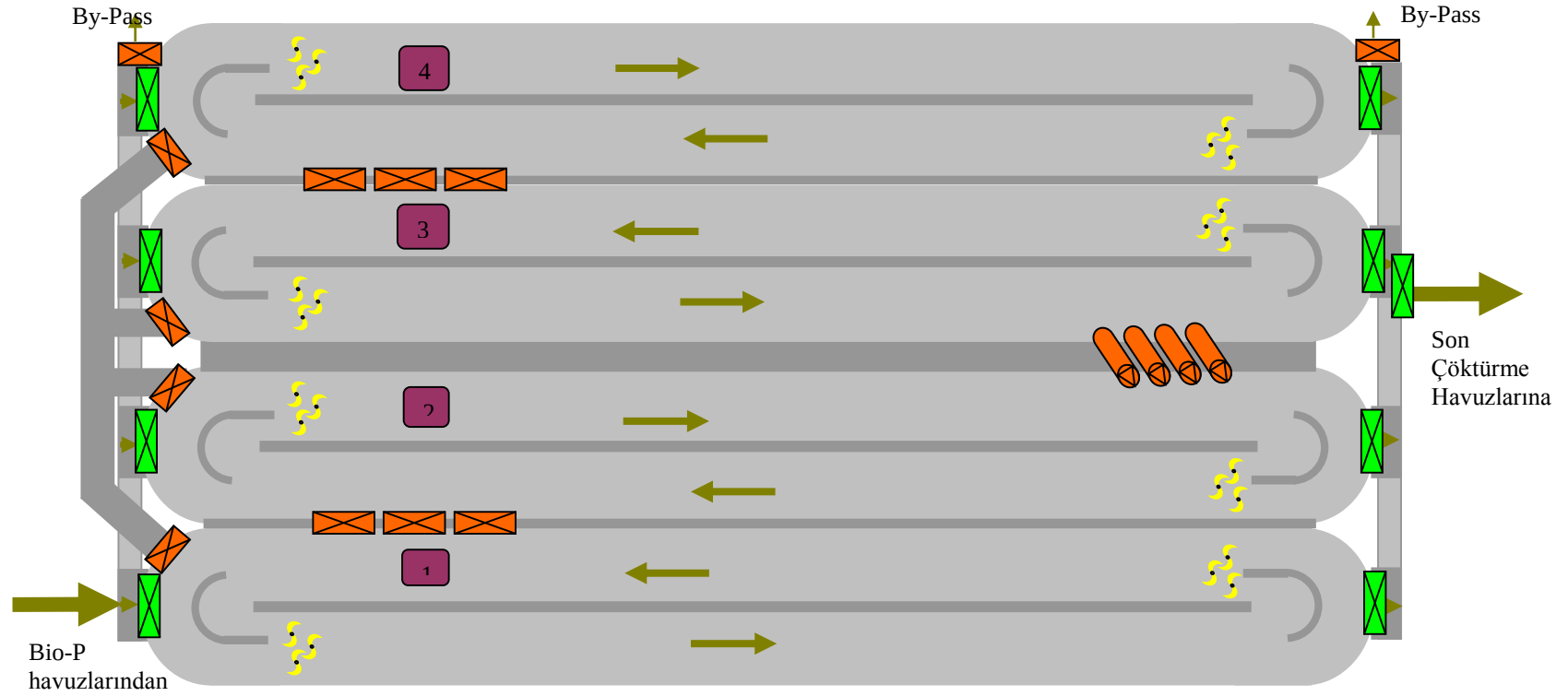
Şekil B.3 : Proses havuzları A2/O çalışma düzeni.



Şekil B.4 : Proses havuzları 5 kademeli Bardenpho çalışma düzeni.



Şekil B.5 : Proses havuzları Johannesburg prosesi için çalışma düzeni.



Şekil B.6 : Proses havuzları kademeli besleme çalışma düzeni.

EK C

Gerekli denitrifikasyon kapasitesi

$reqDNcap$: gerekli denitrifikasyon kapasitesi

15°C için ; $reqDNcap = 0,134 < 0,15$ olduğundan C yeterlidir.

25°C için ; $reqDNcap = 0,134 < 0,15$ olduğundan C yeterlidir.

Biyolojik arıtma ünitesindeki proses hesaplarında kullanılan kinetik katsayılar Çizelge A.1’de verilmiştir.

Çizelge C.1 : Proses hesaplarında kullanılan kinetik katsayılar.

Kinetik katsayı	Sembol	Değer	Birim
Maksimum ototrof büyüme hızı	m_{Amax}	0,52	$gün^{-1}$
Azot yarı hız sabiti	K_n	0,7	mg/L
Ototrof ölüm katsayısı (15°C)	b_{A15}	0,05	$gün^{-1}$
Heterotrof ölüm katsayısı (15°C)	b_{H15}	0,17	$gün^{-1}$
Heterotrof büyüme oranı	Y_H	0,75	mgUAKM/mgBOİ
Autotrof büyüme oranı	Y_A	0,15	mgUAKM/mgBOİ

Çamur yaşı

Nitrifikasyon için gerekli minimum aerobik çamur yaşı;

$$t_{SS,aerob,dim} = SF * 3,4 * 1,103^{(T-15)} \text{ [gün]}$$

SFN; azot için emniyet faktörü, 1,45 alınmıştır

15°C için ; $t_{SS,aerob,dim} = 5,5 \text{ gün}$

25°C için ; $t_{SS,aerob,dim} = 2,2 \text{ gün}$

Sistem çamur yaşı formülü;

$$t_{SS,dim} = t_{SS,A} * \frac{SF}{\left(1 - \frac{V_D}{V_T}\right)} \text{ [gün]}$$

$SF = 1$

15°C için ; $t_{SS,dim} = 8,0 \text{ gün}$

25°C için ; $t_{SS,dim} = 3,2 \text{ gün}$

V_D/V_T iterasyon yoluyla

15°C için ; $V_D/V_T = 0,39$

25°C için ; $V_D/V_T = 0,41$ bulunmuştur.

Üreyen çamur miktarı (SP_d)

$$SP_d = SP_{d,c} + SP_{d,p} \quad [kg/gün]$$

$$SP_{d,c} = Q * C_{BOD} * Y_{obsH} \quad [kg/gün]$$

Saha şartlarında heterotrofik büyüme katsayısı;

$$Y_{obsH} = 0,75 + 0,6 * \frac{X_{SS}}{C_{BOD}} - \frac{(0,102 * F_T * t_{SS,dim})}{(1 + b_H * F_T * t_{SS,dim})}$$

$$SP_{d,p} = P_S * Q$$

Sıcaklık düzeltme faktörü, F_T ;

$$F_T = 1,072^{(T-15)}$$

15°C için ; $F_T = 1$

25°C için ; $F_T = 2$

15°C için ; $Y_{obsH} = 1,33 \text{ kg } X_{SS} / \text{kg } C_{BOD}$

25°C için ; $Y_{obsH} = 1,36 \text{ kg } X_{SS} / \text{kg } C_{BOD}$

Toplam çamur üremesi;

15°C için ; $SP_d = 44.456 \text{ kg/gün}$

25°C için ; $SP_d = 45.636 \text{ kg/gün}$

Çamur ünitelerinin boyutlandırılmasında üretimin fazla olduğu 25 °C esas alınmıştır.

F/M oranı, toplam çamur üremesi için;

$$F/M = Q * \frac{C_{BOD}}{1000} / SP_d / t_{SS,dim}$$

15°C için ; $F/M = 0,094 \text{ gün}^{-1}$

25°C için ; $F/M = 0,232 \text{ gün}^{-1}$

Proses MLSS (SS_{AT}) konsantrasyonu

$$SS_{AT} = \text{Geri devir oranı} * SS_{RS} / (1 + \text{Geri devir oranı})$$

SS_{RS} : Geri devir katı madde konsantrasyonu, mg/L

SS_{AT} : Proses tankları katı madde konsantrasyonu, mg/L

Geri devir oranı (R) : 0,8

SS_{RS} : 10.079 mg/L

15°C için ; $SS_{AT} = 4.480 \text{ mg/L}$

25°C için ; $SS_{AT} = 4.480 \text{ mg/L}$

Fazla çamur debisi, Q_w

$$Q_w = SP_d / SS_{AT} * 1000$$

15°C için ; $Q_w = 4.313 \text{ m}^3/\text{gün}$

25°C için ; $Q_w = 4.430 \text{ m}^3/\text{gün}$

Gerekli iç resirkülasyon oranı

Ön anoksik bölge denitrifikasyonu için resirkülasyon debi oranı (RC) aşağıda verilmiş olan formüle göre hesaplanmıştır:

$$RC = \left(S_{inorgN} / S_{NO_3,EST} \right) - 1$$

$$S_{inorgN} = C_{TKN,IAT} - S_{orgN,EST} - S_{NH_4,EST} - X_{orgN,BM}$$

$$S_{inorgN} = C_{TKN,IAT} - S_{orgN,EST} - S_{NH_4,EST} - X_{orgN,BM}$$

S_{inorgN} = inorganik azot

$C_{TKN,IAT}$ = toplam giriş azotu

$S_{orgN,EST}$ = organik çıkış azotu

$S_{NH_4,EST}$ = çıkış amonyum azotu

$X_{orgN,BM}$ = biyo kütleye alınmış olan organik azot anlamına gelmektedir.

Yukarıda verilen formülü kullanarak yapılan hesaplamadan sonra ön anoksik bölge denitrifikasyonu iç sirkülasyon oranı;

15°C için ; $RC = 4,61$

25°C için ; $RC = 4,25$ olarak bulunmuştur.

Ancak, mümkün olan denitrifikasyon verimi, geri dönüş nitrat oranları dikkate alınarak kontrol edildiğinde,

Toplam prosese giriş debisi : $Q * (1 + R + RC)$

Geri dönen nitratlı su debisi : $Q * (R + RC)$

Mümkün denitrifikasyon verimi = $(R + RC) / (1 + R + RC)$

R = geri devir oranı

RC = iç resirkülasyon oranı

$RC = 4,61$ için mümkün denitrifikasyon verimi %84

$RC = 4,25$ için mümkün denitrifikasyon debisi %83 olmaktadır.

$RC = 4$ için kontrol edildiğinde, mümkün denitrifikasyon verimi yine % 83 olmaktadır. Görüldüğü gibi denitrifikasyon verimleri arasında önemli bir fark yoktur. Ayrıca resirkülasyon oranı arttırıldıkça oksik bölgeden anoksik bölgeye oksijenli su girişi olmaktadır ve bu kısımda anoksik koşullar elde edilmesini zorlaştırmaktadır. Bu durum göz önünde bulundurularak optimum resirkülasyon oranı 4 olarak kabul edilmiştir.

Böylece, geri pompalanması gereken toplam iç sirkülasyon debisi $17,372 \text{ m}^3/\text{saat}$ olarak ortaya çıkmaktadır. Resirkülasyon debisi hesaplanırken geri dönüş sularının debisi de dikkate alınmıştır. Bu resirkülasyon debisine üzerine dayalı olarak teklif edilen pompaların karakteristikleri aşağıdaki gibidir:

Tank sayısı : 4 adet

Her tank için çalışır durumdaki pompa sayısı : 4 adet

Pompa kapasitesi : $4.344 \text{ m}^3/\text{h}$

Basma yüksekliği : 0,7 m

Havuz hacmi, V_T

$$V_T = t_{SS,dim} * P_{XT} / MLSS$$

$$15^{\circ}\text{C için ; } V_T = 78.075 \text{ m}^3$$

$$25^{\circ}\text{C için ; } V_T = 31.452 \text{ m}^3$$

V_D/V_T oranından;

$$15^{\circ}\text{C için ; } V_D = 30.238 \text{ m}^3 \quad V_A = 47.836 \text{ m}^3$$

$$25^{\circ}\text{C için ; } V_D = 13.018 \text{ m}^3 \quad V_A = 18.434 \text{ m}^3 \text{ olmaktadır.}$$

Yukarıdaki değerlerden de görüldüğü gibi boyutlandırmada emniyetli olan 15°C değeri esas alınmıştır ve toplam proses hacmi aşağıda verilen havuz boyutlarına göre $80,030 \text{ m}^3$ olarak kabul edilmiştir.

Hava İhtiyacı

Hava ihtiyacı hesapları için kullanılan parametreler Çizelge A.2’de verilmiştir.

Çizelge C.2 : Hava hesaplarında kullanılan parametreler.

Parametre	Sembol	15°C için	25°C için	Birim
Rakım	<i>Alt.</i>	90	90	<i>m</i>
Sıcaklık	<i>T</i>	15	25	$^{\circ}\text{C}$
Tuzluluk	<i>Sal.</i>	‰0,1	‰0,1	<i>ppt</i>
O ₂ doygunluk kons. (20°C)	<i>C_{s20}</i>	9,07	9,07	<i>mg/L</i>
O ₂ kons., tankta	<i>C_x</i>	2	2	<i>mg/L</i>
Yüzey gerilim faktörü	<i>α</i>	0,57	0,57	-
Tuzluluk faktörü	<i>β</i>	0,95	0,95	-

$$Alpha (\alpha) = 1 - 0,16 * (MLSS/1000)^{2/3} = 0,57$$

Gerçek hava ihtiyacı hesabı için emniyet katsayıları;

Karbon için, f_C ;

$$f_C = - 0.1072 * \log(SRT) + 1,441$$

$$15^{\circ}\text{C için ; } f_C = 1,2$$

$$25^{\circ}\text{C için ; } f_C = 1,2$$

Azot için, f_N ;

$$f_N = -0.7887 * \log(SRT) + 3.6306$$

$$\underline{15^\circ C \text{ için}} ; \quad f_N = 2,0$$

$$\underline{25^\circ C \text{ için}} ; \quad f_N = 2.0$$

Karbon için O₂ tüketim hızı, OUR_C ;

$$OUR_C = Q * BOI_o / 1000 * (0,56 + 0,15 * F_T * tss_{dim} / (1 + 0,17 * F_T * tss_{dim}))$$

$$F_T = 1,072^{(T - 15)}$$

F_T = sıcaklık düzeltme faktörü

$$\underline{15^\circ C \text{ için}} ; \quad F_T = 1$$

$$\underline{25^\circ C \text{ için}} ; \quad F_T = 2$$

Boyutlandırma çamur yaşı, tss_{dim} yukarıda da belirtildiği gibi 8 gün'dür.

Buna göre,

$$\underline{15^\circ C \text{ için}} ; \quad OUR_C = 35.015 \text{ kgO}_2/d$$

$$\underline{25^\circ C \text{ için}} ; \quad OUR_C = 39.504 \text{ kgO}_2/d$$

Azot için O₂ tüketim hızı, OUR_N ;

$$OUR_N = 4.34 * Q * (TKN_o - TKN_e - WAS_N) / 1000$$

$$Q = \text{Proses giriş debisi, } m^3/gün$$

$$TKN_o = \text{Proses giriş toplam Kjeldahl azotu, } mg/L$$

$$TKN_e = \text{Çıkış toplam Kjeldahl azotu, } mg/L$$

$$WAS_N = 0.05 * \text{giriş } BOI_5 \text{ konsantrasyonu}$$

$$\underline{15^\circ C \text{ için}} ; \quad OUR_N = 22.272 \text{ kgO}_2/d$$

$$\underline{25^\circ C \text{ için}} ; \quad OUR_N = 22.499 \text{ kgO}_2/d$$

Denitrifikasyonla kazanılan O₂ miktarı, OUR_{DN} ;

$$OUR_{DN} = 2,9 * Q * (TKN_o - TKN_e - WAS_N) / 1.000 + Q * (NO_3-N_o - NO_3-N) / 1.000$$

NO_3-N_o = Prosese giriş nitrat konsantrasyonu, mg/L

NO_3-N = Çıkış nitrat konsantrasyonu, mg/L

15°C için ; $OUR_{DN} = 12.705 \text{ kgO}_2/d$

25°C için ; $OUR_{DN} = 12.712 \text{ kgO}_2/d$

Gerçek hava ihtiyacı;

$$AOR = f_C * (OUR_C - OUR_{DN}) + f_N * OUR_N$$

15°C için ; $AOR = 70.326 \text{ kgO}_2/d$

25°C için ; $AOR = 76.148 \text{ kgO}_2/d$

Rakım/basınç faktörü,

$$f = 1 - Alt / 9.450 = 0,990$$

Alt = Rakım

Verilen sıcaklıktaki O_2 doygunluk konsantrasyonu;

$$C_{sT} = 0,000000000002 * T^6 - 0,000000002 * T^5 + 0,0000003 * T^4 - 0,0002 * T^3 + 0,0098 * T^2 - 0.4147 * T + 14.622$$

15°C için ; $C_{sT} = 10,07 \text{ mg/L}$

25°C için ; $C_{sT} = 8,24 \text{ mg/L}$

Alınan kottaki basınç;

$$P_b/P_{atm} = \exp(-(9,81 * 28,97 * (Alt - 0) / (8.314 * (272 + T)))) = 0,989$$

Su derinliğindeki basınç;

$$P_h/P_{atm} = P_b/P_{atm} + 9,798 * \text{Difüzör derinliği} * 0,0098688 \text{ (15 °C)}$$

$$P_h/P_{atm} = P_b/P_{atm} + 9,777 * \text{Difüzör derinliği} * 0,0098688 \text{ (25 °C)}$$

Difüzör derinliği: 5,25 m 15°C için

Difüzör derinliği: 5,25 m 25°C için

15°C için ; $P_h/P_{atm} = 1,502$

25°C için ; $P_h/P_{atm} = 1,501$

Alınan kottaki O₂ doygunluk konsantrasyonu;

$$C_{sTalt} = P_b/P_{atm} * C_{sT}$$

15°C için ; $C_{sTalt} = 9,96 \text{ mg/L}$

25°C için ; $C_{sTalt} = 8,15 \text{ mg/L}$

Su derinliğinde O₂ doygunluk konsantrasyonu;

$$C_{sTHave} = C_{sTalt} / 2 * (P_h/P_{atm} / P_b/P_{atm} + 20 / 21)$$

15°C için ; $C_{sTHave} = 12,30 \text{ mg/L}$

25°C için ; $C_{sTHave} = 10,06 \text{ mg/L}$

Standart hava ihtiyacı hesapları, SOR;

$$SOR/AOR = C_{s20} / (\alpha * 1,024^{(T-20)} * (\beta * C_{sTHave} - C_x))$$

15°C için ; $SOR = 6.071 \text{ kg O}_2/\text{saat}$

25°C için ; $SOR = 6.646 \text{ kg O}_2/\text{saat}$

Spesifik oksijen transfer verimi,

$$SpOTE = 9.00 - 8.63 \times 10^{-4} \times MLSS + 2.56 \times 10^{-8} \times MLSS^2, (\%/m)$$

MLSS = Proses havuzlarındaki AKM konsantrasyonu, mg/L

15°C için ; $spOTE = 5,65 \% /m$

25°C için ; $spOTE = 5,65 \% /m$

Standart oksijen transfer verimi,

$$SOTE = h_{dif} * spOTE$$

$$\underline{15^{\circ}C \text{ için}} ; \quad SOTE = 29,93 \%$$

$$\underline{25^{\circ}C \text{ için}} ; \quad SOTE = 29,93 \%$$

$$\text{Hava ihtiyacı} = SOR / SOTE / \text{Havadaki oksijen}$$

$$\text{Havadaki oksijen: } 0,28 \text{ kgO}_2/\text{m}^3$$

$$\underline{15^{\circ}C \text{ için}} ; \quad \text{Hava ihtiyacı} = 72.063 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

$$\underline{25^{\circ}C \text{ için}} ; \quad \text{Hava ihtiyacı} = 81.628 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

Buna göre en kötü şartlar için (25 °C) seçilen hava debisi 80.000 Nm³/saat tir.

$$\text{Difüzör başına düşen hava debisi: } 5 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Difüzör sayısı} : \text{Seçilen hava debisi} / \text{Difüzör başına düşen hava}$$

$$\text{Difüzör sayısı} = 16.000 \text{ adet}$$

Son çöeltim tank derinliğinin hesaplanması

$$h_{tot} = h_1 + h_2 + h_3 + h_4$$

$$h_{tot} = \text{dairesel tanklar için, } 2/3 * \text{yarıçaptaki derinlik, m}$$

Toplam havuz kenarındaki su derinliği (3,6 m) tank taban eğimi 100 mm/m dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Burada;

$$h_1 = 0.5 \text{ m} = \text{temiz su bölgesi}$$

$$h_2 = \text{ayırışma / geri dönüş akımı bölgesi} = 0.5 * q_A * (1 + RS) / (1 - DSV / 1000)$$

$$q_A = \text{yüzey taşma debisi}$$

$$RS = \text{geri devir çamur oranı}$$

$$DSV = \text{inceltirilmiş çamur hacmi}$$

$$h_3 = \text{yoğunluk akımı ve depolama bölgesi} = 1.5 * 0.3 * q_{sv} * (1 + RS) / 500$$

$$q_{sv} = \text{çamur hacmi yüzey yükleme oranı}$$

$h_4 = \text{koyulaşma ve çamur bertaraf etme bölgesi} = SS_{EAT} \times q_A \times (1 + RS) \times t_{Th} / SS_{BS}$

SS_{EAT} = havalandırma tankındaki girişinde askıdaki katı madde konsantrasyonu

t_{Th} = çamur kalınlaştırma süresi

Mevcut verilere ve giriş suyu karakteristiklerine göre, aşağıdaki tasarım parametreleri elde edilmiştir:

	15°C	25°C
Toplam su derinliği (h_{tot})	: 4,3 m	4,3 m
Seyreltilmiş çamur hacmi (DSV)	: 490 mL/L	490 mL/L
Yüzey taşma debisi (q_A)	: 0,98 m/h	0,98 m/h
Çamur hacmi yüzey yüklemesi (q_{SV})	: 0,48mL/m ² /h	0,48 mL/m ² /h
Bekleme süresi	: 2,2 h	2,2 h

EK D

Biowin, Biowin genel modeli diye anılan aktif çamur/anaerobik çürütücü modelini kullanmaktadır. Model, 50 durum değişkeni ve 60 proses ifadesine sahiptir. Bu proses ifadeleri aktif çamur ve anaerobik çürüme sistemlerinde meydana gelen biyolojik proseslerin, çeşitli kimyasal çöktürme reaksiyonlarının ve 6 gaz için gaz-36 sıvı kütle transfer davranışlarının tanımlanmasında kullanılmaktadır. Model formülasyonu pH'ın tanımlanmasına gerekmektedir.

Biowin'deki aktif çamur modüllerinin içerdiği fonksiyonlar aşağıda verilmiştir.

Sıradan heterotrofik organizmaların büyüme ve parçalanması

Proseslerin bu grubu sıradan heterotrofik organizmaların aerobik ve anoksik şartlar altında büyümesini ve bütün koşullarda parçalanmasını tanımlamaktadır. Aktif çamur modelleri asetat, propiyonat ve kolay biyolojik olarak parçalanabilir kompleks substrat ve metanol üzerinde heterotrofik organizmaların aerobik büyümesine izin vermektedir. Organizmalar substratı belirlenen bu sıraya göre kullanma eğilimdedirler. Anoksik şartlarda heterotroflar yalnızca 3 substratı kullanabilmektedirler. Bunlar; asetat, propiyonat ve kolay biyolojik olarak parçalanabilir kompleks substrattır. Biowin'de metanolün anoksik kullanımı organizmaların özel gruplarına göre sınırlandırılmıştır. Biowin aerobik, anoksik ve anaerobik koşullar altında bütün substratlarla beraber hücre sentezi için azot kaynağı olarak amonyak kullanılmaktadır.

Hidroliz, adsorpsiyon, ammonifikasyon ve asimile edici denitrifikasyon

Bu prosesler her organizma grubu için ayrı ayrı irdelenmektedir. Çünkü birden fazla organizma tipi mevcuttur (genellikle hem sıradan heterotrofik organizmalar hemde fosfat biriktiren organizmalar).

Biyolojik olarak parçalanabilen partikül organik azot ve fosforun hidrolizi

Biyolojik olarak parçalanabilen partikül azotun (fosfor) hidrolizinin biyolojik olarak parçalanabilen partikül organikler ile aynı hızda ilerlediği varsayılmaktadır. Ancak biyolojik olarak parçalanabilen organik azot (fosfor) biyolojik olarak parçalanabilen partikül organiklere oranı ile ayarlanmaktadır.

Sentez için nitrat veya nitritin amonyağa asimile edici denitrifikasyonu

Biowin düşük amonyak koşullarında (amonyak büyüme için kısıtlı olduğunda) sentez için herhangi organizma ile amonyak üretimine izin vermektedir. Mümkün değilse nitrat kullanmaktadır.

Amonyak oksitleyen biyokütlenin büyümesi ve parçalanması (AOB)

Bu biyokütle amonyağı nitrite oksitleyerek ve inorganik karbondan (CO₂'yi fikse ederek) organik madde sentezi için enerji kullanarak büyümektedir. Hücre sentezi için azot kaynağı amonyaktır.

Nitrit oksitleyen biyokütlenin büyümesi ve parçalanması

Biyokütle, nitriti nitrate oksitleyerek ve inorganik karbondan (CO₂'yi fikse ederek) organik madde sentezi için enerji kullanarak gelişmektedir. Hücre sentezi için azot kaynağı amonyaktır.

Fosfor biriktiren organizmaların büyümesi ve parçalanması

Proseslerin bu grubu tüm koşullar altında polifosfat biriktiren organizmaların büyümesi ve parçalanmasını tanımlamaktadır. Bu tanımlar; aerobik ve anoksik büyüme, uçucu yağ asitlerinin (VFA) ayrılması ve polifosfatın dağılma (parçalanması) içermektedir.

Aerobik koşullar altında PAO'lar için 2 maksimum spesifik büyüme hızı vardır. Daha düşük büyüme hız sabiti fosfor açısından sınırlı koşullar altında kullanılmakta olup, farklı bir stokiyometriye sahiptir. Ayrıca 2 anoksik büyüme prosesi vardır. Biri nitrat kullanırken diğeri nitrit kullanmaktadır. Fosfat açısından zengin koşullar altında büyüme prosesleri fosfat alımı ile sonlanmakta ve kalsiyum, magnezyum iyonları ile diğer iyonlar açısından denge sağlanmaktadır. Bu iyonlardan birinin eksikliği büyüme prosesini durdurmaktadır.

Biowin hücre sentezi için aerobik, anaerobik ve anoksik koşullar altında azot kaynağı olarak amonyak kullanmaktadır. Düşük amonyak konsantrasyonlarında Biowin, sentez ihtiyaçlarını karşılamak üzere nitrat veya nitritten asimile edici amonyak üretimine izin vermektedir.

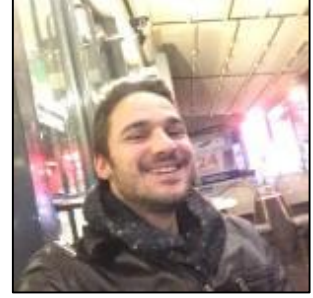
Anoksik koşullarda hız anoksik büyüme faktörü ile çarpılmakta ve tercihen elektron alıcı olarak nitrit kullanılmaktadır.

PAO'lar asitleri ayırmak için polifosfatların içerisindeki enerjiyi kullanmakta ve depo PHA'sı olarak depo etmektedirler. Biowin modelinde PAO'lar bu proses için hem asetat hem de propiyonat kullanabilmektedirler.

2 parçalanma prosesi (aerobik ve anoksik/anaerobik) mevcuttur. Her parçalanma prosesi PHA (düşük ve yüksek moleküler ağırlıklı polifosfat) için bir yok olma prosesidir. Yok olma hızları direk olarak parçalanma hızı ile orantılıdır.

Ortamda oksijen bulunmaması durumunda fosfat salan anaerobik prosesin devamı için bir Poli-P parçalanma prosesi mevcuttur. Bu proses anoksik/anaerobik parçalanma hızı ile orantılıdır.

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Seferhan YILMAZ
Doğum Tarihi ve Yeri : 16.02.1990 Konak/İzmir
E-posta : yilmazsef@itu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2013, İTÜ, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü
2013, İTÜ, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü (Yandal)

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Ağustos 2013-Ağustos 2014 arasında MPE Mühendislik İnşaat Taahhüt ve Dış Tic. A.Ş.'de İSKİ Paşaköy İBAAT İlk Arıtma ve Terfi Merkezleri İşletme sorumlusu olarak çalıştı.
- Eylül 2014-Mayıs 2015 arasında Va Tech Wabag Su Teknolojileri ve Tic. A.Ş.'de İSKİ Paşaköy İBAAT Ön Arıtma, Terfiler ve Koku Kontrol Ünitesi İşletme Sorumlusu olarak çalıştı.
- Mayıs 2015'ten itibaren Va Tech Wabag Su Teknolojileri ve Tic. A.Ş.'de İSKİ Paşaköy İBAAT Biyolojik Arıtma İşletme Sorumlusu olarak çalışmaktadır.
- Haziran 2012-Temmuz 2012 arasında Veolia Water Technologies Türkiye'de Alaçatı Çeşme Su İşletmeleri ve İçmesuyu Arıtma Tesisi'nde yaz stajı yaptı.
- Temmuz 2013'te İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü'nü ikincilik derecesi ile tamamladı.