



**KENTSEL ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE NİTRİFİKASYON HIZI VE
TOKSİSİTENİN SU GERİ KAZANIMI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

MERYEM ÖZGAN

Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Ahmet İSTANBULLUOĞLU

İkinci Danışman: Prof. Dr. H. Güçlü İNSEL

2024

T.C.
TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



KENTSEL ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE NİTRİFİKASYON HIZI VE
TOKSİSİTENİN SU GERİ KAZANIMI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

MERYEM ÖZGAN

ORCID: 0009-0007-2269-5041

BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Danışman: Prof. Dr. Ahmet İSTANBULLUOĞLU

İkinci Danışman: Prof. Dr. H. Güçlü İNSEL

2024

Ocak-2024

Her hakkı saklıdır.

ÖZET

KENTSEL ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE NİTRİFİKASYON HIZI VE TOKSİSİTENİN SU GERİ KAZANIMI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Meryem ÖZGAN

Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Ahmet İSTANBULLUOĞLU

İkinci Danışman: Prof. Dr. H. Güçlü İNSEL

Bu tez kapsamında, ileri biyolojik atıksu arıtma tesislerinde geri dönüş akımının nitrifikasyon hızı ve çıkış suyu toksisitesine etkisi değerlendirilmiştir. Ayrıca geri kazanım tesisinin çıkış suyunun sulama suyu kalite parametrelerine uygun olup olmadığı belirlenmiştir. Çalışmada, öncelikle atıksu arıtma tesislerinin karakterizasyonu yapılmış, tesis debi ve kirletici yüklerinin arttığı belirlenmiştir. Anaerobik çürütme ve susuzlaştırma sonrası oluşan sentratın nitrifikasyon hızına etkisi laboratuvar ölçekli çalışmalarla ayrıntılı olarak incelenmiş ve nitrifikasyon hızları %50 seyreltilmiş sentrat için maksimum çoğalma hızı ($0,35 \text{ gün}^{-1}$), sentetik atıksu için maksimum çoğalma hızı ise ($0,41 \text{ gün}^{-1}$) bulunmuştur. %50 seyreltilmiş sentrat için maksimum çoğalma hızının, sentetik ve atıksu ile yapılan deneylerle karşılaştırıldığında yaklaşık %15 oranında azalmasına neden olabileceği belirlenmiştir. Ana tesise geri dönen sentrat suyu oranının maksimum seviyede dahi %0,5-1 mertebesinde olması, ana tesisin nitrifikasyon hızında önemli bir etkisi olmayacağı tahmin edilmektedir. Nitrifikasyon hızına etki eden faktörlerden bir olan toksisitenin giriş atıksuyu, ön çöktürme çıkışı, aktif biyokütle çamur ve geri devir çamuru toksik olarak, sentrat içeriği hafif toksik olarak sınıflandırılmıştır. Aktif biyokütle ve geri devir çamurunda ağır metallerin yüksek konsantrasyonlarda birikim yaptığı belirlenmiştir. Bu durum, toksisite deneyleri ile de desteklenmektedir. Ayrıca anaerobik çürütme süresince toksik ağır metal iyonlarının sentrat suyuna geçtiği ve tesis ana akımına dahil edilmesi ile sürekli toksik etkinin arttığı belirlenmiştir. Ana akım ve sentratla belirlenen toksisite ve ağır metal içeriğinin geri kazanım suyunda herhangi bir toksik etki oluşumuna neden olmadığı belirlenmiştir. Böylece çıkış suyunun yönetmelikte A sınıfı sulama suyu kalite parametrelerine ve kimyasal kalite tuzluluk değerlerine göre I. sınıf su, klorür değerlerine göre II. sınıf su sınıflandırmasına uygun olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Atıksu arıtma, Nitrifikasyon, Geri dönüş akımı, Toksisite, Atıksu geri kazanımı, Sulama suyu

ABSTRACT

EVALUATION OF NITRIFICATION RATE AND TOXICITY IN URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANTS IN TERMS OF WATER RECOVERY

Meryem ÖZGAN

Department of Biosystems Engineering

MSc. Thesis

Supervisor: Prof. Ahmet İSTANBULLUOĞLU

Co-Supervisor: Prof. H. Güçlü İNSEL

Within the scope of this thesis, the effect of the return stream on the nitrification rate and effluent toxicity in advanced biological wastewater treatment plants was evaluated. In addition, it was determined whether the outlet water of the recovery facility complies with the irrigation water quality parameters. In the study, first of all, wastewater treatment facilities were characterized and it was determined that the facility flow rate and pollutant loads were found to be increased. The effect of centrate formed after anaerobic digestion and dewatering on the nitrification rate has been examined in detail under laboratory studies and the nitrification rates are the maximum growth rate for 50% diluted centrate (0.35 day^{-1}) and the maximum growth rate for synthetic wastewater (0.41 day^{-1}).) was found. It was determined that the maximum growth rate for 50% diluted centrate could be reduced by approximately 15% compared to experiments with synthetic and wastewater. It is estimated that the rate of centrate water returning to the main plant is 0.5-1% even at the maximum level, which will not have a significant impact on the nitrification rate of the main plant. Toxicity, which is one of the factors affecting the nitrification rate, has classified the inlet wastewater, pre-sedimentation effluent, activated biomass sludge and recycling sludge as toxic, and the centrate content as slightly toxic. It has been determined that heavy metals accumulate in high concentrations in active biomass and recycled sludge. This is also supported by toxicity experiments. In addition, it was determined that toxic heavy metal ions passed into centrate water during anaerobic digestion and the toxic effect constantly increased when included in the main stream of the facility. It was determined that the toxicity and heavy metal content determined in the main stream and centrate did not cause any toxic effects in the recovery water. Thus, the outlet water is classified as Class I water according to Class A irrigation water quality parameters and chemical quality salinity values, and Class II water according to chloride values. It has been determined that it complies with class water classification

Keywords: Wastewater treatment, Nitrification, Return flow, Toxicity, Wastewater reclamation, Irrigation water

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
SİMGELER DİZİNİ.....	viii
KISALTMALAR DİZİNİ	ix
TEŞEKKÜR	x
1. GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	3
1.1.1 Aktif Çamur Prosesi.....	3
1.1.1.1 Nitrifikasyon	3
1.1.1.2 Nitrifikasyon Mikrobiyolojisi	3
1.1.1.3 Nitrifikasyonu Etkileyen Faktörler ve Nitrifikasyon Hızı	4
1.1.1.4 Aktif Çamurda Nitrifikasyon Kinetiği	5
1.1.1.5 Arıtma Çamurları ve Çürütülmesi	5
1.1.1.6 Aerobik ve Anaerobik Çamur Çürütme Süreci.....	6
1.1.1.7 Çamur Susuzlaştırma ve Önemi	7
1.1.1.8 Geri Dönüş Akım Suyu ve Tesise Etkisi	7
1.1.1.9 İleri Biyolojik Atıksu Arıtma.....	8
1.1.2 Ambarlı İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi	9
1.1.2.1 Ambarlı İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi Üniteleri.....	12
1.1.2.1.1 Ön Arıtma Üniteleri	12
1.1.2.1.2 Biyolojik Arıtma Üniteleri.....	13
1.1.2.1.3 Çamur Üniteleri	15
1.1.2.1.4 Diğer Üniteler	17

1.1.3 Atıksuların Geri Kazanılması ve Yeniden Kullanılması	18
1.1.3.1 Geri Kazanım Suyunun Sulama Suyu Olarak Kullanımı	20
1.1.3.2 Ambarlı İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi Geri Kazanım Ünitesi.....	20
1.1.4 Ekotoksisite.....	23
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	25
2. MATERYAL VE METODLAR	26
2.1 Tesisin Kütle Dengesinin Kurulması	26
2.2 Karakterizasyon Çalışmaları	27
2.2.1 Giriş Atıksu Karakterizasyonu.....	27
2.2.2 Geri Dönüş Akımı (Sentrat) Karakterizasyonu.....	28
2.2.3 Geri Kazanım Giriş (Tesis Çıkış) Atıksu Karakterizasyonu.....	28
2.3 Nitrifikasyon Hızı Deneyi (Yüksek F/M Testi)	28
2.4 Ağır Metal Analizleri.....	30
2.5 Toksikite Ölçümleri.....	30
3. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	32
3.1 Karakterizasyon Çalışmaları	32
3.1.1 Giriş Atıksu Karakterizasyonu.....	32
3.1.2 Geri Dönüş Akımı (Sentrat) Karakterizasyonu.....	33
3.1.3 Geri Kazanım Ünitesi Giriş – Çıkış Atıksu Karakterizasyonu	33
3.1.4 Ambarlı İBAAT Günlük Ortalama Giriş – Çıkış TN ve NH ₄ -N Değerleri	36
3.2 Nitrifikasyon Hızı Deneyleri (Yüksek F/M Testi).....	37
3.3 Toksikite Çalışmaları Deneysel Sonuçlar	40
4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	45
KAYNAKÇA.....	51
EK-1. NİTRİFİKASYON HIZI TESPİTİ DENEYSEL PROSEDÜRÜ.....	56
EK-2. ÇEŞİTLİ SEYRELTMELEİ HAZIRLANAN ATIKSULARIN TOKSİTELERİNİN “LIQUID DRIED BACTERIA” VE “MICROTOX MODEL 500 ANALYZER” TOKSİTE ÖLÇÜM PROSEDÜRÜ	57

EK-3. MICROTOX MODEL 500 TOKSİSİTE ÖLÇÜM SONUÇLARI60

ÖZGEÇMİŞHata! Yer işareti tanımlanmamış.



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Ambarlı İBAAT tasarımında kullanılan karakterizasyon (Ambarlı İBAAT Su Hattı Proses Raporu, 2017).....	10
Çizelge 1.2. Ön çökeltme havuzu tasarım verileri (Ambarlı İBAAT Su Hattı Proses Raporu, 2017).....	13
Çizelge 1.3. Kentsel atıksuların arıtılmasında uygulanan yönetmelikler.	18
Çizelge 1.4. Geri kazanım teknolojileri ve giderim yaptıkları kirlilik parametreleri.	19
Çizelge 3.1. Ambarlı İBAAT aktif çamur sistemi giriş ortalama kirletici yükleri (2022-2023).	32
Çizelge 3.2. Atıksu çamur ünitesi sentrat karakterizasyonu.....	33
Çizelge 3.3. Ambarlı atıksu geri kazanım tesisi giriş suyu özellikleri.	34
Çizelge 3.4. Ambarlı atıksu geri kazanım tesisi çıkış suyu özellikleri.....	35
Çizelge 3.5. Ambarlı İBAAT giriş atıksuyu, sentrat akımı ve sentetik atıksu ile elde edilen nitrifikasyon kinetiği.	38
Çizelge 3.6. Ambarlı İBAAT ağır metal analizleri ve diğer toksik parametreler.	40
Çizelge 3.7. Ambarlı geri kazanım tesisi giriş – çıkış ağır metal analizleri (2022-2023).	42

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Ambarlı ileri biyolojik atıksu arıtma tesisi uydu görüntüsü.....	9
Şekil 1.2. Ambarlı İBAAT atıksu toplama havzası.....	11
Şekil 1.3. Atıksu akış diyagramı.....	12
Şekil 1.4. Havalandırma havuzu.....	14
Şekil 1.5. Son çöktürme havuzları.....	15
Şekil 1.6. Anaerobik çamur çürütücüler.....	16
Şekil 1.7. Ambarlı İBAAT geri kazanım ünitesi akım şeması.....	21
Şekil 1.8. Su alma yapısı ve mekanik filtreler.....	22
Şekil 1.9. Aktif karbon ünitesi.....	22
Şekil 1.10. Ultrafiltrasyon ünitesi.....	23
Şekil 2.1. Ambarlı İBAAT aktif çamur sistemi akım diyagramı.....	26
Şekil 2.2. Tesis bazında kütle dengelerinin kurulması (İnsel, vd., 2022).....	27
Şekil 2.3. Yüksek F/M nitrifikasyon deney düzeneği (İSKİ Ambarlı İBAAT).	29
Şekil 3.1. Ambarlı İBAAT giriş ve çıkış azot konsantrasyon değerleri.....	36
Şekil 3.2. Ambarlı İBAAT giriş atıksuyu sentetik atıksu ile ölçülen nitrifikasyon hızları.	39
Şekil 3.3. Ambarlı İBAAT giriş atıksuyu %50 sentrat atıksu ile ölçülen nitrifikasyon hızları.	39

SİMGELER DİZİNİ

r	Bakteri çoğalma hızı
μ	Özgül bakteri büyüme hızı
S	Substrat konsantrasyonu
K_S	Substratın yarı doymuş konsantrasyonu
X	Aktif biyokütle konsantrasyonu
$S_{NO,0}$	Başlangıçtaki oksitlenmiş azot konsantrasyonu
$S_{NO,t}$	“t” anında oksitlenmiş azot konsantrasyonu
$X_{A,0}$	Başlangıçtaki aktif nitrifikasyon bakteri konsantrasyonu
$X_{A,t}$	“t” anında aktif nitrifikasyon bakteri konsantrasyonu
μ_A	Nitrifikasyon bakterileri maksimum çoğalma hızı
b_A	Nitrifikasyon bakteri ölüm hızı
Y_A	Nitrifikasyon bakterileri dönüşüm oranı

KISALTMALAR DİZİNİ

AAT	Atıksu Arıtma Tesisi
AKM	Askıda Katı Madde
AOB	Amonyak Oksitleyici Bakteriler
Bio-P	Biyofosfor
BOİ	Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
DN	Denitrifikasyon
F/M	Besin/Mikroorganizma oranı
İBAAT	İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi
İSKİ	İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi
KAAY	Kentsel Atıksuların Arıtımı Yönetmeliği
KM	Katı Madde
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
N	Nitrifikasyon
NOB	Nitrit Oksitleyici Bakteriler
SAR	Sodyum Absorbsiyon Oranı
SAİS	Sürekli Atıksu İzleme Sistemi
SKKY	Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği
TÇM	Toplam Çözünmüş Madde
TKN	Toplam Kjeldahl Azotu
TN	Toplam Azot
TP	Toplam Fosfat
UAKM	Uçucu Askıda Katı Madde
UYA	Uçucu Yağ Asidi

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmamda tüm bilgi ve birikimleriyle yardımcı olan ve katkılarını esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Ahmet İSTANBULLUOĞLU'na,

Yüksek lisans tez çalışmamın eş danışmanlığını yapan, hem çalışmalarım da hem de iş hayatımda yapmış olduğu projeleri ve engin bilgileri ile kendimi daha iyi geliştirmeme fırsat tanıyan, cesaretlediren ve büyük katkılarını esirgemeyerek her zaman yol gösteren değerli hocam Prof. Dr. H. Güçlü İNSEL'e,

Çalışmamın her aşamasında, kendisine ne zaman danışsam bana kıymetli zamanını ayırıp sabırla ve büyük bir ilgiyle beni dinleyip desteklerini esirgemeyen, sevgili hocam Doç. Dr. Diğdem GÜVEN'e,

Yine tezin önemli kısımlarından toksisite deney çalışmalarında konu, kaynak ve yöntem açısından bana sürekli yardımda bulunarak yol gösteren kıymetli arkadaşlarım Dr. İbrahim TAN ve Dr. Ertuğrul ASLAN'a,

Tez çalışmamda her sorun yaşadığımda yanına çekinmeden gidebildiğim, güler yüzünü ve samimiyetini benden esirgemeyen çalışma arkadaşlarım Esra HALLAÇ, Berkay PEDÜK, Kübra KABAKÇI ve Rabia AYDEMİR'e,

Çalışmalarım sırasında ve sonrasında karşılaştığım problemleri sabır ve itina ile dinleyerek çözümler üreten sevgili Merve AŞKIN DEMİR'e,

Bu süreçte maddi ve manevi, her daim yanımda olan, her koşulda desteklerini esirgemeyen sevgili eşim Aydın ÖZGAN'a ve çocuklarım EMİR, AYŞE ve BERRA'ya,

Son olarak sevgi ve saygı kelimelerinin anlamlarını bilecek şekilde beni yetiştiren, mücadele ile başarıya nasıl ulaşılacağını yaşamıyla gösteren, bu hayattaki en büyük şansım dediğim Rahmetli Babam HALİS KÜÇÜK'e sonsuz teşekkürler.

Meryem ÖZGAN

1. GİRİŞ

Dünya genelinde nüfus ile beraber çevre kirliliğinin artması doğal kaynaklarımızı ve insan sağlığını tehdit etmektedir. Sağlıklı bir yaşam sürdürülmesinde su çok önemli bir yere sahiptir. Yaşamın devamlılığı için su, insan yaşamının vazgeçilmez bir ögesidir. Yeryüzü 1,4 milyar km³ toplam su hacmine sahiptir. Dünyada varolan suyun %97'si tuzlu su, yalnızca %2,5'ini ise tatlı su kaynakları oluşturmaktadır. Mevcut tatlı su kaynaklarının %68,7'si buz ve kar olarak dağlık bölgelerde, %30,1'i yeraltı suları olarak bulunmaktadır. Bu oranlar göz önünde bulundurulduğunda tatlı su kaynaklarının korunması, geri kazanılması ve geliştirilmesi hayati önem taşımaktadır.

Su kaynaklarının mevcut durumu, sosyoekonomik yapının değişkenliği ve su kalitesi gibi nedenlerle su talebi giderek artmaktadır. Su tüketiminde bölgesel olarak büyük farklılıklar görülmektedir. Su kullanımındaki talep yakın geçmişe kadar dünyanın su ihtiyacını rahatlıkla karşılamakta iken günümüzde bu talebi karşılayamaz hale gelmiş ve problemler ortaya çıkmaya başlamıştır. Dünya genelinde tatlı su kaynaklarının kullanım açısından yüzdelik dağılımı; %71 tarımsal amaçlı, %18 endüstriyel ve %11 evsel tüketim olarak elde edilmektedir. Türkiye'de ise bu durum %73 tarım, %11 endüstriyel ve %16 evsel tüketim olarak belirlenmiştir (Tema Vakfı). Türkiye'de kişi başına düşen su miktarının 1.519 m³'lük bir rakamla ifade edilmesi ülkemizi "su sıkıntısı çeken" ülkeler arasında tanımlanmasına neden olmaktadır. 2030 yılında Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre Türkiye nüfusunun 100 milyona ulaşacağı öngörülmektedir. Böyle bir durumda, kişi başına düşen su miktarı 1.120 m³/yıl olması beklenmektedir. Türkiye artan nüfusu ve ekonomik gelişmeleri ile "su fakiri" olma yolunda ilerlemektedir.

Atıksuların geri kazanılması ve kullanabilir hale gelebilmesi için öncelikle ileri biyolojik arıtma tesisi sayısının artırılması ve arıtma performanslarının ideal koşullara ulaşması gerekmektedir. Özellikle büyük şehirlerde sağlıklı yaşamın sürdürülebilmesi ve su kaynaklarının korunabilmesi için atıksu arıtma tesislerinin doğru planlanması ve yönetilmesini gerekmektedir. Günümüzde arıtma tesislerinin şehrin ihtiyaçlarını karşılayan geri kazanım sistemleri olarak veya tarımda kullanımları ile ilgili kapsamlı çalışmalarla değerlendirilmelidir.

İleri biyolojik arıtma tesislerinde ağır metal yükü, çevre ve insan sağlığı açısından büyük bir etkiye sahiptir. Ağır metaller, atıksulardan doğaya salındığında su kaynaklarına, topraklara ve bitkilere toksik etkiye sebep olabilir. Bu etki ekotoksikite olarak da adlandırılır. Toksikitenin kontrol altına alınması ve azaltılması çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik bir

faktördür. Toksik birikim, sucul ekosistemlere zarar verebilir ve tarım amaçlı kullanımlarla gıda zinciri aracılığıyla insanlara ulaşabilir, bu da sağlık sorunlarına neden olabilir. Bu tür tesislerde ağır metalleri gidermek ve birikiminin önüne geçmek, su kalitesini korumak, çevresel etkileri azaltmak ve insan sağlığını korumak adına önemli bir arıtma hedefidir.

Dünya genelinde olduğu gibi ülkemizde de yaşanan kuraklıklar sebebiyle, özellikle sulama suyu olarak kaliteli suların kullanılmasının azaltılması ve alternatif su kaynaklarının bulunması son derece önemlidir. Atıksuların arıtılması ile elde edilen su alternatif su kaynaklarının başında gelmektedir (Aşık, vd., 1997). Suya olan talebin artması ve tarımsal su ihtiyacının arıtılmış atıksularla karşılanabilmesi için su kaynaklarının kullanım durumu planlanmalı ve geliştirilmelidir.

Alternatif su kaynakları açısından atık suların geri kazanılması ve kullanılması su kıtlığı veya su temini için yeni çözüm yolları oluşturmaktadır. Bu durum ülkemizde atık su arıtma tesislerinin artmasıyla son yıllarda daha fazla gündeme gelmeye başlamıştır. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (2004) madde 28’de ifade edildiği gibi “Sulama suyunun kıt olduğu ve ekonomik değer taşıdığı yörelerde, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliğinde verilen sulama suyu kalite kriterlerini sağlayacak derecede arıtılmış atıksuların, sulama suyu olarak kullanılması teşvik edilir.” şeklinde yer almaktadır. Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği (2010) Ek 7’de ise “Arıtılmış atıksuların sulamada kullanılması büyük bir potansiyele sahiptir.” ifadesi ile bu konunun önemi vurgulanmaktadır. 2025 yılı atıksuların Avrupa ülkelerinde yeniden kullanımı beklentilerine göre, bu potansiyellerin belirlenmesi için oluşturulan modelde, Türkiye 31 ülke arasında 4. sırada yer almaktadır (Üstün & Solmaz, 2008).

Bu tez kapsamında, büyük ölçekli ileri biyolojik atıksu arıtma tesislerinde anaerobik çürütme sonrası oluşan geri dönüş akımlarının nitrifikasyon hızına etkisi incelenmiştir. Muhtemel toksik etki tesis giriş atıksuyu ve geri dönüş akımlarının farklı noktalardan alınan örnekler ile gerçekleştirilen toksisite çalışmalarıyla ortaya konulmuştur. Bu şekilde arıtma çıkış suyunun sulama suyu olarak kullanılabilirliği toksik etkiler açısından da değerlendirilmiştir.

1.1 Literatür Özeti

1.1.1 Aktif Çamur Prosesi

1.1.1.1 Nitrifikasyon

Organik karbon giderimi ve nitrifikasyon, atıksu arıtma süreçlerinde önemli rol oynayan iki temel biyolojik işlemdir. Bu süreçler, atıksu arıtma tesislerinde kullanılarak çeşitli organik ve azotlu bileşenlerin uzaklaştırılmasını sağlar (Orhon & Artan, 1997).

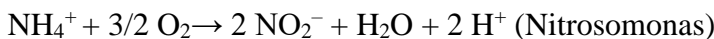
Nitrifikasyon, nitrojen döngüsündeki, amonyağın (organik maddenin bozulmasından üretilen) oksidasyonunu dinitrojen gazı formundaki sabit nitrojenin kaybına bağlayan adımdır. Amonyak oksitleyen ve nitrit oksitleyen mikroorganizmalar olmak üzere çeşitli mikroorganizma grubu tarafından gerçekleştirilir. Bu mikroorganizmaların tümü aerobdur ve ağırlıklı olarak ototroftir. Geleneksel nitrifikasyon toprakta, çökeltelerde ve su ortamlarında meydana gelir (Ward, 2013).

Nitrifikasyon, azotlu bileşenlerin (amonyak-NH₃ ve amonyum-NH₄⁺) bakteriler tarafından nitrat (NO₃⁻) ve nitrit (NO₂⁻) gibi daha az toksik formüllere dönüştürüldüğü bir süreçtir. Bu süreç, özellikle kanalizasyon ve endüstriyel atıksularda bulunan azotun çevresel etkilerini azaltmaya yöneliktir. Nitrifikasyonda, amonyak oksidasyonu ve nitrit oksidasyonu olmak üzere iki aşama bulunmaktadır (EPA, 2022). Bu süreçler, atıksu arıtma tesislerinde aerobik (oksijenli) koşullarda işletilen biyolojik arıtma havuzlarında ve reaktörlerde gerçekleştirilir. Biyolojik arıtma, organik kirlilik ve azotlu bileşenlerin çevresel etkilerini azaltmaya yardımcı olur. Arıtma tesislerinde bakterilerin etkili bir şekilde çalışabilmesi için optimum sıcaklık, pH ve çözümlü oksijen düzeyleri gibi çeşitli faktörlere dikkat edilmelidir (Rao, vd., 2017).

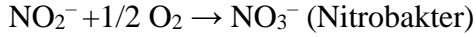
1.1.1.2 Nitrifikasyon Mikrobiyolojisi

Nitrifikasyon, atıksulardaki amonyum iyonlarının (NH₄⁺) bakteriler tarafından oksijenle temas halinde önce nitrite, ardından nitrate dönüştürülme sürecidir. Bu dönüşümü gerçekleştiren bakteri türleri Nitrosomonas ve Nitrosococcus olarak bilinir. İlk adımda amonyum iyonları nitrite (NO₂⁻) dönüştürülür, ikinci adımda ise Nitrobakter tarafından nitrate (NO₃⁻) çevrilir (Öztürk, vd., 2005).

Birinci adım için enerji reaksiyonu:



İkinci adım için enerji reaksiyonu:



şeklinde. Bu iki reaksiyonun toplam enerji reaksiyonu nitrifikasyonu ifade ediyor olup aşağıda verilmektedir:



Nitrifikasyon derecesi biyolojik azot giderimini doğrudan etkiler. Nitrifikasyon bakterileri ototroftir ve büyüme hızları heterotrofik olan denitrifikasyon bakterilerinden daha düşüktür. Bu sebeple çevre koşullarından daha fazla etkilenirler (Pollard, 2006). Azot gideriminde, nitrat oluşumu yani nitrifikasyon işlemi, denitrifikasyondan daha belirleyici olur.

1.1.1.3 Nitrifikasyonu Etkileyen Faktörler ve Nitrifikasyon Hızı

Biyolojik azot giderimi için kısıtlayıcı etmen nitrifikasyondur. Nitrifikasyon, çevresel faktörlere duyarlı bir biyolojik süreçtir. Nitrifikasyon bakterileri, zorunlu aerobik (oksijenli) organizmalar olması nedeniyle düşük oksijen konsantrasyonundan direk etkilenmektedir. Böyle bir durumda nitrifikasyon hızı azalabilir hatta durabilir (Watson, vd., 1981). Nitrifikasyon bakterileri için ikinci kritik faktör ortamın pH'sıdır. Nitrosomonas'ın optimal pH'ı yaklaşık 7 – 8 arasında, nitrobacter için ise bu değer yaklaşık 7,5 – 8 olarak belirlenmiştir. Ancak, diğer birçok faktör de nitrifikasyon bakterilerinin yaşamını etkilemektedir. Bu nedenle nitrifikasyon sürecinin 6,6 – 9,7 pH seviyelerinde gerçekleşebildiği, bu aralık dışına çıktığında bakterilerin nitrifikasyon aktivitesinin azaldığı belirlenmiştir (Odell, vd., 1996). Nitrifikasyon için bir diğer önemli faktör ortam sıcaklığıdır. Genellikle 20-30°C arasındaki sıcaklıklar nitrifikasyon bakterileri için optimum kabul edilir (Watson, vd., 1981). Daha düşük sıcaklıklarda aktivite azalır, bu durum da nitrifikasyon hızını etkiler. Ortamdaki amonyak konsantrasyonu, nitrifikasyon prosesinde birincil substrat olarak kullanıldığı için nitrifikasyon hızı amonyak miktarı ile doğrudan ilişkilidir (EPA, 2022). Nitrifikasyon için toksik ve inhibitör maddelerin varlığı da nitrifikasyon bakterileri üzerinde ve dolayısıyla da nitrifikasyon hızı üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir (Rochmah, vd., 2020). Hatta aktif çamur içinde çamur yaşı ile birikerek daha yüksek inhibisyon seviyelerine ulaşabilmektedir.

Çevresel faktörlerin kontrol edilmesi, atıksu arıtma tesislerinde nitrifikasyonun etkili bir şekilde gerçekleşmesi için kritik öneme sahiptir. Tesis içerisinde bu faktörler düzenli olarak

izlenerek ve uygun önlemlerin alınması ile nitrifikasyon hızının optimize edilmesi gerekmektedir.

1.1.1.4 Aktif Çamurda Nitrifikasyon Kinetiği

Aktif çamur sürecinde nitrifikasyon kinetiği, azotlu bileşenlerin bakteriler tarafından dönüştürülme hızını açıklar. Bu süreç genellikle amonyak oksidasyonu (nitritasyon) ve nitrit oksidasyonu (nitratasyon) aşamalarını içerir. Bu biyokimyasal süreçler genellikle Monod kinetik modeli veya daha karmaşık modeller kullanılarak açıklanır. Monod modeli, bakteri büyüme hızını substrat konsantrasyonuna bağlı olarak ifade eden bir matematiksel modeldir (Orhon & Artan, 1997).

Monod modeli genellikle şu şekilde ifade edilir:

$$r = \frac{\mu \cdot S}{K_S + S} X$$

Burada;

r , bakteri çoğalma hızını,

μ , özgül bakteri büyüme hızını,

S , substrat konsantrasyonunu,

K_S , yarı doygunluk konsantrasyonunu

X , aktif biyokütle konsantrasyonunu temsil eder.

Aktif çamurda nitrifikasyon kinetiği, tesisin giriş atıksu özelliklerine ve işletme koşullarına bağlı olarak değişiklik gösterebilir (İnsel, 2022). Bu tür kinetik modeller, atıksu arıtma tesislerinde nitrifikasyon hızının öngörülmesine ve işletmenin optimize edilmesine yardımcı olabilir. Ancak, gerçek sistemlerdeki karmaşıklığı ve değişkenlikleri dikkate almak önemlidir. Bu nedenle genelde kinetik modellerin saha deneyimleri ve ölçümleriyle birleştirilmesi tavsiye edilir.

1.1.1.5 Arıtma Çamurları ve Çürütülmesi

Atıksu arıtma tesislerindeki arıtma prosesi kadar çamur yönetimi de büyük bir önem taşımaktadır. Çamur yönetimi en uygun olan çamur arıtım ve bertaraf alternatifleriyle yapılmaktadır. Arıtma çamuru, su ve atıksu arıtma tesislerinde arıtma işlemleri sırasında ortaya çıkan katı atık karışımını ifade eder. Bir atıksu arıtma tesisinden çıkan arıtma çamuru, çevresel

açından risktir ve tehlikeli madde özelliği taşımaktadır (Koyuncu, vd., 2013). Günümüzde arıtma çamurlarından enerji geri kazanımı için bazı yöntemler bulunmaktadır. Arıtma çamurunu anaerobik olarak çürütme veya yakma süreçleri bu enerji geri kazanımı yöntemlerindedir. Böylelikle tesislerden çıkan çamura atık gözüyle değil, yenilenebilir enerji ve madde geri kazanımları açısından bakılması gerekmektedir (Gunes, vd., 2022).

Çamur içerisindeki organik maddelerin azaltılması, patojen yapıdaki organizmaların giderilmesi ve sistemde oluşan kokunun azalması için çamur stabilizasyonu işlemi uygulanmaktadır. Çamurdaki uçucu kısmın biyolojik indirgenmesi, uçucu maddenin kimyasal oksidasyonu, mikroorganizma gelişimini engellemek için çamura kimyasal madde ilavesi ve çamuru dezenfekte etmek veya sterilize etmek için ısı işlem uygulanması ile çamurda bu istenmeyen koşullar giderilir. Çamur stabilizasyonu kimyasal, termal ve biyolojik olarak farklı yöntemlerle yapılmaktadır.

1.1.1.6 Aerobik ve Anaerobik Çamur Çürütme Süreci

Aerobik çürütme, biyolojik çamur stabilizasyon yöntemlerinden biridir ve yeterli oksijen bulunması ile biyolojik olarak arıtma çamurundaki organik bileşenlerin giderilmesi işlemidir. Aerobik çürütmede oksijen miktarı, sıcaklık, bekleme süresi ve pH gibi parametreler önemlidir. Bu stabilizasyon işleminde, çamur ortalama 10-12 gün boyunca havalandırılarak oksijenli ortamda oksijenle çürümeye bırakılır.

Aerobik çürütme, anaerobik çürütmeye göre çeşitli avantajlara sahiptir. Bu avantajlar; üst faz suda daha düşük konsantrasyonlarda organik madde bulunması, kokusuz ve biyolojik olarak stabil bir son ürün elde edildiği için kolay bertaraf edilmesi, yüksek gübreleme değerine sahip açmu elde edilmesi, daha kolay işletme ve daha düşük yatırım maliyetine sahip olması olarak sıralanabilir. Anaerobik çürütücüye göre dezavantajları ise sisteme gerekli oksijeni sağlamak için yüksek enerjiye ihtiyaç duyması ve susuzlaştırma özelliğinin aerobik olarak çürütülmüş çamur için daha zayıf olması olarak sıralanabilir. Bir diğer dezavantajı da metan gibi yararlı bir son ürünün elde edilememesidir (Metcalf & Eddy, 2003).

Anaerobik çürütme işleminde organik maddeler, anaerobik koşullar altında biyolojik olarak CH₄ ve CO₂'e dönüşür. Bu stabilizasyon prosesi, enerjinin korunması, geri kazanılması ve atık çamurların yararlı olarak kullanımını sağladığı için çok kullanılan bir prostestir (Filibeli, 2009). Anaerobik çürütme işlemi, kapalı bir reaktör içerisinde hava girişininin önlendiği koşullarda gerçekleştirilir. Başlıca iki çeşit anaerobik çamur çürütücü bulunmaktadır: düşük hızlı ve yüksek hızlı anaerobik çürütücüler. Düşük hızlı, bir diğer adıyla standart çürütücülerde

çamur ısıtma ve karıştırma işlemlerine maruz bırakılmaz. İklimde de bağı olarak değişkenlik göstermek üzere 30 – 60 gün arasında hidrolik bekletme sürelerine sahiptir. Yüksek hızlı çürütücülerde ise, düşük hızlıların aksine çamur ısıtma ve karıştırma işlemlerine maruz bırakılarak anaerobik ayrışma hızlandırılır. Anaerobik çürütme sonrasında flokların içinde yer alan metal iyonları serbest kalabilir ve çamur susuzlaştırmada üretilen süzüntü suları ile tesise geri dönüp inhibisyon yaratabilir (İnsel, 2014).

1.1.1.7 Çamur Susuzlaştırma ve Önemi

Çamur susuzlaştırma, çamurdaki su içeriğini azaltarak atıksu arıtma tesislerinde su geri kazanımını sağlar. Bu, suyun daha etkili bir şekilde kullanılmasına ve tasarruf edilmesine olanak tanır. Çamurun su içeriğini azaltmak, çamurun hacmini önemli ölçüde küçültür. Bu durum, çamurun bertarafını ve taşınmasını kolaylaştırır. Aynı zamanda, bertaraf edilecek atık miktarını azaltarak çevresel etkileri minimize eder. Susuzlaştırılmış çamur, daha konsantre ve kompakt bir formda olup, depolama ve taşıma süreçlerini optimize eder. Bu da tesis içinde çamurun daha etkili bir şekilde yönetilmesine olanak tanır (Akkaya, 2022).

Çamur susuzlaştırma işlemi, anaerobik çamur çürütme süreçlerinde daha yüksek biyogaz üretimine katkıda bulunabilir (Türkmenler, vd., 2018). Daha konsantre çamur, mikroorganizmaların daha etkili bir şekilde çalışmasını sağlar. Susuzlaştırılmış çamur, çamur kurutma işlemlerini optimize etmek için daha uygundur. Daha düşük su içeriği, çamurun daha hızlı ve enerji verimli bir şekilde kurumasını sağlar. Çamur susuzlaştırma, atıksu arıtma tesislerinin genel işletme maliyetlerini de azaltmayı sağlar. Daha az su kullanımı, daha az atık ve daha etkili süreçler, işletme verimliliğini artırabilir.

Çamur susuzlaştırma, atıksu arıtma tesislerinde çeşitli avantajlar sunarak hem çevresel sürdürülebilirliği destekler hem de işletme verimliliğini artırır. Bu nedenle, modern atıksu arıtma tesislerinde çamur susuzlaştırma işlemleri genellikle önemli bir bileşen olarak kabul edilir.

1.1.1.8 Geri Dönüş Akım Suyu ve Tesise Etkisi

Çamur, atıksu arıtma süreci sırasında atıksudan ayrılan katı malzemeyi ifade eder. Çamur, kurutma süreçlerinden geçtikten sonra, çamurdan ayrılan sıvı kısım ise sentrat olarak adlandırılır. Sentrat, genellikle atıksu arıtma sürecinin önceki aşamalarına geri devredilerek tekrar biyolojik arıtmaya yönlendirilir. Bu, arıtma tesisinin genel verimliliğini maksimize etmeye yardımcı olabilir. Eğer sentrat geri dönüş veya deşarj için uygun değilse güvenli bertaraf yöntemleri ile bertaraf edilebilir.

Sentratin geri devredilmesi, arıtma tesisinde su kullanımını optimize etme stratejisi olabilir. Bu, arıtılmış suyun tekrar kullanılmasına olanak tanıyarak su tasarrufuna katkıda bulunabilir. Sentrat, başlangıçta giriş atıksuyunda bulunan değerli besin maddelerini içerebilir. Sentratin geri devredilmesiyle, bu besin maddeleri arıtma sürecine yeniden dahil edilerek biyolojik arıtma aşamalarının potansiyel olarak güçlenmesini sağlayabilir. Ayrıca, atıksu içeriğinde bulunan kirlilik, geri devredilen sentrat kirliliği ile birleşir ve bu da birikmeye sebep olabilir. Sonuç olarak, atıksu arıtımında sentrat geri devri için optimum bir oran seçilmesi gerekmektedir (Müller, vd., 2004).

1.1.1.9 İleri Biyolojik Atıksu Arıtma

İleri biyolojik atıksu arıtma tesislerine gelen atıksuların fiziksel ve biyolojik arıtımı yapılarak atıksulardaki karbon, azot ve fosfor kirleticilerinin yüksek verimde giderilmesi sağlanmaktadır. İleri biyolojik atıksu arıtma sisteminde biyolojik aktivite tesis için kritik bir öneme sahiptir. Aktif çamur prosesi olarak da tanımlanan biyolojik arıtma tesis kapasitesi için belirleyici ana faktör olmakla beraber askıda büyüyen sistem olarak atık suyun biyolojik arıtımında en sık kullanılan prosestir. Bu proses, Ardern ve Lockett (1914) tarafından İngiltere’de geliştirilmiştir. Aktif çamur olarak adlandırılan, bir atığın aerobik olarak stabilize edilmesini sağlayan süreç, aktif kütle üretiminin oluşmasına dayanmaktadır. Çeşitli versiyonları temelde benzer olan orijinal proses, genellikle piston akışlı ve tam karışımli proseslerle en çok kullanılanlardan biridir. Aktif çamur süreçlerinde, önceden ızgaradan geçirilmiş veya çöktürülmüş olan atıksu, son çöktürme işlemi sonucunda elde edilen konsantre çamurun farklı miktarları (%20-100 arası) ile karıştırılır. Bu karışım, bir havalandırma tankına yönlendirilir ve burada hem organizmalar hem de atıksu havalandırılır. Bu süreç mikroorganizmaların oksijen ihtiyacını karşılayarak aynı zamanda karışımı da sağlar. Bu şartlar altında mikroorganizmalar tarafından, organik maddenin bir kısmı karbon dioksit ve suya dönüştürülerek enerji eldesi sağlanır; kalan kısmı ise bu süreçte elde edilen enerji ile yeni hücre üretiminde kullanılır. Çamur, bu karışımın ardından çökeltme tankına alınır ve burada flok halinde çöktürülerek çıkış suyundan uzaklaştırılır. Çöken çamur daha sonra tekrar atık suyla karıştırılmak üzere havalandırma tankının sonundan prosesin başına geri döndürülür. Bu süreçte sürekli olarak yeni aktif çamur üretilir ve bir günde oluşan fazla çamur, ön çöktürme işleminden elde edilen çamurla birlikte uzaklaştırılır (Debik, vd., 2008).

1.1.2 Ambarlı İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi

Ambarlı İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi (İBAAT), Ambarlı Havzası, Esenyurt ve Beylikdüzü ilçelerinin tamamı ile Bahçeşehir, Avcılar'ın belirli bir bölümünden oluşmaktadır. 2012 yılı itibari ile arıtma tesisi işletmeye alınmıştır. Marmara Denizi ve Küçükçekmece Gölü'ne dökülen atıksuların oluşturduğu kirlenmeyi önlemek ve bu havzalar ile alıcı ortamların korunması amacıyla kurulmuştur. Tesis, deşarj limitleri olarak Kentsel Atıksuların Arıtılması Yönetmeliği'ne (2006) tabidir. Şekil 2.1'de Ambarlı İleri Biyolojik Arıtma Tesisi'nin uydu görüntüsü gösterilmiştir.

Tesiste özetle kaba ızgara, giriş pompa istasyonu, ince ızgara, havalandırılmalı kum ve yağ tutucu ünitesi, ön çökeltme havuzları, Bio-P üniteleri, nitrifikasyon (N)/denitrifikasyon (DN) havuzları, son çökeltme havuzları ile birlikte (Ambarlı İBAAT Su Hattı Proses Raporu, 2017); ön çökeltme çamuru ve biyolojik çamur yoğunlaştırma, anaerobik mezofilik çamur çürütme, çamur susuzlaştırma ve çamur kurutma üniteleri bulunmaktadır (Ambarlı İBAAT Çamur Hattı Dizayn Raporu, 2019). Proses hesapları ATV-DVWK-Standartlarına (ATV 131, 2000) göre yapılmıştır. Ambarlı İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi uydu görüntüsü Şekil 1.1'de verilmiştir. Çizelge 1.1'de Ambarlı İBAAT tasarımına esas alınan atıksu karakterizasyonu sunulmuştur.

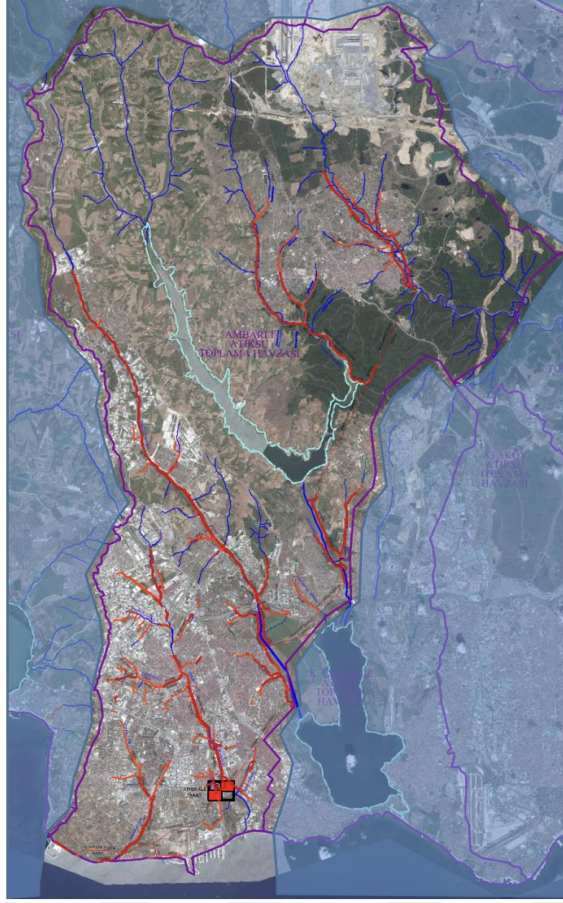


Şekil 1.1. Ambarlı ileri biyolojik atıksu arıtma tesisi uydu görüntüsü.

Çizelge 1.1. Ambarlı İBAAT tasarımında kullanılan karakterizasyon (Ambarlı İBAAT Su Hattı Proses Raporu, 2017).

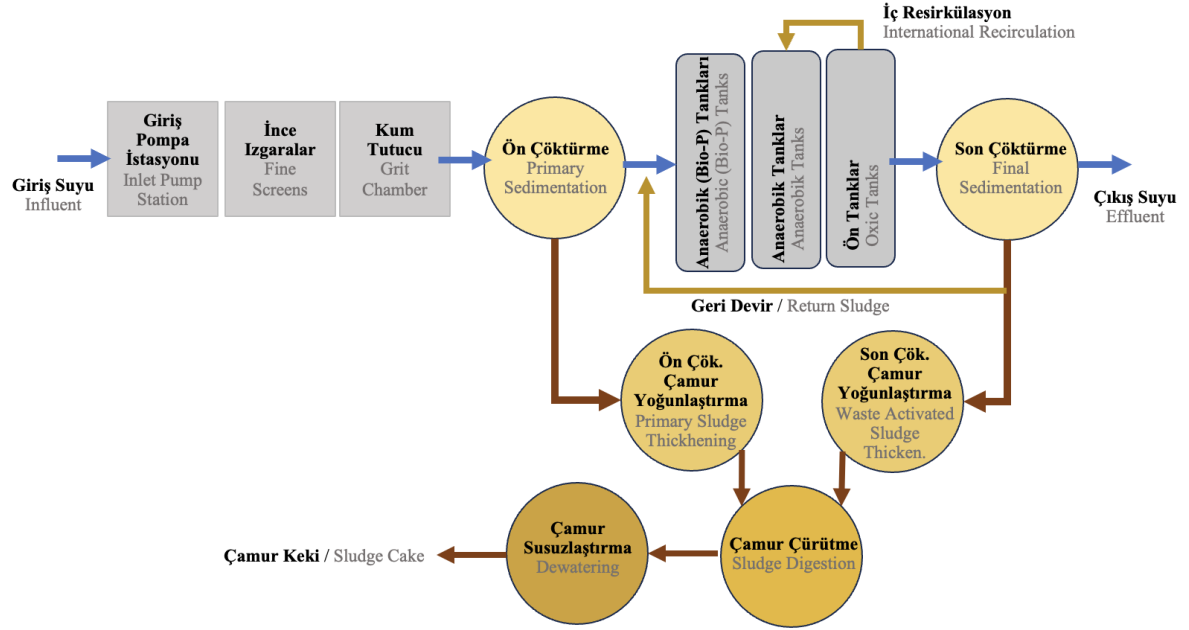
Parametre	Birim	Ham Atıksu	Deşarj Limit
Toplam KOİ, C_T	mg O ₂ /L	600	<125
Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı, BOİ_s	mg O ₂ /L	300	25
Askıda Katı Madde, AKM	mg/L	500	35
Toplam Azot, TN	mg N/L	60	10
Toplam Fosfor, TP	mg P/L	8	3
Maksimum Saatlik Debi, Q_{h,max}	m ³ /saat	21667	
Ortalama Debi, Q_{h,ort}	m ³ /saat	16667	

İSKİ'nin gerek Ana Plan, gerekse Stratejik Plan çalışmalarında öncelikli yer tutan Ambarlı Atıksu Toplama Havzasının, sınırları içinde bulunan Sazlıdere İçme suyu Havzası, komşuları Büyükçekmece ve Terkos İçme suyu Havzaları, Küçükçekmece Gölü ve Marmara Denizi'nin korunması ihtiyacını karşılamak amacıyla Ambarlı İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi inşaa edilmiştir. Şekil 1.2 Ambarlı havzasını göstermektedir.



Şekil 1.2. Ambarlı İBAAT atıksu toplama havzası.

Günlük ortalama 400.000 m³/gün atıksuyu arıtabilecek kapasitedeki tesis, 1 milyon 600 bin kişilik nüfusa hizmet verebilmektedir. 520.000 m³/gün'lük pik debiyi karşılayacak şekilde projelendirilmiştir. Tesis yaklaşık 438 kilometrekareden oluşan bir havza alanına hizmet vermektedir. Havza alanı; Avcılar'ın bir kısmı, Esenyurt, Kıraç, Hadımköy, Sazlıdere, Bahçeşehir, Altınşehir, Arnavutköy, İmrahor, Boğazköy, Firüzköy, Beylikdüzü, Gürpınar, Yakuplu, Kavaklı, Haramidere havzalarında yer alan yerleşim bölgeleri ve Küçükçekmece Gölü'nün kuzey ve batı bölgelerini kapsıyor. Arıtımı yapılan atıksu çevreye zararsız hale getirildikten sonra nihai alıcı ortamı olan Marmara Denizi'ne deşarj edilmektedir.



Şekil 1.3. Atıksu akış diyagramı.

1.1.2.1 Ambarlı İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi Üniteleri

1.1.2.1.1 Ön Arıtma Üniteleri

İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi, kaba ızgara yapıları, kollektör hatları ve tünellerle gelen atıksuyu işler. Evsel atıksudan gelen büyük maddeler kaba ızgaralarda tutulur. Ardından, terfi istasyonu pompalarıyla farklı kotlardan alınarak ince ızgara ünitelerinden geçirilir. Kum, yağ ve çakıl gibi maddeleri ayırmak için havalandırılmalı kum ve yağ tutucu ünitesi bulunur. Ardından, ön çöktürme havuzlarına geçilir. Bu havuzlarda çökebilen ve yüzebilen katılar sudan ayrılarak çamur haznesine toplanır. Bu sayede, biyolojik arıtma ünitesinde organik yük azalır ve oksijen miktarı düşer. Atıksuyun ön çöktürme havuzlarında bekleme süresi 30 dakika olacak şekilde tasarımı yapılmıştır.

Birincil çamur (ön çökeltme çamuru) yoğunlaştırılır ve ikincil çamur (son çökeltme çamuru) ile anaerobik çamur çürütmeye gönderilir. Ön çökeltme tankı tasarım verileri Çizelge 1.2 ile verilmiştir (Ambarlı İBAAT Su Hattı Proses Raporu, 2017).

Çizelge 1.2. Ön çökeltme havuzu tasarım verileri (Ambarlı İBAAT Su Hattı Proses Raporu, 2017)

Tasarım Parametresi	Birim	Değer
Çökeltme havuzu sayısı	Adet	2
Her bir havuza verilecek atıksu	m ³ /saat	8.333
Ön çökeltme havuzu beher hacim	m ³	5.667
Havuz iç çapı	m	50,5
Yan su derinliği	m	2,83
Taban eğimi	m/m	1/15
Hidrolik bekletme süresi	Saat	0,77

1.1.2.1.2 Biyolojik Arıtma Üniteleri

Biyofosfor havuzları: İleri biyolojik atıksu arıtma tesislerinde fosfor giderimi, strese sokulan mikroorganizmaların hücre büyümesi ve metabolik faaliyetleri için gerekli olan fosforu olması gerekenden daha fazla bünyelerine alması ile gerçekleşir. Anaerobik ortamda mikroorganizmaların strese sokulması sağlanır. Ön arıtma sonrası gelen atıksu geri dönüş çamuru ile karışarak biyo-fosfor ünitesine girer. Çökeltmeyi önlemek için her bir havuz mikserler ile karıştırılmakta ve sensörlerle proses şartlarının devamlı izlenmektedir. Biyofosfor havuzları seri veya paralel çalışabilen ve toplam hacimleri 25.000 m³ olan 4 adet havuzdan oluşmaktadır. Tasarım debisi 21.667 m³/sa olup su derinliği 6,35 m, hidrolik 83 bekletme süresi 0,5 saat olarak tasarlanmıştır. Havuzlarda çevrimiçi ORP izlemesi yapılmaktadır (Ambarlı İBAAT Su Hattı Proses Raporu, 2017).

Aktif Çamur havuzları: Ambarlı İBAAT biyolojik arıtma sistemi Alman ATV-DVWK (ATV 131, 2000) tasarım kriterleri kullanılarak tek çamurlu karbon, azot ve fosfor gideren bir aktif çamur sistemi konfigürasyonunda (A²O prosesi) BOİ₅ parametresi dikkate alınarak tasarlanmıştır. Tesise gelen atıksu ön arıtma ünitelerinden geçirilerek geri devir çamuru ile karıştırılarak biyo-fosfor havuzlarına alınmaktadır. İleri biyolojik arıtmanın ilk aşaması, nitrifikasyon ve denitrifikasyon olmak üzere iki kademede gerçekleştirilir. Biyolojik arıtma aerobik (havalı) ve anoksik (bağlı oksijenli) kısımları bulunacak şekilde planlanan havalandırma havuzlarında gerçekleşmektedir. Havalandırma havuzlarına yerleştirilen membran difüzörler yardımıyla nitrifikasyon için gereken hava miktarı sağlanır ve giriş suyunda bulunan amonyum nitrata dönüştürülür. Oluşan nitrat biyolojik oksijen ihtiyacı (karbon) giderimi için elektron alıcısı olarak kullanılır. Tüm havuzlarda homojen karışımı

sağlamak üzere, karıştırıcı bulunmakta ve karıştırıcılar ile AKM'nin çökmesini önlenmektedir. Aynı zamanda karıştırıcılar ile hava kabarcıklarının yolunu uzatılır ve havalandırma verimliliği artırılmış olur. Havalandırma havuzlarının tabanlarında yer alan membran difüzörler ile her kanala ayrı ayrı hava verilmektedir. Bu sistemde amaç tanklardaki çözülmüş oksijen seviyesini nitrifikasyon için istenilen aralıkta tutmaktır. Havuzlara yerleştirilen redoks ve oksijen metrelerle oksik ve anaoksik şartların takibi sağlanmaktadır. Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği (Resmi Gazete, 2006)'ne göre toplam azot ($TN < 10$ mgN/L) deşarj limitinin sağlanması için, toplam havuz hacminin 240.000 m^3 , anoksik hacmin de 121.680 m^3 ($V_{DN}/V = \% 50$) olarak hesaplandığı anlaşılmaktadır. Tesiste eşit hacimli toplam 16 adet oksidasyon havuzu tipi biyoreaktör bulunmakta olup her bir hatta 4 reaktör hizmet vermektedir. Havalandırma havuzunun su derinliği 6,35 metre olarak seçilmiştir. Aktif çamurun oksijen ihtiyacını karşılayacak şekilde blower hava debisi toplam $240.000 \text{ Nm}^3/\text{saat}$ olarak hesaplanmıştır. Biyolojik çamur üretimi ise 99.089 kg KM/gün olarak saptanmıştır. Şekil 1.4'te havalandırma havuzu gösterilmektedir.



Şekil 1.4. Havalandırma havuzu.

Son çöktürme havuzları: Son çöktürme havuzları uluslararası deşarj standartlarında arıtılmış atıksuyun konik tabanlı dairesel tanklarda aktif çamurunun çöktürülerek ayrıldığı havuzlardır. Karbon, azot ve fosfor giderimi gerçekleştirilen havalandırma havuzlarından çıkan atıksu, dağıtım yapısı üzerinden dairesel çöktürme tanklarına verilir. Aktif çamurun su fazından ayrılması 12 adet son çöktürme tankında gerçekleşmektedir (her biri 6 adet son çöktürme tankı

ve 1 dağıtım yapısından oluşan 2 grup vardır). Son çöktürme havuzlarının tasarımı maksimum saatlik atıksu debisi $21.667 \text{ m}^3 / \text{saat}$ dikkate alınarak ATV131 (2000) standardına göre tasarlanmıştır (Şekil 1.5).



Şekil 1.5. Son çöktürme havuzları.

Son çöktürme havuzlarında çöken çamur geri devir ve fazla çamur olarak iki ayrı boru hattı ile sisteme pompalanır. Geri devir çamurunun yaklaşık %90'nı biyolojik fosfor ünitesine gönderilerek geri devredilir. Sistemde üretilen fazla çamur, günlük olarak çamur pompaları ile önce depolama tankına daha sonra yoğunlaştırma dekantörlerine gönderilir.

1.1.2.1.3 Çamur Üniteleri

Mekanik yoğunlaştırıcılar: Ambarlı İBAAT biyolojik fazla çamurları, %6 katı madde içeriğine kadar mekanik yoğunlaştırılmaktadır. Yoğunlaştırılmış ön çökeltme çamuru ile yoğunlaştırılmış biyolojik çamur, ayrı bir havuzda (çamur depolama ve karıştırma havuzu) toplandıktan sonra, çürütücülere gönderilmektedir. Bu tank 200 m^3 'lük hacme sahiptir ve mekanik olarak karıştırılmaktadır. Her biri 10.000 m^3 hacme sahip altı adet olmak üzere toplam 60.000 m^3 'lük çürütücü hacmi mevcuttur. Tesisin tasarım yükünde, çürütmeye iletilen toplam çamur debisi $3.318 \text{ m}^3/\text{gün}$ olarak hesaplanmış olup bekleme süresi 18,1 gündür (Ambarlı İBAAT Su Hattı Proses Raporu, 2017).

Anaerobik çamur çürütücü ve çamur depo tankları: Ön çöktürme havuzundan gelen yoğunlaştırılmış çamur primer çamur olarak tanımlanır ve son çöktürmeden gelen

yoğunlaştırılmış fazla çamur ile karışım tankı ve çamur depo tankında toplanır. Karışım tankından kondenserlerden geçerek çürütücüye gönderilen çamur, çürütücülerde mezofilik şartlarda (35-37°C'de) anaerobik ortamda asetojen ve metanojen bakterilerinin faaliyetleri ile stabilize edilir (Ambarlı İBAAT Su Hattı Proses Raporu, 2017). Bu süreçte açığa çıkan gazın ön filtrasyonu yapılır. Bu gaz tank içerisindeki çamurun karıştırılmasında kullanılmaktadır. Gaz enjeksiyonu esnasında açığa çıkan fazla biyogaz, gaz depolama tanklarında toplanarak, ısı ve enerji elde etmek üzere tesis içinde kullanılmaktadır. Doğalgazla zenginleştirilen biyogaz türbinlere gönderilerek enerji elde için kullanılır. Şekil 1.6'da anaerobik çamur çürütücüler gösterilmektedir.



Şekil 1.6. Anaerobik çamur çürütücüler.

Çamur susuzlaştırıcılar: Çamur çürütücülerde anaerobik çamur çürütme işleminden geçirilir ve çürüyen çamur depolanmak üzere depo tankına gönderilir. Katı madde oranı %4~6'lık özümlemiş çamur elde edilmesi için susuzlaştırma ekipmanlarına gönderilir. Çamur burada çamur keki haline getirilir. %25-30 katı madde içeren çamur keki halindeki susuzlaştırılmış çamur depolama tanklarına gönderilir. Çamur keki tanklardan alınarak kurutucular beslenir. Susuzlaştırmadan geriye kalan sentrat suyu aktif çamur sisteminin başına iletilmektedir.

Çamur kurutucular: Çamur kurutma ünitesi, %25 kuru madde içeriğine sahip çamurun, kuru madde oranının %90 ve üzerine çıkarılarak çamurun kurutulduğu ünitelerdir. Kurutma üniteleri, çevresel etkisi ile ekonomik bir sorun olan ıslak çamurun depolanması ve

taşınması gibi problemleri ortadan kaldırmaktadır. Kurutma prosesi sonucu atık çamur, ikincil yakıt olarak sanayi tesislerinde kullanılabilir ekonomik değeri olan arıtma sonrası son ürün haline gelmektedir. Çamur kurutma ünitelerinden çıkan kuru ürün ikincil yakıt olarak kullanılmak üzere çimento fabrikasına gönderilir.

1.1.2.1.4 Diğer Üniteler

Kojenerasyon Ünitesi: Gaz türbini kojenerasyon ünitesi, tesisin enerji ihtiyacını karşılamak için 4,6 MW gücünde gaz türbinleri kullanır. Bu sistem, elektrik enerjisi üretirken çamur kurutmak için atık ısıyı da değerlendirir, böylece yüksek enerji verimliliği sağlar.

Tesis Laboratuvarı: Arıtma tesisi suyunun analizi, Haramidere'den alınan numunelerle Çevre Bakanlığı standartlarına uygun olarak yapılır. Laboratuvarda fiziksel ölçümler, kimyasal parametreler ve ağır metal analizleri gerçekleştirilir. Bu analizler, tesisin etkili bir şekilde işletilmesi için atıksu karakterizasyonunu belirler.

Ölçüm ve İzleme İstasyonu: 10.10.2009 tarihli ve 27372 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Numune Alma ve Analiz Metodları Tebliği”nin 4 üncü maddesinin üçüncü fıkrasında (22/03/2015 tarih ve 29303 sayılı) Sürekli Atıksu İzleme Sistemi Çalışmalarına Dair Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Tebliğinde yer alan hükümler uyarınca, debisi 10000 m³/gün üzerinde olan arıtma tesisleri çıkış değerlerinin gerçek zamanlı olarak takibinin yapılabilmesi için uzaktan atıksu izleme istasyonları kurulmuştur. Bu kapsamda kurulan SAİS (Sürekli Atıksu İzleme Sistemi) istasyonları ile debi, pH, sıcaklık, iletkenlik, çözülmüş oksijen parametrelerinin sürekli ölçümü, izlenmesi ve T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı merkez yazılımı ve Scada kontrol merkezi ile toplanan veri Bakanlık ağına aktarılmaktadır.

İleri biyolojik atıksu arıtma tesislerinde arıtılan atıksular Marmara Denizi, Karadeniz, Akdeniz, Çanakkale ve İstanbul Boğazı ve çeşitli amaçlar için kullanılan temiz su kaynaklarına deşarj edilmektedir. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 23 Aralık 2016 tarihinde yayınlanan Hassas Su Kütleleri ile Bu Kütleleri Etkileyen Alanların Belirlenmesi ve Su Kalitesinin İyileştirilmesi Hakkındaki Yönetmelikte atıksu deşarj noktaları için Hassas/Az Hassas bölge tanımı getirilmiş olup bu bölgelerdeki deşarjlarda sağlanması gereken kriterler “Kentsel Atıksuların Arıtılması Yönetmeliği”nde verilen Tablo 1 ve Tablo 2’de belirtildiği gibidir (Resmi Gazete, 2006).

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinde (SKKY, 2004) Eşdeğer Nüfusu (N) 100.000’den fazla yerleşim yerleri için deşarj parametreleri kapsamında verilen kriterlere uyması

gerekmektedir. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Sağlık Bakanlığının belirlediği Yüzme Suyu Kalitesinin Yönetimine Dair Yönetmelik (25 Eylül 2019)'e göre yüzme amacı ile kullanılan kıyı şeridi noktalarında, *Intestinal enterokok* ve *Escherichia coli* için alıcı ortamda yönetmelikte belirlenen limitlere uyum sağlaması amacı ile deşarj öncesi dezenfeksiyon ünitesi yapılması önerilmektedir. Kentsel atıksuların arıtılmasında uygulanan yönetmelikler Çizelge 1.3'te verilmiştir (İnsel, vd., 2021).

Çizelge 1.3. Kentsel atıksuların arıtılmasında uygulanan yönetmelikler.

Parametreler	Birim	Yönetmelikler		
		SKKY** N>100000	KAAY (2006)* Tablo 1	KAAY (2006)* Tablo 2
Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ₅)	mg/L	35	25	-
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	mg/L	90	125	-
Askıda Katı Madde (AKM)	mg/L	25	35 (N>10000) 60 (2000<N<10000)	-
Toplam Azot (TN)	mg N/L	-	-	15 (10000<N<100000) 10 (N>100000)
Toplam Fosfor (TP)	mg P/L	-	-	2 (10000<N<100000) 1 (N>100000)
Yağ ve Gres	mg/L	-	-	-
pH	-	6-9	-	-
Sıcaklık	°C	-	35	-

*KAAY: Kentsel Atıksuların Arıtımı Yönetmeliği

**SKKY: Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği

1.1.3 Atıksuların Geri Kazanılması ve Yeniden Kullanılması

Atıksuların geri kazanılması ile yeniden kullanımı sırasında çevre ve sağlık açısından riskleri ortadan kaldıracabilecek düzeyde arıtma yapılması ve istenilen kalitede su elde edilebilmesi için standartların belirlenmesi ve geliştirilmesi gerekmektedir (Blumenthal, vd., 2000). Kullanım amaçlarına göre arıtılmış atıksuların sağlaması gereken kalite standartları ve uygun arıtma yöntemleri Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği (Resmi Gazete, 2010) ile tanımlanmıştır. Arıtılmış atıksu geri kazanımı için uygulanan arıtma teknolojileri; ikincil arıtma, nütrient giderimi, filtrasyon, yüzey filtrasyonu, mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon,

flotasyon, nanofiltrasyon, ters osmoz, elektrodializ, karbon adsorpsiyonu, iyon değiştirme, ileri oksidasyon ve dezenfeksiyon olarak Teknik Usuller Tebliğinde belirtilmiştir. Adı geçen arıtma teknolojilerinin kullanım amaçları ya da giderdikleri kirlilikler izelge 1.4'te belirtilmiştir.

Çizelge 1.4. Geri kazanım teknolojileri ve giderim yaptıkları kirlilik parametreleri.

Arıtma Sistemleri	Askıda Katı Madde	Kolloidal Maddeler	Partiküler Organik Maddeler	özünmüş Organik Maddeler	Azot	Fosfor	Eser Maddeler	Toplam özünmüş madde	Bakteri	Protozoa	Virüs
İkincil Arıtma	X			X							
Nutrient Giderimi				X	X	X					
Filtrasyon	X								X	X	
Yüzey filtrasyonu	X		X						X	X	
Mikrofiltrasyon	X	X	X						X	X	
Ultrafiltrasyon	X	X	X						X	X	X
Flotasyon	X	X	X								
Nanofiltrasyon			X	X			X	X	X	X	X
Ters Osmoz				X	X	X	X	X	X	X	X
Elektrodializ		X						X			
Karbon adsorpsiyonu				X			X				
İyon değiştirme					X		X	X			
İleri Oksidasyon			X	X			X		X	X	X
Dezenfeksiyon				X					X	X	X

Arıtılmış atıksuların geri kazanımı ve yeniden kullanımı ile ilgili olarak, 20 Mart 2010 tarih ve 27527 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanan Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği’nin Ek 7 bölümünde geri-kazanım sularının kalitesi tariflenmiştir.

Bu kapsamda atıksuların sulamaya veya araziye verilmesinin uygunluğunu belirlemek için incelenmesi gereken en önemli parametreler şunlardır:

- Su içindeki çözünmüş maddelerin toplam konsantrasyonu ve elektriksel iletkenlik,
- Sodyum iyonu konsantrasyonu ve sodyum iyonu konsantrasyonunun diğer katyon-lara oranı,

- Bor, ağır metal ve toksik olabilecek diğer maddelerin konsantrasyonu,
- Bazı şartlarda Ca^{+2} ve Mg^{+2} iyonlarının toplam konsantrasyonu,
- Toplam katı madde, organik madde yükü ve yağ gres gibi yüzen maddelerin miktarı
- Patojen organizmaların miktarı

Ülkemizde Devlet Planlama Teşkilatı kalkınma planları ve ilgili mevzuata göre, arıtılmış atıksuların özellikle sulama suyu olarak yeniden kullanımı teşvik edilmektedir. Bu uygulama çevre koruma ve kentsel altyapının geliştirilmesi kapsamında değerlendirilmektedir.

1.1.3.1 Geri Kazanım Suyunun Sulama Suyu Olarak Kullanımı

Geri kazanım suyu, atık su arıtma tesislerinden elde edilen ve çeşitli endüstriyel süreçlerde kullanılan bir tür geri dönüştürülmüş su türüdür. Bu suyun sulama amacıyla kullanılması, çeşitli avantajlar sağlayabilir, ancak dikkate alınması gereken bazı faktörler vardır.

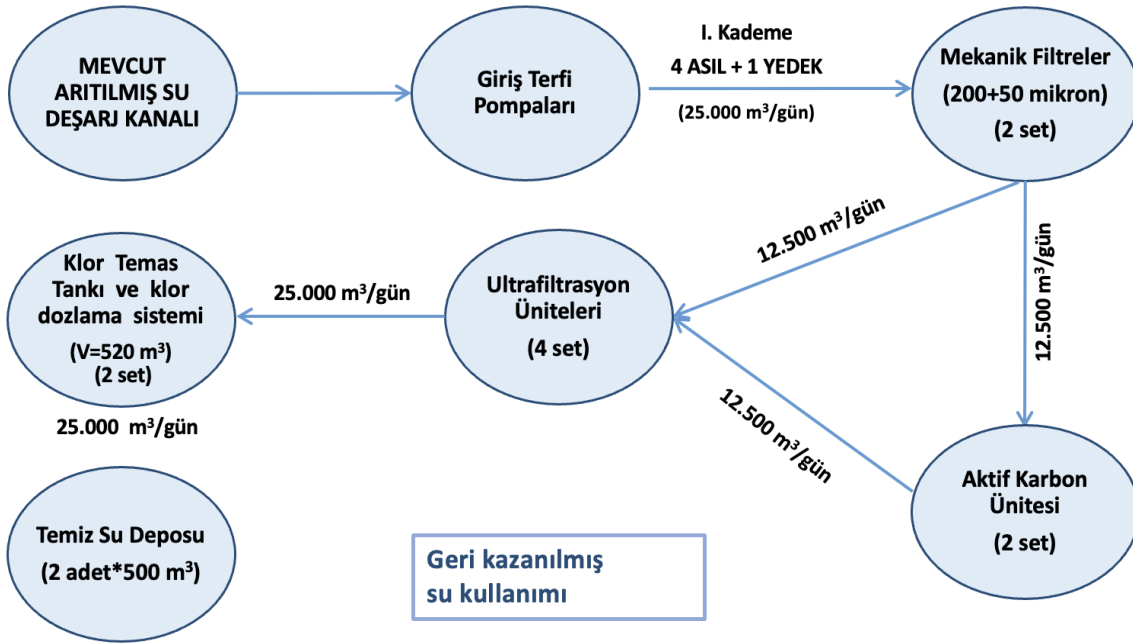
Geri kazanım suyunun sulama için uygun olup olmadığını belirlemek için su kalitesini değerlendirmek önemlidir. Bazı endüstriyel işlemlerden elde edilen geri kazanım suyu, sulama için uygun olmayabilir. Sulama suyu, toprak yapısı ve bitkilerin türüne göre değişen belirli özelliklere sahip olmalıdır. Toprak ve bitkilerin geri kazanım suyuna nasıl tepki vereceğini değerlendirmek önemlidir. Ayrıca geri kazanım suyunun kimyasal analizi, suyun içindeki potansiyel zararlı maddeleri belirlemek açısından önemlidir. Aşırı tuz, ağır metal veya diğer zararlı bileşenler sulama suyu olarak kullanılabilirliği etkileyebilir. Geri kazanım suyunun belirli bir tarım veya bahçe için uygunluğunu değerlendirmek için önce küçük ölçekli denemeler yapmak ve sonuçları izlemek faydalı olabilir. Geri kazanım suyunun sulama amaçlı kullanımı, yerel ve ulusal düzenlemelere (Teknik Usuller Tebliği Ek-7) tabi olabilir. Bu nedenle, ilgili yönetmeliklere uygunluk sağlanmalıdır.

Sonuç olarak, geri kazanım suyunun sulama suyu olarak kullanılması potansiyel bir sürdürülebilirlik stratejisi olabilir, ancak bu konuda dikkatlice planlama ve değerlendirme yapmak önemlidir. Uygun tedbirler alındığında, geri kazanım suyu tarım alanında su kaynakları üzerindeki baskıyı azaltma ve sürdürülebilir su yönetimi sağlama konusunda yardımcı olabilir.

1.1.3.2 Ambarlı İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi Geri Kazanım Ünitesi

İSKİ Genel Müdürlüğü, Ambarlı Atıksu Arıtma Tesisi'nden elde edilen arıtılmış suyun geri kazanımını ve yeniden kullanımını teşvik etmektedir. İleri arıtım teknolojisi olan ileri filtrasyon ve dezenfeksiyon tesisi ile geri kazanılan su, endüstride veya yeşil alanlarda sulama suyu olarak kullanılmaktadır. Bu proje sayesinde yılda 18 milyon m³ içme suyu tasarrufu

sağlanarak temiz su kaynaklarının korunması hedeflenmektedir. Atıksu kalitesine ilişkin olarak, çözülmüş organik karbon, sodyum, ağır metaller ve patojenler gibi kirleticiler üzerinde odaklanılmaktadır. Klasik atıksu arıtma yöntemleri ile giderilemeyen kirleticiler, ters ozmos ve membran filtrasyon gibi ileri arıtma yöntemleri ile temizlenmektedir. Ambarlı geri-kazanım tesisinde, ön-arıtma sonrasında ultrafiltrasyon ve klor ile dezenfeksiyon yöntemleri kullanılmaktadır. Ambarlı İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi geri kazanım ünitelerinin akım şeması Şekil 1.7’de verilmiştir.



Şekil 1.7. Ambarlı İBAAT geri kazanım ünitesi akım şeması.

Su Alma Yapısı ve Mekanik Filtreler: Ambarlı İBAAT 2. grup arıtılmış atıksuyun deşarjının sağlandığı kanal üzerine yapılan bağlantı ile arıtılmış su doğrudan pompalarla alınarak sisteme aktarılmaktadır. Terfi pompalarından sonra 200 ve 50 mikronluk mekanik filtrelerle arıtılmış sudaki AKM tutulmaktadır. Şekil 1.8’de su alma yapısı ve mekanik filtreler gösterilmektedir.



Şekil 1.8. Su alma yapısı ve mekanik filtreler.

Aktif Karbon Ünitesi: Geri Kazanım Tesis girişinde bulunan yağ konsantrasyonunu tamamen ya da kısmen giderilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Aktif karbon kolonunda sudaki AKM girişi sebebi ile olabilecek birikimlerin temizlenmesi amacıyla geri-yıkama yapılmaktadır. Geri-yıkama suyu klorlanmamış arıtılmış su deposundan alınmaktadır. Şekil 1.9'da aktif karbon ünitesi gösterilmektedir.



Şekil 1.9. Aktif karbon ünitesi.

Ultrafiltrasyon Üniteleri: Ultrafiltrasyon (UF), 1-100 nm gözenek çaplı membranlarla suyu arıtarak makromoleküller, kolloidler, bakteri, virüs ve büyük molekülleri ayırır (Koyuncu, İ., 2018). Aktif karbon sonrası arıtılan su, 0.02 mikron gözenek çaplı UF ünitelerine yönlendirilir. Bu membranlar Ambarlı biyolojik arıtma çıkışına uygun olarak seçilmiş olup, yağ, bulanıklık ve AKM ölçümleri ile ideal arıtma için kontrol edilir. Periyodik geri yıkamalar da uygulanır. Şekil 1.10'da ultrafiltrasyon üniteleri gösterilmektedir.



Şekil 1.10. Ultrafiltrasyon ünitesi.

Dezenfeksiyon Sistemi: Kentsel atıksuların yeşil alan sulamasında kullanılabilmesi için etkili bir dezenfeksiyon önemlidir. Mor şebeke için klor dozlama sistemi tercih edilmiş ve 1,5 ppm bakiye klor sağlanmıştır. Patojen mikroorganizmaların engellenmesi ve yönetmelik gereği bakiye klor değerine uyum sağlanması için klor ile dezenfeksiyon tercih edilmiştir. Ayrıca, İstanbul'daki belirli bölgelerden başlayarak arıtılmış atık suların kullanılması, temiz su kaynaklarının korunmasını ve daha kaliteli su ihtiyacı olan yerlere yönlendirilmesini amaçlamaktadır.

Temiz Su Deposu ve Pompa İstasyonu: Proje kapsamında, geri kazanım tesisinde elde edilecek temiz suyun, mor şebekeye düzenli olarak beslenebilmesi, tankerlere alınabilmesi ya da UF sisteminde yıkama suyu tankı olarak kullanılması için toplam 1.000 m³ hacminde iki depo bulunmaktadır.

1.1.4 Ekotoksosite

Ekotoksosite, kimyasal maddelerin, organizmalar ve ekosistemler üzerinde olumsuz etkiler yaratabilecekleri bir özelliktir. Bu etkiler, su, hava, toprak veya diğer çevresel ortamlarda bulunan çeşitli kimyasal maddelerin doğal yaşam formları üzerindeki etkilerini içerir. Ekotoksosite değerlendirmeleri genellikle çevresel düzenlemelerin bir parçası olarak yapılır ve bir kimyasal maddenin çevreye olan etkilerini anlamak için kullanılır. Bu etkiler, bir organizmanın büyümesi, üremesi, beslenmesi ve genel sağlığı üzerinde olabileceği gibi, ekosistem düzeyinde de etkiler yaratabilir. Ekotoksosite, çevresel toksikoloji alanında incelenir ve çeşitli endüstriyel faaliyetler, tarım ilaçları, kimyasal atıklar gibi çeşitli kaynaklardan kaynaklanabilir. Bu nedenle, ekotoksosite değerlendirmeleri, çevresel riskleri değerlendirmek ve canlı organizmaların korunması için önlemler almak amacıyla önemlidir (Aydın, vd., 2015).

Ekotoksosite izlemesi (ecotoxicity monitoring) atıksu kalitesinin değerlendirilmesine önemli katkılarda bulunur. Atıksu ekotoksitesitesi, riskli elementler, organik mikrokirlilikler ve diğer faktörler (bulanıklık, besin maddelerinin artmış içeriği vb.) tarafından büyük ölçüde etkilenebilir. Metallerin türlerinin bilinmesi, bu elementlerin Arıtma Tesisleri Teknolojisi çerçevesinde uzaklaştırılmasında önemli olduğu gibi, çamur ve Arıtma Tesisleri'nden gelen suyun potansiyel ekotoksitesitesi açısından da önemlidir (Raclavska, vd., 2021).

Aktif çamur sistemlerine giriş yapan atıksuların toksisitesinin etkilerini değerlendirmek, biyolojik arıtma süreçlerinin verimliliğini azaltabilecek atıksuları belirlemek amacıyla kısa vadeli tarama testleri önem kazanmıştır. Bu toksisite testleri, atıksulardaki toksinlerin varlığını ve etkilerini belirlemeye odaklanarak bakteriyel aktiviteyi gösteren değişkenleri değerlendirir. Bu değişkenler arasında büyüme hızı, enzimatik aktivite, solunum ölçümleri, nitrifikasyon testleri, kimyasal analizler, mikroskobik analizler, bakteriyel ışıltama, moleküler tabanlı testler ve *Daphnia magna* gibi sucul organizmalarla yapılan ekotoksikolojik testler bulunmaktadır. Bu kapsamlı yaklaşım, biyolojik arıtma süreçlerinin verimliliğini tehlikeye atan sorunları erken tespit etmeye yardımcı olmaktadır (Mamais, vd. 2008).

Şu anda *Aliivibrio fischeri* olarak adlandırılan *Vibrio fischeri* kullanılarak yapılan luminesan bakteri testi, geniş çapta kabul görmüş bir bakteriyel toksisite testi olup Uluslararası Standardizasyon Örgütü (ISO) tarafından standardize edilmiştir. Bu test genellikle atıksuların, suların ve atık depolama alanlarından gelen sızıntı sularının toksisitesini belirlemede kullanılır (Strotmann, vd., 2020).

Arıtma tesislerinde zor işlenen elementler olan B, Mn, Co, Ni, Mo %60-80 oranla atıksu ile atılır. Pb, V, Cu, Ag, Cd, Sb, Ba elementleri genellikle çamurda yoğunlaşır, As ve Zn elementleri ise işlenmiş su veya çamurda bulunabilir. Cr, Cu, Pb, Fe elementlerinin uzaklaştırılması askıdaki katıların uzaklaştırılması ile güçlü bir şekilde ilişkilidir. Cd ve Ni elementleri ise genellikle çözülmüş halde bulunur (Raclavska, vd., 2021).

Atıksu arıtma sürecinde biyolojik arıtma basamaklarından olan nitrifikasyon, toksik maddelerin varlığında olumsuz etkilenebilir. Toksik maddeler, nitrifikasyonu gerçekleştiren bakterilere zarar verebilir, enzimatik aktivitelerini inhibe edebilir veya bakteri topluluklarının yapısını bozabilir. Bu durum, azot giderimi performansını düşürebilir ve çevresel etkilerle birlikte atıksu arıtma tesislerinin verimliliğini azaltabilir (Chipasa, 2003).

Nitrifikasyon bakterilerini etkileyebilecek yaygın toksik maddeler arasında ağır metaller, belirli kimyasallar ve yüksek amonyak veya nitrit konsantrasyonları bulunur. Etkili atıksu arıtımı, nitrifikasyonun düzgün çalışmasına dayandığından, potansiyel toksisite kaynaklarını izlemek ve yönetmek, nitrifikasyon bakterilerinin aktivitesini korumak amaçlı tesis tasarım ve işletme planlaması için önemlidir.

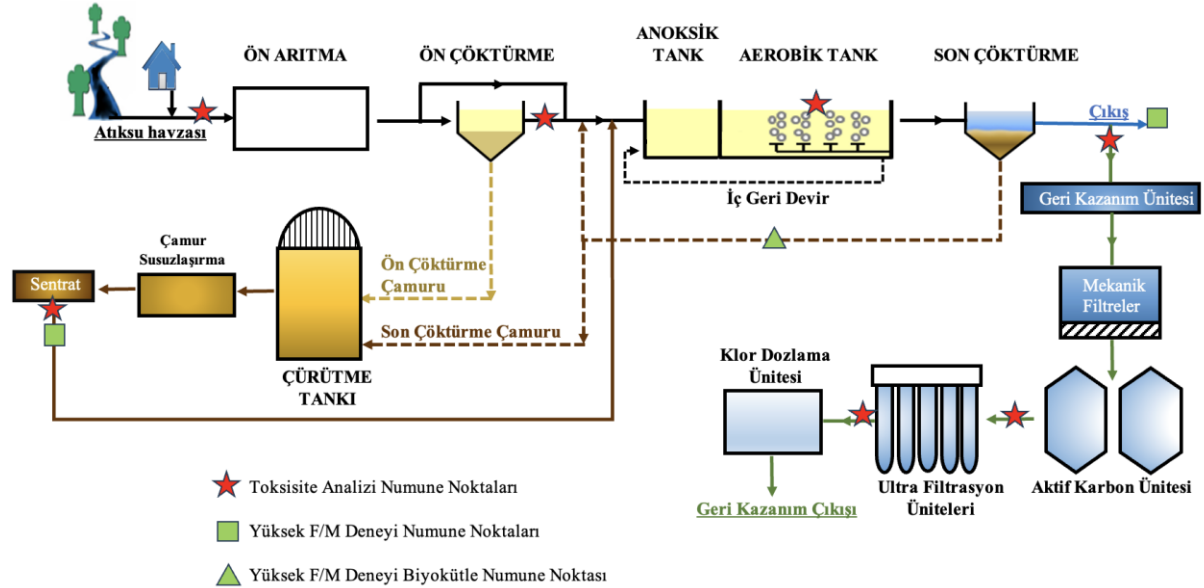
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Su kaynaklarımızın gün geçtikçe azalması ve suya olan ihtiyacın artması bu durumu dünyamız ve insanlık adına sıkıntılı hale sokmaktadır. Su kıtlığı ve su temini alternatifleri değerlendirildiğinde atık su arıtma tesisleri çevremizin ve su kaynaklarımızın kirlenmesini engelleyebilmek için kritik önem arz etmektedir. Dünya'daki su kaynaklarının giderek azalması ve hali hazırdaki su kaynaklarının plansız kullanımları atıksuların arıtılmasını ve yeniden kullanılmasını gündeme getirmektedir. Hem artan su kıtlığı hem de kaliteli suya erişimin zorluğu açısından artan su baskısı, arıtılmış suların geri kazanılması ile alternatif su kaynağı olarak değerlendirilmesine neden olmaktadır. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (Resmi Gazete, 2004) madde 28'de "Sulama suyunun kıt olduğu ve ekonomik değer taşıdığı yörelerde, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliğinde verilen sulama suyu kalite kriterlerini sağlayacak derecede arıtılmış atıksuların, sulama suyu olarak kullanılması teşvik edilir." olarak yer almaktadır.

Bu kapsamda öncelikli olarak büyük ölçekli ileri biyolojik atıksu arıtma tesislerinde anaerobik çürütme ve susuzlaştırma sonrası oluşan geri dönüş akımlarının nitrifikasyon hızına (Azot giderimine) etkisi laboratuvar ölçekli çalışmalarla ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bununla birlikte nitrifikasyon hızına etki eden önemli faktörlerden biri olan toksisitenin etkisi farklı noktalardan alınan örnekler ve yapılan çalışmalarla ortaya konulmuştur. Son olarak elde edilen tüm tesis verileri, deneysel uygulama sonuçları ve yapılan ölçümler incelenmiş ve sonuç kısmında ayrıntılı olarak verilmiştir. Böylece çıkış suyunun yönetmelikte bahsedilen sulama suyu kalite parametrelerine uygunluğu irdelenmiştir. Bu kapsamda atıksuların sulama suyu olarak kullanımı ve bu suyun araziye verilmeye uygun olup olmadığı belirlenmek istenmiştir.

2. MATERYAL VE METODLAR

Bu çalışma kapsamında İSKİ bünyesinde faaliyet gösteren Alman ATV-DVWK (ATV 131, 2000) tasarım standartlarına uygun olarak tek çamurlu karbon, azot ve fosfor gideren bir aktif çamur sistemi olarak tasarlanan Ambarlı İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi özelinde deneysel çalışmalar ve gerekli ölçümler yapılmıştır. Ambarlı İBAAT'nin aktif çamur sistemi ve tesis içerisinde numune alınan noktalar kısaca Şekil 2.1'de verilmiştir.



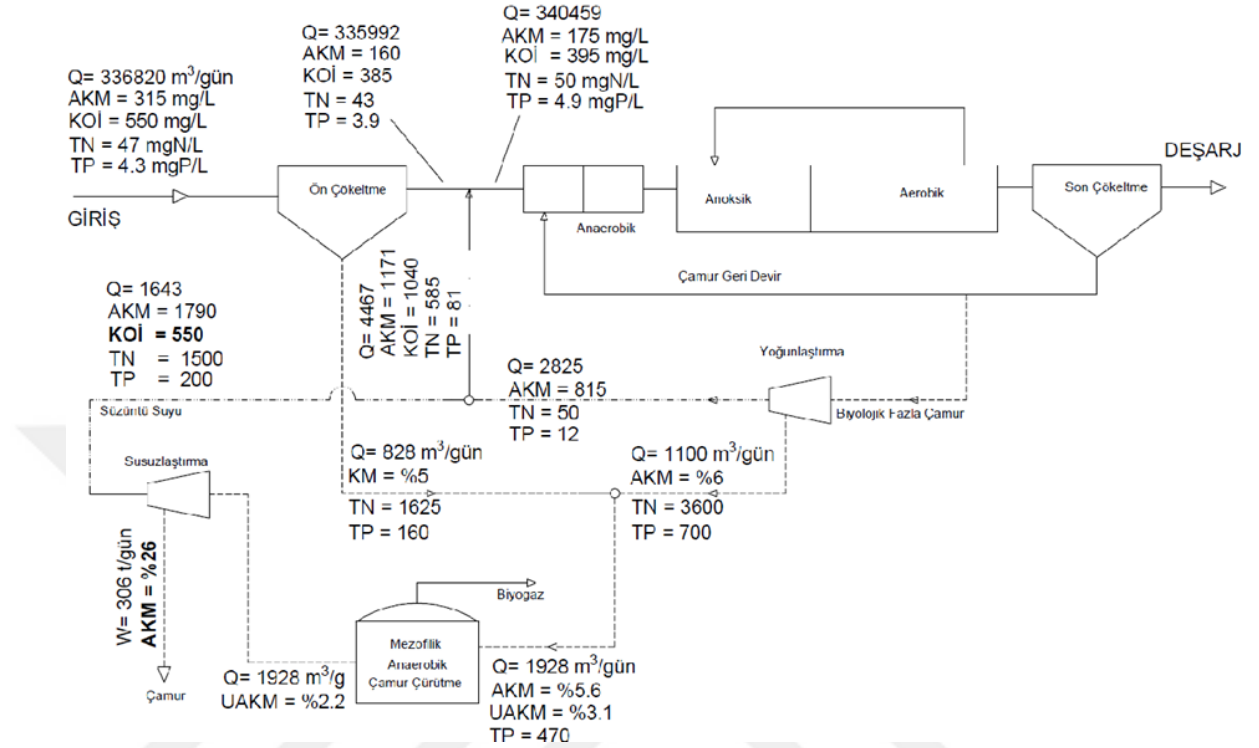
Şekil 2.1. Ambarlı İBAAT aktif çamur sistemi akım diyagramı.

Ambarlı İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinde çamur çürütmeden kaynaklı suların tesise geri dönüşü ile nitrifikasyon hızına ve çıkış suyu toksisitesine etkileri incelenmiştir. Böylece arıtma çıkış suyunun geri kazanım tesisi prosesine uygunluğu değerlendirilerek su geri kazanımının sulama suyu kalite parametrelerine uygunluğu belirlenmeye çalışılmıştır.

2.1 Tesisin Kütle Dengesinin Kurulması

Ambarlı arıtma tesisine gelen ve prosese alınan giriş atıksuyu debi ölçümleri belirlenen tarih aralığında yıllık olarak değerlendirilmiştir. Yağışın sık görüldüğü kış aylarında maksimum ve kurak hava dönemlerinde minimum giriş atıksuyu debi ölçümlerinden belirlenmiştir. Çamur çürütmeden kaynaklı sentrat suyu debisi dekantör çıkışı pompa çalışma saatleri verileri kullanılarak hesaplanmıştır. Sentratın aktif çamur prosesine geri dönüşü ile giriş atıksuyu debisi arasında kütle denkliliği kurulmuştur. Sentratın tesis giriş atıksuyu ile birlikte aktif çamur prosesine yüzdelik etkisi maximum, minimum debi ve yıllık ortalama miktarı şeklinde hesaplanarak belirlenmiştir.

Ambarlı arıtma tesisine gelen ve prosese alınan giriş atıksuyu debi ölçüm sonuçları yıllık olarak değerlendirilmiş ve prosese alınan günlük ortalama debiler akış diyagramı Şekil 2.2’de sunulmuştur.



Şekil 2.2. Tesis bazında kütle dengelerinin kurulması (İnsel, vd., 2022).

2.2 Karakterizasyon Çalışmaları

2.2.1 Giriş Atıksu Karakterizasyonu

Ambarlı İBAAT giriş atıksuyu tasarım ve işletme verilerinin değerlendirilebilmesi için tesis bazında akımlarda kompozit su karakterizasyonu yapılmıştır. Teknik Usuller Tebliğine göre “Nüfusu 100.000’nin üstünde olan ve atıksu toplama altyapısının mevcut olduğu yerleşimlerde, kişi başına atıksu oluşumu ve kirlilik yüklerinden hesaplanan atıksu miktarı ve karakterinin kontrol edilebilmesi için, 24 saatlik numune alımı ile karakterizasyonlar yapılır.” Bu karakterizasyonlarda kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ₅), askıda katı madde (AKM), uçucu askıda katı madde (UAKM), toplam Kjeldahl azotu (TKN), toplam fosfor (TP), ortofosfat (PO₄-P), amonyum azotu (NH₄-N) parametreleri izlenmektedir. Bu kapsamda güncel değerlendirmelere imkân sağlaması için 2022 Ağustos ayından itibaren bir yıllık verilerinin kullanılmasına karar verilmiştir. Çalışma kapsamında Ambarlı İBAAT’nin bir yıllık arıtmaya tabi tutulan parametre (KOİ, AKM, TN, BOİ₅ ve TP) yükleri yıllık ortalama bazında hesaplanarak tasarım verileri ile karşılaştırılmıştır.

2.2.2 Geri Dönüş Akımı (Sentrat) Karakterizasyonu

Anaerobik stabilizasyon sonrasında çamur, dekantörler yardımıyla susuzlaştırılmaktadır. Susuzlaştırma sonucu oluşan sentrat suyu geri dönüş akımı olarak aktif çamur sisteminin başına iletilmektedir. Sentratın konvansiyonel parametrelere göre (AKM, TP, TOC, NH₄-N, NO₃-N, KOİ, UYA, Alkalinite, Sülfat) karakterizasyonu dekantör çıkışından farklı dönemlerde alınan anlık numuneler ile belirlenmiştir.

2.2.3 Geri Kazanım Giriş (Tesis Çıkış) Atıksu Karakterizasyonu

Mevcut Ambarlı Atıksu Arıtma Tesisi çıkışındaki Geri Kazanım Tesisi kapasitesi 25.000 m³/gün net üretim kapasitesine sahiptir. Tesis girişinde giriş suyu karakterizasyonunu takip amaçlı on-line yağ ölçer ile bulanıklık ölçer enstrümanları yer almakta ve anlık olarak takibi yapılmaktadır. Atıksu geri kazanım tesisi giriş kirlilik değerlerini aşması durumunda özellikle ultrafiltrasyon ünitesini korumak amaçlı tesis otomatik olarak devre dışına alınacak şekilde planlama yapılmıştır. Geri kazanım giriş atıksuyunun konvansiyonel parametrelere göre (AKM, KOİ, BOİ₅, Yağ-Gres, Bulanıklık) karakterizasyonu farklı dönemlerde alınan anlık numuneler ile belirlenmiştir.

2.3 Nitrifikasyon Hızı Deneyi (Yüksek F/M Testi)

Nitrifikasyon bakterileri maksimum çoğalma hızının belirlenmesi için aerobik kesikli koşullarda yürütülen “Yüksek F/M (Besin/Mikroorganizma)” deneyi planmış olup, deney başlatıldıktan sonra zamana karşı nitrit ve nitrat (S_{NO}) analizleri gerçekleştirilmiştir (Melcer vd., 2003). Atıksu İBAAT’lar nitrifikasyon hızı deneyi için İSKİ Ambarlı İBAAT laboratuvarlarında hazırlanan deney düzeneği Şekil 2.2’de gösterilmektedir. Tasarımda azot gideriminin ilk aşaması olan nitrifikasyon prosesi çamur yaşı seçimi için tesis saha sıcaklığı 20°C olarak kabul edilmiştir. Belirli zaman aralıklarında alınan filtre edilmiş numunelerde oksitlenen azot konsantrasyonu (S_{NO}) izlenmektedir. Deneyde en önemli hususlardan biri efektif pH kontrolüdür (Melcer vd., 2003). Yalnızca havalandırma yapılması durumunda pH yükselme eğilimde olup, pH kontrolü CO₂ gazı dozlaması ile otomatik olarak sağlanmaktadır. Yüksek F/M nitrifikasyon deney düzeneği (İSKİ Ambarlı İBAAT) Şekil 2.3’te verilmiştir.



Şekil 2.3. Yüksek F/M nitrifikasyon deney düzeneği (İSKİ Ambarlı İBAAT).

Nitrifikasyon hızı tespiti için yapılan yüksek F/M deneyi kapsamında çalışılabilecek maksimum sentrat konsantrasyonu yapılan ön deney çalışmaları ile belirlenmek istenmiştir. Sentratın nitrifikasyon hızı ve toksik etkisini belirlemek için %100 ve %50 sentrat konsantrasyonunda numuneler hazırlanmıştır. Seyreltme suyu olarak tesis çıkış suyu kaba filtreden geçirilerek kullanılmıştır. Yüksek F/M deneyi için %100 sentrat numunesi ile yapılan çalışmada edilen verilerden deney koşullarının optimize edilemediği belirlenmiştir. Bu nedenle deney %50 sentrat numunesi ve sentetik deney koşullarında çıkış suyu kullanılarak karşılaştırmalı olarak planlanmıştır.

Nitrifikasyon hızı ölçümü için Atıksu arıtma tesisinden alınan çıkış suyu, sıcaklık kontrolü sağlamak amacıyla su ceketli reaktöre alınır. Reaktörde sabit sıcaklığa ulaşana kadar havalandırıldıktan sonra olabildiğince düşük konsantrasyonda biyokütle eklenir. Daha sonra sentetik reaktöre sentrat numunesi konsantrasyonuna göre NH_4Cl ilave edilir. Mümkünse minimum günde en az 2 numune alınarak oksitlenmiş azotun zamana karşı takibi sağlanır. Nitrifikasyon hızı ölçümü için %50 sentrat ve sentetik deney koşullarında her iki deney için de aynı aktif biyokütle kullanılmıştır. pH kontrolü sistemi ile pH salınımların engellemesi gerekmektedir. Bunun için sistemden pH kontrolüne bağlı CO_2 gazı geçirilmelidir. Deneyin sonunda alınan numunelerde oksitlenmiş azot (NO_x) ölçümleri gerçekleştirilir. Deneyde elde edilen NO_3 ölçümleri başlangıç değerlerine göre normalize edilir. (NO_x) profili için aşağıdaki denklem kullanılarak parametre tahmini gerçekleştirilir (İnsel, vd., 2020)

Nitrat üretimi profiline aşağıdaki denklem çözümü en küçük kareler yöntemi ile uydurularak nitrifikasyon bakterilerinin net çoğalma hızı hesaplanabilmektedir. İterasyon yöntemi olarak MS Excel Programı kullanılarak Simplex algoritması tercih edilmektedir.

Belirli bir “t” zamanı için oksitlenmiş azot konsantrasyonunu ifade eden denklem aşağıda verilmiştir.

$$S_{NO,t} = S_{NO,0} + \frac{\mu_A X_{A,0}}{Y_A (\mu_A - b_A)} [e^{(\mu_A - b_A)t} - 1]$$

Denklemden,

$S_{NO,0}$: başlangıçtaki oksitlenmiş azot konsantrasyonu (mg N/L)

$S_{NO,t}$: “t” anında oksitlenmiş azot konsantrasyonu (mg N/L)

$X_{A,0}$: başlangıçtaki aktif nitrifikasyon bakterisi konsantrasyonu (mg KOİ/L)

$X_{A,t}$: “t” anında aktif nitrifikasyon bakterisi konsantrasyonu (mg KOİ/L)

μ_A : nitrifikasyon bakterileri maksimum çoğalma hızı (gün^{-1})

b_A : nitrifikasyon bakterisi ölüm hızı (gün^{-1})

Y_A : dönüşüm oranı (0,24 g KOİ/ g N)

2.4 Ağır Metal Analizleri

Çamur çürütme susuzlaştırma çıkışlarından farklı dönemlerde alınan anlık sentrat numuneleri, giriş atıksuyu, aktif çamur prosesi, geri dönüş akımları ve geri kazanım ünitesi ağır metal ölçümleri ISO 11885 (Water quality- Determination of selected elements by inductively coupled plasma optical emission spectrometry ICP-OES)’e göre yapılmıştır

2.5 Toksikite Ölçümleri

Anaerobik stabilizasyonun sonunda oluşan sentrat numuneleri, tesis kompozit giriş ve girişten itibaren aktif çamur, geridevir çamuru ile geri kazanım tesisinden alınan numunelerin toksisite ölçümü için microtox kitleri kullanılmıştır. Toksikite testleri ISO11348-3 prosedürüne göre yapılmıştır. Çeşitli seyreltmeleri hazırlanan atıksuların toksisitelerinin “Liquid Dried Bacteria” ve “Microtox Model 500 Analyzer” Toksikite Ölçüm cihazı kullanarak luminesans değerlerindeki azalmanın ölçülmesi ile toksik etkileri belirlenmiştir.

Numune hazırlığında ilk aşamada sentratın aktif çamur prosesi toksik etkisi belirlenmek istenmiştir. Nitrifikasyon hızı deney koşullarına göre %100 ve %50 sentrat numuneleri hazırlanmıştır. Sentratın geri dönüş akımları ile oluşan yüzdeler konsantrasyonlarına göre pik sentrat etkisi (max. sentrat/ min. giriş atıksuyu), minimum sentrat etkisi (min. sentrat/ max. giriş atıksuyu) ve yıllık ortalama sentrat yüzdeliğine (oranlarına) göre seyreltilerek numuneler ayrı ayrı hazırlanmıştır.

İkinci aşamada tesisin başlangıcından geri kazanım çıkışına kadar farklı noktalardan alınan numunelerde sentrat dışındaki mevcut toksik etkiler belirlenmek istenmiştir. Tesis kompozit giriş atıksuyu, ön çöktürme çıkışı, aktif çamurun üst fazı ve eluat fazına alınan çöken çamur, geri dönüş akımı çamuru üst faz ve eluat fazına alınan çöken çamur, tesis çıkışı (aynı zamanda geri kazanım girişi), aktif karbon sonrası ve UF (ultrafiltrasyon) çıkışı numuneleri alınarak toksisite çalışması yapılmıştır. Vibrio fischeri Toksikite Test uygulamaları ayrıntılı olarak EK-2'de verilmiştir.

Elde edilen sonuçlar bilgisayar ekranında cihaz tarafından BS EN ISO 11348-3 kalite standardına uygun olarak hesaplanmış şekilde verilmektedir. Örneklerle yapılan test sonuçlarında ise örnek konsantrasyon miktarı bilinmediğinden dolayı sonuçlar EC50 değerine tekabül eden örneğin % konsantrasyon değeri cinsinden yüzde olarak verilmektedir.

EC50, belirli bir zaman dilimi içinde test popülasyonunun yarısını etkileyen konsantrasyonu ifade eder. EC50 değerleri, toksisite testinden türetilen ve "Toksik Birim (TB)" değerleri olarak yer alan bir formülü temel alır. Bulguların sınıflandırılabilmesi için toksisite test sonuçları, "toksik birim" ifadesiyle tanımlanır. Persoone ve diğerlerinin (1993) önerdiği sınıflandırmaya göre, toksik birim;

$$TB = \frac{1}{EC50} \times 100$$

eşitliği ile hesaplanarak TB belirlenir. Toksik birim değerlerine göre toksisite sonuçları ;

- TB=0 için "Toksik Değil",
- 0<TB<1 aralığı için "Hafif Toksik",
- 1<TB<10 aralığında ise "Toksik",
- 11<TB<100 aralığı için "Çok Toksik" ifadeleri ile tanımlanır.

3. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

3.1 Karakterizasyon Çalışmaları

3.1.1 Giriş Atıksu Karakterizasyonu

Ambarlı İBAAT işletme verilerinin mümkün olduğunca güncel verilerden oluşması için, deneylerin bitiş tarihinden itibaren geçmiş bir yıllık (01.08.2022-01.08.2023) verilerin kullanılmıştır. Tez kapsamında Ambarlı İBAAT'nin tasarım verileri ile birlikte farklı dönemlerdeki değişimleri değerlendirebilmek için 2018 yılı ile 2022-.2023 yılı arıtmaya tabi tutulan giriş atıksu parametre yükleri yıllık ortalama bazında hesaplanarak Çizelge 3.1'de sunulmuştur. Ambarlı İBAAT işletmesinden elde edilen giriş atıksuyu verileri, günlük ortalama debi, AKM, UAKM, KOİ, BOİ₅, TKN, amonyak azotu, fosfor, pH ve iletkenlik parametreleri açısından değerlendirilmiştir.

Çizelge 3.1. Ambarlı İBAAT aktif çamur sistemi giriş ortalama kirletici yükleri (2022-2023).

Parametre	Birim	Tasarım	2018*	01.08.2022- 01.08.2023
Ort. Debi	m ³ /gün	400.000	336.820	402.980
BOİ ₅	kg BOİ ₅ /gün	120.000	77.053	128.147
KOİ	kg KOİ/gün	240.000	144.435	213.982
AKM	kg AKM/gün	200.000	106.383	140.640
TN	kg N/gün	24.000	15.840	21.055
TP	kg P/gün	3.200	1.445	2.135

*İnsel, vd., 2022

Buna göre 2018 yılında KOİ, AKM, TN, BOİ₅ ve TP yüklerinin tasarımda kullanılan değerlerin altında kaldığı görülürken, 2022-2023 yılı verilerinde debi ve BOİ₅ parametrelerinin tasarım değerlerinin üstünde olduğu belirlenmiştir. Diğer parametrelerde ise 2018 verilerine kıyasla ciddi bir artış olduğu görülmektedir.

Ambarlı arıtma tesisine gelen ve prosese alınan atıksu akımları değerlendirilmiş ve prosese alınan günlük ortalama debiler incelendiğinde, atıksu debisinin ortalama 402.980 m³/gün olduğu, prosese çoğunlukla tasarım debisi olan 400.000 m³/gün ve daha fazla debide atıksu alındığı, çok daha fazla debideki atıksuyun ise by-pass akımına yönlendirildiği anlaşılmaktadır.

3.1.2 Geri Dönüş Akımı (Sentrat) Karakterizasyonu

Ambarlı İBAAT tesisi çamur arıtma prosesi geri dönüş akımları için örnek karakterizasyon Çizelge 3.2’de özetlenmektedir. Geri dönüş akımı karakterizasyonu için; AKM, TP, TOC, NH₄-N, NH₄-N, KOİ, UYA, Alkalinite, Sülfat, pH parametreleri 2022 – 2023 yıllık ortalama ve ölçülebilen maximum ve minimum değerler belirlenmiştir.

Çizelge 3.2. Atıksu çamur ünitesi sentrat karakterizasyonu.

Parametre	Ortalama	Minimum	Maksimum	Birim
AKM	426	34	2.900	mg/L
TP	53	12	236	mg/L
TOC	197	105	407	mg/L
NH ₄ -N	939	361	1.409	mg/L
NO ₃ -N	0,1	<0,1	<0,1	mg/L
KOİ	871	472	1.637	mg/L
Alkalinite	3.726	401	5.648	mg CaCO ₃ /L
UYA	34	2	207	mg CH ₃ COOH/L
Sülfat	50,4	4,0	88,0	mg/L
pH	7,23	6,28	7,71	-

Ambarlı atıksu arıtma tesisinde ölçüm sonuçlarına dayalı olarak kütle dengesi hesapları elde edilmiştir. Çamur geri dönüş suları ana akım atıksuyuna KOİ ve AKM konsantrasyonları açısından önemli bir katkısı olmamasına rağmen, biyolojik arıtmaya giriş NH₄-N ve giriş TP konsantrasyonların değerini artırdığı görülmektedir. Proses hesaplarının ve tesis giderim verimliliğinin artan konsantrasyona göre yapılması gerekmektedir. Aynı zamanda geri dönüş akımlarında çeşitli kimyasal ve biyolojik yöntemler uygulanarak nütrient geri kazanımı yapılması önem kazanmaktadır.

3.1.3 Geri Kazanım Ünitesi Giriş – Çıkış Atıksu Karakterizasyonu

Ambarlı İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi Geri Kazanım Ünitesi tasarım değerleri ile birlikte belirlenen tarih aralıklarında (2022 – 2023) yıllık ortalama giriş karakterizasyonu Çizelge 3.3’te verilmiştir. Geri Kazanım Ünitesi giriş verileri (İBAAT tesis çıkışı), AKM, KOİ,

BOİ₅, Yağ-Gres, bulanıklık, alkalinite, tuzluluk, sıcaklık, pH ve iletkenlik parametreleri açısından değerlendirilmiştir.

Çizelge 3.3. Ambarlı atıksu geri kazanım tesisi giriş suyu özellikleri.

Parametre	Ortalama Tasarım Değerleri	2022-2023 Ortalama	Minimum	Maksimum	Birim
AKM	20	33	3	428	mg/L
KOI	70	52	18	306	mg/L
BOİ₅	20	8	2	56	mg/L
Yağ-Gres	6,0	6,7	0,1	16,0	mg/L
Bulanıklık	22	10	4	17	NTU
Alkalinite	210	188	135	495	mg CaCO ₃ /L
İletkenlik	900	1.616	756	3.260	µS/cm
Tuzluluk	0,6	0,8	0,0	2,0	‰
Sıcaklık	16,0	21,6	11,8	28,9	°C
pH	7,4	7,4	6,0	8,0	-

Ambarlı İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi Geri Kazanım Tesisi tasarımında giriş kirlilik değerleri ile birlikte belirlenen tarih (2022 – 2023) aralıklarında yıllık ortalama giriş karakterizasyonu Çizelge 3.3’te verilmiştir. Tasarım parametrelerine göre AKM, İletkenlik ve tuzluluk dışındaki değerler tasarım değerlerinin altında kaldığı görülmektedir. Bu durum Geri kazanım ünitesinin sorunsuz bir şekilde işletilmesine olanak sağladığını göstermektedir. Arıtma tesisi çıkış verileri kullanılarak düzenlenen Çizelge 3.3’te maksimum AKM ve AKM kaynaklı KOİ maksimum değerinin tasarım değerlerinde yüksek olduğu görülmektedir. Geri kazanım akım diyagramında (Şekil 1.7) yerleşimi gösterilen mekanik filtreler ve sonrasında aktif karbon ünitesi ile ultrafiltrasyon öncesi karşılaşılabilecek pik Yağ-Gres miktarı, AKM ve KOİ parametrelerinin tasarım değerlerine uygun hale getirildiği belirlenmiştir.

Ambarlı İBAAT Geri Kazanım Ünitesi çıkış verileri (ultrafiltrasyon çıkış), AKM, Fekal Koliform, BOİ₅, bulanıklık, bakiye klor, iletkenlik, tuzluluk, klorür ve pH parametreleri açısından değerlendirilmiştir. Geri Kazanım Tesisi çıkış değerleri Teknik Usüller Tebliğinde belirtilen arıtılmış suların sulama suyu olarak geri kullanım kriterlerinde (A sınıfı ve B sınıfı) belirtilen parametrelerin limit değerleri ile kimyasal kalite değerlendirme tablosuna göre 1. Sınıf su ve 2.sınıf su kriterleri limit değerleri ile birlikte Çizelge 3.4’te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Ambarlı atıksu geri kazanım tesisi çıkış suyu özellikleri.

Parametre	Su kalite parametreleri (A sınıfı)	Su kalite parametreleri (B sınıfı)	Ortalama 2022-2023	Min.	Maks.	Birim
	AKM	< 20	< 30	2,58	1,00	10,00
Fekal Koliform	0 / 100 (<14 ad/100)	< 200 ad/ 100 (< 800 ad/ 100)	0 / 100	0 / 100	0 / 100	mL
BOI ₅	<20	< 30	3,9	2,0	9,0	mg/L
Bulanıklık	< 2	< 5	0,6	0,19	5,0	NTU
Bakiye Klor	> 1	>1	> 1,2	> 1,0	> 1,5	mg/L
İletkenlik	< 700*	700 – 3.000**	1.646	974	2.550	µS/cm
Tuzluluk (TÇM)	< 500	500 – 2.000	105,3	62,3	163,2	mg/L
Klorür	< 140* (yüzeysel sulama)	< 140-350** (yüzeysel sulama)	285	137	407	mg/L
	< 100 (damlatmalı)	> 100 (damlatmalı)				
pH	6 – 9		7,42	6,40	8,10	-

*I.sınıf Su:Teknik Usüller Tebliğinde belirtilen Arıtılmış suların sulama suyu olarak geri kazanılması kriterleri kimyasal kalite değerlendirme tablosuna göre kullanımında zarar derecesi yok olarak tanımlanan sınıflandırma kriterini ifade eder.

**II.sınıf Su:Teknik Usüller Tebliğinde belirtilen Arıtılmış suların sulama suyu olarak geri kazanılması kriterleri kimyasal kalite değerlendirme tablosuna göre kullanımında zarar derecesi az- orta zararlı sınıflandırma kriterini ifade eder.

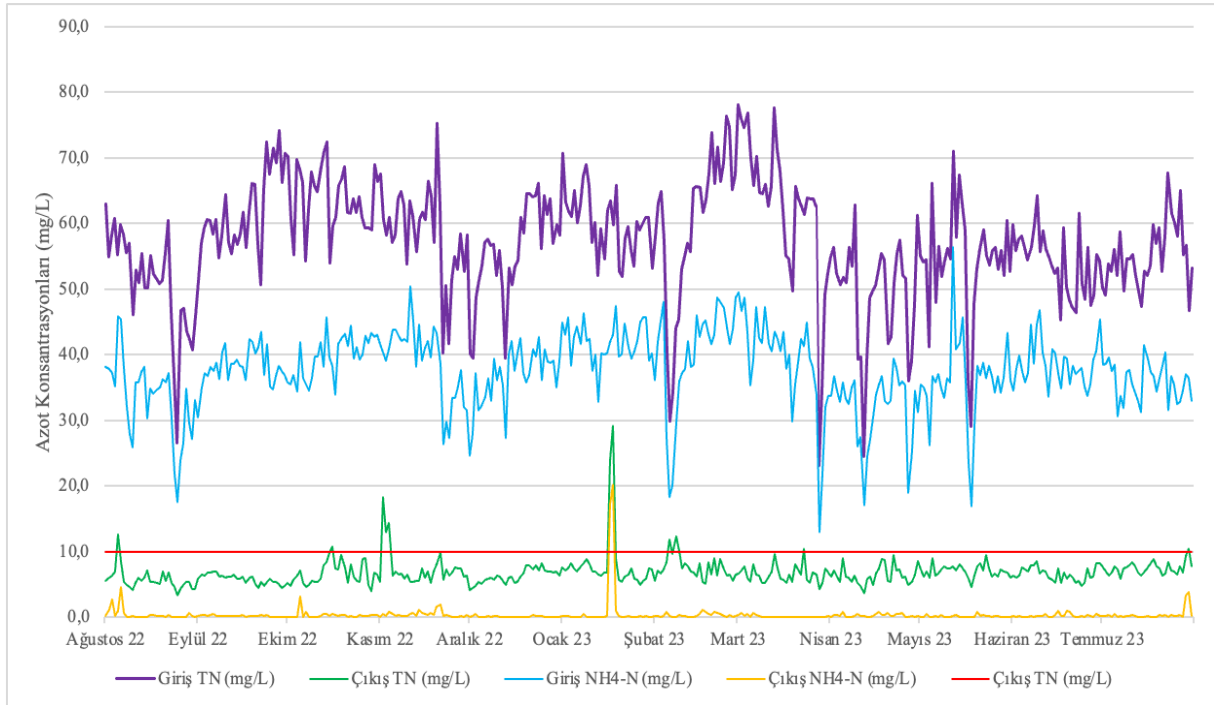
Geri kazanım tesisinden elde edilecek suyun, endüstrilerde veya kentsel sulamada kullanılabileceği dikkate alınarak, en az Teknik Usüller Tebliğinde belirtilen A sınıfı su kalitesinde olması gereklidir. AKM, BOI₅, Fekal Koliform, Bulanıklık ve Bakiye klor ortalama çıkış değerleri A sınıfı su kalitesi limit değerlerin uygun olduğu belirlenmiştir. Teknik usüller tebliğinde belirlenen arıtılmış suların sulama suyu olarak geri kazanılması kriterleri kimyasal kalite değerlendirme tablosunda belirtilen iletkenlik, tuzluluk ve klorür limit değerleri tesis çıkış değerleri ile karşılaştırılmıştır. İletkenlik ortalama çıkış değerinin II. Sınıf Su limit değerlerine yani kullanımı kimyasal kalite açısından az- orta zararlı su sınıfına dahil olduğu belirlenmiştir. Tuzluluk çıkış değerleri ise, kimyasal kalite değerlendirmesine göre kullanımında zarar derecesi yok olarak tanımlanan I. Sınıf Su anlamına gelen sınıflandırma

kriterine, geri kazanım tesisi klorür çıkış değeri ise; yüzey sulaması ve damlatmalı sulamaya az-orta zararlı su sınıfı olan II. Sınıf Su kriterine uygun olduğu belirlenmiştir.

3.1.4 Ambarlı İBAAT Günlük Ortalama Giriş – Çıkış TN ve NH₄-N Değerleri

Nitrifikasyon bakterilerinin yavaş çoğalan organizmalar olması sebebiyle nitrifikasyon prosesi ve bağlı çoğalma hızı dikkate alınarak sıcaklık, aerobik çamur yaşı seçimi, havalandırma gibi bakteriler için optimum şartların sağlanması son derece önemlidir. Bununla birlikte arıtma tesisleri işletilmesi sırasında karşılaşılabilecek, özellikle giriş atıksuyu muhtemel toksik madde içeriği bakımından, her farklı kentsel atıksu kaynağı için nitrifikasyon testleri gerçekleştirilerek nitrifikasyon kinetiğinin ortaya konması ve nitrifikasyon hızı belirlenmesi gerekmektedir. Sadece tesis dışından kaynaklanabilecek toksik etkiler dışında tesis içerisinde de geri dönüş akımlarından kaynaklanabilecek muhtemel toksik etkiler de yapılan deneylerle gösterilmek istenmiştir.

Ambarlı İBAAT işletme şartlarının ideal olduğu dönemlerde dahi biyolojik azot giderimi ile nitrat azotu konsantrasyonu çıkış limiti olan 10 mg N/L'nin üzerinde olduğu dönemler belirlenmiştir. Bu nedenle öncelikli olarak tesis çıkış amonyak ve TN konsantrasyonları Şekil 3.1'de sunulmuştur. Tesis çıkışında TKN ölçülmediği için incelemeye dahil edilmemiş, değerlendirme TN üzerinden yapılmıştır.



Şekil 3.1. Ambarlı İBAAT giriş ve çıkış azot konsantrasyon değerleri.

Şekil 3.1’de görüldüğü gibi, tesiste Ekim ayında 12,7 mg/L, Kasım ayında 14 – 18 mg/L ve Ocak ayında 24-30 mg/L ise çıkış Toplam Azot konsantrasyonunun değerlerine ulaştığı yani nitrifikasyonun dönemsel olarak kaybedildiği görülmektedir. Bu dönemler hariç çıkış amonyak konsantrasyonu 1 mg/L civarında seyretmektedir. Nitrifikasyonun kaybedildiği dönemler hariç çıkışta Toplam Azot konsantrasyonunu 5 – 10 mg/L arasında kalarak deşarj limitlerini sağladığı görülmektedir. Nitrifikasyonun kaybedildiği dönemler ile biyokütle kaçağındaki artış aynı dönemlerde gözlenmektedir.

3.2 Nitrifikasyon Hızı Deneyleri (Yüksek F/M Testi)

Nitrifikasyon, atıksularda amonyağın amonyak oksitleyici bakteriler (AOB) tarafından nitrite ve ardından nitrit oksitleyici bakteriler tarafından (NOB) nitrata dönüştürüldüğü aerobik bir prosestir. AOB ve NOB birlikte nitrifikasyon bakterileri olarak adlandırılır. Nitrifiyerler yavaş çoğalan organizmalar olması sebebiyle biyolojik proseslerde hız kısıtlayıcı adımdır. Bu sebeple atıksu arıtma tesislerinin tasarımında nitrifikasyon bakterilerinin çoğalma hızı dikkate alınarak aerobik çamur yaşının doğru belirlenmesi son derece önemlidir. Diğer taraftan kanalizasyon sistemlerine kabul edilen veya izinsiz yapılan endüstriyel deşarjlar sebebiyle farklı kentsel atıksu kaynağı için biyolojik arıtılabilirlik açısından farklı atıksu karakteri ortaya çıkacaktır. Buna göre, arıtma tesisleri tasarlanırken, özellikle muhtemel toksik madde içeriği bakımından, her farklı kentsel atıksu kaynağı için nitrifikasyon testleri gerçekleştirilerek nitrifikasyon kinetiğinin ortaya konması ve nitrifikasyon hızı belirlenerek tesis tasarımının bu sonuçlara göre yapılması gereklidir. Özellikle endüstriyel deşarjlarla gelen toksik maddeler nitrifikasyon hızını etkilediği bilinmektedir. Nitrifikasyon hızı tespiti deneysel prosedürü EK-1’de verilmektedir.

Bu çalışmada, Ambarlı İBAAT tesisine gelen atıksular ve tesise geri döndürülen çamur çürütücü çıkış sularının (sentrat) nitrifikasyon prosesi üzerine toksik etkileri nitrifikasyon kinetiği açısından değerlendirilmiştir. Bunun için %100 sentrat ve %50 seyreltilmiş sentrat kontrol seti olarak sentetik atıksuya karşı Melcer ve diğ., (2003) tarafından önerilen yüksek F/M yöntemine göre çalışılmış ve her iki deneyde de aynı aktif biyokütle kullanılmıştır. Sıcaklık (20 °C) ve pH (7,2 – 7,6) kontrollü, oksijen kısıtının olmadığı (5 – 6 mg/L) koşullar altında testler 14 gün boyunca yürütülmüştür. Testlerde elde edilen NOx profili ile model çözümlemesi Şekil 3.2 ve Şekil 3.4’te sunulmuştur. Elde edilen NOx profillerinin model ile elde edilen çözümleme ile büyük ölçüde uyumlu olduğu görülmektedir. Bu şekilde hesaplanan nitrifikasyon hızları Çizelge 3.5’te sunulmuştur. %50 seyreltilmiş sentrat için maksimum

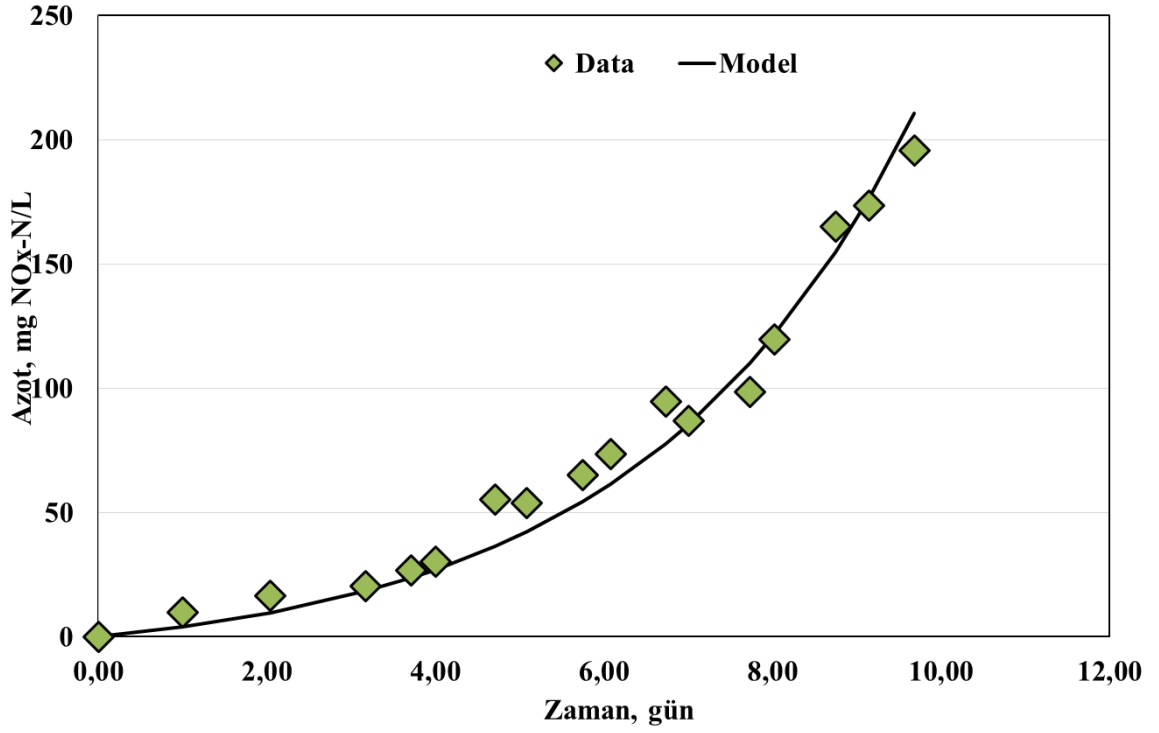
çoğalma hızı değeri ($0,35 \text{ gün}^{-1}$), sentetik atıksu için maksimum çoğalma hızı ise ($0,41 \text{ gün}^{-1}$) bulunmuştur. %50 sentrat için maksimum çoğalma hızının, sentetik ve atıksu ile yapılan deneyler ile karşılaştırıldığında yaklaşık %15 oranında azalmasına neden olabileceği hesaplanabilir (Çizelge 3.5).

Diğer taraftan, Ambarlı İBAAT için giriş akımı ile gerçekleştirilen nitrifikasyon testlerinde nitrifikasyon hızı 0,40 olarak tespit edilmiştir (İnsel, vd., 2022). %50 seyreltilmiş sentrat akımında elde edilen nitrifikasyon hızının daha önce Ambarlı İBAAT giriş atıksuyu için tespit edilen değerden daha düşük olması, nitrifikasyon hızının inhibisyonuna neden olabileceğini göstermektedir. Gerçekleştirilen toksisite deneylerinde de Ambarlı İBAAT %100 sentrat akımı toksisitesinin hafif toksik olarak sınıflandırıldığı tespit edilmiştir. Ana tesise geri dönen sentrat suyu oranı maksimum seviyede dahi %0,5 – 1 mertebesinde olup ana tesisin nitrifikasyon hızında çok büyük bir etkisi olmayacağı tahmin edilmektedir. Bu durum toksisite analizlerinde de görüldüğü üzere %100 sentrat akımı Hafif Toksik iken giriş akımı toksik olarak belirlenmiştir. Toksisite analizi sonuçları, giriş akımında tespit edilen muhtemel toksik madde olarak özellikle ağır metallerin biyolojik çamurda tutulduğunu göstermektedir. Çizelge 3.5.'te Ambarlı İBAAT giriş atıksuyu, sentrat akımı ve sentetik atıksu ile elde edilen nitrifikasyon kinetiği verilmektedir. Şekil 3.2'te Ambarlı İBAAT giriş atıksuyu sentetik atıksu ile ölçülen nitrifikasyon hızları gösterilmektedir. Şekil 3.3. Ambarlı İBAAT giriş atıksuyu %50 sentrat atıksu ile ölçülen nitrifikasyon hızları gösterilmektedir.

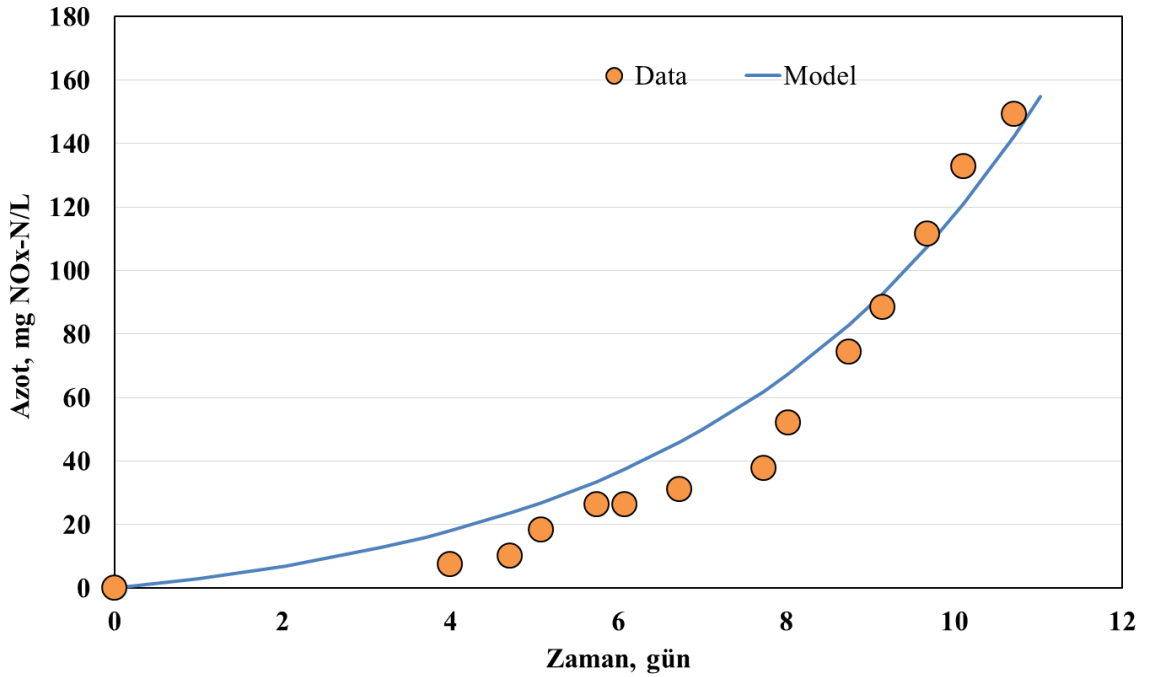
Çizelge 3.5. Ambarlı İBAAT giriş atıksuyu, sentrat akımı ve sentetik atıksu ile elde edilen nitrifikasyon kinetiği.

Parametre	Birim	%50 Sentrat	Sentetik atıksu	Giriş atıksuyu*
Maksimum spesifik ototrofik çoğalma hızı, μ_{Max_AUT}	1/gün	0,35	0,41	0,40
AOB için ölüm hızı, b_{H_AUT}	1/gün	0,1	0,1	0,1
Dönüşüm oranı, Y_{AUT}	1/gün	0,24	0,24	0,24

* İnsel vd, 2022.



Şekil 3.2. Ambarlı İBAAT giriş atıksuyu sentetik atıksuyu ile ölçülen nitrifikasyon hızları.



Şekil 3.3. Ambarlı İBAAT giriş atıksuyu %50 sentrat atıksuyu ile ölçülen nitrifikasyon hızları.

3.3 Toksikite Çalışmaları Deneysel Sonuçlar

Özellikle endüstriyel deşarjların da yer alabildiği kentsel atıksu arıtma tesislerinde, ağır metallerin aktif çamur bünyesinde birikmesi sonucunda nitrifikasyon prosesine olumsuz etkisi olduğu bilinmektedir (Daigger ve Sadick, 1998; Hu, vd., 2003; İnsel, 2014). Ambarlı İBAAT giriş atıksuyunda otomatik numune alma cihazı yardımıyla kompozit örneklerden (Ağustos 2022 – 2023) ağır metal ve diğer toksik parametre analizleri yapılmış ayrıntılı olarak Çizelge 3.6’da verilmiştir. Çizelgede parametreler incelendiğinde giriş atıksuyu ağır metal ortalama sonuçları ile çıkış suyu ortalama ağır metal analizleri giderim verimliliği belirtilmek istenmiştir. Microtox Model 500 Analyzer” toksisite ölçüm sonuçları detaylı olarak EK-3’te verilmektedir.

Çizelge 3.6. Ambarlı İBAAT ağır metal analizleri ve diğer toksik parametreler.

Ağır Metal ve Diğer Toksik Parametreler	Giriş Atıksu Ort.	Giriş Atıksu Maks.	Giriş Atıksu Min.	Aktif Çamur Tankı	Geri Devir Çamuru	Sentrat	Çıkış Atıksu Ort.	Çıkış Atıksu Maks.	Çıkış Atıksu Min.
Alüminyum (mg/L)	4,8	14	0,21	130,5	290,3	1,53	0,68	2,19	0,245
T. Krom (mg/L)	0,1	0,4	0,00	2,44	6,32	0,25	0,019	0,039	0,004
Bakır (mg/L)	0,1	1,00	0,01	3,04	8,13	0,93	0,025	0,062	0,003
Demir (mg/L)	4,6	11	0,05	100,8	227	2,50	0,729	2,151	0,414
Nikel (mg/L)	0,1	0,3	0,01	1,28	4,03	0,08	0,080	0,462	0,035
Çinko (mg/L)	0,9	2	0,02	18,75	66,58	0,53	0,226	0,49	0,061
Fenol (µg/L)	48	77	27	-	-	-	1,90	11,7	<0,1
Siyanür (µg/L)	12,5	28	1	-	-	-	3,5	10,3	<0,1

Ambarlı İBAAT’nin yıllık ağır metal analiz sonuçlarına göre kompozit giriş ve çıkış değerlerine göre giderim verimliliği Alüminyum için %85, Toplam Krom için %81, Bakır için %75, Demir için %84, Nikel için %20 ve Çinko için %74 olarak hesaplanmıştır. Diğer toksik parametrelerden Fenol için giderim verimliliği %96 iken Siyanür için bu değer %72 olarak

belirlenmiştir. Ağır metal analiz sonuçlarına göre çıkış atıksuyu için deşarj standart değerlerini sağladığı görülmektedir.

Toplam Krom parametresi giriş yıllık ortalama değeri 0,1mg/L olarak llrken, aktif biyokütlede 2,44 mg/L, geri devir çamur bünyesinde ise 6,32 mg/L miktarlarına kadar birikim yaptığı belirlenmiştir. Giriş atıksu ağır metal içerikleri anaerobik rtme prosesi sonrasında aktif biyokütle içerisinde biriken ağır metal iyonlarının sentrat suyuna geçtiği belirlenmiştir. rtme tankında Krom iyonlarının giriş atıksuda llen değerin 2,5 kat fazlası sentrat suyunda tespit edilmiştir. Ağır metal analizlerinde giriş atıksuyunda belirlenen Bakır parametresi giriş değerinin 9 kat daha fazla sentrat suyunda llmştr.

Literatürdeki konsantrasyonlarla karşılaştırıldığında Bakır (Cu) 0,08 mg/L seviyesinde nitrifikasyon yapan bakteriler üzerinde %50 inhibisyon yaratacağı, 1,2 mg/L ise nitrifikasyonun %100 inhibisyona uğrayabildiği Juliastuti vd. (2003) tarafından deneysel olarak elde edilmiştir. Yine Krom konsantrasyonunun 0,25 mg/L aştığı durumlarda nitrifikasyon bakterilerinin inhibisyona uğradığı (Henze, vd., 1995), başka bir çalışmada da ise 0,5 mg/L Cr(VI)'nın nitrifikasyonu %75 inhibisyonuna neden olduğu belirtilmektedir(Stasinakis vd. 2003). Yapılan çalışmalarla karşılaştırıldığında izelge 3.6'da ölüm değerleri verilen Bakır ve Kromun inhibisyon yaratacak seviyede olduğu anlaşılmaktadır (Güven, vd., 2017). Bu durum Krom için aktif çamur ve geri devir numunelerinde %75 inhibisyon seviyesi, sentrat ve giriş atıksuyu pik konsantrasyonları için inhibisyon sınırı ve üzerinde yer almaktadır. Bakır için ise giriş atıksuyu, aktif çamur, geri devir çamuru için %100, sentrat numunesi için ise %50 inhibisyon etkisine sahip konsantrasyon sonuçları elde edilmiştir.

Ambarlı Geri Kazanım Tesisi yıllık Giriş-ıkış ağır metal analiz verileri ayrıntılı olarak izelge 3.7 ile verilmektedir.

Çizelge 3.7. Ambarlı geri kazanım tesisi giriş – çıkış ağır metal analizleri (2022-2023).

Ağır Metal Parametreleri	Geri Kazanım Giriş Ort.	Geri Kazanım Giriş Max.	Geri Kazanım Giriş Min.	Geri Kazanım Çıkış Ort.	Geri Kazanım Çıkış Max.	Geri Kazanım Çıkış Min.
Alüminyum (mg/L)	0,59	0,859	0,245	0,29	0,436	0,044
T. Krom (mg/L)	0,020	0,029	0,004	0,01	0,020	0,001
Bakır (mg/L)	0,023	0,042	0,007	0,02	0,047	0,003
Demir (mg/L)	0,684	1,027	0,414	0,46	0,754	0,248
Nikel (mg/L)	0,083	0,462	0,035	0,05	0,059	0,031
Çinko (mg/L)	0,204	0,499	0,061	0,16	0,428	0,067

Ambarlı Geri Kazanım Tesisi yıllık ağır metal analiz sonuçlarına göre giriş ve ultrafiltrasyon çıkışı değerlerine göre giderim verimliliği Alüminyum için %51, Toplam Krom için %50, Bakır için %13, Demir için %32, Nikel için %40 ve Çinko için %21 olarak hesaplanmıştır.

Ambarlı İBAAT'ın atıksu giriş noktasından geri kazanım çıkışına kadar farklı noktalardan alınan numunelerde mevcut toksik etkiler belirlenmek istenmiştir. Tesis kompozit giriş atıksuyu, ön çöktürme çıkışı, aktif çamurun üst fazı ve eluat fazına alınan çöken çamur, geri dönüş akımı çamuru üst faz ve eluat fazına alınan çöken çamur, tesis çıkışı (aynı zamanda geri kazanım girişi), aktif karbon sonrası ve UF (ultrafiltrasyon) çıkışı numuneleri alınarak yapılan toksisite çalışmaları sonuçları ve Toksik Birim sınıflandırması Çizelge 3.8'de verilmektedir.

Çizelge 3.8. Ambarlı İBAAT toksisite sonuçları ve toksik birim sınıflandırması.

Numune Adı	EC50 (%)		Toksisite	
	5. dk	15. dk	Birimi (TB)	Toksosite Sınıfı
Tesis Giriş (Kompozit)	58,09	57,91	1,72	Toksik
Ön Çöktürme Çıkış	45,51	41,23	2,20	Toksik
Proses Süpernatant	-13,63	-23,94	-7,33	Toksik Değil
Proses Çamur (Eluat)	48,96	39,46	2,04	Toksik
Geri Devir Süpernatant	-13,63	-23,94	-7,33	Toksik Değil
Geri Devir Çamur (Eluat)	42,2	47,05	2,37	Toksik
Tesis Çıkış (Kompozit)	-14,22	-19,25	-7,03	Toksik Değil
Geri Kazanım Aktif Karbon Çıkışı	-25,04	-32,64	-3,99	Toksik Değil
Ultrafiltrasyon Çıkış	-21,98	-25,15	-4,55	Toksik Değil

Ambarlı İBAAT'den alınan giriş, ön çöktürme çıkış, proses süpernatant, proses çamur (Eluat), Geri devir süpernatant, geri devir çamuru (Eluat), tesisi çıkış, geri kazanım, aktif karbon çıkış ve ultrafiltrasyon numuneleri 5 dakikalık temas süresi toksik birim değerlerine göre sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırmaya göre kompozit giriş atıksuyu ve geri devir çamuru (eluat) toksisite test yönteminde 5 dakikalık temas süresi sonunda "Toksik" olarak tanımlanmıştır. Ön çöktürme çıkış numunesi ve Proses çamur (eluat) numunesinde 5 dakikalık temas süresi sonunda sırasıyla Toksikite birim değerleri 2,20 ve 2,04 olarak hesaplanmış ve buna bağlı olarak "Toksik" olarak sınıflandırılmıştır. Aynı numunelerde temas süresi 15. dakikaya çıktığında EC50 değerine göre hesaplanan toksisite birim değerleri sırasıyla 2,42 ve 2,53 olarak belirlenmiştir. Bu durumda toksisitenin temas süresi ile orantılı olarak arttığı, toksik etkinin diğer numunelere göre daha uzun süreli olduğu söylenebilir. Geri devir çamuru (eluat) numunesinde ise 5 dakikalık temas süresinin toksisite birimi hesabına göre "Toksik" olarak sınıflandırılmasında yeterli olmuştur.

Toksosite çalışmaları kapsamında sentratın aktif çamur prosesine muhtemel toksik etkisi belirlenmek istenmiştir. Nitrifikasyon hızı deney koşullarına göre %100 ve %50 sentrat numuneleri ile sentratın geri dönüş akımları ile tesis giriş debisindeki yüzdelik konsantrasyonlarına göre; pik sentrat etkisi (%1,04), minimum sentrat etkisi (%0,18) ve yıllık ortalama (%0,39) sentrat oranlarına göre seyreltilerek hazırlanan tüm numunelerin toksisite sonuçları ve toksik birim sınıflandırması Çizelge 3.9'da verilmektedir.

Çizelge 3.9. Sentrat suyu toksisite sonuçları ve toksisite sınıfı.

Numune Adı	EC50 (%)		Toksosite Birimi (TB)	Toksosite Sınıfı
	5. dk	15. dk		
Sentrat Lab. (%100)	187,9	232,8	0,53	Hafif Toksik
Sentrat Lab. (%50)	-6,32	-4,563	-15,82	Toksik Değil
Sentrat max. (%1,04)	-12,73	-18,64	-7,86	Toksik Değil
Sentrat Ort. (%0,39)	-19,72	-23,54	-5,07	Toksik Değil
Sentrat min. (%0,18)	-12,79	-17,87	-7,82	Toksik Değil

Sentrat numuneleri ile yapılan toksisite deneylerinde seyreltme yapılmadan direk sentrat uygulamasında toksisite birimi 5 dakikalık temas sonrası 0,53 olarak hesaplanırken 15 dakika temas sonrası toksisite birimi hesabına göre yaklaşık 0,43 değeri belirlenmiş ve Hafif Toksik olarak sınıflandırılmıştır. Fakat sentrat karakterizasyonunda (Çizelge 3.2) belirlenen nütrient içeriğini *Vibrio fischeri* bakterisinin besin olarak kullanılabilmesi ve lüminesans etkisinin artırabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Bu duruma bağlı olarak sentratın toksik etkisinin belirlenen değerlerden çok daha fazla olabileceği düşünülebilir.

Yine ağır metal ölçümlerinde giriş atıksu ve tesisi çıkış değerleri arasındaki farklılıklar metal iyonlarının anaerobik çürütme süresince sentrat akımına geçtiği ve biriktiğini göstermektedir. Giriş atıksuda ölçülen Krom iyonlarının giriş konsantrasyonlarından 2,5 kat, Bakır iyonlarının ise 9 kat daha fazla ölçülmesi (Çizelge 3.6) sentratın mevcut toksik etkisini deney sonuçları ortaya koymaktadır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünyadaki su kaynaklarının azlığı atıksuların arıtılması ve yeniden kullanılmasını gündeme getirmektedir. Su kıtlığı ve su temini alternatifleri değerlendirildiğinde atık su arıtma tesisleri çevremizin ve su kaynaklarımızın kirlenmesini engelleyebilmek için kritik önem arz etmektedir. Tez kapsamında çalışılan İstanbul İli’i Avrupa yakasında bulunan Sazlıdere İçme suyu Havzası, Büyükçekmece ve Terkos İçme suyu Havzaları ile Küçükçekmece Gölü ve Marmara Denizi’nin korunması ihtiyacını karşılamak amacıyla inşaa edilen Ambarlı İleri Biyolojik Atıksu Arıtma tesisi özelinde çalışmalar yürütülmüştür. Bu tez kapsamında öncelikli olarak geri dönüş akımlarının nitrifikasyon hızına (Azot giderimine) etkisi ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bununla birlikte nitrifikasyon hızına arıtma tesisinde farklı noktalardan alınan örneklerde toksisitenin etkisi ortaya konulmuştur. Böylece çıkış suyunun yönetmelikte bahsedilen sulama suyu kalite parametrelerine uygunluğu irdelenmiştir. Böylece geri kazanılan atıksuların sulamaya uygun olup olmadığı ve araziye verilmek için uygunluğu belirlenmiştir.

Atıksu arıtma tesislerinde giriş atıksu karakterizasyonunun belirlenmesi arıtma verimliliği ve toksik etkiler açısından deşarj edilen su kalitesini ve buna bağılı olarak ikincil arıtma sonrası suyun geri kazanılmasını etkileyen önemli faktörlerdendir. Ambarlı İBAAT işletmesinden elde edilen giriş atıksuyu verileri, günlük ortalama debi, AKM, UAKM, KOİ, BOİ₅, TKN, amonyak azotu, fosfor, pH ve iletkenlik parametreleri açısından değerlendirilmiştir. Bu kapsamda 2018 yılı Ambarlı İBAAT aktif çamur sistemi giriş ortalama kirletici yükleri karşılaştırıldığında tüm parametrelerde önemli bir artış olduğu görülmektedir. Debi ve BOİ parametrelerinde ise tasarım debilerinin üzerinde bir artış olduğu belirlenmiştir. Bu durum kullanılan tatlı su kaynaklarının nüfus ve endüstriyel faaliyetlerle hızla tüketildiğinin bir göstergesidir. Arıtılmış atıksuların geri kazanılması ile alternatif kaynakların oluşturularak kullanılması ve sulamada kaliteli su elde edilebilmesi çok önemlidir.

Atıksu arıtma sürecinde biyolojik arıtma basamaklarından olan nitrifikasyon, toksik maddelerin varlığında olumsuz etkilenebilir. Toksik maddeler, nitrifikasyonu gerçekleştiren bakterilere zarar verebilir, enzimatik aktivitelerini inhibe edebilir veya bakteri topluluklarının yapısını bozabilir. Bu durum, azot giderimi performansını düşürebilir ve çevresel etkilerle birlikte atıksu arıtma tesislerinin verimliliğini azaltabilir (Chipasa, 2003).

Nitrifikasyon bakterilerinin yavaş çoğalan organizmalar olması sebebiyle nitrifikasyon prosesi ve bağılı çoğalma hızı dikkate alınarak sıcaklık, aerobik çamur yaşı seçimi, havalandırma gibi bakteriler için optimum şartların sağlanması son derece önemlidir. Bununla

birlikte arıtma tesisleri işletilmesi sırasında karşılaşılabilecek, özellikle giriş atıksuyu muhtemel toksik madde içeriği bakımından, her farklı kentsel atıksu kaynağı için nitrifikasyon testleri gerçekleştirilerek nitrifikasyon kinetiğinin ortaya konması ve nitrifikasyon hızı belirlenmesi gerekmektedir. Sadece tesis dışından kaynaklanabilecek toksik etkiler dışında tesis içerisinde de geri dönüş akımlarından kaynaklanabilecek muhtemel toksik etkiler bu alanda belirli aralıklarla yapılan deneylerle belirlenmelidir.

Nitrifikasyon bakterilerini etkileyebilecek yaygın toksik maddeler arasında ağır metaller, belirli kimyasallar ve yüksek amonyak veya nitrit konsantrasyonları bulunur. Etkili atıksu arıtımı, nitrifikasyonun düzgün çalışmasına dayandığından, potansiyel toksisite kaynaklarından ağır metallerin izlenmesi ve tespiti çok önemlidir. Aktif çamurda birikme özelliğine sahip ağır metallerin inhibisyon etkilerinin daha uzun süreli olacağı da beklenebilir. Yüksek çamur yaşlarında birikimin daha yüksek olması aktif çamur toksisitesini çamur yaşıyla paralel olarak artmasına neden olacaktır. Ağır metallerin işletme sırasında takip edilmesi önerilmekte, nitrifikasyon bakterilerinin aktivitesini korumak amaçlı tesis tasarım ve işletme planlamasının bu kapsamda değerlendirilmesi gerekmektedir.

Ambarlı İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinde anaerobik çamur çürütmeden kaynaklı suların tesise geri dönüşü ile nitrifikasyon hızına ve çıkış suyu toksisitesine etkileri incelenmiştir. Nitrifikasyon hız deneylerinde hesaplanan nitrifikasyon hızları %50 seyreltilmiş sentrat için maksimum çoğalma hızı ($0,35 \text{ gün}^{-1}$), sentetik atıksu için maksimum çoğalma hızı ise ($0,41 \text{ gün}^{-1}$) bulunmuştur. Ambarlı İBAAT için giriş akımı ile gerçekleştirilen nitrifikasyon testlerinde nitrifikasyon hızı $0,40$ olarak tespit edilmiştir (İnsel, vd., 2022). %50 sentat için maksimum çoğalma hızının, sentetik ve atıksu ile yapılan deneyler ile karşılaştırıldığında yaklaşık %15 oranında azalmasına neden olabileceği hesaplanabilir. Ana tesise geri dönen sentrat suyu oranı maksimum seviyede dahi %0,5-1 mertebesinde olup ana tesisin nitrifikasyon hızında önemli bir etkisi olmayacağı tahmin edilmektedir. Dolayısı ile sentrat suyuna uygulanacak alternatif biyolojik arıtma (nitrifikasyon vb.) sistemi ile nitrifikasyon hızının olumlu yönde etkilenebileceği dikkate alınmalıdır.

Toksisite analizi sonuçlarına göre 5 dakikalık temas süresine göre kompozit giriş atıksuyu, Geri devir çamuru (eluat), Ön çöktürme çıkış numunesi ve Proses çamur (eluat) numunesi toksisite sınıfı “Toksik” olarak, sentrat numunesi ise “hafif toksik” olarak tanımlanmıştır. Hesaplamalara göre yaklaşık %15’lik nitrifikasyon hızının azalmasına neden olabileceği belirlenmiştir. Bu durum Sentratın toksisite sonuçları ile paralellik göstermektedir.

Giriş akımında tespit edilen muhtemel toksik madde olarak ağır metallerin çok fazla etkili olduğu belirlenmiştir. Biyolojik çamurda ağır metallerin birikim yaptığı, bu durumun sentrat akımına metal iyonlarının geçmesine bağlı toksisiteden daha yüksek bir toksik etki yaptığı görülmektedir.

Ambarlı İBAAT'nin yıllık ağır metal analiz sonuçlarına göre kompozit giriş ve çıkış atıksu örnekleri toplanarak ağır metal, fenol ve siyanür analizleri yapılmış (2022 – 2023) ve bu analizlere ait sonuçlar özetlenmiştir.

Çinko (Zn) parametresinin 0,02 – 2,00 mg/L seviyesinde olduğu yıllık ortalama değeri ise 0,9 mg/L seviyelerine kadar yükseldiği dönemler olduğu belirlenmiştir. Çinko parametresinin aktif çamurda 18,75 mg/L, geridevir çamurunda ise 66,58 mg/L birikim yaptığı ölçümlerde görülmektedir. Anaerobik çürütme ile sentrat suyuna geçen çinko iyonları yapılan analizlerde 0,53 mg/L olarak ölçülmüştür. Çinko konsantrasyonunun 0,08 mg/L seviyesinde nitrifikasyon aktivitesini %12 azalttığı deneysel olarak elde edilmiştir (Juliastuti, vd. 2003). Giriş ortalama, aktif biyokütle ve sentrat geri akımı değerleri dahil olmak üzere ölçülen çinko konsantrasyonunun nitrifikasyon aktivitesinde inhibisyona neden olabilecek seviyenin çok üzerinde olduğu belirlenmiştir.

Nikel konsantrasyonunun ise 2 mg/L değerinde %35 inhibisyon yarattığı rapor edilmiştir (You, vd., 2009). Ayrıca, Nikel parametresinin 0,25 mg/L aşması durumunda nitrifikasyon bakterilerinin inhibisyona uğradığı belirtilmektedir (Henze, vd., 1995). Literatürdeki konsantrasyonlarla karşılaştırıldığında ölçüm değerleri Nikel için; giriş atıksuyunda 0,01-0,3 mg/L, aktif çamurda 1,8mg/L, geridevir çamurunda 4,03 mg/L ile inhibisyon konsantrasyonunun çok daha üzerinde olduğu görülmektedir. Sentrat akımında ise 0,08mg/L olarak inhibisyon yaratacak seviyenin altında olduğu anlaşılmaktadır.

Bakır (Cu) parametresi incelendiğinde, 0,01 – 1 mg/L seviyelerine kadar yükseldiği dönemler olmuştur. Bakır (Cu)'ın 2022 – 2023 yılı ortalama değeri ise 0,1 mg/L seviyesindedir. Bakır (Cu) konsantrasyonunun 0,08 mg/L seviyesinde nitrifikasyon yapan (ototrofik) bakteriler üzerinde %50 inhibisyon yaratacağı, 1,2 mg/L bakır konsantrasyonunda ise nitrifikasyonun %100 inhibisyona uğrayabildiği Juliastuti vd. (2003) tarafından deneysel olarak elde edilmiştir. Ayrıca, ağır metallerin aktif çamur içinde birikmesi sonucu da nitrifikasyon üzerinde inhibisyon etkisi gösterebilmektedir (Hu, vd., 2003a). Aktif çamur tankında biriken Bakır konsantrasyonu 3,03mg/L iken geri devir ile sürekli sisteme dahil edilen biyokütlede ise 8,13 mg/L'ye kadar

ulaşabilmektedir. Ambarlı İBAAT giriş atıksuyundaki Bakır (Cu) konsantrasyonu literatürde inhibisyon yaratabilecek seviyede tesise ulaştığı anlaşılmaktadır.

Toplam Krom parametresinde ise 2022 – 2023 yılı içinde 0,4 mg/L seviyesine kadar çıktığı dönemler belirlenmiştir. 2022 – 2023 yılı Toplam Krom parametresi giriş ortalama değeri 0,1 mg/L olarak ölçülürken, aktif biyokütlede 2,44 mg/L, geri devir çamur bünyesinde ise 6,32 mg/L miktarlarına kadar birikim yaptığı belirlenmiştir. Krom parametresinin 0,25 mg/L aşması durumunda nitrifikasyon bakterilerinin inhibisyona uğradığı belirtilmektedir (Henze, vd., 1995). Başka bir çalışmada da ise 0,5 mg/L Cr(VI) konsantrasyonunun nitrifikasyonu %75 inhibisyona uğrattığı elde edilmiştir (Stasinakis, vd. 2003).

Literatürdeki konsantrasyonlar ile karşılaştırıldığında Çizelge 3.6'daki ölçüm değerleri Kromun inhibisyon yaratacak seviyede olduğu anlaşılmaktadır. Anaerobik çürütme prosesinde aktif biyokütle içerisinde biriken ağır metal iyonlarının sentrat suyuna geçtiği belirlenmiştir. Yapılan analizlere göre çürütme tankında Krom iyonlarının giriş atıksuda ölçülen değer 2,5 kat fazlasının sentrat suyuna geçtiği tespit edilmiştir. Ağır metal analizlerinde giriş atıksuyunda belirlenen Bakır parametresinin 9 kat daha fazlası sentrat suyunda ölçülmüştür. Çizelge 3.6'daki ölçüm değerleri verilen Bakır ve Kromun sentrat suyunda yüksek inhibisyon yaratacak seviyede olduğu belirlenmiştir (İnsel, 2014). Benzer şekilde Krom (Cr) ve Nikelin (Ni) aktif çamur sistemlerinde sadece nitrifikasyon bakterilerinin inhibisyonuna etki etmediği heterotrofik çoğalma ve hidroliz proseslerini etkilediği de yapılan deneysel çalışmalarla kanıtlanmıştır (İnsel, vd., 2006; Stasinakis, vd., 2002; Stasinakis, vd., 2003).

Ağır metal parametresi dışında giriş atıksuyu Siyanür (CN) parametresi ölçümleri incelendiğinde yıllık ortalama 0,0125 mg/L seviyesinde iken bu değer çıkış yıllık ortalama 0,0035 mg/L olarak ölçülmüştür. Gernaey vd. (2003) aktif çamurda 0,078 mg/L siyanür (CN) bulunması durumunda nitrifikasyon bakterilerinin %50 oranında inhibisyona uğrayacağını respirometrik testlerle göstermiştir. Daigger ve Sadick (1998) tarafından yürütülen çalışmada ise 0,1-0,2 mg/L seviyesinde siyanür konsantrasyonunda nitrifikasyon bakterilerinin %50'sinin inhibe olduğu sonucu elde edilmiştir. Yıllık ölçülebilen giriş atıksuyu maksimum değerinin 0,028mg/L olduğu göz önünde bulundurulduğunda nitrifikasyon bakterileri maksimum konsantrasyonlara bağlı inhibisyon oranlarının belirlenmesi önem kazanmaktadır.

Son olarak geri kazanım tesisinden elde edilecek suyun, endüstrilerde veya kentsel sulamada kullanılabilmesi için, en az Teknik Usuller Tebliğinde belirtilen A sınıfı su kalitesinde olması gerekmektedir. Çalışmamızda AKM, BOİ₅, Fekal Koliform, Bulanıklık ve Bakiye klor

ortalama çıkış değerleri A sınıfı su kalitesi limit değerlerin uygun olduğu belirlenmiştir. Teknik usuller tebliğinde belirlenen arıtılmış suların sulama suyu olarak geri kazanılması kriterleri kimyasal kalite değerlendirme tablosunda belirtilen tuzluluk parametrelerinden iletkenlik ve toplam çözünmüş madde (TÇM) ve özgül iyon toksisitesi parametrelerinden klorür limit değerleri tesis çıkış değerleri ile karşılaştırılmıştır. Geçirgenlik parametresi olan sodyum absorpsiyon oranı (SAR) değeri ile özgül iyon toksisitesi parametrelerinden sodyum (Na) ve Bor (B) değerleri çıkış suyu ölçümlerinde yer almadığı için karşılaştırılması yapılamamıştır. Elde edile verilere göre iletkenlik ortalama çıkış değerinin II. Sınıf Su limit değerlerine yani kullanımı kimyasal kalite açısından az- orta zararlı su sınıfına dahil olduğu belirlenmiştir. Tuzluluk çıkış değerleri ise, kimyasal kalite değerlendirmesine göre kullanımında zarar derecesi yok olarak tanımlanan I. Sınıf Su anlamına gelen sınıflandırma kriterine, geri kazanım tesisi klorür çıkış değeri ise; yüzey sulaması ve damlatmalı sulamaya az-orta zararlı su sınıfı olan II. Sınıf Su kriterine uygun olduğu belirlenmiştir.

Dünya genelinde yapılan arıtma sonrası çıkış suyunun sulama suyu olarak kullanılması için Teknik Usuller Tebliği Tablo E7.1’de belirtilen parametrelerle belirlenmiştir. Buna ek olarak halk sağlığı açısından bizim gibi Akdeniz ülkeleri olan Yunanistan, İspanya ve su kıtlığı yaşayan Avustralya’da geçerli olan mikrobiyolojik parametrelerden nematod yumurtaları, *Esheria coli* kullanım kriterlerinde yer almaktadır (Katip, 2018). Aynı şekilde bizim ülkemizde de gerekli düzenlemeler yapılmalı ve bu kriterlerin limit değerleri belirlenmelidir. Ayrıca çalışmamızda da görüldüğü üzere ağır metaller gibi toksik maddeler içeren atıksuların sulama suyu olarak kullanılmasında her ne kadar çıkış limitleri sağlansa dahi ikincil arıtma yapılmadan kullanılmaması toprağın ve yeraltı su kaynaklarının kalitesinin korunması açısından oldukça önemlidir. Geri kazanım çıkış suyunun sulama suyu olarak kullanılması, ağır metallere bağlı toksik etkisinin ortadan kalkması ve mikrobiyal kalitenin sağlık riski taşımayacak düzeyde olabilmesi için arıtma tesislerine endüstriyel deşarjların önlenmesi gerekmektedir.

Ülkemizde geri kazanılan su miktarı son yıllarda giderek artmaktadır. Geri kazanım kapasitesi en yüksek ilimiz %38,8 ile İstanbul iken, ikinci sırada %34,6 ile Kocaeli gelmektedir. Bunu sırası ile; %7,7 ile Antalya, %5,9 ile Ankara, %3,9 Afyon, %3,5 Tekirdağ, %3,1 Bursa, %1,3 Konya, %1,1 Muğla ve %0,1 ile Nevşehir oluşturmaktadır. Evsel ve kensel atıksu arıtma tesislerinden geri kazanılan suyun illere göre dağılımı ise; %57,8 ile ilk sırada Kocaeli, %19,2 İstanbul, %10,8 Bursa, %9,3 Antalya %1,8 Konya ve %1,1 ile Muğla yer almaktadır.

Atıksu arıtma sonrası geri kazanılıp yeniden kullanılan su miktarı 29 milyon 648 bin m³ ve %56,8 ile endüstriyel yeniden kullanım ilk sırada yer alırken, %18 ile tesis içi yeniden kullanım (yeşil alan sulaması, prosesler, yıkama vb) ve %2,62'lik kısım yeşil alan sulamasında kullanılmaktadır (Nas, vd., 2022). Ülke genelinde geri kazanılan atıksuların yeniden kullanımı Antalya Belek bölgesindeki golf sahalarının sulanması için, Konya'da projelendirilen mor şebeke uygulaması ile kentsel yeşil alan sulamasında, Kocaeli'de sanayide, İstanbul Paşaköy tesisi içi ve soğutma suyu olarak kullanımı ve Antalya Hurma'da ise yine soğutma suyu olarak yeniden kullanılmaktadır. Çalışmanın yürütüldüğü İstanbul Ambarlı İBAAT'ta geri kazanılan su endüstriyel amaçlı yeniden kullanılmaktadır.

Türkiyede evsel ve kentsel atıksuların %82,9'u arıtılırken bunun sadece %0,78'i geri kazanılarak yeniden kullanılmaktadır. %82,12'si ise yeniden kullanılmadan çevreye verilmektedir (Nas, vd., 2022). R. Hochstrat'ın atık su geri kazanım sistemleri modellemesine göre, 2025 yılında Türkiye'nin atık su geri kazanım potansiyeli 287 milyon m³/yıl ile Avrupa ülkeleri arasında 4. Sırada olacağı belirlenmiştir (Hochstrat, 2021). Böyle bir potansiyel değerlendirildiğinde arıtılmış atıksuların yeniden kullanımına ilişkin araştırmalar önem kazanmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında yapılan değerlendirmeler yeni çalışmalara örnek teşkil ederek, mevcut mevzuta ek yeni hazırlıklarının yapılması ve alternatif çözümlerin üretilmesi açısından önem kazanmaktadır.

KAYNAKÇA

- Akkaya, G. (2022). Arıtma Çamurları Susuzlaştırma Ekipman Seçimi için çok Kriterli Karar Verme: Ahp Yaklaşımı. *International Jorunal Environmental Trends*, 21-30.
- Ambarlı İBAAT Çamur Hattı Dizayn Raporu. (2019). İSKİ.
- Ambarlı İBAAT Su Hattı Proses Raporu. (2017). İSKİ.
- Aşık, Ş., Avcı, M., & Balcı, A. (1997). Atık suların sulamada kullanım stratejileri. 6. *Ulusal Kültürteknik Kongresi Bildirileri Kitabı*, (s. 564–576). Bursa.
- Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği. (2010, Mart 20). *Resmi Gazete* (27527).
- ATV 131. (2000). GFA Publishing Company of ATV-DVWK Water, Wastewater and Waste. *Dimensioning of Single Stage Activated Sludge Plants*. içinde Hennef, Germany: ISBN: 3-935669-82-8.
- Blumenthal, U., Mara, D., Peasey, A., Ruiz-Palacios, G., & Stot, R. (2000). Guidelines for the microbiological quality of treated wastewater used in agriculture: recommendations for revising WHO guidelines. *Environment and Health*.
- BS EN ISO 11348-3:2008+A1:2018 Water quality. Determination of the inhibitory effect of water samples on the light emission of *Vibrio fischeri* (Luminescent bacteria test). Method using freeze-dried bacteria
- Chipasa, K. B. (2003). Accumulation and fate of selected heavy metals in a biological wastewater treatment system. *Waste Management*, 135–143.
- Daigger, G.T., Sadick, T.E. (1998) Evaluation of Methods to Detect and Control Nitrification Inhibition with Specific Application to Incinerator Flue-Gas Scrubber Water, *Water Environ. Res.*, 70(7), 1248-1257.
- Debik, E., Manav, N., & Coşkun, T. (2008). *Biyolojik Temel İşlemler Ders Notları*. İstanbul.
- EPA. (2022). *Nitrification*. US Environmental Protection Agency, Office of Ground Water and Drinking Water Standards and Risk Management Division. Washington: AWWA With assistance from Economic and Engineering Services, Inc.
- Filibeli, B. &. (2009). *Anaerobik Arıtma* (Cilt 206). Dokuz Eylül Mühendislik Fakültesi Yayınları.
- Gernaey, K., Verschuere, L., Luyten,, L., Verstraece, W. (1997) Fast and Sensitive Acute Toxicity Detection with an Enrichment Nitrifying Culture, *Water Environ. Res.*, 67(6),1163-1169.

- Gunes, G., Hallac, E., Ozgan, M., Erturk, A., Okutman Tas, D., Cokgor, E., Guven, D., Takács, I., Erdinçler, A., Insel, G. (2019) Enhancement of nutrient removal performance of activated sludge with a novel hybrid biofilm process, *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 42(3), 379-390.
- Güven, D., Hanhan, O., Aksoy, E. C., Insel, G., Çokgör, E. (2017). Impact of paint shop decanter effluents on biological treatability of automotive industry wastewater, *Journal of Hazardous Materials*, ISSN 0304-3894, 61-67.
- Hassas Su Kütleleri ile Bu Kütleleri Etkileyen Alanların Belirlenmesi ve Su Kalitesinin İyileştirilmesi Hakkındaki Yönetmelik. (2016, Aralık 23). *T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*
- Henze, M., Harremoës, P., Janseni, J.C., Arvin, E. (1995) Biological and Chemical Processes, in *Wastewater Treatment*, Springer-Verlag, Berlin, Almanya.
- Hochstrat, R., Wintgens, T., Melin, T., ve Jeffrey, P. (2021). Wastewater Reclamation and Reuse in Europe: A Model-Based Potential Estimation.
- Hu, Z., Chandran, K., Grasso, D., Smets, B.F. (2003a) Impact of Metal Sorption and Internalization on nitrification inhibition, *Environ. Sci. Technol*, 37, 728-734.
- Hu, Z.R., Sotemann, S., Moodley, R., Wentzel, M.C., Ekama, G.A. (2003b) Experimental investigation of the external nitrification biological nutrient removal activated sludge (ENBNRAS) system, *Biotechnol. Bioeng.*, 83(3), 260-273.
- Insel, G., Erol, S., Ovez, S. (2014) Effect of simultaneous nitrification and denitrification on nitrogen removal performance and filamentous microorganism diversity of a full-scale MBR plant, *Bioprocess and Biosyst. Eng.*, 37(11), 2163-2173.
- İnsel, G. (2019). *Atıksu Yönetimi Standardizasyon Projesi-1 İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi Deneysel Karakterizasyon ve Dinamik Koşullarda Modellenmesi 2. Ara Rapor*.
- İnsel, G., Artan, N., Çokgör, E., Okutman Taş, D., Akça Güven, D., Zengin Balcı, G., & Özyıldız, G. (2022). *Kentsel Atıksu Arıtma Tesisleri Proses Seçimi, Tasarımı ve Modellenmesi El Kitabı*. İstanbul: İSKİ.
- İnsel, G., Ubay, Çokgör, E., & Okutman Taş, D. (2020). *Atıksu Yönetimi Standardizasyon Projesi-1: İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi Deneysel Karakterizasyon ve Dinamik Koşullarda Modellenmesi, Final Raporu*. İTÜ-NOVA.
- Juliastuti, S.R., Baeyens, J., Creemers, C., Bixio, D., Lodewyckx, E. (2003) The inhibitory effects of heavy metals and organic compounds on the net maximum specific growth rate of the autotrophic biomass in activated sludge, *J. Hazard. Materials.*, B100, 271-283.

- Katip, A., (2018), Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanım Alanlarının Değerlendirilmesi, ÖHÜ Müh. Bilim. Derg. / OHU J. Eng. Sci., Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 7, Sayı 2, Bursa, Türkiye, 541-557
- Kentsel Atıksuların Arıtılması Yönetmeliği. (2006, Ocak 8) *Resmî Gazete* (26047)
- Koyuncu, İ., Öztürk, İ., Aydın, A., Alp, K., Arıkan, O., Özüdoğru, A. (2013). *Atıksu Arıtma Tesisleri Tasarım Rehberi*. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü.
- Mamais, D., Noutsopoulos, C., Stasinakis, A., Kouris, N., & Andreadakis, A. (2008, Haziran). Comparison of Bioluminescence and Nitrification Inhibition Methods for Assessing Toxicity to Municipal Activated Sludge. *Water Environment Research*, 484-489.
- Melcer, M., Dold, P., Jones, R.M., Bye, C.M., Takacs, I., Stensel, H.D., Wilson, A.W., Sun, P., Bury, S. (2003) Methods for wastewater characterization in activated sludge modeling, Water Environment Research Federation, International Water Association, Alexandria, ABD. ISBN: 1-893664-71-6.
- Metcalf, L. E., Eddy, H., & Tchobanoglous, G. (2003). *Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse* (Cilt 4). New York, McGraw-Hill.
- Microtox Model 500 Analyzer Cihaz Kullanım Rehberi
- Müller, J., Winter, A., & Strükmann, G. (2004). Investigation and assessment of sludge pre-treatment processes. *Water Science Technology*, 97-104.
- Nas, B., Uyanık, S., Aygün, A., Doğan, S., Dolu, T., Cop, M., Nas, K., Turgut, S. (2018). *Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanımı Projesi Nihai Raporu*. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. Selçuk Üniversitesi.
- Odell, L., Kirmeyer, G., Wilczak, A., Jacangelo, J., Marcinko, J., & Wolfe., R. (1996). Controlling Nitrification in Chloraminated Systems. 86-98.
- Orhon, D., & Artan, N. (1997). Energetics of Microbial Processes. *Modeling of Activated Sludge Systems*.
- Öztürk, İ., Çallı, B., Arıkan, O., & Altınbaş, M. (2015). *Atıksu Arıtma Çamurlarının İşlenmesi ve Bertarafı*. Ankara.
- Öztürk, İ., Timur, H., & Koşkan, U. (2005). *Atıksu Arıtımının Esasları: Evsel, Endüstriyel Atıksu Arıtımı ve Arıtma Çamurlarının Kontrolü*.
- Personee, G., Goyvaerts, M., Janssen, C., de Coen, W., & Vangheluwe, M. (1993). *Cost-effective acute hazard monitoring of polluted waters and waste drums with the aid of Toxkits. Final Report*. University of Ghent. Belgium: CEC Contract ACE 89/BE 2/D3.

- Pollard, P. C. (2006). A quantitative measure of nitrifying bacterial growth. *Water Research*, 40(8), 1569-1576.
- Raclavska, H., Drozdova, J., & Hartmann, S. (2021, Mart). Municipal wastewater toxicity evaluation with *Vibrio fisheri*, Energy Units for Utilization of non Traditional Energy Sources ENET. *International Journal of Energy and Environment*.
- Rao, A. S., Jha, P., Meena, B. P., Biswas, A.K., Lakaria, B. L. & Patra, A. K. (2017). Nitrogen Processes in Agroecosystems of India, *The Indian Nitrogen Assessment*, Elsevier, 59-76
- Rochmah, W., & Mangkoedihardjo, S. (2020). Toxicity Effects of Organic Substances on Nitrification Efficiency. *Earth and Environmental Science*.
- Sağlık Bakanlığı Yüzme Suyu Kalitesinin Yönetimine Dair Yönetmelik. (2019, Eylül 25). *T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*
- SKKY. (2004). *Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği*. Ankara: 25687 Sayılı Resmi Gazete.
- Stasinakis, A.S, Thomaidis, N.S, Mamais, D., Papanikolaou, E.C., Tsakon, A, Lekkas, T.D. (2003) Effects of chromium (VI) addition on the activated sludge process, *Water Res.*, 37(9), 2140-2148.
- Stasinakis, A.S.; Mamais, D.; Thomaidis, N.S.; Lekkas, T.D. (2002) Effect of Chromium (VI) addition on bacterial kinetics of heterotrophic biomass of activated sludge. *WaterRes*, 36, 3341–3349.
- Strotmann, U., Flores, D., Konrad, O., & Gendig, C. (2020). Bacterial Toxicity Testing: Modification and Evaluation of the Luminescent Bacteria Test and the Respiration Inhibition Test. *Processes*.
- Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Numune Alma ve Analiz Metodları Tebliği. (2009, Ekim 10). *Resmi Gazete* (27372)
- Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği. (2004). *Resmi Gazete* (25687).
- Tema Vakfı*. (tarih yok). Su Tema: <https://sutema.org/> adresinden alındı
- Truhaut, R. (1977). Ecotoxicology: Objectives, principles and perspectives. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 151-173.
- TÜİK*. (tarih yok). Türk İstatistik Kurumu: <https://www.tuik.gov.tr> adresinden alındı
- Türkmenler, H., Dilekoğlu, M., Aslan, M., & Can, Z. (2018). Arıtma Çamurundan Biyogaz Üretimi: Adıyaman İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi Örneği. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 59-62.

- Üstün, G., & Solmaz, S. (2008). Atıksuların Geri Kazanımı ve Tarımsal Sulama İçin Tekrar Kullanımının Değerlendirilmesi. *Su Tüketimi Arıtma Yeniden Kullanım Sempozyumu*, (s. 339-346). İznik.
- Ward, B. (2013). Nitrification. B. B. Ward içinde, *Encyclopedia of Ecology* (s. 351-358).
- Watson, S., Valos, F., & Waterbury, J. (1981). *In The Prokaryotes*. Berlin: Springer-Verlag.
- You, S.J., Tsai, Y.P., Huang, R.Y. (2000). Effect of heavy metals on nitrification performance in different activated sludge processes, *J. Hazard. Materials.*, 165, 987-994.



EK-1. NİTRİFİKASYON HIZI TESPİTİ DENEYSEL PROSEDÜRÜ

(İnsel, vd., 2020)

Nitrifikasyon bakterilerinin net spesifik hızı ölçümü için uygulanan deneysel prosedür aşağıda özetlenmiştir:

1. İleri biyolojik atıksu arıtma tesisi çıkış suyundan 4 litrelik numune alınarak 5 litrelik su ceketli reaktöre konulur. Çıkış suyunun askıda katı maddesinin mümkün olduğunca düşük olması gereklidir.
2. Çıkış suyunun pH'sına bakılarak 7 – 7,5 seviyesine ayarlanır.
3. Su sirkülatörüne bağlı ısı reaktör için su sıcaklığı istenilen seviyeye getirilir (15, 25 °C).
4. Reaktör manyetik karıştırıcı üzerine yerleştirilir, oksijen transferi için kullanılan havataşı reaktörün duvarına vantuz ile sabitlenir.
5. Akvaryum pompası yardımıyla havalandırılarak oksijen transferi sağlanır. Çözünmüş oksijen konsantrasyonu 2 mg O₂/L'nin üzerinde olmalıdır.
6. Deney sırasında pH kontrolü için CO₂ gazı dozlaması otomatik olarak yapılır. pH 7,2-7,8 seviyesine ayarlanacak şekilde CO₂ dozlaması ayarlanır. CO₂'in dozlanması basınçlı tüp, basınç regülatörü, mass flowmetre kullanılmalı ve suya transferi için seramik difüzör kullanılmalıdır.
7. Deney öncesinde NH₄Cl stok çözeltisi hazırlanır. Reaktöre 70-80 mg N/L başlangıç konsantrasyonunda olacak şekilde pipet yardımıyla ekleme yapılır.
8. Nitrifikasyonunda alkalinite eksikliğinin yaşanmaması için konulan amonyum azotunun 7,14 katı kadar CaCO₃ alkalinitesi deneyin başında ilave edilir.
9. Aktif çamur havalandırma havuzlarından alınan 70 – 100 mL tam karışım çamur numunesi ceketli reaktör içine konularak havalandırmaya 5 – 10 gün süre boyunca devam edilir.
10. Her gün en az 1 defa 0,45 mikron membran filtreden geçirilen numunede NO_x analizi gerçekleştirilir.
11. Zamana karşı çizilen NO_x profili izlenerek konulan amonyum azotu seviyesine ulaşıldığında deney bitirilir.
12. Elde edilen grafiğe Denklem 1'deki ifade kullanılarak eğriye uydurma yöntemi ile maksimum çoğalma hızı tayin edilir.

EK-2. ÇEŞİTLİ SEYRELTMELERİ HAZIRLANAN ATIKSULARIN TOKSİSİTELERİNİN “LIQUID DRIED BACTERIA” VE “MICROTOX MODEL 500 ANALYZER” TOKSİSİTE ÖLÇÜM PROSEDÜRÜ

Yöntemin Esası ve Prensipleri

Çeşitli seyreltmeleri hazırlanan atıksuların toksisitelerinin “Liquid Dried Bacteria” ve “Microtox Model 500 Analyzer” Toksikite Ölçüm cihazı kullanarak luminesans değerlerindeki azalmanın ölçülmesi ile belirlenmesidir.

Kaynak

- Microtox Model 500 Analyzer cihaz kullanım rehberi
- BS EN ISO 11348-3:2008+A1:2018 Water quality. Determination of the inhibitory effect of water samples on the light emission of *Vibrio fischeri* (Luminescent bacteria test). Method using freeze-dried bacteria

Numune Hazırlama ve Deneyin Yapılışı

Microtox Acute Reagent Hazırlanışı

- Reconstitution solution: +4 C’de saklanır.
- NaCl (2 %): -20 C’de saklanır ve deneyden 2 – 3 saat önce oda sıcaklığında çözülmeye bırakılır
- Liquid Dried Bacteria: Deney anına kadar -20 C’de saklanır.

Toksitesini belirlenecek su numunesi (500 mL) örneklemeyi takiben soğuk ve korumalı bir ortamda en kısa sürede laboratuvara taşınır, süzülür (0,45 µm), pH’sı ölçülür ve derin dondurucuda en çok 1 hafta saklanır. Örnekleme 2 saatlik kompozit olarak yapılmalıdır.

Atıksu Numunelerini Hazırlama

- Atıksuyun 100 mL’sine 2 gr NaCl eklenerek iyice çözülür.
- Cihazın A ve B sıralarına 5’er adet boş seyreltme tüpleri yerleştirilir; A sırası atıksu seyreltmelerini; B sırası ise luminesans okumalarını yapmak için kullanılır*.

Atıksu seyreltmeleri aşağıdaki gibi yapılır:

A1: 1000 µL 2 % NaCl çözeltisi

A2: 1000 µL 2 % NaCl çözeltisi

A3: 1000 µL 2 % NaCl çözeltisi

A4: 1000 µL 2 % NaCl çözeltisi

A5: 250 µL osmotik ayarlama çözeltisi (OAS) + 2500 µL konsantre tuzlandırılmış atıksu numunesi (mikropipet yardımı ile karıştırıldıktan sonra 750 µL'si dışarı atılır)

Hazırlanan A5' ten A4' e 1000 µL eklenir ve mikropipet yardımı ile karıştırılır.

A4'ten A3'e 1000 µL eklenir ve mikropipet yardımı ile karıştırılır.

A3'ten A2'ye 1000 µL eklenir ve mikropipet yardımı ile karıştırılır.

Son olarak A2'den 1000 µL alınır ve dışarı atılır.

A1'e herhangi bir ilave yapılmaz.

Bu şekilde aşağıdaki seyreltmeler elde edilir:

A1: Kontrol çözeltisi

A2: 1:8 seyreltilmiş atıksu (Bakteri solüsyonu eklenince = % 11,14)

A3: 1:4 seyreltilmiş atıksu (Bakteri solüsyonu eklenince = % 22,28)

A4: 1:2 seyreltilmiş atıksu (Bakteri solüsyonu eklenince = % 44,56)

A5: Konsantre atıksu (Bakteri solüsyonu eklenince = % 89,12)

Bakteri Çözeltisini Hazırlama

- “Reconstitution Solution” iyice karıştırılır cihazın reagant haznesine yerleştirilen vial e 1000 µL ilave edilir, 5 – 10 dakika beklenir.
- -20 C ‘ den “Liquid Dried Bacteria” şişesi çok fazla hareket ettirmeden alınır, önce gözle kontrol edilir. Eğer üst ve yan kısımlarda kalıntı var ise hafifçe sallanarak bu bakteri kalıntılarının dibe inmesi sağlanır.
- Reagant haznesinde bekleyen Reconstitution Solution ‘dan 1000 µL alınarak “Liquid Dried Bacteria” şişesine eklenir ve hafifçe çalkalanır.

- Hazırlanan bakteri çözeltilisi tekrar reagent vialine aktarılır ve vialdeki bakteri çözeltilisi en az 10 defa mikropipet yardımıyla yavaşça karıştırılır.
- Son olarak hazırlanan bakteri vial reagent haznesine yerleştirilir ve uygun sıcaklığa gelebilmesi için 15 dakika beklenir.

Test Aşaması

Bakteri ve (seyreltilmiş) atıksu numuneleri test için hazırlanmıştır.

Cihaz ve bağlı bilgisayar hazır hale getirilir. Bilgisayar ekranında testin nasıl devam edeceği ile ilgili açıklamalar ve zamanlama verilmektedir. Bu direktifler doğrultusunda test işlemleri yapılır.

Sonuçlar bilgisayar ekranında cihaz tarafından BS EN ISO 11348-3 kalite standardına uygun olarak hesaplanmış şekilde verilmektedir. Örneklerle yapılan test sonuçlarında ise örnek konsantrasyon miktarı bilinmediğinden dolayı sonuçlar EC50 değerine tekabül eden örneğin % konsantrasyon değeri cinsinden (%) verilir.

EK-3. MICROTOX MODEL 500 TOKSİSİTE ÖLÇÜM SONUÇLARI

MicrotoxOmni Sample Results Report

Result Name: Proses Çamur (ELUAT)

Test Date/Time: 07.11.2023 10:01:25

Sample Name: Proses Oxid 6

Test Name: Basic Test

Description:

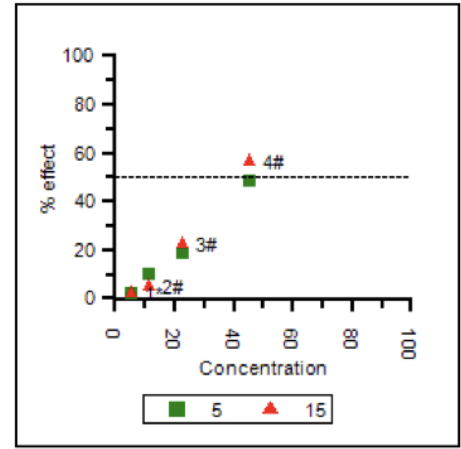
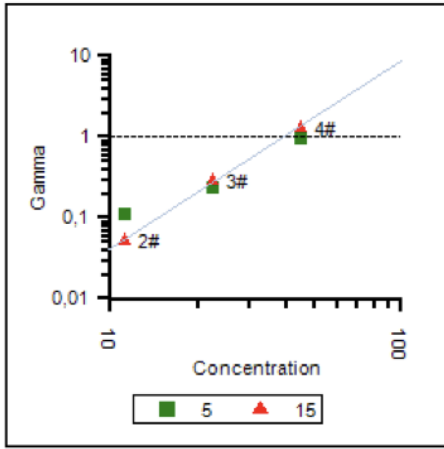
Instrument ID: _MASTER

Toxicant:

Reagent Lot #:

Test Location: end.hiz

User ID: MANAGER



Time	Sample	Conc	I0	It	Gamma	%Effect
5 Mins						
	Control	0,00	95	77	0,8164#	
	1	5,63	98	78	0,0224*	2,19%
	2	11,25	118	87	0,1085#	9,79%
	3	22,50	91	60	0,2296#	18,67%
	4	45,00	122	51	0,9428#	48,53%
15 Mins						
	Control	0,00	95	65	0,6920#	
	1	5,63	98	66	0,0248*	2,42%
	2	11,25	118	78	0,0529#	5,03%

MicrotoxOmni Sample Results Report

Result Name: **Aktif Karbon Sonrası**

Test Date/Time: 25.08.2023 12:14:19

Sample Name: 1

Test Name: Basic Test

Description:

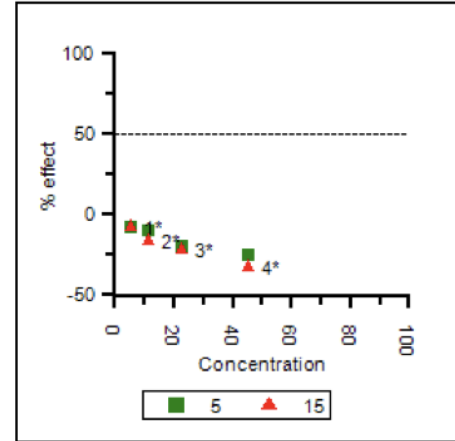
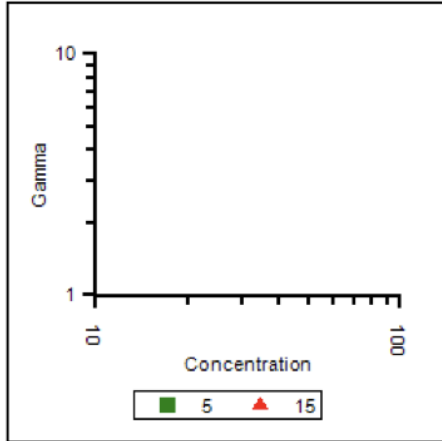
Instrument ID: _MASTER

Toxicant:

Reagent Lot #:

Test Location: end.hizmet

User ID: MANAGER



Time	Sample	Conc	I0	It	Gamma	%Effect
5 Mins						
	Control	0,00	93	95	1,020#	
	1	5,63	93	101	-0,0672*	-7,21%
	2	11,25	98	109	-0,0853*	-9,33%
	3	22,50	90	110	-0,1633*	-19,51%
	4	45,00	88	113	-0,2002*	-25,04%
15 Mins						
	Control	0,00	93	99	1,060#	
	1	5,63	93	106	-0,0752*	-8,13%
	2	11,25	98	120	-0,1385*	-16,07%

MicrotoxOmni Sample Results Report

Result Name: Tesis Çıkış- Geri Kazanım Giriş

Test Date/Time: 25.08.2023 12:14:19

Sample Name: 2

Test Name: Basic Test

Description:

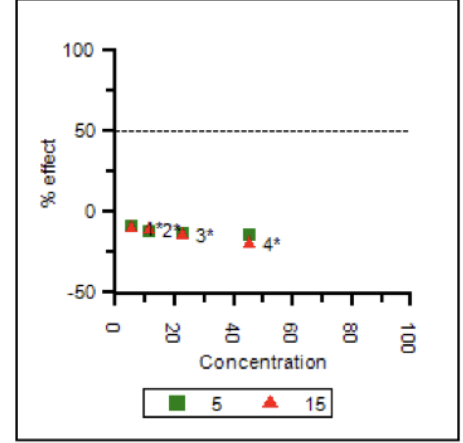
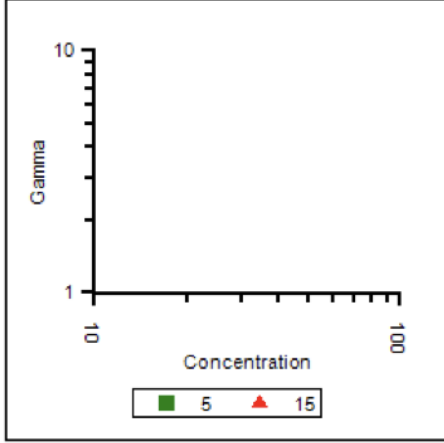
Instrument ID: _MASTER

Toxicant:

Reagent Lot #:

Test Location: end.hizmet

User ID: MANAGER



Time	Sample	Conc	I0	It	Gamma	%Effect
5 Mins						
	Control	0,00	100	100	1,002#	
	1	5,63	97	106	-0,0814*	-8,87%
	2	11,25	92	103	-0,1052*	-11,76%
	3	22,50	90	102	-0,1124*	-12,66%
	4	45,00	93	107	-0,1245*	-14,22%
15 Mins						
	Control	0,00	100	105	1,054#	
	1	5,63	97	112	-0,0878*	-9,62%
	2	11,25	92	107	-0,0965*	-10,68%

MicrotoxOmni Sample Results Report

Result Name: Ultrafiltrasyon Çıkaşı

Test Date/Time: 25.08.2023 12:14:19

Sample Name: 3

Test Name: Basic Test

Description:

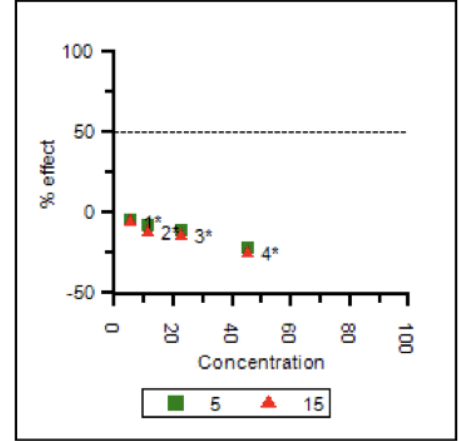
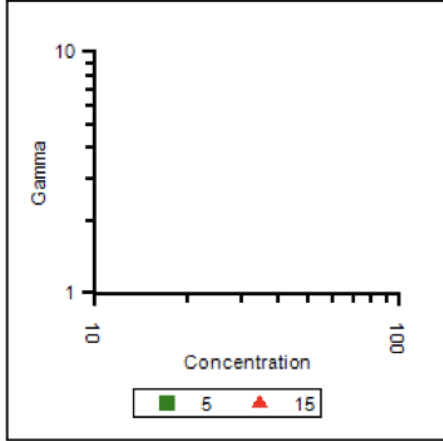
Instrument ID: _MASTER

Toxicant:

Reagent Lot #:

Test Location: end.hizmet

User ID: MANAGER



Time	Sample	Conc	I0	It	Gamma	%Effect
5 Mins						
	Control	0,00	104	104	1,003#	
	1	5,63	96	100	-0,0368*	-3,82%
	2	11,25	98	106	-0,0745*	-8,05%
	3	22,50	97	107	-0,0942*	-10,40%
	4	45,00	85	104	-0,1802*	-21,98%
15 Mins						
	Control	0,00	104	106	1,022#	
	1	5,63	96	104	-0,0562*	-5,95%
	2	11,25	98	112	-0,1098*	-12,34%

MicrotoxOmni Sample Results Report

Result Name: % 100 Sentrat Numunesi

Test Date/Time: 25.08.2023 14:55:17

Sample Name: 4-tekrar

Test Name: 81.9% Basic Test

Description:

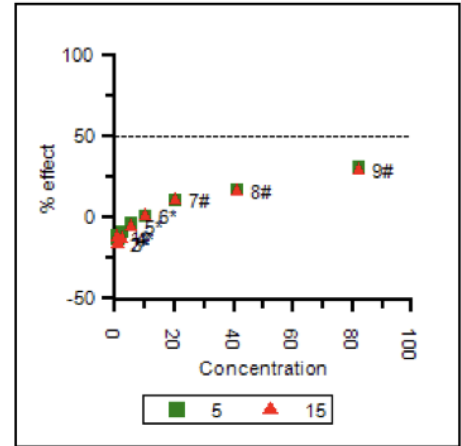
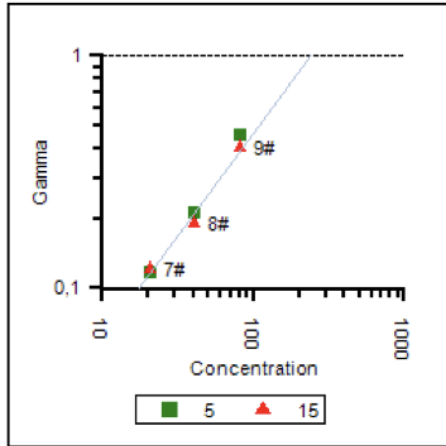
Instrument ID: _MASTER

Toxicant:

Reagent Lot #:

Test Location: end.hiz

User ID: MANAGER



Time	Sample	Conc	IO	It	Gamma	%Effect
5 Mins						
	Control	0,00	96	121	1,269#	
	1	0,32	87	122	-0,0967*	-10,71%
	2	0,64	85	123	-0,1180*	-13,38%
	3	1,28	84	121	-0,1177*	-13,34%
	4	2,56	85	118	-0,0826*	-9,00%
	5	5,12	91	120	-0,0348*	-3,60%
	6	10,24	87	110	0,0063*	0,62%
	7	20,48	87	99	0,1180#	10,55%
	8	40,95	85	89	0,2110#	17,42%
	9	81,90	89	78	0,4551#	31,28%

MicrotoxOmni Sample Results Report

Result Name: Ön Çöktürme Çıkış

Test Date/Time: 25.08.2023 12:46:57

Sample Name: 5

Test Name: Basic Test

Description:

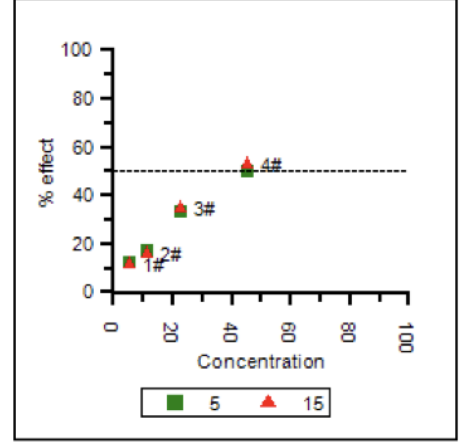
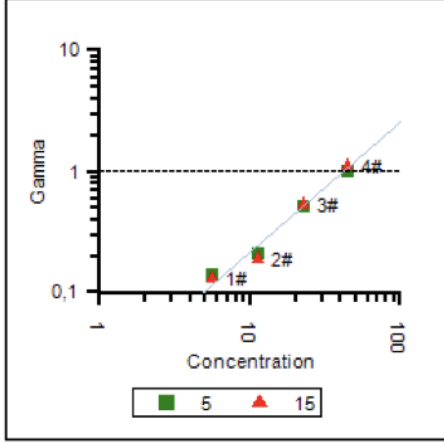
Toxicant:

Test Location: end.hizmet

Instrument ID: _MASTER

Reagent Lot #:

User ID: MANAGER



Time	Sample	Conc	IO	It	Gamma	%Effect
5 Mins						
	Control	0,00	85	85	0,9924#	
	1	5,63	91	79	0,1387#	12,18%
	2	11,25	85	70	0,2053#	17,04%
	3	22,50	91	60	0,5070#	33,64%
	4	45,00	90	45	1,004#	50,09%
15 Mins						
	Control	0,00	85	90	1,050#	
	1	5,63	91	84	0,1320#	11,66%
	2	11,25	85	75	0,1891#	15,90%

MicrotoxOmni Sample Results Report

Result Name: Tesis Giriş (Kompozit)

Test Date/Time: 25.08.2023 12:46:57

Sample Name: 6

Test Name: Basic Test

Description:

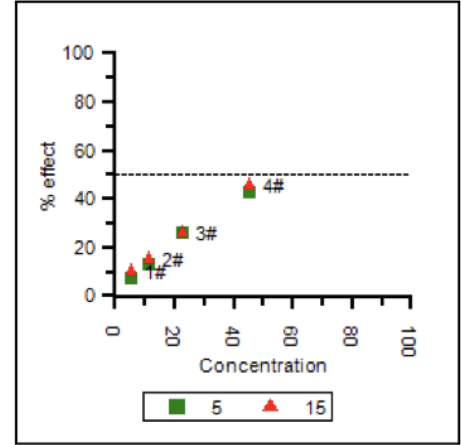
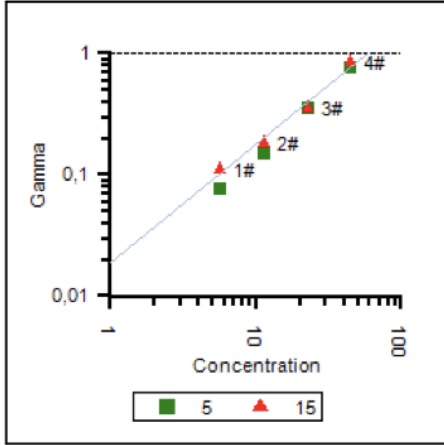
Instrument ID: _MASTER

Toxicant:

Reagent Lot #:

Test Location: end.hizmet

User ID: MANAGER



Time	Sample	Conc	IO	It	Gamma	%Effect
5 Mins						
	Control	0,00	90	87	0,9697#	
	1	5,63	86	77	0,0775#	7,19%
	2	11,25	94	79	0,1487#	12,94%
	3	22,50	92	66	0,3583#	26,38%
	4	45,00	91	50	0,7533#	42,96%
15 Mins						
	Control	0,00	90	94	1,046#	
	1	5,63	86	81	0,1107#	9,96%
	2	11,25	94	83	0,1808#	15,31%

|

Sayfa 1 / 3

MicrotoxOmni Sample Results Report

Result Name: **Proses (Süpernatant)**

Test Date/Time: 25.08.2023 13:25:42

Sample Name: 7

Test Name: Basic Test

Description:

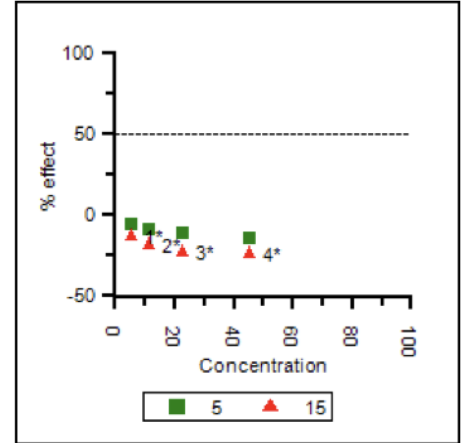
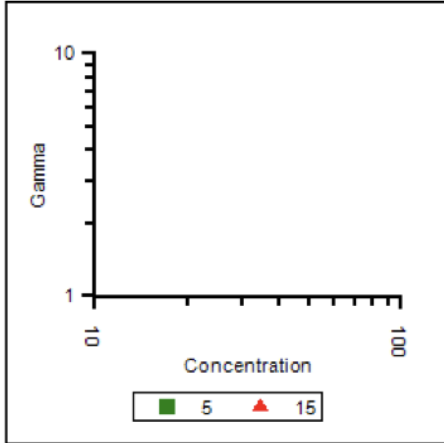
Instrument ID: _MASTER

Toxicant:

Reagent Lot #:

Test Location: end.hizmet

User ID: MANAGER



Time	Sample	Conc	I0	It	Gamma	%Effect
5 Mins						
	Control	0,00	74	84	1,138#	
	1	5,63	75	90	-0,0475*	-4,99%
	2	11,25	70	87	-0,0801*	-8,71%
	3	22,50	64	81	-0,1007*	-11,20%
	4	45,00	65	84	-0,1200*	-13,63%
15 Mins						
	Control	0,00	74	93	1,271#	
	1	5,63	75	108	-0,1179*	-13,36%
	2	11,25	70	106	-0,1585*	-18,84%

MicrotoxOmni Sample Results Report

Result Name: %50 Sentrat

Test Date/Time: 25.08.2023 13:25:42

Sample Name: 8

Test Name: Basic Test

Description:

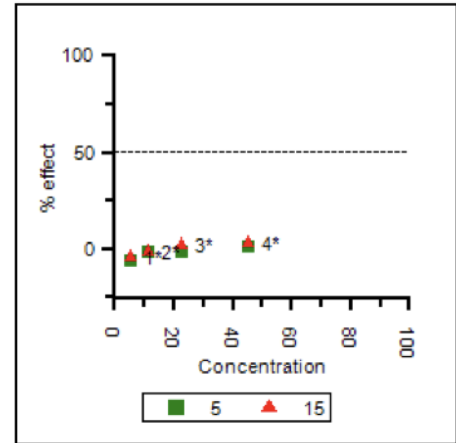
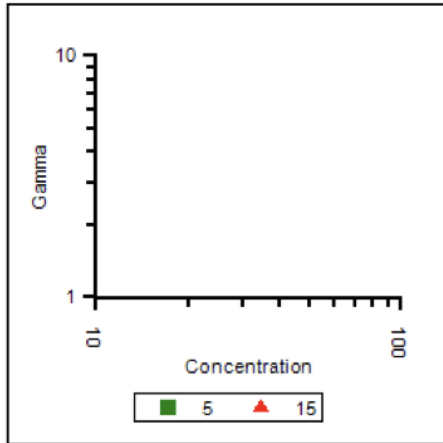
Instrument ID: _MASTER

Toxicant:

Reagent Lot #:

Test Location: end.hizmet

User ID: MANAGER



Time	Sample	Conc	I0	It	Gamma	%Effect
5 Mins						
	Control	0,00	80	89	1,120#	
	1	5,63	73	87	-0,0594*	-6,32%
	2	11,25	77	87	-0,0148*	-1,50%
	3	22,50	72	81	-0,0111*	-1,12%
	4	45,00	64	71	0,0109*	1,08%
15 Mins						
	Control	0,00	80	103	1,291#	
	1	5,63	73	99	-0,0436*	-4,56%
	2	11,25	77	101	-0,0151*	-1,53%

MicrotoxOmni Sample Results Report

Result Name: **Sentrat Max. (%1.04)**

Test Date/Time: 25.08.2023 13:25:42

Sample Name: 9

Test Name: Basic Test

Description:

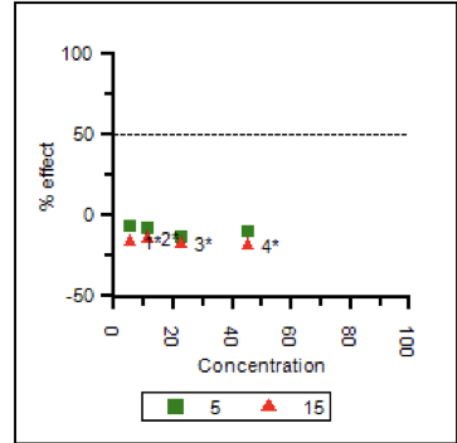
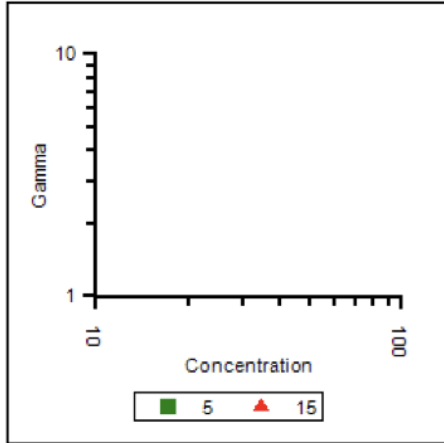
Instrument ID: _MASTER

Toxicant:

Reagent Lot #:

Test Location: end.hizmet

User ID: MANAGER



Time	Sample	Conc	I0	It	Gamma	%Effect
5 Mins						
	Control	0,00	72	82	1,136#	
	1	5,63	68	82	-0,0629*	-6,71%
	2	11,25	71	87	-0,0739*	-7,98%
	3	22,50	69	88	-0,1129*	-12,73%
	4	45,00	70	86	-0,0861*	-9,43%
15 Mins						
	Control	0,00	72	90	1,250#	
	1	5,63	68	98	-0,1391*	-16,16%
	2	11,25	71	101	-0,1279*	-14,67%

MicrotoxOmni Sample Results Report

Result Name: **Sentrat Ortalama (%0,39)**

Test Date/Time: 25.08.2023 13:59:05

Sample Name: 10

Test Name: Basic Test

Description:

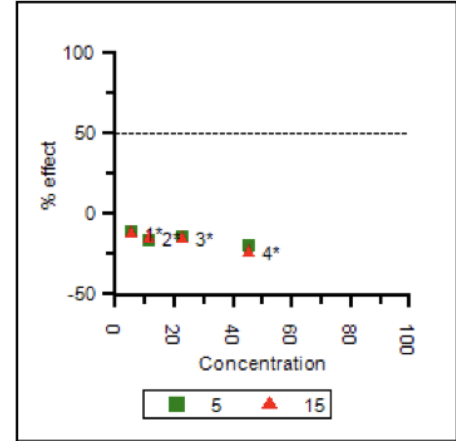
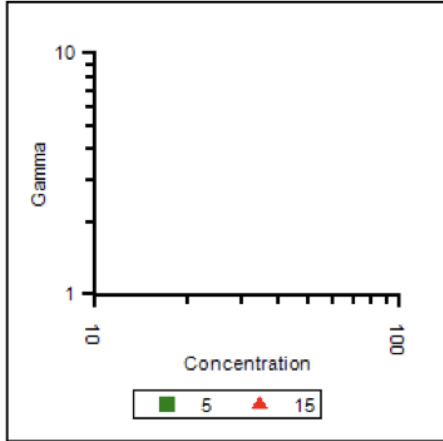
Instrument ID: _MASTER

Toxicant:

Reagent Lot #:

Test Location: end.hizmet

User ID: MANAGER



Time	Sample	Conc	I0	It	Gamma	%Effect
5 Mins						
	Control	0,00	93	95	1,023#	
	1	5,63	88	99	-0,0951*	-10,51%
	2	11,25	89	106	-0,1388*	-16,11%
	3	22,50	88	103	-0,1273*	-14,59%
	4	45,00	80	98	-0,1647*	-19,72%
15 Mins						
	Control	0,00	93	110	1,176#	
	1	5,63	88	115	-0,1034*	-11,53%
	2	11,25	89	121	-0,1301*	-14,95%

MicrotoxOmni Sample Results Report

Result Name: Sentrat Min.(%0,18)

Test Date/Time: 25.08.2023 13:59:05

Sample Name: 11

Test Name: Basic Test

Description:

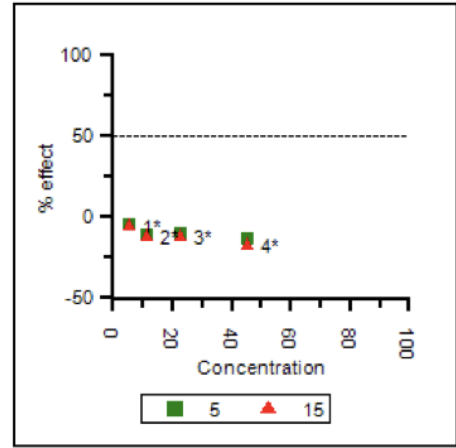
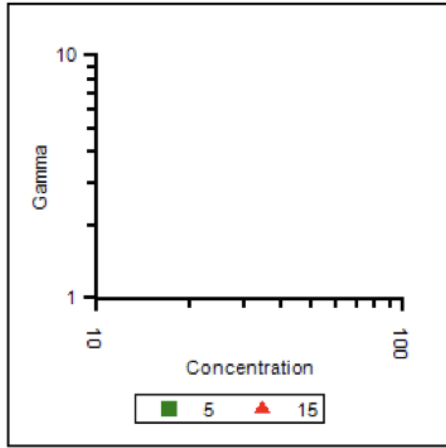
Instrument ID: _MASTER

Toxicant:

Reagent Lot #:

Test Location: end.hizmet

User ID: MANAGER



Time	Sample	Conc	IO	It	Gamma	%Effect
5 Mins						
	Control	0,00	95	101	1,059#	
	1	5,63	92	101	-0,0383*	-3,98%
	2	11,25	89	104	-0,0940*	-10,37%
	3	22,50	86	100	-0,0916*	-10,08%
	4	45,00	88	105	-0,1134*	-12,79%
15 Mins						
	Control	0,00	95	113	1,186#	
	1	5,63	92	115	-0,0547*	-5,79%
	2	11,25	89	119	-0,1101*	-12,38%

MicrotoxOmni Sample Results Report

Result Name: Geri Devir Çamur (ELUAT)

Test Date/Time: 07.11.2023 10:01:25

Sample Name: Geri Devir 1-2

Test Name: Basic Test

Description:

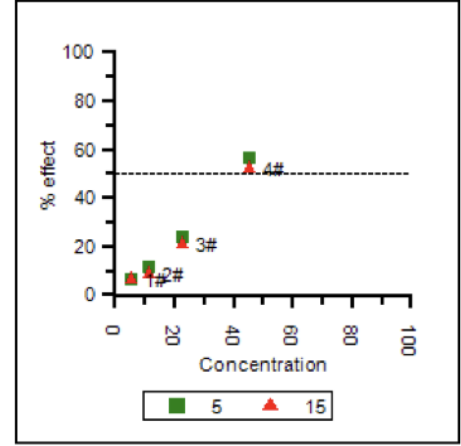
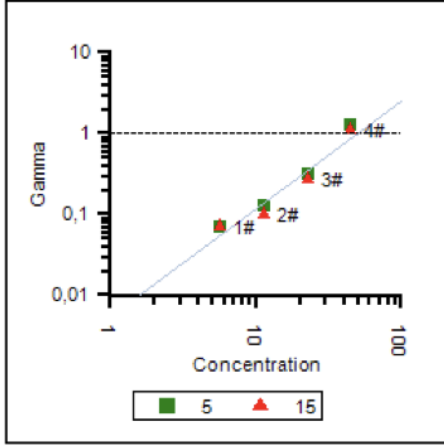
Instrument ID: _MASTER

Toxicant:

Reagent Lot #:

Test Location: end.hiz

User ID: MANAGER



Time	Sample	Conc	I0	It	Gamma	%Effect
5 Mins						
	Control	0,00	91	72	0,7894#	
	1	5,63	82	60	0,0696#	6,50%
	2	11,25	82	57	0,1284#	11,38%
	3	22,50	106	64	0,3149#	23,95%
	4	45,00	77	26	1,288#	56,28%
15 Mins						
	Control	0,00	91	62	0,6857#	
	1	5,63	82	52	0,0709#	6,62%
	2	11,25	82	51	0,0990#	9,01%

|

Sayfa 1 / 3

MicrotoxOmni Sample Results Report

Result Name: Geridevir Süpernatant

Test Date/Time: 25.08.2023 13:25:42

Sample Name: 12

Test Name: Basic Test

Description:

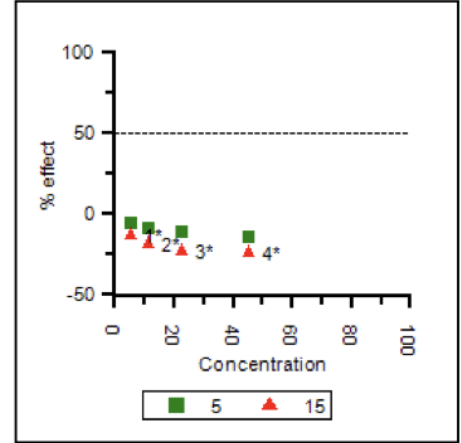
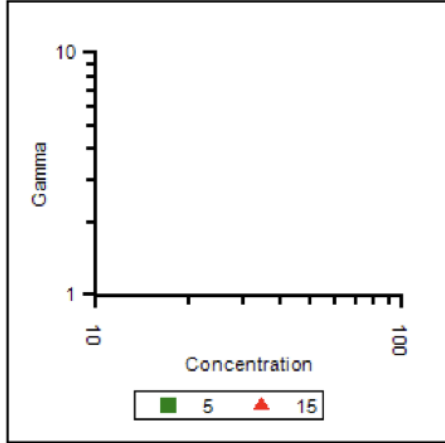
Instrument ID: _MASTER

Toxicant:

Reagent Lot #:

Test Location: end.hizmet

User ID: MANAGER



Time	Sample	Conc	IO	It	Gamma	%Effect
5 Mins						
	Control	0,00	74	84	1,138#	
	1	5,63	75	90	-0,0475*	-4,99%
	2	11,25	70	87	-0,0801*	-8,71%
	3	22,50	64	81	-0,1007*	-11,20%
	4	45,00	65	84	-0,1200*	-13,63%
15 Mins						
	Control	0,00	74	93	1,271#	
	1	5,63	75	108	-0,1179*	-13,36%
	2	11,25	70	106	-0,1585*	-18,84%