



**T.C.
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**İZNİK VE YENİŞEHİR BELEDİYESİ ATIKSU ARITMA TESİSLERİNİN
PERFORMANS VE ENERJİ VERİMLİLİĞİ AÇISINDAN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Burkay BARCA

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

TEMMUZ 2024

**T.C.
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**İZNİK VE YENİŞEHİR BELEDİYESİ ATIKSU ARITMA TESİSİLERİNİN
PERFORMANS VE ENERJİ VERİMLİLİĞİ AÇISINDAN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Burkay BARCA

(21434980001)

ORCID: 0000-0002-2784-0355

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Çevre Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı**

Danışman: Prof. Dr. Deniz UÇAR

ORCID: 0000-0002-0536-6250

TEMMUZ 2024

BTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 21434980001 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Burkey BARCA, ilgili yönetmeliklerin belirlediğı gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “İZNİK VE YENİŞEHİR BELEDİYESİ ATIKSU ARITMA TESİSLERİNİN PERFORMANS VE ENERJİ VERİMLİLİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Deniz UÇAR**
Bursa Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç.Dr. Adem YURTSEVER**
İstanbul Üniversitesi

Dr.Öğr.Üyesi Samet ÖZTÜRK
Bursa Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 16 Temmuz 2024
Savunma Tarihi : 29 Temmuz 2024



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, Bursa Teknik Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

İNTİHAL BEYANI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Burkey BARCA

İmzası:

(Faint, large, stylized watermark text, possibly reading 'X' or 'K', is visible across the page.)



Eşime ve çocuklarıma,

ÖNSÖZ

Tez çalışmam esnasında, değerli zamanını ayırarak çalışmamı yönlendiren ve tezimin gelişmesine katkı sağlayan tez danışmanım sayın Prof. Dr. Deniz UÇAR’a, yardımlarını esirgemeyen emeği geçen ve yanımda olan arkadaşlarıma, aileme teşekkürlerimi sunarım.

Temmuz 2024

Burkay BARCA
(Çevre Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
KISALTMALAR.....	x
SEMBOLLER.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ŞEKİL LİSTESİ	xiii
ÖZET.....	xiv
SUMMARY.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	3
2.1 Atıksuyu Oluşturan Bileşenler ve Atıksu Karakteristikleri.....	3
2.2 Kentsel Atıksular	3
2.3 Arıtma Sistemlerinin Seçimi ve Kentsel Atıksu Arıtımı	4
2.4 Biyolojik Arıtma Prosesleri.....	5
2.4.1 Klasik aktif çamur	6
2.4.2 Uzun havalandırmalı aktif çamur	7
2.4.3 Oksidasyon hendekleri	7
2.4.4 Damlatmalı filtreler	8
2.4.5 Biyodisk	8
2.5 İleri Arıtma	9
2.5.1 Bardenpho prosesi	9
2.5.2 Anoksik/Oksik prosesi	9
2.5.3 Anaerobik-Anoksik/Oksik prosesi	10
2.5.4 Phostrip Prosesi	10
2.5.5 University of Cape Town prosesi.....	11
2.5.6 Virginia initiative plant prosesi	11
3. MEMBRAN ARITMA PROSESİ.....	13
4. YAPILAN ÖRNEK ÇALIŞMALAR.....	14
5. MATERİYAL VE METOT	16
5.1 Materyal.....	16
5.1.1 İznik atıksu arıtma tesisi.....	16
5.1.2 Yenişehir atıksu arıtma tesisi	18
5.2 Metot.....	19
6. SONUÇLAR	22
6.1 Askıda Katı Madde	22
6.2 Kimyasal Oksijen İhtiyacı	23
6.3 Biyolojik Oksijen İhtiyacı	25
6.4 Toplam Azot	26
6.5 Toplam Fosfor	28
6.6 Tüketilen Enerji	29
6.7 Debi	31
6.8 Su Sarfıyatı	32

7. SONUÇ VE ÖNERİLER	33
KAYNAKLAR.....	34
ÖZGEÇMİŞ.....	37



KISALTMALAR

AAT	: Atıksu Arıtma Tesisi
AKM	: Askıda Katı Madde
BOİ5	: Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
BUSKİ	: Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi
HRT	: Hidrolik Bekleme Süresi
KAÇ	: Klasik Aktif Çamur
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
PAO	: Phosphorus Accumulating Organisms
SRT	: Çamur Yaşı
TAK	: Toz Aktif Karbon
TOK	: Toplam Organik Karbon
UCT	: University of Cape Town
UYA	: Uçucu Yağ Asidi
VIP	: Virginia Initiative Plant

SEMBOLLER

TP	: Toplam Fosfor
C	: Karbon
Cm	: Santimetre
KW/h	: Kilowatt/saat
L	: Litre
m/sn	: metre/saniye
N	: Azot
TKN	: Toplam Kjeldahl Azotu
TN	: Toplam Azot
A/O	: Anoksik/Oksik
A2/O	: Anaerobik-Anoksik/Oksik

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : Atıksu bileşenleri.....	3
Çizelge 2.2 : Ham evsel atıksudaki kirletici konsantrasyonları.....	4
Çizelge 2.3 : Atıksu arıtımındaki önemli biyolojik arıtma prosesleri.....	5
Çizelge 6.1 : Akm değerleri ve verim.....	22
Çizelge 6.2 : Koi değerleri ve verim.....	24
Çizelge 6.3 : Boi değerleri ve verim.....	25
Çizelge 6.4 : Toplam azot değerleri ve verim.....	27
Çizelge 6.5 : Toplam fosfor değerleri ve verim.....	29
Çizelge 6.6 : Tüketilen enerji değerleri ve verim	30
Çizelge 6.7 : Debi	31
Çizelge 6.8 : Çamur susuzlaştırmada kullanılan ortalama temiz su miktarları	32

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 : Aktif çamur arıtma prosesi akım şeması.	7
Şekil 2.2 : Uzun havalandırılmalı aktif çamur.	7
Şekil 2.3 : Oksidasyon hendeği.	8
Şekil 2.4 : Damlatmalı filtre.	8
Şekil 2.5 : Biyodisk.	9
Şekil 2.6 : Bardenpho prosesi.	9
Şekil 2.7 : A/O prosesi.	10
Şekil 2.8 : A ² /O prosesi.	10
Şekil 2.9 : PhoStrip prosesi.	11
Şekil 2.10 : UCT prosesi.	11
Şekil 2.11 : VIP prosesi.	12
Şekil 3. 1 : Aerobik membran biyoreaktör şematik gösterimi	13
Şekil.5 1 : İznik atıksu arıtma tesisi.	16
Şekil.5 2 : İznik atıksu arıtma tesisi proses akım şeması.	17
Şekil.5 3 : Yenişehir atıksu arıtma tesisi.	18
Şekil.5 4 : Yenişehir atıksu arıtma tesisi proses akım şeması	19
Şekil 6.1 : Askıda katı madde	22
Şekil 6.2 : Kimyasal oksijen ihtiyacı	24
Şekil 6.3 : Biyolojik oksijen ihtiyacı	25
Şekil 6.4 : Toplam azot.	27
Şekil 6.5 : Toplam fosfor	28
Şekil 6.6 : Tüketilen enerji.	30
Şekil 6.7 : Debi	31

İZNİK VE YENİŞEHİR BELEDİYESİ ATIKSU ARITMA TESİSLERİNİN PERFORMANS VE ENERJİ VERİMLİLİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Bu çalışmada batık tip bir membran biyoreaktör (MBR) sistemine sahip İznik AAT ile, ileri biyolojik arıtmaya sahip Yenişehir AAT tesisleri baz alınarak, gri suyun arıtım verimliliği üzerinde karşılaştırma yapılmıştır. Bunun için, askıda katı madde (AKM), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ), toplam azot (TN), toplam fosfor (TP) gibi kirlilik parametreleri ile birlikte, su sarfiyatı, tüketilen enerji ve debi verileri de çalışmada kullanılmıştır. Bu çalışmada ele alınan tesislerden İznik AAT, havalandırma tankına daldırılmış olan membran ünitesi, 0,4 µm ortalama gözenek boyutuna sahip olan bir mikrofiltrasyon modülü ile arıtım yapmaktadır, Yenişehir AAT ise, uzun havalandırmalı aktif çamur sistemine sahip ve A^2O prosesine göre arıtım yapmaktadır. AKM, KOİ, BOİ, TN ve TP parametrelerindeki giderim verimlilikleri için ortalama değerler sırasıyla İznik AAT için %97, %93, %97, %86 ve %81 iken, Yenişehir AAT için %95, %93, %98,9 , %90 ve %90 olarak tespit edilmiştir. Bu çalışmalar boyunca elde edilen sonuçlar, yönetmeliklerde yer alan ilgili standartlar ile karşılaştırılmış olup, çıkış suyundaki değerler gerekli standartları karşıladığı belirlenmiştir. Gözlem yapılan tüm zamanlar için İznik ve Yenişehir AAT için gereken enerji KOİ başına sırası ile $4,04 \pm 0,61$ ve $1,81 \pm 0,5$ kW.saat/KOİ olarak belirlenmiş olup, arıtılan atıksuyun metre-küp başına enerji sarfiyatı ise İznik AAT için $1,35 \pm 0,1$ ve Yenişehir için $0,67 \pm 0,13$ Kw.saat/ m^3 'tür. Su sarfiyatı arıtma tesislerinde en fazla çamur susuzlaştırma ünitelerinde olup, İznik AAT dekantör ile çamur susuzlaştırma için kendi arıttığı suyu kullanırken, Yenişehir AAT belt filtre pres ile çamur susuzlaştırmada ise hem içme suyu kullanıp hem de $5000 m^3/ay$ gibi ciddi bir su sarfiyatı bulunmaktadır. Bu çalışmada incelenen parametreler doğrultusunda, tamamen farklı proses ile işletilen 2 ayrı arıtma tesisindeki kirlетici nutrientlerin giderim verimleri üzerinde durulması, enerji verimlilikleri karşılaştırılmaları ve su sarfiyatlarının göz önünde bulundurularak arıtım sistemleri tercihiinde yol gösterici olacağı düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Biyolojik atıksu arıtımı, Membran bioreaktör, İleri biyolojik arıtım, Arıtma verimliliği, İstatiksel analiz.

EVALUATION OF IZNIK AND YENISEHIR MUNICIPALITY WASTEWATER TREATMENT PLANTS IN TERMS OF PERFORMANCE AND ENERGY EFFICIENCY

SUMMARY

In this study, a comparison was made on the treatment efficiency of gray water, based on the İznik WWTP, which has a submerged membrane bioreactor (MBR) system, and the Yenisehir WWTP, which has advanced biological treatment. For this purpose, pollution parameters such as suspended solids (SS), chemical oxygen demand (COD), biological oxygen demand (BOD), total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), as well as consumed energy, water consumption and flow data were used in the study. Among the facilities discussed in this study, Iznik WWTP purifies with a membrane unit immersed in the aeration tank and a microfiltration module with an average pore size of 0.4 μm , while Yenisehir WWTP has an activated sludge system with long aeration and purifies according to the A^2O process. The average values for the removal efficiencies in the AKM, COD, BOD, TN and TP parameters are 97%, 93%, 97%, 86% and 81% for Iznik WWTP, respectively, while they are 95%, 93%, 98.9%, 95%, 93%, 98.9% and 81% for Yenisehir WWTP, respectively. It was determined as 90 and 90%. The results obtained during these studies have been met with the relevant standards in the regulation, and the values in the outlet water have been determined to meet the required standards. For all observed times, the required energy per COD for İznik and Yenisehir WWTP was determined as 4.04 ± 0.61 and 1.81 ± 0.5 kW.h/COD, respectively, and the energy consumption per cubic meter of treated wastewater was determined as 1.35 ± 0.1 and 0.67 ± 0.13 Kw.hour/ m^3 for Yenisehir. While the highest water consumption in treatment plants occurs in sludge dewatering units, Iznik WWTP uses its own purified water for sludge dewatering with a decanter, while Yenisehir WWTP uses both drinking water and a serious water consumption of $5000 \text{ m}^3/\text{month}$ with a belt filter press. In line with the parameters examined in this study, it is thought that focusing on the removal efficiencies of polluting nutrients in two separate treatment plants operated with completely different processes and comparing their energy efficiencies will provide guidance in choosing treatment systems.

Key words: Biological wastewater treatment, Membrane bioreactor, Advanced biological treatment, Treatment efficiency, Statistical analysis.

1. GİRİŞ

Su kaynaklarının korunması, insan yaşamının temel gereksinimi olan suyun sağlıklı ve temiz bir şekilde gelecek nesillere aktarılması için kaçınılmaz bir gerekliliktir. Bu kaynaklarının kirlenmesinde, evsel ve endüstriyel atıksular en büyük etkenlerden biridir ve bu durum, suyun çeşitli amaçlar için kullanımını olumsuz etkilemektedir. Ekolojik dengeyi korumak ve suyun faydalı kullanımını sağlamak için, atıksuların uzaklaştırılmadan önce arıtılması zorunlu hale gelmiştir. Bu kapsamda, kentsel bölgelere atıksu arıtma tesisleri inşa edilmekte ve kentsel ile sanayi atıksuları, kanalizasyon sistemi ve terfiler aracılığıyla atıksu arıtma tesislerine iletilmektedir.

Atıksular, temiz suyun evlerde, endüstride ve ticari alanlarda kullanılmasıyla kirlenmektedir. Atıksulara sızıntı suyu, yüzey ve yağmur suları da karışabilir. İşlenmemiş sıvı atıkların doğaya salınması durumunda, içerdikleri organik maddelerin parçalanması istenmeyen gazların meydana gelmesine yol açabilir. Arıtılmamış atık sular, hastalık yapıcı mikroorganizmaları, nütrientleri (azot, fosfor) ve zararlı maddeleri içerebilir. Bu yüzden atıksu arıtımı, bu maddelerin bertaraf edilmesi veya minimize edilmesi için gereklidir. Atıksu arıtma tesisleri, kentsel ve sanayi bölgelerden gelen karmaşık karışımları içeren atıksuların arıtılmasıyla, çevreye zarar vermeyecek şekilde konsantrasyonlarını azaltma işlevini yerine getirir.

Atıksuların nitelikleri, kaynağına göre değişiklikler barındırır ve bu değişikliklerle giderim teknikleri uyarlanır. Genellikle atıksuların %99'dan fazlası su iken, diğer kısmı kirletici maddelerden oluşur. Bu kirleticiler, suda çözülmüş halde veya askıda katı madde olarak bulunabilir. Dolayısıyla, kirleticilerin özelliklerine bağlı olarak farklı arıtma yöntemleri kullanılarak uzaklaştırılabilirler. Evsel atıksuların arıtılması, mekanik, kimyasal ve biyolojik proseslerin bir araya geldiği arıtma basamaklarıyla gerçekleştirilir. Birinci kademedede, mekanik ve fiziksel işlemler uygulanır, bu uygulama neticesinde yüzen ve çöken maddeler ayrıştırılır. Sonraki işlemde ise biyolojik prosesler devreye girer ve organik maddelerin büyük çoğunluğu biyolojik ve kimyasal reaksiyonlar yoluyla ayrıştırılır. Üçüncü kademedede ise ileri arıtma

prosesleri uygulanır ve önceki kademelerde tam olarak uzaklaştırılamayan inert maddeler ile yeterince giderilememiş nutrientler giderilir.

Bu tez çalışmasında, Buski İznik ve Yenişehir Atıksu Arıtma Tesislerinden 2022 yılı Mayıs - Aralık ayları arasında kompozit numunelerde analizi yapılan $BOİ_5$ (mg/L), $KOİ$ (mg/L), AKM (mg/L), TN (mg/L), TP (mg/L), $KWH/KOİ - KWH/M^3$, DEBİ ($m^3/gün$) ve SU SARFIYATI (m^3/ay) değerleri kullanılarak, 8 istatistiksel metod vasıtasıyla arıtma tesislerinin aylara göre performansları değerlendirilmiştir.



2. KURAMSAL TEMELLER

2.1 Atıksuyu Oluşturan Bileşenler ve Atıksu Karakteristikleri

Ham atıksu birçok kirlilik fraksiyonuna sahiptir. Kirlilik düzeyi BOİ, KOİ şeklinde ölçülebilmektedir. Atıksuyun niteliği ph, oksijen seviyesi, atıksuyun sıcaklığı, taşıdığı sistemdeki şekline göre farklılıklar gösterebilmektedir.

Aşağıdaki Çizelge 2.1'de; özellikle endüstriyel atıklar içermeyen tipik kentsel atıksuların bileşimleri hakkında bilgiler bulunmaktadır.

Çizelge 2.1 : Atıksu bileşenleri (Henze ve ark. 2002).

Bileşen	İlgi Alanı	Çevresel Etki
Biyobozunur organik madde	Akarsu, göl ve fiyortlarda oksijen tüketimi	Sucul hayatta değişiklikler (daha az çeşitlilik vb.)
Mikroorganizma	Patojenik bakteri, virüs ve kurtçuk yumurtaları	Yüzme suyunda ve kabuklu Su canlılarının tüketiminde risk
Diğer organik maddeler	Deterjanlar, pestisitler, yağ-gres, renklendiriciler, solventler, fenoller, siyanür	Toksik etki, estetik mahzurlar, biyo-birikim
Nutrientler	Azot, fosfor, amonyak	Ötrofikasyon, oksijen tüketimi, toksik etki
Metaller	Hg, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni	Toksik etki, biyo-birikim
Diğer inorganik maddeler	Asitler ve bazlar	Toksik etki, korozyon
Termal etki	Sıcak su	Flora ve fauna için değişen yaşam koşulları
Koku ve tat	Hidrojen sülfür	Toksik etki, estetik mahzurlar
Diğer organik maddeler	Deterjanlar, pestisitler, yağ-gres, renklendiriciler, solventler, fenoller, siyanür	Toksik etki, estetik mahzurlar, biyo-birikim

2.2 Kentsel Atıksular

Gris su denilen bu ham atıksu, ciddi bir oranda insan dışkıları, mutfak atıkları ve sebze/yiyecek artıkları ihtiva etmektedir ve az miktarda oksijen içerir veya bazen hiç

oksijen içermez, çünkü oksijen tüketen özelliklere sahiptirler. Kentsel atıksular, hidrojen sülfür (H_2S) ve metan (CH_4) gibi istenmeyen gazlar oluşmaktadır.

Çizelge 2.2'de evsel atıksudaki kirleticilerin, düşük, orta ve yüksek konsantrasyonlarını içeren kategoriler belirtilmiştir.

Çizelge 2.2 : Ham kentsel atıksudaki kirletici konsantrasyonları (Metcalf&Eddy 2004).

Kirleticiler	Birim	Konsantrasyon		
		Zayıf	Orta	Kuvvetli
Toplam katı (TS)	mg/l	350	720	1200
Toplam çözünmüş Katı (TDS)	mg/l	250	500	850
Sabit	mg/l	145	300	525
Uçucu	mg/l	105	200	325
Askıda Katı (SS)	mg/l	100	220	350
Sabit	mg/l	20	55	75
Uçucu	mg/l	80	165	275
Çökebilir Katılar	mL/l	5	10	20
BOI5 (20oC)	mg/l	110	220	400
Toplam Organik Karbon (TOK)	mg/l	80	160	290
KOI	mg/l	250	500	1000
Azot (Toplam N olarak)	mg/l	20	40	85
Nitrit azotu	mg/l	0	0	0
Fosfor (Toplam Fosfor olarak)	mg/l	4	8	15
Organik azot	mg/l	8	15	35
Serbest amonyum azotu	mg/l	12	25	50
Organik	mg/l	1	3	5
İnorganik	mg/l	3	5	10
Klorürler	mg/l	30	50	100
Sülfat	mg/l	20	30	50
Alkalinite($CaCO_3$ olarak)	mg/l	50	100	200
Yağ-Gres	mg/l	50	100	150
Toplam Koliform	no/100	10^6 - 10^7	10^7 - 10^8	10^7 - 10^9
Uçucu Organik Bileşikler	ml	<100	100-400	>400
Toplam Koliform	no/100	10^6 - 10^7	10^7 - 10^8	10^7 - 10^9
Uçucu Organik Bileşikler	ml	<100	100-400	>400
(VOCs)	µg/l			

2.3 Arıtma Sistemlerinin Seçimi ve Kentsel Atıksu Arıtımı

Atıksu içinde askıda veya kolloidal halde bulunan partiküllerin ve diğer büyük katı maddelerin sudan ayrıştırılmasını sağlayarak, atıksuyu sonraki arıtma adımlarına hazırlayan veya gerektiğinde bu şekilde arıtımını sağlayan fiziksel yöntemlerdir.

Biyolojik arıtma;

Biyolojik arıtımın ana amacı, karmaşık mikrobiyal kültürlerin yardımıyla atıksulardaki substratların etkin bir şekilde okside edilmesinin sağlanmasıdır. Aktif çamur prosesi, mikroorganizmaların substratlarla birlikte karıştırıldığı ve bu şekilde büyüyüp organik maddeleri stabilize ettiği bir süreçtir. Havalandırma tankındaki askıda katı maddelerin sudan etkili bir şekilde ayrılması, mevzuata uygun şekilde arıtılmış çıkış suyu eldesi için önem arz etmektedir.

2.4 Biyolojik Arıtma Prosesleri

Biyolojik arıtma, çözünür ve partikül haldeki organik maddelerin istenilen formlara dönüştürmek için uygun ortamlar sağlayan sistemlerdir. Bu sistemlerde mikroorganizmalar, amonyak (NH_3), demir (Fe^{+2}) gibi mineralleri ve organik biyobozunur maddeleri okside ederken, aynı zamanda oksijen (O_2), nitrat (NO_3^-), sülfat (SO_4^{-2}), karbondioksit (CO_2) gibi bileşikleri indirgeyen biyolojik prosesler işler. Dolayısıyla, bu sistemler mikroorganizmaların belirli koşullarda üremesi için tasarlanmıştır. Çizelge 2.4'te önemli arıtma prosesleri gösterilmektedir.

Çizelge 2.3 : Atıksu arıtımındaki önemli biyolojik arıtma prosesleri (Metcalf & Eddy 1991).

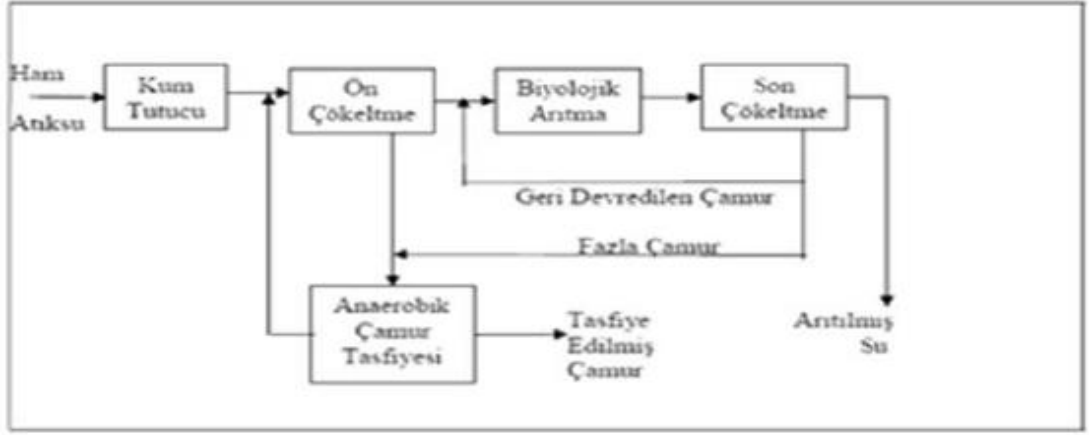
Tipi	Genel Adı	Kullanımı
Havali Prosesler: Askıda-Büyüyen	Aktif çamur prosesleri: Konvansiyonel(piston akımlı) Tam karışimli Kademeli havalandırmalı Saf oksijenli Ardışık kesikli reaktör Kontakt stabilizasyonlu Uzun havalandırmalı A.Ç Oksidasyon hendeği Derin şaft A.Ç. sistemi	Karbonlu BOİ giderimi ve nitrifikasyon
Yüzeyde büyüyen (Biyofilmlili)	Askıda-büyüyen Nitrifikasyon Havalandırmalı lagün Havali çürütme: Konvansiyonel havali Saf oksijenli	Nitrifikasyon Karbonlu BOİ giderimi (nitrifikasyon) Stabilizasyon, karbonlu BOİ5 giderimi nitrifikasyon Karbonlu BOİ giderimi

Çizelge 2.3 (devam): Atıksu arıtımındaki önemli biyolojik arıtma prosesleri (Metcalf & Eddy 1991).

Tipi	Genel Adı	Kullanımı
	Damlatmalı Filtre: Kaba Filtre (roughing) Döner biyolojik disk Dolgulu kuleler	nitrifikasyon Karbonlu BOİ giderimi ve nitrifikasyon Karbonlu BOİ giderimi ve nitrifikasyon
Birleşik askıda ve tutunarak büyüyen sistemler	Aktif çamur biyofiltre prosesleri	Karbonlu BOİ giderimi ve nitrifikasyon
Anoksik Prosesler: Askıda büyüyen Tutunarak büyüyen	Askıda büyüyen denitrifikasyon	Denitrifikasyon
Havasız Prosesler: Askıda büyüyen	Havasız çürütme: Standart hızlı, tek kademeli Yüksek hızlı, tek kademeli iki kademeli Havasız kontakt prosesler Havasız çamur yataklı reaktör	Karbonlu BOİ giderimi Karbonlu BOİ giderimi Karbonlu BOİ giderimi Karbonlu BOİ giderimi
Tutunarak büyüyen	Havasız filtre Genleşmiş yataklı reaktör	Karbonlu BOİ giderimi, atık stabilizasyonu
Havasız Prosesler: Birleşik havalı, havasız ve anoksik prosesler Askıda büyüyen	Tek veya çokbasamaklı, çeşitli özel prosesler	Karbonlu BOİ giderimi, nitrifikasyon, denitrifikasyon, P giderimi
Birleşik askıda ve tutunarak büyüyen	Tek veya çok kademeli prosesler	Karbonlu BOİ giderimi, nitrifikasyon, denitrifikasyon, P giderimi
Lagünler	Havalı havuzlar, Olgunlaştırma havuzları Fakültatif havuzlar Havasız havuzlar	Karbonlu BOİ giderimi Karbonlu BOİ gid.(nitr.) Karbonlu BOİ giderimi Karbonlu BOİ giderimi (atık stabilizasyonu)

2.4.1 Klasik aktif çamur

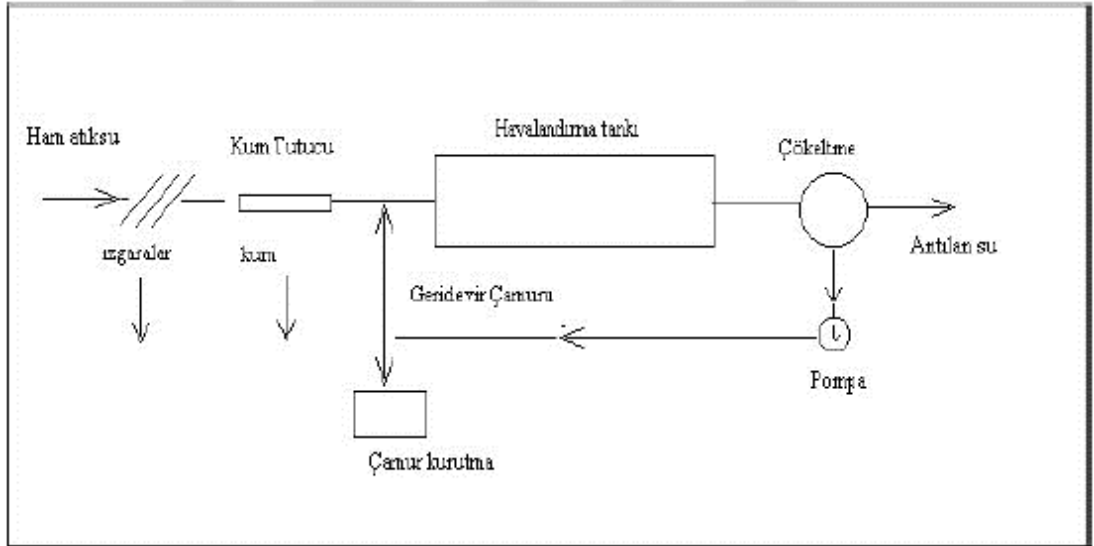
Aktif çamur, mikroorganizmaların yanı sıra organik ve inorganik maddeleri içeren karışımdır. Bu karışım, biyolojik faaliyetler sergiler. Şekil 2.1'de aktif çamur arıtım prosesinin akış şeması bulunmaktadır.



Şekil 2.1 : Aktif çamur arıtma prosesi akım şeması (Toprak, 1996).

2.4.2 Uzun havalandırmalı aktif çamur

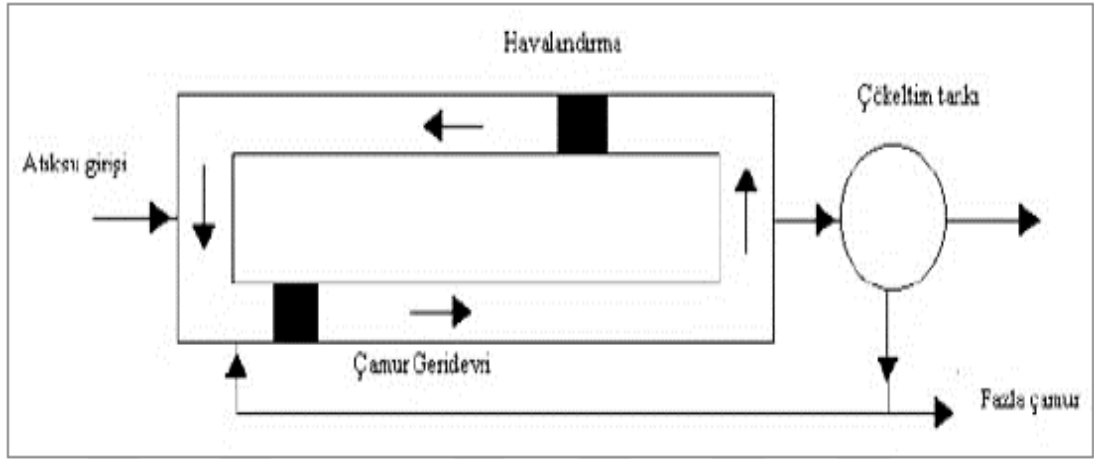
Uzun havalandırmalı aktif çamur prosesinde klasik aktif çamur prosesine göre daha uzun bir havalandırma süresi bulunmaktadır, şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 : Uzun havalandırmalı aktif çamur (Öztürk ve ark., 2005).

2.4.3 Oksidasyon hendekleri

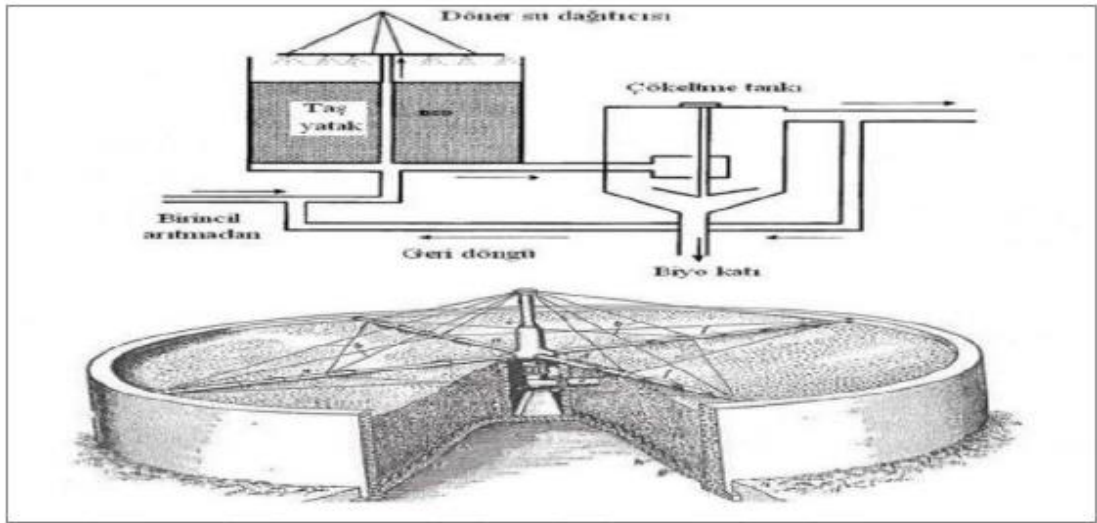
Atıksu fiziksel arıtmadan geçtikten sonra, reaktör içinde mikroorganizmaların yardımıyla giderim sağlanır. Şekil 2.3'te bu süreç görsel olarak açıklanmıştır.



Şekil 2.3 : Oksidasyon hendeği (Chen ve ark., 2011).

2.4.4 Damlatmalı filtreler

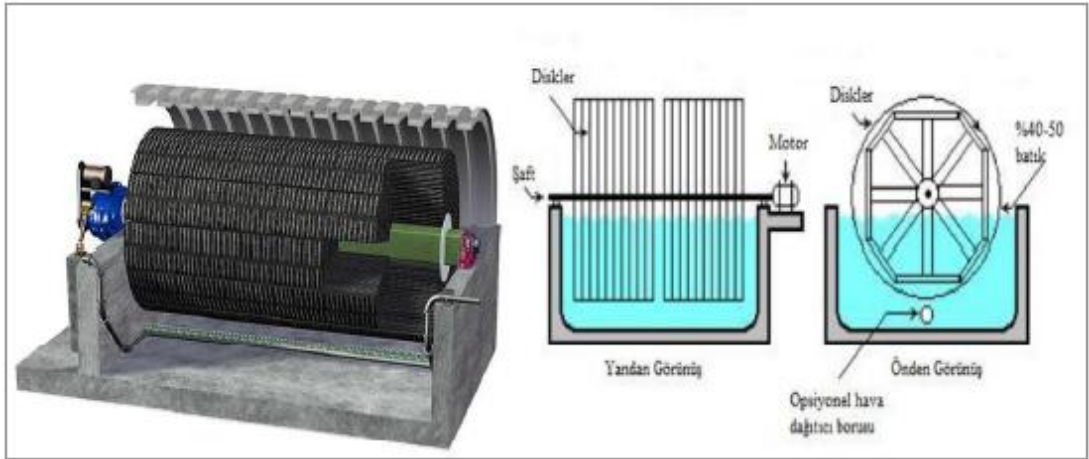
Damlama filtreleri, mikroorganizmaların geçirgen dolgu malzemelerine (kırmı taş, plastik vb.) yapışarak faaliyet gösterdiği bir biyolojik arıtma işlemidir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 : Damlatmalı filtre (Eroğlu, 2002).

2.4.5 Biyodisk

Biyodiskler, genel anlamda aktif çamuru andırır ve havalandırma havuzunun yerine döner diskleri içerir. Mikroorganizmalar, disk yüzeyine yapışarak büyürler ve atıksudaki organik maddeleri parçalayarak karbondioksit oluştururlar (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 : Biyodisk (Şahinkaya, 2014).

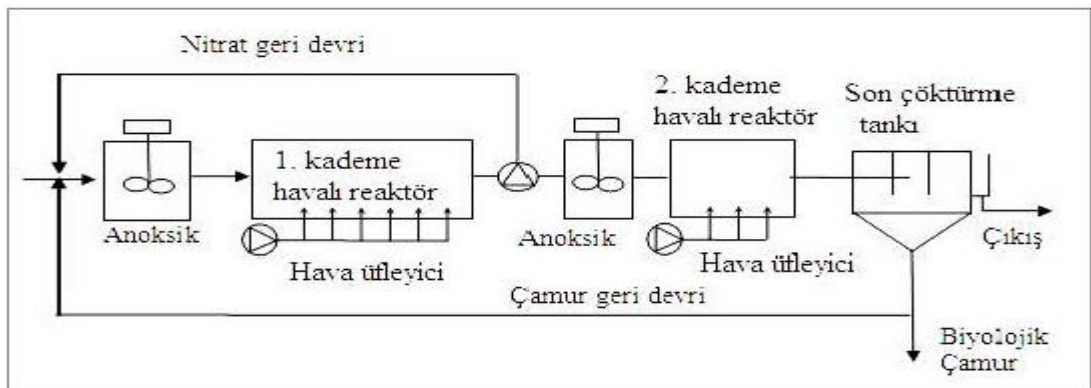
2.5 İleri Arıtma

Atıksuda bulunan karbonun yanı sıra, azot ve fosfor gibi nütrientlerin de giderildiği arıtma yöntemidir.

Evsel atıksuların ileri arıtımında kullanılan yöntemler şunlar olup, proses konfigürasyonları:

2.5.1 Bardenpho prosesi

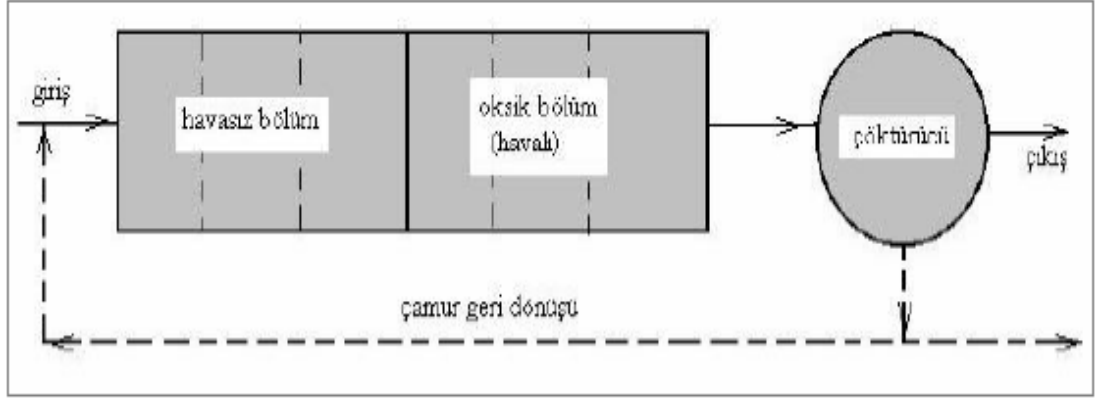
Karbon ve azot giderimi havuzda ayrı bölümlerde gerçekleştirilir. Bardenpho işlemi, şekil 2.6'da gösterildiği gibidir.



Şekil 2.6 : Bardenpho prosesi (EWT, 2007).

2.5.2 Anoksik/Oksik prosesi

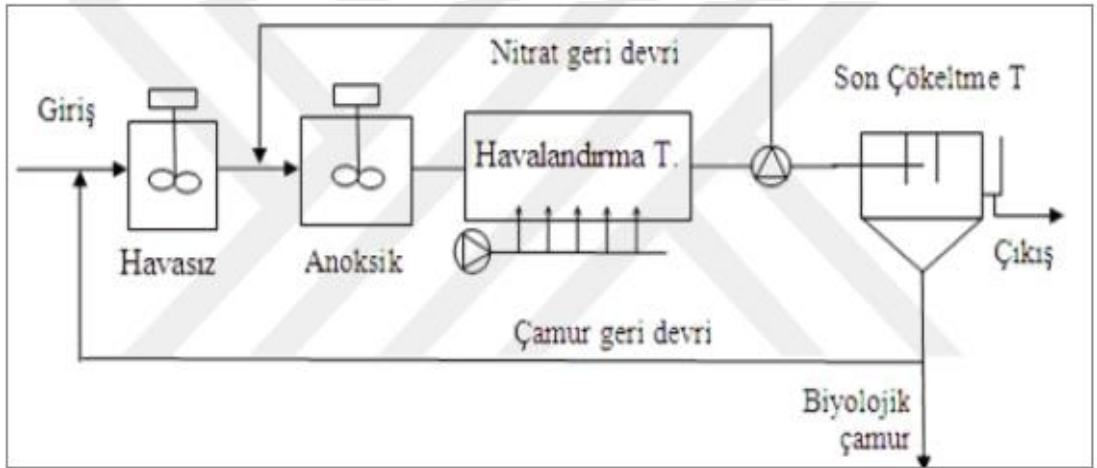
A/O işlemi, tek sistemli bir yapıda, askıda çoğalan ve havalı-havasız bir havuzdan meydana gelir (Şekil 2.7). Karbon ve fosforun giderimi için kullanılan bir yöntemdir.



Şekil 2.7 : A/O prosesi (Öztürk ve ark., 2005).

2.5.3 Anaerobik-Anoksik/Oksik prosesi

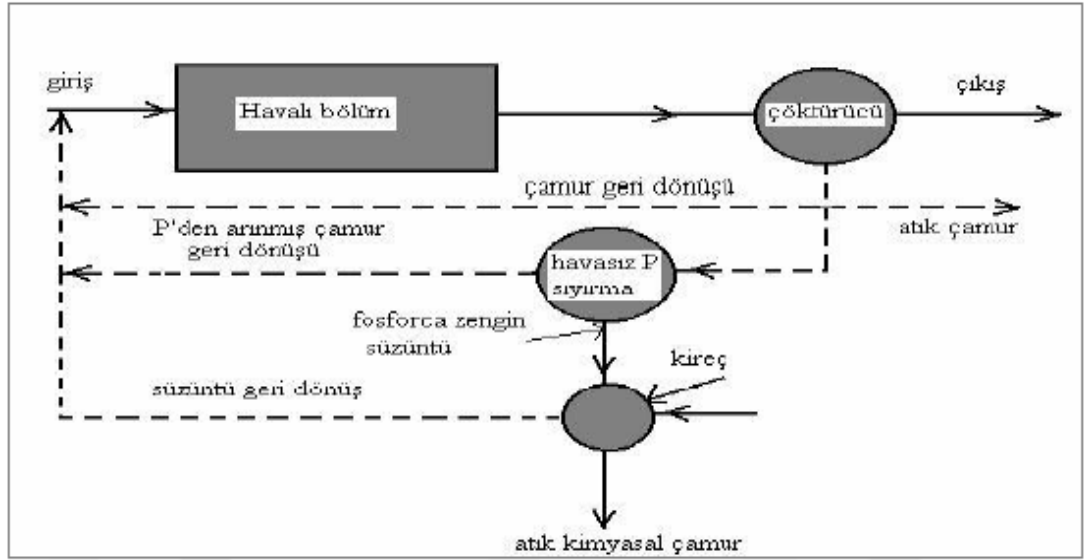
A/O prosesine anoksik tank eklenmesiyle birlikte karbon ve fosforun giderimine ilaveten azot giderimide yapabilen bir sistemdir.



Şekil 2.8 : A²/O prosesi (Chen ve ark., 2011).

2.5.4 Phostrip Prosesi

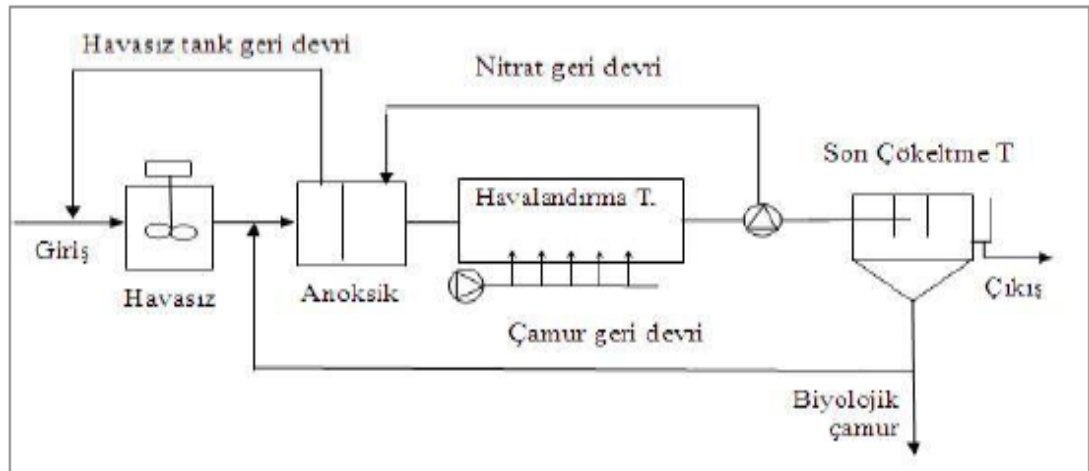
Büyük oranda fosfor içeriği olan atıksu kimyasal yöntemlerle (kireç veya koagülantlarla) çöktürülerek fosforun giderilmesi yöntemidir (Şekil 2.9).



Şekil 2.9 : PhoStrip prosesi (Manav, 2006).

2.5.5 University of Cape Town prosesi

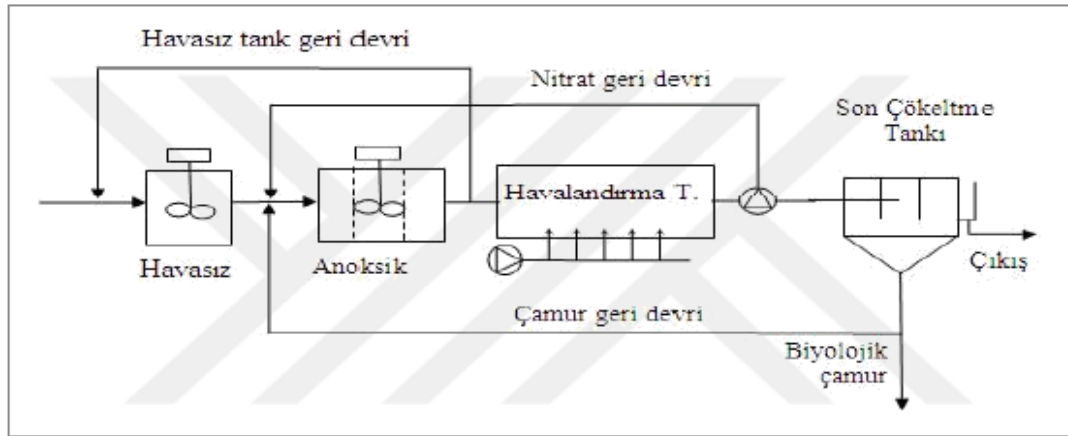
Proses, genellikle A^2/O prosesine benzer, ancak iki özellik dışında (Şekil 2.10). Geri devirlerin biri anoksik havuza ve bir diğeri ise anaerobik bölüme yapılır.



Şekil 2.10 : UCT prosesi (Öztürk ve ark., 2005).

2.5.6 Virginia initiative plant prosesi

Bu yöntem, geri devir olmadan A^2/O ve UCT proseslerini andırmaktadır (Şekil 2.11).

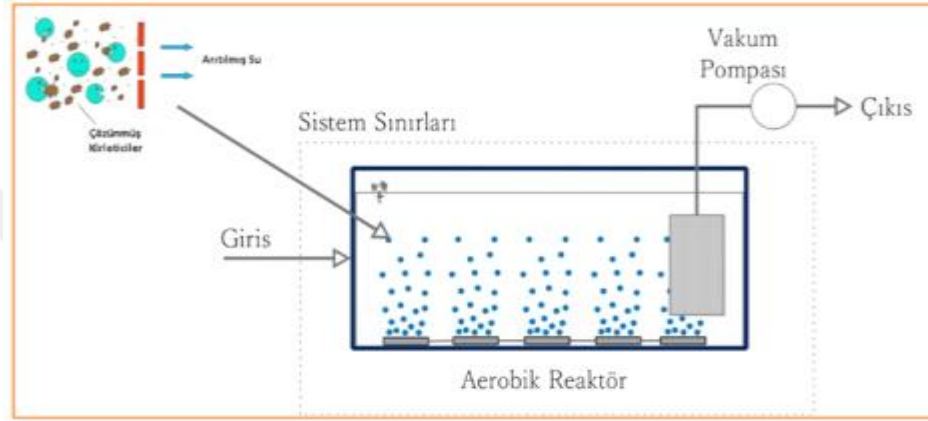


Şekil 2.11 : VIP prosesi (Metcalf ve Eddy, 2003).

3. MEMBRAN ARITMA PROSESİ

Membran biyoreaktörler (MBR) biyolojik prosesler ile membran teknolojisini birleştiren biyolojik arıtım sistemleridir.

Şekil 3.1’ de bu yönteme örnek durum şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3. 1 : Aerobik membran biyoreaktör şematik gösterimi.

Bu teknoloji sayesinde, arıtımın son aşamasında biokütle ile temiz suyun birbirinden ayrılması için gerekli olan son çöktürme havuzlarına, kum filtrasyonuna ve dezenfeksiyon uygulamalarına gereksinim duyulmamaktadır. MBR’ler hem kentsel hem sanayi atıksuların arıtımı için kullanılabilir. Özellikle atık suyun tekrar kullanımı membran teknolojisi sayesinde gerçekleştirilebilir. MBR proseslerinde bertaraf edilecek çamurun, atıksuyun hidrolik bekleme süresinden bağımsız olması ile F/M (besin/mikroorganizma) oranı en aza indirilerek biyoreaktör içinde yüksek çamur konsantrasyonları sağlanabilir. Düşük F/M oranları ve yüksek çamur yaşlarında, çamur üretimi düşmektedir. MBR sistemleri kirliticileri etkili bir şekilde giderebilmekte ve aynı zamanda da şok ve yüksek atıksu yüklerini karşılamaktadır.

4. YAPILAN ÖRNEK ÇALIŞMALAR

Atık suların temizlenmesiyle ilgili literatürde çeşitli araştırmalar mevcuttur. Bu çalışmalar genellikle tesislerin kurulum ve işletme maliyetlerini belirleme, arıtım verimliliğini değerlendirme ve işletme sorunlarına odaklanma üzerinedir.

Kavak (2016) tarafından gerçekleştirilen bir araştırmada, atıksu arıtma tesislerinde kullanılan yöntemler üzerine detaylı bir çalışma yapılmıştır. Araştırmanın odak noktası olarak Kayseri ili seçilmiştir. Çalışma süresince, Kayseri'deki beş farklı atıksu arıtma tesisinin incelenerek, bu tesislerdeki pH, askıda katı madde (AKM), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ve biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ) gibi değerlerin giriş ve çıkış verileri toplanmıştır. Yapılan analizler sonucunda, farklı arıtma yöntemlerinin AKM, KOİ ve BOİ giderim verimleri şu şekildedir: Aktif çamur prosesinde %98, %96, %99; ardışık kesikli reaktörlerde (SBR) %92, %91, %96; membran biyoreaktörlerde (MBR) %96, %95, %99; doğal arıtma yönteminde ise %82, %56, %60 olarak belirlenmiştir. MBR uygulanan arıtma tesisinin çıkış sularında AKM, KOİ ve BOİ değerleri sırasıyla 5 mg/L, 28 mg/L, 2 mg/L olarak ölçülmüştür.

Çiğdem (2019), atıksu arıtma tesisi üzerine işletme ve performans açısından bir araştırma yapmıştır. Tesiste işletim sürecinde aralıklarla alınan giriş ve çıkış atıksu örnekleri incelenerek tesisin durumu ve tasarım kriterleri mevzuat açısından incelenmiştir. Tesis verileri 01.01.2015 ile 31.03.2018 tarihleri arasında incelenmiş ve tesisin %91 BOİ₅, %86 KOİ, %90 AKM giderimini başarıyla sağladığı gözlemlenmiştir. Ancak, tesisin TN ve TP giderim verimlerinin artırılması gerektiği belirlenmiştir, zira bu parametrelerdeki verimler tasarım ve mevzuat açısından yeterli bulunmamıştır.

Turan (2014), kentsel atıksu arıtma tesislerini ve bu tesislerin karşılaştığı işletme sorunlarını araştırmıştır. Araştırmada, atıksu arıtma tesislerine gelen atıksuların kaynakları, miktarları, özellikleri ve uygulanan arıtma yöntemleri incelenmiş; ayrıca bu tesislerdeki işletme sorunları ve bu sorunlara ilişkin çözüm önerileri

belirlenmiştir. Kocaeli ilinde bulunan 42 Evler Atıksu Arıtma Tesisleri ile Plajyolu Atıksu Arıtma Tesisleri'nin son iki yıla ait giriş ve çıkış atıksu analiz sonuçları değerlendirilerek atıksu karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir.

Azman (2007), gerçekleştirdiği çalışmada kentsel nitelikli atıksuların Avrupa Birliği'ndeki önemini ele almış ve arıtma süreçlerini incelemiştir. Ayrıca, alıcı ortam deşarj standartları ile karşılaştırmalar yaparak, ülkemizdeki kentsel nitelikli atıksulara dair yasal mevzuat çerçevesinde çeşitli analizler gerçekleştirmiştir.

Alaton-Arslan ve arkadaşları (2007), gerçekleştirdikleri çalışmada ülkemizdeki kentsel nitelikli atıksu arıtma sistemlerinin mevcut durumunu özetlemişlerdir. Çalışmada dört farklı arıtma tesisinin performansını detaylı bir şekilde incelemek amacıyla anketler yapılmıştır. Ayrıca, alıcı sulara deşarj limitleri yürürlükteki yönetmelikle karşılaştırılmıştır. Sulama amacıyla kullanılan atıksular, mevcut sulama suyu kalite standartlarına göre değerlendirilmiş ve bu standartlara uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Alaton-Arslan ve ekibi (2004), Türkiye'deki sürdürülebilir kentsel atıksu yönetimi hakkında başka bir çalışma gerçekleştirmiştir. 2004 yılına ait raporlarına dayanarak, ülkemizin Avrupa Birliği ile uyum sürecinde çevre ve su yönetimi konularının öncelikli meseleler arasında değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamışlardır. Atıksu yönetim politikalarını ise; arıtma teknikleri ve teknolojileri, atıksuların özellikleri, alıcı ortama olan etkileri ve bu suların yeniden kullanım alanları gibi konular etrafında detaylandırmışlardır.

5. MATERİYAL VE METOT

5.1 Materyal

- İznik Atıksu Arıtma Tesisi
- Yenişehir Atıksu Arıtma Tesisi

5.1.1 İznik atıksu arıtma tesisi

İznik Atıksu Projesi kapsamında 2015 yılında yapılmış olan İznik Atıksu Arıtma Tesisi, Bursa Büyükşehir Belediyesi İznik İlçesi sınırlarında, Hisardere Mahallesi yolu üzeri No:139'da bulunmaktadır. Tesis, Bursa'nın İznik havzası evsel atıksuların arıtılarak alıcı ortamın kirletilmesinin önlemesi amacını taşımakta ve $8790 \text{ m}^3/\text{gün}$ kapasiteye sahiptir. Tesis arıtılmış atıksu deşarjını İznik Gölü'ne yapmaktadır.

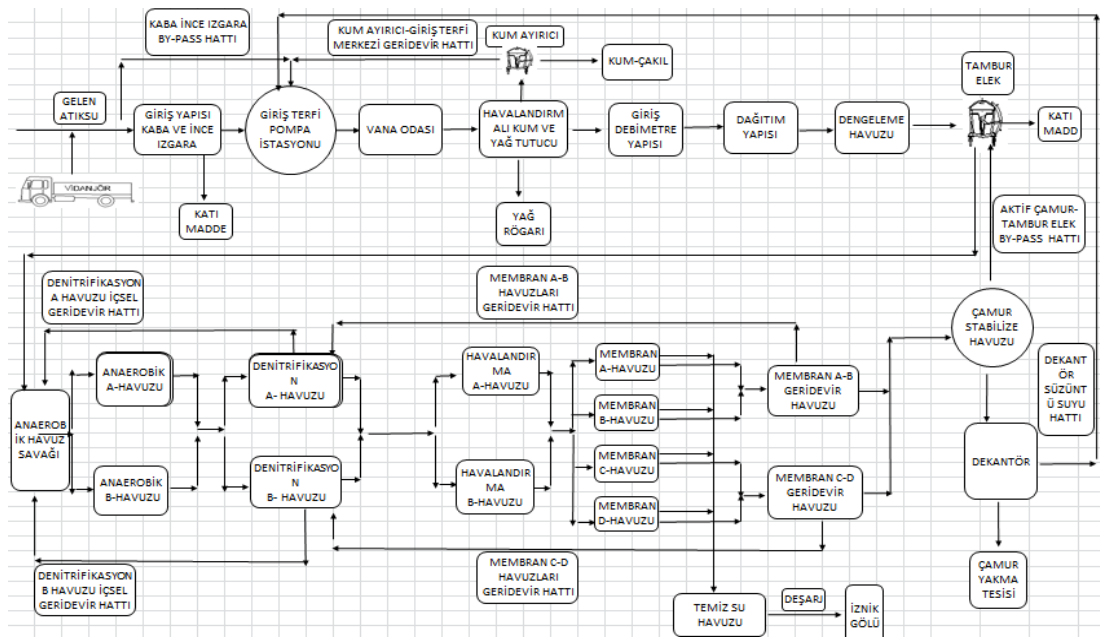


Şekil 5.1 : İznik atıksu arıtma tesisi.

İznic Atıksu Arıtma Tesis'i'nin biyolojik bölümü, UCT (University of Capetown) prosesi şeklinde planlanmıştır ve tesisin temel ünitesi membran bioreaktör havuzları olup, burada aktif çamur konsantrasyonu ortalama 12.000 mg/l civarında iken, havalandırma tankında ise 10.000 mg/l civarında seyretmektedir.

Akım şeması;

Tesis prosesi özet olarak, terfi merkezi, ön arıtma üniteleri ve biyolojik üniteleri takiben, karbon giderimi yanı sıra azot ve biyolojik fosfor arıtımını da içeren membran sistemidir. Sistemde dizayn çamur yaşı 28 gün olarak seçilmiştir. Proses akım şeması aşağıdaki gibidir.



17

5.1.2 Yenişehir atıksu arıtma tesisi

2013-2015 yılları arasında inşa edilmiş olan Bursa Yenişehir Atıksu Arıtma Tesisi, Bursa Büyükşehir Belediyesi ve Yenişehir ilçe sınırları içerisinde Gündoğan mahallesi küme evler mevkiinde bulunmaktadır. Tesis, Bursa'nın Yenişehir ilçesinin evsel atıksuların arıtılarak alıcı ortamın kirletilmesinin önlemesi amacını taşımakta ve $7062 m^3/gün$ kapasiteye sahiptir.



Şekil 5.3 : Yenişehir atıksu arıtma tesisi.

Yenişehir Atıksu Arıtma Tesisi'nde, 3 işçi, 2 vasıflı işçi, 2 teknisyen, 2 deneyimli teknisyen ve 1 işletme mühendisi olmak üzere 10 personel görev almaktadır.

Yenişehir Atıksu Arıtma Tesisi, ileri biyolojik arıtma yöntemlerine sahip bir tesis olup, uzun havalandırmalı aktif çamur prosesini benimsemektedir ve burada aktif çamur konsantrasyonu ortalama $5.000 mg/l$ civarında tutulmaktadır.

Akım şeması;

Tesis prosesi özet olarak, ön arıtma, terfi merkezi, fosfor giderimini sağlamak için anaerobik tank mevcuttur. Karbon gideriminin yanı sıra azot giderimini sağlamak

İçin uzun havalandırma sistemi ve dizayn çamur yaşı 21 gün olarak seçilmiştir. Arıtma tesisi dizaynında yoğunlaştırma havuzu düşünülmemiş olup, fazla çamur geri devir haznesinden belt filtre presler ile yapılmaktadır. (2023'ün son çeyreği itibarıyla çamur çekimi dekantörler vasıtasıyla sağlanmaktadır). Son olarak çamurun stabilize edilerek sorunsuz olarak uzaklaştırılması hedeflenmektedir. Proses akımı aşağıda şematik olarak gösterilmiştir.

Şekil 5.4 : Yenişehir atıksu arıtma tesisi proses akım şeması.

Analiz için numuneler tesislerin giriş ve çıkış noktalarından kompozit olarak alınmıştır. Her iki tesise ait 2022 yılı mayıs haziran temmuz ağustos eylül ekim kasım aralık dönemlerine ait AKM, KOİ, BOİ, TN, TP, KWH ve DEBİ parametreleri kullanılmıştır. Bu parametreler haftada yaklaşık 3 defa analiz edilmiş ve ilgili atıksu arıtma tesislerinden temin edilmiştir. Her bir analize ait karşılaştırma yapılarak sonuçlar yorumlanmıştır.

Kimyasal oksijen ihtiyacı: Atıksu içerisinde kimyasal olarak oksitlenebilen organik madde miktarını ve kirlilik düzeyini göstermektedir.

Azot: Atıksu içerisinde bulunan mikroorganizmalar için besi maddesi ama çevre için ötrofikasyona sebep olan kirletici parametredir.

Fosfor: Fosfor da azot gibi mikroorganizmalar için hayati öneme sahip besi madeesi olup, atıksu içerisinde bulunan ama çevre için tıpkı azot gibi kireltici etkiye sahip istenmeyen parametredir.

Kwh: Saatte ne kadar elektrik enerjisi tüketimi olduğunu gösteren ifadedir.

Debi: Atıksu artıma tesisine saniyede giren su miktarının ifadesidir.

Analitik yöntemler;

KOİ, AKM, BOİ, toplam azot, toplam fosfor, tüketilen enerji ve debiler düzenli ölçülmüştür. Bu ölçümlerde;

Kimyasal oksijen ihtiyacı Standart Metotlar metot no:5220 yöntemine göre analiz edilmiştir.

AKM yine Standart Metotlar Metot no:2540'a göre yapılmıştır.

Toplam azot ve toplam fosfor hazır kit kullanılarak yapılmıştır. Toplam azot için HACK Marka LATON Test | giriş için LCK 238, çıkış için LCK 138 kullanılmıştır.

Toplam fosfor için ise HACK Marka Test | giriş için LCK 350, çıkış için LCK 348 kullanılmıştır.

BOİ, standart metotlar 5210 B yöntemine göre analiz edilmiştir.

KOİ ya da arıtılan suyun m^3 başına tüketilen enerji analizi ise şu şekilde yapılmıştır;

Elektrik sarfiyatı, trafo üzerinde bulunan UEDAŞ'a bağlı elektrik sayaçları ile günlük okunmuş olup, bu değer, günlük tesise giren KOİ* debi ' ye oranı bize KOİ başına tüketilen enerji sarfiyatını vermektedir. Aynı şekilde, elektrik sarfiyatı UEDAŞ'a elektrik sayaçları ile günlük okunmuş olup, bu değer, günlük tesise giren atıksuya oranı, m^3 başına enerji sarfiyatını vermektedir.

Debi ölçümlerinde İznik AAT için, SIEMENS marka FM MAG 5000 modeli kullanılmaktadır.

Akış ölçüm prensibi Faraday'ın elektromanyetik indüksiyon yasasına dayanmaktadır. Ölçüm borusunun üzerine çapsal olarak monte edilen mıknatıs bobinleri darbeleri bir elektromanyetik alan üretir. Bu elektromanyetik alandan akan sıvı bir voltajı indükler. Vericiler, ilgili elektromanyetik sensörlerden gelen sinyalleri değerlendirir.

Yenişehir AAT için, Krohne marka IFC 050 modeli olan elektromanyetik akış ölçer kullanılmaktadır. Elektromanyetik sinyal dönüştürücü IFC 050 OPTIFLUX 1000 sensörleri ile birleşik vaziyette çalışmaktadır. Çalışma prensibi olarak;

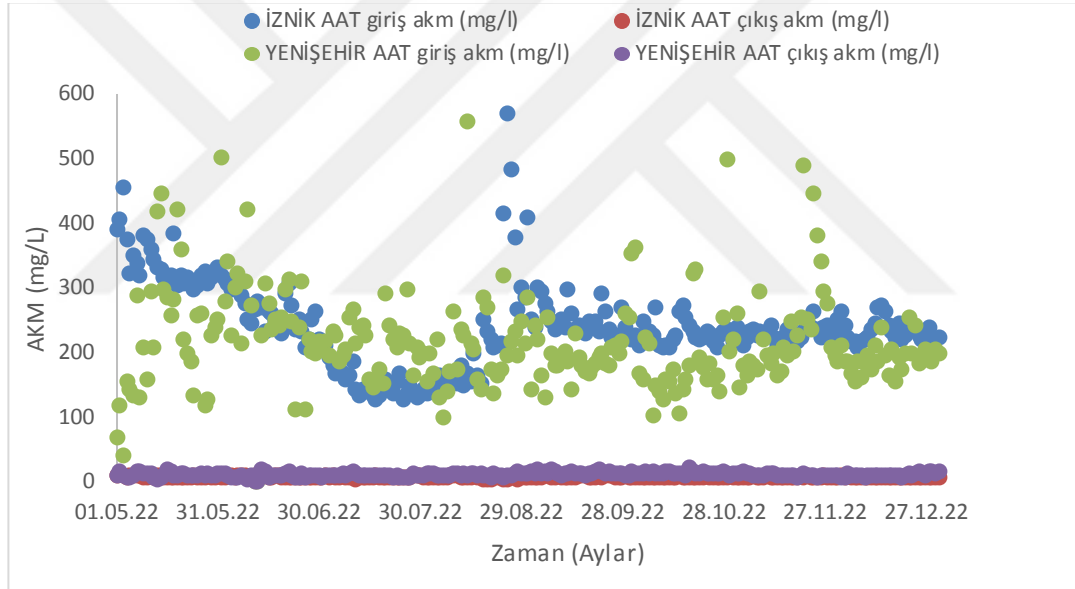
Elektriksel olarak iletken bir sıvı, manyetik alan etkisi altında elektriksel olarak izole edilmiş bir borudan akar. Bu manyetik alan, bir çift sargı üzerinden akan akım tarafından oluşturulur. Sıvı içinde bir U voltajı üretilir. Bu voltaj, $U = v * k * B * D$ formülüyle hesaplanır; burada v , akış hızını; k , geometrik düzeltme katsayısını; B , manyetik alan gücünü; D ise akış ölçerin iç çapını temsil eder. Üretilen U voltaj sinyali, elektrotlar aracılığıyla algılanır ve akış hızı v ile, dolayısıyla akış Q ile doğru orantılıdır. Sinyal voltajının işlenmesi için bir sinyal dönüştürücü kullanılır; bu, sinyali yükseltmek, filtrelemek ve saymak, ardından kaydetmek ve çıkış vermek için işlenir.

6. SONUÇLAR

6.1 Askıda Katı Madde

Şekil 6.1’de askıda katı madde zaman grafiği sunulmuştur. Gözlem yapılan tüm zaman için İznik ve Yenişehir AAT’ne ait giriş AKM konsantrasyonları sırası ile 240 ± 66 ve 214 ± 76 mg/L olarak verilmektedir.

Çıkış değerleri ise İznik AAT için $6,4 \pm 1,4$ ve Yenişehir için $10,3 \pm 3$ mg/L olup, <35 mg/ L ile iki tesiste deşarj standartlarını sağlamaktadır.



Şekil 6.1 : Askıda katı madde.

Buna göre İznik ve Yenişehir AAT için AKM giderim verimleri, gözlem yapılan tüm süre için % 97 ve 95 ‘e karşılık gelmektedir.

Çizelge 6.2 : Akm değerleri ve verim.

AKM mg/l	İznik	Y.şehir
Giriş	240 ± 66	214 ± 76
Çıkış	$6,4 \pm 1,4$	$10,3 \pm 3$
Verim %	% 97	% 95

İznik AAT için gözlem yapılan süreç boyunca giriş AKM değerlerinde dalgalanma izlenmektedir. Sürecin ilk günlerinde (Mayıs – Haziran ayları) 300 ± 50 mg/L iken Temmuz ve Ağustos aylarında 190 ± 88 değerlerine gerilemiştir.

AKM'deki bu dalgalanma;

Göl havzasının bulunması ve yer altı sularının etkisine bağlı olarak, su seviyelerinin yüksek olduğu dönemde kanalizasyon hatlarına ekstra çökebilene yada yüzebilen organik inorganik maddelerin taşınması, bu taşınma ve yeraltı suları ile İznik gölünün su seviyelerinin belirlenmesinde yağışların birincil etkisi olduğu düşünülürse, geçmiş ayların yağış ortalaması 72 mm iken, Mayıs ayı içine alan süreçte yaz boyunca ortalama yağış ise yaklaşık 30 mm, özellikle Mayıs ayında 18 mm yağış düştüğü meteorolojik veriler ışığında sunulmakta olup, yukarıda ifade ettiğimiz sebeplerden kaynaklanmaktadır.

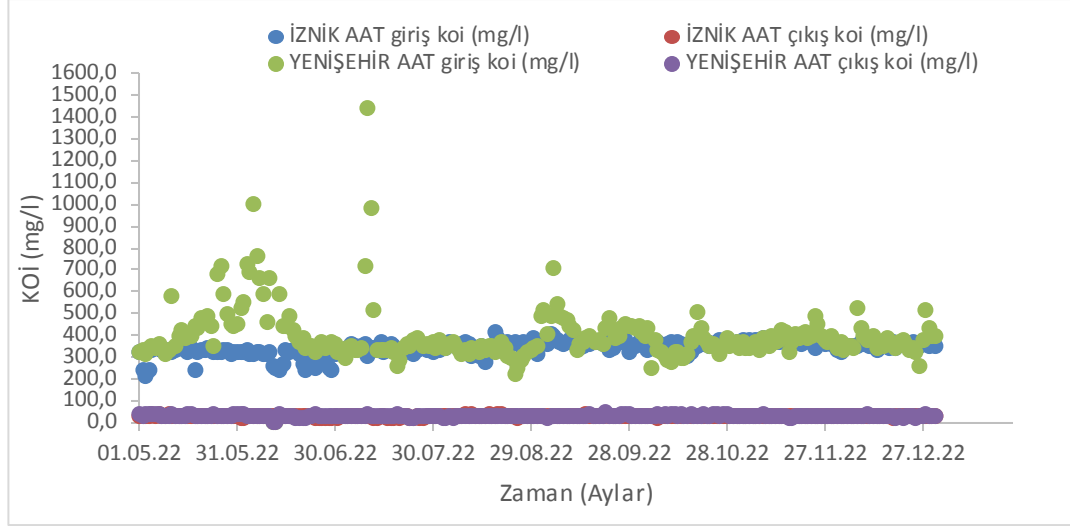
Geri kalan aylarda ise AKM büyük oranda istikrarlı ilerlemiş ve 234 ± 19 mg/L değerlerinde kalmıştır. Ancak arıtma tesisi arıtım performansı bu dalgalanmadan etkilenmemiş ve oldukça stabil çıkış AKM değerleri sağlamıştır. Buna göre Mayıs – Haziran, Temmuz Ağustos ve Eylül – Aralık dönemlerine ait çıkış AKM değerleri sırası ile 7 ± 1 , 6 ± 2 ve 6 ± 1 mg/L'dir.

Yenişehir AAT için ise benzer bir dalgalanma izlenmemiştir. Mayıs – Haziran, Temmuz Ağustos ve Eylül – Aralık dönemlerine ait giriş AKM değerleri birbirine benzer olup sırası ile 234 ± 101 , 210 ± 63 ve 205 ± 65 mg/L'dir.

6.2 Kimyasal Oksijen İhtiyacı

Şekil 6.2'de kimyasal oksijen ihtiyacı zaman grafiği sunulmuştur. Gözlem yapılan tüm zaman için İznik ve Yenişehir AAT'ne ait giriş KOİ konsantrasyonları sırası ile 339 ± 34 ve 393 ± 127 mg/L olarak verilmektedir.

Çıkış değerleri ise İznik AAT için $24,7\pm3$ ve Yenişehir için $26\pm4,5$ mg/L ile, <125 mg/ L ile deşarj standartlarını sağlamaktadır.



Şekil 6.2 : Kimyasal oksijen ihtiyacı.

Çizelge 6.2 : Koi değerleri ve verim.

KOI mg/l	İznik	Y.şehir
Giriş	339± 34	393±127
Çıkış	24,7±3	26±4,5
Verim %	93	93

Buna göre İznik ve Yenişehir AAT için KOİ giderim verimleri, gözlem yapılan tüm süre için iki tesis için de % 93 'e karşılık gelmektedir.

Yenişehir AAT için gözlem yapılan süreç boyunca giriş KOİ değerlerinde kısa süreliğine de olsa dalgalanma izlenmektedir. Sürecin ilk günlerinde (Mayıs –Haziran ayları) 437 ± 159 mg/l iken, KOİ değerinin pik yaptığı (25 Mayıs - 10 Haziran ayları) arasında ortalama 611 ± 145 mg/l değerine yükselme gözlenmiştir.

KOI'deki bu dalgalanma tek başına değerlendirilmesinden ziyade , tesise giren atık suyun akm ve yabancı ajanlarla değerlendirilmesi önem arz etmektedir, bundan dolayı KOİ yükselişinde;

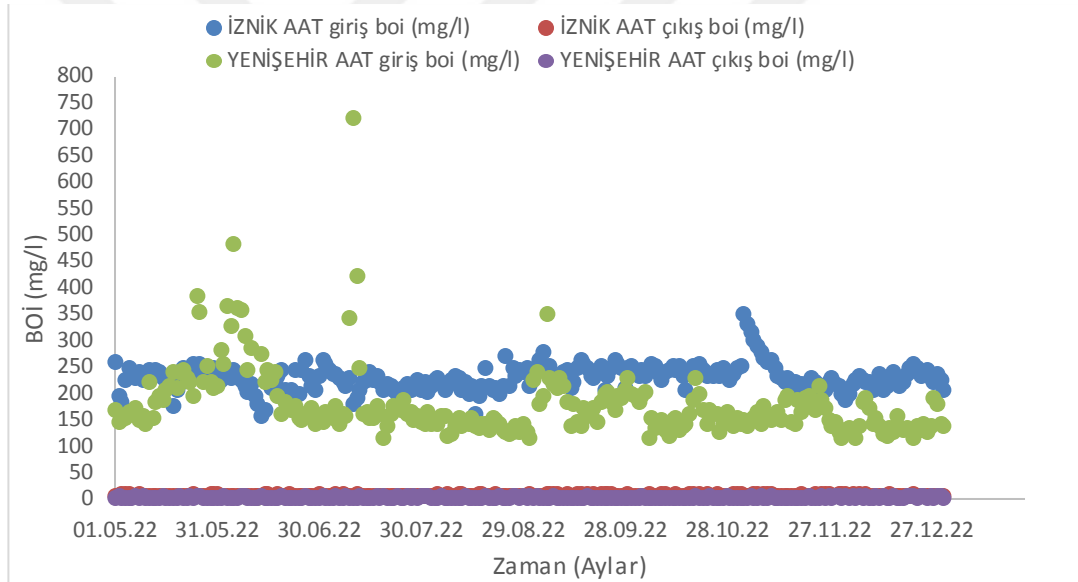
- AKM konsantrasyonunun yaklaşık %20 ye varan yükselişi,
- AKM ile birlikte tesise döküm yapan vidanjörlerde toksik etki yapan kimyasal atık olma ihtimali,
- Kanalizasyon sistemine kaçak yollarla kimyasal ya da suda çözünen organik inorganik bileşiklerin boşaltılması, sanayi atığı vb. atıklar,

- Tarımsal bölge olması nedeniyle kanalizasyon sularına tarım ilcaları vb kimyasalların karışması,
- Numune alımından başlayarak, deneysel süreçte kimyasalların karışımı ya da analiz aşamasında yapılabilecek birtakım bireysel hatalar etkili olabilmektedir.

6.3 Biyolojik Oksijen İhtiyacı

Şekil 6.3'te biyolojik oksijen ihtiyacı zaman grafiği sunulmuştur. Gözlem yapılan tüm zaman için İznik ve Yenişehir AAT'ne ait giriş boi konsantrasyonları sırası ile 228 ± 24 ve 175 ± 67 mg/L olarak verilmektedir.

Çıkış değerleri ise İznik AAT için $5,9 \pm 1,2$ ve Yenişehir için $1,9 \pm 1,2$ mg/L olup, iki tesiste <25 mg/ L ile deşarj standartlarını sağlamaktadır.



Şekil 6.3 : Biyolojik oksijen ihtiyacı.

Buna göre İznik ve Yenişehir AAT için BOİ giderim verimleri gözlem yapılan tüm süre için % 97 ve 98,9 'e karşılık gelmektedir.

Çizelge 6.3 : Boi değerleri ve verim.

BOİ mg/l	İznik	Y.şehir
Giriş	228 ± 24	175 ± 67
Çıkış	$5,9 \pm 1,2$	$1,9 \pm 1,2$
Verim %	97	98,9

Yenişehir ve İznik AAT için gözlem yapılan süreç boyunca giriş BOİ değerlerinde kısa süreliğine de olsa dalgalanma izlenmektedir.

Yenişehir AAT için ortalama değer 175 ± 67 mg/l iken , BOİ değerinin pik yaptığı (25 Mayıs – 10 Haziran ayları) arasında ortalama 300 ± 76 mg/L değerine yükselme gözlenmiştir

Bu dalgalanma,

- Aynı dönemdeki akm değerlerinin artışı sebebiyle olduğu görülmektedir.
- İznik AAT için ortalama değer 228 ± 24 mg/L iken , BOİ değerinin pik yaptığı (1 Kasım - 10 Kasım ayları) arasında ortalama 290 ± 33 mg/L değerine yükselme gözlenmiştir.

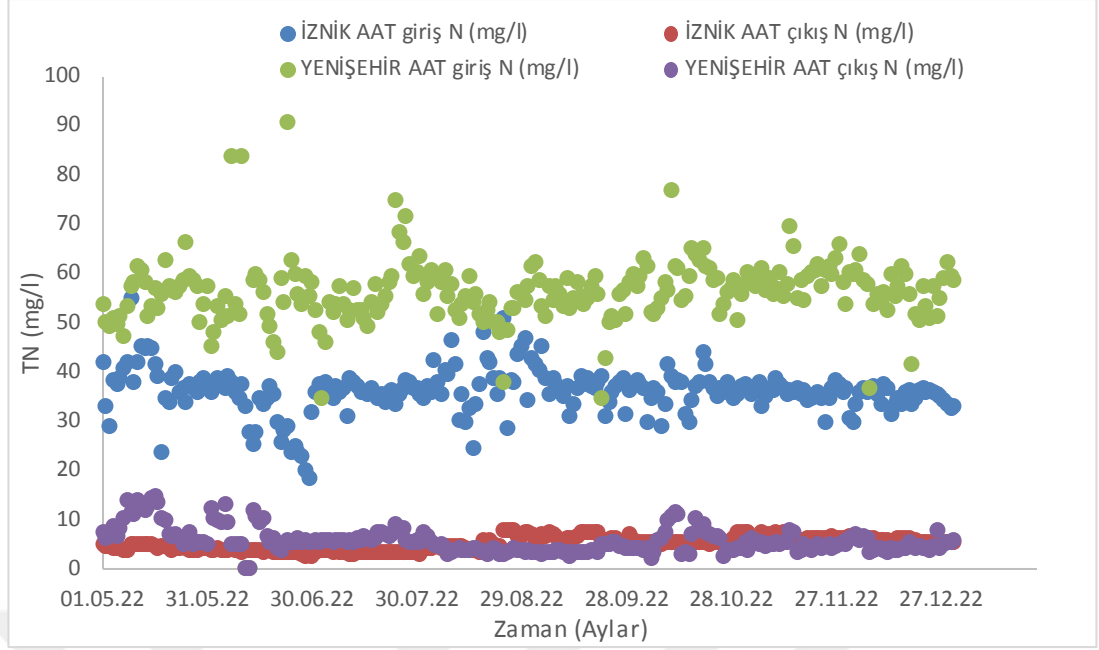
Akm değerinin stabil ve ortalama değere yakın olduğu ortamda BOİ değerindeki bu kısa süreli dalgalanma,

- Deneysel aşamada hata oranı yüksek olan bu deneyin kişisel yada teknik aksaklık sebebi ile hatalı sonuç vermesi,
- Akm'ye yansımayan ama çözünmüş organik madde oranı yüksek içerikte atık suyun tesise girişi, sebebiyle olabilmektedir.

6.4 Toplam Azot

Şekil 6.4'te azot zaman grafiği sunulmuştur. Gözlem yapılan tüm zaman için İznik ve Yenişehir AAT'lere ait giriş azot konsantrasyonları sırası ile $36\pm 4,6$ ve $55,9\pm8,2$ mg/L olarak verilmektedir.

Çıkış değerleri ise İznik AAT için $5\pm1,3$ ve Yenişehir için $5,6\pm2,6$ mg/L'dir , <15 mg/L olduğundan deşarj standartları sağlanmaktadır.



Şekil 6.4 : Toplam azot.

Buna göre İznik ve Yenişehir AAT için azot giderim verimleri gözlem yapılan tüm süre için % 86 ve 90 ‘a karşılık gelmektedir.

Çizelge 6.4 : Toplam azot değerleri ve verim.

TN mg/l	İznik	Y.şehir
Giriş	36± 4,6	55,9±8,2
Çıkış	5±1,3	5,6±2,6
Verim %	86	90

Yenişehir AAT için gözlem yapılan sürecin bazı zamanlarında çıkış TN değerlerinde dalgalanma izlenmektedir.

Yenişehir AAT için ortalama değer (Mayıs-Haziran aylarında) 7,7±3,4 mg/L iken, toplam azotta iniş çıkışın görüldüğü (5 Mayıs - 15 Haziran ayları) arasında birçok günde değerlerin deşarj limiti olan 15 mg/L ‘ye yaklaştığı gözlenmiştir.

Bunun sebebi;

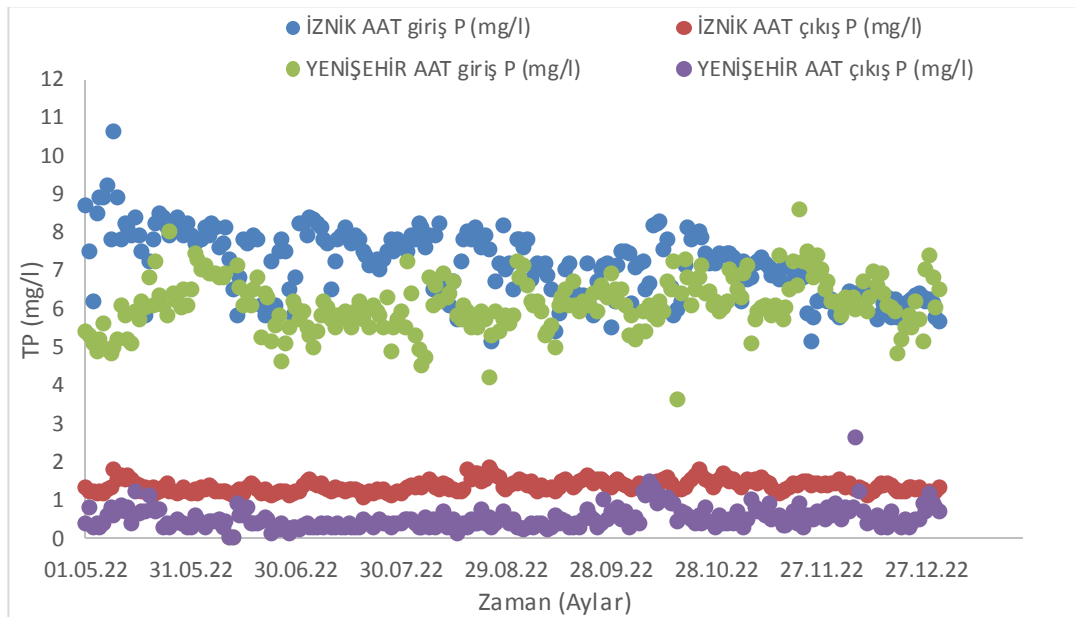
- Öncelikle Yenişehir AAT İznik AAT’nden farklı olarak son çökeltimde yerçekimi etkisi ile biokütle ile temiz suyun ayrılması prensibine bağlı olarak çalıştığından, dalgalanma olması diğer tesise göre muhtemeldir,

- Tesis belli artım verimi ile çalıştığından, eğer belli miktarın üzerinde organik madde girişi olduysa, ve de gerekli aksiyon alınmadı ise işletme açısından, bazı maddeler tam okside olamayacak ve çıkışta değerin yüksek çıkmasına sebep olacaktır,
- Havalandırma havuzunda yeterince nitrifikasyon yada denitrifikasyon aşamaları uygulanmaz ise , yine son çökeltim bakteri kaçağı dediğimiz akm artışına bağlı olarak yine bu değerin artışına sebebiyet verecektir.
- Geri devir oranı uygun şekilde ayarlanmaz ise , yine son çökeltimde çamur battaniyesi kalınlığına bağlı çamur patlamaları, çamur kaçaqları olacağından,
- Çamur çekim oranları, çamur yaşı, hidrolik bekleme süresi gibi dikkat edilmeyen birçok etmen değerlerimizin artmasına sebebiyet verecektir.

6.5 Toplam Fosfor

Şekil 6.5'te fosfor zaman grafiği sunulmuştur. Gözlem yapılan tüm zaman için İznik ve Yenisehir AAT'ne ait giriş fosfor konsantrasyonları sırası ile $7,2 \pm 0,9$ ve $6 \pm 0,9$ mg/L olarak verilmektedir.

Çıkış değerleri ise İznik aat için $1,35 \pm 0,14$ ve Yenisehir için $0,52 \pm 0,27$ mg/L ile <2 mg/L deşarj standardının altındadır.



Şekil 6.5 : Toplam fosfor.

Buna göre İznik ve Yenişehir AAT için fosfor giderim verimleri gözlem yapılan tüm süre için % 81 ve 91 'e karşılık gelmektedir.

Çizelge 6.5 : Toplam fosfor değerleri ve verim.

TP mg/l	İznik	Y.şehir
Giriş	7,2± 0,9	6±0,9
Çıkış	1,35±0,14	0,52±0,27
Verim %	81	91

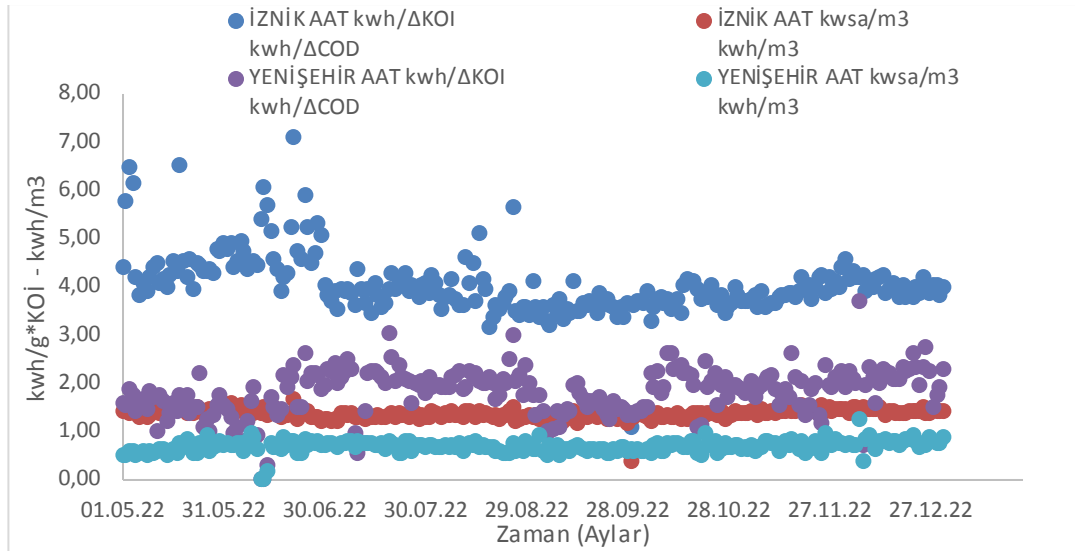
Fosfor değerleri için gözlem yapılan süreçte herhangi bir anormallikle karşılaşılmamıştır, fakat burada dikkat çeken konu, membran sisteme rağmen İznik AAT'nin çıkış değerlerinin yüksek ve neredeyse deşarj standartlarına yakın olmasıdır.

Bunun nedeni;

- BioP tankının daha henüz inşa aşamasından kaynaklı yeterince büyük olmaması yada türlü sebeplerle fosfor tankında yeterince bekleme süresi yapılamamasından,
- Giriş atıksuyun yüksek nitrat yada düşük uçucu yağ asidi içeriği kaynaklı olması en geçerli ihtimaller dahilindedir.

6.6 Tüketilen Enerji

Şekil 6.6'da kilowatt/kimyasal oksijen ihtiyacı - kilowatt saat/metreküp zaman grafiği sunulmuştur. Gözlem yapılan tüm zaman için İznik ve Yenişehir AAT için gereken güç kwh/g*koi için sırası ile 4,04±0,61 ve 1,81±0,5 olarak verilmektedir. Kwh/m³ ise İznik AAT için 1,35±0,1 ve Yenişehir için 0,67±0,13'dir.



Şekil 6.6 : Tüketilen enerji.

Çizelge 6.6 : Tüketilen enerji değerleri ve verim.

	İznik	Y.şehir
Kwh/g*koi	4,04±0,61	1,81±0,5
kwh/m3	1,35±0,14	0,67±0,13

Bu noktada en dikkat çekici durum, İznik AAT'nin debi olarak ortalama Yenişehir AAT'nin neredeyse yarısı kadar atık su arıtımı yapmasına rağmen, enerji tüketimi 2 – 2,5 kat fazla olmasıdır.

Bunun sebebi olarak;

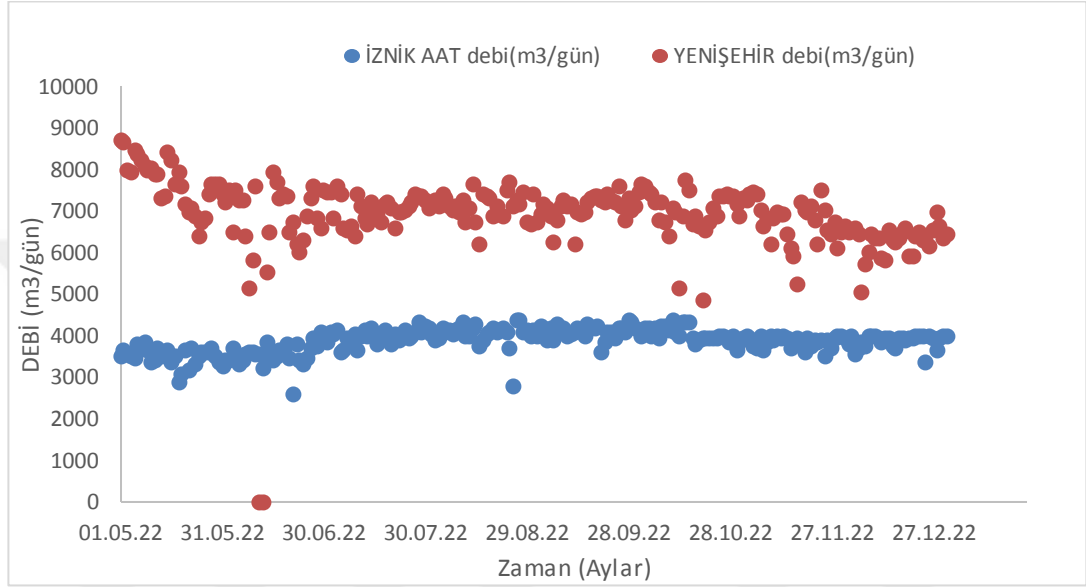
Yenişehir AAT'nde enerji tüketiminin yaklaşık %60 - 70'ine tekabül eden 90 kw'lık havalandırma havuzuna oksijen sağlayan kuru tip pompalar, havalandırma havuzunda çözünmüş oksijen seviyesi istenilen seviyeye çıktığında dinlenmeye geçerken, İznik AAT'nde bulunan 55 kw'lık oksijen sağlayan blowerlara ilaveten 190 kw'lık pompalar durmaksızın çalışmaktadır.

Bu kesintisiz çalışan motorların asli görevi, membran yüzeyinde aktif çamur ya da mikrobiyel kalıntıların birikimini engelleyerek, tıkanmanın önüne geçmektedir.

Membran yüzeyindeki yabancı maddelerin hava ile sıyrılmasını sağlamakta kullanılmak üzere sürekli çalışan bu pompa nedeniyle arıtmada enerji tüketim farkı oluşmaktadır.

6.7 Debi

Şekil 6.7’de debi zaman grafiği sunulmuştur. Gözlem yapılan tüm zaman için İznik ve Yenişehir AAT’ne ait debi miktarları sırası ile 3.872,8 ve 6.931,3 m^3 /gün olarak verilmektedir. İznik ilçesinde 2022 nüfus sayımına göre 44690, Yenişehir ilçesinde ise 54315 kişi ikamet etmektedir.



Çizelge 6.7 : Debi.

	İznik	Y.şehir
m ³ /gün	3.872,8	6.931,3

Yukarıdaki veriler ışığında nüfusla orantılı bir su girişi bulunmamaktadır İznik AAT’ne, yani daha az su girişi olduğu görülmektedir. Bunun nedeni;

Membran prosesinde akı dediğimiz, membranın artım kapasitesine bağlı olarak birim zamanda birim membran alanından geçen hacimle bağlantılı olmasıdır. Ve İznik AAT membran prosesinde mikrofiltrasyon artımı için henüz inşa aşamasında seçilen membran modüllerinin tesis kapasitesine uygun seçilmemesi, tesisin artım anlamında düşük debilerde çalışmasına sebebiyet vermektedir. .

6.8 Su Sarfıyatı

Su sarfıyatı arıtma tesislerinde en fazla çamur susuzlaştırma ünitelerinde olup, İznik AAT çamur susuzlaştırma için kendi arıttığı suyu kullanırken, Yenişehir AAT hem içme suyunu kullanıp hem de aylık bazda 5000 m^3 'leri bulan ciddi bir su sarfıyatı bulunmaktadır.

Bunu nedeni olarak;

- İznik AAT membran sistemi olması nedeniyle kendi arıttığı suyu kullanabilmekte, çünkü atıksuyun membran bioreaktör ile arıtılmasından dolayı, çıkış suyu oldukça yüksek kalitede olup, akm bakımından neredeyse kirlilik yapıcı ajan bulunmamaktadır.
- Yenişehir AAT ise, son çökeltimde temiz su ve aktif çamur yer çekimi etkisi ayrılıp, akm değerleri membran sitemdeki kadar yüksek kalitede olmayıp, çamur kaçakları zaman zaman yüksek seviyelerde çıkması sebebiyle, çıkış suyunu çamur susuzlaştırmada kullanmak belt filtre preste tıkanma gibi bir takım sorunlara yol açabileceği için, temiz içme suyu kullanıp, aylık bazda ciddi oranda su tüketimi bulunmaktadır.

Su sarfıyatı ile alakalı olarak ise, Yenişehir AAT 2023'ün son çeyreğinden sonra çamur susuzlaştırmada dekantör ile çamur susuzlaştırmaya başlamış olup, su sarfıyatı ciddi oranda düşüş göstermiştir. Dekantör ile aylık olarak halihazırda ortalama 200 m^3 /gün su sarfıyatı bulunmaktadır. Bu durum, su sarfıyatı bakımından dekantör ve belt filtre press arasındaki farkı net bir şekilde gözler önüne sermektedir.

Çizelge 6.8 : Çamur susuzlaştırmada kullanılan ortalama temiz su miktarları.

m^3 /ay	İznik Dekantör	Y.şehir Belt Filtre Pres	Y.şehir Dekantör
Kullanılan su	Arıttığı su	5.000	200

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, İznik ve Yenişehir AAT tesisleri baz alınarak, gri suyun arıtımı ve enerji verimliliği karşılaştırılmıştır. İznik AAT, batık tip bir membran biyoreaktör (MBR) sistemi ile arıtma yaparken, Yenişehir AAT ise ileri biyolojik arıtmaya sahiptir. Arıtma sonuçlarına göre, İznik AAT'de AKM, KOİ, BOİ, TN ve TP parametrelerindeki giderim verimlilikleri sırasıyla %97, %93, %97, %86 ve %81 olarak tespit edilmiştir. Yenişehir AAT'de ise bu değerler %95, %93, %98,9, %90 ve %90 olarak bulunmuştur. Enerji verimliliği açısından ise, İznik AAT'de arıtılan atıksuyun metreküp başına enerji sarfıyatı $1,35 \pm 0,1$ Kw.saat/ m^3 iken, Yenişehir AAT'de bu değer $0,67 \pm 0,13$ Kw.saat/ m^3 olarak belirlenmiştir. Su sarfıyatı bakımında ise, İznik AAT kendi arıttığı suyu dekantör ile çamur susuzlaştırmada kullanırken, Yenişehir AAT ise, belt filtre press ile çamur susuzlaştırmada, belt filtre presin işletilmesiyle alakalı olarak mecburen hem içme suyu kullanıp hemde 5000 m^3 /ay gibi ciddi su sarfiyatlarına varan içme suyu sarfıyatı bulunmaktadır. Sonuç olarak, İznik AAT'de kirletici nutrientlerin giderim verimi daha yüksek olmakla birlikte, enerji verimliliği Yenişehir AAT'de daha iyidir, su sarfıyatında ise membran arıtımından ötürü, kendi arıttığı suyu çamur susuzlaştırmada kullanan İznik AAT büyük bir su tasarrufu sağlamaktadır. Ayrıca bu durumda, membran arıtımından ziyade, dekantör ve belt filtre press arasındaki yüksek su tüketimi farkı göze çarpmaktadır. Bu durum, arıtma sistemleri tercihinde göz önünde bulundurulmalıdır. Tez çalışmasında yaygın kirletici parametreleri izlenmiş ve iki tesis kıyaslanmıştır. Gelecekte yapılabilecek yeni çalışmalarda ise mikrokirleticiler, kalıcı organik maddeler incelenebilir. Çalışmalar farklı boyutlarda ve farklı kirletici seviyelerine sahip atıksuları arıtan tesislerin incelenmesi ile büyütülebilir. Diğer bir konu ise her iki tesiste de yüksek giderim verimlerinin çevresel etkilerinin araştırılmasıdır. Membran biyoreaktör kullanımı görünüşe göre evsel atıksu için çıkış suyunun izlenen kalite parametreleri açısından önemli derecede bir fark yaratmamaktadır. Bu nedenle bu ünitelerin işletimlerinin çevresel etkileri araştırılabilir ve konvansiyonel arıtma proseslerine nazaran sağladıkları fayda ile oluşturdıkları çevresel etkileri karşılaştırılabilir.

KAYNAKLAR

- Alaton-Arslan, I., Gürel, M., Eremektar, G., Övez, S., Tanık, A. ve Orhon, D.** (2005). “Türkiye’de *Sürdürülebilir Atıksu Yönetimi*: Mevcut Durum, karşılaşılan Sorunlar ve Çözüm Önerileri”, Arıtılmış Atıksuların Tarımsal Sulamada Kullanılması Çalıştayı, Ankara.
- Atıksu Arıtımının Esasları, Evsel, Endüstriyel Atıksu Arıtımı ve Arıtma Çamurlarının Kontrol.** Erişim: 01.15.2024, <https://webdosya.csb.gov.tr/db/destek/icerikler/kapak20191127122604.pdf>
- Atıksu Miktar ve Özellikleri.** Erişim: 24.12.2005, <http://web.deu.edu.tr/atıksu/ana58/bolum01.pdf>
- Azman, H. E.** (2005). *Evsel Atıksuların Arıtılmasında Arıtma Verimi – Enerji İlişkisinin İncelenmesi*. (Yüksek lisans Tezi). Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Biyolojik Arıtma.** Erişim: 24.12.2005, <http://web.deu.edu.tr/atıksu/ana58/bolum05.pdf>
- Buski.** (2019). Bursa Atıksu Arıtma Tesisi Tesis İşletme ve Bakım Kılavuzu. T.C. Bursa Büyükşehir Belediyesi, Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü, Bursa.
- Buski.** (2023). T.C. Bursa Büyükşehir Belediyesi, Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü, Bursa.
- Chen, Y., Peng, C., Wang, J., Ye, L., Zhang, L., ve Peng, Y.** (2011). “Effect of nitrate recycling ratio on simultaneous biological nutrient removal in a novel anaerobic/anoxic/oxic (A2/O)-biological aerated filter (BAF) system”, *Bioresource Technology*, 102: 5722-5727.
- Çiğdem, A.** (2019). *Tokat Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisinin İşletme ve Performans Yönünden Değerlendirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
- Damar, Y.** (2009). *Tekstil Endüstrisi Atıksularının Ardışık Kesikli Biyoreaktör ile Arıtılması ve Modellenmesi*. (Doktora Tezi). Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya.
- DeCarolus, J. F. ve Adham, S.** (2007). Performance investigation of membrane bioreactor systems during municipal wastewater reclamation, *Water Environment Research*, 79, 2536-2550.
- Ding, L., Zhou, Q., Wang, L. ve Zhang, Q.** (2011). “Dynamics of bacterial community structure in a fullscale wastewater treatment plant with anoxic - oxic configuration using 16S rDNA PCR-DGGE fingerprints”, *African Journal of Biotechnology*, 10 (4): 589-600.

- Durgut, E.** (2024). Kişisel görüşme. 15 nisan, Yenişehir.
- Eroğlu, V.** (2002). *Atıksuların Tasfiyesi*. Su Vakfı Yayınları. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.
- European Communities.** (2001). Pollutants in urban wastewater and sewage sludge. *Final Report, Office for Official Publications of the European Communities.*, Luxembourg, ISBN 92-894-1735-8.
- Ewt (Eimco Water Technologies).** (2007). Bardenpho Process Biological Nutrient Removal System. http://www.itepro.cl/pdf/sistemas_remocion_biologica.pdf
- Guo, W.S., Vigneswaran, S., Ngo, H.-H., Xing, W. ve Goteti, P.** (2008). “Comparison of the performance of submerged membrane bioreactor (SMBR) and submerged membrane adsorption bioreactor (SMABR)”. *Bioresource Technology*, Cilt 99, ss. 1012–1017.
- Henze, M.** (1992). Characterization of water for modelling of activated sludge processes. *Water Science and Technology*, 25(6): 1-15.
- Henze, M., Harremoës, P., Jansen, J. C., ve Arvin, E.** (2002). *Wastewater Treatment: Biological and Chemical Processes* (3rd ed). Berlin.
- Innocenti, L., Bolzonella, D., Pavan, P. ve Cecchi, F.** (2002). “Effect of sludge age on the performance of a membrane bioreactor : Influence on nutrient and metals removal”. *Desalination*, Cilt 146, ss. 467–474.
- Kavak, N.** (2016). *Kayseri İli Örneğinde, Atık Su Arıtma Tesislerinde Uygulanan Arıtma Yöntemlerinin İncelenmesi Ve Optimum Yöntemin Belirlenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nevşehir.
- Kentsel Atıksuların Arıtılması Yönetmeliği.** (2006). *T. C. Resmi Gazete*, 26047, 8 Ocak 2006.
- Koyuncu, İ.** (2012). Atıksu Arıtma Tesisleri Tasarım Rehberi, Atıksu Arıtma Tesislerinin Planlama, Tasarım ve İnşaatı ile İlgili Genel İhtiyaçlar ve Şartlar. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Liu, W., Zheng, X., Yang, M., Zhang, Y., Liu, Y. ve Liu, J.** (2006). “Virus removal performance and mechanism of a submerged membrane bioreactor”. *Process Biochemistry*, Cilt 41, ss. 299–304.
- Melin, T., Jefferson, B., Bixio, D., Thoeye, C., De Wilde, W., De Koning, J., van der Graaf, J. ve Wintgens, T.** (2006). “Membrane bioreactor technology for wastewater treatment and reuse”. *Desalination*, Cilt 187, ss. 271–282.
- Metcalf ve Eddy.** (1991). *Inc, Wastewater Engineering Treatment Disposal and Reuse* (3rd ed.). McGraw-Hill Book Company, New York.
- Metcalf ve Eddy.** (2004). *Wastewater Treatment, Disposal and Reuse*. McGraw Hill Publishing, New York.
- Metcalf ve Eddy.** (2003). *Wastewater Engineering Treatment and Reuse* (Fourth Edition, Tata McGraw-Hill Publishing Co.). New Delhi. mixotrophic

denitrifying membrane bioreactor for simultaneous Cr(VI) and nitrate reduction. *Journal of Hazardous Materials*, 324(2), 15–21.

Öztürk, İ., Timur, H., ve Koşkan, U. (2005). *Atıksu Arıtımının Esasları*. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.

Rittmann, B. E. (1987). Aerobic Biological Treatment. *Env. Sci. Tech.*, 21, 128-36.

Rosenberger, S., Krüger, U., Witzig, R., Manz, W., Szewzyk, U. ve Kraume, M. (2002). “Performance of a bioreactor with submerged membranes for aerobic treatment of municipal waste water”. *Water Research*, Cilt 36, ss. 413–420.

Salihoğlu, K. (2012). Assessment of Urban Source Metal Levels in Influent, Effluent, and Sludge of Two Municipal Biological Nutrient Removal Wastewater Treatment Plants of Bursa, an Industrial City in Turkey. *Clean – Soil, Air, Water* 2013, 41(2): 153–165.

Samsunlu, A. (2006). *Atıksuların Arıtılması*, Birsen Yayınevi.

Silva, C., Quadros, S., Ramalho, P., Alegre, H., ve Rosa, M. J. (2014). Translating removal efficiencies into operational performance indices of wastewater treatment Plants. *Water Research*, 57: 202-214.

Şahinkaya, S. (2014). *Çevre Mühendisliğine Giriş Ders Notları*. Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Nevşehir.

Toprak, H. (1996). *Atıksu Arıtma Sistemlerinin Tasarım Esasları*. DEÜ Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir.

Turan, G. (2014). *Kentsel Atıksu Arıtma Tesisleri ve İşletme Sorunları*. (Yüksek Lisans Tezi). Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.

Yıldırım, A. K. (2006). *Evsel Atıksu Arıtma Tesislerinde Debi-Maliyet İlişkileri*. (Yüksek Lisans Tezi). Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.