

**T.C.  
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ATIKSU ARITIMINDA EKİPMAN REVİZYONU İLE  
ENERJİ OPTİMİZASYONU**

**Tezi Hazırlayan  
Faruk NAZİK**

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Serkan ŞAHİNKAYA**

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi**

**Eylül 2017  
NEVŞEHİR**



**T.C.  
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ATIKSU ARITIMINDA EKİPMAN REVİZYONU İLE  
ENERJİ OPTİMİZASYONU**

**Tezi Hazırlayan  
Faruk NAZİK**

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Serkan ŞAHİNKAYA**

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi**

**Eylül 2017  
NEVŞEHİR**

Doç. Dr. Serkan ŞAHİNKAYA danışmanlığında **Faruk NAZİK** tarafından hazırlanan "**Atıksu Arıtımında Ekipman Revizyonu ile Enerji Optimizasyonu**" başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.


22/09/2017

## JÜRİ

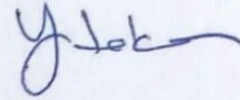


Başkan : Yrd. Doç. Dr. Erkan KALIPCI

Üye : Doç. Dr. Serkan ŞAHİNKAYA



Üye : Yrd. Doç. Dr. Hakan ÇELEBİ



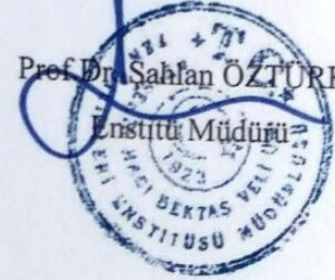
## ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun **27/09/2017** tarih ve **44-380...** sayılı kararı ile onaylanmıştır.

27 /09/2017

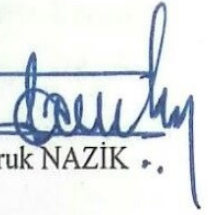
Prof. Dr. Şahlan ÖZTÜRK

Enstitü Müdürü



## TEZ BİLDİRİM SAYFASI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada yer alan bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu ve bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

  
Faruk NAZİK r.

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmamın her aşamasında desteğini esirgemeyen ve deneyimleri ve bilgisi ile bana yol gösteren, aynı zamanda kişilik olarak da bana çok katkıda bulunan değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Serkan ŞAHİNKAYA'ya,

Hem mesleki hem iş tecrübesi açısından bana her türlü desteği veren başta Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Genel Sekreteri Sayın İlhan BAYRAM'a, İSU Genel Müdürü Sayın Ali SAĞLIK'a, İSU Genel Müdür Yardımcısı Hasan FİTOZ'a, Arıtma Tesisleri Daire Başkanı Ünal BOSTAN'a ve tüm İSU AİLESİ'ne,

Teknik ve idari desteklerinden dolayı Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Rektörlüğü'ne ve Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölüm Başkanlığı'na,

Tezin her aşamasında desteğini esirgemeyen değerli abim Tahsin Nazik'e, kardeşim Arş.Gör.Cihad NAZİK'e ve kıymetli arkadaşım Dr. Mustafa TAŞYÜREK'e, teşekkür ederim.

Ayrıca bu tezi; ilkokul hayatımdan lisansüstü çalışmama kadar; hep doğru yolda ve doğru adımlarla gitmem için beni destekleyen, eğiten, kıymetli annem Saniye NAZİK, kıymetli babam Hüseyin NAZİK'e ve kıymetli eşim Kübra NAZİK'e ithaf ediyorum.

# ATIKSU ARITIMINDA EKİPMAN REVİZYONU İLE ENERJİ OPTİMİZASYONU

(Yüksek Lisans Tezi)

Faruk NAZİK

NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Eylül 2017

## ÖZET

Bu çalışma; Gebze İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinde havalandırma ünitesindeki oksijen ihtiyacı için harcanan elektrik enerjisinin azaltılması ve arıtma sisteminin toplam işletme maliyetinin düşürülmesi amacıyla yapılmıştır. Çalışan bir ileri biyolojik kentsel atıksu arıtma tesisinde tesisin giriş parametrelerine bakılarak havalandırma ünitesinde harcanan elektrik enerjisi için havalandırma ekipmanları (blowerler) arasında karşılaştırmalar yapılarak yeni kurulan havalandırma sisteminin ekonomik analizi yapılmıştır. Gebze İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinde tesisinin giriş KOİ, TN, debi, fazla çamur ve enerji sarfiyatı verileri iki yıl boyunca kaydedilmiş olup bu veriler ışığında tesisin iki farklı ekipman ile harcadıkları elektrik enerjisi ilişkileri incelenmiştir. Arıtma tesisinde; % 93 AKM, % 90 KOİ, %95 BOİ<sub>5</sub> giderim veriminin gerçekleştiği gözlenmiştir. Buna göre yapılan hesaplarda, tesiste manyetik yataklı turbo blowerlerin kullanılmasıyla havalandırma ünitesindeki enerji tüketiminin yaklaşık % 30 oranında azaldığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler :** *Arıtma Maliyeti, Atıksu, Blower, Enerji Optimizasyonu*  
**Tez Danışman :** Doç. Dr. Serkan ŞAHİNKAYA  
**Sayfa Adeti:** 57

# ENERGY OPTIMIZATION WITH THE EQUIPMENT REVISION IN WASTEWATER TREATMENT

(M. Sc. Thesis)

Faruk NAZİK

NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ UNIVERSITY  
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

September 2017

## ABSTRACT

This study was done to reduce the total operating cost of the treatment system and reduction of the electricity consumed for the oxygen requirement in the ventilation unit of the Gebze Advanced Biological Wastewater Treatment Plant. Economic analysis of the newly established ventilation system was made at a running advanced biological urban wastewater treatment plant by looking at the input parameters of the plant and by comparing the ventilation equipment (blower). The input COD, TN, flow, excess sludge and energy consumption data of the plant in the Gebze Advanced Biological Wastewater Treatment Plant have been recorded for two years and In this light, the electrical energy relationships that the plant spends with the two different equipment have been examined. At the treatment plant; 93% SSM, 90% COD 95% BOD<sub>5</sub> removal efficiency has been observed. According to the calculations made, the energy consumption of the ventilation unit has been reduced by about 30% using magnetic bearing turbo blowers.

***Keywords : Treatment Cost, Wastewater, Blower, Energy Optimization***

**Thesis Supervisor: Assoc. Dr. Serkan ŞAHİNKAYA**

**Page Number: 57**



## İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1 .....	1
<b>GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
BÖLÜM 2 .....	3
<b>2. AKTİF ÇAMUR SÜRECİ.....</b>	<b>3</b>
2.1. Giriş.....	3
2.2. Temel Arıtım Süreçleri .....	3
2.3. Temel Süreç Mekanizması.....	4
2.3.1. Karbonlu maddelerin giderim mekanizması .....	4
2.3.2. Azotlu maddelerin giderim mekanizması-nitrifikasyon.....	5
2.4. Tasarım Esasları ve Parametreleri.....	5
2.4.1. Tasarımda dikkat edilmesi gereken değişkenler .....	5
2.4.2. Süreç tasarım esasları .....	6
2.4.2.1. Toksik ve inhibe edici atıklar .....	7
2.4.2.2. Nutrientlerin eksiliği .....	8
2.4.2.3. Yük ve debi salınımları .....	9
2.4.2.4. Askıda katı madde .....	9
2.4.2.5. Sıcaklık.....	9
2.4.2.6. Çamur hacim indeksi (ÇHI) - şişkin çamur .....	9
2.4.2.7. Çamur geri çevrim oranı ve MLSS .....	10
2.4.2.8. Net çamur üretimi .....	10
2.4.2.9. Hidrolik alıkonma süresi .....	10
2.4.2.10. Oksijen gereksinimi .....	10
2.4.2.11. Fazla çamur miktarı.....	11
2.5. Havuz Tasarımı .....	11
2.5.1. Tam karışımli reaktörler.....	11
2.5.2. Piston akımlı reaktörler .....	12
2.5.3. Kontakt stabilizasyon .....	12
2.5.4. Kademeli havalandırma .....	13
2.5.5. Oksidasyon hendeği .....	13

2.6.	Havalandırıcılar.....	13
2.6.1.	Genel esaslar .....	13
2.6.2.	Difüze havalandırıcılar.....	15
2.6.2.1.	Kabarcık oluşturan difüzörler .....	16
2.6.2.2.	Tüp şeklinde difüzörler .....	20
2.6.2.3.	Jet difüzörler.....	20
2.6.3.	Mekanik yüzeysel havalandırıcılar .....	20
2.6.3.1.	Radyal akımlı düşük devirli yüzeysel havalandırıcılar .....	21
2.6.3.2.	Eksenel akımlı yüksek devirli yüzeysel havalandırıcılar .....	22
2.6.3.3.	Yatay milli fırça havalandırıcılar (rotorlar).....	23
2.6.4.	Batık türbin havalandırıcılar .....	23
2.6.5.	Hava temini .....	23
2.7.	Havalandırıcı Tasarımı ve Testi .....	25
2.7.1.	Güç ölçümleri ve oksijen transfer verimi.....	25
<b>BÖLÜM 3 .....</b>		<b>26</b>
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>		<b>26</b>
3.1.	Gebze İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinin Tasarım ve İşletim Parametreleri .....	26
3.1.1.	İleri fosfor ve nitrojen giderimi yapan aktif çamur sisteminin tasarımı.....	28
3.1.2.	Proses seçimi.....	28
3.2.	Proses İçin Gerekli Olan Oksijen Miktarının Hesaplanması, Havalandırıcı Tasarımın Yapılması .....	29
3.2.1.	Gerekli hava miktarının hesaplanması .....	29
3.3.	Mevcut Cihazlar ve Kullanım Durumları .....	29
3.4.	Amaçlanan Enerji Tasarrufu .....	30
3.5.	Planlanan İyileştirme.....	31
3.6.	Yeni Nesil Blowerlerin Kullanımı .....	31
3.7.	Çözünmüş Oksijen-Vana-Blower Kontrol Otomasyonu .....	33
3.8.	Temin Edilen Ekipman Özellikleri .....	34
3.8.1.	Manyetik yataklı turbo blower .....	34
3.8.2.	Otomasyon .....	36

3.9.	Yapılan Su Analiz .....	38
3.9.1.	Açık refluks yöntemi ile KOİ analizi .....	38
3.9.2.	Girişimler .....	39
3.9.3.	Uyarılar .....	40
3.9.4.	Araçlar .....	40
3.9.5.	Reaktifler .....	40
3.9.6.	Deneyin yapılışı .....	41
<b>BÖLÜM 4 .....</b>		<b>43</b>
<b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI .....</b>		<b>43</b>
4.1.	Mekanik Ekipman Güçleri .....	43
4.2.	Ekipman Revizyonu ile Enerji Tasarrufunun Tespiti .....	44
4.3.	Ekipman Revizyonunun Arıtma Verimine Etkisi .....	51
<b>BÖLÜM 5 .....</b>		<b>52</b>
<b>5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER .....</b>		<b>52</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>		<b>55</b>

## TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Havalandırma havuzu tasarım değişenleri .....	6
Tablo 2.2. Aktif çamur tasarım değişkenleri arasındaki ilişkiler .....	7
Tablo 2.3. Sürece inhibe etki yapan maddeler ve eşik konsantrasyonları (mg/L) .....	8
Tablo 2.4. Bazı havalandırıcıların teknik özellikleri.....	14
Tablo 2.5. Havalandırıcı karışım gereksinimleri .....	15
Tablo 3.1. Mevcut baklalı blowerlerin yıllık enerji ihtiyacı.. .....	30
Tablo 4.1. Gebze atıksu arıtma tesisi ekipman güç çizelgeleri .....	43

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Aktif çamur süreci için temel arıtım mekanizması .....	4
Şekil 2.2. Tam karışımli aktif çamur süreci akım şeması. ....	12
Şekil 2.3. Oksidasyon hendeği akım şeması .....	13
Şekil 2.4. Bazı difüzör tipleri .....	17
Şekil 2.5. Yukarıya alınabilir difüzör boru sistemi .....	19
Şekil 2.6. Mekanik yüzeysel havalandırıcılar .....	22
Şekil 2.7. Difüze havalandırma sisteminde kullanılan blowerler .....	25
Şekil 3.1. Aktif çamur prosesi örnek akım şeması.....	28
Şekil 3.2. Üç loblu blowerler .....	29
Şekil 3.3. Manyetik yataklı blower rotoru .....	32
Şekil 3.4. Manyetik yataklı blower rotoru akım şeması .....	32
Şekil 3.5. Planlanan blower kontrol otomasyon şeması.....	34
Şekil 3.6. Loblu eski tip blower .....	37
Şekil 3.7. Yeni nesil manyetik yataklı turbo blower.....	37
Şekil 3.8. Yeni nesil manyetik yataklı turbo blower aksamları .....	38
Şekil 4.1. Tesisin giriş debi, kirlilik yükü ve çekilen çamur miktarı .....	45
Şekil 4.2. Havalandırma ünitesindeki blowerlerin tükettiği enerji miktarları.....	46
Şekil 4.3. Havalandırma ünitesindeki enerji tüketiminin toplam tüketime oranı (%) ....	47
Şekil 4.4. Enerji maliyetleri değişimi.....	48
Şekil 4.5. Birim atıksu başına harcanan enerji miktarı (kw/m <sup>3</sup> ) .....	49
Şekil 4.6. Gebze atıksu arıtma tesisi arıtma verimi.....	51

## SİMGE VE KISALTMALAR LİSTESİ

- AKM: Askıda Katı Madde  
BOD: Biological Oxygen Demand  
BOİ: Biyolojik Oksijen İhtiyacı  
BOİ<sub>5</sub>: Biyolojik Oksijen İhtiyacı (5 Günlük İnkübasyon Periyodu Sırasında)  
CO<sub>2</sub>: Karbondioksit  
COD: Chemical Oxygen Demand  
ÇHİ: Çamur Hacim İndeksi  
dBA: Desibel A  
F:M: Besin/Mikroorganizma  
KAS: Katı Alıkonma Süresi  
KOİ: Kimyasal Oksijen İhtiyacı  
mg/L: miligram/Litre  
MLSS: Karışık Sıvı Askıda Katı Madde  
MLVSS: Karışık Sıvıda Askıda Uçucu Katı Madde  
N: Azot  
P: Fosfor  
NO<sub>3</sub>: Nitrat  
TKAÇS: Tam Karışımli Aktif Çamur Sistemi  
kWh: Kilowatt saat  
kg: kilogram  
m/sn: metre/saniye  
SOTE: Standart oksijen transfer verimi(EFFICIENT)  
SOR: Standart Oksijenlenme Kapasitesi  
SSM: Suspenden Solid Matter  
Nm<sup>3</sup>: Normal metreküp  
₺: Türk Lirası  
P<sub>m</sub>: Motor Gücü

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Dünyada artan nüfusa bağlı olarak oluşan atıksular ve bunların tasfiyesi en önemli çevre sorunları içerisinde yer almaktadır. Atıksu arıtımı, gerek ilk yatırım maliyeti gerek işletme güçlükleri ve sürdürülebilirlik açısından büyük zorluklar içermektedir. Ülkemiz için atıksu sorunu giderek daha da önem kazanmakta ve gerekli önlemlerin alınabilmesi için tüm teşvikler uygulanmaktadır.

Son yıllarda yapılan uygulamalar göstermektedir ki; atıksu arıtma tesislerindeki enerji verimliliği gelecekte oldukça önemli bir yer teşkil edecektir. Bu amaçla; arıtma tesisi havalandırma ünitelerinde yapılan ekipman değişimi ile enerji sarfiyatları yaklaşık % 50 oranında azalacaktır. Sürdürülebilir işletmecilik anlamında yol gösterici bir rol üstlenecek olan bu çalışma, proje ve danışmanlık hizmetlerine ufuk oluşturarak ilk yatırım maliyetlerini azaltacak ve diğer taraftan da tüm atıksu arıtma tesislerine ve işletmecilerine, hem işletme giderlerinin azaltılması yönünde hem de gelecekteki yatırımları için fikir sahibi olmalarını sağlayacaktır. İlerleyen yıllarda; Türkiye’de farklı ölçeklerde atıksu arıtma tesisleri hayata geçirilmeye devam edecektir. Bu sebeple en az maliyetle enerji verimliliğinin sağlanması gerekmektedir. Bakanlıklarca hazırlanan işletme ve tasarım el kitaplarındaki ekipman seçiminde bu hususlar, detaylarına kadar incelenmeli ve yazılı hale getirilmelidir.

Ön çöktürme havuzu, kum tutucu, anaerobik tank, anoksik havuz, aerobik havuz, son çöktürme, selektör tankı, fazla çamur pompa istasyonu, çamur yoğunlaştırma, kaba ızgaralar, çamur çürütme, geri devir pompa istasyonu, çamur susuzlaştırma üniteleri tipik bir atıksu arıtma tesisinin kısımlarıdır [1,2].

Atıksu arıtma tesisi, yatırım ve işletme aşamasında sorun ve zorluklarla karşılaşılması beklenen alanlar:

- Atıksu arıtma sahasında enerji verimliliğinden elde edilecek fırsat ve avantajlar konusunda temel bilgi birikimi oluşturulması.

- Atıksu arıtma tesislerinin enerji verimliliği esaslarına uygun, etkin şekilde işletiminin sağlanması.
- Atıksu arıtma tesisleri sahasında faaliyet göstermiş olan tasarım ve mühendislik firmalarının etkin ve verimli enerji kullanımının; gelecekteki plan ve projelere aktarılmasının sağlanmasıdır [1,2].



## BÖLÜM 2

### 2. AKTİF ÇAMUR SÜRECİ

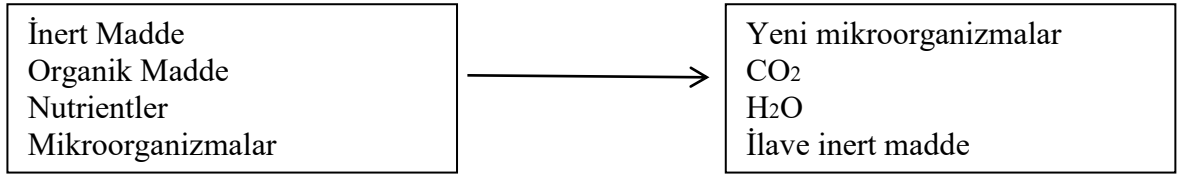
#### 2.1. Giriş

Aktif çamur, içerisinde organik ve inorganik maddeler ihtiva eden atıksu ile canlı veya cansız tüm mikroorganizmaların bir karışımı olup, bu süreç; mikroorganizmaların organik maddeyi oksijen kullanarak ayrıştırılmaları ilkesinden yola çıkılarak geliştirilen bir aerobik atıksu arıtma sistemidir. Bu süreç ikincil bir arıtım sürecidir ve sonrasında son çöktürme havuzu tarafından izlenir. Klasik uygulamalarında proses seçimine göre veya ihtiyaca göre ön çöktürme havuzu da kullanılmaktadır [3,17].

Bilinen aktif çamur sürecinde, atıksu mikroorganizmaların çok miktarda bulunduğu havalandırma havuzuna verilir. Mikrobiyal büyüme için organik madde, hem karbon kaynağı hem de enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Yeni hücrelerin sentezini sağlar. Son ürün olarak karbon dioksit ve su oluşur. Havuzun içeriği “*karışık sıvı askıda katı madde*” (MLSS) veya “*karışık sıvıda askıda uçucu katı madde*” (MLVSS) olarak tanımlanır. Muhteviyatında büyük oranda, mikroorganizmalar, inert ve biyolojik olarak ayrışamayan maddeler bulunmaktadır. Mikroorganizmalar hem organik hem de inorganik maddelerden oluşur. Bunların genellikle %70-90 arası organik %10-30 arası inorganik maddedir. Mikroorganizmaların özellikleri; organik maddeyi istikrarlı hale getirdikleri ortamın çevresel özelliklerine ve atık suyun kimyasal terkibine bağlıdır. Düşük pH, düşük oksijen, düşük azot, ve yüksek hidrokarbonlar, aktif çamur kütlelerinde iplikli bakterilerin ve mantarların artmasına sebep olur. Bu organizmalar aktif çamurun çökeltme özelliklerini bozar ve son çöktürme havuzundan bakteri kaçmasına neden olur. Çünkü bu organizmalar şişkin çamur sorunu oluşturmaktadır [14,19].

#### 2.2. Temel Arıtım Süreçleri

Aktif çamur sürecinde oluşan reaksiyon, prosesdeki farklı türdeki mikroorganizmaların kendilerine has reaksiyonlarının bir bileşenidir.



Şekil 2.1. Aktif çamur süreci için temel arıtım mekanizması [17]

Metabolik süreç, sürekli devam eden sentez ve solunum reaksiyonlarından ibarettir. Sentez, yeni hücrelerin (protoplazma) üretimi için organik maddenin (besin) kullanımınıdır. Solunum ise, besin maddesinin daha düşük enerji içeren son ürünlere (karbon dioksit, su ve bazı oksitlenmiş azot bileşikleri) dönüşümü sonucu enerjinin açığa çıkmasıdır. Oluşan son ürünlerin özellikleri, reaksiyon süresini, sıcaklığını ve organik yükleme hızını içeren süreç tasarım parametrelerine bağlıdır [14-17].

### 2.3. Temel Süreç Mekanizması

Aktif çamur süreci, karbonlu ve azotlu maddelerin giderimi için oldukça ideal ve kullanışlı bir sistemdir. Bu sebeple oksijen ihtiyacı, karbonlu ve azotlu maddelerin oksidasyonu için gerekli oksijen miktarları olmak üzere iki ana gruba ayrılabilir [16].

#### 2.3.1. Karbonlu maddelerin giderim mekanizması

Karbonlu maddelerin giderimi için gerekli olan oksijen ihtiyacı, genelde 5 günlük “biyokimyasal oksijen ihtiyacı, ( $BOİ_5$ )” deneyi ile tespit edilir. 5 günden daha büyük bir deney süresi için (örneğin 20 gün) sadece karbonlu maddelerin ayrışımında gerekli olan oksijen ihtiyacının tespitinde, nitrifikasyon sürecinin inhibe edilmesi gerekir.

Atıksudaki  $BOİ_5$  giderim hızı,  $BOİ_5$  nin çözünmüş, kolloidal ve askıdaki fraksiyonlarına bağlıdır. Evsel atıksu, genelde % 30-40 oranında çökebilir  $BOİ_5$ , aynı oranlarda kolloidal  $BOİ_5$ , % 20-40 oranında ise çözünmüş  $BOİ_5$  içerir. Genelde, birçok klasik aktif çamur sürecinin tasarımı, 0.15 ila 0.50 kg  $BOİ_5$ /kg MLSS.gün lük karbonlu organik madde yükleme hızına ve 3 ila 6 günlük katı alıkonma süresine göre yapılır [11,14].

### **2.3.2. Azotlu maddelerin giderim mekanizması-nitrifikasyon**

Atıksuyun arıtımı için gerekli oksijenin belirli bir kısmı, amonyağın nitrata dönüştürülmesinde kullanılır. “*Nitrosomonas*” ve “*Nitrobacter*” bu iki kademeli oksidasyondan sorumludur. Nitrifikasyon bakterileri hücrenin büyümesi için atıksudaki karbon dioksit ve onunla ilgili iyon türleri gibi oksitlenmiş karbon bileşiklerini kullanırlar. Bu sebeple, büyümeleri ve gelişmeleri için karbonlu maddelerin giderimlerinin tamamlanmış olması gerekmektedir.

Nitrifikasyon bakterileri gerekli olan enerjileri, amonyağın önce nitrite ve nitritin de nitrata dönüştürülmesi sonucunda elde ederler. Nitrifikasyon bakterilerinin büyüme hızlarına, diğer iz elementlerin varlığı da etki eder.

Nitrifikasyon bakterileri evsel atıksularda bulunur. Katı alıkonma süresinin (KAS) arttırılması ile nitrifikasyon gerçekleşir. Yüksek KAS nitrifikasyon bakterilerinin yeterli sayıda bulunmasına olanak tanımış olur.

Nitrifikasyonun tamamlanması için gerekli olan oksijen miktarı çok yüksektir. Evsel atıksuyun 20 ila 30 mg/L mertebesinde amonyak azotu içermesi ve 1 mg amonyak azotunun oksidasyonu için 4.3 ile 4.6 mgO<sub>2</sub>/mg NO<sub>3</sub>'lik oksijen ihtiyacı göz önüne alındığında, aktif çamur süreci için gerekli olan toplam oksijen ihtiyacı ve dolayısıyla sistemin kurulu gücü artmış olur [4,10,14].

## **2.4. Tasarım Esasları ve Parametreleri**

### **2.4.1. Tasarımda dikkat edilmesi gereken değişkenler**

Havalandırma havuzu aktif çamur sürecinin en önemli ünitesidir. Tasarımı ve işletimi birçok değişkene bağlıdır. Bunların bir kısmı (toksik ve inhibe edici maddeler) operatör tarafından kontrol edilmesi mümkün değildir. İyi bir çıkış suyu elde etmek için dikkat edilmesi gereken değişkenler Tablo 2.1' de belirtilmiştir [13,17].

Tablo 2.1. Havalandırma havuzu tasarım değişkenleri [17]

Atıksu veya sistem değişkenleri	Süreç değişkenleri
Toksosite	Geri devir oranı
Nutrient eksikliği	MLSS
Debi	KAS veya F:M
BOİ <sub>5</sub>	Net çamur üretimi
Amonyak veya Kjeldahl azotu	Hidrolik alıkonma süresi
Sıcaklık	Oksijen gereksinimi
Çamur hacim indeksi (SVI)	Fazla çamur miktarı
Geri devir çamur konsantrasyonu	Çamur hacim indeksi

İyi bir tasarım için bazı değişkenler arasındaki ilişki de göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin MLSS ile KAS veya F:M arasındaki ilişki havalandırma havuzu hacmini ve dolayısı ile çıkış suyu kalitesini belirler. Çamur geri devir oranı ve çökeltme havuzu tabanındaki çamur konisindeki MLSS konsantrasyonu hem arıtılacak atıksuyun hem de süreç tasarımının ve işletimin bir özelliği olan çamur hacim indeksinin bir fonksiyonudur. Tablo 2.1’ de aralarındaki ilişkinin dikkate alınması gereken değişkenler verilmiştir. Tablo 2.1. ve Tablo 2.2.’ den de görüleceği üzere diğer değişkenlerin yanında son çökeltme havuzu tasarım faktörleri süreç verimini belirleyen önemli bir unsurdur [14,17].

#### 2.4.2. Süreç tasarım esasları

Havalandırma havuzunun tasarımında aşağıdaki kademeler izlenmelidir:

**Atıksu nicelik ve niteliğin belirlenmesi:** Ortalama minimum ve maksimum atıksu debilerinin saptanması, yaz ve kış aylarında maksimum ve minimum sıcaklık değerlerinin belirlenmesi. Evsel nitelikte ham atıksuyun 200’ er mg/L BOİ<sub>5</sub> ve AKM içerdiği göz önüne alınabilir.

**Kış aylarındaki giderim veriminin dikkate alınarak KAS’ nin seçilmesi:** Yaz aylarında artan sıcaklık ile mikrobiyolojik faaliyetler de artacaktır. Bu nedenle arıtım daha hızlı bir şekilde gerçekleşeceğinden yaz aylarında daha düşük KAS uygulanmalıdır.

**KAS, sıcaklık ve ön arıtım verimi bazında net çamur üretim hızının belirlenmesi:**

Net çamur üretim hızının belirlenmesi çamur geri devir ve fazla çamur uzaklaştırma hızlarının saptanmasını sağlayacaktır.

**Yaz ve kış aylarında gerekli oksijen ihtiyacının hesaplanması:**

Yaz ve kış aylarında farklı KAS değerleri uygulanacaksa, oksijen ihtiyaçları ve atık çamur miktarları ayrı ayrı hesaplanmalıdır. Yaz aylarında artan sıcaklık ile çözülmüş oksijenin çözünürlüğü azalacaktır. Sonuçta sisteme daha fazla oksijen transferi gerekecektir. Kış aylarında ise düşük sıcaklık nedeniyle çözünürlük artacağından oksijen ihtiyacı daha az olacaktır [11,14-17].

Tablo 2.2. Aktif çamur tasarım değişkenleri arasındaki ilişkiler [17]

Tasarım parametresi	Tasarımı belirleyen değişken	İlgili süreç faktörü
Katı alıkonma süresi	-Çıkış suyu kalitesi -Sıcaklık -Biyokinetik	-Havalandırma süresi -MLSS konsantrasyonu -Çamur üretim hızı -Oksijen gereksinimi
MLSS konsantrasyonu	-Sıcaklık -Çamur geri çevrim oranı -Geri çevrim MLSS konsantrasyonu	-Son çökeltme havuzu yüzeysel hidrolik yükü ve katı yükü -Çamur hacim indeksi -Katı alıkonma süresi -Çamur üretim hızı
Geri çevrim oranı	-MLSS konsantrasyonu -Geri çevrim MLSS konsantrasyonu	-Çamur hacim indeksi -Son çökeltme havuzu yüzeysel hidrolik yükü ve katı yükü

**2.4.2.1. Toksik ve inhibe edici atıklar**

Organizmalar hem fiziki ve kimyevi inhibitasyona hem de biyolojik etkilere karşı hassasiyet göstermektedir. Endüstri kaynaklı atıksuların evsel atıksulara karışabilmesi nedeniyle toksik ve inhibütör kimyevi maddelerin daha çok dikkate alınması gerekmektedir.

Mikrobiyal enzimlerle krom, çinko, kadmiyum, nikel ve bakır gibi ağır metaller reaksiyona girer. Bunun sonucunda da metabolizma olumsuz olarak etkilenir. Bu metallerin çözülmüş iyonik yapıda olmalarının bir sonucu olarak inhibe edici etkileri

artar. Biyolojik arıtımı inhibe eden maddeler ve onların sınır konsantrasyonları Tablo 2.3.'te verilmiştir. Giriş atıksuyunda toksik maddeye rastlanması genel itibariyle çıkış kısmında arıtılmış suda da bulunduğuna işarettir [11,14-17].

Tablo 2.3. Sürece inhibe etki yapan maddeler ve eşik konsantrasyonları (mg/L) [14]

Toksik madde	C giderimi için	N giderimi için
Alüminyum	15-26	-
Amonyak	480	-
Arsenik	0.1	-
Bor	0.05-100	-
Kadmiyum	10-100	-
Kalsiyum	2,500	-
Krom (+6)	1-10	0.25
Krom (+3)	50	-
Bakır	1.0	0.005-0.5
Siyanür	0.1-5	0.34
Demir	1,000	-
Kurşun	0.1	0.5
Mangan	10	-
Magnezyum	-	50
Cıva	0.1-5.0	-
Nikel	1.0-2.5	0.25
Gümüş	5	-
Sülfat	-	500
Çinko	0.08-10	0.08-0.5
Fenol	200	4-10
Kresol	-	4-16
2-4 Dinitrofenol	-	150

#### 2.4.2.2. Nutrientlerin eksiliği

İnorganik nutrientler ve iz elementler yeterli oksijen sağlanmışsa maksimum büyümeyi sağlayacak seviyededir. Evsel atıksuya önemli miktarlarda endüstriyel atıksu karışırsa, nutrient gereksinimlerinin kontrol edilmesi çok önemli ve gereklidir.

Belirli oranda endüstriyel atıksu ile karışmış evsel atıksuyun biyolojik arıtımı için gerekli BO<sub>5</sub>:N:P oranı 100:5:1 olarak verilmektedir [14,17].

#### **2.4.2.3. Yük ve debi salınımları**

Yeraltı sularının kanalizasyona karışması ve ani endüstriyel deşarjlar gibi durumlar, atıksu debisinde salınımlar oluşturabilir. Organik yükteki salınımlar; aktif çamur sürecinin iyi tasarlanması ile bir miktar sönümlenebilir. Aktif çamur mikrobiyal topluluğu organik yüklere karşı daha hassastır. Bu duyarlılığa hidrolik yüklerde daha az rastlanır. Hidrolik yüklerde görülen olumsuz etki geri devir oranının yüksek olması ve iyi bir çöktürme işlemi ile giderilebilir [17].

#### **2.4.2.4. Askıda katı madde**

Aktif çamur sürecinin tasarımı esnasında girişteki atıksu AKM konsantrasyonunun çok önemli bir rolü yoktur. Ön çökeltme çamuru bu durumun dışında tutulabilir. AKM konsantrasyonunun fazla olması durumunda KAS ve F/M oranlarının iyileştirilmesi ve biyolojik olarak ayrışmaya katkılarının etkisinin kestirimi gibi önlemler alınmalıdır.

#### **2.4.2.5. Sıcaklık**

Arıtılacak suyun sıcaklığı, KAS ve F/M değerleri açısından önem taşımaktadır. Bunun nedeni biyolojik aktivitenin hızına etkisindeki rolüdür. Fakat aktif çamur sürecinin tasarımı üzerine etkisi kontrol edilemeyen değişkenler arasında sayılabilir [14,17,20].

#### **2.4.2.6. Çamur hacim indeksi (ÇHİ) - şişkin çamur**

Çamur geri devri; havalandırma havuzunda yer alan mikroorganizma konsantrasyonunu sabit tutmayı sağlamaktadır. Çamur hacim indeksi bu değeri sabit tutabilmek için kullanılan bir deneysel ölçüm yöntemidir. Bu yöntem; MLSS konsantrasyonunu ve çamur geri çevrim oranını etkilemektedir. 2.000 ila 3.000 mg/L lik MLSS konsantrasyonlarına sahip aktif çamur süreçlerinde sık rastlanan ÇHİ değerleri 80-150 mL/g arasındadır.

Çözünmüş oksijen miktarının düşük olması şişkin çamur oluşumunun diğer bir sebebidir. Çözünmüş oksijen konsantrasyonu 0,2-0,3 mg/L' nin altına geldiğinde, ipliksi bakteriler

diğer bakterilere oranla daha fazla oksijen tüketirler çünkü daha büyük yüzey alanına sahiptirler. İyi bir işletimde ÇHİ' nin 80 ila 120 mL/g arasında olması gerekir. ÇHİ' nin bu değerler arasında tutulması için, çok kademeli havalandırma havuzları uygulanabilir.

#### **2.4.2.7. Çamur geri çevrim oranı ve MLSS**

Daha öncede değinildiği gibi, ÇHİ tasarımda anahtar faktördür. Dolaylı olarak havalandırma havuzundaki MLSS konsantrasyonunu sınırlar ve çöktürme havuzunun dibindeki çamur konsantrasyonunu kontrol eder. Nihayetinde verilen bir ÇHİ ve çamur geri çevrim oranında ulaşılabilecek maksimum MLSS seviyesi dar bir aralıkta sabitlenir.

Aktif çamur süreçleri geniş bir çamur geri çevrim oranı aralığı için tasarımlanır. Genelde, çamur geri çevrim oranı maksimum %100 ile sınırlandırılmalıdır. Özellikle ÇHİ 150 mL/g'den daha büyükse ve son çöktürme havuzu yüzey alanı az ise, geri çevrim oranı %100'ü aşmamalıdır.

#### **2.4.2.8. Net çamur üretimi**

Aktif çamur sürecinin esası, substratın yeni bakteri hücrelerine dönüşümü ve bu hücrelerin iç solunumda tutularak gerekli enerjinin üretimidir. Net verim operatörün kontrolünde olmayan birçok faktöre bağlıdır. Atıksuyun içeriği, sistemdeki mikroorganizmaların karışımı, pH ve sıcaklık üzerinde etkilidir [14].

#### **2.4.2.9. Hidrolik alıkonma süresi**

Uzun havalandırılmalı aktif çamur süreçlerinde uygulanan alıkonma süresi ise 18 ila 36 saat arasında değişmektedir [14-17].

#### **2.4.2.10. Oksijen gereksinimi**

Substratın ayrıştırılmasında kullanılan oksijenin amacı solunum ve hücre sentezine gereken yüksek enerjili bileşiklerin üretilmesidir. Oksijen gereksinimi havalandırma havuzunda 0.5-2 mg/l değerleri arasında bir oranda olmalıdır.



Daha önceki tasarım uygulamalarına bakıldığında; difüze havalandırma sistemlerinin atıksu hava debisinin 3.7-15.0 hava/m<sup>3</sup> değerleri arasında olduğu görülmektedir. Daha sonraki çalışmalarda 30-55 hava/kg BOİ<sub>5</sub> değerleri tercih edilmiştir. Bu değer ABD’de şu anda 60 hava/kg BOİ<sub>5</sub> değerindedir.

Amonyak azotunun bir miktarı nitrifikasyon gerçekleştiren mikroorganizmaların sentezinde kullanıldığından, oksidasyon ve sentez için verilen oksijen gereksinimi, oksitlenen 1 mg amonyak azotu için 4.3 mg O<sub>2</sub> olarak alınmaktadır. Bununla birlikte; tasarımda 4.6 mg O<sub>2</sub>/mg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N değeri kullanılmaktadır [14-17].

#### **2.4.2.11. Fazla çamur miktarı**

Çamur sistemde zamanla birikme yapmaktadır. Bu nedenle uzaklaştırılması gerekmektedir. Katı madde uzaklaştırması yapılmadığı durumlarda son çökeltme havuzunda katı birikimi meydana gelebilir. Burada belirli bir miktar birikim olduktan sonra çıkış suyu ile kaçışlar meydana gelecektir.

Ayrıca son çökeltme havuzunda zamanla biriken bu fazla çamurlar kısmen atılarak uzaklaştırılabilir. Arıtma maliyetleri incelendiğinde çamur bertaraf maliyetinin toplam maliyetin %20-40’lık bir miktarını oluşturduğu görülmektedir. Bu sebeple aktif çamur süreç ekonomisinde önemli bir yer tutmaktadır [14-17].

### **2.5. Havuz Tasarımı**

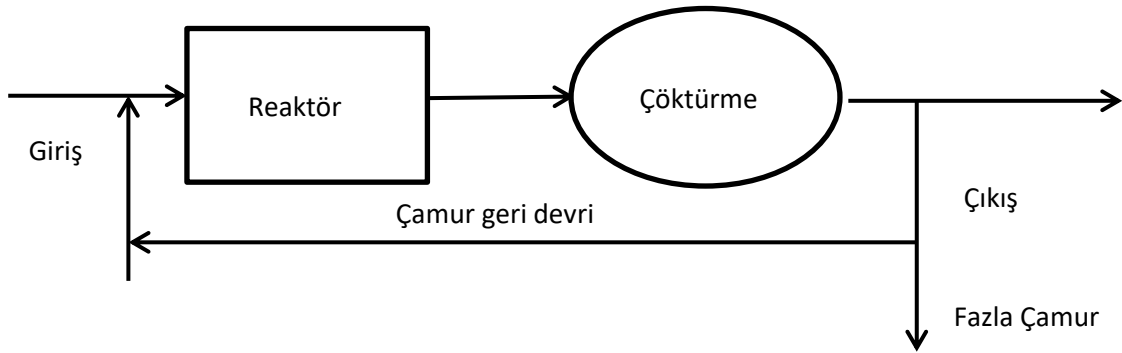
Belirli bir BOİ<sub>5</sub> giderimi ve nitrifikasyon eldesi için gerekli arıtım kalitesini belirleyen faktörler F:M oranı ve KAS’ dır. Çıkış suyu kalitesine bağlı olarak istenen havuz konfigürasyonu uygulanabilir. Havuzun biçimi içerisindeki biyolojik faaliyetten ziyade havalandırıcı tasarımı ve inşaa özellikleriyle ilgilidir [3,14].

#### **2.5.1. Tam karışımli reaktörler**

Tam karışımli aktif çamur sürecini (TKAÇS) genel tanımı; “havuz içerisindeki mikroorganizma konsantrasyonu ile kirlenici madde konsantrasyonunun havuzun her bir noktasında homojen olması” şeklinde yapılabilir. Atıksu (giren) çok hızlı bir biçimde tüm havuz içeriğine yayılır ve havuzun her bölgesinde katılar ve çözünmüş BOİ<sub>5</sub> bazında

ölçülen işletme özellikleri ve solunum hızı aynıdır. Bu durumdan dolayı, çıkış suyu kalitesi de havuz içeriğine özdeştir. Çıkış suyu çok miktarda kısıtlı besin maddesi ve mikroorganizma içerdiğinden; organik yüklemelerdeki salınımlar, TKAÇS nin bu özelliği sayesinde, çıkış suyu kalitesinde herhangi bir düşüş oluşturmadan bertaraf edilir [3-14].

Şekil 2.2’de gösterildiği gibi, TKAÇS nin tipik şekli kare veya dikdörtgen planlıdır.



Şekil 2.2. Tam karışimli aktif çamur süreci akım şeması [14].

TKAÇS de MLSS konsantrasyonu için önerilen rakamlar 3000-5000 mg/L’dir. Çamur geri devir oranında ise bu rakam % 50-100’ dür [3,14,17].

### 2.5.2. Piston akımlı reaktörler

Piston akımlı reaktörler, uzunluk-genişlik oranı yüksek tutulmasıyla tek bir havuzda gerçekleştirilebilir ya da birbirine seri olarak bağlanan tam karışimli küçük reaktörler ile birden çok havuzda gerçekleştirilebilir. Havuzlardaki genelde genişlik 5-10 m ve uzunluk 125 m dir [17].

### 2.5.3. Kontakt stabilizasyon

Kontakt stabilizasyon süreci, aktif çamur sürecinin bir modifikasyonu olup, çok kısa alıkonma süreli bir reaktörden ve bir çöktürme havuzundan oluşur.

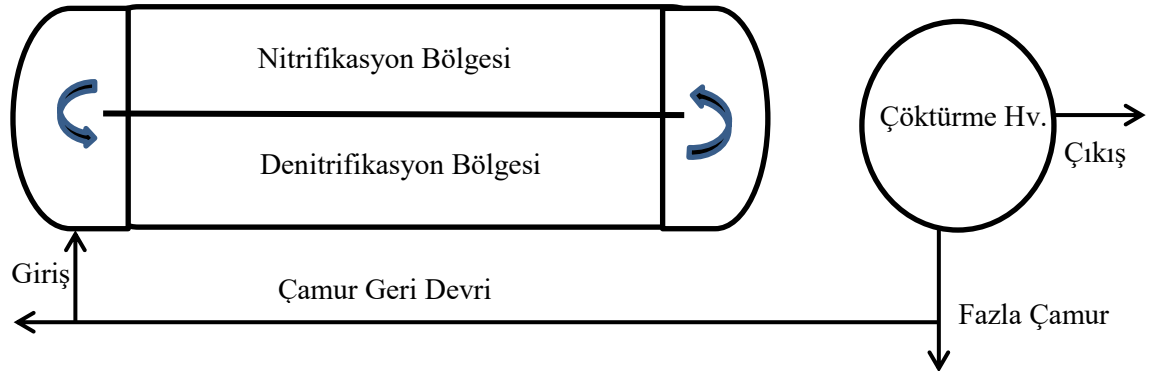
#### 2.5.4. Kademeli havalandırma

Kademeli havalandırma, giriş atıksu havuzun boyunca iki veya daha fazla noktadan verilir. Giren organik yük havuz içeriğindeki MLSS ye kademeli olarak dağıtıldığından, sistemde farklı bir mikrobiyal üreme gerçekleşir.

#### 2.5.5. Oksidasyon hendeği

Bu sistemde, havuz içerisindeki maddeler yüzeysel havalandırıcılar veya rotor ile dairesel bir yörünge boyunca hareket ettirilir. Bu süreçte, çözülmüş oksijen içeriği havalandırıcıdan itibaren su çevrimini yaptıkça azalma gösterir. Nitrifikasyon ve denitrifikasyon işlemleri aynı havuz içerisinde gerçekleşir ve yüksek KAS elde edilir.

Genellikle oksidasyon hendeklerinde, atıksuyun havuza girişi havalandırıcının yakınından, çıkışı ise havalandırıcıya gelmeden hemen önce yapılır. Nitrifikasyon-denitrifikasyon yapan süreçlerde ise, atıksu girişi denitrifikasyonunun başlama bölgesinde uygulanır. Oksidasyon hendeğindeki yatay akım hızı 0.25 ila 0.35 m/sn arasındadır [14-17].



Şekil 2.2. Oksidasyon hendeği akım şeması [17]

### 2.6. Havalandırıcılar

#### 2.6.1. Genel esaslar

Günümüzde üretilen havalandırıcı ekipmanlarının teknik özellikleri ve kapasiteleri hızlı bir değişim ve gelişim göstermektedir. Tablo 2.4. te değişik havalandırıcıların teknik

özellikleri belirtilmiştir. Gerek yüzeysel havalandırıcılarla gerekse de batık türbinlerle olsun, yüzeysel havalandırma, atıksu arıtımında en yaygın kullanılan işlemdir [17].

Tablo 2.4. Bazı havalandırıcıların teknik özellikleri [17]

Ekipman	Özellikleri	Kullanılan süreç	Olumlu yönleri	Olumsuz Yönleri	Verim (*)
Difüze Havalandırıcılar					
Poroz Difüzörler	İnce ve orta büyüklükte hava kabarcıkları oluştururlar. Seramik kubbeler, plakalar, tüpler veya plastik kaplı tüp veya kutular kullanılır.	Yüksek hızlı klasik, uzun, havalandırma, modifiye, temas - stabilizasyon süreçleri.	İyi bir karışım yaratır ve su sıcaklığını belli bir değerde tutar. Değişken hava debisi ile işletimde elastikiyet sağlar.	Yüksek ilk yatırım ve işletme maliyetine sahiptir. Hava filtresi kullanılmalıdır. Havuz belirli bir geometriye sahip olmalıdır.	1.1 - 1.5
Poroz olmayan difüzörler	Kabarcık kutularından, nozullardan, vanalardan, orifislerden imal edilirler. Bazı tipleri plastik *check* vana ile teçhiz edilir. Büyük hava kabarcıkları oluşturur.	Poroz difüzörlerinki ile aynıdır.	Tıkanma sorunu yaratmaz ve su sıcaklığını belirli bir değerde tutar. Düşük bakım ve onarım masrafına sahiptir.	İlk yatırım masrafı yüksektir. Oksijen transfer verimi düşük, enerji maliyeti ise yüksektir.	0.7 - 1.1
Tüp havalandırıcı	Oldukça iyi bir hava-su teması sağlar. Silindirik aparatı plastik veya paslanmaz çelikten imal edilir.	Mekanik havalandırma lagünler	Ekonomik açıdan oldukça çekicidir. Bakım ve onarım masrafı düşüktür. Oksijen transfer verimi yüksektir. Montaj kolaylığına sahiptir.	Tüm havuz içeriğinde iyi ve üniform bir karışım yaratamaz. Yüksek hızlı biyolojik süreçlere uygulanabilirliği düşüktür.	1.1 - 1.6
Jet havalandırıcı	Basınçlı hava su ile bir nozulda karıştırılır ve bir huni şeklindeki düzenek ile sisteme verilir.	Poroz difüzörlerinki ile aynıdır.	Özellikle derin havuzlar için uygundur. Orta sınıf bir maliyet sergiler.	Belirli bir havuz geometrisi gerektirir. Nozullar sık tıkanabilir. *Blower* ve pompa kullanılır. Ön arıtım uygulanmalıdır.	1.5 - 2.1
Mekanik Yüzeysel Havalandırıcılar					
Radyal 20 d/d	Düşük devirlidir ve türbin çapı büyüktür. Dubalara ya da betonarme-çelik sabit köprülere monte edilebilir. Redüktör gereklidir.	Poroz difüzörlerinki ile aynıdır.	Havuzun geometrisinde ve tasarımında esneklik sağlar. Yüksek pompaj kapasitesine sahiptir.	Soğuk hava şartlarında türbinde donma meydana gelebilir. Eksenel tipe kıyasla ilk yatırım maliyeti yüksektir.	1.2 - 2.8
Eksenel 300-1200 d/d	Yüksek devirlidir ve türbin çapı küçüktür. Dubalara veya betonarme - çelik sabit köprülere monte edilebilir. Redüktör gerektirmez.	Mekanik Havalandırma lagünler	İlk yatırım maliyeti düşüktür. Değişik su seviyelerinde işletilebilir. Elastik işletim özelliği sergiler.	Soğuk hava şartlarında türbinde donma meydana gelebilir. Karıştırma kapasitesi düşüktür.	1.2 - 2.5
Fırça rotor	Düşük devirlidir ve redüktör gerektirir.	Oksidasyon hendekleri, havalandırma lagün veya aktif çamur süreci.	İlk yatırım maliyeti nispeten düşüktür. Bakım ve onarım kolaylığına sahiptir.	Verimi etkileyebilecek işletim ile ilgili değişkenlere oldukça duyarlıdır ve belirli bir havuz geometrisi gerektirir.	1.5 - 2.1
Batık Türbinler	Düşük devirli türbine sahiptir. Difüzörlere veya borulara basınçlı hava sağlar.	Poroz difüzörlerinki ile aynıdır.	İyi bir karışım sağlar. Derin havuzlara uygulanabilir. İşletimi oldukça elastiktir. Donma tehlikesi yoktur.	Hem "blower hem de redüktör gerekir. Güç gereksinimi ve maliyeti yüksektir.	1.0 - 1.5
(*) kg O <sub>2</sub> /kWh olarak; 0 mg/L çözülmüş oksijen, 20 °C sıcaklık, 14.7 psi basınç ve temiz su için					

Seçilen havalandırıcı sadece, organik maddenin ayrıştırılması için gerekli olan oksijen ihtiyacını karşılamamalı, aynı zamanda iyi bir karışım da sağlamalıdır. Bununla beraber, bu karışım biyolojik yumakları parçalamamalıdır. Reaktördeki kesme kuvvetleri yüksek ise son çökeltme havuzunda çamurun çöktürülmesi istenen seviyede olmaz.

Havalandırıcıların kapasiteleri düşükse, havalandırıcılar daha çok sayıda tasarlanmalıdır ve ayrıca havuz derinliği düşük tutulmalıdır. Tablo 2.5'te karışım gereksinimleri belirtilmiştir.

Tablo 2.5. Havalandırıcı karışım gereksinimleri [17]

Havalandırıcı	Genel özelliği	Karışım özelliği	Debi / Güç
Difüze	Küçük kabarcıklı	Çok hatlı, tüm tabanda etkili	2.20 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .saat
Difüze	Büyük kabarcıklı	Spiral dönme etkisi	1.20 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> saat
Mekanik	Düşük devirli	Tüm tank içeriğinde etkili	13 W/m <sup>3</sup>

### 2.6.2. Difüze havalandırıcılar

Difüze havalandırma sisteminde, oksijen transferi hem kabarcık oluşumu sırasında hem de kabarcığın yukarıya doğru yükselmesi sırasında oluşur. Oksijen transferi derinlik ile doğru orantılıdır. Oksijen transferine; kabarcık büyüklüğü, hava debisi, difüzör konumu ve tank içeriğinin hızı etki eder.

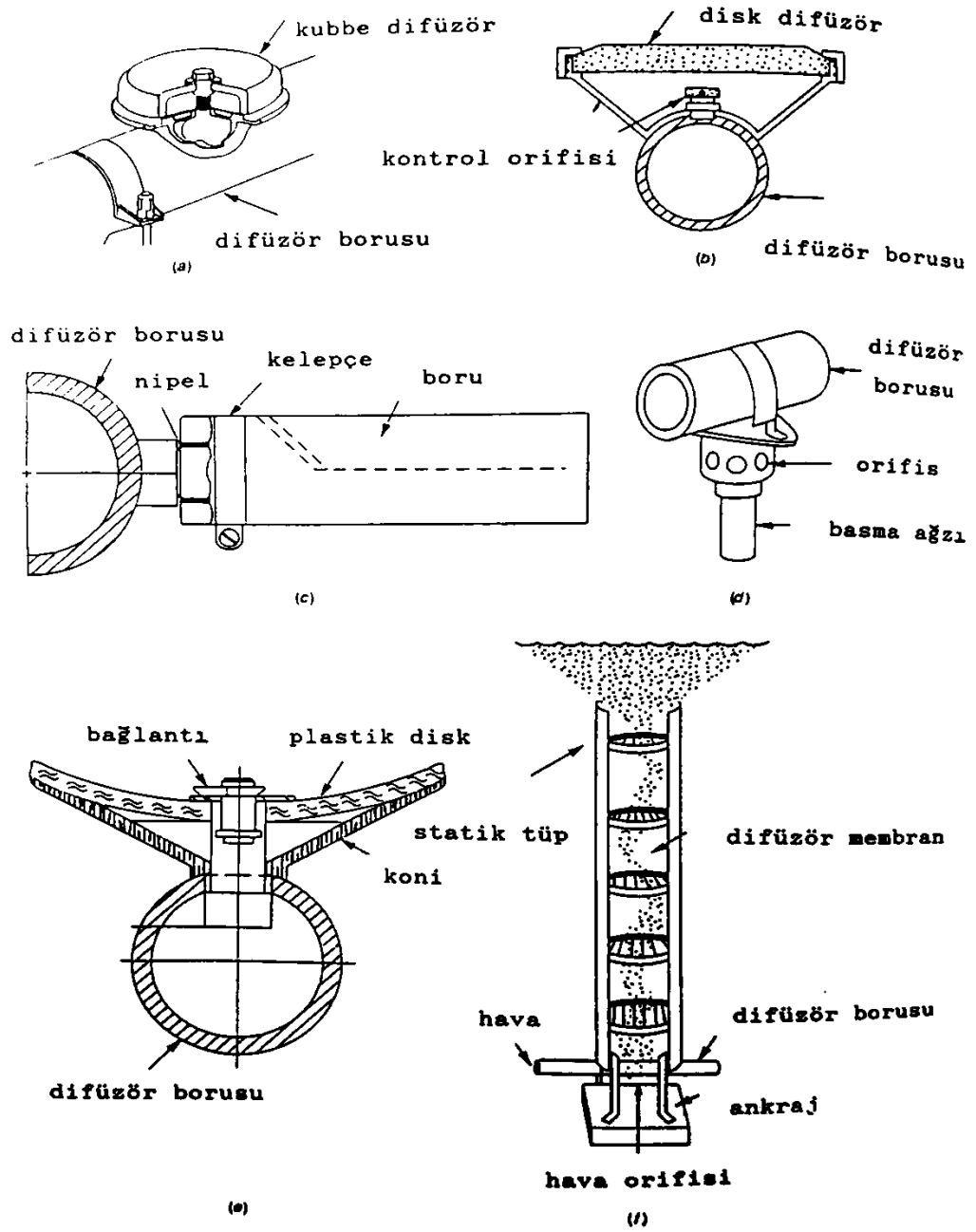
Difüzörlerin yerleşimi ve tank içeriğinin hızı da transfer verimini etkiler. Dikdörtgen planlı bir havuzda oluşan spiral akım ile hava-su karışımının hızı düşüktür ve bu nedenle kabarcıkların alıkonma süresi kısadır.

Difüzörler tank uzunluğu boyunca en kesite paralel ve üniform bir şekilde dizayn edildikleri takdirde, kabarcıkların hızı terminal hızlarınca azaltılır ve sonuçta kabarcıkların alıkonma süreleri ve dolayısıyla oksijen transfer verimi artar. Yukarıdaki şartlara bağlı olarak, oksijen transfer verimi %3,9 ila %7,1 arasında değişir [13,14,17].

### **2.6.2.1. Kabarcık oluşturan difüzörler**

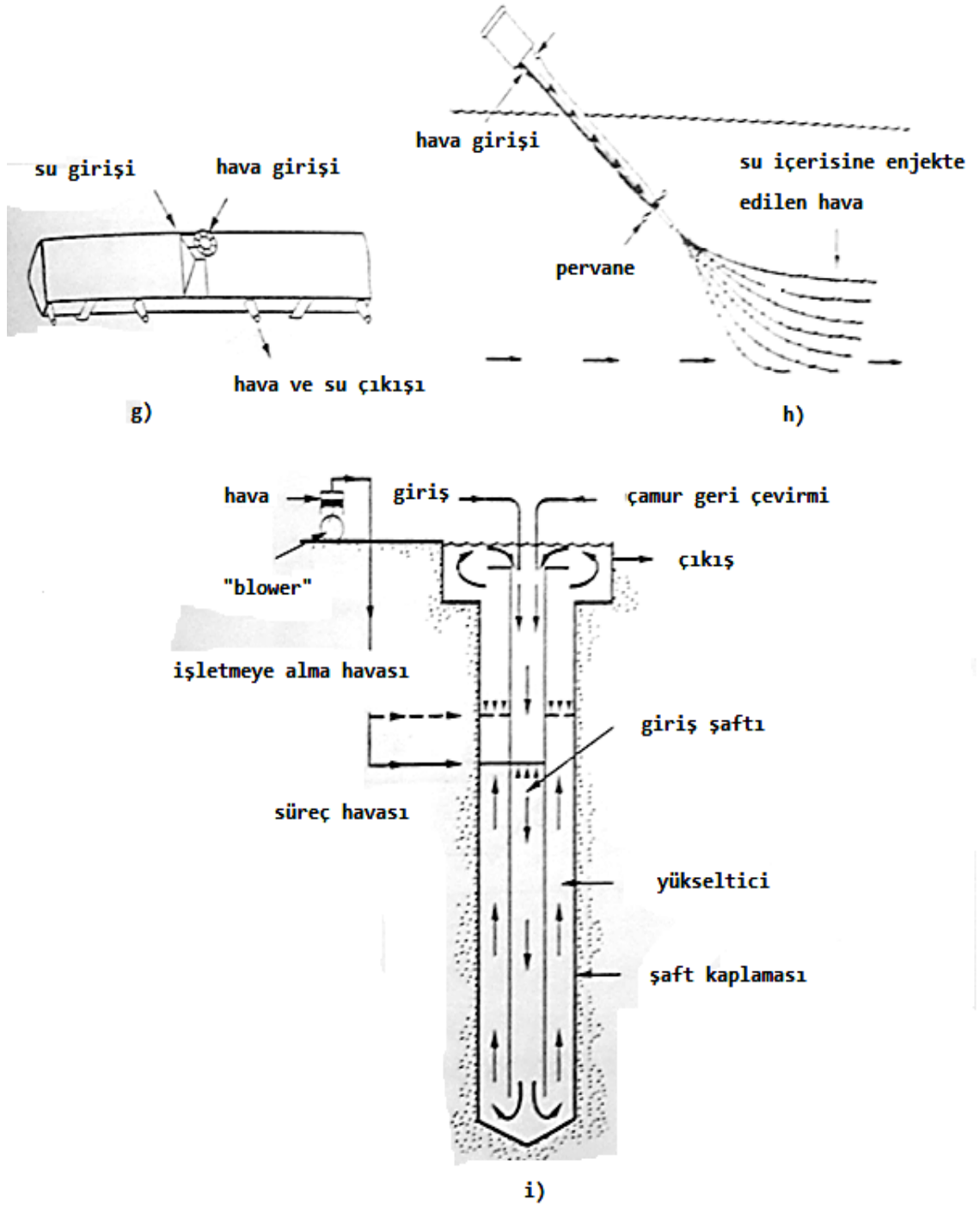
Difüzörler çok çeşitli biçimlerde üretilir. Ancak genellikle iki ana gruba ayrılırlar; poroz olanlar ve poroz olmayanlar. Poroz difüzörler doğal veya sentetik seramik malzemededen imal edilirler. Şekil 2.4 a ve Şekil 2.4 b’de bazı difüzör tipleri sunulmuştur.

Poroz difüzörler ve bazen plakalı difüzörler de havuz uzunluğu boyunca en kesite paralel olarak yerleştirilirler. 4.6 kg O<sub>2</sub>/kWh’ a varan transfer verimleri söz konusudur [16,17].



Şekil 2.3. Bazı difüzör tipleri [14]

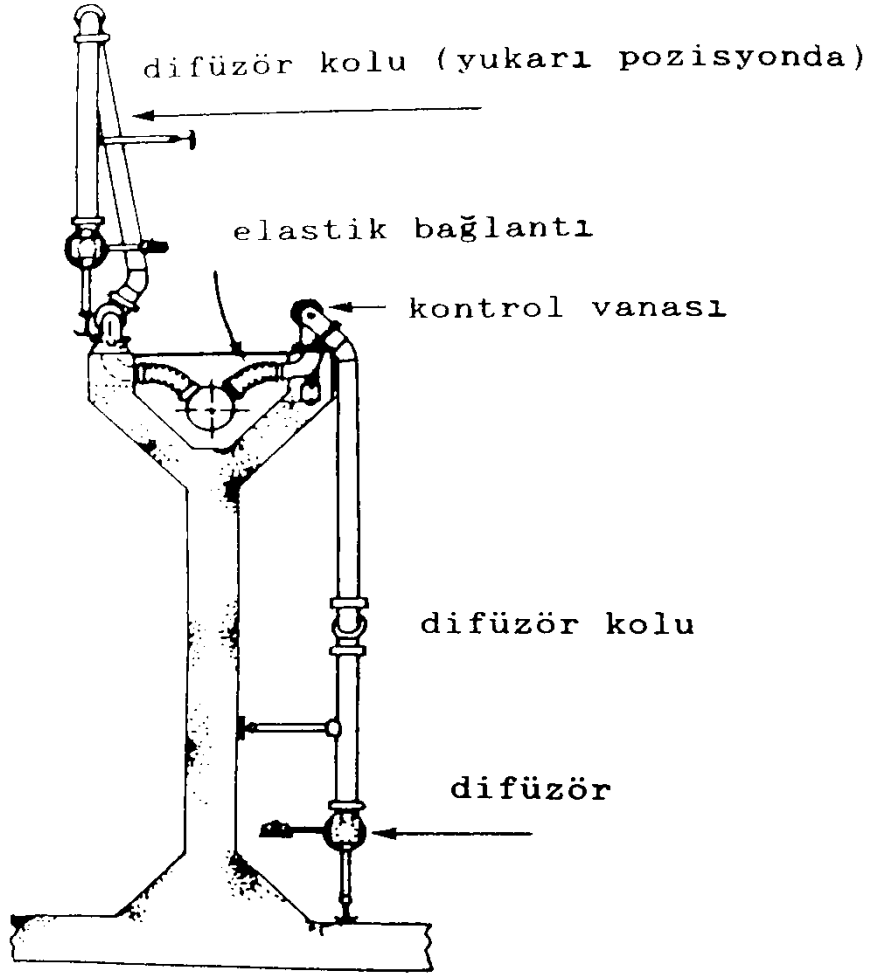
a) kubbe difüzör, (b) disk difüzör, (c) tüp difüzör, (d) "sparger", (e) vanalı orifis difüzörü, (f) statik tüp havalandırıcısı.



Şekil 2.4. (devamı) Bazı difüzör tipleri [14]

(g) jet havalandırıcısı, (h) aspiratör ünitesi, (i) U tübü





Şekil 2.4. Yukarıya alınabilir difüzör boru sistemi [14]

Küçük ve orta büyüklükte kabarcık oluşturan difüzörlerin her bir ünitesi ayrı bir boruya bağlanmalı ve vana ile birlikte kullanılmalıdır. Bu sayede, işletim sırasında hava debisinin havuz uzunluğu boyunca ayarlanması ve bakım ve onarım faaliyetleri için sistem devreden çıkarılmadan arızalı difüzörlerin sökülerek yukarıya alınması mümkündür (Şekil 2.5)

Poroz olmayan difüzörler orta ve iri büyüklükte hava kabarcıkları oluşturduklarından dolayı oksijen transfer verimleri düşüktür. Bazı tasarımcılara göre, transfer verimleri düşük olsa bile, poroz olmayan difüzörlerin, bakım ve onarım masrafları oldukça yüksek olan poroz difüzörlerin yerine kullanılması daha ekonomiktir [14,17].

### **2.6.2.2. Tüp şeklinde difüzörler**

Şekil 2,4’de tüp şeklinde difüzörler de verilmiştir. Bu ünitelerde, hava akımı yukarıya ve yanlara doğrudur. Hava - su karışımı bu tüp içerisinde gerçekleşir. Transfer verimi havuz geometrisi ve derinliğe bağlıdır.

Oksijen transferi, havanın yukarıya doğru çıkması sırasında olduğu kadar, tüp şeklindeki difüzörün kendi içinde de gerçekleşir. Bu tip difüzörler havalandırmalı lagünlerde ve bakım ve onarım faaliyetlerinin düşük olması istenen sistemlerde uygulanmaktadır. Bu ünitelerin karışım kapasiteleri nispeten düşük olduğundan, havuz içeriğinin tam karışımını gerçekleştirmek için bunların sık aralıklarla yerleştirilmeleri gerekebilir. Ayrıca, kısmi karışımli lagünlerde normal aralıklarda da yerleştirilebilirler [14,17].

### **2.6.2.3. Jet difüzörler**

Enjektör veya jet difüzörler (Şekil 2.4) günümüzde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Hava su ile bir nozulda karıştırılır ve tank tabanından serbest bırakılır. Basıncılı suyun hızı ve hava kabarcıklarının yukarıya yükselirken yarattıkları etki havuz içeriğinin karışımını sağlar. Oksijen transfer verimleri batma derinliklerine ve diğer fiziksel faktörlere bağlıdır ve 1.5 ila 3.0 kg O<sub>2</sub>/kWh arasında değişir. Jet difüzöre beslenen havanın oksijen transfer oranının %39 gibi yüksek bir değere çıkabilmesine rağmen, genelde bu değer %15 mertebesinde dir. Pompanın işletme basıncı 70 ila 85 kN/m<sup>2</sup> arasındadır. Atıksuyun fiziksel arıtmadan geçirilmesi gerekmektedir [17].

### **2.6.3. Mekanik yüzeysel havalandırıcılar**

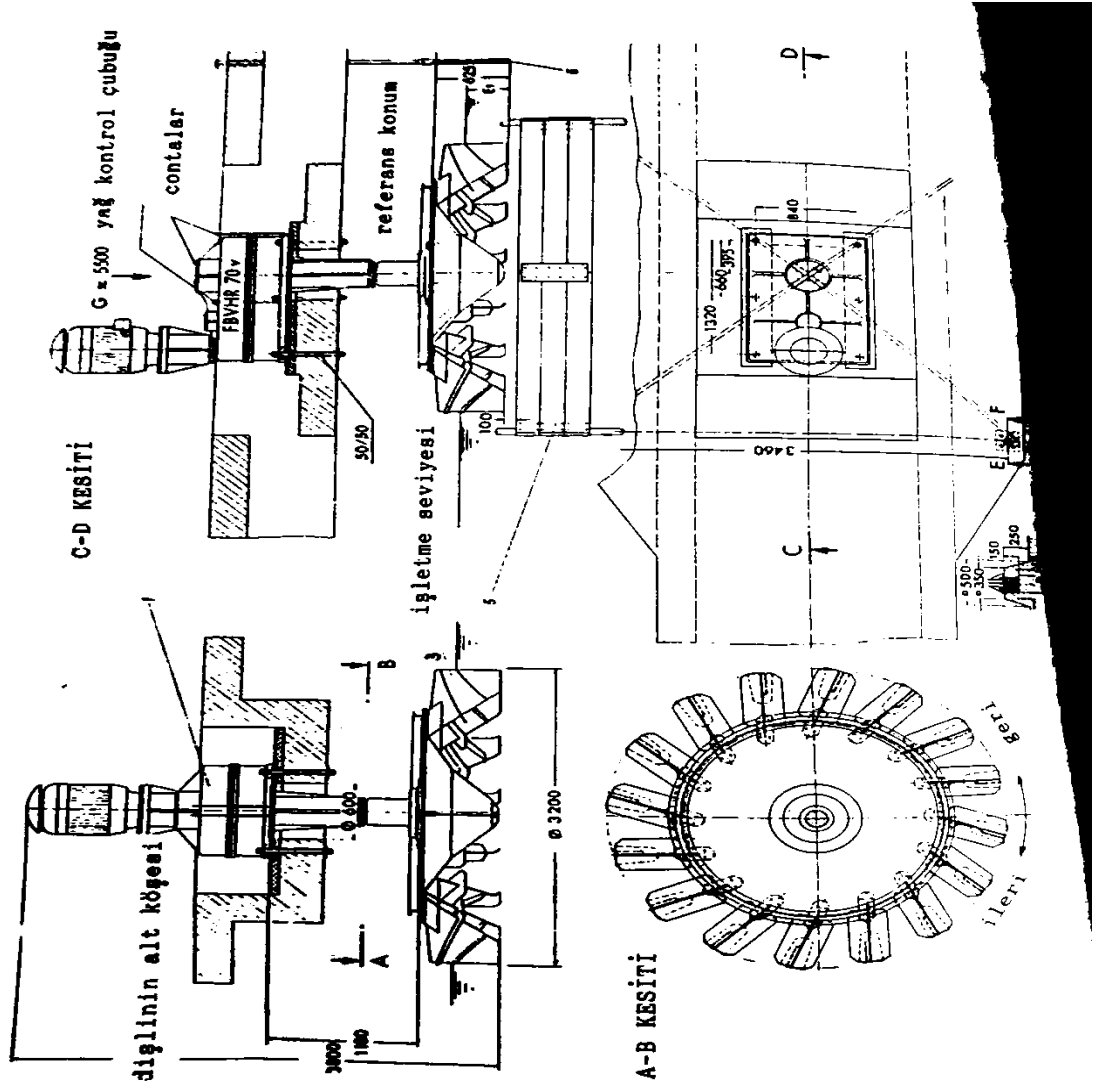
Yüzeysel havalandırıcılar genelde üç ana gruba ayrılırlar, radyal akımlı düşük devirli, aksenal akımlı yüksek devirli ve yatay millî fırçalar (rotorlar). Atıksu arıtımında her üç tip de yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Yüzeysel havalandırıcının monte edildiği yapı, tork ve vibrasyondan etkilenmemelidir. Köprü maksimum momentin dört katına göre tasarlanmalıdır.

Pervanenin havuz içerisinde optimum yerleşimi pervanenin konfigürasyonunun bir fonksiyonudur. Radyal akımlı pervaneler genellikle, pervane çapının 0,5 ila 0,7 katı kadar havuz tabanının yukarısında konumlandırılır. Eksenel akımlı pervaneler ise, havuz derinliğinin 0,6 ila 0,65 katı mesafede yerleştirilirler [14,17].

#### **2.6.3.1. Radyal akımlı düşük devirli yüzeysel havalandırıcılar**

Düşük devirli yüzeysel havalandırıcılar oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar. Bunun birinci nedeni iri kabarcıklı difüze havalandırıcılarla kıyaslandığında yüksek oksijen transfer edebilme yeteneğidir.

Düşük devirli yüzeysel havalandırıcılar genelde 20 ila 100 devir/dakikalık dönme hızında işletilirler [13,14,17].



Şekil 2.5. Mekanik yüzeysel havalandırıcılar [14]

Düşük devirli yüzeysel havalandırıcılar oksijen transfer verimleri 1.2 ila 2.7 kgO<sub>2</sub>/kWh a kadar düşebilmektedir [14,17].

### 2.6.3.2. Eksenel akımlı yüksek devirli yüzeysel havalandırıcılar

Yüksek hızlı havalandırıcılar havalandırılmalı lagünlerde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Biyolojik yumakları parçaladıkları için tercih edilmezler.

### **2.6.3.3. Yatay milli fırça havalandırıcılar (rotorlar)**

Havalanma ve karışım belirli bir dönme hızı ile yatay eksen etrafında dönen rotor ile gerçekleştirilir. Fırça su yüzeyinde pompaj etkisi oluştururken, su kütlelerini yatay yönde hareketlendirir.

### **2.6.4. Batık türbin havalandırıcılar**

Batık türbin havalandırıcılar, düşük devirli yüzeysel havalandırıcılar gibi bir motor ünitesine ve bir de redüktöre sahiptir. Bununla beraber, pervane sayısı birden fazla olabilir. Pervane, radyal veya aksenal akımlı olabilir. (Şekil 2.6) Aksenal akımlı türbin havalandırıcıda pompalanacak su kütlesi, havayı aşağıya doğru çekecek ve havuz tabanında disperse edecek miktar ve hıza sahiptir.

Batık türbin havalandırıcıların etki alanı yüzeysel havalandırıcılarıkinden daha düşüktür. Etki alanı 4 ila 13 m<sup>2</sup>/kW arasındadır.

Pervane tasarımına bağlı olarak oksijen transferi %15 ila 35 değerleri arasında değişir [13,14,16].

### **2.6.5. Hava temini**

Difüze havalandırma veya batık türbin havalandırıcılar için gerekli olan hava pozitif yer değiştirmeli kompresörler veya santrifüj blowerler ile sağlanır. Blowerlerin kullanımı hava debisinin ayarlanabilmesine olanak tanır ve bu şekilde mekanik havalandırıcılara kıyasla işletimde esneklik sağlanır.

Pozitif yer değiştirmeli kompresörler geri basınca eşit basınçta sabit debide hava üretir. Verilen bir işletmede basıncı için, pozitif yer değiştirilmesi kompresörler mansap basıncından ve hava debisini ayarlayan motor hızından etkilenirler. Santrifüj blowerler ile kıyaslandıklarında, havanın nispi neminden ve sıcaklığından daha az etkilenirler. Hava debisinin ayarlanması değişken hızlı motor kullanımı ile gerçekleştirilir. 120 kN/m<sup>2</sup> ye varan basınç değerleri elde edilebilmektedir.

Santrifüj blowerler iki gruba ayrılırlar. Yatay (split) santrifüj blowerler % 75-83 gibi çok verim değerlerine sahiptir. İlk yatırım masrafları oldukça yüksektir. Düşey (split) santrifüj blowerlerin % 60-79 arasındadır. 77 kN/m<sup>2</sup> den daha yüksek basınç gereksinimleri için düşey (split) santrifüj blowerler kullanılmamalıdır.

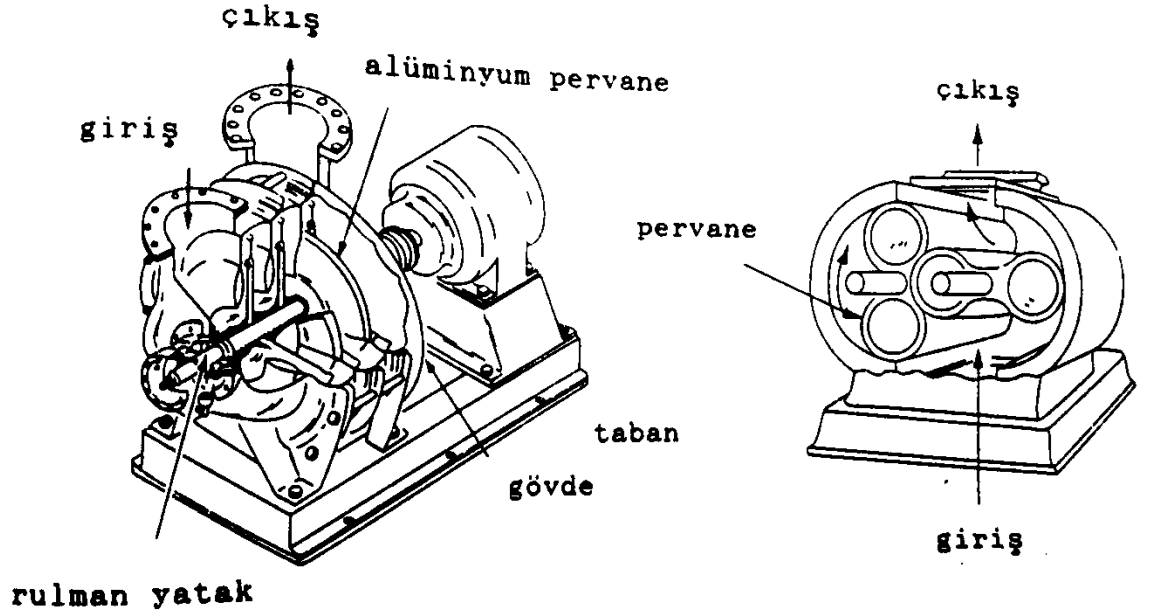
Havalandırma sistemindeki direnç, borulama, vanalar, difüzörler ve difüzör batıklığı ile ilgilidir. Boruların boyları mümkün mertebe kısa tutulmalı ve aşırı vana ve dirsek sayısından kaçılmalıdır ayrıca difüzörler olabildiğince basit olmalıdır.

2,5 ila 4 m batma derinliğine sahip difüzörlerde oluşan yük kayıpları daha düşüktür. Ekonomik boru çapının belirlenmesinde 400 ila 1.200 m/dakikalık hava akım hızları önerilmektedir. Daha yüksek hızlar, vana ve dirseklerde gürültüye neden olmaktadır. Ayrıca ileride hava kapasitesinin arttırılması durumunda yüksek yük kayıplarının önlenmesi için boru çapları biraz büyük seçilmelidir. Blower çıkışında bir debi ölçer bulunmalıdır. Alışla gelen, kademeli havalandırma veya kontakt stabilizasyon sistemleri için tasarımılanan tesislerin işletilmesinde ve bir işletim modundan diğer bir işletim moduna geçilmesinde, değişken hava debilerinin sağlanmasında önemli elastikiyete sahiptirler.

Şekil 2.7' de difüze havalandırma sistemlerinde kullanılan blowerlerin şematik görünümleri sunulmuştur ( a santrifüj tip, b pozitif yer değiştirmeli tip) [16,17].

#### **2.6.5.1. Enerji Geri Kazanımı**

Difüze havalandırma sistemleri önemli bir potansiyel enerji geri kazanımına sahiptirler. Hava sıkıştırıldığı zaman sıcaklığı artar. Bu sıcaklık artışı, %70 verimle çalışan bir blower, 55 kN/m<sup>2</sup> de ise 89° C' ye kadar sıcak su eldesi sağlayabilmektedir. Bu sıcak su binaların veya çürütücünün ısıtılmasında kullanılabilir. Çürütücünden elde edilen metan gazının yakılması ve jeneratörlerde elektrik enerjisine dönüştürülmesi ile blowerler için gerekli elektrik enerjisi elde edilebilir. 65°C sıcaklığa sahip çıkış havası, birim m<sup>3</sup>/sn lik hava debisi başına 52 kJ/sn lik enerjiye sahiptirler. Bu değer yaklaşık olarak, 2.8 L/saatlik fueloile eşdeğerdir. Derin havuzlar daha yüksek çıkış basıncı gerektirdiklerinden, daha yüksek çıkış sıcaklığına sahiptirler [9,17].



Şekil 2.6. Difüze havalandırma sisteminde kullanılan blowerler [17]

## 2.7. Havalandırıcı Tasarımı ve Testi

Havalandırıcılar, özelliklerini saha koşullarında test edilecek şekilde tasarlanmalıdır. Oksijen transfer verimlerinin eldesine yönelik çalışmalar farklı atıksu özelliğine sahip tesisler için ayrı ayrı düzeltilmelidir. Havalandırıcı üreten firmalar, oksijen transfer verimlerini garanti etmelidirler. Bu verim, standart koşullardan temiz su ile yapılan test sonuçlarını içermesine ve üretici firma tarafından garanti kapsamına alınmasına rağmen arazi koşullarında kapasite üstü veya altı sonuçlar elde edilebilir.

### 2.7.1. Güç ölçümleri ve oksijen transfer verimi

Kg/kWh birimi ile ifade edilen transfer veriminin saptanması için, önceden kalibre edilmiş güç sensörü kullanılmalıdır. Devreye girdiği andan itibaren tüm güç tüketimini kaybeden bu cihaz ile tüketilen elektrik enerjisi miktarı bulunabilir.

Havalandırıcıların verimi birçok faktöre bağlıdır. Suya batıklık, motor ve dişli verimleri sistem verimi üzerinde önemli rol oynarlar. Bu nedenle tüm havalandırıcılar için kullanılan genel bir ifade türetilmiş ve birimi  $\text{kgO}_2/\text{kWh}$  olarak tanımlanmıştır [9].

## BÖLÜM 3

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Gebze İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinin Tasarım ve İşletim Parametreleri

Bu çalışma; Gebze Atıksu Arıtma Tesisi'nde havalandırma için harcanılan elektrik enerjisinin azaltılması ve sistemin toplam işletme maliyetinin düşürülmesi amacıyla yapılmıştır.

Gebze Atıksu Arıtma Tesisi 106.000m<sup>2</sup> lik arazi üzerine kurulmuştur. Tesis, Gebze ilçe sınırları içinde yer almaktadır. Tesise Gebze, Çayırova ve Darıca ilçelerinden gelen evsel atıksular alınmaktadır. Tesis 2028 hedef yılında 670.000 kişiye hizmet verecek kapasitede projelendirilmiştir. 04/11/2008 tarihinde yapım işi ihalesi yapılmış olan tesis 2011 Nisan ayı içinde işletmeye alınmıştır.

Hidrolik kapasitesi 144.000 m<sup>3</sup>/gün olan Gebze Atıksu Arıtma Tesisinde günlük ortalama 120.000 m<sup>3</sup>/gün su arıtılmaktadır. Tesis tam kapasiteyle çalıştığında yaklaşık 70-100 ton/gün arıtma çamuru çıkması beklenmektedir, bu da 4-5 kamyon çamura tekabül etmektedir. Gebze Atıksu Arıtma Tesisi evsel atıksuların karbon, azot ve fosfor kaynaklı biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ<sub>5</sub>) gidermek amacıyla inşa edilmiş ileri biyolojik atıksu arıtma tesisidir. Tesisin arıtma prosesi, fiziksel arıtma, fosfor giderimi ve aktif çamur sistemi olarak tanımlanan atıksuda askıda halde çoğalan mikroorganizmaların organik maddeleri parçalayarak yok etmesi esasına dayanan biyolojik arıtmadan oluşmaktadır.

Proses Akışı;

- Giriş Kaba Izgara
- Giriş Terfi Pompaları
- İnce Izgara
- Kum Tutucu
- Biyofosfor Havuzları
- Denitrifikasyon ve Havalandırma Havuzları
- Son Çöktürme



- Fazla Çamurun Yoğunlaştırılması
- Çamur Susuzlaştırma
- Arıtılmış Suyun Deşarjı Sıralanabilir

#### Tasarım Özeti:

2006	:	450.000 kişi	
2028	:	670.000 kişi	
Qmin	:	3.350 m <sup>3</sup> /saat	80.400 m <sup>3</sup> /gün
Qort	:	5.000 m <sup>3</sup> /saat	120.000 m <sup>3</sup> /gün
Qmax	:	6.000 m <sup>3</sup> /saat	144.000 m <sup>3</sup> /gün

Sepet Izgara, 8cm çaplı bir ızgaradır. Terfi Pompaları, kapasiteleri 1.500 m<sup>3</sup>/saattir. İnce Izgaralar, (3 asıl 1 yedek) İnce ızgaralarda 1 cm den büyük kaba parçalar ve çöpler ayrılmaktadır. Kum-Yağ Ayrılma Ünitesi: 4 adet

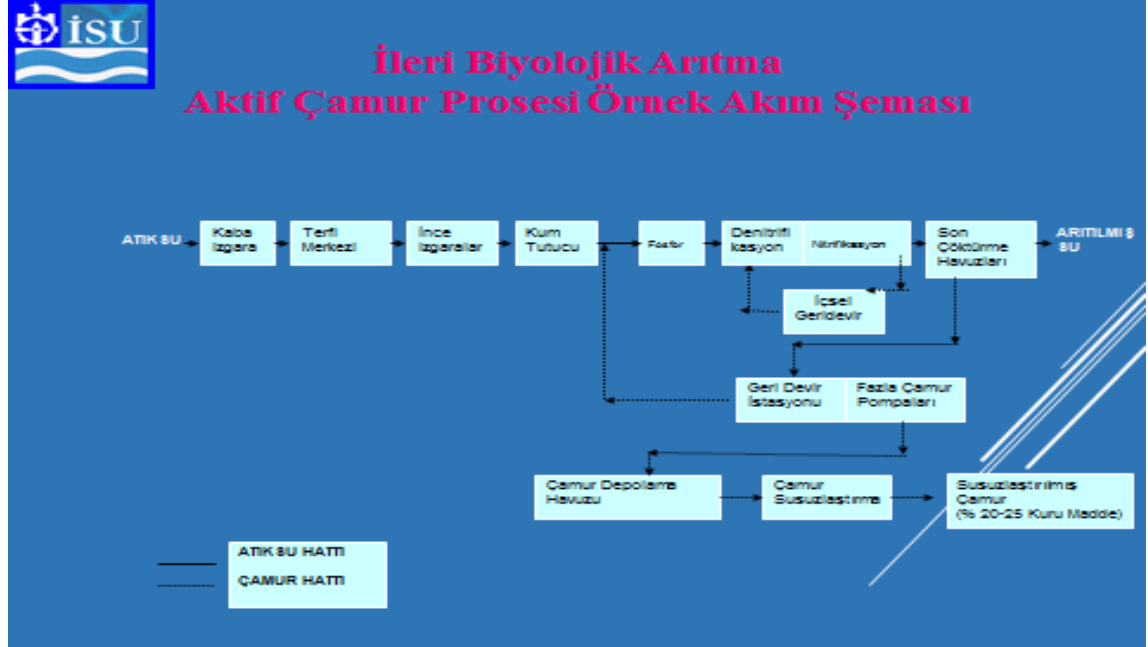
Biyofosfor havuzları: Biyofosfor havuzunun hacmi 9.546 m<sup>3</sup> tür.

Havalandırma havuzu: Bu ünite de Azot giderimi için pre-anoksit zon denitrifikasyon prosesi seçilmiştir. Aktif çamur havuzu (biyolojik reaktör), hem üçlü hem de beşli bardenpho prosesine imkan veren borulandırmaya sahip oksidasyon havuzları biçiminde tasarlanmıştır. Resirkülasyon pompa debisi 2.500 m<sup>3</sup>/saattir. Havalandırma havuzlarında hava ihtiyacı 15.298 adet ince kabarcıklı difüzör ile karşılanır. Havalandırma hacmi toplam 178.338 m<sup>3</sup> tür.

Son çöktürme havuzları 8 adet, çap 33 m, hacimleri 3.600 m<sup>3</sup> tür.

Çamur susuzlaştırma ünitesi: Son çöktürme havuzlarının dibinden % 0,8-1 lik kuru madde içeriğiyle dekantörlere gelen çamur, polielektrolit hazırlama ünitesindeki % 0.5 lik polielektrolit ile vanalar yardımıyla birleştirilerek dekantör içindeki çamur, % 21-24 konsantrasyona kadar susuzlaştırılmakta ve vidalı konveyör ile kamyonlara çamur yerleştirilmektedir.

Arıtma tesisi hali hazırda %93-98 AKM, %88-92 BOİ<sub>5</sub>, %82-93 KOİ, %78-85 TN giderimi yapmaktadır.



Şekil 3.1. Aktif çamur prosesi örnek akım şeması

### 3.1.1. İleri fosfor ve nitrojen giderimi yapan aktif çamur sisteminin tasarımı

Gebze İleri Biyolojik Aktif Çamur Sisteminin tasarlanmasında ATV-A 131 E Standartları esas alınmıştır. Buna göre; ATV-DVWK-A 131 E kitapçığında verilen tasarım planlama ve boyutlandırılması maddeleri takip edilerek aktif çamur üniteleri boyutlandırılmıştır [21].

### 3.1.2. Proses seçimi

Kum tutucular sonrasında biyolojik fosfor giderimi yapan anaerobik havuzlar bulunacaktır. Nitrojen giderimi için, pre-anoksik zon denitrifikasyon prosesi seçilmiştir. Aktif çamur reaktörü (biyolojik reaktör), hem 3 lü hem de 5 li Bardenpho Prosesine imkan veren borulandırmaya sahip oksidasyon havuzları biçiminde tasarlanmıştır [18,21].

## 3.2. Proses İçin Gerekli Olan Oksijen Miktarının Hesaplanması, Havalandırıcı Tasarımın Yapılması

### 3.2.1. Gerekli hava miktarının hesaplanması

Bir difüzörden çıkan hava miktarı = 4,5 Nm<sup>3</sup> /saat/difüzör olarak seçilmiştir.

SOTE: Standart oksijen transfer verimi

SOTE (% 1/m) = 4,69 % 1/m olarak seçilmiştir.

SOTE (%) = SOTE\*H = 4,69\*5,45 = 25,56

Standart Koşullarda Havada Bulunan Oksijen Miktarı (kg O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>) = 0,2318\*1,2  
= 0,279 kg O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> Gerekli Hava Miktarı (Nm<sup>3</sup>/saat) = ) \*100\* ( 2 / 3)

(SOTE kgO<sub>2</sub>mSOR= ) \*100

= 64.337 Nm<sup>3</sup>/saat hava gereklidir [18].

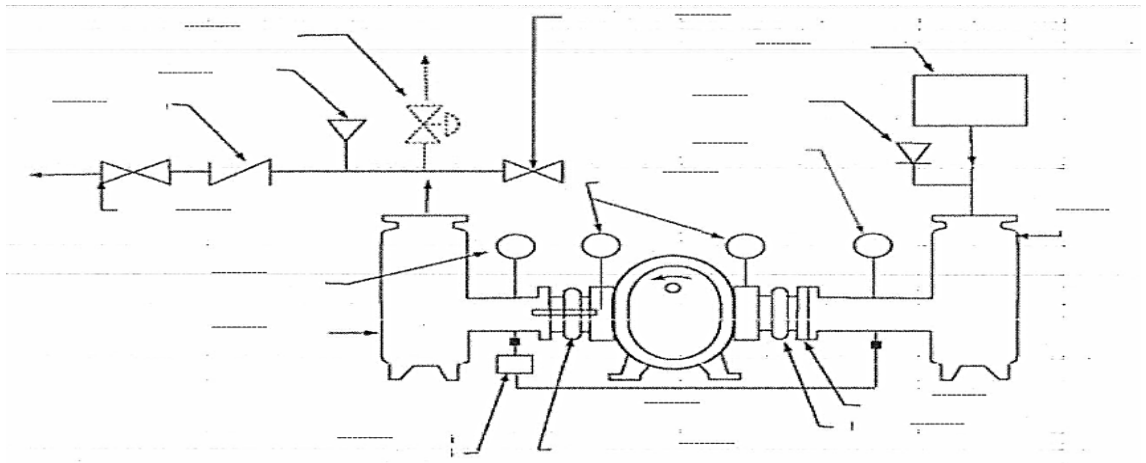
### 3.3. Mevcut Cihazlar ve Kullanım Durumları

Hâlihazırda Gebze Atıksu Arıtma Tesisi'nde pozitif deplasmanlı baklalı tip blowerlar kullanılmaktadır. Tesiste her bir kademe için 3+1 olmak üzere toplam 8 adet (6+2) blower kullanılmaktadır. Her bir blowerin kapasitesi ve motor gücü aşağıda verilmiştir [7,18].

$Q_{\text{blower}} = 11.000 \text{ m}^3/\text{h} = 183,33 \text{ m}^3/\text{dak}$

Karşı basınç = 700 mbar

$P_m = 315 \text{ kW}$



Şekil 3.2. Üç loblu blowerler [7]

Tesisin devreye alındığı günden bugüne kadar elde edilen işletme tecrübesine göre, her bir kademede, yıllık işletme süresinin yaklaşık %70'inde 2 adet blower tam kapasite çalışmakta, kalan %20'lik zaman diliminde ise toplam 3 adet blower aynı anda çalışmaktadır. Her bir blower çalışırken şebekeden yaklaşık 290 kW elektrik enerjisi çekmektedir. Bu duruma göre tesisin blowerlar için toplam enerji ihtiyacı aşağıdaki şekilde hesaplanır [5,6].

Tablo 3.1. Mevcut Baklılı Blowerlerin Yıllık Enerji İhtiyacı [6,7].

Aynı Anda Çalışan Blower Sayısı	Yıllık Çalışma Saati	Her Blower Tarafından Çekilen Güç	Yıllık Toplam Enerji Sarfiyatı	Aritma Tesisinde Blowerlar İçin Harcanan Toplam Yıllık Enerji	Blowerlar Tarafından Üretilen Basınçlı Hava Miktarı	Enerji Sarfiyatı/Üretilen Basınçlı Hava
2 x 2 = 4	365 x %70 x 24 = 6132 saat	290 kW	4 ad x 6132 saat x 290 kW/ad = 7.113.120 kWsaat			
2 x 3 = 6	365 x %30 x 24 = 2628 saat	290 kW	6 ad x 2628 saat x 290 kW/ad = 4.572.720 kWsaat			

### 3.4. Amaçlanan Enerji Tasarrufu

Detayları aşağıda verilen iyileştirme projesi ile mevcut durumda sıkıştırılan her m<sup>3</sup> hava başına harcanan 26,4 watt.saat yerine maksimum 20 watt.saat harcanması planlanmaktadır.

Blowerlere ilave olarak, hava kontrol vanalarının da değiştirilmesi ve otomasyonun revize edilmesi sayesinde hem tesisattaki yük kayıpları azalacak hem de oksijen konsantrasyonundaki salınımlar azaltılacaktır. Bu değişiklikler sayesinde, halihazırda yaklaşık 700 mbar karşı basınca çalışan blowerlerin revizyon sonrasında 650 mbar karşı basınca karşı çalışacağı hesaplanmıştır.

Karşı basınçtaki bu değişim, blowerlerin enerji ihtiyacını %6-8 oranında azaltacaktır. Ortalama olarak %7 tasarruf kabul edilirse, sıkıştırılan m<sup>3</sup> hava başına 19,5 watt.saat enerji harcanması öngörülmektedir.

### **3.5. Planlanan İyileştirme**

Blower - difüzör sistemleri günümüzde bilinen en verimli havalandırma yöntemidir. Bu sistemin verimliliği birçok etkene bağlıdır. Tesiste yapılan incelemeler sonucunda aşağıdaki noktalarda teknolojik iyileştirmeler yapılabileceği ve bu iyileştirmelerin tesisin işletme maliyetini önemli oranda azaltacağı anlaşılmıştır.

Planlanan iyileştirme aşağıdaki işleri kapsayacaktır.

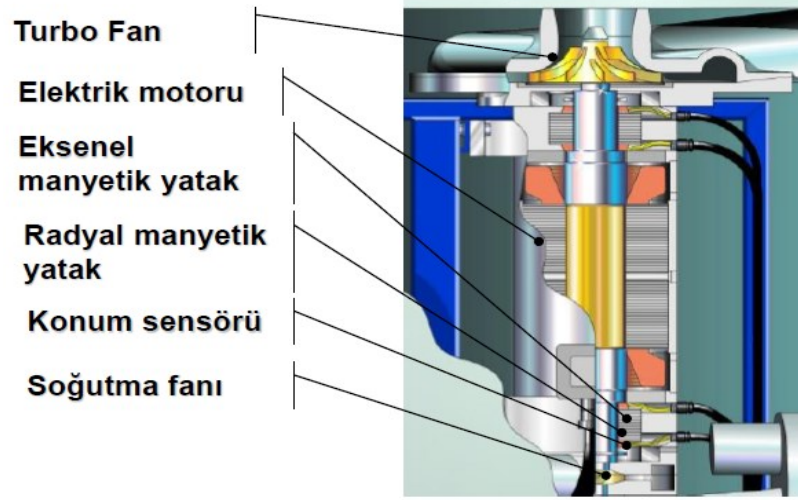
- Tesiste kullanılan mevcut blowerlerin yeni nesil, ileri teknoloji ve yüksek verimli blowerlar ile değiştirilmesi.
- Blower - kontrol vanası – oksijen metre arasındaki otomasyon yönteminin revize edilmesi.

### **3.6. Yeni Nesil Blowerlerin Kullanımı**

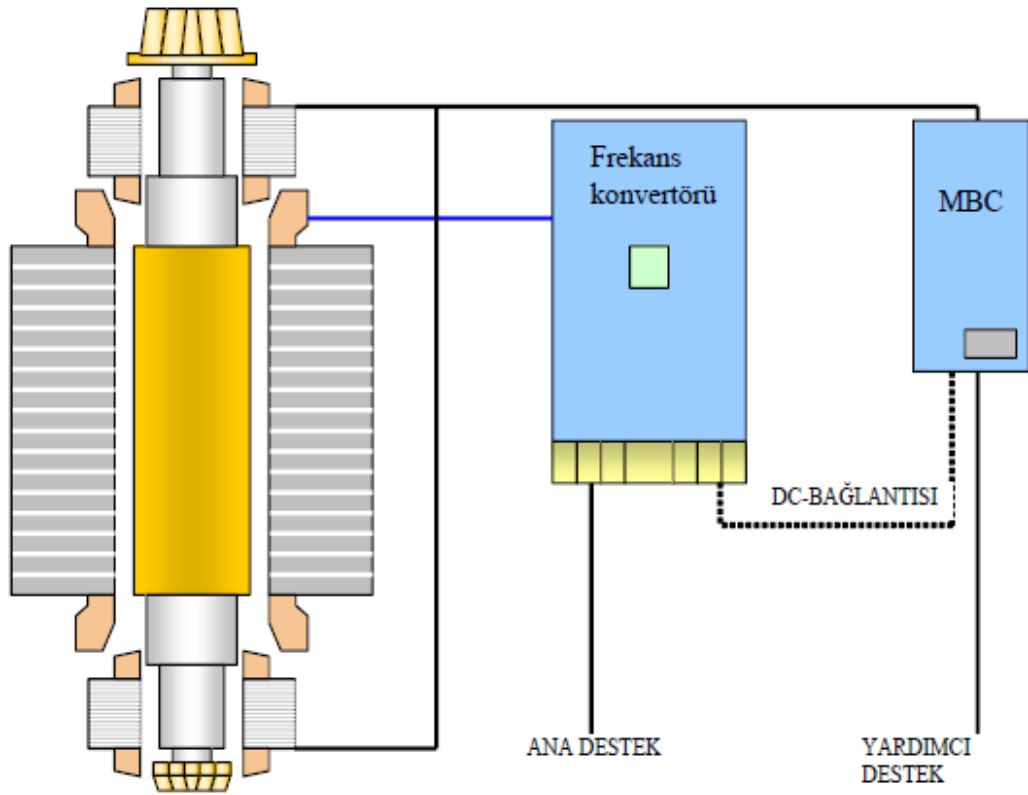
Uzay, savunma ve tıp alanında kullanılan teknolojiler zaman geçtikçe diğer alanlarda da kullanım alanı bulmaktadır. Benzer şekilde su ve atıksu arıtma uygulamaları da bu gelişmelerden olumlu olarak etkilenmektedir.

Uzay teknolojisi ve enerji türbinleri için geliştirilmiş manyetik yataklama uygulaması, son 5-6 yıl içerisinde arıtma tesisleri için üretilen blowerlerde de kullanılmaya başlamıştır.

Manyetik yatak teknolojisi, yüksek hızda dönen turbo blowerlar ile birleştirilince, günümüzün en yüksek verimli blower konfigürasyonu elde edilmiştir. Dünya üzerinde yapılan çalışmalar incelendiğinde, mevcut tesislerin işletilme şekline göre manyetik yataklı blower kullanımı tesislerde %8-30 arasında enerji tasarrufu sağlayabilmektedir.



Şekil 3.3. Manyetik yataklı blower rotoru [6]



Şekil 3.4. Manyetik yataklı blower rotorunun akım şeması [6]

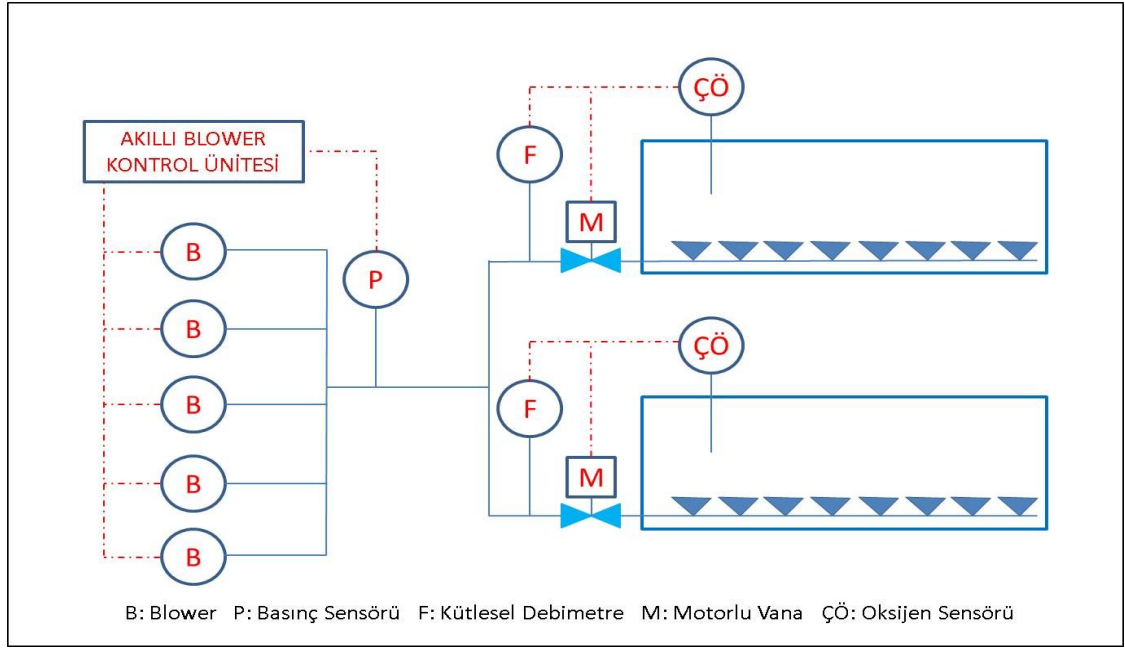
### 3.7. Çözünmüş Oksijen-Vana-Blower Kontrol Otomasyonu

Atıksu arıtma tesislerinde biyolojik faaliyetler ve havuzlarda oksijen tüketimi lineer formüllerle açıklanamamaktadır. Oysaki tesislerde kullanılan otomasyon mantığı genellikle lineer (doğrusal ve orantısal) formüllere dayanmaktadır. Birçok arıtma tesisinde, blowerler sahadan gelen oksijen sinyaline göre kontrol edilmektedir. Sahada birden fazla havalandırma bölgesi ve birden fazla oksijen sensörü bulunduğundan, genellikle, bun sensörlerin okuduğu değerlerin ortalamasına göre blower kapasitesi otomatik olarak kontrol edilmeye çalışılmaktadır.

Bu durumda, havuzların kendi ihtiyaçlarına göre kontrolü mümkün olmamakta, bazı alanlar gereğinden fazla, bazıları ise gereğinden az havalandırılmaktadır. Maalesef bu kontrol şeklinde, bazı alanlar için fazla enerji harcanmakta, bazı alanlarda ise yeteri kadar havalandırma yapılamamaktadır.

Yüksek verimli blowerler, doğru tipte seçilmiş kontrol vanaları ve uygun otomasyon ile tüm bu sıkıntılar ortadan kaldırılabilir ve en uygun maliyet ile en optimum havalandırma sağlanabilir.

Arıtma tesisinde planlanan revizyon, oksijen metrelerin blowerlere değil, ilgili oksijen metrenin ölçüm yaptığı havuza hava getiren hat üzerindeki kontrol vanasını kontrol etmesi şeklinde olacaktır. Bu sayede, havuzdaki en küçük oksijen konsantrasyonu değişikliği, o havuza yakın bir şekilde yerleştirilmiş kontrol vanası tarafından hissedilir ve anında reaksiyon verilir. Vanalarda ortaya çıkan bu küçük açılma/kapanma hareketleri de tüm hava hattı sisteminde toplam basıncın artmasına veya azalmasına yol açacaktır. Bu yeni kontrol mantığında, tüm blowerlerin oksijen metrelerin kontrolünden çıkartılması ancak sabit bir basınç değerinde çalıştırılacak şekilde set edilmesi planlanmaktadır.



Şekil 3.5. Planlanan blower kontrol otomasyon şeması [6]

### 3.8. Temin Edilen Ekipman Özellikleri

Bu çalışma kapsamında aşağıdaki üniteler temin edilmiştir.

- 1) Her kademede hali hazırda olan 3+1 loblu tip blowerlerin, 2 tanesinin yerine yeni nesil manyetik yataklı 2 adet turbo blower konuldu. (İki kademe için toplam 4 adet, her biri minimum 300 kW motor gücünde,  $D_p=700$  mbar 'da  $5.000 - 13.000$  m<sup>3</sup>/saat sıkıştırılan hava olmalıdır.
- 2) Yukarıdaki tüm değişikliklerin işler hale getirilmesi için gerekli ilave pano, oksijen sensörü, kablolama ve otomasyon işleri yapılmıştır.

#### 3.8.1. Manyetik yataklı turbo blower

Manyetik yataklı, santrifüj turbo blower temin edilmiştir. Temin edilen blowerin politropik verimliliği % 80'in altına düşmeyecektir.

By-pass vanası, blower üreticisi tarafından ünite üzerine, ses kabini içerisinde kalacak şekilde monte edilmiştir. Blowerin elektrik motoru manyetik rulman ile donatılmıştır. Normal çalışma durumunda, blower fanı ve elektrik motorunun rotoru, manyetik yatakların oluşturduğu elektromanyetik alan içerisinde, blowerin diğer bileşenlerinin



herhangi birisi ile fiziksel temasta bulunmadan dönecektir. Blowerin uzun ömürlü olması ve yedek parça ihtiyacının ortadan kaldırılabilmesi için, dönüş hızı ne olursa olsun, rotor ve fanın herhangi bir yüzeye sürtünmeden dönmesi gerçekleşmektedir.

Temin edilen elektrik motoru yüksek hızlı (motor hızı 0–30.000 devir/dakika aralığındadır), daimi mıknatıslar ile üretilmiş, su soğutmalı bir motordur. Blowerin fanı, elektrik motoru miline direkt akuple edilmiştir.

Blowerin kapasite (hem basınç, hem de debi) kontrolü sadece frekans konvertörü sayesinde motorun ve dolayısıyla motor miline bağlı fanın hızının azaltılması veya artırılması ile gerçekleştirilecektir.

Her bir blower maksimum kapasitesinin %20'si ile %100'ü aralığında rahatlıkla çalıştırılabilecektir. Titreşim seviyesi, uygun çalışma koşullarını sağlamak amacıyla sistemi yere dübellemeyi gerektirmeyecek derecede az tasarlanmıştır. Maksimum 3 mm/s titreşim kabul edilmiştir. Blower, elektrik motoru, kullanılan yataklama sistemleri veya hareket/güç aktarma organları, blowerin ömrü boyunca yağ veya yağlayıcı maddeye ihtiyaç duymayacak şekilde tasarlanmıştır. Soğutma suyu pompası dışındaki hiçbir parça üzerinde değiştirilmesi gereken bir conta, yumuşak veya mekanik salmastra bulunmamaktadır [5,6].

Blower, güç kesintisi halinde, herhangi bir kesintisiz güç kaynağına veya bataryaya gereksinim duymadan, otomatik olarak normal çalışma modundan jeneratör moduna geçecek ve motorun duruş süresi boyunca manyetik yataklara yetecek kadar enerji üretecek şekilde tasarlanmıştır.

Blowerlar 7 gün 24 saat çalışmaya uygundur. Ünite, ortam hava sıcaklığının -25 ile +50 °C arasında olduğu ortamlarda, herhangi bir ilave tedbir almadan kesintisiz çalışabilmektedir.

Her bir blowerden kaynaklanan gürültü seviyesi, (arka plan sesleri dikkate alınmadan) blowerden 1 m uzaklıkta 80 dBA'dan daha yüksek olmayacak şekilde tasarlanmıştır.

Her bir blower, aynı gürültü kabini içerisinde entegre bir şekilde yerleştirilmiş kendi özel kontrol panosu ile birlikte temin edilmiş olup, her kontrol panosu bir PLC ve dokunmatik bir renkli kontrol ekranı ile donatılmıştır.

PLC için analog giriş ve çıkış sinyalleri 4-20 mA cinsinden ve PLC, Profibus DP haberleşme sistemini desteklemektedir.

Birden fazla blower kullanılması gerektiğinde, bu blowerlerin kontrolünü gerçekleştirmek üzere, bağımsız, PLC ve dokunmatik, renkli kontrol ekranı konmuştur.

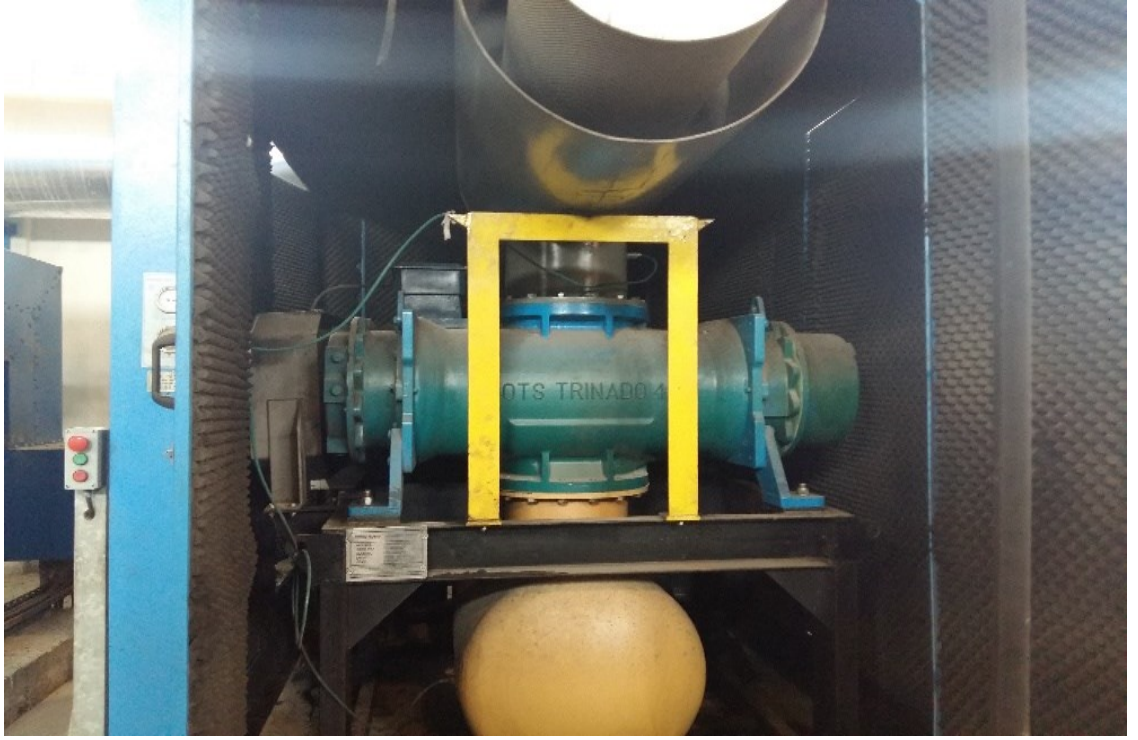
Bu ilave pano, birbirine paralel çalışan turbo blower grubunun, anlık olarak tesiste istenilen hava debisini, mümkün olan en yüksek enerji verimliliğini sağlayacak şekilde üretmesini sağlayacaktır.

Blower bünyesinde, blower ünitesine ait değişmesi gereken tek yedek parça blower emiş filtresidir. Bunun yanında minimum beş yılda bir manyetik yatak akülerinin değişimi gerekebilir.

Ürünler, Avrupa Birliği Standartları'nın CE markasını taşır ve AB'nin 2006/42/EC Makine Yönetmeliği, 2006/95/EC Düşük Voltaj Yönetmeliği ve 2004/108/EC Elektromanyetik Uygunluk Yönetmeliği şartlarına uygundur.

### **3.8.2. Otomasyon**

Yukarıda tanımlanan tüm mekanik ürünlerin ve enstrümanların birbirleri ile uyumlu olarak çalışması ve bu birimlerin ayrıca; arıtma tesisindeki “merkezi PLC” ve Scada ile haberleşmesi sağlanmıştır. Bu amaçla gereken tüm kablolama, otomasyon, pano ve yazılım iş ve işlemleri yerine getirilmiştir. Aşağıda Şekil 3.6 da eski tip loplu blower, Şekil 3.7 de ise yeni nesil manyetik yataklı turbo blower gösterilmektedir.



Şekil 3.6. Loblu eski tip blower [7]



Şekil 3.7. Yeni nesil manyetik yataklı turbo blower [6]



Şekil 3.8. Yeni nesil manyetik yataklı turbo blower aksamaları [6]

### 3.9 Yapılan Su Analiz

#### 3.9.1. Açık refluks yöntemi ile KOİ analizi

Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ), su örneğinin asidik ortamda kuvvetli bir kimyasal oksitleyiciyle (Potasyumdikromat) gümüş sülfat katalizörlüğünde oksitlenebilen organik madde miktarının oksijen eşdeğeri cinsinden ifadesidir. KOİ, organik maddelerin türleri arasında ayırım yapmadığı için kollektif bir parametredir. Çok sayıda organik bileşik %90-100 oranında oksitlenebilmektedir. Bu gibi durumlarda KOİ, teorik oksijen ihtiyacının gerçekçi bir ifadesidir. Bu koşullar altında oksitlenmesi zor olan organik bileşikler içeren atıksularda ise KOİ, teorik oksijen ihtiyacının zayıf bir ölçütüdür. Bazı endüstriyel atıksularda bu durumla karşılaşılabilir.

Pek çok organik madde kromik ve sülfürik asit ile birlikte kaynatılarak okside olur. Numune miktarı bilinen dikromat ile güçlü bir asit içinde refluks edilir. Parçalanmadan sonra, kalan indirgenmemiş dikromat FAS (DAS) ile titre edilerek, organik maddenin

yükseltgenmesinde harcanan dikromat miktarı oksijen eş değeri cinsinden hesaplanır. Numune hacmi 50 mL den farklı ise, kimyasalların ağırlık, hacim, kuvvet oranları sabit tutulur. Eğer numune daha kısa sürede aynı verimi sağlayacak ise, standart 2 saatlik refluks zamanı azaltılabilir. Bazı numuneler oldukça düşük KOİ değerine ya da homojen olmayan yapıya sahip olabilir, böyle durumlarda daha güvenilir veriler elde etmek için analizleri tekrarlamak gerekir. Deney sonuçları, aşırı miktarda dikromat kullanarak geliştirilir, böylelikle titrasyon öncesindeki kalan dikromat miktarı sağlanmış olur.

### 3.9.2. Girişimler

Uçucu organik bileşikler kapalı sistemlerde oksidant ile daha uzun süre temasta bulunduğu için tamamen oksitlenebilirler. Böyle düz zincirli alifatik karbonlar katalizör olarak gümüş sülfat ( $Ag_2SO_4$ ) daha etkin bir şekilde oksitlenir. Bununla beraber  $Ag_2SO_4$ ; klorür, bromür ve iyodürle reaksiyona girerek kısmen oksitlenmiş çökeltileri meydana getirir. Her ne kadar tamamı ile olmasa da halojenürlerin bulunmasının sebebiyet verdiği güçlükler dolayısıyla refluks işlemi yapılmadan civa-2-sülfat ( $HgSO_4$ ) ilavesi ile kompleks teşkil etmek sureti ile giderilebilir. Her ne kadar 1 g  $HgSO_4$  50 ml numune için yeterli olsa da numunedeki klorür konsantrasyonunun 2000 mg/l den az olduğu biliniyorsa daha az miktarda kullanılabilir. Cl konsantrasyonu 2.000 mg/l'den fazla numuneler için bu testin kullanılması tavsiye edilmez.

$NO_2$  sebebiyle meydana gelen girişimi gidermek üzere numunede kullanılan hacimde bulunan her 1 mg  $NO_2-N$  'na karşılık 10 mg sülfamik asit ilave edilir; aynı miktardaki sülfamik asit refluks kabındaki distile su şahidine de ilave edilir.

İndirgenmiş inorganik türler iki değerlikli demir, sülfür, iki değerlikli mangan vs. test şartları altında kantitatif olarak oksitlenir. Bu türlerin önemli miktarını içeren numunelerde, türlerin bilinen başlangıç konsantrasyonlarından stokiometrik olarak oksidasyonu kabul edilir ve elde edilen KOİ değerleri düzeltmeye tabi tutulur.

### 3.9.3. Uyarılar

Bu yöntemde, kuvvetli sülfürik asit ve dikromat çözeltileri ile kaynatma yapıldığından; koruyucu önlük, eldiven ve tüm yüzü koruyan ekipmanların kullanılması gerekmektedir. Sıçrama durumunda temiz su ile bolca yıkama en basit ve en etkili yoldur. Distile suya derişik sülfürik asitin eklenmesi büyük bir dikkatle yapılmalıdır. Gümüş sülfat ve civa sülfat içeren çözeltileri hazırlarken bu maddeler toksik olduğu için azami dikkat gerekmektedir.

### 3.9.4. Araçlar

Refluks (geri soğutucu) aracı:

- 24/ 40 boyunlu 250 veya 500 ml lik erlen
- 24/40 bağlantılı şilifli 300 ml lik soğutucu
- En az 1,4 W/ cm<sup>2</sup> gücünde tablalı elektrik ısıtıcısı

Karıştırıcı (blender)

Pipetler

### 3.9.5. Reaktifler

**Standart Potasyum Dikromat çözeltisi (0.04167 M=0.2500 N):** Önceden 150 °C de 2 saat kurutulmuş 12,259 g birincil standart kalitede K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, bir miktar distile(saf su) suda çözdürülüp 1000 mL ye tamamlanır.

**Sülfürikasit Reaktifi:** 1 kg derişik sülfürik asit içerisine 5,5 gr Ag<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ilave edilerek çözülür. Gümüş sülfatın asit içerisine tamamen çözülmesi için bir iki gün ışık almayan bir yerde bekletilmesi gerekir.

**Ferroun indikatör çözeltisi:** 1,485 g 1,10 fenantrolin monohidrat ve 695 mg FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O distile suda çözülür ve 100 mL ye distile su ile tamamlanır.

**Standart Demir Amonyum Sülfat Titrantı (DAS) (0.25 M):** 98 g Fe(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O distile suda çözdürülür ve üzerine 20 mL konsantre H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ilave edilir. Soğutulduktan sonra distile su ile 1.000 mL ye tamamlanır. Solüsyon kullanılacağı

zaman mutlaka  $K_2Cr_2O_7$  karşı standardizasyon yapılmalı (ayarlanmalı) ve normalitesi bulunmalıdır. Bunun için:

25 mL standart  $K_2Cr_2O_7$  çözeltisi yaklaşık 100 mL ye seyreltilir ve 30 mL konsantre  $H_2SO_4$  ilave edilip soğutulur. İçerisine 0,10-0,15 mL (2-3 damla) ferroin indikatörü eklenip DAS ile titrasyonu yapılır.

$$DAS \text{ Molaritesi} = A * 0,2500 / B \quad (3.1)$$

A: titrasyonda kullanılan 0,04167 M  $K_2Cr_2O_7$  çözeltisinin hacmi, mL

B: titrasyonda tüketilen DAS hacmi, mL

**Civa Sülfat:**  $HgSO_4$  (kristal ya da toz halde)

**Sülfamik Asit:** Nitrit ile girişim varsa kullanılır. Bu girişim sudaki nitrit miktarı 1-2 mg  $NO_2^-$  -N /L den fazla ise elimine edilmelidir. Bunun için nitrit olan numunelere her mg nitrit azotu ( $NO_2^-$  -N) için 10 mg sülfamik asit ilave edilir. Aynı miktarda sülfamik asit refluks aletine konan distile şahit karışım da eklenir.

**Potasyum hidrofitalat (KHP) standardı,  $HOOC_6H_4COOK$ :** KHP yi hafifçe ezip 110 °C de sabit ağırlığa ulaşınca kadar kurutulur. Bundan 425 mg alıp distile suda çözdürülüp 1.000 mL ye distile su ile tamamlanır. KHP nin teorik  $KO_2$  si 1.176 mg  $O_2$ /mg ve bu solüsyonun  $KO_2$  si de teorik olarak 500 mg  $O_2$ /L. Bu solüsyon dondurulduğunda/soğutulduğunda kararlıdır. Fakat süresiz olarak değil (biyolojik büyüme görülmediğinde yaklaşık olarak 3 ay kadar).Bu standart metodun ve kullanılan reaktiflerin kalitesi KHP çözeltisi kullanılarak geçerli kılınır.

### 3.9.6. Deneyin yapılışı

**$KO_2 > 50 \text{ mg } O_2/\text{mL}$ :** Numune gerekli ise karıştırılır ve pipetle 50 mL alınıp 500 mL lik refluks (geri soğutma) erlenine koyulur. İçerisine 1 g  $HgSO_4$  ve birkaç cam boncuk (cam kaynama taşı) konup üzerine çok yavaş 5 mL sülfürik asit ilave edilip  $HgSO_4$  çözülene kadar karıştırılır (erlen musluk altında çalkalanarak soğutulabilir). Karıştırarak soğutur iken olabilecek uçucu maddelerden kaçınılmalıdır. 25 mL 0,04167 M  $K_2Cr_2O_7$  çözeltisinden eklenir ve karıştırılır. 70ml sülfürik asit reaktifi ( $AgSO_4+H_2SO_4$ )

kondansatörün üzerine yerleştirilen cam huni yardımıyla eklenir. Erlen kondansatöre yerleştirilip soğutma suyu açılır. Geri soğutucunun üstü yabancı malzeme girişini engellemek için küçük bir beherle kapatılır ve iki saat reflux işlemi gerçekleştirilir. Geri soğutucu soğutulur ve saf su ile yıkanır. Geri soğutucu reflux erleninden ayrılır ve içindeki çözelti distile suyla iki kat seyreltilir. Oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra 2-3 damla ferroin indikatörü eklenerek  $K_2Cr_2O_7$  'ın fazlası DAS ile titre edilir. Ferroin indikatör miktarı önemli değildir ancak tüm titrasyonlarda aynı miktarda olmalıdır. Titrasyonun son noktası, mavi-yeşil rengin tam olarak kırmızı-kahveye döndüğü noktadır bu da yaklaşık 1 dakika veya daha uzun sürer.

Eş/paralel çalışmada elde edilen her bir sonuç ortalamasının %5 i kadar olmalıdır. İçerisinde askıda katı veya bileşen olan numuneler yavaş okside olduklarından farklı bir deneyle tanımlanmaları gerekebilir ve mavi-yeşil rengin titrasyondan sonra tekrar oluşmasına sebep olabilir. Aynı uygulamalar blank/şahit içinde yapılır. Ancak şahite numune yerine saf su eklenir.

**KOI < 50 mg O<sub>2</sub>/mL :** Yukarıdaki numune analizinde uygulanan basamaklarda kullanılan potasyum di kromat ve DAS için 10 kat seyreltilmiş yani molaritesi 0,04167 Molar  $K_2Cr_2O_7$  ve 0,025 Molar Standart Demir Amonyum Sülfat Titrantı (DAS) hazırlanır ve yukarıdaki işlemler aynı uygulanır.

**Standart Solüsyonu Tanımlama:** Kimyasalların tekniğini ve kalitesini standart potasyum hidrofitalat çözeltisine göre değerlendirilir.

**Hesaplama:**

$$KOI (mg O_2/L) = \frac{(A-B) * M * 8.000}{Numune Hacmi, mL} \quad (3.2)$$

A: Şahit için kullanılan DAS, mL

B: Numune için kullanılan DAS, mL

M: DAS ın molaritesi

8.000: oksijenin milieşdeğer ağırlığı\* 1.000 mL

Deneyle ilgili tüm kayıtlar, standart formlara deney personeli tarafından kaydedilir.



## BÖLÜM 4

### 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

#### 4.1. Mekanik Ekipman Güçleri

Gebze atıksu arıtma tesisinde bulunan tüm mekanik ekipmanların kurulu güçleri ve fiili çalışmaları esnasındaki sarfiyatları Tablo 4.1 te verilmiştir.

Tablo 4.1. Gebze atıksu arıtma tesisi ekipman güç çizelgeleri

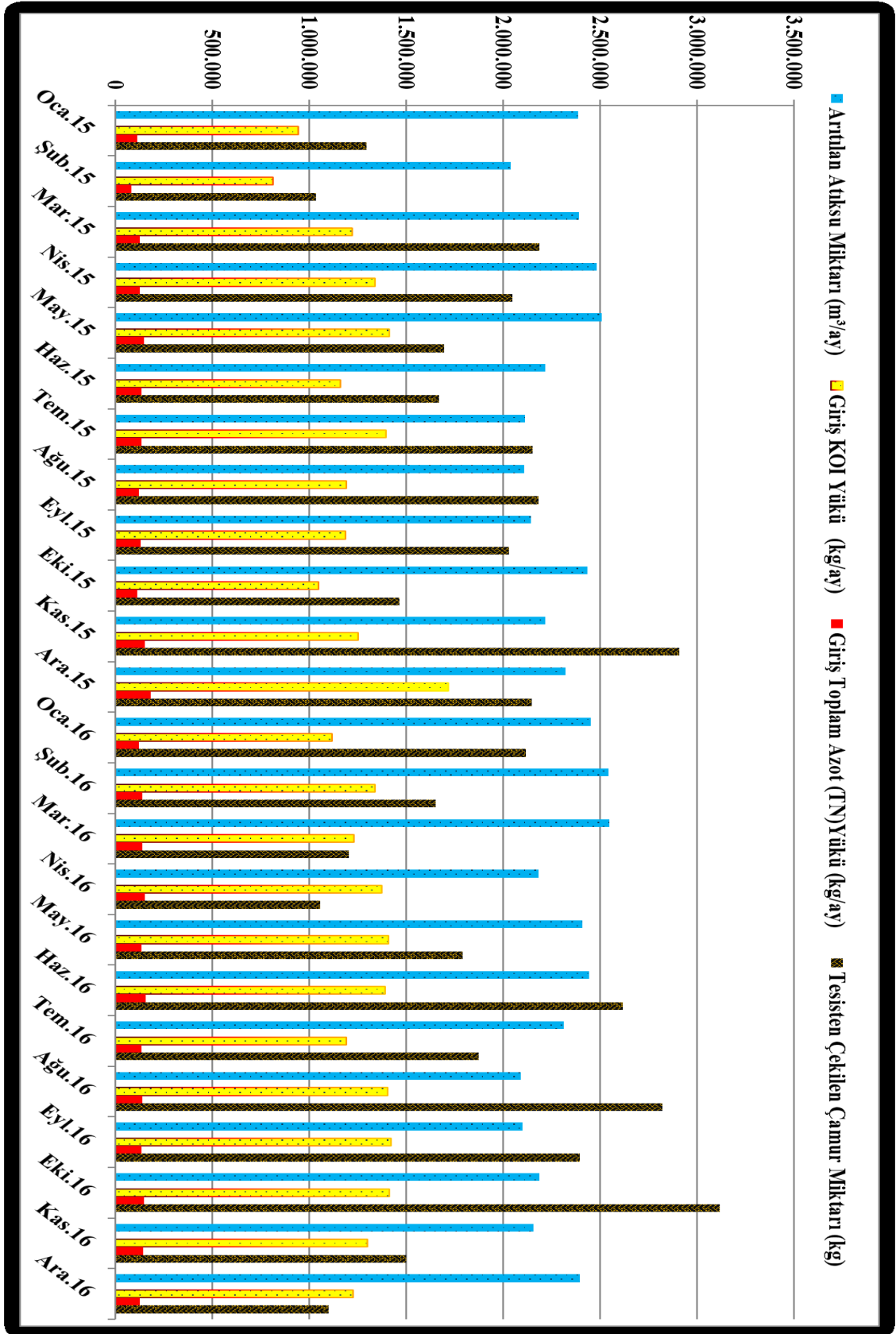
No:	Cihaz Adı	Adet	Birim Güç (kW)	Toplam Kurulu Güç (kW)	Cihazların Kurulu Güç Oranları	Çalışan Cihaz Adeti	Çalışma Süresi (Saat)	Toplam Talep İş (kW.h)	Cihazların İş Oranları
1	Kaba Izgara	4	0,37	1,48	0,03417%	4	24	35,52	0,10517%
2	Kaba Izgara Konveyoru	1	0,75	0,75	0,01731%	1	24	18	0,05329%
3	İnce Izgara	4	1,1	4,4	0,10158%	4	24	105,6	0,31266%
4	İnce Izgara Konveyoru	1	0,75	0,75	0,01731%	1	24	18	0,05329%
5	Kum Pompası	4	3	12	0,27703%	2	10	60	0,17765%
6	Kum Tutucu Köprü	4	1,5	6	0,13851%	2	24	72	0,21318%
7	Kum Ayırma Helezonu	2	0,55	1,1	0,02539%	1	24	13,2	0,03908%
8	Bina Havalandırma Fanı	2	0,37	0,74	0,01708%	2	24	17,76	0,05258%
9	Giriş Terfi Pompası	5	90	450	10,38856%	2	24	4,320	12,79060%
10	Kum Tutucu Blower	5	11	55	1,26971%	1	24	264	0,78165%
1	<b>Havalandırma Blowerları</b>	<b>8</b>	<b>315</b>	<b>2520</b>	<b>58,17591%</b>	<b>3</b>	<b>24</b>	<b>20.160</b>	<b>51,93894%</b>
2	İç Resürkilasyon Pompası	8	11	88	2,03154%	8	24	2,112	6,25318%
3	Havalandırma Mikseri-1	12	5,5	66	1,52365%	12	24	1,584	4,68989%
4	Havalandırma Mikseri-2	24	7,5	180	4,15542%	24	24	4,320	12,79060%
5	Bina Havalandırma Fanı	10	0,37	3,7	0,08542%	10	24	88,8	0,26292%
1	Son Çökt. Sıyırıcı	8	0,55	4,4	0,10158%	8	24	105,6	0,31266%
2	Köpük Pompası	8	2,2	17,6	0,40631%	8	4	70,4	0,20844%
3	Bina Havalandırma Fanı	6	0,37	2,22	0,05125%	6	24	53,28	0,15775%
4	Blower	2	5,5	11	0,25394%	1	3	16,5	0,04885%
5	Geri Devir Pompası	8	45	360	8,31084%	4	24	4,320	12,79060%
6	Paket Hidrafor	1	6	6	0,13851%	1	10	60	0,17765%
7	Dekantör	5	90	450	10,38856%	3	3	810	2,39824%
8	Kırıcı Maseratör	5	4	20	0,46171%	3	3	36	0,10659%
9	FeCl Dozlama Pompası	4	0,75	3	0,06926%	0	0	0	0,00000%
10	Vidalı Konveyör	4	2,2	8,8	0,20315%	4	5,5	48,4	0,14330%
11	Polielektrolit Dozl. Pomp.	5	0,75	3,75	0,08657%	3	3	6,75	0,01999%
12	Dekantör Besleme Pomp.	5	11	55	1,26971%	3	3	99	0,29312%
<b>Genel Toplam Kurulu Güç (kW):</b>				<b>4.331,69</b>	<b>Günlük Genel Toplam İş (kW.h):</b>		<b>38.814,81</b>		

## 4.2. Ekipman Revizyonu ile Enerji Tasarrufunun Tespiti

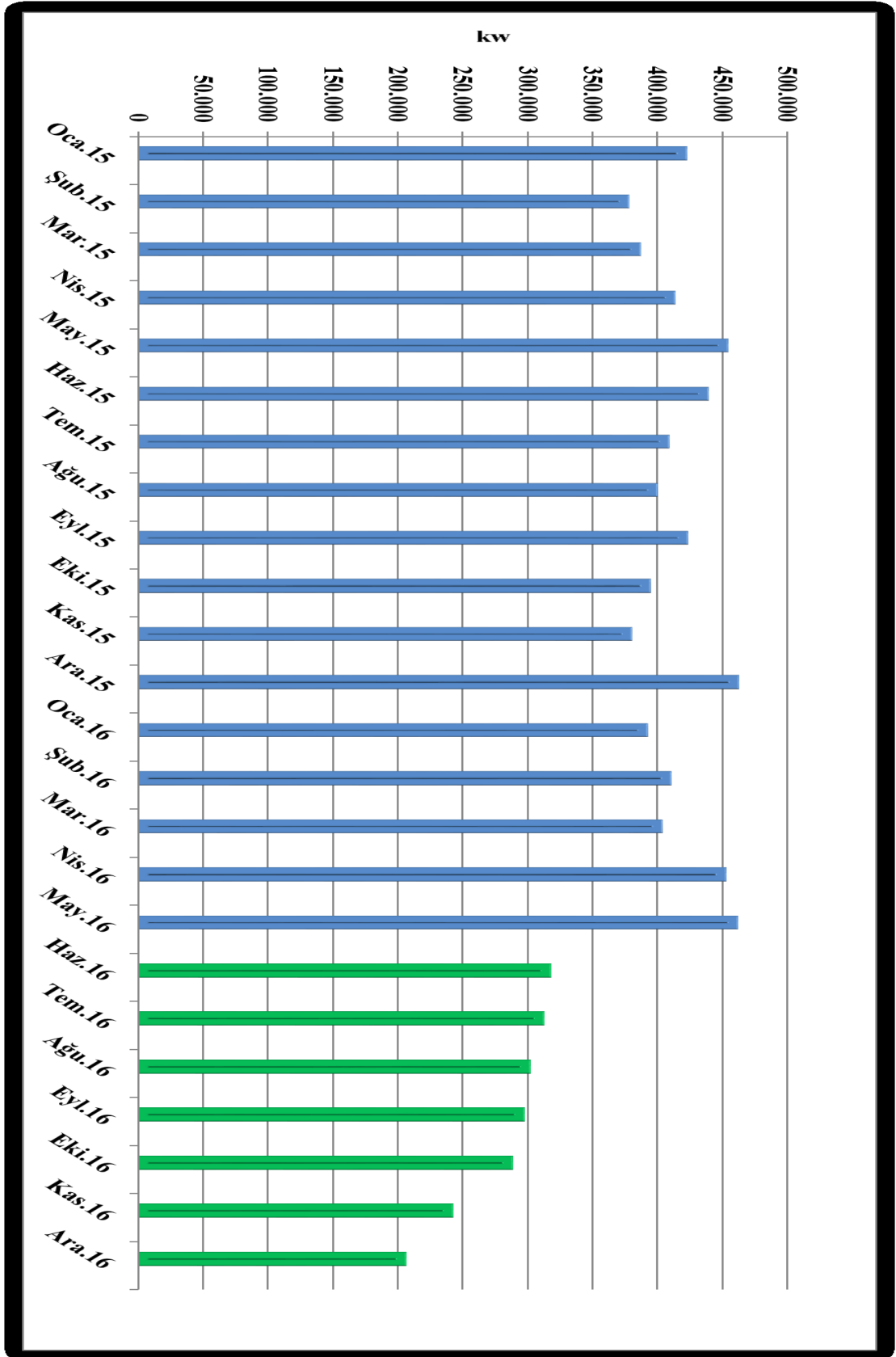
Gebze atıksu arıtma tesisinin bazı giriş parametre değerleri ile havalandırma ünitesindeki blowerlerin enerji sarfiyatları Ocak 2015 ten itibaren iki yıl boyunca izlenmiştir. Bu iki yıllık periyodun; Mayıs 2016 da havalandırma ünitesindeki loblu tip blowerler yeni nesil turbo blowerler ile değiştirilmiş olup son yedi aylık kısmında harcadıkları enerji miktarı kayıt altına alınmıştır.

Bunun yanında oksijen sensörleri, otomasyon sistemindeki senaryo değişiklikleri yapılmıştır. Arıtma tesisindeki bazı kirlilik parametreleri ise aynı zaman diliminde analizleri yapılarak, arıtma veriminde herhangi bir değişiklik olup olmadığı izlenmiştir. Alınan bu veriler ışığında aşağıdaki bazı grafikler elde edilmiştir.

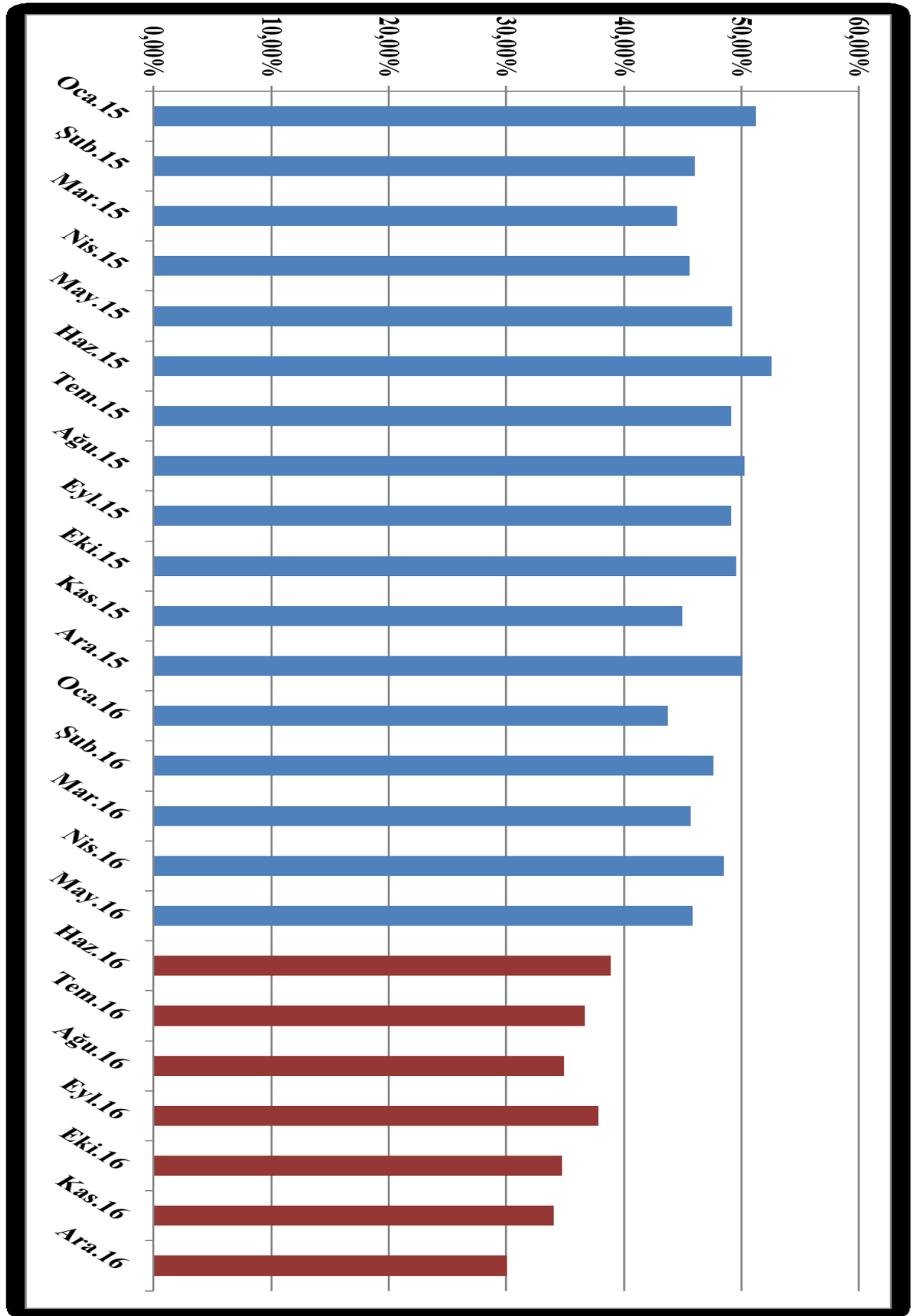
Gebze atıksu arıtma tesisi giriş debi, kirlilik yükleri ve çekilen çamur miktarı, blowerlerin tükettiği enerji miktarı, havalandırma ünitesindeki enerji tüketiminin toplam tüketime oranı, enerji maliyetlerindeki değişim grafiği, birim atıksu başına harcanan enerji miktarı sırasıyla aşağıda grafiklerde sunulmuştur.



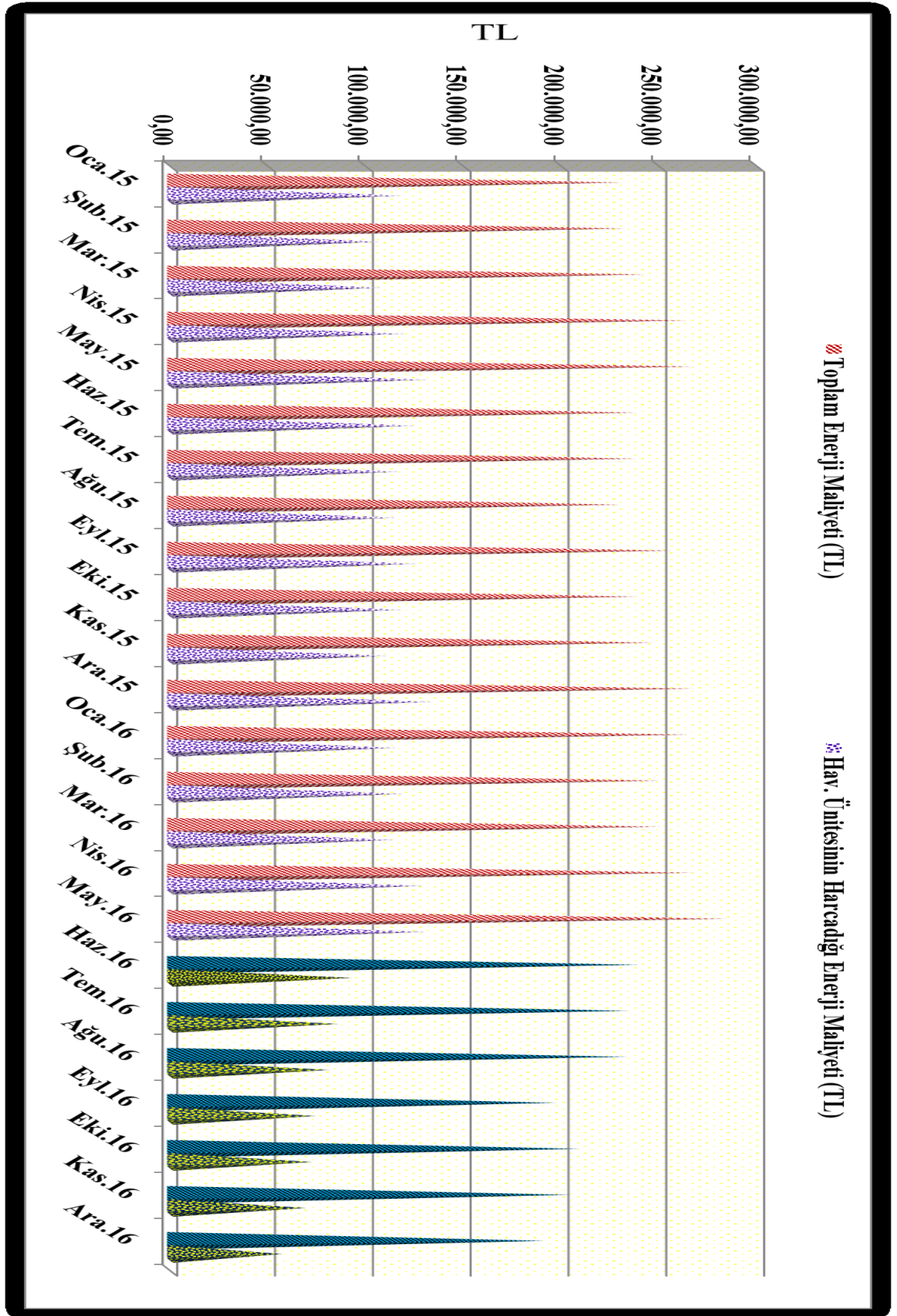
Şekil 4.1. Tesisin giriş debi, kirlilik yükü ve çekilen çamur miktarı



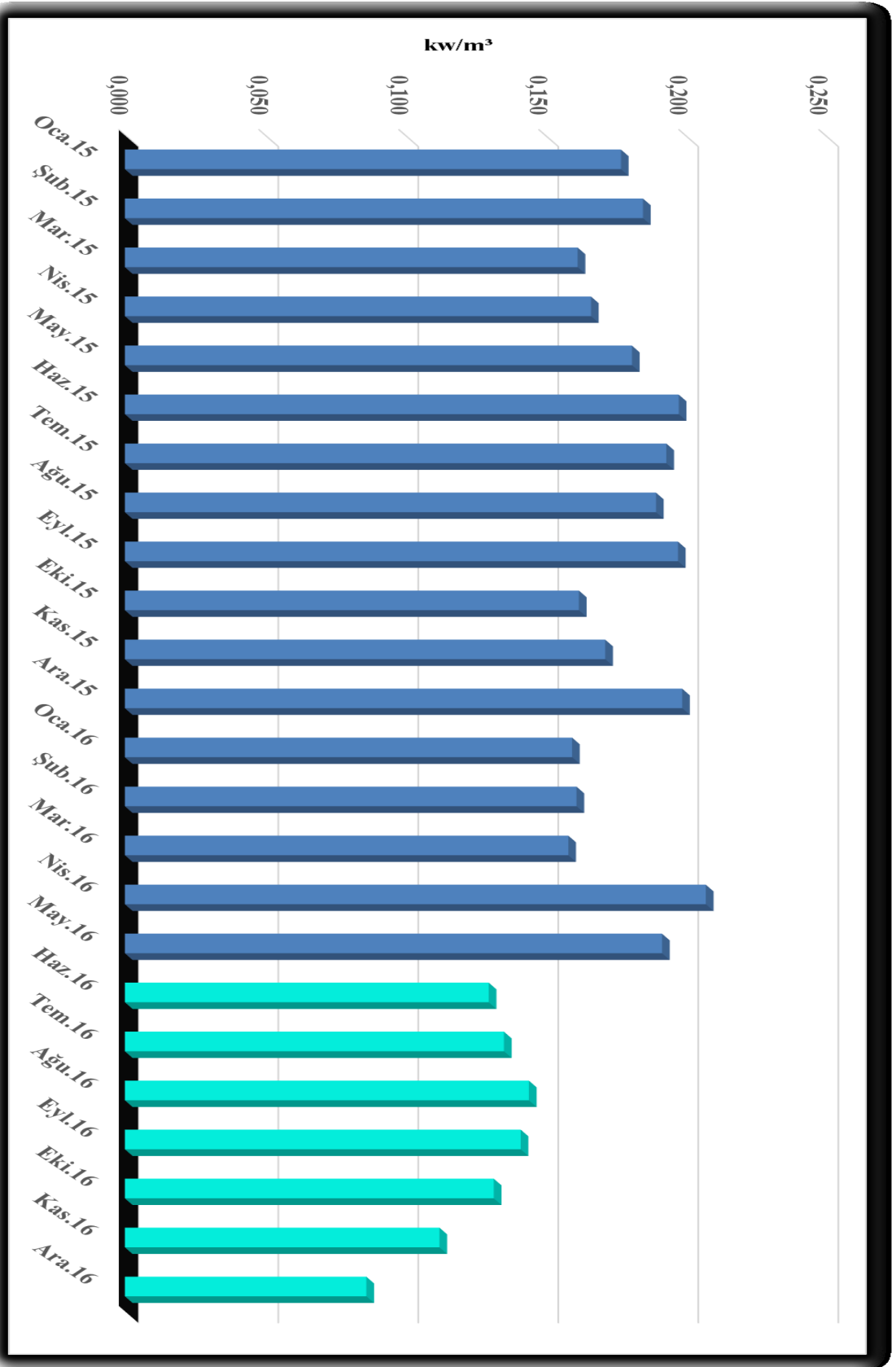
Şekil 4.2. Havalandırma ünitesindeki blowerlerin tükettiği enerji miktarları



Şekil 4.3. Havalandırma ünitesindeki enerji tüketiminin toplam tüketime oranı (%)



Şekil 4.4. Enerji maliyetleri değişimi



Şekil 4.5. Birim atıksu başına harcanan enerji miktarı (kw/m<sup>3</sup>)

Grafiklerden de anlaşılacağı üzere ;

Yapılan izlemeler ve kaydedilen verilerin analizi neticesinde yeni nesil turbo blowerlerin devreye alınması ile birlikte; Gebze İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinin arıtma verimini de arttırarak, hava üretmek için harcadığı elektrik enerjisi sarfiyatı yaklaşık %32 oranında azalmıştır. Birim atıksu arıtımı başına düşen enerji sarfiyatı ise yaklaşık %30 oranında azalmıştır. Havalandırma ünitesinin enerji maliyetleri ₺ bazında yaklaşık %36 oranında tasarruf sağlanmıştır.

Tüm bu sonuçlar göz önüne alındığında arıtma tesisinde yapılan ekipman revizyonu ile tesisin birim atıksu başına harcadığı enerji 26,48 watt-Nm<sup>3</sup>hava/saat' ten 18,12 watt-Nm<sup>3</sup> hava/saat' e düşmüş olup, enerji tasarrufu %32 seviyesindedir.

Eski tip loblu blowerler, 1m<sup>3</sup> atıksu arıtımı için ortalama 0,180 kW enerji tüketmekte olup, bu tüketimin yaklaşık maliyeti 0,0522 ₺ dir [8]. Yapılan ekipman revizyonu ile bu sarfiyat 0,126 kW'a düşmüş olup, enerji maliyeti yaklaşık 0,0365 ₺ dir. Yıllık atıksu arıtımı toplamı 27.586.793 m<sup>3</sup> tür [8]. Buna göre yıllık enerji tasarrufu; 433.113,00 ₺ olarak hesaplanmıştır.

Yatırım Maliyeti 1.665.000,00 ₺ olduğuna göre yapılan bu değişikliğin amortisman süresi, 3,84 yıldır.

Blowerlerin yıllık bakım masrafları da göz önüne alındığında, loblu tip 4 adet blowerin yıllık toplam bakım masrafı 120.000,00 ₺ dir [7]. Turbo blowerlerin yıllık bakım masrafı ise 16.000,00 ₺ dir. Bakım masrafları da göz önüne alındığında; nihai tasarruf 537.113,00 ₺, amortisman süresi ise 3,10 yıl olarak hesaplanmıştır.

Ekipman revizyonunun sağladığı diğer avantajlar

- Gürültü ve titreşim seviyelerinin azalması,
- Kontrol ve izleme kolaylığı,
- Periyodik bakım ve işletme kolaylığı,
- İşgücü kaybının azalması
- Arıtma sistemindeki diğer ekipmanların kullanım ömürlerine katkısı



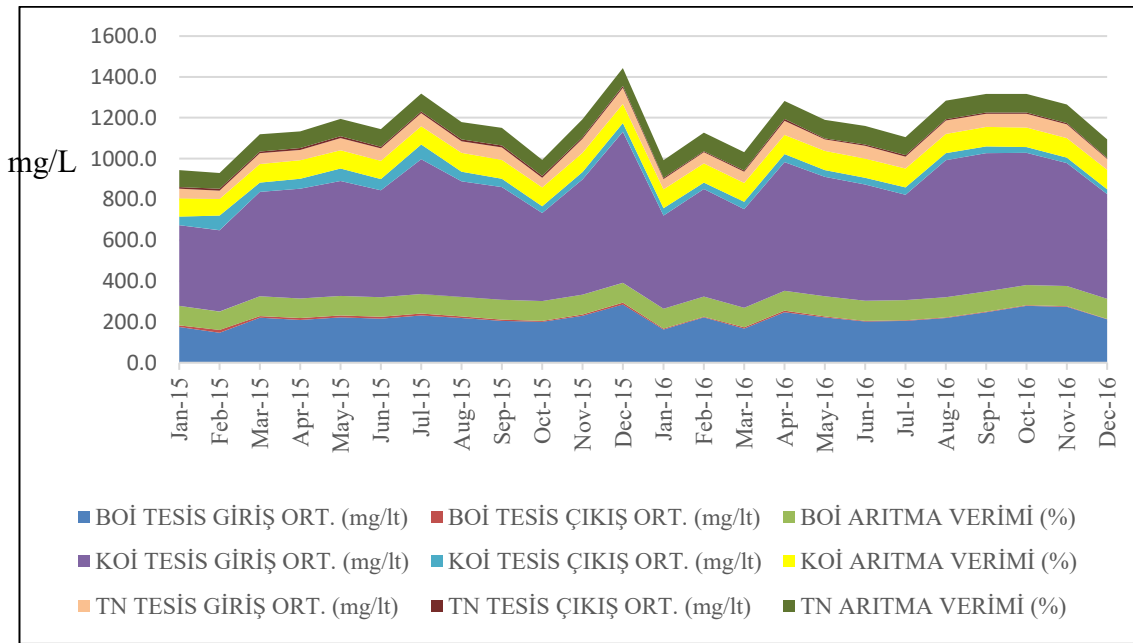
olarak sıralanabilir. Diğer yandan çok hassas ekipmanlar olduklarından şayet bakım programına riayet edilmez ise oluşabilecek muhtemel arızalarda (ör: mil yatağındaki deformasyon) tamir masrafı çok yüksek olacaktır. Bu durum bu çalışmanın dezavantajı olarak söylenebilir.

#### 4.3. Ekipman Revizyonunun Arıtma Verimine Etkisi

Gebze Atıksu Arıtma Tesisinin proses raporlarındaki arıtma verimi ortalama %88-92 BOİs, %82-93 KOİ, %78-85 tir. Bu değerler işletme şartlarında da sağlanmıştır.

Havalandırma ünitesindeki yapılan bu değişiklikler ve otomasyon sistemindeki senaryonun değişmesi ile arıtma verimindeki değişim iki yıl boyunca izlenerek kayıt altına alınmıştır.

Aşağıdaki grafikte anlaşılaacağı üzere arıtma verimi, özellikle otomasyon sistemindeki yapılan iyileştirme neticesinde bir miktar daha iyileşerek maksimum seviyelere ulaşmıştır. Yeni nesil turbo blowerlerin oksijen transferindeki karalılığı ve transferi esnasındaki salınımların az olması havalandırma ünitesinde iyi bir karışım ve stabil bir oksijen seviyesi oluşturması bu verime olumlu yönde katkı vermiştir.



Şekil 4.6. Gebze atıksu arıtma tesisi arıtma verimi

## BÖLÜM 5

### 5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Atıksu arıtma tesislerinde birim arıtma maliyetini etkileyen en önemli faktörler; personel giderleri, çamur bertarafı ve elektrik sarfiyatı olarak sıralanabilir. Buradan yola çıkarak arıtma tesisi işletmecileri, bir tesisin enerji sarfiyatı nasıl optimize edilir? sorusunu kendilerine sormaları gerekmektedir.

Araştırma sonuçları kısmı ve tablolar incelendiğinde aşağıdaki analizleri yapabiliriz;

1) Tesisin toplam enerji sarfiyatının yaklaşık yarısını havalandırma üniteleri (blowerler) tüketmektedir. Bu orandan yola çıkarak bir atıksu arıtma tesisinin; hem arıtma verimini hem de işletme maliyetlerini etkileyen en önemli faktörün havalandırma üniteleri olduğu sonucuna varılabilir (Tablo 4.1).

2) Yapılan ekipman revizyonu ile elektrik sarfiyatında, havalandırma üniteleri özelinde yaklaşık %30 oranında düşme gözlenmiştir. Havalandırma için gerekli oksijen miktarı yeni ekipmanlar ile sağlanmış, böylelikle işletme maliyetleri ciddi oranda düşürülmüş olup, arıtma tesisindeki azot, karbon ve fosfor giderim veriminde de salınımlar minimize edilerek bir artış göstermiştir.

3) Tesis geneline ise elektrik sarfiyatı “Enerji Maliyetleri Değişimi” grafiği incelendiğinde, %11 oranında azalma göstermektedir. Elektrik sarfiyatında gerçekleşen bu düşüş toplam işletme maliyetindeki enerjinin payı düşünüldüğünde yaklaşık %4 lük bir azalma oluşturmuştur.

4) Yapılan bu değişikliklerin yatırım bedeli; tüm giderler göz önünde bulundurulduğunda, yaklaşık 3(üç) yıl gibi kısa bir sürede kendini amorti edecektir. Yatırım bedeli ve amortisman süresi göz önünde bulundurulduğunda bu ve benzeri ekipman revizyonları, büyük ölçekli arıtma tesisleri için çok cazip bir rehabilitasyon çalışması olabilir.

5) Tesisin tüm işletimine ayrılan iş gücünde azalma, bakım maliyetlerinde düşme, proses veriminde artma, işletmede kontrol ve otomasyon kolaylığı gibi birçok etken işletme

giderleri lehine dönüşmüştür. Böylece dolaylı olarak tesis personeli sayısı ve ekipman bakımı için gerekli işgücünde de azalış olacaktır.

Bu analizler incelendiğinde en çok göze batan husus blower özelinde %30 enerji tasarrufunun tesis geneline %14-15 oranında etki etmesi gerekirken, %11 seviyesinde kalmasıdır. Bu sebeple grafikler incelendiğinde aşağıdaki sonuçları çıkartmak mümkündür.

- ✓ Atıksu arıtma tesislerinde arıtma verimini ve proses dengesi için nihai fazla çamurun tesisten düzenli olarak uzaklaştırılması gerekmektedir. Tesisin tüm prosesleri incelendiğinde; revizyondan sonraki dönemde giriş kirlilik yüklerindeki değişime bağlı olarak ve proses dengesini sağlamak adına çamur bertarafındaki artış enerji sarfiyatlarını arttırmıştır. Bu durumun arıtma verimine de olumlu etkisi olduğundan tesis proses rejimini bozmamak adına gerekli hava ihtiyacı sağlanmış böylelikle çıkış suyu kalitesinde de herhangi bir bozulma gerçekleşmemiştir.
- ✓ Revizyon sonrası dönemdeki Eylül-Ekim 2016 aylarında blowerlerin enerji sarfiyatında artış gözlenmiştir. Bu dönemlerin Kurban Bayramına denk gelmesi ve tesise ciddi oranda hayvansal atık (yağ, kan vb.) gelmesi sebebiyle havalandırma ihtiyacındaki artış enerji sarfiyatını yükseltmiştir. Kirlilik yükünün yüksek olduğu ve toksik etki gösterebilecek bu tip atıksuların arıtılması ve arıtma veriminin düşmemesi adına; Yaşanan bu olağandışı gelişme sebebiyle çıkış deşarj limitlerini dengede tutmak adına oksijen ihtiyacı artmış ve geri devir oranı yüksek tutulmuştur. Böylelikle tesise gelen aşırı yük tesis genelindeki tüm proseslerde dikkatli bir şekilde takip edilerek olumsuz deşarjların önüne geçilmiştir.
- ✓ Tesisin kentsel atıksu arıtma tesisi olması, bölgede birçok sanayi kuruluşunun bulunması ve toksik etki gösteren atıksuların kanalizasyon yolu ile tesise gelmesi sebebiyle, proses olumsuz yönde etkilenmekte ve tesisteki birim arıtma maliyeti artmaktadır. Tesisteki proses akışına bağlı olarak kirlilik yüklerindeki ani artışlar ünitelerdeki oksijen miktarını arttırmış ve ekipman çalışma sürelerini uzatmıştır.

- ✓ Tüm bu analizler değerlendirildiğinde ve oluşan bazı olumsuzluklara rağmen, tesis özelinde ve amacına uygun bir şekilde yapılan bu tip yatırımlar neticesinde, işletme maliyetleri doğrudan veya dolaylı olarak hatırı sayılır oranda düşmektedir. Yapılan bu iyileştirme faaliyetindeki tüm arıtma tesislerine uygulanabilir.
- ✓ Ülkemiz genelinde faaliyet gösteren proje ve danışmalık firmaları, bu ve benzeri teknolojileri takip etmeli tesis projelendirilirken, kurulması planlanan tesislerin kurulu güçleri, arıtma verimi, ünite hacimlerine varana kadar tüm detaylar incelenmelidir. Klasik kabullerden uzaklaşıp, ekipman bilgi föyleri incelenmeli, özellikle mekanik ekipman konusunda kaliteye ve son teknoloji ürünlerinin seçilmesine dikkat edilmelidir.

## KAYNAKLAR

1. Azman, H.E., “Evsel atıksuların arıtılmasında arıtma verimi – enerji ilişkisinin incelenmesi”, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, s.83-85, Adana, 2005.
2. İnternet: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, “Atıksu Arıtımında Enerji Verimliliği Rehberi”, <http://www.cygm.gov.tr/CYGM/Files/yayinlar/kilavuz/At%C4%B1k%20su%20ar%C4%B1t%C4%B1m%C4%B1nda%20enerji%20verimlili%C4%9Fi%20rehberi.pdf>
3. Koyuncu, İ., Öztürk, İ., Aydın, A.F., Alp K., Arıkan, A.O., İnsel, H.G., Altınbaş M., Özüdoğru A., “Atıksu Arıtma Tesisleri Tasarım Rehberi”, *Orman Ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara*, 2013.
4. Çakmakçı, M., Özkaya, B., Yetilmezsoy, K., Demir, S., “Su Arıtma Tesislerinin Tasarım ve İşletme Esasları”, *Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara*, 2013.
5. İnternet: Manyetik Yataklı Turbo blowerlerin Resmi Üreticisi, [www.sulzer.com](http://www.sulzer.com)
6. İnternet: Manyetik Yataklı Turbo blowerlerin Resmi Distribütörü, [www.sigmapompa.com.tr](http://www.sigmapompa.com.tr)
7. İnternet: Loplü Tip Blowerlerin Resmi Distribütörü, [www.anadoluflygt.com.tr](http://www.anadoluflygt.com.tr)
8. İnternet: “2015 faaliyet raporu” <https://www.isu.gov.tr/media/gallery/c9756eb8-cf5a-4ed0-9672-7839430af.pdf>
9. İnternet: Enerji Verimliliği “Atık Su Arıtma Tesisi Örneği”, [http://www.emo.org.tr/ekler/5dc8030dbecdf67\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/5dc8030dbecdf67_ek.pdf)
10. İnternet: “Atıksu Arıtmanın Esasları Kılavuz Kitabı” <http://web.deu.edu.tr/atıksu/ana58/arityon.html>
11. Kocasoy, G., “Atıksu Arıtma Sistemleri”, *TMMOB Kimya Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi*, İstanbul, Türkiye, 1991.
12. Su Kirliliği Yönetmeliği, Resmi Gazete Tarihi: 31.12.2014 Sayısı: 25687
13. Toprak, H., “Atıksu Arıtma Tesislerinin tasarım Esasları”, *Dokuz Eylül Üniversitesi*
14. *Mühendislik Fakültesi Yayınları*, cilt:1 , S.1-111, İzmir, Türkiye, 2000.
15. Toprak, H., “Atıksu Arıtma Tesislerinin tasarım Esasları”, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları*, cilt:2 , S.1-20, İzmir, Türkiye, 2000.
16. Karpuzcu, M., “Çevre kirlenmesi ve kontrolü”, *Boğaziçi Üniversitesi Çevre Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, Türkiye, 1991.

17. Richards, R., “Çevre Mühendisliğinde Temel İşlemler Ve Süreçler”, Çeviri Öğütveren Ü.B., *Efil Yayınevi Yayınları*, Ankara, Türkiye, 2011.
18. Eroğlu, V., “Atıksuların Tasviyesi”, *Orman ve Su İşleri Bakanlık Yayınları*, Genişletilmiş 3. Basım, Ankara, Türkiye, 2014.
19. Gebze (Kocaeli) Atıksu Arıtma Tesisi Projesi, Kesin Proje Raporu, Dolsar, İstanbul, 2008.
20. Koyuncu, İ., Öztürk, İ., Köse, B., Yıldız, O., “TBB Atıksu arıtma tesisleri işletimi”, *Korza Yayıncılık*, Ankara ,Türkiye, 2015.
21. Arceivala, S. J., “Çevre Kirliliği Kontrolünde Atıksu Arıtımı”, Çeviri Balman A. H., Balman V., *Atılım Ofset*, Yeni Delhi, Hindistan, 2002.
22. ATV-DVWK-A 131 E Standardı, s. 18-19.

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Faruk Nazik  
**Uyruğu** : Türkiye Cumhuriyeti  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : 11/09/1984 Çivril  
**Telefon** : 0530 243 61 78  
**Fax** : -  
**e-mail** : fnazik@isu.gov.tr

### EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Gebze Anadolu Lisesi, Kocaeli	2002
Lisans	: Fırat Üniversitesi , Elazığ	2007
Yüksek Lisans	: Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Nevşehir	Devam Ediyor

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2007-2008	Polikay Atık Yönetimi	Şantiye Şefi
2008-2009	Alka Çevre	Ölçüm Sorumlusu
2009-2017	İSU Genel Müdürlüğü	Darıca Şube Müdürü

### UZMANLIK ALANI

İçme Suyu - Atıksu Arıtma Tesisi Tasarım ve İşletmesi  
Arıtma Tesisleri Otomasyon ve Scada Sistemleri Senaryo Tasarım

