

İLLER BANKASI ANONİM ŞİRKETİ

**ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE HAVALANDIRMA SİSTEMLERİNİN
VE HAVALANDIRMA EKİPMANLARININ İNCELENMESİ,
KARŞILAŞTIRILMASI**

Mehmet Burak BOSTAN

UZMANLIK TEZİ

NİSAN 2017



İLBANK
TÜRKİYE'NİN YAPICI GÜCÜ

İLLER BANKASI ANONİM ŞİRKETİ

**ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE HAVALANDIRMA SİSTEMLERİNİN
VE HAVALANDIRMA EKİPMANLARININ İNCELENMESİ,
KARŞILAŞTIRILMASI**

Mehmet Burak BOSTAN

UZMANLIK TEZİ

Tez Danışmanı (Kurum)

Aydın Uğur ÖZTÜRK

Tez Danışmanı (Üniversite)

Doç. Dr. Yusuf USTA

ETİK BEYAN

İLLER BANKASI ANONİM ŞİRKETİ Uzmanlık Tezi Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Mehmet Burak BOSTAN

03/04/2017

Atıksu Arıtma Tesislerinde Havalandırma Sistemlerinin ve Havalandırma Ekipmanlarının
İncelenmesi, Karşılaştırılması
(Uzmanlık Tezi)

Mehmet Burak BOSTAN

İLLER BANKASI ANONİM ŞİRKETİ

Nisan 2017

ÖZET

Evsel veya endüstriyel atıksuların doğaya verilmeden önce insan ve çevre sağlığı açısından arıtılması gerekmekte olup, bu doğrultuda atıksulara fiziksel, kimyasal veya biyolojik arıtma yöntemleri uygulanmaktadır. Atıksu içerisinde bulunan çözünmüş organik maddelerin bakteriyolojik faaliyetler sonucunda giderilmesi amaçlanan proseslerde biyolojik arıtma yöntemleri kullanılır. Bu yöntemin kullanılacağı atıksu arıtma tesislerinde, bakteriyolojik faaliyetlerin oluşabilmesi ve devam edebilmesi için oksijenin atmosferden doğrudan alındığı mekanik veya jet havalandırıcılara ya da oksijenin dolaylı olarak üfleyiciler vasıtasıyla sağlandığı difüzörlü havalandırma sistemlerine ihtiyaç duyulur. Bu çalışmada ülkemizde ve dünyada kullanılan havalandırma ekipmanları ile bu ekipmanların kullanıldığı sistemler karşılaştırılarak incelenmiş olup, söz konusu sistemlerin oksijen üretme kapasitelerine etki eden parametreler açıklanmıştır. Ayrıca İLBANK A.Ş. Erzurum Bölge Müdürlüğü kontrollüğünde yapımı devam eden ve iki farklı havalandırma sistemiyle prosesi tasarlanmış olan Refahiye (ERZİNCAN) Atıksu Arıtma Tesisi ile Sarıkamış (KARS) Atıksu Arıtma Tesisleri karşılaştırılarak incelenmiştir. Sonuç olarak İLBANK A.Ş. tarafından yerel yönetimlere kurulacak biyolojik atıksu arıtma tesisleri için gereken havalandırma sistemlerinin teknik özellikleri yanında, kurulum yapılacak bölgenin iklimsel şartları ve yerel yönetimlerin teknik personel kapasitelerine göre havalandırma sistemini seçme zorunluluğu irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler	: Biyolojik arıtma, havalandırma sistemleri, difüzör, jet,
Sayfa Adedi	: 91
Tez Danışmanı (Kurum)	: Aydın Uğur ÖZTÜRK
Tez Danışmanı (Üniversite)	: Doç. Dr. Yusuf USTA

Analysis, Comparison of Aeration Systems and Aeration Equipments in Wastewater
Treatment Plants
(Expertise Thesis)

Mehmet Burak BOSTAN

ILBANK A. S.

April 2017

ABSTRACT

Domestic or industrial wastewaters must be treated for human and environmental health before they are given to the environment and accordingly, physical, chemical or biological treatment methods are applied to wastewaters. Biological treatment methods are used in the processes intended to remove dissolved organic substances in wastewater by means of bacteriological activities. In order to enable bacteriological activities to occur and to continue in this wastewater treatment plants that will use this method; there is a need for mechanical or jet aerators from which oxygen is taken directly from the atmosphere, or diffusely aerated systems from which oxygen is provided indirectly by means of blowers. In this study, the aeration equipment used in our country and in the world with the systems in which these equipment are used are compared and the parameters affecting the oxygen production capacities of the subject systems are explained. Furthermore, Refahiye (ERZINCAN) Wastewater Treatment Plant and Sarıkamış (KARS) Wastewater Treatment Plant that are under construction under the supervision of ILBANK A.S. Erzurum Regional Directorate and designed with two different aeration systems are examined by comparison. As a result, the technical characteristics of the aeration systems required for the biological wastewater treatment plants to be installed to the local administrations by ILBANK A.S. have been examined, in addition with the necessity of selecting the aeration system according to the climatic conditions of the zone to be installed and the number of technical personnel of the local governments.

Key Words : Biological treatment, aeration systems, diffuser, jet
Page Number : 91
Supervisor (Institution) : Aydın Ugur OZTURK
Supervisor (University) : Assoc. Prof. Dr. Yusuf USTA

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım sırasında sağladıkları desteklerinden ötürü tez danışmanlarım İLBANK A.Ş.'den Sayın Aydın Uğur ÖZTÜRK ile Gazi Üniversitesinden Sayın Doç. Dr. Yusuf USTA'ya, tüm çalışma arkadaşlarıma ve hayatımın her aşamasında desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	vi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	vii
RESİMLERİN LİSTESİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR	x
GİRİŞ	1
1. LİTERATÜR ÇALIŞMASI	3
2. ATIKSULAR VE ARITMA YÖNTEMLERİNE GENEL BAKIŞ	7
2.1. Atıksuların Özellikleri	7
2.1.1. Fiziksel özellikleri	7
2.1.2. Kimyasal özellikleri	7
2.1.3. Biyolojik özellikleri	9
2.2. Atıksu Arıtma Basamakları	9
2.2.1. Ön arıtma	9
2.2.2. İkincil arıtma	9
2.2.3. Üçüncül arıtma	9
2.3. Arıtma Yöntemi Seçiminde Dikkate Alınacak Hususlar	10
2.4. Arıtma Yöntemleri	10
2.4.1. Fiziksel arıtma	11
2.4.2. Kimyasal arıtma	11
2.4.3. Biyolojik arıtma	11
3. HAVALI (OKSİJENLİ) ARITMA SİSTEMLERİ	15
3.1. Askıda Büyüyen Havalı Arıtma Sistemleri	15
3.1.1. Aktif çamur prosesi	15
3.1.2. Uzun havalandırmalı aktif çamur prosesi	16
3.1.3. Oksidasyon hendeği	17
3.2. Biyofilmlili (Yüzeyde Büyüyen) Havalı Sistemler	18
3.2.1. Damlatmalı filtreler	18
3.2.2. Biyodiskler	20
3.2.3. Havalandırmalı lagünler	20
3.2.4. Stabilizasyon havuzları	21
3.3. Havalandırma Havuzundaki İşletim Parametreleri	21
3.3.1. pH	21
3.3.2. Çözünmüş oksijen (ÇO)	21
3.3.3. Askıda katı madde (AKM-MLSS)	22
3.3.4. Uçucu askıda katı madde (UAKM-MLVSS)	22

3.3.5. Çamur yükü (F/M)	23
3.4. Oksijen Transferini Etkileyen Parametreler	23
3.4.1. Oksijen transfer katsayısı, k_{La}	23
3.4.2. Sıcaklık (θ Sıcaklık düzeltme faktörü).....	24
3.4.3. α Faktörü (Karışım şiddeti ve havuz geometrisi düzeltme faktörü)	24
3.4.4. β faktörü	26
3.4.5. Seçiciler.....	27
3.4.6. Türbülans	28
3.5. Havalandırma Terminolojisi	28
4. ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE HAVALANDIRMA SİSTEMLERİ	33
4.1. Difüzörlü Havalandırma Sistemleri	34
4.1.1. Kaba kabarcıklı difüzör sistemleri	37
4.1.2. İnce gözenekli difüzörler.....	42
4.1.3. Kombine türler (Difüzörler ve mekanik kesme)	48
4.1.4. Difüzör bakımları	50
4.1.5. Difüzörlerde basınç düşmesi	52
4.1.6. Difüzör performansı	52
4.1.7. Difüzörlü havalandırma sisteminde hesaplar	55
4.1.8. Difüzörlü Sistemlerde Kullanılan Blowerların Seçimi	58
4.2. Mekanik Havalandırıcılar (Yüzeysel Havalandırıcılar)	62
4.2.1. Düşey milli yüzeysel havalandırıcılar	62
4.2.2. Yatay milli yüzeysel havalandırıcılar.....	69
4.3. Jet Havalandırıcılar	72
5. FARKLI HAVALANDIRMA SİSTEMİYLE KURULMUŞ İKİ ATIKSU ARITMA TESİSİNİN İNCELENMESİ.....	77
5.1. Refahiye (ERZİNCAN) Atıksu Arıtma Tesisi	77
5.2. Sarıkamış (KARS) Atıksu Arıtma Tesisi	79
SONUÇ VE ÖNERİLER	83
KAYNAKLAR	87
ÖZGEÇMİŞ	91

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Havalandırma sistemleri için örnek karşılaştırma	4
Çizelge 2.1. Arıtma yöntemleri	10
Çizelge 3.1. Damlatmalı filtre ve aktif çamur sisteminin karşılaştırılması	19
Çizelge 3.2. Standart alfa değerleri	25
Çizelge 3.3. Tipik havalandırma havuzu karıştırma gerekleri	28
Çizelge 3.4. Havalandırma sistemleri SAE oranları	31
Çizelge 3.5. Havalandırma sistemlerinde SOTE değerleri	32
Çizelge 3.6. Çeşitli havalandırma sistemlerine ait SOTR	32
Çizelge 4.1. Değişik tip difüzörlerin temiz su için oksijen transfer verimleri	54
Çizelge 4.2. Hava borularının çaplarına bağlı olarak hava akım hızları	57
Çizelge 4.3. Blower verimlerinin karşılaştırılması	60
Çizelge 4.4. Blower güç tüketimlerinin karşılaştırılması	61
Çizelge 4.5. Yüzeysel havalandırıcıların gücüne bağlı olarak havuz boyutları	63
Çizelge 4.6. Mekanik havalandırıcıların oksijen transfer verimleri (kg O ₂ /kWh)	66

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Aktif çamur prosesi.....	16
Şekil 3.2. Uzun havalandırmalı aktif çamur prosesi	17
Şekil 3.3. Oksidasyon hendeği	18
Şekil 3.4. Havuzdaki bekleme süresiyle (MCRT), α faktörü arasındaki ilişki	26
Şekil 3.5. Seçici'nin α faktörü üzerindeki etkisi	27
Şekil 4.1. Difüzör yaşlanması fonksiyon örneği	50
Şekil 4.2. Difüzör durumu ve enerji tüketimi arasındaki ilişki	51
Şekil 4.3. Değişen hava akımlarının altında blowerlar için güç tüketim verileri	60
Şekil 4.4. Batmış jet havalandırıcı çalışma prensibi	74

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Damlatmalı filtre	19
Resim 3.2. Biyodisk sistemi (a) açıktan görünüşü ve (b) çalışma prensibi	20
Resim 3.3. Difüzörlü havalandırma sistemlerinde SAE-Yoğunluk	31
Resim 4.1. Havalandırma sistemlerinin tarihsel gelişimi	33
Resim 4.2. Havalandırma sistemlerinden (a) yüzeysel ve (b) difüzör-jet aeratör	33
Resim 4.3. Difüzördeki kirlenmenin etkisinin fotografik kanıtı	36
Resim 4.4. Kaba kabarcıklı difüzör yapılandırma örnekleri	37
Resim 4.5. Kaba kabarcık (a) tekli rulo ve (b) çiftli rulo geometrisine örnekler	38
Resim 4.6. Spiral rulo şeklinde yapılmış difüzörler	38
Resim 4.7. Çift taraflı ortada spiral difüzör sistemi	39
Resim 4.8. Serpme koleksiyonu	40
Resim 4.9. Bakımı kolaylaştırmak için kullanılan salıncak kollar	41
Resim 4.10. Su altında kaba kabarcıklı difüzör sistemi	41
Resim 4.11. Difüzörlü havalandırma sisteminde ince gözenekli disk difüzörler	42
Resim 4.12. İnce gözenekli disk difüzörlerin çalışması	42
Resim 4.13. İnce gözenekli difüzörlerde (a) geniş bazda ve (b) tam kat kaplama	43
Resim 4.14. Kirlenmiş difüzörler	44
Resim 4.15. Temizlenmiş difüzörler	44
Resim 4.16. Örnek bir tesiste ince gözenekli difüzörler ve karıştırıcıların konumu	45
Resim 4.17. İnce gözenekli 5 farklı tüp difüzör	47
Resim 4.18. Türbinlerden (a) pervanesi dipte ve (b) pervanesi yüzeye yakın modeller	49
Resim 4.19. Su altındaki tüp difüzör	53
Resim 4.20. Pozitif Deplasmanlı Blower (a) görünüşü ve (b) çalışma prensibi	58
Resim 4.21. Santrifüj blowerların (a) iç yapısı ve (b) dış görünüşü	59

Resim 4.22. Paket bir turbo blower sistemi donanımı	59
Resim 4.23. Yüksek hızlı yüzeysel havalandırıcılar	64
Resim 4.24. Düşük hızlı düşey milli (a) mekanik yüzey havalandırıcı ve (b) çalışması	65
Resim 4.25. Düşey milli yüzey havalandırıcı çalışma prensibi	67
Resim 4.26. Akım kırıcılı düşey milli yüzeysel havalandırıcı	69
Resim 4.27. Yatay milli havalandırıcı	70
Resim 4.28. Yatay miili havalandırıcı çalışma prensibi	71
Resim 4.29. AAT’de (a) yatay milli havalandırıcı ve (b) çalışması	71
Resim 4.30. Dubalı yatay milli havalandırıcı	72
Resim 4.31. Yüzeysel jet havalandırıcı	73
Resim 4.32. Batmış jet havalandıcı	74
Resim 4.33. AAT’de (a) karıştırıcılı ve (b) karıştırıcısız jet havalandırıcı konumları	75
Resim 4.34. Oksidasyon hendeğinde jet havalandırıcı ve karıştırıcı konumu	75
Resim 5.1. Refahiye (Erzincan) AAT jet havalandırıcılar.....	78
Resim 5.2. Refahiye (Erzincan) AAT jet havalandırıcıların atıksudaki konumu	79
Resim 5.3. Sarıkamış (Kars) AAT’de (a) difüzörler ve (b) karıştırıcı.....	80

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
°C	Santigrat derece
cfm	Cubic feet per minute (dakika başına küpsel uzunluk)
CO ₂	Karbondioksit
g	Gram
H ₂ O	Su
Hg	Civa
hp	Horse power (beygir gücü)
kg	Kilogram
kj	Kilo joule
k _L a	Oksijen Transfer Katsayısı
kWh	Kilowatt saat
l	Litre
m	metre
mg	miligram
mm	milimetre
µm	Mikrometre
NH ₃	Amonyak
ppm	Parts per million (milyonda bir)
rpm	Revolutions per minute (dakikadaki devir sayısı)
s	Saat
sn	Saniye

Bu çalışmada kullanılmış kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar	Açıklamalar
AAT	Atıksu Arıtma Tesis
AE	Havalandırma Verimliliği

AKM	Askıda Katı Madde
BOİ₅	Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
ÇO	Çözünmüş Oksijen
DYB	Dinamik Yaş Basınç
EPDM	Etilen Propilen Dien Monomer
KDV	Katma Değer Vergisi
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
MCRT	Havalandırma Havuzunda Bekleme Süresi
MLSS	Askıda Katı Madde
SOTE	Standart Oksijen Transfer Verimliliği
SOTR	Oksijen Transfer Oranı
SRT	Çamur Yaşı
TL	Türk Lirası
UAKM	Uçucu Askıda Katı Madde

GİRİŞ

Nüfusumuzun artmasıyla birlikte temiz suya olan ihtiyacımız da aynı şekilde artmakta ancak su kaynaklarımız hızla yok olmaktadır. Bu sebeple atıksuların doğaya verilmeden önce arıtılması, hem doğadaki su kaynaklarımızın korunması hem de atıksuların geri kazanılması açısından oldukça önemlidir.

Atıksuların temizlenmesinde genel bir yöntem bulunmamaktadır. Atıksular fiziksel, kimyasal veya biyolojik olarak arıtılabilir. Fiziksel arıtmalar atıksuda bulunan katı maddeleri ayırtmak için kullanılır. Kimyasal arıtmalar ise atıksudaki kirleticilerin kimyasal maddeler eklenerek giderilmesi prensibine dayanmakta ve çoğunlukla atıksuyun içmesuyuna dönüştürülmesi istenen durumlarda kullanılmaktadır. Atıksudaki organik kirleticileri gidermede çevre sağlığı açısından en uygun yöntem canlı mikroorganizmaların kullanıldığı biyolojik arıtma sistemleridir.

Biyolojik arıtma sistemlerinde bakteri de denilen canlı mikroorganizmalar yaşayabilmekte ve atıksudaki istenmeyen zararlı organik maddeleri zararsız hale dönüştürebilmek için oksijene ihtiyaç duyarlar. Bunun için biyolojik atıksu arıtma tesislerindeki atıksuda çözünmüş oksijen seviyesi her zaman bakterilerin yaşayabileceği düzeyde olmalıdır. Bu zorunluluktan dolayı da söz konusu proseslerde havalandırma sistemleri kullanılmaktadır.

Bu çalışmada atıksudaki çözünmüş oksijen seviyesini arttırıp canlı yaşamına olanak veren ve halihazırda kullanılan havalandırma sistemleri üç grup altında toplanarak detaylı olarak incelenmiştir. Bu havalandırma sistemlerinden birincisi, havalandırma havuzu tabanına yerleştirilen difüzörlere üfleyici makinalar vasıtasıyla sağlanan oksijen ile havalandırmanın yapıldığı difüzörlü havalandırma sistemleridir. İkinci yöntem mekaniksel yani yüzeysel havalandırma sistemleri de denilen ve havuz yüzeyinden alınan atıksuyun tekrar ince kabarcıklar halinde etrafa sıçratılmasıyla havalandırmanın yapıldığı sistemlerdir. Üçüncü yöntem ise atmosferden alınan havanın pervane ile atıksu içine enjekte edildiği jet havalandırıcılı sistemlerdir. Bu havalandırma sistemlerinden jet havalandırıcılar kullanılan Refahiye (ERZİNCAN) Atıksu Arıtma Tesisi ile difüzörlü havalandırma sistemi kullanılan Kars (SARIKAMIŞ) Atıksu Arıtma Tesisi çalışma içerisinde örnek olarak ele alınmıştır.

Ayrıca havalandırma sistemlerinin atıksuya yaptığı oksijen transferini etkileyen parametreler olan, oksijen transfer katsayısı, sıcaklık düzeltme faktörü, alfa faktörü, beta faktörü, seçici kullanımı ve türbülans yaratma kabiliyeti bu çalışmada incelenmiş olup, biyolojik arıtma tesislerinde bakteri yaşamının sağlıklı devam edebilmesi için havalandırma sistemiyle takibi yapılan çözünmüş oksijen seviyesinin yanında önemli diğer faktörler de açıklanmıştır.

Yapılan bu çalışmayla biyolojik atıksu arıtma tesislerinde oksijen üretmek için kullanılan havalandırma sistemlerinin avantajları ve dezavantajları havalandırma terminolojisiyle ortaya konularak, çalışmanın İLBANK A.Ş.'ye bundan sonraki yatırımlarında fikir vermesi amaçlanmıştır.

1. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Bolles (2016) tarafından hazırlanan “*Modeling Wastewater Aeration Systems to Discover Energy Savings Opportunities*” (*Enerji Tasarrufu Fırsatlarını Keşfetmek için Atıksu Havalandırma Sistemlerinde Modelleme*) adlı makalede sabit bir biyokimyasal oksijen ihtiyacı değeri için modellenen sistemde mekaniksel ve difüzörlü havalandırma sistemleri için güç gereksinimlerini tespit etmiştir. Bolles (2016) tüm değişkenlerin aynı kabul edildiği sistemde aynı oksijen transferini sağlayacak mekaniksel havalandırıcı sistem için 80 hp güç gereksinimi bulurken, difüzörlü havalandırma sistemi için 53 hp güç gereksinimi bulmuştur [1]. Bu sebeple de havalandırma sistemlerini elektriksel maliyetleri açısından kıyaslayarak daha az maliyetli olduğu için difüzörlü havalandırma sistemini tercih etmenin uygun olacağını belirtmiştir.

Elektrik fiyatlarındaki artışların ve enerji muhafaza etme ihtiyacının sonucu olarak, Johannesburg JW Atıksu Ortaklığı Firması, “*Mechanical and Fine Bubble Aeration in Activated Sludge Systems*” (*Aktif Çamur Sistemlerinde Mekaniksel ve İnce Gözenekli Havalandırma*)” adlı 2009 yılı çalışmasında birçok havalandırma sisteminin maliyet ve enerji verimliliğini araştırarak bu havalandırma sistemlerinin enerji verimliliklerini karşılaştırmıştır. Johannesburg JW Atıksu Ortaklığı Firması hazırladığı Çizelge 1.1 ile atıksu arıtma tesisleri için havalandırma sistemlerine 10 kriter üzerinden derecelendirme yapmıştır. Her bir kritere verdiği 1 numara ile o kriter için en uygun olan havalandırma sistemini, 2 numara ile o kriterde orta sınıfı, 3 numara ile de o kriterdeki en kötü olan havalandırma sistemini göstermiştir [2]. Örneğin Çizelge 1.1’den de görüleceği üzere bu firmaya göre enerji maliyeti açısından en uygun havalandırma sistemi difüzörlü havalandırma sistemi iken başlangıç sermayesi açısından en dezavantajlı sistem; borulama, blower gibi ek donanımlar yüzünden difüzörlü havalandırma sistemidir.

Çizelge 1.1. Havalandırma sistemleri için örnek karşılaştırma [2]

	Kriterler	Havalandırma sistemi		
		Mekanik yüzey havalandırma	Jet Havalandırma	Difüzörlü havalandırma
1	Başlangıç sermayesi maliyeti	1	2	3
2	Enerji maliyeti	2	3	1
3	Yaşam döngüsü maliyeti	2	3	1
4	Bakım masrafları	1	2	3
5	Ekipman yenileme masrafları	2	3	1
6	Sistem kolaylığı	1	2	3
7	Enerji verimliliği	2	3	1
8	Masraf kolaylığı	2	1	3
9	Destek kapasitesi	1	1	3
10	Evrensel faktörler	3	1	1
	Derecelendirme	17	21	20

Johannesburg JW Atıksu Ortaklığı Firması tarafından yapılan karşılaştırmalı bu tabloya göre, mekanik havalandırma sistemi, derecelendirme sonucunda en uygun olarak çıkmış ve sonuç olarak tercih edilmesi gerekliliği ortaya konmuştur.

Gehring ve Lindam (2013) tarafından hazırlanan “*Energy-Efficiency Showdown: A Comparison of Aeration Technologies*” (Enerji Verimliliği: Havalandırma Sistemlerinin Karşılaştırılması) adlı makalede belediyelere kurulacak atıksu arıtma tesisleri için; yüksek havalandırma verimliliği, yüksek süreç kontrol esnekliğiyle bağımsız karıştırma, az bakım ihtiyacı ve daha güvenli çalışma ortamı sebepleriyle difüzörlü havalandırma sisteminin tercih edilmesi gerekliliği açıklanmıştır. Ayrıca mekanik yüzeysel havalandırıcılarla kıyaslandığında uygun teknik bir deneyimle, difüzörlü havalandırma sistemlerinin tesis kapasitesinin artırılabilceği, enerji tasarrufu sağlanabileceği ve işletme esnekliğinin artırılabilceği belirtilmiştir [3].

Atıksudaki havalandırma görevini yapabilmesinin yanında askıda katı maddeleri daha homojen bir şekilde karışım halinde tutabilmeleri nedeniyle Akbulut (2010)’un “*Düşük Hızlı Düşey Milli Mekanik Yüzey Havalandırıcının Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği*” adlı yüksek lisans tezinde ise mekaniksel yüzey havalandırıcılar savunulmuştur [4].

Tanner (2013) ise Çevre Yönetimleri Semineri için hazırladığı “*Advances in Aeration*” (*Havalandırmadaki Gelişmeler*) adlı sunumunda yüksek alfa faktörleri dolayısıyla yani bir havalandırma sisteminin temiz su koşullarındaki oksijen transfer verimini atıksuda da sağlayabilme imkanı dolayısıyla jet havalandırma sistemlerini savunmuştur. Buna dayanak olarak da jet havalandırıcıların alfa faktörlerinin yüksek olduğundan teknik özellikleri açısından geliştirilmeye daha açık olduğunu göstermiştir [5].

Gafsi, Kettab, Benmamar ve Benziada (2009) tarafından Laghouat Üniversitesi (Cezayir)’nde hazırlanan “*Comparative Studies of the Different Mechanical Oxygenation Systems Used in the Restoration of Lakes and Reservoirs*” (*Göllerin ve Rezervuarların Restorasyonunda Kullanılan Farklı Mekanik Havalandırma Sistemlerinin Karşılaştırmalı Çalışmaları*) adlı çalışmada değişik oksijenlendirme sistemleri üzerinde yapılan araştırma neticesinde tüm havalandırma sistemlerinin avantajları ve dezavantajları ortaya konarak, havalandırma sistemi seçiminde kurulumu yapılacak işletme ve bölgenin göz önünde bulundurulması gerekliliği ve bunun yanında maliyet analizleri de yapılarak sonuca varmanın doğru olacağı belirtilmiştir [6].

Han (2012), tarafından Royal Institute of Technology in Stockholm (İsveç)’de Lisans projesi olarak hazırlanan “*Air Injection Techniques for Seawater Flue Gas Desulphurization for Aeration Systems*” (*Havalandırma Sistemleri için Hava Enjeksiyon Teknikleri*) adlı çalışmada ise kaba kabarcıklı ve ince gözenekli difüzör sistemleri karşılaştırılmış, belli bir havuz derinliği için bu sistemlerin tüm tekniksel özellikleri incelenmiştir. Örneğin yapılan bir deneye göre 5 m havuz derinliği için kaba kabarcıklı difüzör sisteminde k_La yani oksijen transfer katsayısı 16,62 olarak bulunmuşken, aynı değer ince gözenekli difüzörde 3,45 m derinlik için 43,28 olarak bulunmuştur ve ince gözenekli difüzörlerin k_La açısından üstünlüğü ispatlanmıştır [7]. Yine; ince gözenekli difüzör sistemleri düşük atıksu hızlarında çalışabildiğinden, oksijen transferi ve enerji verimi açısından daha üstün olduğu ve bu sistemlerin havalandırma havuzu hacimlerinin daha büyük olması gerektiği belirtilerek bu konuda dezavantajlı olduğu ve daha çok bakım masrafı gerektirdiği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca yapılan deneylerle kaba kabarcıklı difüzör sistemlerinde, atıksudaki pH değerinin daha hızlı arttığı sonucuna varılmıştır.

Hoopman (2012), “*A Comparison of Commercial Aeration Systems in Northern Wisconsin Aquaculture Ponds*” (*Su Ürünleri Yetiştiriciliği Havuzlarında Ticari*

Havalandırma Sistemlerinin Karşılaştırılması) adlı çalışmada biyolojik arıtma sistemlerinde bakterilerin yaşaması için gerekli olan minimum çözünmüş oksijen seviyesinin (4 ppm'den büyük) atıksuda sürekli aynı değer seviyelerinde olması gerektiğini belirterek, yüzeysel havalandırıcılar ve difüzörlü havalandırıcıları bu hususu sağlayabilmeleri konusunda karşılaştırmıştır. 10 haftalık bir deney sonucunda yüzeysel havalandırıcılarda bu değer maksimum 10,02 olurken, difüzörlü havalandırma sistemlerinde 10,33'e ulaşmıştır [8]. Bu da difüzörlü havalandırma sistemlerinin daha fazla oksijen seviyesini sağlayabilme kapasitesine sahip olduğunu göstermiştir.

V. Loosdrecht (2015) tarafından International Water Association (Uluslararası Su Birliği) için yayımlanan 0043-1354 sayılı ve “*Water Research*” (*Su Araştırması*) adlı dergide ise kaba kabarcıklı difüzör sistemlerinin diğer havalandırıcılara göre daha yüksek enerji tüketmesi ve düşük havalandırma verimliliğine sahip olmasına rağmen daha fazla türbülans yarattığı, bunun da daha iyi transfer hızına imkan verdiği savunulmuştur [9].

Al-Ahmady (2006) tarafından Musul Üniversitesinde difüzörlü havalandırma sistemleri üzerinde yapılan “*Analysis of Oxygen Transfer Performance on Sub-Surface Aeration Systems*” (*Batmış Tip Havalandırma Sistemlerinde Oksijen Transfer Performansı Analizi*) adlı çalışmada ise havalandırma havuzu derinliğinin difüzörlü havalandırma sistemlerinin oksijenlendirme kapasitesi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Örneğin 0,4 m ve 0,98 F/M (çamur yükü)'de oksijen transfer kapasitesi 30 grO₂/m³havuz.h olurken, 4,6 m derinlik ve yine aynı çamur yükü için bu değer 170 grO₂/m³havuz.h olduğu yapılan deneylerle gösterilmiş ve aynı çamur yükü için derinlik artışının oksijen transfer kapasitesini arttırdığı ispatlanmıştır [10].

2. ATIKSULAR VE ARITMA YÖNTEMLERİNE GENEL BAKIŞ

Atıksu evsel, endüstriyel, tarımsal veya çeşitli kullanımlar sonucunda kirlenmiş veya özellikleri değişmiş sulardır.

2.1. Atıksuların Özellikleri

Atıksu özellikleri fiziksel, kimyasal ve biyolojik olmak üzere üç gruba ayrılır.

2.1.1. Fiziksel özellikleri

-Toplam katı madde: Atıksu içerisinde bulunan ve çoğunlukla gözle görülebilen belli şekli, kütlesi ve hacmi olan maddelerdir. Katı maddenin atıksuda mümkün olduğunca az bulunması istenir ve bu yüzden bir atıksu arıtma tesisinde fiziksel arıtma mutlaka yapılmalıdır. Çünkü katı maddeler atıksu arıtma tesisindeki mekanik ekipmanlara çalışma esnasında zarar verebilir.

-Koku: Atıksularda bulunan kimyasallar veya organik maddelerin ayrışması sonucunda oluşan gazların meydana getirdiği histir. Bir atıksuda oluşan koku insan sağlığını tehdit etmeyecek seviyede olmalıdır.

-Sıcaklık: Atıksularda bulunan gazların çözünürlüğü sıcaklıkla değişir. Özellikle biyolojik arıtma tesislerinde biyolojik aktiviteler için sıcaklık oldukça önemli bir parametredir.

-Renk: Atıksularda iki çeşit renk vardır. Birincisi; atıksulardaki partiküllerin oluşturduğu rengin engellenmesi için santrifüj ve filtrasyon uygulanmış atıksu numunesinin rengi gerçek renk, ikincisi ise hiçbir işlem yapılmayan ve doğrudan ölçülen zahiri renktir.

2.1.2. Kimyasal özellikleri

-Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ₅): Atıksudaki organik maddelerin biyokimyasal oksidasyonu esnasında mikroorganizmaların kullandığı çözünmüş oksijen miktarıdır.

Atıksularda organik maddeler bulunmakta olup, kirlilik ölçüleri olarak konsantrasyonları, yani 1 litre sudaki miktarları ölçü alınabilir, ancak atıksuların içerikleri çok değişik olduğundan içindeki maddeleri formülize etmek imkansızdır. Bu nedenle atıksularda bulunan organik maddelerin ölçüsü olarak, karbonlu maddelerin oksitlenmesi (biyokimyasal oksidasyon) sırasında tüketilen ve BOİ olarak adlandırılan oksijen miktarı baz alınır. BOİ'nin tespiti için BOİ₅ testinden yararlanılır. BOİ₅ testi; mikroorganizmalar tarafından kullanılan çözünmüş oksijen miktarının belirlenebilmesi için ilgili deneyin yapılması ve örneklerin 5 gün boyunca oda sıcaklığı ve karanlıkta bekletilmesinden sonra sonuca ulaşılan bir uygulamadır. Organik madde içeren suların oksijen ihtiyacı BOİ₅, karbonlu maddelerin yaklaşık 10 gün sonunda tamamen CO₂'ye dönüşmesine kadar artar ve tüm karbonlu maddeler ayrışır. Bu aşamada tüketilen oksijen, BOİ_u şeklinde gösterilen birinci kademe nihai biyokimyasal oksijen ihtiyacıdır. Evsel kullanımlar sonucunda oluşmuş atıksular için BOİ_u ile BOİ₅ arasında BOİ_u/BOİ₅ ≈ 1,4 bağıntısı vardır [11].

-Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ): Kimyasal Oksijen İhtiyacı suda çözünebilir ve parçacıklı şekilde bulunan maddeleri oksitlemek için gerekli olan oksijenin bir ölçüsüdür. KOİ seviyelerinin yüksek olması atıksudaki çözünmüş oksijen düzeyini azaltır. Atıksudaki çözünmüş oksijen seviyesindeki azalmada oksijen gereksinimi olan mikroorganizmalara anaerobik koşullar oluşturur. Tasfiye edilmemiş atıksular için KOİ/BOİ₅ = 1,25-2,5 (ortalama 1,5) alınabilir [11].

-Azot: Atıksuda bulunan mikroorganizmalar azotu besin maddesi olarak tükettiği için eğer proseste azot yetersiz olursa atıksu arıtımı için azot takviyesi gerekebilir. Ancak, evsel kullanımlar sonucu oluşmuş atıksulardaki azot, genellikle biyolojik arıtma prosesleri için yeterlidir.

-Fosfor: Mikroorganizmalar tarafından tüketilen bir başka besin kaynağıdır. Fosfor; bitkiler için besin kaynağı olduğundan arıtılmış atıksuda bulunması, bitkilerin atıksuda kontrolsüz çoğalmasına neden olabilir.

Bunların yanı sıra *pH, klorür, alkalinite, kükürt, ağır metaller ve zehirli bileşikler ve gazlar* atıksuların diğer kimyasal özelliklerindendir.

2.1.3. Biyolojik özellikleri

Atıksuların biyolojik özelliklerini atıksularda bulunan bakteriler, virüsler ve parazitler belirler. Bu mikroorganizmaların beslenme faaliyetleri atıksuyun arıtılmasına yardımcı olur.

2.2. Atıksu Arıtma Basamakları

Atıksu arıtma basamakları ön arıtmada denilen birincil arıtma, ikincil arıtma ve üçüncül arıtmadan oluşur.

2.2.1. Ön arıtma

Atıksuda bulunan büyük çaptaki katı maddelerin ayrıştırılması kaba ve ince ızgaralarla sağlanırken, kum, yağ, gres gibi maddelerin ayrıştırılması ise ön arıtmada kullanılan kum ve yağ tutucular vasıtasıyla yapılır. Bu maddeler, eğer atıksudan uzaklaştırılmazsa arıtmada kullanılan mekaniksel ekipmanlara zarar vererek çalışmalarını engelleyebilir.

2.2.2. İkincil arıtma

Ön arıtma basamağıyla uzaklaştırılamayan çözünmüş ve kolloid (bir maddenin başka bir madde içinde asılı kalması ile oluşan, homojen görünümlü heterojen karışım) organik maddeler bu basamakta uzaklaştırılır. Basit çökeltme metotları çözünmüş ve kolloid maddeleri arıtamayacağı için bu maddeleri çökelebilen katılara dönüştürecek ve arıtmayı gerçekleştirecek mikroorganizmalara ihtiyaç duyulur. Mikroorganizmalar, bu maddeler üzerinde beslenip büyüyerek çoğalır ve hem çözünmüş hem de kolloid maddeleri çökelebilen katılar haline dönüştürür [11]. İkincil arıtım basamağında, bu işlemleri yapacak biyolojik prosesler ve ihtiyaç duyulması halinde kullanılan son çökeltme tankları bulunur.

2.2.3. Üçüncül arıtma

İkincil arıtma yöntemlerinden sonra kullanılması gereken arıtma basamağıdır. Bu yöntem ile kullanma suyu elde etmek için atıksuda bulunan organik kirleticiler ve çözünmüş inorganik tuzlar giderilerek, zararsız organik maddelerle birlikte azot ve fosfor

seviyeleri içilebilir su seviyesine indirilir [12]. Bu sayede doğaya bırakılması gereken atıksular sağlıklı ve kullanılabilir içme suyuna dönüştürülür.

2.3. Arıtma Yöntemi Seçiminde Dikkate Alınacak Hususlar

Bir atıksu arıtma prosesinde hangi arıtma yönteminin kullanılması gerektiğine karar verirken şu hususlar göz önünde bulundurulmalıdır [13]:

(a) Eğer organik madde konsantrasyonu düşükse (BOI_5 konsantrasyonu 100 mg/l'den az) fiziksel ve kimyasal arıtma kullanılmalıdır.

(b) Eğer partiküler organik madde konsantrasyonu yüksekse yani kimyasal koagülasyon, çökeltme ve filtrasyon sonucu çözünmüş BOI_5 konsantrasyonu 50 mg/l'den az ise fiziksel ve kimyasal arıtma uygundur.

(c) Eğer arıtma prosesinde kesikli atıksu boşaltımı varsa fiziksel ve kimyasal arıtma yapılmalıdır.

(d) Biyolojik arıtmalar fiziksel ve kimyasal arıtmalara göre daha fazla arazi ihtiyacı gerektirirler.

(e) Fiziksel ve kimyasal arıtmanın yüksek derecede kirli (BOI_5 konsantrasyonu 200 mg/l'den fazla) atıksulara uygulanması gerekir.

2.4. Arıtma Yöntemleri

Arıtma yöntemleri fiziksel, biyolojik ve ileri arıtım da denilen kimyasal arıtmalardan oluşmakta olup Çizelge 2.1'de bu yöntemlere ait örnekler verilmiştir.

Çizelge 2.1. Arıtma yöntemleri [11]

FİZİKSEL ARITMA	BİYOLOJİK ARITMA	İLERİ ARITIM
Izgara	Aktif Çamur	Nitrifikasyon + Denitrifikasyon
Elek	Damlatmalı Filtre	Yumaklaştırma + Çökeltme
Kum ve Yağ Tutucu	Biyodiskler	Filtrasyon
Filtreler	Havalandırılmalı Lagünler	MBR
Çökeltme Havuzu	Stabilizasyon Havuzları	Karbon Adsorpsiyonu
Dengeleme	Anaerobik Arıtım	İyon Değiştirme

2.4.1. Fiziksel arıtma

Kirliliğin fiziksel karakteristiklerine (özellik ağırlığı, viskozitesi ve maddenin boyutları) bağı olarak uygulanan arıtma yöntemidir. Bu yöntemde örnek; kaba ve ince ızgaralar, kum tutucular, çökeltme tankları ve filtrasyon havuzlarıdır.

2.4.2. Kimyasal arıtma

Atıksuyun geri dönüşümünün yapılarak kullanma suyu elde etmek için kirliliğin kimyasal özelliklerine bağı olarak, kimyasal madde eklenmesi suretiyle yapılan arıtma yöntemidir. Örnek olarak; koagülasyon ve flokleştirme, iyon değıştiriciler, klorlama ve ozonlama verilebilir.

2.4.3. Biyolojik arıtma

Biyolojik arıtma, mikroorganizmaların atıksu içerisindeki organik kirlleticileri besin ve enerji kaynağı şeklinde kullanarak atıksudan uzaklaştırması yöntemidir. Biyolojik arıtma ile fiziksel yollarla sudan ayrılamayan ve kirlilik yaratan organik maddeler mikroorganizmalar yardımıyla giderilmektedir. Mikroorganizmalar için besin kaynağı olan azot ve fosfor da biyolojik arıtımla giderilir. Bu yöntemde en yaygın kullanılan proses aktif çamur sistemleridir. Bu sistem organik kirliliğin, askıda tutulan mikroorganizmalar (heterotrofik bakteriler) yardımıyla giderildiğı bir arıtma metodudur.

Biyolojik arıtma sistemlerinin tasarımında ve sistem seçiminde, mikroorganizmaların besin madde ihtiyacı ve havalandırma sistemlerinin gerekliliğini belirleyen moleküler oksijen ihtiyacı yani mikroorganizmaların biyokimyasal aktiviteleri oldukça önemlidir.

Biyolojik arıtma sistemlerinde kullanılan mikroorganizmalardan prokaryotik grup (eubacteria ve archaeobacteria) arıtımda birincil derecede öneme sahip olup, kısaca bakteri denilen tek hücreli canlılar olarak bilinir. Bu canlılar atıksu arıtma ünitelerinde oldukça yaygın olarak bulunurlar ve karbon, azot, fosfor ve kükürt bileşiklerinin giderilmesinde kullanılırlar. Bakteri hücrelerinin büyüklükleri 0,5-3 µm (10^{-6}) aralığındadır ve şekillerine göre değışik isimler alırlar [14].

Biyolojik arıtma sistemlerinde kullanılan prosesler ortamda oksijen bulunma durumuna göre ikiye ayrılırlar.

Havasız (anaerobik) prosesler atıksudaki arıtmayı yapacak mikroorganizmaların oksijen bulunmayan ortamda faaliyet gösterdiği sistemlerdir. Çok yoğun atıksuların arıtılmasında kullanılırlar. Anaerobik proseslerde mikroorganizmaların faaliyetleri sonucunda tipik olarak %70 CH₄ (metan), %30'da CO₂ ve diğer gazlardan oluşan biyogaz açığa çıkmaktadır. Biyogaz içerisindeki yüksek enerji potansiyeline sahip (38,5 kJ/l) metan gazı, enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Anaerobik proseslerin yüksek enerjik değere sahip biyogaz üretmesi, aerobik proseslere göre hacimsel olarak 5-10 kat daha büyük sistemlerde kullanılabilmesi ve bir aerobik sisteme göre 4-5 kat daha az çamur üretmesi gibi avantajları olmasına rağmen, koku problemleri, anaerobik bakterilerin 30-37°C arasında faaliyet göstermeleri ve bunun da ısıtma zorunluluğunu getirmesi, organik maddeleri tam olarak gideremedikleri için yine aerobik prosese ihtiyaç duymaları gibi de dezavantajlara sahiptirler [15].

Havalı (aerobik) prosesler ise atıksuya verilen oksijen sayesinde faaliyet gösteren mikroorganizmaların arıtmayı gerçekleştirdiği sistemlerdir. Aerobik proseslerde havalandırma yapılmasının başlıca amaçları şunlardır:

-Su içerisindeki çözünmüş oksijen konsantrasyonunu arttırarak CO₂ konsantrasyonunu azaltmak ve bu sebeple ortamdaki koroziyifliği azaltmak, (Yüksek CO₂ sudaki pH'ı azaltır ve düşük pH da su koroziyifliğini arttırır. CO₂'nin 10 mg/l'den yüksek olduğu durumlarda havalandırma önerilir [13].)

-H₂S ve CH₄ gibi çözünmüş gazların sebep olduğu ve havalandırma süresince çıkarılan kokuyu azaltmak, (H₂S suda oldukça iyi çözünür ve H₂S zehirlenmesi ölümlere neden olabilir. H₂S seviyesi 5 ppm olduğu zaman orta düzeyde koku yayar ancak arttığı durumlarda yani 300 ppm gibi seviyelerde bilinç kaybetme ve ölümlere neden olabilir.)

-Biyolojik arıtma proseslerinde uçucu askıda katı maddelerin oksijen ihtiyacını gidererek aktif kitlenin büyümesi ve yaşamını devam ettirebilmek, (aerobik bakterilerin atıksuyun içerisindeki organik maddeleri oksijen kullanarak tüketebilmesi için uygun konsantrasyonda oksijen ihtiyacı vardır.)

-Uçucu askıda katı maddelerin karışımını sağlayarak hem askıda tutabilmek hem de süspansiyon durumunu koruyabilmek ve atıksudaki uçucu organik bileşikleri çıkarmaktır.

Yukarıdaki sebeplerden dolayı oksijenli koşulları oluşturma zorunluluğu olan ve bu yüzden havalandırma sistemlerinin kullanıldığı aerobik prosesler ile bu aerobik (oksijenli) prosesleri sağlamak için kullanılan havalandırma sistemleri 3. ve 4. Bölümde detaylı olarak incelenmiştir.

3. HAVALI (OKSİJENLİ) ARITMA SİSTEMLERİ

Biyolojik arıtma yöntemlerinde uygulanan aerobik (havalı) prosesler iki grupta sınıflandırılabilirler.

Birincisi; arıtmayı gerçekleştiren bakterilerin askıda olduğu sistemlerdir. Bu sisteme örnek olarak aktif çamur sistemi gösterilebilir.

İkincisi ise arıtmayı gerçekleştiren mikroorganizmaların sabit bir yüzeyde tutunarak büyüdüğü sistemlerdir. Bu sistemlere örnek olarak ise havalandırmalı lagünler, biyodiskler ve damlatmalı filtreler verilebilir.

3.1. Askıda Büyüyen Havalı Arıtma Sistemleri

Biyolojik arıtma yöntemleri ile arıtmanın yapıldığı atıksularda bulunan organik ve diğer maddeleri dönüştürmesi istenen bakterilerin havalandırma havuzunda askıda bulunduğu sistemlerdir [16].

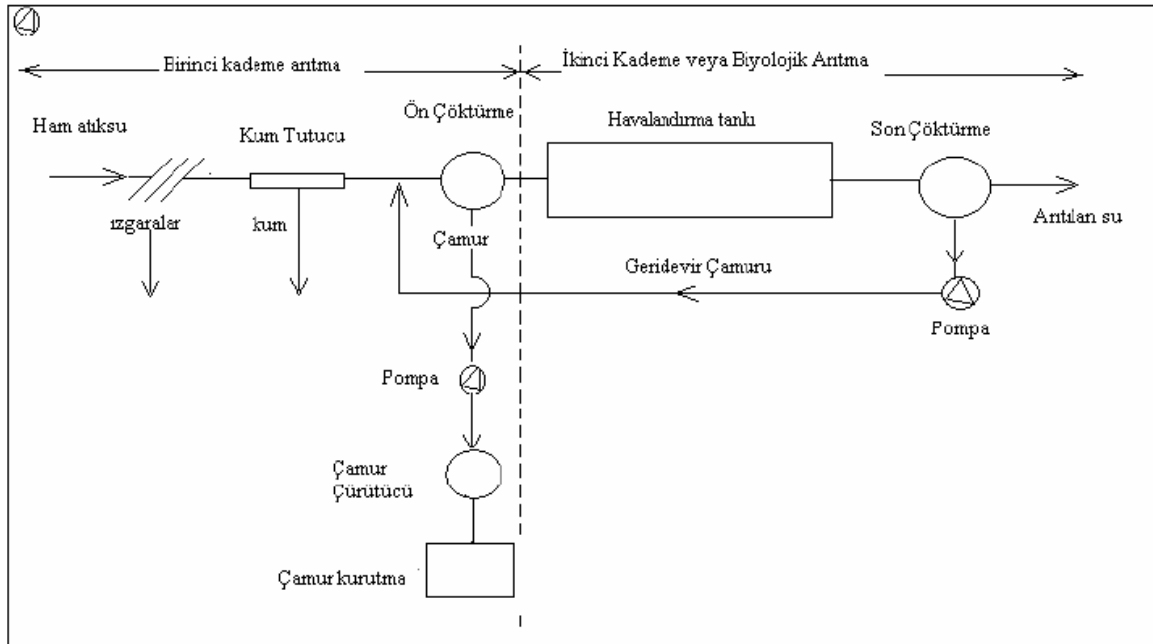
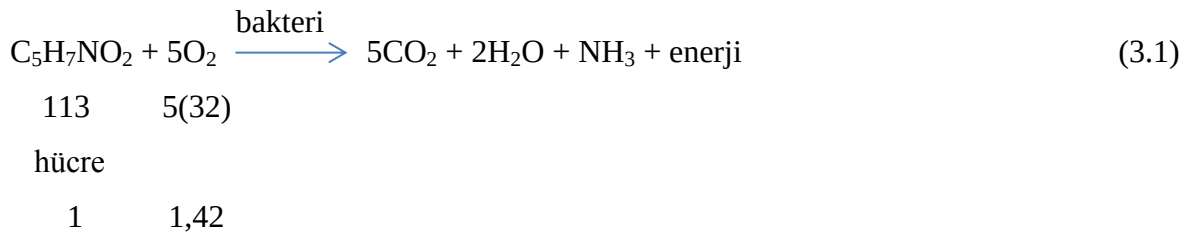
3.1.1. Aktif çamur prosesi

Bu proseste atıksu içerisinde bulunan organik maddeler, sisteme verilen oksijenin de yardımıyla bakterilerce biyolojik olarak parçalanmakta veya besi maddesi olarak tüketilmekte ve bunun sonucunda da çökebilen floklar veya gaz halinde çevreye zararsız sabit inorganik maddelere dönüşmektedir [17]. Aktif çamur prosesi, bakterilerin atıksudaki organikleri oksijenle ayrıştırımlarına dayanan aerobik biyolojik arıtma yöntemidir.

Aktif çamur prosesinde, havalandırma havuzunda bulunan mikroorganizmaların askıda bulunması gerekir. Bu proses; havalandırma havuzunda askıda büyüyen mikroorganizmaların atıksudaki organik maddeleri parçalaması prensibine dayanır. Askıda büyüyen mikroorganizmalar atıksudaki organik maddeleri ayrıştırarak H_2O ve CO_2 'ye çevirirler. Ancak arıtma verimini koruyabilmek için mikroorganizma sayısı izlenmeli ve belirli bir sabit değerde tutulmalıdır. Bu sebeple Şekil 3.1'de görüldüğü gibi biyokütlenin bir kısmı çöktürme havuzları ve çamur susuzlaştırma üniteleriyle sistem dışına atılırken, bir kısmı da havalandırma havuzuna geri gönderilir [11]. Bu sistemdeki en önemli

mikroorganizmalar bakterilerdir. Çünkü atıksudaki organik maddeleri parçalanmakla görevlidirler.

Aşağıdaki Eş. 3.1'den görüleceği gibi bir aktif çamur prosesinde eğer çamurun tamamı yani bütün hücreler okside olursa, hücrelerin biyokimyasal oksijen ihtiyacı, hücre konsatrasyonunun 1,42 katı olur [18].

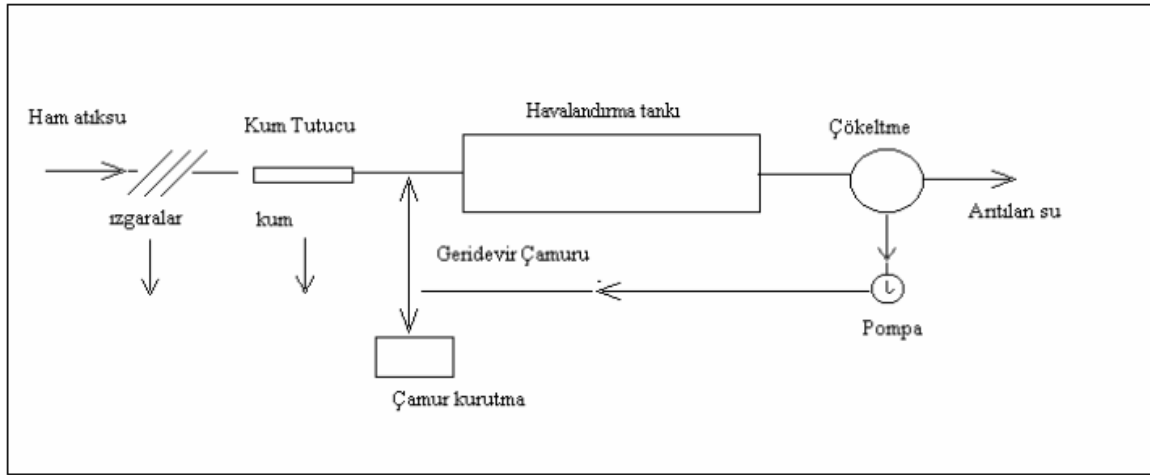


Şekil 3.1. Aktif çamur prosesi [17]

3.1.2. Uzun havalandırmalı aktif çamur prosesi

Yaygın olarak kullanılan bir aktif çamur prosesidir. Bu sistemde ön çöktirmeyi yapacak havuzlar ve çamur çürütücüler bulunmaz. Bu sebeple, uzun havalandırmalı aktif çamur prosesiyle çalışacak tesislerin inşaatı ve işletilmesi klasik aktif çamur tesislerine kıyasla daha kolaydır.

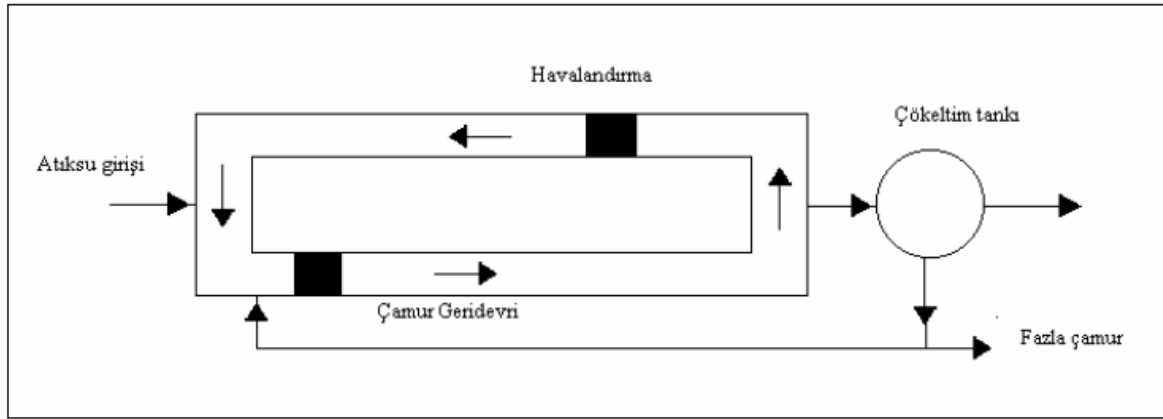
Şekil 3.2’de şematik olarak gösterilen bu proste sistemde gelen ham atıksuyun ızgara ve kum tutucularla fiziksel arıtması yapıldıktan sonra doğrudan havalandırma havuzuna verilir. Proste atıksu havalandırma havuzunda uzun süre kaldığından dolayı bu şekilde adlandırılır. Havalandırma yapmak için kullanılacak ekipmanların uzun bekleme süresi nedeniyle, daha fazla çalıştırılması gerekeceğinden, bu sistem klasik aktif çamur prosesine göre daha fazla enerji tüketir. Ancak yüksek enerji bedeli, ünite azlığı nedeniyle ortaya çıkan işletme kolaylığı nedeniyle dengelenmektedir. Ayrıca klasik aktif çamur sistemine göre diğer bir artısı da %97-98 civarında BOİ giderim kapasitesidir [12]. Atıksuyun üçüncü kademe arıtmadan sonra tekrar kullanılacağı durumlarda özellikle tercih edilen bir prostedir.



Şekil 3.2. Uzun havalandırmalı aktif çamur prosesi [17]

3.1.3. Oksidasyon hendeği

Mekaniksel yöntemlerle havalandırılan dairesel veya oval şekilli hendeklerdir. Fiziksel yöntemlerle ızgaradan geçirilerek veya çökeltilerek içeriğindeki katı maddelerinden arındırılmış atıksu Şekil 3.3 ile prosesi gösterilen oksidasyon hendeğinde havalandırıcılar veya karıştırıcılar vasıtasıyla hareket ettirilerek sirkülasyonu sağlanır ve aynı zamanda da havalandırılarak proste bakteriler vasıtasıyla arıtılır. Oksidasyon hendekleri proses olarak genellikle uzun havalandırmalı aktif çamur sistemi özelliğindedir. Hendeğin çıkışındaki çökeltme tanklarıyla katıların (çamurun) çökmesi sağlanır. Diğer proseslere göre daha az teknoloji gerektiren ve fazla işletme becerisi gerektirmeyen bu sistemler ise genellikle küçük atıksu debileri için uygundur [19].



Şekil 3.3. Oksidasyon hendeği [17]

3.2. Biyofilml (Yüzeyde Büyüyen) Havalı Sistemler

Biyolojik arıtma proseslerindeki organik maddeleri arıtmayla görevli mikroorganizmaların özel olarak tasarlanmış seramik, cüruf, taş veya plastik dolgu malzemelerinin üzerinde tutunduğu sistemlerdir [16].

3.2.1. Damlatmalı filtreler

Damlatmalı filtreler; katı taneciklerden oluşan dolgu malzemesi üzerine atıksuyun üniform dağıtılması prensibine dayanan ve bu dolgu malzemeleri üzerinde mikroorganizmaların biyofilm olarak büyümesi şeklinde çalışan arıtma prosesidir. Resim 3.1'deki gibi filtreye verilen atıksu filtre dolgu malzemesinin üzerinden süzülerek akar ve bu sırada, proses içerisindeki dolgu maddelerinin arasındaki boşluklar atıksuyla tamamen dolmadığı için havalı şartlar devam eder. Havasız koşullar filtre dolgu maddesi yüzeyine yakın yerlerde oluşmakta olup, buradaki gazlar yardımıyla ve sıvı hareketi dolayısıyla oluşan kesme kuvveti ile biyofilm dolgu malzemesinden ayrılıp çıkış suyu ile birlikte dışarı akar. Temizlenmiş biyofilmden taşın üzerinde kısa bir zaman içinde yeniden biyofilm tabakası oluşmakta ve döngü bu şekilde devam etmektedir [20].

Çizelge 3.1' de aktif çamur prosesiyle karşılaştırılan damlatmalı filtelerin aktif çamur proseslerine göre işletme maliyeti, çıkış suyunun berraklığı gibi avantajları olmasına rağmen koku, sıcaklık kontrolünün zor oluşu ve yüksek alan gereksinimi gibi birçok dezavantajı vardır.



Resim 3.1. Damlatmalı Filtre [20]

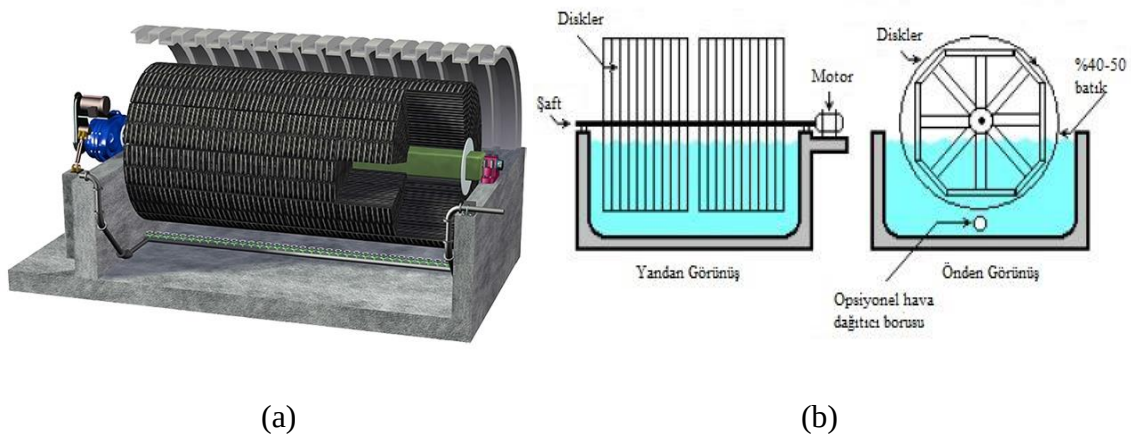
Çizelge 3.1. Damlatmalı filtre ve aktif çamur sisteminin karşılaştırılması [21]

Parametre	Damlatmalı Filtre	Aktif Çamur
Yatırım Maliyeti	Yüksek	Düşük
İşletme Maliyeti	Düşük	Yüksek
Alan Gereksinimi	Yüksek	Düşük
Havalandırma	Yeterli olmayabilir	Yeterli
Sıcaklık Kontrolü	Zor	Kolay
Şok Yüklemelelere Duyarlılık	Az duyarlı	Çok duyarlı
Çıkış Akımının Berraklığı	İyi	İyi değil
BOİ Giderimi (%)	80-90	80-90
Hidrolik Bekleme Süresi		
Düşük Hız	6 - 40 saat	4 - 10 saat
Yüksek Hız	0,5 - 4 saat	
Koku	Fazla	Az

3.2.2. Biyodiskler

Biyolojik arıtma proseslerinde kullanılan biyodiskler, genel olarak aktif çamur proseslerine benzerler. Ancak aktif çamur sistemlerinde havalandırmanın yapıldığı havalandırma havuzu yerine bu proseste Resim 3.2’de çalışma prensibiyle görülen döner diskler bulunmaktadır. Atıksu, uzunlamasına ve çok az derin olan tankların içerisine konduktan sonra diskler atıksuda %45-50 oranında ve batık şekilde dakikada 2-10 devir hızla döndürülür. Dönme sırasında oluşan havadan oksijen ihtiyacı sağlanır. Disklerin bir kısmı batırılıp bir kısmı yüzeyde kaldığı için biyofilmlerin oksijen ihtiyacı hava ile temas eden disklerden sağlanır. Atıksuda bulunan organik bileşiklerin biyofilm içinde yayılmasıyla, biyodisklerin üzerinde biyofilm şeklinde büyüyen organizmalar tarafından karbondioksit oksitlenirler [19]. Bu proseste yüzeyde bulunan biyofilm içerisindeki mikroorganizmalar; organik maddeyi ayrıştırır.

Biyodisk sisteminin avantajları; düşük enerji, işletme ve bakım maliyeti, yüksek veya şok yüklemelere karşı direnç, sessiz ve kokusuz çalışmalarıdır [20].



Resim 3.2. Biyodisk sistemi (a) açıktan görünüşü ve (b) çalışma prensibi [20]

3.2.3. Havalandırılmalı lagünler

Havalandırılmalı lagünler, 3-5 metre derinliğinde topraktan oluşturulmuş yapılardır. Bu sistemdeki gerekli havalandırma sabit yapılar üzerine monte edilmiş mekanik havalandırıcılarla veya atıksu üzerinde yüzen dubalara monte edilmiş havalandırıcılarla sağlanır.

Atık dönüşümünün istendiği durumlarda kullanılır. Askıda katı madde içerdiğinden bu maddelerin askıda kalabilmesi için türbülans gereklidir.

3.2.4. Stabilizasyon havuzları

Atıksuların biyokimyasal olarak arıtıldığı en basit sistemlerdir. Sistemde ekipman bulunmaz ve bu sebeple enerji tüketimi minimumdur. İşletme açısından kolaydır. Sistemde ekipman olmadığından proses yavaş işler. Bu sebeple uzun sürelerle ve büyük hacimde havuzlara ihtiyaç duyulur. Stabilizasyon havuzunun bulunduğu iklim ve doğal şartlar biyolojik aktiviteyi etkiler. Bu sebeple, arazinin ucuz ve aynı zamanda bol olduğu ve uygun iklimli yerler ile yüksek arıtma veriminin gerekmediği durumlarda kullanılması uygundur.

3.3. Havalandırma Havuzundaki İşletim Parametreleri

Biyolojik arıtma tesislerinde havalandırma sisteminin sağlıklı işletilebilmesi birtakım parametrelere bağlıdır. Bu parametreler aşağıda sırasıyla açıklanmıştır.

3.3.1. pH

Aktif çamur prosesleri genelde 6,5 ile 8,5 arasında değişen pH değerlerinde işletilmekte olup, bu aralık içerisinde kalsa bile ani pH değişimi mikroorganizmaların aktivitesini önemli ölçüde etkiler. pH düşerse normal şartlardaki aktif çamur tesisinde mantarlar oluşmaya başlar ve iplikli şekilde çamur kabarması oluşur [18].

3.3.2. Çözünmüş oksijen (ÇO)

Aktif çamur havuzunda istenen çözünmüş oksijen konsantrasyonu ortalama 2 ile 4 mg/l arasında olmalıdır [18]. Ayrıca aşırı havalandırma aşırı enerji tüketimine neden olurken, yaratılan aşırı türbülans ile biyolojik yumakların parçalanmasına sebebiyet verebilir. Bu nedenle, çamurun çökmesi güçleşir ve çıkış suyu bol miktarda askıda katı madde içerir.

Otomatik kontrol sisteminin varlığı bir havalandırma prosesinde oldukça önemlidir. Çünkü; havalandırma sisteminin tipi havayı olabildiğince verimli aktarmak için önemli olsa da bir tesis için düşük maliyetli enerji tasarrufu etkisini sağlayan en büyük

faktörlerden biri otomatik kontrol sistemi uygulamaktır. Bir atıksudaki havalandırma donanımını otomatik olarak kontrol edebilme özelliği, havalandırma sisteminin enerji kullanımını azaltmanın en etkili yöntemlerinden biridir. Çünkü ortalama 3,0 ile 4,0 mg/l (otomatik kontrole sahip olmayan tesisler için normal) arası bir ÇO seviyesini alarak bakterilerin yaşayabilmesi için ideal olan 2,0 mg/l'yi sağlamak, havalandırma sistemlerinin verimliliğini en uygun seviyede yapar.

3.3.3. Askıda katı madde (AKM-MLSS)

Havalandırma havuzunun içeriği karışık sıvı olarak adlandırılır. Askıda katı madde karışık sıvıdaki askıda bulunan katı madde konsantrasyonudur. Aktif çamur havuzunda istenen AKM konsantrasyonu 2,5 ile 4 g/l arasındadır [22]. Aktif çamur havuzunda istenen askıda katı madde konsantrasyonuna çamur geri devir pompasıyla çamur haznesinden istenen seviyede çamur çekilmesiyle ulaşılabilir. Çamur haznesinden devrettirilen çamurun bulanık yerine berrak olması, geri devir çamurunda askıda katı madde miktarının az olduğu anlamına gelir. Dolayısıyla çamur geri devir pompasının biyolojik aktivite için önemi oldukça fazladır.

3.3.4. Uçucu askıda katı madde (UAKM-MLVSS)

Uçucu Askıda Katı Madde havalandırma havuzlarında mikroorganizma kütlelerinin göstergesidir. Genelde 2 g/l'nin üzerinde olması istenir. Bu değerlere ancak geri devir sisteminin sağlıklı çalıştırılmasıyla ulaşılır [21].

Karışık sıvı içerisindeki organik kısım, uçucu askıda katı madde konsantrasyonudur. Klasik aktif çamur sistemlerinde, sürece beslenecek atıksuyun bünyesindeki çözünmüş, askıda ve koloidal organik maddelerin ayrıştırılmasında önemli rol oynayan organizmaları temsil eden AKM'nin organik içeriğinin (UAKM) bilinmesi gerekmektedir [21].

Havalandırma havuzunda karşılaşılan problemlerden biri de havuz yüzeyinde oluşan taze, beyaz renkte aşırı köpüklenmedir. Bu durum havalandırma havuzundaki mikroorganizma (UAKM) miktarının çok düşük olduğunu ve çamurun çok genç olduğunu gösterir.

3.3.5. Çamur yükü (F/M)

Organik yükleme olarak da tanımlanır. Son çökeltme havuzunda iyi bir çökelme ve yüksek bir KOİ giderme verimi elde etmek için, aktif çamur havalandırma havuzuna verilen gıda maddesi konsantrasyonu ile havuzdaki mikroorganizma miktarı arasında uygun bir denge olmalıdır. Bu denge F/M (çamur yükü) oranı ile kurulur. Gelen atıksuyun KOİ konsantrasyonu değişken olduğundan F kontrol edilemez. Çamur atma hızı ayarlanarak M değeri (UAKM) kontrol edilebilir.

Klasik Aktif çamur sistemleri için F/M oranı 0,2 ile 0,5 arasında değişmektedir. F/M oranı Eş. 3.2 ile hesaplanabilir [18].

$$\frac{F}{M} = \frac{Q \cdot S_o}{V \cdot X} \quad (3.2)$$

Burada F/M: Besin/Mikroorganizma oranı (kgKOİ/kg UAKM.gün)

Q: Atıksu debisi (m³/gün)

S_o: Havalandırma havuzuna giren atıksuyun KOİ konsantrasyonu (mg/l)

V: Havalandırma havuzunun hacmi (m³)

X: Havalandırma havuzundaki UAKM konsantrasyonu (mg/l)

3.4. Oksijen Transferini Etkileyen Parametreler

Biyolojik arıtma tesislerinde oksijen üretmek için kurulan havalandırma sistemlerinin atıksuya verdiği oksijen miktarını birtakım parametreler etkiler.

3.4.1. Oksijen transfer katsayısı, k_La

Gaz-sıvı sistemlerde oksijen kullanılmasının ölçüsüdür. Metabolik olarak enerji elde edilmesi havalandırma sistemleriyle üretilen oksijen ile ilgili olduğundan ürünlerin ve biyokütlenin sentezinde k_La değeri oldukça önemlidir. Havalandırma verimi olarak da bilinen k_La değerinde etkili olan birçok değişken vardır. Bu parametreler başlıca; havalandırma havuzundaki türbülans yani karıştırma, hava basıncı, hava akış hızı, sıcaklık, akışkanın özellikleri (yoğunluk, viskozite vb.) ve köpük önleyicilerin bulunuşudur [23].

3.4.2. Sıcaklık (θ Sıcaklık düzeltme faktörü)

Gazların sudaki çözünürlüğü birtakım faktörlere bağlıdır. Bunlardan en önemlisi sıcaklık başta olmak üzere basınç ve atıksuda bulunan kirletici unsurlardır. Sıcaklık artarsa oksijenin sudaki çözünürlüğü azalır. Bu sebeple atıksuyla ilgili yapılan tüm testlerde kullanılan 20°C'lik sıcaklık değeri arazi şartlarına uyarlanarak transfer verimi düzeltilmelidir [16].

Sıcaklık düzeltme faktörüyle k_L bağıntısını gösteren Eş 3.3'te sıcaklıkla artan k_{La} 'daki artış, aşağıdaki bağlantıda kullanılan sıvı film katsayısı ve yayılım üzerindeki etkilere benzer.

$$K_{La}(T) = (K_{La}(20^\circ C)) (\theta)^{T-20} \quad (3.3)$$

Burada;

$K_{La}(T)$: T °C için oksijen kütle transfer katsayısı (1/sn),

$K_{La}(20^\circ C)$: 20 °C için oksijen kütle transfer katsayısı (1/sn),

T: Sıcaklık (°C) ve

θ : Sıcaklık düzeltme faktörü (Bu faktör test koşullarıyla değişmekte olup 1,015 ile 1,040 arasındadır. Difüzyörlü veya mekaniksel havalandırma sistemleri için kullanılabilecek tipik değeri 1,024'tür [16].)

Atıksu arıtma tesislerinin bulunduğu yerlerde yaz mevsimlerinde sıcaklığın artmasıyla çözülmüş oksijenin çözünürlüğü azalır. Bu yüzden yaz aylarında sisteme daha fazla oksijen girdisi sağlanması gerekecektir. Kış aylarında ise düşük sıcaklıkla birlikte çözünürlük artacağından oksijen ihtiyacı daha az olacaktır.

3.4.3. α Faktörü (Karışım şiddeti ve havuz geometrisi düzeltme faktörü)

Standart şartlarda temiz suda yapılan ölçümlerde oksijen transfer verimleri blower-difüzör sistemlerinde yaklaşık 4-6 kgO₂/kWh, yüzeysel havalandırıcılarda yaklaşık 1,5-2,5 kgO₂/kWh, jet havalandırıcılarda ise yaklaşık 2-3 kgO₂/kWh civarlarındadır. Ancak

oksijen transfer verimleri saha koşullarında; blower-difüzör ile yüzeysel havalandırıcılarda 1,0-1,5 kgO₂/kWh, jet havalandırıcılarda ise 1,0-1,1 kgO₂/kWh değerlerine kadar düşmektedir [24]. Bu farklılığın en önemli sebebi α faktörüdür. α faktörü; atıksu etkilerinin hesabı için belirlenir. Temiz sudan atıksuya geçiş faktörü olarak da adlandırılan α faktörü Çizelge 3.2’de görüldüğü üzere; havalandırma sistemine göre değiştiği gibi, atıksu türüne, havalandırıcıların yerleşimine, birim hava debisine ve havuz hidroliğine göre de değişir.

Standart koşullardaki oksijen transfer verimlerindeki üstünlükleri nedeniyle blower-difüzör kullanımı gün geçtikçe artmakta olup, yüzeysel havalandırıcıların havalandırma sistemleri arasındaki avantajları ise göz ardı edilmektedir. Oysa standart koşullarda belirlenen değerler, atıksu arıtma tesisinin bulunduğu saha koşullarına uyarlandığında, oksijen transfer verimleri difüzörlü havalandırma sistemlerinde dramatik olarak düşmekte ve fark kapanmaktadır.

$$\alpha = k_{La} \text{ atıksu} / k_{La} \text{ temizsu} \quad (3.4)$$

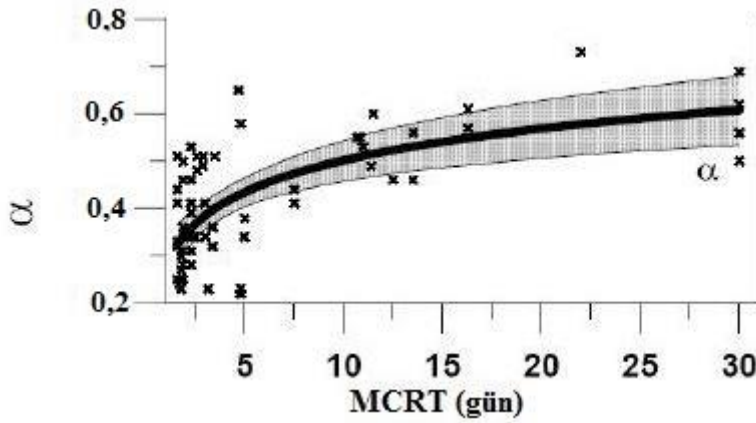
Eş. 3.4’ten de görüldüğü gibi havalandırma sistemleri için α değerleri bulunurken o havalandırma sistemine ait atıksudaki oksijen transfer katsayısı ($k_{La} \text{ atıksu}$), temiz sudaki oksijen transfer katsayısına ($k_{La} \text{ temizsu}$) bölünür.

Çizelge 3.2. Standart alfa değerleri [25]

Havalandırma Sistemi	Tipik Alfa (α)
Kalın Kabarcıklı Difüzörler	0,80
İnce Kabarcık Difüzörleri	0,45
Jet Havalandırma	0,75
Yüzey Mekanik Havalandırıcıları	0,85
Sualtı Türbinleri	0,85

Şekil 3.4; difüzörlü havalandırma yapılan bir havalandırma havuzunda α faktörünün zamana bağlı değişimini göstermektedir. Çamurun havalandırma havuzunda bekleme süresi (MCRT)’nin artmasıyla alfa faktörü de zamanla artar.

Düşük MCRT (havalandırma havuzunda az bekleme)'de çalışan arıtma tesisleri için alfa faktörleri Şekil 3.4'te görüldüğü üzere düşüktür ve ortalama 0,3'lerde olur. Yüksek SRT (çamur yaşı)'lerde ise alfa faktörü de büyük olur. Havalandırma havuzlarındaki uzun bekleme süreleri α faktörünü artırır. Bu da o havalandırma havuzunda bulunan havalandırma sisteminin temiz sudaki verimini, proses koşullarında da koruması anlamına gelir.



Şekil 3.4. Havuzdaki bekleme süresiyle (MCRT), α faktörü arasındaki ilişki [26]

Havalandırma havuzunda çeşitli bölümlerde heterojen kısımlar olabilir. Bu da alfa faktörünün aynı havalandırma havuzu içerisinde farklı değerler almasına sebep olabilir. Örneğin havalandırma havuzundaki akış bölgesinde alfa faktörü 0,3 olabilirken, atık bölgesinde yani çamurun fazla olduğu bölgelerde 0,8 gibi yüksek bir değer de olabilir [26].

3.4.4. β faktörü

Atıksularda çözünürlüğü azaltan partiküller, tuzlar ve yüzey aktif maddeleri bulunur. β faktörü; atıksudaki tuzluluğun artmasının neden olduğu aktarım hızındaki azalmadır. β ; 0,7 ile 0,98 arasında değişmekte olup, atıksularda en yaygın kullanılan değeri 0,95'tir [21]. Bir havalandırma sisteminin β faktörünü bulmak için Eş. 3.5'den yararlanılabilir. Buradaki C_S ; doygunluk konsantrasyonunu (kgm^{-3}) ifade eder.

$$\beta = C_{S \text{ Atıksu}} / C_{S \text{ Temizsu}} \quad (3.5)$$

3.4.5. Seçiciler

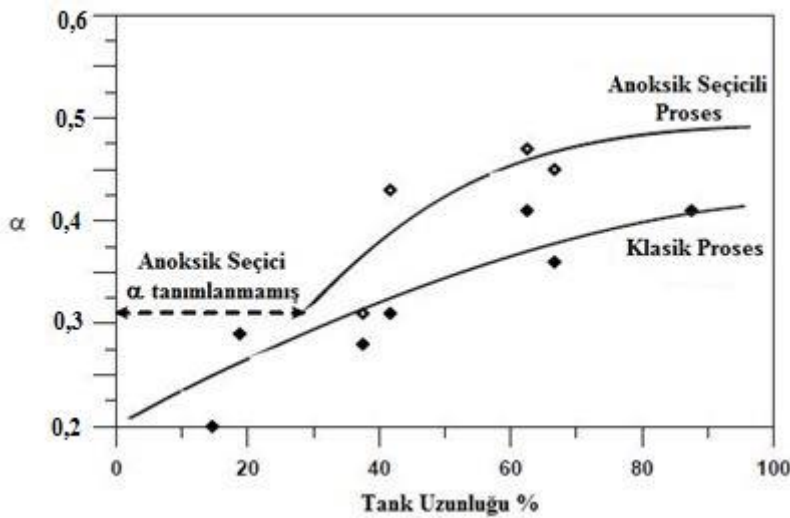
Seçiciler azot gidermek, fosfor giderimine katkıda bulunmak ve filamentli (ipliksi mikroplar) organizmaların büyümesini önlemek, dolayısıyla çamur kabarmalarına engel olmak için atıksu arıtma tesislerinde kullanılırlar. Aerobik, Anaerobik ve Anoksik olmak üzere üçe ayrılırlar [26]. Son 15 yıl içinde kullanımları oldukça yaygınlaşmıştır.

Aerobik seçiciler; oksijenli şartlar üretmeye yardımcı olmak için kullanılırlar.

Anaerobik seçicilerde; oksijenin serbest, çözünmüş gibi hiçbir formu bulunmaz. Hava olmayan ortamlarda kullanılırlar.

Anoksik seçiciler ise; hiçbir çözünmüş oksijenin bulunmadığı ancak daima mikropların nitrit ve nitrat gibi metabolik süreçleri için kullandığı kimyasal olarak bağlı oksijenin bulunduğu seçicilerdir. Genellikle atıksulardaki nitratları ortadan kaldırmak veya azaltmak için kullanılırlar [27].

Seçiciler biyokütleleri içine çözünür kirleticileri almasıyla da alfa faktörlerini arttırmırlar. Şekil 3.5'deki gibi α faktörü havalandırma tankı uzunluğunun artmasına bağlı olarak klasik proste lineere yakın artmasına rağmen, anoksik seçici katılan proseslerde daha fazla artar.



Şekil 3.5. Seçici'nin α faktörü üzerindeki etkisi [26]

3.4.6. Türbülans

Türbülans özellikle difüzörlü havalandırma yapan sistemlerde hava kabarcıklarının su yüzeyine çıkış hızını arttırdığı için oldukça önemlidir. Bu yüzden difüzörlü sistemlerde havalandırma havuzunda karıştırıcı kullanılması oldukça önemlidir. Mekanik havalandırıcı sistemlerde ise çoğunlukla türbülans da sağlandığından karıştırıcıya gerek kalmayabilir. Havalandırma havuzları için, 0,3 m/sn yatay akım hızı çoğunlukla partikül süspansiyonu ve karışım için yeterlidir.

Çizelge 3.3. Tipik havalandırma havuzu karıştırma gerekleri [1]

Havalandırma Sistem Tipi	Karıştırma Gerekleri
Kalın Kabarcıklı Difüze Havalandırma	20 ile 30 scfm/1000 cu.ft.
İnce Kabarcıklı Difüze Havalandırma	7 ile 10 scfm / 1000 cu.ft.
Mekanik Yüzey Havalandırma	0,6 ile 1,15 hp/1000 cu.ft.

Çizelge 3.3’de havalandırma havuzlarında türbülans oluşturmak için karıştırma gereksinimleri belirtilmiştir. (1 cu.ft=28,32 litre, 1 scfm=1,45 hp). Çizelgeden de görüldüğü üzere 2832 litre atıksu için ince gözenekli difüzörlü havalandırma sistemlerin karıştırma gereksinimi mekaniksel yüzey havalandırıcıların yaklaşık 17 katıdır.

3.5. Havalandırma Terminolojisi

AE: Aeration Efficiency (Temiz Sudaki Havalandırma Verimi): Havalandırma proseslerindeki enerji verimliliğini açıklayan en yaygın parametredir. (kgO_2/kWh). Eş. 3.6’daki gibi tanımlanır. Buradaki OTR oksijen transfer oranını gösterir ve Eş. 3.10 ile bulunabilir [22]. P ise havalandırma prosesindeki havalandırma ekipmanları tarafından tüketilen güçtür (kWh).

$$AE = OTR / P \quad (3.6)$$

AOR: Actual Oxygen Requirement (Gerçek Oksijen Gereksinimi, kgO_2/h): Biyolojik arıtma proseslerinde mikroorganizmaların yaşamını devam ettirebilmesi için ihtiyaç duyulan oksijen miktarıdır. AOR, her zaman tüm değişkenleri (alfa faktörü, beta faktörü, çözünmüş oksijen, sıcaklık vb.) içeren arazi koşullarına göre belirlenmelidir. Bu yüzden SOR yani standart koşullardaki oksijen gereksinimi her zaman AOR’ye dönüştürülmelidir.

DO: Dissolved Oxygen (Suda Çözünmüş Oksijen, $\text{kgO}_2\text{m}^{-3}$): Çözünmüş oksijen miktarı, su altında hava ihtiyacı bulunan tüm canlılar için oldukça önemlidir. Atıksuda bulunan mikroorganizmaların da yaşamsal faaliyetleri için atıksuda havalandırma yapılarak çözünmüş oksijen değeri belli bir değerde tutulmalıdır.

DO_{sat}: Suda çözünmüş oksijen doygunluğu, $\text{kgO}_2\text{m}^{-3}$: DO_{sat} hiçbir tepkimeye girmemiş ve hidrostatik basınç etkisini içeren sıvıdaki çözünmüş oksijen doygunluğunu içerir. Sualtı havalandırma sistemleri (difüzörlü) hidrostatik basınç değerleri nedeniyle katalog değerlerinden daima daha yüksek doygunluk konsantrasyonuna sahiptir [26].

F: Kirlenme faktörüdür. Henüz arıtma prosesinde kullanılmamış havalandırma sisteminin standart koşullarda temiz sudaki oksijen transfer verimliliğinin, kullanıldıktan sonra yine temiz suda ölçülen oksijen transfer verimliliğine oranı olup Eş. 3.7 ile formülize edilebilir [26].

$$F = \alpha_{\text{SOTE}} / \alpha_{\text{SOTE}} \quad (3.7)$$

MCRT veya **SRT:** Mean Cell Residence Time, Sludge Retention Time (Havalandırma Havuzunda Bekleme Süresi, Çamur yaşı, gün): Havalandırma prosesi için anahtar parametrelerden biridir. Çünkü prosesteki diğer tüm parametreleri de kontrol eder. Örneğin; çamur yaşı 10 gün ise, çamur net büyüme hızı günde kütlesinin 1/10'u kadardır.

Havalandırma havuzunda enerji kullanımını azaltmak için optimize edilebilecek değişkenlerden bir tanesi sürecin katı tutma süresini (SRT) kontrol etmektir. Eğer bir tesisin azotlama yapması gerekmiyorsa ve atık imha maliyeti çok yüksek değilse, SRT'yi azaltarak, sıvıdaki askıda katı maddeyi düşürerek veya çalışan havalandırma havuzlarının sayısı azaltılarak sistem düşük maliyetli yapılabilir [1]. Uzun SRT'li sistemler alfa faktörlerini arttıran yüzey aktiflerini daha hızlı giderirler.

OC: Oxygenation Capacity (Oksijenlenme Kapasitesi, $\text{kgm}^{-3}\text{s}^{-1}$): Bir havalandırma sisteminin oksijenlendirme kapasitesi Eş. 3.8 ile bulunabilir. Bu denklemdeki; k_2 ; genel havalandırma katsayısını (s^{-1}), C_s ise doygunluk konsantrasyonunu ifade eder (kgm^{-3}) [22].

$$\text{OC} = k_2 \cdot C_s \quad (3.8)$$

OTE: Oxygen Transfer Efficiency (Temiz Sudaki Oksijen Transfer Verimi, %): Havalandırma sistemleri ile prosese verilen oksijen miktarıyla bu oksijenin ne kadarına ihtiyaç duyulduğunu belirlemeye yarayan parametre olup sisteme giren ve çıkan oksijen miktarıyla ilişkilidir. Eş. 3.9 ile bulunabilir [22]. Standart koşullar (20 °C, 1 atm, sıfır tuzluluk ve sıfır çözünmüş oksijen) altında ölçülürse SOTE olarak ifade edilir.

$$OTE = (O_{2, in} - O_{2, out}) / O_{2, in} \quad (3.9)$$

$O_{2, in}$: Sisteme verilen oksijen miktarı (kgO_2 / h)

$O_{2, out}$: Sistemden çıkan oksijen miktarı (kgO_2 / h)

OTR: Oxygen Transfer Rate (Temiz Sudaki Oksijen Transfer Oranı, %): Birim zamanda oksijen transferinin gerçek kitlesi olup tasarım için proses değişkeninin anahtarıdır ve bir havalandırma sistemi için Eş. 3.10 ile bulunabilir [22].

$$OTR = k_L a (DO_{sat} - DO) \cdot V \quad (3.10)$$

$k_L a$: T °C için oksijen kütle transfer katsayısı (m^3/sn),

V: Havalandırma havuzundaki atıksuyun hacmi (m^3)

SAE: Standard Aeration Efficiency (Standart Koşullardaki Temiz Suda Oksijen Transfer Verimliliği): SAE; Suya transfer edilen oksijen miktarının, kullanılan enerji miktarına bölünmesiyle Eş. 3.11 ile bulunur. Mekanik havalandırıcı sistemler için 1-2 kgO_2 / kWh , difüzörlü havalandırıcı sistemler içinse 2-8 kgO_2 / kWh 'dir [26].

$$SAE = SOTR / P \quad (3.11)$$

Denklem 3.11'deki SOTR standart koşullarda temiz sudaki oksijen transfer oranını göstermekte olup, havalandırma sistemleri için kullanılan değerleri Çizelge 3.6'da gösterilmiştir.

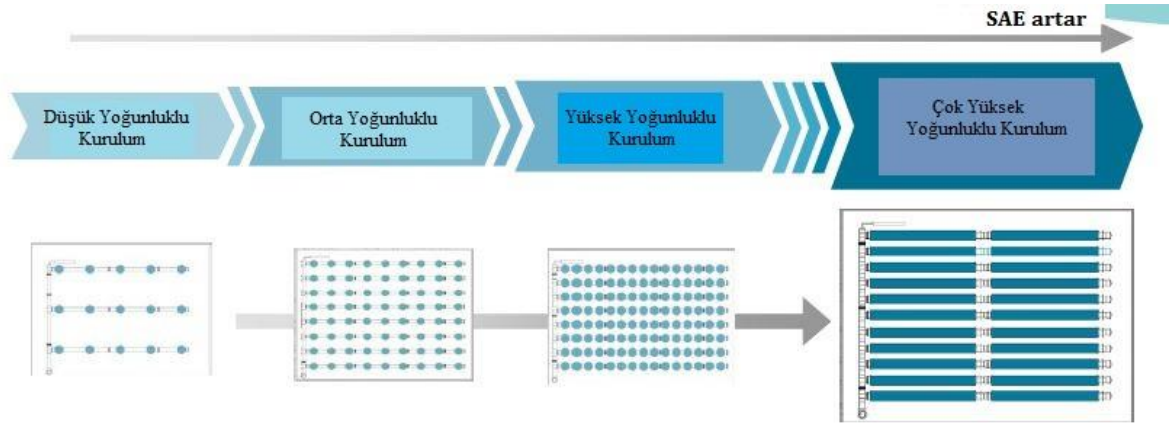
Çizelge 3.4 havalandırma sistemlerinin verimliliklerini göstermektedir. En soldaki sütun havalandırma sistemlerin SAE'si yani temiz sudaki havalandırma verimlilikleridir. Sonraki iki sütun ise 2 mg/l ÇO'daki proses suyu yani atıksu verimliliğini göstermektedir.

İki sütuna ihtiyaç duyulmasının sebebi difüzörlü sistemlerin SAE'lerinin SRT ile farklılık göstermesidir.

Çizelge 3.4. Havalandırma sistemleri SAE oranları [26]

Havalandırıcı Tipi	SAE (kgO ₂ /kWh)	Düşük SRT AE (2 mg ÇOI ⁻¹ için)		Yüksek SRT AE (2 mg ÇOI ⁻¹ için)
Yüksek hızlı yüzeysel aeratörler	0,9–1,3		0,4–0,8	
Düşük hızlı yüzeysel aeratörler	1,5-2,1		0,7-1,5	
Kaba Kabarcıklı Difüzörler	0,6-1,5	0,3-0,7		0,4-0,9
Türbinler veya jet aeratörler (İnce kabarcıklı)	1,2-1,8	0,4-0,6		0,6-0,8
İnce gözenekli Difüzörler	3,6-4,8	0,7-1,0		2,0-2,6

Difüzörlü bir havalandırma sisteminin o prosesteki yoğunluğu yani havalandırma havuzu tabanındaki bulunma sıklığı oksijen transfer verimini artırır. Difüzör yerleşim yoğunlukları Resim 3.3 ile gösterilmiştir. Difüzörlerin daha sık bulunması suya daha fazla oksijen transfer edilmesi anlamına gelir ve buda SAE'yi artırır.



Resim 3.3. Difüzörlü havalandırma sistemlerinde SAE-Yoğunluk [25]

SOTE: Standart Oxygen Transfer Efficiency (Standart Koşullardaki Temiz Suda Oksijen Verimliliği, %): Standart koşullardaki temiz suda oksijen transfer verimliliğini belirtmekte olup, en çok alfa faktörüyle ilişkilidir. Diğer koşullar düzeltildikten sonra α faktörü; oksijen transfer verimliliği oranı olarak Eş. 3.12'deki gibi ifade edilebilir [22];

$$\alpha = \alpha_{\text{SOTE}} / \text{SOTE} \quad (3.12)$$

α_{SOTE} parametresi havalandırma sistemlerini karşılaştırmada en önemli parametredir. Çünkü α faktörü, su kirlilikleri hariç diğer tüm faktörleri dikkate almamaktadır. α_{SOTE} proses koşullarındaki oksijen transfer verimliliğini simgeler ve belirli bir su derinliği ya da her bir derinlikte ayrı ayrı belirlenebilir. Örneğin, Çizelge 3.5'teki gibi ince gözenekli, tek yön kaplamalı difüzörlü bir havalandırma sisteminde SOTE %2 civarındayken, tam kat kaplama difüzörlü havalandırma sistemlerinde bu değer % 3-4 $\alpha_{\text{SOTE}} / \text{m}$ olabilir [26].

Çizelge 3.5. Havalandırma sistemlerinde SOTE değerleri [26]

Havalandırıcı Tipi	SOTE
İnce Gözenekli Difüzör Sistemi	% 2
Kaba Kabarcıklı Difüzör Sistemi	% 0,75
Jet Havalandırıcılar	% 2
Mekanik (Yüzeysel) Havalandırıcılar	% 1,5

SOTR: Standart Oxygen Transfer Rate (Standart Koşullardaki Temiz Suda Oksijen Transfer Oranı, kgO_2/h): Standart oksijen transfer oranı (SOTR), standart koşullardaki su içerisinde birim zaman başına transfer edilen oksijen kütlesidir. Avrupa literatüründe bu terim “*Oksijenleşme Kapasitesi (OC)*” olarak da adlandırılır. Havalandırma sistemleri için değerleri Çizelge 3.6’da verilmiş olup, bu konuda en üstün havalandırma sistemleri görüldüğü üzere ince gözenekli difüzörlü havalandırma sistemleridir.

Çizelge 3.6. Çeşitli havalandırma sistemlerine ait SOTR [25].

Havalandırma Sistemi $\text{kg O}_2/\text{kW-h}$	Oksijen İletme Oranı
Kalın Kabarcıklı Difüzörler	1,2
İnce Kabarcık Difüzörleri (Tam kaplamalı)	3,8
İnce Kabarcık Difüzörleri (Sadece yanlarda)	2,4
Yüzey Mekanik Havalandırıcıları	1,8
Su altı Türbin Havalandırıcıları	1,2
Jet Havalandırıcıları	2,0

4. ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE HAVALANDIRMA SİSTEMLERİ

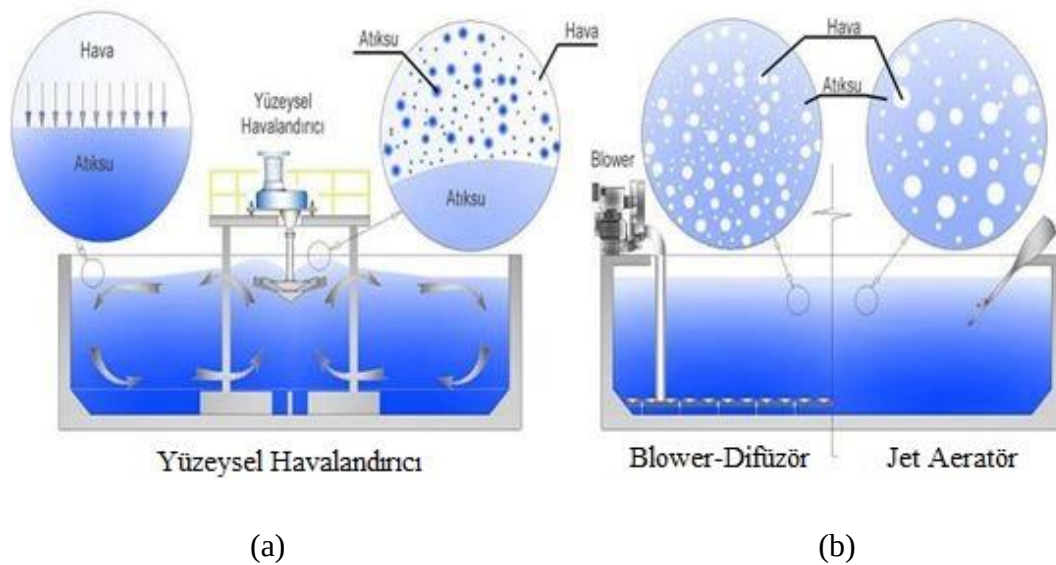
Aerobik proseslerde havalandırma yapılması zorunluluğuna bağlı olarak kullanılan havalandırma sistemlerinin tarihsel gelişimi Resim 4.1 ile gösterilmiştir. Mekanik havalandırıcılarla başlayan gelişim ince gözenekli difüzörlü sistemlerle devam etmektedir.



Resim 4.1. Havalandırma sistemlerinin tarihsel gelişimi

Atıksu havalandırılmasında kullanılan iki temel metot vardır:

- ❖ Hava veya saf oksijenin atıksuya batmış difüzörlerle veya diğer havalandırma cihazları ile verilmesi (Bkz. Resim 4.2.b, difüzörlü, jet aeratörlü)
- ❖ Atıksuda mekanik olarak karıştırma yapılarak havanın suda çözünmesinin hızlandırılması (Bkz. Resim 4.2.a, mekanik havalandırıcılı)



Resim 4.2. Havalandırma sistemlerinden (a) yüzeysel ve (b) difüzör-jet aeratör [28]

4.1. Difüzörlü Havalandırma Sistemleri

Gerekli oksijen, atıksuya havalandırma havuzu içerisindeki değişik büyüklüklerdeki delikler (difüzörler) vasıtası ile verilerek yapılır. Basınçlı hava difüzörlere blower (hava körüğü) sayesinde verilir ve atıksuyun oksijen ihtiyacı hava kabarcıklarının havuz içerisinde yükselmesi ile giderilmiş olur.

Difüzörlü havalandırma sistemlerinde hava;

- ❖ Havalandırma havuzunun zeminine yerleştirilen delikli borular,
- ❖ Yatay borular üzerine yerleştirilen seramik kubbe ya da tüp şeklinde özel delikli (perfore) borular,
- ❖ Sentetik fiber veya sarılı tel liflerden özel hava çıkışına elverişli sistem veya
- ❖ Özel olarak dizayn edilen sistemlerden verilebilir [29].

Difüzörler ince veya kaba kabarcık üretecek şekilde olabilirler. Atıksuya ortalama olarak verilebilecek oksijen miktarı, ince gözenekli difüzörlerde 1,3 kgO₂/kWh, orta gözenekli difüzörlerde 1,2 kgO₂/kWh, büyük gözenekli difüzörlerde ise 0,7 kgO₂/kWh'dir. Oksijen transfer verimi ince gözenekli difüzörlerde %10-30, orta gözenekli difüzörlerde %6-15, büyük gözenekli difüzörlerde ise %4-8 arasında olup, havalandırma havuzu derinliğine, difüzör yerleşimine göre değişir [29].

Gaz transfer hızı; suyun birim hacmi için sağlanan gaz-sıvı ara yüzey alanı ile doğru orantılı olup, en ideal havalandırma sistemi temas yüzeyinin maksimum olduğu sistemdir. Difüzörlü havalandırma sistemlerinde daha ince kabarcık üreten ekipmanlarda havalandırma veriminin fazla olmasının sebebi budur. Kullanılmış hava kabarcıkları tankı su yüzeyinden terk ettiği için; gaz transferi havalandırma havuzu derinliğinin artırılması ve daha ince kabarcıklı sistem kullanılmasıyla artar.

Havalandırma havuzlarının üzerinde buzlanma olursa bir dereceye kadar fotosentez olayı devam eder. Soğuk bölgelerde, yüzeysel havlandırıcıların bıçaklarının üzerinde buzlanma olması sonucu bu sistemler çalışmaz hale gelebilir. Bu buzlanma rotorun dengesini de bozabilir. Bu yüzden soğuk bölgelerde difüzörlü havalandırıcıların kullanılması faydalıdır.

Difüzörlü havalandırma sistemlerinde en çok kullanılan ekipman tipi beton havalandırma havuzlarıdır. Beton havuzların tabanına perfore borular ya da poroz difüzörler veya hava kabarcığı üreten diğer ekipmanlar yerleştirilir. Bu kabarcık üreten sistemler, blower tarafından havayla beslendiğinde hava kabarcıkları oluşmakta; bu hava kabarcıkları su yüzeyine doğru hareket ederken bir türbülans oluşturarak gaz transferi için yüzey alanı hazırlamaktadır. Bu sistemlerde poroz tüp ya da perfore borular kullanılırsa, bunlar havuz derinliğinin ortalarına yakın bir noktaya asılabilir. Poroz difüzörler kullanılıyorsa bunların havuz tabanına yerleştirilmesi gerekir. Ayrıca difüzörlü sistemlerde, üfleyicilerin emiş ağzına filtre konulmalı ve difüzörlerin tıkanma problemlerine karşı önlem alınmalıdır. Eğer difüzörler tıkanırsa basınç kayıpları artacağından, bu filtrelerin belli aralıklarla temizlenmesi gerekir.

Difüzörlerin havalandırma havuzunda tank derinliğinin yarısına yerleştirilmesiyle optimum verim sağlanabilir. Çünkü derinlere yerleştirilen difüzörler, blower için ihtiyaç duyulan basıncı arttırmakta, bu da yatırım ve işletme maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır. Kullanılacak difüzör sistemi, istenilen hava debisini en düşük basınç kayıplarıyla iletebilecek şekilde olmalıdır [30].

Ayrıca difüzörlü havalandırma sistemlerinde bir karıştırıcı yardımıyla türbülans daha da artırılabilir ve bu sayede su içinde kabarcık birikimi de sağlanabilir.

Difüzörlü havalandırma sistemlerinde kullanılan tanklar 3 ile 5 m derinlik ve 3 ile 9 m genişliğe sahip olmaktadır. Kullanılan tanklarda genişlik-derinlik oranı, optimum karıştırma şartlarını sağlamak şartıyla ikiye aşmamalıdır. Tank uzunluğu ise ihtiyaç duyulan arıtma verimi ve temas süresine bağlıdır. Difüzörlü havalandırma sistemlerinde bekleme süresi 10 ile 30 dakika arasında değişmektedir. Bu sistemlerde, suya helezonik bir hareket kazandırmak amacıyla difüzörler tankın sadece bir kenarında, tank tabanına yerleştirilir [31].

Difüzörlü havalandırma sisteminde kullanılacak olan blower'a ait gerekli güç N_g (watt), Eş. 4.1. ile verilen hava debisi O_g (m^3/sn) ve hava basıncından P (pa) bulunabilir [22].

$$N_g = Q_g \cdot P / \eta \quad (4.1)$$

η ; toplam verimi ifade eder, motorun ve blowerın (üfleyicinin) verimleri çarpımıdır. P , boru ve difüzördeki toplam kayıplar ile havuzdaki su basıncını yenmek için gerekli basıncın toplamıdır.

Bazı hallerde basınç kaybı yerine, metre su sütunu (mss) cinsinden yük kaybı verilebilir. Bu durumda Eş. 4.1 ifadesi $\Delta h = \Delta P / \rho g$ ve $\Delta h + d_i = h$ eşitlikleri kullanılarak;

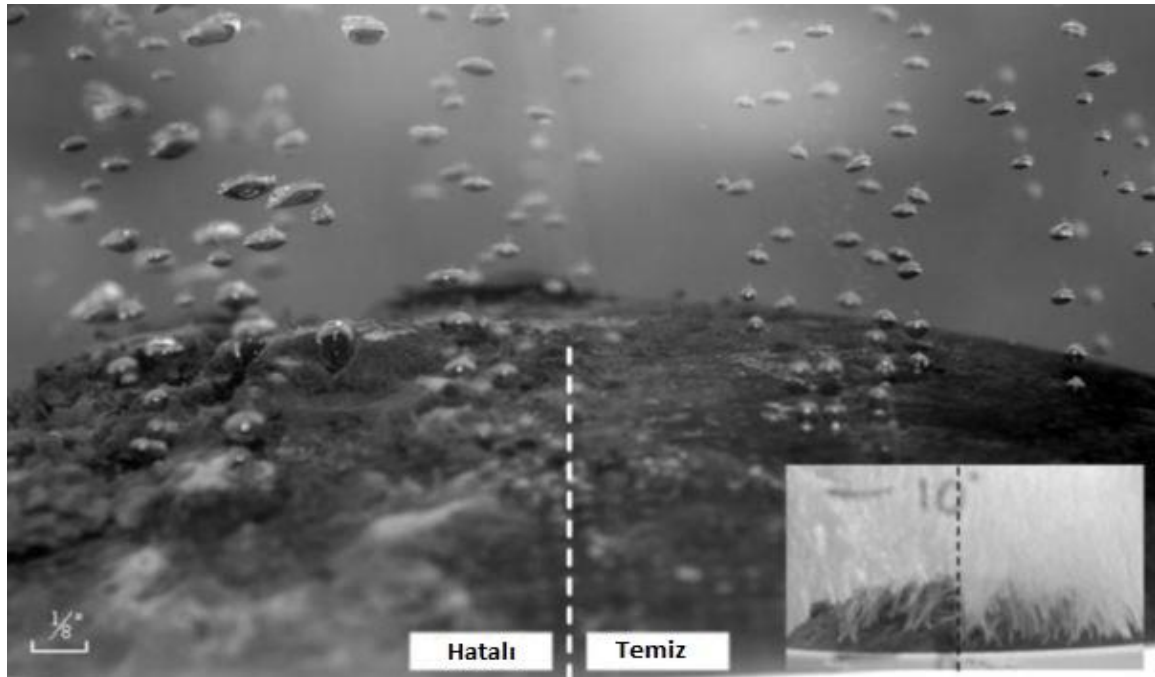
$$N_g = Q_g \cdot (\Delta P \cdot d_i \cdot \rho \cdot g) / \eta \quad (4.2)$$

şeklinde yazılabilir [22]. Burada;

ΔP : Hava borularında ve gözenekli tüpteki toplam basınç kaybını (Pa),

d_i : Gözenekli tüplerin su yüzeyinden derinliğini (m) göstermektedir.

Resim 4.3’de görüldüğü üzere difüzörlü havalandırma sistemlerindeki hava kabarcıklarının atıksuya verildiği kısımdaki temizlik oksijenin atıksuya daha homojen şekilde verilmesine neden olur. Bu homojenlik atıksudaki arıtmayı yapacak bakteri yaşamının devamı için de oldukça önemlidir.



Resim 4.3. Difüzördeki kirlenmenin etkisinin fotografik kanıtı [32]

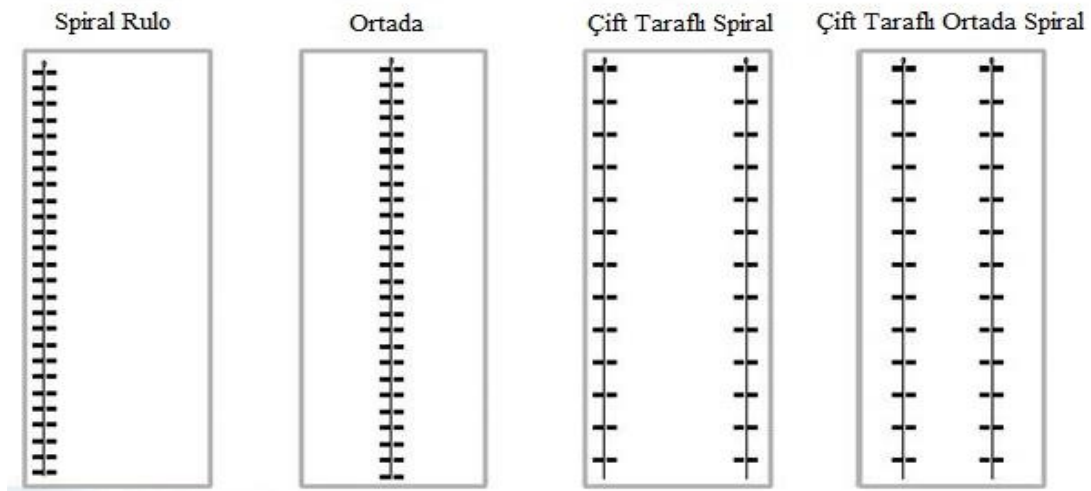
Su altı havalandırma veya dağınık havalandırma olarak da adlandırılan difüzörlü havalandırma sistemi iki kategoriye ayrılır:

- ❖ 5 mm ile 12 mm arasında delikleri olan ve çapı 50 mm'ye kadar büyüklükte, küresel olmayan ve hızla yükselebilen kabarcıklar üreten sistemler (Kaba Kabarcıklı Sistemler)
- ❖ Gözenek levhaları boyunca çoğunlukla çapı 1 mm ile 3 mm arasında değişen küresel kabarcıklar üreten sistemler (İnce Gözenekli Sistemler)

4.1.1. Kaba kabarcıklı difüzör sistemleri

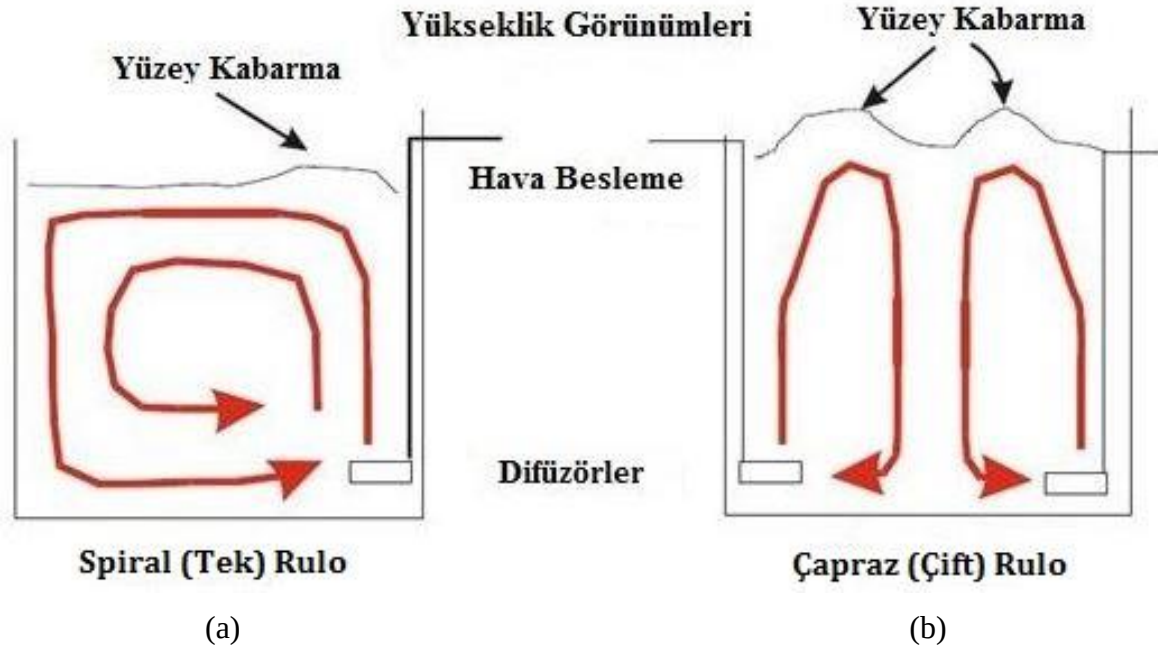
Kaba kabarcıklı difüzör sistemlerinin amacı, difüzörler vasıtasıyla oksijeni atıksu ve çamura nüfuz ettirmek ve atıksu içindeki karıştırmayı sağlamaktır. Çamur ve sanayi atıksuyu gibi daha zorlu uygulamalar için kaba kabarcıklı difüzör sistemi uygun bir çözümdür. Çoğunlukla sanayi uygulamaları ile tıkanma istenmeyen ve az bakım gerektiren tesislerde kullanılır.

Kaba kabarcıklı difüzörlerin büyük kabarcık üretecekleri için daha güçlü blower gereksinimleri olacak ve bundan dolayı enerji tüketiminde ince gözenekli difüzörlere göre dezavantajlı olacaklardır. Bazı içinde aerobik çürütücüler bulunan yapışkan sıvılı havalandırmalar için ve yüksek MLSS (>8000 mg/l) ile çalışan havalandırmalar için ise en iyi çözümdürler [31].



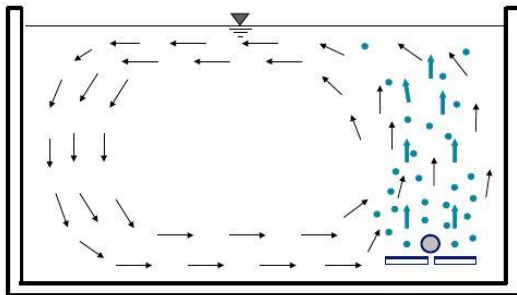
Resim 4.4. Kaba kabarcıklı difüzör yapılandırma örnekleri [33]

Resim 4.4’de kaba kabarcık üretmede kullanılacak difüzörlerin havalandırma havuzundaki konumlarına ait örnekler gösterilmiştir. Hangi yapılandırmanın kullanılacağına dair en önemli parametre atıksudaki yüzey kabarmasıdır. Bu doğrultuda Resim 4.5’de a ve b ile gösterilen spiral ve çift taraflı yapılandırmadaki yüzey kabarmasından spiral rulo şeklindeki kabarma yaratmadığı gösterilmiştir.



Resim 4.5. Kaba kabarcık (a) tekli rulo ve (b) çiftli rulo geometrisine örnekler [26].

Resim 4.6’den da görüldüğü üzere kaba kabarcıklı difüzör sistemlerinde difüzörlerin spiral rulo şeklinde, yani havalandırma tankının sadece bir köşesine döşenmesi atıksuda oluşan yüzey kabarmasını ciddi şekilde azaltır. Buna rağmen difüzörlerin çapraz yani çift rulo şeklinde döşenen havalandırma sistemlerinde atıksuya çift taraflı etki yapılacağından atıksuda yüzey kabarması ve dolayısıyla dalgalanma sorunu oluşur.



Resim 4.6. Spiral rulo şeklinde yapılmış difüzörler [33]

Kaba kabarcıklı difüzörlü sistemler havalandırma havuzuna gelen çamurdaki katı içeriğinin yüksek (sıvı içerisindeki %8 ve üstü katı konsantrasyonu) olduğu durumlarda kullanılırlar. Bu sistemde kullanılan difüzörlerin hava kabarcığı sağlamak için üzerlerinde bulunan delikler 3-50 mm arasında değişir. Resim 4.4’de kaba kabarcıklı difüzör yapılandırma örnekleri verilen sistemlerden çift taraflı ortada spiral yapılandırması Resim 4.7 ile havuz içerisinde örneklendirilmiştir.



Resim 4.7. Çift taraflı ortada spiral difüzör sistemi [33]

Tasarım örnekleri şekillerle açıklanan kaba kabarcıklı difüzörlü sistemlerin başlıca avantajları şunlardır;

- ❖ Üzerlerindeki geniş hava kabarcık delikleri sayesinde tıkanma problemleri oluşturmazlar.
- ❖ Havalandırma havuzunda yüksek katı içeriğindeki çamurlarda iyi bir havalandırma yapabilir ve havuzdaki gerekli karışımı sağlayabilirler.

❖ Bu difüzörlerde kullanılan hava sağlayıcılarda yani blowerlarda çoğu zaman hava filtresi kullanımına gerek kalmaz. Çünkü difüzör çıkış çapları büyük olduğundan tıkanma problemi olmaz.

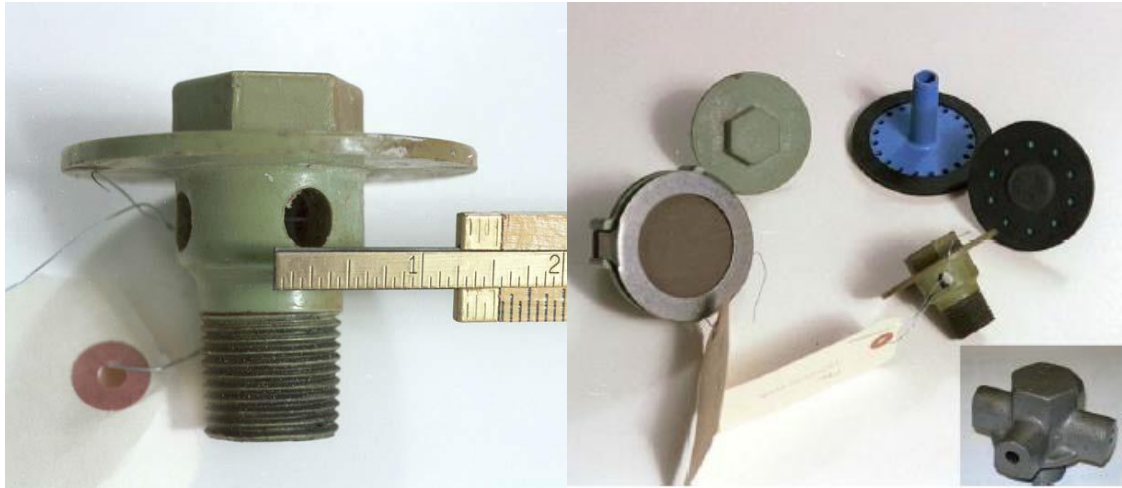
Kaba kabarcıklı sistemlerin bazı dezavantajları ise şunlardır;

❖ Daha fazla kapasiteli blower gereksinimleri, ince gözenekli difüzörlere göre daha fazla enerji tüketmelerine neden olur [32].

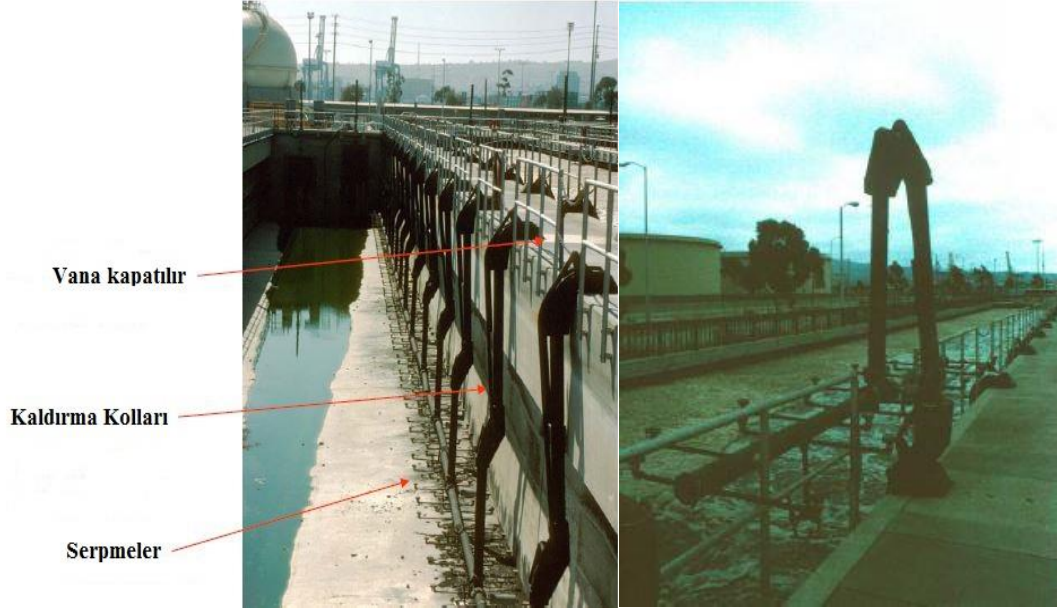
❖ İnce gözenekli difüzörlere göre oksijen transfer verimi açısından daha az verimlidirler. (Bkz. Çizelge 3.5)

❖ Kabarcıkların atıksuyla teması azdır. Dolayısıyla bu da havalandırmada dezavantaj oluşturur. (Çünkü büyük kabarcıklar ince kabarcıklara göre atıksu yüzeyine daha çabuk yükselirler.)

Resim 4.8’de gösterildiği gibi serpmeler, kaba kabarcıklı dağıtıcı türüdür. Orifisler yaklaşık 10 mm civarındadır. İlk serpmeler düşük karbonlu çeliklerden imal edilmekte olup oldukça ağır ve pahalıydı. Fakat yeni serpmeler lastik kapaklı plastiklerden oluşmakta olup kullanımları eski tiplere göre daha kolay ve pratiktir.



Resim 4.8. Serpme koleksiyonu [26]



Resim 4.9. Bakımı kolaylaştırmak için kullanılan salıncak kollar [26]

Kaba kabarcıklı difüzörlü sistemlerin Resim 4.9'dan görüldüğü gibi en önemli avantajı da tabana yerleştirilmiş serpmelerin bir kaldırma kolu vasıtasıyla şekildeki gibi kaldırılıp, söz konusu difüzörlerin bakımı, değiştirilmesi, temizlenmesi gibi her türlü işlemlerinin havalandırma havuzu boşaltılmadan da yapılabilmesidir. Kaba kabarcıklı bir difüzörün su altında çalışması da Resim 4.10 gösterilmiştir.



Resim 4.10. Su altında kaba kabarcıklı difüzör sistemi [33]

4.1.2. İnce gözenekli difüzörler

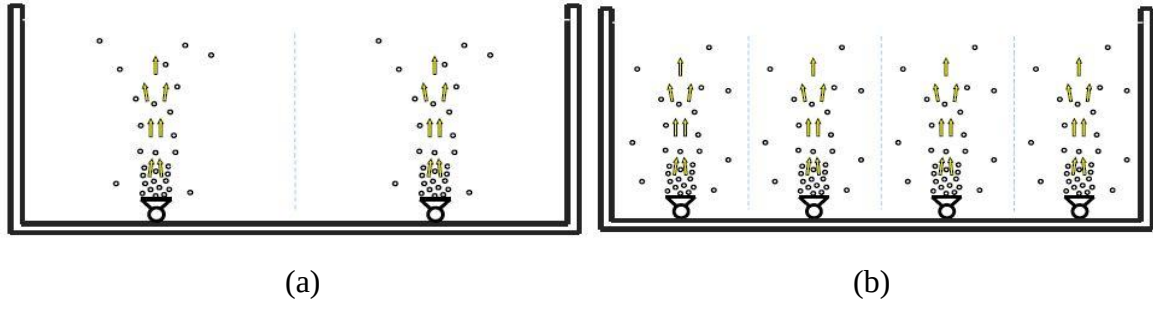
Eskiden kaba kabarcıklı difüzörler Belediye uygulamalarında yayginken, şu an ince gözenekli difüzörlerin kullanımı daha fazladır. Bunun başlıca sebebi kaba kabarcıklı difüzör sistemiyle aynı SOTR değerini bu sistemin en az yarısı kadar güçle sağlayabilmesidir [32]. Resim 4.11’de boş bir havalandırma havuzunda konumlandırılması gösterilen ince gözenekli disk difüzörlerin su altında çalışması Resim 4.12’de gösterilmiştir.



Resim 4.11. Difüzörlü havalandırma sisteminde ince gözenekli disk difüzörler [33]



Resim 4.12. İnce gözenekli disk difüzörlerin çalışması [34]



Resim 4.13. İnce gözenekli difüzörlerde (a) geniş bazda ve (b) tam kat kaplama [33]

Resim 4.13’de görüldüğü gibi ince gözenekli difüzörlerde iki çeşit kaplama yapılabilir. Geniş bazda kaplamada su sirkülasyon hücreleri büyük olur. Bu da yüksek su hızı ve yüksek pompa güçleri gerektirir. Bu sistemde kabarcıkların süresi minimumdur. Bir diğer kaplama türü olan tam kat kaplamalı sistemlerde ise su sirkülasyon hücreleri küçüktür ve yine aynı şekilde küçük su hızları ve küçük pompa güçleri gerektirir. Tam kat kaplamalı difüzörlerde kabarcık süresi ise maksimumdur. Difüzörlerin havalandırma havuzu içerisinde mümkün olduğu kadar üniform yani tam kat kaplamalı şekilde yapılması sistemi ciddi manada daha verimli yapar. Bu yüzden de ince gözenekli difüzör kullanılacak proseslerde tam kat kaplama tercih edilmelidir.

Örneğin tam kat kaplamalı ince gözenekli bir difüzör sisteminde %3/m kadar yüksek SOTE sağlanabilirken, spiral rulo şeklinde döşenmiş kaba kabarcıklı bir difüzör sisteminde SOTE %1/m’ye kadar düşebilir [26].



Resim 4.14. Kirlenmiş difüzörler [33]

Resim 4.14 Bir havalandırma havuzunun susuzlaştırıldıktan sonraki difüzör sisteminin görüntüsüdür. Resim 4.15 ise difüzörlerin temizlendikten sonraki durumudur. İnce gözenekli difüzörlerde kalın kabarcıklı difüzörlerin aksine, difüzörlerin bakım, temizlik vb. işlerinin yapılabilmesi için havalandırma havuzunun boşaltılması gereklidir. Bu da bu sistemlerin en büyük dezavantajlarından birisidir.



Resim 4.15. Temizlenmiş difüzörler [34]

Resim 4.16’da görüldüğü üzere ince gözenekli bir difüzörlü havalandırma sistemine karıştırıcılar koyularak türbülansın artırılması ve su içinde kabarcık birikiminin sağlanması amaçlanmıştır.



Resim 4.16. Örnek bir tesiste ince gözenekli difüzörler ve karıştırıcıların konumu

Ülkemizde ve dünyada ince gözenekli difüzörlerin kullanılmasındaki en büyük problem bakımları ve sık tıkanmalarıdır. Bu yüzden kalın kabarcıklı difüzör sistemlerine kıyasla yüksek SOTE’lere sahip olmalarına rağmen uygulamadaki bu probleminden dolayı kullanımları istenilen derecede yaygınlaşmamaktadır [35].

İnce gözenekli difüzörlerin üretildiği malzemeler şunlardır [26];

❖ Seramik: Düşük işletme basıncında çalışıp, düşük işletme maliyeti ve yüksek sermaye maliyetine sahiptirler. Sürekli hava beslemesi gereksinimi vardır. En büyük artısı atıksudan etkilenmemesidir. Ancak tıkanıklık ve hata potansiyeli her zaman mevcuttur.

❖ Membran: EPDM ve diğer materyallerden oluşurlar ve yüksek basınçta çalışabilirler. Yüksek işletme maliyeti ve düşük sermaye maliyetine sahiptirler. Atıksu etkileri bu türlerde fazla görülür (ömrünü bitirebilir). Kirlenme ve tıkanma mümkündür.

- ❖ Sinterlenmiş plastik boncuk ve granüller,
- ❖ PVC: Artık kullanılmamaktadır.
- ❖ Poliüretan: Kullanımı hemen hemen bitmiştir.
- ❖ EPDM: Kauçuk– etilen propilen dien monomer,
- ❖ Silikon

Yukarıda bahsi geçen malzemelerin kendi içinde avantajları ve dezavantajları vardır. Bunları şu şekilde açıklayabiliriz [26]:

❖ Organik maddeler atıksuyla etkileşime girebilir. Çözücüler absorbe edilirse şişme olabilir. Eğer bileşenlerini atıksu içine aktarırlarsa bu malzemelerde sertleşme veya çekme olabilir.

❖ PVC'nin şiddetli daralma ve sertleşme sorunları olup bu yüzden hemen hemen tüm pazarlardan çıkmıştır.

❖ EPDM bir harmandır. Dolayısıyla her üretici her zaman özel bir formülle eşsiz bir karışım sağlayabilir ve karşılaştırma yapmak da zordur.

❖ Silikon, Amerika Birleşik Devletlerinde az kullanılmaktayken, daha çok Avrupa'da kullanılır. Silikon ile ilgili en net sonuç bu malzeme hakkında daha az genel deneyim olduğudur.

❖ Seramik difüzörler 70 yıldan fazla süredir kullanılmakta olmasına rağmen ağırdırlar ve genellikle daha pahalı bir borulama sistemi gerektirirler. (Özellikle seramik tüp difüzörler)

İnce gözenekli difüzörlerde kullanılan malzemelerin boyutları ise genellikle şu şekildedir [26]:

- ❖ 170 mm çaplı seramik kubbeler,
- ❖ 220 mm veya 170 mm çaplı seramik diskler,
- ❖ 220 mm, 170 mm veya daha fazla çapta membran diskler,
- ❖ 50 mm çaplı 360 mm uzunluğunda seramik tüpler,
- ❖ 50 mm ile 100 mm çapta ve 360 mm ile 720 mm uzunluğunda membran tüpler,
- ❖ Genellikle poliüretan, 1 m genişliğinde, 4 m uzunluğunda membran paneller,
- ❖ Genellikle poliüretan, 20 mm genişliğinde, 4 m uzunluğunda membran şeritler,
- ❖ Genellikle özel uzunluk ve çaplar için membran tüp ve şeritler.



Resim 4.17. İnce gözenekli 5 farklı tüp difüzör [34]

Resim 4.17’de görülen difüzörler sırasıyla; EPDM tüp, PVC tüp, Seramik tüp, EPDM tüp ve sinterlenmiş plastik tüptür.

İnce gözenekli difüzörlerin sahip olduğu avantajlar şunlardır [34]:

- ❖ Yüksek OTE gösterirler. (Birim enerji girdisi ile suya en yüksek miktarda oksijen transferi sağlar.)
- ❖ Yüksek havalandırma verimlilikleri gösterirler. (Birim zamanda birim güç başına aktarılan kitle oksijen)
- ❖ Yüksek oksijen taleplerini karşılayabilirler.
- ❖ Tesisin kapasitesinin artacağı durumlara kolayca adapte olabilirler.
- ❖ Kalın kabarcıklı difüzörler veya mekanik havalandırıcılara göre en az uçucu organik bileşikler bile atıksudan ayırabilirler.

İnce gözenekli difüzörlerin dezavantajları ise şunlardır [34]:

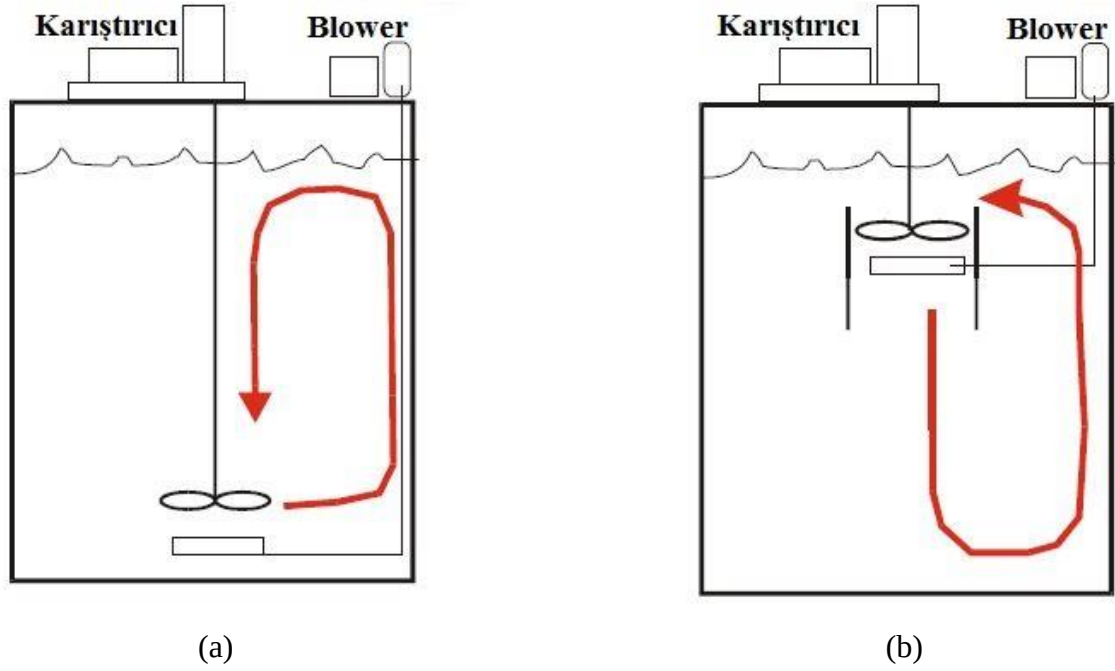
- ❖ Transfer verimliliğini etkileyen ve basınç kayıplarına neden olan kimyasal veya biyolojik kirlenmelere duyarlıdır. Sonuç olarak rutin bakım gerektirirler.
- ❖ Atıksu içeriğine göre uygun malzemelerin seçilmesi gerekir. Çünkü ince gözenekli difüzörler kimyasal kirlenmelere duyarlıdır.
- ❖ Düşük hava akım oranlarında bile yüksek verim gösterdiklerinden dolayı hava akımı dağılımı performanslarında önemlidir. Bu yüzden uygun hava akımı kontrol orifisi seçmek önemlidir.
- ❖ Havalandırma havuzu temizliği ve difüzörlerin bakımı zordur ve rutin bakım gerektirirler. Bu da personel sayısında sıkıntısı bulunan yerel yönetimler için işletmede zorluklar meydana getirir.

4.1.3. Kombine türler (Difüzörler ve mekanik kesme)

Küçük delikler kullanmadan ince kabarcıklar oluşturmak için kombine kabarcıklar ve mekanik enerji kullanan havalandırma tipidir. Kalın kabarcıkları pervane yardımıyla ince kabarcıklar şeklinde kesmekte olup, çalışma prensibi Resim 4.18’de gösterilmiştir.

Sıkıştırılan havanın, döner pervaneli atıksu içerisinde bulunan fan vasıtasıyla havuz içine dağıtılmasıyla aynı anda hem oksijen transferi hem de karışım sağlanır. Blower tarafından üretilen hava borulama sistemiyle prosese aktarılırken, fan aracılığıyla da havuz içinde dağıtımı yapılır.

Türbinlerin Resim 4.18'deki gibi iki ana tipi vardır. Soldaki türbin; kabarcıkları serpmelerden duvara doğru kırmak için pervaneyi kullanır. Sağdaki aşağıya akımlı türbin ise kabarcıkları havuzun dibine taşımak için aşağı akışkan hızını kullanır [26].



Resim 4.18. Türbinlerden (a) pervanesi dipte ve (b) pervanesi yüzeye yakın modeller [26]

Türbinler yaygın olarak yeni nesil arıtma tesis tasarımlarında kullanılmakla beraber endüstriyel tasarımlarda yaygın değildir. Bunun sebebi hem difüzör sistemi hem de karıştırıcılardan oluşmakta olup, bundan dolayı yüksek maliyetli olmasıdır.

Türbinler yüksek SOTE'ye sahiptirler ama SAE bakımından genellikle düşük hızlı yüzeysel havalandırıcılardan düşüktürler. (Bkz. Çizelge 3.4) Bunun sebebi havalandırma havuzunda iki çekiciyle (blower motoru ve karıştırıcı motoru) ilişkili olmalarıdır.

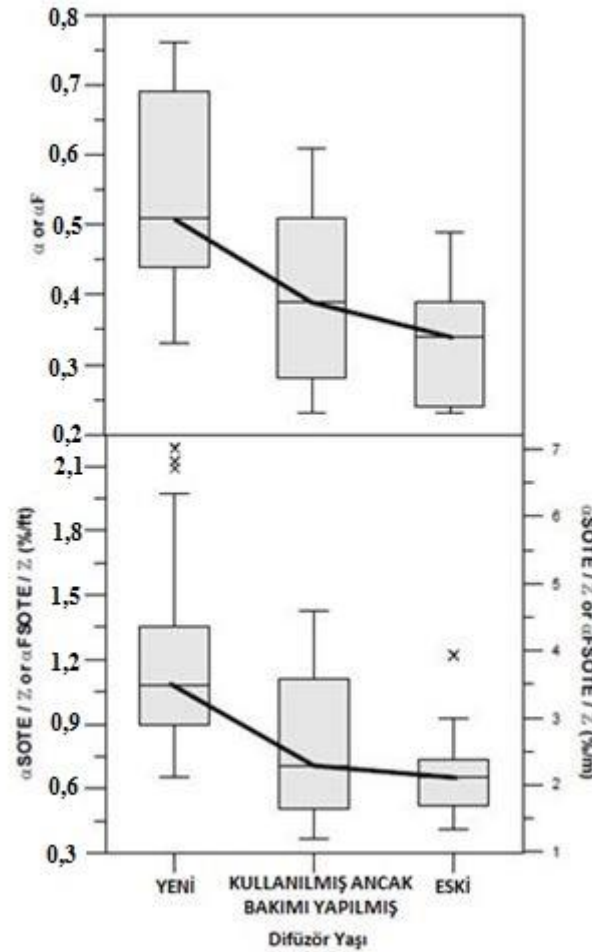
Sonuç olarak türbinler ince kabarcıklar üretirler ve ince gözenekli difüzörler gibi düşük alfa faktörlerine sahiptirler. Kirlenme problemleri de yoktur. En önemli avantajları da türbin havalandırıcıların suyu karıştırarak homojen bir şekilde tutabilmesidir [36].

4.1.4. Difüzör bakımları

Kaba kabarcıklı difüzörler az bakım gerektirirler. Sisteme beş veya daha fazla yıl bakım gerektirmeden yükleme ve çalışma yaptırılabilir. Bakım gerektiren problemleri; boru ve difüzörlerdeki korozyon ile çizgi kırılmasıdır. Nadiren de orifisler çok büyük olduğundan difüzör takma problemleri de olabilir.

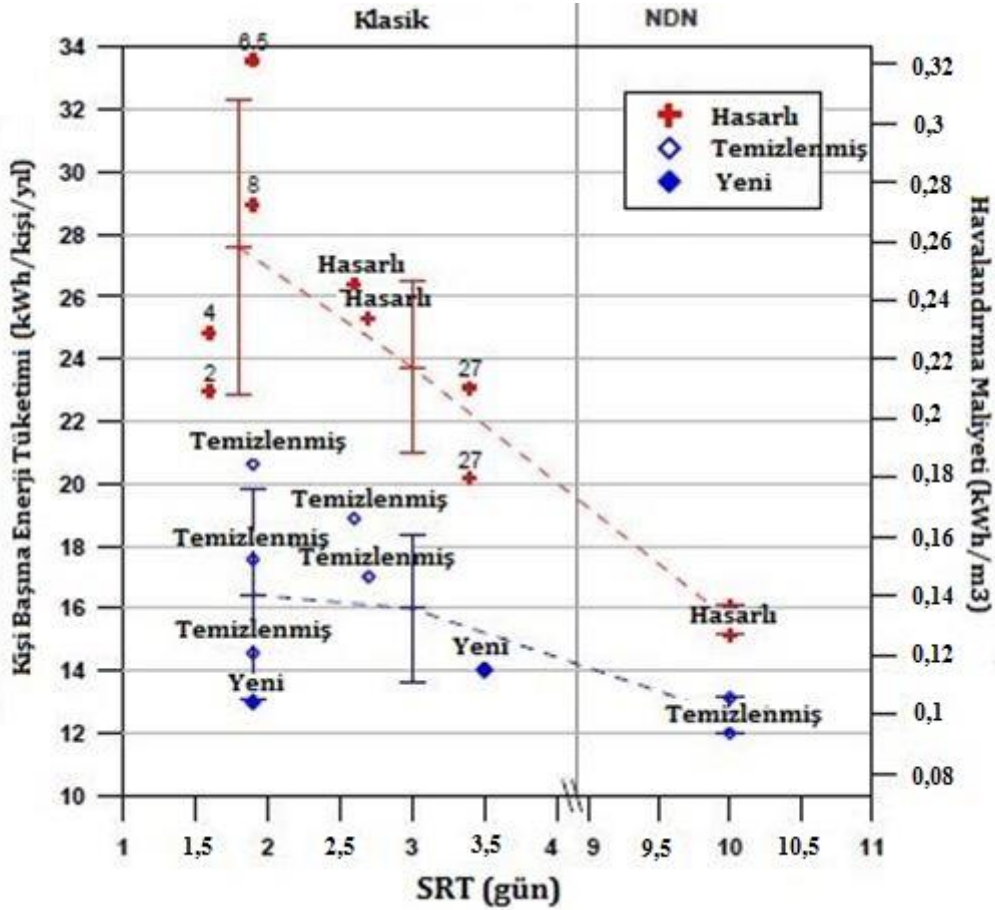
İnce gözenekli difüzörler ise daima temizlik gerektirir. Bu temizlik süresi spesifik olabilir ama genellikle 6 ayla 2 yıl arasında değişir. Difüzörleri temizlemek için havuzların boşaltılması gereklidir. Ayrıca temizlik sırasında bir haftaya yakın boş duran havalandırma havuzlarında ciddi oranda da bitki yükü oluşur.

İnce ve kaba difüzörler arasındaki seçim genellikle tesisin difüzörleri temizleme yeteneğine bağlıdır. Eğer tesisi temizleme imkanı pek mümkün değilse ince gözenekli difüzörler uygun bir seçim olmaz.



Şekil 4.1. Difüzör yaşlanması fonksiyon örneği [26]

Şekil 4.1'den de görüldüğü gibi yeni difüzörlerin α faktörü daima büyüktür. Yani atıksudaki oksijen transfer verimliliği temiz sudaki değerlerine yakındır. Ancak kullanılmış veya eski difüzörlerde alfa faktörü ve difüzörlerde kirlenme faktörüne bağlı alfa faktörü düşüktür. Bunların sonucunda da alfa faktörlü metre başına standart oksijen transfer verimi ($\alpha SOTE / z$) eski difüzörlerde düşük olur.



4.1.5. Difüzörlerde basınç düşmesi

Hem kaba hem de ince gözenekli difüzörlerde basınç düşmesi mevcuttur. Dağınık hava sisteminin işletme basıncı difüzörlerin düşeydeki konumlarının sudaki hidrostatik basıncıdır ve difüzör basınç düşüşü; borulardaki basınç düşümünü içerir. Bir difüzördeki basınç düşüşü; dinamik yaşı basınç (DYB) olarak adlandırılır.

Kaba kabarcıklı difüzörler genellikle çok düşük olan 5–10 mbar arasında DYB'ye sahiptirler. İnce gözenekli difüzörler ise 15–30 mbar arasında DYB'ye sahip olabilirken, membran cihazlar 45 mbar kadar yüksek DYB'ye sahiptirler [26]. Üretici firmalar bu değerleri difüzörleri temiz suda test yaparken belirlerler.

Hasarlı difüzörlerde hava basınç kayıpları çok olacağından bu difüzörler daha fazla DYB'ye sahiptirler. Difüzörler çok yüksek değerlerde hasarlıysa birçok istenmeyen sonuçlar ortaya çıkabilir. Eğer difüzörler membran tipteyse; basınç güvenli sınırların çok ötesinde artar ve santrifüj blowerlar dalgalanma yapabilir. Pozitif deplasmanlı blowerlar ise aşırı yüklenebilir ve yanabilir. Yani difüzörlerin hasarlı olduğu her durumda difüzörlerin aktarım hızları azalır ve sonuçta arıtma tesisinin nominal kapasitesini koruması mümkün olmaz.

4.1.6. Difüzör performansı

Poroz (ince gözenekli) difüzörler ince ve orta büyüklükte hava kabarcıkları oluşturabilmek için kullanılırlar. Bu difüzörler havalandırma havuzunda iyi bir karışım yaratırlar ve değişken hava debisi ile işletimde elastikiyet sağlayabilirler. Poroz difüzörlerin tıkanma ihtimallerine karşı üfleyicilerde hava filtresi kullanılmalıdır.

Poroz olmayan (kaba kabarcıklı) difüzörler; kabarcık kutularından, nozullardan, vanalardan veya orifislerden üretilirler. Büyük hava kabarcıkları oluştururlar. Tıkanma sorunları olmayıp, bu yüzden bakım masrafları ince gözenekli difüzörlere göre düşüktür.

Tüp difüzörler ise oldukça iyi bir hava-su teması sağlarlar. Montaj kolaylığına sahip olmaları en büyük avantajlarıdır. Fakat tüm havuz içerisinde Resim 4.19'daki gibi homojen bir karışım yaratamazlar. Yüksek hızlı biyolojik süreçlerde uygulanabilirliği düşüktür.



Resim 4.19. Su altındaki t p difüzör [33]

Oksijen transfer verimi; difüzörün tipine, boyutuna ve biçimine; hava debisine; difüzör batma derinliğine; havuz geometrisine; ana borunun ve difüzörlerin konumuna ve atıksuyun özelliklerine bağlı olup değişik tiplerdeki difüzörler için belli bir hava debisi aralığında SOTE değerleri  izelge 4.1’de gösterilmiştir. Örneğin  izelge 4.1’e göre rijit poroz plastik tüplerden oluşturulmuş ve tekli spiral şeklinde havuz tabanına d  enmi  bir sistemde 4,5 m’deki SOTE %13-25 aralığında iken, poroz olmayan difüzörlerden tekli spiral şeklinde havuza d  enmi  bir sistemde bu değer %9-12 aralığındadır.

Çizelge 4.1. Değişik tip difüzörlerin temiz su için oksijen transfer verimleri [4]

Difüzör tipi ve yerleşimi	Hava debisi (m³/dakikaxdifüzör)	4.5 m'de SOTE (%)
Seramik diskler, grid	0,012 – 0,102	25 - 40
Seramik kubbeler, grid	0,015 – 0,075	27 - 39
Seramik plakalar, grid	0,060 – 0,150 *	26 - 33
Rijit poroz plastik tüpler		
Grid	0,072 – 0,120	28 - 32
İkili spiral yuvarlak	0,090 – 0,330	17 - 28
Tekli spiral yuvarlak	0,060 – 0,360	13 - 25
Rijit olmayan poroz plastik tüpler		
Grid	0,030 – 0,210	26 - 36
Tekli spiral yuvarlak	0,060 – 0,210	19 - 37
Perfore membran tüpler		
Grid	0,030 – 0,120	22 - 29
Çeyrek noktalar	0,060 – 0,180	19 - 24
Tekli spiral yuvarlak	0,060 – 0,180	15 - 19
Jet havalandırma, kenar	1,620 – 9,000	15 - 24
Poroz olmayan difüzörler		
İkili spiral yuvarlak	0,100 – 0,300	12 - 13
Orta genişlik	0,126 – 1,350	10 - 13
Tekli spiral yuvarlak	0,300 – 1,050	9 - 12
Not :SOTE temiz su, 101 kN/m ² basınç, 20 °C sıcaklık ve 0 mg/l başlangıç çözünmüş oksijen konsantrasyonu içindir. * : m ³ /m ² difüzörxdakika		

Poroz difüzörlerde tıkanma veya birikmeler olacağından dolayı bu difüzörlerin oksijen transfer verimleri (OTE) zamanla azalır. Blowerlerde hava filtresi kullanılmazsa havadaki kirletici faktörlerden dolayı tıkanma problemleri olabilir. Difüzörlerde biyofilm oluşumu ya da inorganik maddelerin çökelmeleri sonucunda da birikim oluşabilir. Birikim hızı atıksu özelliklerinin değişimine, işletme koşullarına ve difüzörlerin kullanıldığı süreye bağlıdır. Birikim hızı OTE'deki azalmanın ve temizleme periyodunun belirlenebilmesi için önemlidir. Birikim;

- (a) bir süre boyunca OTE testinin tam olarak yapılmasıyla,
- (b) havalandırma ekipmanları veriminin takibiyle ve
- (c) üzerinde birikinti oluşmuş yeni difüzörlerde OTE testinin yapılmasıyla tahmin edilebilir [4].

Havalandırma havuzlarında giderilen birim BOİ başına kullanılan hava miktarı tesisler arasında büyük değişim gösterdiğinden, oksijen transfer verimlerinin tesisler arasında karşılaştırılması doğru değildir. Çünkü, kullanılan hava miktarı yanında, organik yükleme hızları, tesisi kontrol kapasitesi ve işletme yöntemleri de tesisler arasında aynı değildir. Havuzun bir bölümüne ihtiyacından fazla hava verilirse; oksijen transfer verimi azalır ve bu da havalandırma havuzunda kısa döngüler oluşturarak net transfer hızının düşmesine sebep olur. Bu sebeple de ortaya çıkacak büyük kabarcıklar havuzda istenilen sürede kalamayacak ve gerekli havalandırmayı yapamadan çabucak yüzeye çıkacaklardır [4].

4.1.7. Difüzörlü havalandırma sisteminde hesaplar

Oksijenlendirme kapasitesi

Difüzörlü havalandırma sistemlerinin, oksijenlendirme kapasiteleri Eş. 4.3 ile bulunabilir [17]:

$$O_{CH} = \frac{(RO_{H,TOPLAM})(C_{Sd,10})(k_D)}{(\sigma)(C_{ST}-C_L)} \quad (4.3)$$

Burada,

O_{CH} : Aktif çamur süreci için oksijenlendirme kapasitesi (kg O_2 /saat),

$RO_{H,TOPLAM}$: Toplam oksijen gereksinimi (kg O_2 /saat),

$C_{sd,10}$: 10°C'deki saf suda çözülmüş oksijen doygunluk konsantrasyonu (Yaklaşık değeri 11,33 mg/l'dir.),

k_D : Sıcaklık için difüzyon katsayıları ile çözülmüş oksijen doygunluk konsantrasyonu düzeltme faktörü,

σ : Saf su-atıksu çözülmüş oksijen doygunluk konsantrasyonu düzeltme faktörü (= 0,80),

C_{ST} : T(°C)'deki saf suda çözülmüş oksijen doygunluk konsantrasyonu (mg/l) ve

C_L : Havalandırma havuzundaki minimum çözülmüş oksijen konsantrasyonu (= 1-2 mg/l).

Düzeltilme faktörü

Sıcaklık için difüzyon katsayıları ile çözülmüş oksijen doygunluk konsantrasyonu düzeltme faktörü değeri arasındaki bağıntı Eş. 4.4'teki gibidir [22]:

$$k_D = \sqrt{\frac{D_{10}}{D_T}} \quad (4.4)$$

Burada,

D_{10} ve D_T : Sırası ile oksijenin 10 ve T(°C)'deki difüzyon katsayılarıdır.

Havalandırma debisi

Havalandırma debisi Eş. 4.5 ile bulunabilir [22]:

$$AR = \frac{(100)(OC_h)}{(CA)(A)} \quad (4.5)$$

Burada, CA; Havadaki oksijen konsantrasyonunu (=0,28 kg O_2 /m³ hava), A ise absorpsiyon oranını ifade etmektedir.

Difüzörlerde borulama

Difüzörlü havalandırma sisteminde boruların çaplarını belirlemek için hava akım hızı kullanılır. Hava debisini kontrol etmek için vanalara ihtiyaç duyulur. Boru çapları ile akım hızları arasındaki ilişki Çizelge 4.2’de gösterilmiştir. Üfleyicilerin çıkışındaki hava sıcaklığı çok yüksek (65 ile 80°C) olduğundan, su ile herhangi bir teması olmayan hava borularının içerisinde yoğunlaşma sorunu olmayacaktır [4]. Ancak yine de boruların genişleme ve sönümlemeleri ihmal edilmemelidir. Poroz difüzörlerin bulunduğu sistemlerde borular; tıkanma, birikim ve korozyona karşı korunmalıdır. Bu yüzden difüzörlü havalandırma sistemlerinde borular PVC, paslanmaz çelik ya da fiberglastan üretilmelidir.

Çizelge 4.2. Hava borularının çaplarına bağlı olarak hava akım hızları [4]

Boru çapı (cm)	Hava akım hızı (m/dakika)
2,5 – 7,5	360 – 540
10 – 25	540 – 900
30 – 60	810 – 1 200
75 – 150	1 140 – 1 950

Güç

Sisteme verilen Brüt Güç Eş. 4.6 ile bulunabilir [22]:

$$N_g = \frac{(P)(AR)}{(3600)(e_b)} \quad (4.6)$$

Burada,

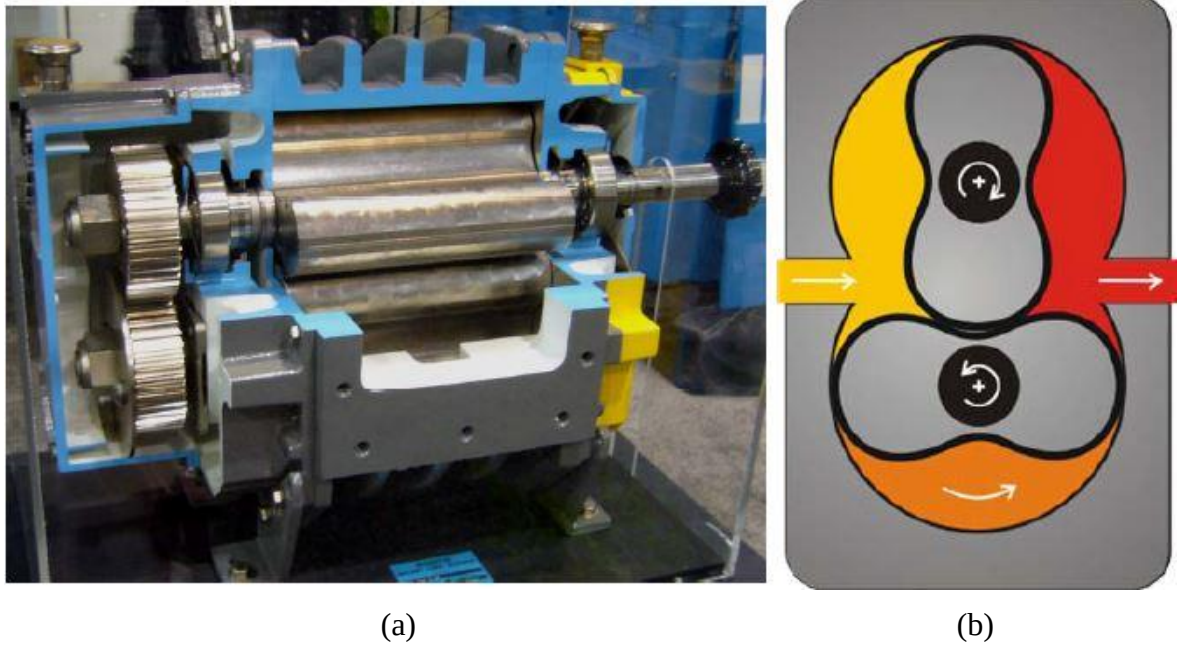
N_g : Sisteme verilen brüt güç (W),

e_b : Blower verimi (0,50 – 0,80), AR ise havalandırma debisidir (m³hava / saat).

4.1.8. Difüzörlü Sistemlerde Kullanılan Blowerların Seçimi

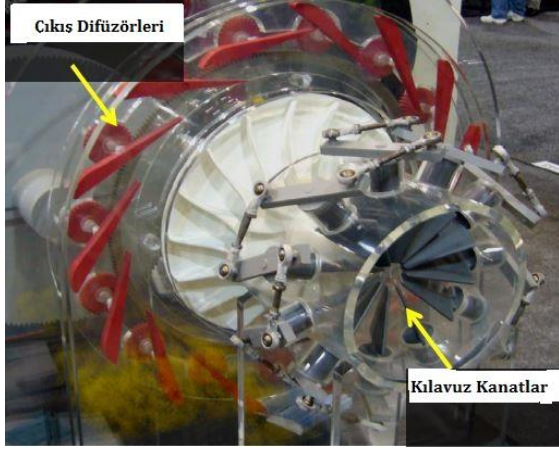
Blowerlar su altı havalandırma sistemlerinde difüzörlere hava vermek için kullanılan ekipmanlardır. Pozitif deplasmanlı (PD), santrifüj ve turbo tipte olmak üzere üçe ayrılırlar.

Resim 4.20’de örneği ve çalışma prensibi gösterilen pozitif deplasmanlı blowerlar genelde küçük tesisler ($85 \text{ m}^3/\text{dak}$ ’nın altındaki birim kapasitelerde) için kullanılırlar ve %45-60 verimliliğe sahiptirler. Yüksek basınçlı tesislerde kullanılırlar [26]. PD blowerlar genellikle sabit akışlarda, değişken basınç cihazlarında uygundur.



Resim 4.20. Pozitif Deplasmanlı Blower (a) görünüşü ve (b) çalışma prensibi [26]

Resim 4.21’de görülen santrifüj blowerlar ise genellikle büyük kapasiteli tesislerde ($85 \text{ m}^3/\text{dak}$ ’nın üstündeki birim kapasitelerde) kullanılırlar. Santrifüj blowerlar giriş kılavuz kanatları ve çıkış difüzörleriyle %80’e yaklaşan verimliliklere sahiptir [26]. Ayrıca; kanatlar ve çıkış difüzörleri; blower fan akış oranlarının daha geniş bir yelpazede olmasına imkan verir. Bu da blowerlara daha fazla açma ve kapama olanağı sağlar. Santrifüj blowerlar sabit basınçlı değişken akış içeren sistemlerde kullanılırlar. Basınçlarını değiştirmek zordur. Fakat Resim 4.21.a’da da görüldüğü gibi yeni nesil santrifüj blowerlarda daha geniş çalışma aralığı sağlayan kılavuz kanatlar ve çıkış difüzörleri vardır.



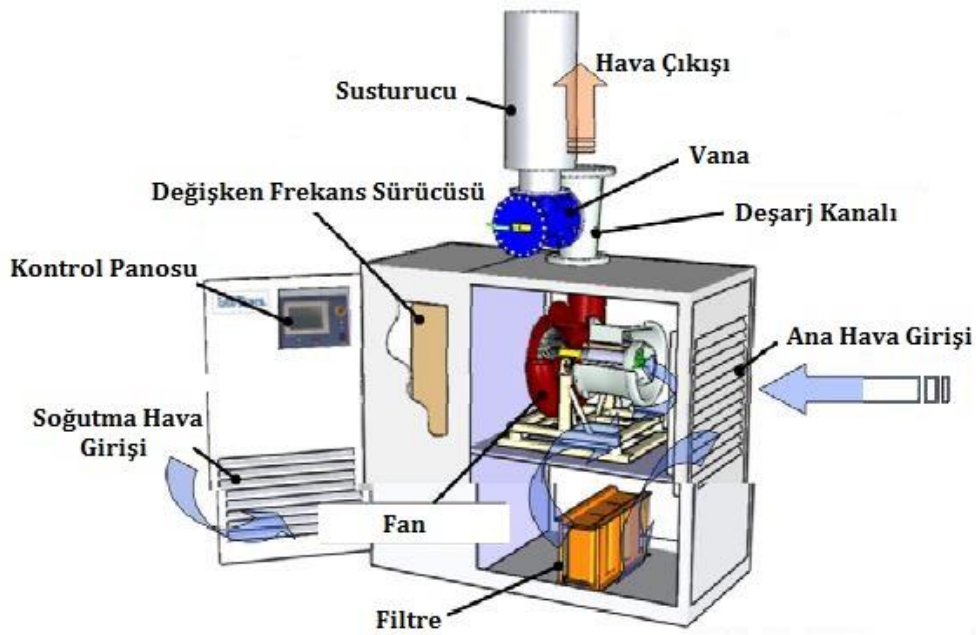
(a)



(b)

Resim 4.21. Santrifüj blowerların (a) iç yapısı ve (b) dış görünüşü [26]

Büyük kapasiteli atıksu arıtma tesislerinde aynı kapasitede birden çok sayıda blower kullanılması işletimdeki esnekliği engellemesinin yanı sıra fazladan enerji tüketimine sebebiyet verir. Bu sebeple, ortalama veya daha az debilerdeki atıksuda bulunan kirlilik yükleri için gerekli havayı temin edecek şekilde farklı kapasitede ve sayıda “blower”lar kullanılmalıdır. Atıksu arıtma tesisi için yapılacak difüzörlü bir havalandırma sistemi için gerekli oksijeni sağlayacak “blower”ları seçebilmek için özellikle ortalama veya daha az debideki gerekli olan hava debisinin belirlenmesi gereklidir.

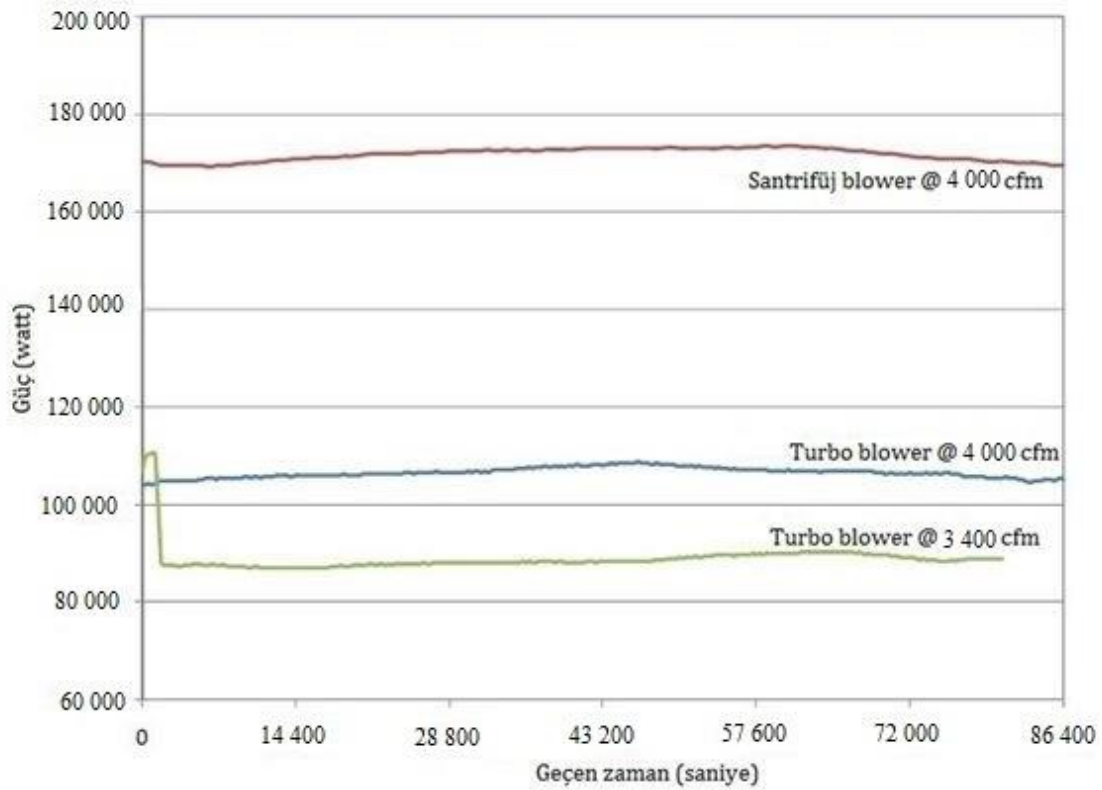


Resim 4.22. Paket bir turbo blower sistemi donanımı [37]

Resim 4.22 ile gösterilen turbo blowerlar, 20 000 rpm’ den 40 000 rpm’ye kadar yüksek hızlarda çalışabilirler. Minimum bakım, güç tüketimi, kurulum kolaylığı ve düşük sekte çalışabilmeleri en önemli avantajlarıdır. Ayrıca Çizelge 4.3’ten de görüldüğü üzere blowerlar içerisinde en verimli olan tiplerdir. Yine Şekil 4.3 ile de, aynı debide (4 000 cfm) hava veren “blower”lardan turbo blowerların santrifüj tiptekilere göre çok daha az güç tükettikleri görülmektedir. Turbo blowerlarda debi düştükçe tüketilen güçte düşer. Örneğin 3 400 cfm’de 85 000 watt tüketen bir turbo blower 4 000 cfm’de 11 000 watt güç tüketir.

Çizelge 4.3. Blower verimlerinin karşılaştırılması [26]

Blower Tipi	Verim
Tek Aşamalı Santrifüj Blower	%65 - %80
Çok Aşamalı Santrifüj Blower	%60 - %75
Pozitif Deplasmanlı Blowerlar	%45 - %60
Turbo Blowerlar	%70 - %85



Şekil 4.3. Değişen hava akımlarının altında blowerlar için güç tüketim verileri [37]

Bir difüzörlü havalandırma sistemi için seçilecek "blower"ın gücü,

$$N_B = \frac{(W)(R)(T)(P_2^n)}{(29.7)(n)(e_b)(P_1^n)} - 1 \quad (4.7)$$

eşitliği ile hesaplanabilir. Burada [22];

N_B : Blower gücü (kW),

w: Kütlesel hava debisi (kg/sn),

R: Evrensel gaz sabiti (= 8 314 kJ/k mol.°K),

T: Mutlak giriş sıcaklığı (°K),

n: Sabit (hava için 0,283) ve

e_b : Blower verimi (= 0,7 – 0,9)

Blowerlar için en önemli husus atıksu arıtma tesislerinde geniş bir hava debisi ve düşük basınç aralığıyla çeşitli iklimsel ve çevre koşullarında çalışabilmesidir.

Blower özellikleri standart hava koşullarında tanımlanır. (20°C, 760 mm cıva basıncı ve %36 nem oranı). Standart havanın özgül ağırlığı 1,2 kg/m³'dür. Havanın özkütlesi santrifüj blowerların çalışmasına etki eder. Ayrıca giriş hava sıcaklığı veya atmosfer basıncındaki farklılık, sıkıştırılan havanın özkütlesini etkiler. Gaz yoğunluğu arttıkça basınç da artar ve böylelikle sıkıştırma için daha fazla enerji gerekir. Blower seçerken dikkat edilmesi gereken bir diğer hususta, blowerın sıcak yaz aylarında gerekli kapasiteyi sağlaması, soğuk kış aylarında da gerekli gücü sağlayacak şekilde olmasıdır [38].

Çizelge 4.4. Blower güç tüketimlerinin karşılaştırılması [37]

Şartlar	Ortalama Güç Çekiş (kWh)	Yıllık Ortalama Güç Tüketimi (kWh / yıl)	Tahmini Yıllık Güç Maliyeti (0,20 TL / kWh)
Santrifüj Blower (4000 cfm devirde)	172	1 500 000	300 000 TL
Turbo Blower (4000 cfm devirde)	109	920 000	184 000 TL
Turbo Blower (3400 cfm devirde)	89	780 000	156 000 TL

Çizelge 4.4 oluşturulurken yıllık ortalama güç tüketimleri Şekil 4.3'ten alınmış ve ortalama güç tüketimlerine dayanılarak tahmini olarak düşünülmüş, ayrıca mevsimsel havalandırma ihtiyaçları göz ardı edilmiştir. Çizelge 4.4'ten görüldüğü üzere aynı hava debisinde (4 000 cfm) çalışan santrifüj ve turbo blower arasında işletme maliyeti açısından çok büyük fark vardır. Turbo blowerların yıllık maliyet açısından üstünlükleri burada ortaya çıkmıştır.

4.2. Mekanik Havalandırıcılar (Yüzeysel Havalandırıcılar)

Mekanik havalandırıcılar, havalandırma havuzundan aldığı suyu etrafa püskürterek oksijen transferini ve aynı anda da havuz içinde karışımı sağlarlar. Mekanik havalandırıcılar yatay milli veya düşey milli olmak üzere ikiye ayrılırlar.

4.2.1. Düşey milli yüzeysel havalandırıcılar

Düşey milli havalandırıcılar havalandırma havuzundaki atıksu seviyesinin sabit veya değişken olduğu durumlarda kullanılabilir. Atıksu seviyesinin sabit olduğu yerlerde sabit tip, değişken seviyedeki atıksularda ise dubalı olan yüzer tip kullanılır.

Yüzeysel havalandırıcılar; tamamı veya bir kısmı su altında bulunan pervane ve bu pervanenin bağlı olduğu motor, redüktör ve milden oluşmaktadır. Düşey milli olarak adlandırılmasının sebebi motor ve mil arasındaki bağlantının düşey şekilde olmasındandır. Oksijenlendirmeyi havalandırma havuzunda homojen yapması istenen yüzeysel havalandırıcılar için istenen havuz derinliği ve genişliği Çizelge 4.5'te verilen havalandırıcı özelliklerine bağlıdır. Bu havalandırıcılar 6 m'ye kadar derinliğe sahip havalandırma havuzlarında kullanılabilirler.

Çizelge 4.5. Yüzeysel havalandırıcıların gücüne bağlı olarak havuz boyutları [39]

Havalandırıcı gücü (kW)	Derinlik (m)	Genişlik (m)
7,5	3,0 – 3,6	10,0 – 12,0
15,0	3,6 – 4,2	10,5 – 15,0
22,5	3,9 – 4,5	12,0 – 18,0
30,0	3,6 – 5,1	13,5 – 19,5
37,5	4,5 – 5,4	13,5 – 22,5
56,0	4,5 – 6,0	15,0 – 25,5
75,0	4,5 – 6,0	18,0 – 27,0

Yüzeysel havalandırıcı etrafındaki havadan absorbe edilen oksijen kütlesini ölçmenin bir yolu yoktur. Bu yüzden bu sistemlerde SOTE ve OTE değerleri kesin olarak belirlenemez. Sadece SAE ve AE verimlilikleri belirlenebilir.

Yüzeysel havalandırıcılar pervane tipine (santrifüj, dönel) veya pervane dönüş hızına (düşük hızlı, yüksek hızlı) göre gruplandırılırlar. Düşük hızlı olanlar santrifüj tiplilerdir. Yüksek hızda çalışanlar ise dönel tiptekilerdir. Yüzeysel havalandırıcıların gücü 0,75- 100 kW aralığındadır [40].

Santrifüj tiplerde yani düşük hızlı yüzeysel havalandırıcılarda pervanenin bağlı olduğu motorda devir düşürücü bulunur. Mekanik havalandırma türleri içerisinde en çok uygulama alanı bulan havalandırıcılar, sabit debili yerlerde kullanılan düşük hızlı düşey milli olanlardır.

Resim 4.23'teki gibi pervanenin, motorun döner kısmına tutturulduğu yüksek hızlı havalandırıcılar ise sabit bir betonarme yapı yapmanın zor olduğu ve su seviyesinin çok değişken olduğu gölet veya lagünlerde kullanılırlar. Örneğin balık üretme çiftliklerinde yüksek hızlı havalandırıcılar kullanılır. Atıksu arıtma tesislerindeki havalandırma havuzlarında su seviyesi sabit olduğundan düşük hızlı havalandırıcılar tercih edilir.



Resim 4.23. Yüksek hızlı yüzeysel havalandırıcılar [26]

Yüksek hızlı yüzeysel havalandırıcılar değişken seviyeli (göl, dere vb.) havuzlarda tercih edilirler. Düşük hızlı yüzeysel havalandırıcıların aksine yüksek hızda çalıştıkları için sabit platformlu yerlerde yani atıksu arıtma tesisleri gibi sabit debili yerlerde kullanılmaz [37]. Dubalar sayesinde su yüzeyinde kalırlar. Dubaya bağlı elektrik motoru ve buna bağlı fan vasıtasıyla emdiği atıksuyu havuz yüzeyine paralel olarak havaya püskürtmesiyle sağlanan atıksu-hava temasıyla havalandırma sağlanır.

Düşük hızlı düşey milli mekanik yüzey havalandırıcılar da yüksek hızlı yüzeysel havalandırıcılar gibi havalandırma ve karıştırma görevini yaparlar. Bu havalandırıcılarda türbin; pervaneyle atıksuyu yardığı alanda maksimum hava türbülansı oluşturarak yüksek oksijen transfer verimi sağlamakta ve aynı zamanda havalandırma havuzunu da devamlı askıda yani karışım halinde tutmaktadır.

Düşük hızlı düşey milli mekanik yüzey havalandırıcılar, yüzeyden emdiği atıksuyu çok küçük parçacıklar halinde atmosfere püskürterek atıksu yüzeyinin sürekli yenilenmesini sağlar ve böylelikle sonsuz defa tekrar eden yeni sıvı-gaz arayüzeyleri meydana getirir [41].

Düşey milli mekanik yüzey havalandırıcıların difüzörlü havalandırma sistemlerine göre; ilk yatırım maliyetleri düşüktür. Ayrıca bu sistemlerde blower binasına gerek duyulmadığından bu konuda arazi ve inşaat maliyeti sıfırdır. Montajı kolaydır. Bir yüzeysel havalandırıcı montajı vinç yardımıyla kısa sürede tamamlanabilir. Sistemdeki gerekli türbülansı da sağlayabildiğinden dalgıç mikser kullanımına gerek kalmaz. Mikserler için gerekli mekanik ve elektriksel donanım ve montaj maliyeti sıfırdır.

Düşük hızlı düşey milli mekanik yüzey havalandırıcıların genel olarak üstünlükleri yüksek pompalama kapasiteleri, büyük hacimlerde mükemmel karıştırma oluşturabilmeleri ve katı süspansiyon sağlayabilmeleridir.



(a)



(b)

Resim 4.24. Düşük hızlı düşey milli (a) mekanik yüzey havalandırıcı ve (b) çalışması [42]

Resim 4.24.a’da görüldüğü gibi sabit platformda düşük hızlı bir yüzeysel havalandırıcı kullanılacak havalandırma havuzunda platform veya köprü dizaynları; shaft ve pervane ağırlıklarından dolayı, eğilme momenti ve titreşim özellikleri dikkate alınarak hesaplanmalıdır. Ayrıca Resim 4.24.b’deki gibi sıçrama etkileri, havalandırma tankının geometrik açıdan uygun dizayn edilmesiyle minimuma indirilebilir.

Çizelge 4.6. Mekanik havalandırıcıların oksijen transfer verimleri (kg O₂/kWh) [39]

Havalandırıcı tipi	Standart şartlarda (a)	Arazi koşullarında (b)
Yüzeysel, düşük devirli	1,20 – 3,00	0,70 – 1,50
Yüzeysel, düşük devirli, yükseltme tüplü	1,20 – 2,80	0,70 – 1,30
Yüzeysel, yüksek devirli	1,20 – 2,20	0,70 – 1,20
Yüzeysel, aşağı emme tüplü	1,20 – 2,40	0,60 – 1,20
Batık türbin, serpicili	1,20 – 2,00	0,70 – 1,10
Batık pervane	1,20 – 2,40	0,70 – 1,10
Yüzeysel, fırça veya bıçak tip	0,90 – 2,20	0,50 – 1,10
(a) : Temiz su, 20 °C sıcaklık, 760 mm Hg basınç, başlangıç ÇO değeri 0,0 mg/l		
(b) : Atıksu, 15 °C sıcaklık, 150 m yükselti, $\alpha = 0,85$, $\beta = 0,90$, ÇO değeri 2,0 mg/l		

Çizelge 3.2 ile mekanik havalandırıcıların tipik α değerlerinin 0,85 civarında olduğu belirtilmişti. Yukarıdaki Çizelge 4.6’da ise mekanik havalandırıcıların standart şartlardaki oksijen transfer verimleri ve 0,85 alfa faktörüne göre arazi koşullarındaki oksijen transfer verimleri gösterilmiştir.

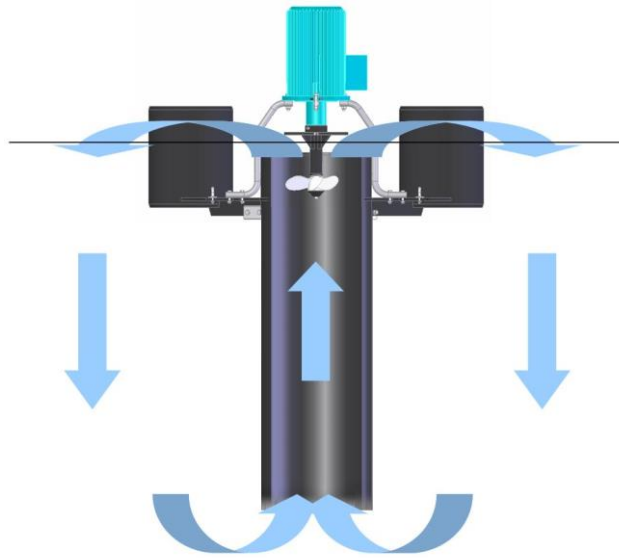
Yüzeysel havalandırıcılar çok iyi buharlaşma sağlarlar ve bu sayede de güzel soğutma yaparlar. Bu özellikleri eğer rüzgar hızı yeterliyse kuru iklimlerde de geçerlidir. Yüzeysel havalandırıcılar aynı şartlar için ince gözenekli havalandırıcılara kıyasla 4°C sıcaklık azalmasına neden olabilir. Bu da kış aylarında nitrifikasyonu korumak için önemli olabilir.

Yüzeysel havalandırıcılar; sıcak iklimlerde ve özellikle petrol rafinerisi arıtmalarında soğutma kapasiteleri nedeniyle sıcaklığın etkilerinden kaçınmak için seçilebilirler.

Yüzeysel havalandırıcılarda güç çekişi pervanenin düşey konumunun bir fonksiyonudur. Dolayısıyla yüksek su seviyeleri bu havalandırıcılarda aşırı yüke sebep olabilir ve motorları yakabilir.

Resim 4.25'te gösterildiği gibi düşük hızlı düşey milli mekanik yüzey havalandırıcıların, daima su yüzeyine yerleştirilmiş pervaneleri bulunmakta olup, bu havalandırıcılar sıvıyı dipten yüzeye doğru düşey yönde hareketlendirirler. Pervanenin dönmesi atıksuya oksijen transfer olanağı vererek sıçrama ve püskürtme oluşturur. Pervane, düşey doğrultuda emdiği atıksuyu havalandırma havuzu yüzeyine paralel olarak püskürtür. Bu esnada doymamış atıksu içerisine doymuş oksijenli atıksu karışır. Bu püskürtmeyle oluşan ince hava kabarcıkları, havuzdaki en dip kısımlara kadar gider ve böylece oksijen transferi gerçekleşmiş olur [39].

Yüzeysel havalandırıcıların bakımları havalandırma havuzu boşaltılmadan da yapılabildiğinden, işletme ve bakım kolaylığı açısından difüzörlü havalandırma sistemlerine göre avantajlıdır.



Resim 4.25. Düşey milli yüzey havalandırıcı çalışma prensibi [43]

Düşük hızlı mekanik yüzeysel havalandırıcı performansını etkileyen faktörler

Düşük hızlı mekanik yüzey havalandırıcıların oksijen transfer verimliliğini etkileyen başlıca faktörler; pervane tipi, pervane hızı, pervane batma derinliği, havuz geometrisi ve yedek karıştırma, akım kırıcılar ve akış borularıdır [44].

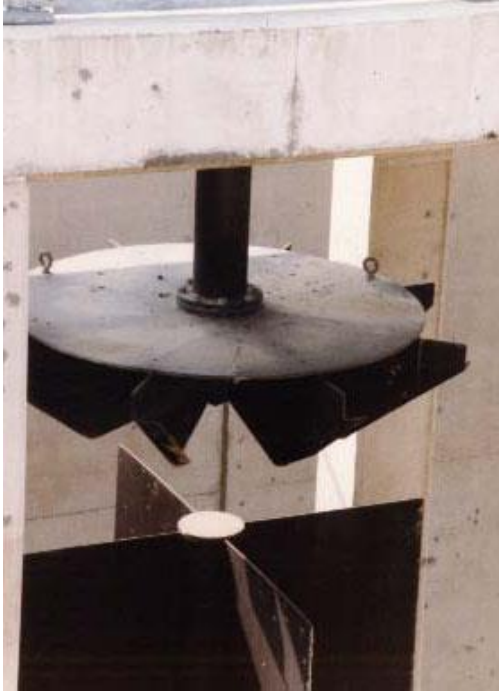
Pervane tipi: Pervanenin karakteristikleri, havalandırıcı performansını etkiler. Havalandırma havuzunda homojen ve efektif karıştırma yapabilmek ve yüksek hava/sıvı yüzeyi oluşturabilmek, atıksuların SOTE değerlerinin geliştirilebilmesi için önemlidir.

Pervane hızı: Bir yüzey pervanesi, kendisinden daha yüksek bir hızda çalıştırılan pervaneye oranla aynı güç girişi için daha düşük hızda daha fazla su pompalar. Böylece, her bir havalandırıcıya bağlı olan hızın önemi, kendi karakteristik ilişkilerini sergileyecektir.

Pervane batma derinliği: Düşük hızlı düşey milli mekanik yüzey havalandırıcılar, su yüzeyine yerleştirilirler ve pervaneleri de suya batmış şekildedir. Pervane atıksuyun ne kadar derininde olursa, o kadar fazla güç gerekecek ve sıvıya daha fazla güç verme ihtiyacı ortaya çıkacaktır. Standart Oksijen Transfer Oranı (SOTR), havalandırıcının batmasıyla artar.

Havuz geometrisi: Havalandırma havuzunun geometrisi, atıksudaki türbülans ve sirkülasyon özelliklerini etkiler. Havuz bu özellikleri sağlayamaya yardımcı olacak şekilde dizayn edilmelidir.

Yardımcı karıştırma, akım kırıcılar ve akış boruları: Yüzeysel havalandırıcıların etkisi, sisteme yardımcı ekipman eklenerek artırılabilir. Karıştırma cihazları, genellikle karıştırma pervaneleri veya akış borularından oluşur. Bu ekipmanlar, sirkülasyonu düzeltebilir ancak SAE üzerindeki etkileri çok azdır [44]. Dairesel veya kare havalandırma havuzlarında akım kırıcı kullanımı, daha büyük türbülans oluşturmak veya eğer kullanılıyorsa mikserlerin yarattığı çevrilerden (girdap) kaçınmak için önemlidir. Ancak girdap etkilerini sadece gereken yerlerde azaltmak için Resim 4.26'daki gibi akım kırıcılar kullanılması uygundur.



Resim 4.26. Akım kırıcılı düşey milli yüzeysel havalandırıcı [45]

Yüzeysel havalandırıcıların kullanılabilmesi için havuz derinliğinin yeterli derinlikte olması gerekir. Bu havalandırıcılar çok sığ sularda havuz tabanına zamanla zarar verir ve zeminden kum, çakıl kopararak suya karıştırır ve bu da havalandırıcılara zarar verir.

Yüzeysel havalandırıcılı sistem tasarımlarında, havalandırıcı etkisini havuz dibinde ulaştırabilmek için havalandırma havuzu yüksekliği ve havalandırıcıların monte edileceği platform veya köprünün dayanımının sağlanabilmesi için diğer havalandırıcılara göre daha fazla mühendislik ve planlama gereklidir.

4.2.2. Yatay milli yüzeysel havalandırıcılar

Yatay milli mekanik havalandırıcılar da düşey milli havalandırıcılar gibi sabit betonarme yapılarla veya yüzer platformlarla kullanılabilir. Resim 4.27’de görüldüğü üzere motor ve mil birbirine yatay şekilde konumlandırıldığı için yatay milli olarak isimlendirilirler. Prensip olarak atıksu yüzeyine paralel olarak çalışırlar. Düşey milli havalandırıcılarda pervane vasıtasıyla yapılan atıksuyun hareketi bu havalandırıcılarda üzerinde bulunan fırçalar sayesinde yapılır. Atıksu fırçalar sayesinde su yüzeyinden havaya doğru hareket ettirilerek havalandırma işlemi gerçekleştirilir. Fırça tipli de denilen bu tip

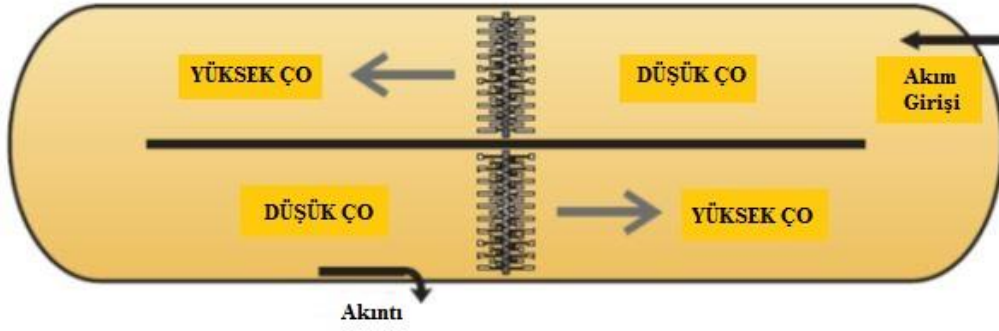
havalandırıcılar, atıksu seviyesinin hemen üzerinde bulunacak şekilde fırçalı (plastik çubuklu, çelik fırçalı veya bıçaklı) yatay bir silindirden oluşur. Fırçalardan oluşan motora bağlı bu silindir döndükçe, atıksuyu havalandırma havuzu boyunca küçük damlacıklar şeklinde püskürtür ve bu sayede atıksuya hava alınır.

Yatay milli havalandırıcılar batmış tipte olarak da kullanılabilirler. Ancak bu tipte yüzeysel olanlardan farklı olarak, döner mile monte edilmiş pedal veya diskler bulunur. Diskler, çapının 1/8-3/8'i kadar atıksuya batmış şekilde konumlandırılır ve devamlı olarak suya girerler. Eğer diskler durup çalışmazsa, disk döndüğünde atıksu yüzeyinin altındaki hava sıkışır. Bu yüzden disklerin konumları oldukça önemli olup, havalandırma ve karışma ihtiyacına göre farklılık gösterir. Enerji gereksinimleri tipik olarak 0,1-0,75 kW/disk'tir [46].



Resim 4.27. Yatay milli havalandırıcı [47]

Atıksuya oksijen transferini hızlandırıp, aynı zamanda da havalandırma havuzunda üniform karışım sağlayan fırçalar veya rotorlar olarak da adlandırılan yatay milli havalandırıcılar oksidasyon hendeklerinde sıklıkla kullanılırlar.



Resim 4.28. Yatay miili havalandırıcı çalışma prensibi [26]

Resim 4.28’de görüldüğü üzere oksidasyon hendeğine giren atıksuda çözünmüş oksijen seviyesi düşük olur. Fırça havalandırıcı sayesinde atıksudaki çözünmüş oksijen seviyesi arttırılarak, gerekli sirkülasyon sağlanır ve döngü bu şekilde devam ettirilir.



(a)



(b)

Resim 4.29. AAT’de (a) yatay milli havalandırıcı ve (b) çalışması [26]

Resim 4.29’da sabit platformdaki yatay milli havalandırıcının çalışması gösterilirken, Resim 4.30’da ise bu havalandırıcılardan yüzer platform üzerinde çalışan tip gösterilmiştir.

Fırça aeratörlerin en büyük avantajlarından birisi evsel ve endüstriyel atıksu arıtımında uygulanabilmesidir. Basit evsel atıklardan oluşan düşük kirlilik yüklerindeki oksidasyon hendeklerinden, daha fazla kirlilik yüklerindeki petrokimya veya ilaç endüstrisinin çok olduğu yerlerdeki atıklardan oluşan atıksulara kadar geniş bir alanda

kullanılabilirler. Atıksudaki sirkülasyonu sağlamada yetersiz kaldıklarından karıştırıcı kullanmayı gerektirirler [48].



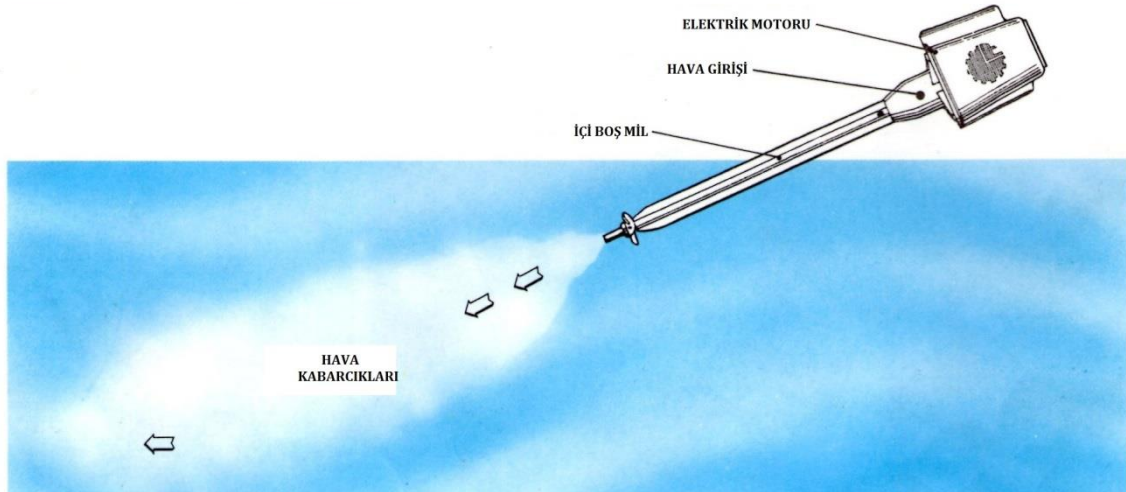
Resim 4.30. Dubalı yatay milli havalandırıcı [26]

4.3. Jet Havalandırıcılar

Jet havalandırıcılar; atmosferden aldığı havayı pervanesi vasıtasıyla atıksu içerisine vererek atıksudaki havalandırma işlemini gerçekleştirir (Bkz. Resim 4.31). Bu işlem sırasında oluşan mikrokabarcıklar sayesinde hem havalandırma hem de yüksek karıştırma verimi elde edilebilir. Genellikle ileri arıtma proseslerinde tercih edilmektedir. Yüzeysel veya batmış olarak kullanılabilirler. Yüzeysel olanları da sabit veya dubalı olabilir. Düşük düzeyli seslerde çalışmaları ve minimum bakım gerektirmeleri en önemli özelliklerindendir.

Havalandırma havuzlarındaki su seviyesi zamanla değişkenlik göstermediği zaman sabit jet havalandırıcı kullanılırken, dengeleme havuzlarında ve su seviyesi zamanla değişen havalandırma havuzlarında ise dubalar kullanılarak jet aeratörlerin su üzerinde yüzdürülmesi sağlanır ve batma derinliği kontrol edilir.

Yüzeysel jet havalandırıcılar kolay takılıp sökülebilmeye, havuz boşaltmadan bakım olanağı dolayısıyla tercih edilir.



Resim 4.31. Yüzeysel jet havalandırıcı [49]

Yüzeysel jet havalandırıcıların en büyük dezavantajı derin havalandırma havuzlarında dipte birikmeler yapabilmesi ve bu durumlarda atıksuda homojen bir karışım sağlayamamasıdır.

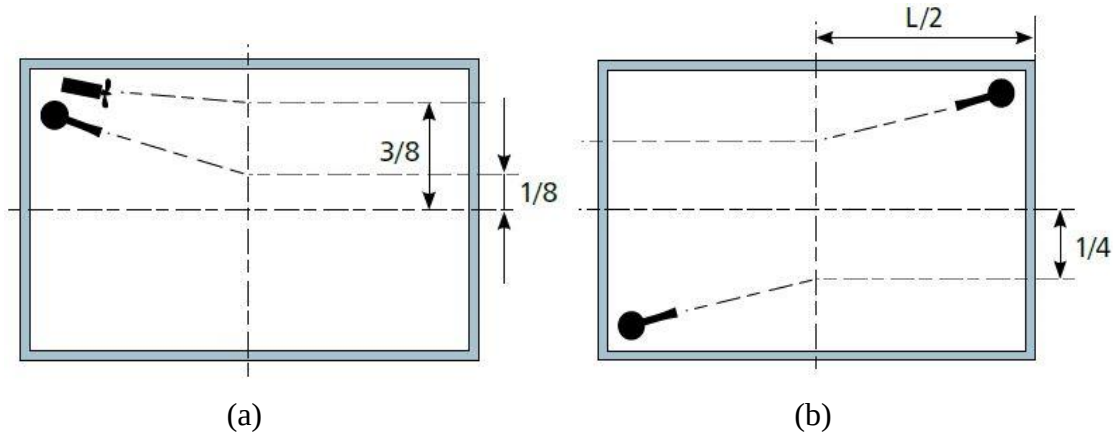


Resim 4.32’de görülen ve Şekil 4.4 ile şematize edilen batmış jet havalandırıcılar, gerekli havayı emebilmeleri için ekstra bir hava giriş bölümüne ihtiyaç duyarlar. Yüzeysel jet havalandırıcıların büyük dezavantaj gösterdiği atıksu yüzeyinin donma ihtimali olan bölgelerde batmış tip kullanılması mevsimlere göre çalışmada aksaklık meydana getirmez.



Jet havalandırıcıların genel olarak en önemli avantajları; borulama sistemleri veya kontrol vanaları gibi herhangi bir ilave donanım gerektirmemeleridir. Ayrıca ince gözenekli difüzörlü havalandırma sistemlerinde olduğu gibi tıkanma problemleri yoktur.

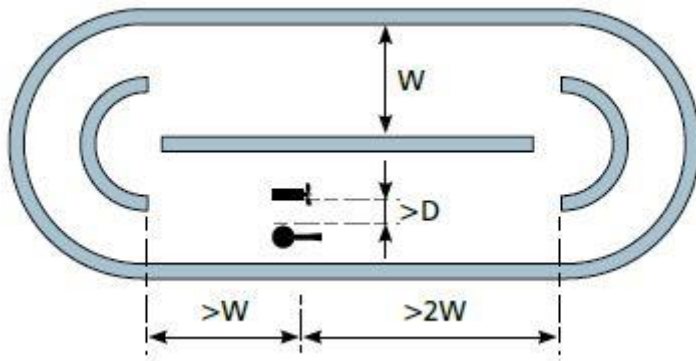
Jet havalandırıcılar havalandırma havuzu içerisindeki düzgün hesaplanmış konumlandırılmalarıyla havalandırma havuzunun tüm hacmi için havalandırma ve karıştırmayı yapabilir. Ancak bu sistemlerde havalandırmanın yanında karışım için yetersiz kalınan durumlarda da karıştırıcı kullanılarak atıksu içerisindeki türbülans oluşumuna ve yatay atıksu hızının sağlanabilmesine yardımcı olunabilir.



Resim 4.33. AAT'de (a) karıştırıcılı ve (b) karıştırıcısız jet havalandırıcı konumları [50]

Dikdörtgen şeklindeki bir havalandırma havuzunun boyutlarına göre karıştırıcı kullanılacaksa Resim 4.33.a'daki gibi bir konumlandırma örneği verilmişken, karıştırıcı kullanılmadan kullanılacak bir jet havalandırıcı konum örneği ise Resim 4.33.b ile verilmiştir.

Bir oksidasyon hendeğinde ise yanyana yerleştirilmiş bir jet havalandırıcı ve karıştırıcı arasındaki açıklık Resim 4.34'de olduğu gibi karıştırıcı pervane çapından daha büyük olmalıdır.



Resim 4.34. Oksidasyon hendeğinde jet havalandırıcı ve karıştırıcı konumu [50]

5. FARKLI HAVALANDIRMA SİSTEMİYLE KURULMUŞ İKİ ATIKSU ARITMA TESİSİNİN İNCELENMESİ

Bu bölümde İLBANK A.Ş. Erzurum Bölge Müdürlüğü kontrollüğünde yapımları devam eden Refahiye (ERZİNCAN) Atıksu Arıtma Tesisi ile Sarıkamış (KARS) Atıksu Arıtma Tesisi için havalandırma sistemleri karşılaştırılarak incelenecektir.

5.1. Refahiye (ERZİNCAN) Atıksu Arıtma Tesisi

İLBANK A.Ş. Erzurum Bölge Müdürlüğü kontrollüğünde yapımı devam eden Refahiye (Erzincan) Atıksu Arıtma Tesisinde fiziksel ve biyolojik arıtma yapılmakta olup sistemin oksijen ihtiyacı jet havalandırıcılar ile yapılmaktadır. Tesisin mevcut debisi 32 l/sn'dir. Refahiye ilçesinde yıl içerisinde ölçülen sıcaklık -25,7°C'lere kadar düşebilmektedir. Refahiye ilçesinin 2013 nüfusu 4 045 olup, 2043 nüfusu 12 000 olarak tahmin edilmiştir.

Sistem için projesinden alınan verilere göre $BOI_{giriş} = 300 \text{ mg/l}$ olup, $BOI_{çıkış} = 25 \text{ mg/l}$ 'dir. Proses için askıda katı madde (MLSS) $= 4 \text{ kg/m}^3$ olarak alınmıştır. Prosesin Çamur Yüğü (F/M) $= 0,08 \text{ kg.BOI}_5/\text{kg} / \text{MLSSgün}^{-1}$ 'dür. Sistem için gereken oksijen ihtiyacı $34,2 \text{ kgO}_2/\text{h}$ 'dir.

Refahiye (Erzincan) Atıksu Arıtma Tesisinde $34,2 \text{ kgO}_2/\text{h}$ kapasiteyi sağlamak için 1 tanesi $10 \text{ kg O}_2/\text{h}$ oksijenlendirme kapasitesine sahip olan iki takım (4 tane) fırça aeratör kullanılıp $40 \text{ kg O}_2/\text{h}$ oksijen üretme kapasitesine ulaşılarak $34,2 \text{ kgO}_2/\text{h}$ 'lik kapasite sağlanmaya çalışılmıştır.

Ayrıca havalandırma havuzunda $0,3 \text{ m/sn}$ yatay hızı ve atıksuyun havuzdaki devrini sağlamak üzere mikserlere ihtiyaç duyulmuştur. Sistem havalandırma havuzu hacmi $500 \text{ m}^3 < V_{AT} < 1000 \text{ m}^3$ arasında olup, bu aralıklarda 15 watt/m^3 'den fazla güce ihtiyaç duyulduğundan ve $V_{AT} = 923,2 \text{ m}^3$ olduğundan dolayı;

Gerekli mikser gücü $= 15 \times 923,2 = 13,85 \text{ kw}$ olarak hesaplanmış ve bunun için 2 adet mikser kullanılmasına karar verilmiş olup, 7 kW 'lık 2 tane mikser bu proses için uygun görülmüştür.

Bu proses için hazırlanan havalandırma sistemi için yaklaşık maliyet 2012 yılı fiyatlarına göre;

- Tanesi KDV Hariç 3 750,00 TL'den 2 adet dalgıç mikser 7 500,00 TL ve
- Takımı KDV Hariç 65 000,00 TL'den 2 takım yani 4 adet fırça aeratörün bedeli 130 000,00 TL olarak hesaplanmıştır.

Prosesin havalandırma sistemi toplam yaklaşık bedeli borulama ve vanalarla birlikte KDV Dahil 183 066,09 TL olarak bulunmuştur.

Erzincanda sıcaklığın kışın sıfırın altına düştüğü zamanlar ve bu zamanlarda atıksu yüzeyinde donma ihtimali olduğu için, Bölüm 4.2.2'de anlatıldığı gibi su yüzeyinde çalışma prensipleri nedeniyle fırça aeratörlerin projesi yüzeysel jet aeratörlerle değiştirilmiştir. Bunun için de sistemin oksijen gereksinimini sağlayacak şekilde $310 \text{ m}^3 / \text{h}$ kapasiteye sahip 2 asil 2 yedek toplam 4 adet yüzeysel jet aeratör (Bkz. Resim 5.1 ve Resim 5.2) ile proje tadilatına gidilmiştir. Ayrıca piyasadan alınan teklifler neticesinde 4 adet jet aeratör için oluşturulan yeni fiyatta toplam bedel 48 908,15 TL olmuştur. Jet havalandırıcı oksidasyon hendeğindeki yatay atıksu hızını da sağlayabileceğinden karıştırıcılara gerek duyulmamış ve yeni durumda toplam maliyet sadece havalandırıcılardan oluşmuştur.



Resim 5.1. Refahiye (Erzincan) AAT jet havalandırıcılar

Refahiye (Erzincan) Atıksu Arıtma Tesisinde jet havalandırıcıların maliyetleri bir havalandırma prosesi için mekaniksel havalandırıcılardan fırça havalandırıcılara göre yaklaşık $\frac{1}{4}$ oranında daha az olmuştur. Burada soğuğa dayanıklılık açısından proje değiştirilmesine karar verilmesine rağmen, proje maliyeti de ciddi oranda düşmüştür. Ancak oksidasyon hendeklerindeki donma tehlikesine karşı havalandırıcı seçilmesi istenen durumlarda jet havalandırıcılardan tamamen havuz zeminine monte edilen ve Resim 4.31 ile açıklandığı gibi tamamen su altında çalışan tiplerin tercih edilmesi daha uygun olacaktır.



Resim 5.2. Refahiye (Erzincan) AAT jet havalandırıcıların atıksudaki konumu

5.2. Sarıkamış (KARS) Atıksu Arıtma Tesis

İLBANK A.Ş. Erzurum Bölge Müdürlüğün kontrollüğünde yapımı devam eden ve üfleyiciler vasıtasıyla temin edilen oksijenin ince gözenekli disk difüzörlerle sisteme yani havalandırma havuzuna verildiği, Sarıkamış (Kars) Atıksu Arıtma Tesis'i'nin kurulduğu bölgede yıl içindeki en düşük sıcaklık $-41\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir. Sarıkamış ilçesinin 2013 nüfusu yaklaşık 45 000 olup, 2043 nüfusu 120 000 olarak tahmin edilmiştir. Sistemin pissu debisi yaklaşık 42 l/sn'dir.

Projesinden alınan verilere göre bu proses giriş atıksuyunda 3-4 gr fosfor olduğundan, bu fosforun giderimi için anaerobik havuz da düşünülmüştür. Sistemin çıkış BOİ'sinin 25 mg/l olması istenmiştir. Sistem için gerekli hava debisi $Q_{\text{hava}}=1\ 440\ \text{m}^3/\text{h}$ 'tir.

Bu hava debisini sağlamak üzere üzere kapasitesi $4,8\ \text{m}^3/\text{h}$ olan ve Resim 5.3.a ile gösterilen 600 adet ince gözenekli disk difüzörler kullanılmıştır. 600 adet difüzörle sağlanabilecek maksimum hava; $4,8\ \text{m}^3/\text{h} \times 600 = 2\ 880\ \text{m}^3/\text{h}$ 'dir.

Difüzörler için gerekli oksijen debisi de $1\ 200\ \text{m}^3/\text{h}$ kapasiteli 3 adet “blower”la sağlanacaktır. Sistemdeki borular, vanalar, difüzörler, hava filtrelerinin toplam kaybı 510 mm olup, 51 cm'dir. Havalandırma havuzundaki statik su yüksekliği de 4,75 m. olduğundan blowerlar 6 m basınç kapasiteli olarak seçilmiştir.

Yine havalandırma havuzundaki $0,3\ \text{m}/\text{sn}$ 'lik atıksu hızını sağlayabilmek için de Resim 5.3.b'de gösterilen 4 adet $3,5\ \text{kW}$ 'lık karıştırıcı kullanılmıştır.



(a)



(b)

Resim 5.3. Sarıkamış (Kars) AAT'de (a) difüzörler ve (b) karıştırıcı

Sarıkamış (Kars) Atıksu Arıtma Tesisi havalandırma sistemi için hazırlanan yaklaşık maliyet ise 2013 yılı fiyatlarına göre;

- Borulama, vanalar ve difüzörlerden oluşan havalandırma havuzunun yaklaşık mekaniksel maliyeti KDV Dahil 279 807,30 TL'dir.

- Üfleyicilerin koyulduğu ve boru, vana ve vinçlerden oluşan blower binasının yaklaşık mekaniksel maliyeti ise KDV Dahil 211 784,75 TL'dir.

Sonuç olarak Sarıkamış (Kars) Atıksu Arıtma Tesisini havalandırma sisteminin mekaniksel maliyeti yaklaşık olarak KDV Dahil 491 592,05 TL olup, projesi değiştirilmiş Refahiye Atıksu Arıtma Tesisi havalandırma sisteminin maliyetinin yaklaşık 10 katıdır. Yapılan bu karşılaştırmayla hemen hemen yaklaşık aynı debideki iki farklı atıksu arıtma tesisi için havalandırma sistemi seçiminin maliyete etkisi ortaya konmuştur.

Sarıkamış (Kars) AAT'de havalandırma havuzuna gerekli oksijeni sağlayacak üfleyicilerin konulacağı blower binasına da ihtiyaç duyulur. Oysa Refahiye AAT'de jet havalandırıcılar direk atmosferden aldığı havayı atıksuya verdiği için jet havalandırıcılı sistemlerde böyle bir yapıya ihtiyaç duyulmaz. Bu yüzden difüzörlü havalandırma sistemlerinde blower binası yapma zorunluluğundan dolayı, bu binanın inşaat ve elektriksel maliyetleri de olacak bu da jet havalandırıcılara göre ekstra maliyet ortaya çıkaracaktır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Atıksuların, belli arıtımlardan geçirildikten sonra doğaya verilmesi insan ve çevre sağlığı açısından oldukça önemli olup, gelecek nesillerimize temiz bir çevre bırakabilmemizin ön koşullarındandır. Atıksuların doğaya verebilecekleri zararlı etkiler, atıksu arıtma tesislerinin kurulmasıyla giderilebilir. Atıksu arıtma tesisleri arıtma yöntemlerine göre fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak sınıflandırılır. Atıksulardaki zararlı organik maddelerin giderilmesinde biyolojik arıtma yapılması istenen proseslerde arıtmayı yapacak bakteri de denilen canlı mikroorganizmalara ve bu bakterilerin yaşayabilmesi için de havalandırma sistemlerine ihtiyaç duyulur. Bu çalışmada üç grup altında toplanan bu havalandırma sistemleri birçok açıdan incelenmiş olup, bir havalandırma sisteminde oksijen transfer verimini etkileyen faktörler açıklanmıştır. Bunların en başında gelen alfa faktörü; bir havalandırma sisteminin temiz suda sağladığı oksijen transfer verimini atıksu koşullarında da sağlayabilme kapasitesidir. Çizelge 3.2’de görüldüğü üzere mekanik havalandırıcılar bu konuda en üstün havalandırma sistemleri olup difüzörlü havalandırma sistemleri ise en düşük alfa faktörüne sahiptirler. Ancak difüzörlü havalandırma sistemleri temiz suda diğer havalandırma sistemlerine göre hemen hemen iki kat fazla oksijen transfer kapasitesi sağlayabildiği için, 0,45 gibi düşük alfa faktörleri yüzünden bu avantajlarını atıksu koşullarında kaybederler.

Difüzörlü havalandırma sistemleri; üfleyici ekipman, hava taşıyıcı borular ve havanın atıksuya iletildiği difüzörlerden oluşmaktadır. Bu sistemlerin ilk yatırım maliyetleri diğer havalandırma sistemlerine göre genel olarak yüksek olmaktadır. Bu husus, Bölüm 5’te iki atıksu arıtma tesisinin karşılaştırılması örneği ile gösterilmiştir.

Kaba kabarcıklı difüzör sistemleri sanayi uygulamalarının yoğun olduğu yerlerde kullanım açısından uygundur. Çünkü donanımları gereği kaba kabarcıklarla oksijen ürettiklerinden atıksudaki yoğun karışımları oksijenleyebilme yetenekleri fazladır. Bu yüzden İLBANK A.Ş. tarafından atıksudaki kirlilik yüklerinin yüksek olduğu ülkemizin sanayi bölgelerinde uygulanması faydalı olacaktır. Çok az bakım gerektirmesi ve Resim 4.8’deki gibi; havalandırma havuzu dışına kurulan kaldırma kolları ile havalandırma havuzu boşaltılmadan da difüzörlere bakım, onarım yapılabilmesi avantajı, teknik personelin az olduğu yerel yönetimlerde işletme açısından uygulamada fayda sağlayacaktır. Ancak ince gözenekli difüzörlere göre daha büyük çapta kabarcık üretmek

için daha büyük kapasitede üfleyici gerektirmesi ve bu kabarcıkların atıksuda çözünümünü hızlandırmak için daha büyük kapasitede karıştırıcı kullanma gereksinimi, enerji tüketimi açısından dezavantajlı bir durum oluşturur. Kaba kabarcıklı difüzörlerin bu dezavantajları, sistemin enerji ihtiyaçlarının yenilenebilir enerji kaynaklarıyla karşılanması için İLBANK A.Ş. tarafından uygulanacak teşvikler sayesinde giderilip, birçok yerel yönetimde kullanım kolaylığı avantajıyla uygulaması yaygınlaştırılabilir.

İnce gözenekli difüzörlerin ise son dönemde kullanımları oldukça yaygınlaşmıştır. Çizelge 3.4'te görüldüğü gibi havalandırma verimliliği açısından, Çizelge 3.5'ten görüldüğü üzere oksijen transfer verimliliği açısından ve Çizelge 3.6'dan da görüldüğü üzere oksijen transferi açısından en uygun sistemdir. Ancak çok sık bozulup tıkanabilmeleri ve sık bakım gerektirmeleri sebebiyle yerel yönetimlerde sorunsuz uygulanabilmesi zordur. Bu yüzden İLBANK A.Ş. tarafından biyolojik arıtma projelerinde bu sistemin önerilebilmesi için belediyelerin teknik personel yeterliliğine bakılması gerekmektedir. İnce gözenekli difüzörlü havalandırma sistemlerinin en büyük dezavantajlarından birisi de bu sisteme bakım yapılacağı zaman difüzörlerin bulunduğu havalandırma havuzunun komple boşaltılması gerekliliği ve bakım süresince tesisin işletilemeyecek olmasıdır. İnce gözenekli difüzörlerin düşük alfa faktör değerleri (Bkz. Çizelge 3.2) yüzünden temiz suda sağladıkları yüksek oksijen transfer oranlarının atıksu koşullarına geçince oldukça düşmesi teknik açıdan dezavantajlarıdır. Ayrıca difüzörlerin tıkanma problemi gibi sorunlarından dolayı havalandırma verimlilikleri de zaman içinde azalır.

Mekanik havalandırıcılar ile jet havalandırıcılar ise uygulamada difüzörlü havalandırıcı sistemi gibi ek donanımlar (blower, blower binası, borulama, ek vanalar vb.) gerektirmediğinden uygulamada daha basit benzer havalandırma sistemleri olup, çalışma prensibi açısından birbirlerinden ayrılırlar. Bölüm 5'teki örnekte de verildiği gibi jet havalandırıcılı bir sistemin maliyeti difüzörlü sistemlere göre daha düşüktür. Mekanik havalandırıcılardan yüksek hızda çalışanlar, değişken debili oksijen ihtiyacı olan yerlerde (göletler, balık çiftlikleri) kullanılmakta olup, debileri çok değişmeyeceğinden dolayı atıksu arıtma tesislerinde daha verimli olan düşük hızlı düşey milli havalandırıcıların (Bkz. Çizelge 3.4) İLBANK A.Ş. tarafından kullanılması daha doğru olacaktır.

Yüzeysel havalandırıcılardan düşük hızda çalışanlar ile fırça havalandırıcılar ve jet havalandırıcıların yerel yönetimler için kurulan atıksu arıtma tesislerinde tercih edilmesini gerektirecek en önemli sebeplerden biri montaj kolaylığı ile havalandırma havuzunun boşaltılmadan da bakım veya tamirinin yapılabilmesidir. Jet havalandırıcılar batmış tipte olarak kullanılsa bile, basit bir pergel vinç sayesinde havalandırma havuzu boşaltılmadan da havuz içerisinden çıkarılıp, gerekli tamir veya bakım yapılabilir. Eğer proseste bu havalandırma sistemleri asil ve yedek şeklinde düşünülürse tesisin hizmetten çekilmesi gerekmez. Mekanik ve jet havalandırıcıların ilk yatırım maliyetindeki avantajından dolayı düşük bütçeli yerel yönetimlerde tercih edilmesi faydalı olacaktır.

Düşük hızlı mekanik havalandırıcılar ile yüzeysel jet havalandırıcılar atıksu içinde çalışacak şekilde pervane içerdiğinden havalandırma havuz yüzeyinin donma ihtimali olan soğuk iklim bölgesi yerel yönetimlerde uygulanması işletmede sorunlara yol açabilir. Bu yüzden hava sıcaklıklarının sıfırın altına düşebildiği illerde kurulacak atıksu arıtma tesisleri için batmış jet havalandırıcıların tercih edilmesi daha uygun olacaktır.

Mekanik havalandırıcılı ve jet havalandırıcılı havalandırma sistemlerinin oksijen transfer verimliliği zaman içinde azalmaz. Çünkü tıkanma problemleri yoktur. Difüzörlü havalandırma sistemlerine göre üstünlükleri uzun vadede budur.

Enerji verimliliğine bağlı çeşitli tiplerde geliştirilmiş ultra ince gözenekli difüzörlerin günümüz itibari ile teoride ve uygulamada araştırma ve geliştirme çalışmaları devam etmektedir. Bu difüzörlerin yerel yönetimlere uygulanabilmesi için gelecek yıllarda İLBANK A.Ş. tarafından araştırılması ve geliştirme çalışmalarının yapılması faydalı olacaktır. Ayrıca, özellikle ince gözenekli difüzörlü havalandırma sistemlerinde alfa faktörlerinin düşük olması, yani proses koşullarında oksijen transfer kapasitelerinin hemen hemen yarıya düşmesi dezavantajını ortadan kaldıracak ve alfa faktörünü geliştirmeye yönelik araştırma ve geliştirme çalışmalarının yapılması bu havalandırma sistemlerinin gelecek uygulamaları açısından oldukça önemlidir.

Sonuç olarak bir biyolojik arıtma prosesinde kullanılması gereken havalandırma sistemi seçiminde birçok açıdan değerlendirme yapılması gerekir. SAE, SOTR gibi teknik avantajlardan dolayı ince gözenekli difüzörlü havalandırma sistemleri oldukça üstün olmalarına rağmen, sistem karışıklığı ve uygulamadaki bakım, onarım gibi zorluklarından

dolayı özellikle nitelikli personel sıkıntısı olan yerel yönetimlere uygulanmaması gerektiği değerlendirilmektedir.

Mekanik ve jet havalandırıcılar ise teknik özellikleri bakımından difüzörlü havalandırma sistemlerinden geride olmalarına rağmen, uygulamadaki rahatlık ve bakım kolaylığı özellikleri ile yerel yönetimlere sorunsuz uygulanabilir. Ancak bu konuda dikkat edilmesi gereken en önemli husus soğuk iklim bölgelerinde donma ihtimaline karşı yüzeyde çalışan havalandırma sisteminden kaçınılması gerekliliğidir. Bu yüzden soğuk iklim bölgesi yerlerde difüzörlü havalandırma sistemleri veya batmış tip jet havalandırıcıların kullanılması doğru olacaktır. Örneğin İLBANK A.Ş. İzmir Bölge Müdürlüğüne bağlı İzmir ilinde kurulacak bir atıksu arıtma tesisinde iklime bağlı bir sistem seçimi yapma zorunluluğu olmazken, Erzurum Bölge Müdürlüğüne bağlı Ardahan ilinde kurulacak bir atıksu arıtma tesisi için havalandırıcı seçiminde yüzeysel havalandırıcılar yerine difüzörlü veya dalgıç tip jet havalandırıcı kullanılması daha uygun olacaktır.

KAYNAKLAR

1. Bolles, S. A. (2016). Modeling Wastewater Aeration Systems to Discover Energy Savings Opportunities, Process Energy Services, 5-11.
2. Johannesburg Water. (2009). Mechanical and Fine Bubble Aeration in Activated in Activated Sludge Systems, (PS 702, Report No:200905019), South Africa
3. Gehring, M., Lindam, J. (2013). Energy-Efficiency Showdown: A Comparison of Aeration Technologies, 24-28
4. AKBULUT, C., (2010), Düşük Hızlı Düşey Milli Mekanik Yüzey Havalandırıcının Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kocaeli
5. Tanner, W. Advances in Aeration, US Poultry&Egg Environmental Management Seminar (2013)
6. Gafsi, M., Kettab, A., Benmamar, S., Benziada, S. (2009). Comparative Studies of the Different Mechanical Oxygenation Systems Used in the Restoration of Lakes and Reservoirs, Agriculture and Environment (JFAE), 815-822
7. Han, L. (2012). Air Injection Techniques for Seawater Flue Gas Desulphurization for Aeration Systems, Degree Project 36-37
8. Hoopman, E. (2012). A Comparison of Commercial Aeration Systems in Northern Wisconsin Aquaculture Ponds, Bayfield High School, 13
9. Loosdrecht, V. (2015). Water Research, Water Association, 0043-1354
10. Al-Ahmady, K.K. (2006) Analysis of Oxygen Transfer Performance on Sub-Surface Aeration Systems, Civil Engineering Department, University of Mosul, Iraq
11. Milli Eğitim Bakanlığı. (2011). Atıksular 850CK0103. Ankara: Aile ve Tüketici Hizmetleri, 5-12
12. İnternet: Atıksular, URL: <http://web.deu.edu.tr/atiksu/ana58/bolum01.pdf>, Son Erişim Tarihi: 22.04.2016
13. Toprak, H. Aktif Çamur Sürecinin Tasarımı, Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, İzmir
14. Muslu, Y. (1990). Kullanılmış Suların Tasfiyesi Cilt 1. İstanbul: İ.T.Ü. Matbaası, 8
15. İnternet: Anaerobic Biological Wastewater Treatment, URL: <https://emis.vito.be/en/techniekfiche/anaerobic-biological-wastewater-treatment>, Son Erişim Tarihi: 28.04.2016

16. Şahinkaya, E. (2010). Atıksuların Arıtımı Ders Notları-0503701, Harran Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa
17. Milli Eğitim Bakanlığı (2008), Kimya Teknolojisi Su Arıtma, Ankara: Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, 22-26
18. İnternet : Şahinkaya, E. (2007), Çevre Mikrobiyolojisi, Harran Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, URL: http://eng.harran.edu.tr/moodle/moodldata/60/Cevre_Mikrobiyolojisi_erkana_sahinkaya_ders_notlari.pdf, Son Erişim Tarihi: 01.05.2016
19. Yıldırım, A. Koray (2006), Evsel Atıksu Arıtma Tesislerinde Debi-Maliyet İlişkileri, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana
20. Şahinkaya, S. (2014). Çevre Mühendisliğine Giriş Ders Notları, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Nevşehir
21. İnternet: Atıksular, URL: <http://web.deu.edu.tr/atiksu/ana58/bolum05.pdf>, Son Erişim Tarihi: 04.05.2016
22. Metcalf & Eddy (2003). Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery 5th Edition, 9-11
23. Orhan, R., Dursun, G., (2013). Aşağı Doğru Birlikte Akışlı Temas Reaktöründe Bacillus Amyloliquefaciens ile α -Amilaz Üretiminin İncelenmesi, Fırat Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü, Elazığ
24. İnternet: Yüzeysel Havalandırıcılar, URL: www.sartes.com/SartesSarox2013.pdf, Son Erişim Tarihi : 08.05.2016
25. İnternet: Process Aeration, URL: <http://www.mi-wea.org/docs/Session%20-%20Microbubble%20aeration%20session.pdf>, Son Erişim Tarihi: 15.05.2016
26. Stenstrom, M.K., Rosso, D. (2010), Aeration, University of California, Los Angeles
27. İnternet: Wastewater Selectors, URL: <http://www.wrights-trainingsite.com/SELECTORS,PT1.html>, Son Erişim Tarihi: 15.05.2016
28. İnternet: Aeration, URL: http://mimoza.marmara.edu.tr/~bilge.alpaslan/enve301/Lectures/Chp_5.pdf, Son Erişim Tarihi: 02.06.2016
29. İnternet: Atıksu Arıtma Yöntemleri (MMO-S.142). URL: http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/7d16d00201083a2_ek.pdf, Son Erişim Tarihi: 04.06.2016
30. Eroğlu, V., (2008), Su Tasfiyesi, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara, 48-56

31. Horsley, M. and Randtke, S. (2012), Water Treatment Plant Design, American Water Works Association, Chapter 6
32. Shao Yuan, B., Rosso, D. and Stenstrom, M. (2007), Energy Conservation in Fine Pore Diffuser Installations in Activated Sludge Processes, University of California, Los Angeles, 13-20
33. İnternet: Aeration Back to Basics, URL: http://awea-ar.org/images/downloads/2012_Specialty_Conference_Presentations/aeration101_scott_mulinix_presentation_rev1.pdf, Son Erişim Tarihi: 20.06.2016
34. United States Environmental Protection Agency (1999). Wastewater Technology Fine Bubble Aeration. Washington: Municipal Technology Branch, 2-3
35. İnternet: Havalandırıcı Seçimi için Teknik Rapor, URL: <http://www.ekosistemltd.com/download/havalandirici-teknik-rapor.pdf>, Son Erişim Tarihi: 05.07.2016
36. İnternet: Turbine Aerators, URL: <http://www.lenntech.com/aeration.htm>, Son Erişim Tarihi: 02.08.2016
37. İnternet: Aeration Optimazition, URL: <http://www.apg-neuros.com/Uploads/Documents/7%20-%20Aeration%20Optimization%20-%20IWA%20Publishings%20-%202011.pdf>, Son Erişim Tarihi: 15.08.2016
38. İnternet: Blower Aeration for Wastewater Treatment, URL: http://www.airbestpractices.com/sites/default/files/CABP_2013_09September_LR_Revised.pdf, Son Erişim Tarihi: 01.09.2016
39. Toprak, H. (2000). Atıksu Arıtma Sistemlerinin Tasarım Esasları, Cilt-1 (Genişletilmiş 3. Baskı), Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayınları, No.240-241, İzmir
40. Demir, A., Kanat, G. ve Debik, E., (2000). Atıksu Arıtımında Fiziksel, Kimyasal ve Biyolojik Metodlar Tesisi. İstanbul: Y.T.Ü. Matbaası, 20
41. Civelekoğlu, G., (2003), Arıtma Süreçlerinde Gaz Transferi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta
42. İnternet: Water Technologies, URL: <http://www.ovivowater.com/product/municipal/municipal-wastewater/aerobic-treatment-nutrient-removal/carrousel-oxidation-ditch/excell-aerator/>, Son Erişim Tarihi: 10.09.2016
43. İnternet: Mechanical Aeration, URL: <http://www.thewatertreatments.com/wastewater-sewage-treatment/mechanical-aerator-waste-water-treatment/>, Son Erişim Tarihi: 12.09.2016

44. ŞENALP, Z., AKBULUT, C. (2013). Düşük Hızlı Düşey Milli Mekanik Yüzey Havalandırıcının HAD ile Analizi, Kocaeli, No:193, 130-138
45. İnternet: Search Wastewater Treatment, URL: <http://www.biwater.com/Publisher/Article.aspx?ID=278089>, Son Erişim Tarihi: 20.09.2016
46. İnternet: Fizik Ders Notları, URL: <http://http://web.deu.edu.tr/atiksu/ana58/fizik.pdf>, Son Erişim Tarihi: 25.09.2016
47. İnternet: Yatay Milli Rotor Havalandırıcılar, URL: [http://www.sece.com.tr/?newUrun=1&Id=620373&CatId=bs404470&Fstate=&Yatay-milli-havaland%C4%B1r%C4%B1c%C4%B1-\(rotor\)](http://www.sece.com.tr/?newUrun=1&Id=620373&CatId=bs404470&Fstate=&Yatay-milli-havaland%C4%B1r%C4%B1c%C4%B1-(rotor)), Son Erişim Tarihi: 27.09.2016
48. İnternet: Yatay Milli Rotor Havalandırıcılar, URL: <http://www.biolandaritma.com.tr/havalandiricilar.htm>, Son Erişim Tarihi: 27.09.2016
49. İnternet: Surface Jet Aerators, URL: http://www.blowtac.com.tw/en/product/Surface-Jet-Aerators/Surface_Jet_Aerators-JM.html, Son Erişim Tarihi: 01.10.2016
50. İnternet: Jet Aerators, URL: http://www.xylemwatersolutions.com/scs/russia/en-us/Documents/jet_aerator_installation.pdf, Son Erişim Tarihi: 08.10.2016

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : BOSTAN, Mehmet Burak
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 04.05.1989 İSTANBUL
Medeni hali : Bekar
Telefon : 442 235 50 72
Faks : 442 235 50 71
e-mail : bbostan@ilbank.gov.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek Lisans	Atatürk Üniversitesi / Fen Bilimleri Ens. Makine Mühendisliği – Mekanik A.B.D.	Devam ediyor
Lisans	Kocaeli Üniversitesi / Makine Mühendisliği	2012
Lisans	Anadolu Üniversitesi / İşletme	Devam ediyor
Lise	Gölcük İhsaniye Anadolu Lisesi	2007

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2013-Halen	İller Bankası Erzurum Bölge Müdürlüğü	Teknik Uzm. Yrd.

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Futbol



İLBANK
TÜRKİYE'NİN YAPICI GÜCÜ