

4. FİZİKSEL ARITMA

Atıksu arıtma tesisindeki arıtma üniteleri: ön arıtma, birinci kademe arıtma ve ikinci kademe arıtma olmak üzere üç ana grupta toplanabilir. Her bir grupta kullanılan elektromekanik ekipman genellikle farklıdır. Arıtma çamuru için kullanılan ekipmanlar çamur bölümünde ayrıntılı olarak verilmiştir.

4.1. Ön Arıtma

Ön arıtmada atıksudaki kağıt, tekstil atıkları, plastik, metal gibi iri katı maddeler ile kum ve yağ-gres gibi maddelerin ayrılması işlemi uygulanmaktadır. Bu maddeler, bu aşamada uzaklaştırılmadığı takdirde pompalar ve çamur giderme ekipmanlarına, vanalara ve borulara zarar vererek arıtmada problemlere yol açabilirler. Askıda katıları gidermek için de bazen ince ızgaralar ve elekler kullanılır.

4.1.1. Eleme

Kaba Izzaralar: Kaba ızgaralar, koruyucu ekipman olduklarından ilk ünite olarak kullanılırlar. En yaygın olarak kullanılan kaba ızgaralar: çubuk ızgaralar, elekler ve öğütücülerdir. Çubuk ızgaralar, elekler ve öğütücülerle ilgili özet bilgi Tablo 4.1’de verilmiştir. Endüstriyel atıksu arıtma tesislerinde kaba ızgaralara gerek olmayabilir.

Çubuk ızgaralar: Izzara aralığı 25-50 mm mertebesinde olup evsel atıksu ile gelebilecek 50 mm’den iri maddeler (çöp, naylon, ahşap malzeme v.b) ızgarada tutularak zaman ayarlı temizleme mekanizması ile atıksudan uzaklaştırılırlar. Bu maddelerin arıtma tesisinde mevcut mekanik ekipmanlara zarar vermemesi ve boru hatlarında tıkanıklık yaratmaması için mutlaka uzaklaştırılması gereklidir. Çubuk ızgaralar için tasarım değerleri Tablo 4.2’de verilmektedir.

Çubuk ızgaraların tasarımında aşağıdaki formül kullanılır:

$$A = \frac{Q}{V} \frac{(b+s)}{s} \quad (4.1)$$

Burada:

- A : gerekli ızgara alanı, m²,
- Q : maksimum debi, m³/s,
- V : akış hızı, m/s, (genellikle 1,0 m/s seçilir),
- b : ızgara çubuk genişliği, mm,
- s : ızgara çubukları arası net açıklık, mm,

Çubuk ızgaralarda elek bölümü dikdörtgen bir kanal içine kurulur. Kanalın zemini genellikle giriş atıksu borusundan 7-15 cm aşağıdadır. Kanal zemini yatay olarak düz veya eğimli olabilir. Izzara kanalları, kum ve diğer ağır parçacıkların burada birikmesini önlemek üzere tasarlanırlar. Izzara yaklaşım kanalı, ızgaraya dik ve tüm ızgara yüzeyine üniform atıksu dağılımı sağlayacak şekildedir. Arıtma tesislerinde ızgara bölümünün herhangi bir nedenle devre dışı kalması gibi durumlarda, pik debiye göre tasarımı yapılmış en az bir yedek ızgara daha olmalıdır.

Tablo 4.1. Kaba ızgaraların özellikleri (1), (2).

Tip	Yerleşim	Açıklama
Çubuk ızgaralar	Pompaların ve kum tutucuların önüne	Elle temizlemeli veya mekanik temizlemeli olabilirler. Küçük arıtma tesislerinde elle temizlemeli olanlar kullanılır.
Elekler	Çubuk ızgaranın önüne veya damlatmalı filtrenin arkasına	Çubuk ızgaraya göre daha küçük parçacıkların uzaklaştırılmasında kullanılır. Düz, sepet, kafes ve disk tiplileri vardır. ızgaralar kanaldan çıkartılarak temizlenip yerine takılır. Yeni tipleri hareketli eleklerdir. Tasarımları ince ızgaralara benzer. Katılar sürekli ayrılarak oluğa boşaltılır. Uzaklaştırılacak maddelerin boyutuna bağlı olarak aralıklar 3-20 mm arasındadır.
Öğütücüler	Kaba eleklerle birlikte	Öğütücüler ızgaralarda tutulan katı maddeleri öğütür. Dönen veya titreşen bir merdane üzerinde kesme dişleri veya doğrama kısımları vardır. Öğütücüler neredeyse tamamen batmış konumdadır.

Tablo 4.2. Elle ve mekanik temizlemeli çubuk ızgaralarda tasarım değerleri

Tasarım faktörü	Elle temizlemeli	Mekanik temizlemeli
ızgarada hız (m/sn)	0,3-0,6	0,6-1,0
ızgara boyutu		
Genişlik (mm)	4-8	8-10
Derinlik (mm)	25-50	50-75
ızgara çubukları arası net açıklık (mm)	25-75	10-50
ızgaraların yatayla yaptığı açı (derece)	45-60	75-85
Müsaade edilen yük kaybı, kirli (kısmen tıkalı) ızgara, (mm)	150	150
Maksimum yük kaybı, kirli ızgara, (mm)	800	800

Çubuk ızgaralarda yük kaybı: Kaba ızgaralarda yük kaybı hesaplarında, ızgaraların temizliğine bağlı olarak üç değişik formül kullanılmaktadır: Temiz veya kısmen tıkanmış ızgaralarda (4.2) formülü, temiz ızgaralarda (4.3) formülü kullanılmaktadır. (4.4) ifadesi ise genel orifis formülü olup ince ızgaralarda yük kaybı hesaplarında kullanılır.

$$h_L = \frac{V^2 - v_v^2}{2g} \cdot \frac{1}{0.7} \quad (4.2)$$

$$h_L = \beta \left(\frac{W}{b} \right)^{4/3} h_v \sin \theta \quad (4.3)$$

Burada:

- h_L : ızgara boyunca yük kaybı, m,
 V, v : ızgara boyunca ve ızgara öncesi kanalda hız ($V > v$), m/sn,
 g : yerçekimi ivmesi, 9,81 m/sn²,
 W : ızgara çubuğunun akıntıya dik istikametteki en büyük kalınlığı, m,
 b : ızgara çubukları arası en küçük mesafe, mm
 h_v : ızgara yaklaşım kanalındaki hız yüksekliği, m,
 Θ : ızgara çubuklarının yatay düzlemle yaptığı açı,
 β : ızgara şekil katsayısı, temiz ızgaralarda ızgara şekil katsayıları Tablo 4.3 de verilmiştir.

Tablo 4.3. Temiz çubuk ızgaralarda ızgara şekil katsayıları

Izgara çeşidi	β
Keskin kenarlı dikdörtgen	2,42
Yarı dairesel yüzü yukarı bakan dikdörtgen	1,83
Dairesel	1,79
Yarı dairesel yüzü yukarı ve aşağı bakan dikdörtgen	1,83
İki ucu inceltilmiş çubuk şeklinde	0,76

İnce Iızgaralar ve Elekler: Çubuk aralığı genellikle 15-25 mm mertebesindedir. Bu tip ızgaralar mekanik temizleme mekanizmalarına haiz olup ızgarada tutulan katı maddeler zaman zaman otomatik olarak temizlenerek katı madde konteynerlerinde depolanır ve daha sonra uygun alanlara dökülürler. İnce ızgaraların amacı ön arıtmadır. Son yıllarda ikinci kademe arıtım çıkış suyunu iyileştirmek amacıyla mikro elekler de üretilmiştir.

İnce ızgaralar, hareketli ve hareketsiz eleklerden oluşmuştur. Hareketsiz veya statik elekler; dik, eğik veya yatay olarak monte edilirler. Bunlar tırmık, diş veya fırça ile temizlenirler. Hareketli elekler ise çalışma sırasında sürekli olarak temizlenirler. Her iki tip ince elekte de % 20-25 askıda katı madde ve BOİ₅ giderimi sağlanır. Ayrıca bu sistemlerde yağ ve çözünmüş oksijen giderimi değerlerinde de yükselme sağlanır. Hareketli eleklerin hareketsiz eleklerle göre yük kaybı daha düşük fakat enerji gereksinimi daha yüksektir. Mekanik düzeneklere haiz ince eleklerde ortaya çıkabilecek arızalara karşı sistemde ızgaranın elle (manüel) temizlemeli olması durumunun da düşünülmesi gerekir. Tablo 4.4'te farklı tipte hareketli elek özellikleri verilmiştir.

İnce ızgaralarda yük kaybı: İnce ızgaralarda yük kaybı hesaplamalarında (4.4) bağıntısı kullanılır.

$$h_L = \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{CA} \right)^2 \quad (4.4)$$

Burada:

- Q : ince ızgara boyunca debi, m³/sn,
 A : suya dalmış etkili alan, m²,
 C : debi katsayısı, (temiz çubuk için C=0,60 alınır)

Izgaralarda tıkanmalardan dolayı yük kayıpları önemli mertebelere ulaşır. Bu nedenle izgaraların periyodik olarak temizlenmesi gerekmektedir. Mekanik temizlemeli izgaralarda ızgara yüzeyinin zaman ayarlı otomatik çalışan temizleme mekanizmaları ile temizlenmesi yük kayıplarının istenilen düzeyde tutulmasını sağlayacaktır.

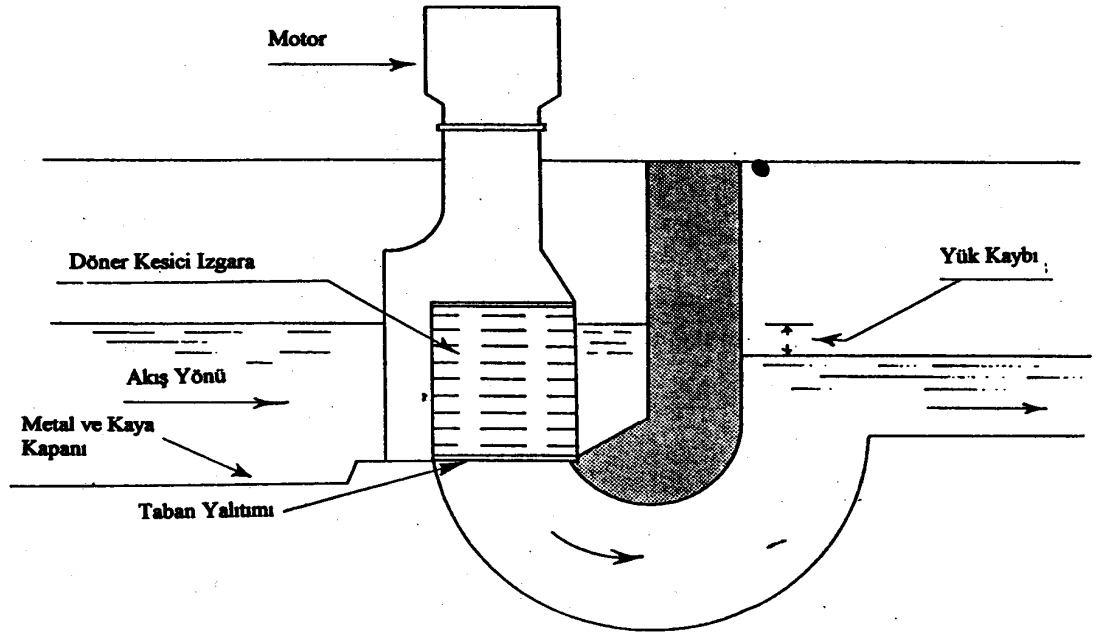
Tablo 4.4. Hareketli elek tipleri

Tip	Açıklama
Bant elekler	İki silindirin üstünden geçen sonsuz delikli bir banttın oluşmuştur. Eleğin üzerinde biriken maddeleri sıyırmak için bir fırça düzeneği vardır. Tutunan kumu uzaklaştırmak içinse su jeti kullanılır.
Kanat veya kepçe elekler	Yatay düzlemde yavaşça dönen, dairesel olarak dizilmiş delikli kepçelerden oluşmuştur.
Kevgir veya merdane elek	Üstü elek kaplı dönen bir silindirden oluşur. Su silindirin içine girer ve merkezden dışarı doğru hareket eder. Biriken katı maddeler su jeti ile uzaklaştırılır ve olukta toplanır. Elek aralıkları 0,02-3mm'dir.

Öğütücüler: Kaba ızgaraların alternatifi atıksudaki büyük boyutlu katıların sudan ayrılmadan ufalanmasıdır. Öğütücülerin işlevi, kaba taneli katıları parçalayarak sonraki arıtma işlemlerinde ve proseslerinde problem oluşturmalarını önlemektir. Öğütücülerin kullanımı özellikle pompa istasyonlarında, pompaların korunması açısından gereklidir. Ayrıca bir kısım katı maddelerin ızgara ile toplanması arıtma tesisine giren katı madde yükünü de azaltır. Soğuk iklimlerde öğütücülerin kullanımı donma tehlikesini önler.

Arıtma konusunda iki farklı temel görüş vardır. Bir görüşe göre, atıksudan ayrılan bir madde ne şekilde olursa olsun tekrar atıksuya verilmemelidir. Diğer bir görüş ise, katıların boyutları küçüldükten sonra arıtma tesisinin ilgili kademelerinde arıtılmalarının kolay olduğunu savunmaktadır.

Şekil 4.1'de bir öğütücünün şematik görünümü verilmiştir. Öğütücü, üstü bıçaklı dönen bir merdaneden (küçüklerde 6 mm, büyüklerde 10 mm aralıklı) oluşmuştur. Kaba tanecikler merdane üstündeki bıçakla parçalanır, alt kısma geçer buradan sifonla çıkış borusuna iletilir.



Şekil 4.1. Öğütücü şematik görünümü

4.1.2. Kum Tutucular

Burada kum olarak tanımlanan maddeler; kum, taş, çürük gibi yoğunluğu veya çökme hızı, biyolojik arıtmada parçalanabilen organik maddelere kıyasla daha yüksek olan maddelerdir. Yumurta kabukları, kemik parçacıkları, tohumlar, kahve parçacıkları ve yemek artıkları gibi organik parçacıklar da bu kapsama girmektedir. Kum olarak giderilen maddeler çoğunlukla inert ve oldukça kurudur. Kum kompozisyonu çok farklı olabilir. Örneğin rutubet oranı %13-65 arasında, uçucu kısım %1-56 arasında değişir. Yoğunluğu genellikle 1600 kg/m^3 dür. Kum, bir miktar organik madde içerdiğinden atıksudan ayrıldıktan sonra uygun şekilde bertaraf edilmezse kolaylıkla çürür. 0,2 mm'den daha büyük kum parçacıklarının arıtma tesisinin ileriki kademelerinde problem yarattığı bilinmektedir. Bazı durumlarda 0,15 mm çaplı kumların kum tutucularda % 100 giderimi sağlanmakla birlikte, bazen kum boyutu çok daha küçük olabilmekte ve 0,15 mm'nin altındaki kumların kum tutucuda sadece %60 giderimi sağlanabilmektedir.

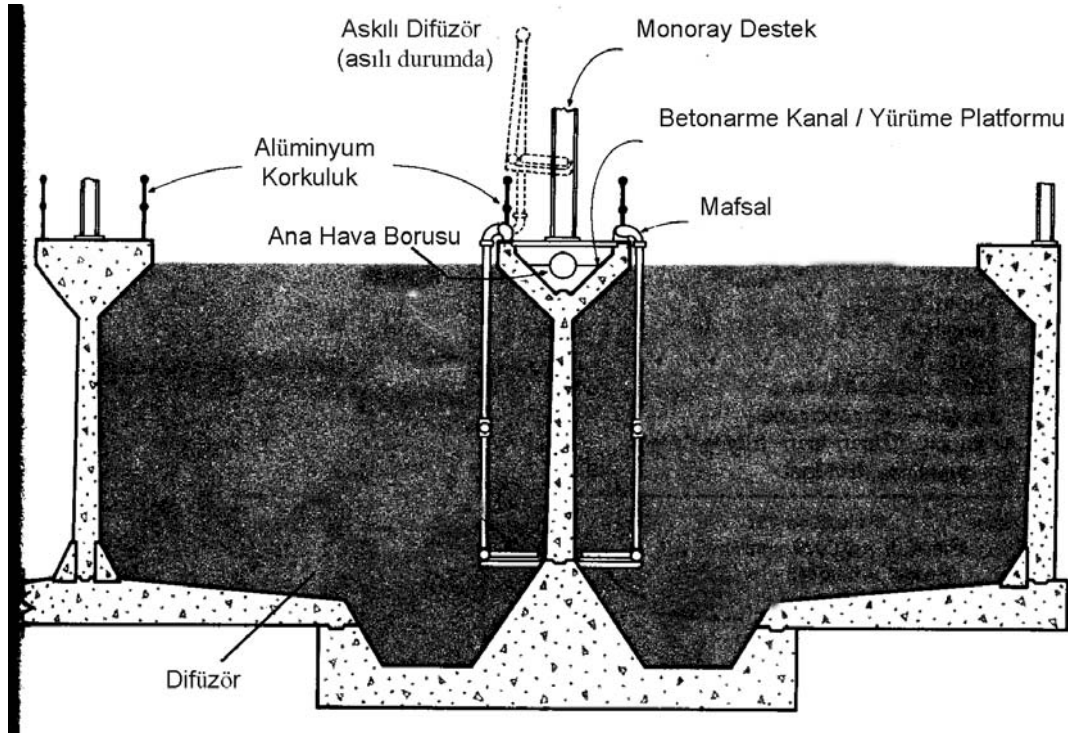
Hareketli mekanik ekipmanın aşınmasını önlemek, boru ve kanallarda birikintileri engellemek ve kum birikiminden dolayı çamur çürütücünün temizlenme periyodunu azaltmak için kum tutucuların (kum ayırıcı), santrifüj, ısı değiştirici ve yüksek basınçlı diyafram pompalardan önce kullanılması şarttır.

Kum tutucular, genellikle kaba ızgaradan sonra ilk çöktürmeden önce kullanılırlar. Kum tutucuların ızgara ve eleklerden sonra olması, toplanan kumun temizlik ve bertarafını kolaylaştırır.

Üç tip kum tutucu vardır:

- Yatay akışlı, dikdörtgen veya kare planlı
- Havalandırmalı,
- Dairesel (Vorteks akımlı).

Yatay akışlı kum tutucularda atıksu, kum tutucuyu yatay doğrultuda geçer. Çizgisel hız; kum tutucunun boyutu, girişte dağıtım mekanizması ve çıkışta çeşitli savaklarla kontrol edilir. Havalandırmalı kum tutucular spiral akışlı havalandırma tankından oluşur. Spiral hız, tank boyutu ve verilen hava miktarı ile kontrol edilir. Vorteks akımlı kum tutucular ise silindirik bir tanktan oluşur. Atıksu, teğetsel olarak giriş yaparak girdap oluşturur. Santrifüj ve yerçekimi kuvvetleri kumun çökmesine neden olur. Şekil 4.2 de tipik bir havalandırmalı kum tutucu verilmiştir.



Şekil 4.2. Havalandırmalı kum tutucu

Kum tutucuların tasarımı, özgül ağırlığı 1,3-2,7 olan kum partiküllerini içeren 15,5°C sıcaklıktaki atıksular için yapılır. Yatay akışlı havalandırmasız kum tutucular için tipik tasarım bilgileri Tablo 4.5’de, havalandırmalı kum tutucular için tasarım değerleri ise Tablo 4.6’da verilmiştir.

Kum tutucularda toplanan kumu uzaklaştırmak için kullanılan ekipmanların pahalı olması ve yatay akışlı kum tutucuların bir çoğunda kum yıkama ekipmanınının gerekmesi, havalandırmalı kum tutucuların popülerliğini arttırmıştır. Havalandırmalı kum tutucular, saatlik pik debilerde, 0,2 mm boyutunda partikülleri, 2-5 dakikalık kalma süresinde gidermek üzere tasarlanmıştır. Tasarımda, havalandırma difüzörleri, tabanın 0,45-0,60 m yukarısına yerleştirilirler.

Endüstriyel atıksuların da söz konusu olduğu havalandırmalı kum tutucularda havalandırmadan dolayı UOK (Uçucu Organik Karbon-VOC) oluşumu dikkate alınmalıdır. UOK oluşumu, arıtma tesisi işletmecileri açısından sağlık riski teşkil eder. UOK oluşumu önemli miktarlarda ise kum tutucu üzerine kapak yapılmalı veya havalandırmasız kum tutucular tercih edilmelidir.

Tablo 4.5 Yatay akışlı kum tutucuların tasarım kriterleri (3)

	Değer	
	Aralık	Tipik
Hidrolik kalış süresi, sn	45-90	60
Yatay hız, m/sn	0,24-0,40	0,31
Çökeltme hızı:		
65 no.lu elekten geçen madde, m/dak	0,98-1,28	1,16
100 no.lu elekten geçen madde, m/dak	0,61-0,91	0,76
Kontrol bölümünde yük kaybı (kanaldaki % derinlik)	30-40	36
Giriş ve çıkışta izin verilen türbülans	$2D_m-0,5L$	

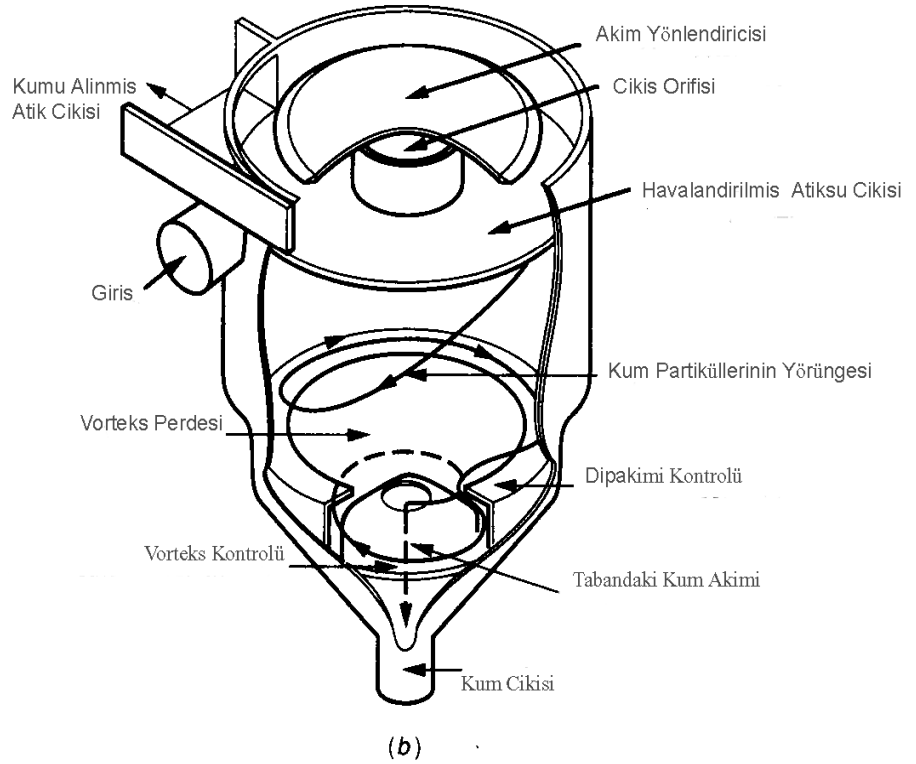
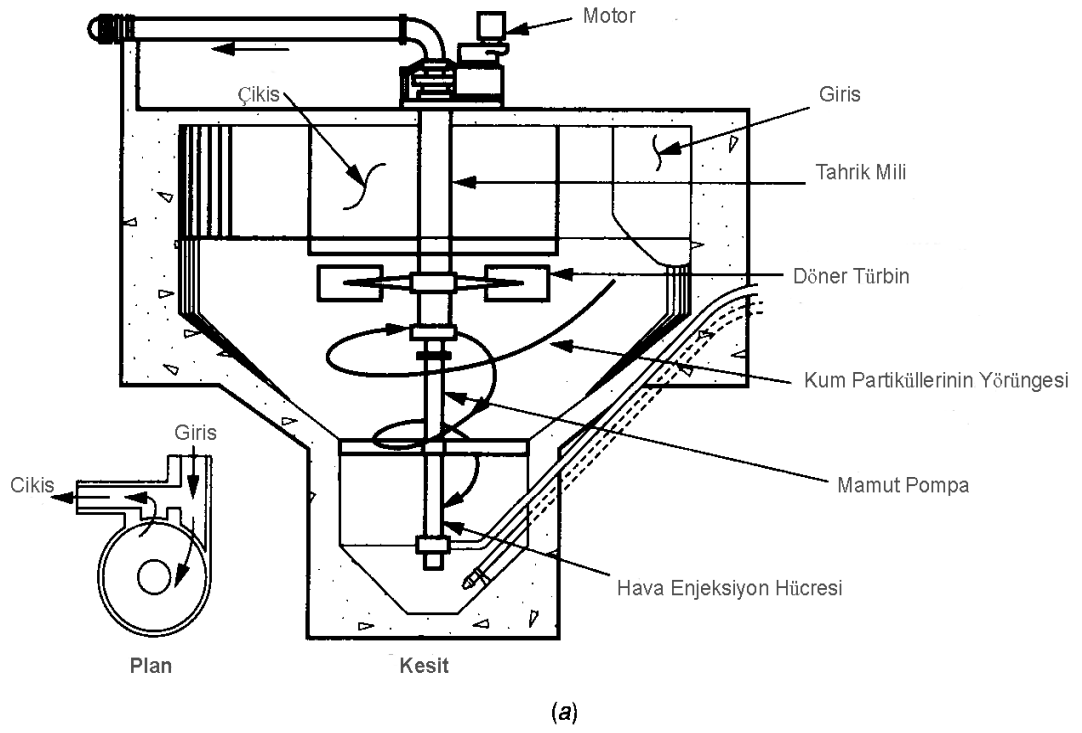
D_m : kum tutucuda maksimum derinlik, L: kum tutucu hücresinin teorik uzunluğu.

Tablo 4.6. Havalandırmalı kum tutucularda tasarım kriterleri (1), (3).

	Değer	
	Aralık	Tipik
Pik debide hidrolik kalış süresi, dak	2,5-5	3
Boyutlar:		
Derinlik, m	0,24-0,40	0,31
Uzunluk, m	0,98-1,28	1,16
Genişlik, m	0,61-0,91	0,76
Genişlik-derinlik oranı	1:1-5:1	1,5:1
Uzunluk-genişlik oranı	3:1-5:1	4:1
Verilecek hava, $m^3/dak.m$ uzunluk	0,19-0,46	
Tutulmuş kum miktarı, $m^3/10^3.m^3$	0,004-0,2	0,015

Vorteks akımlı kum tutucular iki tiptir. Birinci tipte atıksu girişi ve çıkışı teğetsel olarak gerçekleşir. Dönen türbin, sabit akış hızı sağlarken ayarlanabilir bıçaklar, organiklerin kumdan ayrılmasını sağlarlar. Dönen türbin, ayrıca kum parçacıkları için silindirik bir akış oluşturur. Kum, yerçekimi ile oluğun içine çöker. Olukta biriken kum, kum pompası veya havalı kaldırmalı (mamut) pompa ile uzaklaştırılır (Şekil 4.3a)

İkinci tip Vorteks akımlı kum tutucularda giriş akımı, ünitenin üst kısmından teğetsel bir giriş yaparak serbest girdap oluşumunu sağlar. Atıksu, tepeden dönen silindirin merkezinden çıkış yapar (Şekil 4.3b). Silindirin içinde yoğunluğu 1'den büyük parçacıkların yerçekimi etkisiyle çökelmeleri önlenir. Çökebilen maddeler, kum tutucunun dibine yerçekimi ile çökerken, santrifüj kuvveti ile kumdan ayrılan organikler atıksu ile birlikte sistemi terk ederler. Sistemde yük kaybı, giderilen partiküllerin boyutuna bağlı olup çok ince parçacıklar söz konusu olduğunda yük kaybı miktarı yükselir. Bu çeşit kum giderme üniteleri oldukça yeni olup her biri $0,3 m^3/sn$ debiyi kaldırabilir. Bu sistemler çok ağır olduğundan ya derin temelli olmalı veya toprak seviyesinin üstünde olursa terfi istasyonu yapılmalıdır. Vorteks akımlı (dairese) kum tutucuların tasarım kriterleri Tablo 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.3 Dairesel (Vorteks akımlı) kum tutucu

Tablo 4.7. Dairesel (Vorteks) kum tutucular için tipik tasarım kriterleri (1),(3).

	Değer	
	Aralık	Tipik
Pik debide hidrolik kalış süresi, sn		30
Boyutlar:		
Çap		
Üst bölme, m	1,22-7,32	
Alt bölme, m	0,91-1,83	
Yükseklik, m	2,74-4.88	
Kum tutma verimi, %		
50 no.lu elekten geçen (0,30mm üstü)		95
70 no.lu elekten geçen (0,24 mm üstü)		85
100 no.lu elekten geçen (0,15 mm üstü)		65

Kum miktarı: Tutulan kum miktarı; kanalizasyon sisteminin yerine ve durumuna, yolların buzlanmaya karşı ne sıklıkta kumlandığına, endüstriyel atıksu türüne, lavabo öğütücüsü kullanım oranına ve yöredeki çıplak arazi miktarı gibi faktörlere bağlıdır. Tutulan kum miktarı ise 0,004-0,21 m³/10³m³ civarındadır. Tablo 4.8’de muhtelif atıksu arıtma tesislerinde kum ve elek üstü madde miktarları verilmektedir. Atıksu karakteri ve ekipman verimliliğindeki farklılıklar, akış hızı ve toplanan ızgara/elek üstü maddeler ile kum arasında yeterli seviyede bir korelasyon kurulmasını imkansız kılmaktadır.

Kum uzaklaştırılması: Bazı büyük sistemlerde kum çamurla birlikte yakılır. Yürürlükteki yönetmeliklere de bağlı olarak, kumun kireçle stabilize edilip düzenli çöp depolama alanlarında bertarafı da gerekebilir.

Bazı arıtma sistemlerinde kum tutucular kullanılmaz, kum ön çöktürme tankında çöktürülür. Kum ayrımı, seyreltik birincil çamurun siklon tip kum ayırıcı da ayrılması ile sağlanır. Siklon kum tutucu santrifüj ayırıcısı olarak görev yapar. Yani ağır kum ve katı parçacıklar girdap hareketi ile küçük parçacıklardan ve sıvı kısımdan ayrılır. Bu sistemlerin faydası, kum tutucuların ilk yatırım maliyetinin ortadan kaldırılmasıdır. Mahzurları ise şunlardır:

- Seyreltik çamurun pompalanması çamur yoğunlaştırıcı gerektirebilir.
- Kumun birincil çamur ile pompalanması, çamur kolektörlerinin ve çamur pompalarının bakım gereksinimini ve çamur terfi maliyetini artırır.

4.1.3 Dengeleme

Arıtma sistemlerinde dengelemenin amacı atıksu karakteristiklerindeki değişiklikleri minimize ederek arıtım kademelerinde optimum şartları sağlamaktır. Dengeleme ünitesinin boyutu ve tipi atık suyun miktarı ve karakterizasyonu ile ilgilidir. Dengeleme tankı, atıksu debisindeki farklılıkları ve üretimden dolayı zaman zaman atılan veya istemeyerek dökülen

bazı konsantre atıksu akımlarını biriktirebilecek boyutta tasarlanır. Endüstriyel atıksu arıtma tesislerinde dengelemenin amaçları şunlardır (4):

- Biyolojik sisteme şok yüklemeyi önlemek amacıyla organik yük dalgalanmalarını yumuşatmak,
- Yeterli pH kontrolü sağlamak veya nötralizasyon için gerekli kimyasal madde miktarını minimize etmek,
- Üretim olmadığı zamanlarda biyolojik sisteme sürekli atıksu sağlamak,
- Kanalizasyon sistemine daha kontrollü ve çok değişken olmayan su deşarj etmek,
- Biyolojik sisteme yüksek konsantrasyonda toksik maddelerin girişini önlemek.

Dengeleme ünitesinde, konsantrasyonun dengelenmesi ve çökeltmenin önlenmesi amacıyla karıştırma uygulanır. Buna ilaveten karıştırma ve havalandırma ile yükseltgenebilen maddelerin ve BOI' nın kısmi oksidasyonu gerçekleşir. Dengeleme tanklarında karıştırma yöntemleri şunlardır:

- Giriş akımının dağıtımı ve perdeleme
- Türbinlerle karıştırma
- Difüzörle havalandırma
- Mekanik havalandırıcılarla havalandırma

Dengeleme ünitesi tasarımında şu hususlar dikkate alınır:

- Dengeleme ünitesinin arıtma tesisi içindeki yeri
- Dengelemenin hat üzerinde ya da hat dışında olması
- Gerekli dengeleme havuzu hacmi

4.1.3.1 Dengeleme Ünitesinin Yeri

En uygun dengeleme tankı yeri, arıtmanın türü ile atıksu ve atıksu toplama sistemi özelliklerine bağlı olduğundan değişik dengeleme tankı yerleri için detaylı çalışma yapılmalıdır. Dengeleme tankının ön arıtmadan sonra, biyolojik arıtmadan önce bir yerde olması uygundur. Ön arıtmadan hemen sonra dengeleme, çamur ve köpük problemlerini azaltacaktır. İlk çöktürmeden ve biyolojik arıtmadan önce yapılacak dengeleme ünitelerinde, katı maddelerin çökmesini ve konsantrasyon dalgalanmalarını önlemek için yeterli karışım, koku problemine karşı da yeterli havalandırma sağlanmalıdır.

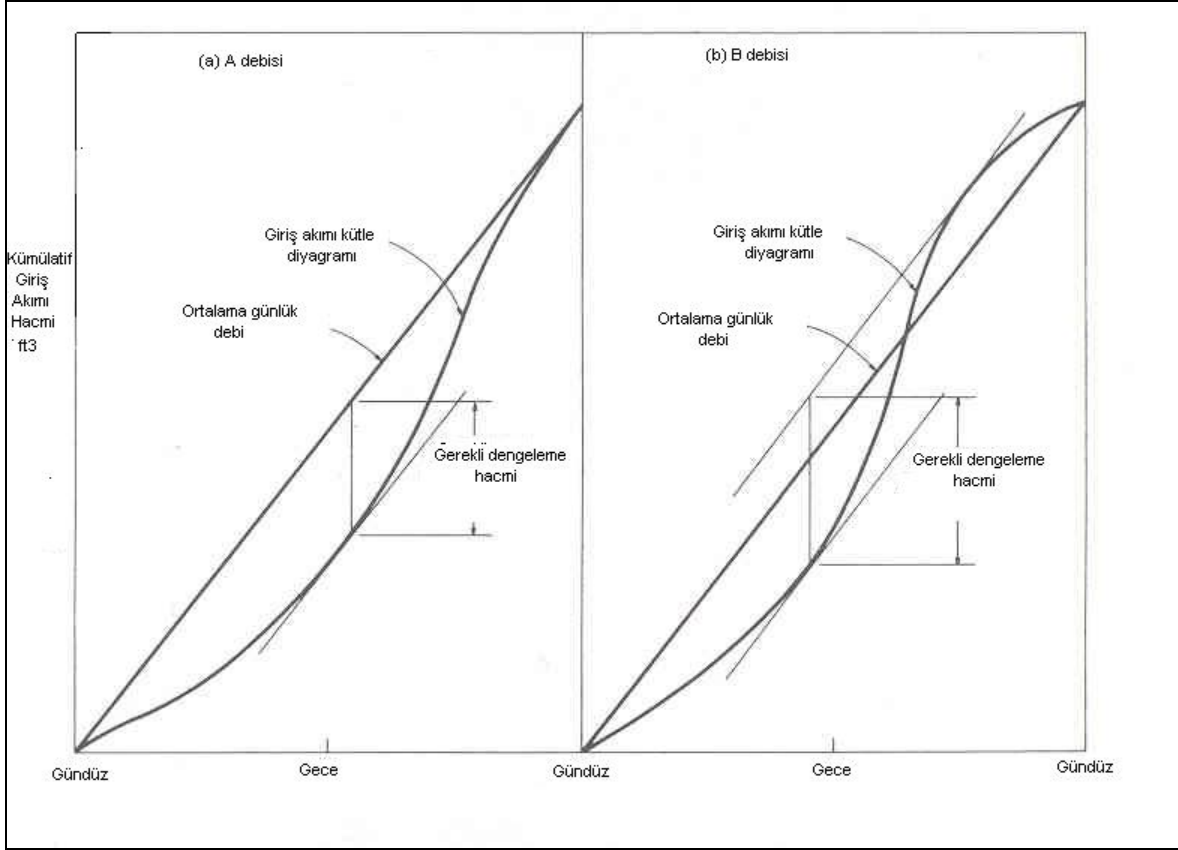
4.1.3.2 Hat Üstü veya Hat Dışı Dengeleme

Dengeleme havuzu atıksu hattına yerleştirilebildiği gibi hat dışına da yerleştirilebilir. Hat dışı dengelemede ortalama günlük debinin üzerindeki debi fazlası by-pass'a yerleştirilmiş dengeleme havuzundan geçirilir, ortalama debi düşünce suyu boşaltmaya başlar. Atıksu hattına yerleştirildiğinde bütün debi bu havuzdan geçer. Bu yüzden konsantrasyon ve debi, hat dışı sisteme kıyasla büyük ölçüde dengelenir.

4.1.3.3 Gerekli Dengeleme Havuzu Hacmi

Debi dengelenmesinde gerekli hacim, toplam akış hacminin (debinin) zamana karşı çizilmesi ile hesaplanır. Aynı diyagrama ortalama günlük debi (orijin ile son noktanın

birleştirildiği düz çizgi) de çizilir (Şekil 4.4). Debi toplam eğrisine teğet, ortalama günlük akış hızı eğrisine paralel bir doğru çizilir. Gerekli dengeleme hacmi, teğet çizilen noktanın ortalama günlük debi doğrusuna dik doğrultudaki uzaklığıdır. Eğer toplam debi grafiği Şekil 4.3-B deki gibi ortalama debi doğrusunun üstüne çıkıyorsa gerekli dengeleme hacmi, iki teğet doğru arasındaki dik uzaklıktır. Uygulamada dengeleme tankı hacmi teorik olarak hesaplanan değerden daha büyük tutulur.



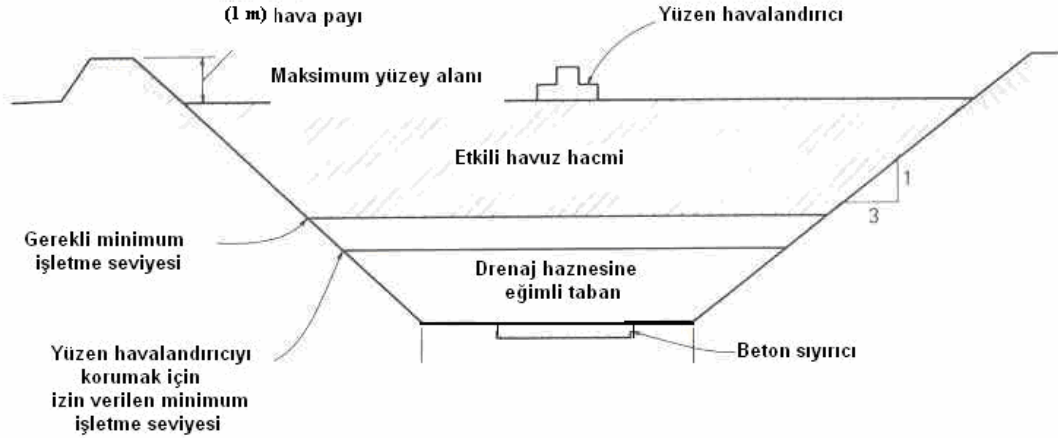
Şekil 4.4 Tipik farklı toplam debi grafiği esas alınarak gerekli dengeleme hacmi bulunmasında kullanılan kütle diyagramı (1)

4.1.3.4 Dengeleme Havuzu İnşası

Dengeleme tankı inşasında dikkate alınacak hususlar, kullanılan malzeme, tank şekli ve teçhizatır. Mevcut bir havuz kullanılacaksa gerekli değişiklikler yapılır. Genellikle borulama ve yapısal değişiklikler gerekir.

Dengeleme Havuzu Malzemesi: Dengeleme havuzları toprak, beton veya çelikten inşa edilebilir. Toprak havuzların maliyeti daha düşüktür. Yerel şartlara bağlı olarak yanal eğim 3:1 ve 2:1 olabilir. Tipik bir dengeleme tankı kesiti Şekil 4.5 de verilmiştir. Yeraltı suyu kirliliğini önlemek için havuz geçirimsiz bir malzeme ile kaplanır. Havasız şartların oluşmasını önlemek için difüzörlü havalandırma veya yüzer havalandırıcılar kullanılır. Yüzer havalandırıcı kullanıldığında korozyona karşı koruma sağlamak amacıyla havalandırıcının altına beton bir plaka yerleştirilir. Yüzer havalandırıcılarda havalandırıcıyı korumak amacıyla minimum çalışma seviyesi 1,5-2 metre olarak öngörülmektedir.

Havuz Şekli: Havuz şekli hat üstü veya hat dışı dengeleme kullanılması durumuna göre değişir. Hat üstü dengeleme uygulandığında dengeleme havuzu mümkün olduğu kadar tam karışimli bir reaktör gibi çalışacak şekilde tasarlanmalı, giriş ve çıkış mekanizmaları kısa devreyi en aza indirecek şekilde olmalıdır. Giriş akımının karıştırıcıya yakın bir yerde olması, birçok noktadan giriş ve çıkış olması, birden fazla bölümlü gibi uygulamalar gerekebilir.



Şekil 4.5 Tipik bir dengeleme havuzu kesiti (1)

İşletme Teçhizatı: Dengeleme tankı tasarımına dahil edilmesi gereken işletme teçhizatı şöyle özetlenebilir: Havuz duvarlarında birikebilecek katı ve yağlı temizleme düzeniği, pompa arızası durumuna karşı acil taşma düzeniği, yüzer madde ve köpük için yüksek çıkış ve köpük problemi varsa havuzun kenarlarında köpük birikimini önlemek üzere su fiskiyesi.

4.1.3.5 Karıştırma ve Hava Gereksinimi

Dengeleme tanklarının düzgün çalışması için karıştırma ve havalandırma gerekmektedir. Karıştırma derecesi, tank içeriğinin karışmasını sağlayacak ve tankta katıların çökmesini önleyecek düzeyde olmalıdır. 220 mg/l askıda katı madde içeren orta kuvvette bir evsel atıksu için karıştırma gereksinimi 4-8 W/m³ dür. Havalı şartları korumak için de 0,01-0,015 m³/m³.dak debide hava verilmelidir. Ön çöktürme sonrası ve kısa kalma süreli (iki saatten daha az) dengelemede havalandırma gerekmeyebilir.

4.1.3.6 Pompa ve Pompa Kontrolü

Dengeleme, atıksu arıtma tesisine göre ilave bir su seviyesi farkı gerektirdiğinden pompalama gerektirir. Pompalama dengelemeye veya dengeleme çıkışında uygulanır ancak arıtma tesisinin emniyeti açısından dengeleme havuzunda pompalama tercih edilir. Minimum geometrik yükseklik, dinamik kayıplar ve su seviyesindeki değişimlerin toplamıdır. Bazı durumlarda hem atıksu girişi hem de çıkışı için terfi gerekebilir.

Tablo 4.8. Değişik atıksu arıtma tesislerinde kum ve elek üstü madde miktarları (3).

Tesisin yeri	Debi, m ³ /gün	Kum m ³ /10 ³ m ³	Elek üstü m ³ /10 ³ m ³
Uniontown, Pennsylvania	11,400	0,074	0,006
East Hartford, Connecticut	15,100	0,017	0,009
Duluth, Minnesota	45,400	0,006	0,004
Lamberts Point Water Pollution Control Plant, Norfolk, Virginia	75,700	0,034	0,009
Village Creek W.W. Treatment Plant, Ft. Worth, Texas	170 000	0,009	0,005
County of Milwaukee, Wisconsin, South Shore	454 000	0,003	0,004
Twin Cities Metro W.W Treatment Plant, Minnesota	825 000	0,034	0,008
Chicago, Illinois	1 260 000	0,003	0,006

4.1.4. Ön Çöktürme

Ön çöktürme, durgun şartlarda özel olarak tasarımlanmış çöktürme tanklarında, çökebilen ve yüzebilen katıların ayrılmasını sağlar. Ön çöktürme tanklarının üç ana fonksiyonu vardır:

- Çökeltme ile sıvıdan katıları (çamur) ayırma,
- Yüzdürme ile sıvıdan katıları (köpük, yağ, yüzen birikintiler) ayırma,
- Katıların yoğunlaştırma.

Ham atıksudan katıların giderilmesi ile bir miktar askıda katı ve BOİ₅ de giderilmiş olur, böylece biyolojik arıtma ünitesinde arıtılacak organik yük azaltılmış olur. Organik yükteki azalma biyolojik arıtma ünitesinde sisteme verilmesi gerekli oksijen miktarının azalmasına, dolayısı ile enerji gereksiniminin ve oluşan fazla aktif çamur miktarının azalmasına neden olur. Ham atıksudaki köpüğün giderilmesi ile de havalandırma tankı ve çöktürme tanklarında köpük oluşumu azaltılmış olur. Ön çöktürme tanklarının bunların dışındaki yararları Tablo 4.9 da verilmiştir.

Ön çöktürme tankları Tablo 4.9 da belirtilen işlevlerin de sağlanması için genellikle büyük kapasiteli (>3800 m³/gün) atıksu arıtma tesislerinde kurulur. Daha küçük tesislerde, ikinci kademe arıtma ünitesi tüm yükü kaldırabilecekse ve köpük, yağ ve yüzen maddeler işletme problemi yaratmayacaksa ön çöktürme ünitesi kurulmaz. Damlatmalı filtre, döner biyolojik disk ve batmış biyolojik reaktör gibi ikinci kademe arıtma üniteleri mevcutsa ekipmanın zarar görmemesi için mutlaka sistemin önüne ön çöktürme tankı konulmalıdır.

Çöktürme tankları dairesel veya dikdörtgen planlıdır. Seçim, tesisin büyüklüğü, yerel arazi şartları, mevcut birincil arıtma ekipmanı, ilgili mühendisin kararı, iş sahibinin tercihi, yatırım ve işletme maliyeti gibi faktörlere bağlıdır.

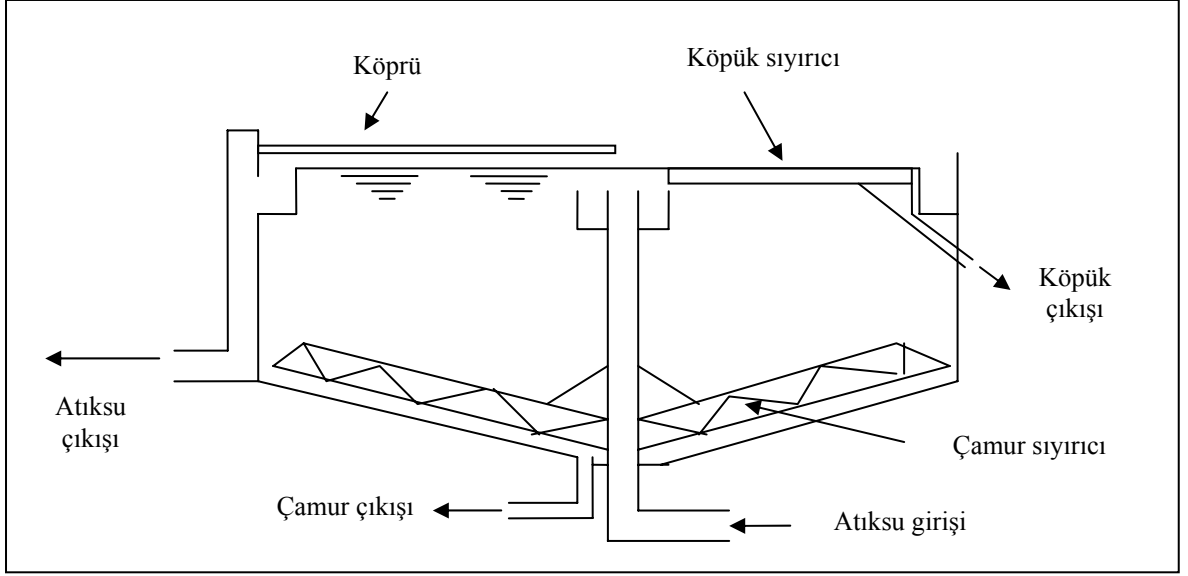
Dairesel ön çöktürme tankları: Dairesel ön çöktürme tanklarında besleme merkezden yapılır. Atıksu merkezden dış duvarlara doğru hareket eder ve dış çevre boyunca uzanan savaktan çıkış yapar. Çöken çamur sıyrıcılarla merkeze doğru itilir. Üstte toplanan yüzer maddeler döner bir sıyrıcı ile toplanarak bir haznede birikir. Dairesel bir çöktürme tankı Şekil 4.6 da verilmiştir.

Tablo 4.9. Ön çöktürme tanklarının diğer işlevleri (5), (6).

İşlev	Etki
Ham atıksu kalite ve debisinin dengelenmesi	Sabit debi sağlayarak ikinci kademe arıtma ünitesinin performansının iyileşmesi sağlanır.
Kum tutucu	Ayrı bir ünite yoksa, çamur ve kum giderimini bir yerde toplar.
atık suyun BOİ ₅ ve Askıda Katı Madde giderimini arttırmak ve besin elementi giderimi için ham atık suyun kimyasal arıtımı	Ön çöktürme tankına kimyasal madde ilavesi ile BOİ ₅ ve Askıda Katı Madde giderimi artırılır ve besin elementi giderimi (genellikle fosfor) sağlanır.

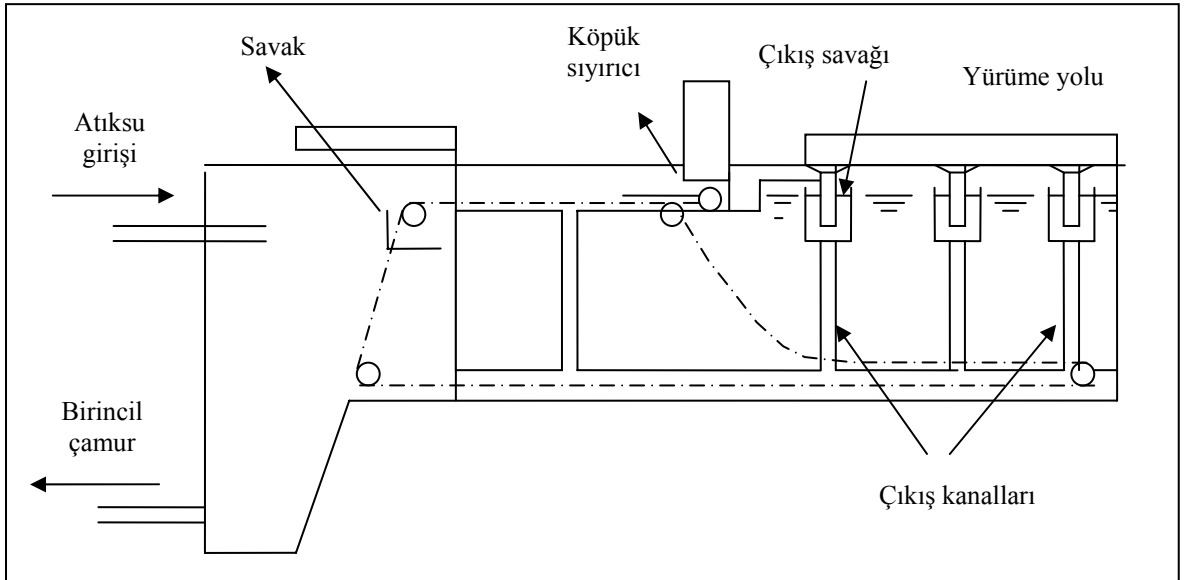
Dikdörtgen ön çöktürme tankları: Dikdörtgen ön çöktürme tanklarında atıksu beslemesi bir uçtan yapılır, atıksu uzun kenar boyunca hareket ederek öbür uçtan tankı terk eder. Çöken çamur dip kısmında atık suyun ters yönünde hareket eden sıyrıcılar vasıtasıyla çamur toplama bölümüne itilir. Tüm su yüzeyinde dolaşan köpük sıyrıcılar yüzeydeki köpüğü toplayarak atıksu çıkışı tarafındaki köpük haznesine iter (Şekil 4.7).

Ön çöktürme tankları yüzey yüküne göre boyutlandırılırlar. İyi bir performans elde etmek için bunun dışında tank derinliği, hidrolik kalma süresi, çamur sıyrıcı küreme kapasitesi gibi parametrelerin de dikkate alınması gereklidir. Yüzeysel hidrolik yük, tüm geri devir akımları da dahil, çöktürme tankına giriş debisinin toplam tank alanına (çıkış akımı toplama olukları da dahil) oranıdır. Ön çöktürme tanklarında yüzeysel hidrolik yük değerleri Tablo 4.10 da verilmiştir.



Şekil 4.6 Dairesel çöktürme tankı şematik görünümü

Uygun hidrolik yüklerde iyi tasarımı yapılmış ve düzgün işletilen bir ön çöktürme tankında ham evsel atıksuda %30-35 BOİ₅, %50-60 askıda katı madde giderimi sağlanır. Endüstriyel atıksu halinde ise atıksudaki çözülmüş BOİ₅ miktarı farklı olduğundan bu oranlar değişir. Ön çöktürme tankına kimyasal ilavesi yapılırsa arıtım verimleri yükselir. Çöktürme tankında hidrolik kısa devre, atıksu debisindeki aşırı değişiklikler, çok yüksek ya da düşük atıksu sıcaklıkları, yüksek geri devir oranları, BOİ₅ ve Askıda Katı giderimlerinin tipik değerlerin altına düşmesine neden olur.



Şekil 4.7 Dikdörtgen ön çöktürme tankı

Ön çöktürme tankının iyi çalışmaması veya aşırı yüklenmesi durumunda ön çöktürme tankı yüklemesi de artmış olacaktır. Ancak son çöktürme tankı daha yüksek yüklemeleri kaldıracak şekilde tasarlanmışsa bu durum bir problem oluşturmaz. Aynı şekilde ön çöktürme tankı yüzeysel hidrolik yükünün önerilenin üstünde olması durumunda, ancak aktif çamur sistemi daha yüksek organik yükü kaldıracak şekilde tasarlanmışsa problem olmayacaktır.

Tablo 4.10. Ön çöktürme tankları için gerekli tasarım bilgileri (1), (6).

	Aralık	Tipik
Ön çöktürme (son çöktürme var):		
Kalma süresi, saat	1,5-2,5	2
Yüzey yükü, m ³ /m ² /gün		
Ortalama akış	33-49	
Pik saatlik debi	81-122	102
Savak yükü, m ³ /m/gün	124-496	248
Aktif çamur geri dönüşlü ön çöktürme:		
Kalma süresi, saat	1,5-2,5	2,0
Yüzey yükü, m ³ /m ² /gün		
Ortalama akış	24-33	
Pik saatlik debi	49-69	61
Savak yükü, m ³ /m/gün	124-496	248

Savak yükünün ön çöktürme tankı performansına etkisi çok azdır. Savak yükünün 124-496 m³/m/gün aralığında olması önerilmektedir. Aşırı değerleri önlemek üzere yeterli tank derinliği ve çıkış suyu olukları arasında yeterli mesafe olması önerilmektedir. Böylece dipte toplanan çamurun hareketlenip çıkış suyu ile sürüklenmesi önlenmiş olur.

Ortalama tasarım debisinde hidrolik bekleme süresi 2,5 saati geçmemelidir. Uzun kalma sürelerinde septik şartlar oluşur ki bu da çöktürme tankı performansının düşmesine (havasız çürüme şartlarında oluşan gazlar çamurun çökmesini engeller) ve koku oluşmasına sebep olur (havasız çürüme sırasında çıkan gazlar). Uzun çamur bekleme süresi ise çöken organik katıların çözünmesine neden olur bu da takip eden arıtma üniteleri için daha yüksek organik yükleme demektir. Düzgün tasarlanmış çamur toplama üniteleri, toplanan çamurun uygun sürede nakli ile tankın dibinde çamur birikimini önleyecektir. Çamur kalınlığı, septik şartların oluşumunu ve uzun çamur kalma yaşını önlemek üzere minimize edilmelidir.

Çöktürme işlemlerinde çöken çamurun akışkan tarafından sürüklenmemesi için akışkanın yatay hızı büyük önem taşımaktadır. Akışkanın yatay hızının belirli bir değerden büyük olması durumunda, çökeltme tankı tabanında birikmiş çamurun sürüklenme riski vardır. Kanalizasyon borularında yatay hız, katı parçacıkların kanalda çökmesini önlemek için yüksek tutulur. Kritik yatay hız aşağıdaki formülle hesaplanır (1),(7).

$$V_H = \left(\frac{8k(s-1)gd}{f} \right)^{1/2} \quad (4.5)$$

Burada:

- V_H : kritik yatay hız, m/sn,
 s : partikül yoğunluğu, (kg/m³),
 g : yerçekimi ivmesi, m/s²,
 d : partikül çapı, m,
 k : sabit (kum için 0,04, yapışkan çamur için 0,06)
 f : Darcy-Weisbach sürtünme faktörü (0,02-0,03)

Boyutlandırma: Dikdörtgen ve dairesel ön çöktürme tanklarının tipik boyutları Tablo 4.11 de verilmiştir.

Tablo 4.11. Ön çöktürmede kullanılan dikdörtgen ve dairesel çöktürme tankı boyutları ve tasarım kriterleri

	Aralık	Tipik
Dikdörtgen		
Derinlik, m	3-4,5	3,7
Uzunluk, m	15-90	24-40
Genişlik, m	3-24	5-10
Sıyırıcı hızı, m/dak	0,6-1,2	0,9
Dairesel		
Derinlik, m	3-4,5	3,7
Çap, m	3-60	12-45
Taban eğimi, mm/m	62-167	83
Sıyırıcı devir sayısı, dev/dak	0,02-0,05	0,03

4.2. Atıksu Pompaları ve Pompa İstasyonları

Atıksu terfi, atıksu, yağmur suyu, çamur ve arıtılmış suların uzaklaştırma işlemlerini kapsar. Debilerdeki dalgalanmalar ve bir problem durumunda çevreyi kirletme riski dolayısıyla kanalizasyon ve yağmur suyu terfi tesisleri, emniyetli ve bakımı kolay olmalıdır. Özellikle büyük pompa istasyonlarında pompa verimi ve atıksu içindeki katıların çökmeden pompalanması çok önemlidir.

Pompa ve ekipmanlarının doğru seçimi ve kullanımı tecrübe gerektirir. Bu bölümde atıksu pompaları seçimine yardımcı olacak temel bilgiler verilmiştir.

Pompalar teorik olarak kinetik enerjili pompalar ve pozitif yer değiştirmeli pompalar olmak üzere iki ana grupta toplanır. Pompa istasyonları ise ıslak ortamlı ve kuru hazneli olmak üzere iki grupta toplanır. Islak hazneli terfi merkezleri, düşey milli ve dalgıç pompalardır. Islak hazneli düşey milli terfi istasyonlarında motor, ıslak hazne sıvı seviyesinin üstünde monte edilir fakat pompa batmış kalır (Şekil 4.8a). Dalgıç pompalar, sıvı içinde çalışmaya uygun, özel izolasyonlu ve entegre motorludurlar (Şekil 4.8b).

Kuru hazneli terfi merkezlerinde kuru tip veya kendinden emişli santrifüj pompalar kullanılır. Pozitif emmenin mümkün olabilmesi için pompa eksenini ıslak taraftaki suyun alt (min) seviyesi hizasında olmalıdır (Şekil 4.8d). Diğer bir alternatif de kuru Şekil 4.8c de görüldüğü gibi pompanın bir kademe teşkili sonucu ıslak bölümün içinde olmasıdır. Bunların dışındakiler vidalı (Şekil 4.8e), hava yükseltmeli (mamut) (Şekil 4.8f), basınçlı havalı (Şekil 4.8g) pompalardır. Çeşitli pompa tipleriyle ilgili kısa açıklamalar ve uygulama alanları Tablo 4. 12’de verilmiştir.

Yükseklik: Belirli bir seviyenin üstündeki belli yükseklikteki sıvı kolonuna eşit hidrolik enerjiyi (kinetik veya potansiyel) tanımlar. Yükseklik ve basınç birbirleri cinsinden ifade edilebilirler (1m su = 9,81 kPa). Terfili iletimde adı geçen başlıca terfi yüksekliği tipleri, emme yüksekliği, basma yüksekliği ve geometrik yüksekliktir.

Bir pompanın toplam terfi yüksekliği (H_m) ise geometrik yükseklik (H_0), toplam yük kaybı (h_f) (yersel yük kayıpları dahil), ve hız yüksekliği (h_v) toplamıdır. Yük kaybı borulardaki yük kaybı olup (emme ve basma). Darcy-Weisbach veya Hazen-Williams formülleri ile hesaplanabilir. Yersel yük kayıpları (h_m), bağlantılar, vana, dirsek, giriş, çıkış gibi yerlerde oluşur ve hız yüksekliği cinsinden hesaplanır.

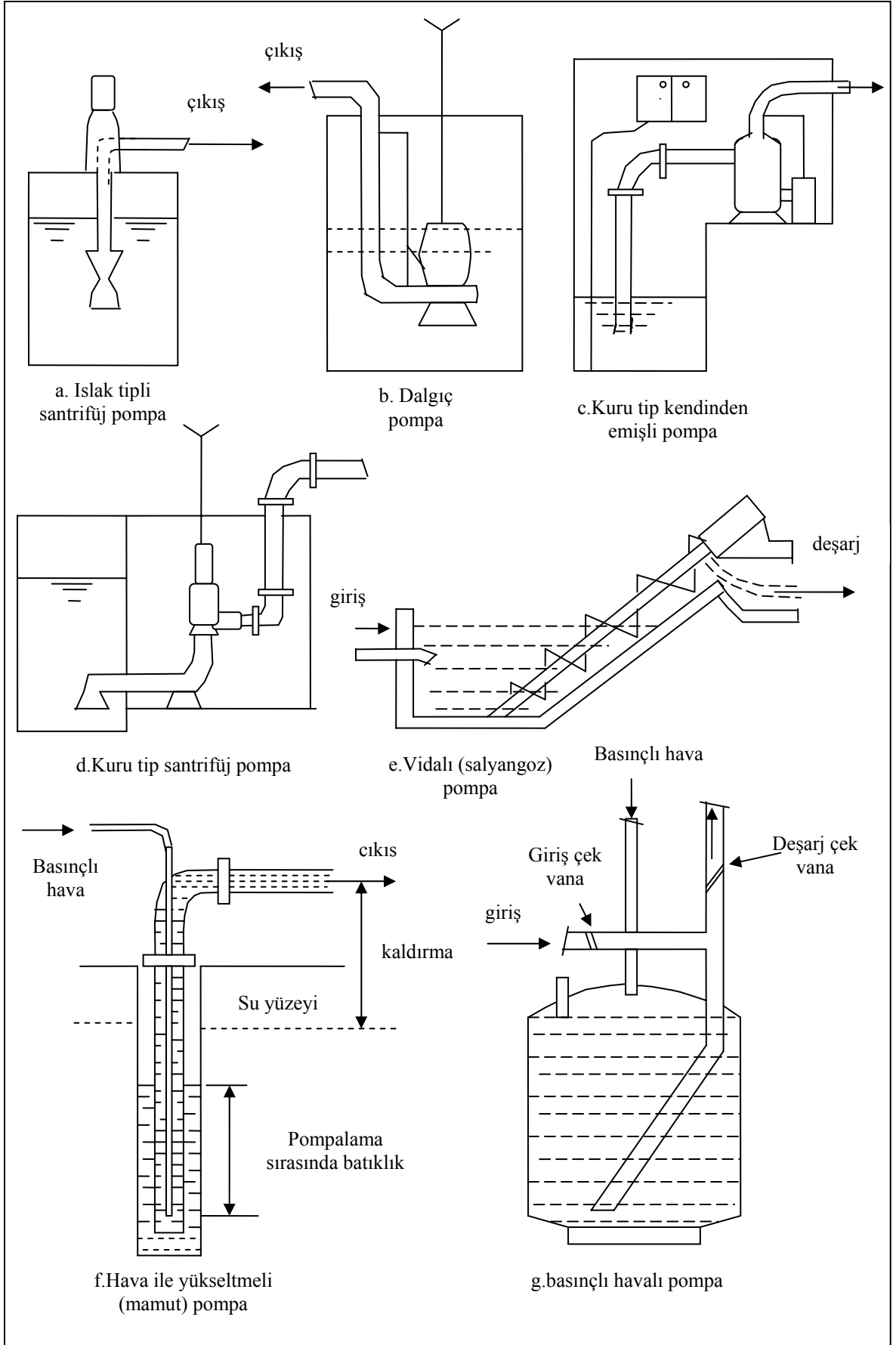
$$H_m = H_0 + h_f + h_m + h_v \quad (4.6)$$

Pompalarda güç gereksinimi: Pompalarda güç gereksinimi (N) (4.7) formülü ile kW olarak hesaplanır (8).

$$N = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{1000 \cdot \eta} \quad (4.7)$$

Burada:

- Q : gerekli pompa debisi, m³/sn,
- η : pompa verimi (%)
- ρ : pompalanacak sıvının yoğunluğu, kg/m³,
- H_m : toplam terfi yüksekliği,
- g : yerçekimi ivmesi, m/sn²,



Şekil 4.8 Çeşitli pompa tipleri ve pompa istasyonları (1)

Tablo 4.12. Pompa çeşitleri ve atıksu arıtımında uygulama alanları (1),(2)

Ana sınıflama	Pompa tipi	Kısa açıklama	Başlıca uygulamaları
Kinetik enerjili	Santrifüj	Pervane giriş ve deşarj bağlantıları ile bir haznede bulunur. Yük santrifüj kuvveti ile oluşur.	Ham atıksu, biyolojik çamur geri devir ve atma, ön çöktürme çamuru, yoğunlaştırılmış çamur, çıkış.
	Vorteks	Hücre içindeki pervane, akımdan bağımsız bir haznede bulunur.	Köpük, kum, çamur ve ham atıksu
	Tork akışlı	Dönen element sıvıyı kapalı bir hazne içinde döndürerek deşarj borusuna iter	Yağlama yağları, kimyasal çözeltiler, küçük debide su ve atıksu
Pozitif yer değiştirmeli	Vidalı	Eğimli bir hazne içinde spiral bir vidadan ibarettir.	Kum, çöktürülmüş ön ve biyolojik çamur, kıvamlaştırılmış çamur, ham atıksu
	Diyafram	Bir silindirin etrafına tutturulmuş esnek bir diyafram veya disk	Kimyasal çözeltiler
	Pistonlu	Silindir içinde hareket eden bir piston veya şırıngadan ibarettir. Her bir defada belirli miktar sıvı pompalar	Köpük, ön, biyolojik ve çöktürülmüş çamurlar. Kimyasal çözeltiler
	Hava ile yükseltmeli	Kısmen batmış dik bir tüpün içine hava gönderilir. Hava kabarcıkları tüpün içindeki akışkanın birim hacim ağırlığını düşürür. Yüksek birim hacim ağırlığındaki akışkan düşük genlikli olanla yer değiştirerek onu tüp içinde yükselmeye zorlar.	Biyolojik çamur geri devri ve deşarjı, kum
	Basınçlı havalı	Hava giriş hücresine basınçla gönderilir, basınçlı hava atıksuyu iter.	Küçük tesislerde (100-600 l/dak) ham atıksu

4.3. Karıştırma

Atıksu arıtımının birçok kademesinde karıştırma gereklidir. Örneğin: bir maddeyi diğeri ile tamamen karıştırmak, sıvı süspansiyonlarını karıştırmak, flokülasyon, ısı transferi gibi. İkinci kademe arıtma çöktürme tankı çıkış suyunun dezenfeksiyon için klor veya hipoklorit ile karıştırılması gerekir. Aktif çamur prosesinde havalandırma tankı muhteviyatının karıştırılması, sisteme mikroorganizmalar için hava veya oksijen verilmesi gerekir. Aktif çamur sistemlerinde havalandırma sistemi aynı zamanda karışımı da sağlar. Çamurdan suyun ayrılmasının kolaylaşması için çamur bazı kimyasallarla karıştırılır. Havasız arıtımda, biyolojik dönüşümün hızlanması ve tüm reaktörün homojen olarak ısınmasının sağlanması için karıştırma uygulanır.

Karıştırma, boru veya kanalda veya reaktörde olarak ayrılır. Boru veya kanalda karışımda amaç bir maddeyi diğeri içinde sürekli karıştırmaktır. Karıştırma süresi saniye mertebesinde. Kimyasalların bir sıvıda hızlı karıştırılması çeşitli şekillerde yapılabilir:

- Açık kanallarda hidrolik sıçrama
- Venturi kanallarında
- Borularda
- Pompalama ile
- Statik mikserlerle
- Mekanik mikserlerle

Bunlardan ilk dördünde karışım türbülansla sağlanır. Statik mikserlerde türbülans enerji dağılması ile sağlanır. Mekanik mikserlerde ise türbülans, dönen bir çark vasıtasıyla enerji verilmesi ile sağlanır.

Reaktörde karıştırmada ise amaç bir reaktör veya tanktaki muhtevayı sürekli karışım halinde tutmaktır. Sürekli karıştırma çeşitli şekillerde yapılabilir:

- Mekanik mikserlerle
- Basıncılı havalı (pnömatik)
- Statik mikserlerle
- Pompalama ile

Basıncılı hava ile karıştırma biyolojik arıtımın havalandırma kademesinde uygulanır.

4.3.1. Karıştırmada Enerji Dağılımı

Birim sıvı hacmine verilen enerji, karıştırmanın etkinliği için yaklaşık bir ölçümdür.

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu V}} \quad (4.8)$$

Burada:

- G : ortalama hız gradyanı, l/sn,
 P : enerji gereksinimi, W,
 μ : dinamik viskozite, N.sn/m²,

V : reaktör hacmi, m³.

Bu bağıntıda her iki taraf teorik hidrolik kalma süresi $t_d = V/Q$ ile çarpılırsa:

$$Gt_d = \frac{1}{Q} \sqrt{\frac{PV}{\mu}} \quad (4.9)$$

Burada:

t_d : kalma süresi, sn,

Q : debi, m³/sn.

Muhtelif karıştırma işlemleri için verilen G değerleri Tablo 4.13 de verilmiştir.

4.3.2. Karıştırmada Enerji Gereksinimi

Karıştırma şekline göre enerji gereksinimi aşağıda verilmiştir.

Pervane ve türbin karıştırıcılar: Karıştırma hızı ve türbülans ne kadar büyükse karıştırma da o kadar etkilidir. Laminer ve türbülanslı şartlar için aşağıdaki formüller kullanılır.

Laminer akış için ($Re < 10$):

$$P = k \mu n^2 D^3 \quad (4.10)$$

Tablo 4.13 Atıksu arıtma proseslerinde tipik hız gradyanı ve kalma süreleri

Proses	Değer aralığı	
	Kalma süresi	G, sn ⁻¹
Hızlı karıştırma		
Atıksu arıtımında tipik hızlı karıştırma işlemleri	5-20 sn	250-1,500
Temaslı filtrasyon proseslerinde hızlı karıştırma	<1-5 sn	1,500-7,500
Yumaklaştırma		
Atıksu arıtımında kullanılan tipik flokülasyon prosesleri	10-30 dak	20-80
Doğrudan filtrasyon proseslerinde flokülasyon	2-10 dak	20-100
Temaslı filtrasyon proseslerinde flokülasyon	2-5 dak	30-150

Türbülanslı akış için ($Re > 10\ 000$):

$$P = k \rho n^3 D^5 \quad (4.11)$$

Burada:

P : Enerji gereksinimi, W,

k : sabit, (Tablo 4.13),

μ : sıvının dinamik viskozitesi, N.sn / m²,

ρ : akışkanın kütle yoğunluğu, kg / m³,

D : karıştırıcı pervane çapı, m,
 N : saniyede devir sayısı, dev/sn.

Reynolds sayısı 4.12 formülü ile bulunabilir.

$$Re = \frac{D^2 n \rho}{\mu} \quad (4.12)$$

Burada:

Re : Reynolds sayısı,
 D : pervane çapı, m,
 N : dev/sn
 ρ : sıvının yoğunluğu, kg/m³,
 μ : dinamik viskozite, N.sn/m².

k değerleri Tablo 4.14'de verilmiştir. Havuzdaki girdap şartlarının, dört adet perde ile ortadan kaldırıldığı kabul edilmektedir (perdelerin her biri tank çapının %10 u genişliğindedir).

Pedallı karıştırıcılar: Pedallı karıştırıcılar genellikle yavaş dönerler. Fiziko-kimyasal arıtımda atıksuya alüminyum veya demir sülfat ve polielektrolit ilave edilirse pedallar floklaştırıcı olarak görev yapar. Flokülasyon yavaş hareket eden pedallar ve hafif karıştırma ile hızlanır. Karıştırma hızlı olursa oluşan floklar parçalanır ve küçülür böylece çökmeleri zorlaşır. Floklaşma 10-30 dakikada tamamlanır. 0,6-0,9 m/sn pedal ucu hızında flokları kırmadan yeterli türbülans sağlandığı bildirilmektedir. Pedallı sistemlerde enerji gereksinimi pedalların sürüklenme kuvveti ile ilişkilendirilir (4.14).

$$F_D = \frac{C_D A \rho v_p^2}{2} \quad (4.14)$$

$$P = F_D v_p = \frac{C_D A \rho v_p^3}{2} \quad (4.15)$$

Tablo 4.14. Karıştırmada enerji gereksinimi k değerleri

Sürücü	Laminer akım	Türbülanslı akım
Pervaneli, kare aralıklı, 3 kanatlı	41,0	0,32
Pervaneli, iki dış aralığı, 3 kanatlı	43,5	1,00
Türbin, 6 düz kanatlı	71,0	6,30
Türbin, 6 eğik kanatlı	70,0	4,80
Fan türbini, 6 kanatlı	70,0	1,65
Türbin, 6 ok tipli kanatlı	71,0	4,00
Düz kanatlı, 6 kanatlı	36,5	1,70
Kaplanmış türbin, 2 eğik kanatlı	97,5	1,08
Bobinli kaplanmış türbin (perdesiz)	172,5	1,12

Burada:

- F_D : sürüklenme kuvveti, N,
 C_D : akışkana dik yönde hareket eden pedalın sürüklenme katsayısı,
 A : pedalların enine kesiti, m^2 ,
 ρ : akışkan kütle yoğunluğu, kg/m^3 ,
 v_p : pedalların akışkana kıyasla rölatif viskozitesi, m/sn, genellikle pedal ucu hızının 0,6-0,75 katı kabul edilir.
 P : enerji gereksinimi, W.

Statik karıştırıcılar: Statik karıştırıcıların hareketli parçaları yoktur. Tipik örnek boru hatlarındaki statik karıştırıcılardır. Hattaki statik karıştırıcılarda hızda ani değişiklikler oluşturulur. Statik karıştırıcılar, kimyasalların karıştırılmasında, şaşırtmalı perdeler ise flokülasyonda kullanılır. Statik karıştırıcılarda kullanılan enerji miktarı (4.16) ile bulunabilir.

$$P = \gamma Q h \quad (4.16)$$

Burada:

- γ : suyun özgül ağırlığı, kN/m^3 ,
 Q : debi, m^3/sn ,
 h : yük kaybı, m.

Basınçlı havalı karıştırma: Karıştırma tanklarına, havalandırmalı kanallara, flokülasyon tanklarına tankın dibinden hava verilerek karıştırma sağlanır. Karıştırma veya flokülasyon tanklarına hava verildiğinde hava kabarcıklarını yükselten enerji, (4.17) formülü ile hesaplanabilir.

$$P = p_a V_a \ln \frac{p_c}{p_a} \quad (4.17)$$

Burada:

- p_a : atmosfer basıncı, kN/m^2 ,
 V_a : atmosfer basıncında hava hacmi, m^3/sn ,
 p_c : deşarj noktasında hava basıncı, kN/m^2 .

Atmosfer basıncında hava debisi m^3/dak ve basınç metre olarak alınırsa (4.17) aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$P = K Q_a \ln \left(\frac{h + 10.33}{10.33} \right) \quad (4.18)$$

Burada:

- K : sabit (1,689),
 Q_a : atmosfer basıncında hava debisi, m^3/dak ,
 h : deşarj noktasındaki hava basıncı, m.

Hız gradyanı G, (4.18) den bulunan P değeri, (4.8) de yerine konularak bulunur.

4.4. Yüzdürme

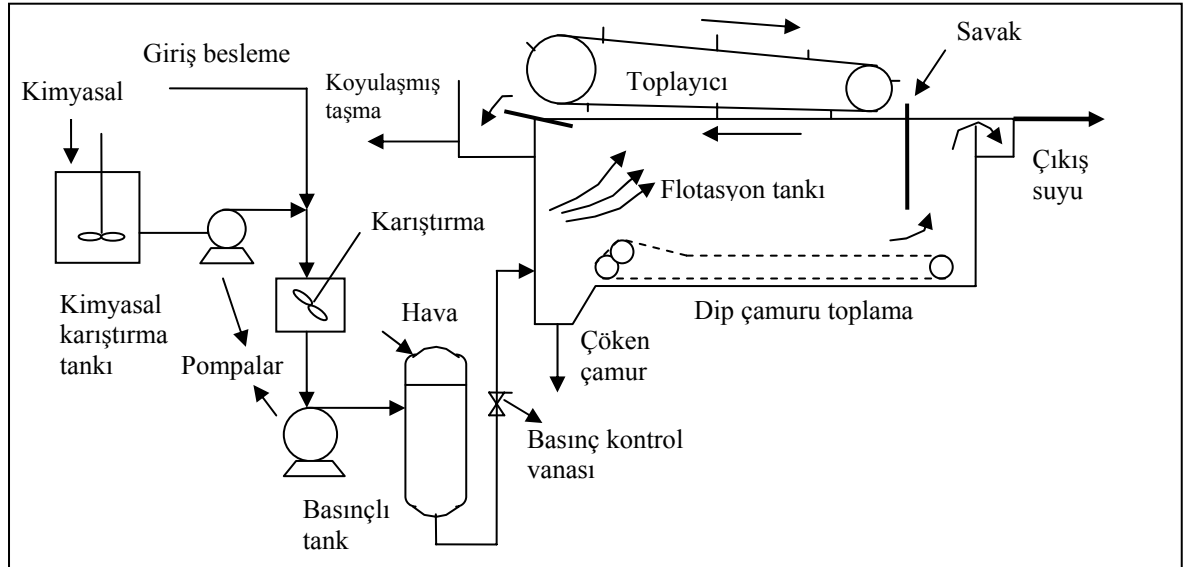
Yüzdürme sıvı fazda, sıvı veya katı partiküllerin ayrıldığı bir işlemdir. Ayırma ince gaz kabarcıklarının (genellikle hava) sıvı faza verilmesi ile sağlanır. Hava kabarcıkları partiküllere tutunur ve birlikte yüze yükselirler.

Atıksu arıtımında yüzdürme, askıda maddeleri uzaklaştırarak, biyolojik çamurun yoğunlaşmasını sağlar. Yüzdürmenin çökeltmeye göre temel üstünlüğü, yavaş çöken çok küçük boyutlu ve hafif partiküllerin çok daha hızlı ve yüksek oranda uzaklaştırılabilmesidir. Yüze çıkan partiküller yüzeyden sıyrılarak toplanırlar.

Yüzdürme işleminde hava kabarcıkları değişik yöntemlerle oluşturulur:

- Sıvı basınç altındayken hava enjekte edilir, sonra basınç kaldırılır (Şekil 4.9) (çözülmüş-hava ile yüzdürme DAF),
- Atmosfer basıncında havalandırma (hava ile yüzdürme),
- Atmosfer basıncında hava ile doyurma, daha sonra sıvıya vakum uygulama (vakum ile yüzdürme).

Bu sistemlerin tümünde giderim verimi bazı kimyasalların kullanımı ile arttırılabilir.



Şekil 4.9. Çözülmüş hava ile yüzdürme sistemi (DAF) şematik görünümü

4.5. Havalandırma

Atıksuyun havalandırılmasında iki temel yöntem vardır:

- hava veya saf oksijenin atıksuya batmış difüzörlerle veya diğer havalandırma cihazları ile verilmesi veya
- atıksuyun mekanik olarak karıştırılarak havanın suda çözünmesinin hızlandırılması.

Difüzörlü hava sistemleri; atıksuya batmış difüzörler ve üfleyiciden (blower) ibarettir. Çeşitli havalandırma sistemlerinin üstünlük, kısıt ve oksijen transfer değerleri Tablo 4.15A ve Tablo 4.15B de verilmiştir.

4.5.1. Difüzörler

Önceleri difüzör sistemleri, ince kabarcıklı ve kaba kabarcıklı olarak iki grupta inceleniyordu. Ancak bu terimlerin tam tanımı , ince ve kaba kabarcıkların boyutları açık olmadığından son yıllarda difüzörlü havalandırma sistemlerini, cihazın fiziksel karakteristikleri ile ifade etmek tercih edilmektedir. Bu şekilde üç esas sınıf belirlenmiştir:

- Gözenekli veya ince gözenekli difüzörler
- Gözenekli olmayan difüzörler
- Jet tipi, aspiratörlü ve U-tüpü havalandırıcılar

Oksijen transferi: Atıksu arıtımında gaz transfer hızı, o andaki gazın çözeltildeki konsantrasyonu ve denge konsantrasyonu farkı ile orantılıdır.

$$r_m = K_g A (C_s - C) \quad (4.19)$$

Burada:

- r_m : kütle transfer hızı,
 K_g : gaz difüzyon katsayısı,
 A : gazın difüze olduğu alan,
 C_s : gazın çözeltildeki doyum konsantrasyonu,
 C : gazın çözeltildeki konsantrasyonu

$$r_m = V \frac{dC}{dt} \quad (4.20)$$

$$r_c = \frac{dC}{dt} = \frac{r_m}{V} = K_g \frac{A}{V} (C_s - C) \quad (4.21)$$

$K_g \frac{A}{V}$ yerine orantı faktörü $K_L a$ yazılarak:

$$r_c = \frac{dC}{dt} = K_L a (C_s - C) \quad (4.22)$$

Burada:

- r_c : konsantrasyon değişimi, mg/l.sn,
 $K_L a$: toplam kütle transfer katsayısı, sn⁻¹,

(4.22) Formülünün $C=C_0$, $C=C$, $t=0$, $t=t$ aralığında integrali alınır (4.23) elde edilir.

$$\frac{C_s - C_t}{C_s - C_0} = e^{-(K_L a)t} \quad (4.23)$$

$(C_s - C_t)$ ve $(C_s - C_0)$ terimleri başlangıç ve sonuçtaki doyum eksikliğini gösterir.

Tablo 4.15A. Çeşitli havalandırma sistemlerinin üstünlük, kısıt ve oksijen transfer değerleri (Basınçlı hava sistemleri) (2),(9).

Havalandırma sistemi	Açıklama	Üstünlükler	Kısıtlar	Transfer verimi (%)	Transfer hızı (standart kgO ₂ /kW.h)
Basınçlı hava sistemi	Hava tankın dibine yakın bir yerden gözenekli veya gözeneksiz difüzörlerden verilir. Hava kabarcıkları yüzeye çıkarken oksijen transferi ve karışma gerçekleşir.				
İnce kabarcıklı	Seramikten yapılmış gözenekli plaka, tüp, kubbemsi difüzör veya lastik esnek membran	İyi karıştırma, hava debisini değiştirerek işletme esnekliği ve iyi oksijen transferi, enerji gereksinimi düşük, membran tiplilerin bakım masrafları düşük	Yüksek yatırım ve bakım masrafları, hava filtresi gerekiyor.	10-30	1,2-2,0
Orta kabarcıklı	Üstü kaplanmış delikli paslanmaz çelik tüp	İyi karıştırma, kaplama malzemesi değiştirilebildiğinden bakım maliyeti düşük	Yatırım maliyeti yüksek, hava filtresi gerekebilir	6-15	1,0-1,6
İri kabarcıklı	Basınçla dağılan hava esnek diskin yerinden oynatabilir.	Tıkanma olmaz, bakımı düşük, hava filtresi gerekmez, spiral akış için kullanılır	İlk yatırım masrafı yüksek, oksijen transferi düşük, enerji gideri yüksek	4-8	0,6-1,2
Jet Havalandırıcı	Basınçlı hava ve sıvı karıştırılıp öylece verilir. İnce kabarcıklar yükselirken karışma ve oksijen transferi sağlar.	Maliyet orta, derin tanklar için uygun, yüksek transfer verimi	Üfleyici (blower) ve pompalama ekipmanı gerektirir, ağızda (nozzle) tıkanma problemi	10-25	1,2-1,4

Tablo 4.15B. Çeşitli havalandırma sistemlerinin üstünlük, kısıt ve oksijen transfer değerleri (Mekanik havalandırma sistemleri) (2),(9).

Havalandırma sistemi	Açıklama	Üstünlükler	Kısıtlar	Transfer verimi (%)	Transfer hızı (standart kgO ₂ /kW.h)
Mekanik sistem	Hava dolambaçlı yoldan yukarı doğru bir tüp içinden akar. Karışma ve oksijen transferi sağlanır.	Yatırım maliyeti düşük, transfer verimi yüksek	Karışım düşük	-	1,2-1,6
Radyal akışlı düşük hızlı (20-60 dev/dak)	Düşük hız, büyük çaplı pervane kullanılır, yüzer veya sabittir, vites değiştirici kullanır.	Tank şekli ve boyutu uyarlanabilir, iyi karışma.	İlk yatırım yüksek, soğuk iklimde buzlanma, redüktör bakım problemi yaratabilir.	-	1,2-2,4
Eksenel akışlı yüksek hızlı (300-1200 dev/dak)	Yüksek hız, daha küçük çaplı pervane kullanılır. Yüzer yapı.	İlk yatırım düşük, çeşitli su seviyelerine ayarlanabilir, esnek işletme.	Soğuk iklimde buzlanma, bakım zor, karışım yetersiz.	-	1,2-2,4
Döner fırçalı	Havalandırma ve sirkülasyon sağlar, çevresinden çelik fırça çıkan silindir şeklinde.	Havalandırma ve sirkülasyon sağlar, oksidasyon hendeklerinde kullanılır, ilk yatırım orta, bakım kolay.	Tank şekli limitli, verim düşük.	-	1,2-2,4
Batmış türbin tipli	Şiddetli karışım sağlar, sıkıştırılmış hava pervanesinin altından verilir. Sabit köprü gerektirir.	Karışım iyi, birim hacim için kapasite yüksek, derin tanklar için uygun, işletme esnekliği, buzlanma ve sıçrama yok.	Üfleyici ve devir düşürücü gerektirir, toplam enerji gereksinimi yüksek, ilk yatırım yüksek.	-	1,0-1,5

Aktif çamur sisteminde K_La değeri, mikroorganizmaların oksijen kullanımı bazında hesaplanır. Havuzda oksijen 1-3 mg/l mertebelerinde tutulur ve oksijen verilir verilmez mikroorganizmalar tarafından kullanılır. Bu ilişki denklem (4.24) de verilmiştir.

$$\frac{dC}{dt} = K_La(C_s - C) - r_M \quad (4.24)$$

Burada:

r_M : mikroorganizmaların oksijen kullanım hızı, (2-7 gO₂/g uçucu askıda katı madde / gün),

Oksijen seviyesi sabit tutulursa dC/dt 0 olur. Buradan 4.24 tekrar düzenlenirse:

$$r_M = K_La(C_s - C) \quad (4.25)$$

Bu durumda C de sabit olur. Warburg cihazında r_M bulunarak aşağıdaki bağıntı yardımı ile K_La hesaplanır.

$$K_La = \frac{r_M}{C_s - C} \quad (4.26)$$

Toplam kütle transfer katsayısı, K_La , sıcaklığın, karıştırma hızının (aynı zamanda havalandırma cihazı tipi ve karışma hücresi şekli) ve sudaki maddelerin de fonksiyonudur. Bu faktörler aşağıda kısaca anlatılmıştır.

- Sıcaklığın etkisi: (4.27) formülü ile ifade edilir.

$$K_{La(T)} = K_{La(20^\circ C)} \Theta^{T-20} \quad (4.27)$$

Burada:

$K_{La(T)}$: T sıcaklığında oksijen kütle transfer katsayısı, sn⁻¹,
 $K_{La(20^\circ C)}$: 20°C de oksijen kütle transfer katsayısı, sn⁻¹.
 Θ : sıcaklık-aktivite katsayısı (1,015-1,040, difüzlü ve mekanik havalandırma sistemleri için tipik değer 1,024 dür).

- Karıştırma ve tank şeklinin etkisi: Karıştırma hızı ve tank şeklinin K_La ya etkisini teorik bazda bulmak çok zordur. Havalandırma sistemlerinde sistem seçimi verimle, verim de K_La ile ilişkili olduğundan mutlaka bulunması gerekmektedir. Havalandırma sistemlerinin genellikle musluk suyu kullanılarak ve düşük çözünmüş oksijen seviyelerinde K_La deneysel olarak belirlenir. Gerçek sistemde K_La 'yı bulmak için α faktörü kullanılır:

$$\alpha = C_s(atıksu)/C_s(musluk suyu) \quad (4.28)$$

α değeri havalandırma sistemi tipi, şekli, karıştırma şekli ve atıksu karakteristiklerine göre değişir (0,3-1,2). Difüzlü sistemlerde 0,4-0,8, mekanik havalandırma sistemlerinde ise 0,6-1,2 arasındadır. Gerçek havalandırma tankı geometrisi, deney için kullanılan çok farklıysa uygun α değerinin seçilmesinde çok dikkatli olunmalıdır.

- Atıksu karakterinin etkisi: Üçüncü düzeltme faktörü β , test sistemi oksijen transfer hızını, sudaki tuzların, partikül maddelerin ve yüzey aktif maddelerin oksijenin çözünürlüğüne etkisini düzeltmek amacıyla kullanılır:

$$\beta = C_s(\text{atıksu})/C_s(\text{çeşme suyu}) \quad (4.29)$$

$\beta = 0,7-0,98$ arasında değişir. Atıksu için genellikle $\beta = 0,95$ kullanılır. β 'nın tayini, atıksu arıtma tesisi laboratuvarlarında kolaylıkla yapılabileceğinden kullanılacak değerlerin laboratuvarında doğrulanması önerilmektedir.

Düzeltilme faktörlerinin uygulaması: Yukarıda bahsedilen düzeltme faktörlerinin kullanımına örnek olarak, deneysel ölçümler yardımı ile mekanik yüzey havalandırıcılı arazi ölçekli sistemde oksijen transfer hızının bulunması örnek olarak verilmiştir.

$$OTR_f = SOTR \left(\frac{\beta C_s - C_w}{C_{s20}} \right) \theta^{T-20} (\alpha) \quad (4.30)$$

Burada:

OTR_f : gerçek işletme şartlarında gerçek oksijen transfer hızı, g O₂/kW.h,

$SOTR$: 20°C ve 0 çözünmüş oksijen test şartlarında standart oksijen kullanım hızı, gO₂/kW.h,

C_s : musluk suyu için arazi şartlarında oksijen doygunluk konsantrasyonu, mg/l,

C_w : işletme şartlarında atıksudaki oksijen, seviyesi mg/l,

C_{s20} : çeşme suyu için 20°C de oksijen seviyesi, mg/l.

Difüzörle havalandırmada (4.30)'daki C_s değerleri, havanın tankın dibinden verilmesi nedeni ile atmosferik doygunluk konsantrasyonundan (su yüzeyindeki değer) daha yüksek olacağı dikkate alınarak düzeltilmelidir.

Difüzörlerin performansı: Oksijen transfer verimi şu faktörlere bağlıdır:

- difüzörün tipi, boyutu ve şekli
- hava debisi
- suya batma derinliği
- tank şekli (difüzörün yeri de dahil)
- atıksu karakteristikleri

Havalandırma teçhizatı önce temiz suda denenir, sonuçlar dönüşüm faktörleri ile işletme şartlarına uyarlanır. Tablo 4.16 da çeşitli difüzörlerin temiz suda oksijen transfer verimleri ve hava debileri verilmiştir. Standart Oksijen Transfer Verimi (SOTE) değerleri 4,57 m difüzör derinliği, 20°C sıcaklık, 101,3 kN/m² basınç ve 0mg/l başlangıç çözünmüş oksijen seviyesinde yapılmıştır.

Gözenekli difüzörlerde Oksijen Transfer Verimi (OTE), iç veya dış tıkanmalar nedeniyle düşebilir. İç tıkanmalar sistemde kullanılan basınçlı havadaki kirliliğin hava filtresinde tutulmamış olmasından kaynaklanabilir. Dış tıkanmalar ise genellikle biyofilm veya inorganik çökelti oluşumundan kaynaklanır.

Tablo 4.16 Çeşitli difüzör sistemleri için temiz suda oksijen transfer verimleri

Difüzör tip ve konumu	Hava debisi m ³ /dak difüzör	SOTE (%) (derinlik 4,57m)
Seramik disk- ızgara	0,011-0,096	25-40
Seramik disk- ızgara	0,014-0,071	27-39
Seramik plaka- ızgara	0,609-1,524 ^a	26-33
Homojen gözenekli plastik tüpler		
Izgara	0,068-0,113	28-32
Çift taraflı spiral merdane	0,085-0,311	17-28
Tek taraflı spiral merdane	0,057-0,339	13-25
Homojen olmayan gözenekli plastik tüp		
Izgara	0,028-0,198	26-36
Tek taraflı spiral merdane	0,057-0,198	19-37
Delikli membran tüpleri		
Izgara	0,028-0,113	22-29
Çeyrek noktalar	0,057-0,169	19-24
Tek yönlü spiral merdane	0,057-0,169	15-19
Jet havalandırma		
Yan başlıklı	1,528-8,490	15-24
Gözeneksiz difüzörler		
Çift taraflı spiral merdane	0,093-0,283	12-13
Orta genişlik	0,0283-5,348	10-13
Tek taraflı spiral merdane	0,283-0,991	9-12

^abirim: m³/m² difüzör.dak

4.5.2. Üfleyiciler (Blower)

Yaygın kullanılan üfleyici tipleri: santrifüj üfleyiciler, pozitif yer değiştirmeli üfleyiciler, santrifüj türbinleridir. Santrifüj tipleri 85 m³/dak nın üstündeki birim kapasitelerde kullanılırlar. Deşarj basıncı 48-62 kN/m² arasındadır.

Atıksu arıtımında üfleyiciler geniş hava debisi, düşük basınç aralıkları ve farklı çevre şartlarında çalışabilmelidir. Üfleyiciler genellikle belirli işletme şartlarında çalışırlar. Atıksu arıtma tesisinde geniş bir hava debisi ve basınç aralığı gerekebileceğinden üfleyicilerin işletme şartlarındaki değişikliğe ve yeni düzenlemeye uygun olduğu konusunda üreticiden onay alınmalıdır. Değişiklik ve düzenleme yöntemleri şöyle sıralanabilir:

Santrifüj üfleyicilerin işletme özellikleri düşük devirli santrifüj pompalara benzer. Basma basıncı kapatma anında kapasitesinin %50'sinde maksimuma yükselir ve sonra düşer. Üfleyicinin işletme noktası santrifüj pompalar gibi basma yüksekliği kapasite eğrisi ile sistem eğrisinin kesişme noktasıdır. Üfleyici özellikleri standart hava şartlarına göre verilir (20°C,

760 mm cıva basıncı ve %36 nispi nem oranı). Standart havanın özgül ağırlığı 1,2 kg/m³ dür. Havanın yoğunluğu santrifüj üfleyicinin performansını etkiler, giriş hava sıcaklığı veya barometrik basınçtaki değişiklik, sıkıştırılmış havanın yoğunluğunu değiştirecektir. Gazın yoğunluğu ne kadar yüksek olursa basınç da o kadar yüksek olur, bunun sonucu olarak sıkıştırma için daha fazla enerji gerekir. Üfleyici seçimi, sıcak yaz günlerinde yeterli kapasiteyi sağlayacak, soğuk kış günlerinde ise yeterli gücü sağlayacak şekilde yapılmalıdır. Adyabatik sıkıştırma için enerji gereksinimi (4.31) de verilmiştir.

$$P_w = \frac{wRT_1}{29.7ne} \left[\frac{(p_2)^{0.283}}{p_1} - 1 \right] \quad (4.31)$$

Burada:

- P_w : her bir üfleyici için enerji gereksinimi, kW,
- w : geçen havanın ağırlığı, kg/sn,
- R : havanın ideal gaz sabiti, 8,314 kJ/k mol °K,
- T_1 : giriş sıcaklığı, °K,
- p_1 : giriş basıncı, atm,
- p_2 : çıkış basıncı, atm,
- n : hava için $(k-1)/k = 0,283$
- k : hava için 1,395,
- e : verim (sıkıştırma için 0,70-0,90)

Basma basıncı 55 kN/m²'nin üstünde ve hava debisi 85 m³/ dak'nın altında ise pozitif yer değiştirmeli üfleyiciler kullanılır. Pozitif yer değiştirmeli üfleyiciler su seviyesinde önemli değişiklikler beklendiğinde de kullanılırlar. Bunlar sabit kapasitede değişken basınçta çalışır.

4.5.3. Mekanik Havalandırıcılar

Mekanik havalandırıcılar yatay milli ve düşey milli olmak üzere iki grupta toplanır. Her iki grup kendi aralarında tekrar yüzeysel ve batmış havalandırıcılar olarak iki gruba ayrılır. Yüzeysel ve batmış havalandırıcılarda oksijen atmosferden alınır, fakat bazı batmış tiplerde hava veya saf oksijen tanka dipten verilir. Her iki durumda da pompalama ve havalandırma hareketi karışımı sağlar.

4.5.3.1. Düşey Milli Yüzeysel Havalandırıcılar

Bu tür havalandırıcılar yüzer ya da sabit motora tutturulmuş batmış veya kısmen batmış pervaneden oluşmuştur. Yüzeysel havalandırıcılar pervane tipine (santrifüj, dönel) veya pervanenin dönüş hızına (düşük hızlı, yüksek hızlı) bağlı olarak sınıflandırılabilir. Santrifüj tipliler aynı zamanda düşük hızlı kategorisine girer. Dönel akış tipliler ise yüksek hızda çalışır. Düşük hızlı havalandırıcılarda pervane elektrik motoruna bağlı devir düşürücü ile çalışır. Motor ve dişli kutusu platforma veya yüzen kısma monte edilir. Yüksek hızlı havalandırıcılarda pervane motorun döner parçasına tutturulur ve mutlaka yüzen kısma monte edilirler. Bu sistemler su yüzeyi değişiminin fazla olduğu veya sabit bir yerin uygun olmadığı gölet ve lagünlerde kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Yüzeysel havalandırıcıların gücü 0,75-100 kW aralığındadır.

4.5.3.2. Düşey Milli Batmış Havalandırıcılar

Mekanik havalandırıcıların çoğu oksijen transferini sağlamak üzere su yüzeyini hava ile şiddetli karıştırma prensibine dayanır. Batmış mekanik havalandırıcılarda pervanenin altından hava veya saf oksijen de verilebilir. Pervane hava kabarcıklarını dağıtır ve tank içeriğinin karışmasını sağlar. Batmış mekanik havalandırıcıların gücü 0,75-100 kW aralığındadır.

4.5.3.3. Yatay Milli Döner Mekanik Havalandırıcılar

Yatay milli mekanik havalandırıcılar yüzeyde ve batmış olmak üzere iki grupta toplanır. Fırça tipli havalandırıcılar, su seviyesinin tam üstünde olacak şekilde fırçalı (çelik fırçalı, plastik çubuklu veya bıçaklı) yatay bir silindirden ibarettir. Çalışma sırasında motora bağlı silindir hızla dönerken suyu tank boyunca spreyley ve atık suyun içine hava alır. Bu tür havalandırıcılar genelde oksidasyon hendeklerinde kullanılır.

Batmış Yatay milli mekanik havalandırıcılar prensip olarak yüzeysel tiplere benzer. Ancak farklı olarak batmış tiplerde, döner şafta tutturulmuş pedal veya diskler vardır. Disklerin, çapın 1/8- 3/8 i kadarı suya batmıştır ve sürekli şekilde suya girerler. Disklerin durması, disk döndüğünde su yüzeyinin altında hava sıkışmasına yol açar. Disklerin yerleştirilmeleri oksijen ve karışma gereksinimine bağlı olarak değişir. Tipik enerji gereksinimi 0,1-0,75 kW/disk'tir.

4.5.3.4. Havalandırıcı Performansı

Mekanik havalandırıcılar standart şartlarda kg O₂/kW-h olarak belirtilen oksijen transfer hızına göre değerlendirilirler. Standart şartlar, 20°C sıcaklık, 0,0 mg/l çözülmüş oksijen (Ç.O), ve test suyu çeşme suyu durumudur. Test ve değerlendirme kararsız-durumda oksijeni sodyum sülfite ile giderilmiş temiz su ile yapılır. Ticari boyutlu yüzey havalandırıcıların verimi 1,2-2,4 kgO₂/kW-h aralığındadır. Çeşitli mekanik havalandırıcıların oksijen transfer değerleri Tablo 4.17 de verilmiştir. Üretici firma tarafından havalandırıcı performansı olarak verilen verim değerleri, söz konusu havalandırıcının gerçek model ve boyutunda yapılan test sonuçları ile doğrulandığında kabul edilmelidir. Tasarımda ise standart performans verileri, arazi şartlarına uyarlanmalıdır. Bu uyarlama aşağıda verilen (4.32) bağıntısı ile sağlanır. Parantez içindeki terim düzeltme faktörüdür.

$$N = N_o \left(\frac{\beta C_{Walt} - C_L}{C_{S20}} \right) 1.024^{T-20} \alpha \quad (4.32)$$

Burada:

- N : arazi şartlarında transfer edilen kgO₂/kW-h,
- N_o : 20°C, Ç.O.=0, şartlarındaki suda transfer edilen kgO₂/kW-h,
- β : tuzluluk yüzey gerilimi düzeltme faktörü, genellikle 1,
- C_{Walt} : verilen sıcaklık ve rakımda çeşme suyunun oksijen doygunluk konsantrasyonu, mg/l,
- C_{S20} : çeşme suyunun 20°C de oksijen doygunluk konsantrasyonu, mg/l,
- C_L : gerçek işletme halinde oksijen konsantrasyonu, mg/l,
- T : sıcaklık, °C,
- α : atıksu için oksijen transferi düzeltme faktörü (Tablo 4.18)

Tablo 4.17. Çeşitli mekanik havalandırıcılar için oksijen transfer değerleri (1).

Havalandırıcı tipi	Transfer hızı kg O ₂ /kW-h	
	Standart ^a	Arazi ^b
Yüzey, düşük-hızlı	1,22-3,04	0,73-1,46
Yüzey düşük-hızlı, tüplü	1,22-2,80	0,73-1,28
Yüzey, yüksek-hızlı	1,22-2,19	0,73-1,22
Yüzey, aşağı doğru türbinli	1,22-2,43	0,61-1,22
Batmış türbin, serpmeye cihazlı	1,22-2,01	0,73-1,09
Batmış pervaneli	1,22-2,43	0,73-1,09
Yüzey, fırça ve bıçaklı	0,91-2,19	0,49-1,09

^a standart şartlar, musluk suyu, 20°C sıcaklık, 101,3 kN/m² basınç, Ç.O.=0,0 mg/l.

^b Arazi şartları, atıksu, 15°C sıcaklık, 152,4m yükseklik, $\alpha = 0,85$, $\beta = 0,9$, işletme Ç.O.=2mg/l.

Tablo 4.18. Düşük hızlı yüzeysel havalandırıcılarda bazı atıksular için tipik α değerleri (1).

Atıksu	BOI ₅ , mg/l		α faktörü ^a	
	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış
Evsel atıksu	180	3	0,82	0,98
Kağıt ve kağıt hamuru	187	50	0,68	0,77
Ambalaj kağıdı	150-300	37-48	0,48-0,68	0,7-1,1
Ağartılmış kağıt	250	30	0,83-1,98	0,86-1,0
İlaç üretimi	4,500	380	1,65-2,15	0,75-0,83
Sentetik elyaf üretimi	5,400	585	1,88-3,25	1,04-2,65

^aSon araştırmalar α değerinin daha düşük ve değişken olabileceğini göstermiştir.

4.5.4. Karıştırma İçin Enerji İhtiyacı

Etkin bir karıştırma için havalandırma tankının şekli ve boyutları önemlidir. Havalandırma tankları kare veya dikdörtgen planlı olabilir. Havalandırma tankında birden fazla havalandırıcı bulunabilir. Mekanik yüzey havalandırıcılar durumunda havalandırma tankının derinlik ve genişliği havalandırıcı boyutuna bağlıdır (tipik değerler Tablo 4.19 da verilmiştir). Batmış tip karıştırıcılar için derinlik 10,7 m'ye kadar çıkabilir.

Tablo 4.19. Mekanik yüzey havalandırıcılar için tipik tank boyutları

Havalandırıcı gücü, kW	Tank boyutu, m	
	Derinlik	Genişlik
7,5	3,0-3,7	9,1-12,2
14,9	3,7-4,3	10,7-15,2
22,4	4,0-4,6	12,2-18,3
29,8	3,7-5,2	13,7-19,8
37,2	4,6-5,5	13,7-22,9
55,9	4,6-6,1	15,2-25,9
74,6	4,6-6,1	18,3-27,4

Büyük kabarcıklı difüzörlü havalandırma sistemlerin yeterli karışımın da garanti edilebilmesi için, hava gereksinimi, 1 m³ tank hacmi için 20-30 L/dak. (spiral döner havalandırma düzeneği için), ince kabarcıklılar için 7-10 L/dak. dır (10). Difüzörlerin havalandırma tankının dibine üniform olarak dizildiği havalandırma sistemlerinde havalandırma hızı 1 m³ tank hacmi için 10-15 L/dak. olarak önerilmektedir. Mekanik havalandırıcılarla tam karışımın sağlanabilmesi için enerji gereksinimi havalandırıcı tasarımı ve tank şekline bağlı olarak 19-39 W/ m³ aralığındadır. Evsel atıksular için havalandırma lagün tasarımında karıştırma için gerekli enerji ihtiyacının kontrol edilmesi çok önemlidir. Çünkü çoğu durumda belirleyici faktör minimum karıştırma enerjisidir.

KAYNAKLAR

- (1) Metcalf & Eddy, 2000, Wastewater Engineering, Treatment Disposal Reuse,. McGraw-Hill International Editions.
- (2) Syed R. Kasim, 1985, Wastewater Treatment Plants, Treatment, Design, and Operation, CBS Publishing Japan Ltd.
- (3) Environmental Protection Agency, EPA, 2003, Wastewater Technology Fact Sheet, Screening and Grit Removal, 832-F-03-011.
- (4) W.Wesley Eckenfelder,Jr. 1989, Industrial Water Pollution Control, ,McGraw-Hill International Editions.
- (5) Water Environment Federation and American Society of Civil Engineers, 1991, Design of Municipal Wastewater Treatment Plants. Manual of Practice No.8, Chapter 10.
- (6) Water Environment Federation, 1996, Operation of Municipal Wastewater Treatment Plants, Manual of Practice No. 11, Chapter 19.
- (7) Biwater Industries & Services, 1993, Water Industries Manual. Walker & Connell Ltd.
- (8) Pont-a-Mousson, 1992, A Comprehensive Ductile Iron Pipeline System.
- (9) Environmental Dynamics inc., 2003, Energy Consumption and Typical Performance of Various Types of Aeration Equipment,
- (10) USPA., (1989), Design Manual- Fine Pore Aeration Systems, Center for Environmental Research, Cincinnati, Ohio.