

## 5. BİYOLOJİK ARITMA

Hızlı nüfus artışı ve endüstrileşme sonucunda oluşan atıksular doğanın özümleyebileceği miktarı aşmış ve alıcı ortamları kirlenme tehlikesi ile karşı karşıya bırakmıştır. Doğadaki ekolojik dengeyi olumsuz yönde etkileyebilecek ve diğer faydalı kullanımlarını engelleyecek bu durumun önüne geçebilmek için atıksuları uzaklaştırmadan önce arıtma zorunluluğu doğmuştur. Atıksuların özellikleri kaynaklarına bağlı olarak önemli farklılıklar gösterir ve bu farklılıklara göre arıtma yöntemleri de değişir. Atıksuların genellikle %99'undan daha yüksek bir kısmı su ve yalnız geri kalan kısmı kirlenici maddelerden oluşmaktadır. Kirleniciler suyun içinde çözülmüş halde bulunabilecekleri gibi, katı madde olarak askıda da bulunabilirler. Bu maddelerin özelliklerine göre uzaklaştırılmaları için kullanılacak arıtma yöntemi de değişir. Örnek olarak organik kirlenicilerin uzaklaştırılması için en etkin yöntemin "biyolojik arıtma" olduğu söylenebilir. Biyolojik arıtma atıksuyun içinde bulunan askıda veya çözülmüş organik maddelerin bakterilerce parçalanması ve çökebilen biyolojik floklarla sıvının içinde kalan veya gaz olarak atmosfere kaçan sabit inorganik bileşiklere dönüşmesidir. Biyolojik arıtmanın esası organik kirlenicilerin doğada yok edilmeleri için yer alan biyoflokülasyon ve mineralizasyon proseslerinin kontrolü ile çevrede ve optimum şartlarda tekrarlanmasıdır. Böylece doğadaki reaksiyonların hızlandırılarak daha kısa bir sürede, emniyetli ortamda gerçekleştirilmeleri sağlanmaktadır.

Biyolojik arıtma sistemleri değişik şekillerde sınıflandırılabilirler. Ortamda oksijen varlığına göre havalı (aerobik) ve havasız (anaerobik) olarak sınıflandırılan bu sistemler kullanılan mikroorganizmaların sistemdeki durumuna göre askıda ve sabit film (biyofilm) prosesleri olarak da sınıflandırılabilirler.

### 5.1 Biyolojik Arıtma Sistemleri

Atıksu arıtımında biyolojik arıtımın fonksiyonu ve mikroorganizmaların rolü bu bölümde verilecektir.

#### 5.1.1 Biyolojik Arıtmanın Amacı

Biyolojik arıtmanın amacı, atıksudaki çökelmeyen kolloidal katıları pıhtılaştırarak gidermek ve organik maddeleri kararlı hale getirmektir. Evsel atıksu arıtımında organik madde içeriğinin yanı sıra azot ve fosfor gibi besi maddeleri de biyolojik arıtımda giderilir. Çoğu kez durumda toksik olabilecek eser (iz) miktardaki organik maddeleri gidermek de önemlidir. Tarım alanlarından geri dönen sularda önemli olan azot ve fosforun arıtılması kritik önem taşır. Endüstriyel atıksular için, organik ve inorganik bileşiklerin arıtımı önemlidir. Bu bileşiklerden çoğu mikroorganizmalar üzerinde toksik etki yaptıkları için genellikle özel zaman ön arıtma gerekebilir.

#### 5.1.2 Biyolojik Arıtmada Mikroorganizmaların Rolü

Atıksudaki BOI'nin giderimi, çökmeyen kolloidal katıların pıhtılaştırılması ve organik maddelerin kararlı hale gelmesi, başta bakteriler olmak üzere çeşitli mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilir. Mikroorganizmalar, kolloidal ve çözülmüş karbonlu organik maddeleri çeşitli gazlara ve yeni hücrelere dönüştürerek kullanırlar. Hücre dokusunun özgül ağırlığı sudan daha fazla olduğundan arıtılmış sudan çökerek ayrılır. Bu

mikroorganizmaları ortamdan ayırmadıkça arıtım tamamlanmış olmaz. Mikroorganizmalar organik yapıda olduklarından atıksuda BOI veya KOI cinsinden ölçülürler ve suya bir miktar kirlilik verirler.

## 5.2 Mikrobiyolojik Metabolizmanın Tanımı

Biyolojik arıtma sistemlerinin tasarımında ve sistem seçiminde, mikroorganizmaların biyokimyasal aktivitelerinin iyi anlaşılması gerçekleştirir. Bu bölümde iki önemli konudan bahsedilecektir. Bunlar, atıksu arıtımında karşılaşılan mikroorganizmaların besi maddesi ihtiyacı ve moleküler oksijen ihtiyacına dayalı mikrobiyal metabolizmaların yapısıdır.

### 5.2.1 Mikroorganizma Çoğalmasında Besi Maddesi İhtiyacı

Mikroorganizmalar, üremelerini ve diğer hayati fonksiyonlarını devam ettirmek için,

- enerji kaynağına,
- yeni hücre sentezi için karbona,
- azot, fosfor, sülfür, potasyum, kalsiyum ve magnezyum gibi inorganik elementlere

ihtiyaç duyarlar. Organik besi maddeleri de hücre sentezi için gereklidir. Mikrobiyal faaliyetler için gerekli karbon ve enerji kaynaklarına substrat adı verilir.

### 5.2.2 Karbon ve Enerji Kaynakları

Mikroorganizmalar için en önemli karbon kaynakları organik madde ve karbondioksittir. Hücre dokusu oluşturmada organik karbon kullanan organizmalar *heterotrof*, yalnızca karbondioksit kullanan organizmalar ise *ototrof* olarak adlandırılırlar. Karbondioksitin organik hücre dokusuna dönüşümü, enerji girdisi gerektiren bir indirgeyici prostestir. Bu nedenle Ototrofik organizmalar, hücre sentezi için Heterotrof'lardan daha çok enerji harcadıklarından daha düşük büyüme hızına sahiptirler.

Hücre sentezinde gereken enerji ışık veya kimyasal oksidasyon ile sağlanır. Işığı enerji kaynağı olarak kullanan bu organizmalar, *fototrof* olarak adlandırılırlar. Fototrofik organizmalar, heterotrofik (bazı sülfür bakterileri) veya ototrofik (alg ve fotosentetik bakteri) olabilirler.

Enerjilerini kimyasal reaksiyonlardan karşılayan organizmalar, *kemotrof* olarak bilinirler. Fototrof ve kemotroflar, heterotrof (protozoa, fungi ve bakterilerin çoğu) veya ototrofic (nitrifikasyon bakterisi) olabilirler.

Kemototrof'lar, indirgenmiş amonyak, nitrit ve sülfid gibi inorganik bileşiklerin oksidasyonundan oluşan enerjiyi kullanırlar. Kemoheterotrof'lar ise organik bileşiklerin oksidasyonu sonucu açığa çıkan enerjiyi kullanırlar. Mikroorganizmaların sınıflandırılması aşağıdaki tabloda verilmektedir.

Tablo 5.1. Enerji ve karbon kaynaklarına göre mikroorganizmaların genel sınıflandırılması (1).

Sınıflandırma	Enerji kaynağı	Karbon kaynağı
Autotrophic: Fotoototrofik	Işık	CO <sub>2</sub>
Kemoototrofic	İnorganik yükseltgeme-indirgeme reaksiyonu	CO <sub>2</sub>
Heterotrofic: Kemoheterotrofik	Organik yükseltgeme-indirgeme reaksiyonu	Organik karbon
Fotoheterotrofik	Işık	Organik karbon

### 5.2.3 Nütrient ve İz Element İhtiyacı

Besi maddeleri, karbon ve enerji kaynağı olmaktan ziyade hücre sentezi ve büyümesinde kısıtlayıcı rol oynarlar. Mikroorganizmanın ihtiyaç duyduğu başlıca inorganik besi maddeleri; N, S, P, K, Mg, Ca, Fe, Na ve Cl'dur. İkinci derece önemli besi maddeleri ise; Zn, Mn, Mo, Se, Co, Cu, Ni, V ve W'dir.

İnorganik besi maddelerine ilave olarak bazı organizmalar için organik besi maddeleri de gerekebilmektedir. Büyüme faktörü olarak bilinen bu organik besi maddeleri, organizmaların ihtiyacı olan ve yalnızca hücre sentezinde kurucu olan maddelerdir. Büyüme faktörü bir organizmadan diğerine farklılık gösterse de temel büyüme faktörleri üç temel grupta sınıflandırılabilirler:

- aminoasitler
- purinler ve pirimidinler
- vitaminlerdir.

### 5.3 Biyolojik Arıtmada Önemli Mikroorganizmalar

Hücre yapıları ve fonksiyonları dikkate alınırse mikroorganizmalar aşağıdaki şekilde sınıflandırılırlar:

- Eucaryotes
- Eubacteria
- Archaeobacteria

Prokaryotik grup (eubacteria ve archaeobacteria) arıtmada birincil derecede önemli olup kısaca bakteri olarak bahsedilir. Ökaryotik grup bitki, hayvan ve protistleri içerir.

### 5.3.1 Bakteri

Bakteriler tek hücreli prokaryotic organizmalardır. 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 değişik isimler alırlar.

### 5.3.2 Bakterilerin Hücre Kompozisyonu

Bakterilerin incelenmesi sonucu %80'inin su ve %20'sinin kuru maddeden meydana geldiği bulunmuştur. Kuru maddenin de %90'ı organik ve %10'u inorganiktir. Bakteri hücrelerinin bileşiminin tipik değerleri Tablo 5.2 de verilmektedir.

Tablo 5.2. Tipik bir bakteri hücresi bileşimi (1).

Elementler	Kuru madde yüzdesi	
	Aralık	Tipik değerler
Karbon	45-55	50
Oksijen	16-22	20
Azot	12-16	14
Hidrojen	7-10	8
Fosfor	1-5	3
Sülfür	0,8-1,5	1
Potasyum	0,8-1,5	1
Sodyum	0,5-2	1
Kalsiyum	0,4-0,7	0,5
Magnezyum	0,4-0,7	0,5
Klorür	0,4-0,7	0,5
Demir	0,1-0,4	0,2
Diğerleri	0,2-0,5	0,3

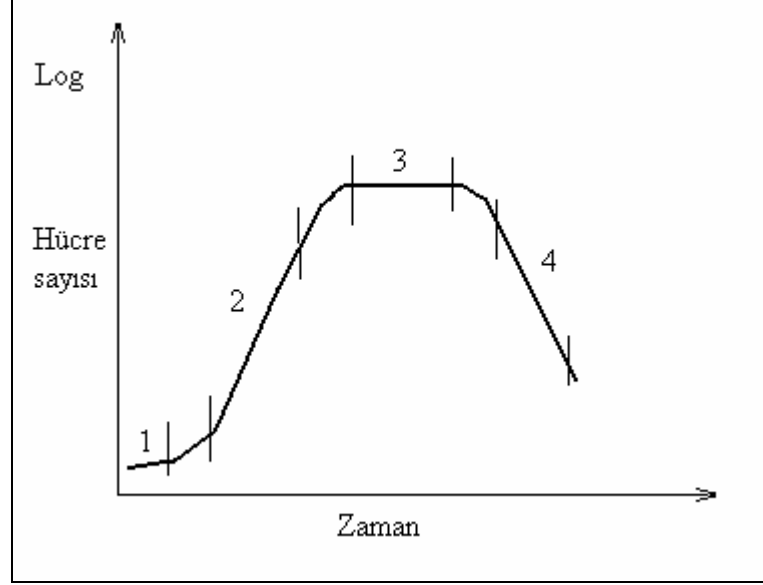
### 5.4 Bakteri Büyümesi

Organizmalar, büyüme ortamına konduklarında ortamdaki besi maddelerini (C, N, O, H, P, S, mineral vd.) kullanarak büyürler. Kesikli beslenen reaktörde büyümede hemen hemen dört dönem gözlenir.

1. Adaptasyon dönemi (lag fazı): organizmaların yeni ortama uyum için geçirdikleri bekleme dönemidir. Bu dönemde, besi ortamının bileşimine ve şartlara göre organizmaların iç yapısında bazı değişiklikler olur. Organizmaların yeni çevreye uymaları ve daha sonra bölünmeleri için belli bir zaman gerekecektir.
2. Logaritmik büyüme dönemi: Ortama adapte olan organizmalar, bu dönemde maksimum hızla büyürler. Bu döneme kararlı büyüme dönemi de denir.
3. Kararlı büyüme dönemi: Bu dönemde hücre konsantrasyonu sabit kalır. Net büyüme hızının sıfır olduğu bu dönemde, büyüme hızı ölüm hızına eşittir. Net büyüme sıfır olmakla birlikte, hücreler metabolik olarak aktiftirler ve ikincil

ürünleri üretirler. Bu dönemde hücreler, ortamda büyüme için gerekli olabilecek substrat ve besi maddelerini tüketmişlerdir.

4. Ölüm dönemi: Bu dönemde bakteri ölüm hızı yeni hücre üreme hızının üzerindedir ve hücre konsantrasyonu zamanla düşer. Ölüm hızı çevre şartları ve canlı popülasyonun fonksiyonudur.



Şekil 5.1. Bakteri büyüme eğrisi (1. alışma fazı, 2. büyüme fazı, 3. durgun faz, 4. ölüm fazı) (1) .

## 5.5 Biyolojik Büyüme Kinetiği

Mikroorganizmaların büyümesi için uygun çevresel şartlar, pH ve sıcaklık kontrolü, besi maddesi ve eser element ilavesi, oksijen ilavesi veya ortamdan uzaklaştırılması ve uygun karıştırma. Bu çevre şartlarının kontrolü, mikroorganizmaların büyümesi için gerekli uygun çevre ortamını sağlar.

### 5.5.1 Hücre Büyümesi

Kesikli ve sürekli beslenen sistemlerde bakteri hücresi büyüme hızı aşağıdaki eşitlikle ifade edilir:

$$r_g = \mu X \quad (5.1)$$

$r_g$  = bakteri büyüme hızı, kütle/hacim.zaman

$\mu$  = Birim zamanda özgül çoğalma hızı katsayısı, zaman<sup>-1</sup>

$X$  = mikroorganizma konsantrasyonu, kütle/hacim.

Kesikli beslenen arıtma sisteminde, bakteri büyüme hızı,  $dX/dt = r_g$  olduğundan bu tür reaktörler için aşağıdaki eşitlik yazılabilir.

$$\frac{dX}{dt} = \mu X \quad (5.2)$$

### 5.5.2 Substrat Limitli (kısıtlı) Büyüme

Kesikli sistemlerde büyüme için gerekli, substrat veya besi maddesinden yalnızca birisinin limitli olması durumunda önce konsantrasyon düşer ve büyüme durur. Sürekli beslemeli sistemlerde, büyüme limitlidir. Deneysel olarak limitli substrat veya besi maddesinin etkisi aşağıdaki Monod eşitliği ile belirlenir.

$$\mu = \mu_{\max} \left[ \frac{S}{K_s + S} \right] \quad (5.3)$$

Burada,

$\mu$  = Birim zamanda özgül büyüme hızı, zaman<sup>-1</sup>

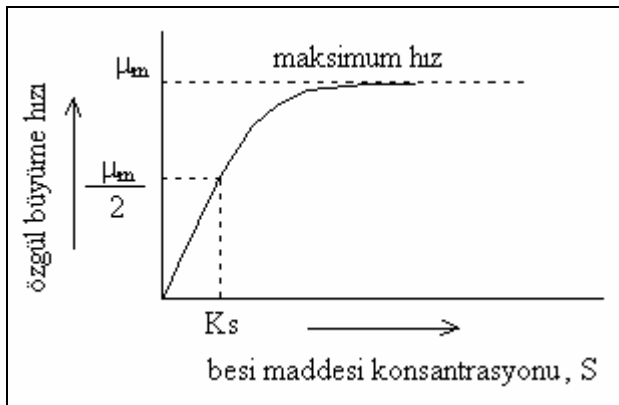
$S$  = Substrat konsantrasyonu, kütle/hacim

$K_s = (\mu = \mu_{\max}/2)$  iken substrat konsantrasyonu (yarı hız sabiti), kütle/hacim

$\mu_{\max}$  = Substrat sınırlı değilken, verilen şartlarda maksimum  $\mu$  değeri

Substrat konsantrasyonunun özgül büyüme hızına etkisi şekil 5.2 de verilmektedir.  $\mu$  değeri eşitlik 5.1 deki yerine konulacak olursa, büyüme hızı aşağıdaki gibi olur.

$$r_g = \frac{\mu_m X S}{K_s + S} \quad (5.4)$$



Şekil 5.2. Besi maddesinin büyüme hızına etkisi.

### 5.5.3 Hücre Büyümesi ve Substrat Kullanımı

Biyolojik oksidasyon proseslerinde BOI giderim mekanizmasının açıklamasında birkaç matematik model önerilmiştir. Ancak bütün modellerin gösterdiği ortak bir sonuç vardır. Yüksek BOI konsantrasyonlarında birim hücrenin giderdiği BOI giderim hızı sabit kalmaktadır. Bu durumda hız konsantrasyona bağlı olup düşecektir.

Ortamda tek bir substrat varsa reaksiyon hızı sıfırıncı derece olup son derece düşük seviyelere kadar substrat artırılır. Birden fazla substrat olması durumunda substratlar farklı hızlarda ortamdan arıtılırlar. Substatlardan bir tanesi tamamen ortamdan giderilene kadar sabit maksimum giderim hızı hakim olacaktır. Diğer substratlar sırayla giderildikçe, toplam reaksiyon hızı düşecektir.

Kesikli ve sürekli sistemlerde, substratın bir kısmı yeni hücrelere dönüştürülürken, bir kısmı da inorganik ve organik son ürünlere oksitlenir. Substrat kullanım hızı ile hücre büyüme hızı arasındaki ilişki aşağıdaki eşitlikle verilebilir;

$$r_g = -Y r_{su} \quad (5.5)$$

Burada,

$r_g$  = bakteri büyüme hızı, kütle/hacim.zaman

$Y$  = maksimum verim (biyokitle dönüşüm) katsayısı, kütle/kütle

$r_{su}$  = substrat kullanım hızı, kütle/hacim.zaman

Laboratuar çalışmaları sonucunda, ürünün

- karbon ve besi elementinin oksidasyonuna,
- substrat polimerizasyon derecesine,
- metabolizma safhalarına,
- büyüme hızına ve
- bu mekanizmanın çeşitli fiziksel parametrelerine

bağlı olduğu bulunmuştur.

$$r_{su} = - \frac{\mu_m X S}{Y(K_s + S)} \quad (5.6)$$

Yukarıdaki bağıntıda ( $\mu_{max}/Y$ ) teriminin yerine aşağıda verilen  $k$  terimi konulabilir. Bu yeni terim, birim zamanda maksimum substrat kullanımını ifade eder. Tipik olarak  $BOI\mu$  ( $\approx KOI$ ) esasına göre  $k=8 \text{ gün}^{-1}$  dir.

$$r_{su} = - \frac{k X S}{K_s + S} \quad (5.7)$$

Arıtma kinetikleri,  $K_s$  ve  $S$ 'nin göreceli değerlerinden etkilenirler. Eşitlikte iki sınır şartı belirlenebilir:

1.  $S \gg K_s$  için,

$$r_{su} \cong k.X \quad (5.8)$$

Bu durumda giderim, substrat konsantrasyonundan bağımsızdır ve giderim hızı, sistemdeki mevcut biyokitle konsantrasyonuna bağlıdır.

2.  $S \ll K_s$  için,

$$r_{su} \cong k.X \left( \frac{S}{K_s} \right) \cong k^1 X S \quad (5.9)$$

Burada,

$$k^1 = k / K_s = \text{Özgül substrat kullanım hızı, (mg/l)}^{-1} \text{ (t)}^{-1}$$

#### 5.5.4 İçsel Solunum Metabolizmasının Etkileri

Atıksu arıtımında kullanılan biyolojik sistemlerde, hücre yaşı dağılımında, mikroorganizmalar hep büyüme fazında değildirler. Büyüme hızı, hücre için gerekli enerjinin hesaplanmasında kullanılır. Ölüm gibi diğer faktörlerde, hesaplamalarda dikkate alınmalıdır. Genellikle bu faktörlerin hepsi göz önüne alınır ve hücre kütlesindeki azalmanın ortamdaki mevcut organizma konsantrasyonu ile orantılı olduğu düşünülür. Literatürde bu azalma içsel solunum olarak tanımlanır ve aşağıdaki gibi formüle edilir;

$$r_d \text{ (içsel solunum)} = -k_d X \quad (5.10)$$

Burada,

$k_d$  = Birim zamanda içsel solunum hızı katsayısı. Gözlemlenen tipik  $k_d$  değerleri 0,07-0,1 gün<sup>-1</sup> dür.

$X$  = mikroorganizma konsantrasyonu, kütle/hacim

Bakteri büyüme hızı,  $r_g$  ile  $r_d$  (eşitlik 5.4 ve 5.5) birleştirilirse, aşağıdaki net büyüme hızı elde edilir;

$$r_g^1 = \frac{\mu_m X S}{K_s + S} - k_d X \quad (5.11)$$

$$r_g^1 = -Y r_{su} - k_d X \quad (5.12)$$

$r_g^1$  = net bakteri büyüme hızı, kütle/hacim.zaman

Özgül net büyüme hızı aşağıdaki gibidir;

$$\mu^1 = \mu_m \frac{S}{K_s + S} - k_d \quad (5.13)$$

$\mu^1$  = net özgül büyüme hızı, zaman<sup>-1</sup>



İçsel solunumun, gözlenen verime etkisi aşağıdaki gibidir;

$$Y_{göz} = \frac{r_g'}{rsu} \quad (5.14)$$

Tablo 5.3. Atıksuların arıtımında kullanılan tipik kinetik katsayı değerleri (3).

Atık	Kaynak	verim	K <sub>d</sub>	μ <sub>max</sub> (gün <sup>-1</sup> )	K <sub>s</sub> (mg/l)	k (gün <sup>-1</sup> )	k <sup>1</sup>
Evsel	BOİu	0,57	0,052	0,67	54	-	0,0234
Evsel	KOI	0,4	0,09	≈3,2	60	8	-
Evsel	BOİ <sub>5</sub>	0,37	0,098	-	45	8,35	-
Evsel*	BOİ <sub>5</sub>	0,73	0,075	-	-	-	0,017-0,03
Petrokimyasal	BOİ <sub>5</sub>	0,31-0,72	0,05-0,18	-	-	-	0,003-0,012

\*Giren atıksudaki askıda katılar da dahildir.

### 5.5.5 Çevre Koşullarının Biyolojik Reaksiyona Etkisi

Çevre koşullarının (sıcaklık, pH, çözünmüş oksijen, çözünmüş karbondioksit, redox potansiyeli, toksisite vb.) organizmalar üzerine etkileri önemlidir. Mikroorganizmaların metabolizmaları (özellikle büyüme faaliyetleri) kendilerini çevreleyen fiziksel ortamın özelliklerine geniş ölçüde bağlıdır.

#### 5.5.5.1 Sıcaklığın etkisi

Mikroorganizmaların metabolizma ile ilgili faaliyetlerinin tümü kimyasal reaksiyonlara dayanmaktadır. Kimyasal tepkimeler gibi, mikroorganizmaların meydana getirdiği tepkimeler de sıcaklığa bağlıdır. Sıcaklık yalnız metabolik aktiviteleri etkilemekle kalmaz biyolojik çamurun çökme özelliği, gaz transfer hızı gibi faktörleri de etkiler. Biyolojik proseslerin reaksiyon hızı üzerindeki sıcaklık etkisi aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilir.

$$r_T = r_{20} \theta^{(T-20)} \quad (5.15)$$

Burada;

- r<sub>T</sub> = T°C deki reaksiyon hızı,
- r<sub>20</sub> = 20°C'deki reaksiyon hızı,
- θ = sıcaklık aktivite katsayısı
- T = sıcaklık, °C

Biyolojik prosesler için θ değeri Tablo 5.4 ve 5.5'de verilmiştir.

Tablo 5.4. Çeşitli biyolojik sistemler için sıcaklık aktivite katsayıları (1).

Sistemler	θ değeri	
	Aralık	Tipik
Aktif çamur	1,00-1,04	1,02
Havalandırmalı lagün	1,06-1,12	1,08
Damlatmalı filtre	1,02-1,14	1,08

Tablo 5.5. Evsel ve Endüstriyel atıksular için sıcaklık aktivite katsayıları (3).

Sistem ve atıksular	θ değeri
Aktif çamur (evsel atıksu)	
> 0,6 kg BOI/kg MLSS	1,0-1,01
< 0,6 kg BOI/kg MLSS	1,01-1,04
Aktif çamur (çözünmüş endüstriyel atık arıtımı)	1,04-1,10
Havalandırmalı lagünler, stabilizasyon havuzları	
Evsel atıksu	1,035
Endüstriyel atıksu	1,035-1,10

Sıcaklık aralıklarına göre organizmalar üç gruba ayrılırlar:

- Psikofilik; düşük sıcaklıkta ( $T < 20^{\circ}\text{C}$ ) büyürler.
- Mesofilik; orta sıcaklıkta ( $20^{\circ}\text{C} < T < 50^{\circ}\text{C}$ ) büyürler.
- Termofilik; yüksek sıcaklıkta ( $T > 50^{\circ}\text{C}$ ) büyürler.

### 5.5.5.2 pH

Hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH), organizmaların aktivitelerini ve büyümelerini önemli ölçüde etkiler. Bu özellik hidrojen iyonunun enzim faaliyetine etkisi ile açıklanabilmektedir. Her organizmanın maksimum aktivite gösterdiği bir optimum pH aralığı vardır. Genellikle bakteriler  $\text{pH} = 3-8$ , mantarlar  $\text{pH}=3-6$ , küfler  $\text{pH}= 3-7$ , bitki hücreleri  $\text{pH}=6,5-7,5$ , arasında optimum aktivite gösterirler. Organizmaların aktivitelerini maksimize edebilmek için ortamın  $\text{pH}'ı$  asit/baz ilavesi ile kontrol edilebilir.

Ortamın  $\text{pH}'ı$  aynı zamanda organizmaların aktiviteleri ile de değişir. Örneğin amonyum ( $\text{NH}_4^+$ ) azot kaynağı olarak kullanıldığında ortama  $\text{H}^+$  verildiğinden pH düşer. Çünkü nitrifikasyon sırasında  $\text{NH}_4^+$  iyonları  $\text{NO}_3^-$ 'e dönüşerek ortama  $\text{H}^+$  iyonları vermektedir. Nitrat iyonları ( $\text{NO}_3^-$ ) azot kaynağı olarak kullanıldığında ise denitrifikasyon oluşur. Burada  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{N}_2$  gazına dönüştüğü için ortamdan  $\text{H}^+$  uzaklaşır ve pH yükselir.

### 5.5.5.3 Çözünmüş Oksijen

Çözünmüş oksijen (ÇO), havalı arıtma sistemlerinde önemli bir parametredir. Suda çözünürlüğü az olan (ÇO =7-8 mg/l,  $25^{\circ}\text{C}$ , 1 atm.) oksijenin sürekli sağlanması ve oksijen sınırlamasının önüne geçilebilmesi için oksijen transfer hızının oksijen kullanma hızından daha büyük olması gerekir. Kritik oksijen konsantrasyonu, bakteri ve mantarlar için

doygunluk konsantrasyonunun %5-10'u arasındadır (1-2 mg/l), küfler için ise doygunluk konsantrasyonunun %10-50'si arasındadır (1-5 mg/l). Ortamda oksijen sınırlamasını gidermek için saf oksijen kullanılabilir gibi, sistem yüksek basınç altında (2-3 atm) da çalıştırılabilir.

#### 5.5.5.4 Çözünmüş Karbondioksit

Çözünmüş karbondioksit ( $\text{CCO}_2$ ) de organizmaların aktivitelerini etkiler. Yüksek konsantrasyonları toksik, düşük konsantrasyonları da sınırlayıcı etki yapar. Bazı organizmalar (ototrofik)  $\text{CO}_2$ 'i karbon kaynağı olarak kullanırlar.

#### 5.5.5.5 İyon Konsantrasyonu

Ortamin iyonik kuvveti (iyon konsantrasyonu) de organizmaların metabolik fonksiyonlarını,  $\text{O}_2/\text{CO}_2$ 'nin çözünürlüğünü ve iyonların hücre içine ve dışına aktarımını etkileyen önemli bir faktördür.

#### 5.5.6 Büyüme ve Substrat Giderim Kinetiklerinin Biyolojik Arıtma Uygulanması

Arıtmada kullanılan biyolojik proseslerden tek tek bahsetmeden önce biyolojik büyüme ve substrat giderim kinetiklerinin uygulama esaslarından bahsedilecektir. Bunun amacı;

- mikroorganizma ve substrat dengesini oluşturmak,
- arıtılmış suda mikroorganizma ve substrat konsantrasyonlarını tahmin etmektir.

Burada tam karışım, çamur geri devirsiz havalı arıtma prosesleri esas alınacaktır.

#### 5.5.7 Mikroorganizma ve Substrat Kütle Dengesi

Mikroorganizma kütle dengesi aşağıdaki gibi ifade edilir:

1. Genel tanımı:

$$\begin{array}{ccccccc} \text{sistemde} & & \text{Sisteme giren} & & \text{Sistemden çıkan} & & \text{Sistemde net} \\ \text{mikroorganizma} & & \text{mikroorganizma} & - & \text{mikroorganizma} & + & \text{büyüyen} \\ \text{birikme hızı} & & \text{debisi} & & \text{debisi} & & \text{mikroorganizma miktarı} \end{array} \quad (5.16)$$

2. Basitleştirilmiş tanımı:

$$\text{Birikim} = \text{Giriş} - \text{Çıkış} + \text{Net büyüme} \quad (5.17)$$

3. Sembolik gösterim:

$$\frac{dX}{dt} V_r = QX_o - QX + V_r r_g^1 \quad (5.18)$$

Burada,

$dX/dt$  = reaktörde mikroorganizma konsantrasyonu değişim hızı, kütle UAKM (uçucu askıda katı madde) /hacim.zaman

$V_r$  = Reaktör hacmi

$Q$  = Debi, hacim/zaman

$X_o$  = Giriş akımındaki mikroorganizma konsantrasyonu, kütle UAKM/hacim

$X$  = Reaktördeki mikroorganizma konsantrasyonu, kütle UAKM/hacim

$r_g^1$  = net mikroorganizma büyüme hızı, kütle UAKM/hacim x zaman

Eğer 5.11 eşitliğinden  $r_g^1$  değeri yerine konursa aşağıdaki eşitlik elde edilir:

$$\frac{dX}{dt} V_r = QX_o - QX + V_r \left[ \frac{\mu_m X S}{K_s + S} - k_d X \right] \quad (5.19)$$

Burada  $S$  = Reaktör çıkışındaki substrat konsantrasyonu, mg/l

Çıkış akımında mikroorganizma konsantrasyonu ihmal edilir ve kararlı şartlar sağlanırsa ( $dX/dt = 0$ ), 5,19 eşitliği sadeleşerek aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$\frac{Q}{V_r} = \frac{1}{\theta} = \frac{\mu_m S}{K_s + S} - k_d \quad (5.20)$$

Burada  $\theta$  = Hidrolik kalış süresi,  $V/Q$

$1/\theta$  net özgül büyüme hızına karşı gelir.  $1/\theta$  aynı zamanda  $1/\theta_c$ 'ye de karşı gelir. Bu durumda çamur yaşı eşitliği de aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\theta_c = \frac{V_r}{Q} \quad (5.21)$$

Substrat kütle dengesi de mikroorganizma kütle dengesine benzer şekilde yazılacak olursa aşağıdaki denklem elde edilir:

$$\frac{dS}{dt} V_r = Q S_o - Q S + V_r \left[ \frac{kXS}{K_s + S} \right] \quad (5.22)$$

Kararlı durumda,  $(dS/dt = 0)$  olduğundan eşitlik aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$(S_o - S) - \theta \left[ \frac{kXS}{K_s + S} \right] = 0 \quad (5.23)$$

Burada  $\theta = V_r/Q$ 'dur.

### 5.5.8 Arıtılmış Atıksuda Mikroorganizma ve Substrat Konsantrasyonları

Kararlı haldeki mikroorganizma (biyokitle) konsantrasyonu aşağıdaki ifadeden bulunur:

$$X = \frac{\mu_m(S_o - S)}{k(1 + k_d\theta)} = \frac{Y(S_o - S)}{(1 + k_d\theta)} \quad (5.24)$$

Benzer tarzda, çıkış substrat konsantrasyonu da aşağıdaki ifadeden bulunur;

$$S = \frac{K_s (1 + \theta k_d)}{\theta(Yk - k_d) - 1} \quad (5.25)$$

Böylece, kinetik katsayılar da bilinirse, Şekil 5.3'den çıkış suyundaki mikroorganizma ve substrat konsantrasyonları tahmin edilebilecektir. Burada önemli bir husus, yukarıdaki eşitlikle tahmin edilebilen çıkış substrat ( $BOI_5$ ,  $KOI$ ) konsantrasyonu çözünmüş formda olup giriş atıksuyunda bulunabilecek askıda katıları hesaba katmaz. Arıtma sisteminden gerçekte çıkan substrat ve askıda katı konsantrasyonları çöktürme tankı verimliliğine bağlıdır.

Gözlenen verim,  $Y_{göz}$ , aşağıdaki eşitlikle verilmektedir;

$$Y_{göz} = \frac{Y}{1 + k_d\theta_c} \quad (5.26)$$

Şekil 5.3. Tam karışımli geri dönüşümsüz reaktörde, çamur kalma yaşına karşı çıkış atık konsantrasyonu ve arıtım verimi (1).

## 5.6 Biyolojik Arıtma Prosesleri

Burada atıksu arıtımı için geliştirilen biyolojik arıtma proseslerinin prensiplerinden bahsedilecektir.

### 5.6.1 Bazı Tanımlar

*Havalı (aerobik) Prosesler:* Oksijenin bulunduğu ortamda faaliyet gösteren biyolojik arıtma sistemidir.

*Havasız (anaerobik) Prosesler:* Oksijenin olmadığı ortamda faaliyet gösteren biyolojik arıtma sistemidir.

*Anoksik Denitrifikasyon:* Oksijenin olmadığı ortamda nitrat azotunu biyolojik olarak azot gazına çeviren prostestir. Bu proses havasız denitrifikasyon olarak ta bilinmektedir.

*Biyolojik Besi Maddesi Giderimi:* Biyolojik arıtma prosesinde azot ve fosforun giderilmesidir.

*Fakültatif prosesler:* Organizmaların moleküler oksijenin bulunduğu veya bulunmadığı ortamlarda fonksiyon gösterebildiği biyolojik arıtma prosesleridir.

*Karbonlu BOI giderimi:* Atıksudaki karbonlu organik maddelerin yeni hücrelere ve çeşitli gaz formundaki son ürünlere biyolojik olarak dönüşümüdür. Bu dönüşümde, çeşitli bileşiklerde bulunan azot amonyuma dönüştürülür.

*Nitrifikasyon:* Amonyanın önce nitrit daha sonra nitrata dönüştürüldüğü biyolojik prostestir.

*Denitrifikasyon:* Nitratı azot ve diğer gaz formundaki son ürünlere dönüştüren biyolojik prostestir.

*Substrat:* Biyolojik arıtımda dönüştürülen organik madde veya besi maddesi anlamında kullanılır.

*Askıda Büyüyen Prosesler:* Biyolojik arıtma sisteminde organik ve diğer maddeleri dönüştürmekten sorumlu mikroorganizmaların sıvı ortamda askıda bulunması halidir.

*Tutunarak Büyüyen Prosesler:* Biyolojik arıtma sisteminde organik ve diğer maddeleri dönüştürmekten sorumlu mikroorganizmaların taş, cüruf veya özel tasarlanmış seramik veya plastik dolgu malzemelerinin üzerine tutunarak sıvı ortamda bulunmasıdır. Bu arıtma sistemleri sabit-film prosesleri olarak da bilinirler.

### 5.6.2 Biyolojik Arıtma Prosesleri

Atıksu arıtımında kullanılan önemli biyolojik prosesler Tablo 5.6'da verilmektedir. Arıtmada beş önemli grup bulunmaktadır, bunlar; havalı prosesler, anoksik prosesler, havasız prosesler, birleşik havalı, anoksik ve havasız prosesler ve lagün prosesleridir. Her bir proses askıda, tutunarak büyüyen veya birleşimi olacak şekilde alt gruplara bölünebilir.

Tablo 5.6 Atıksu arıtımında kullanılan önemli biyolojik arıtma prosesleri(1).

<b>Tipi</b>	<b>Genel Adı</b>	<b>Kullanımı</b>
<b>Havali Prosesler:</b> <i>Askıda-Büyüyen</i>	Aktif çamur prosesleri Konvansiyonel(piston akımlı) Tam karışimli Kademeli havalandırmalı Saf oksijenli Ardışık kesikli reaktör Kontakt stabilizasyonlu Uzun havalandırmalı A.Ç Oksidasyon hendeği Derin şaft A.Ç. sistemi	Karbonlu BOI giderimi ve nitrifikasyon
<i>Yüzeyde büyüyen (Biyofilmlı)</i>	Askıda-büyüyen Nitrifikasyon Havalandırmalı lagün Havali çürütme Konvansiyonel havali Saf oksijenli Damlatmalı Filtre Düşük hızlı Yüksek hızlı Kaba Filtre (roughing) Döner biyolojik disk Dolgulu kuleler	Nitrifikasyon Karbonlu BOI giderimi (nitrifikasyon) Stabilizasyon, karbonlu BOI <sub>5</sub> giderimi nitrifikasyon Karbonlu BOI giderimi nitrifikasyon Karbonlu BOI giderimi karbonlu BOI giderimi ve nitrifikasyon “ “ “ “ “ “
<i>Birleşik askıda ve tutunarak büyüyen sistemler</i>	Aktif çamur biyofiltre prosesleri biyofiltre prosesleri aktif çamur,	“ “ “ “ “
<b>Anoksik Prosesler:</b> <i>Askıda büyüyen Tutunarak büyüyen</i>	Askıda büyüyen denitrifikasyon Sabit-film denitrifikasyon	Denitrifikasyon “ “ “ “
<b>Havasız Prosesler:</b> <i>Askıda büyüyen</i>	Havasız çürütme Standart hızlı, tek kademeli Yüksek hızlı, tek kademeli iki kademeli Havasız kontakt prosesler	karbonlu BOI giderimi “ “ “ “ “ karbonlu BOI giderimi

	Havasız çamur yataklı reaktör	karbonlu BOI giderimi
<i>Tutunarak büyüyen</i>	Havasız filtre Genleşmiş yataklı reaktör	karbonlu BOI giderimi, atık stabilizasyonu, denitrifiaksiyon. karbonlu BOI giderimi, atık stabilizasyonu
<b>Birleşik havalı, havasız ve anoksik prosesler</b> <i>Askıda büyüyen</i>	Tek veya çok basamaklı, çeşitli özel prosesler	Karbonlu BOI giderimi, nitrifikasyon, denitrifikasyon P giderimi
<i>Birleşik askıda ve tutunarak büyüyen</i>	Tek veya çok kademeli prosesler	Karbonlu BOI giderimi, nitrifikasyon, denitrifikasyon, P giderimi
<b>Lagünler</b>	Havali havuzlar, Olgunlaştırma havuzları Fakültatif havuzlar Havasız havuzlar	Karbonlu BOI giderimi Karbonlu BOI gid.(nitr.) Karbonlu BOI giderimi Karbonlu BOI giderimi (atık stabilizasyonu)

### 5.6.3 Biyolojik Arıtma Proseslerinin Uygulamaları

Bu proseslerin temel uygulamaları;

- Atıksuda özellikle BOI, TOK (toplam organik karbon) veya KOI olarak ölçülen karbonlu organiklerin gideriminde,
- Nitrifikasyon,
- Denitrifikasyon,
- Fosfor giderimi ve
- Atık stabilizasyonudur.

Bu kitapta nitrifikasyon, denitrifikasyon ve fosfor giderimi ileri arıtım metotları, katı faz stabilizasyonu da çamur arıtımı ve uzaklaştırılması bölümlerinde detaylı olarak açıklanmıştır.

### 5.7 Biyolojik Arıtma Sistemlerinin Tasarımı

Biyolojik prosesler, atıksudaki biyolojik olarak parçalanmış ve çözünmüş organik maddeleri çöktürme havuzunda çöktürerek gidermek üzere, çökebilen biyolojik ve inorganik floklara dönüştürmek amacıyla kullanılırlar. Bir çok durumda ikinci kademe prosesler olarak tanımlanan biyolojik prosesler, fiziksel ve kimyasal proseslerle birlikte



çalıştırılır. Birinci kademe arıtma (ön çöktürme), çökebilir katıların ayırmada etkin olmasına karşılık, biyolojik prosesler koloidal veya çözünmüş haldeki organik bileşiklerini gidermede etkindirler. Bu proseslerden, havalandırılmalı lagünler, stabilizasyon havuzları ve uzun havalandırılmalı sistemler ön çöktürmeye tasarlanırlar.

Çok sık kullanılan biyolojik prosesler;

- Aktif çamur prosesleri,
- Havalandırılmalı lagünler,
- Damlatılmalı filtreler,
- Döner biyodiskler ve
- Stabilizasyon havuzlarıdır.

Aktif çamur prosesleri veya onun modifikasyonları daha çok büyük tesislerde, stabilizasyon havuzları ise küçük tesislerde kullanılmaktadır.

### 5.7.1 Aktif Çamur Prosesleri

Aktif çamur prosesleri orjinal ve değiştirilmiş formlarında yaygın olarak kullanılan proseslerdir. Bu proseslerin mikrobiyolojisi, reaksiyon kinetiği ve bazı işletme özelliklerinden “Biyolojik Prosesler” bölümünde detaylarıyla bahsedilmiştir. Bu proseslerin pratik uygulamalarına bu bölümde yer verilecektir.

#### 5.7.1.1 Proses tasarımı Yaklaşımları

Aktif çamur prosesi tasarımında göz önünde bulundurulması gereken kriterler:

- Reaktör tipinin seçimi,
- Yükleme kriterleri,
- Çamur üretimi,
- Oksijen ihtiyacı ve transferi,
- Besi maddesi ihtiyacı,
- Filament (ipliksi) organizmaların kontrolü,
- Çıkış suyu özellikleri (deşarj standartları).

**Reaktör Tipinin seçimi:** Herhangi bir biyolojik prosesin tasarımında en önemli adımlardan biri kullanılacak reaktör veya reaktörlerin seçimidir. İşletme faktörleri;

- Arıtım prosesine hakim olan reaksiyon kinetiği,
- Oksijen transfer ihtiyacı,
- Arıtılacak atıksuyun özellikleri,
- Yerel çevresel koşullar,
- İnşaat, işletme ve bakım maliyetlerini içerir.

Bu faktörlerin önemi her uygulama için değişecektir.

Bunların aktif çamur prosesi için önemin kısaca aşağıdaki gibi açıklanabilir.

Birinci faktör; reaksiyon kinetiğinin reaktör seçimi üzerine etkisidir. Çok sık kullanılan iki reaktör tipi vardır. Bunlar tam karışım ve piston akımlı reaktörlerdir. Her iki tip reaktör için de pratik açıdan bakıldığında hidrolik kalış süreleri hemen hemen aynıdır.

İkinci önemli faktör ise oksijen transfer ihtiyacıdır. Konvansiyonel piston akımlı arıtma sistemlerinde, reaktör sonunda ihtiyacı karşılayacak oksijen konsantrasyonlarına ulaşmanın imkansız olduğu bulunmuştur. Bu nedenle aktif çamur proseslerinde çeşitli modifikasyonlara gidilmiştir. Bunlar; kademeli havalandırma, kademeli beslemeli prosesler, atıksuyun reaktör boyunca dağıtıldığı prosesler ve tam karışım proseslerdir. Havalandırma reaktörünün her yerinde aynıdır ve gerekli oksijen ihtiyacı veya fazlası sağlanır.

Üçüncü faktör, atıksuyun yapısıdır. Örneğin, gelen atıksu az veya çok tam karışım reaktörde takriben eşit olarak dağılır. Piston akışlı reaktöre kıyasla mikroorganizmalar çok yüklemelere daha kolay karşı koyabileceğinden alıcı ortama organik ve toksik madde deşarjı bu sistemlerde söz konusu olmayacaktır. Bu nedenle tam karışım reaktörler daha sık kullanılırlar.

Dördüncü faktör, yerel çevresel koşullardır. Bunların arasında sıcaklık, pH ve alkalinite belki de en önemlileridir. Atıksudaki sıcaklık değışimi doğrudan biyolojik reaksiyon hızını etkilemektedir. Örneğin sıcaklıktaki 10°C'lik düşme reaksiyon hızını yarı yarıya düşürür. Atıksu sıcaklığında önemli bir değışim bekleniyor ise, seri halinde tam karışım veya piston akışlı reaktörler kullanmak etkili olacaktır. Alkalinite ve pH özellikle nitrifikasyon proseslerinde oldukça önemlidir. Düşük pH nitrifikasyon bakterilerinin büyümesini engeller (ipliksi organizmaların büyümesine neden olabilir). Düşük alkaliniteli atıksular azda olsa bir tampon kapasitesine sahiptirler ve karışım pH'sı, bakteri solunumu sonucu ortama verilen CO<sub>2</sub> nedeniyle düşer.

Beşinci faktör, ilk yatırım, işletme ve bakım maliyetleri reaktör tipi ve büyüklüğü seçimi açısından son derece önemlidir.

**Yükleme Kriteri:** Aktif çamur prosesinin kontrolü ve tasarımında uzun zamandır deneysel ve rasyonel parametreler kullanılmıştır. En çok kullanılan iki parametre,

mikroorganizma oranı (F/M) ve çamur yaşıdır ( $\theta_c$ ).

mikroorganizma oranı aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$F/M = \left[ \frac{S_0}{\theta X} \right]$$

(5.28)

F/M = mikroorganizma oranı (çamur yükü), gün<sup>-1</sup>

S<sub>0</sub> = Giriş atıksudaki BOI veya KOI konsantrasyonu, mg/l

Θ = havalandırma havuzunun hidrolik kalış süresi = V/Q, gün

V = havalandırma havuzu hacmi, m<sup>3</sup>

$Q$  = atıksu akış debisi,  $m^3/gün$   
 $X$  = havuzdaki uçucu askıda katı madde (UAKM) konsantrasyonu,  $mg/l$

Özgül substrat (besin maddesi) kullanım hızı  $U$  aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$U = \frac{(F/M)E}{100} \quad (5.29)$$

$E$  = proses verimi, %

Verim yerine  $((S_0 - S)/S_0) \times 100$  ve  $F/M$  yerine 5.28 denklemi konulursa yukarıdaki eşitlikteki  $U$  aşağıdaki gibi ifade edilir,

$$U = \frac{S_0 - S}{\theta X} \quad (5.30)$$

$S$  = Çıkış atıksuyu BOI veya KOI konsantrasyonu,  $mg/l$

Çamur yaşı aşağıda verilen her iki denklemle de ifade edilebilir.

*Havalandırma tankı hacmine göre tanımlama:*

$$\theta_c = \frac{V_r X}{Q_w X_w + Q_e X_e} \quad (5.31)$$

$\theta_c$  = çamur yaşı, gün  
 $V_r$  = havalandırma havuzu hacmi,  $m^3$   
 $X$  = havalandırma havuzundaki uçucu askıda katı konsantrasyonu,  $mg/l$   
 $Q_w$  = atılan atıkçamur debisi,  $m^3/gün$   
 $X_w$  = atık çamurdaki uçucu askıda katı konsantrasyonu,  $mg/l$   
 $Q_e$  = çıkış suyu debisi,  $m^3/gün$   
 $X_e$  = Çıkış atıksuyunda uçucu askıda katı konsantrasyonu,  $mg/l$

*Toplam sistem hacmine göre tanımlama:*

$$\theta_{ct} = \frac{X_t}{Q_w X_w + Q_e X_e} \quad (5.32)$$

$\theta_{ct}$  = toplam sisteme bağlı olarak hesaplanması çamur yaşı  
 $X_t$  = sistemde toplam uçucu askıda katı kütlesi, havalandırma havuzu, son çöktürme havuzu ve geri dönüş hattındaki çamuru içerir.

Tasarım çalışmasında 5.31 eşitliği esas alınır, buna göre bütün substratın havalandırma havuzunda arıtıldığı kabul edilir. Sistemdeki toplam çamurun büyük bir kısmı çöktürme tankı ve geri dönüş hattında bulunur. 5.32 eşitliği atılacak çamur miktarının hesaplanmasında kullanılır. Çöktürme tankındaki çamur miktarı, çamur kütlelerinin % KM oranı ve geri dönüş hattındaki çamur konsantrasyonu kullanılarak hesaplanabilir.

Çamur yaşı  $\theta_c$ , besi-mikroorganizma oranı F/M ve özgül substrat kullanım hızı U arasındaki bağıntı aşağıdaki gibi gösterilebilir;

$$\frac{1}{\theta_c} = Y \frac{F}{M} \frac{E}{100} - k_d = YU - k_d \quad (5.33)$$

Y = verim katsayısı, kütle/kütle

E = proses verimi, %

$k_d$  = içsel bozunma katsayısı, zaman<sup>-1</sup>

F/M in tipik literatür değeri 0,05- 1 arasında değişir. İyi kalite çıkış suyu, iyi çökme özelliğine sahip çamur ve kararlı bir sistem için 3-15 gün çamur yaşı uygulanır. Havalandırma tankında tipik hidrolik kalış süresi 4-8 saat arasında değişir. Günlük BOI yükleme hızı da 0,3 –3 kg/m<sup>3</sup>.gündür.

**Çamur Üretimi:** Atılacak çamuru belirlemek ve çamur yoğunlaştırıcı tasarımını yapabilmek için günde üreyen çamur miktarını bilmek önemlidir. Üreyen çamur miktarı aşağıdaki eşitlikte verilmektedir.

$$P_x = Y_{göz} \cdot Q (S_o - S) (10^3 \text{ g/kg})^{-1} \quad (5.34)$$

$P_x$  = atılan fazla aktif çamur, kg/gün

$Y_{göz}$  = gözlenen verim, g/g

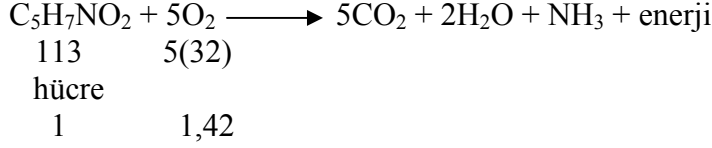
$Y_{göz}$  aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$Y_{göz} = \frac{Y}{1 + k_d(\theta_c \text{ veya } \theta_{ct})} \quad (5.35)$$

$\theta_c$  veya  $\theta_{ct}$  nin kullanılacağı, havalandırma tankındaki veya sistemin tamamındaki çamur konsantrasyonuna bağlıdır. Yüksek konsantrasyonda çamur, çöktürme tankı ve geri dönüş hattında kalıyor ise  $\theta_{ct}$ 'nin kullanımı uygundur. Bu durumda havalı (veya havasız) ortamda içsel solunum ihmal edilmiş olur.

**Oksijen İhtiyacı ve Transferi:** Teorik oksijen ihtiyacı, atığın BOI'si ve sistemden günde atılan çamur miktarından belirlenir. Bütün BOI son ürüne dönüşüyorsa toplam oksijen ihtiyacı, uygun dönüşüm faktörü kullanarak BOI<sub>U</sub> ye dönüşen BOI<sub>S</sub> den hesaplanabilir. Atığın bir kısmının sistemden atılacak yeni organizmalara dönüştüğü bilinmektedir. Bu

nedence, atılan çamurun BOI<sub>L</sub>'i toplamdan çıkarılır ise kalan miktar sisteme verilmesi gereken oksijen miktarını gösterir. Aşağıdaki eşitlikte de görüleceği gibi çamurun (hücrenin) 1 molünün BOI<sub>U</sub>'si (≈KOI) hücre konsantrasyonunun 1,42 sine eşittir.



Bu nedenle, aktif çamur sistemi için atıksudaki organik maddenin giderimi için gereken teorik oksijen ihtiyacı aşağıdaki gibi hesaplanabilir.;

kg O<sub>2</sub>/gün = (kullanılan BOI<sub>L</sub> nin top.kütlesi, kg/gün) – 1,42 (atılan çamur miktarı, kg/gün)

$$\text{kg O}_2/\text{gün} = \frac{Q(S_o - S) (10^3 \text{ g/kg})^{-1}}{f} - 1.42(P_x) \quad (5.36)$$

$f$  = BOI<sub>5</sub>'den BOI<sub>L</sub>'ye dönüşüm faktörü

Nitrifikasyon reaksiyonunun da sistemde gerçekleşmesi durumunda , toplam oksijen ihtiyacı aşağıda gösterildiği gibi karbon gideriminde kullanılan oksijen ile azot dönüşümü (amonyaktan nitrate) için gereken oksijen ihtiyacının toplamıdır.

$$\text{kg O}_2/\text{gün} = \frac{Q(S_o - S) (10^3 \text{ g/kg})^{-1}}{f} - 1.42(P_x) + 4.57 Q(\text{N}_o - \text{N}) (10^3 \text{ g/kg})^{-1} \quad (5.37)$$

N<sub>o</sub> = Giriş atıksuyundaki TKN, mg/l

N = çıkış suyundaki TKN, mg/l

4,57 = TKN'nin tam oksidasyonunda gereken oksijen ihtiyacı için dönüşüm faktörü.

Sistemin oksijen transfer verimi biliniyorsa verilmesi gereken hava miktarı da belirlenir. Verilen hava;

- atıktaki BOI arıtımını,
- çamurun içsel solunumunu,
- ortam için gerekli karışımı,
- havalandırma tankında minimum çözünmüş oksijen konsantrasyonunun 1-2 mg/l olmasını sağlayabilmelidir.

F/M oranı >0,3 ise, hava gereksinimi iri kabarcıklı difüzör kullanıldığında 30-55 m<sup>3</sup>/kg giderilen BOI, ince kabarcıklı difüzör kullanıldığında 24-36 m<sup>3</sup>/kg giderilen BOI'dir. Düşük F/M oranlarında içsel solunum, nitrifikasyon ve uzun havalandırma süresinden dolayı hava ihtiyacı arttığından önerilen değer 75-115 m<sup>3</sup>/kg giderilen BOI'dir. Aktif

çamur proseslerinde, hava ihtiyacı 93,5 m<sup>3</sup>/kg BOI<sub>5</sub>; uzun havalandırmalı sistemlerde ise 125 m<sup>3</sup>/kg BOI<sub>5</sub>'dir.

Tablo 5.7. F/M'e bağlı olarak hava ihtiyacı (1).

	Gerekli hava, m <sup>3</sup> /kg BOI <sub>5</sub>
F/M>0,3	
İri kabarcıklı (gözeneksiz)	30-55
İnce kabarcıklı (gözeneksiz)	24-36
F/M< 0,3	75-115
Aktif çamur	93,5
Uzun havalandırma	125

**Besi maddesi ihtiyacı:** Azot ve fosfor bileşikleri besi maddeleri olup atıksuda yüksek konsantrasyonda bulunmaları biyolojik reaksiyon için inhibisyon, düşük konsantrasyonda bulunmaları ise sınırlama yapar.

Organizma hücresinin bileşimi C<sub>5</sub>H<sub>7</sub>NO<sub>2</sub> olarak alınır, ağırlığının %12,4'ü kadar azot gerekecektir. Bu değer tipik olup sabit değildir. Çevre şartları ve organizma (çamur) yaşına bağlı olarak hücredeki azot ve fosfor dağılımı değişebilmektedir. Birçok biyolojik sistem için gerekli diğer besi maddeleri Tablo 5.8'de verilmektedir.

Tablo 5.8. Birçok organizma için gereken inorganik iyonlar(1).

Fazla miktarlar	Eser miktarlar
Sodyum	Demir
Potasyum	Bakır
Kalsiyum	Manganez
Fosfat	Bor
Klorür	Molibden (bazı protist ve hayvanlar için)
Sülfat	Vanadyum ( " " )
Bikarbonat	Kobalt ( " " )
	İyot (bazı hayvanlar için)
	Selenyum (bazı hayvanlar için)

Tablo 5.9'da *E. Coli*'nin inorganik kompozisyonu verilmektedir. Biyolojik büyüme için gerekli eser elementler yaklaşık olarak buradan hesaplanabilir. Toplam besi miktarı üreyen net mikroorganizma miktarı ile ilgilidir ve besi maddesi gereksinimi çamur yaşının uzun olması ile azalacaktır. Örneğin, iki sistem aynı olmasına rağmen farklı çamur yaşlarında çalıştırıldığında farklı karakterde atıksu çıkacak olmasının nedeni bundan kaynaklanmaktadır.

Tablo 5.9. *E.coli* 'nin inorganik bileşimi(1).

Elementler	% Kuru hücre ağırlığı
Potasyum	1,5
Kalsiyum	1,4
Sodyum	1,3
Magnezyum	0,54
Klorür	0,41
Demir	0,2
Manganez	0,01
Bakır	0,01
Alüminyum	0,01
Çinko	0,01

İpliksi (filament) Organizmaların Kontrolü: Aktif çamur proseslerinde ipliksi organizmaların büyümesi çok sık rastlanan bir işletme problemidir. Sistemde ipliksi organizmaların bulunması çamurun çökeltme özelliğini zayıflatır ve bulking (kabarma) olayı meydana gelir. Tek basamaklı tam karışimli reaktörler düşük substrat seviyelerinden dolayı ipliksi organizmaların büyümelerine çok uygundur. Bazı piston akışlı reaktörlerde de benzer olayla karşılaşmaktadır. Son araştırmalar, ipliksi organizmaların büyümesini engelleyen faktörleri bulmak ve pratik kontrol metotları geliştirilmek üzerine yoğunlaşmıştır. İpliksi organizmaların kontrol ve önlenmesi için bir yaklaşım, ham su ile aktif çamur geri dönüşünün karıştığı ilk temas bölgesi için ayrı bölüm veya selektör kullanmaktır. Selektör, tam karışım veya piston akışlı reaktörlerde, ayrı bir tank veya portatif bir bölme olabilir.

Selektör kavramı biyolojik prosesin yüksek F/M oranının bulunduğu ilk safhasında çözünmüş oksijen konsantrasyonunu kontrol ederek flok formundaki organizmaların büyümesini sağlamaktır. Yüksek substrat oranı nedeniyle çözünmüş organik madde hızlı bir şekilde flok formundaki organizma tarafından adsorplanır. Çözünmüş organiklerin ortamdaki hızlı adsorplanması sayesinde, ortamdaki ipliksi organizmalar için daha az kullanılabilir substrat kalmış olur. Bu metodun iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Yeterli bir karışım için havalandırma sağlanmalı veya mekanik karıştırıcılar kullanılmalıdır.

Selektördeki temas süresi oldukça az olup, genellikle 10 ile 30 dakika arasındadır. Tasarım parametrelerinin tespiti için pilot çalışmaların yapılması tavsiye edilmektedir. Selektörün çok küçük olması durumunda, önemli miktarda çözünmüş substrat havalandırma tankına geçebileceği gibi, çok büyük olması durumunda da seyrelmeyle düşük F/M oranı oluşumu söz konusudur.

**Çıkış Atıksuyu Karakteri:** Çıkış atıksuyu kalitesinin en önemli parametresi organik madde içeriğidir. Biyolojik arıtma proses çıkışının organik madde içeriği aşağıdaki üç bileşenden oluşmaktadır:

- Çözünmüş organikler
  - Biyolojik arıtmadan kaçan organikler.
  - Atığın biyolojik parçalanmasında oluşan ara ürünler.
  - Hücrel bileşimler (mikroorganizma ölümü sonucu).
- Askıda organik maddeler
  - Arıtım sırasında oluşan ve son çöktürme tankından kaçan biyolojik katılar.

- Arıtmadan ve çöktürmeden kaçan giriş atıksuyundaki koloidal organik katılar.
- Biyolojik olarak parçalanamayan organikler
  - Bunlar orijinal olarak ham atıksuda bulunurlar.
  - Biyolojik parçalanmanın ürünleridirler.

Daha önceki bölümde bahsedilmiş olan çıkış atıksuyu kalitesi için geliştirilmiş kinetik eşitlikler teorik olarak biyolojik arıtmadan kaçan çözünmüş organik atıklara uygulanır.

### 5.7.1.1 Proses Kontrolü

Aktif çamur proseslerinin kontrolü yaygın işletme şartları altında yüksek arıtım verimine ulaşmak için önemlidir. Proses kontrolünde kullanılan temel faktörler;

- Havalandırma tankında istenen çözünmüş oksijen seviyesini sağlamak,
- Aktif çamur geri dönüşünü (AÇG) düzenlemek,
- Atık aktif çamuru kontrol etmektir.

Daha önce yükleme kriterleri konusunda da bahsedildiği gibi aktif çamur prosesinde kullanılan en önemli parametreler F/M oranı ve ortalama çamur yaşı,  $\Theta_c$ 'dir. Havalandırma havuzundaki askıda katı madde (biyokütle) konsantrasyonu da kontrol parametresi olarak kullanılmaktadır. Belli bir askıda katı konsantrasyonunu sağlamak için çamur geri dönüşü, atılacak çamur için de  $\Theta_c$ 'yi kontrol etmek önemlidir. Oksijen tüketim hızının (OTH) kullanımı, aktif çamur sisteminin kontrolü ve izlenmesinde önemli parametrelerden biridir.

**Çözünmüş Oksijen Kontrolü:** Aktif çamur sistemi havalandırma tankındaki teorik oksijen miktarı; mikroorganizma faaliyetleri, organik maddenin oksidasyonu ve sistemi belli bir çözünmüş oksijen konsantrasyonunda tutmak için gerekli olan miktarların toplamına eşittir. Oksijenin mikroorganizma büyümesini sınırladığı durumda, ipliksi (filament) mikroorganizmalar baskın duruma geçerek aktif çamurun kalitesini ve çökebilme özelliğini zayıflatırlar. Pratikte, havalandırma tankında çözünmüş oksijen konsantrasyonu 1,5-4 mg/l aralığında tutulmalıdır ancak genel olarak 2 mg/l yeterlidir. 4 mg/l'nin üzerindeki değerler işletme şartlarını önemli ölçüde iyileştirmez, yalnız havalandırma maliyetini önemli miktarda artırır.

**Aktif Çamur Geri Devri Kontrolü:** Sistemde çamur geri dönüşünün nedeni, istenen arıtım derecesine ulaşabilmek için havalandırma tankında yeterli çamur konsantrasyonunu tutabilmektir. Burada çıkış suyunda çamur kaçışını önlemek önemlidir. Katılar çöktürücünün tabanında çamur örtüsü oluştururlar. Çamur örtüsünün kalınlığı zamana göre değişir, çamur pompalama kapasitesinin yetersiz olması durumunda pik akışlarda çöktürücünün derinliği kadar kalınlığa ulaşabilir. Büyük sistemler için çamur pompalama kapasitesi atıksu debisinin %50 ile 100'si, küçük sistemlerde ise %150'sidir.

İstenen çamur geri dönüş hızını hesaplamada birkaç teknik kullanılmaktadır. Buna göre, kontrol stratejisi ya havalandırma sisteminde belli bir askıda katı konsantrasyonu sağlamayı ya da son çöktürme tankında çamur örtüsü derinliğini belirtilen düzeyde tutmayı esas almalıdır. En çok kullanılan teknikler;



- Çökebilirlik,
- Çamur örtüsü seviye kontrolü,
- İkinci çöktürme tankında kütle dengesi,
- Havalandırma tankında kütle dengesi,
- Çamur kalitesidir.

İki kütle dengesi için uygun limitler Şekilde gösterilmiştir. Çöktürme tankındaki çamur battaniyesi örtüsü sabit kaldığı faz edilir ve çöktürme tankı çıkış suyundaki katı konsantrasyonu ihmal edilirse, çöktürme tankı çevresindeki kütle dengesi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\text{Birikim} = \text{Giriş akım} - \text{Çıkış akım} \quad (5.38)$$

$$0 = X(Q + Q_r) - X_r Q_r + X_r Q_w^1 \quad (5.39)$$

Burada

$X$  = Havalandırma havuzundaki askıda katı konsantrasyonu, mg/l

$Q$  = Giriş debisi, m<sup>3</sup>/gün

$Q_r$  = Çamur geri dönüş debisi, m<sup>3</sup>/gün

$X_r$  = Geri dönüşteki askıda katı konsantrasyonu, mg/l

$Q_w^1$  = Atık çamur debisi, m<sup>3</sup>/gün

Çamur geri dönüş debisi aşağıdaki formülden elde edilir.

$$Q_r = \frac{XQ - X_r Q_w^1}{X_r - X} \quad (5.40)$$

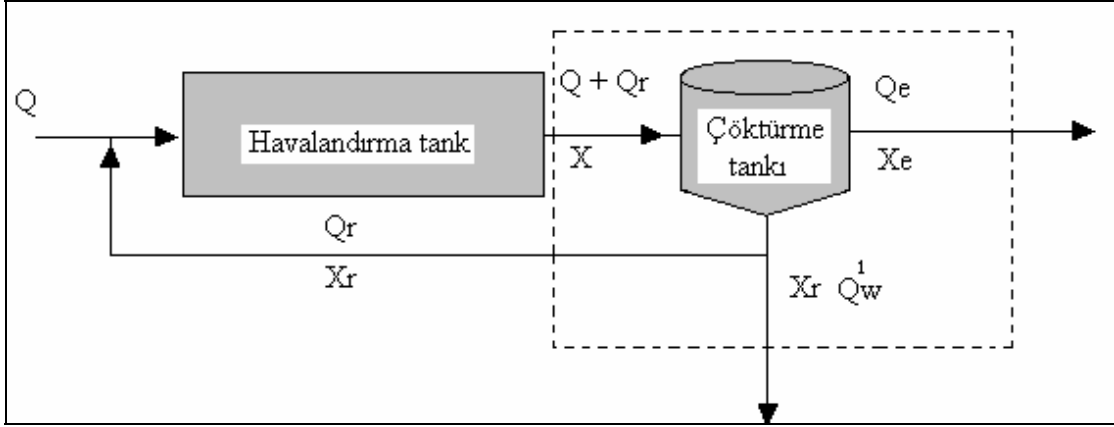
Yüksek organik yüklemelerde bu yaklaşım yanlış olabilir. Havalandırma tankına katı, çamur geri dönüşü ve ham atıksu beslemesi ile girer. Ancak girişteki katı konsantrasyonu ihmal edilirse, havalandırma tankı çevresinde kütle dengesi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\text{Birikim} = \text{Giriş akımı} - \text{çıkış akımı} \quad (5.40a)$$

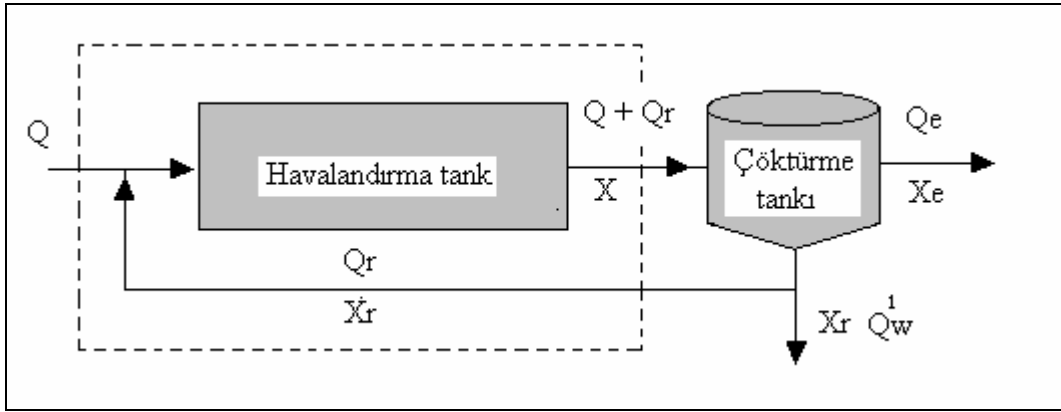
$$0 = X_r Q_r - X(Q + Q_r) \quad (5.41)$$

$Q_r$  için eşitlik çözülürse,

$$Q_r = Q \frac{X}{X_r - X}$$



(a)



(b)

Şekil 5.4. Çamur geri dönüş kontrolü için tipik askıda katı kütle dengesi: a) Çöktürme tankında kütle dengesi, b) Havalandırma tankında kütle dengesi (1).

**Çamur Atma:** Sistem içinde belli F/M oranını veya çamur yaşını sürdürebilmek için üreyen fazla çamurun sistemden uzaklaştırılması gerekmektedir. Bilinen en pratik yol, daha konsantre olduğu ve küçük hacimde çamur atmak gerektirdiği için çamur dönüş hattından çamurun uzaklaştırılmasıdır. Atık çamur ön çöktürme havuzuna yoğunlaştırıcıya veya çürütücüye deşarj edilir.

Proses kontrolünde çamur yaşı esas alınır, geri dönüş hattından çamur atılır ve atma hızı aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$\theta_c = \frac{V_r X}{(Q_w^1 X_r + Q_e X_e)}$$

(5.42)

Burada  $Q_w^1$  = Geri dönüş hattından çamur atma hızı,  $m^3/gün$   
 $X_r$  = Geri dönüş hattındaki çamur konsantrasyonu,  $mg/l$

Çöktürme tankı çıkışında katı madde konsantrasyonu çok düşükse eşitlik kısaltılarak aşağıdaki gibi yazılır;

$$\theta_c \approx \frac{V_r X}{Q_w^1 X_r} \quad (5.43)$$

ve

$$Q_w^1 \approx \frac{V_r X}{\theta_c X_r} \quad (5.44)$$

Çamur atma hızını belirlemek için havalandırma tankı ve geri dönüş hattındaki katı konsantrasyonunun bilinmesi gerekmektedir.

Çamur yaşı proses kontrolünde kullanılıyorsa havalandırma tankından atılacak çamur debisi çıkıştaki AKM ihmal edilerek;

$$\theta_c = \frac{V_r}{Q_w} \quad (5.45)$$

veya

$$Q_w \approx \frac{V_r}{\theta_c} \quad (5.46)$$

ifadesinden hesaplanabilir.

Burada  $Q_w$  = havalandırma tankından atılan çamur debisi,  $m^3/gün$

F/M oranı proses kontrolünde esas alınmış ise, geri dönüş hattından çamur uzaklaştırma hızı aşağıdaki eşitlikle verilir;

$$P_x = Q_w X_r \quad (5.47)$$

Burada

$P_x$  = Atık aktif çamur,  $kg/gün$

$Q_w$  = Atık çamur debisi,  $m^3/gün$

$X_r$  = Geri dönüş hattındaki katı konsantrasyonu,  $mg/l$

Bu durumda, çamur geri dönüş hattındaki katı madde konsantrasyonunun ( $X_r$ ) bilinmesi gerekmektedir.

## 5.8 Askıda Büyüyen Havalı Arıtma Sistemleri

Karbonlu organik maddelerin gideriminde kullanılan askıda büyüyen biyolojik arıtma prosesleri,

- aktif çamur prosesleri,
- havalandırmalı lagünler (Bölüm 6.10),
- ardışık kesikli reaktörler (Bölüm 6),
- havalı çürütme prosesleridir. (Bölüm 8).

### 5.8.1 Aktif Çamur Prosesi

Aktif çamur prosesi İngiltere’de 1914’de Arden ve Lockett tarafından geliştirilmiştir. Bu orijinal prosesin birçok çeşitleri geliştirilerek kullanılmaktadır.

Bütün havalı (aerobik) atıksu arıtma proseslerinde atıklar a) sentez ve b) oksidasyon yolu ile yok olurlar. Diğer bir deyimle organik maddelerin bir kısmı yeni hücrelere dönüşürken (sentez) geri kalan kısmı gerekli enerjiyi üretmek için oksidasyona tabi tutulurlar. Organik maddeler yok olmaya başlayınca biyolojik hücrelerin bir kısmı gerekli enerjiyi sağlamak amacıyla kendi kendini oksitler (içsel solunum).

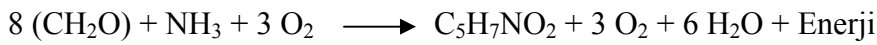
Havalı biyolojik oksidasyon reaksiyonları genel olarak aşağıdaki şekilde ifade edilebilmektedir:

Organik madde (BOI, KOI) + O<sub>2</sub> + N + P → Hücre + CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O + biyolojik yolla parçalanamayan çözünebilir maddeler

Hücre + O<sub>2</sub> → CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O + N + P + parçalanmayan hücresel kalıntılar

Bu biyolojik parçalanma olayı tüm havalı biyolojik arıtma sistemlerinde yer almaktadır. Aşağıda biyolojik reaksiyon 3 adımda gösterilmektedir.

**1. Adım:** Biyokütlenin üretimi ve organik maddenin oksidasyonu



**2. Adım:** Biyokütlenin solunumu



**3. Adım:** Nitrifikasyon



Havalı biyolojik arıtma yöntemleri genellikle iki büyük sınıfa ayrılabilirler:

- Arıtmayı yapan bakterilerin askıda bulunduğu sistemlerdir. Buna örnek olarak aktif çamur sistemi ve çeşitleri (türevleri) gösterilebilir.

- Arıtmayı yapan bakterilerin sabit bir yüzey üzerine tutunarak büyüdüğü sistemler. Bunların başlıca örnekleri damlatmalı filtreler ve dönen biyodisklerdir.

**Proses Analizi: Tam Karışımli Geri Devirli Reaktör:** Tam karışımli ve geridevirli sistem Şekil 5.5 de gösterilmiştir. Reaktör girişinde mikroorganizma olmadığı farzedilmektedir. Sistemin tamamlayıcı ünitesi çöktürme olup, burada mikroorganizmalar sistemden ayrılmakta ve tekrar sisteme geri döndürülmektedir. Burada katı ayrılma ünitesi de olduğu için, kinetik modeli geliştirmede iki yaklaşım kullanılmalıdır.

- Biyolojik arıtma tarafından atık stabilizasyonu yalnızca reaktör ünitesinde meydana gelmektedir. Bu yaklaşım koruyucu bir modeldir ( bazı sistemlerde çöktürme ünitesinde atık stabilizasyonu vardır).
- Tüm sistem için, çamur yaşı hesabında yalnızca reaktör hacmi kullanılır.

Gerçekte burada çöktürme tankının, havalandırma tankındaki katı atık seviyesini belli aralıkta tutmada kullanılan bir hazne vazifesi gördüğü kabul edilir. Örneğin saf-oksijenli aktif çamur sisteminde, sistemdeki toplam AKM'nin %50'sinin çöktürme tankında tutulduğu bulunmuştur. Bu durumda sistem için ortalama hidrolik kalış zamanı  $\Theta_s$  aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$\theta_s = \frac{V_t}{Q} = \frac{V_r + V_s}{Q} \quad (5.48)$$

Burada,

- $\Theta_s$  = reaktör ve çöktürme tankı hacmi toplamı
- $Q$  = atıksu giriş debisi
- $V_r$  = reaktör hacmi
- $V_s$  = çöktürme tankı hacmi

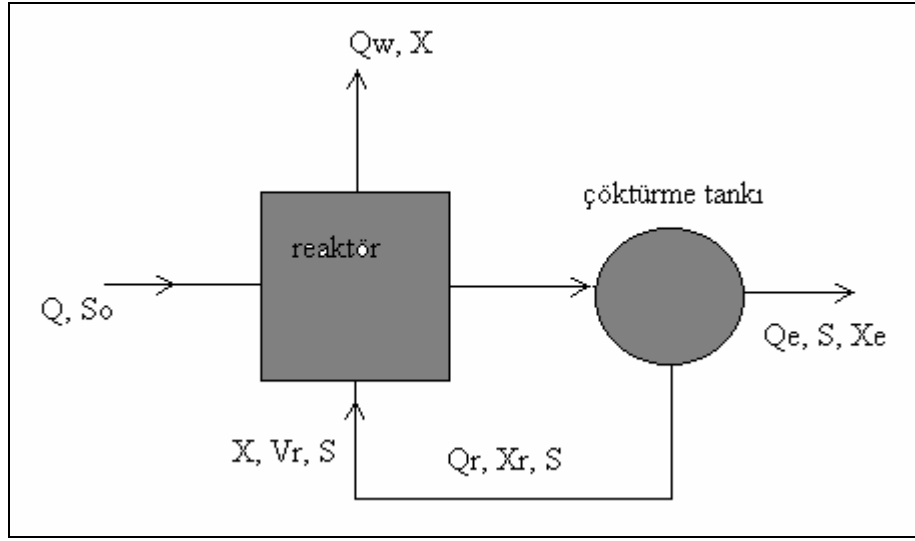
Reaktör için ortalama hidrolik kalış süresi  $\Theta$ ,

$$\theta = \frac{V_r}{Q} \quad (5.49)$$

Sistem için çamur yaşı  $\Theta_c$ , reaktördeki organizma kütesinin sistemden her gün atılan kütleye bölünmesiyle ifade edilir;

$$\theta_c = \frac{V_r X}{Q_w X + Q_e X_e} \quad (5.50)$$

- $Q_w$  = sistemden atılan mikroorganizma içeren sıvı (fazla çamur ) debisi
- $Q_e$  = çöktürme tankı çıkış suyu debisi
- $X_e$  = çöktürme tankı çıkış suyundaki mikroorganizma konsantrasyonu



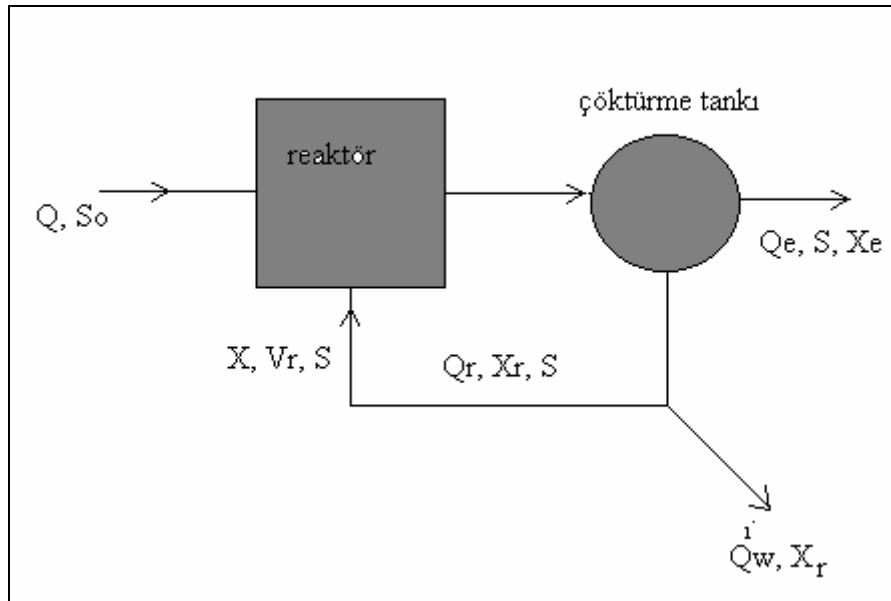
Şekil 5.5. Tam karışımli ve geri devirli aktif çamur sistemi. (Çamur reaktör içinden atılmaktadır).

Fazla çamurun geri devir hattından atılması durumunda,  $\Theta_c$ , çamur yaşı aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$\theta_c = \frac{V_r X}{Q_w^1 X_r + Q_e X_e}$$

(5.51)

$X_r$  = geri devir hattındaki çamur konsantrasyonu  
 $Q_w^1$  = geri dönüş hattından atılan çamur debisi



Şekil 5.6. Tam karışımli ve geri devirli aktif çamur sistemi. (Çamur, geri dönüşüm hattından atılmaktadır).

$\Theta_c$  nin hesaplanmasında reaktördeki ve çöktürme tankındaki çamur kütlelerinin toplamı gözönüne alınır. 5.50 ve 5.51 denklemlerine bakıldığında  $\Theta_c$  nin teorik olarak  $\Theta$  ve  $\Theta_s$  den bağımsız olduğu görülür. Ancak bunun pratikte tam doğru olduğu söylenemez. Tüm sistemde mikroorganizma için kütle dengesi aşağıdaki şekilde yazılabilir;

Birikim = giren mikroorg. – çıkan mikroorg. + net büyüme

Sembolik olarak gösterimi:

$$\frac{dX}{dt} V_r = QX_o - (Q_w X + Q_e X_e) + V_r (r_g) \quad (5.52)$$

5.11 eşitliği hücre büyümesi yerine konur, çıkıştaki hücre konsantrasyonu sıfır kabul edilir ve kararlı durumda ( $dX/dt = 0$ ) alınırsa;

$$\frac{Q_w X + Q_e X_e}{V_r X} = - Y \frac{r_{su}}{X} - k_d \quad (5.53)$$

eşitliğin sol tarafı  $1/\Theta_c$  olduğundan, eşitlik aşağıdaki gibi tekrar yazılır,

$$\frac{1}{\theta_c} = - Y \frac{r_{su}}{X} - k_d \quad (5.54)$$

$$r_{su} = - \frac{Q}{V_r} (S_o - S) = - \frac{S_o - S}{\theta} \quad (5.55)$$

$(S_o - S)$  = kullanılan (giderilen) substrat konsantrasyonu, mg/l  
 $S_o$  = giren atıksudaki substrat konsantrasyonu, mg/l  
 $S$  = çıkan atıksuda substrat konsantrasyonu, mg/l  
 $\Theta$  = hidrolik kalış süresi, gün

5.54 ve 5.55 eşitlikleri birleştirilip  $X$ , mikroorganizma konsantrasyonu aşağıdaki gibi belirlenir.

$$X = \frac{\theta_c}{\theta} \frac{Y(S_o - S)}{(1 + k_d \theta_c)} \quad (5.56)$$

Substrat dengesinden çıkış atıksuyundaki S, substrat konsantrasyonu,

$$S = \frac{K_s(1 + \theta_c k_d)}{\theta_c (Yk - k_d) - 1} \quad (5.57)$$

$Y_{göz}$ . Aşağıdaki eşitlikle verilir;

$$Y_{göz} = \frac{Y}{1 + k_d \theta_c \text{ veya } \theta_{ct}} \quad (5.58)$$

**Proses Tasarım ve Kontrol İlişkileri:** Çeşitli sistem değişimlerinin etkilerini tahmin etmede 5.56 ve 5.57 eşitliğinin kullanımı faydalı olacaktır. Bunun yanısıra farklı diğer proses tasarım eşitlikleri de geliştirilmiştir. Bunlar özgül substrat kullanım hızı, ortalama çamur yaşı, ve F/M oranıdır. Eşitlik 5.54'deki  $(-r_{su}/X)$ , U substrat kullanım hızı olarak bilinmektedir. 5.55'deki  $r_{su}$  denklemini kullanılarak özgül substrat kullanım hızı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$U = -\frac{r_{su}}{X} = \frac{S_0 - S}{\theta X} = \frac{Q}{V_r} \frac{S_0 - S}{X} \quad (5.59)$$

6.54 eşitliğinde  $(-r_{su}/X)$  yerine U konulduğunda,

$$\frac{1}{\theta_c} = YU - k_d \quad (5.60)$$

5.59 eşitliğinden de görüldüğü gibi,  $1/\theta_c$ , net özgül büyüme hızı ile U, özgül substrat kullanım hızı birbiriyle doğrudan ilişkilidir. U'yu belirlemek için substrat kullanımı ve mikroorganizma kütlesini bilmek gerekir.

$\theta_c$ 'nin biyolojik arıtmada kontrol parametresi olarak kullanım amacı, mikroorganizma büyüme hızını ve atık stabilizasyon arıtma derecesini kontrol etmek ve sistemden atılacak günlük mikroorganizma kütlesini belirlemektir. Örneğin  $\theta_c$ 'nin 10 gün bulunması durumunda, sistemden günlük atılması gereken çamur miktarı, sistemdeki toplam mikroorganizmanın %10'u kadar olacaktır.

Tam karışımli reaktörde, fazla çamur atımı reaktörden veya geri dönüş hattından yapılabilir. Çamur uzaklaştırma doğrudan reaktörden ve çıkış hattındaki katı madde konsantrasyonu  $X_e$  ihmal edilebilecek kadar az ise 5.50'deki eşitlik aşağıdaki gibi yazılabilir:



$$\theta_c \approx \frac{V_r X}{Q_w' X_r} \quad (5.61)$$

Pratikte, yoğunlaştırıcıya sevk edilen çamuru belirlemek için, uzaklaştırma geri dönüş hattından çamur almakla sağlanır. Bu durumda tam karışım ve geri dönüş hattındaki çamur konsantrasyonunu bilmek gerekir.

F/M, özgül substrat kullanım hızı ile doğrudan ilgili olup pratikte en çok kullanılan tasarım ve kontrol parametresidir.

$$\frac{F}{M} = \frac{S_o}{\theta X} \quad (5.62)$$

U ve F/M proses verimliliği ile ilgilidir.

$$U = \frac{(F/M)E}{100} \quad (5.63)$$

E proses verimi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$E = \frac{S_o - S}{S_o} \times 100 \quad (5.64)$$

E = proses verimi, %

$S_o$  = giriş substrat konsantrasyonu,

$S$  = çıkış substrat konsantrasyonudur. Bu proses tasarım ilişkilerinin uygulaması Bölüm sonundaki örnek problem ile verilmektedir.

Arıtma sistemi tasarımında çeşitli modelleme çalışmaları yapılmakta olup bu kitapta incelenmemiştir (6,7).

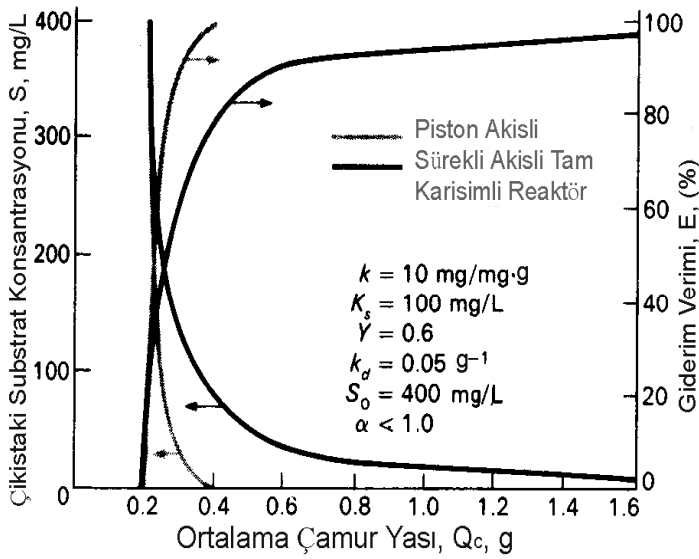
**Proses Verimliliği ve Stabilitesi:** Kinetiklerin sistem verimi ve atık stabilizasyonu üzerine etkisi burada daha detaylı olarak verilecektir. Eşitliklerden  $1/\theta_c$ , net mikroorganizma büyüme hızı, ve U, özgül substrat kullanım hızı doğrudan birbirleriyle ilgilidirler. Her iki eşitliğin birleştirilmesi sonucunda aşağıdaki eşitlikler bulunur;

$$U = \frac{kS}{K_s + S} \quad (5.65)$$

$$S = \frac{UK_s}{k - U}$$

(5.66)

Organik atıklar için, verilen biyolojik ortam ve çevresel şartlar altında, kinetik katsayılar,  $Y$ ,  $k$ ,  $K_s$  ve  $k_d$  sabittir. Katsayıların verilen değerleri için, reaktör çıkış konsantrasyonu  $\Theta_c$  veya  $U$ 'nun doğrudan fonksiyonudurlar. Tam karışimli ve geri devirli sistemlerde özgül büyüme için eşitlik 5.56 ve 5.57 Şekil 5.7'de çizilebilir. Şekilden görüldüğü gibi çıkış konsantrasyonu  $S$  ve arıtım verimi  $E$ , doğrudan  $\Theta_c$  ile ilgilidirler.



Şekil 5.7. Tam karışimli ve piston akımlı reaktörlerin arıtım verimi ve çıkış atık konsantrasyonlarının çamur yaşıyla değişimi (1) .

Şekilden  $\Theta_c$ 'nin belli değerlerinde atık arıtımının olmadığı görülmektedir.  $\Theta_c$ 'nin bu kritik değerine minimum çamur yaşı  $\Theta_c^M$  denir. Fiziksel olarak  $\Theta_c^M$  nin anlamı, mikroorganizmanın sistemden atılma hızının üreme hızından daha fazla olması anlamına gelmektedir. Minimum çamur yaşı 5.53 ve 5.6'dan türetilen aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanabilir.

$$\frac{1}{\Theta_c^M} = Y \frac{kS_o}{K_s + S_o} - k_d$$

(5.67)

Atıksu arıtımında birçok durumda,  $S_o$  ,  $K_s$ 'den çok büyük olduğundan, 5.60 eşitliği tekrar aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\frac{1}{\theta_c^M} \approx Y k - k_d \quad (5.68)$$

$\theta_c^M$ 'yi hesaplamak için gereken tipik katsayılar Tablo 5.10'da verilmektedir.

Tablo 5.10, Aktif çamur prosesi için tipik kinetik katsayılar (1).

Katsayılar	Birim	Değerler	
		aralık	tipik
k	gün <sup>-1</sup>	2-10	5
K <sub>s</sub>	mg/l BOI <sub>5</sub>	25-100	60
	mg/l KOI	15-70	40
Y	mgVSS/mg BOI <sub>5</sub>	0,4-0,8	0,6
	mgVSS/mg KOI	0,25-0,4	0,4
K <sub>d</sub>	gün <sup>-1</sup>	0,04-0,075	0,06

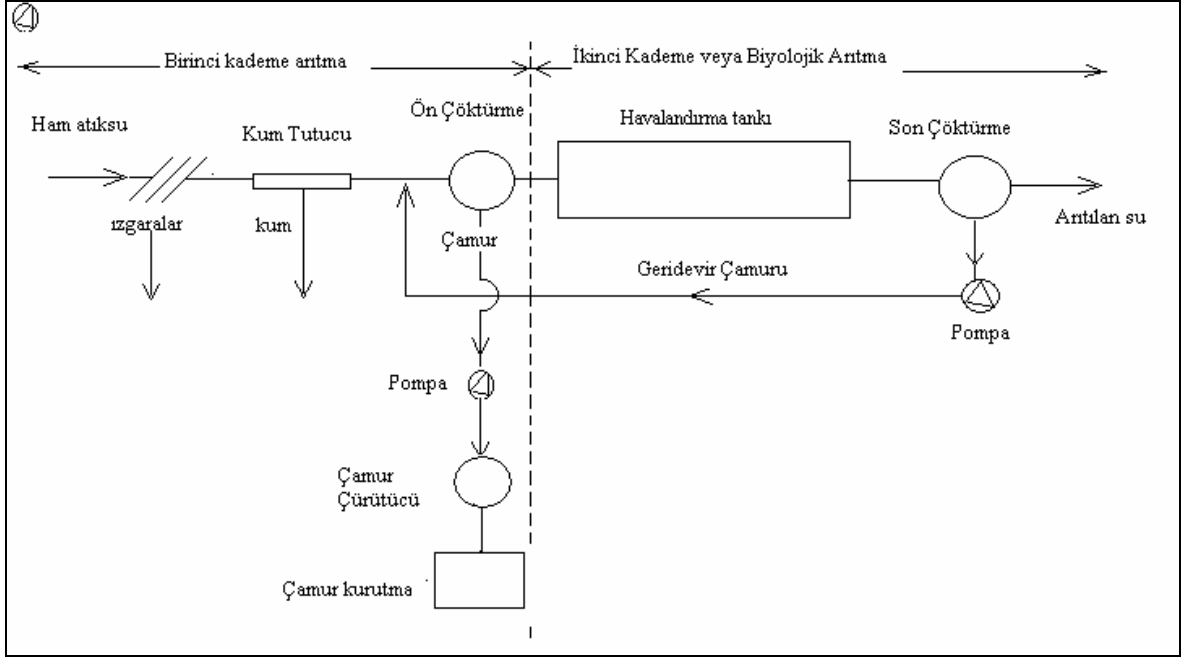
Biyolojik arıtma sistemlerinin tasarımında  $\theta_c$ 'nin  $\theta_c^M$ 'e eşit alınmayacağı son derece açıktır. Genellikle tasarım ve işletme çalışmalarında  $\theta_c^M$ 'nin 2 ile 20 katı alınır. Gerçekte,  $\theta_c$ 'nin  $\theta_c^M$ 'e oranı proses emniyet katsayısı (SF) olarak kabul edilir.

$$SF = \frac{\theta_c}{\theta_c^M} \quad (5.69)$$

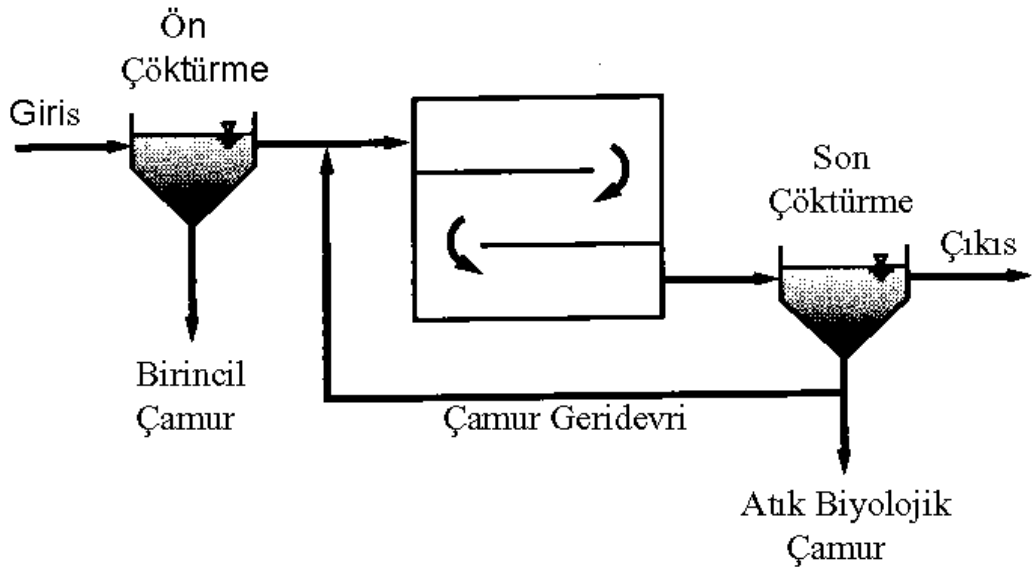
**Aktif Çamur Prosesi Modifikasyonları:** Aktif çamur prosesi, havalı biyolojik arıtma metotları arasında geniş uygulama alanı bulmaktadır. Bu metot 1912-1914 yıllarında geliştirilmiş ve karmaşık biyolojik mekanizması nedeni ile araştırmacıların diğer proseslere kıyasla daha fazla ilgisini çekmiştir. Bu sebeple aktif çamur prosesinin yıllar içerisinde birçok çeşidi (modifikasyonu) geliştirilmiştir.

Klasik aktif çamur sistemi ve farklı tiplerinin akım şemaları şekil 5.8 de gösterilmektedir. Sistem birinci kademe arıtma, ızgara, kum tutma ve çökeltme işlemlerinden oluşmaktadır. Evsel atıksularda birinci kademe arıtma ile atıksudaki BOI'nin %30-35'i giderilmektedir.

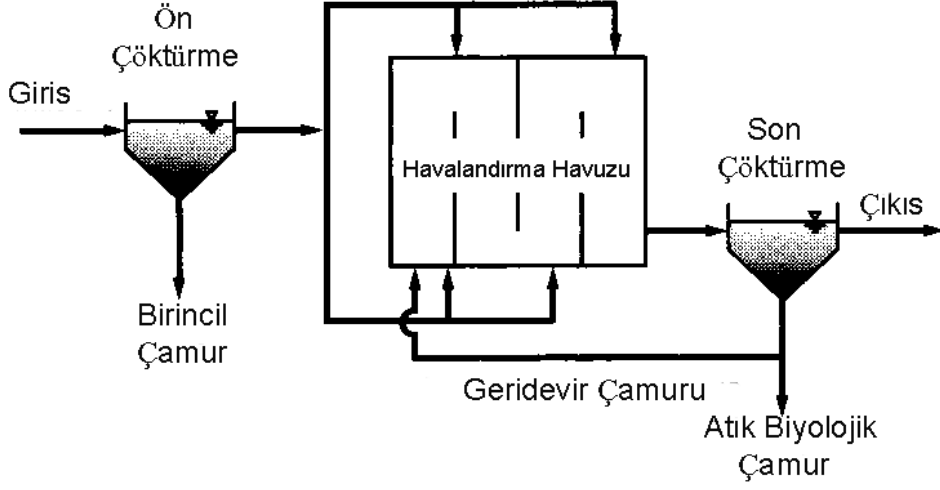
Ön çökeltmeden sonraki arıtmaya ikinci kademe arıtma denir. İkinci kademe arıtma, biyolojik havalandırma işleminin safhasıdır. Bu işlem sırasında çözünmüş organik madde, çökelebilen biyokütle haline dönüştürülür ve son çökeltme tankında çamur olarak tutulur. Daha önceden havalandırılmış olan bu çamura "aktif çamur" denir. Aktif çamurun bir bölümü havalandırma tankına geri döndürülür. Geride kalan kısım ise çoğalan çamura karşı gelen çamur olup sistemden dışarı alınarak birinci kademe arıtma sırasında çıkan çamurla karıştırılır. Karışık çamur daha sonra yoğunlaştırılır ve en sonunda daha ileri stabilizasyon sağlamak amacıyla çamur çürütücülere gönderilir. Aktif çamur prosesi ile %90'ın üzerinde BOI giderimi sağlanır.



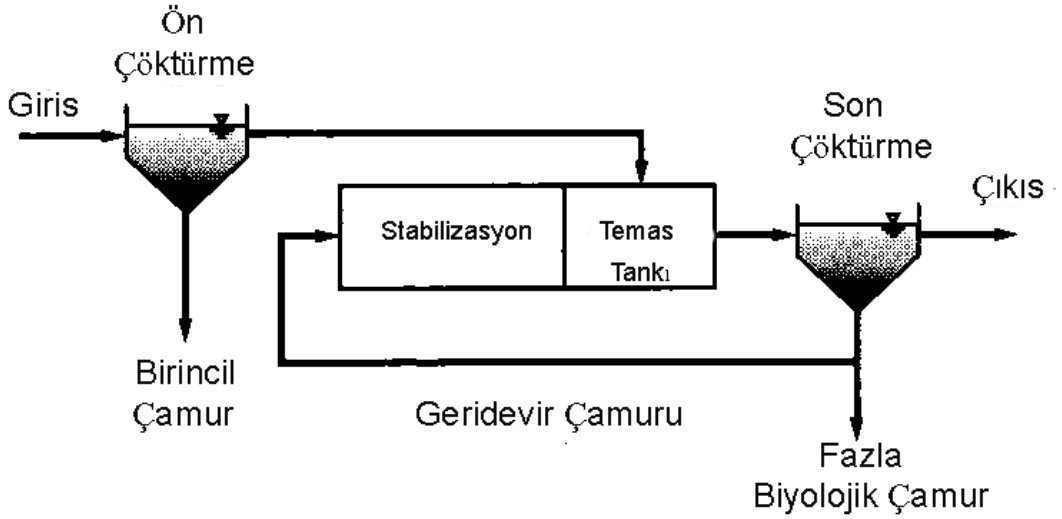
(a) Klasik bir Aktif çamur sisteminin akım diyagramı.



(b) Piston akımlı aktif çamur sistemi



(c) Kademeli beslemeli aktif çamur sistemi



(d) Temas stabilizasyonlu aktif çamur sistemi

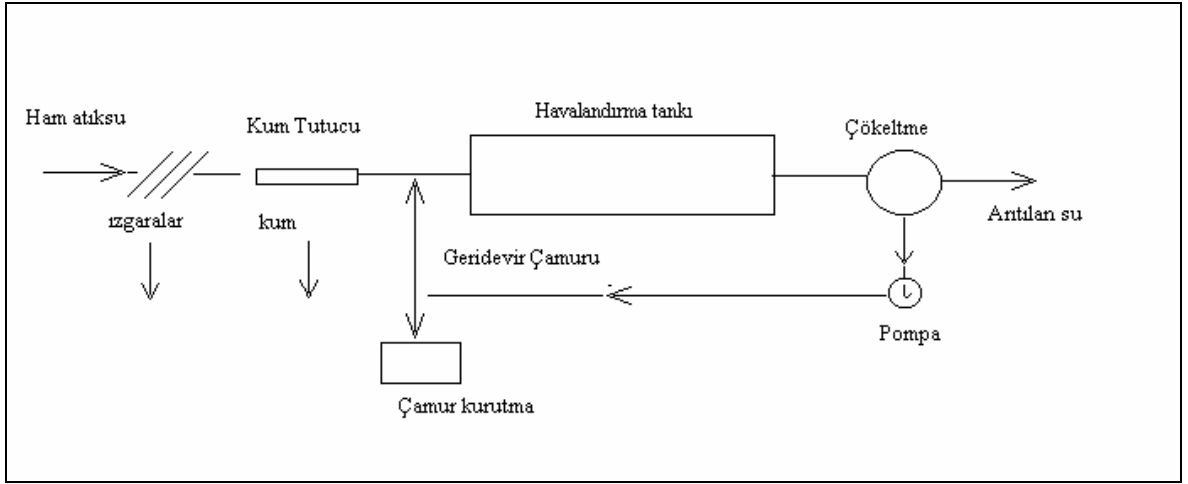
Şekil 5.8 Klasik aktif çamur sistemi ve farklı tiplerinin akım şemaları.

### 5.8.2 Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur Prosesi

Uzun havalandırmalı A.Ç prosesi, yaygın kullanımlı bir aktif çamur çeşididir. Bu prosesin Avrupa'da Pasver tipi oksidasyon hendekleri ve Amerika'da paket tesisler şeklinde çeşitli uygulamaları vardır.

Uzun havalandırma sistemlerinde ön çökeltme havuzu ve çamur çürütücüler yoktur. Bundan dolayı, bu tip tesislerin inşaatı ve işletmesi konvansiyonel aktif çamur tesislerine göre çok daha kolaydır.

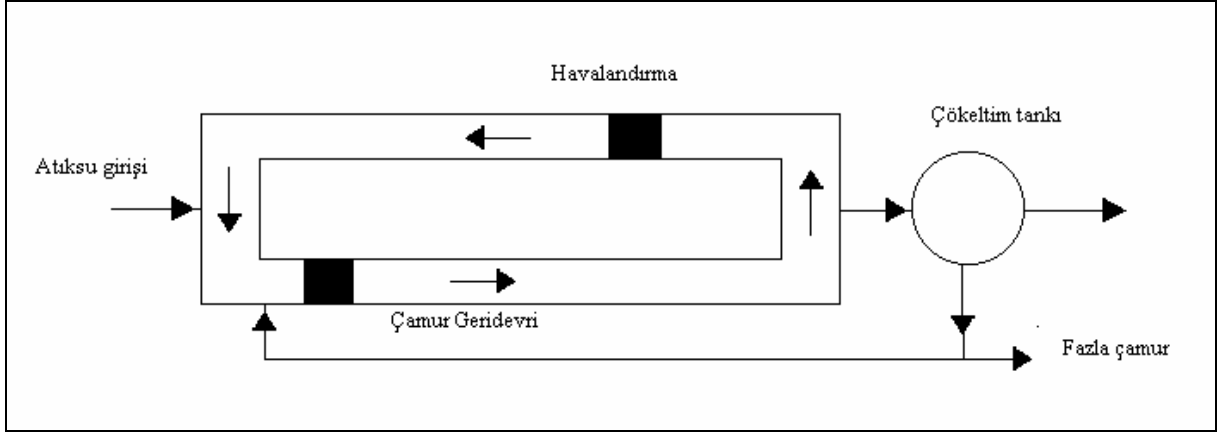
Bu sistemde ham atıksu ızgara ve kum tutuculardan sonra doğrudan doğruya havalandırma havuzuna verilir. Atıksuyun havalandırma havuzunda kaldığı sürenin uzun olmasından dolayı bu ad verilmiştir. Bu sistem her ne kadar enerji tüketimi fazla olan bir proses olsa da, işletme kolaylıkları yüksek enerji bedelini dengelemektedir. Konvansiyonel aktif çamur sistemine göre bir diğer avantajı da %97-98 mertebesinde BOI giderim kapasitesidir. Atıksu üçüncü kademe arıtmadan sonra tekrar kullanılacak ise, bu proses özellikle tercih edilen procestir.



Şekil 5.9. Uzun havalandırmalı sistemin akım diyagramı

### 5.8.3 Oksidasyon Hendeği

Oksidasyon hendekleri dairesel ya da oval şekilli hendekler olup mekanik yöntemlerle (rotor ya da yüzey havalandırıcı) havalandırılırlar. Izgaradan geçirilerek veya çökeltilerek katılardan arındırılmış atıksu hendek içinde 0,3-0,4 m/s yatay hızla hareket ederken havalandırılarak sistemdeki mikroorganizmalar tarafından arıtılır. Oksidasyon hendekleri genellikle uzun havalandırmalı aktif çamur sistemi özelliğindedir. Hendek çıkışında diğer biyolojik sistemlerde olduğu gibi bulunan çökeltme tankı katıların (çamurun) çökmesini sağlar. Düşük atıksu debileri için uygun olup, diğer sistemlere kıyasla daha az teknoloji gerektiren ve fazla işletme becerisi gerektirmeyen sistemlerdir.



Şekil 5.10 Oksidasyon Hendeği

Tablo 5.11. Aktif çamur prosesleri için tasarım parametreleri (1).

Proses çeşitleri	$\Theta_c$ , gün	F/M, kgBOI/ kgTAKM.g	kgBOI/ m <sup>3</sup> .g	TAKM, mg/l	V/Q, saat	Q <sub>r</sub> /Q
Konvansiyonel	5-15	0,2-0,4	0,32-0,64	1500-3000	4-8	0,25-0,75
Tam karışımli	5-15	0,2-0,6	0,8-1,92	2500-4000	3-5	0,25-1
Kademeli besleme	5-15	0,2-0,4	0,64-0,96	2000-3500	3-5	0,25-0,75
Değiştirilmiş havalandırmalı	0,2-0,5	1,5-5,0	1,2-2,4	200-1000	1,5-3	0,05-0,25
Temas stabilizasyonu	5-15	0,2-0,6	0,96-1,2	(1000-3000) <sup>a</sup> (4000-10000) <sup>b</sup>	(0,5-1) <sup>a</sup> (3-6) <sup>b</sup>	0,5-1,5
Uzun havalandırmalı	20-30	0,05-0,15	0,16-0,4	3000-6000	18-36	0,5-1,5
Yüksek-hızlı havalandırma	5-10	0,4-1,5	1,6-16	4000-10000	2-4	1-5
Kraus prosesi	5-15	0,3-0,8	0,64-1,6	2000-3000	4-8	0,5-1
Saf oksijenli	3-10	0,25-1,0	1,6-3,2	2000-5000	1-3	0,25-0,5
Oksidasyon hendeği	10-30	0,05-0,3	0,08-0,48	3000-6000	8-36	0,75-1,5
AKR	<sup>1</sup>	0,05-0,3	0,08-0,24	(1500-5000) <sup>d</sup>	12-50	<sup>1</sup>
Derin shaft reaktörü	<sup>2</sup>	0,5-5	<sup>2</sup>	<sup>2</sup>	0,5-5	<sup>2</sup>
Tek kademeli nitrifikasyon	8-20	0,1-0,25 (0,02-0,15) <sup>3</sup>	0,08-0,32	2000-3500	6-15	0,5-1,5
İki kademeli nitrifikasyon	15-100	0,05-0,2 (0,04-0,15) <sup>4</sup>	0,05-0,144	2000-3500	3-6	0,5-2,0

<sup>1</sup> uygulanamaz

<sup>2</sup> bilgi yok

<sup>a</sup> kontakt birimde, <sup>b</sup> katı stabilizasyon birimi

## 5.9 Yüzeyde Büyüyen (Biyofilml) Havalı Sistemler

### 5.9.1 Damlatmalı Filtreler

Damlatmalı filtreler üzerinde mikroorganizmaların biyofilm halinde büyüdüğü katı tanecikler içeren bir dolgulu sistemdir. Bu birim içinde 0,1-10 cm büyüklüğünde dolgu malzemesi (kırma taş, plastik, sert kömür, özel dolgu maddeleri vs.) bulunan bir tanktan oluşur. Tipik bir damlatmalı filtre sistemi akım şeması şekil 5.13'te verilmektedir. Bu tankın üzerine ilk arıtmaya (birinci kademe) tabi tutulmuş atıksu belirli bir debi ile verilir. Bu işlem genellikle tankın merkezi etrafında yavaşça hareket eden delikli bir borudan oluşan bir düzenekle (atıksu dağıtım sistemi) sağlanır. Bu şekilde filtreye verilen atıksu filtre dolgu malzemesinin üstünden süzülerek akmakta, bu arada, filtre yatağındaki boşlukların tamamı atıksu ile dolmadığından havalı şartlar devam etmektedir. Taşların üzerinde ince bir tabaka meydana getiren bakteriler atıksudaki organik kirleticileri önce adsorplamakta ve daha sonra biyolojik arıtım reaksiyonu meydana gelmektedir. Biyofilm tabakası zamanla kalınlaşmakta, oksijen ve organik maddeler tabakanın iç kısımlarına ulaşmamaktadır. Filtre dolgu maddesi yüzeyine yakın bu kesimde havasız şartlar oluşmakta, burada oluşan gazların yardımı ve sıvı hareketinden oluşan kesme kuvveti ile biyofilm dolgu malzemesinden ayrılıp çıkış suyu ile birlikte dışarı akmaktadır. Temizlenmiş biyofilmden taşın üzerinde kısa bir zaman içinde yeniden biyofilm tabakası oluşmakta ve döngü bu şekilde devam etmektedir. Damlatmalı filtreden çıkan atıksu son çökeltme tankına verilir. Çökeltme tankı çıkışından belli oranda su damlatmalı filtreye, gerekli hidrolik yükü sağlamak üzere geri verilir. Damlatmalı filtreler akış hızlarına göre "yavaş" ve "hızlı" olmak üzere ikiye ayrılırlar. Yavaş filtrelerde 2 000-4 000 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>-gün, hızlı filtrelerde ise 10 000-30 000 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>-gün atıksu verilmektedir.

Düşük hızlı filtrelerin işletmeleri daha kolaydır ve küçük nüfuslar için kullanılırlar. Bu tip filtreler, taş ve çakıl gibi doğal malzemelerle kolayca yapılabilirler. Gerekli ekipman, sadece bir dozlama sifonu ve dağıtıcıdır. Filtre ortamı, 2-3 m derinliktedir. Filtre girişi ve çıkışı arasında 2,5-3,5 m'lik bir yük kaybı olur. Genellikle geri devirsiz olarak düzenlenirler. Bu nedenle bu tip filtrelerde pompa gerekmez. Arazi ihtiyacı, 0,5-0,7 m<sup>2</sup>/kişi arasında değişir. Tablo 5.12'de damlatmalı filtrelerle ilgili projelendirme kriterleri verilmektedir.

Tablo 5.12 Evsel atıksuların damlatmalı filtrelerle arıtımında tasarım kriterleri (3).

Konu	Düşük hızlı filtreler	Yüksek hızlı filtreler (taş ortam)	Yüksek hızlı filtreler (plastik ortam)	Kaba filtreler
Hidrolik yük (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .gün)	1-4	10-30 <sup>a</sup>	40-90 <sup>a</sup>	60-180 <sup>a</sup>
Organik yük (kgBOI/m <sup>2</sup> .gün)	0,1-0,3	0,3-1,2 <sup>b</sup>	1,2-3 <sup>a</sup>	2-6 <sup>b</sup>
Geri devir oranı	-	0,5-3	1-4	1-4
Derinlik(m)	1,8-3	1-3	4-12	4-12
Filtre ortamı	Taş, çakıl	Taş, çakıl	Plastik	Plastik
BOI giderim verimi (%)	80-85	65-85	65-85	40-65
Nitrifikasyon	iyi	Sınırlı	Sınırlı	-

<sup>a</sup> Geri devir dahil

<sup>b</sup> Geri devir dahil değil



Yüksek hızlı filtrelerde BOI giderimi, BOI yüklemesine, geri devir oranına ve kullanılan ortamın tipine bağlı olarak %65-85 arasındadır. Bu tip filtrelerdeki nitrifikasyon da, uygulanan BOI yüküne bağlıdır. Taş dolgulu filtre derinliği, nitrifikasyon yönünden önemlidir. Evsel atıksular için 2 değerinin üzerindeki geri devir oranları ekonomik olmaz.

Damlatmalı filtrelerin en büyük üstünlüğü organik yükün büyük değişimlere uğramasına rağmen verimin olumsuz yönde fazla etkilenmemesidir. Arıtılmış çıkış suyunun belli oranlarda geri devri ile tekrar sisteme verilmesi arıtım verimini artırır.

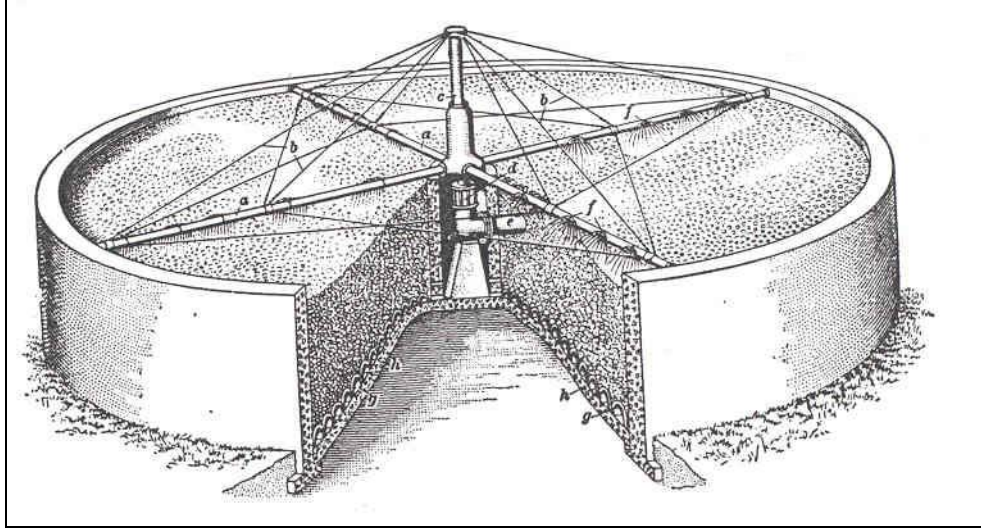
Tablo 5.13. Damlatmalı filtreler ve aktif çamur sistemlerinin karşılaştırması(2).

<i>Parametre</i>	<i>Damlatmalı Filtre</i>	<i>Aktif Çamur</i>
Yatırım maliyeti	Yüksek	Düşük
İşletme maliyeti	Düşük	Yüksek
Alan gereksinimi	Yüksek	Düşük
Havalandırma	Yeterli olmayabilir	Yeterli
Sıcaklık kontrolü	Zor	Kolay
Şok yüklemelere duyarlılık	Az duyarlı	Çok duyarlı
Çıkış akımının berraklığı	İyi	İyi değil
BOI 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

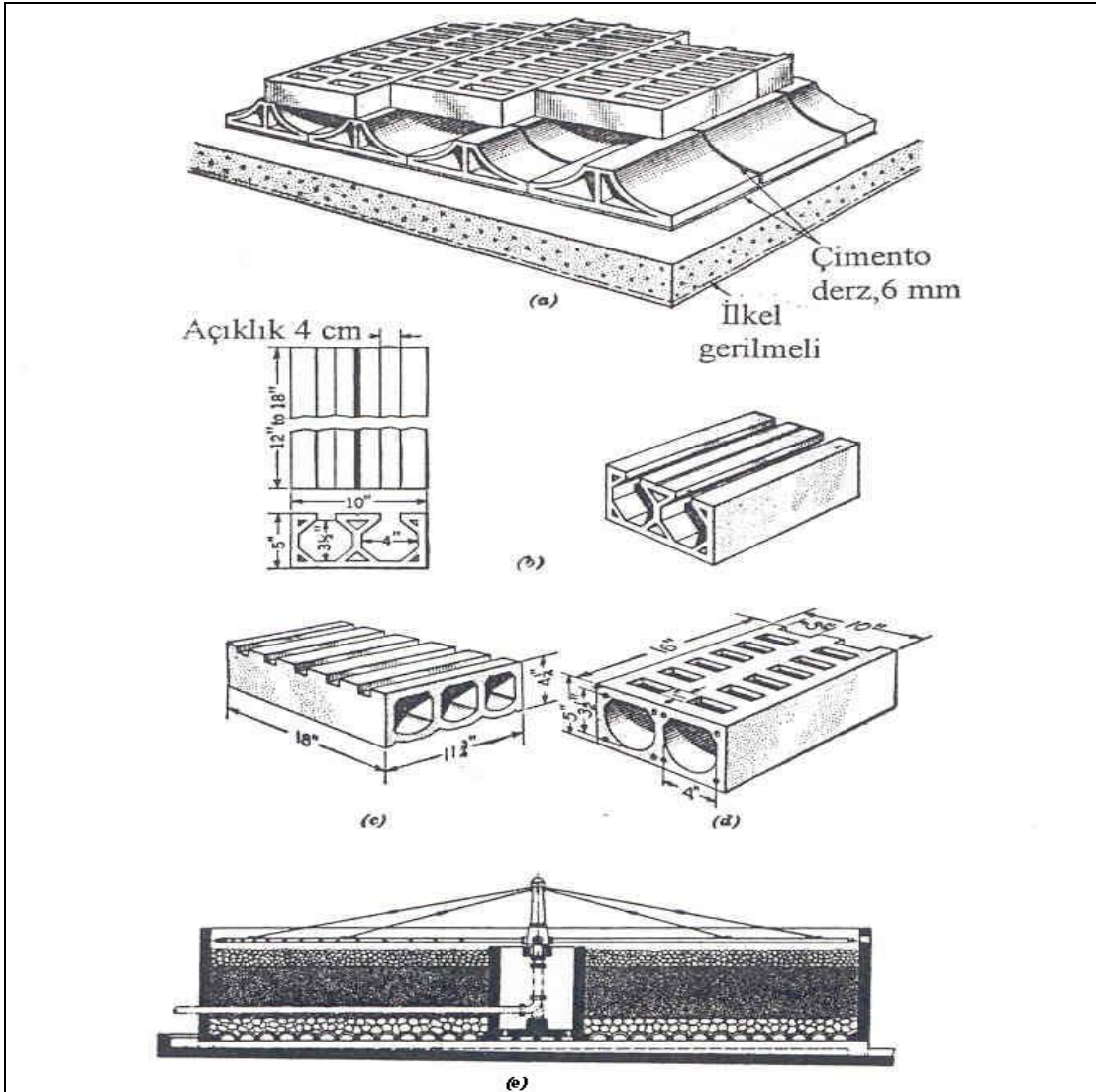
### 5.9.1.1 Kırma Taştan Dolgulu Biyolojik Filtreler

Bir damlatmalı filtrenin kesiti ve perspektif görünüşü, Şekil 5.11’de gösterilmiştir. Sistemin başlıca bileşenleri, döner dağıtıcı, drenaj sistemi ve filtre malzemesidir. Atıksu, bir pompa ile dağıtıcının bağlı bulunduğu düşey boruya basılır. Dağıtıcıyı oluşturan borular üzerine açılmış deliklerden fişkırان su jetleri, impuls teoreminden doğan reaksiyon kuvvetleriyle, dağıtıcının dönmesini sağlar. Böylece atıksu, kırma taş üzerine eşit olarak dağılmış olur. Çıkış kanalı ve havalandırma bacaları, filtre içinde iyi bir hava akımı meydana getirecek şekilde oluşturulur (Şekil 5.10). Filtreden çıkan sular biyolojik verimi arttırmak için geri döndürülerek tekrar filtreden geçirilebilir.

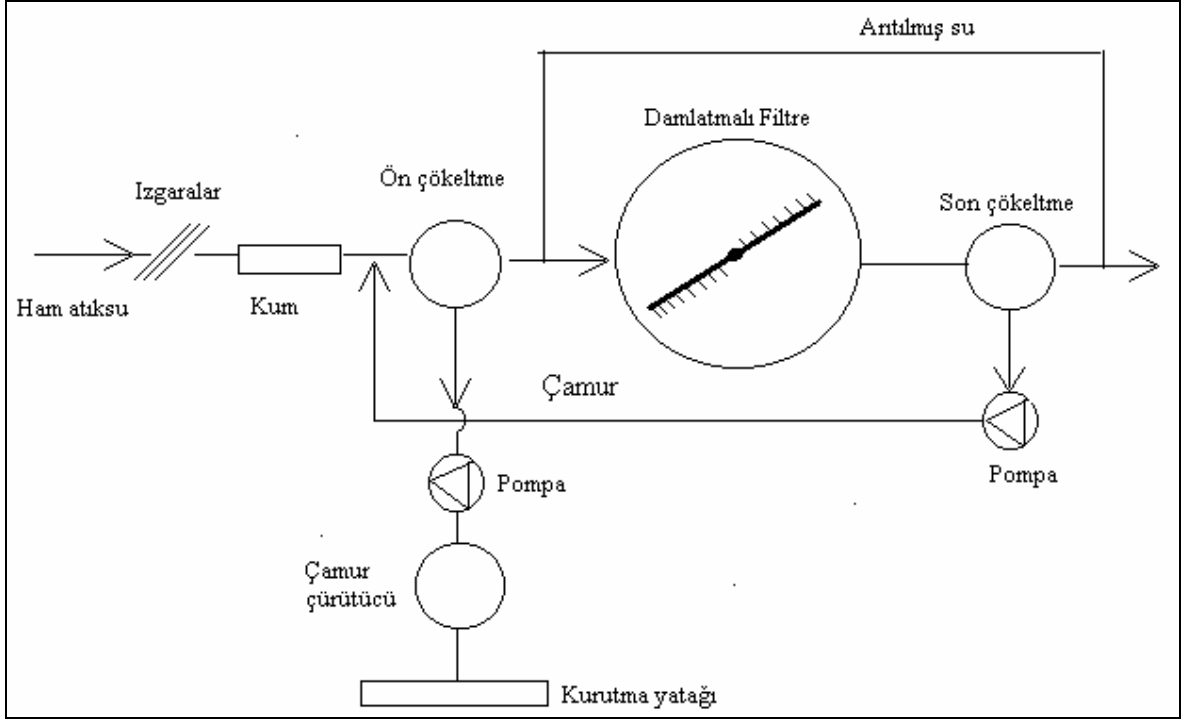
Filtre malzemesi, sağlam dayanıklı, suda erimez ve ufalanmaz cinsten olmalıdır. Bu, sebeple en çok kırma taş ve benzeri malzemeler kullanılır. Tercih edilen tane çapı 10 cm’dir. Her ne kadar daha küçük çaplı taşlar, biyofilm oluşumu için daha büyük bir yüzey alanı sağlasa da, taneler arasındaki boşluklar tıkanma eğilimi gösterirler ve hava ve su geçişini sınırlandırır. Filtre yüksekliği 1,5 m ile 2,1 m arasında değişir. Filtrenin daha yüksek yapılması BOI giderme verimini çok fazla arttırmaz (4).



Şekil 5.11. Bir Damlatmalı filtrenin perspektif görünüşü ve kesiti (4)



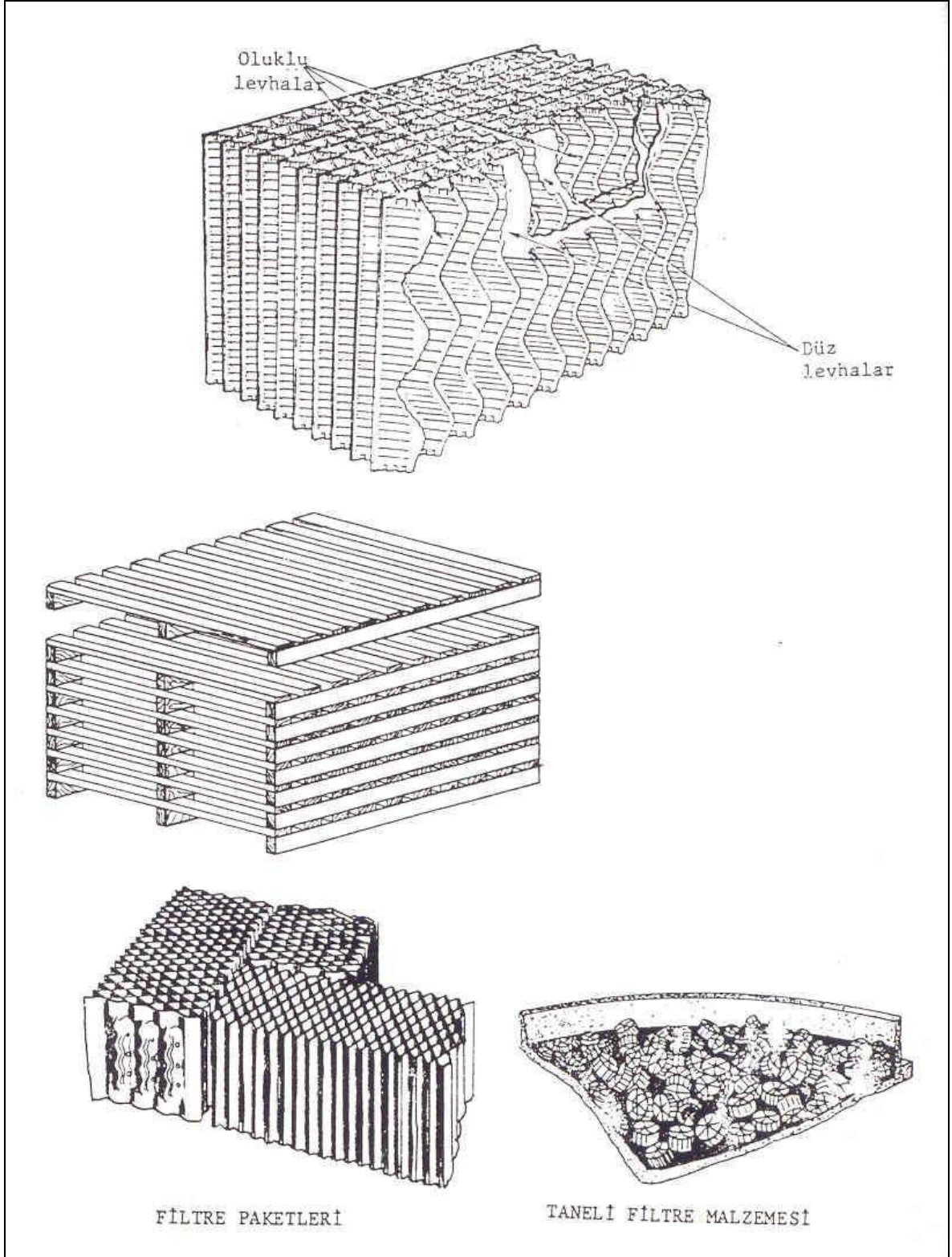
Şekil 5.12. Bir damlatmalı filtrenin kesiti ve tabandaki drenaj sisteminin detayları (4)



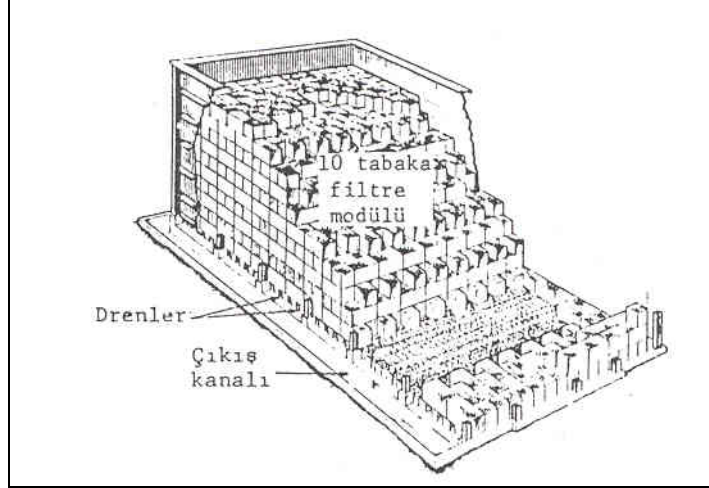
Şekil 5.13. Damlatmalı filtre sisteminin akım diyagramı

### 5.9.1.2 Sentetik Dolgulu Damlatmalı Filtreler (Biyolojik Kuleler)

Son yıllarda damlatmalı filtreler için birkaç çeşit sentetik dolgu malzemesi üretilmiştir. Kıırma taşa kıyasla bu malzemelerin esas üstünlüğü, özgül yüzeylerinin fazla olmasıdır. Bu sayede oksijen sağlayan hava boşlukları tıkanmadan, daha fazla miktarda biyofilm üreyebilmektedir. Diğer üstünlüğü, sıvının daha iyi dağılmasını sağlayan üniform bir filtre ortamı oluşturmaları, hafif olmaları nedeniyle daha büyük bir kimyasal dirence sahip olmaları ve çok fazla organik madde içeren ve çökelmemiş olan atıksuları aratabilmeleridir. Plastik filtre blokları, Flocor gibi bazı ticari isimler altında piyasada satılmaktadır. (Şekil 5.14a). Bunlar 0,6m genişlik ve kalınlıkta, 1,2 m uzunlukta modüller halinde olup oluklu levhaların yanyana getirilmesinden meydana gelir. Özgül yüzey alanı  $29 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 'dür. Çürümeye karşı dayanıklı kızılcımdan yapılmış filtre malzemeleri de bulunmaktadır. Kalın testere ile kesilmiş kızılcım çıtaların yatay olarak  $1,2 \times 1,2 \text{ m}^2$ 'lik çerçeveler haline getirilmesinden meydana gelmiştir (Şekil 5.14b). Kızılcımdan yapılmış bu filtre malzemesinin özgül yüzey alanı  $14 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 'dür. Plastik paketlerin oluklu yüzeyleri ve kızılcımın testere ile kesilmiş pürüzlü yüzeyleri, biyolojik filmin tutunmasını kolaylaştırır. Şekil 5.15'de modüllerin istif şekli ve sabit ağızlıktan suyun filtre üzerine ne şekilde dağıtıldığı gösterilmiştir.



Şekil 5.14 Biyolojik kulelerin (filtrelerin) dolgu malzemeleri: a) Polivinilklorürden yapılmış *flocor* paketleri: b) *Del-Pak* dolgu malzemesi (4)



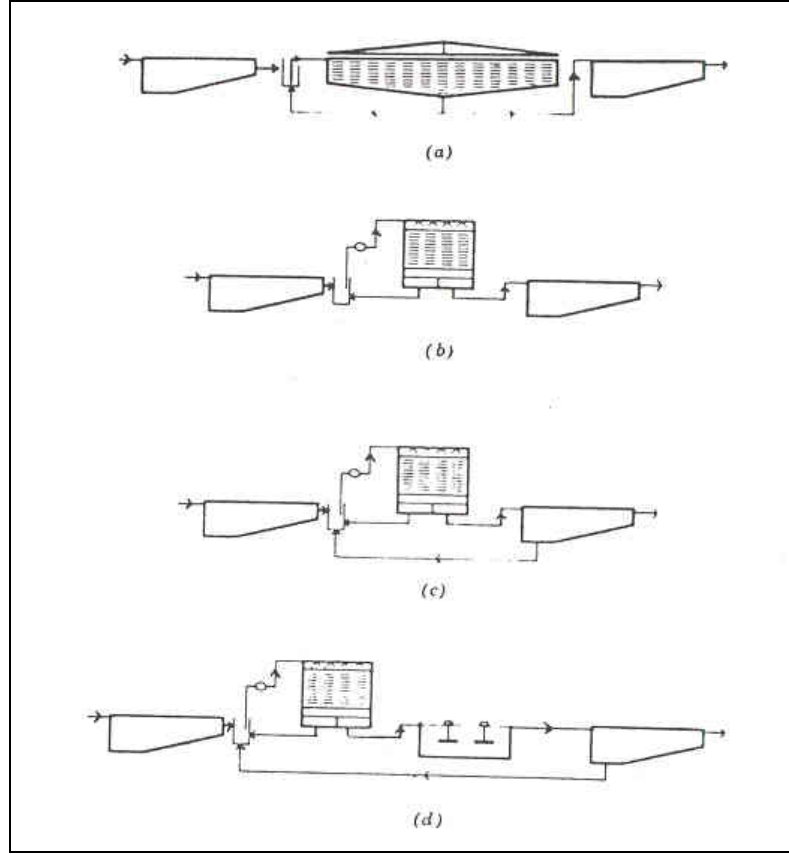
Şekil 5.15. Dikdörtgen şeklindeki bir biyolojik kulenin kesiti ve sabit dağıtıcılardan filtreye su verilmesi (4)

Sentetik malzemeli filtrelerin yapılmasıyla, endüstrilerden ve evlerden gelen atıksuların arıtılmasında biyolojik filtrasyonun uygulama alanı genişlemiştir. Genel olarak kırma taş filtreler, gıda endüstrisinden gelen çok konsantre atıksuların arıtımına uygun olmadığı halde, çok kademeli biyolojik kuleler, bu suları arıtabilmektedirler. Şekil 5.16'daki akım diyagramı, bu tip filtrelerin atıksu arıtımındaki uygulamasını göstermektedir. Mevcut sistemlerde işletme kolaylığı sağlamak veya arıtım verimini arttırmak için kırma taş malzemeyi sentetik malzeme ile değiştirmek mümkündür. Ancak döner dağıtıcısı olan bu sistemler, 1,5m ile 2m gibi küçük bir yatak derinliğine sahipse, be şekilde optimum sonuç alınamaz. Yükseklik 6m ve daha fazla ise daha iyi sonuç elde edilir. Bu kuleler, daha fazla bir temas süresine olanak verir ve atıksular döner dağıtıcılar yerine sabit dağıtıcılar yardımıyla sürekli olarak sisteme beslenir. Özel durumlarda, mevcut arıtma sistemlerinde, ilk çökeltmeden önce biyolojik bir kule inşa edilebilir. Organik yük aralığı 400-2,400 g/m<sup>3</sup>/gün'dür. Hidrolik yük 10m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/gün değerine kadar çıkar. Sentetik malzemeli biyolojik filtreler, işletme güçlükleri ve koku problemine karşı kırma taş filtrelere göre daha az sorun çıkarırlar.

### 5.9.2 Biyodisk

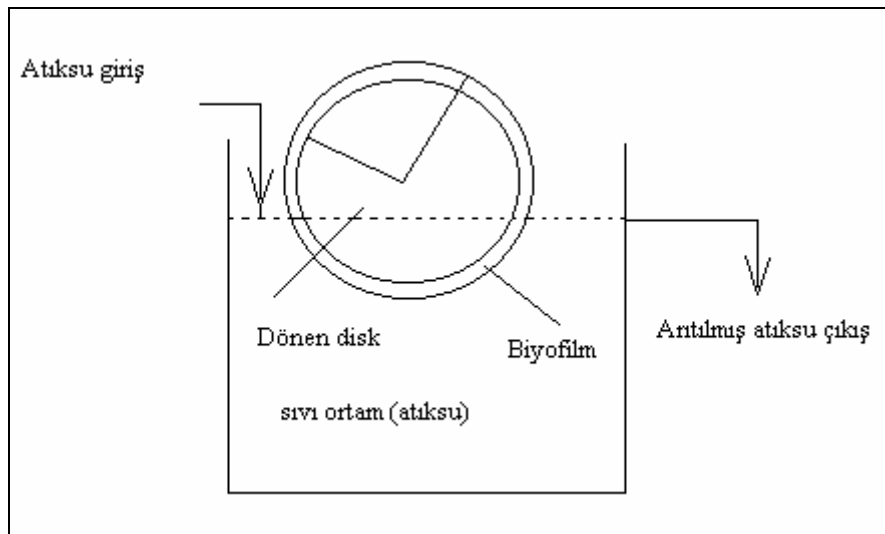
Döner biyodisk üniteleri daha çok küçük yerleşim merkezlerinin evsel atıksularının arıtımında kullanılmakla beraber, bazı durumlarda düşük devirli endüstriyel atıksulardan BOI gideriminde de kullanılabilir. Bu sistemler plastikten yapılan 2-3 m çapında, 2-3 cm kalınlığında disklerden oluşur. Diskler bir shaft üzerine birbirine paralel olarak yerleştirilir ve shaft bir motor yardımı ile döndürülür. Atıksu, uzun ve sığ tankların içine konur ve diskler atıksu içinde %40-50 oranında batık şekilde döndürülür (2-10 devir/dakika). Mikroorganizmalar disk üzerinde biyofilm oluşturacak şekilde büyürler ve atıksudaki organik bileşikler biyofilm içine damlatmalı filtrelerde olduğu gibi adsorplanır ve biyolojik reaksiyon meydana gelir. Mikroorganizmalar oksijen gereksinimini diskin dönüşü sırasında hava ile temas ederek sağlarlar. Kalın biyofilmler substrat difüzyon limitlerine yol açtığı için; çok ince biyofilmler de daha az etkin oldukları tercih edilmezler. Sistem için önerilen optimum biyofilm kalınlığı 2-3 mm'dir. Tablo 5.14'te tipik tasarım kriterleri verilmektedir.





Şekil 5.16 Biyolojik kulelerin çeşitli uygulama alanlarını gösteren akım diyagramları, a) Mevcut filtrelerde taş malzeme yerine plastik malzeme kullanılması durumunda, b) Yüksek hızlı bir damlatmalı filtre olarak biyolojik kule, c) Aktifleştirilmiş bir biyolojik filtrasyon sistemi: son çökeltme havuzundaki aktif çamur geri dönüşü var, d) Ani yük değişmelerine karşı havalandırma ile desteklenerek aktifleştirilmiş filtre (4).

Dönen biyodisk ünitelerinin enerji gereksinimi 3m'lik diskler için 75 W/m (30 adet x 3m), 2 m'lik diskler için 50 W/m (35 adet x 2m) dir. Çıkış suyu BOI'si istenen seviyede değil ise geri devir uygulanabilir. Arıtma sonucu yaklaşık olarak 0,8-1,2 kg çamur/kg BOI oluşur.



Şekil 5.17. Tipik Biyodisk

Tablo 5.14. Döner biyodisk için Tipik tasarım kriterleri (1).

Parametreler	Arıtım Seviyesi		
	İkinci Kademe	Birlikte Nitrifikasyon	Ayrı Nitrifikasyon
Hidrolik yük, m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .g	0,08-0,16	0,03-0,08	0,04-0,1
Organik yükler			
kgÇBOI <sub>5</sub> /m <sup>2</sup> .g <sup>a</sup>	0,004-0,01	0,002-0,007	0,0005-0,0015
kgTBOI <sub>5</sub> / m <sup>2</sup> .g <sup>b</sup>	0,01-0,017	0,007-0,015	0,001-0,003
Birinci adımda max.yükleme			
kgÇBOI <sub>5</sub> /m <sup>2</sup> .g <sup>a</sup>	0,02-0,03	0,02-0,03	-
kgTBOI <sub>5</sub> / m <sup>2</sup> .g <sup>b</sup>	0,04-0,06	0,04-0,06	-
NH <sub>3</sub> yükü, kg/m <sup>2</sup> .g	-	0,0007-0,0015	0,001-0,002
Hidrolik kalış süresi,Θ,saat	0,7-1,5	1,5-4	1,2-2,9
Çıkış BOI <sub>5</sub> , mg/l	15-30	7-15	7-15
Çıkış NH <sub>3</sub> ,mg/l	-	<2	1-2

<sup>a</sup> ÇBOI<sub>5</sub> = Çözünmüş BOI<sub>5</sub>

<sup>b</sup> T BOI<sub>5</sub> = Toplam BOI<sub>5</sub>

Disk ünitelerinin projelendirilmesinde ilk adım, istenen derecede biyofilm çoğalması için gerekli yüzey alanının tahmin edilmesidir. Biyofilm gelişmesi oranı, istenen BOI giderimine bağlıdır. Tablo 5.15’de günde her m<sup>2</sup> disk yüzey alanına verilebilecek BOI yükleri gösterilmektedir.

Tablo 5.15. Bazı dönen biyodisk tesislerinin verimlilikleri (3).

Ülke	Tesis	Uygulanan BOI yükü (g/m <sup>2</sup> .gün)	Açıklama
İngiltere	Tam ölçekli	6	Çıkış BOI 20mg/l <sup>1</sup> Nitrifikasyon var.
	Pilot	8	Başarılı nitrifikasyon (17-23°C)
Federal Almanya	Tam ölçekli	6-10	<%90 BOI giderimi
		12-18	<sup>2</sup>
Hindistan	Tam ölçekli (günde 10 saat)	25	% 85-89 BOI giderimi (>23°C)
Amerika	Tam ölçekli	20	%85-94 BOI giderimi

<sup>1</sup> Yılın %95’inde elde edilen değer.

<sup>2</sup> Biraz azaltılmış verimle büyük tesislerdeki yükler uygulanabilir.

### 5.9.3 Akışkan Yataklı Reaktör

Damlatmalı filtre ve dolgulu kulelerde karşılaşılan ve heterojen yapıdan kaynaklanan kontrol parametrelerini (sıcaklık, pH, ÇO, besi maddesi konsantrasyonu) ortadan kaldırmak için akışkan yataklı biyofilm reaktörleri geliştirilmiştir. Bu tip reaktörlerde organizmalar destek parçacıkları üzerinde film halinde ya da içinde tutulurlar ve atıksu biyoreaktöre alttan belirli akış hızıyla verilerik üstten alınır. Atıksu debisi, biyo-parçacıkları su içinde askıda tutacak şekilde ayarlanır (büyük oranda su geridevri yapılıır). Katı parçacıklar kum, antrasit, aktif karbon, plastik, seramik ya da tel örgü parçacıkları olabilir.

Burada da atıksu, BOI giderimini arttırabilmek, akışkanlığı sağlayabilmek için çok yüksek oranda geri devir ile biyoreaktöre verilebilir. Sistem tercihen sürekli çalıştırılmaktadır.

### 5.10 Havalandırmalı Lagünler

Havalandırmalı lagünler, 2,5-5 metre derinliğinde toprak yapılar olup, havalandırma dubalar veya sabit kolonlar üzerine yerleştirilen mekanik havalandırıcılarla yapılıır. Stabilizasyon havuzları ile kıyaslandığında %10-20 daha küçük hacimlere sahiptirler.

Bu arıtma sisteminin esas fonksiyonu atık dönüşümdür. Diğer askıda katı madde sistemlerinde olduğu gibi havalandırma ile oluşturulan türbülans sistemin içeriğini askıda tutmada sağlar. Hidrolik kalış süresine bağılı olarak, havalandırmalı lagünden çıkan arıtılmış su giren BOI'nin üçte biri ile yarısını hücre formundaki mikroorganizma oluşturur. Bu katıların çoğu deşarjdan önce çöktürülerek ortamdandan uzaklaştırılır.

Bu havuzların tasarımında büyük esneklikler vardır. Bu tip lagünler bir taraftan basit fakültatif tipte, diğer taraftan da çamur geri devrinin yapıldığı daha verimli ve yoğun üniteler olarak projelendirilebilirler. Her durumda da bunların inşaatları ve işletilmeleri çok kolaydır. Bu nedenle hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde yaygın kullanım alanına sahiptirler. Havalandırmalı lagünlerin tasarımında gözönüne alınan faktörler;

- BOI giderimi
- Çıkış suyu özellikleri
- Oksijen ihtiyacı
- Sıcaklık etkisi
- Karıştırma için gerekli enerji
- Katı ayırma (çökeltme)

**BOI Giderimi:** Tam karışımli geri devirsiz havalandırmalı lagün olarak kabul edildiğinde, tasarımın temelini çamur yaşı oluşturur. Ortalama çamur yaşının hesaplanmasında dikkat edilecek hususlar:

- Mikroorganizmaların çöktürme ile kolay giderilebilmesi için flok şeklinde olması ve
- Ortalama çamur yaşı ile kıyaslandığında uygun bir emniyet katsayısının seçilmesidir.

Evsel atıksuyun arıtımında kullanılan lagünlerde tipik çamur yaşı 3-6 gündür.



**Arıtılmış Atıksu Özelliği:** Lagün çıkış atıksuyunda önemli parametreler BOI ve AKM konsantrasyonudur. Çıkış suyundaki BOI ve AKM konsantrasyonları bazen küçük miktarda alg'i de kapsarlar.

**Oksijenİhtiyacı:** Oksijen ihtiyacı aktif çamur tasarımında kullanılan yöntemlere göre belirlenir. İhtiyaç duyulan oksijen miktarı giderilen BOI'nin 0,7 ile 1,4 katı olarak hesaplanır.

**Sıcaklık:** Havalandırmalı lagünler geniş iklim şartları ve sıcaklık değişimlerinde kurulup ve işletileceği düşünülerek tasarımlanırlar. Burada sıcaklığın iki önemli etkisi,

- biyolojik aktiviteyi azaltması ve arıtım verimini düşürmesi,
- buz oluşumudur.

Sıcaklığın, biyolojik aktivite üzerine etkisi daha önceki bölümlerde bahsedilen biyolojik sistemlerdekine benzerler. Buzlanma probleminin olduğu durumda lagün işletmesine olan etkisi, lagünün derinliği artırılarak veya işletme metodu değiştirilerek en aza indirilir.

Birden fazla lagünün olması durumunda ılıman iklimlerde lagünler paralel, kışın ise seri olarak işletilebilir. Kış işletme şartlarında havuzdaki havalandırıcılar durdurulur ve lagünün yüzeyinin donmasına izin verilir. Baharda buzlanmanın erimesi ile paralel çalışma şartlarına tekrar sistem alıştırılır. Bu çalıştırma şekli ile %60-70 BOI giderimi soğuk kış aylarında bile sağlanabilir.

Havalandırmalı lagünler evsel (Tablo 5.17 ) ve endüstriyel atıksuların (kağıt, gıda, petrokimya vd.) arıtımında başarı ile kullanılmaktadırlar. Lagünler başlıca üç tipe ayrılabilirler:

- Fakültatif
- Havalı, sürekli beslemeli
- Havalı, çamur geri devirli

Her üç tip havalandırmalı lagünde de biyolojik arıtma prensipleri aynıdır.

Tablo 5.17. Evsel atıksuları arıtan farklı tipteki lagünlerin tasarım kriterleri (3).

Özellik	Fakültatif	Havalı sürekli akışlı	Havalı geri devirli
Katı madde kontrolü	Yoktur (bir kısmı çöker, diğer kısmı arıtılmış su ile çıkar).	Kısmen (katılar çökmez, arıtılmış su ile çıkar).	Tam kontrol (fazla çamur kontrollü olarak sistemden çekilir).
Lagündeki AKM <sup>1</sup> konsantrasyonu, mg/l	50-150	100-350	3000-5000
UAKM <sup>2</sup> /AKM (%)	50-80	70-80	50-80
Çamur yaşı $\Theta_c$ , gün	Yüksek	Genellikle 5	Sıcak iklim:10-20 Ilık iklim:20-30 Soğuk iklim:>30
BOI giderim hızı (20°C'de günlük, filtrelenmiş), kg/m <sup>3</sup> /gün	0,6-0,8	1-1,5	20-30
Sıcaklık katsayısı, $\Theta$	1,035	1,035	1,01-1,05
Hidrolik kalış süresi, gün	3-12	Genellikle 5	0,5-2
BOI giderim verimi (%)	70-90	50-60	95-98
Nitrifikasyon	Yok	Uygunsuz şartlar	Az
Koliform giderimi (%)	60-99 <sup>3</sup>	60-90	60-90
Lagün derinliği <sup>4</sup> , m	2,5-5	2,5-5	2,5-5
Arazi ihtiyacı,(m <sup>2</sup> /kişi)			0,15-0,25 <sup>5</sup>
Sıcak iklim	0,3-0,4	0,3-0,4	0,25-0,55 <sup>5</sup>
Ilık iklim	0,45-0,9	0,35-0,7	
Güç ihtiyacı, kW/kişi-yıl	12-15 <sup>6</sup>	12-14	18-24 <sup>7</sup>
hp/1000	2-2,5 <sup>6</sup>	2-2,5	3-5
Min.güç (kW/10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> lagün hacmi)	0,75-1 (eşit O <sub>2</sub> yaymak)	2,75-5 (bütün katları askıda tutmak)	15-18 (bütün katları askıda tutmak için)
Çamur	Birikir ve birkaç yıl sonra uzaklaştırılır.	Birikim olmaz. Katı maddeler arıtılmış su ile çıkar.	Fazla çamur günlük uzaklaştırılır.
Çıkış yapısı	Arıtılmış su savakla dışarı verilir.	Kısmi veya tam boru kullanılır.	Savak veya boru.

<sup>1</sup> AKM: Askıda katı madde

<sup>2</sup> UAKM : Uçucu askıda katı madde

<sup>3</sup> İki veya daha fazla ünitenin ser bağlanması durumunda yüksek verim fizibil olabilir.

<sup>4</sup> Kullanılacak havalandırıcıya uygun seçilmelidir.

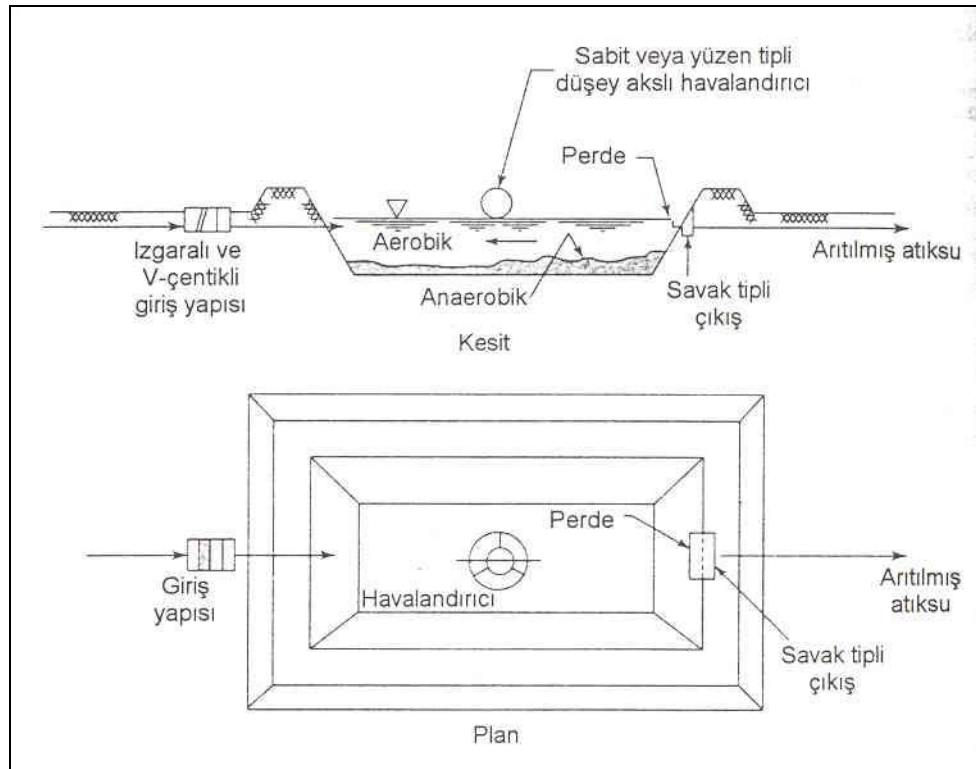
<sup>5</sup> Çamur kurutma dahil

<sup>6</sup> Havasız gaz üretiminden yararlanılırsa enerji ihtiyacı düşebilir

<sup>7</sup> Nitrifikasyona bağlı

### 5.10.1 Fakültatif Havalandırmalı Lagünler

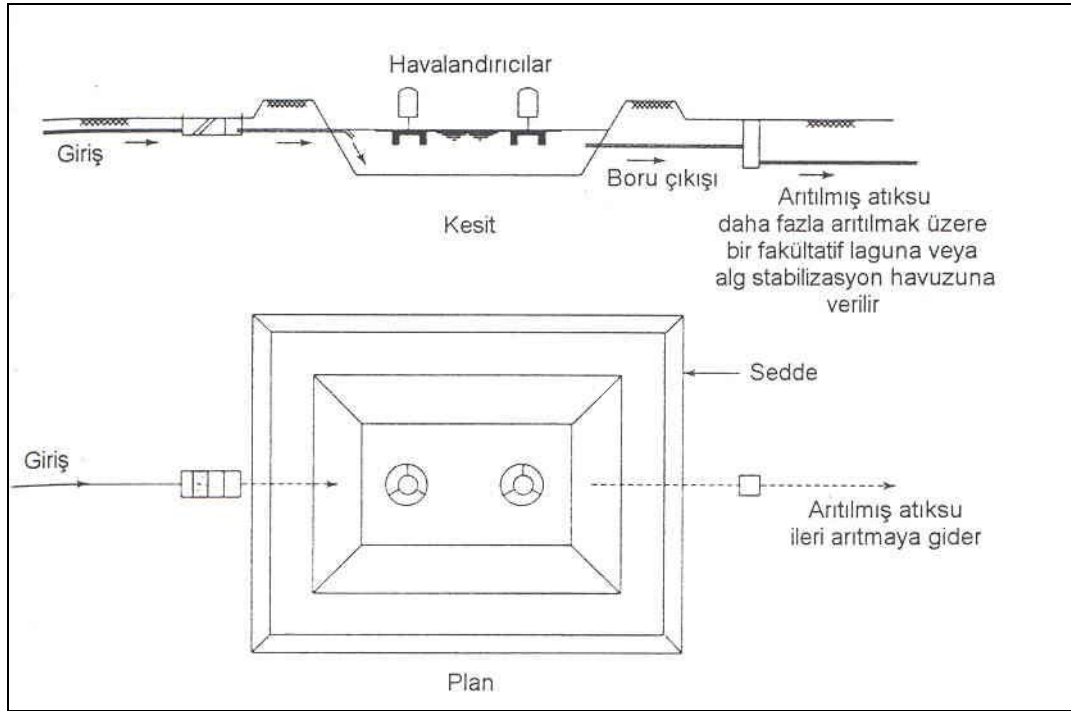
Fakültatif havalandırmalı lagünlerde birim hacme düşen enerji yoğunluğu, gerekli oksijen miktarının sıvıya verilmesi için yeterlidir. Fakat bu enerji girdisi, bütün katıları askıda tutmak için yeterli değildir. Bunun sonucunda, lagüne giren askıda katı maddelerin bir kısmı ve substrat giderimi sonucunda oluşan katı maddeler, tabana çökmeye çalışırlar ve tabanda havasız bozunma meydana getirirler (Şekil 5.18). Lagündeki aktivite kısmen havalı, kısmen de havasız olduğundan bu tip lagünlere “fakültatif” denir. Ancak bazen kısaca havalandırmalı lagünler de denilmektedir. Evsel atıksular için %70-90 oranında BOI giderimi sağlarlar.



Şekil 5.18 Mekanik havalandırmalı bir fakültatif lagün (3)

### 5.10.2 Sürekli Akışlı Havalı Lagünler

Bu lagünlerde enerji yoğunluğu, sadece istenilen miktarlardaki oksijeni sıvı içerisine verecek seviyede değil, aynı zamanda aktif çamur havalandırma tanklarında olduğu gibi bütün katı maddeleri askıda tutacak seviyede de olmalıdır. Bu nedenle, bu tip lagünlerde askıda katı çökmesi olmaz (Şekil 5.19). Arıtım verimi fazla yüksek değildir. Çıkış suyunda çok miktarda askıda katı madde bulunduğu için verim yaklaşık %50-60 seviyesindedir. Daha iyi BOI ve katı madde giderim istenirse ilave arıtma gerekir.



Şekil 5.19. Kesintisiz akışlı mekanik havalandırmalı lagün (3)

### 5.10.3 Çamur Geri Devirli Havalı Lagünler

Bu lagünler uzun havalandırmalı sistemlere benzerler. Enerji girdisi hem oksijen ihtiyacını karşılayacak, hem de bütün katıları askıda tutacak yeterlilikte olmalıdır. Bu lagünlerdeki çamur geri devrinden dolayı katı madde konsantrasyonu da oldukça yüksektir. İşletmeyi kolaylaştırmak için, lagün içerisinde bir çökeltme bölgesi oluşturulabilir veya alternatif kullanın amacıyla iki paralel bölüm yapılabilir. BOI giderimi yüksek olup %95-98 aralığındadır. Sistemde aynı zamanda nitrifikasyon da gerçekleşmektedir.

### 5.11 Stabilizasyon Havuzları

Basit olmaları ve işletme kolaylığından dolayı atıksu arıtımında en basit arıtma sistemi stabilizasyon havuzlarıdır. Sistem ekipmansız çalışacağından dolayı, biyolojik aktivite yavaş işler. Bu nedenle uzun kalma zamanına ve dolayısı ile geniş arazilere ihtiyaç duyulmaktadır. İklim ve havuzun doğal şartları biyolojik aktiviteyi etkiler. Bu nedenle, arazinin bol ve ucuz, iklim şartlarının uygun olması stabilizasyon havuzlarının kullanımını artırır. Stabilizasyon havuzları, reaksiyon kinetikleri ve akım şekilleri yönünden reaktörlere benzemektedir. Arıtım verimi, BOI giderimi ile birlikte mikroorganizma ve besin maddeleri (N ve P) arıtımında da istenilen şartları sağlayacak şekilde tasarlanabilir.

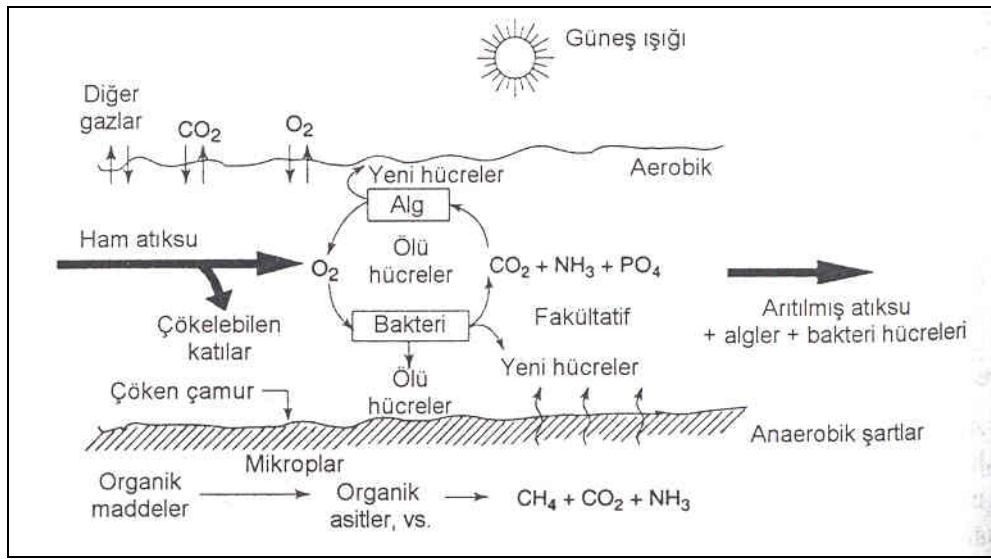
#### 5.11.1 Havuz Tipleri

**Havalı Stabilizasyon Havuzları:** Bu havuzlarda derinlik, ışık geçirimi ve fotosentezle alg oluşumunu en yüksek seviyede tutmak için yaklaşık 0,3 m veya daha az olmaktadır. Havalı şartlar havuz derinliğinin tümünde her zaman korunur.

**Havasız Stabilizasyon Havuzları:** Bu tip Stabilizasyon havuzlarında mikrobiyolojik aktivite havasız ortamda gerçekleşir. Anaerobik ve fakültatif mikroorganizmalar, nitratlar

ve sülfatlardaki oksijeni kullanırlar. Bu tip havuzlar yüksek organik yükleri kabul edebilirler ve alg fotosentezi olmadan çalışabilirler. Işığın geçirimi bu havuzlarda önemli olmadığından, 3-4 m derinlikler kullanılır. Ancak günümüzde bu havuzlar yerine daha verimli oldukları için havasız çamur yataklı reaktörler (HÇYR) anaerobik çamur battaniyesi (AAÇB) sistemleri kullanılabilir.

**Fakültatif Stabilizasyon Havuzları:** Bu tip havuzlar kısmen havalı, kısmen de havasız olarak çalışmaktadırlar. Bu nedenle hem alg hem de fakültatif mikroorganizma gelişimi olur. Derinlik genellikle 1-2 m'dir. Gündüz güneş ışığında havuz ağırlıklı olarak havalı karakterde iken, gece havuz tabanındaki su havasızdır karakterli olur. Tabanda biriken çamurun, çamur-su arakesit yüzeyinden itibaren birkaç mm'lik kısmı hariç, geri kalan tümü ise havasızdır. Dünyadaki mevcut havuzların çoğu fakültatif tiptedir. Bu havuzlardaki havalı ve havasızlık dereceleri değişkendir (Şekil 5.20) (3).



Şekil 5.20, Tipik bir fakültatif havuzda atıksu arıtımı (3)

Hiçbir arıtmadan geçmemiş atıksuları kabul eden havuzlara ham veya birinci kademe stabilizasyon havuzları denir. Ön çökeltmeden geçmiş veya biyolojik olarak arıtılmış atıksuların geldiği havuzlara ise ikinci-kademe stabilizasyon havuzları adı verilir.

İkinci kademe stabilizasyon havuzlarına örnek olarak olgunlaştırma havuzları sayılabilir. Stabilizasyon havuzlarında veya diğer konvansiyonel arıtma tesislerinde arıtılan atıksular, daha iyi hale getirilmek üzere (özellikle, bakteri sayısı azaltılmak üzere) belli bir süre (yaklaşık 5-7 gün) olgunlaştırma havuzlarında ilave arıtmaya tabi tutulurlar. Olgunlaştırma havuzları, organik yük yönünden oldukça hafif yüklenirler. Bu tip havuzların özellikle Güney Afrika'da çok kullanıldığı rapor edilmektedir. Sıcak iklimlerde olgunlaştırma havuzları, klorla dezenfeksiyona ekonomik yönden fizibil bir alternatif olmaktadır.

**Balık Havuzları:** Bunlar olgunlaştırma havuzlarının birer parçası olabileceği gibi, ayrı havuzlar şeklinde de tasarlanabilirler. Ön havuzlardan sonra da gelebilirler. Bu havuzlarda balık yetiştirilir.

**Su Bitkisi Havuzları:** Bu havuzlar, ikinci-kademe havuzlardır. İçlerinde yüzer su bitkileri (örneğin, su sümbülü) yetişmesine izin verilir; hatta bizzat yetiştirilir. Bu bitkilerin atıksuyu daha fazla arıtma ve ağır metalleri giderme kabiliyetleri vardır. Bu bitkiler, sağladıkları

besi maddeleri (N ve P) ve gazlar sayesinde yeni bitkilerin üremesine de katkıda bulunurlar.

Stabilizasyon havuzu projelendirilmesinde en sık uygulanan akım şemaları Şekil 5.21’de verilmektedir. Havuzların geometrileri farklı şekillerde olabilir. Üniteler, istenen akım rejimine bağlı olarak (piston, dispersiyonlu veya tam karışım) seri veya paralel bağlı olarak yerleştirilirler.

Farklı tipteki havuzların verimleri, aşağıda verilen faktörlere göre değerlendirilir:

- BOI giderimi,
- Mikroorganizma giderimi,
- Besi maddesi (N ve P) giderimi.

Tablo 5.18. Havalı, havasız ve fakültatif stabilizasyon havuzları için tasarım parametreleri (5).

Parametre	Havalı	Fakültatif	Havasız
Hidrolik Kalış süresi, gün	5-20	10-30	20-50
Su derinliği, m	03-1	1-2	2,5-5
BOI <sub>5</sub> yükü, kg/ha.gün	40-120	15-120	200-500
Çözünmüş BOI <sub>5</sub> giderimi,%	90-97	85-95	80-95
Toplam BOI <sub>5</sub> giderimi,%	40-80 <sup>1</sup>	70-90	60-90
Alg konsantrasyonu, mg/l	100-120	20-80	0-5
Çıkış AKM, mg/l	100-250	40-100	70-120

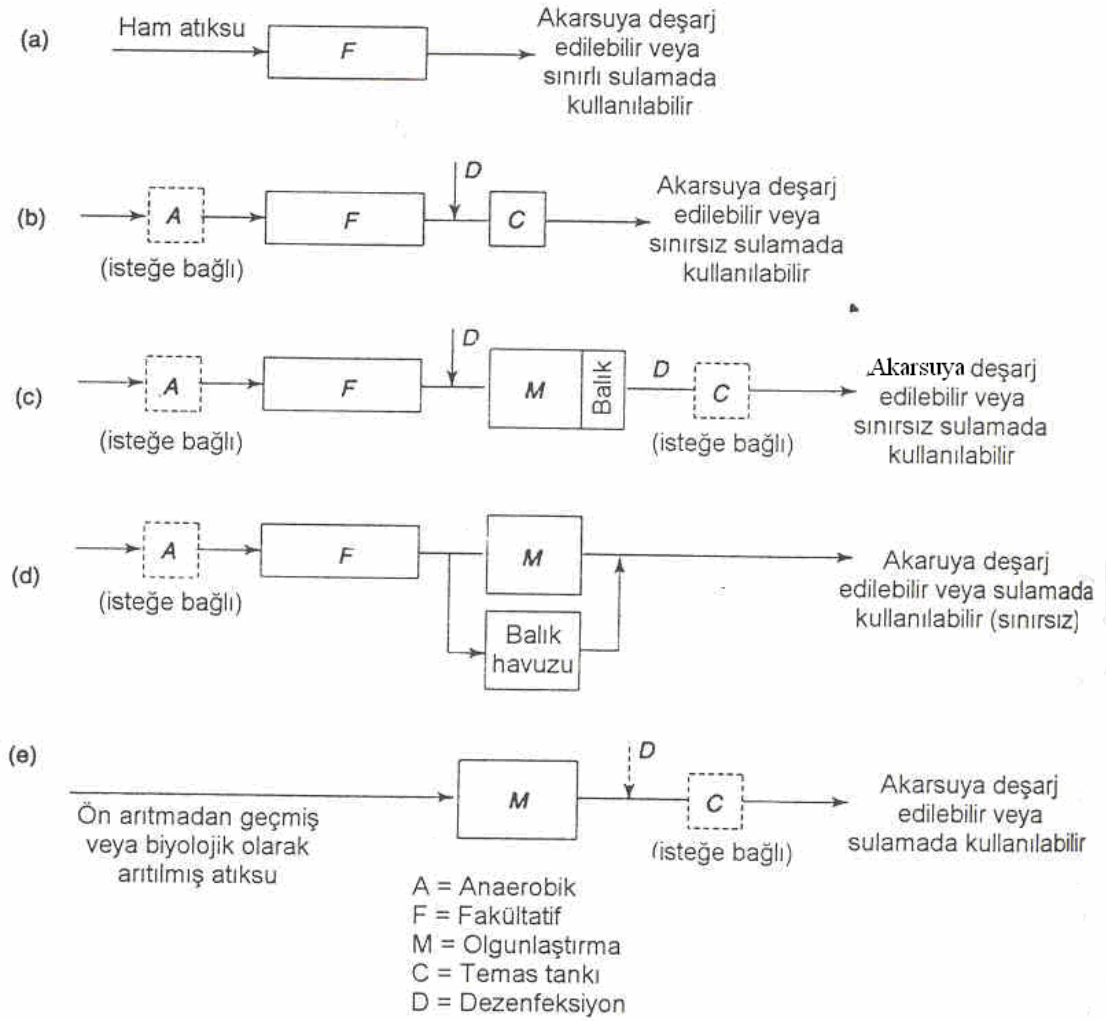
<sup>1</sup> çıkışta yüksek alg konsantrasyonundan dolayı toplam BOI<sub>5</sub> giderimi düşüktür.

### 5.11.2 Havuz Ekosistemini Etkileyen Faktörler

Havuz projelendirilmesini etkileyen çeşitli faktörler, aşağıda verilmektedir:

- Atıksu özellikleri ve değişimi
- Çevresel faktörler (radyasyon, ışık, sıcaklık ve bunların değişimleri)
- Alg büyüme modeli, bunun günlük ve mevsimsel değişimi
- Bakteri büyüme modelleri ve ölme hızları
- Akımın Hidrolik rejimi
- Buharlaşma ve sızma
- Katı madde çökmesi, sıvılaşma, gazlaşma, aşağıdan yukarı difüzyon ve çamur birikimi
- Ortak yüzeylerde gaz transferi

Simülasyon yapmak için, kütle denge denklemlerinin kullanıldığı matematiksel modellerden yararlanır.



Şekil 5.21. Stabilizasyon havuz sistemleri için bazı tipik yerleşim biçimleri (3)

### 5.12 Havalı Atıksu Arıtma Sistemleri Özelliklerinin Özeti

Tablo 5.20’de atıksu arıtma sistemleriyle ilgili önemli parametreler (alan, enerji gereksinimi, ve verimlilik) verilmektedir. Bu tablodaki değerler belli bir durumda seçim yaparken bir ön yaklaşımda bulunmak amacıyla kullanılabilir. Projelendirmede daha detaylı hesap metotları kullanılmaktadır.

Arıtma metodu seçilirken BOI giderimi önemli olmakla birlikte tek parametre değildir. Birçok durumda azot ve fosfor gibi besi maddeleri ile koliform ve helminitler (bağırsak solucanları) gibi organizmaların giderimine de en az BOI giderimi kadar önem verilmelidir. Göz önünde bulundurulması gereken diğer faktörler ise kötü koku potansiyeli, çamur işleme zorlukları, emniyetli verim ve diğer işletme özellikleridir.

Tablo 5.20, Farklı atıksu arıtma metodlarında arıtım verimlerinin karşılaştırması

Arıtım	BOI %	Azot %	Fosfor %	Koliform %	Helminit %	Arazi ihtiyacı, m <sup>2</sup> /kişi	Enerji gereksinimi, KWsaat/kişi-yıl
Uzun havalandırılmalı AÇ	95-98	15-30	10-20	60-90	-	0,15-0,2	16-19
Konvansiyonel aktif çamur	85-92 (a)	30-40 (a)	30-45 (a)	60-90	-	0,2-0,25	12-15
Konv.damlatılmalı filtre	80-90	(a)	10-20	60-90	-	0,2-0,3	7-11
Fakültatif havalı lagun	75-85	15-20	-	60-90	-	0,3-0,4	12-15
HÇYR	75-85	-	-	-	Evet	0,15-0,2	Yok
Stabilizasyon havuzu	75-85	-	20-60	60-99,9	Evet	1-2,8	Yok
Arazide arıtma/sulama	80-90	40-50	90-99	90-99	-	10-20	Yok
		80-90					

(a) kontrollü işletme ile ilave besin (azot+fosfor) giderimi sağlanabilir.



Tablo 5.21. Farklı atıksu arıtma metodlarının işletme ve ekipman açısından karşılaştırması.

Arıtım	Çamur işleme	Ekipman(*)	İşletme özellikleri	Nüfusun birim maliyete etkisi	Ayırıcı özellik
Uzun havalandırmalı AÇ	Çürütme yok, kurutma veya susuzlaştırma	Havalandırıcı, pompa, çamur sıyrıcı	Aktif.ç.dan basit	Küçük	Yüksek BOI giderimi ve nitrifikasyon, enerji iht.fazla, küçük-orta ölçekli işletmeler
Konvansiyonlu Aktif çamur	Çamur çürütülür, kurutulur veya susuzlaştırılır	Havalandırıcı, pompa, sıyrıcı, çürütücü, gaz ekipmanları	Tecrübeli işletme gerekir	Oldukça fazla	Fazla ekipman, tecrübeli işletme iht., büyük işletmeler için uygun
Konv.damlatmalı filtre	Çürütme, kurutma veya susuzlaştırma	Filtre kolları, pompa, sıyrıcı, yoğunlaştırıcı, gaz ekipmanları	Tecrübeli işletme gerekir	Oldukça fazla	Fazla ekipman, tecrübeli işletme iht., Aktif çamura göre az enerji iht.
Fakültatif havalı lagun	5-10 yılda bir elle temizleme	havalandırıcı	Basit	Az	Enerji iht. Aktif çamura benzer, inşaat ve işletme daha kolay, Genişletme veya yer değiştirme kolay
HÇYR	kum yataklarında kurutma veya susuzlaştırma	Yok(enerji üretilecekse gaz toplayıcı)	Aktif çamurdan daha basit	Az	Minimum enerji iht., ekonomik, arazi iht.az
Stabilizasyon havuzu	5-10 yılda bir elle temizleme	Yok	En basiti	Çok az	En basit arıtma metodu, enerji iht.yok, Çok alan gerektirir
Arazide arıtma/sulama	çamur problemi yok	Yayma ekipmanları veya damlatma sistemleri	-	Çok az	Bitki ve dağıtım sistemine bağlı ön arıtım gerektirir, elde edilecek mahsul masrafları fazlasıyla karşılar

\*ızgaralar ve kum tutucular hariç

## 5.13. Küçük Atıksu Arıtma Sistemleri

### 5.13.1. Genel Özellikler

Düşük nüfus 1000 veya daha az kişiden oluşan topluluk için tanımlanmaktadır. Böyle bölgeler için atıksuların merkezi toplama ve arıtımında, finansal, teknik ve stratejik problemlerle karşılaşmaktadır. Bu tür durumlarda karşılaşılan temel problemler,

- Sıkı deşarj standartları,
- Yüksek sistem maliyeti
- Kısıtlı yatırım, işletme ve bakım bütçesi

olarak özetlenebilir.

### Deşarj Standartları

Çevreyi korumak amacıyla, hem büyük hem de küçük arıtma sistemleri için deşarj değerleri aynıdır. Sonuç olarak küçük sistemler de deşarj kriterlerini sağlamak amacıyla yüksek bir arıtım veriminde işletilmelidir. Bunun için de belli bir ekonomik girdinin olması gerekir.

### Yüksek Sistem Maliyeti

Klasik arıtma sistemleri büyük boyutlu olması ve inşaat maliyetinden dolayı, küçük yerleşim yerleri için ekonomik olmayabilir. Örneğin 1000 kişilik nüfusta kişi başına düşen maliyet, 100,000 kişilik nüfusta kişi başına düşen maliyetten 2 ila 4 katı daha fazladır.

### Kısıtlı Finansman

Küçük yerleşim birimlerinde arıtma sisteminin giderlerini karşılamak aşağıda belirtilen nedenlerden dolayı zordur;

- *Düşük Gelir:* Küçük yerleşim birimlerindeki halkın gelir seviyesi genellikle büyük şehirdekinden daha düşüktür. Bu bölgelerdeki yoksulluk seviyesi de daha yüksektir. Diğer taraftan, özellikle Büyükşehirlerin hemen yanında az nüfuslu ancak zengin yerleşim birimlerine de rastlanabilir.
- *Konut Vergisi:* Ticari ve endüstriyel vergi girdisinin az olduğu nüfusu küçük bölgelerde ev sahipleri verginin büyük bir kısmını karşılamak durumundadır.
- *Maliyet:* Küçük yerleşimlerin sermaye piyasasına girmesi zor olduğundan kaynak ve kar girdisi düşüktür. Bu nedenle daha yüksek faiz ödemek durumundadırlar.
- *Ticari Kısıtları:* Ticari hareketliliğin azlığı nedeniyle zayıf bir ekonomi vardır.

### Kısıtlı İşletme ve Bakım Olanakları

Küçük yerleşim bölgelerinde çoğu kez arıtma sistemlerinin işletilmesi için gerekli olan ekonomik kaynak ve teknoloji kısıtlıdır. Problem genellikle tasarım, yetersiz danışmanlık hizmeti, proje yönetimi, hesaplama, ücretlendirme, işletme ve bakımdan kaynaklanmaktadır. Arıtmanın sistem bütünlüğü dahilinde tamamlanabilmesi için bu

problemleri aşmak gerekir. Örneğin bu aşamada arıtma sistemi operatörü için gereken ücret büyük bir ihtimalle bölgenin belediye başkanının maaşını bile aşabilir. Tam oturmamış bölgelerde, bu tip sosyal problemler çözümsüz kalabilir. Bu bölgeler için farklı özel çözümler üretmek gerekir.

### **Küçük Sistemlerde Debi ve Atıksu Karakteri**

Küçük sistemlerde debi ve atıksu karakteri, büyük sistemlere kıyasla daha büyük farklılıklar gösterir. Böylece, tahmin edilen atıksu debi ve karakterini bilmek etkili tasarım çalışması için temel teşkil eder.

### **Atıksu Debisi**

Ortalama atıksu debisi genellikle 150-300 L/kişi.gün olarak verilir. Ancak bu tipik değerler büyük yerleşim bölgelerinde ticari ve endüstriyel tesislerinden katılım ve sızıntı suyu girdilerinden dolayı beklenenden daha yüksektir. Çeşitli yerleşimler için kişi başına tahmin edilen debiler Tablo 5.22’de verilmektedir. Ancak merkezi kanalizasyonun olmadığı yerleşimlerdeki tipik debi değeri 210 L/kişi.gün’dür.

Tablo 5.22 Tek aileli konuttan kaynaklanan atıksu debisi (1).

Yerleşim tipi	Debi, L/kişi.gün	
	Aralık	Tipik
Müstakil ev		
Düşük gelir	150-210	170
Orta gelir	150-300	210
Yüksek gelir	190-380	250
Apartman ve ortak apartman	130-210	150

### **Atıksu Karakteri**

Tablo 5.23’te günde kişi başına deşarj edilen dışkı ve idrar miktarları verilmektedir. Konuttan kaynaklanan tipik atıksu karakteri Tablo 5.24’te verilmektedir.

Tablo 5.23 Günlük insan dışkısının tipik değerleri (2).

Kirlenici	Birim	Değer	
		Aralık	Tipik
Dışkı	g/kişi.gün	100-140	120
İdrar	L/kişi.gün	0.8-1.3	1.1

Tablo 5.24. Özel konutlardan kaynaklanan atıksu karakteri ve debi değerleri (2)

Kirlilik	Debi, g/kişi.gün	Değer		
		Birim	Aralık <sup>2</sup>	Tipik <sup>3</sup>
BOI <sub>5</sub>	81.7	mg/l	216-540	392
AKM <sup>1</sup>	90	mg/l	240-600	436
NH <sub>3</sub> , N olarak	3.2	mg/l	7-20	14
Org.N, N olarak	9	mg/l	24-60	43
TKN, N olarak	12.2	mg/l	31-80	57
Org.P, P olarak	1.4	mg/l	4-10	7
İnorg.P, P olarak	2.7	mg/l	6-17	12
Gres		mg/l	45-100	70
Toplam Koliform		Sayı/100mL	10 <sup>7</sup> -10 <sup>10</sup>	10 <sup>8</sup>
Sıcaklık		°C	27-47	38
PH			5-8	7.2

<sup>1</sup>Mutfak atıkları hariç, Mutfak atıklarının dahil olması durumunda, BOI= 99 g/kişi.gün, AKM= 117 g/kişi.gündür. Nutrient değerleri aynı kalır.

<sup>2</sup> 380- 150 L/kişi.gün'e göre değerler

<sup>3</sup> 210 L/kişi.gün'e göre değerler

### 5.13.2 Küçük Atıksu Arıtma Sistemi Tipleri

Küçük atıksu arıtma sistemleri, 190-1900 L/gün ile 380 m<sup>3</sup>/gün aralığındaki atıksu debileri için boyutlandırılabilir. Küçük yerleşim bölgelerinde (1) kanalizasyona bağlı olmayan özel konut ve küçük yerleşimler, (2) kanalizasyona bağlı küçük yerleşimler için arıtma sistemi tipleri verilmiştir.

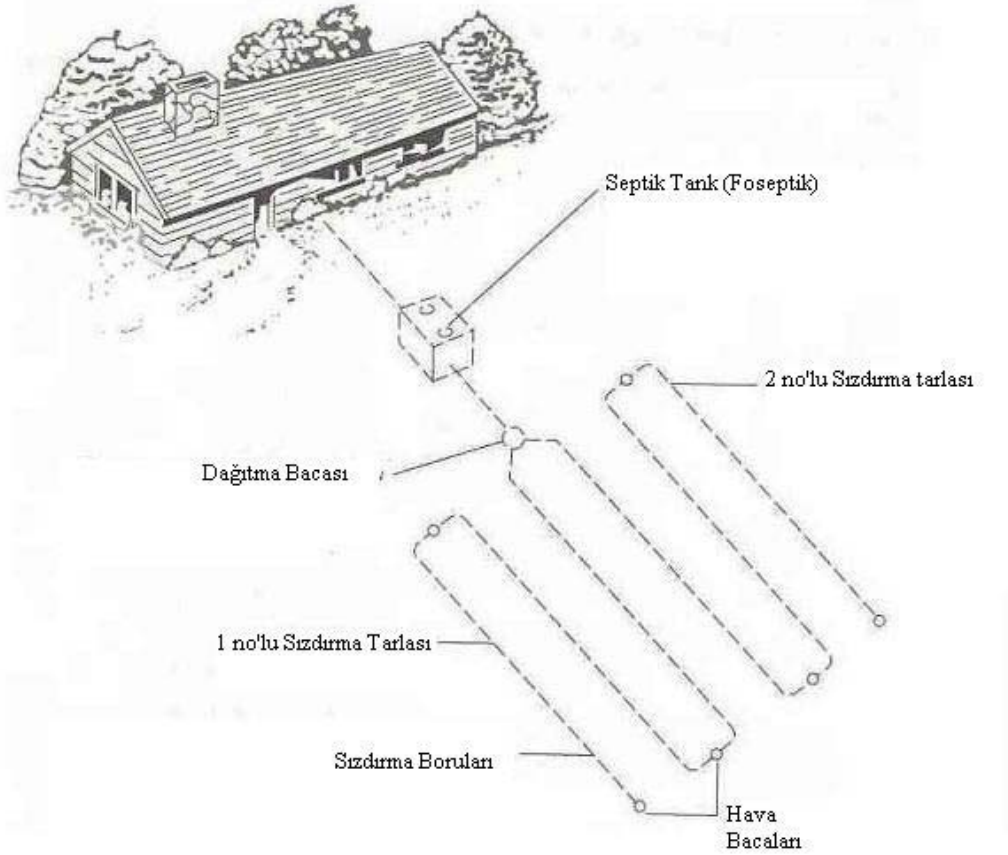
#### a) Kanalizasyon Bağlantısı Olmayan Bölgeler için Atıksu Yönetim Seçenekleri

Özel konut ve diğer küçük bölgelerin atıksu arıtım ve deşarjı genellikle yerinde yapılır. Alternatif seçenekler Tablo 5.25'te verilmiştir. Arazide çeşitli sistemler olmasına rağmen en bilinen yöntem atıksuyun fosseptik tankında kısmi arıtımı ve çıkışın araziye toprak yüzeyi altından verilmesi şeklindedir (Şekil 5.22).

Tablo 5.25 Kanalizasyonun olmadığı bölgeler için atıksu yönetim seçenekleri (2)

Atıksu kaynağı	Atıksu arıtma sistemleri	Atıksu uzaklaştırma
Özel konut Birleşik Atıksu Siyah su Gri su Halka açık tesisler Ticari Kuruluşlar	Birinci kademe arıtım Fosseptik İmhoff tankı İkinci kademe arıtım Anaerobik/Aerobik üniteler Aerobik üniteler Aralıklı kum filtre Geridevirli granüler filtre Sulakalanlar Geri kullanımlı arıtma sistemleri Arazide tutma Depolama tankı Özel yerler	Yüzeyin altında uzaklaştırma Uzaklaştırma alanı Sızdırma yatağı Sığ kum filtresi Yapay toprak yığından sızdırma sistemleri Buharlaştırma/sızdırma yatakları Damlatmalı filtre uygulamalar Buharlaştırma Sistemleri Buharlaştırma yatağı Buharlaştırma hendeği Sulak alanlar ( Bataklık) Su ortamına deşarj Yukarıdakilerin birleşimi

Meskun bölgeler dışındaki uzaklaştırma alanlarında bir çok alternatif teknikler geliştirilebilir. Bunların içinde en verimlisi kesikli beslenen geri devirli granüler filtrelerdir. Kesikli kum filtreler, yüksek verim, güvenilirlik ve nispeten düşük maliyet nedeniyle tek konutlu yerleşimlerde oldukça yaygın kullanılır. Geri devirli kum filtreler daha büyük debiler için kullanılır. Tam geri devirli (kazanmalı) sistemler ticari binalar için geliştirilmiştir. Arazide deşarj sistemi kurulamamışsa arıtılmış su depolama tankında tutulur.



Şekil 5.22 Fosseptik ve kesikli cazibeli akışlı uzaklaştırma alanından klasik arazide arıtma sistemi (2)

## **b) Kanalizasyonlu Bölgeler için Atıksu Yönetim Seçenekleri**

Özel konut alanının çok dar olması veya nihai uzaklaştırma için arazi ve zemin yapısının uygun olmaması durumunda küçük bir toplama sistemi kurulur. Bu sistemler, 1) Atıksuyun her bir yerleşimden toplanması, 2) Arıtılması ve 3) Arıtılmış suyun deşarj sisteminden oluşmaktadır.

Toplama sistemi tipleri;

- Klasik cazibeli akışlı kanal,
- Küçük çaplı değişken eğimli cazibe akışlı kanal,
- Küçük çaplı basınç ve vakumlu kanal sistemleridir.

Toplama sistemi seçimi, genellikle bölgenin topografyası ve maliyet unsurlarına göre belirlenir. Küçük ev siteleri için büyük fosseptik tankı kullanılabilir. Imhoff tankı pahalı olduğundan günümüzde kullanımı oldukça azdır. Bazı bölgelerde fosseptik, katı maddeleri çöktürmek ve yağ&gresi ayırmak için kullanılır. Yüksek arıtma verimi gereken durumlarda geri devirli kum filtresi, fosseptik ile birlikte kullanılır. Daha yüksek debiler için paket biyolojik arıtma sistemi veya özel tasarlanmış tesisler kullanılır. Küçük tesislerde arıtılmış su deşarjı önceden belirlenmiş arazilere yapılabilir.

### **5.13.3 Kanalizasyonun Olmadığı Bölgelerde Özel Konut ve Diğer Yerleşimler için**

#### **Arazide Arıtma Sistemleri**

Küçük yerleşim alanlarında kullanılan arıtma sistemleri; fosseptik, yağ tutucu, imhoff tankı, uzaklaştırma arazisi, uzaklaştırma yatağı ve çukuru, kesikli kum filtresi, geri devirli kum filtresi, basınçlı sıg kum hendeği uzaklaştırma alanı, tümsek toprak sistemler (mound system), tam geri devirli üniteler, gri su sistemleridir.

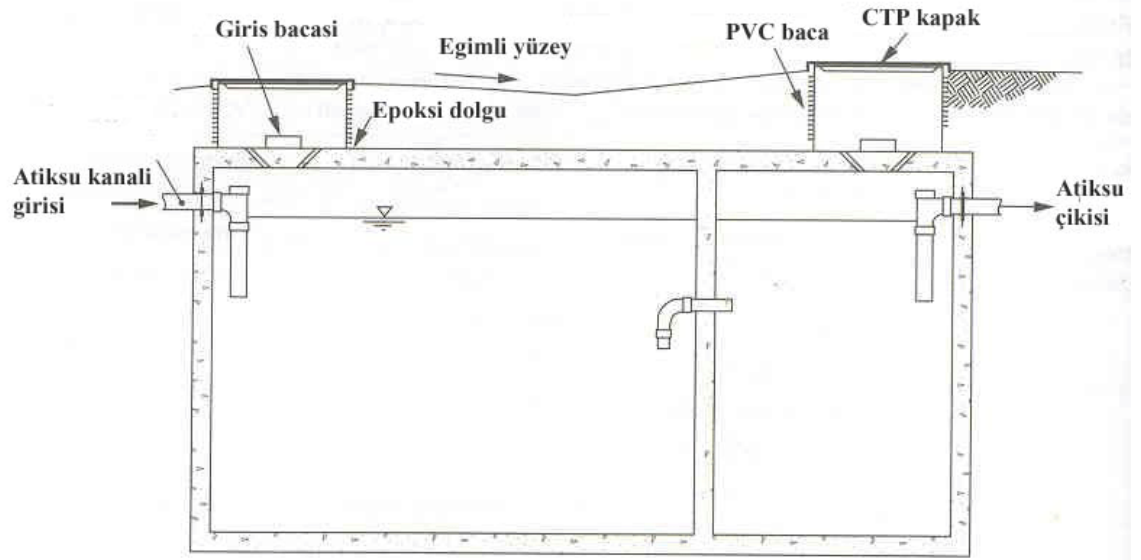
#### **Fosseptik Tank**

Şematik olarak Şekil 5.23'te verilen fosseptik prefabrike olup, çöktürme ve sıyırma işlemlerini birlikte yapabilen, karıştırma ve ısıtmasız anaerobik çürütücü bir tanktır. Fosseptiğin en eski kullanımı 1860'lı yıllarda Fransa'ya kadar gitmektedir.

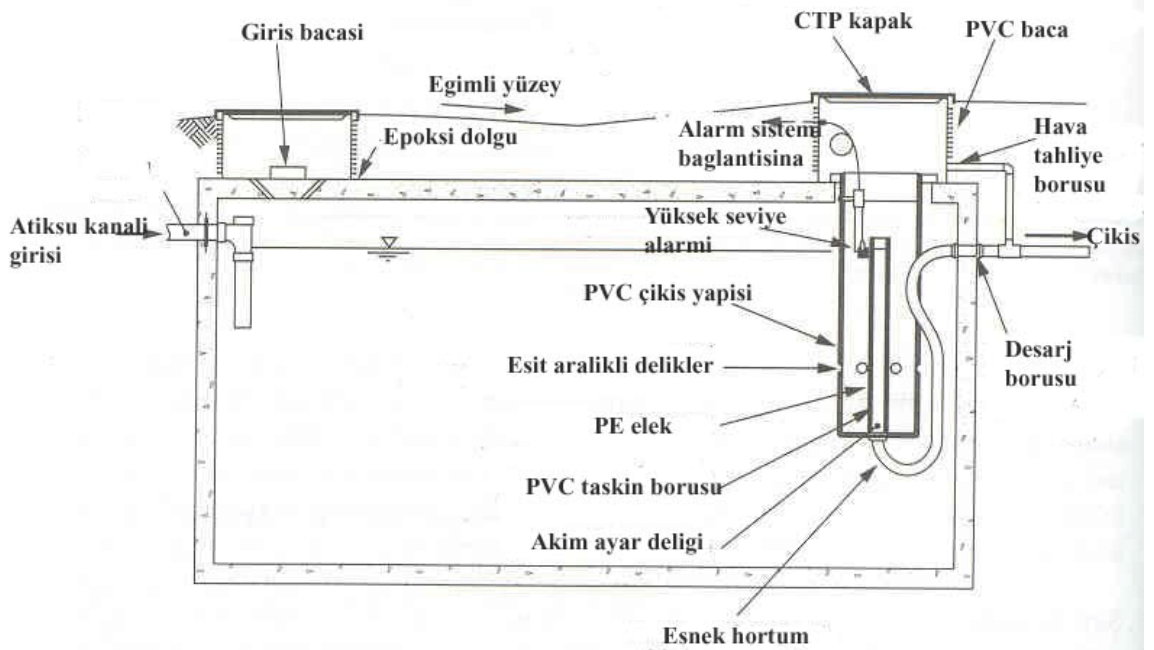
Günümüzde yaygın olarak beton veya CTP fosseptikler başarıyla kullanılmaktadır. Bu tür tanklar aynı zamanda su sızdırmaz ve sağlam bir yapıda olmalıdır. Bu nedenle kurulmadan önce ve sonra sızdırmazlık ve yapısal sağlamlık kontrolü yapılmalıdır.

Tankta, içini bölmelere ayıran perdeler, kolay kontrol ve temizleme amacıyla da kontrol bacası bulunur. Yağ-gres ve diğer hafif maddeler köpük ile birlikte yüzeyde toplanır.

Böylece çöktürülmüş ve yüzeyi sıyrılmış atıksu, köpük ve çamur tabakası arasından geçerek ya araziye ya da başka bir arıtım ünitesine deşarj edilir. Tankın dibinde kalan organik maddeler fakültatif ve anaerobik olarak parçalanarak CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub>S gibi daha kararlı bileşiklere dönüşür.



(a)



(b)

Şekil 5.23 Tipik fosseptik; a)Klasik iki bölmeli tip, b) Elekli tek bölmeli tip (2) .

Fosseptikte oluşan  $H_2S$  biriken çamurdaki metal ile birleşerek çözünmez metal sülfürler oluşturduğundan, genellikle koku problemi olmaz. Biriken katı madde hacmi anaerobik çürüme sonucu sürekli azalsa bile, tankta gene de net bir çamur birikimi olacaktır. Oluşan gaz ile birlikte tankın tabanından yüzeye çıkan maddeler köpük tabakasının altına yapışarak kalınlığını artırır. Çamur ve köpüğün uzun süreli birikimi sonucu tankın etkili hacminde azalma görüleceğinden tank belli aralıklarla boşaltılmalıdır.

## **Yağ ve Gres Tutma Tankı**

Lokanta, çamaşırhane ve benzin istasyonlarından kaynaklanan atıksular yoğun olarak yağ-gres ve deterjan içerirler. Yağ ve gresin fosseptiklere girmesine izin verilmesi durumunda, büyük olasılıkla çıkış suyu ile birlikte alıcı toprak ortamına deşarj olacaktır. Yağ ve gres askıda katı ile beraber toprak yüzeyinde birikerek, toprağın geçirimliliğini de azaltacaktır. Yağ tutucuda atıksu soğutularak gresin katılaşması sağlanır, daha sonra gres yüzdürülerek atıksudan ayrılır.

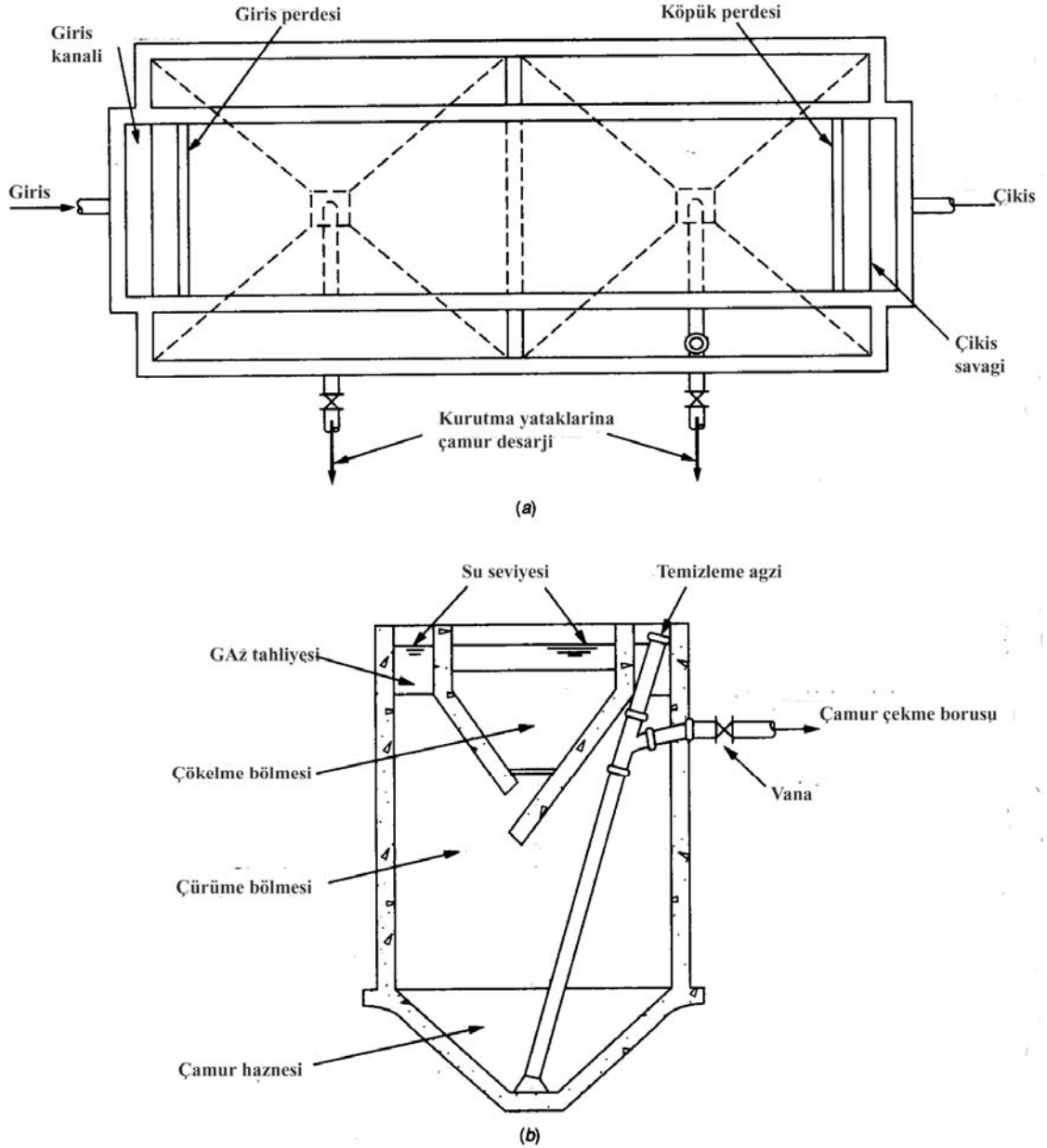
Etkili bir yüzdürme için hidrolik kalış süresinin 30 dakikadan daha fazla olması gerekir. Birçok ticari yağ-gres tutucu bulunmasına rağmen, hidrolik süresinin yetersiz olması nedeniyle verimli oldukları kanıtlanmamıştır. Yağ-gres tutucu olarak kullanılan klasik fosseptiklerin verimli ve etkin oldukları kanıtlanmıştır. Ancak fosseptikler yağ-gres tutucu olarak kullanıldığında tank yapısında bazı değişiklikler gerekebilir. Yağ-greste etkili arıtım için büyük hacimli fosseptikler uygundur. Çamaşırhane atıksularında kumaş parçalarının da bulunması deşarjda ciddi problemlere yolaçabilir. Bu durumda çıkış atıksu kanalına elek yerleştirmesi önerilir.

## **İmhoff Tankı**

İmhoff tankında çökebilir katıların giderilmesi ve anaerobik çürütülmesi fosseptikle benzerlik gösterir. Ancak imhoff tankı farkı iki bölmeli olup, çöktürme üst bölmede, anaerobik çürüme ise alt bölmede gerçekleşir (Şekil 5.24).

Şekilde de görüldüğü üzere katılar çöktürme bölümünün tabanındaki açıklıktan çürütme için alttaki ısıtmasız bölüme geçerler. Burada oluşan gaz havalandırma bacasından çıkar. Gaz çıkışı ve çamur kabarması, çöktürme bölümü tabanındaki özel çıkıntı dolayısıyla önlenmiş olur.





Şekil 5.24. Küçük yerleşimler için imhoff tankı; a) planı, b) kesiti (2)

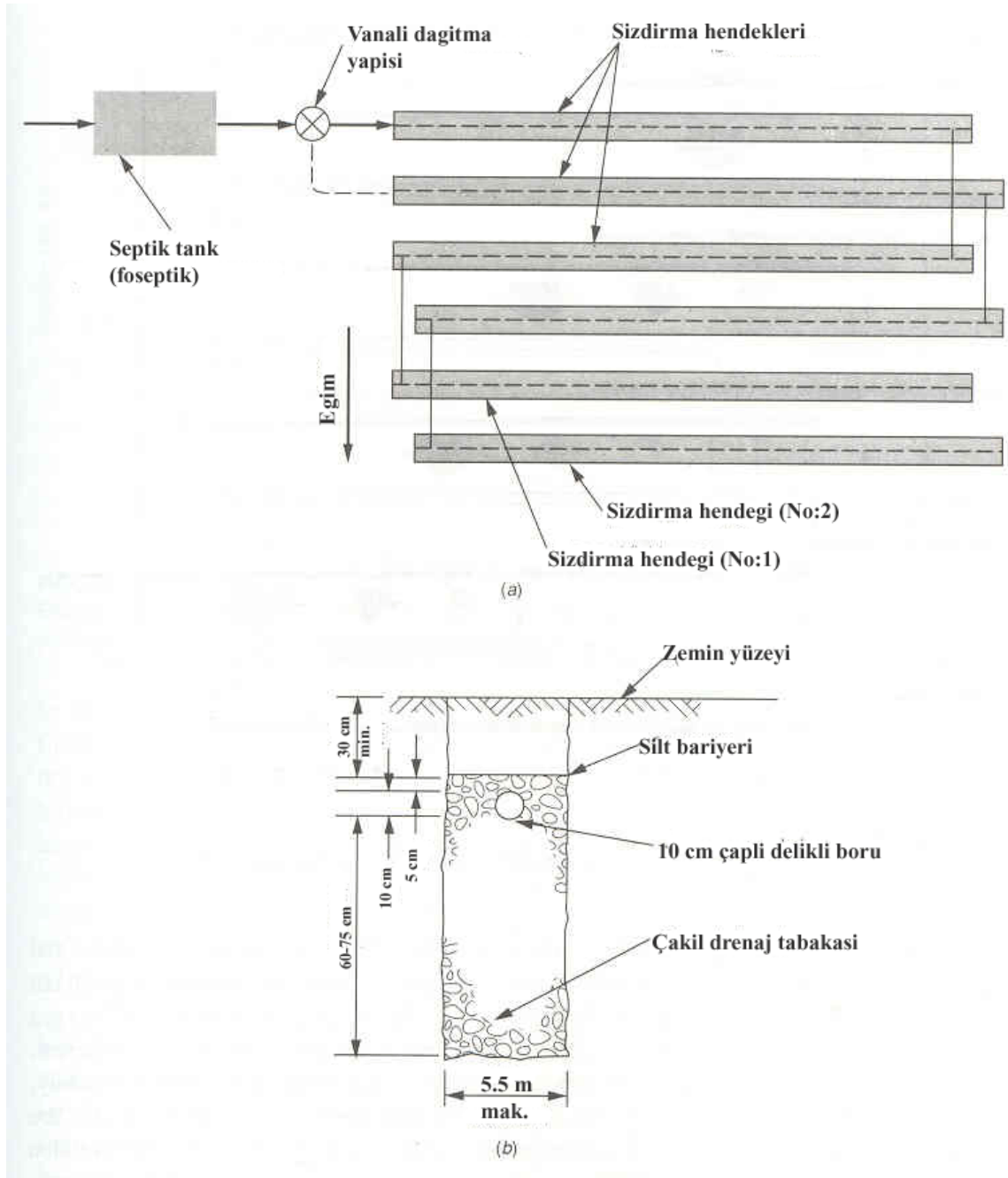
### Atıksu Uzaklaştırma Alanı

Fosseptik veya diğer küçük arıtma sistemlerinden çıkan arıtılmış suyun nihai arıtımı, arazi yüzeyinde zeminde adsorpsiyon yoluyla sağlanır. Zeminde adsorpsiyon sistemi: içi gözenekli madde (genellikle çakıl taşı, Şekil 5.25) ile doldurulmuş dar ve sığ (0.6-1.5 m) hendeklerdir.

Gözenekli madde kullanılmasının başlıca nedenleri;

- Uzaklaştırma alanının alt yapısını oluşturmak,
- Çıkış akımında kısmi bir arıtım sağlamak,
- Çıkış suyunu sızdırmalı toprak yüzeyine dağıtmak ve

- Hendekler su ile dolmadığı zaman azami debilerde geçici depolama görevini görmektedir.



Şekil 5.25. Foseptik çıkışı zemine sızdırma hendeği plan ve kesiti (2)

Fosseptik çıkışı uzaklaştırma alanına, cazibeli olarak, kesikli pompalama veya sifonla dozlanır.

Uzaklaştırma arazisine deşarj edilen fosseptik çıkışı öncelikle hendek yan duvarlarından toprağa sızar. Çıkış suyu toprak yüzeyini geçtikten sonra doymamış (vadoz) tabakaya girer. Bu bölgedeki akış, zemin yapısına bağlıdır. Atıksu, zemin taneciğinin üzerinde ve boşluklarda yerçekimi kuvvetinin tersi yönünde hareket edebilir (kapiler yükselme).

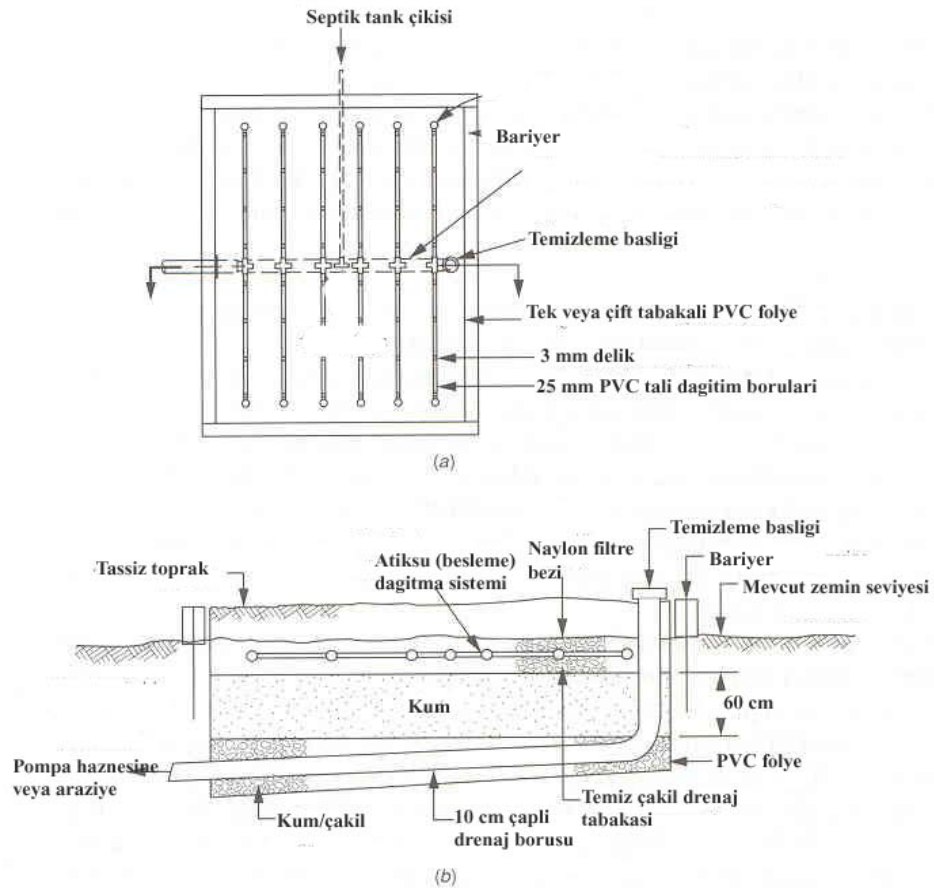
Arıtılmış su vadoz tabakadan sonra yer altı suyuna veya en yakın su tabakasına doğru hareket eder. Yer altı suyu akışı, toprak geçirgenliğine bağlı olarak yatay veya dikeydir.

Gözenekli alandaki arıtma fiziksel, biyolojik ve kimyasal mekanizmaların birleşimidir. Gözenekli ortam sürekli su altında kalması halinde batık (submerged) anaerobik filtre, periyodik uygulamalarda ise aerobik damlatmalı filtre gibi davranır.

### Kesikli Beslemeli Kum Filtresi

Konum ve yerel şartlar fosseptik ve uzaklaştırma alanının kullanımı için uygun olmayabilir. Bu gibi durumlarda atıksu arıtıldıktan sonra kum filtreye verilir. Arıtılmamış fosseptik çıkışının yağmurlama yoluyla verilmesi koku ve çevresel problemi dolayısıyla uygun değildir.

Kesikli kum filtresi sığ kum yatağı olup (600-760 mm) yüzeyde dağıtım ve altta drenaj sistemine sahiptir (Şekil 5.26). Fosseptik çıkışı kum yatağı yüzeyine belli aralıklara verilir. Arıtılan su, filtrenin tabanındaki drenaj sisteminde toplanır. Filtre çıkış suyu uzaklaştırma alanına veya dezenfekte edildikten sonra yüzey sularına deşarj edilir. Kum filtrelerinin çoğu zemine gömülü olmasına rağmen açıkta da yapılabilirler.



Şekil 5.26 Kesikli kum filtrelerinin tipik şeması; a) plan, b) kesit (2)

Kum filtresinde arıtım fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtım mekanizmalarını içerir. Askıda katılar, prensipte temas süresi ve çökmeye bağlı olarak mekanik süzme ile giderilir. Bakteriler, kum tanecikleri arasında tutunurlar. Bu nedenle BOI giderimi ve nitrifikasyon

reaksiyonları havalı (aerobik) şartlar altında meydana gelir. Anaerobik şartlar altında denitrifikasyon da gerçekleşir.

Bazı özel bileşikler kimyasal ve fiziksel sorpsiyon ile giderilir. Bu filtrelerde yüksek verim sağlamak için aerobik şartlar oluşturulmalıdır. Kesikli besleme ve havalandırma filtrede aerobik şartları sağlayacaktır.

### Toprak Yığınından Sızdırma Sistemi

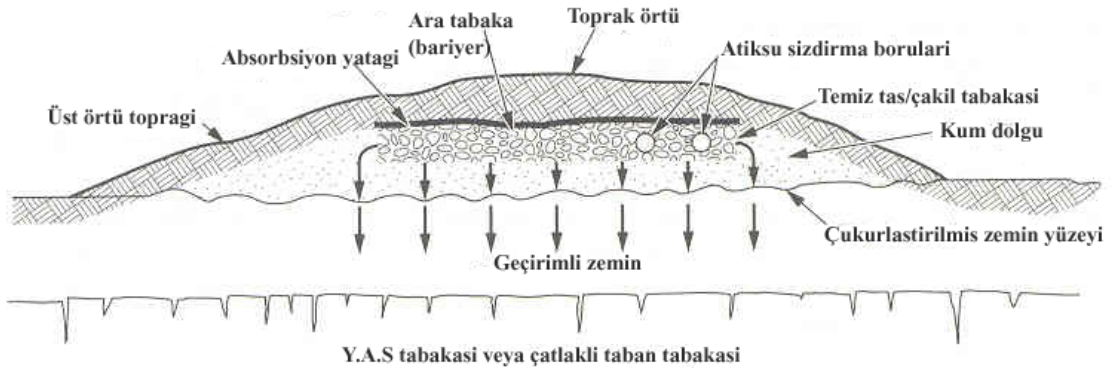
Toprak yığınından sızdırma sistemi, temelde kesikli kum filtresi olup, farkı zemin yüzeyi üzerinde yapay olarak oluşturulan bir yığın içerisinde yüzeye yerleştirilmesidir (Şekil 5.27). Zemin yüzeyi üzerinde yapay bir hendek veya yatak inşa edilir. Fosseptik çıkışı, çakıl tabaka üzerine yerleştirilen basınçlı dağıtım sistemi vasıtasıyla bu yatağa pompalanır. Engelleyici bariyer çakıl tabaka üzerine yerleştirilir ve üzeri toprak ile örtülür.

Bu sistem özellikle;

- Toprağın geçirgen ve yer altı su tabakasının sığ
- Alt katmanların çok gözenekli
- Eğimin %12'den az
- Toprağın çok yavaş geçirimli olduğu

yerlerde uygulanır.

Toprak geçirimliliğinin az olduğu yerlerde bu sistemin kullanılması durumunda biriken drenaj suları uzaklaştırılmaz.



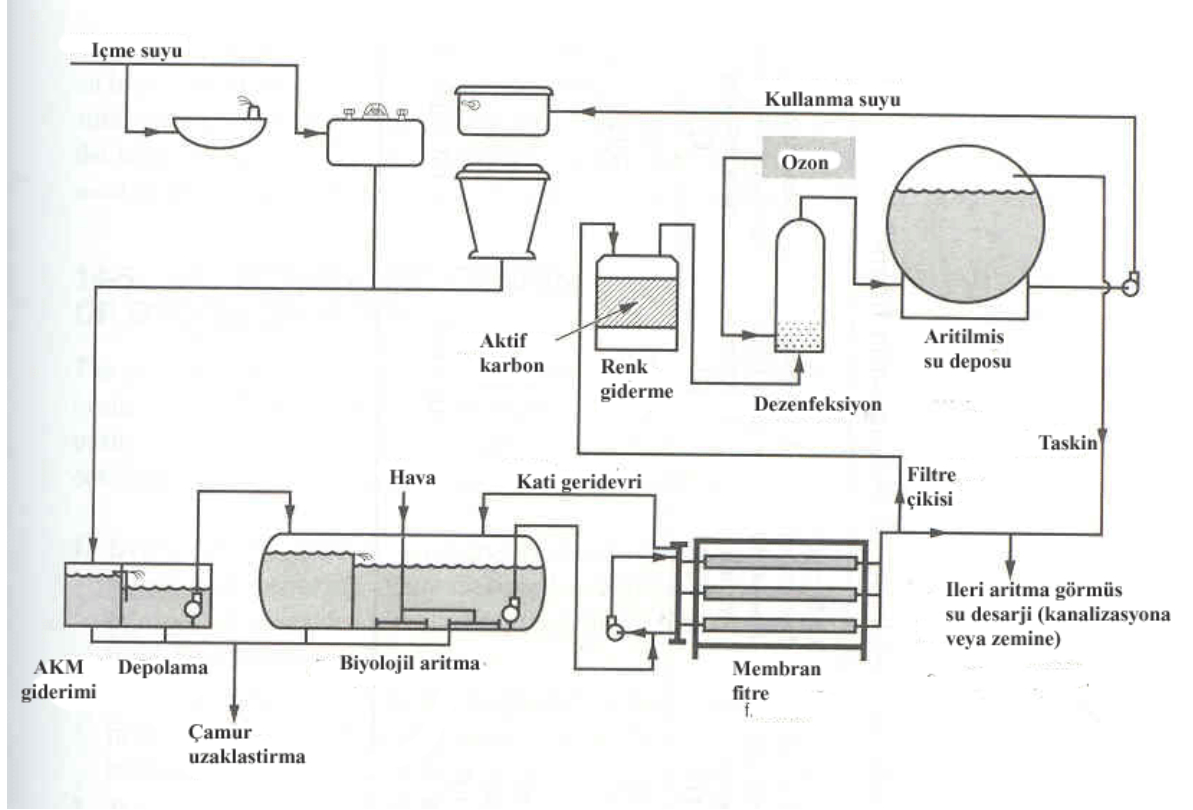
Şekil 5.27 Fosseptik çıkışı için kullanılan, toprağı geçirgen ve yüksek yer altı suyu veya sığ kırık kaya tabakası için kullanılan tipik yığından sızdırma sistemi (2)

### Geri Kullanımlı Arıtma Sistemleri

Evsel atıksuların arıtmak için geliştirilmiş bu sistemde arıtılan su, tuvalet sifon suyu olarak tekrar kullanılmaktadır. Her bir ünite üç arıtma adımından oluşmaktadır;

- Atıksudaki katılar toplanır ve aerobik arıtmaya tabi tutulur ,
- Biyolojik arıtma çıkışı, bakiye organik, mikroorganizma ve askıda katıların arıtıldığı kendi kendini temizleyen ultrafiltrasyon sisteminden geçirilir ve
- Son adımda çıkış suyu aktif karbon kolonundan geçirilir (Şekil 5.28).

Ultrafiltrasyon adımıyla arıtılan maddeler ileri arıtma için birinci proses adımına geri verilebilir. Karbon filtresi çıkışı, sifon suyu olarak kullanılmadan önce ozon ile dezenfekte edilir. Bu sistemler oldukça pahalı olmalarına karşılık, kanalizasyonun olmadığı ofis binalarında ve evsel amaçlı su temininin zor olduğu durumlarda kullanılır.



Şekil 5.28 Geri kullanımlı tam arıtma sisteminin tipik akış diyagramı (1)

## Gri Su Sistemi

Gri su, tuvaletler hariç, su ile çalışan alet ve ekipmanlar ile ev halkından kaynaklanan sıvı ve katıları içeren atıksu olarak tanımlanır. Siyah (black water) su ise çoğunlukla tuvaletten kaynaklanan su ve katıları içeren atıksu olarak tanımlanır. Arıtma sisteminde yükü azaltmak amacıyla gri su siyah sudan ayrılırarak basit bir ön arıtmadan sonra çeşitli maksatlar için kullanılabilir.

## UYGULAMALAR

### Problem 5.1:

**Aktif çamur proses analizi.** Debisi 20 000 m<sup>3</sup>/gün olan ve ortalama 250 mg/l BOI içeren bir kasabanın evsel atıksuları bir aktif çamur sisteminde arıtılacaktır. Çıkış BOI<sub>5</sub> konsantrasyonu 20mg/l'den az olmak üzere, sıcaklığı 20°C kabul ederek aşağıdaki şartları sağlayacak tesisi boyutlandırınız.

1. Girişteki UKM ihmal edilebilir.
2. Geri dönüş çamur konsantrasyonu = 10 000mg/l AKM = 8 000 mg/l UKM
3. Tam karışımdaki (uçucu askıda kati) UKM= 3,500mg/ = 0,80 x toplam AKM

4. Çamur yaşı  $\theta_c = 10$  gün
5. Reaktörün hidrolik rejimi = tam karışım
6. Kinetik katsayılar,  $Y = 0,65$ ,  $k_d = 0,06 \text{ gün}^{-1}$ , sıcaklık  $20^\circ\text{C}$
7. Kabuller: çıkış suyu  $20 \text{ mg/l}$  biyokütle içerecek, bunun %80'i uçucu, %65'i biyolojik parçalanabilen yapıdadır. Nihai BOI den  $\text{BOI}_5$ 'e dönüşüm faktörü  $0,68$  alınacak,  $K = 0,1 \text{ gün}^{-1}$ .
8. Atıksu mikroorganizma büyümesi için gereken miktarda azot, fosfor ve diğer eser besin maddelerini içermektedir.

### Çözüm:

1. Çıkışta çözünmüş BOI değeri = çözünmüş BOI + çıkıştaki biyokütlenin BOI değeri

$$20 = S + 20 (0,65) (1,42) (0,68)$$

$$S = 7,4 \text{ mg/l çözünmüş BOI}_5$$

Biyolojik arıtma verimi;

$$E_s = \frac{250 - 7,4}{250} = 0,97$$

Sistemin toplam verimi;

$$E_s = \frac{250 - 20}{250} = 0,92$$

2. Reaktör (havalndırma havuzu) hacminin hesaplanması:

$$XV = \frac{YQ\theta_c(S_0 - S)}{1 + k_d\theta_c}$$

$$V \times 3.500 = \frac{0,65 \times 20.000 \times 10 \times (250 - 7,4)}{1 + 0,06 \times 10}$$

$$V = 5632 \text{ m}^3$$

3. Mikroorganizma çoğalma hızının hesaplanması:

- a) Gözlemlenen biyokütle dönüşüm verimi;

$$Y_{göz} = \frac{Y}{(1 + k_d\theta_c)} = \frac{0,65}{1 + 0,06 \times 10}$$

- b) Biyokütle çoğalma hızı;

$$Y_g \times \theta_c(S_0 - S) = 0,406 \times 20.000 \times (250 - 7,4) \times 10^{-3} = 1970 \text{ kgUKM/gün}$$

4. Reaktörden biyokütle uzaklaştırma hızının hesaplanması.

$Q_e = Q$  ve çıkış UKM =  $20 \times 0,80 = 16$  mg/l alınarak:

a) Havalandırma havuzundan atılan (çekilen) çamur debisi:

$$\theta_c = \frac{V_r X}{Q_w X + Q_e X_e}$$

$$10 = \frac{5632 \times 3.500}{Q_w \times 3.500 + 20.000 \times 20 \times 0,8}$$

$$Q_w \approx 472 \text{ m}^3/\text{gün}$$

b) Geri dönüş hattından uzaklaştırma (çekilme) hızının hesaplanması

$$\theta_c = \frac{V_r X}{Q'_w X + Q_e X_e}$$

$$10 = \frac{5.632 \times 3.500}{Q'_w \times 8.000 + 20.000 \times 16}$$

$$Q'_w \approx 472 \text{ m}^3/\text{gün}$$

5. Girişteki askıda katı konsantrasyonunu ihmal ederek reaktörde kütle dengesi hesabından geri devir oranının hesaplanması:

$$X = 3.500 \text{ mg/l}$$

$$X_r = 8.000 \text{ mg/l}$$

$$X(Q + Q_r) = X_r(Q_r)$$

$$Q_r/Q = R = 0,78$$

6. Reaktör havuzundaki hidrolik bekleme süresinin hesaplanması,

$$\theta = V/Q = 5.632/20.000 = 0,28 \text{ gün} = 6,7 \text{ saat}$$

7. Substrat kullanım hızı, F/M oranı ve hacimsel yük kontrolü:

a) özgül substrat kullanım (BOI giderim) hızı:

$$U = \frac{S_0 - S}{\theta X}$$

$$U = \frac{(250 - 7,4)}{0,28 \times 3.500} = 0,25$$

b) F/M oranının hesaplanması,

$$\frac{F}{M} = \frac{S_0}{\theta X}$$

$$U = \frac{250}{0,28 \times 3.500} = 0,255$$

c) Hacimsel yükün ( $L_V$ ) hesaplanması:

$$L_V = \frac{Q \times S_0 \times 10^{-3}}{V} \cong 0,90 \text{ kg BOI}_5/\text{m}^3 \text{ gün}$$

### Problem 5.2:

Plastik dolgulu bir damlatmalı filtrenin çapı ve derinliği sırası ile 10m ve 6,1 olup aşağıda özellikleri verilen ön çökeltme uygulanmış evsel atıksular arıtılmaktadır. (a) Hacimsel BOI ve TKN yüklerini bulunuz. (b) Özgül TKN yükü ne kadardır. (c)  $T=20^\circ\text{C}$ 'deki takribi BOI giderim verimi ne kadardır. (d) Bu şartlarda nitrifikasyon olması beklenirmi.

Ön çökeltme çıkışı özellikler:

Parametre	Değeri
Q ( $\text{m}^3/\text{gün}$ )	4.000
BOI (mg/L)	120
AKM (mg/L)	80
TKN (mg/L)	25

### Çözüm:

a) Hacimsel yüklerin hesabı:

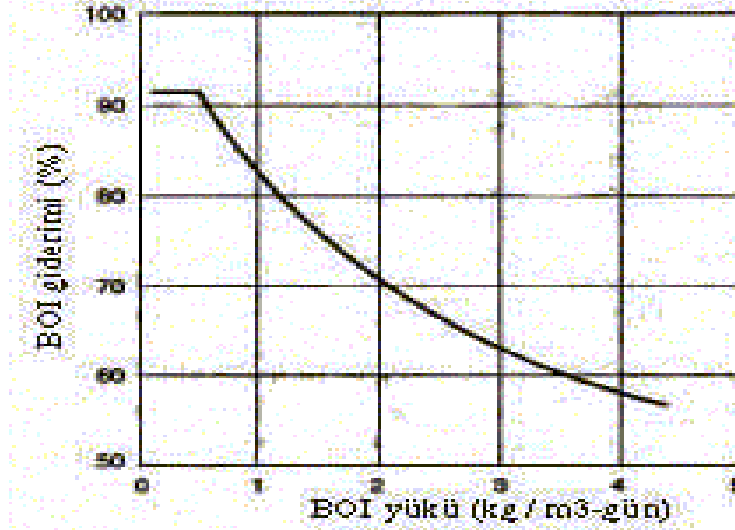
$$V = \frac{\pi \times 10^2}{4} \times 6,1 = 479 \text{ m}^3$$

$$L_{BOI} = \frac{Q \times S_0}{V} = \frac{4.000 \times 0,120}{479} = 1 \text{ kg BOI}/\text{m}^3 \text{ gün}$$

$$L_{TKN} = \frac{4.000 \times 0,025}{479} = 0,21 \text{ kg TKN}/\text{m}^3 \text{ gün}$$

b)  $L_{BOI}=1 \text{ kg BOI}/\text{m}^3 \text{ gün}$ ,  $T=20^\circ\text{C}$  de plastik dolgulu D.F'lerin beklenen verimi aşağıdaki grafikten  $\sim\%82$  olarak bulunur.





- c)  $L_{BOI}=1 \text{ kg/m}^3\text{gün} > 0,3$  olduğunda nitrifikasyon gerçekleşemez.  
d) Plastik dolgu malzemesi özgül yüzeyi  $S_a=90 \text{ m}^2/\text{m}^3$  alınarak özgül TKN yükü,

$$\frac{4.000 \times 0,025}{90 \times 479} = 2,3 \text{ g TKN/m}^2\text{-g}$$

bulunur.

### Problem 5.3:

Bir kasabanın ön çökeltme uygulanmış ( $BOI = 200 \text{ mg/L}$ ) evsel atıksuları iki kademeli taş dolgulu damlatmalı filtre sisteminde arıtılacaktır. Filtre çıkış suyundaki  $BOI \leq 25 \text{ mg/L}$  olacaktır. Her iki filtrenin derinliği 1,83 m ve geri devir oranı 2 olduğuna göre gerekli filtre çaplarını bulunuz. (Debi =  $7.570 \text{ m}^3/\text{gün}$ ,  $T=20^\circ\text{C}$ , filtre BOI giderme verimleri  $E_1=E_2$  alınacaktır)

### Çözüm:

- 1 Gerekli filtre verimlerinin hesabı:

$$E_{top} = \frac{200 - 25}{200} = 0,875$$

$$E_1 + (1 - E_1) \times E_2 = 0,875$$

$$E_1 = E_2 \cong 0,65$$

- 2 Geri devir faktörü:

NRC formülüne göre,

$$F = \frac{1 + R}{(1 + R/10)^2} = \frac{1 + 2}{(1 + 2/10)^2} = 2,08$$

- 3 İlk filtrenin BOI yükü:

$$W_1 = Q \times S_0 = 7.570 \times 0,200 = 1.514 \text{ kg BOI/gün}$$

4 İlk filtrenin hacmi:

$$E_1 = \frac{100}{1 + 0,4432 \times \sqrt{\frac{W_1}{V \times F}}} \quad (\text{NRC formülü})$$

$$0,65 = \frac{100}{1 + 0,4432 \times \sqrt{\frac{1.514}{V \times 2,08}}} \rightarrow V = 476 \text{ m}^3$$

$$V = A \times H \rightarrow A = \frac{476}{1,83} = 260 \text{ m}^2 \quad (D \approx 18,0 \text{ m})$$

5 İkinci kademe filtrenin BOI yükü:

$$W_2 = (1 - E_1) \times W_1 = (1 - 0,65) \times 1.514 = 530 \text{ kg BOI/gün}$$

6 İkinci filtrenin hacmi, benzer yolla:

$$V = 1.345 \text{ m}^3, \quad A = 735 \text{ m}^2, \quad D = 31 \text{ m}$$

İnşaat kolaylığı bakımından, hidrolik yük sınırı aşılmamak üzere bu tür filtrelerin eşit çaplı yapımı yoluna gidilir. Ancak bu durumda BOI giderim verimleri eşit olmayacaktır.

## KAYNAKLAR

- (1) Metcalf & Eddy, 1991. Wastewater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse, McGraw-Hill international Editions, Third Edition.
- (2) Recep İleri, Çevre Biyoteknolojisi, Değişim yayınları, 2000.
- (3) Soli J. Arceivala, 2002. Çevre Kirliliği Kontrolünde Atıksu Arıtımı, Tata McGraw – Hill Publishing company limited.
- (4) Yılmaz Muslu, 1998. Çevre Mühendisliğinin Esasları, 1. Baskı, İstanbul İTÜ.
- (5) Syed R.Qasim, 1999. Wastewater Treatment Plants, Planning, Design, and Operation, Technomic publication.
- (6) Derin Orhon, N. Artan, 1994. Modelling of Activated Sludge Systems, Technomic Publishing Company
- (7) L. Grady, G.T. Daigger and H.C. Lim, 1999. Biological Wastewater Treatment, Marcel Dekker Inc.