

BÖLÜM 5

BİYOTEKNOLOJİ VE ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

1. Fermentasyon Tekniği ile Biyolojik Arıtma Tekniğinin Karşılaştırılması

Fermentasyon tekniğinde (**Biyoteknoloji ve Teknik Mikrobiyoloji**), mikroorganizmaları çok sayıda çeşitli ürünler elde etmek için kullanılmaktadır.

Örneğin :

- **Mayalar** : Alkol, şarap, bira, ekmek mayası, yem mayası, gliserin.
- **Mantarlar** : Peynir, antibiyotik, limonasidi, enzim .
- **Bakteriler** : Süt asidi (turşu, silaj), peynir, sirke asidi, hidrokarbon ve enzim üretimlerinde araç olarak kullanılmaktadır.

1.1. Biyoteknoloji

Biyoteknoloji yeni bir bilim dalı değildir. Ekmek, peynir, şarap, sirke ve bira gibi insanların ihtiyaçlarının karşılanmasında yüzyıllardır kullanılan bir teknik daldır. Binlerce yıldır küçük organizmalar meyve, süt, tahıl v.d. gibi ürünleri yeni ürünlere dönüştürmektedirler. Mikroorganizmalar sayesinde yararlı ürünler üretilebileceği gibi, aynı zamanda da zararlı kimyasallar ve ürünler zararsızlaştırılmaktadır.

İlk defa Christian Friedrich Erxleben bir doğa bilimci olarak, sistematik olarak yaptığı deneylerle maya hücrelerinin şekeri oksijensiz ortamda alkole parçaladığını göstermiş ve ispatlamıştır.

Asıl çalışmalar ise Louis Pasteur ile başlamıştır. **Biracının biri, Louis Pasteur**'den biranın zaman zaman asidik olmasının nedenlerini araştırmasını istemiştir. Çünkü bu olay hep kimyasal bir olay gibi yorumlanmıştır. Pasteur mikroskop altında maya ve bakteri hücrelerini görmüştür. Mayaların alkole, bakterilerin de aside fermente ettiğini açıklamıştır. 1876 yılında da bu konuları aydınlatan detaylı bir kitap yazmıştır. İlk defa da bu olaylar için **fermantasyon** sözünü kullanmıştır.

1896 yılında da **Eduard Buchner**, mayalanmanın gerçekleşmesi için sadece canlı maya hücrelerinin bulunmasının yeterli olmadığını fark etmiştir. Hücreden gelen bir ekstraktın da olması gerekmiştir. Bu ekstrakta "**Zymase**"

adi verdi. Bugün bu "Enzim "olarak adlandırılmaktadır. Enzimler günümüzde Modern Biyoteknoloji' nin en önemli yardımcı araçlarıdır.

Birinci Dünya Savaşı sırasında Almanya'nın dış dünya ile ilişkisi kesildiğinden, dinamit üretiminde kullanılan gliserin açığı baş göstermiştir. Bunun üzerine alkol elde ederken az miktarda yan ürün olarak oluşan gliserinin miktarını artırmak gerekmiştir. Bu da alkolleşme işlemi sırasında sodyumbisülfid ilavesi ile gerçekleşmiştir. Savaş hammaddesi ihtiyacı nedeni ile bir ayda bin ton gliserin üreten fermantasyon sanayi inşaa edilmiştir. Aynı yıllarda da İngiltere'de silah sanayi için aseton açığı vardı. **Chaim Weizmann** (daha sonraları Şsrail'e ilk Devlet Başkanı olmuştur) ***Bakterium Clostridium acetobutylicum Glucose*** 'yi oksijensiz ortamda kullanarak glikozdan "**Aseton ve Butanol**" üretmiştir.

1928 yılında da Sir **Alexander Fleming, Penicilin'i** keşfederek ilk defa silah biyoteknolojisi yerine tıbbi biyoteknolojisinin temel taşıni atmıştır (***Staphylococcus aureus***). Böylece ilk " Antibiotica" bulunmuştur. Günümüzde dünyada her yıl yaklaşık olarak 10 000 ton antibiyotik madde üretilmektedir. Parasal değeri ise yaklaşık 5 milyar DM'dir.

Deterjan enzimleri ise daha sonraları üretilmeye başlanmıştır. Aminoasitleri üretilmiştir. Daha bir çok gıda sanayiinde kullanılan yararlı maddeler üretilmiştir.

1970'li yıllarda da tek hücrelilerin genetik yapılarını bilinçli olarak değiştirme çalışmalarına ve araştırmalarına gidilmiştir. Mikroorganizmaların doğal yetenekleri ile sınırlı kalınmamaya ve hedefli olarak genetik manipülasyonlarla yeni yeni mikroorganizma üretimine başlanmıştır. Bunlardan bir çoğu da doğada ayrılmayan veya zor ayrılan maddelerin ayrışmasını sağlayacak, maddeye özgün mikroorganizma olmasına çalışılmıştır. İlk defa Amerikalı araştırmacı **James Watson ve İngiliz Francis Crick 1953 yılında DNA'nın yapısını keşfetmişlerdir. 1960'li yılların başında da genetik Code'lar izah edilmiş, açıklanmıştır.**

Bu gelişmelerin ışığında " **Biyoteknoloji**" insanlığın hizmetine aşağıdaki konularda sunulmuştur :

- Yeni aşı maddeleri üretilmesi (AİDS'e karşı)
- Verimi fazla, dayanıklı bitki türlerinin üretilmesi
- Kozmetik maddeleri

- Ucuz kimyasal maddelerin üretilmesi
- Tıbbi diagnostik için monoklonal antikorların üretilmesi
- Yan etkisi olmayan ilaçların üretilmesi
- Mikropsuz aşıların üretilmesi
- Çevre dostu, sağlık dostu yiyecek katkı maddelerinin üretilmesi
- Katı ve sıvı atıkların zararsızlaştırılması, arıtılması
- Tehlikeli toksik atıkların zehirsizleştirilmesi
- v.b.

Biyoteknolojinin yararlanmak için başvuracağı mikroorganizma *hazinesi çok zengindir ve kolay kolay biteceğe benzememektedir. Mikroorganizmalar çok hızlı gelişen canlılardır, bu ise biyoteknoloji için çok büyük bir avantajdır. 20 dakika gibi kısa bir zamanda popülasyon ikiye katlanabilmektedir.* Mikroorganizmalar sayesinde sanayi amaçlı üretilen maddeleri aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür:

- **Alkoloidler**
- **Aminoasitler**
- **Antibiyotikler**
- **Antimetabolitler**
- **Antitumor ilaçları**
- **Coenzimler**
- **Emülsiyon maddeleri**
- **Enzimler**
- **Enzim inhibitörleri**
- **Herbisidler**
- **İnsektisidler**
- **Lipidler**
- **Çözütiler**
- **Nükleik asitler**
- **Nükleosidler, Nükleotidler**
- **Organik asitler**
- **Farmakolojik maddeler**
- **Pigmentler**
- **Bitki geliştirme hormonları**
- **Polisakkaridler**
- **Proteinler**
- **Steroidler**
- **Vitaminler**
- **Şekerler**

- v.d.

Bugün **Hücre Biyolojisi** ve **Gen Tekniği** sayesinde biyoteknolojideki üretim ve mikroorganizmalardan yararlanma ufku çok genişlemiştir.

Enzim Tekniğinin gelişmesi sayesinde, *mikrobiyolojik olarak hücre dışı enzimlerle parçalanması zor maddelerin, parçalana-bilir hale dönüştürülmesi gerçekleşmektedir.*

Biyoteknolojik prosesler de sürekli olarak "**Biosensor**" lar sayesinde kontrol edilebilir ve ölçülebilir.

Biotechnikum'lar sayesinde de biyoteknolojinin uygulamasına yönelik teknikler geliştirilebilmekte ve uygulamaya hazır hale getirilmektedir. Bu ara da ;

- **Santrifüjleme**
- **Filtrasyon**
- **Homojenleştirme**
- **Kati madde ekstraksiyonu**
- **Sivi-sivi ekstraksiyonu**
- **Hücre süspansiyonundan doğrudan yapılan ekstraksiyon**
- **Ultrafiltrasyon**
- **Derin dondurmali kurutma**
- **Konsantre etme**
- **Aritma ... v.b.**

*Atıksu ve/veya kati atık aritılması ve ayrıştırılmasında mikroorganizmaya sunulan besin maddesi tek ve homojen değildir; çok çeşitlidir. Oluşacak **biyosönöz** de zengindir.* Halbuki yukarda sayılan ürünler üretilirken tek tür organizmadan yararlanılmaktadır. Bu organizmalar için kullanılan besin maddeleri kesin olarak bilinmektedir. Ve de bu besin maddeleri tanımlanabilmektedir : **Melas, Malt, Şlempe, Odun şekeri**, v.d. gibi. Bu besin maddeleri optimal sabit kültür koşullarında (**pH, sıcaklık, hava debisi ve verilışı, v.d**) spesifik organizmalar aracılığı ile ekonomik değeri olan optimal ürünler elde edilebilmektedir.

Halbuki buna karşılık atıksu aritma tekniğinde hedef ve uygulama aşağıdaki gibi farklılık göstermektedir :

- Atıksuyun içeriğini elimine etmek ve çıkış suyunun kalitesini, giriş suyuna göre çok daha iyileştirmek, en önemli amaçlardan biridir, arıtma tesisleri de buna göre boyutlandırılmalıdır.

- Atıksuyun miktarı ve bileşimi çok salınım göstermektedir. Etkilenmesi de hiç kolay değildir.

- Oluşan çamur ekonomik olarak değerlendirilemez.

- Atıksuda steril kültür üretmenin zorluğundan dolayı belirli organizma türlerini bu iş için hazırlayıp, kullanmak zordur.

Fazla kirli atık suların arıtılmasında modern, çağdaş biyoteknolojinin yeni yöntemlerinden yararlanılmaktadır. Örneğin nişasta fabrikası atıksularının arıtılmasında (İsveç'te, Almanya'da v.d. gibi ülkelerde) kullanılan *Symba-Prosesi*:

. Nişasta atıksuyu, giriş BOI_5 -değeri 10 - 20 g/l ve kuru kati madde miktarı %3 iken, iki kademeli arıtmadan geçirildikten sonra; % 45 protein içeren yem mayasına dönüştürülebilmektedir. Nihai BOI_5 -değeri 2 - 3 g/l olmaktadır. BOI_5 hacimsel yükü de 35 kg BOI_5/m^3 . gün olarak tatbik edilmektedir.

Organik kirlilik içeren bir atıksuyun oluşumunu ve özelliklerini aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür :

Atıksu oluşum kaynakları (Süt Fabrikası) :

1. Soğutma ve kondenz suyu
2. Sıhhi tesisatlardan gelen su
3. İşletme, proses suyu

* Suyun işletme içinde sirkülasyonu;

- **Ön işlem** : Sepertör çamuru

- **Ürün kayıpları** : Damlama kayıpları, Yanlış yükleme (Şarjlar), Kalıntılar, Karışım fazları

- **Ekonomik olarak kullanılamayan kalıntılar** : Kirli kondenzatlar, Kirli soğutma suları, Molke (süt) hazırlamadan gelen az kirli su

- **Yıkama suları** : Yağ yıkama suyu, Kazein yıkama suyu, Peynir yıkama suyu,

- **Yıkama çözeltileri** : Asitik çözeltiler, Alkali çözeltiler , Dezenfeksiyon çözeltileri,
- **Çalkalama ve yıkama suları** : Ön yıkama suyu, Son yıkama suyu, (Şletim hatlarının , boruların ve yüzey alanların)
- **Su hazırlama** : Çamur suyu, Geri yıkama suyu.

Atıksuyun içindeki kazein gibi maddelerin kokuya neden olacağı düşünülerek bu atıksular " *Havalandırmalı, karıştırmalı Dengeleme Havuzuna* " alınmalı ve daha sonra arıtmaya gönderilmelidir. Şşlem görmemiş süt fabrikası atıksuyu özellikleri aşağıdaki gibidir :(Tablo 1)

Tablo 1 : İşlem görmemiş süt fabrikası atıksuyu özellikleri

Parametreler	Boyutu	Ortalama değeri	Salınım sahası
1000 kg süt için su miktarı	m ³ /1000 kg	1 - 2	0,5 - 4,0
BOİ ₅ - Yüğü	kg BOİ ₅ /1000 kg	0,8 - 2,5	0,3 - 5,0
BOİ ₅ - Konsantrasyonu	mg BOİ ₅ /lt	500 - 2000	1 - 50 000
BOİ ₅ /KOİ oranı	-----	0,69	0,35 - 0,90
Çökebilir madde	ml/l	yaklaşık 1-2	0 - 250
pH - Değeri	---	9 - 10,5	1 - 13

Toplam Yüğü : 186,4 kg BOİ₅ / Gün

Fazla yüksek BOİ₅ - hacimsel yükleri hızlı madde dönüşümlerine neden olmaktadır. **Mikroorganizmaların gelişmelerini logaritmik fazda tutabilmek için havuzdaki besin maddesi konsantrasyonunu (mg BOİ₅/l) sınır değerin altına düşürmemek gerekir.** Bu nedenle de son çökeltim havuzunda çamuru çöktürdükten sonra, çıkan çikiş suyundaki BOİ₅değeri hala çok yüksektir.

Türbülans ve sudaki O₂ - konsantrasyonu ile aktif çamur mikroorganizmasının O₂-ihtiyacı karşılanır. Türbülans "Su-Yumak " sınır yüzeyine madde taşımasını hızlandırır ve güvenceye alır. O₂- konsantrasyonu

(1 - 2 mgO₂ / l) yumağın içine diffuzyonu sağlar. Türbülans çamur çökmesini de engellemiş olur (**Şekil 1**).

1.2. Aritma Teknolojisinde Biyolojik Kademe

Biyolojik aritma kademesinin hedefi ve amacı atıksu içindeki , mikroorganizmalar tarafından ayrıştırılabilir kirliliklerin giderilmesidir. **Özellikle ve ağırlıklı olarak da BOŞ₅ 'in eliminasyonudur.** Bir yandan substratlar parçalanırken, diğer yandan da yeni **biyokütleler (biyomas)** oluşmaktadır. Sürekli olarak ayrıştırılması gereken substratların parçalanması için ihtiyaç duyulan mikroorganizma biyomasından daha fazla biyomas oluşması halinde, bu fazla biyomasın sistemden de mutlaka uzaklaştırılması gerekmektedir :

$$X=X_g + X_f$$

Oluşan biyomas (X) = Biyolojik kademeye geri çevrilen biyomas (X_g) + sistemden uzaklaştırılan fazla biyomas (X_f) .

Atıksu aritma tesislerinin üniteleri birbirlerinden yapısal olarak kolay ayrılabilir. **Mekanik kademe, kimyasal kademe, biyolojik kademe gibi.** Ancak temelde boyutlandırmada kullanılan mühendislik parametreleri değişmemektedir. Örneğin bir çökeltim havuzu dairesel de olsa, dikdörtgen de olsa; çökeltim havuzundaki bekleme süresi aynıdır.

Şekil 2' de bir atıksu arıtma tesisi akım şeması verilmiştir. Her aritma kademesindeki BOŞ₅ giderimi görülmektedir. **Şekil 3'** de mekanik kademeki aritma üniteleri gösterilmiştir.

Atıksuların biyolojik arıtılmasında kullanılan aritma yöntemleri ve bunların birbirleri ile karşılaştırılması da **Tablo 2'**de verilmiştir.

Biyolojik kademe de önemli olan biyomas besin maddesi ve oksijen miktarı arasında birbirleri ile ilişki kurabilmesi bakımından yeterince sürenin bulunmasıdır.

- Önemli ekolojik ve hidrolik parametreler ve bunların değişimi :
- Bakterilere öldürücü etki yapan sıcaklıklar: + 90 °C ve - 20°C dir

- pH sahasi ise : 5.5-8.5
- Tam karışimli sistemlerde bekleme süresi : 5 saat
- Piston akışlı olanlarda bekleme süresi ise : 8 saat

5°C ile 20°C arasındaki sıcaklık salınımlarına karşı aktif çamur sistemleri duyarsızdır.

- Ancak nitrat oluşması için optimal sıcaklık : 20 °C dir
- Optimal pH da : 7.2-7.4
- Aktif çamur havuzlarında bekleme süresi : 1.5-2.0 saat da olabilir.

*** Yumak oluşturuıcı bakteriler ise;**

- *Bacterium aerogenes*
- *Bacterium cercus*
- *Bacterium proteus*
- *Enterobacter aerogenes*
- *Escherichia intermedium*
- *Nocardia actinomorpha*
- *Zoogloea ramigera*

Aktif çamur tesisinin ilk başta tam kapasite çalışabilmesi için 8-10 gün gibi bir süreye gereksinimi vardır. Başlangıçta az ve seyreltik atıksu uzun havalandırma süresince işlem görmelidir. Daha sonraları fazla miktarda yoğun su kısa süreli havalandırma ile işlem görebilir.

Aktif çamur yumağı belirli bir büyüklüğe eriştikten sonra, iç kısmına besin maddesinin girmesi olanaksızdır. Dolayısıyla yumak tekrar dağılır türbülanslı akımlar parçalar ve yeniden yumak çekirdekleri oluşturur.

Aktif çamur yumağının oksijen ihtiyacı çok fazladır. Yaklaşık 34 m³/kg BOİ₅ diyebiliriz.

2. Atıksu Biyolojik Aritma Yöntemleri

2.1. Aktif Çamur Yöntemi

"Aktif Çamur Yöntemi" ilk defa 1913 yılında Manchester'den Andern ve Locket tarafından gerçekleştirilmiştir. **Havalandırılmış atıksu da oluşan çamurun atıksuyun aritilmasında ana görevi üstlendiklerini Andern ve Locket saptanmıştır.** Bu nedenle de "Aktif Çamur" kavramını kullanmaya başlanmışlardır.

Mikroorganizma kütesinin zenginleşmesi son çökeltim havuzundan çamur geri göndermekle olmaktadır. Fazla çamurda sistemden almak suretiyle çamur konsantrasyonunu sabit tutmak mümkündür .

Sisteme verilen organik maddeler ($BO\dot{S}_5$) genelde bakteriler tarafından parçalanmaktadır. Küresel bakterilerin çapı 1-2 μ , çubuksu bakterilerin boyu 5-2 cm arasında değişmektedir. Aktif çamuru biyosönözünü oluşturan organizmalar **Şekil 4'** de görülmektedir. **Şekil 5'** de de bir çamur yumağının yapısı verilmiştir.

Çamur Yaşı parametresi önemlidir. **Çamur yaşı 3 - 7 gün olması halinde evsel atıksuda iyi bir aritma gerçekleşmektedir.**

Çamur yaşı(t_s) havuzdaki günlük ortalama çamur miktarının ($X_{ort.}$) günlük alınan fazla çamur miktarına ($X_{faz.}$) oranidir :

$$t_s = X_{ort.} / X_{Faz.}$$

$t_s \leq 1$ gün ise; aşırı yükleme var demektir.

Yumak oluşturuıcı organizmaların gelişme hızı ($i_{yum.}$):

$$i_{yum.} = 1/t_s = X_{Faz.}/X_{ort.}$$

Biyomas :

$$dx/dt = (i_{m.s.x} / K_s + s) + D.a.b.x - D. x (1+a)$$

Org. gelişmesi Geri dönüş Aktif çamur havuz çıkışı

Substrat :

$$ds/dt = D \cdot s_0 - (1+a) \cdot D \cdot s - \mu \cdot x/Y$$

Giriş Aktif çamur havuz Gelişme
çikişi

x = Aktif çamur havuzundaki biyomas , μ = Gelişme hızı (1/Gün)
 μ_{max} . = Maksimum gelişme hızı; K_s = Doygunluk sabiti (mg/l)

a = Geri dönüş debisinin Q_{ger} . giriş debisine Q_{gir} . oranidir.
 b = Son çökeltim havuzunda aktif çamurun yığılması nedeni ile oluşan biyomasın konsantrasyon faktörü,
 D = Su kütlesinin yenilenme hızı (1/Gün)
 s = Aktif çamur havuzundaki besin maddesi konsantrasyonu,
 s_0 = Atıksudaki besin maddesi konsantrasyonu
 Y = Yararlanma oranı, randıman = Oluşan biyomas / Kullanılan substrat

$dx/dt = 0$ olması halinde;

$$\mu_m \cdot s \cdot x / K_s + s = D \cdot x (1+a-ba)$$

$$\mu_m \cdot s / K_s + s = D \cdot (1+a-ba)$$

$$(1 + a) D \cdot x = (a + w) D \cdot x_r$$

x_r = Geri dönüş çamurunun biyomas konsantrasyonu
 w = Fazla çamur olarak uzaklaştırılan biyomasın oranı için bir faktör

$$x_r = b \cdot x$$

Hacimsel yük :

$V_{yük} = s_0 / t_{ort.} = 0,1 \text{ ile } 35 \text{ kg BOŞ}_5 / m^3 \cdot \text{Gün}$ arasında değişmektedir.
 $t_{ort.}$ = Atıksuyun teorik olarak bekleme süresi

Çamur yükü :

$B_x = s_0/t_{ort.} \cdot x_{ort.} \text{ kg BOİ}_5/\text{kg KM.Gün}$; KM= Kuru madde
- Aktif çamur yöntemlerindeki varyasyonlara göre de çamur yükü değişmektedir :

Tablo 2 : Aktif çamur yöntemlerine göre çamur yükü

Yöntemin adi	Çamur yükü (kg BOİ ₅ /kgKM.Gün)
Aerob çamur stabilizasyonu	0,05 - 0,1
Tam aritma (N oksidasyonu dahil)	0,2
Tam aritma (N oksidasyonu yok)	0,5
Kismi aritma	> 1,2

Aritma verimi :

$$n = s_0 - s / s_0 ; \text{ veya yüzde olarak : } n = (s_0 - s / s_0) . 100 \%$$

Spesifik aritma verimi :

$$r = ds/dt . 1/x \quad (\text{ kg BOİ}_5 / \text{ kg KM . Gün })$$

Aktif çamur yumağının yapısı :

*** Aktif çamur aşağıdaki bileşenlerden oluşmaktadır :**

- 1.) Enzimler, DNA, RNA mikroorganizma kuru maddesinin yaklaşık % 20'sini ;
- 2.) Biyomasın diğer kısımları da % 80'nini oluşturmaktadır;
- 3.) Mikroorganizmayı taşıyıcı maddeler :
 - 3.1.) Humin maddeleri, polisakkaridler gibi organik taşıyıcı maddeler,
 - 3.2.) Kalsiyummonokarbonat, demiroksit hidrat, alüminyumhidroksit, v.s. ve ince toprak taneciklerinin diğer mineral maddeleri (kil mineralleri, v.d.).

Aktif çamur biyomasının büyük kısmı bakterilerden oluşmaktadır. Bunu protozoalar, özellikle de siliatlar izler. Aktif çamur, damlatmalı filtre çimleri gibi türce zengin değildir.

Organizmaların spesifik solunum hızları büyük miktarda substrat ayrıştırmaları hakkında bilgi vermektedir (**Tablo 3**).

Tablo 3: Sıcaklığa bağlı olarak organizmalardaki solunum hızı

Parametreler (Organizmalar)	sıcaklık (°C)	Solunum hızı (µ lt O ₂ /mg KM.h)
Azotobacter	28	2000
Pseudomonas	30	1200
Hamur mayası	28	120
Böbrek, karaciğer	37	10-20
Kök, yaprak	20	0.5-4

Çok sayıda bakteriler için yenilenme süresi (Sıcaklık, besin maddesi vb. gibi koşulların optimum halinde) 20 dakikadır.

Protozoalar (Siliat amüb v.s.) suyun içindeki serbest yüzer bakterileri ve ince süspanse (askıda kati) maddeleri filtre ederler. Böylece suyun bulanıklığı azalabilir, fakat kirlilik yükü çok az azaltılmaktadır. Protozoalar indikatördürler. Çamur yükü O₂ temini ve toksik maddeler hakkında fikir verirler.

* Aktif çamur yumağını oluşturan organizmalar: (Özellikle çamur oluşturmucular)

- *Bacterium aerogenes*
- *Bacterium cercus*
- *Bacterium proteus*
- *Enterobacter aerogenes*
- *Escherichia intermedium*
- *Nocardia actinomorpha*
- *Zoogloea ramigera*

Normal yüklü, az yüklü ve çok yüklü aktif çamur havuzlarındaki biyosonöz çizelge de verilmiştir. Çok yüklü çamurdaki organizmaları bakteri yumağı *Zoogloea Flagaelet'lar* ve *amip* baskın durumda görülürken diğer türler silik olarak vardır. Normal yüklü çamurlarda bakteri yumakları, az sayıda *flagalet*, *amip*, çok miktar da çeşitli silikat türleri (*Vorticelle*, *Aspidisca*, *Opercularia*) görülmektedir.

Şişkin çamur ile yüzer çamur arasındaki en önemli fark şişkin çamurun üstünde birkaç cm kalınlığında berrak su bulunmasıdır. **Şişkin çamuru**

oluşturan organizmaları ve nedenleri de şöyle sıralayabiliriz:

- . *Organik madde yükünün çok fazla olması*
- . *Aktif çamur havuzunun az havalandırılması*
- . *Şok şeklinde sanayi atıksuyu yükünün gelmesi*
- . *Bakterilerin çok yaşlanması (Şekil 6)*
- . *Bakterilerin spor oluşturmaya eğilim göstermesi*
- . *ŞSV'nin 150 mg/g'nin üstüne çıkması*

Çamur hacim indeksi (*İSV*) 400 ml/g KM değerine kadar çıkabilir.

Şişkin çamurdaki biyosonözü incelediğimiz de çamura kıyasla çok miktarda ipliksi *Sphaerotilus natans*'in buna neden olduğu sanılırdı, yeni araştırmaların sonucunda ise bir çok diğer türlerin, özellikle de *Microthrix parvicella* ve *Typ 021 N*nin sebep olduğu saptanmıştır. **Yaklaşık 20 tür ipliksi bakteri vardır.** Bu konuda daha bir çok şey söylenebileceği gibi araştırmacılar için tamamlanmış olay değildir ve çok bilinmeyenlerin açıklanması için de araştırmalara devam etmek gerekir.

2.1.1. Şişkin Çamur Sorunu

Aktif havuzunda oluşan çamur her zaman kolay çökmez. Bunun iki nedeni vardır; ya yumaklaşma olmaz ya da yumaklar parçalanır, dağılır. **Yumak dağılmasının ve çökmemesinin nedenleri ise;**

- *Organik madde ile fazla yükleme*
- *Aktif çamur havuzunun az havalandırılması*
- *Endüstri atık suyunun şok şeklinde gelişi*
- *Bakterilerin yaşlanması*
- *Bakterilerin spor oluşturmaya meyilli olmaları*

Aşağıdaki atıksu türleri de şişkin çamur oluşmasına elverişlidirler :

- Büyük oranda karbonhidrat ve organik asitleri içeren atıksular (süt fabrikaları atıksuyu, meyve fabrikası, konserve fabrikası, nişasta fabrikası ve kağıt fabrikaları atıksuları ,
- H_2S içeren atıksular (boyahane atıksuları, tabakhane ve petrokimya sanayiinden gelen atıksular ;
- BOI_5 'e oranla N- ve P- bileşenlerinin az bulunması;
- Asitli atıksu ($pH < 6$) mantarların iyi gelişmesini sağlar (ipliksi yapı

oluşur).

*** Şişkin çamur oluşması nasıl engellenebilir?**

- Zararlı su girişini ve girişimini ayırmak ve ayrı işleme tabi tutmak,
- Fosseptik bağlantılarını iptal etmek ,
- N- ve P- bileşenlerini ilave etmek,
- O₂- verilmesini ayarlamak,
- Yükü artırmak ve önartmayı düşürerek çamuru ağırlaştırmak,
- Geri dönüş çamurunu klorlamak,
- Anaerob fazi devreye sokmak (kisa süre için, havalandırmayı kesmek, geri dönüş çamurunu yavaş yollamak)
- Tam karışimli havuz yerine kaskadli havuzu devreye sokmak
- v.d.

Normal çamurdaki biyosönözün ipliksi bakterilerin lehine değişmesi ise belirgin bir durumdur. Eskiden *Sphaerotilus Natans*'in çökmeyi engellediği zannedilirdi. **Bu gün biliniyorki çökmeye engeleyenler *Microthrix parvicella*, ve *Typ 021 N* .**

Ayrıca *Haliscomenobaacter* ve *Sphaerotilus ipliksi* bakterileri ve türleri de şişkin çamura neden olmaktadır.

Yaklaşık olarak yirmiye yakın ipliksi bakteri vardır ve bunlar aktif çamurun dışına çıkarak, çamurun hacmini büyütürler. Aktif çamur yumakları çözünmüş maddeleri, bakteri iplikleri kadar kolay olamazlar özellikle şekeri buna karşılık buradaki kolloid ve süspanse maddeleride (nişasta vs) çok daha kolay adsorbe edebilirler. Ekzoenzimleri ile de yüksek moleküllü bileşikler parçalarlar. Hidroliz ürünleri ise bakteri iplikleri tarafından çok hızlı adsorbe edilir ve iplikler hızlı gelişir ve biyosönöz değişir. "**Şişkin çamur**" oluşur. Şeker ve Nişasta Fabrikalarının atıksuları arıtılırken "**Şişkin çamur**" olgusuna sık rastlanılmasının nedeni budur. Düşük oksijen miktarları ipliksi organizmalar tarafından çok iyi bir şekilde kullanılır. **Havuzdaki oksijen miktarı az olursa aktif çamur yumağı içinde anaerobik koşullar oluşur, yumak dağılır.** Zayıf havalandırmalarda *Sphaerotilus natans* hızlı gelişir. Şyi havalandırmalarda ise *Arthrobacter*. "**Şişkin çamur**" oluşumu tam anlamıyla bugüne kadar açıklanamamıştır. Biyologlar, Biyomühendisler, Biyokimyacılar ve Çevre Mühendisleri için uçsuz bucaksız araştırma konusu olarak durmaktadır.

Havuza gelen fazla besin maddesi yükü dissimilasyonu artırmakta oksijen

konsantrasyonu azalmaktadır. Şpliksiler ise baskin duruma geçmektedir. Diğer bir teze göre de substrat yükü rezerve maddelerinin depolanmasına neden olmakta, ipliklerinin ağırlığı azalmaktadır ve çamur yüzmektedir.

Aktif çamur havuzuna aşırı derecede çürük kirli su gelirse, havuzda anaerob prosesler görülmekte ve CO₂, H₂, H₂S, CH₄ gibi gazlar oluşmaktadır. Denitrifikasyon sırasında da N₂ açığa çıkmakta bu da çamuru yüzdürmektedir (yüzen çamur). Sphaerotilus'un yani sıra ortamda kükürt varsa (H₂S) *Beggiatoa* da gelişmektedir.

Basilluslar, mavi algler ve işin mantarları şişkin çamur oluşturuıcı etki yapmaktadırlar. Düşük pH'larda *Geotrichum Candidum* veya *Leptomitius Spec.*'in mantar hifleri görülmektedir. Siliatlar belirgin bir şekilde azalmaktadır.

Opercularia coarctata bilhassa şişkin çamur oluşmasını engelleyici görev görmektedir. *Aspidisca costata* ve *Vorticella convallaria* biyosönözden yok olurlar. Buna karşılık *Flagellat Bodo putrinus* ve *Amoeba limax*, *Spiril*'ler baskin görünürler. Tür sayısı çok azalır. *Glaucoma scintillans* ve *Tetrahymena pyriformis* çok miktarda görünür.

Aslında şişkin çamur iyi arıtma yeteneğine sahip olmasına rağmen arıtma tesislerinde arzu edilmez. Çünkü alıcı ortama ilave organik madde yükü getirir.

Şişkin çamura karşı savaşım O₂ , hava, H₂O₂, klor, kloroksit, bakirsulfat, demir3-sülfat veya kireç ilavesi ile mümkündür.

2.1.2. Oksijen Miktarının Biyolojik Arıtma Prosesine Etkisi

Aktif çamur havuzundaki O₂ konsantrasyonu C_a bakterilerinin yaşayabilmesi için 2,1 mg O₂/lt 'nin altında olmamalıdır. Bu değer (C) bakterileri yumağı (aktif çamur) için de geçerlidir. 0.5 mm çapındaki bir küre için konsantrasyon gradyanti (C_a-C_i) 2 dir. Ortalama yumak çapı 0.5 mm alınacak olunursa, suda O₂ konsantrasyonu:

$$\begin{aligned} C_2 &= 2 + C_i \\ &= 2 + 0,1 = 2,1 \text{ mg O}_2/\text{l olmalıdır.} \end{aligned}$$

Uygulamada 1-2 mg O₂/lt konsantrasyon yeterlidir. Bunun üstündeki değerler

hiç bir zaman aritma veriminin artmasını sağlayamazlar

Yumakların oksijen ihtiyaçlarının yeterince karşılanması gerekir.

Verilen kinetik enerji ile de bütün aktif çamur, aktif çamur havuzunda askıda tutulmalıdır. Havalandırma için gereksinim duyulan oksijen miktarı :

$$O_2\text{-Miktarı} = l \cdot G + m \cdot x \quad (\text{kg/m}^3 \cdot \text{Gün})$$

l = Hücre maddesi sentezi için gereksinim duyulan spesifik oksijen miktarı, (kg/kg.Gün , Kuru madde üzerinden)

G = Ayırıştırma verimi (kg/m³.Gün , BOİ₅ ayrışması)

x = Aktif çamurun kuru madde miktarı (kg/m³)

m = Endojen solunum için spesifik oksijen ihtiyacı (kg/kg . Gün)

Aktif çamur yumağının oksijenlenebilmesi aşağıdaki faktörlere bağlıdır :

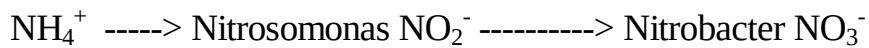
- Atıksu aktif çamur karışımındaki oksijen miktarına ve yumağın yüzeyindeki oksijen içeriğine,
- Yumağın büyüklüğüne,
- Prandtl (her aktif çamur yumağını çevreleyen) sinir tabakasının kalınlığına...

Örneğin O₂- konsantrasyonu 1-2 mg/l arasında olması halinde ; yumak çapı yaklaşık 0,4 mm olan yumaklar, oksijen bakımından ihtiyaçlarını tamamen karşılarlar.

Normal olarak aktif çamur havuzlarında oksijen miktarı 2 mg/l olmalıdır. Çamur yükü düşük olan, uzun havalandırmalı havuzlarda 0,5 mg/l değeri dahi yeterlidir.

2.1.3. Nitrifikasyon ve Denitrifikasyon

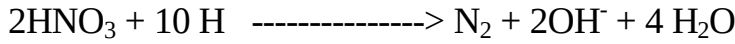
Ham atıksuda 30-50 mg N/l protein, üre, amonyum şeklinde indirgenmiş olarak bulunmaktadır. Bu azot bileşikleri nitrifikasyon bakterileri tarafından denetlenebilir:



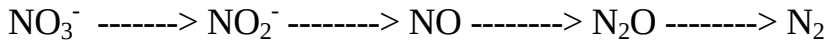
Oksitlenme sırasında 4,6 g O₂/g N için kullanılmaktadır.

Nitrosomonas ve **Nitrobacter** popülasyonu aktif çamurda yeterli miktarda bulunması halinde nitrifikasyon gerçekleşir. Nitrifikasyon bakterilerinin yenilenme (**Jenerasyon**) süresi, sıcaklığa bağlıdır ve oldukça uzundur (**10-12 saat**).

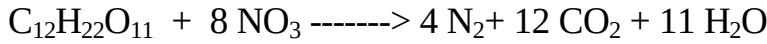
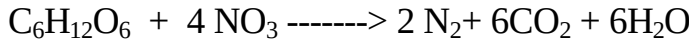
Denitrifikasyonda O₂ ihtiyacı havadan değil nitrat oksijeninden sağlanmaktadır.



Denitrifikasyon bakterilerinin hidrojen vericilerine de ihtiyacı vardır. Organik ayrışabilir maddelerin parçalanmasından H elde edilmektedir. Bu olayın gerçekleşmesi için ise nitrat oksijenine ihtiyaç vardır :



Pseudomonas'lar nitrat azotunu solunumları için kullanmaktadırlar :



Serbest azot ya atmosfere gitmekte, ya da bakteriye bağlanmaktadır.

Aktif çamur havuzunda yoğun metabolik faaliyetlerden dolayı biyomas oldukça artmaktadır. Bakteriler beslenme zincirinin diğer bireylerine besin maddesi olmaktadır. Yumak içinde veya etrafında ne kadar çok başka tür sayısı görürsek tesis o kadar iyi çalışıyor demektir. **İyi bir çamur yumağı için silikatlar indikatör canlıdır: Vorticella, Opercularia, Carchesium, Aspidisca vs. (Bak ilgili Şekil 7)**

Genelde çamurlu 1 ml su da 11 000 *Vorticella Spec* ve 2500 *Aspidisca Costata* sayılmıştır. Bu durum da *Spirillen*, *Amoeben*, ve *Flagellat*'lar azalmaktadır. Su kalitesini gösteren indikatör organizmalar özellikle **Kalite II ve III ün organizmaları** burada görülür.

Amoeb'lerin, *Flagellat*'ların *tekli spiral* ve *çubuksu bakterilerin* baskın görünmemesi ise sistemin iyi çalışmadığını gösterir Su Kalitesi ise III ve IV

gibidir; yani aynı indikatör organizmalar görülmektedir.

2.2. Damlatmalı Filtre Yöntemi

1893/94 yılında İngiltere'de Crobett tarafından toprak filtrasyonundan esinlenerek geliştirilmiştir.

Burada mikroorganizmalar **sesil** (= **sessil**= **yerleşik**) olarak büyük yüzeyli biyotoplar üzerinde oluşturulmaktadır. *Dolgu maddesi üzerinde (volkal tüfleri, taş, şekillendirilmiş plastik parçalar) damlatmalı filtre çimleri (Biyofilm) oluşmaktadır.*

Organizmaların gelişmesi besin maddesi sunuşuna göre değişir. BOI_5 hacimsel yükü kullanılan dolgu maddesi ve bunun aktif yüzeyine bağlı olarak değişir. Plastiklerde çözer dolgu malzemesi; aktif yüzey fazla olduğu için 9 $BOI_5/m^3.G$ değeri daha yüksek olabilmektedir. **Oluşan biyomasın koparılması ve taşınması yüksek organizmalar tarafından çimin parçalanmasına (kurtlar, solucanlar damlatmalı filtre sineği) bağlı olduğu gibi; suyun yıkama etkisine de bağlıdır.** BOI_5 yükü fazla olursa, buna karşılık çim yıkanması iyi ve yeterli olmazsa, o zaman damlatmalı filtrelerde tıkanma olur. Yıkanan çim (Biyofilm) son çökeltim (çökeltim) havuzunda toplanması çökmesi gerekmektedir. **Şekil 8'de damlatmalı filtrenin biyolojik çimi farklı yüküllük durumlarında görülmektedir.**

*** Çimler sabit bir dengede bulunmalıdır :**

$$\frac{dx}{dt} = \mu \cdot x - k \cdot x$$

Artış Azalış

$$\frac{dx}{dt} = 0 \text{ olursa ; o zaman } \mu \cdot x = k \cdot x$$

$$k \text{ değeri : } k = f(Q \cdot E + R + G)$$

Q = Hidrolik yük ($m^3/m^2.Gün$)

E = Biyolojik çimin çeşitli nedenlerden dolayı gevşemesinin ifadesi

R = Endojen solunumun ifadesi

G = Hayvanlar tarafından yenilmenin ifadesi.

Verilen atıksu miktarına ve içindeki BOI_5 - değerine bağlı olarak bir damlatmalı filtre az, orta veya çok yüklenilmiş olabilir. Az yüklenilmesi

halinde biyosönözde tür zenginliği görülür ve aritma verimi çok yüksek olur. Eğer çok yüklenil-mişse o zaman tür fakirleşmesi olur. Buna karşılık da az sayıdaki türlerin hızlı üremesi söz konusudur. Bu türler baskın duruma (dominant) geçerken, diğer türler de ortamda çekinik (ressesif) olarak bulunurlar. Bu durum aslında sistemdeki dengeyi sağlamak ve çeşit organizmanın değişen koşullara göre devreye girmesini sağlamak açısından çok olumlu ve önemlidir. **Biyosönözde çok miktarda bakteri, mantar ve maya görülür; ancak oluşan çimlerin , biyofilmlerin içinde protozoalar ve diğer çok hücreli hayvanlar da vardır. Işıklı bölgelerde algler de görülür, fakat hiç bir büyük anlami ve önemi yoktur.**

Aşırı hidrolik yükü olan tesislerde film tabakası ince iken ve hayvansal organizmalar barınamazken; az veya orta yüklü olması halinde biyosönöz film tabakası kalınlaştığı ve diğer organizmalara da yaşam ortamı oluşturduğu için hemen bir zenginleşme gözlenir.

Ancak film kalınlaştığı için dıştan içeri doğru substrat ve oksijen temini zorlaşır. İç kısımda anaerobikleşme başlar. Burada anaerobik proseslerin artması, gazların oluşmasına , filmin tutunma gücünün azalmasına ve kopmasına neden olur. Biyolojik çimler koptuğu ve çıkış suyuyla taşındığı için, yeniden biyoçimin oluşması gerekmektedir.

Biyoçimlerin aktif tabakalarının çok önemli işlevleri vardır. Bu aktif bölgedeki bakteriler salgıladıkları hücre dışı enzimlerle biyofilm sivisinde buluna yüksek moleküllü bileşikler hidrolize ederler, sivilaştırırlar, küçük küçük bileşiklere parçalarlar. **Bu hücre dışında parçalanmış organik bileşikler de hücre zarlarından içeri girerek, metabolizma mekanizmasına tabi kalırlar.** Biyolojik çim bakteri yiyenler tarafından otlanılmaktadır ve temizlenmektedir. Beslenme zinciri mekanizması burada gayet iyi işlemektedir (Şekil 9).

Nematodlar ve sinekler de burada yaşam ortamı bulmaktadırlar. Damlatmalı filtre sinekleri için uygun bir yapay ekosistem oluşmaktadır. Damlatmalı filtre sineklerinin (Psychoda); evrimi gelişmesi aşağıdaki gibidir:

- | | |
|------------------|-----------------|
| - Sinekler | 2.5 mm 5 günlük |
| - Yumurtaları | 20-100 adet |
| - Larvaları | 5-10 mm |
| - Pulpa (=Puppe) | 4 mm |

Gelişme siklusu (Çevrimi):

20 - 20 °C 14 gün

15 - 17 °C 25 gün

Damlatmalı filtre sineği biyofilm gevşetir ve böylece tıkanma tehlikesini azaltır. Damlatmalı filtre koku sorunu oluştursa o zaman damlatmalı filtrenin iç duvarları sulamalı veya tesisin üzeri örtülmelidir. **Kesinlikle klorlama veya biyosit tatbik edilmemeli biyosonöz bozulmamalıdır.**

Tablo 1.4 : Aritma Yöntemleri ve Aritma Verimleri

Atıksu içeriği	Aritma yöntemleri
Çökeltilebilir maddeler organik ve anorganik	Çökeltim havuzu, flotasyon (Mekanik)
O ₂ tüketen maddeler çökmeyen organik maddeler (askıda kati madde)	Aktif çamur havuzu, damlatmalı filtre, biyodisk (Biyolojik)
Besin maddeleri (N,P) Çözünmüş	Kimyasal, çökeltme Biyolojik, denitrifikasyon
Zor ayrışabilir ve dayanıklı maddeler anorganik tuzlar, sulfid çöz. fizik.	Buharlaştırma, Yakma, lagünlerde Depolama (seyreltme); Fizikokimyasal yöntemler
Yöntemlerin aritma verimleri:	
- Mekanik aritma	% 30 BOI ₅ azalması
- Kimyasal aritma	% 50 BOI ₅ azalması
- Biyolojik aritma	% 90 BOI ₅ azalması
Su türü	Hücre sayısı
İçme suyu	100 /ml
Atıksu	1-100 milyon/ml
Normal tahliye kanalı	1000 - 10.000 /ml
Tahliye kanalının atıksuyun boşaltıldığı kısım	1 milyon/ml

Biyolojik arıtma yöntemleri için ön koşul:

- Büyük mikroorganizma yoğunluğu
- Yeterli O₂ temini
- İyi bir türbulans besin maddesi alışverişi ve metabolizma artıklarının iyi karışımı tüketilmesi
- Biyotop'un optimal olması (**pH, sıcaklık, toksik maddeler**)

Silindirik açık veya kapalı yerde olan yapı içinde inert madde bulundurmakta ve sürekli olarak atıksu bu ortama yağdırılmaktadır. Bu sırada dolgu maddesinin üst yüzeyinde biyolojik aktif tabaka oluşmaktadır.

Damlatmalı filtre biyosönüzü bakteriler, mayalar ve diğer mantarlardan oluşmaktadır. Oluşan biyolojik çimde çok sayıda protozoalar ve hayvanlar yaşamaktadır. Başlangıçta fazla substrat sunuşu ile çok az sayıda organizma büyüklüğü çoğalma hızı ile ürer.

Biyolojik çim sayesinde oldukça çok madde dönüştürülmesi gerçekleşir. **Bakterilerin çoğu yüksek moleküllü kati maddelerin parçalanmasını sağlayan enzimler salgırlar. Sivilaşan veya çözünen maddeler hücre içine alınırlar ve kullanılırlar.**

Protozoalar burada bakteriler kadar önemli rol oynamazlar, ancak bakteri kütlelerini azaltırlar ve kirli suyun süspanse maddelerini elimine ederler. **Siliatlar kati maddeleri alabilir besin vakuollerinde sindirilebilirler.** Bu sayede verimleri bakterilerinkinden daha da fazladır.

Az yüklü damlatmalı filtre zengin bir biyosönöze sahiptir:

Bitkisel ve hayvansal mikroorganizmalar.

Makroorganizmalardan ise *Collembola*, *Springerwönze*, *Milben*, *Fadenwürmer*, *Zuckmücken*, Damlatmalı Filtre sinekleri; *Psychoda* bazen de çıkış suyunda küçük balıklar görülür.

Organizmaların dikey dağılımında damlatmalı filtre yüzeyinde maviyeşil renk görünür. Bu rengi *Cyanophyceae* (*Oscillatorie*) ve *Flagellatlar* (*Euglenae*) meydana getirir. Siyah yaprak gibi dökülen tabaka ise ancak tesis uzun süre işletme dışı kalması halinde görülür.

Filtre malzemesinin üst kısmında polisaprob organizmalar egemen vaziyette yani III. ve IV kalitedeki suyu gösteren organizmalar Protozoalardan ise bakteri yiyenler baskın durumda biyolojik çim Zooglaea ramigera ve Sphaerotilus natans'dan Zoogloea'lari ortamdan siler .(bak Tablo)

Bakteri yiyen Flagellat'lar ise; *Trepomonas agilis*, *Boda putrinus*, *Silliat'lar*; *Colpidium colpoda*, *Tetrahymena pyriformis*, *Glameoma scintillans* ve *Vorticella microstoma* (bak Tablo).

Filtrenin en alt kısmında ise II ve III kalite suyu indike eden organizmalar bulunur : *Arcella vulgaris*, *Rotatoria rotatoria*,vs.(bak Tablo). Burada minerilazasyon olayı oldukça ileri aşamada olduğu için *algler*, *Navicula cryptocephala* (*Kieselalglari*), *Scenedesmus* (*Yeşil algler*) görülür.

Biyolojik çim , bakteri yiyenler tarafından yenir bitirilir, otlanır. **Sıcaklık 15 °C' nin altına düşerse, o zaman avcinin avı yeme fonksiyonu azalır. Bu da biyolojik çimin hızlı büyümesine neden olur. Çamurlaşma sorunu ortaya çıkar.** ilkbaharda artan sıcaklıkla birlikte hayvanların aktivitesi, hareketliliği ve besin maddesi alışı da artar, çim yüksekliği hızlı bir şekilde azalır.

Böylece ta atıksudan bakteri yiyenlere kadar bir enerji akışının gerçekleştiği görülür. Bu olay son aritmayı oldukça çok yük altından kurtarır.

Atıksuların toksik içerikleri doğrudan doğruya hayvansal organizmalara etki ederler, biyolojik çim o kadar etkilenmez. Biyo-lojik çim oluşması çim yenmesinden fazla ise avcı durumunda olan canlılar fazla besin maddesi sunuşuna memnun olurlar yeterince beslenirler. **Avcı hayvanların hareketliliği sayesinde difüzyon olayları (Oksijen ve besin maddesi alınmaları) ve aynı yekilde oluşan metabolizma ürünlerinin taşınması ve atılması yönlendirilmiş ivmelendirilmiş olur.** Böylece biyolojik çim metabolizma dolayısıyla atıksudaki organik madde parçalanması yoğun olarak yürür. Bu atıksu arıtma yönteminde makroorganizmalar da görülür: Nematodlar, İnsekt larvaları gibi. Bunlar bitki ve detritus yiyerek yaşarlar. Damlatmalı filtre sineği (*Psychoda*) de görülür.

2.3. Biyodisk Yöntemleri

Biyodiskin etki mekanizması aktif çamur havuzu ile damlatmalı filtreninkinin

arasındadır. Hartmann'a göre, normal evsel suyun arıtılmasındaki verim % 90 ise **atıksu: hava: biyomas oranı = 1:10:0.3 şeklindedir.**

Şekil 10'de dilimli biyodisklerin şematik açıklaması verilmiştir. Değişik biyodisk tipleri **Şekil 11**'de görülmektedir.

Silindir üzerinde dilimlerin görevi mikroorganizmalara fazla yerleşme yüzeyini sağlamaktır. **Biyodiks** sistemi işletilmeye başladıktan bir kaç gün sonra, bu dilimlerin üzerinde çim oluşur. (2.5 mm). Metabolizma için gerekli olan O₂ yüzeye çıkınca alınıp, batışta ise kolloid maddeler adsorbe; çözünmüş maddeler ise absorbe edilir. Ayırışım ürünü gazlar uzaklaşır enerji depolanır ve yeni hücreler oluşur. **Çim büyüyünce tutunduğu yerden, biyodiskin teknesine düşer.** Burada biyolojik aktivitesini sürdürür. Aktif çamur yumağı gibi davranır. Her dilimdeki biyosönös farklı farklıdır.

Dilim biçiminin kalınlığı çıkış suyuna doğru azalır. Tür zenginliği ise artar. **Çim de baskın olan organizmalar Zoogloa'lar, ipliksi bakteriler.** Bunların üzerinde de çok sayıda *Protozoalar* ve *Nematodlar* yaşarlar; *Flagella'lar* *Siliatlar*, *Platynema*, *Aspidisca*, *Oxytricha*, *Uronoma* ve *Opercularia*. Dilimlerin kenarlarında da *Ulothrix* 'ler görülür. Dilimlerin ortalarında ise *Diatomea'lar*, *Nitschia*, *Navicula* vs. vardır.

Biyofilm kinetiğini ilk defa 1898 yılında Roberts Damlatmalı filtre ve Biyodisk (Dönerdisk) de incelemiş ve açıklamıştır.

$$dN/dX = -r_f \quad (\text{mg/cm}^3 \cdot \text{s})$$

$$\text{Yük} \rightarrow N = -D (dC_f/dx) \quad (\text{mg/cm}^2 \cdot \text{s})$$

$$C_f = \text{Biyofilm konsantrasyonu} \quad (\quad)$$

$$D = \text{Difüzyon katsayısı} \quad (\text{cm}^2/\text{s})$$

$$d^2.C_f/de^2 = r_f \cdot L^2/DC^*$$

$$c_f = C_f/C^*$$

$$e = X/L$$

$$r_f = k^1_f \cdot C^f$$

$$d^2.C_f/de^2 = (k^1_f \cdot L^2/D) c_f = a^2 \cdot c_f$$

Küçük arıtma tesisleri için biyodisk yöntemi çok uygundur. Süt fabrikası, bira fabrikası için çok başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Sürekli fazla oksijen kullanımına rağmen çim her zaman yeterli miktarda oksijen içermektedir. Gereksinmeye göre bir kaç dilimli silindir devreye sokulabilir. Birinci silindir de *Polisabrob organizmalar* yaşamaktadır, diğerlerinde ise yavaş yavaş *Mezosabroblar* görülmektedir.

Aynı yüklenmelere karşı biyodiskler duyarsızdır. Bir kaç hafta ilave su gelmese bile biyolojik çim canlılığından hiç bir şey kaybetmez. Tekrar işletmeye alınıncaya kadar verimini yeniden gösterir. Küçük yerleşim yerleri, tatil yerleri, kamping yerleri için çok uygundur.

2.3.1. İki Kademeli Tesislerdeki Organizmalar

Zor ayrışabilir maddeler içeren sanayii atıksularını daha iyi arıtmak için iki kademeli arıtma tesislerini devreye sokmak çok yerinde olmaktadır. Birinci kademede de kısa bekleme havuzlarında kolay ayrışabilir maddeler, atıklar ayrıştırılmakta ve ikinci kademeye aktarılmaktadır. İkinci kademe de ise adepte olmuş organizmalarla (spesiyal, uzman organizma) zor ayrışa-bilir maddeleri uzun bekleme süresi ile gidermek mümkündür:

- Aktif çamur + Aktif çamur
- Aktif çamur + Damlatmalı filtre
- Damlatmalı filtre + Aktif çamur
- v.d. kombinasyonlar yapılabilir.

2.4. Oksidasyon Hendeği

Küçük yerleşim yerleri için anılan arıtma tesisleri ekonomik olmadığından oluşan çamurların stabilize edildiği bir oksidasyon hendeği düşünülebilir.

Basit bir oksidasyon hendeğinin uzunluğu 100 m. derinliği 1 m ve şevli yanal alanlarla birlikte 0.65 m'lik bir tabanı vardır. Sürekli atıksu ile yüklenmektedir. Oksijen ise fırçalı silindirlerle verilmektedir. Silindirin dönmesi ile su hareketle geçirilir. Bu nedenle çamur yumakları askıda kalır. 2-3 günlük bekleme süreleri yeterlidir. **% 50 organik madde** içeren çamur kurutma için alınır ve depolanır. Koku sorunu oluşmaz.

Karbonlu bileşikler *Pseudomonad* grupları, *Escherichia coli*, *Zoogloea*, *Acetobacter* ve diğer birçok bakteriler tarafından CO₂ ve H₂O ayrıştırılmaktadır. **Enerji ise mikroorganizmaların işletme metabolizmalarında kullanılmaktadır.** Silindirler durdurulduğu zaman oksijen verilmesi ve suyun hareketi durmaktadır. Çamur çöker. Bu nedenle substrat ve oksijen açığı hemen görülür. Aerob organizmalar kendi rezerv maddelerini tüketirler, protoplazmalarını kullanırlar. Nitrifikantlar da geçici olarak anabolizmalarını durdururlar. Çamur hacmi oldukça azalır. *Denitrifikasyon* başlar nitrit ve nitrat N₂'e dönüşmektedir.

Sakinleştirme molalarında oksidasyon hendeğine atıksu gelmeye devam eder. Su seviyesi silindiri çalıştırabilecek düzeye gelinceye kadar devam eder. Girişini karşı tarafında da su alıcı ortama savaklanır. **Bu arıtılmış su denitrifikasyon nedeni ile azotça fakirdir. Ötrofikasyona da neden olmaz. Şekil 12'da** oksidasyon hendeği görülmektedir.

2.5. Atıksu Lagünleri

Başlangıçta lagünler sadece atıksu gidermek için kullanılmıştır. Atıksuları arıtmak için değil. Aaerob veya anaerob ayrıştırma olayları tamamen tesadüfe bırakılmıştır. Yaklaşık 70 yıl önce ilk bilimsel ve sistemli arıtma yapılmıştır. Çeşitli lagünler kullanım amaçlarına göre geliştirilmiştir. Gelişmiş ve geliştirilmiş lagünlü arıtma şekillerinde ön çökeltimli mekanik arıtma mutlaka devreye sokulmalıdır. Çünkü atıksuyun mineral içeriği biyolojik ayrışmayı engellemektedir.

Atık su lagünü kavramı "**Çürütme lagünleri, oksidasyon lagünleri ve balık lagünleri**" sözcüklerinin tümünü kapsamaktadır. *Thienemanna* göre atıksu lagünleri yapay, ototrof yumuşatıcı olarak görülmektedir. Buradaki biyolojik olaylar doğal durgun sulardaki aynısıdır. Yapay havalandırılması halinde ise aktif çamur havuzundakine benzemektedir. Oksijen verilmesinde kuvvetli turbulans akım meydana gelmekte havalandırıcılardan uzak olan yerde ise su hareketi yavaşlamaktadır. Organizmalarla oksijen ve substrat arasındaki iyi temas kurulmaktadır. Bu nedenle bazı kısımlarda metabolizmayı bozan durumlar görülmektedir.

Schua'ya göre arıtmanın büyük bir kısmını yerleşik organizmalar yapmaktadır. Lagünün tabanına yerleşen bakteri ve mantarlar arası sürekli yavaş akan, teğet geçen organik maddeleri soğurmakta ve

ayrıştırmaktadırlar. Uzun temas hattı boyunca giriş yakınlarında bir çok madde çökelmektedir. Artan mesafe ile birlikte miktar azalmaktadır. Üst çamur tabakasının florasi ayrıştırmaya devam eder ve O₂ açığını kapatırken, alt kısımlardan anaerobik olaylar başlar ve artarak sürmektedir.

Buradaki ayrışmanın NH₄, NO₂ ve NO₃ ve PO₄ gibi ürünleri algler ve diğer bitkiler için çok önemli besin maddeleridir. Bu nedenle de kütleli *yeşil alg* (*Chlorella*) oluşmaktadır. *Flagalet'lerin*, *Cryptomonas*, *Chroomonas* ve *Chamydemonas*, gelişmesi görülür. **Lagün dibinde Elodea, üstünde ise Lemnacea yiğilmaktadır.**

Elodea'ların toplanması ve bitki kütesinin uzaklaştırılması besin maddelerinin tekrar besin maddesi dolanımına girmesini engellemektedir.

Kış aylarında sıcaklık + 2 °C'ye düştüğü zaman; yazın % 85-95 olan BOŞ₅ verimi kışın % 75-85'e kadar düşmektedir. Bazı alg türleri buzul tabakaların altında bile fotosentez faaliyetlerini sürdürebilmektedir. Aynı durumda madde parçalama yeteneğine sahip olan bakteriler de vardır.

Lagün suyunun arıtılması filtrasyon yapan canlıların aktivitesine bağlıdır. Aerob canlılar yerleşir. Bunların arasında *küçük yengeçler* (*Daphnie*), *Rotatorie* (*Brachionus*) ve *küçük Flagallet'lar*, *Siliat'lar* vardır.

Aritma bakteriler, mantarlar, algler, diğer bitkiler ve filtrasyon canlılarına kadar bir zincirleme olay şeklinde sürer. Yani *Destrüentler-Üreticiler-Tüketiciler* zinciri.

Alg lagünleri yararlı lagünlerden sayılmaktadır. Burada algler ve onda bağlanan proteinler üretilmektedir. Alg kültürleri çok sathi ve çamursuz lagünlerde elde edilmektedir. Tayland'da yapılan deneylerde **yılda 56 ton/ha protein** elde edilmiştir. Bu ise buğdaydan elde edilen proteinin 370 katıdır. **Proteince zengin soya fasulyelerinden bile ancak bunun % 1'i elde edilebilmektedir.** Yararlı lagünlerden biri de, gayet tabii ki **atıksu balık lagünleridir.** Biyolojisi ise bütün atıksu arıtma tesislerinde olduğu gibidir. Biyosönöz bakterilerden yüksek bitkilere kadar amipten balığa kadar zengindir. Bu tür lagünler biyolojik açıdan doğal sulara benzemektedir. Sürekli atıksu beslemesi ile koloni sayısı yüksek tutulur, kalır. Bakteriler de organik maddeleri parçalar ve çok oksijen tüketmektedir. Dere pire yengesi gibi çok oksijen gereksinimi olan canlılar bu ortamda yaşayamazlar. Atıksu balık lagünlerinde çamur çöktürme ile de arıtma tamamlanmış olur.

Tubificide'ler (çamur borusu kurtları) ve Chironomide'ler (Zuckmücken= kaşinti sineği larvaları) lagünün her tarafında yaşarlar. Karpfen (= sazan balığı)' ların çok iştahli yedikleri yemdir bu larvalar. Böylece atıksuyun kirletici içerikleri beslenme zincirinin ikinci üyeleri çamur yiyenler tarafından balık etine dönüştürülmektedir.

Fonksiyonu çok iyi olan atıksu lagünlerinde *Sphaerotilus*'lar genelde girişe yakın yerlerde çok üremektedirler. II. sınıf su kalitesini temsil eden canlılar burada görülmektedir. *Limnaea türleri, Planorbis ve Rollegel Helobdella*. Bu **biyotop'ta biyolojik dengenin bozulması** için insan düzenleyici müdahalesini yapmalıdır.

Bu ise;

- **Oksijen zengin seyreltme suyunun verilmesi**
- **Yıllık balık hasatı**
- **Yıllık ot bakımı ve**
- **Çamur giderilmesi ile ancak gerçekleşir.**

Yaşam topluluğunu oluşturan canlılar sabit değildir. Mevsimle-rin ritmine göre değişmektedir. **Kaufmann (1958)**'nin bu konuda çok ayrıntılı kimyasal ve biyolojik çalışmaları vardır. Şimdiye kadar sözünü ettiğimiz lagünler mekanik arıtmadan gelen suları biyolojik arıtmak içindir. **Ayrıca arıtma tesisleri çıkışında iyileştirme (maturation pond) lagünleri vardır, arıtılmış su buradan geçtikten sonra alıcı ortama verilmektedir.** Bunun görevi biyolojik arıtmadan gelen suyu daha da iyileştirmektir.

2.5.1. Çökeltim Lagünleri

Çökeltim lagünleri, toprak havuzlarıdır. Zemini ve kenarları (şevleri) sikiştirilmiş veya sikiştirilmemiş olabilir. Ham atıksudaki çökebilir maddelerin çökmesini, çökmesini sağlar. Bunların da burada çürümelerini de sağlamaktadır. Bu tür çökeltim lagünleri geçici çözümlerde veya ön kademe olarak diğer sistemlerle kombine halinde kullanılabilir. Önemli boyutlandırma parametreleri ise :

Bekleme süresi	:	> 1 gün
V_N	:	0,5 m ³
Su derinliği	:	> 1,5 m
BOŞ ₅ - Verimi	:	% 20 - 50

Fazla yükleme ve çürümeye elverişli dip çamurlarından dolayı su kütlesi anaerobdur.

Çürütme lagünlerinde bekleme süresi çok daha fazladır :

Bekleme süresi	: 30 - 50 gün
Hacimsel yük	: 35-55 g BOİ ₅ /m ² .Gün
BOŞ ₅ - Verimi	: % 50 - 70 (100 - 300 mg BOİ ₅ /l)

2.5.2. Havalandirmasiz Lagünler

Çökeltim lagünlerinden sonra gelen, askıda, çözünmüş organik maddelerin ve anorganik maddelerin biyolojik olarak elimine edilmesine hizmet eden su biriktirme yapılarıdır. Lagün ve havuz eş anlamlı kullanılmaktadır. Oksijen kazanımı havadan serbest su yüzeyinden olmaktadır. Önemli boyutlandırma parametreleri ise :

Bekleme süresi	: 20 - 50 gün
V _N	: 5 - 10 m ³
Hacimsel yük	: 6 g BOİ ₅ /m ² .Gün
Su derinliği	: 1 - 1,5 m
BOŞ ₅ - Çikişi	: 10 - 30 mg BOİ ₅ /l

Lagün hacmi 2-3 birime (bölüme) ayrılmalı, 4-5 yılda bir de çamuru temizlenmelidir.

2.5.3. Havalandirmali Lagünler

Lagünlerin aritim verimlerini artırmak ve alandan tasarruf etmek için doğal havalanmaya bırakma yerine, yapay olarak havalandırma yapılmaktadır. Bu durumda çökeltim lagününe ihtiyaç görülmeyebilir. Burada da serbest yüzen bakteriler yanısıra bakteri yumakları da oluşmaktadır. Ayrıca aktif çamur havuzunda olduğu gibi yeterli oksijenleme sağlanınca kirlilikler çok çabuk giderilebilmektedir. **Şekil 13'** de lagün havalandırıcısının teknik detayı verilmiştir.

Konsantrasyonu ancak 50 mg KM/lt dir.

Bekleme süresi 10 gün

V/N	2 m ³ /N
Su derinliği	1.5 m
BOİ ₅ yükü	20-30 g BOİ ₅ /m ³ .gün
BOİ ₅ giderimi	% 90

2.5.4. İleri Aritma Lagünleri

Çökeltim, havalandırmalı ve havalandırmazlagünlerde olduğu gibi pıssuyu alıp arıtmak görevleri değildir. **Adından da anlaşılacağı gibi damlatmalı filtre, aktif çamur tesisi gibi arıtma sistemlerinin son çökeltim havuzundan çıkan suyun verildiği ve ileri arıtmanın gerçekleştirildiği lagünlerdir.** Eğer alıcı ortam çok kaliteli su istiyorsa ve arıtma tesisi çıkış suyunun kalitesini iyileştirmek gerekiyorsa o zaman ileri arıtma lagünlerini devreye sokmak çok ucuz ve iyi bir yöntem olur. Şleri arıtma lagünleri genelde tek havuzdan oluşmaktadır. Aslında arka arkaya sıralanmış bir kaç taneden olursa daha iyi olur. BOİ₅ giriş değerı 25 mg/l'tin üzerinde; bekleme süresi de 2 günün altında olursa o zaman yapay havalandırma zorunlu olabilir.

Bekleme süresi	1-5 gün
Su derinliği	1-2 m
BOİ ₅ giderimi	% 50

2.5.5. Alg Lagünleri

Alg lagünleri birincil olarak, alglerden protein elde etmek, hayvan yemi olarak kullanmak amacı ile yapılmaktadır. Bunlar en fazla 0.4 m derinliğinde olup, besin maddesi yükü 11-22 g BOİ₅/m² gün, ve bekleme süresi 7-6 gün olmaktadır. BOİ₅ giderilmesi ise % 80-95 arasında değişmektedir. Ayrıca nitrat ve fosfatların eliminasyonu gerçekteşmektedir.

2.5.6. Havuzlama Lagünleri

Bu lagünler genelde mevsimsel çalışan sanayi türleri için kullanılmaktadır. Şeker fabrikalarının atıksularının lagünlerde havuzlanmasını buna örnek göstermek mümkündür. Lagünde anaerobik faz ile aerobik faz arka arkaya gerçekteşmektedir.

Asitik fermentasyon (pH 4 kötü koku); çürüme fazı (pH 7, siyah, koku); aerob faz (pH 7, yeşil berrak, kokusuz).

BOİ₅ değeri 1100 mg/l'ten 20 mg/l'te in altına kadar indirebilmektedir. Ancak bekleme süresi (Havuzlama süresi) 5- 6 aydır. Yeni kampanya başlamadan önce havuz boşaltılır ve yeni mevsime hazırlanır. **Ayrıca lagün de aritilmiş atıksu sulama suyu olarak kullanmak için de çok uygundur.**

2.5.7. Bileşik Aritma Yöntemleri

Aritma tesislerinin randımanını artırmak ve atık suyu yüksek düzeyde aritması için değişik kombinasyonlar yapılarak çok kademeli aritma prosesi uygulamaları yapılmaktadır. Yukarıda bahsedilen aritma tesislerinin çıkışında aritilmiş sular doğrudan alıcı ortama bırakılmadan; başka bir aritma kademesinden de geçirilerek kirliliği çok yüksek oranda düşürülmektedir. Kombinasyonlar "**Aktif Çamur**" + "**Aktif Çamur**"; "**Aktif Çamur**" + "**Damlatmalı Filtre**"; "**Damlatmalı Filtre**" + "**Damlatmalı Filtre**"; "**Damlatmalı Filtre**" + "**Aktif Çamur**" v.b. şeklinde olabilir. Ayrıca bunlardan her hangi birisinin arkasına da kimyasal aritma eklenebilir. Böylece azot ve fosfor giderimi gerçekleştirilir.

Ayrıca seçilen bir yöntemin içine de diğer yöntemlerden biri kısmen inşaa edilebilir. Örneğin Aktif Çamur Sisteminin içine sabit yataklar yerleştirilebilir veya aktif karbonu akış içinde sabit yatak olarak kullanma olanağı yaratılabilir.

Aachen Üniversitesinden Böhnke tarafından geliştirilen AB-Yöntemini de bu başlık altında ele almak mümkündür. Orijinal adı "**Adsorptions-Belebungs-Verfahren = AB-Verfahren**" , sistem iki kademedен oluşmakta; I (A) kademedе fazla yüklü aktif çamuru, ara çökeltim havuzu, ve II (B) kademedе az yüklü aktif çamur havuzu; son çökeltim havuzu; her iki kademedе de geri devir çamurları havuzlara gönderilmekte ve fazla çamurları da sistemden uzaklaştırılmaktadır. (A) 'da proses aerob, fakültatif anaerob olarak fazla yüklü olarak gerçekleştirilmektedir. Bu kademedе kolay ayrişan karbonhidratların parçalanması yani sıra, zor ayrişan azotlu bileşikler de metabolik faaliyetler için bağlanmaktadır. Böylece (B)'ye geldiğinde de *Pseudomonas* ve *E. coli*'ler tarafından denitrifikasyon başlatılmaktadır; ancak (A) kademesinde organik maddenin %55 'inden fazlası ayriştirilmemelidir. Denitrifikasyondan önce anoksik bölgede ve koşullarda nitrifikasyon

gerçekleşmeli; bu sırada denitrifikat bakterileri için de metabolizmalarına gerekli yeterli miktarda organik maddeye ihtiyaçları vardır. (A) ve (B) kademelerinin aktif çamurlarını kesinlikle karıştırmamak gerekir, çünkü her iki kademenin kendine özgü biyosönözü vardır. Geri dönüş çamurları ayrı ayrı olmalıdır. (A) kademesinde bakteriler dominant iken; (B) 'de denitrifikantlar ve üst düzey organizmalar (protozoalar) baskındır.

2.6. Aritma Tesislerindeki Biyosönözü Etkileyen Atıksuyun Abiyotik Özellikleri

- . **Günlük debi m^3/h ve**
- . **Kirlilik yüklerinin ($g\ BOI_5/m^3\ G$)**

değişimi ve salınımı biyosistem içinde çözülmemelidir. Bu nedenle de özellikle ekstrem durumlarda dengeleme havuzlarına ihtiyaç vardır.

. Toksik ve engelleyici maddeler (ağır metal tuzları, fenol, siyanür, dezenfektanlar) bulunması halinde tekdüze giriş konsantrasyonu organizmaların adaptasyonuna olanak sağlamak-tadır.

. Atıksuda yeterli miktarda iz element bulunmaktadır. N ve P gibi besin maddelerinin eksikliği (**$BOI_5: N:P:105:16:1$ nin bozulması**) aritma verimini düşürmekte veya şişkin çamur oluşmasına neden olmaktadır.

. Yapay ekosisteme girişteki pH değeri 4-11 arasında değişirken, sistemin içinde ise pH = 5 - 9.5 arasında olmaktadır.

. Abiyotik faktörlerden su sıcaklığı $+5\ ^\circ C$ ve $25\ ^\circ C$ arasında değişiyorsa sisteme olumsuz etkisi azdır. Sıcaklığı fazla olan suda tür sayısı azalacağı için sistem olumsuz etkinebilir.

. Toz miktarının fazla olması organizmaların ozmotik zarar görmelerine neden olmaktadır. Tuz için sınır değeri ise $1500\ mg/L$ dir.

2.7. Biyolojik Aritma Prosesine Çamur Yükünün Etkisi

Aktif çamur (mikroorganizmalar) BOI_5 % ile verilen besin maddelerinin bir kısmını enerji metabolizmasında (katabolizma) anorganik nihai ürünler üretmekte (CO_2 , H_2O , NO_3) diğer kısmını da kütlesine özgü maddelere dönüştürmekte (gelişme ve üreme) ve bunlar için gerekli olan enerjiyi ise enerji metabolizmasından karşılanmaktadır.

Katabolizma ve anabolizma olayları ise içe içe gerçekleşmektedir. (**bak ilgili Şekil**).

Enerji metabolizmasının nihai ürünleri ve ayrışmamış substrat arıtma tesisi çıkışındaki nihai BOI_5 'den başka bir şey değildir.

Halbuki anabolizmanın (yapı metabolizmasının) nihai ürünleri ise "fazla çamur" olur.

2.8. Atıksuların Biyolojik Arıtılmasında Faaliyet Gösteren Mikroorganizma Türleri ve İşlevleri ve Şndikatörlüğü

Su ve atıksu ilişkisine bakıldığında; hiç bir maddenin suyun gösterdiği etki kadar etkiyi, biyolojik olaylarda başka hiç bir maddenin göstermediği gözlenir. Su hücre yapı taşı olmasının yanı sıra yaşam ortamıdır da. Fiziksel, kimyasal, biyolojik özellikleri ve faktörleri ile biyolojik olayları etkilemektedir.

Fiziksel olarak;

Yoğunluğu, sıcaklığı, ısı içeriği, ışık geçirgenliği, yüzey alan potansiyeli, difüzyon ve ozmoz özelliği ve çözme yeteneği;

Kimyasal olarak ;

pH değeri, iletkenliği, bitki, hayvan, insan ve tüm mikroorga-nizma varlığında önemli biyolojik unsur olarak alınabilir.

Evsel atıksuların yaklaşık % 40'ni azotlu bileşikler, % 50'sini karbonhidratlar, % 10'nunu da yağlar oluşturmaktadır Bir kişi günde 47,6 g üre , 45,5 g KM olarak dışkı üretmektedir. Orta-lama olarak da günde 10 g azot atmaktadır.

Bir metreküp evsel atıksuda 80 g N, 20 g P_2O_5 ve 60 g K_2O bulunmaktadır.

Bir işletmenin atıksuyu , diğer işletme ile aynı ürün üretseler bile benzer

karakterde olmayabilir. Küçük sanayi ve işletmelerin atik sulari olabildiğince geri kazanılabilir, nihayet hammadde kazanımı ve bir mamül madde üretimi sırasında aritılması gereken atıksu oluşur. Bunlar evsel atıksu ile birlikte karışır o zaman kentsel atıksu meydana gelmektedir. Küçük işletme atıksulari aritmanın biyolojisini etkileyecek toksik maddeler içermedikçe, birlikte işlem görebilir. Bakteriler düşük konsantrasyonlardaki zehirli maddelere uyum sağlayabilirler, ancak konsantrasyonu artınca engellenir, faaliyet gösteremezler.

Çok ani şoklara da adapte olamayan mikroorganizmalar randımanlı faaliyet yapamazlar.

Çok nadir durumlarda sanayii atıksulari hiç bir işlem görmeden evsel atıksularla birlikte başarılı bir şekilde aritılabilirler. Genelde ise bir ön arıtma işlemine tabi tutup, çıkış değerlerini indirerek alıcı ortam standart değerlerine düşürülmesi gerekmektedir. Demir - çelik sanayii türü işletmeler büyük oranda inorganik kirliliğe neden olurken; gıda sanayii türü işletmeler de organik kirliliğe neden olmaktadır.

İşletmelerin atıksu içeriği genelde,

- *Organik*
- *Şnorganik*
- *Toksik*
- *Patojen*, olmak üzere dört grubda ele alınabilir.

Kaynağına göre atıksuyun bileşimi ve buna bağlı olarak da ayrışabilirliği farklı farklıdır.

Atıksuların ayrışmasında faaliyet gösteren mikroorganizmaların işlevleri daha atık su kanalında iken başlar.

Gerek atıksuların, gerekse kati artık ve arıtma çamurlarının ayrıştırılmasında etkisi olan ve ekolojik dengeyi sağlamakta rol oynayan mekanizma mikrobiyolojiktir. **Şekil 14 ve 15'** de görüldüğü gibi organik bileşikler koşullar anaerobik ise CH_4 , CO_2 , NH_3 , H_2S ve FeS kadar nihai ürüne parçalanmaktadır. Bu ara asimilasyon da gerçekleşmekte, yeni hücreler de oluşmaktadır. Ortam koşulları aerobik ise **Şekil 16 'da** görüldüğü gibi oksitlenmiş nihai ürünler oluşmakta, N'lu S'li ve P'li bileşikler bitkilere besin maddesi olarak fayda sağlayabilmektedir.

Biyolojik atıksu arıtma tesislerinden olan aktif çamur sistemlerinde bakteriler en yoğun görevi üstlenmiş bulunmaktadır. Bakterilerin oluşturduğu yumaklarda kabuk tabakası kısmında oksitlenme, çekirdek kısmında da indirgenme prosesleri oluşmaktadır. **Şekil 17'**de kompakt bir aktif çamur yumağında bu durum görülmektedir.

Şekil 18'de atıksu arıtılmasında ağır bir işçi gibi çalışan bakterilerin yapısı görülmektedir. **Şekil 19'** da hareket tarzları verilmiştir. Yapay ve doğal biyolojik ekosistemlerde görülen arıtmada büyük rol oynayan mikroorganizma türleri ise **Şekil 20'**de gösterilmiştir. Yapay ve doğal ekosistem karşılaştırmasını da **Şekil 21'** de görülebilir. **Şekil 22'** da damlatmalı filtre sistemindeki reaksiyonlar ve olaylar biyoçim oluşması ve kopması verilmiştir.

Doğal ekosistemlere daha yakın olan lagünlü arıtma sistemlerinin çeşitli kademelerindeki organizma gelişmeleri ve dağılımları **Şekil 23'** de görülmektedir.

Mikroorganizma aktivitesi daha atıksuyun olduğu kaynakta, evde başlamakta iletim hattında devam etmektedir. Bu faaliyetler **Şekil 24'** de özetlenmiştir. **Şekil 25'** de de çöp depolama yerlerindeki mikroorganizma faaliyetleri yerine, koşuluna göre verilmiştir.

2.9. *Biyosonözdeki Organizmalara Göre Aktif Çamurun Değerlendirilmesi*

Aktif çamur tesisinin iyi veya kötü çalışmasından sorumlu olan üç neden vardır:

- 1- Teknik olarak kusursuz olması ve yükleme derecesi**
- 2- Atık suyun yapısı**
- 3- Tesisin işletilmesi ve bakımı**

İşte burada arıtma tesisindeki aktif çamurdan yararlanıp, tesisin kalitelendirilmesinin mümkün olduğu gösterilecektir. Bir mikroskop altında aktif çamuru incelediğimizde biyosonözün bir çok farklı organizmalardan oluştuğu görülmektedir. Bunlar burada sirasi ile incelenecektir.

Bakteriler aktif çamurun en küçük fakat en önemli organizmalarıdır. Farklı

yapıda olmalarına rağmen, akraba olan organizmalar birbirine o kadar çok benzemektedir ki onları ancak metabolizma özelliklerinden dolayı ayırtetmek mümkün olmaktadır.

Bakterilerin büyük çoğunluğu uzun veya kısa çubuksulardır. Hemen hemen hepsi hareketsizdir. Bazıları incecik kamaları ile hareket edebilmektedir. (**Çubuksu bakteriler**) bölünerek çoğalınca hareketsiz kümeler oluşturmaktadır. **Spirillum'lar vidamsi** yapıları nedeni ile çok kıvraktırlar ve çok hızlı hareket ettikleri için mikroskop altında görülmezler. Örneğin *Vitreas-cilla'lar* ise sürünerek hareket ederler. Bazı bakterilerde iplik şeklinde koloni oluştururlar. *Sphaerotilus* hareketsizdir. Yerleşmiş olarak dallanmış iplikleri ile görünürler. Sürünerek hareket eden ipliksi kükürt bakterileridir. (*Beggiatoa*). Kükürt tanecikleri ışık kırılmasına neden olur. Zoogloea ağaçsi şekilde dallanmış budaklanmış koloni oluştururlar. Bu nedenle ağaçsi bakteriler diye de adlandırılmaktadırlar.

Pratik Örnekler ve Şekilleri

Aktif çamurdaki siliatların oranı % 70'dir. Damlatmalı filtrelerde ise de % 50 dir.

- **100 - 4 600 Rhizopode /ml atıksu**
- **200 - 13 000 Flagellat / ml atıksu**
- **500 - 10 000 Siliat / ml atıksu .**

Protozoolar (tek hücreli hayvanlar) :

- *Vorticella* (*Çansı*)
- *Paramecium* (*Terliksi*)
- *Colpidium* (*Böbreksi*)
- *Tetrahymena* (*Armutsu*) v.d.

Protozoolar (Çok hücreli hayvanlar):

- *Rotatoria* (*Çarkci*)
- *Colurella* (*Deli takkesi , çarkci*) .

Rotatoriaların "Aritma Teknolojileri" açısından hiç bir önemi yoktur.

2.9.1. Filtreci (Süzgeçcibaşı)

Bir çok organizma aktif çamur suyunun içinde bulunan kati besin maddeleri filtrasyon donanımları ile alıp, kullanmaya yeteneklidirler. Sindirme

sistemlerine uygun besin maddelerini elimine etmektedirler. *Carchesium Polypinum* yerleşik bir hayvancil olarak bakterilerden oluşan besin maddesini aynı şekilde yanına getirmektedir. Tipik süzücü organizmalar *Paramecium caudatum'* dur. Hareketli oluşları nedeni ile bakteri konsantrasyonunun yoğun olduğu bölgeleri arayıp bulurlar. *Philodina plena* çarksi hayvancıklar da süzücüdürler. *Philodina*'nın türleri bir yere yerleşip suyu süzüp besinlerini alırlar. Ortam besin fakirleşince, zengin olan yere hareket ederler.

2.9.2. Çorbacı

Çok sayıdaki organizmalar çözülmüş veya kolloidal durumda bulunan besinleri alırlar. Besin alınması ya tamamen kütlesinin tüm yüzeyinden difüzyon yolu ile almakta, ya da belirli yerlerden "**hücre ağzı**" alınmaktadır. Bakterilerin çoğu ilave enzimler sağlayarak çözülmemiş besin maddelerinin sivilaşmasını ve çö-zülmüş hale gelmesini sağlarlar. Flagellet'ler besin maddelerini çözünmüş olarak ve bir hücre ağzı ile alırlar. Çorbayı ağız yolu ile yerler. (**Şekil 26**).

Aktif Çamur, optimal ayırıştırma (arıtma) veriminin elde edebilmek için aktif çamur biyoson özündeki organizmaların türce çok zengin olması gerekir. İşte metabolizmaları farklı olan substratları (atıksu içeriğini) besin maddesi olarak kullanan bu organizmalar atıksu içeriğini arıtmaktadırlar. Bu nedenle de aktif çamur çok çeşitli beslenme tiplerini bünyesinde bulundurmaktadır. (**Şekil 27**).

2.9.3. Çarkçı Hayvancıklar (Rotaria)

Şu ana kadar sözü edilen organizmalarla kıyasladığımızda, bunların gerçekten çok hücreli hayvanlar olduğunu görürüz. Ancak büyük siliatlar'dan daha da büyük değildirler. Dişliye benzeyen suda kabarcıklar yapan çarksi bir organizma vardır. Rotaria türünde bu çok belirgin bir şekilde görülmektedir. (**Şekil 28**).

2.9.4. Emici Kirpiksi Hayvancık

Emici Şnfsorium'lar veya *Suctorium'lar* Siliatlara en yakın akraba hayvancıklardır. Hareketli kirpikler yerine emici yoklama kolları vardır. Bir çok *Suctorium*'larda bir kavrayıcı kollar demetleri halinde oluşmaktadır. Türlerin çoğunda sap vardır. Fakat *Myonem* yoktur. *Tocophrya*'da iki demet kavrayıcı kollar (*Tentakel*) bulur. (**Şekil 29**).

2.9.5. Çansi Hayvancıklar

Siliatlar içinde çansi hayvancıklar (*Vorticella*, *Carchesium Polypinum*, *Epistylis*) önemli yer almaktadır. Bunların kirpiksi giysileri gerilemiştir. Buna karşılık şapka çansi hayvancık görünümleri baskın olmuştur. Sadece ağız etrafında tac şeklinde kısa kirpikleri vardır. *Vorticella*'nin dallanmamış sapi vardır. Halbuki *Carchesium polypinum*'un ise dallı, kontraksiyon yapabilir sapi vardır. *Epistylis* gibi olan türler de *Myonem* içermediği için hareketli değildir. Durgundur. (Şekil 30).

2.9.6. Kamçımsi Hayvancıklar

Kamçımsi hayvancıklar hayvanlar alemi ile bitkiler alemi arasında yer alırlar. Hareketli kamçı şeklindeki iplikleri ile tanınırlar. Bir litre çamurda çok yoğun ve milyonlarca bulunmaktadır. Mikroskop altında ya karanlık fonda, ya da fazla kontrast ışıklandırma durumlarında görülebilirler. (Şekil 31).

2.9.7. Nematodlar

Nematodlar ipliksi kurtçuklardır ve genelde az yüklü atıksu arıtma tesislerinde görülmektedir. (Şekil 32).

2.9.8. Kirpiksi Hayvancıklar

Kirpiksi Hayvancıklar veya siliatlar aktif çamur organizmalar içinde şekil zenginliğine sahip grupların en başında gelmektedir. Görünüşte tek hücreli organizma almalarına rağmen içsel organizasyonu oldukça komplike ve oldukça çok iyi gelişmiştir. Siliatların yüzeyleri çok sayıda kirpik şeklindeki plazma çıkıntıları ile kaplıdır. Bu siller sayesinde besin maddesi kendilerine çekilir ve besin bulmak için hareketleri sağlanmaktadır.

Kirpiksi hayvancıklar bakteri kolonilerini yemek ve bakteri yumaklarını (aktif çamur yumağını) biçmek için uzmanlaşmışlardır. Bu otlakçı hayvancıklardan tipik uzman olanları *Euplotes*'in türleridir. Ağız açıklıklarının etrafından komplike yapılaşmış kirpiksi demetler vardır. (Şekil 33).

2.9.9. Değişken Hayvancıklar (Şekilsizler)

"Değişken hayvancık" kavramı bu hayvancıkları sürekli olarak şekil

değiştirebilme yeteneğinden gelmektedir. Çeşitli türleri sürünen, akar hareketleri ile zahiri ayaklar oluşturlar.

En küçük değişken hayvancık 0.02 mm büyüklüğündedir. Bu grubu *Vahlkampfia* temsil eder. Hareketleri sırasında zahiri ayaklar oluşur. *Mayarella*'lar ise çok fazla, fakat kısa ayaklara sahiptir. *Arcellada* kabuk şeklinde etrafını kapsayan kiliflar vardır. Bunun yanında çok büyük türlerde vardır: 1 mm den büyük olabilirler ve çıplak gözle de görmek mümkündür. (Şekil 34).

2.10. Kirlilik Yük Durumunu Belirleyen Organizmalar

Aktif çamur tesisi, sistemi işletmeye alındığında önce bakteriler , çoklukla da *Zoogloe* 'lar ve sonra da *Flagellat*'lar ve *Amüp*'ler görülür. Bunları takiben de serbest yüzen ve yerleşik siliatlar göze çarpar , dominant populasyon olarak bulunur. Organizmalara göre tesisin;

- **Çok yüklü** - **Orta yüklü** - **Az yüklü olarak** ayrılması mümkündür.

Aktif çamur havuzundaki **Protozoalara** ve bunların popülasyonlarına bakarak O₂- temininin durumu hakkında bir yorum yapılabilir :

- Tamamen yetersiz oksijen temini ; aktif çamur havuzundaki şürüme bölgeleri

- . *Colpidium campylum*
- . *Trichomonas (Flagellat)*

- Kısa süreli O₂- eksikliği , yokluğu , yetersiz O₂ temini;

- . *Vorticella microstoma*
- . *Vorticella putrina*

- Yeterli O₂ - temini , 1,0 - 1,5 mg O₂ /l değeri kısa bir süre için düşmektedir;

- . *Opercularia* çok sayıda vardır (10 000 fert/ml)

- > 2,0 mg O₂/l 'i sürekli olarak bulundurması ve iyi oksijen temini;

- . *Vorticella convallaria*
- . *Aspidisca costata*
- . *Euplotes affinis*
- . *Carchesium polypodium*
- . *Podophrya*

. Tokophrya

2.11. Anaerob ve Aerob Çamur Stabilizasyonunun Biyolojik Esaslari

Atıksu arıtma tesislerinde oluşan çamurlar, nihai bertaraflarından önce mutlaka bir işleme tabi tutulmak zorundadırlar. **Biyolojik işlem** a.) aerobik, b.) anaerobik ve **Termik işlem** 1) Yakma , 2) Piroliz ; ayrıca da **Kimyasal işlemler** uygulanır.

Aritma tesislerinde mekanik arıtma kısmında çökebilir maddelerin oluşturduğu hamçamur ve fazla çamur veya damlatmalı filtre çamuru aslında kuru maddesinin % 60-80 ni organik madde (karbonhidrat, yağ, protein) olan bir karışımdır. Bunlar mikroorganizmalar için çok iyi bir besi ortamını oluştururlar. Yiğilmiş hamçamur hemen bakteriler tarafından ayrıştırılır ve koku sorunu ortaya çıkar, ayrıca da çamur suyunun alınabilirliği kötüleşmektedir. Bunu önlemek için ise :

- Biyotopta hemen değişiklik yapıp kireç ilavesi ile pH' a çıkarmak yapay kurutma ile su miktarını %30'za kadar düşürmektedir. Biyotop böyle kaldıkça tekrar eski haline dönüşmekdikçe çamur stabilize olmuş sayılmaktadır .
- Ham çamurdaki biyolojik ayrışabilir organik madde miktarı o kadar azaltılmalıdır ki, geri kalan maddeler bakteriler koku oluşturmada devam etsin protein parçalanması ile çamur suyu daha kolay alınabilir duruma geçmektedir.

2.11.1. Anaerobik Stabilizasyon

Atıksu çamurlarının anaerobik stabilizasyonu çok yaygın kullanılan bir yöntemdir. Fosseptik çukurları da bir bakıma anaerobik stabilizasyon ortamıdır. Atıksularla aşırı derecede kirlenen yüzeysel sular, körfezler büyük stabilizasyon havuzu gibi görev görmektedirler. Hem atıksuyu, hem oluşmuş çamurları anaerobik koşullarda faaliyet gösteren mikroorganizmalar stabilize etmektedir (**Şekil 35**).

Atıksu arıtma tesisi olan kentlerde, genelde yumurta şeklindeki çamur çürütme kulelerinde (anaerobik reaktörlerde) ısıtılmış veya ısıtılmamış olarak,

biyogaz elde etmek amacı ile çamur stabilizasyonu gerçekleştirilmektedir. Elde edilen ayrışmanın nihai ürünü metan gazı ise enerji üretiminde kullanılmaktadır.

Önemli mühendislik dizayn parametreleri ise ;

Kati madde bekleme süresi,

Kati madde yükü,

Sıcaklık,

Uçucu kati madde (organik madde) giderimi,

Tank veya reaktör tasarımı .

2.11.2. Organik Kati Madde Çürütme Reaktörleri

Organik maddeleri çürütme reaktörlerini doğal ve yapay reaktörler olarak ayırmak mümkündür. Doğada biyomasi anaerobik koşullarda metan gazına dönüştüren mikroorganizmalar bataklıklarda, göl diplerinde, bağırsakda, özelliklede geviş getiren hayvanların bağırsağında, çok çeşitli olarak bulunur. Bu bakteriler heterotrof bitkilerdir ve besinlerini hücre membranlarından ozmatik basınç yardımı ile alırlar, kullanırlar ve sindirim atıkları olarak atarlar. **Bakteri hücreleri önce su alarak şişer, hücre gelişir ve büyür, sonra da büyüyen hücre bölünür.** Bakterilerin çoğalması mevcut ortamdaki besin maddelerine bağlıdır ve çoğalmalarını yedi safhada incelemek mümkündür:

- 1. Başlama fazı;**
- 2. İvmelenme fazı;**
- 3. Logaritmik gelişme fazı;**
- 4. Engellenme fazı;**
- 5. Duraklama fazı;**
- 6. Ölüme geçişfazı;**
- 7. Ölüm fazı (Logaritmik ölüm fazı).**

Ölüm fazında artık ölüm oranı maksimum değerine ulaşmıştır ve eşit zaman aralıklarında mevcut bakteriler aynı oranda ölmektedir.

Büyük moleküllü organik bileşikler metan bakterisinin membranından geçemeyecekleri için önce diğer bakteri kültürlerinin ortak etkisi altında; bu yüksek moleküllü maddeler alçak moleküllü yağasiti, alkoller gibi maddelere parçalanmaktadır. Ancak bu maddeler metan bakterileri tarafından substrat olarak alınabilir ve kullanılabilirler. Metan bakterileri bu asit oluşturu

bakteriler sayesinde yaşamlarını sürdürebilirler. Asitleşme fazını da metanlaştırma fazı izler. **Metan bakterileri asit bakterileri için toksik etki yapan kendi metabolizma atıklarını zararsız hale getirir.** Büyük moleküllü bileşiklerden her iki anafazın bakterileri doğrudan doğruya yararlanamadıkları için, arka arakaya sıralanmış glikoz moleküllerini monomer haline gelinceye kadar parçalamaları gerekmektedir. Bu işi gerçekleştirebilmeleri için de hücre dışı metabolik faaliyet göstererek , hücre dışına , 1. *Oksidoredüktazlar*, 2. *Transferazlar*, 3. *Hidrolazlar*, 4. *Lüazlar*, 5. *İzomerazlar* , 6. *Ligazlar* gibi enzimler salgılayarak maddelerin parçalanmasını sağlarlar.

Bu anılan enzimlerin önemli katkıları ile *uzun halkali yağasitleri, gliserol, aminoasitleri, kısa halkali peptidler, monoskkaridler, disakkaridler daha sonra asit oluşturucu özel bakteriler tarafından asetik asite* kadar parçalanırlar. Fakültatif yaşayan bu bakteriler yaşamları için gerekli olan enerji-yi üretirken oksijene ve karbona ihtiyaçları vardır. **Ortamda kalan son oksijeni de kullanarak metan bakterileri için mutlak gerekli olan oksijensiz ortamı hazırlamış olurlar.** Çözünmüş oksijen ortamda kalmayınca da, moleküler bağımlı oksijeni kullanmaya başlarlar. Bu arada da hidroliz sırasında oluşmuş molekülleri, daha alçak moleküller dönüştürürler. Molekül ağırlıklarını azaltırlar. Nihai ayrışma ürünü de asit ve benzeri ürünlerden oluştuğu için de ortamın pH'si 7' nin altına oldukça düşmektedir.

Metanlaştırma fazında, metan bakterileri asit ve benzeri nihai ürünleri CO₂ ve CH₄'e kadar parçalarlar. Fermantasyon sırasında asit oluşturucularla metan oluşturucular karşılıklı yardımlaşma ile yaşamaktadırlar.

Asit oluşturucuların salgıladıkları enzimler, protein, aminoasitlerinin amonyum tuzları haline dönüşmesini sağlar. Metan oluşturucular da azot gereksinimlerini bu tuzlardan temin ederler. Diğer taraftan da metan oluşturucu bakteriler de asit oluşturucuların metabolizma ürünlerini gazlaştırarak ortamın toksikleşmesini durdururlar.

Metan bakterileri de asitik değil, hafif alkali ortamı tercih ettiklerinden dolayı da; asitleşme ile metan oluşumu safhaları içiçe olmalı ki fakültatif anaerob bakteriler tarafından üretilen asitler ve metabolizma, parçalanma ürünleri sürekli olarak kullanılabilir. Organikasit konsantrasyonunun yaklaşık 1 000 mg/l dolayında olması halinde ortamda dengeli bir bakteri popülasyonu bulunuyor denebilir.

Anaerobik reaktörlerde reaksiyonlar sırasında, **ATP ADP üzerinden AMP'ye** kadar indirgenirken, hidrolize sırasında , normal olarak 75 kcal/mol açığa çıkar. Canlıların enerji kazanımı redoks proseslerinde gerçekleşir. Metan bakterileri karbondioksit ve hidrojeni metan indirgerlerken enerji kazanımlarını gerçekleştirmektedirler. Metan bakterileri organotrof yaşamaktadırlar.

Organik maddelerin anaerobik koşullarda parçalanmasındaki en önemli sorun oluşan hidrojenin giderilmesidir. Substratların dehidrojenleştirilmeleri sırasında açığa çıkanhidrojen NAD'ye taşınmaktadır. Hücre oluşan bu NADH₂'yi rejenere etmektedir. Bu indirgenen organik maddeler ortama verilmekte ve konsantrasyonu da arttıkça ortam zehirlenmektedir. Gaz halindeki H₂ ortamdan uzaklaştırılamazsa, fermentasyon ürünleri ortada kalır. Bunun sonucu olarak da asit ve alkol konsantrasyonu artar. Halbuki metan oluşması ile gaz şeklindeki H₂ anaerobik sistemden uzaklaştırılır. H₂ yükü ve etkisi azaltılır. Dolayısıyla pH 'yi değiştirecek ilave asitler oluşmaz. Alkol meydana gelmeyeceği için de zehirlenme olmaz. O halde anaerobik proseslerde metan bakterilerinin en önemli işlevi hidrojeni elimine eden bir eleman olmasıdır. Gaz halindeki hidrojen anaerobik ayrıştırma prosesinin regülatörüdür. Metan oluşturuıcı bakterilerin arzu ettikleri en uygun redoks potansiyeli - 330 mV ' dan daha büyük olmayan değerlerdir.

Metan bakterileri + 4°C ile + 70°C arasındaki sıcaklıklarda yaşarlar; mezofili olanları 30 - 35 °C aralığını tercih ederken, termofil olanlar da 50 - 55°C 'yi tercih ederler. **Mezofillerin aktivitesi** ortam sıcaklığının 2 - 3°C oynaması etkilemektedir.

Toksik elementler ve maddeler çürütme kulesine girdiğinde , genelde metan bakterilerine zarar verirler. Toksik madde konsantrasyonu değişmediği sürece, metan bakterileri bu duruma adaptasyon sağlayabilirler. **Diğer taraftan çok değişik toksik maddeler, düşük konsantrasyonlarda da bulunsa, birlikte çok adaha fazla toksik etki (sinergetik etki) gösterebilirler. Çürümeyi engelleyen maddeler ise :**

Cu, Cr, Ni, Siyanür, Benzin, Deterjan, v.d. gibi kimyasal maddelerdir. Ağırmetallerin toksik etkileri sülfürler tarafından giderilmektedir. Metal iyonu ile sülfür iyonu zor çözülür bileşikler oluşturabilirler. Sistemin aksamada alınabilecek önlemler ise :

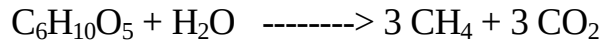
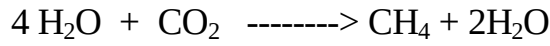
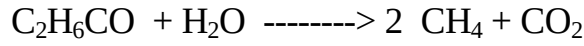
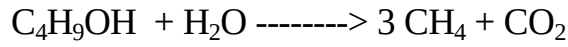
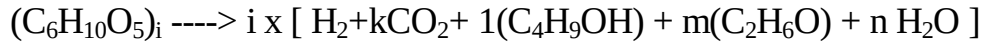
- **Dikkatli bir şekilde kireç sütü verip, iyi ve kuvvetli bir şekilde**

kariştirmek,

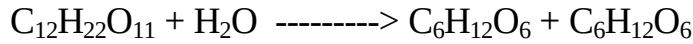
- İlaveten ısıtmak ve gaz verimini artırmak,
- Ham çamur beslemesini azaltmak,
- Sistemi bozan unsuru saptamak (ağır metal , v.s.)

Metan Oluşurken Meydana Gelen Biyokimyasal Reaksiyonlara Örnekler

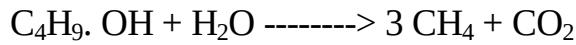
Polisakkarid, disakkarid, monosakkarid gibi karbonhidratların parçalanması önce gerçekteşir :



Disakkaridler ise :

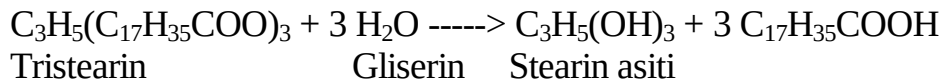


Monosakkaridler ise :

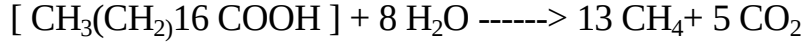


Organik yağlarda :

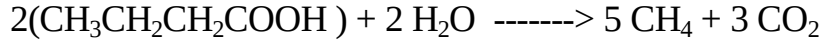
Serbest yağ asitlerine parçalanırlar;



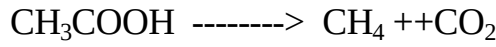
Metan bakterileri hem gliserini hem de Stearin asitini metan ve karbondioksit indirgerler :



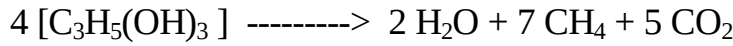
Buterikasit :



Sirkeasiti :

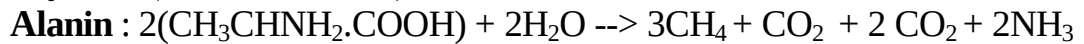
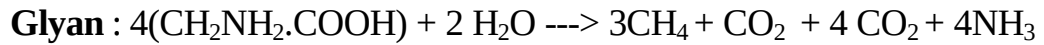
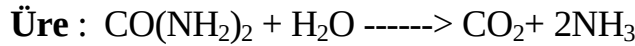


Gliserin :



Proteinler :

Hidroliz sırasında üre ve amonyağa, karbondioksit ve hidrojen sülfüre kadar parçalanırlar :



Açığa çıkan amonyak çamur suyunda çözünür ve bakteriler tarafından yeni hücre sentezlerinde azot kaynağı olarak kullanılır. Bu nedenle de bu sistemde azot kaybı görülmez.

Çürümekte olan çamurda organik besin maddeleri bakteriler için ya çözünmüş olarak ya da kati fazda bulunurlar. Bakterilerin aktivite gösterebilmeleri ve yaşayabilmeleri için "yerleşim veya temas alanına ihtiyaç duyarlar; yani sivi içinde belirli miktarda kati maddeye " ihtiyaçları vardır. Kati madde miktarı % 1 'den az olması halinde ayırışma mümkün değildir. Optimal kati madde miktarı % 2 - 9 arasındadır.

Çürümekte olan substrat organik maddeleri ile birlikte bakteriler için besiyeri

oluşturmaktadırlar.

Anaerobik reaktörlerdeki metan oluşturucu bakteriler ve belli başlı türleri aşağıda verilmiştir :

Methanobacterium proponicum

Methanobacterium soehngenii

Methanobacterium suboxydans

Methanobacterium ruminatium

Methanobacterium formicium

Methanobacterium omelianskii

Methanococcus veniellii

Methanococcus mazei

Methanococcus barkeri

Methanosarcina methanica

Bu metan bakterilerinin metabolizmaları için en uygun faaliyet alanı sıcaklık parametresi ağısından 20 - 40°C' dir. 2 - 3°C gibi bir sıcaklık sapması metabolizmalarını olumsuz etkilemektedir.

Mezofiller için optimum sıcaklık 30 - 35°C iken; termofiller için ise 45 - 55°C civarındadır.

Metan bakterileri, asit oluşturucularla birlikte simbiyoz halinde yaşar, asit oluşturucular ortamın oksijensiz olmasını sağılar ve metan bakterileri için uçucu yağıasitleri, alkol, aldehid v.b. gibi kendileri için esas olan besin maddelerinin oluşmasını sağılar.

Asit oluşturucuların salgıladıkları enzimler protein ve aminoasitlerinden amonyum tuzlarının, diğıer bir deyişle metan bakterilerine azot kaynağıının oluşmasını sağılarlar. Buna karşılık metan bakterileri de, asit oluşturuculara toksik etki yapabilecek metabolizmalarının atığıını besin maddesi olarak kullanıp gazlaştırarak bertaraf eder ve zararsızlaştırmış olur.

Metan bakterileri için uygun yaşam koşulları ;

- **Bakteriler için yeterli miktarda tutunma yüzeyinin bulunması gerekir.**
- Yeni hücrelerin oluşturulması ve inşaası için yeterli miktarda azotun bulunması.

- **Reaktördeki pH değerinin 7.0 - 7.6 arasında olması gerekmektedir.**
 - Metan bakterileri için substrat (S) sirkeasiti cinsinden organik asit olarak konsantrasyonu 500 - 1500 mg/l dolayında olmalıdır.
 - **Reaktörün sıcaklığı mutlaka $> 3^{\circ}\text{C}$ olmalıdır.**
 - Karanlık ortam, ışık yaşamlarını felce uğratabiliyor.
 - **Ortamda oksijen kesinlikle bulunmamalıdır,**
 - Minimum su miktarı da % 50 olmalıdır
 - **Asitleştirme ve metanlaştırma fazının içiçe olması ve pH'nin asidik sahaya kaymaması gerekir**
 - Kükürtün de miktarı > 200 mg/l olmamalıdır.
 - **Çürüme kademesinde elde edilen, parçalama ve metabolizma ürünlerinin konsantrasyonu metan bakterileri için yeterli düzeyde olmalıdır.**
 - Substrat'daki besin maddesinin sunuluşu,
 - **Besin maddesi bakteri arasındaki temas sıklığı ve**
($K = x/S = M/F = C_b/C_s$)
 - N/C oranı da önemlidir.
- Fazla bulunması halinde ise ortamda amonyak oluşu ve pH değeri yükselir; bu da bakteri gelişmesini engeller. Bakteri hücresi-nin yapısı için en azından 7 mg N/g organik madde gereklidir.

(Karbon dengesi = C_o/F_o = Organik karbon/organik madde = 0,53)

1 g ayrışabilir çamurun azot ihtiyacı 7 mg olduğuna göre; 1 l çamurda 60 g kati madde bulunduğunu kabul edersek, ayrıca da bunun ancak 15 g'i ayrışabilir olursa o zaman : $7 \times 15 = 105$ mg N ihtiyacı var demektir. N/P ise 7:1 olmalıdır.

Karbonun yanısıra azot da mikroorganizmaların en önemli yapı taşları olduğu için; organik maddelerin parçalanması substratta yeterli miktarda alınabilir azotun bulunmasına bağlıdır.

N/C oranı küçük olursa, o zaman N eksikliğinden dolayı mikroorganizmaların gelişmesi engellenir.

N/C oranı büyük olursa karbonlu maddenin parçalanması, enerji üretimi az olacağından engellenir. Azotun fazla bulunması, amonyak oluşmasına ve ortamın pH'sinin artmasına neden olur. Azot en azından, 7 mg N / g organik madde olarak bulunmalıdır.

Besin maddesinin fazla bulunması erişilebilecek nihai bakteri sayısına hızlı bir şekilde ulaşmayı sağlar. Besin maddesi eksikliği ise, bakterilerin gelişmesini engeller.

İki çürütme kademesinde gerçekleşen bakterilerin ayrıştırma faaliyetleri, iki ön koşula bağlıdır :

1. Birinci kademenin çürütme bakterileri, metan bakterilerinin enerji ve madde metabolizmaları için yeterli miktarda ayrışma ürünü ortama verebilmelidirler.

2. Metan bakterilerinin yaşam koşulları, o şekilde olmalı ki, bakteriler ayrışmadan sonra oluşan parçalanma ürünlerini, birinci kademedeki oluşum hızı ile oluştuğu gibide parçalasınlar.

Substrat içinde ne kadar çok organik madde bulunursa, asit üreten bakteriler de o kadar çabuk gelişirler. Bu da 1. fazda ara ürünlerin yığılmasına, böylece de çürütme kulesinde, asit konsantrasyonunun artmasına; pH değerinin düşmesine neden olur. Üretilen asitlerin fazla oluşu, ortamın metan bakterilerin yaşaması için elverişli olmayan bir hale gelmesine neden olur.

Besin maddesi sunusu güvenceye alınırken; organik madde miktarını o kadar iyi vermeli ki, asit oluşturunların aşırı gelişmesi engellensin. (Çürütme hacmine karşı organik yük ayarlaması). Optimal koşullarda çürütme odası yükü : 10 kg organik kuru madde / m³. gün olabilir. Kötü koşullarda ise 5 kg/m³.gün değeri sağlanabilir. (**Bak Tablo 5**).

Tablo 1.5 : Hayvansal dışkıların anaerobik çürütmesinde çürütme hacmi yükü ve bekleme süresi

Dişki türü	Hacimsel yük (kg OKM/m ³ .Gün	Bekleme süresi (Gün)
Süt inekleri	6.0	15
Besi hayvanları	4.5	10
Domuzlar	3.0	10
Yumurta tavuğu	1.5	50

Organik hacimsel yük ile substrat kati maddesi arasında doğrudan doğruya bir ilişki vardır. Çünkü kati maddenin belirli oranı organik maddelerden oluşmaktadır. Şnorganik madde oranı fazla olan bir kati madde içeren çamur, asit oluşturan bakterilere az besin maddesi sunarken; kati madde miktarı az, fakat çoğunlukla organik maddeden oluşan bir çamur bakterilere daha fazla besin maddesi sunmaktadır. Bu nedenle de " **organik hacimsel yük** " daha büyük önem kazanmaktadır. Biyogaz tesislerinin ekonomik kalmasını sağlamak için çürütme odası kapasitesini optimal kullanabilmek bakımından; çamurun kati madde miktarı olabildiğince artırılmalıdır. Çürütülecek madde ile onu çürütecek olan mikroorganizma arasında iyi dostluk kurmak ve sık sık bir araya gelmelerini sağlamak gerekir. Bu temas süresi prosesin yürümesi ve gerçekleşmesi açısından çok önemlidir. ($K=C_b/C_s$). Temas süresinin en iyilenmesi halinde, çok daha fazla gaz elde etmek mümkündür. **K=10 ile sürekli beslenme halinde en yüksek k (reaksiyo sabiti) değeri elde edilmektedir.** Bu temas oranında da anaerobik organizmalar en büyük aktivite değerine sahip olmaktadırlar. Bu oran aşıldığında, bakterilerin metabolizma aktiviteleri a) hacim darlığı, b) besin noksanlığı, c) toksik metabolizma ürünlerinin etkileri ile engellenmektedir.

Yaş sistemli hayvan ahırlarında saman ile dışkılarının karışımı uygun N/C oranının oluşmasını sağlar.(**Bak Tablo 6**)

Tablo 6 : Bazı atıklardaki % olarak N- miktarı ve N/C oranı

Atıklar	% N- Miktarı	N/C oranı
Şnsan dışkılarında	6,0	0,1 - 0,17
Siğir gübresi	1,7	0,06- 0,04
Tavuk gübresi	6,3	0,14- 0,20
Koyun gübresi	3,8	0,03
Saman	0,3 - 0,5	0,008 - 0,02
Biçki talaşı	0,1	0,005 - 0,002
Ağaç yaprağı	1,0	0,02
Algler	1,9	0,06
Ot (hayvan yemi)	4,0	0,08 - 0,04
Çöp 'de		
Aritma çamurunda		
Aktif çamurda		

- Metanlaştırmada organik madde yükü ve önemi :

.. Çürütme olayında katkisi olan asitleştirici, hidrolize eden bakteriler anaerobik ayrışmanın birinci fazında; metan bakterilerine yeterli, sürekli substrat yetiştirmeleri gerekmektedir.

.. 1. fazdan gelen metan bakterisi substratı ile tüketilen substrat denge içinde olmalıdır, reaksiyon hızları aynı olmalıdır.

- Hidrojen iyon konsantrasyonunun olaya etkisi :

.. Eğer substratda çok miktarda organik madde varsa, bu önce asit oluşturmalar tarafından parçalanarak H^+ - artmasına ne-den olacaktıdır. Çünkü metan bakterileri 2. fazda gelişmekte ve bu ürünleri kullanabilmektedir. H^+ - iyonlarının fazla artması halinde metan bakterileri gelişmemektedir (**Bak Tablo 7**).

Tablo 7 : Hacimsel yük ve bekleme süresi

Hayvan dışkisi	Hacimsel yük kg OM ,KM/m ³ . gün	Bekleme süresi Gün (d)
Yumurta tavuğu	1,5	50
Süt ineği	6,0	15
Besi hayvani	4,5	10

Kati madde içeriği ile organik hacimsel yükleme arasında bir ilişki vardır. Bu ilişki substrat (S) asit konsantrasyonu ile kati madde arasındaki lineer ilişkiye bağlanması mümkündür. ($S = 520 \cdot KM$).

Aşılama : Yeni ayrışmaya başlayan bir biyokütlenin içindeki bakteri sayısı başlangıçta çok azdır. Bu nedenle çürüme olayı alıştırma ve çürüme fazları olarak genelde ikiye ayrılabilir. İlk fazda birim zamandaki gaz üretimi sürekli olarak artar. Böylece gaz üretim eğrisi ideal gelişme eğrisine benzer. Çürük gaz (**biyogaz**) üretimi, dolaylı olarak yaşam aktivitesi gösteren bakteriler hakkında bir ölçüdür ve birim zaman daki gaz üretiminin artması, çoğalmaya tekabül etmektedir. Bu ilişki bakteri çoğalma eğrisinden açıkça görülür. Artan bakteri çoğalması (**populasyonu**) kendisi için sunulan mevcut geniş yaşam hacmi ve besin maddesi ile yakından ilgilidir. Az gaz üretim safhasını kısa tutmak amacı ile çamura, yaşama yeteneğine sahip canlı, dinamik, genç organizmalardan oluşan bakterileri katmakta, aşı yapmakta

çok yarar vardır. Böylece **bakteri/substrat temas oranı** hemen yükselecektir. Bu da gaz üretiminin tam olarak gerçekleşmesini sağlayacaktır.

Aslında aşılamaadan anlaşılan taze çamurun olgun çamurla belirli oranda karıştırılmasıdır. Böylece çürüme hızlı ve iyi başlar, gaz üretimi için de gerekli olan çürüme süresi azaltılmış olunur.

Aşılama yaparken aşı çamurunun miktarı yani sıra yaşı da çok önemlidir. İyi bir aşı çamuru içinde artık (**ayrışmamış, geriye kalan**) organik madde içermeyen, fakat çok sayıda yaşama yeteneğine sahip, genç ve dinamik işçilerden oluşan bir çürük çamurdur. *Yani diğer bir deyişle organik maddesi sadece bakteri biyomasından oluşan bir genç işçiler ordusudur (çamurdur).*

C- miktarı = 0,53 'dür. Bakterinin de karbon miktarı 0.53'dür.

Tabakalaşma ve Karıştırma

Karıştırılmayan çürütme reaktörlerinde tabakalaşmalar gözlenir. Çürütülmüş çamurda organik madde bakteri kütesinden oluşur. Tabakalaşma ile de çürütme hacminde bakteri konsantrasyonu meydana gelir. Bu yüzden organik maddelerin büyük bir kısmı bakteriler tarafından erişilemez duruma gelir. Dolayısıyla besin maddesiyle bakteri arasındaki temas oldukça sınırlanmış olunur. Ayrıca çamur suyu üst tabakada toplandığı için, burası ayrışma ve metabolizma ürünleri ile yığılmış, dolmuş ve yoğun bakteri bulunan bir tabaka olur. Buradaki yoğun metabolizma ürünleri de zengin mikroorganizma popülasyonuna toksik etki yapar ve böylece de yaşam aktiviteleri oldukça azalır. Çevresine göre artan konsantrasyonu ile bakterilerin ozmotik emiş güçleri de azalır. Böylece ortamdaki besin maddesinden de yararlanamaz.

Ortamin konsantrasyonu bakteri hücresindekinden daha fazla ise bakterilerin kurumalarına da neden olabilir. Karıştırılmayan reaktörlerde çürütme hacminin ancak %50' si biyolojik olarak aktif olabilir. Bu nedenle optimal koşulları sağlamak için çürütme odasının içi sürekli olarak karıştırılmalıdır. Böylece bakterilerin besin maddeleri ile temasları sağlanabileceği gibi reaktör zeminindeki konsantrasyonların azalmasını sağlar ve bu şekilde sağlanan seyrelme bakterilerin aktifleşmesine neden olur. **Ayrıca iyi bir karıştırma ile de yüzen tabakaların parçalanmasına iyi bir olanak sağlanmış olunur.** Yüzen (örtü) tabaka yağca zengin organik

maddelerden oluşur. Bunlar bir yandan çürüme kulesinden gaz çıkmasına, diğer yandan da bakterilerin ayrıştırma, parçalama proseslerine engel olurlar. Aslında bu yağlar fermentasyon sırasında da metanca zengin çürük gaz (biyogaz) vermektedir. Halbuki bu gazlar kazanılmazsa işletmenin veriminden çok büyük kayıplar olur.

Karıştırma derin tabakalarda çamur taneciğinde bağlı, tutuklu kalmış gaz kabarcıklarının serbest hale geçmesini sağlar. Yağ tabakasının da dağıtılması ile üretilen biyogaz optimuma ulaşır ve yararlı bir şekilde depolanır. Böylece biyogaz kayıpları da azalır.

Substratin karışımı ile dengeli bir sıcaklık dağılımı gerçekleştirilir. Bu da mikrobiyolojik prosesler ve bakteri faaliyetleri için çok önemlidir. Ayrışma sonucunda oluşan asitlerin yerel (lokal) yığılması da karıştırma sayesinde engellenmiş olunur.

Birinci fazın asit üretimi ile ikinci fazın metan bakterileri tarafından asitleri parçalama, ayrıştırma kapasiteleri bir denge içinde tutulmuş olacaktır. Böylece çürüme prosesinin asitik çürümeye kayması, geçmesi engellenmiş olacaktır. Karıştırma ile %10 verim artışı elde etmek mümkündür; ayrıca ilave bir verim artışı da yüzücü tabaka oluşturan yağların parçalanması ile mümkündür.

İyi bir mikrobiyel fermentasyonun nihai ürünü ise gaz karışımı ve çürütülmüş çamurdur. Biyogaz metan bakterilerinin metabolizma ürünleridir. Biyogaz da genel de **metan gazı, karbondioksit, hidrojen ve hidrojen sülfürden** oluşmaktadır. Biyogaz değeri yüksek olan bir nihai üründür. Her yerde kullanılabilir, iyi bir enerji taşıyıcısıdır. Yakıldığında da az miktarda zararlı bileşikler ve maddeler oluşmaktadır. Metan renksiz, kokusuz, ve zehirli olmayan bir gazdır. **(Bak Tablo 8)**

Tablo 8 : Aritma gazının (biyogazın) bileşimi

Madde	Oranı (%)
CH ₄ (Metan)	63 - 68
CO ₂	32 - 37
N ₂	0 - 0,2
H ₂	0 - 0,2
H ₂ S	0 - 0,1

Tablo 9 : : Aritma gazinin (biyogazın) isil değeri

1 m ³ biyogaz ortalama olarak ----- >	4300 kcal
CO ₂ içeriğine bağlı olarak da ;	5500 - 5900 kcal
Yararlanılabilecek isil değeri ise : 0.85 . 5600 kcal ---- -> 4750 kcal / m ³	
Fuel oil'den yararlanılabilen isi ise ; 0,85 . 10 000 -----> 8 000 kcal /kg	

2.11.3. Anaerobik Çürüme Sirasinda Hijyenleşme

Anaerobik işlem tesisleri biyogaz ve gübre elde etmeyi sağlama-lari yanısıra, kati artık gidermesine ve hijyenleştirilmesine katkı da bulunmaktadır. Organik madde içerikli kati atık yığınları havadaki birçok mikropları ve haşereleri, özellikle hastalık taşıyan sinekleri ve böcekleri besiyeri işlevi görerek beslemektedir.

Aerob ayrıştırma proteinlerin içindeki kükürt koku yapan maddelere parçalanırken, alkali metan ayrıştırmasında, ise çamurda tutulur; çözünmüş demir bileşiklerinin bulunması halinde de demirsülfür bileşikleri meydana gelir.

Tam çürütülmüş ve metan elde edilmiş çürük çamur koku yapmaz. Dolayısıyla da hastalık taşıyıcısı olan "*Scatophaga stercoria*" dışkı sineği tam çürümüş ve kokusuz çamur tarafından cezbedilmez, çekilmez.

Metan bakterilerinin yoğun olarak bulunduğu ortamda diğer bütün mikroorganizmalar, bakteriler, protzoolar türce ve sayıca oldukça çok azalmaktadır. Metan bakterilerinin toksik etki yapan, antibiyotik bir gücü vardır. Toksik etkisi o kadar fazladır ki, patojen organizmaların yaşamları kuvvetli bir şekilde tehlike altına girmektedir. Buradaki olaylar da antibiyotik güce sadece obligat anaeroblar sahiptir. Asitik çürüme kademesinin fakültatif anaerobları ise, patojen organizmaları öldürme, giderme yeteneğinden yoksundur.

Metan bakterilerinin toksik etkisi aşağıdaki organizmalar için kanıtlanmıştır :
Paratyphus B
Enteritis Breslau
Enteritis Gaertner

Cholera ve sarılık mikropları da anaerobik çürüme olaylarına karşı çok duyarlıdır. *Verem basilleri* çürüme olayını atlattıkları ancak virulans oluşturaları (hastalık yapabilme derecesi) şiddetli bir şekilde azalır.

Çin'de Szechnan Eyaletinin Parazitoloji Enstitüsünde yapılan çalışmalarda çürük çamurdaki parazit yumurtalarının taze çamurdakilerden % 95 daha az olduğı saptanmıştır. Patojenleri öldürme oranı hem çürütme sıcaklığına, hem de çürütme süresine bağıdır (**Bak Tablo 10**) .

Tablo 10 : Anaerob çürütme sırasında parazit yumurtaların öldürölme oranları

Parazitler	25-30°C Öldürme oranı	Çürütme süresi
Bilharzien yumurtası	> % 99	14 gün
Kancalı solucan yumurtaları	> % 90	30 gün
Şerit solucanı yumurtaları	> % 99	70 gün

Federal Almanya'daki çeşitli sektörlerin mevcut biyogaz üretimi ve verimi aşağıdaki gibidir (**Bak Tablo 11**):

Tablo 11 : Almanya' daki bazı mevcut tesislerde gaz üretimi

Sektör	Sayısal değeri	Birimi
Kent sektörü :		
Evsel atıksu arıtma çamuru;		
. Verim	0,26 - 0,35	m ³ CH ₄ /kg VS ₀ VS ₀ = OM
. Kalite	60 - 70	% CH ₄
Çöp depolama yeri biyogazı ;		
. Verim	1 - 3	m ³ CH ₄ / ton kent. çöp
. Kalite	35 - 55	% CH ₄

Endüstriyel sektör :

Sanayii (organik) atıkları ;

. Verim	0,24 - 0,33	m^3CH_4 / kg COD
. Kalite	70 - 85	% CH_4
. KOŞ Giderimi	70 - 98	%

Domates tohumlari ve kalın kabuklu çekirdekler hariç bütün diğer bitki tohumlari, çürüme sırasında çimlenme yeteneğini kaybetmektedirler. Dolayısıyla yabancı ot tohumunun taşınması söz konusu değildir.

Koliform bakterilerinin ise % 0,2 'ye kadar düştüğü görülmektedir. Alkali çürütme yöntemleri ile kırsal kesimde de önemli hijyenik ve sağlıklı koşullar sağlanmış olmaktadır.

Şekil 36' de tarımsal alanlarda kullanılan **digester (Biyogaz Reaktörü)** sistemlerinden örnekler verilmiştir. **Şekil 37'**de de siğir gübresinin yaklaşık olarak çeşitli durumlardaki değerleri görülmektedir.

Tablo 12 : Beş kişilik bir ailenin enerji ihtiyacı

Tüketim	Enerji içeriği	Yemek pişirme	Aydınlanma	Buzdolabi
	İki ocaklı	Dört lambalı		230 litre
	8 Saat/Gün	4 Saat / Gün		
Enerji kaynağı	her gün/yıl	her gün/yıl		her gün/yıl
Kuru gübre	2,5 kWh/kg	26.0 kg ⁽¹⁾ , 9,5 ton	---	----
Yakacak odun	5,5 kWh/kg	12,9 kg 4,4 ton	----	-----
Mangal kömürü	8,5 kWh/kg	3,7 kg 1,4 ton	-----	-----
Petrol	8,5 kWh/l	5,6 l 2000 l	0,5 l ,100 l	----
Diesel (Mazot)	12,0 kWh/l	3,5 l 1300 l	-----	-----
Gazyağı	8,9 kWh/l			
Elektrik enerjisi 1 kWh	11,8 kWh	4300 kWh	1,0 kWh	350kWh 5,0 - 825kWh
Doğal gaz	9,4 kWh/m ³	1,5 m ³ 550 m ³	----	--- --- ---
Sivi gaz	19,9 kWh/kg	0,5 kg 19 bt ⁽²⁾	0,3 kg 11 bt	0,5 kg 19bt
Biyogaz	6,0 kWh/m ³	2,4 m ³ 880 m ³	1,9 m ³ 770 m ³	2,4 m ³

880m³

h = saat ; l = litre ; bt. =

(1.) Sekiz ineğe, 110 kg taze gübreye eşdeğer; (2) 10 kg'lık propan gazı tübü,

Tablo 13 : Beş kişilik bir ailenin enerji ihtiyacını karşılayan biyogaz tesisi

Biyogaz	Piştirme 2,4 m³/Gün	Aydınlatma 1,9 m³/Gün	Soğutma 2,4 m³/Gün	Toplam 6,7m³d (40 kWh)
Tropik bölge Gerekli biyogaz tesisi hacmi (30°C Günlük beslenmesi gereken hayvan sayısı: Kapalı ahir t=40 gün e=0,6 Dişki + Urin Açık ahir t= hidrolik bekleme süresi , Su içeriği e=Randımanı	4,0 m ³	3,2 m ³	4,0 m ³	12 m ³
	4 inek	3 inek	4 inek	11 inek
	75 kg/gün	60 kg/gün	75 kg/gün	210 kg/gün
	25 kg/gün	20 kg/gün	25 kg/gün	70 kg/gün
	6 inek	5 inek	6 inek	17 inek
	25 kg/gün	20 kg/gün	25 kg/gün	70 kg/gün
	75 kg/gün	60 kg/gün	75 kg/gün	210 kg/gün

Tablo 13 (Devam) : Beş kişilik bir ailenin enerji ihtiyacını karşılayan biyogaz tesisi

İlman bölge Gerekli biyogaz tesisi hacmi (20 oC) Günlük beslenmesi gereken hayvan sayısı: tesisi Kapalı ahir t=80 gün e=0,25 Dişki + Urin Açık ahir	9,6 m ³	7,5 m ³	9,6 m ³	27 m ³
	5 inek	4 inek	5 inek	14 inek
	90 kg/gün	70 kg/gün	90 kg/gün	250 kg/gün
	30 kg/gün	25 kg/gün	30 kg/gün	85 kg/gün
	7 inek	6 inek	7 inek	20 inek

t= hidrolik

bekleme süresi , e=Randimani

Kuru dışı	30 kg/gün	20 kg/gün	30 kg/gün	80 kg/gün
Su içeriği	90 kg/gün	75 kg/gün	90 kg/gün	255 kg/gün

Hesap kabülleri :

Süt ineği ---- 200 kg canlı ağırlık
Dışkı ve idrar ----- % 9 ; % 11 kuru madde
Kuru dışkı maddesi % 2 ; % 30 kuru madde

Tablo 14 : Çeşitli yenilenebilir enerji kaynaklarının Bolivya örneğinde yatırım masrafları

Enerji kaynağı	Enerji tipi	Birim yatırım masrafı	40 kWh yatırım masrafı
Biyogaz	Gaz	US\$ 100/m ³	US\$ 1,200
Güneş kollektörü	Sıcak su	US\$ 170/m ²	US\$ 2,900
Mikrohidro elektrik santrali	Ceryan,220 V	US\$ 1800/kW	US\$ 72,000
Rüzgar enerjisi	Ceryan,220 V	US\$ 1500/kW	US\$ 60,000
Fotovoltaic	Ceryan,220 V 12 V DC	US\$ 11800/kW	US\$ 470,000

2.11.4. Aerobik Stabilizasyon

Aerobik stabilizasyonun amacı atıklardaki ayrışabilir organik maddeleri, parçalayıp atıkları sadece ayrışamaz veya ayrışması zor olan kısımlardan ibaret hale getirmektir. Atık bir atıksu arıtma tesisi çamuru ise; onun içindeki

aktif çamuru, organik maddeleri aerob mikroorganizmalarla elimine etmekle stabil hale getirmektir. Aerob çamur ve / veya atık stabilizasyonun nihai ürünü CO_2 , NO_3 ve H_2O 'dur.

Katabolizma sırasında açığa çıkan ve mikroorganizmaların faaliyetleri için kullanılan enerji az bir miktarı oluşturmaktadır. Dışsal enerji kaynağı olan organik madde miktarı azaldıkça, anabolizma için gerekli olan organik maddeler de azalmaktadır. **Sonuçta besinsiz (substratsız) kalan mikroorganizmalar depola-dıkları yedek besin maddelerini tüketmeye, kullanmaya başlamaktadırlar.** O da tükenince, kendi yapısına özgü maddeleri (yapı elemanları) kullanmaya başlamaktadırlar. Temel solunum veya **endojen solunumu olayı** böylece gerçekleşmiş olmaktadır.

Buradan hareketle uygulamada aerob çamur stabilizasyonu için iki yöntem geliştirilmiştir :

- **Ortak stabilizasyon;** veya "**fazla havalandırma**" uygulamasında sisteme giren besin maddesi düşük tutulmakta, organik maddelerin de büyük çoğunluğu enerji metabolizmasında (*Katabolizmada*) kullanılmaktadır.

Anabolizma ise çok az miktarda gerçekleşmektedir. Bu nedenle de az miktarda bir mikroorganizma artışı gözlenmektedir. Bu oluşan organizmalarda da kesinlikle depolanmış besin maddeleri bulunmamaktadır. Bu nedenle de anaerob depolanmaları halinde de anaerob organizmalar için de fazla ve iyi gelişme olanağı tanıma-maktadır. **Her iki durumda da yeterli işlem süresinden sonra "Stabil Çamur" elde edilmektedir."Stabilizasyon Derecesi" ise:**

- *Solunum aktivitesi tayini*
- *TTC - Testi tayini*
- *Lipoid miktarı tayini*
- *Organik madde (OM) tayini (azalması) ile saptanabilir.*

2.11.5. Aerob Çamur Stabilizasyonuna Sıcaklığın, Çamur Yapısının ve Toksik Maddelerin Etkisi

Tüm biyolojik metabolizma proseslerinde olduğu gibi aerob çamur stabilizasyonu da sıcaklığa bağlıdır. **Çürütmede olduğu gibi aerob çamur stabilizasyonunda da C, N, P gibi besin maddeleri ortamda dengeli bir**

oranda bulunmalıdır. Anorganik madde miktarı fazla olan çamur daha kolay stabilize edilir.

Ağır metal tuzları gibi toksik maddelerin aktif çamurdaki miktarı, çamur konsantrasyonuna, çamur yapısına ve temas süresine bağlıdır. Toksik maddelerin etki dereceleri fizikokimyasal, ekolojik koşulların değişimine ve çamurun adaptasyon yeteneğine de bağlıdır. Metan bakterilerinin adaptasyonu zor olabilecekken, aerob stabilizasyondaki bakteri türü ve sayısı zengin oluşu nedeni ile burada adaptasyon daha kolay olmaktadır.

2.11.6. Aritma Tesisi Çamurlarının Stabilizasyonu

Aritma tesisinde oluşan çamurlar havalandırmalı çamur stabilizasyon havuzuna alınırlar ve orada aerobik koşullarda içlerinde ayrışması çok zor organik maddeden başka organik madde kalmayana kadar stabilize edilirler.

Önemli mühendislik dizayn parametreleri ise ;

**Hidrolik bekleme süresi,
Hava gereksinimi ve debisi,
Sıcaklık,
Uçucu kati madde (organik madde) giderimi,
Tank veya reaktör tasarımı .**

Aritma çamurları ya tek başlarına, ya da kentsel kati atıklarla (**monoçöp veya heteroçöp**) birlikte kompostlaştırılarak stabilize edilmektedir. Bu ara çamurun içinde bulunan bazı mikroorganizmalar da reaktördeki koşullara bağlı olarak elimine edilmektedir :

Tablo 15 : Sıcaklığa bağlı olarak reaktördeki zararlı mikroorganizmaların eliminasyonu

Mikroorganizma	Koşullar ve Sonuç
Salmonella typhosa	46 ⁰ C , gelişme duruyor; 55 – 60 ⁰ C , 30 dakikada ölüyor; 60 ⁰ C , 20 dakikada .
Salmonella sp.	55 ⁰ C , 1 saat; 60 ⁰ C , 15-20 dakika ölü

Trichinella spiralis larvae	55 – 60°C , hemen ölüyor
Streptococcus pyogenes	54 C ⁰ , 10 dakikada ölüyor
Taenia saginata	55 C ⁰ , bir kaç dakikada ölüyor
etc .	

Stark, Holger (1992): "Salmonellen - Vergiftungen nehmen zu". Berliner Zeitung Nr.248, S.21, 22.10.1992, Berlin.

Berliner Zeitung (Nr.248, S.21, 22.10.1992), Berlin'de Salmonelle sp. zehirlenmelerinin arttığından söz etmektedir. Gelişmiş ve kentsel altyapısı tamamlanmış ülkelerde bile, insan sağlığı için çok sakıncalı olan mikroorganizmalar yeterince hijyenleştirilmiş olamamaktadır. 1992 yılında Berlin'de 11 ölüm vakası olmuş, 5300 kişi de Salmonelle sp. nedeniyle hastalanmıştır. Özellikle yaşlı insanlar ve çocuklar daha kolay yakalanabilmektedirler. Yaşlılar Yurdunda 15 yaşlı insan pişirilmiş pudingi iki gün buzdolabında beklettikten sonra yediklerinden dolayı Salmonelle sp.'in neden olduğu hastalıklara yakalanmışlardır. Yumurtadan geçme olasılığı daha fazla olduğu için de yumurtalar yenilmeden önce çok iyi pişirilmelidir. Potansiyel Salmonelle sp. kaynağı av hayvanları, balık, kabuklu hayvanlar, yumuşakçalar v.b.

Lagünlerde çamur oluşturma mekanizması anaerobik ve aerobik lagünlerde atıksu arıtma olayı binlerce yıl öncesine kadar gitmektedir. Enerji ve teknoloji, işletme yoğun olmadığı için de küçük kırsal yerleşim alanlarında binlercesi kurulmuştur. Oluşturduğu ekosistem yapısı çok komplekstir. Kendi kendine arıtma mekanizmasına göre atıksu arıtılır.

Sudaki organik yükün azalmasına neden olan prosesleri :

a) seyrelme, homojenleşme **b)** kimyasal, fizikokimyasal (yumaklaşma, mekanizma, çökme, sağırtma, notralizasyon v.b.) **c)** Biyokimyasal ayrışma yani atıksu içeriğini (karbonhidrat, protein, yağ gibi organik maddeleri) biyomasa dönüştürme diye ayırabilir. Burada özellikle ilginç olan fakültatif lagünlerde biyokimyasal ayrışma (arıtma) reaksiyonlarıdır. Bu mekanizma üzerinde duracak olursak;

- **Çözünmüş veya partiküller organik maddeler bakteriler ve mantarlar tarafından biyokimyasal olarak parçalanırlar.** Bunu kısaca heterotrof substrat eliminasyonu olarak da tanımlayabiliriz.

- **Yüksek bitkilerin ve alglerin fotosentezleri ile lagünün biyogen havalandırılması algler ve bakteriler arasında simbiyoz yaşama tarzını oluşturur**

- *Fotomimyasal reaksiyonların; foto oksidasyonun alglerin ve bakterilerin metabolizma ürünlerinin kombine etkileri ile ligninlerin, polifenollerin, humin maddelerinin ve aynı zamanda serbest suspanse biyomasın yumaklaşması teşvik edilmektedir.*

Fitoplanktonların kendi kendine yumaklaşmalarında fotosentez sırasında oluşan CaCO_3 ve Fe(OH)_3 'in de rolü vardır. Çözünmüş organik maddeler de kalkid veya ince dispers monokarbonatlar tarafından adsorbe edilmektedir.

- Hayvansal küçük organizmalar tarafından, özellikle su-çamur sinirindeki aktiviteleri ile madde taşınmasının ivmelendirilmesi.

Biyolojik çimlerin boşluklarında, yüzeylerinde protozoalar sinir tabakalar yenilemesi yaparlar. *Fırçalı kurtlar (Tubifex) ventilasyon yaparlar; sinek = Chironomus (Zuchmichenlar ve) larvaları da çamur yüzeyinin çamur içine taşınmasını sağlar.* Bu çamurda yerleşik hayvanların biyomasi 1- 2.5 kg TBM/m² civarındadır. Çamur *Chironomide'ler ve Tubificide'ler* sayesinde 4-8 cm derinliğe kadar iyice oksitlenmiştir. Bu nedenle anılan hayvan-ciklar sayesinde olmamaları durumuna göre çamur 10¹ veya 10² kati daha fazla havalanmıştır. Kan damarları gibi ince bir havalandırma kanal olukları ağı oluşturulmuştur. Bu sayede de çamurun aerobik stabilizasyonu (ayrıştırılması) teşvik edilmektedir. *Chironomus'ların sayısı Tubifex'lerin aleyhine çoğalırsa, buradaki ekolojik denge bozulacak ve çamur aktarılması yani sıra çamur havalandırılması (kapilarite kurulması nedeni ile) gerçekleşmediği için; kilcal borularla metan ve N₂ birikmesi olacaktır. Şöyle bu gazlar ani çamur patlamalarına neden olabilmektedir. Tubifex ve Chironomas gibi hayvancıkların çamur organik maddelerini yemeleri sonucu çamurda stabilizasyon gerçekleşmektedir. Bu da çok O₂ tüketimi demektir. 100.000 Chironosmus larva popülasyonu 1 m² bulunması halinde Co₂ tüketimi 10,20 g O₂/m² gündür. Tubificide ve Chironomide'lerin kilcal boru sistemleri ile çamur hem havalanmakta, hem de Tubificide'lerin besin maddesi alması ile aktarılmaktadır. Olay pnömatik bir emicinin çalışma tarzına benzetilebilir. Tubificide'ler günde kendi ağırlıklarının birçok katını*

nakledebilirler.

Bu miktar $10 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{gün}$ dolayındadır. Bir m^2 'de yaklaşık $1.7 \cdot 10^6$ populasyon bulunur. Bu da 2.5 kg TBM/m^2 demektir. 1 m^2 alanda, 0.05 kalınlığında bir kesiti incelediğimizde 55 kg kütleyi 5 günde aktarır. Tamamen aktarılmış çamurda $10\,000 \text{ fert/m}^2$ bulunması halinde dışkı şeklindeki birikimler 12 haftada $8\text{-}12 \text{ mm}$ 'lik tabaka kalınlığındadır.

Hayvansal organizmaların dışkıları çamurun şekil değiştirme-sine, dane boyutuna ve yoğunluğunu arttırarak sebep olmaktadır. Özellikle Chironomide larvaları kilcal borularda ikamet ederken ipek ipliği gibi salgıladıkları madde ile borunun içini dokumaları çamur yapısını sağlamlaştırmakta ve suyuna akım hızı 0.3 m/sn civarlarında çamuru kaldıramamaktadır.

Çamur yiyen hayvancıklar tarafından çamurun stabilize edilmesi çamurun aerobik mikroorganizmalar tarafından ayrıştırılarak giderilmesinden daha fazladır. Bu nedenle gereğinde çamura *Tubificide*'lerin ve *Chironomide*'lerin aşılması da düşünülebilir.

Çamur'da ortalama olarak 400.000 fert/m^2 bulunur. Ekstrem durumlarda bu sayı $1.7 \cdot 10^6 \text{ fert/m}^2$ yi de bulmaktadır (2.5 kg TBM/m^2). KBM (kuru biyomas) olarak ise su içeriğine bağlı olarak $350\text{-}750 \text{ g/m}^2 \cdot \text{gün}$ OM'si % 30 veya fazladır. *Tubifix*'ler yediği organik maddenin % 50 sini gelişme ve solunum metabolizması için kullanılmaktadır. Buna göre $53 - 113 \text{ g OM/m}^2 \cdot \text{gün}$ tüketmektedir. 400.000 fert/m^2 deki eliminasyon verimi ise $14\text{-}31 \text{ g OM/m}^2 \cdot \text{gün}$ civarındadır ve bu değer bile iyidir. Çamur yüzeyindeki organik maddenin stabilizasyonunda midyeler de önemli rol oynamaktadır. Ancak midyelerin O_2 gereksinimleri ve istekleri *Tubificidae*'lere kıyasla fazladır. *Tubifix*'ler $2,5 \text{ kg TOM/m}^2$ dolayında da bulunabilmektedirler.

- Zooplanktonların yüzme hareketleri sırasında oksijensiz yerlerde türbülanslı karışımı sağlamaları

- Organizmaların kullandıkları kinetik enerji ise atıksuyun organik madde içeriğinden kaynaklanmaktadır.

- Biyolojik ince filtrasyon olayı; serbest suspanze bakteriler yerleşik hayvansal organizmalar (**Protozoo, sünger, midye, böcek larvaları, yosun hayvancığı, rotator v.s**) ve zooplantonlar tarafından giderilmektedir. Zooplankton'lar atıksu ile birlikte gelen bakterilerinyaklaşık % 99 'zuna varan

kismini bu şekilde tutmaktadır. Bu özellikle de patojen organizmaların giderilmesi açısından büyük önem arz etmektedir. Bu çeşit mikrobiyolojik savaş su ortamında insan sağlığı lehine gerçekleşmektedir. Biyolojik ince filtrasyon özellikle olgunlaştırma lagünlerinde (**maturation ponds**) uygulanır.

- Çözünmüş anorganik maddelerin genel bitki bakteri veya mantar biyomasına geçmesi ile uzaklaştırılması

- Dip çamurundaki anaerobik fermentasyon prosesleri yoluyla da enerji bakımından zengin (metan, H₂) bileşiklerin atmosfere geçmesi Stokes Yasasına göre;

$$V_s = g/18 (gt - gw) d^2/z$$

$$V_s = \text{çökme hızı (cm/sn)}$$

g = yer çekimi (981 cm/sn²); d = dane çapı (cm); z = viskozite (g/cm.sn); gt = organizma yoğunluğu (g/cm³); gw = suyun yoğunluğu (g/cm³)

Çöken organik maddelerin ilavesi ile tüketilmesi arasındaki dengenin bozulması çürük çamur sıralarının oluşmasına neden olur. Bu fakültatif lagünlerden çıkış suyu çok düşük BOİ₅ değerine ve çok düşük bakteri sayısına sahip olması nedeni ile tarımsal alanların sulanmasında kullanılabilir. (**Uhlmann ve Schwarz 1980**)

3. Yapay Ekosistemlerde Koku Oluşturabilecek Kaynaklar

. Kanalizasyon şebekesinin eğiminin az olması, şebekede oturmaların gerçekleşmesi, ve kirlenmelerin olması, kati maddeleri birikmesine ve sonrada ayrışmasına, önce aerobik , hemen sonra da anaerobik bir ayrışma olur. Bu da koku sorununu yaratır.

. Havalandırılmalı kum tutucularda , ön havalandırma kısımlarında anaerobik koşullar oluşur ve koku meydana gelir,

. Ham çamuru basan pompa merkezlerinde ve çamur koyutucularda

. Geri dönüş çamurunun basılması sırasında ,

- . Fazla yüklenmiş damlatmalı filtrelerde ,
- . Yeterince çürütülmemiş ve / veya stabilize edilmemiş atıksu arıtma tesisi arıtma çamurlarının taşınması sırasında, ayrıca çamur suyunun alınması ve çamurun koyulaştırılması sırasında,
- . Çöp ve kati atık depolama yerlerinde,
- . Kompost tesislerinde,
- . Biyogaz tesislerinde ve ünitelerinde,
- . Çöp yakma tesislerinde kokular oluşmaktadır ...

4. İçme Suyu Arıtılmasında Biyolojik Prosesler ve Organizmalar

Durgun birikinti suda P ve N miktarına bağlı olarak ışıkta yeşil ve kizil algleri oluşmaktadır. Sonuç ise temizleme işi, filtre tıkanması tad ve koku oluşması tabanda da O₂ azalması, eksikliğidir. Tahliye kanallarında alg üremesi ile filtreden geçirme süresi 4 haftadan birkaç güne iner ki bu da masraf demektir (**İşletme masrafı % 30 artar**). Avantajı ise O₂ zenginleşmesi elek etkisi bakteri azalması gibi sayılabilir. Zenginleştirme besleme havuzunu arada bir devreye sokup P ve N miktarını azaltmak gerekir

Kum filtrelerinde bakteri protozoa ve hayvansal organizmalar gelişmektedir. Elek etkisi yani sıra aynı zamanda biyolojik arıtma prosesleri de gerçekleşmektedir. Organik maddeler parçalanırken çok oksijen tüketileceği için kirli sularda iki kademeli ara havalandırma kum filtresine ihtiyaç vardır.

Hayvansal organizmalar (**Kurtlar, Su piresi, Küçük yengeçler**) bakterilerden, mantarlardan, alglerden ve taşınan *detritus* 'lardan yaşarlar. Böylece filtrenin kullanma ömrünü azaltır.

Her iki filtre kumundada (**yavaş ve hızlı kum filtreleri**) 20 organizma türü ve 600 fert saptanmıştır.

Yavaş kum filtrelerinde patojen organizmaların ve virusların % 90' ni tutulmaktadır. Suyun demiri ve mangani yumaklaştırılıp çöktürülmesi

gerekmektedir. Katalitik kimyasal reaksiyonların yanı sıra biyolojik olaylarda buna yardımcı olmaktadır.

Örneğin *Thiobacillus ferroxydans*, *Callionella* gibi demir bakterileri iki değerli demirin üç değerli demire oksitlenmesini sağlamaktadır.

Demir bakterileri kemoototrof bakterilerdir.

Enerji ihtiyaçlarını kimyasal parçalanma olayından sağlar. Gelişmeleri için de demir konsantrasyonunun 0,2 mg Fe⁺⁺/l den fazla olması gerekmektedir.

Mn giderilmesini de mangan bakterileri gerçekleştirmektedir. Ancak bunun için ek olarak organik substrata ihtiyaç duymaktadırlar.

Biyolojik olarak mangan giderme filtresinin çalışır hale gelmesi çok zaman almaktadır. Mangan bakterileri de 0.3 mg Mn⁺⁺/l den sonra gelişmektedir.

5. Yavaş Kum Filtrelerinde Bakteri Florasının Ayırıştırma Verimi

Fekal Streptokoklar filtre pasajı sırasında %20 eliminasyona uğramaktadır; Coliform'lar ise % 95. Filtrattaki bakteri sayısı engelleyen ve teşvik eden faktörlerin etki ürünüdür. Filtre zarının oluşması ve bunun mekanik arıtma etkisi yapması ile bakteri elimine edilebilmektedir. **Adsorptif kuvvetlerin** bakteriyi elimine ettiği bilinmektedir. Bakteriler pasif veya aktif olarak kum taneciklerine bağlanır, bu da bakterinin sudan uzaklaştırılmasına neden olur. Sızma olayının gerçekleştiği çok kısa zaman dilimlerinde meydana gelen besin maddesi noksanlığı önemli derecede bakteri elimine edecek düzeyde değildir.

Steril bir kum, 58 000 Typhus bakterisi içeren toprakla aşılana 24 hafta sonra 90 ve 43.000 *Paratífus bakterileri* ile aşılandığında da 24 hafta sonra, 120 adet olarak görülmüştür. E.Coli de aynı şekilde uzun süre açlığa karşı dayanmıştır ve dayanabilmektedir.

Antagonistik etki ile azalma ise alg, *aktionmüset* gibi canlıların antibiyotik salgılamaları veya protozoların ve metazooların doğrudan besin olarak kullanmaları ile gerçekleşmektedir.

Bakterilerin yaşam aktiviteleri birinci derecede suyun kimyasal değişimler uğraması ile ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle kum filtrelerinde hangi tür bakterilerin bulunduğunu ve bunların neler yaptığını bilmek

gerekmektedir.

Fosfat iyonlari, aerob koşullarda, yavaş kum filtrelerinde ;

- **Göllenme kısmında algler tarafından alınarak,**
- **Filtre kısmında bakteriler tarafından alınarak,**
- **Bakterilerin minerilizasyonu sırasında açığa çıkarak,**
- **Kimyasal ve adsorptif kuvvetlerle çökelme yollari ile dönüştürülmektedir.**

Deneyler yavaş kum filtresine fosfat dozlanması halinde filtrenin arıtma veriminin (**organik madde parçalama**) arttığı görülmektedir.

Göllenme kısmında örneğin azot 50 mg NH_4^+ - N/l iken filtrenin 20 cm derinliğinde 10 mg/l ve 40 cm derinliğinde de 0,05 mg NH_4^+ - N/l olarak tespit edilebilmektedir.

Başlangıçtaki pH değeri 9,5 dan 20 cm'lik pazajdan sonra, pH = 7,5 olmaktadır.

Filtrenin üst 20 cm'sinde ise, PO_4^{3-} iyonun artışı görülmektedir.

Bakteriler tarafından alınan organik maddenin % 52,5'i kendi bünyelerinde inşaa edilmekte ve % 47,5 'i ise kendi işletme metabolizmasında kullanarak enerji bakımından fakir duruma düşmektedir. Mineralize edilmiş ürünler oluşmaktadır.

Suyun 0,1 - 0,2 mg/l düzeyindeki Fe^- içerikleri 20 cm filtre derinliğinde elimine edilebilmektedir. Fe ve Mn 'in bakteriler tarafından çöktürülmesi olayı uzun süreden beri bilinmektedir. Fe ve Mn iyonlari oksijensizlik nedeni ile fitre tabakasının minerilizasyon gücünü kaybetmesi halinde yeraltı suyunda görünür.

Oluşumunun nedenleri ise :

- **Oksijensizlik,**
- **İndirgeyen maddelerin bulunması (Organik ayrışma ürünleri, H_2S , NH_4).**
- **Yeterli miktarda serbest CO_2 'nin bulunması.**

Alglerin filtre yatağındaki gelişimi de aylara göre değişik, değişik olmaktadır.

- İlkbaharda *Kieselalgleri (Melosira türleri)* görülürken; yaz aylarında ise, *Cladophora chaetophora*, *Ulothrix* gibi yeşil algler bunu takip eder. Sonbaharda tekrar *Kiesel algleri (Melosira türleri)* görülür. Bazen ilkbaharda kısa süreli olarak, zayıf bir şekilde *mavi alglerin de (Oscillatoria)* geliştiği görülmektedir.

Yavaş kum filtrelerinde gelişen alglerin mekanik etkisi hem olumlu, hem de olumsuz türdendir. Özellikle *Diatomaların* baskın olması, filtre tıkanmalarına neden olmaktadır.

Yeşil algler kuvvetli güneş ışınlarına maruz kalınca, filtre yüzeyinden koparılırlar ve filtrenin geçirimsiz olmasını engellerler. Alg kütlelerinin bulunması halinde kum filtresinin üzerine gelen kil mineralleri bile tıkanmaya neden olamaz.

Algler, gerek gelişmeleri ile gerekse de gaz kabarcıkları vererek filtre üzerindeki sedimentleri gevşetmektedirler. Böylece filtrenin ömrü uzatılmaktadır.

Alg üremesinin oksijen bilançosuna olumlu katkıda bulunması isteniyorsa; algler ölmeden önce filtre üzerinden toplanmalıdır. **Alglerin ani ölümleri anaerobik proseslere ve bunun belirtisi olan yeraltı suyundaki mangan konsantrasyonunun artmasıdır.**

Alglerin pH'i değiştirmeleri, PO_4 'i azaltmaları filtre fonksiyonuna olumsuz etki etmemektedir. Alglerin bakterisid etkileri olduğu iddia edilmektedir.

6. Su Depolarındaki ve İletim Hattındaki Organizmalar

Burada görülen organizmalar ya doğrudan doğruya dışardan sürüklenmişlerdir yada bu su yapılarının içindeki gelişmelerdir.

Eğer kum filtresi fazla yükleme altında kalırsa ve zamanında temizlenmezse, o zaman bakteriler protozoalar ve hayvancıklar temiz su tarafına geçebilir. Organizma su depolarına ise havalandırma ve savaklama (**taşım**) katları ile gidebilir.

Buna olanak vermemek için de kum filtreleri zamanında yıkanmalı, elek **(mikroelek)** kullanılmalı yarık, çatlak, kapi, pencere vb. açıklıklar iyi kapatılmalıdır.

Bir diğer taraftan temiz su da hala, organizmalar için yeterli besin maddeleri varsa ikincil olarak organizmalar burada yerleşmeye ve gelişmeye başlarlar.

Nasil?

- **Temiz su depolarına suni reçine boyalar sürülmüşse ve usulüne göre yapılmamışsa bakteriler ve mantarlar için besi ortamı oluşturulmuş demektir.**

- Işık girmesi halinde ise fosfatlar alg gelişmesinin teşvik eder.

- Klorlama ile hayvansal organizmalar da bakterilerin gelişmesi için gerekli olan besin maddelerini verir.

- İyi aritilmemiş temiz su da ayrıca, demir ve patojen bakterileri gelişir.

- (=Asseln), kurtlar ve (Zuckmüchenlarven = sinek larvalari) besleme zincirinin doğal bir sonucu olarak, yani bakteri ve mantarların gelişmesinden sonra çok miktarda ürer.

- **Boru bacalarında katlarında kalorifer iletim borularının etkisi ile su ısınabilir.**

- Su depolarında veya iletim hatlarında yeterli tam karışım olmaması ölü bölgelerin noktaların oluşması ve su depolarında film tabakalarının oluşması beklenebilir.

Bu olguyu engellemenin en başta gelen kuralı Fe, Mn, P gibi organik ve ayrıca organik maddelerin sudan uzaklaştırılmasıdır. Biyolojik inert boyaların ve maddelerin kullanılması ve kimyasal savaş diğer önlemler olarak sıralanabilir.

Burada sirasi iken biraz klorlamadan söz etmede yarar var;

Klorlama dozları; içme suyundaki sinir değeri 0.3 - 0.6 mgCl/lt

Bakteri, protozoalar 0.2 - 0.5 mgCl/lt

Salgi zarlı ipiliksi bakteriler Şok klorlama

Bir günlük sinek lavraları	3 mg Cl/lt
(Wasser asseln)	15 mgCl/lt
Yeşil algler	5-150 mgCl/lt

Şeklinde uygulanabilir.
Kloramin (Klor ve amonyak) klordan yüz kat daha etkindir.

Bakir verilmesi:

Algler	0.1-0.5 mg CuSO ₄ /lt
(Bazi durumlarda 10 mg/lt'e kadar verilir)	
Sphaerotilus'a	0.2 mg/lt
Protozoalar'a	0.2-0.6 mg/lt
Deresuyu pire yengeci (= Bachflohkrebse)	10 mg/lt

Yüksek dozlarda bakir verilmesi halinde bir alıcı ortama verilmeden önce yeterince seyretilmelidir. Yoksa balık ölümleri beklenebilir. İçme suyundaki sınır değeri ise 0.05 mg/lt dir.

7. Deniz Ekosisteminin Kirlenmesi ve Etkileri

Deniz ekosistemine ulaşan kirleticiler genelde kıyı şeridinde belirliliğini kirliliklere sebep olurlar. Atıksuyun bünyesinde zararlı maddeler ve patojen organizmalar midyelerde ve alglerde depolanır. **Tuzlu suda ölen tatlısu algleri planktonları da sürekli olarak ortama organik madde taşımış olurlar. Bu nedenle tatlı su ağzları (Deltaları) ayırtırma verimi yüksek geçiş bölgeleri (Taşıyıcı) olarak görülmelidir.** Atıksularda kirlilik-te patojen bakteriler ve virüsler kıyı sularına iletilmektedir. Midye vs. birikmesi ve kıyıda artıklarda çoğalması bir enfeksiyon tehlikesi oluşturmaktadır. Yüzer maddeler de estetik açıdan hiç de güzel değildir.

P, N gibi besin maddeleri ayrıca akarsularla birlikte kıyı bölgesine taşınmaktadır. Bu da tek hücrelilerin aşırı bir şekilde çoğalmasına neden olmaktadır (*Dinoflagellaten*). Bunlar da toksik maddeler içermektedir. Midye ve benzeri hayvanlarda bu tek hücrelilerin birikmesi yiyen insanlarda bağırsak hastalıklarına ve bir tür deniz kuşunun da ölmesine sebep olmaktadır. *Kuzey denizine Rhein den 65 t/g, Themse'den 17 t/g ve Ems, Weser, Elbe'den 100 t/g olmak üzere toplam olarak günde 182 ton fosfor verilmektedir.* Hamburg'tan günde 700 m³ çamur dökülmektedir. Sakıncalı sanayi artıkları dökülmektedir.

Kağıt üretiminde ve PVC üretiminde oluşan atıksularda civa miktarı yüksektir.

İngiltere kıyılarında 1 milyon ton/yıl termik santral külü, 1.8 milyon/yıl kömür üretiminden kati maddeler 500 ton/yıl kimya sanayi artıkları yük olarak gelmektedir. Ayrıca günde 1.000 ton H_2SO_4 , 2500 ton olur.

250 ton demirsülfat, 7 ton çinko tuzları, ve 3 ton fenol da ilavesidir. Bu verilenler kirleticilerin tamamı değildir.

8. Su Temini ve Dağıtımının Mikrobiyolojisi ve Biyolojisi

Virusler, Protozoalar, Hayvanlar ve Bitkiler

Yeraltı suyunda, kuyularda, içme suyu arıtma tesislerinde, su depolarında ve dağıtım şebekelerinde görülebilirler. Patojen organizmaların varlığı suyun kalitesini bozar. Suyun kaynağı ve kirlenme derecesi hakkında bir fikir verir. Veya su arıtılma-sında yardımcı olurlar (yavaş kum filtrelerinde olduğu gibi), veya da boru hatlarında demir bakterilerin sebep olduğu gibi dağıtım engellerler.

Yeraltısuyunda hem gerçek yeraltısuyu hayvanlarına, hem de yüzeysel sudan karışmış taşınmış organizmalara rastlamak mümkündür. Gerçek yeraltısuyu hayvanları ışiksiz ortamlara adapte olmuştur, *Niphargus* = mağara salyangoz kaynak suyu kurtları gibi. Eğer kaynak suları arıtılmadan şebekeye verilirse bu hayvanları, organizmaları suyun içinde bulmak mümkündür. Estetik olmayan bir durum, fakat su kirlenmesi anlamına gelmez. Yüzeyden taşınan;

Tüm yeşil plankton algleri

Kuyu sel kurdu(gordius)10-50 cm uzun

Kuyu kazıcılar (Haplotaxis) 30 cm uzun

gibi organizmalar, yeraltı suyunun yüzeysel sulardan etkilendiğini gösterir.

9. Kiyi Sızdırması ve Toprak Pasajı Sirasındaki Organizmalar ve Biyolojik Prosesler

Akarsu içindeki fazla askıda kati madde ve fitoplankton bulunması tabanının tıkanmasına sızmanın engellenmesine neden olur. Ayrıca akarsuda besin

maddesinin fazla olması *bakterilerin mantarların, protozların ve hayvansal organizmaların da (Porlarında)* çoğalmasına sebep olur ve kuyulara da iletilmiş olunur. Bu kuyu suyunun tadını bozacağı gibi kuyu besleyen kanalların tıkanmasına da sebep olabilir. Hayvansal organizmalar tıkanmayı engelleyici faaliyet göstermektedir. Biyolojik ayrışmayan maddeler ise elimine edilememektedir. Zehirli maddeler biyolojik parçalama proseslerini engellemektedir. Toprak pasajı sırasındaki olayları **Şekil 38'de** incelendiğinde daha kolay anlamak mümkündür.

Bir su ortamı çok sayıda mikroorganizma bitki ve hayvan için biyotop oluşturur. Bu biyosönöz de suyun abiyotik faktörlerine (*Sıcaklık, ışık, şiddet, organik anorganik besin maddeleri v.b*) bağlı olarak ortamın kalitesini değiştirir. O₂ miktarı, tadı, kokusu, rengi ve içindeki biyomas miktarı ve türce dağılımı. Su ortamının kendi kendini arıtma yeteneğini aşan boyutlarda kirlilik geldikçe olumsuz yönde değişir. **Şekil 39'** da bunu görmek mümkündür.

10. Bir Sucul Ekosistemde Dışsal Etmenlerin Etkileri

. Sucul ekosistemdeki biyolojik prosesler abiyotik unsurlardan **yağmur, rüzgar, sıcaklık, tuzluluk v.d.** gibi parametrelere bağlıdır. Örneğin sıcaklığa bağlıdır. Sıcaklıkların farklı olması tabakalaşmaya neden olmaktadır. Örneğin gölde **Şekil 40'da** de görüldüğü gibi tabakalaşmalara neden olmaktadır.

. Yüzey tabakanın yenilenmesine sıcaklığın ve gaz açığına bağlı olarak yüzeyde gaz alışverişi olmaktadır.

. Güneş ışınları birincil üreticilerin anorganik maddelerden organik madde üretimi ve bu sırada ortama O₂ vermesi için gerekli olan enerjiyi sağlar. Sığ sularda, lagünlerde, küçük göllerde ışık suyun dibine kadar, normalde suyun bulanıklığına ve rengine bağlı olarak gidebilirken; derinliği fazla olan göllerde, barajlarda bu olay ancak kıyılarında gerçekleşmektedir (**Şekil 41**).

Böyle bir sucul alıcı ortama gelen besin maddeleri organik ise birincil olarak O₂- bilançosunun anorganik ise önce bitki üretimini, sonra da CO₂- bilançosunu etkiler.

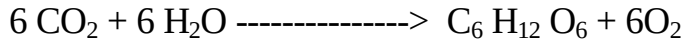
. Bir durgun su, veya su ekosisteminde ışıklı ve ışiksiz bölge-leri görmek mümkündür. Epiliminyon tabakası genelde CO₂, H₂O, NO₃, PO₄ gibi anorganik maddeleri, güneş enerjisi yardımı ile selüloz, yağ, karbonhidrat, protein gibi organik maddelere dönüştürürler. Ototrof organizmalarla doludur (**Üreticiler**). Bu ise O₂- bilançosunun ikincil olarak bozulmasına koku ve

toksik maddelerin üretilmesine suların filtrelerde iyi arıtılmasının engellenmesine sebep olabilir. Ayrıca bu üretilmiş ürünler hayvansal organizmalar için (**tüketiciler**) besin maddesi kaynağını oluşturmaktadır. Bu tabakayı kısaca üst tabaka beslenme tabakası olarak görmek mümkündür. Atlama tabakası olan metalimniyondan sonra gelen hipolimniyon, derin su yani parçalanma ayırıştırma tabakası ise heterotrof organizmalarla doludur.

Bakteriler (105-106 bakteri/ml) ve protozoalar organik madde-ri enerji kaynağı olarak kullanıp parçalarlar. Böylece besleme tabakasında üretilenlerle atıksularla iletilenler parçalayıcılar tarafından burada O₂ tüketerek parçalanırlar.

10.1. Sucul Ekosistemde Biyolojik Prosesler

Asimilasyon (özümleme, fotosentez) prosesleri olmaktadır. CO₂, H₂O mineral maddeleri (N, P, S, vs.gibi) ve enerji kullanılarak organik madde ve O₂ üretilmektedir:



Bölüm 1'deki ilgili Şekil'de de görüldüğü gibi de ayrışma parçalanma (**disimilasyon, solunum, fermentasyon, çürüme**) olmakta ve organik maddeler oksijenli ve oksijensiz ortamdan fakir ara ürünleme (**organik asitler, alkoller**) veya anorganik nihai ürünlere (CO₂, H₂O, NO₃ vb.) indirgenmektedir.

. Biyolojik faaliyetler sırasında O₂ miktarı da etkilenmekte ve epilimniyonda bu değer doygunluk değerini de aşmaktadır. Buna karşılık hipolimniyon da ise olay hale stagnasyon dönemlerinde oksijensizliğe kadar gitmektedir. (**Şekil 42**)

. Karbon ortamda organik madde CO₂, HCO₃, CO₃ şeklinde bulun-maktadır. **Kireçli maddelerin girmesi, atmosferden girdiler ve disimilasyon yolu ile ilaveler olmaktadır.** Karbon azalması ise bitkide hayvanda ve zemin çamurunda tespit ile olmaktadır. Kuvvetli, şiddetli işillanma durumunda aşırı alg üremesi ile ortam doğal olarak (biyolojik yolla) kireçsizlendirilmiş ve pH artırılmış olur. **Şekil 43'** de sucul ekosistemdeki C - Döngüsü görülmektedir.

. Azot da organik madde inşaatında özellikle protein yapılmasın da çok önemli yapı taşıni oluşturmaktadır. Azot ortama erozyonla, atıksu ile azot

bağlayan bakterilerle, mavi alglerle vb. gibi yollarla gelebilir. Denitrifikasyon ve beslenme zinciri yolu (bitki hayvan) tespit veya elimine edilebilir; dip çamurunda birikebilir.

. Kükürt de protein oluşmasında önemli bir yapıtaşıdır. Sucul ekosisteme giriş protein ve sulfat şeklinde olabilir. H_2S oluşumu ise Çevre Mühendisliği açısından önem arz etmektedir.

. **Justus von Liebig'e** göre fosfor genelde bitki gelişmesini sınırlayıcı bir faktördür. Sucul ortama atıksu (**deterjan**) drenaj suyu (**gübre**) erozyon (mineralin yapısında) gibi yollarıyla gelmektedir. O_2 'li sularda fosfor Fe^{+++} iyonları tarafından ve humus kolloid kompleksinde bağlanabilir. Dip çamurunun anaerobik bölgesinde çürüme sırasında fosfor tekrar açığa çıkar ve sirkülasyon dönemlerinde de su kütlesinde yapılır.

10.2. Akarsularda Biyolojik Prosesler

Göllerde ototroflar tarafından organik madde üretimi hakim durumda oluşu nedeni P ve N girdisinin irdelenmesi, incelenmesi önem arz ederken; akarsularda daha ziyade heterotrof organizmalar egemen durumdadır. Bundan dolayı da O_2 tüketen maddelerin girdisini bilmek, incelemek önemlidir.

Akarsu ekosistemine zarar ise;

- **Çözölmüş ve çözölmemiş organik maddenin ilavesi**
- **kömür, kum, tuz, demiroksit gibi anorganik maddelerin akarsuya akitilmesi**
- **Zehirli ve engelleyici maddelerin verilmesi**
- **Hasta yapıcı mikropların verilmesi yollarıyla verilebilir.**

10.3. Sucul Ekosistemlerin Biyolojik Olarak İncelenmesi

Sularımızın kirlilik düzeylerine göre bitkisel ve hayvansal organizma topluluğu oluşmaktadır. Şöte bu organizmalardan yararlanarak suların kalitesi hakkında bir fikir yürötmek, sınıflandırmak mümkündür. Su kalite sınıfı (SKS) dörde ayrılır. (**Bak Tablo 16 ve Şekil 14**).

Tablo 16 : Su kalitesi siniflari (SKS)

SKS	Tanimi	İfade rengi
I	Kirlenmemiş	Mavi
II	Az kirlenmiş	Yeşil
III	Çok kirlenmiş	Sari
IV	Çok fazla kirlenmiş	Kirmizi

Biyolojik incelemeler uzun süre için bir yorum ve açıklama getirirken; kimyasal analizler ise ancak numune alındığı anı ifade eder, tanımlar.

11. Soğutma Suyunun Biyolojik Yaşama Etkisi

Sularda yaşayan organizmalar genelde sıcak kanlılarda olduğu gibi çevre sıcaklığına bağlı olmadan kendi sıcaklıklarının ayarlanmasını yapamazlar. Bu nedenle soğutma suyunun sebep olacağı sıcaklık artması canlıların yaşamlarını ne kadar uzun süre değişmiş kalırsa o kadar hızlı ve popülasyonu değişir. Bu nedenle de sadece soğutma suyunun maksimum sıcaklığının limit olarak verilmesi yeterli değildir.

. Balık, midye v.b gibi makroorganizmalara etkileri vardır.

Balıklar farklı O₂ miktarına sıcaklığa, derinliğe ve akıntılara ihtiyaç gösterirler. Bazı balıklar (Alabalık vb.) oksijence zengin serin 20°C sıcaklıklarda kuvvetli akıntılarda ve derin sularda yaşarken; bazıları da (Barber= ; Brasser= ve Karpfen= sazan) az oksijenli, ılık (25-26 °C), yavaş akıntılı ve az derin sularda yaşarlar. Mevsimlere göre su sıcaklığının değişmesi onların yaşam siklusünü (döngüsünü) oluştururlar (Yumurtanın gelişmesi, üremesi, gelişmesi, büyümesi vb.).

Salyangoz, midye ve tatlı su süngerleri yüksek sıcaklıklarda hızlı gelişmektedir. Hale hazır bu canlıların gelişmesi hiç engellenmezse, çok hızlı gelişirler, kullanma içme sularının, hatlarının ve türbünlerinin tıkanmasına sebep olurlar; büyük kütleler halinde üremesi ise suyun tadını bozulmasına bile neden olmaktadır.

.Termik kirlenme su da yaşayan mikroorganizmaları da çok etkilemektedir.

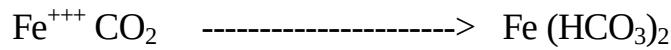
Her bir derece sıcaklık artması O₂ tüketilen proseslerin (nitrifikasyon da buna dahil). Her gün O₂ tüketiminin % 16 artmasına neden olur. Heterotrof prosesler ototrof proseslerden daha fazla olduğu için de zamanla O₂ azilir, yok olur.

Planktonların popülasyonu değişir. 25 °C'nin altında kizel algleri yaşarken sıcaklığın 28 °- 30 °C'ye çıkması ile yeşil ve mavi algler tarafından ortamdan uzaklaştırılırlar, silik kalırlar. *Toksik metabolizma artıkları (fitotaksin) koku ve tad maddeleri* suyun kalitesini bozarlar 28-30 ° C dolaylarında zengin *Aktinomyces* popülasyonuna rastlanabilir, bu da ortama fazla antibiyotik ve fitotoksin salgılar.

Ayrıca tahliye kanalına aniden verilen sıcak su şoku planktonların hemen ölmesine sebep olabilir. Böylece heterotrof organizmalar için besin maddesi oluşur.

Patojen organizmaların iyi gelişme sıcaklığı 37° C olduğu için termal kirlenme parazit ve mikropların gelişmesini sağlar.

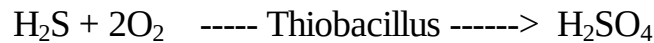
Mikroorganizmalar iletim hattı cidarlarında ayrıştırma ve parçalanmalara neden olabilirler. Örneğin borularda çamur birikmesi ve biriken çamurların organik maddelerinin parçalanması sonucunda CO₂ oluşur. CO₂ ise çözünebilir demir bikarbonatların oluşmasını sağlar:



Desulfovibrio'lar tarafından anaerobik parçalanma sonucunda ise H₂S oluşur;



[H] = organik madde, hidrojen veren kaynak ve sonra *Thiobacillus* bakterileri yoğunlaşmış su tabakası oksitleyerek sülfata yükseltir.



Şekil 45' de bu olayı görmek ve göz önünde canlandırmak mümkündür.

12. Su Alma Yapılarındaki Organizmalar

Bakteriler biyofilm tabakası oluşturmakta O₂ transferini engellemektedirler, ayrıca korozyon engelleyicilerin metal yüzeye temas etmesine mani olmaktadır. Aşırı biçimde bakteri üremesi (*Sphaerotilus*) tıkanmalara neden olabilir. Kalın biyofilm tabakaları mikrobiyel korrezyona neden olmaktadır.

Mantarlar ise genelde ahşap konstruksiyonuna zarar vermektedir. Mantar çürümeleri görülmektedir.

Algler kanalların soğutma kulelerinin ve su alma yapılarının ışık alan kısımlarında fazla biyomas oluşturlar ve tıkanmalara neden olabilirler.

Tatlısu süngerleri ve yosun hayvancıkları ise kalın tabaka (kaplama) oluşturlar ve dolayısıyla boru veya kanal çaplarını daraltırlar. Bunlar sabit kalan yüksek sıcaklıklarda bol miktarda gelişmektedir.

Üç kenarlı midyeler (*Dreissena polymorpha*); Filtreleme aygiti ile su içindeki askıda katı maddeleri alırlar. Buna rağmen iletim borularındaki izgara tesislerindeki ve pompalardaki zararları yararlarından çok daha fazladır. **0.1 mm den küçük larvaları her türlü elektron geçmekte iletim hatlarında dörtyıl içinde 4 cm boyunda olacak kadar büyümektedirler.** Bunlar daha sonra 30 cm kalınlığa kadar tabakalar oluşturmaktadır. Dolayısıyla da boru kesitlerini daratmaktadır ölmeleri halinde ise çürüksü, küflü koku ve tad ve çok sayıda bakteriler oluşmaktadır.

Bu oluşumları engellemek için şok klorlanması, biyosid uygulaması, bakır verilmesi, ozonlama yapılabilir. Ayrıca 1.5 mg Cl/lt klorlama ile birlikte filtrasyon kombine tatbik edilebilir.