



BİYOLOJİK TEMEL İŞLEMLER

Biyolojik Metabolik Süreçler

Prof.Dr. Özer ÇINAR
Yıldız Technical University
Department of Environmental Engineering
İstanbul, Turkey

DERS PLANI

Hafta	Tarih	Konular
1	11/15 Şubat 2019	Biyolojik Arıtma Metotlarına Genel Bakış (Teorik)
2	18/22 Şubat 2019	Biyolojik Metabolik Süreçler (Teorik) – QUIZ (1-11)
3	25 Şubat /01 Mart 2019	Biyolojik Enerji Mekanizmaları ve Biyolojik Arıtma Kinetikleri (Teorik) – QUIZ (11 – 27)
4	4/8 Mart 2019	Biyolojik Enerji Mekanizmaları ve Biyolojik Arıtma Kinetikleri (Uygulama)
5	11/15 Mart 2019	Biyolojik Arıtma Kinetiklerinin Modellenmesi (Teorik) – QUIZ (28-41)
6	18/22 Mart 201	Biyolojik Nutrient Giderimi (Teorik) – QUIZ (50 – 65)
7	25/29 Nisan 2019	Biyolojik Nutrient Giderimi (Uygulama)
	30 Nisan 2019	TEKNİK GEZİ
8	1/5 Nisan 2019	Askıda Büyüyen Aerobik Sistemler (Teorik) – QUIZ (66-80)
9	8/12 Nisan 2019	(Yıl içi sınav)
10	15/19 Nisan 2019	Askıda Büyüyen Aerobik Sistemler (Teorik) – QUIZ (80-97)
11	22/26 Nisan 2019	Askıda Büyüyen Aerobik Sistemler (Uygulama)
12	29 Nis/3 Mayıs 2019	Aerobik Biyofilm Sistemleri (Teorik) – QUIZ (104-120)
13	6/10 Mayıs 2019	Aerobik Biyofilm Sistemleri (Uygulama)
14	13/17 Mayıs 2019	Anaerobik Arıtma Sistemleri (Teorik+Uygulama) – QUIZ (121-151)

Mikroorganizma Türleri ve Arıtımdaki Roller

- Bakteri } Prokaryotik (çekirdek zarı yok)
- Arke } Prokaryotik (çekirdek zarı yok)
- Ökaryo → Ökaryotik (çekirdek zarı var)

1. Bakteri (e⁻ verici kaynağına göre)

heterotrof

ototrof

1. e⁻ verici ve karbon kaynağı=organik bileşikler
2. Organik madde giderimi ve stabilizasyonu

1. e⁻ verici kaynağı=inorganik bileşikler
2. Karbon kaynağı=CO₂
3. Nitrifikasyondan sorumlu

Mikroorganizma Türleri ve Arıtımdaki Roller

1. Bakteri (e⁻ alıcı kaynağına göre)

aerobik

ANoxic
fakültatif

anaerobik

(Nitrifikasyon yapan
bakteriler)

(Denitrifikasyon bakterileri)

Mikroorganizma Türleri ve Arıtımdaki Roller

2.Arkeler (metan üretimi) metanojenler, zorunlu anaeroblar

3.Ökaryolar

fungi: Yetersiz oksijen, düşük pH da hızla çoğalarak, filamentli bakteriler gibi problem yaratabilirler (askıda büyüme sistemlerinde).

Protozoa: askıda büyüyen sistemlerde, kolloidal madde ve dağılmış bakterileri besin kaynağı olarak kullandığından, bulanıklığı azaltır.

Biyokimyasal İşlemlerde Mikrobiyal Ekosistemler

**Aerobik ve anoksik
çevre koşulları**



respirasyon

**Anaerobik çevre
koşulları**



fermantasyon

Aerobik / Anoksik İşlemler

1. **Flok oluşturan organizmalar**
2. **Saprofit (organik maddenin degradasyonu)**
3. **Nitrifiying bakteriler (ototrofik)**
 - Nitrosomonas = amonyum-N → nitrit-N
 - Nitrobacter = nitrit-N → nitrat-N
4. **Predatörler**
 - Protozoa
5. **Nuisance organizmalar**
 - Flamentli bakteri, fungi (çökelme problemi)
 - Köpük oluşturan bakteriler

Anaerobik İşlemler

- Prokaryotik (bakteri ve arkeler)

Anaerobik İşlem:

1. Hidroliz

2. Asidojenis (bakteri)

- Fermantasyon

Amino asitler ve şekerler → Asetik asit ve hidrojen

- Anaerobik oksidasyon

Uçucu asitler ve uzun zincirli yağ asitleri → Hidrojen

3. Metanojenis (arke)

- Asetik asit → Metan + CO_2 (2/3)
- Hidrojen + CO_2 → Metan (1/3)

groups are involved: (1) aceticlastic methanogens, which split acetic acid into methane and carbon dioxide (reaction 6), and (2) H_2 -oxidizing methanogens, which reduce

Anaerobic Operations

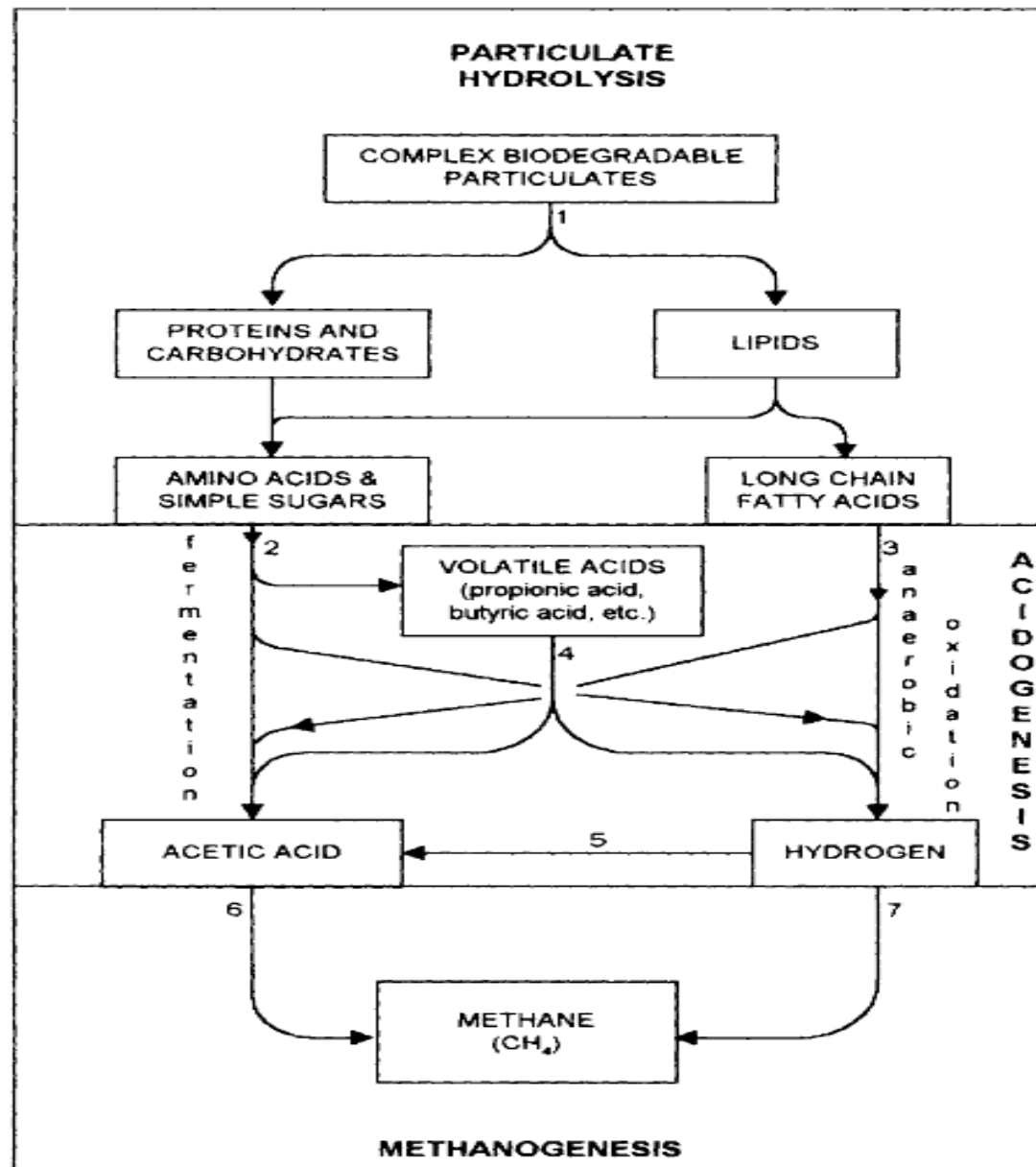
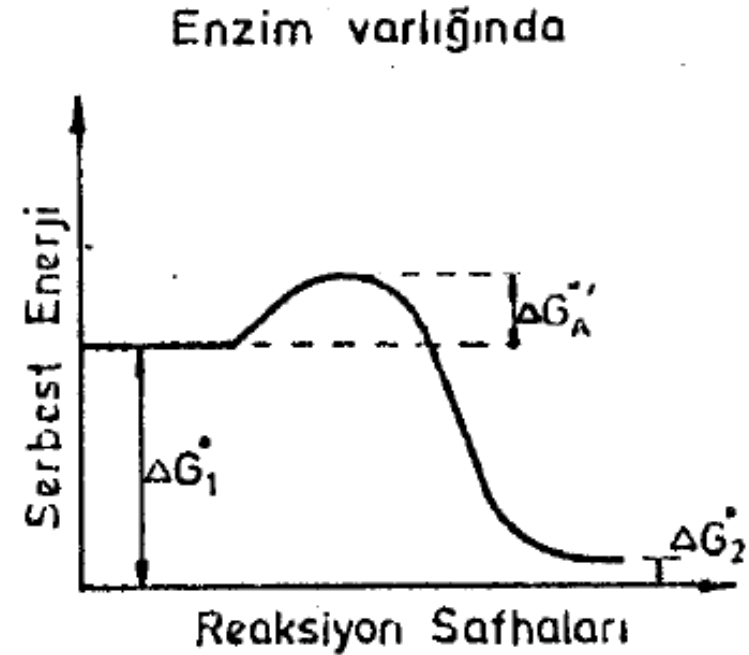
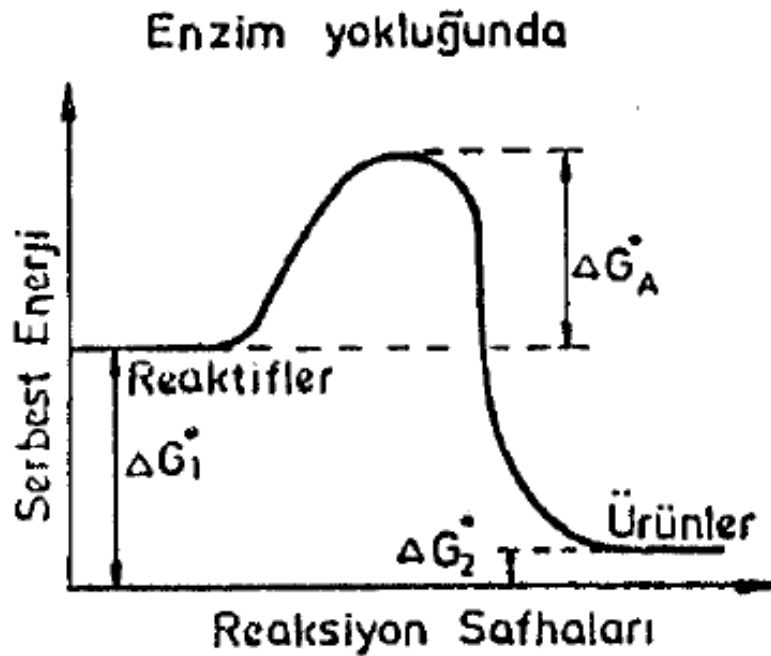


Figure 2.3 Multistep nature of anaerobic operations.

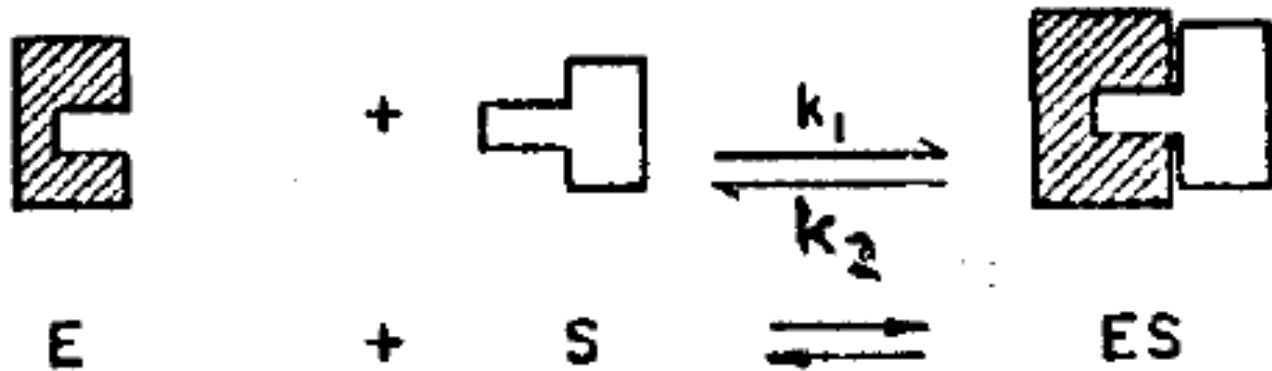
- Hücre içerisinde katabolik ve anabolik reaksiyonlar meydana gelmektedir.
 - Katabolik reaksiyonlarla büyük hücreli moleküller küçük moleküllere dönüştürülürken enerji açığa çıkmaktadır.
 - Anabolik reaksiyonlarla yeni hücreler meydana getirilmekte ve bu süreç için enerji gerekmektedir.

- Enzimler protein yapıda, yüksek katalitik güce sahip, kolloidal, kompleks, geniş kullanım alanlı ve kimyasal katalistlere kıyasla çok daha hızlı tepkime veren biyokatalizörlerdir.
- Her biyolojik dönüşüm bir enzim tarafından katalizlenir.
- Enzimin etki ettiği maddeye “substrat” denir. Bazı enzimler birden fazla substrat bağlayabilirler (düzenleyici alosterik enzimler).
- Enzime başka moleküllerin bağlanması aktif kısım özelliklerini değiştirip enzimatik tepkime hızını düşürebilir ya da durdurabilir.
- Biyolojik arıtmada organik bileşikler organizmaların salgıladığı enzimler tarafından parçalanırlar.

- Enzimler, tepkimenin serbest enerji değişimini ya da denge sabitini etkilememelerine karşın; substrata (reaktant) bağlanarak katalizledikleri tepkimenin aktivasyon enerjisini düşürür ve hızını artırır.

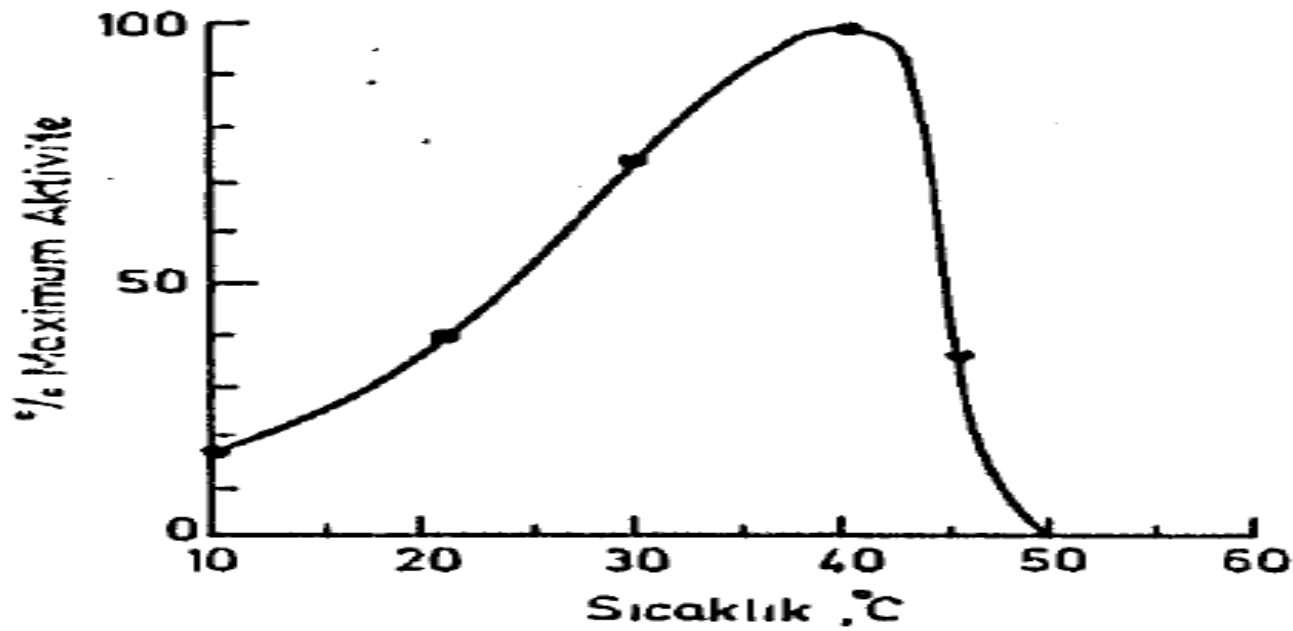


- Substratın, enzimin “Aktif Kısım” denilen özgül bir kısmına bağlanarak oluşturduğu ES kompleksindeki bağlar zayıf Vander Waals ya da hidrojen bağları olup, ES kompleksi kararlı değildir.
- Bu etkileşim anahtar-kilit (substrat enzim) modeli ile açıklanabilir.



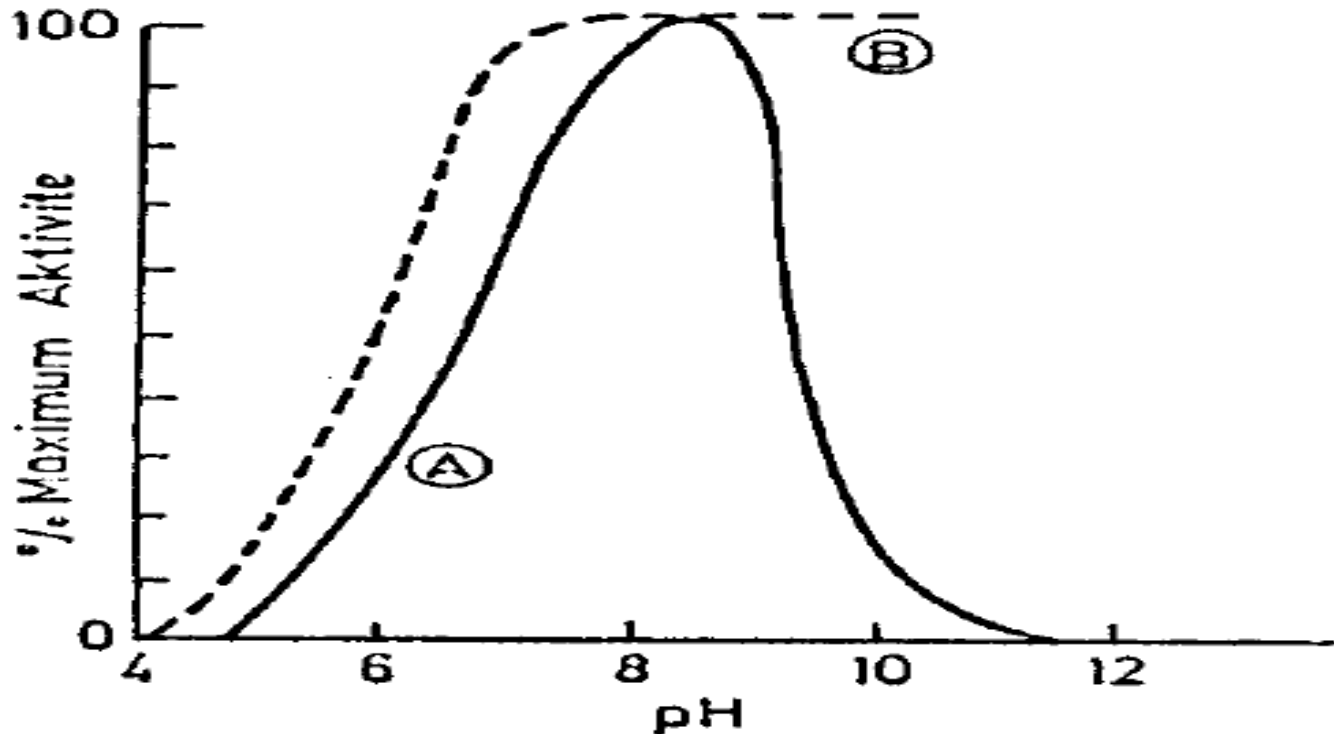
Enzim Aktivitesine Sıcaklık Etkisi

- Enzimatik tepkimelerin hızları belli bir noktaya kadar sıcaklık artışıyla artmasına karşın (aktivasyon), bu noktadan sonra hız sıcaklık artışıyla düşer (enzim denaturasyonu-inaktivasyon).
- Enzim inaktivasyonu, aktivasyonundan daha hızlı olur.
- Enzimler 50°C'nin üstünde inaktive olmalarına karşın, -18°C'de bile inaktive olmazlar.



Enzim Aktivitesine pH Etkisi

- Enzimin aktivite gösterebilmesi için asidik ya da bazik aktif kısım özelliklerine sahip olması gerektiğinden, enzim aktivitesi pH'a bağlı olarak değişir. Çoğu enzim için optimum etki pH aralığı 5,0 - 8,0 aralığındadır. Optimum pH deneysel olarak saptanır.

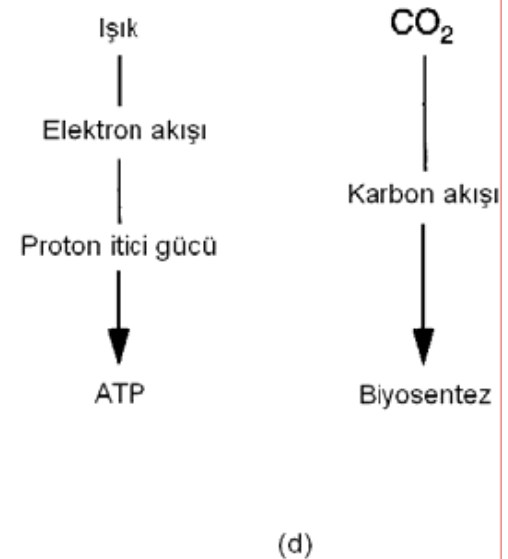
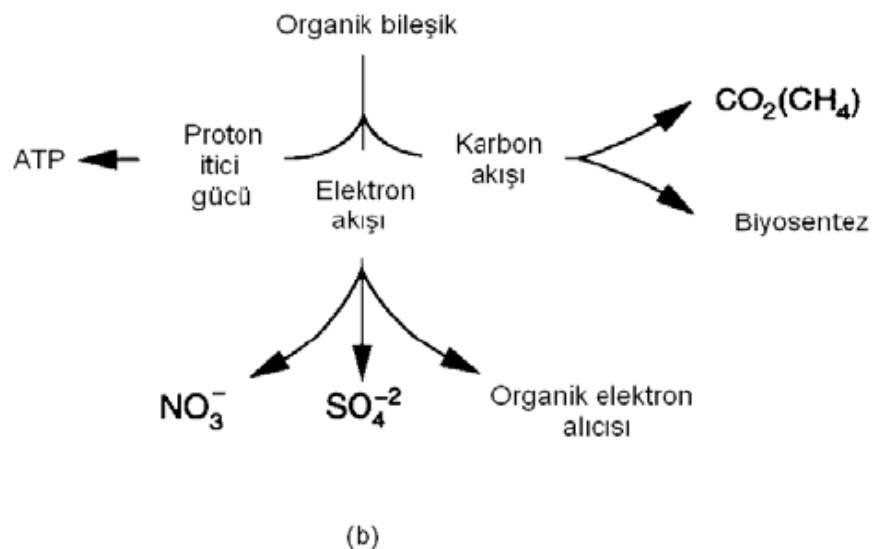
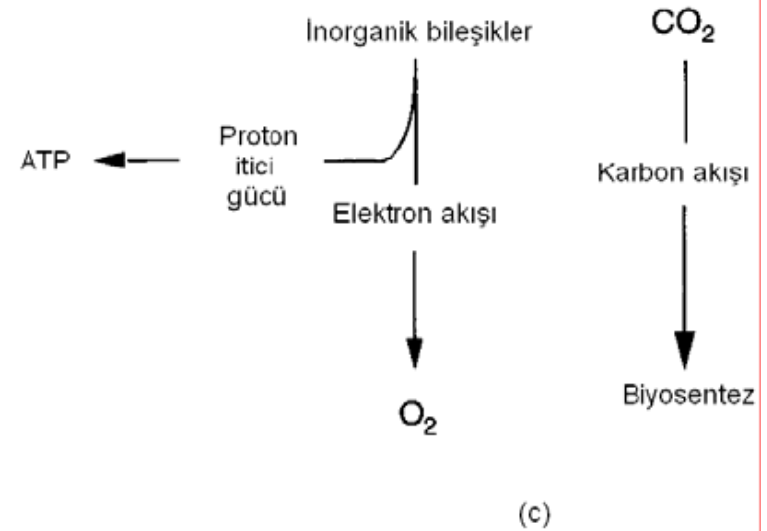
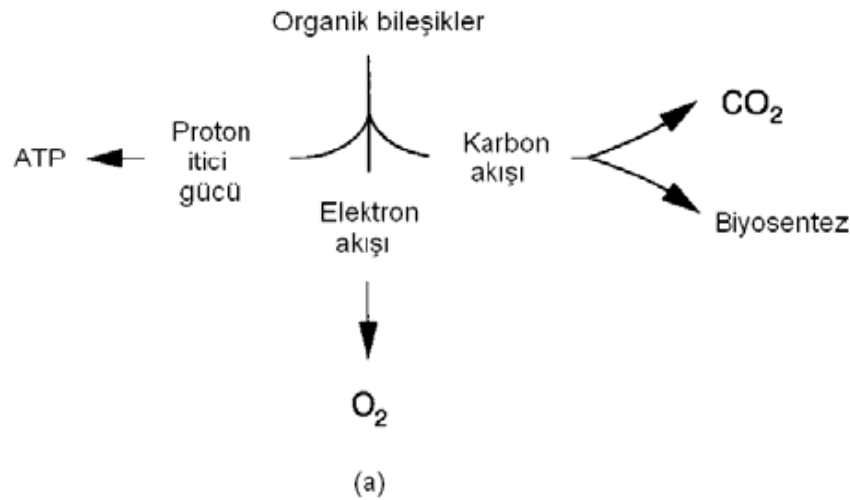


Enerji ve Karbon Kaynakları

- Hücre sentezi için gerekli karbonun kaynağına göre mikroorganizmalar:
 - **hetetrofik**
 - **ototrofik**olarak iki gruba ayrılırlar.
- **Ototrofik organizma:** Gerekli karbon için CO_2 veya karbonat kullanılıyorsa bu tür organizmalara denir. Enerji kaynağı olarak ışığı ya da inorganik oksidasyon-redüksiyon denklemlerini kullanırlar. Bir ototrofik organizma gerekli enerjiyi ışıktan sağlıyorsa fotosentetik organizma, inorganik oksidasyon-redüksiyon denklemlerinden sağlıyorsa kemosentetik organizma adı verilir.
- **Hetetrofik organizma:** Gerekli karbon için organik karbon kullanılıyorsa hetetrofik organizma adı verilir. Enerji kaynağı olarak organik maddeleri kullanırlar.

Enerji ve Karbon Kaynakları

- **Asimilasyon:** Canlı organizmaların hücre sentezi yaparak çoğalmaları olayıdır.
- **Disimilasyon:** Asimilasyon ve hareket gibi işler için gerekli enerjiyi üretmeleri ve depo etmeleri işlemidir.
- Heterotrofik organizmalar yeni hücre sentezi için gerekli olandan daha fazla organik maddeyi parçalarlar. Bu fazlalık kısım enerji amacıyla kullanılan kısımdır.
- **İçsel solunum:** Atıksudaki organik madde sınırlı olduğunda organik madde yerine hücre materyali kullanılır ve hücre yapısında bir azalma olur. Hücre yapısındaki bu azalmaya içsel solunum denir.



(a) aerobik solunum, (b) anaerobik solunum,
(c) kemolitotrofik metabolizma, (d) fototrofik metabolizma

- Azot ve fosfor gibi nütrientler bakterilerin hücre sentezi yapabilmesi ve büyümesi için gerekli maddelerdir.
- Ancak her atıksuda nütrientler yeterli ölçüde bulunmayabilir.
- Bu gibi durumlarda atıksuya dışarıdan nütrient ilavesi gereklidir.
- Genel olarak evsel atıksular biyolojik büyüme için yeterli miktarda nütrient ihtiva etmektedir.

Kirlilik	Birimi	Atıksu Karakteri		
		Zayıf	Orta	Kuvvetli
Toplam Katılar	mg/L	390	720	1230
Toplam Çözünmüş Katılar	mg/L	270	500	860
Sabit	mg/L	160	300	520
Uçucu	mg/L	110	200	340
Toplam Askıda Katı	mg/L	120	210	400
Sabit	mg/L	25	50	85
Uçucu	mg/L	95	160	315
Çökebilir katılar	mg/L	5	10	20
BOİ ₅ (20°C)	mg/L	110	190	350
Toplam Organik Karbon	mg/L	80	140	260
KOİ	mg/L	250	430	800
Azot	mg/L	20	40	70
Organik	mg/L	8	15	25
Amonyak	mg/L	12	25	45
Nitrit	mg/L	0	0	0
Nitrat	mg/L	0	0	0
Fosfor	mg/L	4	7	12
Organik	mg/L	1	2	4
İnorganik	mg/L	3	5	8
Klorür	mg/L	30	50	90
Sülfat	mg/L	20	30	50
Yağ ve Gres	mg/L	50	90	100
Uçucu Organikler	mg/L	<100	100-400	>400
Toplam Koliform	adet / 100 mL	10 ⁶ -10 ⁸	10 ⁷ -10 ⁹	10 ⁷ -10 ¹⁰
Fekal Koliform	adet / 100 mL	10 ³ -10 ⁵	10 ⁴ -10 ⁶	10 ⁵ -10 ⁸
Kriptosporidyum Oocysts	adet / 100 mL	10 ⁻¹ -10 ⁰	10 ⁻¹ -10 ¹	10 ⁻¹ -10 ²
Giardia Lamblia Cysts	adet / 100 mL	10 ⁻¹ -10 ¹	10 ⁻¹ -10 ²	10 ⁻¹ -10 ³

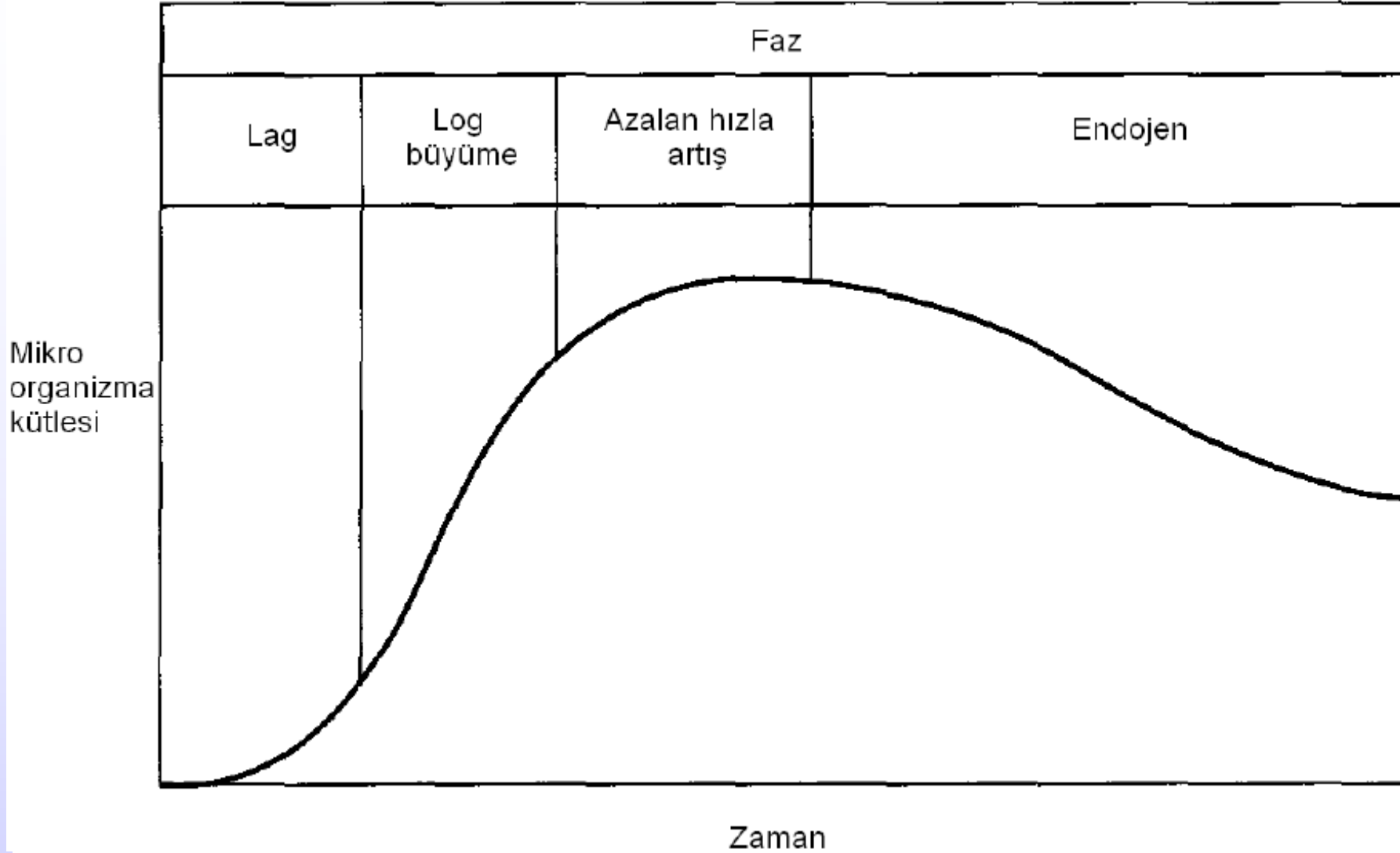


Evsel atıksulardaki
karakteristik
değerler

Bakteriyel Büyüme

- Çoğalma bakterilerin hayatlarını devam ettirebilmeleri için temel faaliyetlerinden biridir.
- Bakterilerde çoğalma bölünme, çiftleşme ve tomurcuklanma şekillerinden biriyle olur. Ancak genel olarak görülen çoğalma türü bölünmedir.
- Çoğalmayı etkileyen parametreler:
 - Çevre şartları,
 - Ortam büyüklüğü,
 - Nütrient miktarı
- Bakteriyel büyüme iki şekilde ifade edilebilir:
 - Bakteri sayısı bakımından büyüme,
 - Bakteri kütlesi olarak büyüme.

Bakteri Sayısı Bakımından Büyüme



Bakteri Sayısı Bakımından Büyüme

- **Lag Fazı:** Bu faz bakteri sayısına bağlı değişimden farklıdır. Bunun nedeni bölünme başlamadan bakteri kütlesinde bir artma olmasıdır.
- **Logaritmik Büyüme Fazı:** Bu fazda bakterilerin kullanımı için bol miktarda substrat mevcuttur. Büyüme hızı mikroorganizmaların substratı kullanabilme yeteneğine bağlıdır.
- **Azalan Hızla Artış Fazı:** Bu fazda besi maddesi azaldığından bakteri kütlesindeki artış hızı azalır.
- **İçsel Tükenme Fazı:** Bu fazda artık besi maddesi minimum bir seviyede olduğundan mikroorganizmalar yenileme olmaksızın kendi protoplazmalarını tüketmeye başlarlar ve böylece bakteri kütlesinde hızlı bir azalma görülür.

Biyokimyasal İşlemlerde Önemli Prosesler

- **Biyokütle Büyümesi**
- **Substrat Kullanımı**
- **Verim**

- **Substrat = Mikrobiyal büyüme için gerekli enerji ve karbon kaynağı**
- **Verim = Giderilen birim substrat başına oluşan m.o miktarı (Y)** Y

$$Y = \frac{MO}{Sub} = \frac{M}{F}$$

- Biyolojik proseslerde hücre büyümesi kullanılan organik ya da inorganik substratla doğrudan bağlantılıdır.
- Üretilen biyokütlenin kullanılan substrata oranı
= **biyokütle üretimi (Y)**
 - Aerobik heterotrofik reaksiyonlarda biyokütle üretimi:
 - **g biyokütle üretimi / g kullanılan organik substrat**
 - Nitrifikasyon için biyokütle üretimi:
 - **g biyokütle üretimi / g okside edilen NH₄-N**
 - Anaerobik reaksiyonlarda biyokütle üretimi:
 - **g biyokütle üretimi / g tüketilen uçucu yağ asitleri**

- Genellikle biyokütle üretimi,
 - g biyokütle üretimi / g KOİ giderimi ya da
 - g biyokütle üretimi / g BOİ giderimi
- Bakteriyel büyüme neticesinde oluşan yeni hücrelerin miktarının tespiti
 - Uçucu askıda katı madde (volatile suspended solids, VSS)
 - Partiküler KOİ
 - DNA
 - ATP

- Biyokütle üretimi  uçucu askıda katı md (UAKM, VSS)
- Yaklaşık olarak %85 organik (UKM),
yaklaşık % 15 inorganik madde
- g VSS $\neq$ bakterinin toplam ağırlığı
g VSS = bakteri ağırlığının büyük bir kısmı
- **Bakteriyel büyüme $\rightarrow$ TAKM (TSS) deki artış**
Bakteriyel büyüme $\rightarrow$ VSS miktarındaki artış

Enerji Üretimi

- Karbon
 - İnorganik nütrient
 - Enerji
 - Reducing power
- } Oksidasyon reaksiyonları
- Substrattaki elektronlar → elektron alıcısı
 - Substrattaki mevcut enerji, substratın oksidasyon durumuna bağlıdır.
 - Yüksek derecede indirgenmiş bileşikler daha fazla elektrona sahiptir.
 - KOİ, mevcut elektronların bir ölçümü olduğundan, COD/C oranı büyük olduğunda, oldukça indirgenmiş anlamına gelir.

Enerji Üretimi

- Metandaki karbon (C^{-4}) = en indirgenmiş
 - $COD/C = 5.33$
- CO_2 karbon (C^{+4}) = en yükseltgenmiş
 - $COD/C = 0$
- Hetetrotrofik bakteriler organik madde içerisindeki karbonu katabolik yollarla yükseltgeyerek, metabolik ara ürünlere dönüştürür.
- Bu ara ürünler hücre sentezinde kullanılır.
- Fakat, oksidasyon seviyesi, sentezlenecek hücreden daha yüksek olduğundan, bunları indirgeyecek uygun formda elektronlar bulunmalıdır.
- Bu elektronlar, katabolizma sırasında açığa çıkar ve NAD ve NADP gibi elektron taşıyıcılar ile anabolik reaksiyonlara taşınır.

- **NAD ve NADP = katabolik reaksiyonlarda e⁻ alıcısı**
- **NADH ve NADPH = biyosentez reaksiyonlarda e⁻ vericisi**

ATP Üretimi

- **Biyosentez reaksiyonlarında gerekli enerji ATP den sağlanır. ($ADP + P = ATP$)**
- **ATP 2 yolla üretilir:**
 - 1. Substrat level fosforilasyon (katabolik yollarla)**
 - 2. Elektron transport level fosforilasyon (substratın oksidasyonu ile açığa çıkan elektronların NADH ler ile ETC ye taşınması ve elektron alıcısına iletilmesi)**

Table 2.4 The Standard Oxidation–Reduction Potentials of Various Acceptor and Donor Redox Couples

Redox couple	E'_0 (mV)
Acceptor	
$\frac{1}{2}\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$	+ 820
$\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$	+ 433
NO_2^-/NO	+ 350
Fumarate/succinate	+ 33
$\text{SO}_4^{2-}/\text{SO}_3^{2-}$	– 60
CO_2/CH_4	– 244
Donor	
$\text{H}_2/2\text{H}^+$	– 420
$\text{HCOOH}/\text{HCO}_2^-$	– 416
NADH/NAD^+	– 320
Lactate/pyruvate	– 197
Malate/oxaloacetate	– 172
Succinate/fumarate	+ 33

Sentez İçin Gerekli Enerji ve Bunu Etkileyen Faktörler

- Büyökütle sentezi için gerekli enerji = m.o ların yeni hücre sentezlemeleri için gerekli enerji
- **Karbon kaynağının oksidasyon durumu ve büyüklüğü**
- Karbonhidratlardaki C ile hücre deki C aynı oksidasyon seviyesinde
- CO₂ deki karbon en yüksek oksidasyon seviyesinde ve 1 karbon içeriyor.(ototrofların karbon kaynağı). Bu açıdan gerekli enerji daha fazla.

True Growth Yield = Y (Verim)

- Substratın yapısı
- Mikroorganizma cinsi
- Büyüme koşulları (e^- alıcı, pH, sıcaklık vb.)

Maintenance, Endogenous Metabolism, Decay, Lysis, Death

- Bakteriler enerjiyi sadece sentez için değil, aynı zamanda devamlılık için gerek duyarlar.
- Mekanik prosesler
 - Motility (besin bulmak için hareket)
 - Osmotic regulation
 - Maintenance of ionic gradient (proton motive force)
 - Molecular transport