



4181 Anaerobik Arıtma Sistemlerinde Proses Tasarımı

1. Ders

GİRİŞ

Prof. Dr. Ahmet GÜNAY

Balıkesir Üniversitesi,

Mühendislik Fakültesi

Çevre Müh. Böl.

Çağış/Balıkesir

agunay@balikesir.edu.tr

ahmetgunay2@gmail.com

+90 505 529 43 17

<http://cevre.balikesir.edu.tr/index.php/doc-dr-ahmet-gunay-ders-notlari/anaerobik-aritma-sistemleri-proses-tasarimi/>



Ders sayısı	Ders puanı +	Final + Eklenik
1	☒ Devamsız	☒ Devamsız
2	☒ Devamsız	☒ Devamsız
3	-10	-20
4	-6	-10
5	-4	-4
6	0	0
7	1	1
8	2	3
9	3	6
10	4	10
11	5	15
12	5	20



GİRİŞ TARİHÇE

Anaerobik arıtmanın tarihçesi

Anaerobik proses çeşitleri

Anaerobik arıtmanın avantajları ve dezavantajları

Anaerobik proseslerle aerobik proseslerin karşılaştırılması

Anaerobik proses safhaları



Tablo Anaerobik biyoteknolojinin tarihi gelişimi (Anaerobic biotechnology for bioenergy production principles and applications Samir Kumar)

Anaerobic Technologies”	Developments in Chronological Order	Investigator(s) and Place A.
Discovery of combustible air — methane	Recognized that anaerobic decomposition of organic matters produces methane (1776)	Volta, Italy
Mouras Automatic Scavenger	Patented in 1881; the system had been installed in the 1860s	M. L. Mouras, France
Anaerobic filter	Began operation in the 1880s	Massachusetts Experimental Station, United States
A hybrid system — a digester and an anaerobic filter	Constructed around 1890 or 1891	W. D. Scott Moncrieff, England
Septic tank	Designed in 1895 with provision for recovery o biogas for heating and lighting	D. Cameron, Exeter, England
Waste disposal tank	Designed in 1894 (Urbana); 1897 (Champaign) Digestion tank with gas collection system (1897)	A. L. Talbot, United States Leper colony, Matunga, Bombay, India
Travis tank	Development of a two-stage system for a separate solid digestion (1904)	W.O. Travis
Imhoff tank	Modified the Travis tank (1905)	K. Imhoff, Germany



Tablo Anaerobik biyoteknolojinin tarihi gelişimi (devamı)

Sludge heating system	Development of first separate sludge digestion system (1927)	Essen-Rellinghausen Plant, Germany
Digester seeding and pH control	Realized the importance of seeding and pH control (1930)	Fair and More
Clarigester (high-rate anaerobic processes)	Realized the importance of SRT (1950)	G. J. Stander, South Africa
Anaerobic contact process (ACP)	Developed ACP similar to aerobic- activated sludge process (1955)	G. J. Schroepfer, United States
Anaerobic filter (AF)	Reexamined AF for the treatment of soluble wastewater (1969)	J. C. Young and P L. McCarty, United States
Anaerobic membrane bioreactor (AnMBR)	An external cross-flow membrane coupled with anaerobic reactor (1978)	H. E. Grethlein, United States
	Developed commercial-scale AnMBR in early 1980s	Dorr-Oliver, United States
Upflow anaerobic sludge blanket reactor	Based on his first observation of granular sludge in Clarigester in South Africa (1979)	G. Lettinga, The Netherlands



Tablo Anaerobik biyoteknolojinin tarihi gelişimi (devamı)

Expanded- bed reactor	Developed fixed-film expanded-bed reactor (1980)	M. S. Switzenbaum and W. J. Jewell, United States
Anaerobic baffled reactor	Retention of biomass within the baffles (1981)	P. L. McCarty, United States
Trace elements for methanogens	Reported the importance of trace elements for methanogenic activity (1983)	R Speece, United States
Anaerobic sequential batch reactor (ASBR)	Developed ASBR for the treatment of swine manure (1992)	R Dague and S. R Pidaparti, United States



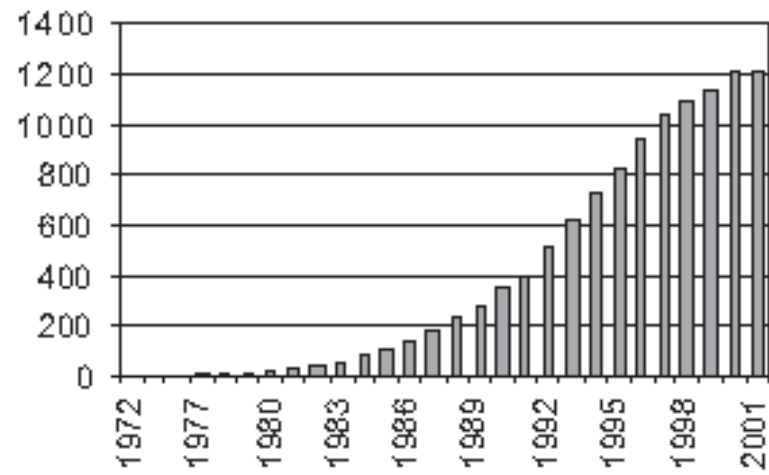


Figure 1 Cumulative number of anaerobic treatment plants for industrial applications

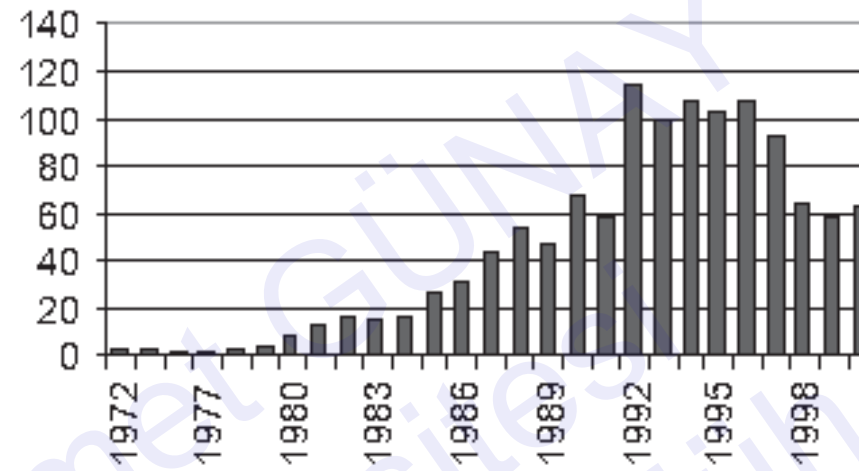


Figure 2 Number of plants installed per year

Table 4 Applications served by vendors in database

Application	Number of plants	%
Breweries & beverages	329	27
Distilleries & fermentation	208	17
Chemical	63	5
Pulp & Paper	130	11
Food	389	32
Landfill leachate	20	2
Undefined/unknown	76	6
Total in database	1215	100

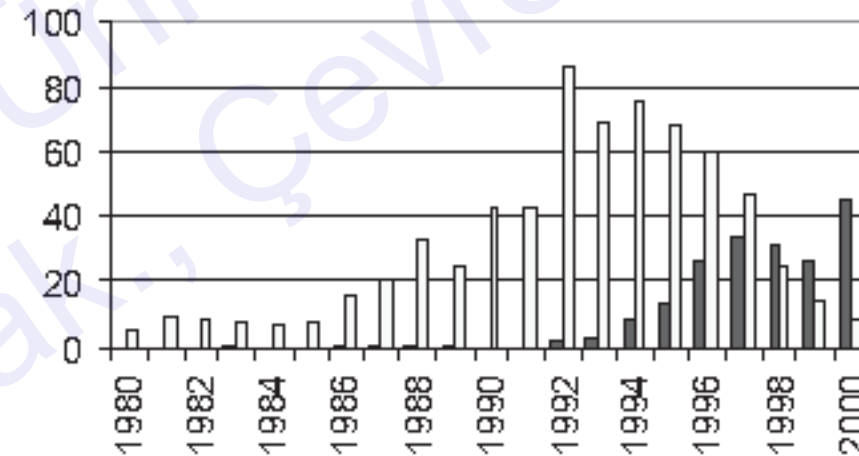


Figure 7 Total number of UASB plants (open bar) and EGSB plants (filled bar)



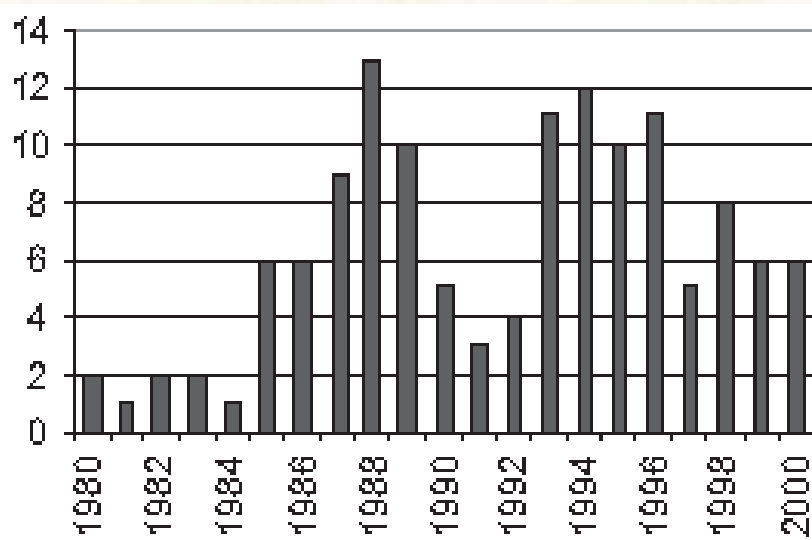


Figure 3 Anaerobic plants built in N-America

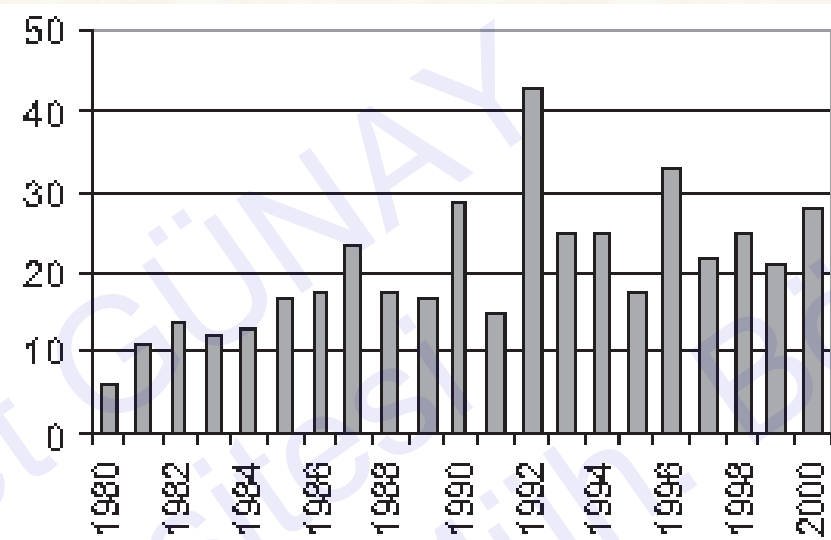


Figure 4 Anaerobic plants built in the EU

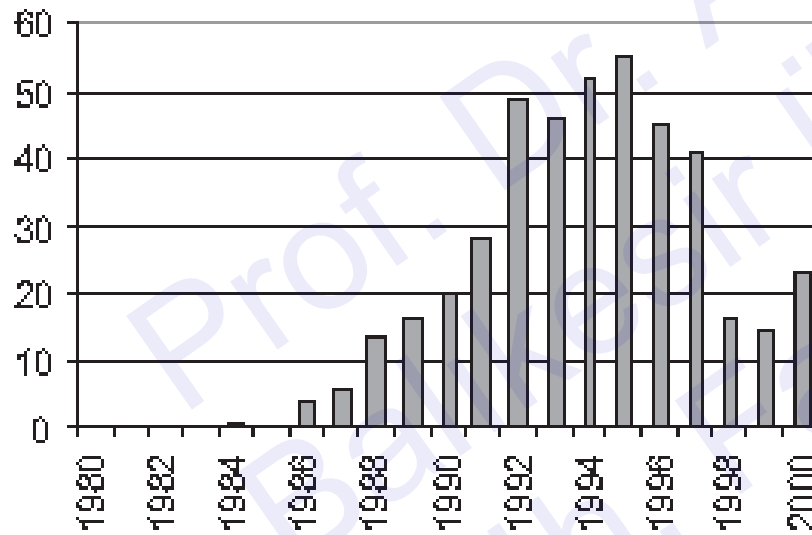


Figure 5 Anaerobic plants built in Asia

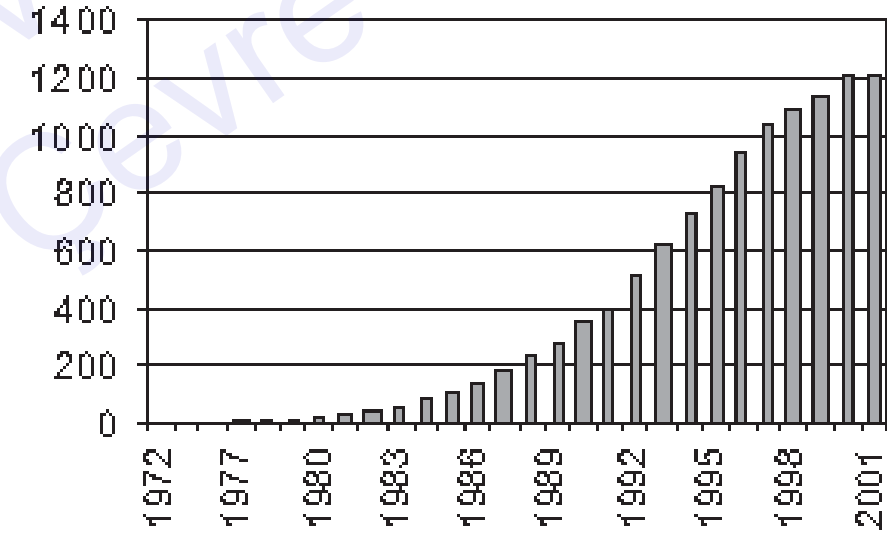


Figure 6 Anaerobic plants built in S-America

Atıksulardaki kirleticilerin etkileri

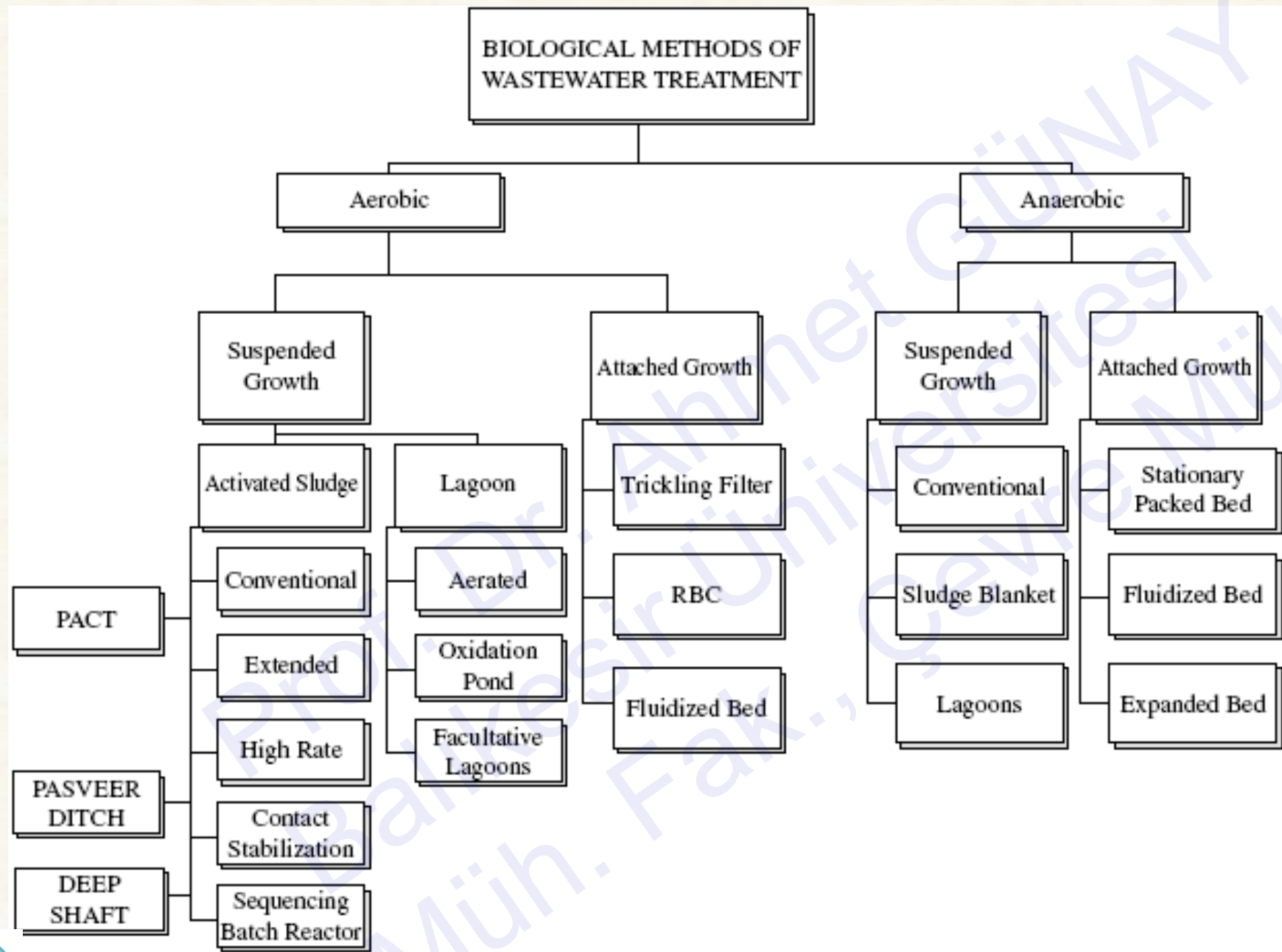
Evsel atıksular: Atıksular kullanım şekillerine bağlı olarak çok çeşitli kirleticiler içerir. Evsel atıksularda en temel kirleticiler organik maddeler (KOİ, BOİ), partiküler bileşenler (AKM), çözünmüş bileşenler ve makronütrientler olarak sayılabilir.

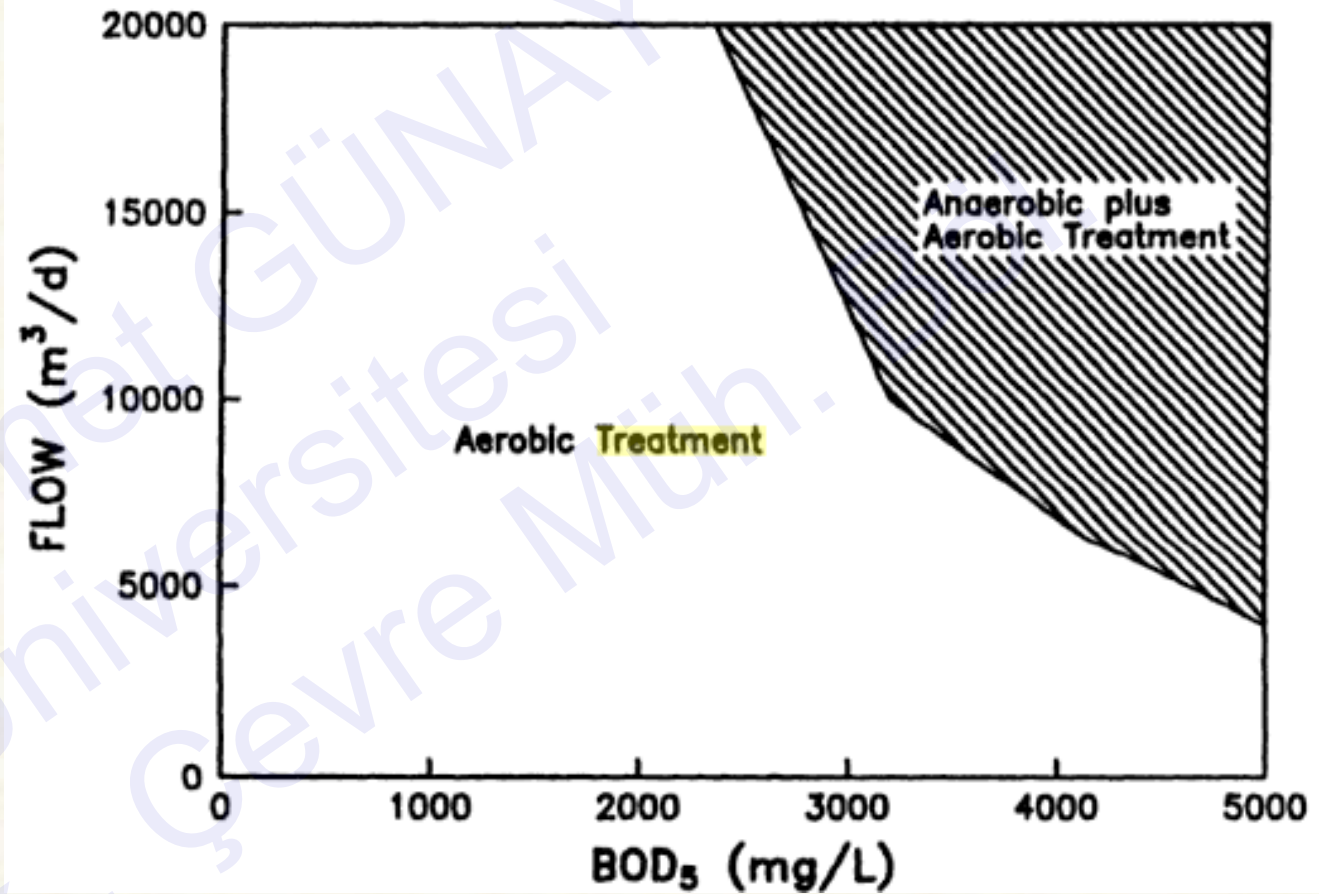
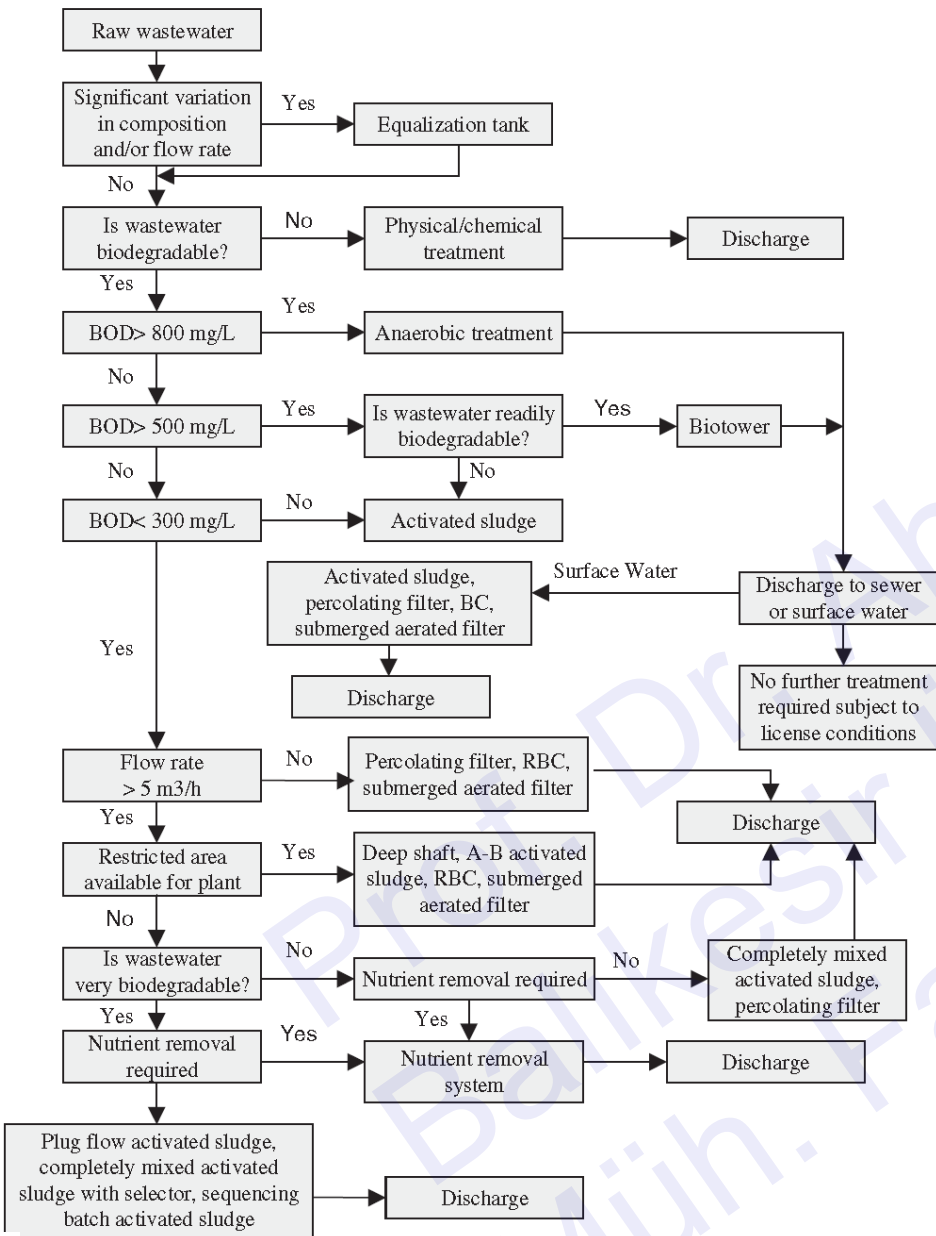
Endüstriyel atıksular: Endüstriyel atıksuların karakteri ile ilgili genel bir değerlendirme yapılamaz. Suyun kullanıldığı proses tipine ve kullanım maksatlarına bağlı olarak endüstriyel atıksular daha spesifik olarak ele alınır ve atıksu arıtma prosesi seçimi arıtma standardı ve karakterizasyona bağlı olarak gerçekleştirilir.

Tablo: Atıksularda bulunan temel kirletici bileşenler ve özellikleri

KİRLETİCİ BİLEŞENLER	ETKİLERİ
Askıda katı maddeler	Su kütlelerinin tabanında balçık olarak birikime ve septik şartların oluşmasına sebep olurlar.
Biyo-ayrışabilir organikler	Su ortamlarında anaerobik şartların oluşmasına sebep olurlar.
Patojenler	Sulardan bulaşan hastalıkların yayılmasına sebep olurlar.
Nütrientler	Ötrifikasyona sebep olurlar.
Ağır metaller	Bitkiler ve canlılar üzerinde toksik etki gösterir.
Refrakter organikler	Bitkiler ve canlılar üzerinde dolaylı toksik etki gösterir.
Çözülmüş katılar	Suyun yeniden kullanımını engellerler.







Şekil: Atıksuyun BOİ ve debisine bağlı olarak biyolojik proses seçimi
(Design of anaerobic processes for the treatment of industrial and municipal ... Yazar: Joseph F. Malina, Frederick G. Pohland)



ANAEROBİK PROSES ÇEŞİTLERİ

Katı madde muhtevasına göre;

Islak tip KM Muhtevası **<%16 (2-15)**

Yarı kuru KM Muhtevası **%16-%22**

Kuru tip KM Muhtevası **>%22 (25-45)**
(MSW, bitki atıkları) **(KM>50 ise kuruluk aşırıdır ve mikrobiyal ativite durur)**

Organik yüke göre;

Yüksek hızlı

Düşük hızlı

Reaktör tipine göre;

Askıda gelişen sistemler

Biyofilm sistemleri

Çamur yataklı sistemler

Sıcaklığa göre

- Termofilik
- Mezofilik

İşletme şartlarına göre;

- Kesikli,
- Sürekli,
- Yarı sürekli ya da kesikli besleme



Anaerobic processes consist of four major components:

- (1) a closed bio-reactor,
- (2) a mixing system,
- (3) a heating system, and
- (4) a gas-liquid-solids separation system.

Prof. Dr. Ahmet GÜNAY
Balıkesir Üniversitesi
Müh. Fak., Çevre Müh. Böl.



ANAEROBİK PROSESLER



ANAEROBİK PROSELERİN TARASIM DEĞİŞKENLERİ

Anaerobik bir prosesin tasarımıında;

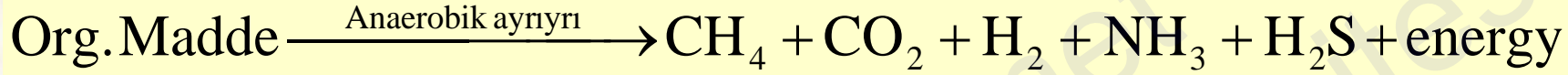
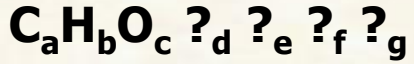
- Sistem konfigürasyonu (atıksu debisi ve sürekliliği, atıksu karakterizasyonu, biyo-ayrışabilirlik, organik yük, biyogaz-enerji üretimi, işletme sıcaklığı, sistem stabilitesi)
- Reaktör sıcaklığı (mezofilik 29-37 °C)
- Hidrolik bekletme süresi ve çamur yaşı
- Reaktör hacmi
- Reaktörün karışım şartları
- Biyokütle gelişimi
- Gaz üretimi
- Enerji dengesi
- Kirleticilerin akıbeti



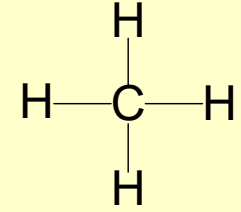
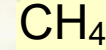
BİYOLOJİK ARITMA

Organik maddelerin formu;

Doğadaki organik maddeler hangi formdadır?



Doğal gazdaki karbonun formu;



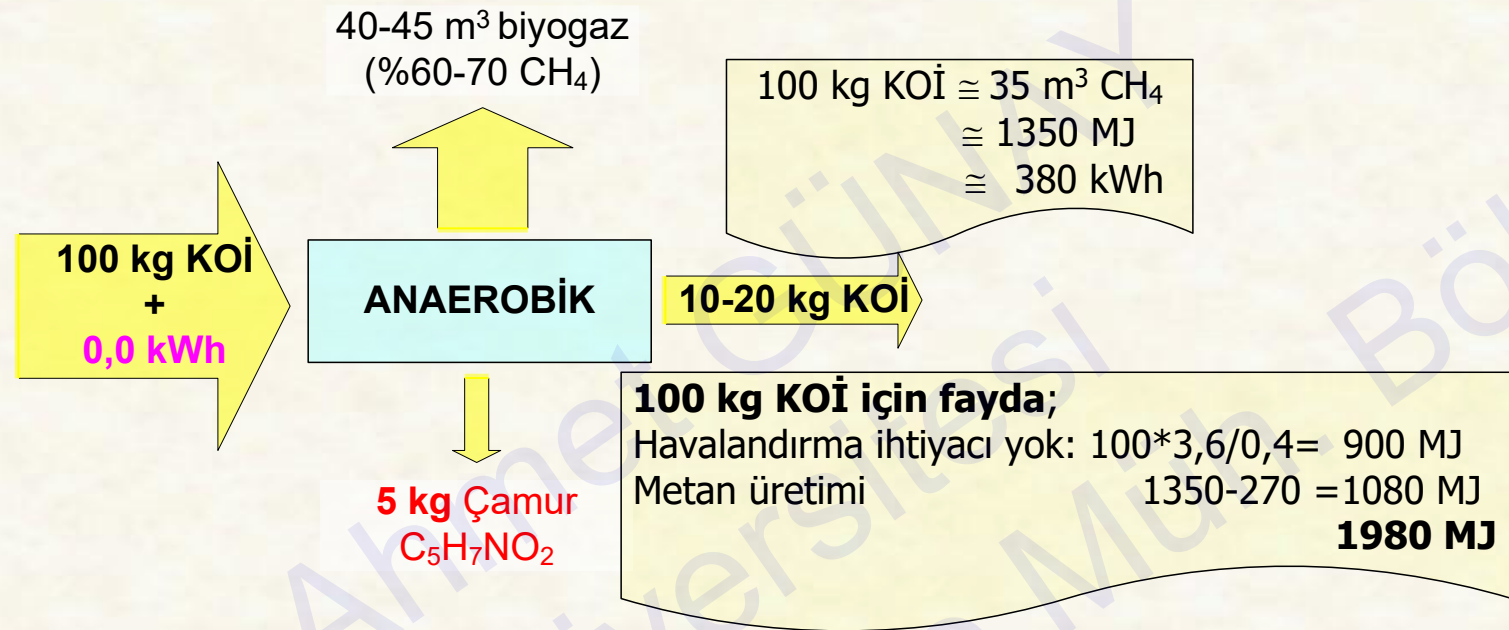
Tablo Anaerobik arıtmada kirletici bileşenlerin giderimleri

Kirletici bileşen	Giderim
•Organik madde	Organik maddeler yüksek oranda giderilir, ancak, alıcı ortamlara deşarj etmek için post-aerobik arıtma gerekir.
•Azot ve fosfor	Giderilmez.
•Patojenler	İşletme sıcaklığı ve HBS arttıkça giderme verimi artar.
•Ağır metaller	Giderilmez.



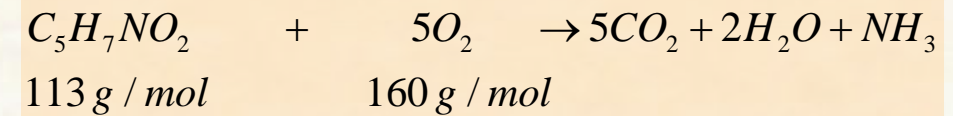
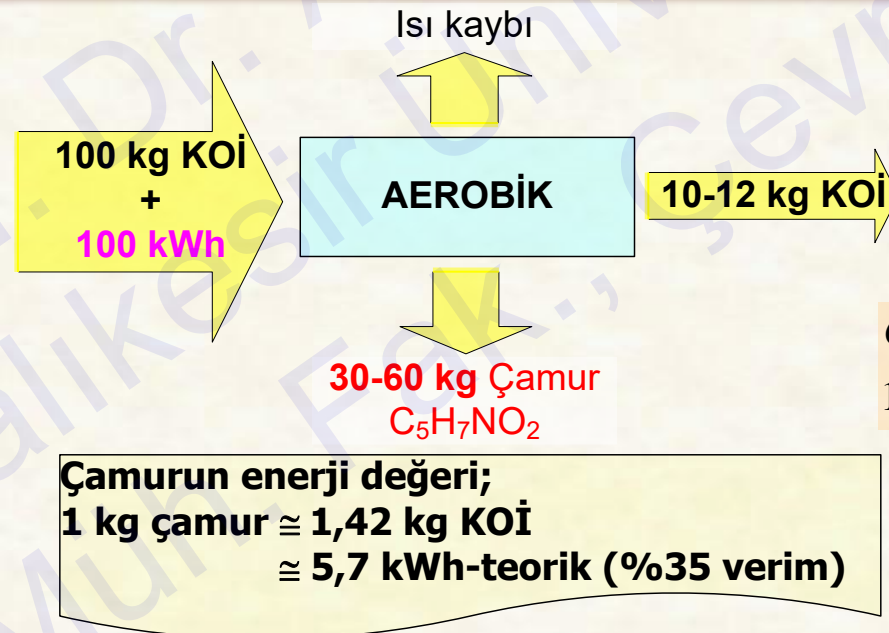
Anaerobik prosesler enerji üretir, çamur üretmez, yavaştır. Seyreltik atıklara uygulanmaz

Bazı atıklar mutlak **anaerobik** arıtılır.



Aerobik prosesler enerji tüketir, çamur üretir, hızlıdır.

Bazı atıklar mutlak **aerobik** arıtılır.



$$\frac{160 \text{ g / mol çamur}}{113 \text{ g / mol KOİ}} = 1,42 \text{ kg KOİ / kg çamur}$$

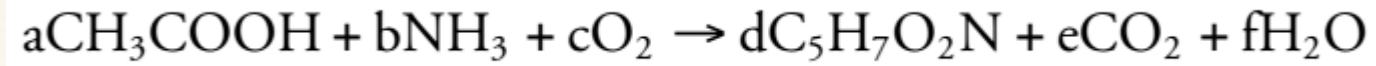


TABLO Aerobik ve anaerobik proseslerin karşılaştırılması (Kaynak: <https://ocw.tudelft.nl/wp-content/uploads/8. Anaerobic Treatment Intro UASB design base.pdf>, Erişim: Ağustos 2017)

	AEROBİK	ANAEROBİK
Reaksiyon	$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O$	$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 3CO_2 + 3CH_4$
Enerji	$\Delta G^\circ = -2840$ kJ/mol glikoz	$\Delta G^\circ = -393$ kJ/mol glikoz
Karbon dengesi	%50 \rightarrow CO ₂ %50 \rightarrow biyokütle (C ₅ H ₇ NO ₂)	%95 \rightarrow CH ₄ +CO ₂ (biyogaz) %5 \rightarrow biyokütle (C ₅ H ₇ NO ₂)
Enerji dengesi	%60 \rightarrow biyokütle (C ₅ H ₇ NO ₂) %40 \rightarrow ısı üretimi	%90 \rightarrow CH ₄ içerisinde kalır %5 \rightarrow biyokütle (C ₅ H ₇ NO ₂) %5 \rightarrow ısı üretimi
Biyokütle üretimi	Biyokütle hızlı çoğalır ve aerobik sistemlerde çamur bertaraf problemi ortaya çıkar. 0,35-0,45 kg UKM/kg KOİ	Biyokütle yavaş çoğalır/ üretimi düşüktür ve bu yüzden anaerobik reaktörlerin devreye alınması uzun sürer. 0,05-0,15 kg UKM/kg KOİ
Enerji ihtiyacı	Aerobik reaktöre oksijen sağlamak için havalandırmaya ihtiyaç duyulur ve bunun için enerji gerekir.	Prosesi ısıtmak için ihtiyaç duyulan enerji biyogaz ile sağlanabilir.

TABLO Aerobik ve anaerobik proseslerin karşılaştırılması (devamı)

	AEROBİK	ANAEROBİK
Organik yük	Yüksek yük (AF, UASB): 0,5-1,5 kg KOİ/m³-gün	Düşük hızlı (Aktif çamur): 10-40 kg KOİ/m³-gün
Devreye alma	Birkaç hafta (1-2 hafta)	Birkaç ay (1-4 ay)
Spesifik substrat kullanımı	0.15-0.75 kg KOİ/kg UKM-gün	0,75-1,5 kg KOİ/kg UKM-gün
Çamur yaşı	Çamur yaşı 4-10 gün	Çamur yaşı uzun
Mikrobiyoloji	Tek tür mikroorganizma	Farklı mikrobiyal türlerin senkronize aktivitesi
Çevresel faktörler	Çevresel şartlara toleranslıdır.	Anaerobik proses mikroorganizmaları çevresel şartlara karşı hassastır
Besleme	Kesikli, yarı sürekli ya da sürekli	Kesikli, yarı sürekli ya da sürekli
Sıcaklık	Çerve şartlarında	Mezofilik 35 °C ve termofilik 55 °C



where a, b, c, d, e, and f are stoichiometric coefficients of the microbial stoichiometric equation. If the microbial growth yield of the reaction is known (or estimated experimentally), it is possible to determine the stoichiometric coefficients based on the mass conservation law for each chemical element as follows:

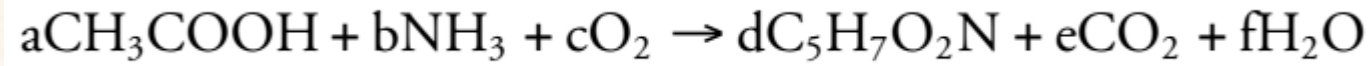
$$\text{Carbon (C): } 2a = 5d + e$$

$$\text{Hydrogen (H): } 4a + 3b = 7d + 2f$$

$$\text{Oxygen (O): } 2a + 2c = 2d + 2e + f$$

$$\text{Nitrogen (N): } b = d$$





Using the value of Y, $Y = 0.4 = (d \cdot 113) / 1 \cdot 60$, $d = 0.2$

Using the mass balance of N, $b = d = 0.2$

Using the mass balance of C, $2 \cdot 1 = 5 \cdot 0.2 + e$, $e = 1$

Using the mass balance of H, $4 \cdot 1 + 3 \cdot 0.2 = 7 \cdot 0.2 + 2f$, $f = 1.6$

Using the mass balance of O, $2 \cdot 1 + 2c = 2 \cdot 0.2 + 2 \cdot 1 + 1.6$, $c = 1$

All of the stoichiometric coefficients are solved as $a = 1$, $b = 0.2$, $c = 1$, $d = 0.2$, $e = 1$, and $f = 1.6$. Therefore, the microbial balanced stoichiometric equation for the oxidation of acetic acid is



Anaerobic treatment is relatively cheap because of its

- i. Low operating **costs**
- ii. Less **sludge production**
- iii. Low **space requirements**
- iv. High **biogas production**

Anaerobik biyoteknoloji uygulamaları, sadece kirlilik kontrolünde değil, aynı zamanda enerji üretimi ve değerli yan ürün elde edilmesi sebebiyle önemli bir arıtma prosesidir.

Anaerobik arıtma prosesinin avantajları

Less energy required: Anaerobic process requires less energy compared to aerobic process.

Less biological sludge production: As it involves less energy less biomass production occurs requiring less volume for storage.

Fewer nutrients required: Aerobic process needs more nutrients (as N, P, K) to treat industrial wastes. Their quantity is much less for anaerobic processes because less biomass is produced.

Higher volumetric loadings: Aerobic processes are designed for an organic loading of 0.5 to 3.5 kg COD/m³-d whereas it is 3.5 to 35 kg COD/m³-d for anaerobic processes.
(yüksek organik yük ↗ ∞ küçük reaktör hacmi ↘).



ANAEROBİK BİYOLOJİK ATIKSU ARITIMI

Anaerobik biyolojik prosesler, ilk olarak atıksu arıtma çamurlarının bertarafı için geliştirilmiş, sonraları yüksek konsantrasyonlarda organik madde içeren endüstriyel atıksuların arıtımı için uygulanmıştır. Bu metod, evsel atıksuların arıtımında da başarılı şekilde uygulanabilmektedir. Bu prosesleri başlıca iki gruba ayırmak mümkündür:

- **Askıda gelişen sistemler (suspended growth),**
 - Aşağı ya da yukarı akışlı dolgulu yatak
 - Genleşmiş yatak
 - Akışkan yatak
 - Yukarı akışlı çamur yatak (up-flow anaerobic sludge bed-UASB)
- **Yüzeyde tutunmuş (biyofilm) sistemler (attached growth)**
 - Tam karışım anaerobik reaktör (complete mix anaerobic reactor)
 - Anaerobik kontak reaktör

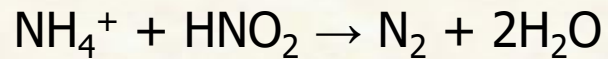
Bunların yanında, anaerobik prosesin diğer modifikasyonları spesifik endüstriyel atıkların ve çamurların arıtımında popülerlik kazanmaktadır.



High Protein- and Nitrogen-Containing Wastewater

ANAMMOX Prosesi

Proteins are not completely degraded during anaerobic treatment. The partial degradation of proteins produces amines that impart a foul smell. Little information exists on anaerobic degradation of amines (Verstraete and Vandevivere 1999). Similarly, nitrogen concentrations remain unchanged during anaerobic treatment, as reducing equivalents necessary for denitrification are removed. Thus, in anaerobic treatment, only the forms of nitrogen are changed; that is, organic nitrogen is simply transformed to inorganic ammonia or ammonium, depending on pH. However, recent findings suggest that NH_4^+ can be anaerobically oxidized to N_2 in the presence of NO_2^- , as shown by the following biochemical reaction:



The above process is commonly referred as *anaerobic ammonia oxidation* (ANAMMOX).



Waste Characteristics for Anaerobic Treatment

- organic strength (BOD, COD) + composition
- alkalinity
- pH (methanogenic range 6.8 – 7.4)
- inorganic nutrient content: BOD:N:P ratio (500~700:5:1)
- temperature
- potentially toxic materials
 - heavy metals
 - ammonia
 - common cations

Anaerobic Digesters faydaları

- Reduce Odors
- Reduce Pathogens
- Reduce Greenhouse Gas Emissions
- Improve Water Quality
- Enhance Solid/Liquid Separation
- Provide Flexibility
- Produce Energy
- Provide Carbon Credits



Table Alto Grande Coffee Wastewater Characteristics Parameter

Parametre	Kons.	Birim
pH	4.2	
Alkalinity	46	mg/L CaCO ₃
Chemical Oxygen Demand (COD)	11 200	mg/L
Total Solids	10 800	mg/L
Suspended Solids (TS)	1 590	mg/L
Volatile Suspended Solids (VSS)	1 550	mg/L
Total Nitrogen	100	mg/L
Total Phosphorous	30	mg/l

DEBİ?

Karakterizasyonda öne çıkan hususlar nelerdir?

Hangi parametre noksan?

Arıtma yöntemine karar vermek için hangi parametreler değerlendirilir?

Table Coffee Wastewater Characteristics in the Colombia Study (Arias and Nigiani, 1987)

Parametre	Kons.	Birim
pH	4.7	
Alkalinite		
İletkenlik	578	mhos/cm
Total Solids	741	mg/L
Suspended Solids (TS)	410	mg/L
Volatile Suspended Solids (VSS)	345	mg/L
Uçucu aistler	118	mg/l
Chemical Oxygen Demand (COD)	15450	mg/L
Biochemical Oxygen Demand (BOD)	6083	mg/L
Total Organic Carbon (T.O.C.)	310	mg/L
Total Nitrogen		
Total Phosphorous		

Karakterizasyonda öne çıkan hususlar nelerdir?

Hangi parametre noksan?

Arıtma yöntemine karar vermek için hangi parametreler değerlendirilir?

MOC parametresine göre değerlendirmede bu analiz yanlış mı?



Table 1: Characteristics of spent wash collected from S.S.K. distilleries (Ltd.), Niphad, Nasik, Maharashtra.

Parametre	Kons.	Birim
pH	3.3-3.9	
Alkalinite		
TDS	70 000-78 000	mg/l
Total Solids	?9 000-10 000	mg/L
Sabit katılar	?25 000-30 000	mg/L
Volatile Suspended Solids (VSS)	?45 000-48 000	mg/L
Uçucu aistler		
Chemical Oxygen Demand (COD)	90 000-130 000	mg/L
Biochemical Oxygen Demand (BOD)	45 000- 60 000	
Cl-	5500-6000	
Sülfat	6000-6500	
Total Nitrogen		
Total Phosphorous		

Karakterizasyonda öne çıkan hususlar nelerdir?

Hangi parametre noksan?

Aritma yönemine karar vermek için hangi parametreler değerlendirilir?

Table Advantages and **disadvantages of the** anaerobic processes

Avantajları	Dezavantajları
<ul style="list-style-type: none"> • A substantial saving in operational costs as no energy is required for aeration; on the contrary energy is produced in the form of methane gas, which can be utilized for heating or electricity production. • The process can handle high hydraulic and organic loading rates. Thus, the applied technologies are compact. • The technologies are simple in construction and operation; so they are low cost. • The systems can be applied everywhere and at any scale as little if any energy is required, enabling a decentralized application. • The excess sludge production is low, well stabilized and easily dewatered so does not require extensive costly post treatment. • The valuable nutrients (N and P) are conserved which give high potential for crop irrigation. 	<ul style="list-style-type: none"> • Need for post treatment, depending on the requirements for effluent standards. • No experience with full-scale application at low/moderate temperatures???. • Considerable amount of produced biogas, i.e. CH₄ and H₂S remains in the effluent especially for low strength wastewater (sewage). • Produced CH₄ during anaerobic sewage treatment is often not utilized for energy production



Table Advantages and disadvantages of the anaerobic processes

Advantages	Disadvantages
<ul style="list-style-type: none">• Low production of solids about 3 to 5 times lower than that in aerobic processes• Low energy consumption, usually associated with an influent pumping station, leading to very low operational costs.• Low land requirements• Low construction costs• Production of methane, a highly calorific fuel gas• Possibility of preservation of the biomass, with no reactor feeding, for several months• Tolerance to high organic load• Application in small and large scale• Low nutrient consumption	<ul style="list-style-type: none">• Anaerobic microorganisms are susceptible to inhibition by a large number of compounds.• Process start-up can be slow in the absence of adapted seed sludge• Some form of post-treatment is usually necessary• The biochemistry and microbiology of anaerobic digestion are complex and still require further studies• Possible general ion of bad odours, although they are controllable• Possible generation of effluents with unpleasant aspect• Unsatisfactory removal of nitrogen, phosphorus and pathogens

Tablo Havasız Biyoteknolojinin Olumlu Özellikleri (4)

- Proses stabilitesinin sağlanabilmesi
- Biyokütle atığının bertaraf maliyetinin düşüklüğü
- Besi maddesi sağlama maliyetinin düşüklüğü
- İnşa alanı gereksiniminin azlığı
- Enerjinin korunması ile ekolojik ve ekonomik fayda sağlaması
- İşletme kontrolü gereksiniminin minimize edilmiş olması
- Oluşan gazın hava kirlenmesi açısından kontrol edilebilir olması
- Köpük probleminin olmaması
- Havasız şartlarda biyolojik olarak parçalanamayan maddelerin parçalanabilmesi
- Atıksudaki mevsimsel değişikliklerde arıtmanın stabilitesinin sağlanabilmesi



Tablo Anaerobik Biyoteknolojinin Olumsuz Özellikleri (4).

- Biyokütle gelişimi için uzun başlangıç evresinin gereksinimi
- Seyreltik atıksularda yeterli alkalitenin üretilmemesi
- Bazı durumlarda çıkış suyunda istenilen standart değerlerin sağlanamaması
- Seyreltik atıksuların arıtılması durumunda oluşan biyogaz miktarının az olması ve elde edilen enerjinin sistemi ısıtmaya yetmemesi
- Aşırı sülfatlı atıksularda koku probleminin olması
- Nitrifikasyonun mümkün olmaması
- Metanojenlerin toksit maddelere ve çevre şartlarına aşırı duyarlı olması
- Düşük sıcaklıklarda kinetik hızların daha da düşük olması
- Biyokütlenin maksimum aktivitesi için gerekli olan azot konsantrasyonunun daha fazla olması



Less Energy Requirement

Aerobic treatments are energy-intensive processes for the removal of organic matter, requiring 0.5–0.75 kWh of aeration energy for every 1 kg of COD removed (van Haandel and Lettinga 1994). Anaerobic treatments need no air/O₂ supply. The aeration energy requirement is calculated based on the following consideration: For the removal of 1 kg COD, 0.5–0.75 kg O₂ is required during a conventional aerobic treatment process. The higher end of the range can be explained by the O₂ requirement for endogenous respiration. The energy input for the transfer of O₂ into liquid for most aerators is in the order of 1 kWh/kg O₂.

The aeration energy requirement is:

$$\begin{aligned} &= \frac{1 \text{ kWh}}{\text{kg O}_2} \times \frac{0.50 - 0.75 \text{ kg O}_2}{\text{kg KOI}} \\ &= 0.50 - 0.75 \text{ kWh/kg KOI} \end{aligned}$$

Compare the energy balance between aerobic and anaerobic processes for treating a food-processing wastewater with the following characteristics:

Wastewater flow rate : 37.85 m³/day

Wastewater soluble chemical oxygen demand : 10 000 mg/L

Influent temperature : 20 °C

The anaerobic reactor will be operated under mesophilic condition (35°C).

Anaerobic process:

(a) Energy generation from methane gas *kJ/day*

Methane yield = 0.35 m³/kg COD at STP

COD loading rate = 10 000 mg/L (10⁻⁶ kg/10⁻³ m³) × 37.85 m³/day = 378.5 kg COD/day

Total methane generation = 0.35 m³/kg COD × 378.5 kg COD/day
= 132.5 m³/day

The net heating energy content of methane = 35 846 kJ/m³ (at STP)

Thus, the total net energy content of methane = 35 846 kJ/m³ × 132.5 m³/day
= 4.75 × 10⁶ kJ/day



(b) Energy need for temperature increase from 20 to 35°C

$$\begin{aligned}\text{Heat energy needed} &= 37\,850 \text{ kg/day} \times ((35 - 20) \text{ }^\circ\text{C}) \times (4\,200 \text{ J/kg }^\circ\text{C}) \\ &= 2.38 \times 10^6 \text{ kJ/day}\end{aligned}$$

Aerobic process:

$$\begin{aligned}\text{Aeration energy requirement} &= (0.75 \text{ kWh/kg COD}) \times (3,600 \text{ s/h}) \\ &\quad \times (378.5 \text{ kg COD/day}) \\ &= 1.02 \times 10^6 \text{ kJ/day}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Aeration energy requirement} &= (0.75 \text{ kWh/kg COD}) \times (3\,600 \text{ s/h}) \\ &\quad \times (378.5 \text{ kg COD/day}) \\ &= 1.02 \times 10^6 \text{ kJ/day}\end{aligned}$$

Energy	Anaerobic Treatment	Aerobic Treatment
Methane gas (kJ/day)	4.75×10^6	-
Energy for reactor heating (kJ/day)	-2.38×10^6	-
Aeration energy (kJ/day)	-	-1.02×10^6
NET	$+2.37 \times 10^6$	-1.02×10^6

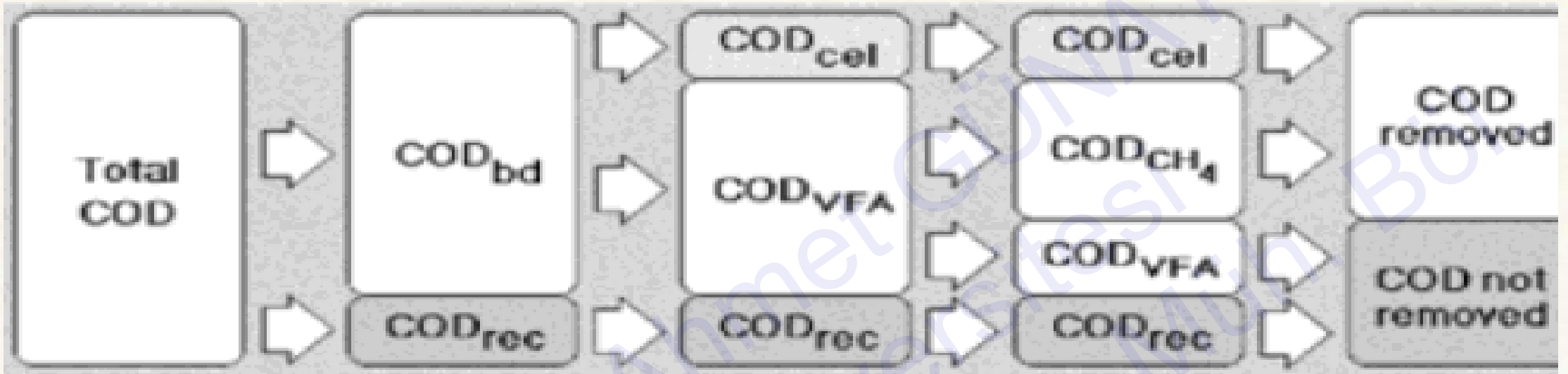
Note : Anaerobic treatment provides a net energy gain, whereas aerobic process requires energy input. If the costs of sludge handling, treatment, and disposal are included in this calculation, **anaerobic process will result even higher net energy gain.**

Prof. Dr. Ahmet GÜNAY
Balıkesir Üniversitesi
Müh. Fak., Çevre Müh. Böl.



ANAEROBİK PROSES SAFHALARI





Prof. Dr. Ahmet GÜNAY
Balıkesir Üniversitesi
Müh. Fak., Çevre Müh. Böl.

ANAEROBİK BİYOLOJİK ARITMA

Anaerobik Arıtma: Atıksulardaki karbon bazlı substrat bileşenlerinin oksijensiz ortamda nihai stabilizasyon ürünleri olan metan ve karbondioksite dönüşmesidir.

Anaerobik arıtmanın başarılı olabilmesi için, reaktördeki farklı bakteriler arasındaki etkileşim mekanizmasının işler durumda olması gerekir. Biyokimyasal reaksiyonlarla metan üretimi gerçekleşmezse substrat (KOİ) giderimi olmaz.

Ayrışma üç farklı mikroorganizma tarafından beş safhada gerçekleşir.

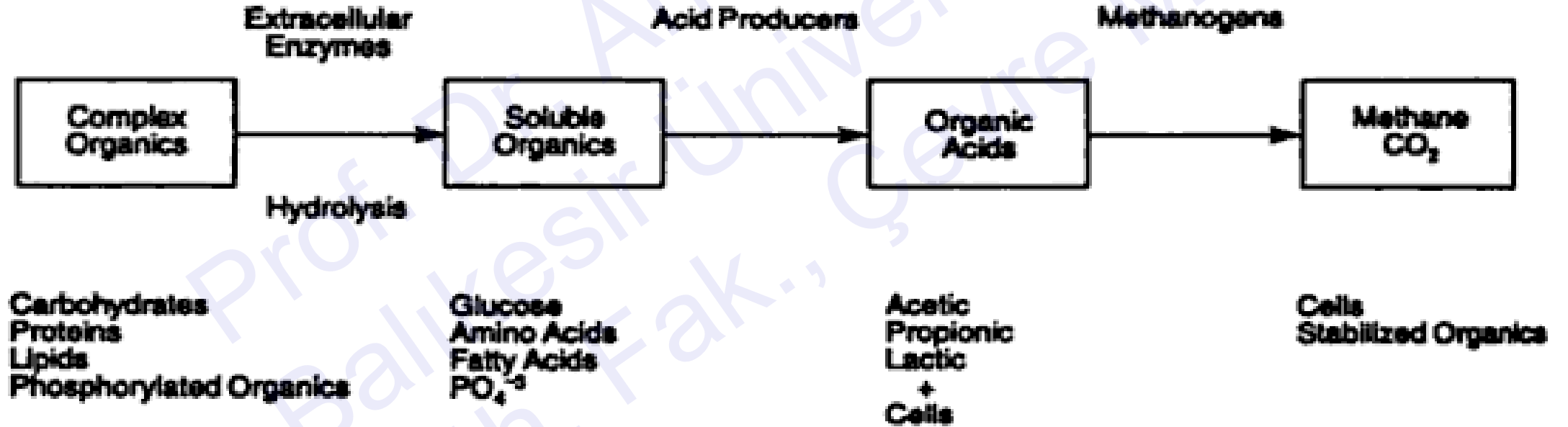
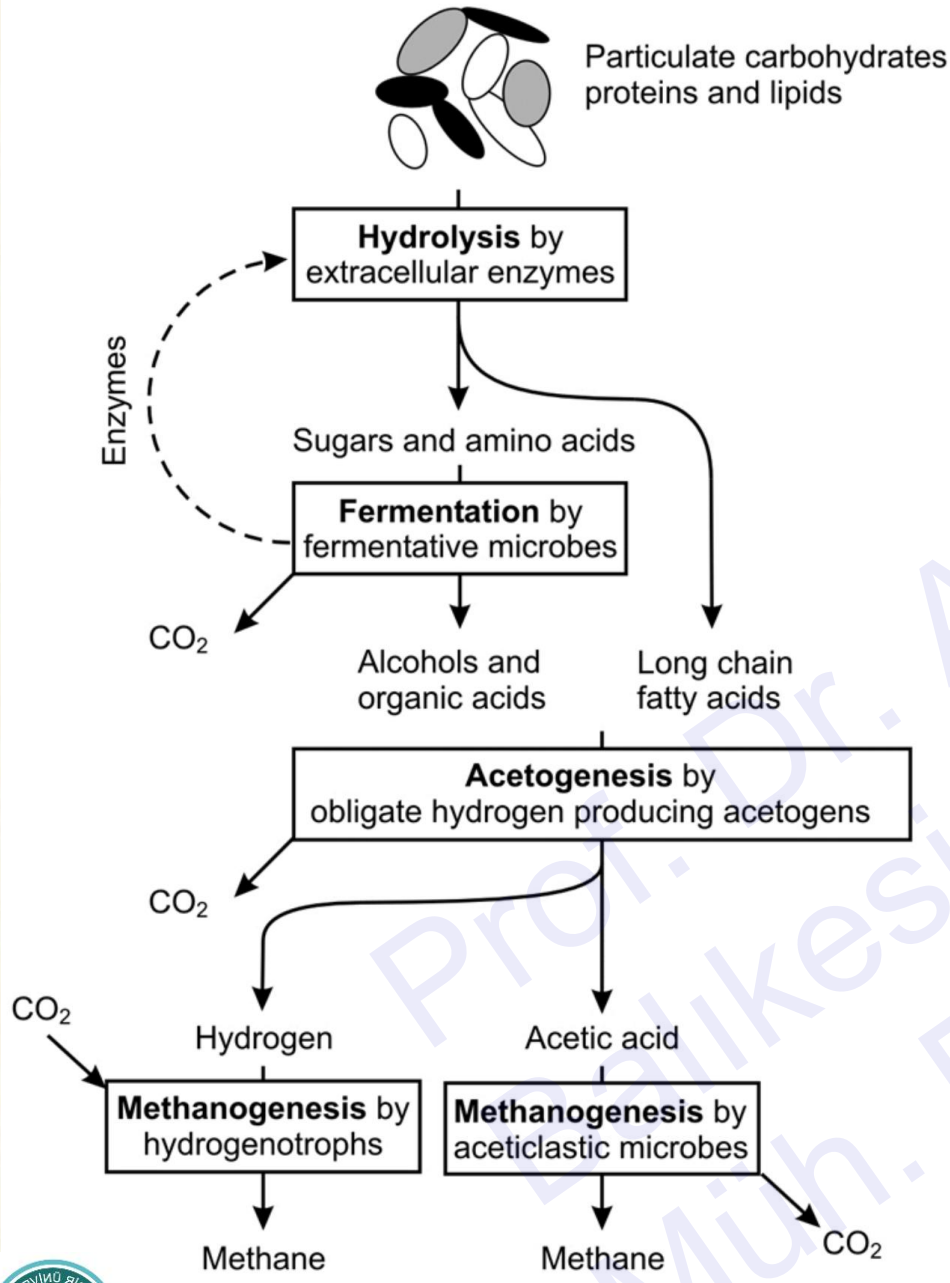


Figure 15.1 Microbiological pathway of anaerobic digestion.



Hidroliz aşamasında;

Proteinler → amino asitlere,

Lipidler → uzun zincirli yağ asitlerine ve alkollere,

Karbonhidratlar → mono sakaritlere (şekerlere),

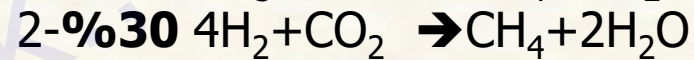
Nükleik asitler → şekerlere

Dönüşür.

Asit fermentasyonu: Başlıca asetik asit olmak üzere uçucu yağ asitleri (karboksilik asit) oluşum safhası

Asetik asit üretimi: Hidrojenin elektron alıcısı olarak kullanıldığı asetik asit üretim safhası

Metan üretimi: Metan üretimi iki biyokimyasal reaksiyonla gerçekleşir.



İki fazlı reaktörlerde hidroliz ve asit üretim safhası ile metan üretim safhası ayrı olur. Hidroliz ve asit üretim safhası pH'a karşı hassas değildir. Her safhadaki karıştırma, hidrolik bekletme süresi ve organik yükü optimize etmek gerekir.

GİRİŞ-ARITMA KONSEPTİ

Anaerobik arıtma: Atıksulardaki organik maddelerin, anaerobik ve fakültatif mikroorganizmalar tarafından oksijensiz ortamda sıvı, gaz (başlıca CH_4 ve kalanı CO_2) ve diğer stabil ürünlere dönüştürülmesidir. Proses üç safhada gerçekleşir: **hidroliz, asit üretimi ve metan üretimidir.**

Hidroliz: Kompleks organik bileşenlerin hidrolitik bakteriler tarafından basit substrat bileşenlerine dönüşümüdür. Enzimler bu reaksiyonları katalizlerler.

Hidroliz, kısaca su ile reaksiyon olarak da değerlendirilebilir. Bu reaksiyonlar bütün çevresel şartlarda gerçekleşebilir. Hidroliz, asit kullanarak kimyasal olarak da gerçekleştirilebilir.

Hidroliz, bir oksidasyon-redüksiyon reaksiyonu değildir ve karbonun ortalama oksidasyon basamağı değişmez.

Hidroliz, anaerobik ayrışmanın ilk safhası olmasına rağmen, prosesi kontrol etmez. Ancak, fazla biyolojik çamurlar ve selülozik içerikli atıklar gibi hidroliz hızı düşük olan bileşenlerde hız kısıtlayıcı safha hidroliz safhası olabilir.

Polimerlerin hidrolizi genellikle yavaştır.

GİRİŞ-ARITMA KONSEPTİ

Hidroliz hızını ve derecesini etkileyen hususlar şunlardır (Anaerobic reactors, Yazar: Carlos Augusto de Lemos Chernicharo):

- Reaktörün işletme sıcaklığı,
- Substratın reaktörde bekletme süresi,
- Substratın bileşimi (lignin, karbonhidrat, protein ve yağ bileşenleri),
- Partiküllerin büyüklüğü,
- Ortamın pH'ı
- $\text{NH}_3\text{-N}$ konsantrasyonu,
- Hidroliz ürünlerinin konsantrasyonları (uçucu yağ asitleri)

Asit üretimi: Yüksek moleküler ağırlıklı kompleks organik bileşenlerin, mikroorganizmaların enerji ve karbon kaynağı olarak kullanılabilceği düşük moleküler ağırlıklı bileşenlere (başlıca uçucu yağ asitlerine) dönüşümüdür. Bu safhada KOİ-BOİ stabilizasyonu az miktarda gerçekleşir.

GİRİŞ-ARITMA KONSEPTİ

Metan üretimi: Bu safhada, asit bakterileri tarafından ara ürün olarak üretilen uçucu yağ asitleri anaerobik şartlarda CO_2 ve CH_4 gibi basit nihai ürünlere dönüştürülür. Metan bakterileri mutlak anaerobiktir. Bu bakteriler, pH ve sıcaklık gibi çevresel parametrelere karşı asit bakterilerinden daha hassastır. Bu yüzden, prosesin hızını genellikle metan üretim safhası belirler. Organik maddelerin stabilizasyonu bu safhada gerçekleşir.

Hidrolitik bakteriler: Kompleks moleküllere su ilave ederek onları küçük-çözünmüş bileşenlere parçalarlar.

Fermantasyon: Organik bileşenlerden katabolik oksidasyon-redüksiyon reaksiyonlarıyla enerji üretimidir. Organik bileşenler hem elektron alıcısı hem de elektron vericisidir. Fermantasyonda organik bileşenlerin bir kısmı elektron alıcısı olduğu için, organik maddelerin bir kısmı oksitlenirken bir kısmı indirgenir. Şekerler, mayalar tarafından alkol ve karbondioksite dönüştürülür. Fermentasyon için ORP $< -100 \sim +300$ arasında olmalıdır. **Fermentasyon anaerobik şartlarda gerçekleşir.**

- Asit üretim safhasında : $\text{BOI}_5/\text{KOI} \geq 0,4$
- Ara safhada : $0,4 > \text{BOI}_5/\text{KOI} > 0,2$
- Metan üretim safhasında : $\text{BOI}_5/\text{COD} \leq 0,2$

1. Hidroliz: Partiküler organiklerin çözünmesidir. (*kompleks organik maddelerin çözünmüş organik bileşiklere dönüşümü*) Biyokimyasal bir procestir. Hücre dışı bakteriyel enzimler tarafından gerçekleştirilir. Bu safhada organikler stabil olmaz. *Atıksu arıtma çamurlarının anaerobik stabilizasyonunda hız kısıtlayıcı safha hidrolizdir.*

(Liquefaction: transformation into a liquid)

2. Asit üretimi:

(Acidogenesis:

Asetojenesis)

Çözünmüş moleküller hücre membranlarından geçer ve fermentasyonla kısa zincirli yağ asitlerine, alkollere ve laktik asite dönüşür. *Başlıca uçucu yağ asitleri: asetik, propiyonik, bütrik, valerik ve kaproik asittir. Bu safhada H₂ de açığa çıkar ve H₂ gazı asit üreten bakterileri inhibe eder.*

Biyo-ayrışabilir KOL'nin en az %50'si bütrik ve propiyonik asite dönüşür.

3. Asetik asit

üretimi: Acetogenesis:

Başlıca nihai ürünler: asetik asit ve hidrojen. Methanogen bakterileri ikiye ayrılır:

1. Hydrophilic

methanogens: *Metan üretimin %28'i*

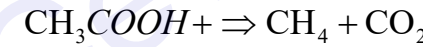


2. Acetophilic

methanogens:

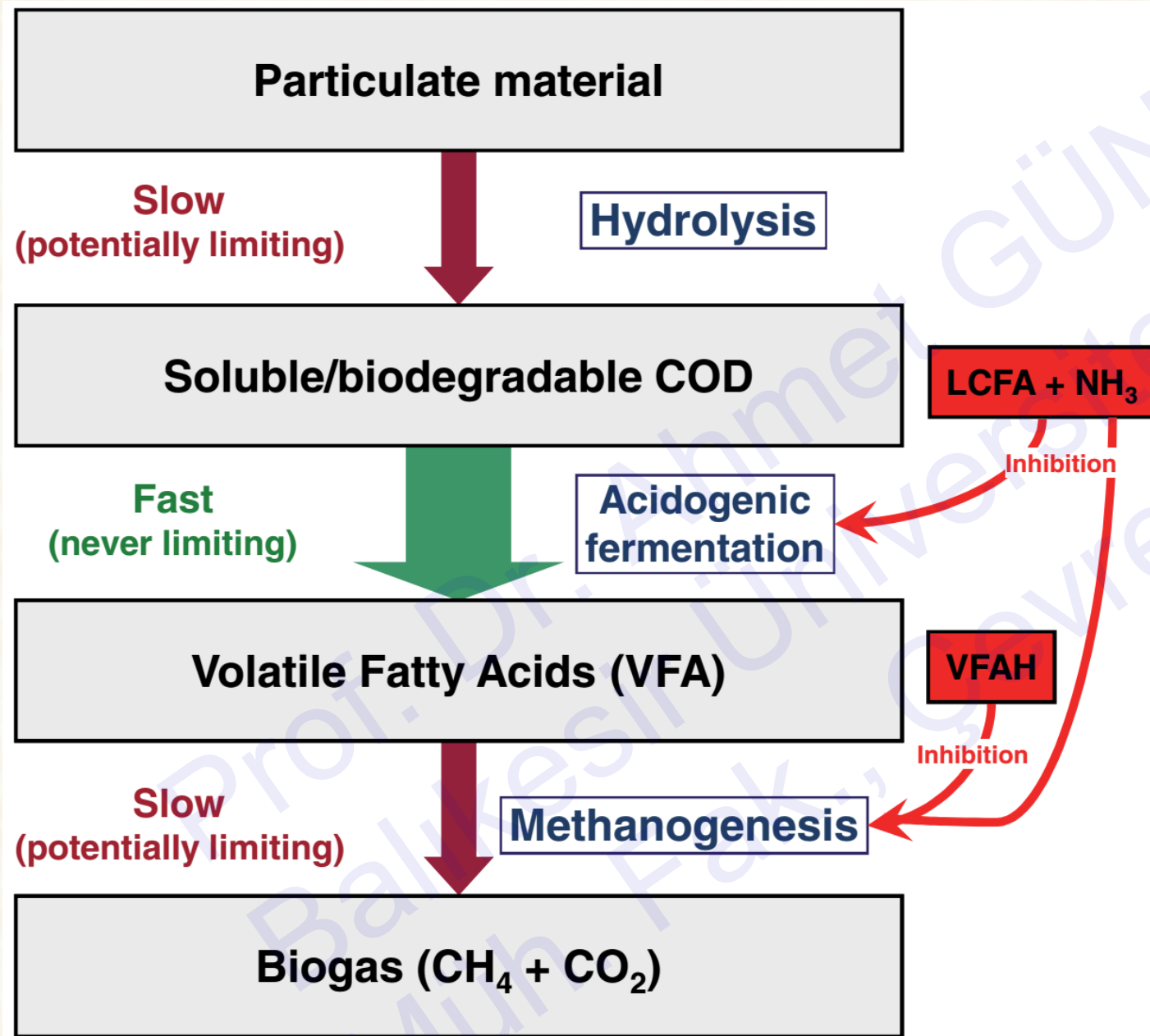
(Metanojenesis)

Metan üretimin %72'si

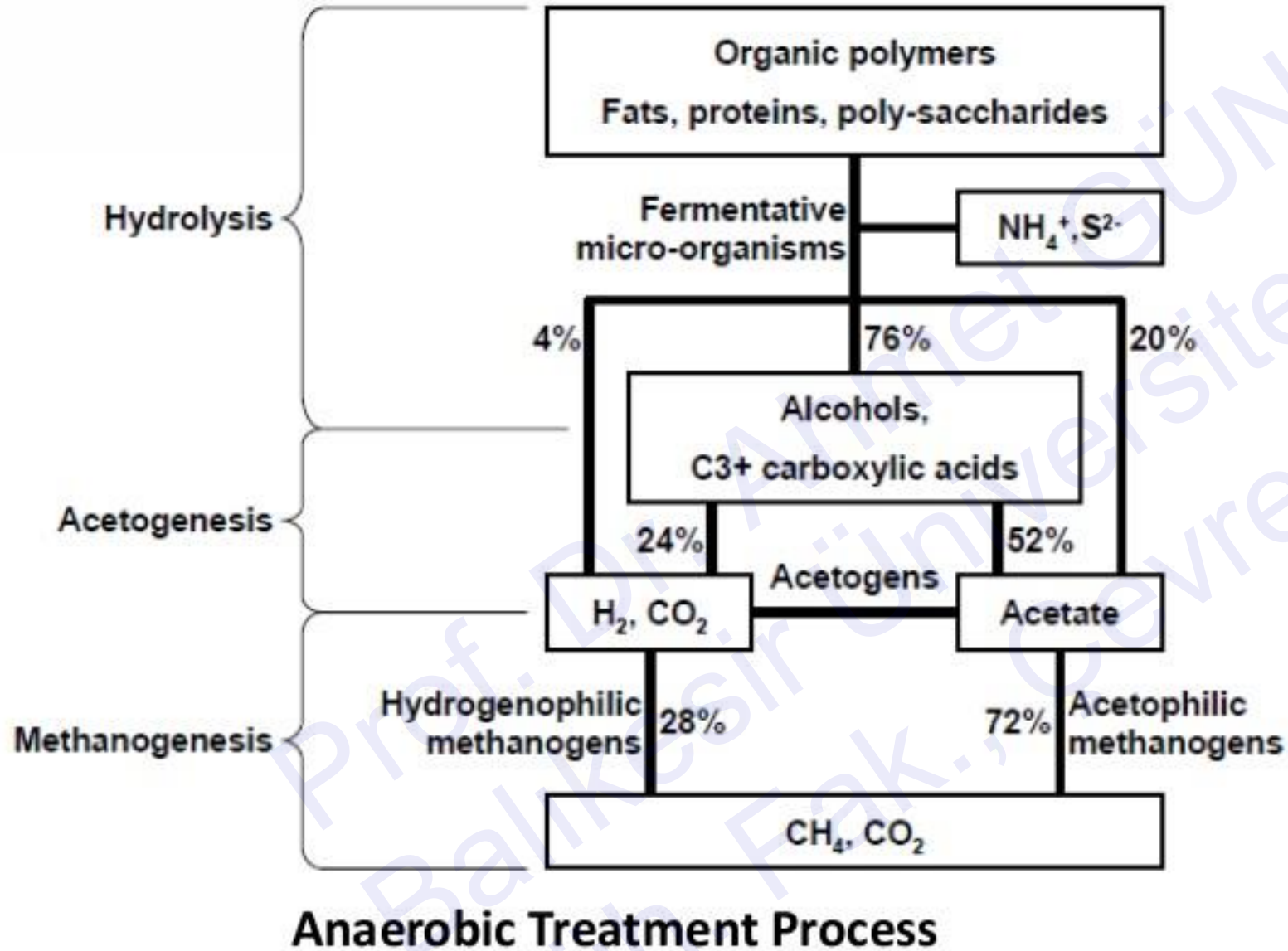


Substrat giderimi bu safhada gerçekleşir. Metan suda çözünmediği için su ortamını terk eder ve organik maddeler sudan giderilmiş olur.

Çözünmüş organik bileşik ihtiva eden atıksular için hız kısıtlayıcı safha metan üretim safhasıdır.



ŞEKİL: Anaerobik prosesin olası hız kısıtlayıcı safhaları



Çoğu kimyasal ya da biyokimyasal reaksiyon birden fazla seri reaksiyonlar sonucu gerçekleşebilir. Reaksiyonun hızı, en yavaş gerçekleşen reaksiyon adımına göre belirlenir.

- 1. Disintegration:** Extracellular process converting composite particulate materials to carbohydrates, proteins, and lipids
- 2. Hydrolysis:** Extracellular process converting particulates into soluble monomers
- 3. Acidogenesis:** Conversion of monomers to bicarbonates, alcohols, hydrogen, and organic acids through fermentation
- 4. Acetogenesis (Asetojenesis):** Oxidation of alcohols and organic acids to hydrogen and acetate
- 5. Methanogenesis (Metanojenesis):** Formation of methane from hydrogen and acetate

Hydrolysis and Formation of Lower Fatty Acids by Acidogenic Bacteria

The formation rate of amino acids from proteins, glycerine and fatty acids from lipids and monosaccharides from higher hydrocarbons depends on:

- the mole mass of polymers,
- their stability during hydrolysis,
- the portion of colloids,
- the concentration of enzymes.

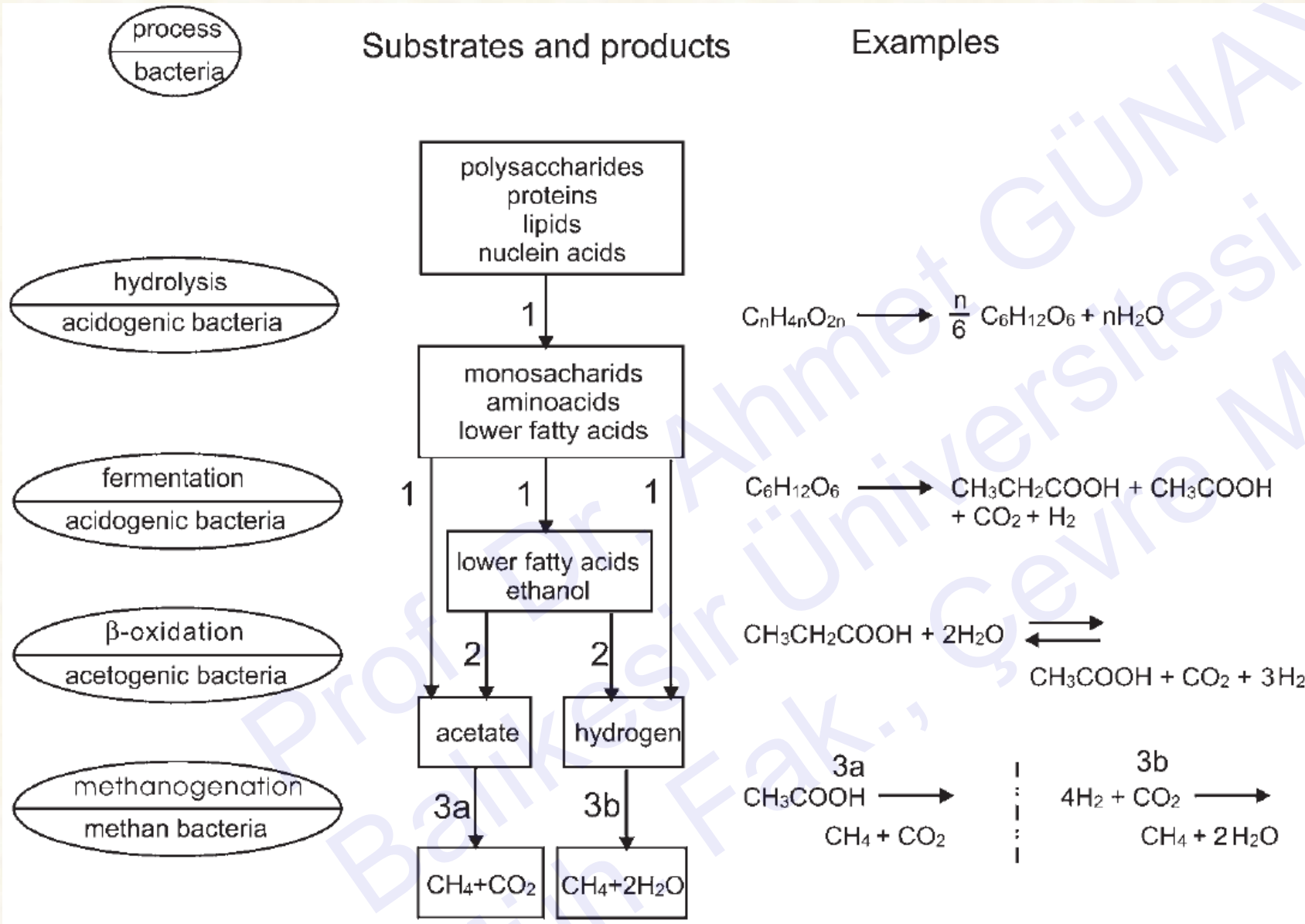


Fig. 8.1 Anaerobic metabolism.



Hydrolysis

Complex carbohydrates ----- > Simple sugars
Complex lipids ----- > Fatty acids
Complex proteins ----- > Amino acids

Acid Production

Simple sugars + fatty acids + amino acids ----- > organic acids, including acetate + alcohols

Acetogenesis (acetate production)

Organic acids + alcohols ----- > acetate

Methane production: acetoclastic methanogenesis



Methane production: hydrogenotrophic methanogenesis



Methane production: methyltrophic methanogenesis



Figure The critical biochemical reactions in the anaerobic digestion process and production of methane include hydrolysis, acid production, acetogenesis, and methane production. Methane production may occur through the use of acetate, hydrogen and carbon dioxide, and methano

Fermantasyon

Fermantasyon, **organik bileşenlerin hem elektron alıcısı hem de elektron vericisi olarak kullanıldığı, anaerobik katabolizma mekanizmasına dayanan biyokimyasal reaksiyonlarla enerji üretimidir.**

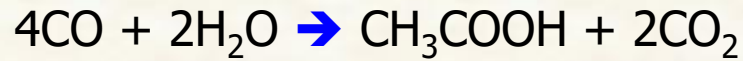
Başka bir tanım, **anoksik ortamda hetetrofik organizmaların organik molekül içerisindeki elektronları yeniden dizerek basit organik (asetat, etanol, H₂, CH₄ gibi) ve inorganik bileşenlere (CO₂, H₂O) dönüştürmesi ve enerji üretmesidir.**



- Fermantasyon anaerobik solunumun bir formudur.
- Fermantasyon anaerobik şartlarda gerçekleşir.
- Fermantasyonla kompleks organik bileşenler basit substrat bileşenlerine dönüşür.
- Fermantasyonla organik maddeler kısmen okside olur.
- Fermantasyonla **büyük moleküllerden enerji çıkararak küçük moleküller üretilir. Bu yüzden organik madde içerisindeki potansiyel kimyasal enerjinin az bir kısmı açığa çıkar. Ayrışan organik bileşenin ihtiva ettiği enerjinin çoğu fermente olan ürün içerisinde kalır.**
- Fermantasyon için ORP'nin $< -100 \sim +300$ mV arasında olması gerekir.
- Fermantasyonla molekül içerisindeki elektronlar yeniden dizilir.

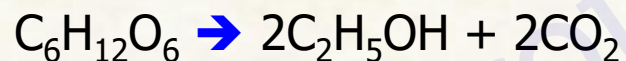
ACETATE FERMENTATION

Acetate is produced in several fermentative pathways.



ALCOHOL (ETHANOL) FERMENTATION

Although alcohol fermentation is the domain of yeast (*mostly Saccharomyces*), alcohol is produced by several species of bacteria in the genera *Erwinia*, *Sarcina*, and *Zymomonas*. These organisms produce ethanol from the anaerobic degradation of hexoses such as glucose. At relatively low pH values (<4.5), alcohol is produced by bacteria in the genera **Enterobacter** and **Serratia**.



• **Fermantasyon:** Organik bileşenlerden katabolik oksidasyon-redüksiyon reaksiyonlarıyla enerji üretimidir. Organik bileşenler hem elektron alıcısı hem de elektron vericisidir. Fermantasyonda organik bileşenlerin bir kısmı elektron alıcısı olduğu için, organik maddelerin bir kısmı oksitlenirken bir kısmı indirgenir. Şekerler, mayalar tarafından alkol ve karbondioksite dönüştürülür. Fermentasyon için ORP < -100 ~ +300 arasında olmalıdır. Fermentasyon anaerobik şartlarda gerçekleşir.



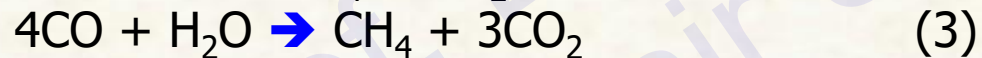
METHANE FERMENTATION

Three types of methane-forming bacteria achieve methane production—two groups of obligate **chemolithotrophic methanogens** and one group of **methylotrophic methanogens**.

Chemolithotrophic methanogens produce methane from carbon dioxide and hydrogen (Equation 1) or formate (Equation 2). Carbon monoxide also may be used by some chemolithotrophic methanogens in the production of methane (Equation 3).

Methylotrophic methanogens produce methane by using methyl group (–CH₃)-containing substrates such as methanol (Equation 4), methylamine (Equation 5), and acetate (Equation 6). These organisms produce methane directly from the methyl group and not via carbon dioxide.

Chemolithotrophic methanogens



Methylotrophic methanogens

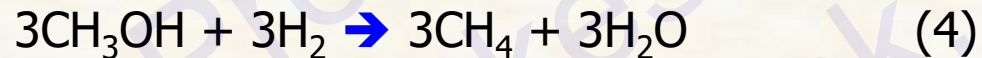


TABLE Major Acids and Alcohols Produced Through Fermentation Processes in Anaerobic Digesters

Name	Formula
Acetate	CH ₃ COOH
Butanol	CH ₃ (CH ₂) ₂ CH ₂ OH
Butyrate	CH ₃ (CH ₂) ₂ CH ₂ COOH
Caproic acid	CH ₃ (CH ₂) ₄ COOH
Formate	HCOOH
Ethanol	CH ₃ CH ₂ OH
Lactate	CH ₃ CHOHCOOH
Methanol	CH ₃ OH
Propanol	CH ₃ CH ₂ CH ₂ OH
Propionate	CH ₃ CH ₂ COOH
Succinate	HOOCCH ₂ CH ₂ COOH

TABLE Growth Yields (as % of COD removed)

Substrate (waste)	Yield
Alcohols	0.06-0.08
Carbohydrates	0.08-0.15
Organic acids	0.02-0.04
Proteins	0.03-0.06



TABLE Volatile Acids Commonly Found In Anaerobic Digester

Volatile Acid	Number of Carbon Units	Formula
Formate	1	HCOOH
Acetate	2	CH ₃ COOH
Propionate	3	CH ₃ CH ₂ COOH
Butyrate	4	CH ₃ (CH ₂) ₂ COOH
Valeric acid	5	CH ₃ (CH ₂) ₃ COOH
Isovaleric acid	5	(CH ₃) ₂ CHCH ₂ COOH
Caproic acid	6	CH ₃ (CH ₂) ₄ COOH

The higher the volatile solids feed to the digester, the larger the amount of volatile acids formed in the digester. The larger the amount of volatile acids in the digester, the greater the impact of volatile acids on digester alkalinity and pH. **Therefore, sludges that have a high volatile content should be transferred slowly to an anaerobic digester.**

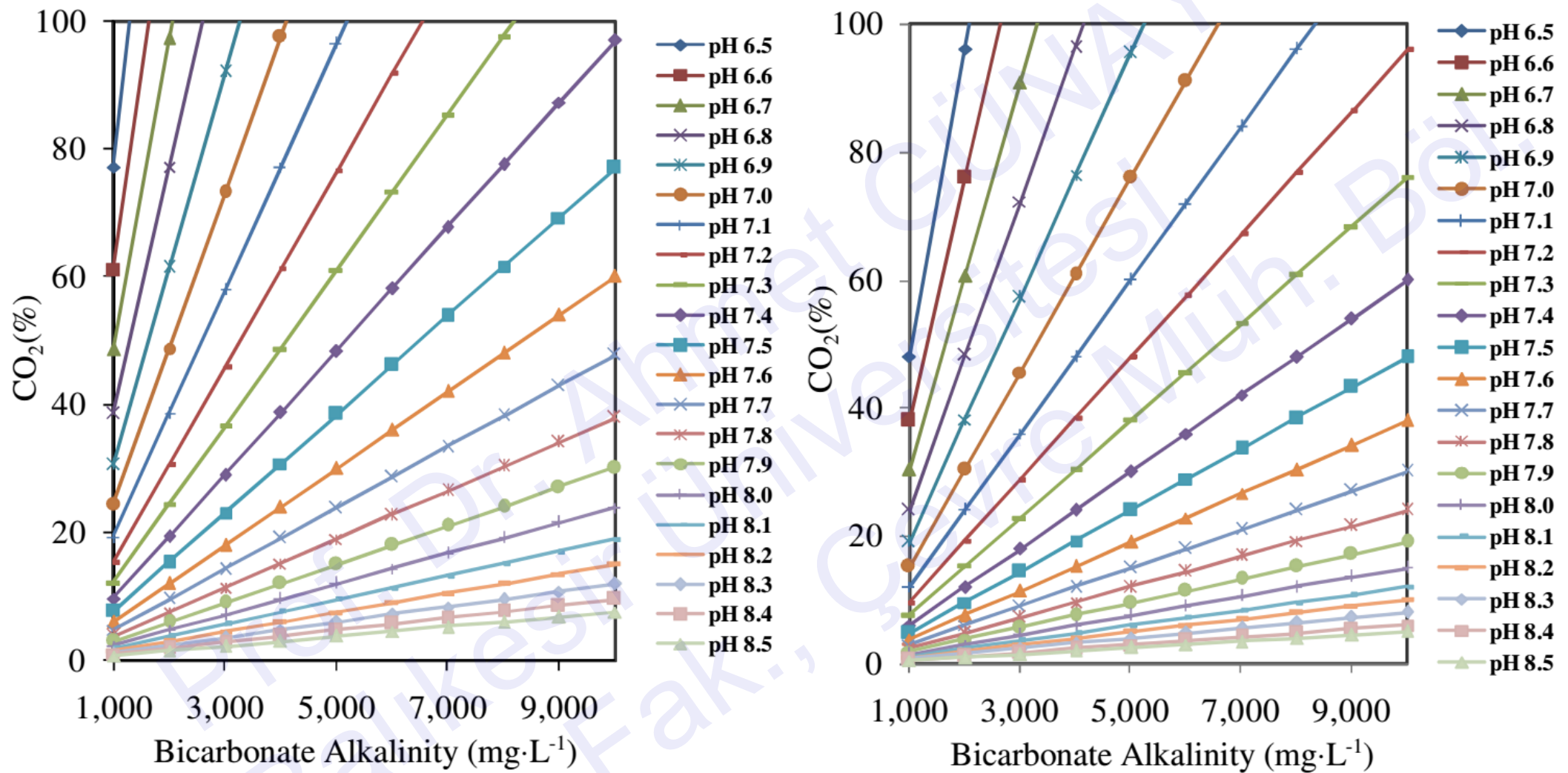


Fig. 6.1. The relationship among bicarbonate alkalinity, CO₂ and pH (Left: 35 °C; Right: 55 °C).

Methane-forming bacteria are strict anaerobes and are extremely sensitive to changes in **alkalinity, pH, and temperature**. Therefore, operational conditions in the digester must be periodically monitored and maintained within optimum ranges. In addition to alkalinity, pH, and temperature, several other operational conditions should be monitored and maintained within optimum ranges for acceptable activity of methane-forming bacteria. These conditions are **gas composition, hydraulic retention time (HRT), oxidation-reduction potential (ORP), and volatile acid concentration**.

The difficulty in achieving proper digester operation is the **presence of different bacterial groups that have different optimum values or ranges of values for operational conditions**. For example, there are two optimal temperatures for anaerobic digestion of solids. **The acid-forming bacteria have an optimum temperature at 30°C, and the mesophilic, methane-forming bacteria have an optimum temperature at 35°C.**



GENEL KAYNAKLAR

Karia & Christian, G L Karia R A Christian, Wastewater Treatment: Concepts And Design Approach.

Türker, M., (2008). Anaerobik Biyoteknoloji ve Biyoenerji Üretimi, Çevkor Vakfı Yayınları, İzmir, 260 sayfa.

Türker, M., (2007). Biyogaz Teknolojisi, Çevkor Vakfı Yayınları, İzmir.

Öztürk, İ, Anaerobik Arıtma ve Uygulamaları, SU VAKFI YAYINLARI

Samir Kumar Khanal, Anaerobic biotechnology for bioenergy production : principles and applications, John Wiley & Sons, Inc., 2008, ISBN: 978-0-813-82346-1

Gerardi, Michael H. The microbiology of anaerobic digesters, ISBN 0-471-20693-8

