



BİYOLOJİK TEMEL İŞLEMLER

Anaerobik Arıtma Sistemleri

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

- Organik ve inorganik maddelerin oksijensiz ortamda ayrıştırılması
 - Atık çamurların stabilizasyonu
 - Yüksek organik içerikli endüstriyel atıksuların arıtımı
 - Düşük kuvvetlilikteki atıksuların hibrid sistemlerle arıtımı (yeni gelişen bir alan)

Anaerobik Arıtmanın Avantajları

- Daha düşük enerji ihtiyacı,
- Metanın enerji olarak kullanılabilmesi imkanı,
- Daha az çamur oluşumu,
- Daha düşük miktarda nütrient ihtiyacı,
- Daha küçük reaktör hacmi gereksinimi,
- CO₂'nin anaerobik reaktörlerde daha az üretilmesi,
- Daha yüksek organik yüklere cevap verebilmesi

Anaerobik Arıtmanın Avantajları

$$\text{KOİ} = 10.000 \text{ mg/L} \quad Q = 100 \text{ m}^3/\text{gün}$$

Enerji	Enerji Değerleri, kj/gün	
	Anaerobik	Aerobik
Havalandırma ^{a,b}		$-1,9 \times 10^6$
Metan Üretimi ^{c,d}	$12,5 \times 10^6$	
Su sıcaklığını 30°C'e çıkarmak	$-2,1 \times 10^6$	
Net Enerji, Kj/gün	$10,4 \times 10^6$	$-1,9 \times 10^6$

^a Oksijen ihtiyacı = 0,8 kg/kg KOİ giderilen

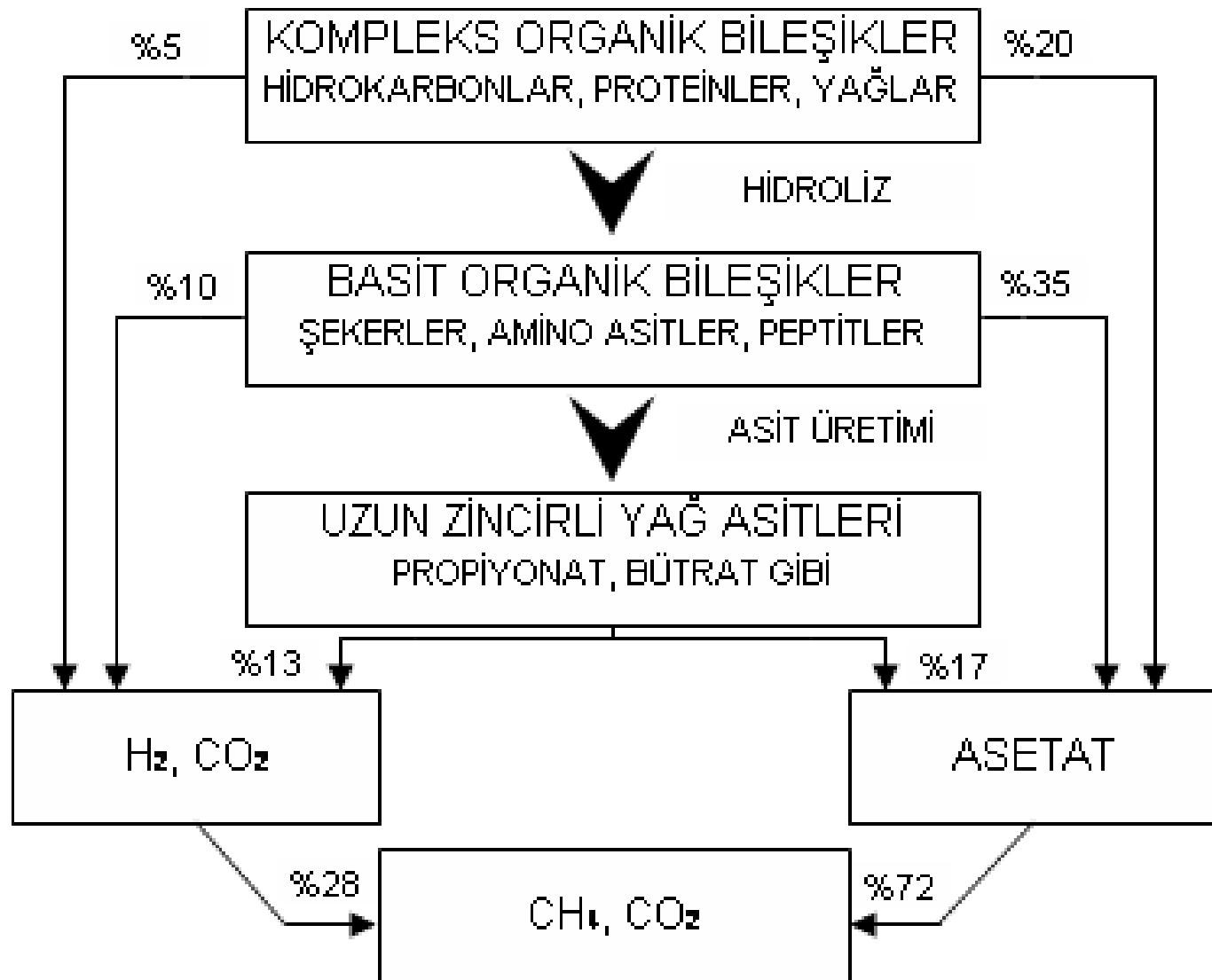
^b Metan üretimi = 1,52 kg O₂/kWh ve 3600 kJ = 1 kWh

^c Metan üretimi = 0,35 m³/kg KOİ giderilen

^d Metanın enerji muhtevası = 35,846 Kj/m³ (0°C ve 1 atm)

Anaerobik Arıtmanın Dezavantajları

- Daha uzun ilk alışma periyodu,
- Düşük deşarj kriterleri için ikinci bir arıtma sisteminin ilave edilme gereksinimi,
- Yüksek azot ve fosfor çıkışı,
- Bazı sularda ilave alkalinite gerekliliği,
- Düşük KOİ konsantrasyonuna sahip atıksularda düşük verim ve metan üretim miktarı,
- Muhtemel koku problemi,
- Toksik etkilere karşı daha hassas olmasıdır.

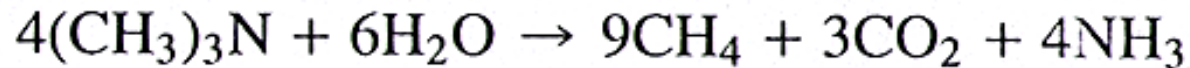
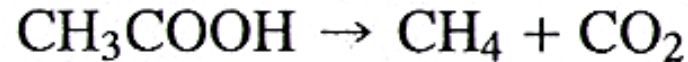
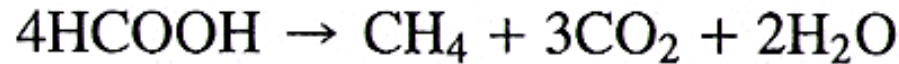
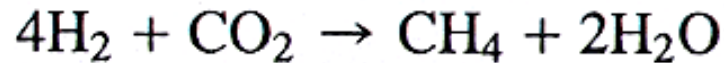




Anaerobik Sistemlerde Mikrobiyoloji

- Asidojen Bakteriler (Asit üretenler)
 - Clostridium spp.
 - Peptococcus anaerobus
 - Bifidobacterium spp.
 - Actinomyces
 - Escherichia coli
- Metanojenler (Metan üretenler)
 - Methanobacterium
 - Methanobacillus
 - Methanococcus
 - Methanosarcina

- **Metanojen bakterilerin kullandığı substratlar**
 - CO₂, H₂, format, asetat, metanol, metilamin...

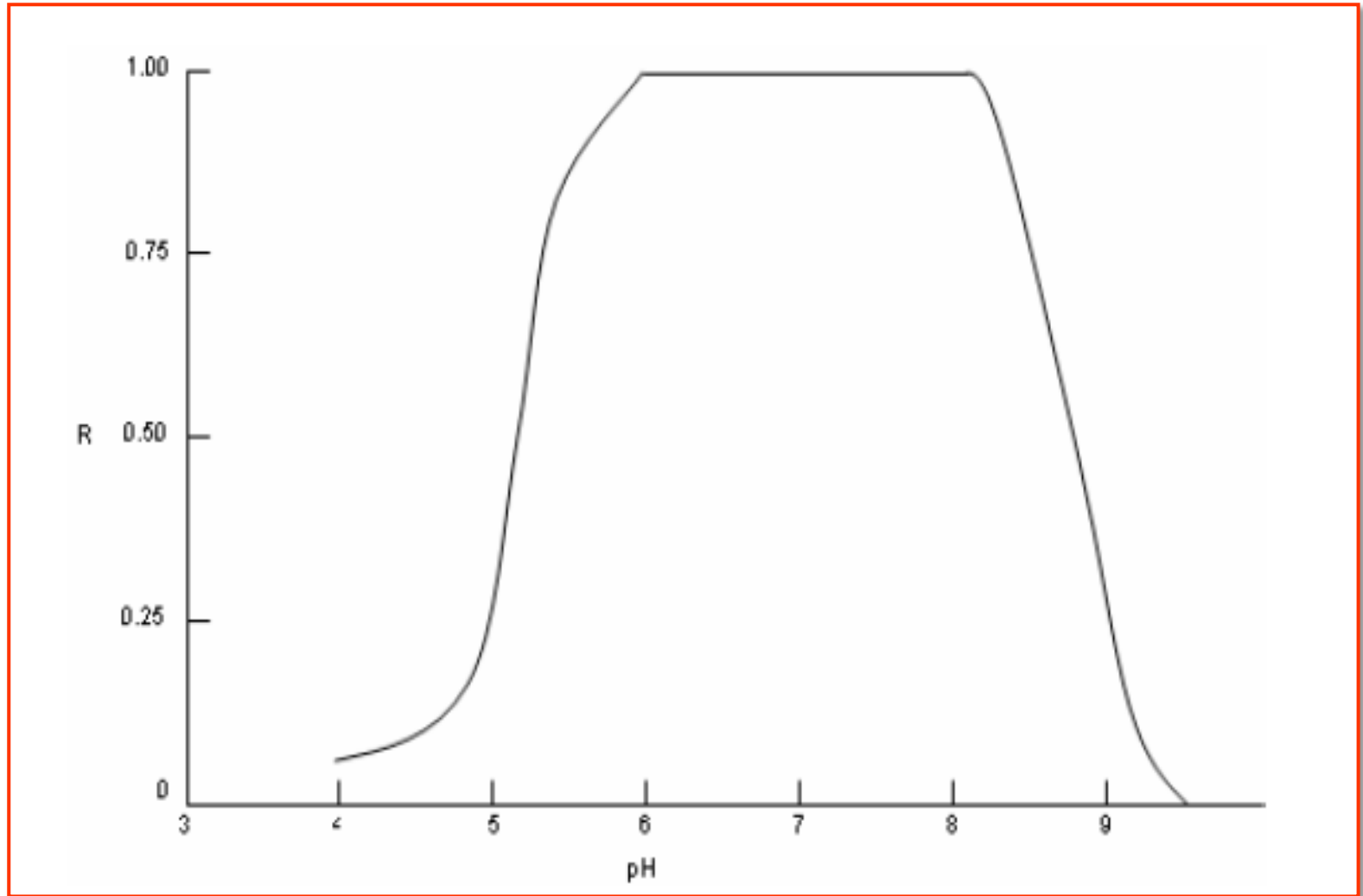


Anaerobik Sistemlerde Değişkenler

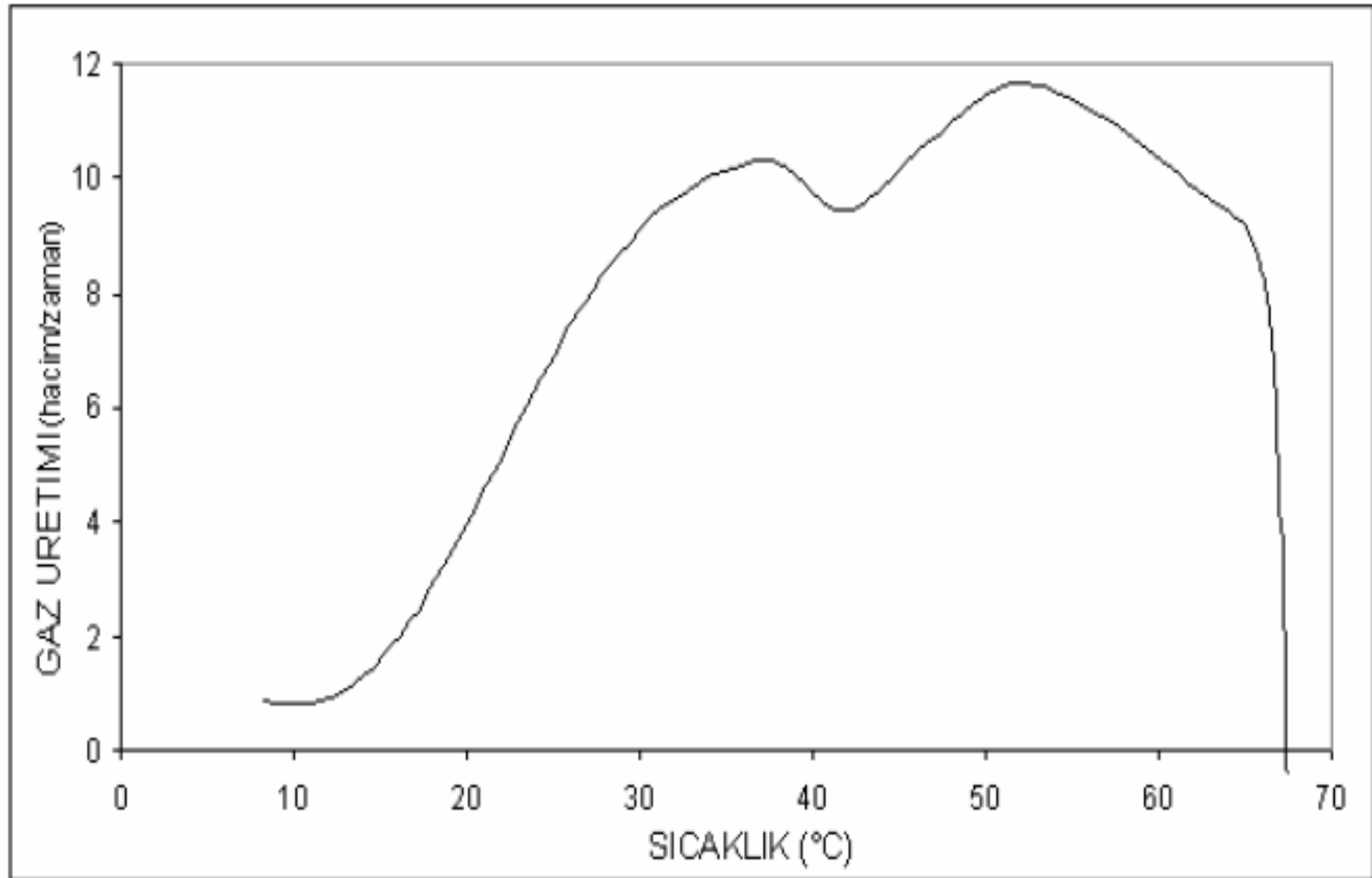
- Oksijensiz bir ortam sağlanmalı
- pH 6,6-7,6 arasında olmalı
- Yeterli alkalinite sağlanmalı (1000-5000 mg/L CaCO_3)
- Sıcaklık mezofilik reaktörler için 30-38 °C
termofilik reaktörler için 49-57 °C
- VFA (Uçucu yağ asidi) 250 mg/L den az olmalı
- Ağır metallerin ve sülfürün toksik konsantrasyonları aşılmamalı

Ayrıca, azot ve fosfor gibi nütrientlerin de yeterli miktarda olması sağlanmalı

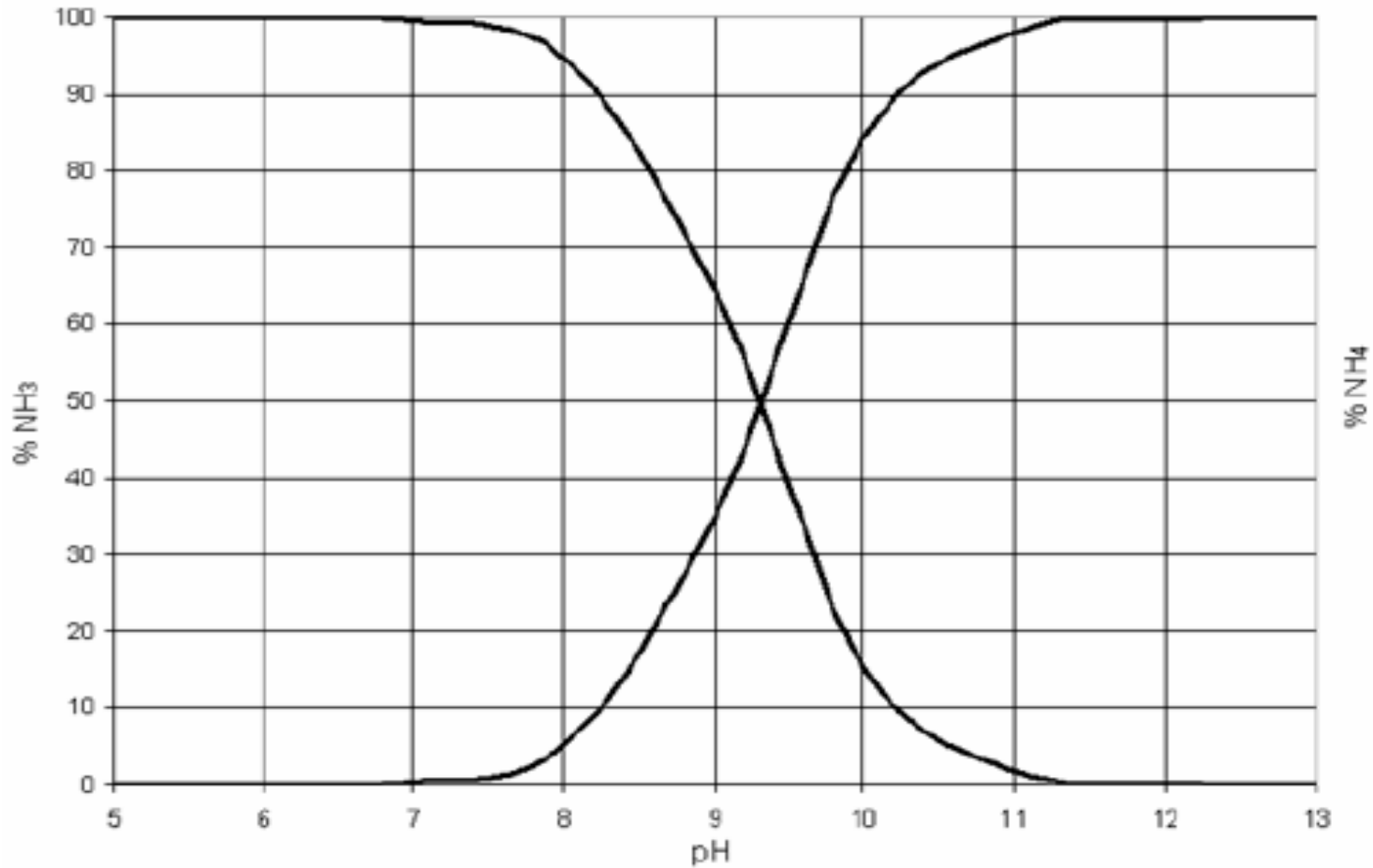
Anaerobik Sistemlerde pH'nın Etkisi



Anaerobik Sistemlerde Sıcaklığın Etkisi

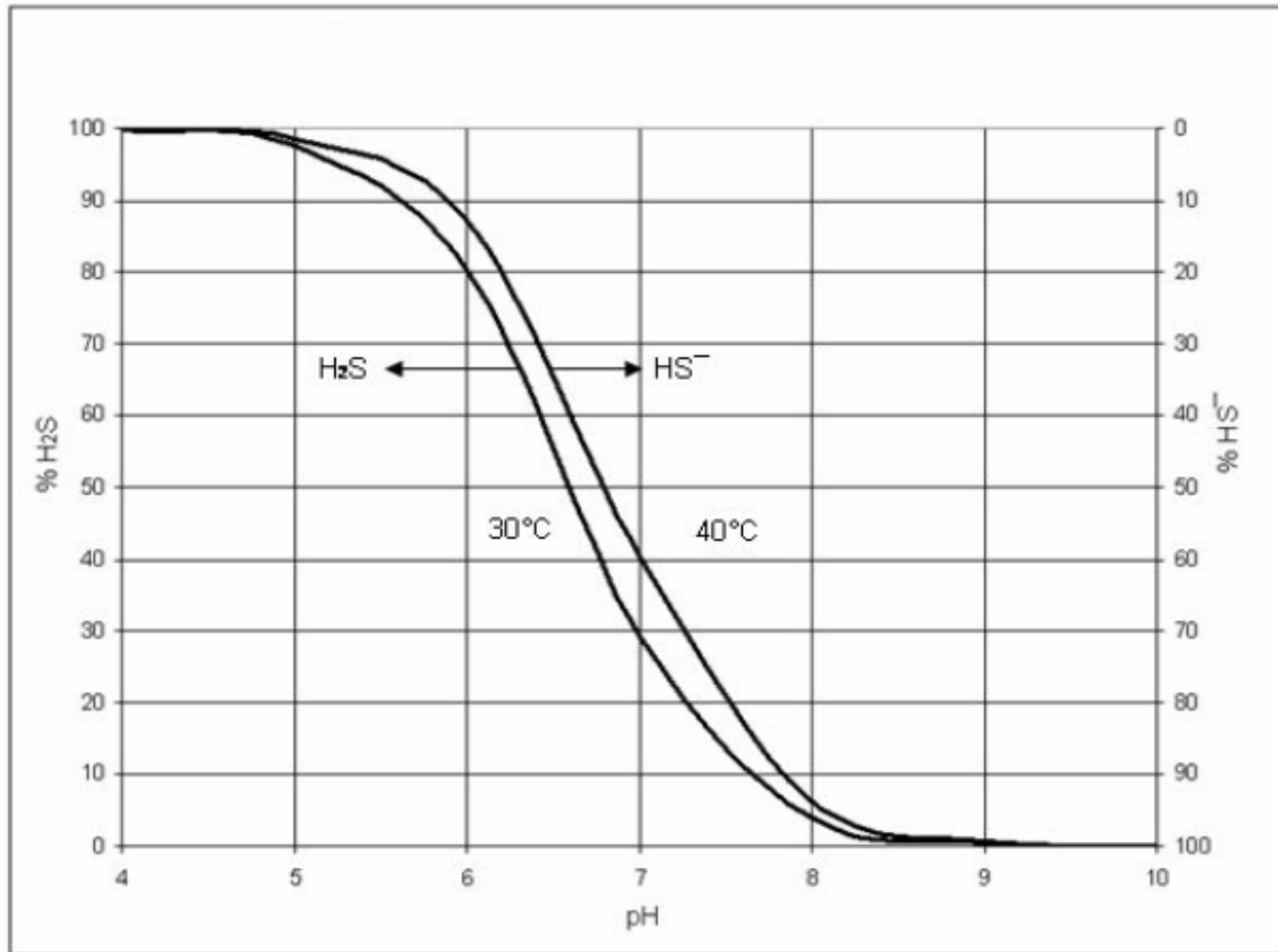


Anaerobik Sistemlerde Amonyak



pH değişimine bağlı olarak amonyak ve amonyumun dönüşümü

Anaerobik Sistemlerde Sülfür



H_2S ve HS^- 'in pH'a göre değişimi

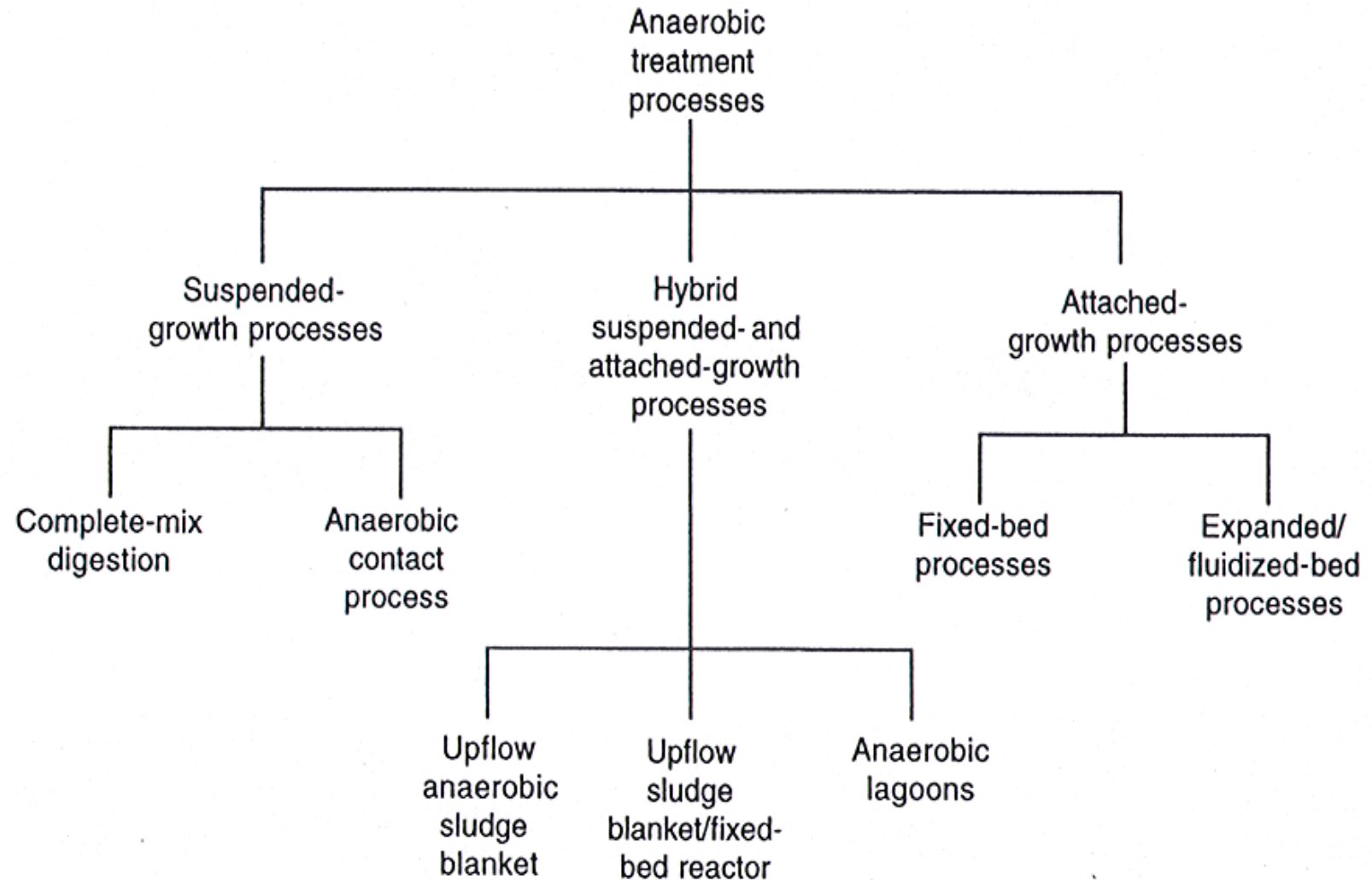
Anaerobik arıtmada bazı iz elementlerin istenen konsantrasyonları

İz elementler	Reaktördeki Konsantrasyonları (mg/L)
S	4
Ca	3
Mg	3
Fe	0,5
Ni	<0,01
K	555
Zn	0,05

Tek kademeli ve iki kademeli sistemlerin mukayesesi

	Tek Kademeli	İki Kademeli
Üstün Yönleri	- Daha az yatırım maliyeti - İşletme ve kontrol kolaylığı	- Daha hızlı işletmeye alma - Prosesin daha kararlı olması - Arıtma veriminin daha yüksek oluşu - Katı organik maddelerin daha iyi parçalanması
Mahzurları	- Daha uzun sürede işletmeye alma - Daha kararsız proses - Organik yük değişimlerine karşı daha hassas oluşu	- Daha yüksek yatırım maliyeti - Kontrolün daha zor oluşu - Dikkatli pH kontrolü gerekliliği

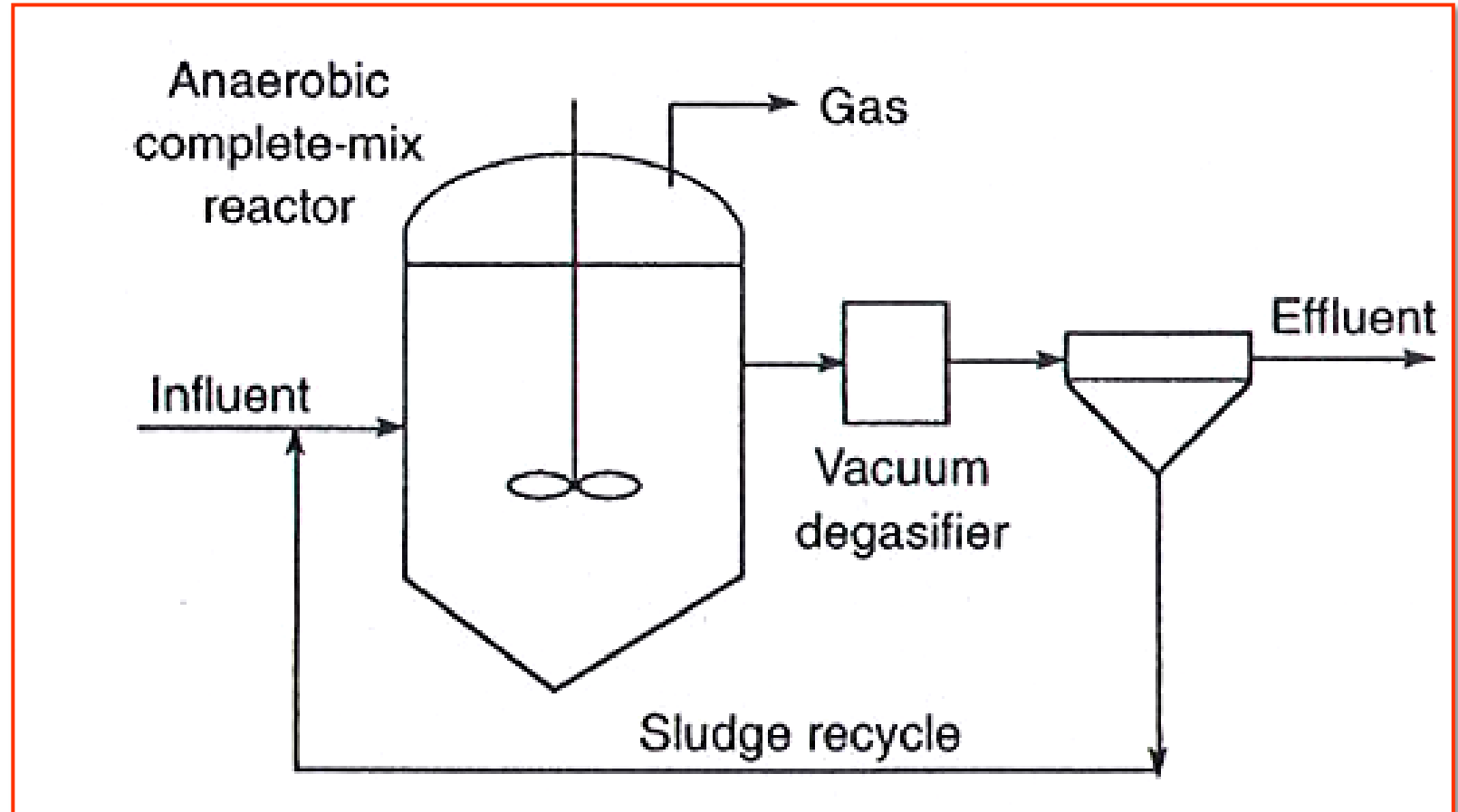
Anaerobik Sistemlerin Sınıflandırılması



Anaerobik Sistemlerin Karşılaştırılması

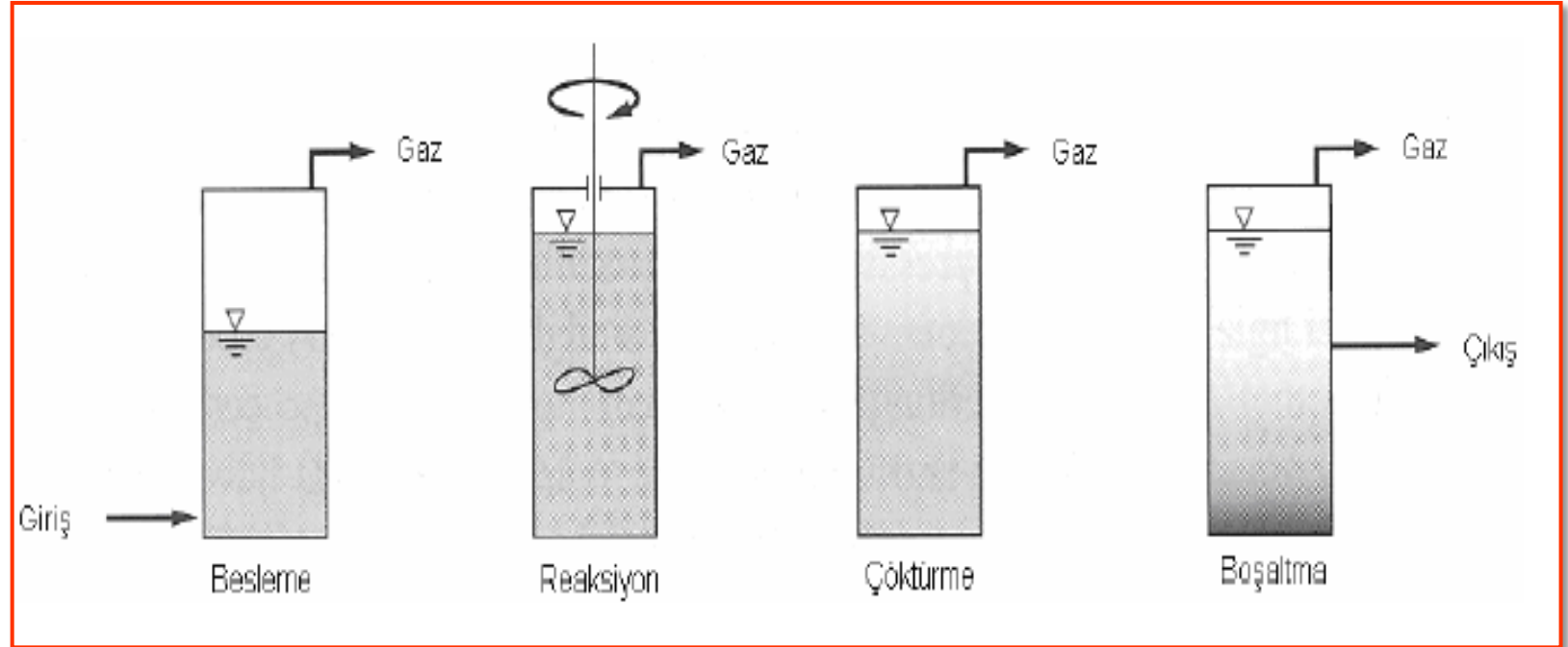
Faktör	Askıda Büyüyen	Hibrit Sistemler	Bağlı Büyüyen
Ulaşılabilir biyokütle konsantrasyonu	Düşük	Yüksek	Yüksek
Ulaşılabilir çamur yaşı	Düşük	Yüksek	Yüksek
Partiküllü atıksulara uygunluğu	Uygun	Kısmi giderim	Düşük giderim
Çok konsantre atıksulara uygunluğu	Uygun	Uygun değil	Uygun değil
Seyreltik atıksulara uygunluğu	Uygun değil	Uygun	Uygun
Giderme verimi	Sınırlı	Yüksek	Yüksek
Değişen debilere ve toksik etkilere dayanıklılığı	Düşük çamur yaşı nedeniyle sınırlı	Uzun çamur yaşı nedeniyle yüksek direnç	Uzun çamur yaşı nedeniyle yüksek direnç
Güç gereksinimi	Genellikle çok düşük	Çıkışta geri devir varsa daha yüksek	Yatak malzemesi akışkansa yüksek olabilir

Askıda Büyüyen Anaerobik Sistemler



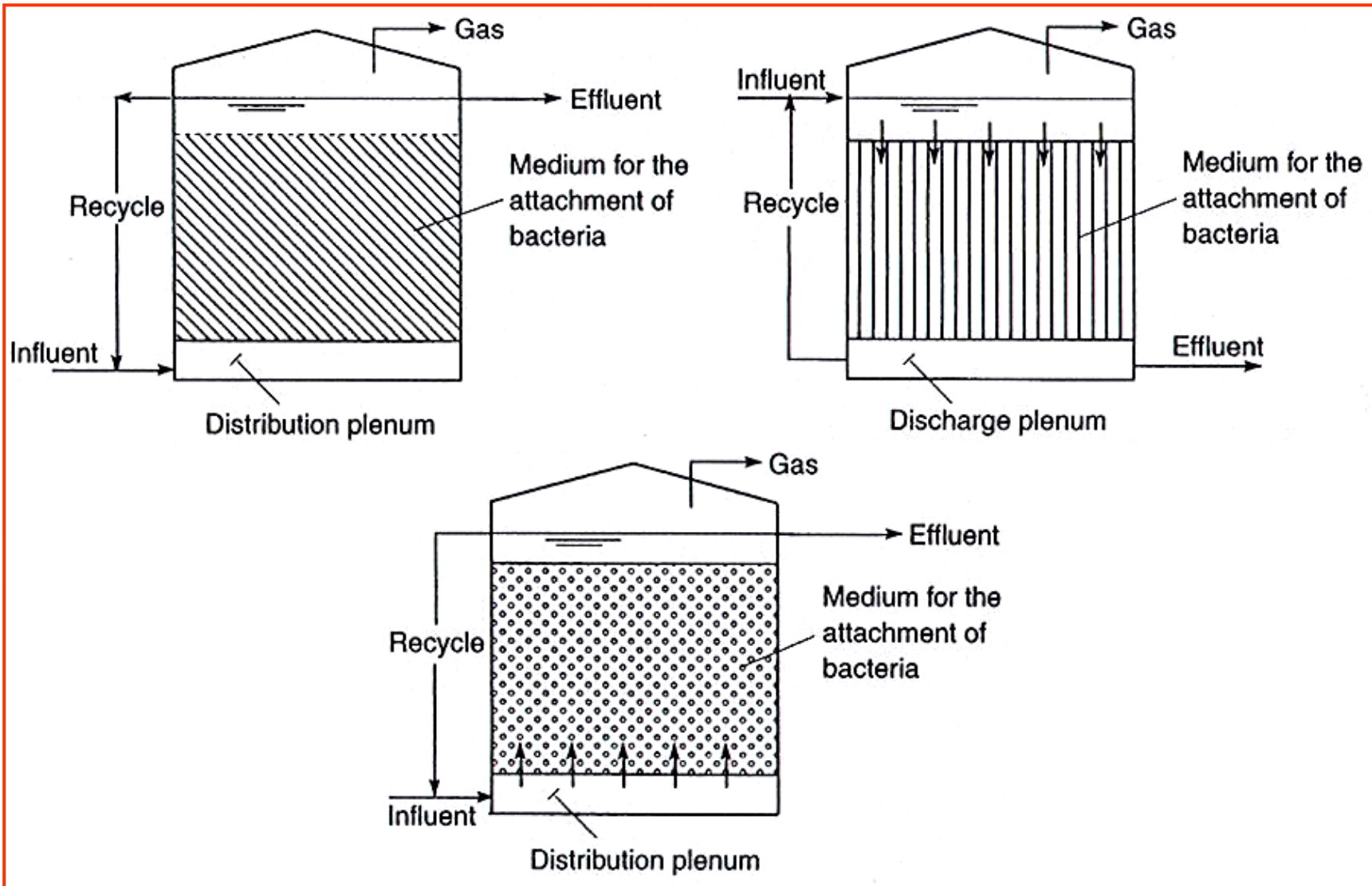
Anaerobik Kontak Prosesi

Askıda Büyüyen Anaerobik Sistemler

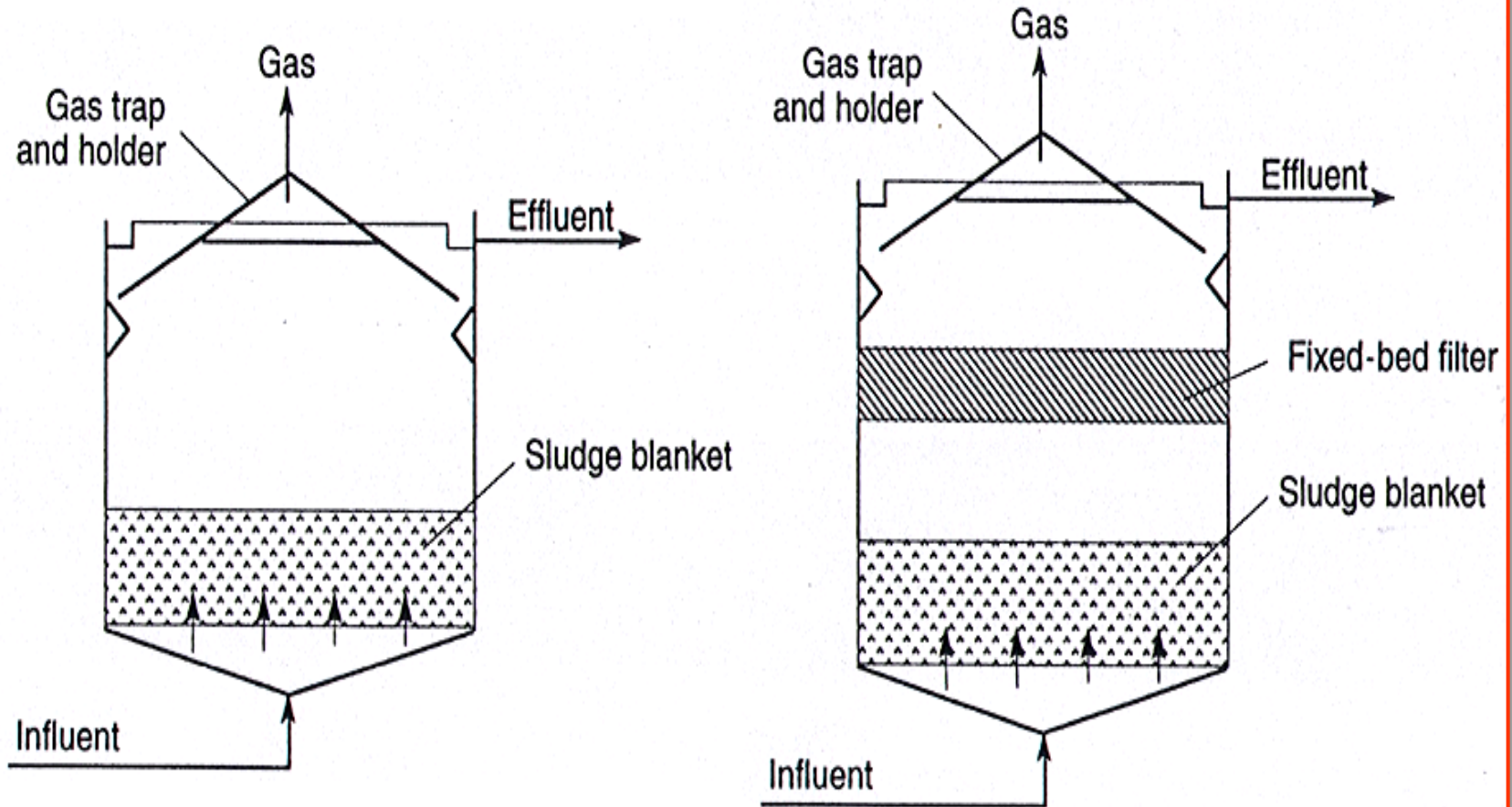


Anaerobik Ardışık Kesikli Reaktör

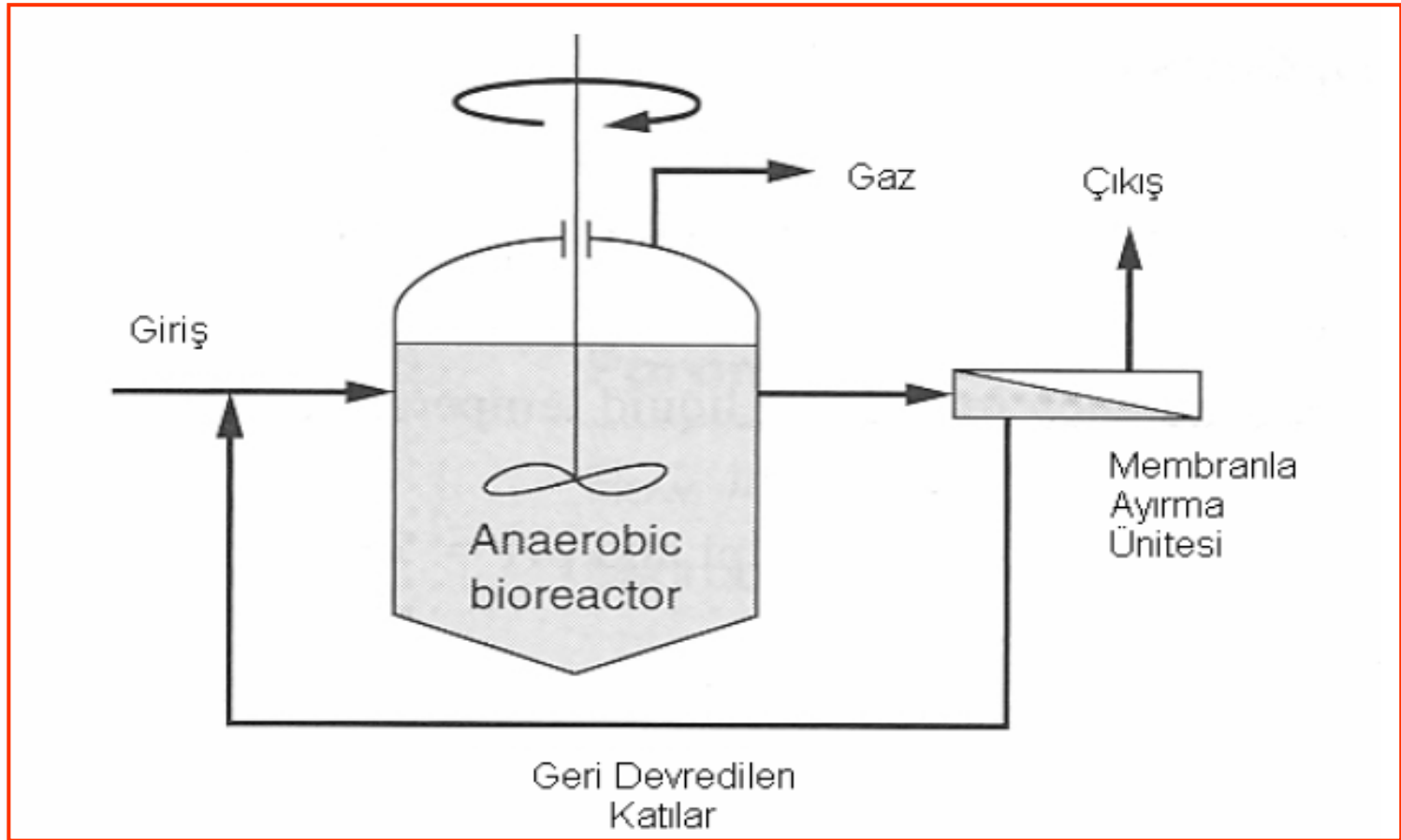
Anaerobik Biyofilm Prosesleri



Hibrit Anaerobik Sistemler

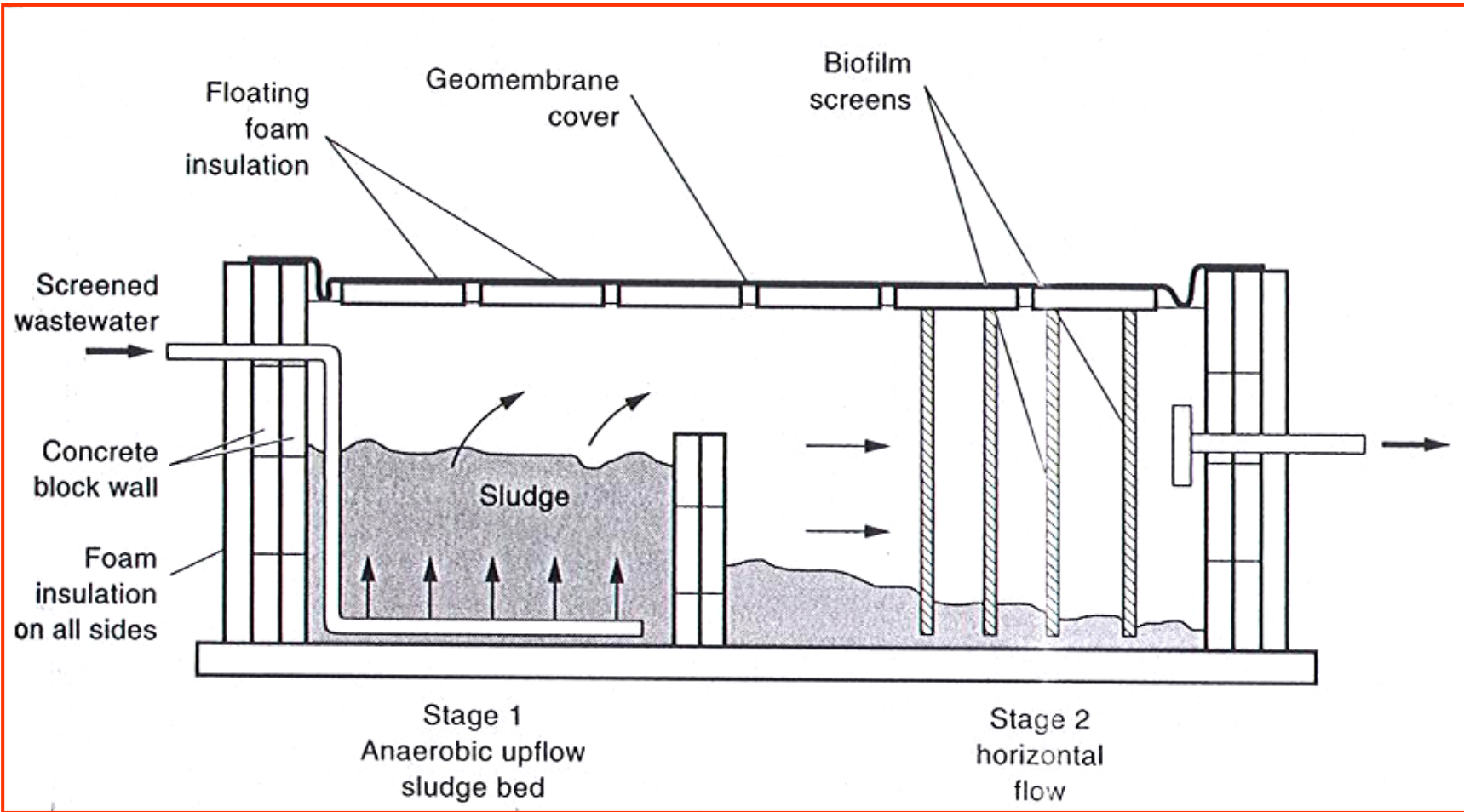


Hibrit Anaerobik Sistemler



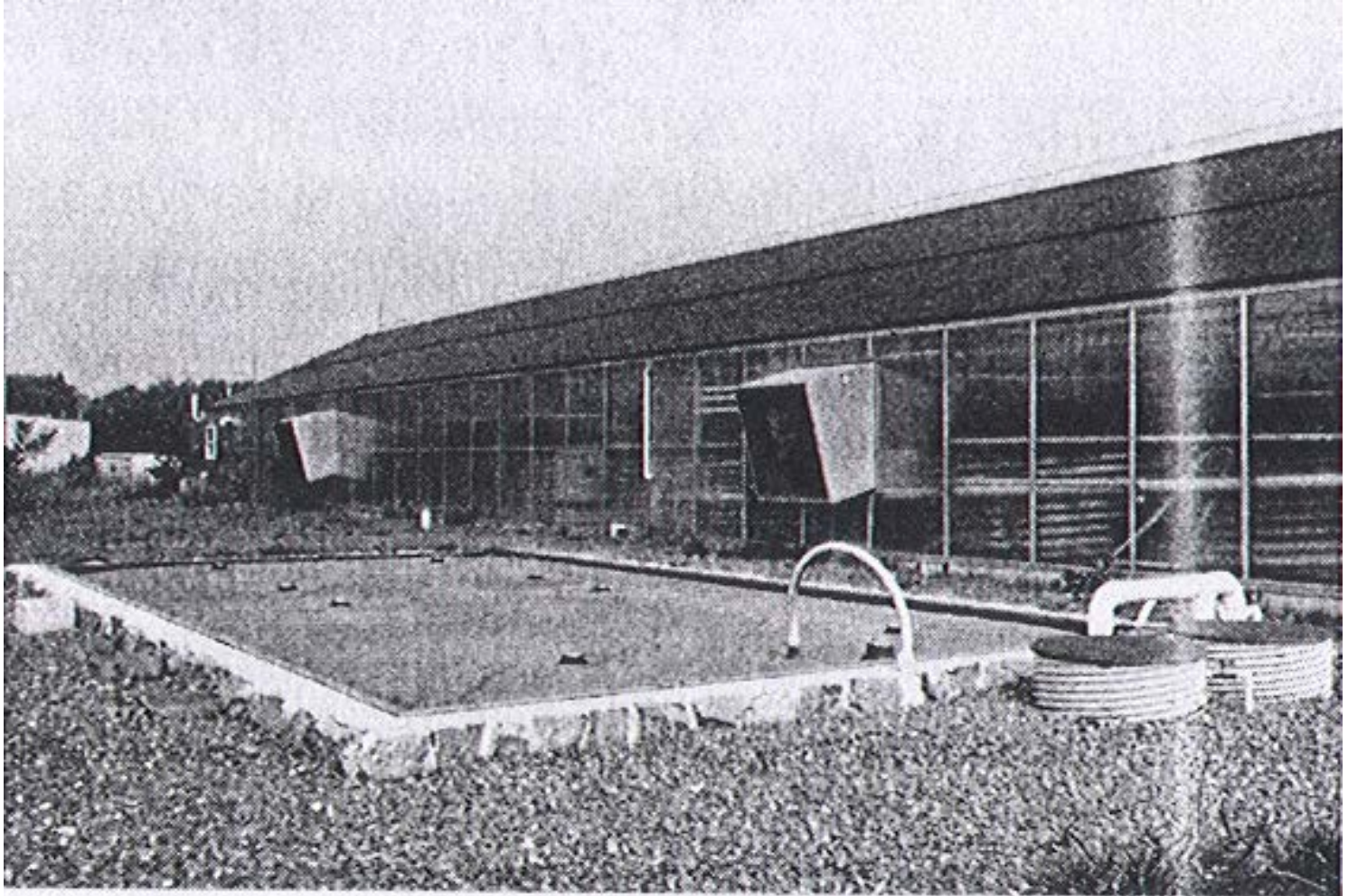
Anaerobik membran biyoreaktör

Hibrit Anaerobik Sistemler



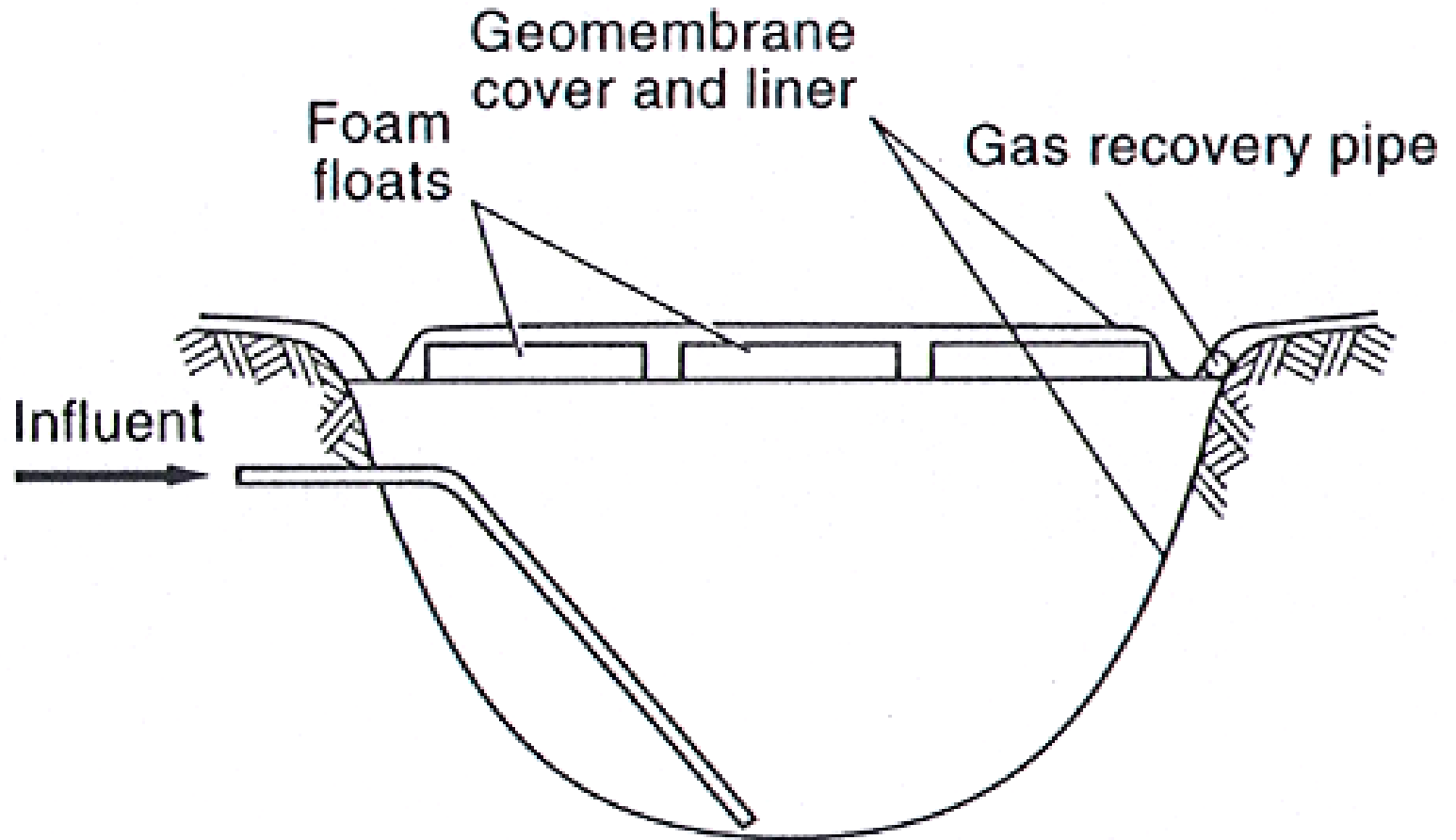
Septik Sistemler

Hibrit Anaerobik Sistemler



Septik Sistemler

Anaerobik Lagün Sistemleri



Anaerobik Sistemlerin Tasarımı

Evsel atıksu çamurlarının anaerobik çürütülmesinde kinetik katsayıların tipik değerleri

Katsayı	Birim	Değerler*	
		Aralık	Tipik
k	gün^{-1}	0,5–2	1,0
K_s	mg KOİ/L	500–2500	1500
Y	mg VSS/mg KOİ	0,05–0,15	0,1
k_d	gün^{-1}	0,02–0,05	0,03

* Değerler 20°C içindir.

Anaerobik Sistemlerin Tasarımı

Tam karışımli anaerobik çürütücüler için minimum ve önerilen çamur yaşı değerleri

İşletme sıcaklığı, °C	θ_C^M , gün	$\theta_{Cdizayn}$, gün
18	11	28
24	8	20
30	6	14
35	4	10
40	4	10

Anaerobik Sistemlerin Tasarımı

Anaerobik proseslerin tipik performans değerleri

Proses	Giriş KOİ, mg/L	Hidrolik bekletme süresi, saat	Organik yükleme oranı, kg KOİ/m ³ - gün	Uçucu katı yükleme oranı, kg VSS/m ³ - gün	KOİ Giderimi, %
Anaerobik çürütücü	1.500–5.000	360–480	0,1–0,3	0,06–0,2	45–65
Anaerobik temas reaktörü	1.500–5.000	2–10	0,1–1,0		75–90
UASB	5.000–15.000	18–30	0,05–1,0		65–85
Yukarı akışlı filtre	10.000–20.000	18–30	0,1–1,25		75–90
AFBR	5.000–10.000	8–16	0,3–1,8		80–95

$$V = \frac{CQ}{L_0 \text{ veya } L_{VSS}}$$

- V** = reaktör hacmi, m³,
C = atıksudaki organik veya uçucu katı madde, kg KOİ/m³ veya kg VSS/m³,
Q = atıksu debisi, m³/gün,
L₀ = hacimsel organik yük, kg KOİ/m³-gün
L_{VSS} = hacimsel uçucu askıda katı madde yükü, kg VSS/m³-gün

Uygulama: Anaerobik Arıtım I

Örnek: (Metcalf ve Eddy 2003)

35 °C' de işletilen bir anaerobik reaktörde bsCOD konsantrasyonu 5.000 mg/L olan 3.000 m³/gün debide atıksu arıtılmaktadır. Arıtma neticesinde bsCOD giderimi % 95 ve net biyokütle üretimi 0,04 g VSS/ g KOİ' dir. Buna göre reaktörde üretilecek metan miktarı ile biyogazın metan içeriğini % 65 kabul ederek biyogaz miktarını m³/gün cinsinden hesaplayınız.

Uygulama: Anaerobik Arıtım I

Sisteme giren ve sistemde giderilen KOİ yükleri hesaplanır.

$$\text{Sisteme giren KOİ} \quad 5.000 \text{ g/m}^3 \times 3.000 \text{ m}^3/\text{gün} \quad = 15.000.000 \text{ g KOİ/gün}$$

$$\text{Sistemde giderilen KOİ} \quad 15.000.000 \text{ g/gün} \times 0,95 \quad = 14.250.000 \text{ g KOİ/gün}$$

Giderilen KOİ' nin bir kısmı yeni hücre yapımında kullanılmıştır. Buna göre;

$$\begin{aligned} \text{Oluşan yeni hücre miktarı} &= (0,04 \text{ gVSS/gKOİ}) \times (14.250.000 \text{ g KOİ/gün}) \\ &= 570.000 \text{ g VSS/gün'dür.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Oluşan yeni hücrenin KOİ eşdeğeri} &= (1,42 \text{ gKOİ/gVSS}) \times (570.000 \text{ g VSS/gün}) \\ &= 809.400 \text{ g KOİ/ gün} \end{aligned}$$

$$\text{Metana dönüşen KOİ miktarı} \quad = 14.250.000 - 809.400 = 13.440.600 \text{ g KOİ/ gün}$$

Uygulama: Anaerobik Arıtım I

35 °C’de metanın KOİ eşdeğerini bulmak için 1 mol gazın 35 °C’de kapladığı hacim bulunur.

$$V = \frac{n \cdot R \cdot T}{P} = \frac{1 \cdot 0,082 \cdot (273 + 35)}{1} = 25,26L$$

35 °C’de 1 mol metan 25,26 L olduğuna ve 1 mol metan 64 g’a eşit olduğuna göre 1 g KOİ giderildiğinde $25,26/64 = 0,395L$ metan üretilir.

$$\begin{aligned}\text{Oluşan metan miktarı} &= (13.440.600 \text{ gKOİ/gün}) \times (0,395L \text{ metan/gKOİ}_{\text{giderilen}}) \times (10^{-3} \text{ m}^3/L) \\ &= 5309 \text{ m}^3/\text{gün metan üretilir.}\end{aligned}$$

Eğer metan toplam biyogazın %65’i ise oluşan biyogaz miktarı;

$$\begin{aligned}\text{Oluşan biyogaz miktarı} &= (5309 \text{ m}^3/\text{gün}) / 0,65 \\ &= 8168 \text{ m}^3/\text{gün'dür.}\end{aligned}$$

Uygulama: Anaerobik Arıtım II

3.800 m³/gün debiye sahip bir evsel atıksuyun arıtımı için dizayn edilen birincil arıtmadan çıkan çamuru stabilize etmek amacıyla kurulacak anaerobik reaktörün boyutlarını hesaplayınız. Organik yük oranını kontrol ediniz. Atıksu ve oluşan çamurla ilgili bilgiler aşağıdadır.

- Atıksuyun günlük debisindeki organik materyal = 545 kg KOİ
- Atıksuyun günlük debisindeki askıda katı madde = 545 kg

- Katı maddelerin % 70' i uçucudur.
- Çamurun su muhtevası = % 96
- Çamurun yoğunluğu = 1025 kg/m³
- Emniyet faktörü = 2
- Çamur biyolojik büyüme için gerekli azot ve fosfora sahiptir.
- Anaerobik çürütücü için kinetik katsayılar:

$$k = 1,4 \text{ gün}^{-1}, \quad K_s = 2000 \text{ mgKOİ/L}, \quad Y = 0,1 \text{ mgVSS/mg KOİ} \quad k_d = 0,03 \text{ gün}^{-1}$$

Uygulama: Anaerobik Arıtım II

$$\text{Toplam çamur hacmi} = \frac{545\text{kg} / \text{gün}}{1025\text{kg} / \text{m}^3 \cdot 0,04} = 13,3\text{m}^3 / \text{gün}$$

$$\text{Kuru katı madde konsantrasyonu} = \frac{545\text{kg} / \text{gün}}{13,3\text{m}^3 / \text{gün}} = 41\text{kg} / \text{m}^3$$

Çamur yaşının hesabında öncelikle minimum çamur yaşı θ_c^m bulunur. Tasarımda kullanılacak olan çamur yaşı bu değerin emniyet faktörü ile çarpılmasıyla elde edilir.

$$\frac{1}{\theta_c^m} = Y \cdot k - k_d = (0,10) \cdot (1,4) - 0,03 = 0,11$$

$$\theta_c^m = \frac{1}{0,11} = 9,1\text{gün}$$

$$\text{Çamur yaşı :} \quad \theta_c^d = 2 \cdot \theta_c^m = 2 \cdot 9,1 = 18,2\text{gün}$$

$$\text{Reaktör hacmi :} \quad V = \theta_c \cdot Q = 18,2\text{gün} \cdot 13,3\text{m}^3 / \text{gün} = 242\text{m}^3$$

$$\text{Toplam organik yük:} \quad \frac{545\text{kg} / \text{gün}}{242\text{m}^3} = 2,25\text{kg} / \text{m}^3 - \text{gün}$$

$$1,60 < 2,25 < 4,80 \text{ (bu reaktördeki organik yük uygundur)}$$