



# 4181 Anaerobik Arıtma Sistemlerinde Proses Tasarımı

8.-9. Dersler

**UASB REAKTÖRLER**

**Prof. Dr. Ahmet GÜNAY**

Balıkesir Üniversitesi,

Mühendislik Fakültesi

Çevre Müh. Böl.

Çağış/Balıkesir

[agunay@balikesir.edu.tr](mailto:agunay@balikesir.edu.tr)

[ahmetgunay2@gmail.com](mailto: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/>



# YAÇYA REAKTÖRLER

**Yukarı akışlı çamur yataklı anaerobik (YAÇYA) reaktör**  
**Upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor**

**YAÇYA reaktör tasarımı**

**Evsel atıksuların anaerobik arıtımı**

**Endüstriyel atıksuların yukarı akışlı çamur yataklı anaerobik reaktörde arıtımı**

**Yukarı akışlı çamur yataklı anaerobik reaktör tasarım örneği**

**Yukarı akışlı çamur yataklı anaerobik reaktörlerde yukarı akış hızı**

**Savak formülü**

**Savak hesabı**

**Atıksuyun nütriënt ihtiyacı**

**Anaerobik proseslerde makro ve mikro nütriënt hesabı**



# Anaerobik Arıtma Sistemlerinde Proses Tasarımı

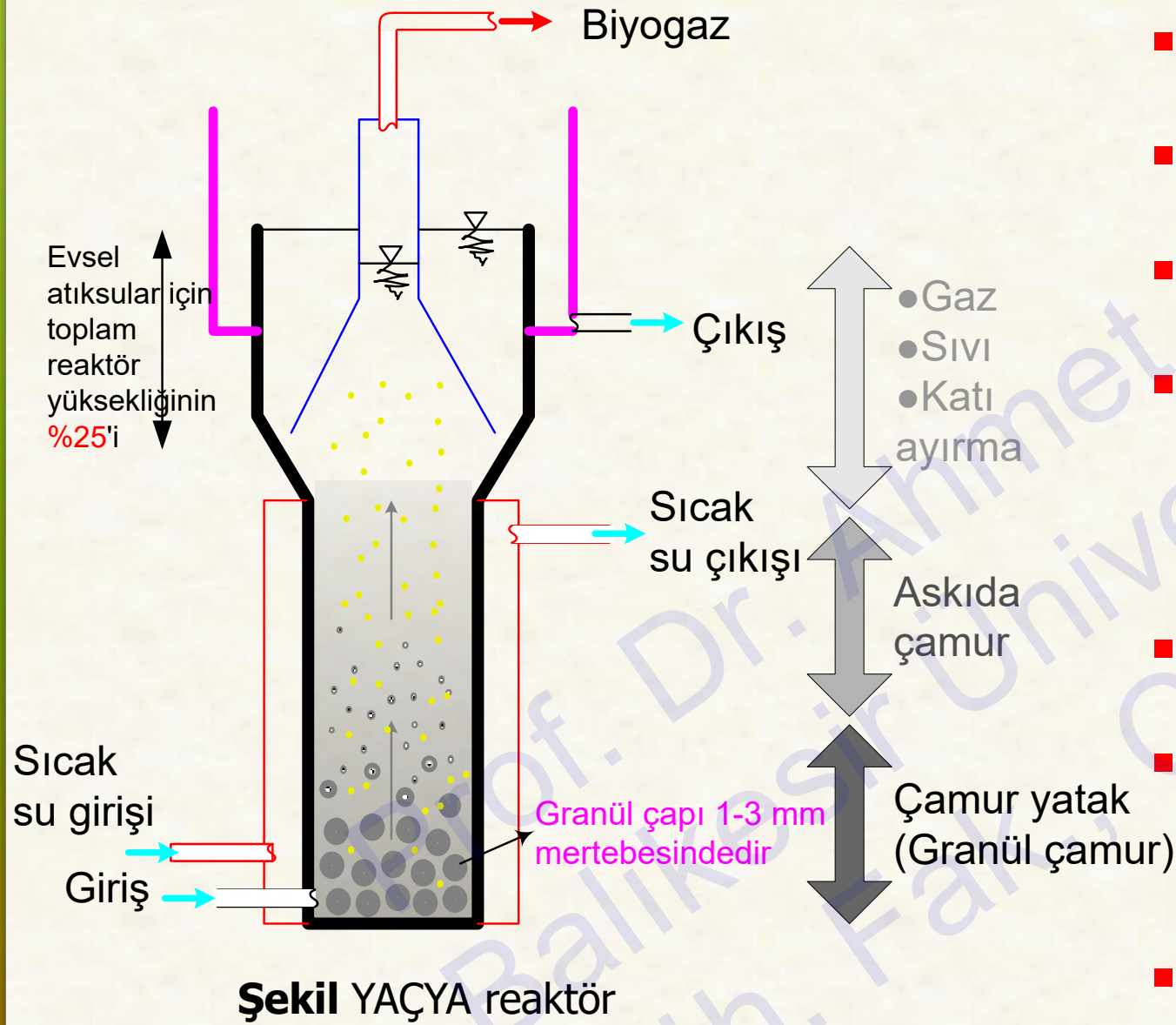
## 08.-09. Dersler: YAÇYA reaktörler

### DERSİN AMAÇLARI

- **Atıksu:** Atıksu karakterizasyonunun YAÇYA reaktör ile uyumu
- **Tasarım:** YAÇYA reaktörlerin temel tasarım prensiplerini öğrenme,
- **Hidrolik:** YAÇYA reaktör hidroliğini öğrenme,
- **Organik yük:** YAÇYA reaktör hacimsel organik yüküne göre reaktör hacmini hesaplama,
- **Tasarım parametreleri:** Anaerobik biyokimyasal reaksiyona göre KOİ giderme verimi, çamur oluşumu, çamur yaşı hesabını öğrenme,
- **Metan üretimi:** Anaerobik proste biyogaz ve metan üretimini öğrenme,
- **Giriş-çıkış sistemi:** Anaerobik reaktörün giriş ve çıkış yapısını tasarlama,
- **Savak :** Anaerobik reaktörün çıkış savak sisteminin tasarımını öğrenme,
- **Ayırma sistemi:** YAÇYA reaktörde gaz-katı-sıvı ayırma sisteminin tasarımını öğrenme,
- **Enerji dengesi:** Anaerobik prosesin enerji dengesini hesabını öğrenme,
- **Nütrientler:** Anaerobik prosesin nütrient ihtiyacını hesaplama.







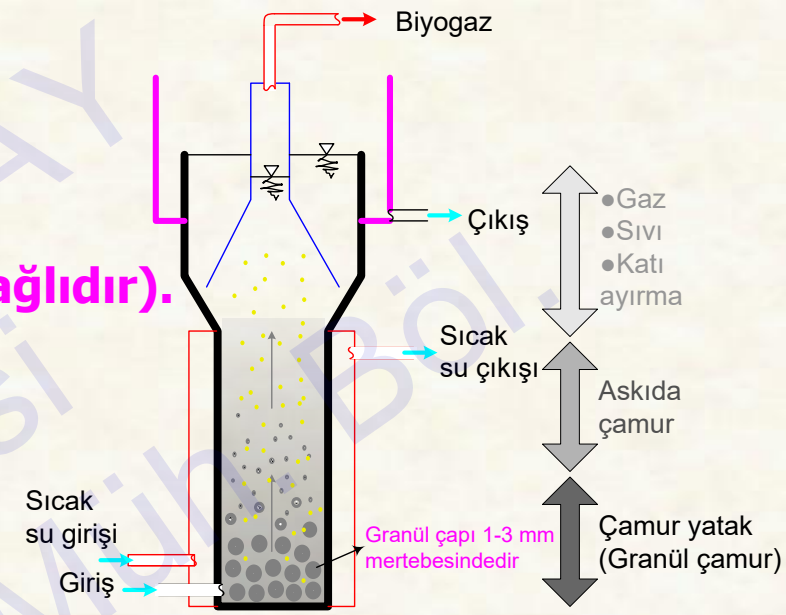
- Reaktörün alt kısmında homojen bir dağıtma yapısı ile atıksu reaktöre girer ve savaklanarak çıkar.
- Gaz toplama sistemi, **çamuru, gazı ve arıtılmış atıksuyu** ayırır.
- Tasarımda temel bir matematiksel model mevcut değildir.
- **Hacimsel organik yük, HBS ve yukarı akış hızı** temel tasarım kriterleridir. **KOİ 5 000-15 000 mg/l** mertebesinde olduğu zaman tasarımda organik yük kriteri uygulanır. Tasarım organik yükü **5-20 (10) kg KOİ/m<sup>3</sup>-gün** mertebesinde.
- Devreye alırken organik yük; **0,05-0,15 kg KOİ/kg UKM** mertebesinde.
- **KOİ < 5000 mg/l** ise;
  - yukarı akış hızı = **0,6-0,9 m/saat**
  - hacimsel hidrolik yük **< 5 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>-gün**
  - **$\theta_h = 6-12$  saat**
- Reaktörde mikroorganizma konsantrasyonu seyreltik olsa ne olur?

## Yukarı akışlı çamur yataklı anaerobik (YAÇYA) reaktörlerin tasarımı

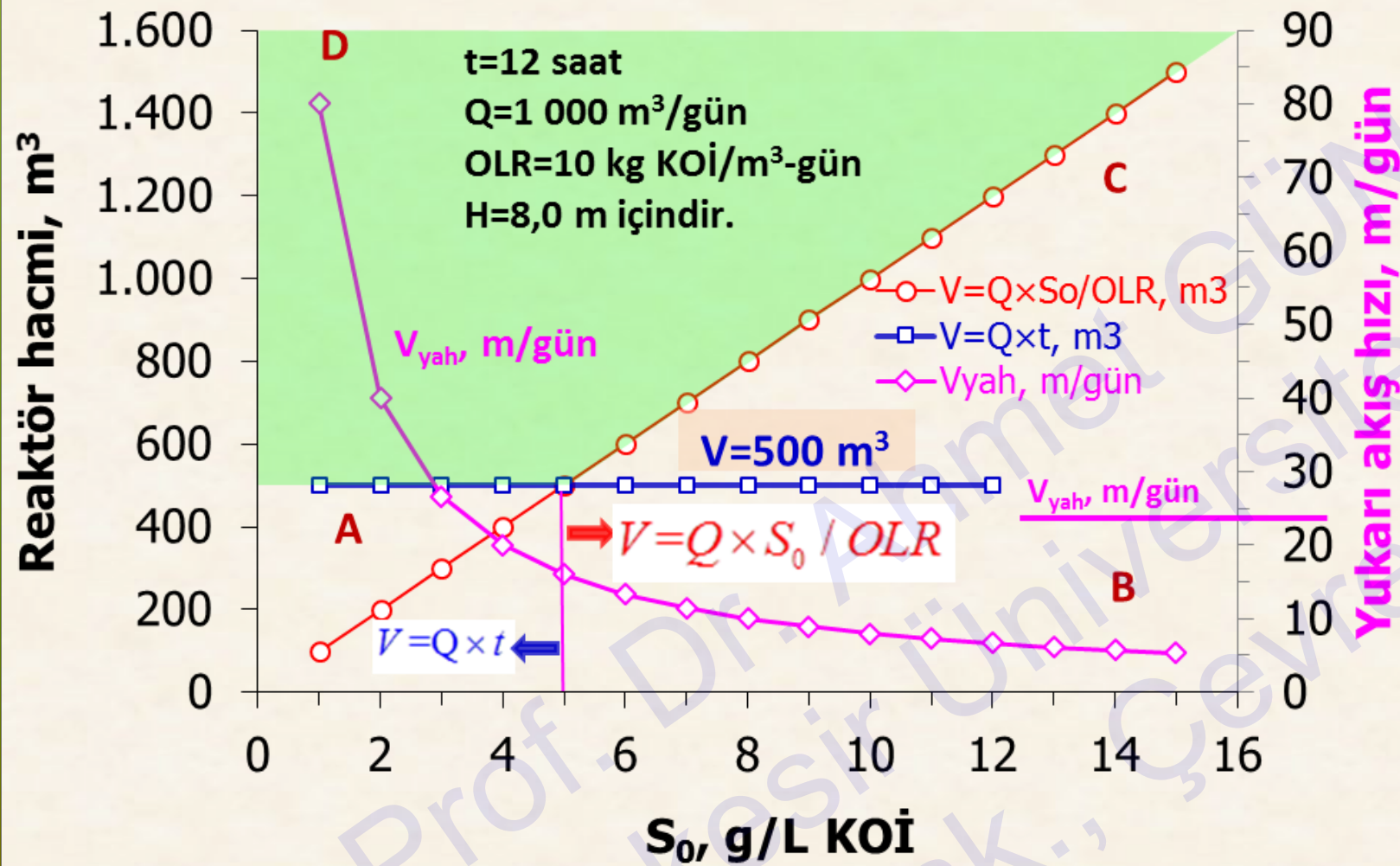
- YAÇYA reaktörler için en temel tasarım parametreleri;
  - (1) Organik yük (6-20 (10) kg/m<sup>3</sup>-gün) ve,
  - (2) Hidrolik bekletme süresidir (HBS,  $\theta_h = 6-48$  saat, sıcaklığa bağlıdır).
- YAÇYA reaktörlerde yukarı akış hızı ( $V_{yah}$ ) < 1,5-2 (1,0) m/saat,
  - Ortalama debide 0,5 m/saat,
  - Maksimum debide 1,0 m/saat olmalıdır (20-28 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>-gün)

$$V_{yah} (m / saat) = \frac{H}{\theta_h}$$

**H:** reaktör derinliği, m  
 **$\theta_h$** =HBS, saat



- YAÇYA reaktörlerde atıksu reaktöre alttan girer ve üstten çıkar ve biyokütle flokları bu yukarı doğru akan su siteminde gelişir, aktif biyokütle artırılmış atıksu ile birlikte reaktörü terketmemelidir.
- Çamur yaşı ( $\theta_c$ ), hidrolik bekletme süresi (HBS,  $\theta_h$ ) ile ayrıştırılmalıdır. **HBS 6 saate** kadar düşürülebilirken çamur yaşı **30-50 güne** kadar artırılabilir.
- Reaktörün beslenmesi, hacimsel organik yük salınımı ve giriş-çıkış yapılarının hidroliği açısından olabildiğince homojen olmalıdır, reaktör içerisindeki akımda kanallanma olmamalıdır.
- YAÇYA reaktörler yüksek TKM içeren atıksular için uygun bir reaktör tipi değildir. Azami TKM konsantrasyonu **500 mg/l'yi** geçmemelidir. YAÇYA reaktörler KOİ konsantrasyonu **500-20 000 mg/l** olan atıksular için uygun olmakla birlikte, **UKM/KOİ oranı 1'den düşük** olmalıdır.



- A: HBS** kriteri sağlanamaz.
- B: OLR ve HBS** kriteri sağlanamaz.
- C: OLR** kriteri sağlanamaz
- D: HBS ve OLR** kriteri sağlanır

- KOİ < 5000 mg/L ise **HBS ve V<sub>yah</sub>**
- KOİ > 5000 mg/L ise **OLR**

**ŞEKİL YAÇYA** reaktörler için atıksudaki KOİ konsantrasyonu ile reaktör hacmi arasındaki ilişki (Kaynak: Chernicharo C. A. L. (2007). Biological Wastewater Treatment Series: vol. 4 – Anaerobic Reactors. IWA Publishing, London, UK, p90; uyarlanmıştır).



## Yukarı akışlı çamur yataklı anaerobik (YAÇYA) Reaktörler

- $\theta_h - \theta_c$  : YAÇYA reaktörlerde çamur yaşı ile hidrolik bekletme süresi farklıdır:

$$\theta_c / \theta_h = 10 \sim 100$$

Bu oran çoğalma hızı düşük olan metanojen mikroorganizmaların reaktör içerisinde uzun süre kalmasını sağlar. Reaktörde anaerobik bakterilerin uzun süre kalması nasıl sağlanabilir?

- $\theta_h$  : YAÇYA reaktörlerde hidrolik bekletme süresi,  $\theta_h = 6-48$  (6-24) saat mertebesinde olabilir. Anaerobik reaktörlerin hacimsel organik yükü (L) aerobik proseslere göre 5-10 kat daha fazladır, dolayısıyla reaktör kompakttır ve alan ihtiyacı azdır.
- **Devreye alma**: Devreye alması uzun sürer.
- **Aşı**: Reaktörlerin aşılmasında reaktör hacminin **%30-50'si**, en az **%10'u** kadar aşı temin etmek gerekir.
- **Çevresel parametreler**: Çevresel parametreler (pH, yeterli alkalinite, ORP, nütrientler, sıcaklık, toksik bileşenler) optimum olmalıdır.
- **Granülleşme**: 200 mg/l mertebesindeki  $Ca^{2+}$  granülleşmeyi sağlar. 600 mg/l'den fazla  $Ca^{2+}$ ,  $CaCO_3$  kristalleşmesine sebep olur ve bu kristallere yapışan metanojenler  $CaCO_3$  kristalleri ile birlikte reaktörden yıkanarak reaktörü terkedebilirler. Granüllerin **çökme hızı 60 m/saat** mertebesinde oldukça yüksektir.
- **Metanojenik aktivite**: Yüksek metanojenik aktivite **0,5-2,0 kg KOİ/kg UKM**
- **Verim**: **KOİ giderme verimi %70-80**, patojenler %70-90, parazit yumurtaları %100 mertebesinde inaktif hale gelirler. Nütrientler giderilemez.
- **Çamur**: çamur üretimi düşüktür ve çamurun susuzlaştırılması kolaydır.



7



## Evsel atıksuların YAÇYA reaktörde arıtılması;

Evsel atıksuyun sıcaklığı 15 °C'den büyük ve yeterli alkalinite mevcut ise;

- Organik yük > **1,5 kg KOİ/m<sup>3</sup>-gün** (2,5-3,5 kg/m<sup>3</sup>-gün; KOİ < 1000 mg/l)
- Aşırı hacimsel organik yük proses stabilitesinin (pH, UYA) bozulmasına sebep olur.
- $\theta_h > 6$  **saat** (16 saat)

Seyreltik atıksularda (KOİ < 1000 mg/l) yüksek organik yükler **aşırı hidrolik yüke ve yüksek yukarı akış hızına** sebep olur.

**TABLO** Evsel atıksuların anaerobik arıtımında sıcaklığa bağlı HBS

Atıksu sıcaklığı	HBS, $\theta_h$ (saat)	
	Ortalama debide	Pik debide
16-19 °C	16-19	7-9
20-26 °C	6-9	4-6
>26 °C	>6	>4

*Yüzeysel hidrolik yük (YHY) = Yukarı akış hızı*

Reaktörde granül çamur oluşmadığı zaman;

- **Yukarı akış hızı 0,5 m/saat**
- **$\theta_h = 6$  saat.**

Pik debide;

- **Yukarı akış hızı 0,9-1,1 m/saat**
- **$\theta_h > 4$  saat.**

Reaktörde granül çamur oluştuğu zaman yukarı akış hızı artırılabilir.

*Anaerobik reaktörlerde sıcaklık 20 °C'nin üzerinde **25-30 °C** mertebesinde olmalıdır.*





Anaerobik reaktörlerde sıcaklık 5 °C'nin üzerinde olduğu zaman hidroliz hızına ve asit üretimine sıcaklık etkileri önemsizdir. Dolayısıyla, biyo-reaktör tasarımı, anaerobik proseste gerçekleşen kompleks biyokimyasal reaksiyonlarda **hızı en düşük olan metan üreten bakterilerin** mikrobiyal aktivitesine göre yapılır.

Biyo-reaksiyon hızı 15 °C'nin altında çok yavaştır.

Metanojenler için optimum pH 6,8-7,2 aralığında iken, asit üreten bakteriler için asidik şartlar favoridir.

**KOİ < 5000 mg/l** ise granül oluşumu yavaştır. Bu yüzden seyreltik atıksuların anaerobik arıtımında hacimsel organik yük kriterinden ziyade **yukarı akış hızı ( $V_{yah}$ ) ve hidrolik bekletme süresi** esas alınır.

**KOİ > 5000 mg/l** ise tasarımda hacimsel organik yük (**5-10 kg KOİ/m<sup>3</sup>-gün**) ve HBS ( **$\theta_h = 4-12$  saat**) esas alınır (**KOİ = 5 kg/m<sup>3</sup>** olduğu zaman, organik yükleme hızı da 5 kg KOİ/m<sup>3</sup>-gün olursa  $V_{yah} = 1$  m/saat olur).



## YAÇYA reaktörlerin yüksekliği;

- Çamur tipi,
- Organik yük
- Hacimsel hidrolik yük

Reaktördeki çamur tabakasının derinliği;

- $KOİ < 3000$  mg/l ise **2-5 m**
- $KOİ > 3000$  mg/l ise **5-7 m**

Evsel atıksuların anaerobik arıtılmasında;

- çamur yüksekliği **2,5-3,5 m**
- çöktürme bölmesindeki derinlik **1,5-2,0 m**'dir.

**Yukarı akış hızı, reaktör yüksekliği ve HBS birbiri** ile ilişkilidir, yukarı akış hızı **< 1,0 m/saat** için;

- reaktör derinliği **4-6 m**
- HBS ( $\theta_h$ ) **6-10 saattir.**

Reaktör hacmi (V);

$$V = \theta_h \times Q$$

$\theta_h > 4$  saat (ya da hidrolik yükleme hızı **< 6 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>-gün**)

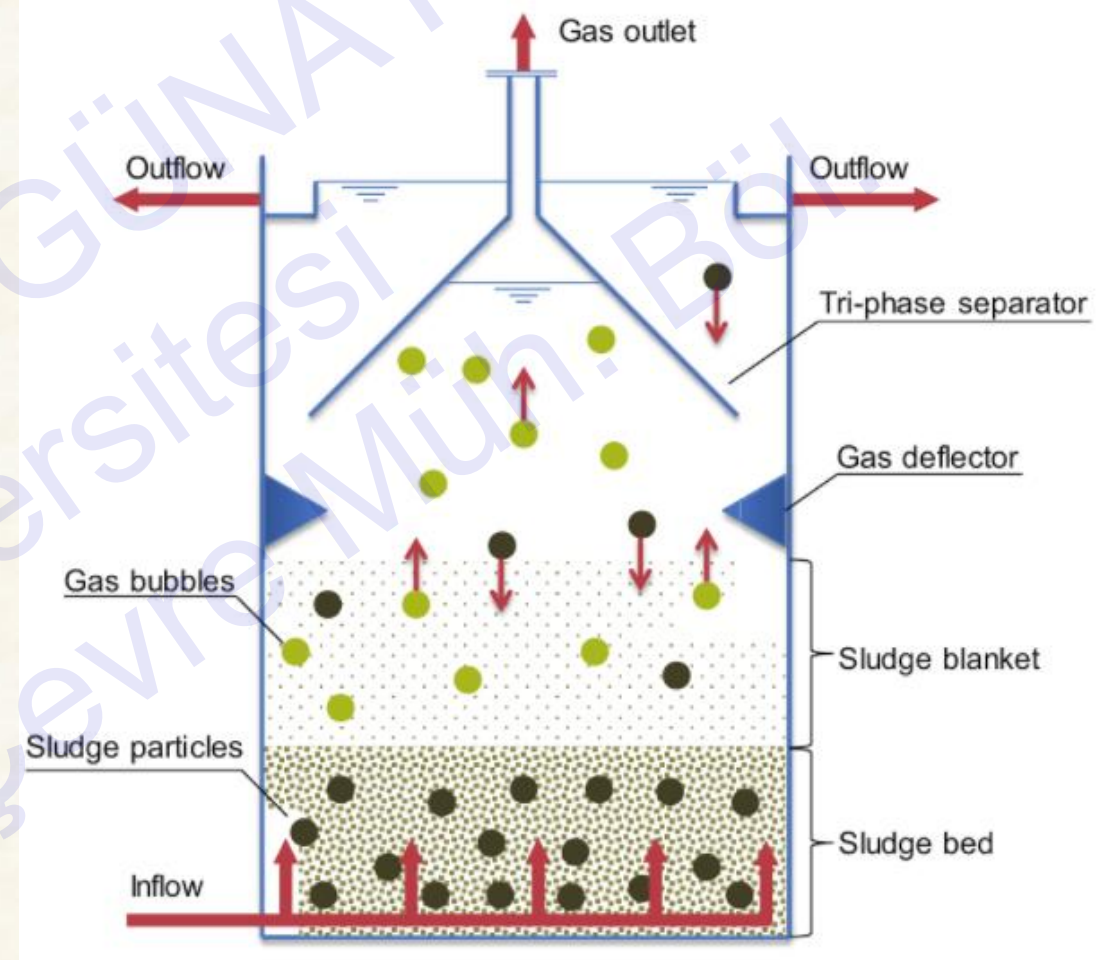
*YAÇYA reaktörler kuvvetli atıksular için uygulanabilir ve doğru bir tasarım için uygun **hidrolik ve organik yük** şartlarının sağlanması gerekir.*



## YAÇYA reaktörlerde giriş-çıkış sistemi;

**Reaktör içerisinde ölü bölge ve hidrolik kısa devre akımları oluşmamalıdır.** Reaktörün her tarafına üniform bir atıksu beslemesi için alt bölümüne dağıtma yapısı teşkil edilir. Reaktörün içerisine teşkil edilecek dağıtma sisteminin çapı tıkanıklık olmaması için asgari **75-100 mm** mertebesinde olmalıdır ve iyi bir karışım sağlanması için atıksuyun reaktöre **giriş hızı > 0,4 m/sn** olmalıdır. Her bir giriş ağızlığının etkili alanı **1-4 m<sup>2</sup>**'dir. KOİ'si 400-600 mg/l mertebesinde olan evsel atıksular için bu alan **1,5-3,0 (2-3) m<sup>2</sup>**'dir. Birim metrekareye düşen giriş ağızlığı sayısı çamur tipine (floklaşmış çamurlar için granül haldeki çamura göre daha fazla olmalıdır) ve organik yüke (artan organik yük ile sayı artar) göre değişir.

Giriş sistemindeki olası tıkanıklıkların temizlenmeye elverişli halde tasarlanması gerekir. Bu, biyogazın zaman zaman reaktör içerisine yüksek debide beslenerek aşırı türbülans oluşturulmasıyla sağlanabilir. **Hava???**





## YAÇYA reaktörlerde giriş-çıkış sistemi;

**Kısa devre akımları:** Çamur yatak yüksekliğinin sığ olması, giriş dağıtma yapısındaki giriş ağızlıklarının yetersiz olması ve konsantre hale gelen çamurun yüksek çökme hızına sahip olması hallerinde kısa devre akımları ortaya çıkabilir. Kısa devre akımları reaktör içerisindeki olması gereken homojenliği bozar.

**Etkili reaktör hacmi:** Reaktör hacminin etkili olması için reaktör içerisinde ölü bölge oluşmaması ve atıksudaki organik maddelerin biyo-reaksiyon bölgesindeki aktif mikroorganizmalarla homojen şekilde buluşması gerekir. Yüksek biyogaz oluşum hızı reaktörün kısmen karışmasını sağlayarak kanallanmayı önler. Ancak, seyreltik atıksularda biyogaz üretim hızı düşük olduğundan biyogaz kabarcıkları yeterli karışımı sağlayamaz.

Reaktör içerisinde yukarı akış hızı ve biyogaz kabarcıklarının yukarı hareketi sebebiyle **büyük ve yoğunluğu fazla olan granüller** çamur yatak içerisinde askıda kalır. Ancak, içerisinde biyogazı fazla miktarda hapseden granüller yükselerek gaz/katı/sıvı ayıracına kadar gelebilir ve bu bölümde duvarlara çarparak granül içerisinde hapselenen biyogaz granülden ayrılır ve granül tekrar aktif reaktör bölgesine çökebilir.

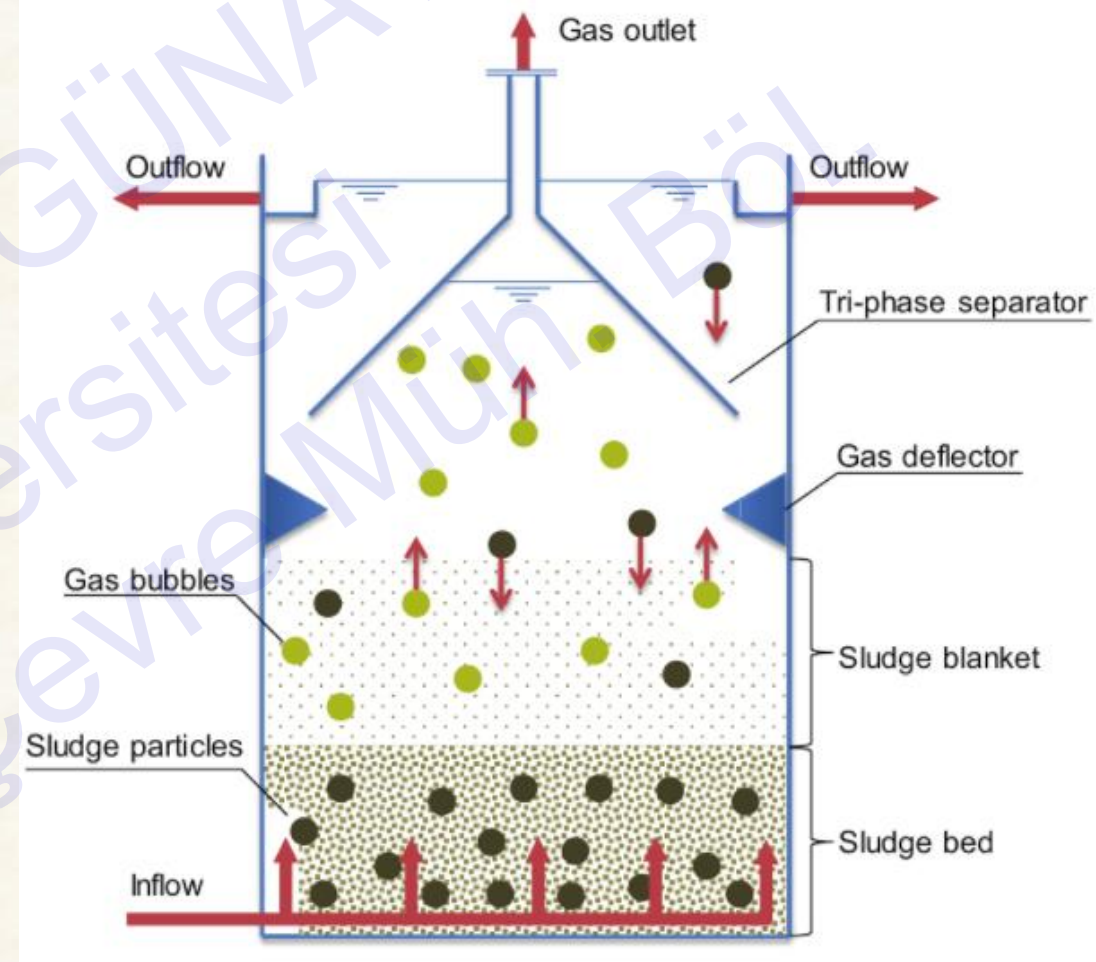


FIGURE Upflow anaerobic sludge blanket reactor.

## YAÇYA reaktörlerde giriş-çıkış sistemi;

Çökeltme bölgesine giren atıksu biyogaz kabarcıkları içermemelidir. Bu, biyogaz toplama davlumbazlarıyla kaplanan deflektörlerle (saptırıcılar) sağlanır.

**Davlumbazlar:** Biyogaz toplama davlumbazının içerisinde, biyogaz kabarcıklarının üstte oluşabilecek köpük tabakasını kırabilmesi için yeterli **gaz-sıvı arayüzeyi** sağlanmalıdır. Biyogazı toplayacak davlumbazların içerisinde köpük birikimi dikkate alınmalıdır. Biyogaz toplama davlumbazları arasındaki mesafe, çökelen çamurun tekrar reaktör içerisine girmesini sağlamaya elverişli olmalıdır.

**Savak uzunluğu:** Reaktörü terk ederken artılmış atıksu için **yeterli savak uzunluğu** sağlanmalıdır. Savak yükü  $<5 \text{ m}^3/\text{saat-m}$ 'ten düşük olmalıdır ve bu kriter genellikle kaşılır.

Savakların önünde köpük ve diğer yüzücü bileşenlerin atıksudan ayrılmasını sağlamak için engel bulunmalıdır. Bu engelin suya **batma derinliği 20 cm** civarında olmalıdır.

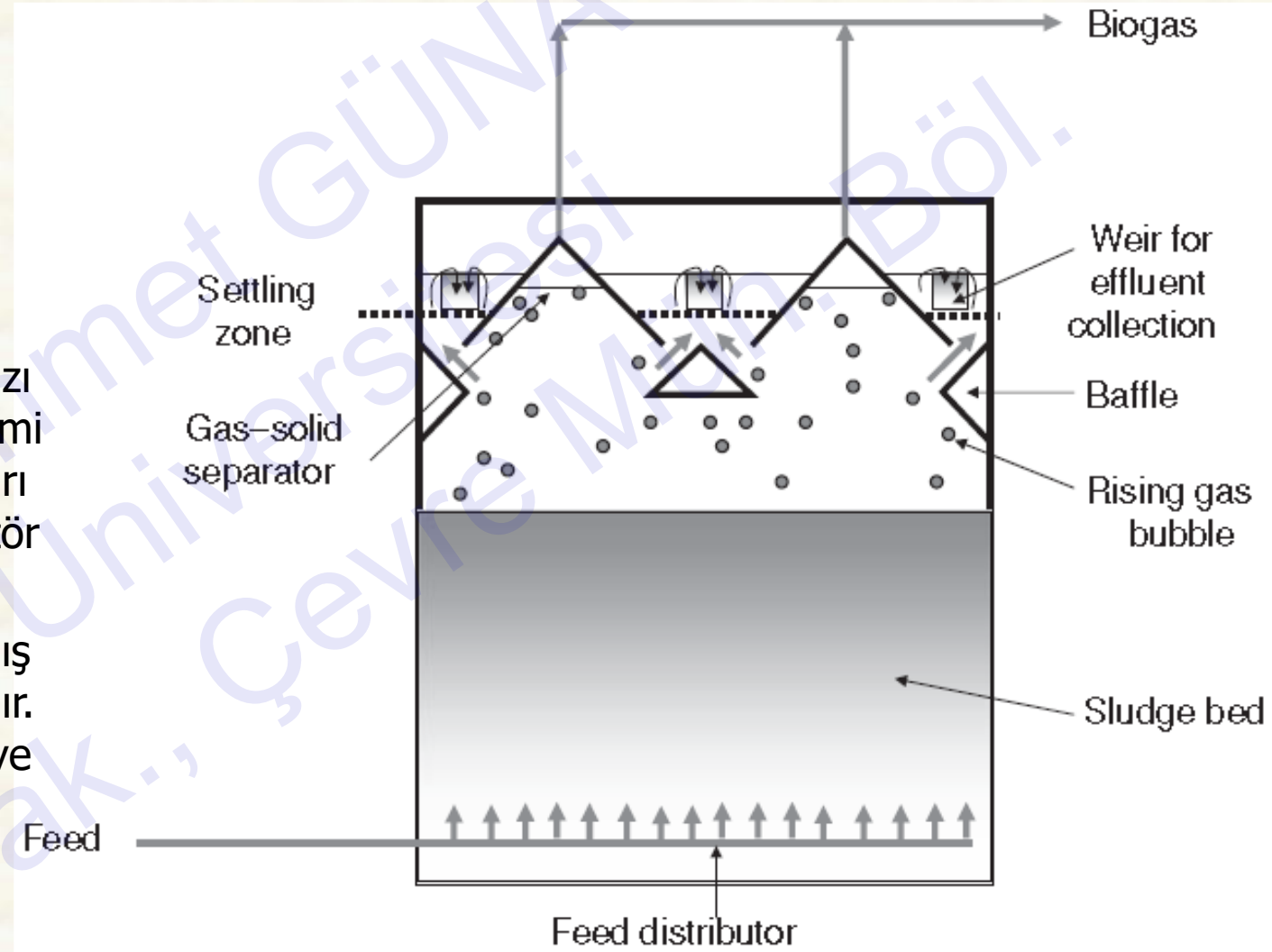
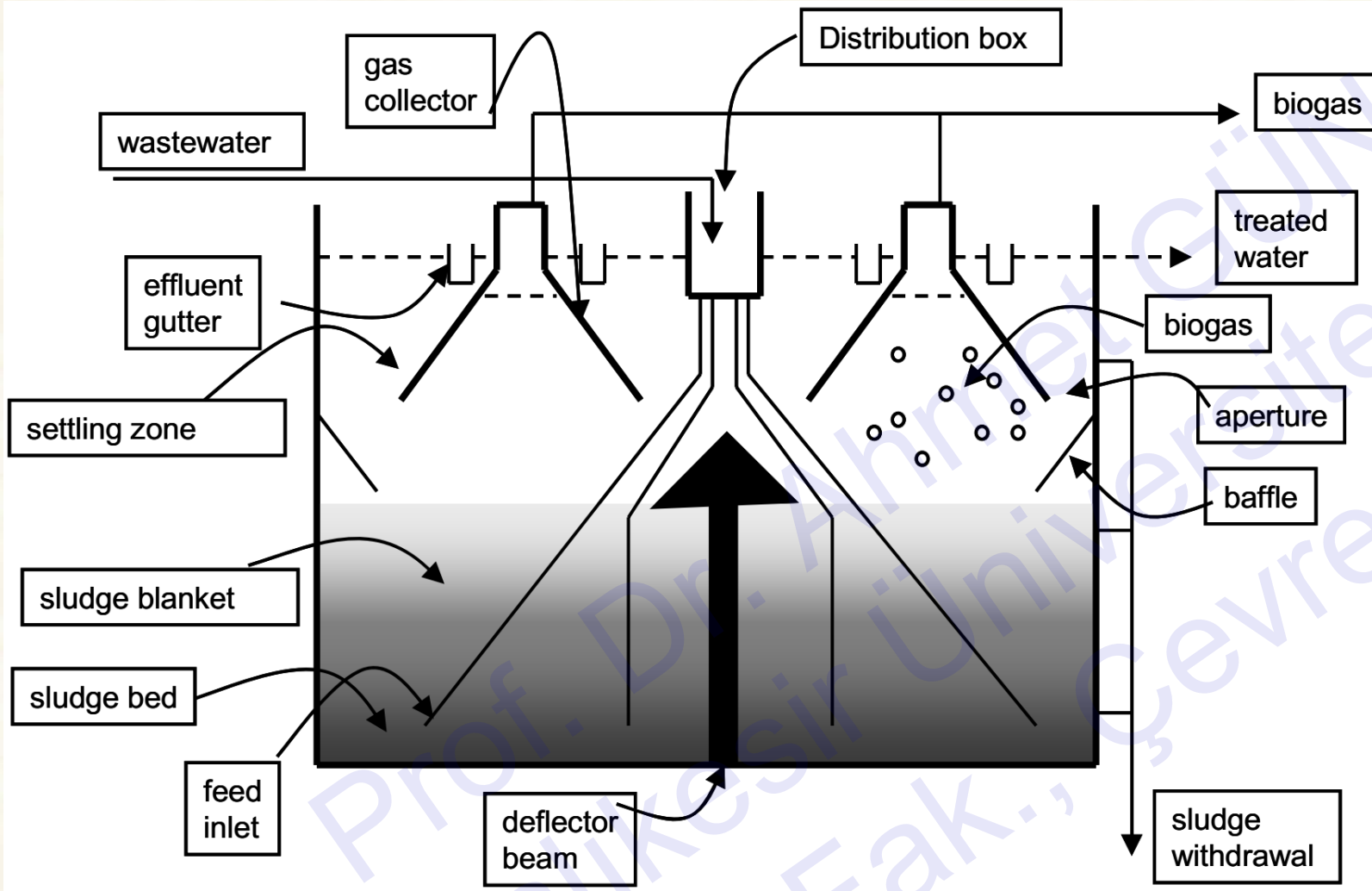


FIGURE Upflow anaerobic sludge blanket reactor.



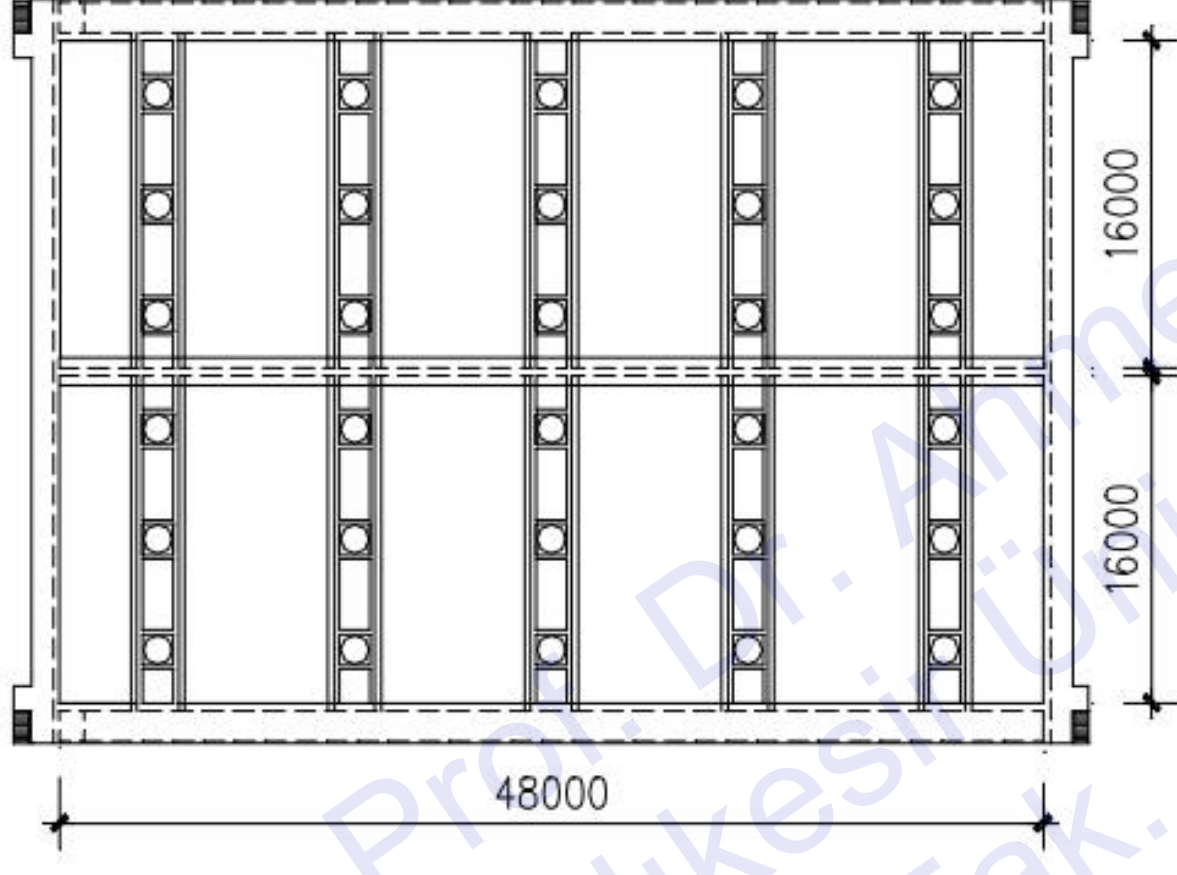


*Üstten beslemenin avantajları?*



**ŞEKİL** Üstten beslemeli YAÇYA reaktör



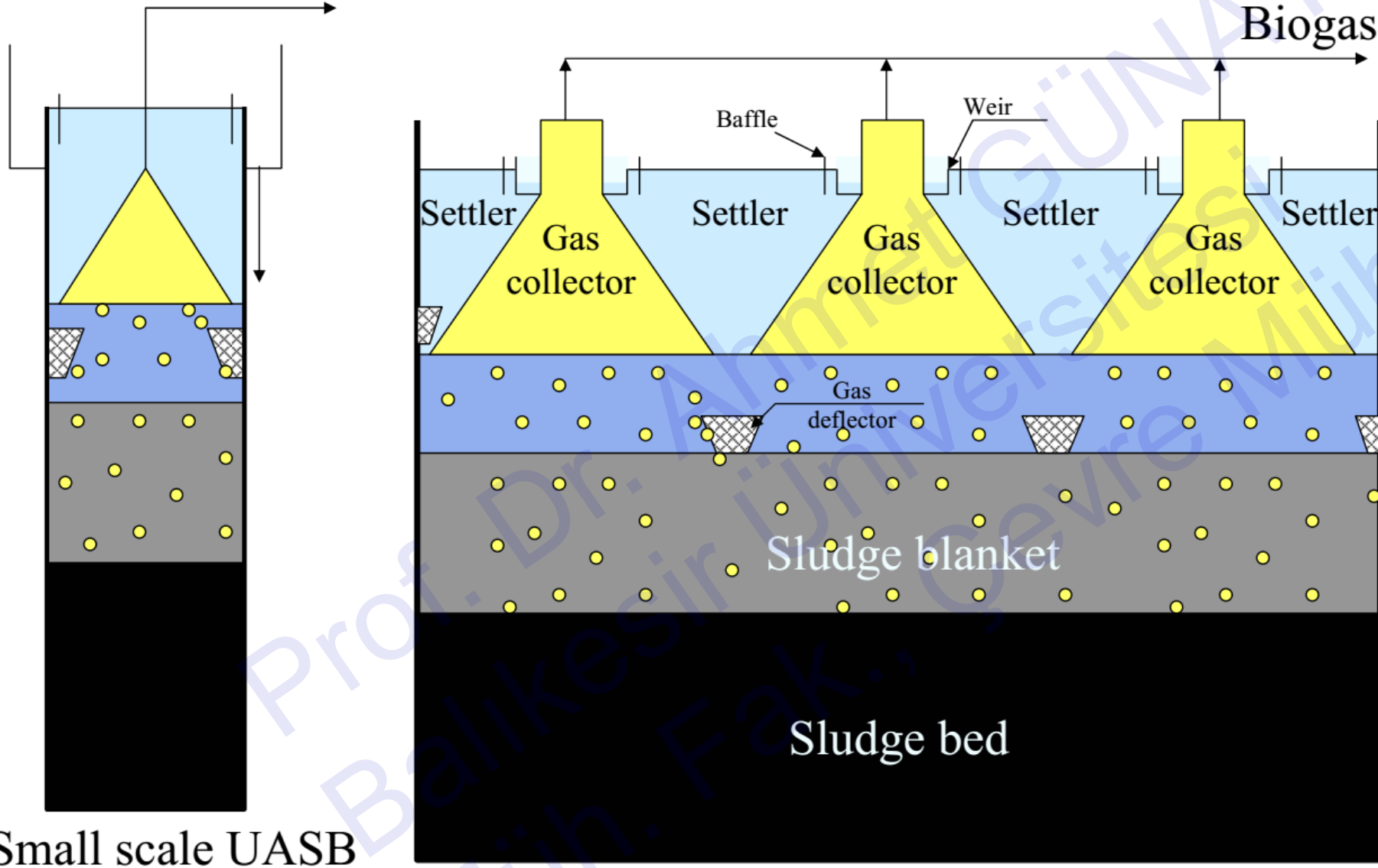


## ŞEKİL YAÇYA reaktörlerde üstten besleme sistemi

**Kaynak:** Herbert H P Fang, Herbert H P Fang, Tong Zhang, Anaerobic Biotechnology, Environmental Protection and Resource Recovery, 2015, 327



## UASB reactor main components



Small scale UASB

Large scale UASB reactor

*Debi arttikça  
reaktörün yüzey  
alanı artar.*

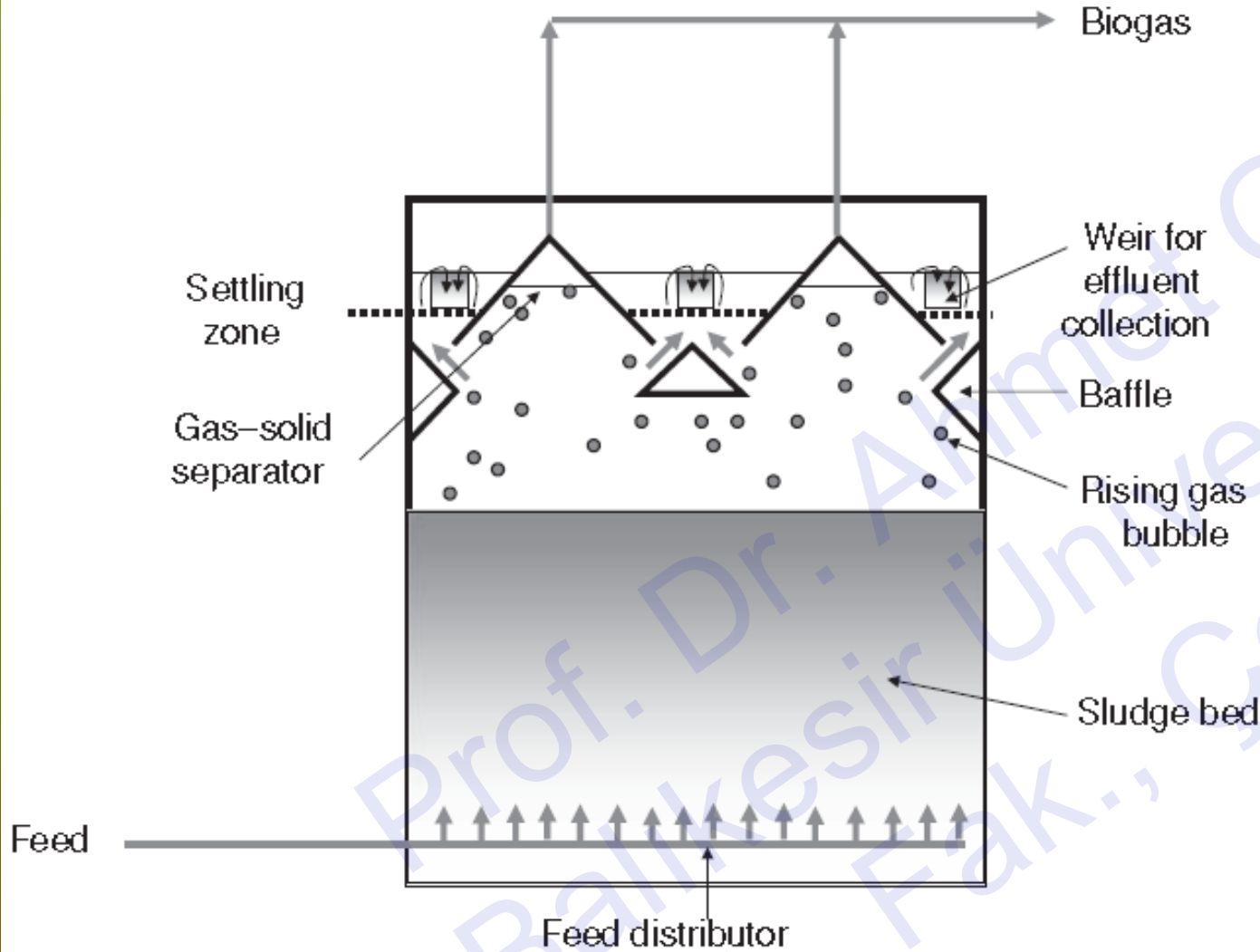
ŞEKİL YAÇYA reaktör  
(Shalu, Narsi R.  
Bishnoi2, (2016) A  
Review on Up flow  
Anaerobic Sludge  
Blanket Reactor used in  
Wastewater Treatment,  
International Journal of  
Research in  
Management, Science  
& Technology (E-ISSN:  
2321-3264) Vol. 4, No.  
3, December 16

YAÇY reaktörlerin tasarımı ile ilgili tecrübeler aşağıdaki hususların önemli olduğunu ortaya koymuştur;

- ✓ Reaktör içerisindeki aktif bölgenin üst fazındaki (süpernatant) yükseklik 0,5-1,5 m civarında olmalıdır.
- ✓ Reaktörden, günde bir ya da iki günde bir düzenli şekilde çamur çekilmelidir.
- ✓ Çamurun düzenli çekilmesi için çamur seviye dedektörü bulunmalıdır.
- ✓ Düşeyde farklı çamur çekme noktaları tasarlanmalıdır.
- ✓ Reaktör tabanında biriken çamurun seyrek de olsa arasına çekilmesi gerekir.
- ✓ Çamur yaşı > 15 gün ise, kış aylarında çamurun %25'i, yaz aylarında %50'si hidroliz olur.
- ✓ Çamur tahliyesi en kötümsem senaryoya göre planlanmalıdır.





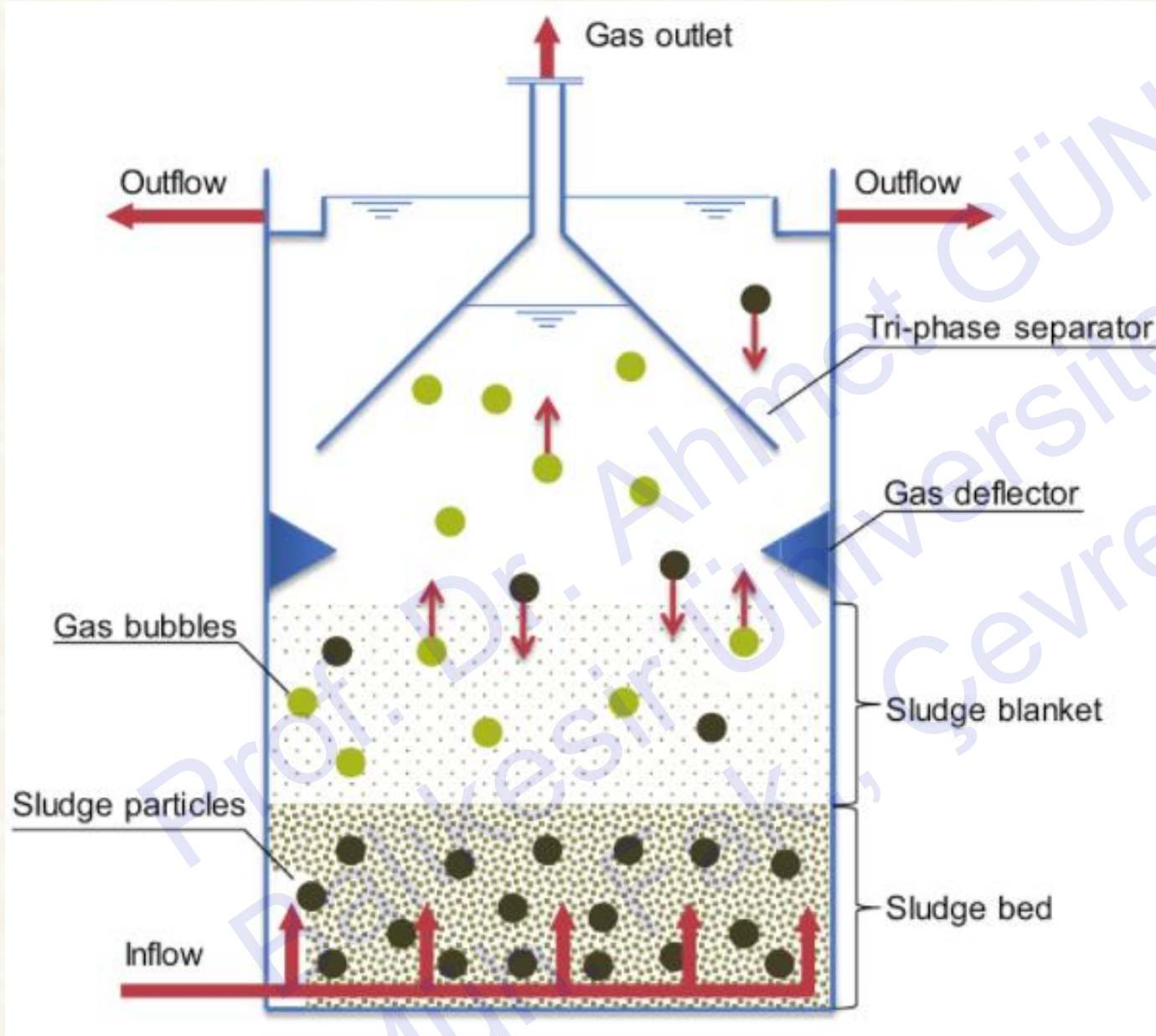


**FIGURE** Upflow anaerobic sludge blanket reactor.

## YAÇYA reaktörlerde giriş-çıkış sistemi;

**Çökme bölgesi:** Çökme bölgesinde yukarı akış hızı düşük olmalı, bu bölüm biyogaz kabarcığı içermemeli ve etkili çökme verimi için **1,5-2,0 m derinliğe** sahip olmalı, çökme yüzeylerindeki eğim  $45-60^\circ$  (**50-55 °**) olmalıdır. Çökme bölgesinde çökelen mikroorganizmaların tekrar reaktör içerisine kayarak girmesi için biyogaz deflektörlerinin minimum açısı **50-55 derece** olduğu zaman eğimli yüzeylerde katı maddeler birikmez. Çökme bölgesinin derinliği ve bu bölümdaki yukarı akış hızı, verimli bir durulama (mikroorganizma çökmesi-bulanıklık giderimi) sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Bu bölme toplam yüzey alanının **%75'i** kadar olmalıdır.

**Çamurun tahliyesi:** Reaktör tabanında biriken aşırı çamuru ve inorganik maddeleri reaktörden tahliye edecek borunun çapı minimum **100 mm** olmalıdır. Bir seferde tahliye edilebilecek çamur tüm reaktör hacminin azami **%20-25'i** kadardır.



*Konsantre aktif çamurun bulunduğu derinliğin aktif reaktör yüksekliğine oranı **0,40-0,50** civarındadır.*

**ŞEKİL** YAÇYA reaktör

## YAÇYA reaktörlerde giriş-çıkış sistemi;

Biyogaz toplama davlumbazları arasındaki alan, toplam yüzey alanının %15-20'si kadar, üst üste binme payları 20-30 cm olmalıdır.

### Çökeltme bölümünde HBS;

- Ortalama debide  $\theta_h > 1,5-2,0$  saat (2-4 saat)
- 2-4 saatlik maksimum debide  $> 1$  saat
- Maksimum geçici pik debide  $\theta_h > 0,6$  saat olmalıdır.

### Çökeltme bölümünde hidrolik yüzey yükü;

- Ortalama debide  $0,8 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-saat}$
- 2-4 saatlik maksimum debide  $< 1,2 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-saat}$
- Maksimum geçici pik debide  $< 1,6 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-saat}$

Olmalıdır.

### Biyogaz toplama davlumbazları arasındaki boşluklarda su hızı;

- Ortalama debide  $< 2,0-2,3 \text{ m/saat}$
- 2-4 saatlik maksimum debide  $< 4-4,2 \text{ m/saat}$
- Maksimum geçici pik debide  $< 5,5-6,0 \text{ m/saat}$

Olmalıdır.





**TABLO** Evsel atıksuların YAÇYA reaktörde arıtımında reaktörün farklı bölgelerinde yukarı akış hızları (Kaynak: Chernicharo C. A. L. (2007). Biological Wastewater Treatment Series: vol. 4 – Anaerobic Reactors. IWA Publishing, London, UK, p90).

Parametre	Ortalama	Maksimum (günlük)	Pik debi (2-4 saat)
Aktif reaktör bölmesinde yukarı akış hızı	0,5-0,7	<1,0	<1,5
Açıklıklardaki su hızı	<2,5	<3,5	<5,5
Çökeltme bölmesinde yukarı akış hızı	<0,8	<1,2	<1,8

**TABLO** Evsel atıksuların YAÇYA reaktörde arıtımında giriş dağıtma sistemi yoğunluğu (Kaynak: Chernicharo C. A. L. (2007). Biological Wastewater Treatment Series: vol. 4 – Anaerobic Reactors. IWA Publishing, London, UK, p90).

Aktif reaktör bölmesinde çamur konsantrasyonu, kg TKM/m <sup>3</sup>	Hacimsel organik yükleme hızı, kg KOİ/m <sup>3</sup> -gün	Giriş dağıtma sistemi yoğunluğu (m <sup>2</sup> 'deki dağıtma sayısı)
>40	<1	0,5-1,0
	1,0-2,0	1,0-2,0
	>2,0	2,0-3,0
20-40	<2,0	1,0-2,0
	>2,0	2,0-5,0

## Upward-flow Anaerobic Sludge Blanket

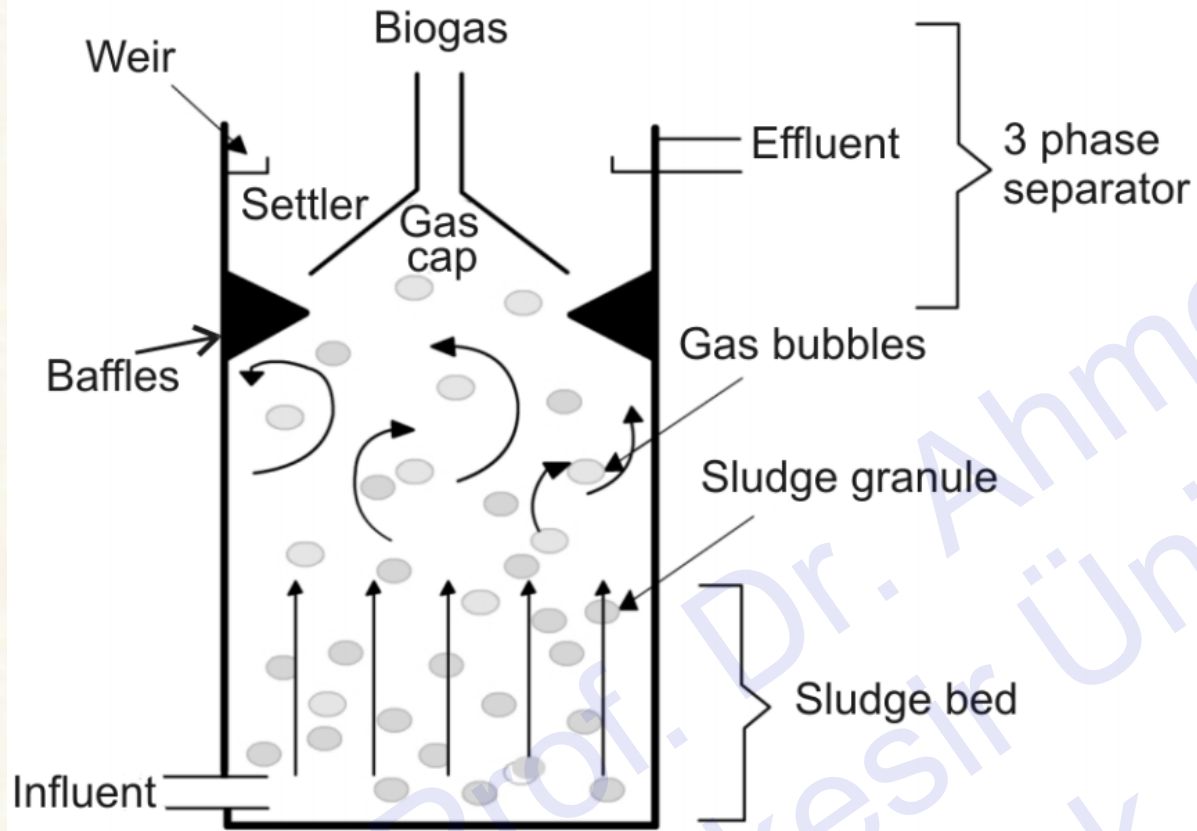


Fig. 5.8: UASB reactor

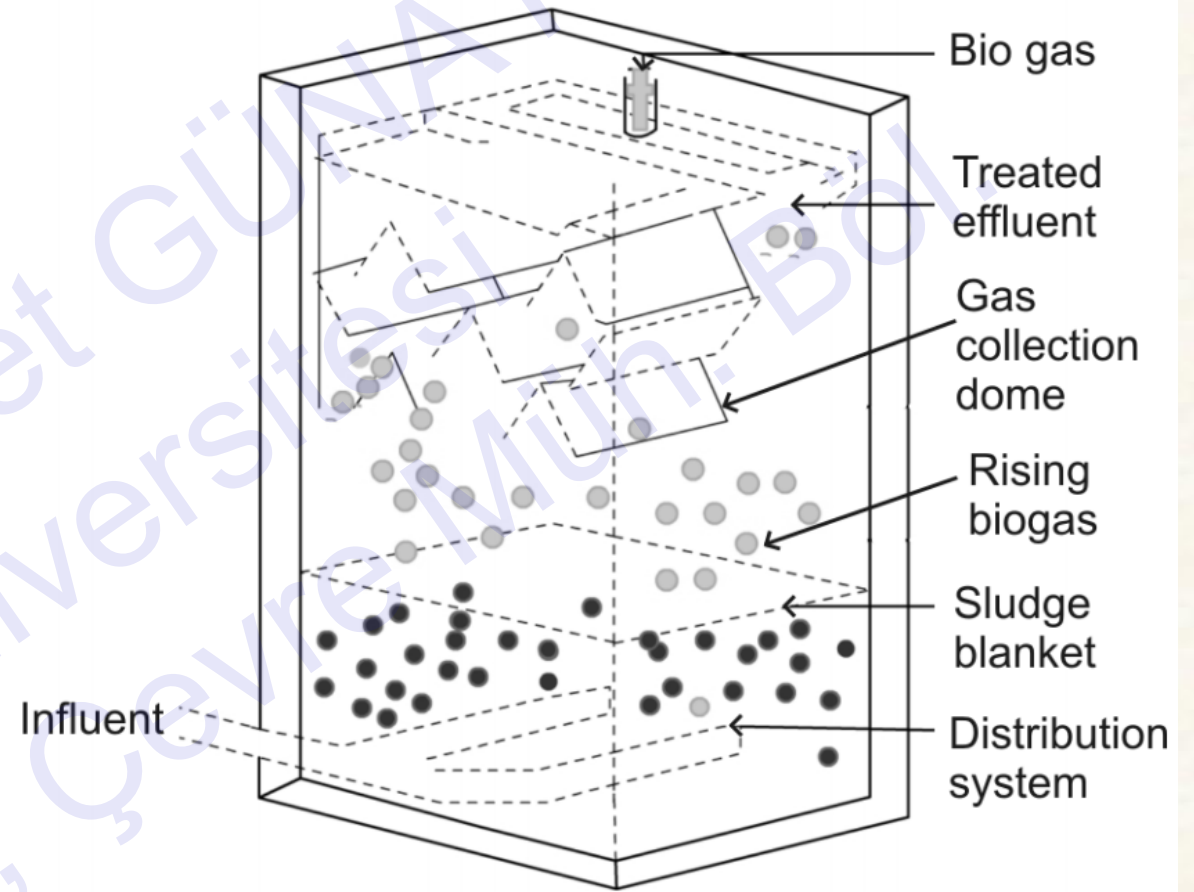
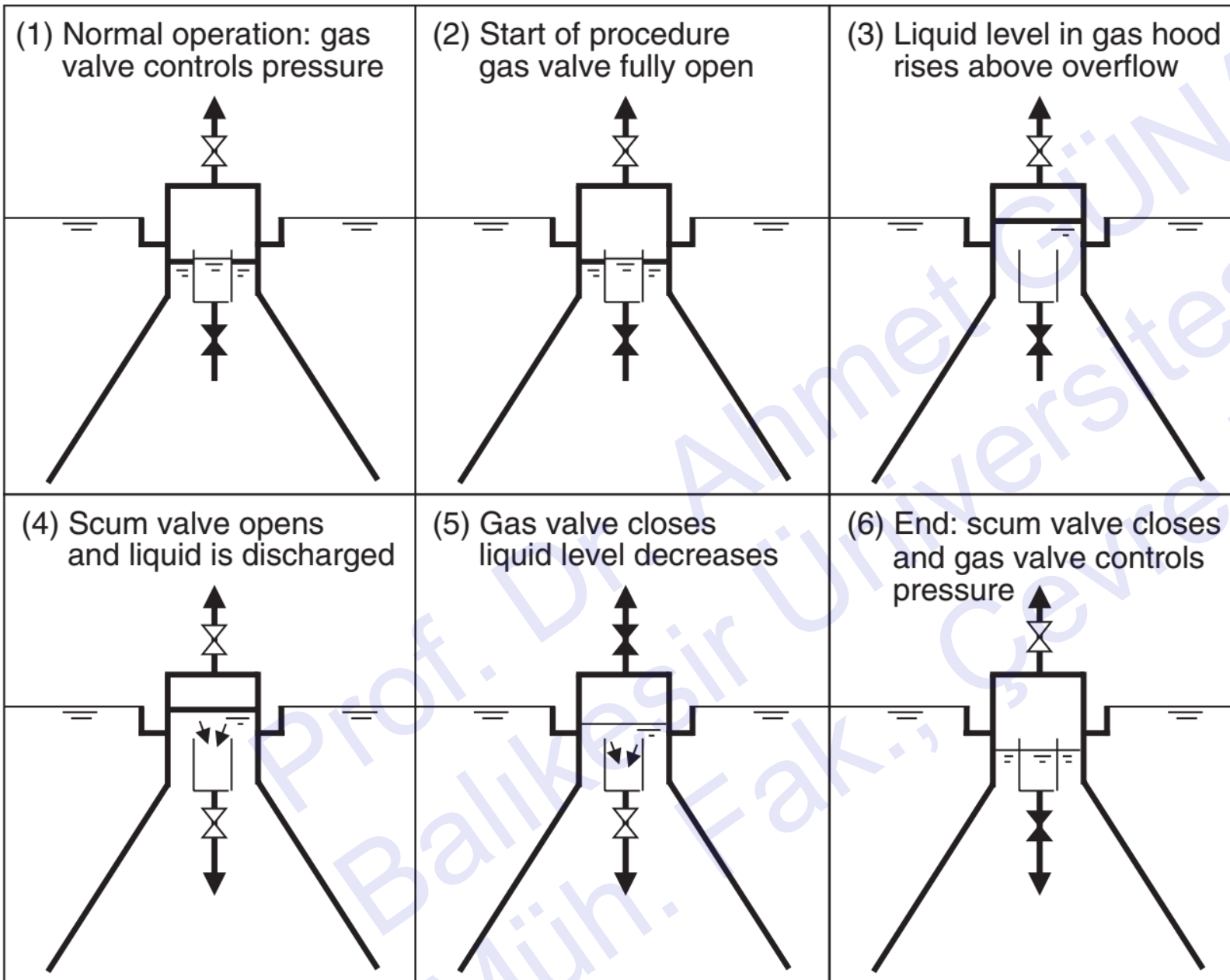


Fig. 5.9: UASB



**ŞEKİL YAÇYA reaktörde köpük giderme sistemi**  
(Kaynak: A.C. van Haandel and J.G.M. van der Lubbe (2012), Handbook of Biological Wastewater Treatment Design and Optimisation of Activated Sludge Systems, IWA Publishing Alliance House, 12 Caxton Street, London SW1H 0QS, UK, p493)



## TABLO YAÇYA reaktörlerin avantajları ve dezavantajları

Avantajları	Dezavantajları
<ul style="list-style-type: none"><li>•Yüksek organik yükleme kapasitesi</li><li>•Kısa HBS</li><li>•Yüksek KOİ giderme verimi</li><li>•Dolgu yatağa ihtiyaç yok</li><li>•Basit reaktör yapısı</li><li>•Düşük enerji ihtiyacı</li><li>•YAÇYA reaktörü karıştırma ihtiyacı yoktur</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>•Çamur granüllerinin oluşumunu kontrol etmek zordur. <b>KOİ&lt;5000 mg/l</b> ise granül oluşumu zayıftır.</li><li>•Granülleşme atıksyun özelliklerine bağlıdır.</li><li>• Granüller yüzme eğilimine geçebilir.</li><li>•Aritilmiş atıksu yeterince durulanmayabilir.</li><li>•Şok organik yüklere karşı hassastır.</li></ul>

## TABLO Reaktörün işletme sıcaklığına bağlı olarak çamur yaşı

Sıcaklık, °C	$\theta_c$ , gün
15	140
20	100
25	60
30	30
35	20

Minimum çamur yaşı ( $\theta_c^m$ ) metan üreten bakterilerin ikiye katlanma sürelerinin (**Td: doubling time**) üç katı olmalıdır.

$$\theta_c^m = 3 \times Td$$

## YAÇYA reaktörde çamurun çökeltme özellikleri;

Reaktör içerisindeki aktif mikroorganizmaların reaktörden yıkanmaması için çamurun çökeltme özellikleri önemlidir. Aktif çamur granüllerinin çapı düşük olduğu zaman sıvı ile birlikte reaktörü terk edebilirler ya da normal boyuttaki granüllerin içinde gaz kabarcıkları olduğu zaman granüller yüzme eğilimine geçer ve reaktörden yıkanabilirler. Büyük granüllerin çökeltme özellikleri küçük granüllere göre daha iyidir.

Ortalama boyutu **1-3 mm**'den olan granüller daha da büyüdüğü zaman, büyük granüllerin iç kısımlarına sübstrat difüzyonu gerçekleşmez ve büyük granülün iç kısımlarında yer alan mikroorganizmalar içsel solunumla ölürlere ve ayrışır. Bu ayrışma ile birlikte granülün iç kısmında biyogaz birikince yoğunluğu düşer ve bu granüller yüzme eğilimine geçer.

Reaktöre giriş yapılarının tıkanması, inorganik çökeltiler ve aşırı yoğun granüller de işletme problemlerine sebep olur.

Çamurların yoğunluğu **1,02-1,04 g/cm<sup>3</sup>** mertebesinde. Bu çamurlar ilave işleme tabi tutmaksızın direk susuzlaştırılabilir.

## Numune alma;

Reaktör yüksekliği boyunca her **50 cm** yüksekliğinde bir numune alma vanaları planlanır. Bu numunelerde;

- Spesifik metanojenik aktivite,
- Çamurların karakteristik özellikleri,
- Proses kontrolü için UYA, pH ve alkalinite ölçümleri yapılır.



**TABLO** YAÇYA reaktörlerde atıksuyun kuvvetliliğine göre yükleme hızları ve HBS

KOİ, mg/l	Org. yük kg KOİ/m <sup>3</sup> -gün	Çamur yükü kg KOİ/kg UKM-gün	HBS $\theta_{hr}$ , saat	Yukarı akış hızı $V_{yah}$ , m/saat	Beklenen Verim %
<750	1-3	0,1-0,3	6-18	0,25-0,70	70-75
750-300	2-5	0,2-0,5	6-24	0,25-0,70	80-90
3000-10 000	<b>5-10</b>	0,2-0,6	6-24	0,15-0,70	75-80
>10 000	>10	0,2-1,0	>24	0,15-0,70	75-80

- Yüksek organik yük: OLR > **10 kg KOİ/m<sup>3</sup>-gün**
- Düşük organik yük: OLR < **10 kg KOİ/m<sup>3</sup>-gün**
- Islak fermentasyon: **KKM %'si < %15-20** (sulu çamur formu)
- Kuru fermentasyon: **%50 > KKM %'si > %30** (çamur keki formu)
- Aerobik veya anaerobik mikrobiyal aktivite için minimum nem muhtevası **%50**'dir.
- KKM muhtevası **%50**'yi geçerse mikrobiyal aktivite düşer





**TABLO** YAÇYA reaktörlerde sıcaklığa bağlı olarak hacimsel organik yükleme hızı

Sıcaklık (°C)	Hacimsel organik yük (kg KOİ / m <sup>3</sup> -gün)
40	15-20
30	10-15
20	5-10
15	2-5
10	1-3

G. Buitrón, E. Razo-Flores, M. Meraz and F. Alatrister Mondragon, 2006, Chapter 3: Biological wastewater treatment systems, *Advanced Biological Treatment Processes for Industrial Wastewaters*, Francisco J. Cervantes, Spyros G. Pavlostathis and Adrianus C. van Haandel, (Eds.), IWA Publishing, Alliance House, 12 Caxton Street, London SW1H 0QS, UK. P165

$$L_{org} = \frac{Q \times S_0}{V_n}$$



## ÖZET: YAÇYA reaktör tasarımı;

- $L=5-20$  (**10**) **kg KOİ/m<sup>3</sup>-gün** (atıksu tipine bağlı)
- $\theta_h = 4-48$  **saat (8-10 saat)** (işletme sıcaklığına bağlı)
- $H=4,5-5$  **m** (aktif reaktör derinliği)
- Reaktör çapı ya da genişliği **10-25 m**
- Çamur yatak derinliği **2-2,5 m (evsel atıksular için)**
- $(V_{yah}) < 2$  **m/saat (0,5-0,9 m/saat)**,
  - Ortalama debide **0,5 m/saat**,
  - Maksimum debide **1,0 m/saat** olmalıdır (**20-28 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>-gün**)
- Reaktörde UKM (aktif mikroorganizma) konsantrasyonu;
  - Reaktörün **alt** bölümünde **100 000 -150 000 mg/l**
  - Reaktörün **üst** bölümünde **4 000 -5 000 mg/l**
  - Reaktörün **ortalaması 20-70 g/l (40-50 g/l) (65-70 kg TKM/m<sup>3</sup>)**
- Reaktör derinliği;
  - **3-5 m** (evsel atıksular için)
  - **3-10 m** (çözünmüş KOİ'ye bağlı)
- Biyogaz üretimi **0,2-0,5 m<sup>3</sup>/kg KOİ<sub>gid</sub>**.



**TABLO YAÇYA reaktörler**

<b>YAÇYA Reaktör Parametreleri</b>	<b>Değer</b>
Devreye alma süresi, gün	50-100
Granülleşme süresi, gün	60-100
Granüllerin boyutu, mm	1-3 (1,3)
Çökme hızı, m/saat	50-60
Granülleşme yüzdesi	40
$Y_{x/s}$ , gün <sup>-1</sup>	0,075
Verim, %	75
Spesifik substrat kullanım hızı, kg KOİ/kg UKM-gün	0,75-1,5
Biyokütle üretimi $Y_{x/s}$ , kgUKM/kgKOİ	0,05-0,15

YAÇYA reaktörler için en önemli tasarım parametreleri;

**1-Hacimsel organik yük**

**2-HBS**

**3-  $V_{yah}$  (0,5 m/saat)**

YAÇYA reaktörlerde organik yük **1-15 kg KOİ/m<sup>3</sup>-gün** mertebesinde değişir.

HBS atıksu tipine bağlı olarak **minimum 6 saatten** bazı endüstriyel atıksular için **4-5 güne** kadar çıkabilir.

Hacimsel hidrolik yük **<6 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>-gün**



**TABLO** Anaerobik reaktörlerin şekli (Kaynak: <http://saleemindia.blogspot.com.tr/2015/12/design-of-uasb-units.html>)

Reaktör yapısı	<b>Dikdörtgen</b> ya da dairesel, dikdörtgen tercih edilir.
Derinlik	<b>4,5-5 m</b> (evsel atıksular için)
Genişlik ya da çap	Üniform bir besleme ve reaktörde biriken çamuru tahliye edebilmek için genişliği <b>10-12 m</b> civarındadır.
Uzunluk	Gerektiği kadar.
Besleme	<ul style="list-style-type: none"><li>■ Evsel atıksuların anaerobik arıtılmasında üstten besleme tercih edilir.</li><li>■ Çözünmüş organik madde içeren endüstriyel atıksuların anaerobik arıtımında alttan besleme tercih edilir.</li></ul>
Çamur yatak derinliği	Evsel atıksular için <b>2-2,5 m</b> . Kuvvetli atıksularda yatak derinliği artar.
Deflektör (gaz, sıvı, katı ayırma)	Çökeltme bölgesindeki akım hızı pik debide <b>5 m/saat</b> 'i geçmemelidir.
Çökeltme bölgesi	Derinlik <b>2-2,5 m</b> .

## Reaktör hacmi ve boyutları

Reaktör hacminin ve boyutlarının belirlenmesinde, **1-hacimsel organik yük**, **2- yukarı akış hızı**, ve **3- etkili reaktör hacmi** esas alınır. Etkili reaktör hacmi aktif biyo-kütle konsantrasyonu ve çamur yatak yüksekliğine göre reaktör hacminin **0,8-0,90'**ı kadardır.

### 1. Hacimsel organik yük;

$$L_{org} = \frac{Q \times S_0}{V_n}$$

$V_n$  = etkili (nominal/çamur yatak) reaktör hacmi, m<sup>3</sup>

$Q$  = debi, m<sup>3</sup>/gün

$S_0$  = giriş KOİ, kg KOİ/m<sup>3</sup>

$L_{org}$  = Organik yükleme hızı, kg KOİ/ m<sup>3</sup>-gün

### 2. Reaktörün toplam hacmi; $V_L$

$$V_L = \frac{V_n}{E_f}$$

$V_n$  = Reaktörün etkili sıvı hacmi, m<sup>3</sup>

$E_f$  = Etkinlik faktörü (0,8 – 0,9)



### 3. Reaktörün yüzey alanı;

Yüzey alanı; A

$$A = \frac{Q}{V_{yah}} \rightarrow Q = V_{yah} \times A$$

### 4. Reaktörün derinliği; $H_L$

$$H_L = \frac{V_L}{A}$$

Bu reaktör derinliğine ilave olarak 2-3 m çökeltme ve gaz toplama bölümü ilave edilir.  $H_T = H_L + H_{G/G}$

### 5. Reaktörün HBS

$$\theta_h = \frac{V_L}{Q}$$





## ANAEROBİK REAKTÖRLERİN İNŞAATI

Reaktör korozyona karşı dayanıklı malzemedan imal edilmeli ya da yüzeyleri uygun malzeme ile kaplanmalıdır. Biyogaz korozif  $H_2S$  içerebileceğinden betonarme ya da çelik reaktörlerin iç yüzeyleri epoksi ile ya da plastik takviyeli kontrplak (plywood) kaplanmalıdır.

Betonarme reaktörlerde korozyon kontrolüne karşı alınabilecek tedbirler;

- Uygun çimento seçimi
- Su oranı düşük çimento
- Betonun vibrasyon kalitesini iyileştirme
- Yeterli sertleştirme
- Özel beton katkıları kullanma
- Asitlere karşı dirençli malzeme ile kaplama
- Klorlanmış kauçuk veya bitümlü epoksi ile boyama

PVC, elyaf cam (fiber glass) ve paslanmaz çelik malzemeler korozyona maruz kalabilirler.



# ÖRNEK-1

# YAÇYA REAKTÖR

# TASARIMI



## ÖRNEK: YAÇYA reaktör tasarımı

Debisi **1000 m<sup>3</sup>/gün** ve **KOİ'si 25 g/l** olan endüstriyel atıksular YAÇYA reaktörde arıtılacaktır. Pilot çalışmalar hacimsel organik yükün **10 kg KOİ/m<sup>3</sup>-gün** alınabileceğini ortaya koymuştur.

- Biyokütle üretimi,  $Y_{x/s} = 0,11 \text{ kg UKM/kg KOİ}$
- Biyogazın CH<sub>4</sub> oranı=**%70**
- KOİ giderimi=**%80**

YAÇYA reaktörün hacmini hesaplayınız. Metan üretim debisini hesaplayınız. Metanın enerjisi kaç kWh'tir? Reaktörün sıcaklığını **15 °C**'den **35 °C**'ye getirmek için ne kadar enerji gerekir. Reaktörden üretilen enerji reaktörü ısıtmak için yeterli midir?

## ÇÖZÜM

### (1) YAÇY reaktörün hacmi ve boyutları:

$$V_r = \frac{25 \text{ kg/m}^3 \times 1000 \text{ m}^3/\text{gün}}{10 \text{ kg/m}^3 \text{ gün}} = 2500 \text{ m}^3$$

$$V_{yuh} = 0,5 \text{ m / saat için } A;$$

$$A = \frac{Q}{V_{yah}} = \frac{1000 \text{ m}^3 / \text{gün}}{0,5 \text{ m / saat} \times 24 \text{ saat / gün}} = 83,33 \text{ m}^2 \cong 85 \text{ m}^2$$

*Silindirik reaktörün çapı;*

$$D = 10,4 \text{ m}$$

$$\theta_h = \frac{2500 \text{ m}^3}{1000 \text{ m}^3 / \text{gün}} = 2,5 \text{ gün}$$



## (2) Biyogaz-metan üretimi:

Giderilen KOİ=25 kg/m<sup>3</sup> × 1 000 m<sup>3</sup>/gün×%80=**20 000 kg KOİ/gün**

Biyokütle üretimi (Giderilen KOİ'nin %11'i biyokütle üretiminde kullanılır) =0,11 x 20,000 = **2 200 kg UKM/gün**

CH<sub>4</sub> üretimi için giderilen KOİ= 20 000 kg KOİ/gün -**1,42 kg KOİ/kg UKM** x 2 200 kg/gün = **16 876 kg/gün**

CH<sub>4</sub> üretimi (STP)=0,35 x 16 876= **5 906 m<sup>3</sup>/gün** ≡ 5 906 m<sup>3</sup>/gün x **35,8 MJ/m<sup>3</sup>**=**211,4 x 10<sup>3</sup> MJ/gün**

CH<sub>4</sub> üretimi (20 °C)=5 906 m<sup>3</sup>/gün x [(273,15+**20**)/273,15]=**6 339 m<sup>3</sup>/gün (20 °C)**

Biyogaz üretimi (%70 metan) =6 339/0,7=**9 055 m<sup>3</sup>/gün (20 °C)**

## (3) Enerji üretimi

Metandan üretilen enerji, **1 kg KOİ** ≡ **0,35 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>**≡**12,53 MJ** ≡ **3,481 kWh**

Metan üretime tekabül eden KOİ= **16 876 kg/gün**

Enerji üretimi=16 876 x 3,481= **58 745 kWh/gün** ≡ **211,4 x 10<sup>3</sup> MJ/gün**

*1 kWh=3,6 MJ=3600 kJ*

## (4) Reaktörü ısıtmak için gerekli enerji

$$\begin{aligned} \text{Gerekli ısı enerjisi} &= \underbrace{1000\,000 \text{ kg / gün}}_{Q=1000\text{m}^3/\text{gün}} \times [(35 - 15) ^\circ\text{C}] \times (4\,200 \text{ J / kg } ^\circ\text{C}) \times (100 / 75) \\ &= 112 \times 10^9 \text{ J / gün} = 112 \times 10^3 \text{ MJ / gün} = 31\,111 \text{ kWh / gün} \end{aligned}$$



Fazla enerji=(211,4-112) x 10<sup>3</sup> MJ/gün=**99,4 x 10<sup>3</sup> MJ/gün** ya da **27 611 kWh/gün**

### (5) Aritma verimi:

YAÇYA reaktörlerde beklenen aritma verimi;

$$E = 100 \times (1 - 0,87 \times t^{-0,5})$$

ampirik formülü ile hesaplanabilir (Chernicharo C. A. L. (2007). Biological Wastewater Treatment Series: vol. 4 – Anaerobic Reactors, IWA Publishing, London, UK, p79).

$$KOİ_0 = 25 \text{ kg/m}^3$$

$$KOİ_e = 5 \text{ kg/m}^3$$

Projelendirme verimi=%80

$$E = 100 \times (1 - 0,87 \times t^{-0,5})$$

$$= 100 \times (1 - 0,87 \times (2,5 / 24)^{-0,5})$$

$$= \text{\%}88,7 > \text{\%}80$$

**E:** aritma verimi

**t:** HBS (saat)

**0,87:** sistemin ampirik sabiti

**0,5:** çamur yatağın ampirik sabiti







# ÖRNEK-2

# YAÇYA REAKTÖR

# TASARIMI



## ÖRNEK: YAÇYA reaktör tasarımı

(Kaynak: Türker, M., Anaerobik Biyoteknoloji ve Biyoenerji Üretimi, Dünya'da ve Türkiye'de eğilimler, ÇEVKOR Yayınları, 2008, İzmir (uyarlanmıştır).

Debisi **3000 m<sup>3</sup>/gün** olan atıksular **5000 mg KOİ/l** konsantrasyonunda ağırlıklı olarak asetik asit içermektedir. KOİ giderme verimi **%90** olacaktır. Reaktördeki anaerobik çamur konsantrasyonu **25 000 mg UKM/l**'dir. Bu atıksu için minimum çamur yaşı **6,9 gün**'dür. Reaktörün tasarımında **minimum çamur yaşı 10 gün** olarak alınacaktır. Bu durumda spesifik üreme hızı  $\mu = 1/\theta_c = 1/10 = \mathbf{0,1 \text{ gün}^{-1}}$  ve biyokütle dönüşüm oranı  $Y_{x/KOİ} = \mathbf{0,022 \text{ g UKM / g KOİ}}$ 'dir. Reaktörü tasarlayınız. Biyogazın metan oranı %50 ve atıksu için **T=18 °C**'dir.

## ÇÖZÜM

### 1. Reaktör hacmi;

OLR: hacimsel organik yük = **15,0 kg KOİ/m<sup>3</sup>-gün** seçelim.

$$V = \frac{Q \times S_0}{OLR} \quad V = \frac{3000 \text{ m}^3 / \text{gün} \times 5 \text{ kg} / \text{m}^3}{15 \text{ kg KOİ} / \text{m}^3 - \text{gün}} = 1000 \text{ m}^3$$

### 2. Reaktörün alanı;

YAÇYA reaktörlerde atıksuyun yukarı akış hızı ( $V_{yah}$ ) – atıksuyun TKM konsantrasyonuna bağlı olarak– **0,5-2 m/saat** mertebesinde dir. **0,75 m/saat** seçelim.

$$A = \frac{Q}{V_{yah}} = \frac{3000 \text{ m}^3 / \text{gün}}{0,75 \text{ m} / \text{saat} \times 24 \text{ saat} / \text{gün}} = 166,67 \text{ m}^2$$

*Ağırlıklı olarak asetik asit içeren atıksuların arıtıldığı anaerobik reaktörde metanojenlerin yoğun şekilde bulunması beklenir. Bu durumda hacimsel organik yük ham atıksudaki **5 kg/m<sup>3</sup> KOİ** değeri de göz önüne alınarak (**15 kg KOİ/m<sup>3</sup>-gün**) seçilebilir.*



## ÇÖZÜM (devamı)

### 3. Reaktörün ebatları;

YAÇYA reaktör dikdörtgen tasarlanırsa;

$$A = 12 \times 14 = 168 m^2 \quad V = 6 \times 168 = 1008 m^3$$

### 4. Reaktörün yüksekliği;

$$H = \frac{V}{A} = \frac{1008 m^3}{168 m^2} = 6,0 m$$

$$V_{yah} = \frac{Q}{A} = \frac{3000 m^3 / gün}{168 m^2} = 17,86 m / gün$$
$$= 0,744 m / saat$$

### 5. Reaktörün HBS;

$$\theta_h = \frac{V}{Q} = \frac{1008 m^3}{3000 m^3 / gün} = 0,336 gün \equiv 8,06 saat$$
$$\frac{\theta_c}{\theta_h} = \frac{10 gün}{0,336 gün} = 29,76$$

Çamur yaşı HBS'nin yaklaşık 30 katıdır.

### 6. Reaktörün gaz/sıvı/katı ayırma bölmesi;

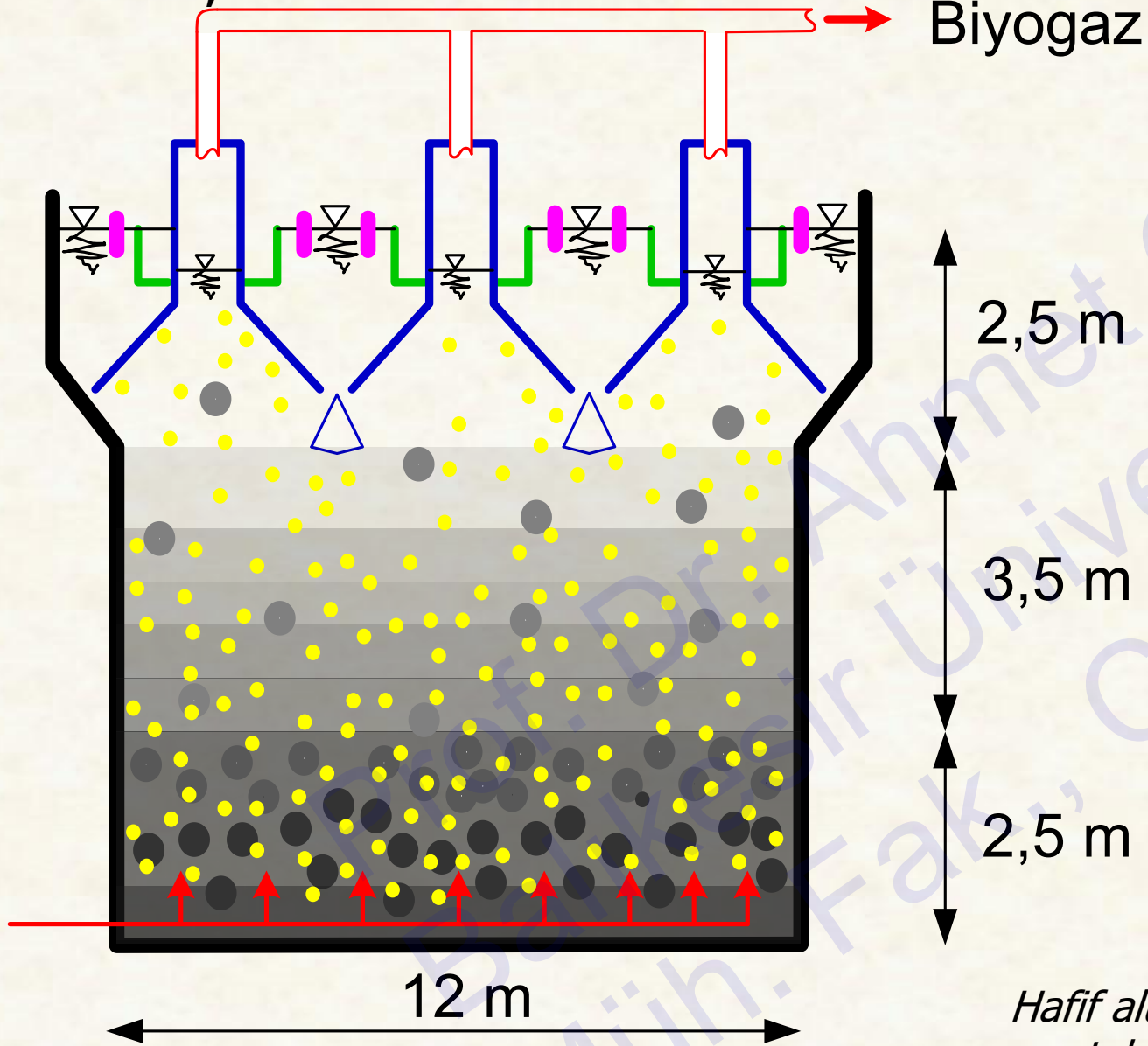
Bu bölmenin yüksekliği 2,5 m kabul edilebilir. Bu durumda toplam reaktör yüksekliği  $6+2,5=8,5 m$  olur.

KOİ, mg/l	Org. yük kg KOİ/m <sup>3</sup> -gün	Çamur yükü kg KOİ/kg UKM-gün	HBS $\theta_h$ saat	Yukarı akış hızı $V_{yah}$ m/saat	Beklenen Verim %
<750	1-3	0,1-0,3	6-18	0,25-0,70	70-75
750-300	2-5	0,2-0,5	6-24	0,25-0,70	80-90
3000-10 000	<b>5-10</b>	0,2-0,6	6-24	0,15-0,70	75-80
>10 000	>10	0,2-1,0	>24	0,15-0,70	75-80





## 7. Reaktör;



### ÖZET:

- 1)  $Q=3000 \text{ m}^3/\text{gün}$ ,  $KOİ=5 \text{ kg/m}^3$
- 2)  $V=1008 \text{ m}^3$  ( $OLR=15 \text{ kg KOİ/m}^3\text{-gün}$ )
- 3)  $H=6 \text{ m}$
- 4)  $A=168 \text{ m}^2$  ( $12 \times 14 \text{ m}$ )
- 5)  $V_{yah} = Q/A = 0,744 \text{ m/saat}$
- 6)  $\theta_h = V/Q = 8,06 \text{ saat}$
- 7)  $P_x = 297 \text{ kg UKM/gün}$
- 8)  $KOİ_{gid.} = 13\,078 \text{ kg KOİ/gün}$

- i.  $Q_{biyogaz} = 9154 \text{ m}^3$  (STP)
- ii.  $Q_{biyogaz} = 9824 \text{ m}^3$  ( $20 \text{ }^\circ\text{C}$ )

- a)  $Q_{CH_4} = 4577 \text{ m}^3$  (STP)
- b)  $Q_{CH_4} = 4912 \text{ m}^3$  ( $20 \text{ }^\circ\text{C}$ )

$$\Delta T \approx 11-12 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Savak yükü} = 3000 / (6 \times 14) = \mathbf{1,49 \text{ m}^3/\text{saat-m}}$$

*Hafif alum yumakları için savak yükü  $6-7 \text{ m}^3/\text{saat-m}$  mertebesindedir (Eroğlu, 2008, Su Tasfiyesi).*

## 8. Savak;

Atıksuyun reaktörden çıkışı, reaktör çıkışındaki oluklara savaklanan arıtılmış atıksuyun toplama kanalında tekrar toplanmasıyla gerçekleşir. Bu oluk üzerinde savak dişleri (çentikler) yer alır. Bu savak dişlerinin açıları 45-90° arasında değişir.

### Üçgen savaklarda debi;

$$q = \frac{8}{15} \times C_d \times (2 \times g)^{1/2} \times \tan \frac{\theta}{2} \times h^{5/2}$$

**q:** herbir savaktan akan debi, m<sup>3</sup>/sn

**C<sub>d</sub>:** akış katsayısı=0,584

**h:** savak dişinin su yükü, m

**g:** 9,81 m/sn<sup>2</sup>

### Dikdörtgen savaklarda debi;

$$q = 1,8 \times b \times h^{3/2}$$

**b:** savak genişliği, m

Dikdörtgensavak:  $Q = (\mu)(L) \sqrt{2g} (h)^{3/2}$

Üçgen savak:  $Q = \left(\frac{8}{15}\right) (\mu) \left(\tan \frac{\alpha}{2}\right) \sqrt{2g} (h)^{5/2}$

Dikdörtgensavak:  $Q = f (h)^{3/2}$

Üçgen savak:  $Q = f (h)^{5/2}$

Yaklaşık olarak, 60 ve 90°'lik açılar için aşağıdaki eşitlikler de kullanılabilir (David L. Russell, (2006) Practical wastewater treatment, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, p68).

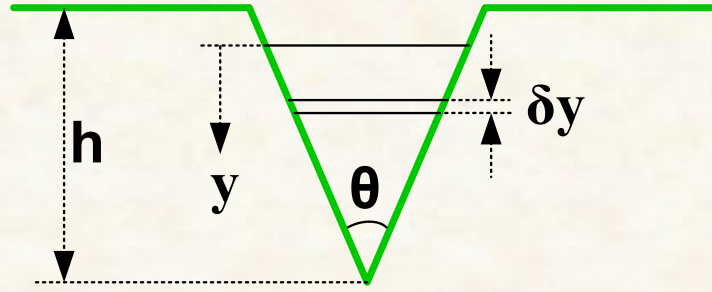
Açıl : 60°  $Q = 1,43 \times h^{2,5}$

Açıl : 90°  $Q = 2,49 \times h^{2,48}$

Açıl = 90° ⇒  $q = \frac{8}{15} \times C_d \times (2 \times g)^{1/2} \times \tan \frac{\theta}{2} \times h^{5/2} \rightarrow$

$$q = 1,38 \times h^{5/2}$$

## 8. Savak formülü;



y derinliğindeki bir **üçgen** savak dişi için;

$$\text{Hız, } V = \sqrt{2gy}$$

$$Q = V \times A$$

$$\text{Alan, } A = 2(h - y) \tan \frac{\theta}{2} \delta y$$

$$\delta q = \underbrace{\left( \sqrt{2gy} \right)}_V \times \underbrace{\left( 2(h - y) \tan \frac{\theta}{2} \delta y \right)}_A$$

Kendi kendini temizler.

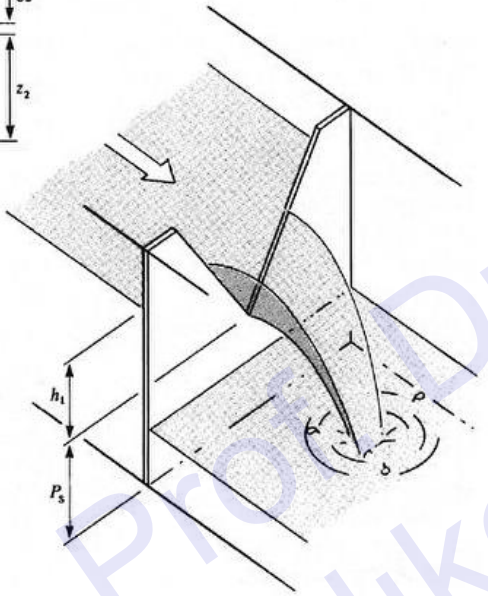
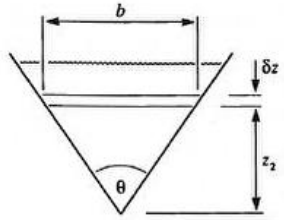
$$dq = 2\sqrt{2g} \tan \frac{\theta}{2} \int_{y=0}^{y=h} (h - y) y^{1/2} dy$$

$$dq = 2\sqrt{2g} \times \tan \frac{\theta}{2} \int_{y=0}^{y=h} (hy^{1/2} - y^{3/2}) dy$$

$$q = 2\sqrt{2g} \times \tan \frac{\theta}{2} \left[ \frac{2}{3} hy^{3/2} - \frac{2}{5} y^{5/2} \right]_{y=0}^{y=h}$$

$$q = \frac{8}{15} \times (2 \times g)^{1/2} \times \tan \frac{\theta}{2} \times h^{5/2}$$

$$q = \frac{8}{15} \times 0,584 \times (2 \times g)^{1/2} \times \tan \frac{\theta}{2} \times h^{5/2}$$



**ŞEKİL** Üçgen savak

**C<sub>d</sub>: akış katsayısı=0,584**





## 8-a. Savak hesabı (Diş genişliği, 5 cm, 45°, aralık 5cm);

Savak dişleri genişliği 5 cm ve açısı 45° olan ve üçgen şeklinde olacaktır. Bu durumda savağın azami derinliği  $2,5/[\text{Cos}(67,5)]=6,533$  cm olur.

### I. Savak adedi;

- 1400 cm - 2×5 cm=1390 cm
- 1390 cm / (5 cm + 5 cm)=**139 adet**

Bir adet savak plakasında 139 adet savak dişi bulunmalıdır.

II. Savak dişi sayısı, 6 adet savak plakası bulunacağından;  $n=6 \times 139=$ **834 adet**

### III: Bir savak dişinin debisi;

- $q=Q/834=3000/834=$ **3,597 m<sup>3</sup>/gün-diş**  
**=41,633×10<sup>-6</sup> m<sup>3</sup>/sn-diş**

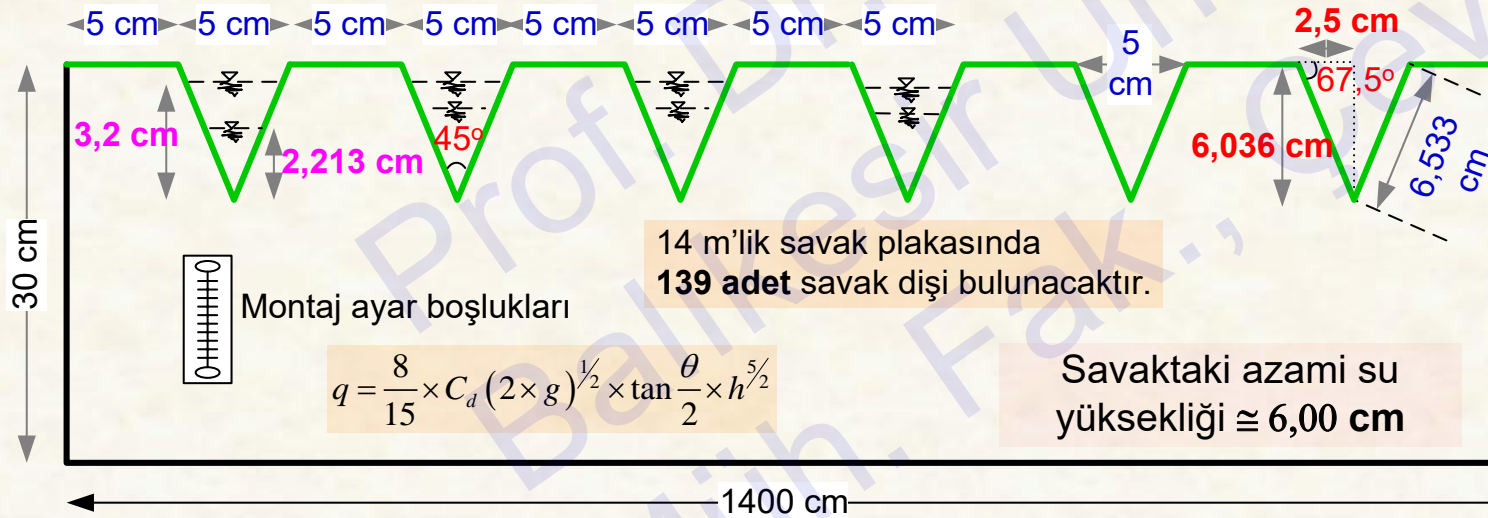
$$41,633 \times 10^{-6} = \frac{8}{15} \times 0,584 \times (2 \times 9,81)^{1/2} \times \tan \frac{45}{2} \times h^{5/2}$$

$$h = 0,02213 \text{ m} = 2,213 \text{ cm}$$

Maksimum savak yüksekliği= **6,036 cm**

3000 m<sup>3</sup>/gün debi için savak yükü; **h=2,213 cm**

4000 m<sup>3</sup>/gün debi için savak yükü; **h=2,483 cm**



$h = 0,032 \text{ m} = 3,2 \text{ cm}$  için  $q$ ;

$$q = \frac{8}{15} \times 0,584 \times (2 \times 9,81)^{1/2} \times \tan \frac{45}{2} \times (0,032)^{5/2}$$

$$q = 104,68 \times 10^{-6} \text{ m}^3 / \text{sn}$$
$$= 9,044 \text{ m}^3 / \text{gün}$$

$$Q = 834 \times 9,044 \text{ m}^3 / \text{gün}$$

$$= 7542,93 \text{ m}^3 / \text{gün} \gg 3000 \text{ m}^3 / \text{gün}$$

## 8-b. Savak hesabı (Diş genişliği, 4 cm, 30°, aralık 4cm);

Savak dişleri genişliği 4 cm ve açısı 30° olan ve üçgen şeklinde olacaktır. Bu durumda savağın azami derinliği  $2,0/[\text{Cos}(75)]=7,73$  cm olur.

### I. Savak adedi;

- 1400 cm – (4+4) cm=1392 cm
- 1392 cm / (4 cm + 4 cm)=**174 adet**

Bir adet savak plakasında 174 adet savak dişi bulunmalıdır.

II. Savak dişi sayısı, 6 adet savak plakası bulunacağından;  $n=6 \times 174=$ **1044 adet**

### III: Bir savak dişinin debisi;

- $q=Q/834=3000/1044=$ **2,8736 m<sup>3</sup>/gün-diş**  
**=33,259 × 10<sup>-6</sup> m<sup>3</sup>/sn-diş**

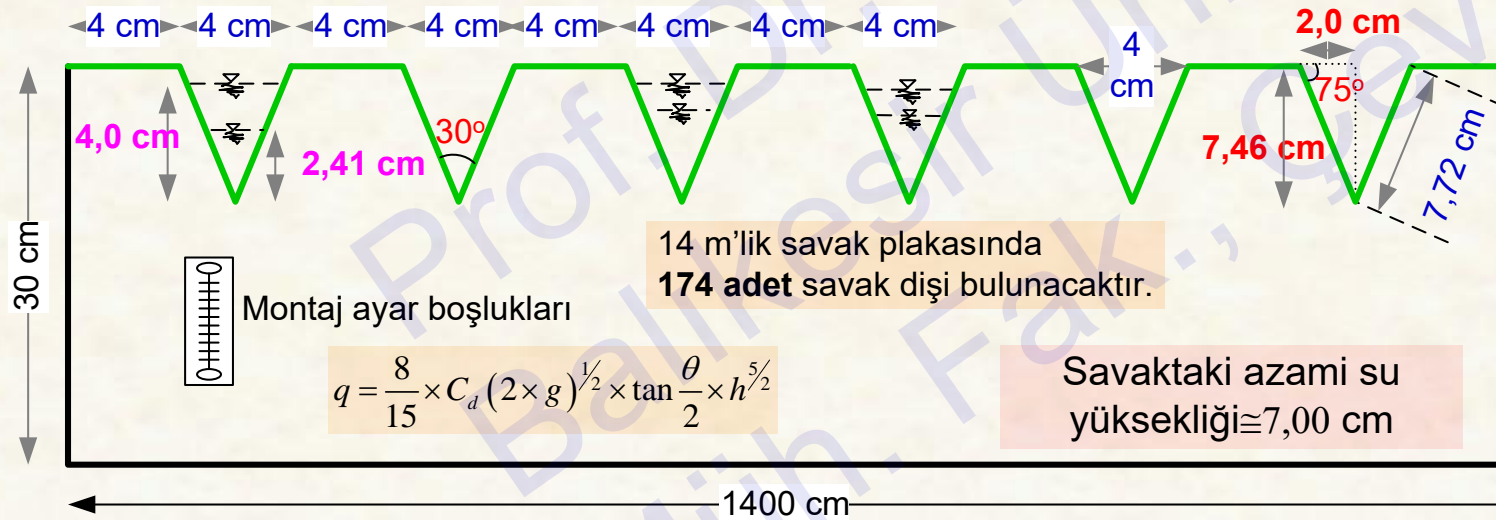
$$33,259 \times 10^{-6} = \frac{8}{15} \times 0,584 \times (2 \times 9,81)^{1/2} \times \tan \frac{30}{2} \times h^{5/2}$$

$$h = 0,0241 \text{ m} = 2,41 \text{ cm}$$

Maksimum savak yüksekliği= **7,46 cm**

3000 m<sup>3</sup>/gün debi için savak yükü; **h=2,41 cm**

4000 m<sup>3</sup>/gün debi için savak yükü; **h=2,70 cm**



$h = 0,04 \text{ m} = 4,0 \text{ cm}$  için  $q$ ;

$$q = \frac{8}{15} \times 0,584 (2 \times 9,81)^{1/2} \times \tan \frac{45}{2} \times (0,04)^{5/2}$$

$$q = 118,3 \times 10^{-6} \text{ m}^3 / \text{sn}$$

$$= 10,22 \text{ m}^3 / \text{gün}$$

$$Q = 1044 \times 9,044 \text{ m}^3 / \text{gün}$$

$$= 10670 \text{ m}^3 / \text{gün} \gg 3000 \text{ m}^3 / \text{gün}$$

## 8-c. Savak hesabı (Diş genişliği, 4 cm, derinlik 4 cm $X^\circ$ , aralık 4cm);

### I. Savak adedi;

- 1400 cm – (4+4) cm=1392 cm
- 1392 cm / (4 cm + 4 cm)=**174 adet**

Bir adet savak plakasında 174 adet savak dişi bulunmalıdır.

**II. Savak dişi sayısı,** 6 adet savak plakası bulunacağından;  $n=6 \times 174=$ **1044 adet**

### III: Bir savak dişinin debisi;

- $q=Q/1044=3000/1044=$ **2,8736 m<sup>3</sup>/gün-diş**  
**=33,259  $\times 10^{-6}$  m<sup>3</sup>/sn-diş**

Savak hesabında ya savak açısını ya da savak derinliğini kabul etmek gerekir.

Savak dişleri genişliği 4 cm ve derinliği 4 cm olan üçgen şeklinde olacaktır. Bu durumda savağın üst açısı **[Tan( $\alpha$ )]=4 cm/2 cm** ise ( $\alpha$ )=63,43°

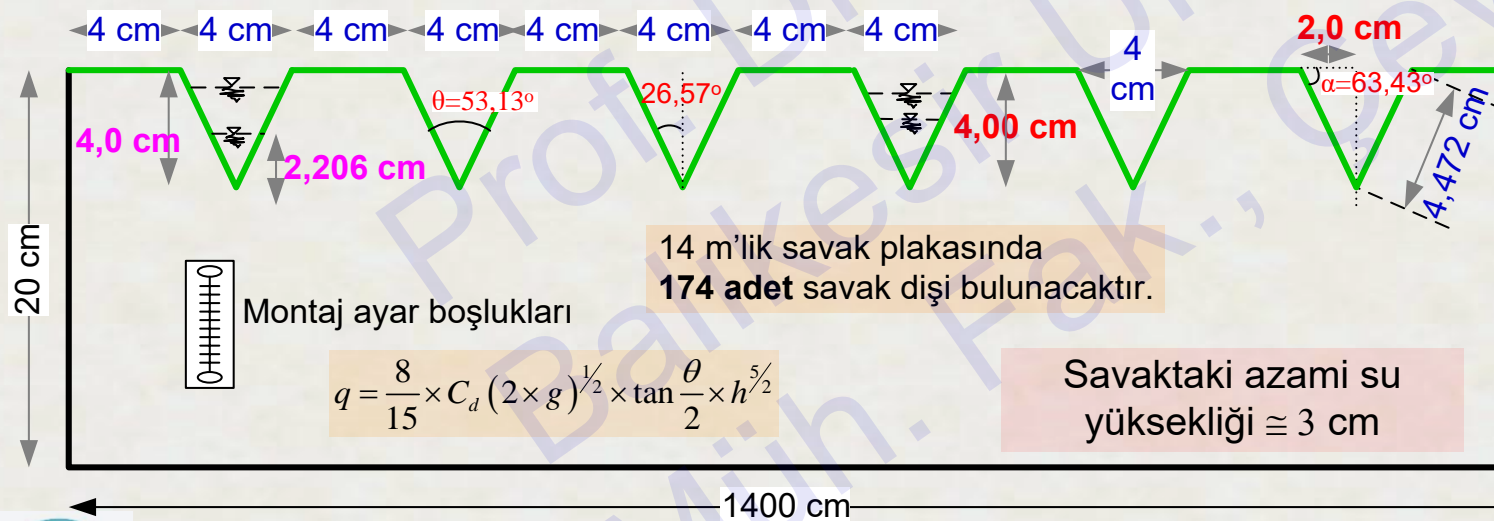
$$33,259 \times 10^{-6} = \frac{8}{15} \times 0,584 \times (2 \times 9,81)^{1/2} \times \tan \frac{53,13}{2} \times h^{5/2}$$

$$h = 0,02206 \text{ m} = 2,206 \text{ cm}$$

$\Sigma$  Savak yüksekliği,  $h=$  **4,00 cm**

3000 m<sup>3</sup>/gün debi için savak yükü; **h=1,88 cm**

4000 m<sup>3</sup>/gün debi için savak yükü; **h=2,11 cm**



$h = 0,03 \text{ m} = 3,00 \text{ cm}$  için  $q$ ;

$$q = \frac{8}{15} \times 0,584 (2 \times 9,81)^{1/2} \times \tan \frac{53,13}{2} \times (0,03)^{5/2}$$

$$q = 107,53 \times 10^{-6} \text{ m}^3 / \text{sn}$$
$$= 9,2907 \text{ m}^3 / \text{gün}$$

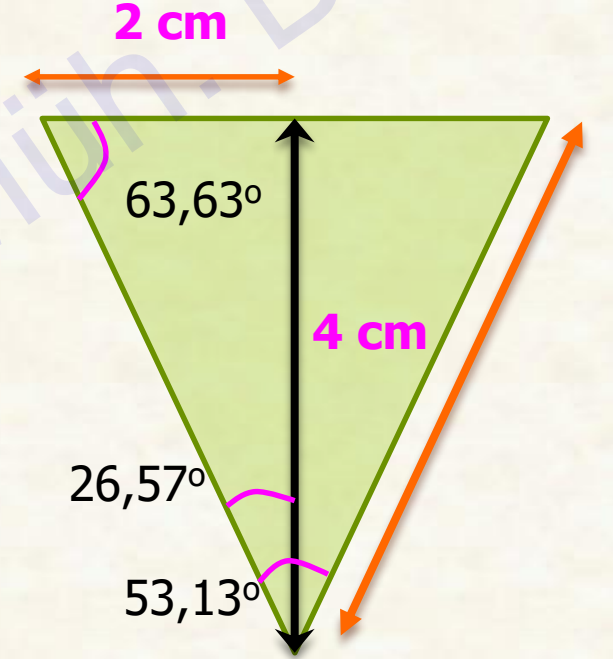
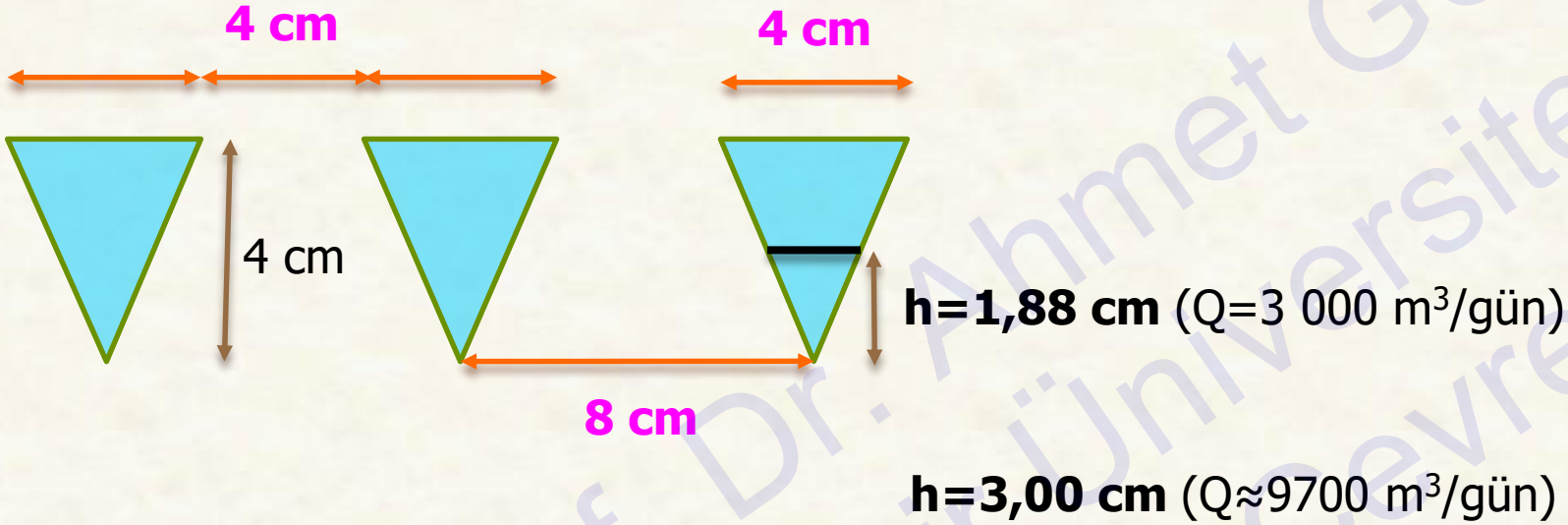
$$Q = 1044 \times 9,2907 \text{ m}^3 / \text{gün}$$

$$= 9699 \text{ m}^3 / \text{gün} \gg 3000 \text{ m}^3 / \text{gün}$$



## 8-d. Savağın imalatı;

Savak ölçüleri verilirken imalat aşaması ve imal edilmiş olan savak plakasını teslim alırken yapılacak kontroller de göz önüne alındığında, savak dişinin genişliğini ve savak derinliğini sabitleyip, savak açısını hesaplamak daha uygun olur. Diğer bir ifade ile, **imalata konu olan ölçüleri sabitlemek daha doğrudur.**



Çalışılan senaryolar;

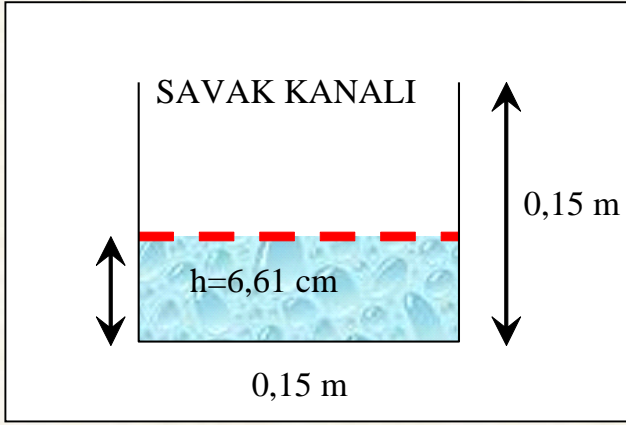
$Q=3000 \text{ m}^3/\text{gün}$  için  $h=1,88 \text{ cm}$

$Q=4000 \text{ m}^3/\text{gün}$  için  $h=2,11 \text{ cm}$

Savak yükü,  $h=3,00 \text{ cm}$  için  $Q=9700 \text{ m}^3/\text{gün}$

Derinliği fazla mı?

## 9. Savak kanalı ve ana kanal hesabı;

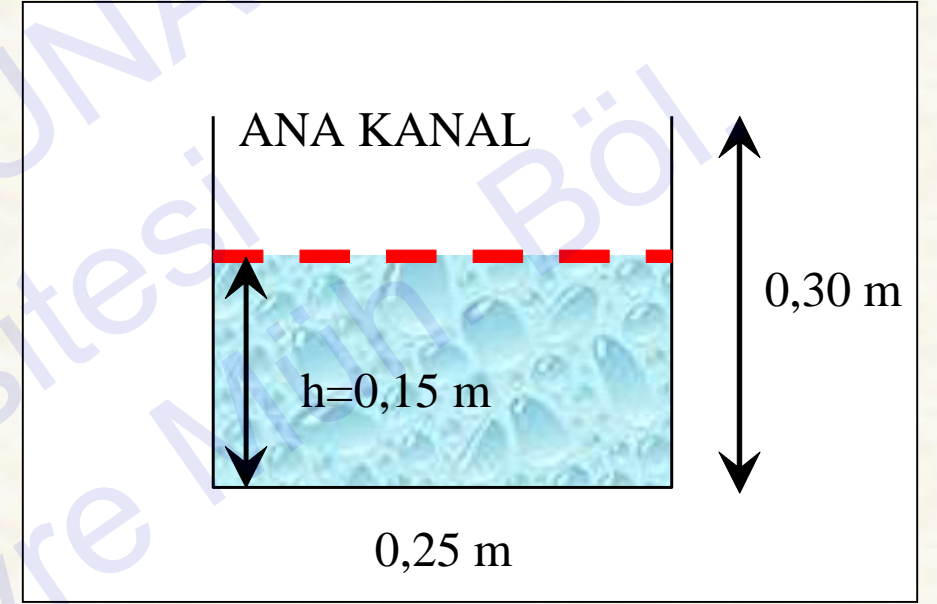


h	0,0661	m
Islak Alan	0,0099	m <sup>2</sup>
Islak çevre	0,2822	m
R	0,0351	m

$$V = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times J^{\frac{1}{2}}$$

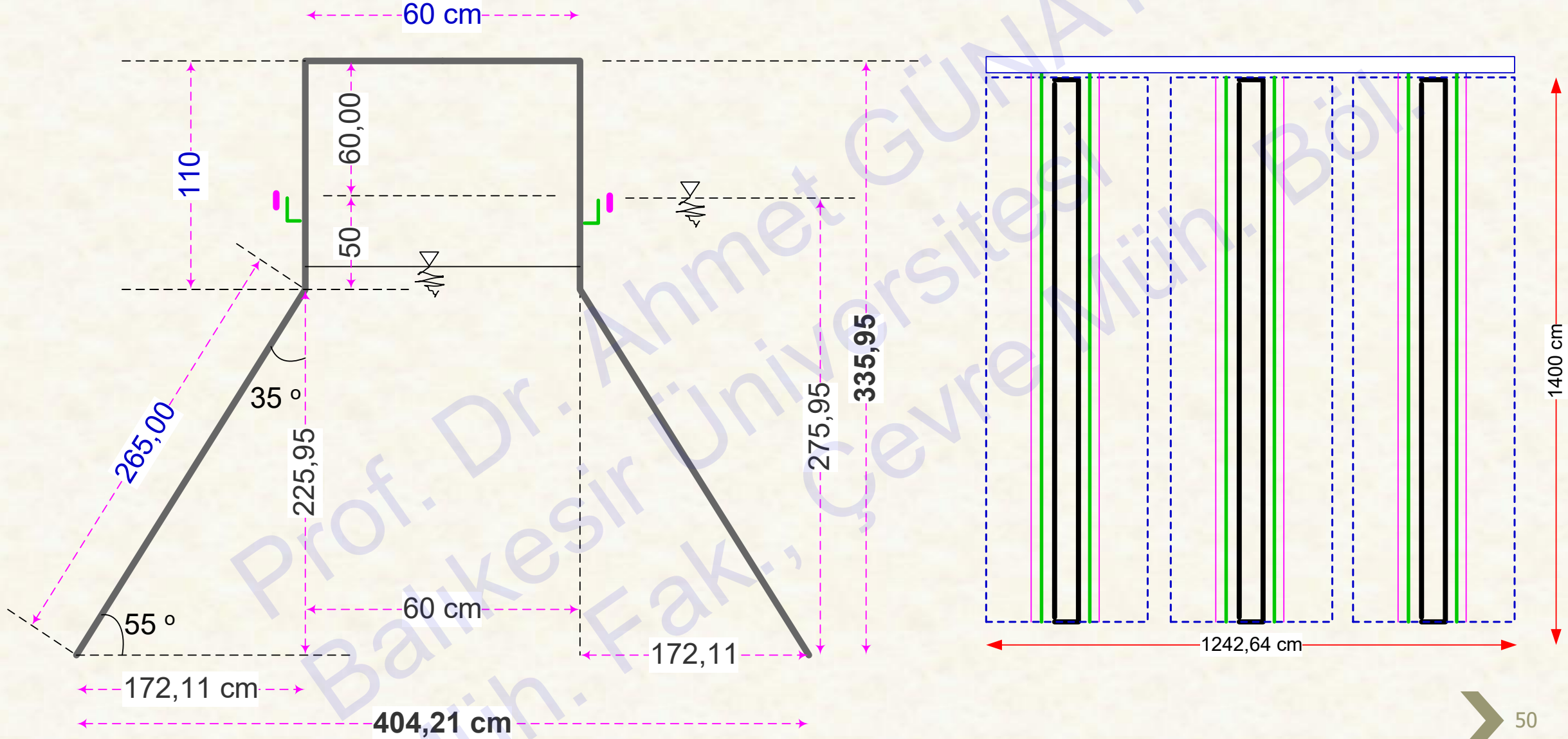
V	0,5836	m/sn
A	0,0099	m <sup>2</sup>
Q	0,005788	m <sup>3</sup> /sn

Q=	3000	m <sup>3</sup> /gün
Q=	0,034722	m <sup>3</sup> /sn
q=	0,005787	m <sup>3</sup> /sn
J=	0,005	m/m
n=	0,013	-
b=	0,15	m
h=	0,15	m



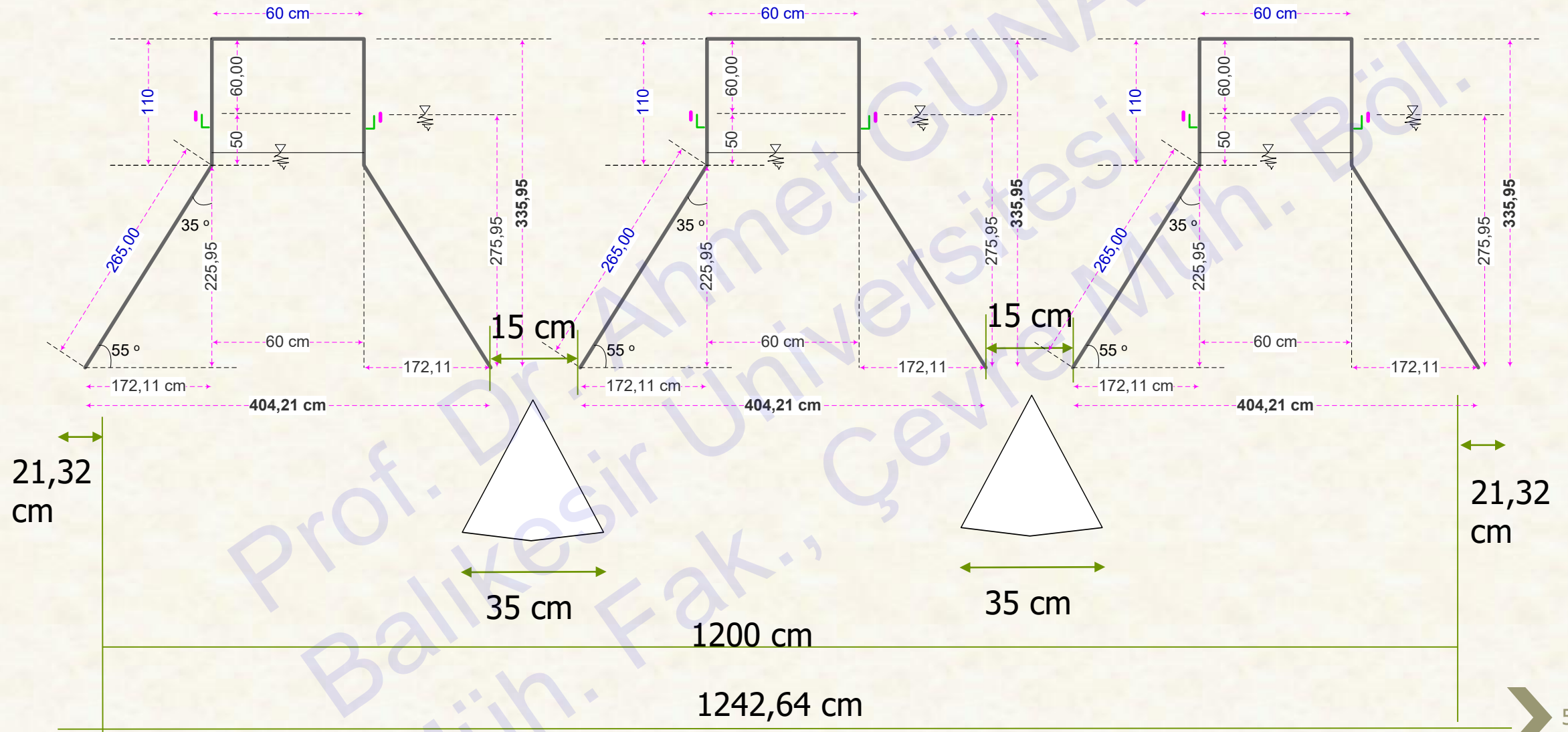
- 6 adet savak kanalı 15 cm × 15 cm olmalıdır (**h=6,61 cm**).
- 1 adet savak ana kanalı 25 cm × 25 cm olmalıdır (**h=0,152 cm**).
- 6 adet savak kanalının debisi ana kanalda toplanmalıdır.
- Ana toplama kanalının su kotu, savak kanalının taban kotu ile aynı olabilir.

## 10. Gaz-sıvı-KM ayırımı;





# 10. Gaz-sıvı-KM ayırımı;





**ŞEKİL** Savak ve engel yapısı





**ŞEKİL** Dağıtma yapısından gelen atıksuyun reaktöre homojen beslenmesi (Location of final distribution boxes on top of a UASB reactor)



## ÇÖZÜM (devamı)

### 11. Günlük çamur üretimi;

$$\begin{aligned} P_x &= Q \times (S_0 - S_e) \times Y_{x/s} \\ &= 3000 \times (5 - 0,5) \times 0,022 \\ &= 297 \text{ kgUKM / gün} \end{aligned}$$

### 12. Biyogaz üretimi;

$$\begin{aligned} Q_{CH_4} &= 13078 \times 0,35 = 4577 \text{ m}^3 / \text{gün (STP)} \\ Q_{biyogaz} &= 4577 / 0,5 = 9154 \text{ m}^3 / \text{gün (STP)} \end{aligned}$$

### 13. Reaktör sıcaklığını 18 °C'den 35 °C'ye getirmek için gerekli enerji;

$$\begin{aligned} \text{Gerekli ısı enerjisi} &= 3000000 \text{ kg/gün} \times ((35-18) \text{ °C}) \times (4200 \text{ J/kg °C}) \\ &= 214,2 \times 10^9 \text{ J/gün} \end{aligned}$$

Boilerde ve reaktördeki ısı kaçakları ile enerjinin %25'i kayıp olsa;

$$\text{Isı enerjisi} = \frac{100}{75} \times 214,2 \times 10^6 \text{ kJ / gün} = 285,6 \times 10^6 \text{ kJ / gün}$$

$$\begin{aligned} KOI_{gid.} &= 3000 \text{ m}^3/\text{gün} \times 4,5 \text{ kg KOI/m}^3 = 13500 \text{ kg/gün} \\ \text{Çamur oluşumu } (Y_{x/KOI}) &= 13500 \times 0,022 = 297 \text{ kg UKM/gün} \\ \text{Çamur oluşumu } (Y_{KOI/s}) &= 297 \times 1,42 = 422 \text{ kg KOI/gün} \\ \text{Giderilen KOI} &= 13500 - 422 = 13078 \text{ kg KOI/gün} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CH_4 \text{ üretimi} &= 0,35 \text{ m}^3 / \text{kg KOI}_{gid.} \text{ (STP)} \\ \text{Asetik asit için } KOOB &= 0 \text{ ve } CH_4: \%50 \\ CH_3COOH &\rightarrow 1CH_4 + 1CO_2 \\ CH_3COO + 2O_2 &\rightarrow 2CO_2 + 2CH_2O \end{aligned}$$

$$CH_4 \text{ üretimi} = \frac{22,4l}{64 \text{ gKOI}} = 0,35 \text{ m}^3 / \text{kgKOI}_{gid.} \text{ (STP)}$$



#### 14. Metanın enerji değeri;

Metanın net enerji muhtevası = 35 846 kJ/m<sup>3</sup> (at STP)

$$\begin{aligned}\text{Metanın günlük toplam enerji muhtevası} &= 35\,846 \text{ kJ/m}^3 \times 4577 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{gün} \\ &= 164,07 \times 10^6 \text{ kJ/gün}\end{aligned}$$

#### 15. Enerji açığı;

$$\begin{aligned}\text{Enerji dengesi} &= \underbrace{164,07 \times 10^6 \text{ kJ/gün}}_{\text{Üretilen}} - \underbrace{285,6 \times 10^6 \text{ kJ/gün}}_{\text{Reaktörü ısıtmak için harcanan}} \\ &= -121,5 \times 10^6 \text{ kJ/gün} \cong -33\,750 \text{ kWh/gün} \quad 1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ} = 3600 \text{ kJ}\end{aligned}$$

*Atıksuyun içerdiği 5000 mg KOİ/l mertebesindeki organik maddelerin sahip olduğu kimyasal enerji, bu atıksuyun sıcaklığını 18 °C'den 35 °C'ye çıkarmaya yeterli değildir. Ancak, reaktörün sıcaklığını 35 °C'ye getirmek için ihtiyaç duyulan enerjinin %67'sini karşılayabilir.*

**5000 mg KOİ/l atıksuyun sıcaklığını kaç °C artırabilir?**



## 16. SENARYO

**Debisi 3000 m<sup>3</sup>/gün, KOİ'si 5000 mg/l ve 18 °C olan bu atıksu, ilave enerji vermeksizin üretilen biyogaz ile ısıtılarak anaerobik olarak arıtılsa reaktör kaç °C'lik işletme sıcaklığına göre tasarlanmalıdır?**

- Reaktörün daha düşük işletme sıcaklığında mikrobiyal dönüşüm oranı düşer;  
 $Y_{x/s} = 0,017 \text{ g UKM / g KOİ}$  olsun.
- Anaerobik reaktörün verimi **%80** olsun ( $KOİ_0=5 \text{ kg/m}^3$  ve  $KOİ_e=1 \text{ kg/m}^3$ ) (daha düşük sıcaklıkta verim düşer).
- Giderilen  $KOİ = 3000 \frac{m^3}{gün} \left( 5 \frac{g}{l} - 1 \frac{g}{l} \right) = 12 \text{ 000 kg KOİ/gün}$
- Biyokütle oluşumu  $\chi = 12 \text{ 000 kg KOİ/gün} \times 0,017 \text{ g UKM / g KOİ} = 204 \text{ kg UKM/gün}$
- $CH_4$  üretimine esas  $KOİ_{gid.} = [12 \text{ 000 kg KOİ/gün}] - [1,42 \text{ kg KOİ/kg UKM}] \times [204 \text{ kg UKM/gün}]$   
**= 11 710 kg KOİ<sub>gid.</sub>/gün**
- $CH_4$  üretimi (STP)  $= 11 \text{ 710 kg KOİ/gün} \times 0,35 \text{ m}^3/KOİ_{gid.} = 4098 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 /gün$
- Enerji üretimi  $= 4 \text{ 908 m}^3/gün \times 35,8 \text{ MJ/m}^3 = 146 \text{ 708 MJ/gün}$

**146 708 MJ/gün (146,71x10<sup>9</sup> J/gün) enerji ile 3000 m<sup>3</sup>/gün debideki atıksuyun sıcaklığı kaç °C'ye çıkarılabilir?**





$$146,71 \times 10^9 \text{ J} \times 0,85 = 3\,000\,000 \text{ kg/gün} \times ((T-18) \text{ }^\circ\text{C}) \times (4\,200 \text{ J/kg }^\circ\text{C})$$

Isı üretim verimi

$$T = 27,89 \text{ }^\circ\text{C} \text{ ya da } \Delta T \uparrow = 9,9 \text{ }^\circ\text{C}$$

## 15. Yorumlar

**Atıksuyun kimyasal enerjisi:** Atıksuyun içerdiği **5000 mg/KOİ**, harici bir enerji kaynağı kullanmaksızın 18 °C'deki ham atıksuyu **28 °C**'ye çıkarabilir, ancak 35 °C'ye çıkaramaz.

**İşletme sıcaklığı:** Anaerobik reaktör, 35 °C'de işletilecek şekilde tasarlanmak yerine, **28 °C**'de işletilecek şekilde tasarlanabilir. Reaktörün 28°C'de işletilmesi durumunda kinetik katsayılar değişir, aynı reaktör hacmi için verim düşer. Organik yük düşer. HBS süresi artar.

**Reaktör hacmi:** 35 °C'ye göre nisbeten düşük sıcaklık olan 28 °C'de hacimsel organik yük düşeceğinden tasarım reaktör hacmi artacaktır.

**Proses seçimi:** Burada enerji verimi **%85** olarak öngörülmüştür. Reaktörün inşaat ve mekanik işleri, ısı izolasyonu, biyogaz sistemleri ve enerji sistemleri için yapılacak yatırımların teknik ve ekonomik analizi birlikte değerlendirilerek prosese karar verilir. Debisi az ve KOİ konsantrasyonu düşük olan atıksuların anaerobik arıtımı yerine aerobik arıtımı da tercih edilebilir.

**Aritma:** Aritmanın amacı deşarj standartlarını sağlamaktır. Deşarjin kanalizasyona ya da başka alıcı ortamlara yapılması halinde standartlar değişir. Debisi düşük, kuvvetliliği az olan atıksularda **arıtma odaklı** bir tasarım öne çıkarken, debisi fazla ve kuvvetli atıksularda arıtmanın yanında **enerji üretimi** de önemli bir husustur.

## ANAEROBİK REAKTÖR TASARIMI

- Çevre Müh. (Biyokimya Müh.)
- Hidrolik Müh.
- Malzeme Müh.
- İnşaat Müh.
- Enerji Sistemleri Müh.
- Makine Müh.
- Otomasyon-Kontrol Müh.
- Kimya Müh.

## ANAEROBİK REAKTÖR İŞLETİLMESİ

- Çevre Müh. (Biyokimya Müh.)
- Kimya Müh.
- Kimyager

**Farklı branşlardaki mühendislerin yaptıkları proje çalışması nasıl koordine edilebilir?**



# ÖRNEK-3

# YAÇYA REAKTÖR

# TASARIMI





## ÖRNEK: YAÇYA reaktör tasarımı

(Kaynak: Karina G. L. Christian R. A., Wastewater Treatment: Concepts And Design Approach, New Delhi, 2006, p302)

Ortalama debisi 5000 m<sup>3</sup>/gün olan evsel atıksuları arıtan bir yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı reaktörü tasarlayınız.

- $V_{yah}=0,5$  m/saat
- Giriş  $BOI_0=320$  mg/l
- Giriş  $KOI_0=850$  mg/l
- Giriş  $TKM_0=400$  mg/l
- Giriş  $UKM_0=300$  mg/l
- Çıkış  **$BOI_e < 100$  mg/l**

## ÇÖZÜM

$BOI$  giderme verimi %80 kabul ederek; Çıkış  $BOI_e=(1-0,8) \times 320$  mg/l=**64 mg/l < 100 mg/l**

### (a) Giderilen $BOI$ ;

Giderilen  $BOI_{gid.}$  konsantrasyonu;  $0,8 \times 320 = \mathbf{256}$  mg/l

Giderilen  $BOI_{gid.}$  yükü;  $0,256$  kg/m<sup>3</sup>  $\times$  5 000 m<sup>3</sup>/gün=**1280 kg/gün**

### (b) $KOI$ yükü;

$KOI$  yükü;  $0,850$  kg/m<sup>3</sup>  $\times$  5 000 m<sup>3</sup>/gün=**4250 kg/gün**



### (c) Çamur üretimi;

$$\text{Çamur üretimi} = Y_{x/s} \times \text{BOİ}_{\text{gid.}} + \text{Giriş İnert UKM} (0,50 \times \text{UKM}_0) + \text{Giriş SKM}_0$$

Kabuller;

- i) Biyokütle dönüşüm oranı  $Y_{x/s} = \mathbf{0,15}$  kg UKM/kg BOİ<sub>gid.</sub> ( $0,15 \times 256 \text{ mg/l} = \mathbf{38,4 \text{ mg UKM/l}}$ )
- ii) Ham atıksudaki UKM'nin %50'si biyo-arışabilir, kalan %50'si inerttir ( $0,50 \times 300 = \mathbf{150 \text{ mg UKM/l}}$ )
- iii) Toplam sabit katı maddeler (SKM);  $\text{SKM} = \text{TKM} - \text{UKM}$  ( $400 - 300 = \mathbf{100 \text{ mg SKM/l}}$ )

$$\begin{aligned} \text{Çamur üretimi} &= [\text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2] + [\text{UKM}_{\text{inert}}] + [\text{SKM}_0] \\ &= 38,4 + 150 + 100 \text{ mg/l} = \mathbf{288,4 \text{ mg KM/l}} \\ &= 0,2884 \text{ kg/m}^3 \times 5000 \text{ m}^3/\text{gün} = \mathbf{1442 \text{ kg/gün}} \end{aligned}$$

### (d) HBS;

Reaktörün aktif derinliğini 5 m ve bunun da 2,5 m'sinin çamur yatak olduğunu ve 0,5 m/s yukarı akış hızı kabul ederek;

$$\theta_h = \frac{\text{Reaktör yüksekliği, } H}{\text{Yukarı akış hızı, } V_{yah}} = \frac{5 \text{ m}}{0,5 \text{ m / saat}} = 10 \text{ saat} = 0,417 \text{ gün}$$



### (e) Çamur yaşı;

$$\theta_c = \frac{\text{Reaktördeki çamur miktarı}}{\text{Günlük atılan çamur miktarı}}$$

Reaktörün çamur yatak bölümündeki çamur konsantrasyonunu  $50 \text{ kg/m}^3$  ve efektif faktörü  $0,8$  kabul ederek;

$$\theta_c = \frac{50 \text{ kg / m}^3 \times 0,80 \times \frac{2,5 \text{ m}}{5,0 \text{ m}} \times 5000 \text{ m}^3 / \text{gün} \times 0,417 \text{ gün}}{1442 \text{ kg / gün}} = 28,9 \cong 30 \text{ gün} ???$$

### (f) Reaktörün boyutları;

Reaktörün yüzey alanı;

$$A = \frac{Q}{V_{yah}} = \frac{5000 \text{ m}^3 / \text{gün}}{(0,5 \text{ m / saat}) \times (24 \text{ saat / gün})} = 417 \text{ m}^2$$

Reaktörün  $25 \text{ m} \times 17 \text{ m}$  olarak tasarlanırsa yüzey alanı  $425 \text{ m}^2$  olur. Reaktörün üst bölümünde  $2 \text{ m}$  çökeltme bölümü+  $50 \text{ cm}$  hava payı planlandığında toplam reaktör derinliği;

$5,0 \text{ m} + 2,0 \text{ m} + 0,5 \text{ m} = \mathbf{7,5 \text{ m}}$  olur.





**(g) Reaktör hacmi;**

$$V=17 \times 25 \times 5 = 2125 \text{ m}^3$$

**(h) Hacimsel organik yük kontrolü;**

$$\text{Hacimsel organik yük} = \frac{\text{KOİ yükü}}{\text{Reaktör hacmi}} = \frac{4250 \text{ kg / gün}}{2125 \text{ m}^3} = 2,0 \text{ kg KOİ/m}^3\text{-gün}$$

Hacimsel organik yük 1-3 kg KOİ/m<sup>3</sup>-gün mertebesinde olduğundan kabul edilebilir.

**Tasarımın özeti;**

- Reaktör hacmi =2125m<sup>3</sup>
- Reaktörün uzunluğu =25m
- Reaktörün genişliği =17 m
- Reaktörün kenar derinliği=7,0 m
- Reaktörün derinliği =7,5 m
- Çamur üretimi =1442 kg/gün

■ HBS =10 saat

■ Arıtma verimi;

$$\begin{aligned} E &= 100 \times (1 - 0,87 \times t^{-0,5}) \\ &= 100 \times (1 - 0,87 \times 10^{-0,5}) \\ &= \%72,5 < \%80 \end{aligned}$$



*Evsel atıksular yüksek konsantrasyonlarda TKM içerdiği için 30 günlük çamur yaşı düşük reaktör sıcaklığında fizibil olmayabilir. Sıcaklık 35 °C olduğunda metan üreten bakterilerin ikiye katlanma süresi  $T_d = 10$  gün mertebesindedir. Minimum çamur yaşı  $\theta_c^m = 3 \times T_d$  olması gerektiğinden, evsel atıksuların anaerobik arıtılması sadece ılıman iklimlerde fizibil olabilir.*

*Reaktörün düşük sıcaklıkta işletilebilmesi için çamur yaşının **60-100 gün** mertebesinde tutulması gerekir. Bu ancak membran biyoreaktörlerle sağlanabilir.*

**TABLO** Reaktörün işletme sıcaklığına bağlı olarak çamur yaşı

Sıcaklık, °C	$\theta_c$ , gün
15	140
20	100
25	60
30	30
35	20

*Bu örnekte biyogaz debisi niçin hesaplanmamıştır?*



# ÖRNEK-4

# YAÇYA REAKTÖR

# TASARIMI





## ÖRNEK: YAÇYA reaktör tasarımı

(**Kaynak:** Sudhir Kumar Gupta and Sunil Kumar Gupta, Yung-Tse Hung, (2010) Chapter: 3 Treatment of Pharmaceutical Wastes, In Lawrence K. Wang, Yung-Tse Hung, Howard H. Lo, Constantine Yapijakis (Eds.), *Handbook of Industrial and Hazardous Wastes Treatment*, 2nd Ed., CRC Press, Taylor & Francis Group 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300, Boca Raton, FL 33487-2742).

Bir ilaç endüstrisi atıksularının YAÇYA reaktörde arıtımı için yapılan ön pilot tesis çalışmalarında;

- HBS,  $\theta_h = 2$  gün ve
- Hacimsel organik yük = **3,52 kg KOİ/m<sup>3</sup>-gün**

(Niçin düşük alınmıştır?)

için **%94 verimle** arıtılabileceği ortaya konmuştur.

(Verim niçin yüksek öngörülmüştür?)

Aşağıdaki tasarım kriterleri uygulanacaktır:

- $KOİ_0 = 7000$  mg/l
- $Y_{x/KOİ} = 0,027$  kg UKM / kg KOİ
- Çamur yatakta mikroorganizma konsantrasyonu = **70 kg/m<sup>3</sup>**
- Askıda çamur bölmesinde mikroorganizma konsantrasyonu = **4 kg/m<sup>3</sup>**
- Çamur yatak derinliği = **1,5 m**
- Askıda çamur bölmesinin yüksekliği = **3,5 m**

Bu atıksuyun debisi **Q = 435 m<sup>3</sup>/gün** olduğuna göre reaktörü tasarlayınız.



## ÇÖZÜM

### (A) Reaktörün boyutları;

$$\begin{aligned} \text{(i) Reaktörün hacmi; } V &= Q \times \theta_h \\ &= 435 (m^3 / \text{gün}) \times 2 (\text{gün}) \\ &= 870 m^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(ii) Reaktörün derinliği; } H &= 1,5 + 3,5 \\ &= 5 m \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(iii) Reaktörün yüzey alanı; } A &= V / H \\ &= 870 (m^3) / 5 (m) \\ &= 174 m^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(iv) Reaktörün çapı; } D &= [(4 \times A) / \pi]^{1/2} \\ &= [(4 \times 174) / \pi]^{1/2} \\ &= 14,88 m, (14,9 m) \end{aligned}$$



**(B) Hacimsel organik yükleme hızı;**

$$\begin{aligned} \text{(i) Organik yük; } L_{KOI} &= Q \times S_0 \times E \\ &= 435 (m^3 / gün) \times 7 (kgKOI / m^3) \times 0,94 \\ &= 2862,3 kgKOI / gün \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(ii) Hacimsel organik yükleme hızı; } OLR_{KOI} &= L_{KOI} / V \\ &= 2862,3 (kgKOI / gün) / 870 (m^3) \\ &= 3,29 kg / m^3 - gün < 3,52 kg / m^3 - gün \end{aligned}$$

**(C) Yukarı akış hızı ( $V_{yah}$ );**

$$\begin{aligned} V_{yah} &= H / \theta \\ &= 5 (m) / [2 (gün) \times 24 (saat / gün)] \\ &= 0,1 m / saat < 0,7 m / saat \end{aligned}$$





**(D) Çamur yaşı;**

**(i) Giderilen KOİ;**  $KOI_{gid.} = Q \times S_0 \times E$   
 $= 435 (m^3 / gün) \times 7 (kgKOİ / m^3) \times 0,94$   
 $= 2862,3 kgKOİ / gün$

**(ii) Üretilen biyokütle;**  $\chi = Y_{\chi/KOI} \times KOI_{gid.}$   
 $= 0,027 (kg UKM / kgKOİ) \times 2862,3 (kg KOİ / gün)$   
 $= 77,28 kg UKM / gün$

**(iii) Reaktördeki biyokütle;**  
 $= Yataktaki çamur (70 kg / m^3) + askıdaki çamur (4 kg / m^3)$   
 $= \left[ 70 (kg / m^3) \times 14,9^2 (m^2) \times \pi / 4 \times 1,5 (m) \right] + \left[ 4 (kg / m^3) \times 14,9^2 (m^2) \times \pi / 4 \times 3,5 (m) \right]$   
 $= 20749,58 kg UKM$

**(iv) Çamur yaşı = Reaktördeki toplam biyokütle / günlük üretilen biyokütle**  
 $= 20749,58 (kg) / 77,28 (kg / gün)$   
 $= 268,5 gün$



**(E) F/M oranı (besleme oranı);**

$$\frac{F}{M} = \frac{435(m^3 / \text{gün}) \times 7 (kgKOİ / m^3)}{20749,58 (kg)}$$
$$= 0,147 \text{ gün}^{-1}$$

**(F) Metan üretimi;**

Üretilen metan hacmi;  $= (KOİ_{gid.} - 1,42 \times \chi) \times 0,35 (m^3 / kg KOİ_{gid.})$

$$= \{ 2862,3 (kgKOİ_{gid.} / \text{gün}) - 1,42 (kg KOİ / kgUKM) \times 77,28 kgUKM / \text{gün} \}$$
$$\times 0,35 (m^3 / kg KOİ_{gid.}) = 963,4 m^3 / \text{gün} (STP)$$

**(G) Spesifik gaz üretimi;**

**(i) Birim reaktör hacmi başına spesifik  $CH_4$  üretimi;**

$$= 963,4 (m^3 / \text{gün}) / 870 (m^3)$$
$$= 1,07 m^3 / m^3 / \text{gün}$$

**(ii) Birim atıksu miktarı başına spesifik  $CH_4$  üretimi;**

$$= 963,4 (m^3 / \text{gün}) / 435 (m^3 / \text{gün})$$
$$= 2,215 m^3 CH_4 / m^3 \text{atıksu}$$



**(G) Spesifik gaz üretimi (devamı);**

**(iii)** Birim aktif çamur başına spesifik  $CH_4$  üretimi;

$$= \frac{963,4 (m^3 CH_4 / gün)}{20749,58 kg UKM} = 0,0464 m^3 CH_4 / kg UKM$$

**(H) Biyogazın enerji eşdeğeri;**

$$= 963,4 m^3 / gün \times 35846 kJ / m^3$$

$$= 34,53 MJ / gün$$

$$= 9593 kWh / gün \rightarrow \%35 \text{ verim} = 3557 kWh / gün$$

$$1 kWh = 3,6 MJ = 3600 kJ$$

**(I) Atıksuyun sıcaklığını 20 °C'den 35 °C'ye çıkarmak için gerekli enerji;**

**(i)** Gerekli ısı enerjisi =  $435000 \text{ kg} / \text{gün} \times [(35 - 20) ^\circ C] \times (4200 \text{ J} / \text{kg} ^\circ C)$

$$= 27,4 \times 10^9 (J / gün) \equiv 27,4 \times 10^3 (MJ / gün) \equiv 7617 (kWh / gün)$$

**(ii)** %25 enerji kaybı;

$$= 27,4 \times 10^3 (MJ / gün) \times (100 / 75) = 36,53 \times 10^3 MJ$$





**(J) Enerji dengesi;**

$$\begin{aligned} \text{Enerji dengesi} &= \underbrace{34,53 \times \text{MJ/gün}}_{\text{Üretilen}} - \underbrace{36,53 \times \text{MJ/gün}}_{\text{Reaktörü ısıtmak için harcanan}} \\ &= -2,0 \text{ MJ/gün} \end{aligned}$$

*Reaktörün enerjisi kendine ancak yeterli olmaktadır.*



# ÖRNEK-5

# YAÇYA REAKTÖR

# TASARIMI



## ÖRNEK YAÇYA reaktör tasarımı

Bir gıda-meşrubat endüstrisi atıksularının YAÇYA reaktörde arıtımı için yapılan ön pilot tesis çalışmalarında; HBS,  $\theta_h = 1,5$  gün ve hacimsel organik yük (OLR) = **10 kg KOİ/m<sup>3</sup>-gün** için **%85 verimle** arıtılabileceği ortaya konmuştur. Bu atıksuyun ampirik formülü **C<sub>7</sub>H<sub>13</sub>O<sub>4</sub>N** şeklinde tesbit edilmiştir.

Aşağıdaki tasarım kriterleri uygulanacaktır:

- **Q=1250 m<sup>3</sup>/gün**
- **KOİ<sub>0</sub>=17 000 mg/l**
- Çamur yatakta mikroorganizma konsantrasyonu=**65 kg/m<sup>3</sup>**
- Askıda çamur bölmesinde mikroorganizma konsantrasyonu = **6 kg/m<sup>3</sup>**
- **fs=0,12 ve fe=0,88**
- **T=20 °C**

YAÇYA reaktörü tasarlayınız.

Metan üretimini Buswell eşitliğine ve biyokimyasal dönüşüm modeline göre belirleyiniz.

YAÇYA reaktörü 35 °C'de işletmek için gerekli ısı enerjisi ihtiyacını ve enerji bilançosunu hesaplayınız.





## ÇÖZÜM

(1) Giderilen  $KOİ$ ,  $KOİ_{gid.}$ ;

(i) Reaktör çıkışında  $KOİ$  konsantrasyonu

$$KOİ_0 = 17000 \text{ mg / l} \equiv 17 \text{ kg / m}^3$$

$$KOİ_e = 0,15 \times 17 (\text{kg / m}^3) = 2,55 \text{ kg / m}^3$$

$$KOİ_{Gid.} \text{ kons.} = 14450 \text{ mg / l} \equiv 14,45 \text{ kg / m}^3$$

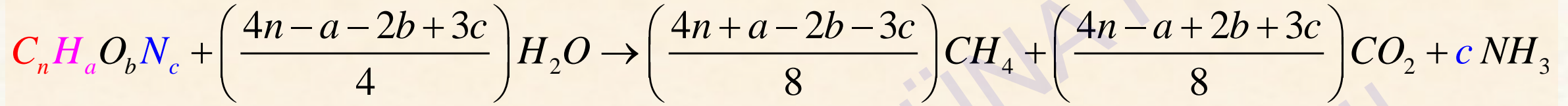
(ii) Giderilen  $KOİ$ ;  $KOİ_{gid.} = Q \times (S_0 - S_e)$

$$= 1250 (\text{m}^3 / \text{gün}) \times (17 - \%15 \times 17) (\text{kg} KOİ / \text{m}^3)$$

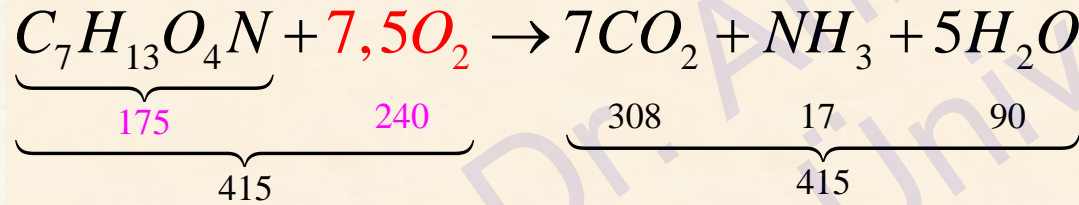
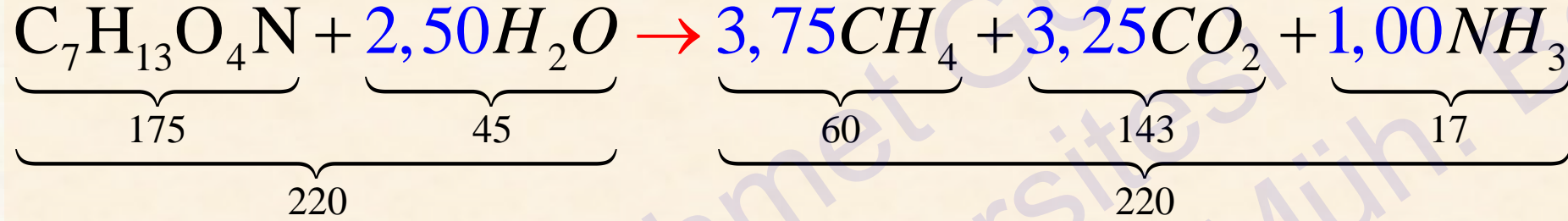
$$= 18062,5 (\text{kg} KOİ / \text{gün})$$



(2) Buswell reaksiyonuna göre;



$$\begin{aligned} n &= 7 \\ a &= 13 \\ O &= 4 \\ N &= 1 \end{aligned}$$



$$240 \text{ g KOİ} \qquad 3,75 \text{ mol } CH_4$$

$$18062,5 \text{ kg KOİ / gün} \qquad \chi$$

---

$$\chi = 282,22 \text{ mol } CH_4 / \text{gün}$$

$$= 282,22 \text{ mol} \times 22,4 \text{ l / mol} = 6321,87 \text{ m}^3 CH_4 / \text{gün}$$

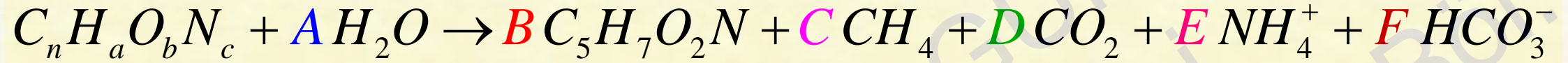
$$\begin{aligned} \% CH_4 &= \frac{3,75}{3,75 + 3,25} \times 100 \\ &= \%54,7 \end{aligned}$$

Buswell eşitliğinde biyokütle oluşumu yer almaz



### (3) Biyokimyasal reaksiyon;

Organik maddelerin anaerobik fermantasyonundaki yarı reaksiyonlara göre biyokütle oluşumunu da içeren biyokimyasal reaksiyon şu şekildedir:



$$A = 2n + c - b - \frac{9d fs}{20} - \frac{d fe}{4}$$

$$B = \frac{d fs}{20}$$

$$C = \frac{d fe}{8}$$

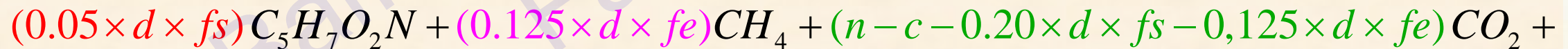
$$D = n - c - \frac{d fs}{5} - \frac{d fe}{8}$$

$$E = c - \frac{d fs}{20}$$

$$F = c - \frac{d fs}{20}$$

$$fs + fe = 1$$

$$d = 4n + a - 2b - 3c$$





### (3) Biyokimyasal reaksiyon (devamı);

$$C : n = 7$$

$$H : a = 13$$

$$O : b = 4$$

$$N : c = 1$$

$$d = 30$$

$$fe = 0,88$$

$$fs = 0,12$$

$$fs + fe = 1$$

$$A = 2n + c - b - \frac{9d fs}{20} - \frac{d fe}{4} = 2,78$$

$$B = \frac{d fs}{20} = 0,18$$

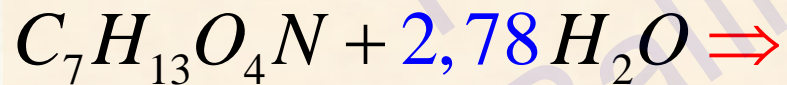
$$C = \frac{d fe}{8} = 3,3$$

$$d = 4n + a - 2b - 3c$$

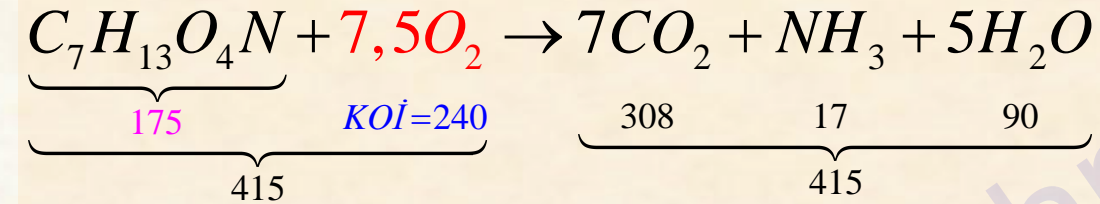
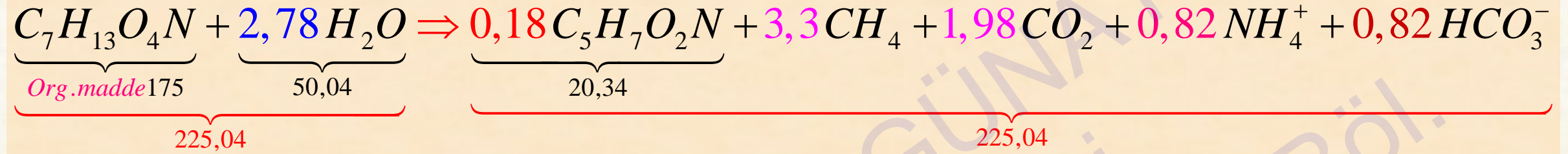
$$D = n - c - \frac{d fs}{5} - \frac{d fe}{8} = 1,98$$

$$E = c - \frac{d fs}{20} = 0,82$$

$$F = c - \frac{d fs}{20} = 0,82$$



### (3) Biyokimyasal reaksiyon (devamı);



$$KOİ_{gid.} = 18062,5 \text{ kg KOİ} / \text{gün}$$
$$\equiv 13170,6 \text{ kg } C_7H_{14}O_3N_{gid.}$$

m  
C  
E  
KOİ

### (4) Dönüşüm oranları;

(i) Giderilen organik madde başına biyokütle ve  $CH_4$  oluşumu;

$$Y_{\chi/S} = 0,116 \text{ kg UKM} / \text{kg } C_7H_{14}O_3N_{gid.}$$

$$Y_{CH_4/S} = 0,422 \text{ L } CH_4 / \text{kg } C_7H_{14}O_3N_{gid.}$$

(ii) Giderilen KOİ başına biyokütle ve  $CH_4$  oluşumu;

$$Y_{\chi/KOİ} = 0,085 \text{ kg UKM} / \text{kg KOİ}_{gid.}$$

$$Y_{CH_4/KOİ} = 0,308 \text{ L } CH_4 / \text{kg KOİ}_{gid.}$$

(iii) Giderilen TOK başına biyokütle ve  $CH_4$  oluşumu;

$$Y_{\chi/TOK} = 0,242 \text{ kg UKM} / \text{kg TOK}_{gid.}$$

$$Y_{CH_4/TOK} = 0,88 \text{ L } CH_4 / \text{kg TOK}_{gid.}$$

(iv) Giderilen organik madde cinsinden biyokütle oluşumu;

$$\chi_S = 0,116 \times 13170,6 = 1528 \text{ kg UKM} / \text{gün}$$

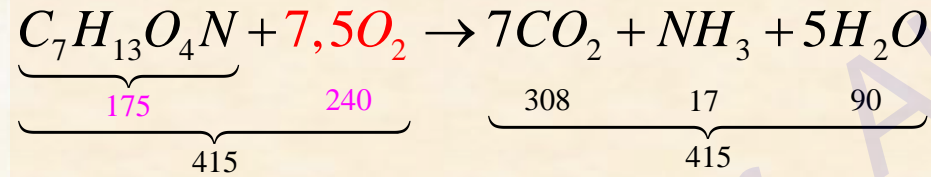
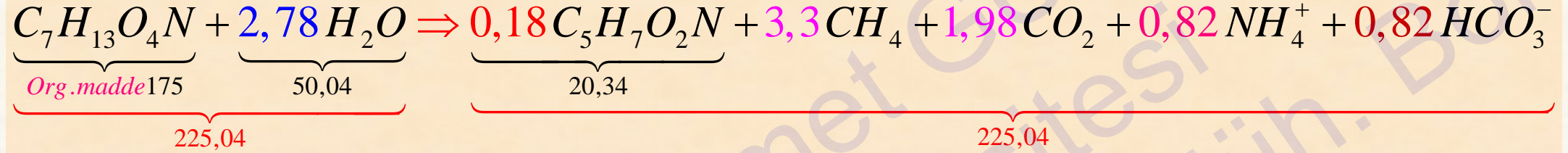
(v) Giderilen KOİ cinsinden biyokütle oluşumu;

$$\chi_{KOİ} = 0,085 \times 18062,5 = 1535,38 \text{ kg UKM} / \text{gün}$$



## (5) Biyogaz üretimi;

$$KOİ_{gid.} = 18062,5 \text{ kg KOİ} / \text{gün} \equiv 13170,6 \text{ kg } C_7H_{13}O_4N_{gid.} \text{ (organik madde)}$$



(i-1)  $CH_4$  debisi;

$$Q_{CH_4} = 3,3(\text{mol}) \times 22,4(\text{L } CH_4 / \text{mol}) \times \frac{1(\text{m}^3)}{1000(\text{L})} \times \frac{18062,5(\text{kg KOİ} / \text{gün})}{240(\text{g KOİ}) / 1000(\text{g / kg})} = 5563 \text{ m}^3 / \text{gün (STP)}$$

(i)  $CH_4$  debisi;

$$Q_{CH_4} = 0,308(\text{L } CH_4 / \text{kg KOİ}_{gid.}) \times 18062,5 \text{ kg KOİ} / \text{gün} = 5563 \text{ m}^3 / \text{gün (STP)}$$
$$= 5970 \text{ m}^3 / \text{gün (20}^\circ\text{C)}$$

(ii) Biyogaz debisi;

$$Q_{Biyogaz} = (3,3 + 1,98) \times 22,4 \times \frac{18062,5}{240} = 8901 \text{ m}^3 / \text{gün (STP)}$$
$$= 9553 \text{ m}^3 / \text{gün (20}^\circ\text{C)}$$

$$(iii) \% CH_4 = \frac{3,3}{3,3 + 1,98} = \% 62,5$$





(6) Reaktörün tasarım parametreleri;

- Debi;  **$Q=1250 \text{ m}^3/\text{gün}$**
- $KOİ_0=17 \text{ 000 mg/l}$ 
  - Hacimsel organik yük;  **$OLR= 10 \text{ kg KOİ}/\text{m}^3\text{-gün}$**
  - HBS;  **$\theta_h=1,5 \text{ gün}$**
- Biyokütle üretimi;  **$Y_{\chi/KOİ} = 0,085 \text{ kg UKM/kg KOİ}_{gid.}$**
- **$KOİ_{gid.} = 18 \text{ 062,5 kg KOİ}_{gid.}/\text{gün}$**
- **$Q_{CH_4} = 5 \text{ 563 m}^3/\text{gün (STP)} \equiv 5970 \text{ m}^3/\text{gün (20 °C)}$**
- **$Q_{Biyogaz} = 8 \text{ 901 m}^3/\text{gün (STP)} \equiv 9 \text{ 553 m}^3/\text{gün (20 °C)}$**
- **$\%CH_4 = \% 62,5$**
- **$Y_{\chi/KOİ} = 0,085 \text{ kg UK M/k g KOİ}_{gid.}$**
- Üretilen biyokütle;  **$\chi = Y_{\chi/KOİ} \times KOİ_{gid.} = 1535 \text{ kg UK M/g ün}$**
- Reaktörde beklenen biyokütle miktarı ( **$\theta_c \approx 60 \text{ gün}$** );  **$60 \times 1535 = 92 \text{ 100 kg UKM}$**
- Reaktörde beklenen UKM konsantrasyonu= **$92 \text{ 100 kg UKM} / \approx 2000 \text{ m}^3 \approx 46 \text{ kg/m}^3 \checkmark$**

{ Her iki şartı da sağlayan }  
{ asgari hacim esas alınır. }



## ÇÖZÜM

### (7) Reaktörün boyutları;

(i) Reaktörün hacmi;  $V = Q \times \theta_h$  ya da

$$= 1250 (m^3 / gün) \times 1,5 (gün)$$

$$= 1875 (m^3)$$

$V = Q \times S_0 / OLR$

$$V = \frac{1250 (m^3 / gün) \times 17 (kg / m^3)}{10 kg KOİ / m^3 - gün}$$

$$= 2125 (m^3)$$

(ii) Reaktörün derinliği;  $H = \text{granül çamur } (3,5 m) + \text{askıda çamur } (3 m) + \text{çökeltme bölmesi } (2,5 m)$

$$= 6,5 (m) + 2,5 (m)$$

KOİ=17 000 mg/l mertebesinde yüksek olduğu için granül yatak yüksekliği 3,5 m'ye kadar çıkabilir.

(iii) Reaktörün yüzey alanı;  $A = \frac{V}{H} = \frac{1875 (m^3)}{6,5 (m)} = 288,5 m^2$

(iv) Reaktörün boyutları;  $B \times L = 16 \times 20 = 320 m^2$

$$V = B \times L \times H = 16 \times 20 \times 6,5 = 2080 m^3$$

$$\theta_h = 2080 (m^3) / 1250 (m^3 / gün) = 1,66 gün \equiv 39,94 saat$$



**(8) Hacimsel organik yükleme hızı;**

$$\begin{aligned} OLR_{KOI} &= L_{KOI} / V \\ &= Q \times [S_0 (kg / m^3) - S_e (kg / m^3)] / V (m^3) \\ &= 1250 \times [17 (kg / m^3) - 0,15 \times 17 (kg / m^3)] / 2080 (m^3) \\ &= 8,684 kg KOI / m^3 - gün < 10,0 kg / m^3 - gün \end{aligned}$$

**(9) Yukarı akış hızı ( $V_{yah}$ );**

$$\begin{aligned} V_{yah} &= Q / A \\ &= 1250 (m^3 / gün) / 320 (m^2) \\ &= 3,91 (m / gün) \equiv 0,163 (m / saat) < 0,5 m / saat \end{aligned}$$





**(10) Çamur yaşı;**

**(i) Giderilen KOİ;**  $KOİ_{gid.} = Q \times S_0 \times E$   
 $= 1250 (m^3 / gün) \times 17 (kg KOİ / m^3) \times 0,85$   
 $= 18062,5 kg KOİ / gün$

**(ii) Üretilen biyokütle;**  $\chi = Y_{\chi/KOİ} \times KOİ_{gid.}$   
 $= 0,085 (kg UKM / kg KOİ) \times 18062,5 (kg KOİ / gün)$   
 $= 1535 kg UKM / gün$

**(iii) Reaktördeki biyokütle;**  
 $= Yataktaki çamur (65 kg / m^3) + askıdaki çamur (6 kg / m^3)$   
 $= \left[ 65 (kg / m^3) \times \underbrace{16 (m) \times 20 (m) \times 3,5 (m)}_{\text{Reaktör ebatları}} \right] + \left[ 6 (kg / m^3) \times 16 (m) \times 20 (m) \times 2,5 (m) \right]$   
 $= 77 600 kg UKM$

**(iv) Çamur yaşı = Reaktördeki toplam biyokütle / günlük üretilen biyokütle**  
 $= 77 600 (kg) / 1535 (kg / gün)$   
 $= 50,55 gün$



**(11) F/M oranı (besleme oranı);** 
$$\frac{F}{M} = \frac{1250(m^3 / \text{gün}) \times 17(\text{kgKOİ} / m^3)}{77\,600(\text{kg})}$$
$$= 0,274 \text{ gün}^{-1}$$

**(12) Spesifik gaz üretimi;**

**(i) Birim reaktör hacmi başına spesifik  $\text{CH}_4$  üretimi;**

$$= 5563(m^3 / \text{gün}) / 2080(m^3)$$

$$= 2,68 m^3 \text{CH}_4 / m^3 - \text{gün}$$

**(ii) Birim atıksu miktarı başına spesifik  $\text{CH}_4$  üretimi;**

$$= 5563(m^3 / \text{gün}) / 1250(m^3 / \text{gün})$$

$$= 4,45 m^3 \text{CH}_4 / m^3 - \text{gün}$$

**(iii) Birim aktif çamur başına spesifik  $\text{CH}_4$  üretimi;**

$$= \frac{5563(m^3 \text{CH}_4 / \text{gün})}{77\,600 \text{ kgUKM}} = 0,072 m^3 \text{CH}_4 / \text{kg UKM}$$



**(13) Biyogazın enerji eşdeğeri;**

$$\begin{aligned} &= 5563 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 / \text{gün} \times 35846 \text{ kJ} / \text{m}^3 \\ &= 199,4 \times 10^3 \text{ MJ} / \text{gün} \\ &= 55388 \text{ kWh} / \text{gün} \end{aligned}$$

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ} = 3600 \text{ kJ}$$

**(14) Atıksuyun sıcaklığını 20 °C'den 35 °C'ye çıkarmak için gerekli enerji;**

**(i) Gerekli ısı enerjisi**  $= 1250000 \text{ (kg} / \text{gün)} \times [(35 - 20) ^\circ\text{C}] \times (4200 \text{ J} / \text{kg} ^\circ\text{C})$   
 $= 78,75 \times 10^9 \text{ (J} / \text{gün)} \equiv 78,75 \times 10^3 \text{ (MJ} / \text{gün)}$

**(ii) %25 enerji kaybı;**

$$= 78,75 \times 10^3 \text{ (MJ} / \text{gün)} \times (100 / 75) = 105 \times 10^3 \text{ MJ}$$

**(15) Enerji dengesi;**

$$\begin{aligned} \text{Enerji dengesi} &= \underbrace{199,4 \times 10^3 \text{ MJ/gün}}_{\text{Üretilen}} - \underbrace{105 \times 10^3 \text{ MJ/gün}}_{\text{Reaktörü ısıtmak için harcanan}} \\ &= +94400 \text{ MJ/gün} \end{aligned}$$



## (16) Fazla enerjini elektrik enerjisi karşılığı;

Enerjinin kWh eşdeğeri=94 400 (MJ/gün) /3,6 (MJ/kWh)= 26 222 kWh/gün

1 kWh=3,6 MJ=3600 kJ

Elektrik enerjisi= 26 222 (kWh/gün) x 0,35 (verim) = **9 177 kWh**

Mali karşılık= **9 177 kWh** x 0,40  $\equiv$  **3 670 TL/gün**

330 gün/yıl

$\equiv$  **3 670 TL/gün** x **330**=**1,211 milyon TL/yıl ???**

### ÖZET-1

- 1)  $Q=1250 \text{ m}^3/\text{gün}$ ,  $KOİ=17 \text{ kg}/\text{m}^3$
- 2)  $V=2080 \text{ m}^3$  (OLR=10  $\text{kg KOİ}/\text{m}^3\text{-gün}$ )
- 3)  $H=6,5 \text{ m}$
- 4)  $A=320 \text{ m}^2$  (16x20 m)
- 5)  $V_{yah} = Q/A = 0,163 \text{ m}/\text{saat}$
- 6)  $\theta_h = V/Q = 39,94 \text{ saat}$
- 7)  $P_x = 1535 \text{ kg UKM}/\text{gün}$
- 8)  $KOİ_{gid.} = 18 062 \text{ kg KOİ}/\text{gün}$

- i.  $Q_{biyogaz}=8901 \text{ m}^3$  (STP)
- ii.  $Q_{biyogaz}=9553 \text{ m}^3$  (20 °C)
- a)  $Q_{CH_4}=5563 \text{ m}^3$  (STP)
- b)  $Q_{CH_4}=5970 \text{ m}^3$  (20 °C)

Fazla enerji=94 400 MJ/gün



## (17) NÜTRİENT İHTİYACI

Atıksuyun anaerobik arıtılmasında nütrient ihtiyacı ham atıksudaki makro ve mikronütrientlerin konsantrasyonları göz önüne alınarak hesaplanabilir.

İçsel sonulum sebebiyle ölen mikroorganizmalardaki bileşenler makro ve mikro besi elementleri olarak tekrar kullanılabilir. Besi elementi ihtiyacının %10'unun içsel solunumla karşılanabileceğini varsayalım ve atıksuyun analiz sonuçları için makro ve mikronütrient ihtiyacını hesaplayalım.

<b>Makronütrientler</b>		<b>Mikronütrientler</b>	
<b>Element</b>	<b>Konsantrasyon g/kg VSS</b>	<b>Element</b>	<b>Konsantrasyon mg/kg VSS</b>
Nitrogen	65	Iron	1 800
Phosphorus	15	Nickel	100
Potassium	10	Cobalt	75
Sulfur	10	Molybdenum	60
Calcium	4	Zinc	60
Magnesium	3	Manganese	20
		Copper	10

Biyokütle Üretimi	1535 kg/gün
Atıksu Debisi	1250 m <sup>3</sup> /gün

<b>Elementler</b>	<b>Biyokütledeki oran</b>	<b>Atıksuda ölçülen kons.</b>
<b><i>Makronütrientler</i></b>	<b><i>g/kg C<sub>5</sub>H<sub>7</sub>NO<sub>2</sub></i></b>	<b><i>mg/l</i></b>
Azot, N	<b>65</b>	<b>75</b>
Fosfor, P	<b>15</b>	<b>15</b>
Potasyum, K	<b>10</b>	<b>8</b>
Kükürt, S	<b>10</b>	<b>17</b>
Kalsiyum, Ca	<b>4</b>	<b>37</b>
Magnezyum, Mg	<b>3</b>	<b>7</b>
<b><i>Mikronütrientler</i></b>	<b><i>mg/kg UKM</i></b>	<b><i>µg/l</i></b>
Demir, Fe	<b>1800</b>	<b>950</b>
Nikel, Ni	<b>100</b>	<b>27</b>
Kobalt, Co	<b>75</b>	<b>90</b>
Molibden, Mo	<b>60</b>	<b>15</b>
Çinko, Zn	<b>60</b>	<b>16</b>
Mangan, Mn	<b>20</b>	<b>165</b>
Bakır, Cu	<b>10</b>	<b>10</b>



**TABLO** Atıksuyun nütrient dengesi, fazlalık ve noksanlık

Biyokütle Üretimi	1535 kg/gün							
Atıksu Debisi	1250 m <sup>3</sup> /gün		KOİ	17000 mg/L				
<i>Elementler</i>	<i>Biyokütlerdeki oran</i>	<i>Biyokütlerdeki oranın %90'ni</i>	<i>Biyokütle için gerekli miktar</i>	<i>Atıksuda ölçülen kons.</i>	<i>Atıksuda ölçülen kons.</i>	<i>Atıksudaki Miktar</i>	<i>Fazlalık</i>	<i>Noksanlık</i>
<i>Makronütrientler</i>	<i>g/kgC<sub>5</sub>H<sub>7</sub>NO<sub>2</sub></i>	<i>g/kgC<sub>5</sub>H<sub>7</sub>NO<sub>2</sub></i>	<i>kg/gün</i>	<i>mg/l</i>	<i>kg/m<sup>3</sup></i>	<i>kg/gün</i>	<i>kg/gün</i>	<i>kg/gün</i>
Azot, N	<b>65</b>	<b>58,5</b>	89,8	<b>75,0</b>	0,075	93,8	4,0	
Fosfor, P	<b>15</b>			<b>15,0</b>				
Potasyum, K	<b>10</b>			<b>8,0</b>				
Kükürt, S	<b>10</b>			<b>16,7</b>				
Kalsiyum, Ca	<b>4</b>			<b>37,0</b>				
Magnezyum, Mg	<b>3</b>			<b>7,0</b>				
<i>Mikronütrientler</i>	<i>mg/kg UKM</i>	<i>mg/kg UKM</i>	<i>g/gün</i>	<i>µg/l</i>	<i>g/m<sup>3</sup></i>	<i>g/gün</i>	<i>g/gün</i>	<i>g/gün</i>
Demir, Fe	<b>1800</b>	<b>1620,0</b>	2486,7	<b>950</b>	0,950	<b>1187,5</b>		<b>1299,2</b>
Nikel, Ni	<b>100</b>			<b>27</b>				
Kobalt, Co	<b>75</b>			<b>90</b>				
Molibden, Mo	<b>60</b>			<b>15</b>				
Çinko, Zn	<b>60</b>			<b>16</b>				
Mangan, Mn	<b>20</b>			<b>165</b>				
Bakır, Cu	<b>10</b>			<b>10</b>				





**TABLO** Atıksuyun nütrient dengesi, fazlalık ve noksanlık

Biyokütle Üretimi	1535 kg/gün							
Atıksu Debisi	1250 m <sup>3</sup> /gün		KOİ	17000 mg/L				
<i>Elementler</i>	<i>Biyokütlerdeki oran</i>	<i>Biyokütlerdeki oranın %90'ni</i>	<i>Biyokütle için gerekli miktar</i>	<i>Atıksuda ölçülen kons.</i>	<i>Atıksuda ölçülen kons.</i>	<i>Atıksudaki Miktar</i>	<i>Fazlalık</i>	<i>Noksanlık</i>
<i>Makronütrientler</i>	<i>g/kgC<sub>5</sub>H<sub>7</sub>NO<sub>2</sub></i>	<i>g/kgC<sub>5</sub>H<sub>7</sub>NO<sub>2</sub></i>	<i>kg/gün</i>	<i>mg/l</i>	<i>kg/m<sup>3</sup></i>	<i>kg/gün</i>	<i>kg/gün</i>	<i>kg/gün</i>
Azot, N	<b>65</b>	<b>58,5</b>	89,8	<b>75,0</b>	0,075	93,8	4,0	
Fosfor, P	<b>15</b>	<b>13,5</b>	20,7	<b>15,0</b>	0,015	<b>18,8</b>		<b>2,0</b>
Potasyum, K	<b>10</b>	<b>9,0</b>	13,8	<b>8,0</b>	0,008	<b>10,0</b>		<b>3,8</b>
Kükürt, S	<b>10</b>	<b>9,0</b>	13,8	<b>16,7</b>	0,017	20,8	7,0	
Kalsiyum, Ca	<b>4</b>	<b>3,6</b>	5,5	<b>37,0</b>	0,037	46,3	40,7	
Magnezyum, Mg	<b>3</b>	<b>2,7</b>	4,1	<b>7,0</b>	0,007	8,8	4,6	
<i>Mikronütrientler</i>	<i>mg/kg UKM</i>	<i>mg/kg UKM</i>	<i>g/gün</i>	<i>µg/l</i>	<i>g/m<sup>3</sup></i>	<i>g/gün</i>	<i>g/gün</i>	<i>g/gün</i>
Demir, Fe	<b>1800</b>	<b>1620,0</b>	2486,7	<b>950</b>	0,950	<b>1187,5</b>		<b>1299,2</b>
Nikel, Ni	<b>100</b>	<b>90,0</b>	138,2	<b>27</b>	0,027	<b>33,8</b>		<b>104,4</b>
Kobalt, Co	<b>75</b>	<b>67,5</b>	103,6	<b>90</b>	0,090	112,5	8,9	
Molibden, Mo	<b>60</b>	<b>54,0</b>	82,9	<b>15</b>	0,015	<b>18,8</b>		<b>64,1</b>
Çinko, Zn	<b>60</b>	<b>54,0</b>	82,9	<b>16</b>	0,016	<b>20,0</b>		<b>62,9</b>
Mangan, Mn	<b>20</b>	<b>18,0</b>	27,6	<b>165</b>	0,165	206,3	178,6	
Bakır, Cu	<b>10</b>	<b>9,0</b>	13,8	<b>10</b>	0,010	<b>12,5</b>		<b>1,3</b>



# ÖRNEK-6

# YAÇYA REAKTÖR



## ÖRNEK

Debisi **2500 m<sup>3</sup>/gün** olan süt endüstrisi atıksuları YAÇYA reaktörde arıtılacaktır. Reaktörü tasarlayınız.

- Atıksuyun sıcaklığı  $T=18\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $\text{KOİ}_0$ : **6500 mg/l (çözünmüş KOİ)**
- Askıda çamur bölmesi aktif reaktör hacminin **%75'ini** ve **%25'ini** granül çamur yatak oluşturmaktadır.
- Gaz toplama bölümünün yüksekliği=**2,5 m**
- Hacimsel organik yük (OLR) =**16 kg KOİ/m<sup>3</sup>-gün**
- Mikrobiyal dönüşüm oranı,  $Y = 0,08\text{ kg UKM/kg KOİ}$
- İçsel solunum hızı,  $k_d = 0,06\text{ gün}^{-1}$
- Maksimum spesifik çoğalma hızı,  $\mu_{\max} = 0,20\text{ gün}^{-1}$
- Yarı doygunluk sabiti, (afinite)  $K_s = 500\text{ mg KOİ/L}$
- Biyogazın mertan muhtevası **%55**





## (1) Ön değerlendirme-analiz

Anaerobik proseslerde birinci öncelikli husus reaktörün işletme sıcaklığıdır. Süt endüstrisi atıksularının debisi ve KOİ konsantrasyonu yüksek olup, aerobik arıtılması halinde fazla miktarda çamur oluşacağından ön anaerobik arıtma uygun olur. Ancak atıksuyun KOİ'si aşırı yüksek olmadığından, atıksuyu 35 °C'ye getirmek için ilave enerjiye gerek olup olmadığını ve reaktörün işletme sıcaklığı konusunda ön değerlendirme yaparak işletme sıcaklığı belirlenebilir.

(i) Birim miktar atıksuyun enerjisi;

$$\begin{aligned} &0,35 (m^3 CH_4 / kg KOI_{gid.}) \times 6,5 (kg KOI / m^3) \times 0,85 (KOI giderme verimi) \\ &= 1,93 m^3 CH_4 / m^3 Atıksu \\ &\equiv 1,93 (m^3 CH_4 / m^3 Atıksu) \times 35,846 (kJ / m^3 CH_4) \\ &\cong 69,1 kJ / m^3 Atıksu \quad (\%85 verim için 1,0 m^3 atıksudan üretilebilecek azami enerji) \end{aligned}$$

(ii) 1kg suyun sıcaklığını 1°C artırmak için 4,2 kJ enerji gerekir.

$$\%25 \text{ kayıp olsa; } 4,2 \times 100 / 25 = 5,6 kJ / ^\circ C$$

$$68,62 kJ \text{ enerji ile; } + \Delta T = 68,62 (kJ) / 5,6 (kJ / ^\circ C) = 12,3 ^\circ C$$

6500 mg / l KOİ ile 1,0 m<sup>3</sup> atıksuyun sıcaklığı ilave enerji harcamaksızın 12,3 °C artırılabilir.

Ham atıksuyun sıcaklığı **18 °C** olduğundan, atıksuya ilave enerji vermeksizin **6,5 kg KOİ/m<sup>3</sup>** atıksu ile işletme sıcaklığı **12 °C**'lik artışla **30 °C**'ye çıkarılabilir ve reaktör 30 °C'de işletilecek şekilde tasarım parametreleri geliştirilebilir.



## ÇÖZÜM

### (2) Reaktörün boyutları;

YAÇYA reaktörlerin en temel tasarım parametresi hacimsel organik yüküdür ( $KOI > 5 \text{ kg/m}^3$ ). Reaktörün hacmi hacimsel organik yüke göre hesaplanır.

$$(i) \text{ Reaktörün hacmi; } V = Q \times S_0 / OLR$$
$$= \frac{2500 (\text{m}^3 / \text{gün}) \times 6,5 (\text{kg} / \text{m}^3)}{16 \text{ kg } KOI / \text{m}^3 - \text{gün}} = 1015,63 (\text{m}^3)$$

$$(ii) \text{ Reaktörün yüzey alanı; } A = V / H$$

Reaktörün derinliği (8–10 m) **8 m** olsun (KABUL);

$$A = \frac{V}{H} = \frac{1015,62 (\text{m}^3)}{8 (\text{m})} = 126,95 \text{ m}^2 \rightarrow 12 \times 12 = 144 \text{ m}^2$$

Bu büyüklükteki bir reaktörü silindirik tasarlamak yerine dikdörtgen/kare tasarlamak daha uygundur. Gaz toplama sisteminin yapısından dolayı reaktör çapı 3-4 m'den sonra dikdörtgen planlama daha uygun olur.

$$(iii) \text{ Reaktörün çökeltme bölümü dahil yüksekliği; } H = 8 (\text{m}) + 2,5 (\text{m}) = 10,50 \text{ m}$$

$$(iv) \text{ Reaktörün ebatları;}$$

$$V = 12 \times 12 \times 8 = 1152 \text{ m}^3$$

$$H = 8 \text{ m} + 2,5 \text{ m} = 10,5 \text{ m}$$

$$A = 144 \text{ m}^2$$

$$L = 12 \text{ m}$$

$$B = 12 \text{ m}$$



**(3) Yukarı akış hızı ( $V_{yah}$ );**

$$\begin{aligned} \text{Yukarı akış hızı; } V_{yuh} &= Q / A \\ &= \frac{2500 (m^3 / \text{gün})}{144 (m^2)} = 17,86 m / \text{gün} = 0,72 m / \text{saat} \end{aligned}$$

**(4) Hidrolik bekletme süresi (HBS);**

$$\begin{aligned} \theta_h &= V / Q \\ &= \frac{1152 (m^3)}{2500 (m^3 / \text{gün})} = 0,46 \text{ gün} = 11,1 \text{ saat} \end{aligned}$$

**(5-1) Arıtma verimi;**

Reaktör çıkışında KOİ,  $S_e = \frac{K_S (1 + k_d \theta_c)}{\theta_c (\mu_{\max} - k_d) - 1}$  formülü ile hesaplanabilir. Ancak, bunun için çamur

yaşını ve verimi bilmek gerekir. Çamur yaşı da arıtma verimine bağlı olduğundan, bir kabul yapmak gerekir. **%85 arıtma verimi tahmin** edilerek çamur yaşı hesaplanıp, verim doğrulaması yapılabilir.





**(6-1) Çamur yaşı; (%85 arıtma verimi kabulü için)**

**(i) Organik yük;**  $L_{KOİ} = Q \times S_0 \times E$

$$= 2500 (m^3 / gün) \times 6,5 (kgKOİ / m^3) \times 0,85 = 13812,5 kgKOİ / gün$$

**(ii) Üretilen biyokütle;**  $\chi = Y_{\chi/KOİ} \times KOİ_{gid.}$

$$= 0,08 (kg UKM / kgKOİ) \times 13812 (kg KOİ / gün) = 1105 kg UKM / gün$$

**(iii) Hacimsel organik yükleme hızı;**  $OLR_{KOİ} = L_{KOİ} / V$

$$= \frac{13812,5 (kgKOİ / gün)}{1152 (m^3)}$$

$$= 12 kg KOİ / m^3 - gün < 16 kg / m^3 - gün$$

**(iv) Reaktördeki biyokütle;**

$$= \text{Yataktaki çamur } \%25 (70 kg / m^3) + \text{askıdaki çamur } (\%75) (6 kg / m^3)$$

$$= [70 (kg / m^3) \times 0,25 \times 1152] + [7 (kg / m^3) \times 0,75 \times 1152]$$

$$= 25344 kg UKM$$

**(v) Çamur yaşı = Reaktördeki toplam biyokütle / günlük üretilen biyokütle**

$$= 25344 (kg) / 1105 (kg / gün) = 22,9 gün$$



**(7-1) Reaktör çıkışı KOİ konsantrasyonu;**

$$S_e = \frac{K_s (1 + k_d \theta_c)}{\theta_c (\mu_{\max} - k_d) - 1}$$
$$= \frac{0,5 (kg / m^3) \times [1 + 0,06 (gün^{-1}) \times 22,9 (gün)]}{22,9 (gün) \times [0,20 (gün^{-1}) - 0,06 (gün^{-1})] - 1} = 0,5373 kg / m^3 = 537 mg / l$$

**(8-1) Arıtma verimi;**

$$Arıtma\ verimi, E = \frac{KOİ_0 - KOİ_e}{KOİ_0}$$
$$= \frac{6500 (mg / l) - 537 (mg / l)}{6500 (mg / l)} = \%91,7$$

Hesaplanan %91,7 arıtma verimi, kabul edilen %85 arıtma verimini doğrulanmadığından, **(6-1) Çamur yaşı, (7-1) Reaktör çıkışı KOİ konsantrasyonu ve (8-1) Arıtma verimi adımları tekrar hesaplanır.**

**Bu sefer kabul edilen arıtma verimi %91,0 olsun.**



**(6-2) Çamur yaşı; (%91 arıtma verimi kabulü için)**

**(i)** Organik yük;  $L_{KOI} = Q \times S_0 \times E$

$$= 2500(m^3 / gün) \times 6,5 (kgKOİ / m^3) \times 0,91 = 14787,5 kgKOİ / gün$$

**(ii)** Üretilen biyokütle;  $\chi = Y_{\chi/KOI} \times KOİ_{gid}$

$$= 0,08 (kg UKM / kgKOİ) \times 14787,5 (kg KOİ / gün) = 1183 kg UKM / gün$$

**(iii)** Hacimsel organik yükleme hızı;  $OLR_{KOI} = L_{KOI} / V$

$$= \frac{14787,5 (kgKOİ / gün)}{1152 (m^3)}$$

$$= 12,8 kg KOİ / m^3 - gün < 16 kg / m^3 - gün$$

**(iv)** Reaktördeki biyokütle;

$$= \text{Yataktaki çamur } \%25 (70 kg / m^3) + \text{askıdaki çamur } (\%75) (6 kg / m^3)$$

$$= \left[ 70 (kg / m^3) \times 0,25 \times 1152 (m^3) \right] + \left[ 7 (kg / m^3) \times 0,75 \times 1152 (m^3) \right]$$

$$= 25344 kg UKM$$

**(v)** Çamur yaşı = Reaktördeki toplam biyokütle / günlük üretilen biyokütle

$$= 25344 (kg) / 1183 (kg / gün) = 21,4 gün$$





**(7-2) Reaktör çıkışı KOİ konsantrasyonu;**

$$S_e = \frac{K_S(1 + k_d\theta_c)}{\theta_c(\mu_{\max} - k_d) - 1}$$
$$= \frac{0,5(kg / m^3) \times [1 + 0,06(gün^{-1}) \times 21,4(gün)]}{21,4(gün) \times [0,20(gün^{-1}) - 0,06(gün^{-1})] - 1} = 0,5716 kg / m^3 = 571,6 mg / l$$

**(8-2) Arıtma verimi;**

$$Arıtma\ verimi, E = \frac{KOİ_0 - KOİ_e}{KOİ_0}$$
$$= \frac{6500(mg / l) - 571,6(mg / l)}{6500(mg / l)} = \%91,2$$

Hesaplanan %91,2 arıtma verimi, kabul (tahmin) edilen %91 arıtma verimini doğruladığından;

- $KOİ_e = 572 \text{ mg/l}$
- $E = \%91,2$
- $\theta_c = 21,4 \text{ gün}$



**(9) F/M oranı (besleme oranı);**

$$\frac{F}{M} = \frac{2500(m^3 / \text{gün}) \times 6,5(kgKOİ / m^3)}{25344(kg)} = 0,583 kgKOİ / kgUKM - \text{gün}$$

**(10) Metan üretimi;**

$$\begin{aligned} \text{Üretilen metan hacmi;} &= 0,35(m^3 / kg KOİ_{gid.}) \times KOİ_{gid.} \\ &= 0,35(m^3 / kg KOİ_{gid.}) \times (14787,5(kg KOİ_{gid.} / \text{gün}) - 1,42 \times 1183(kgUKM / \text{gün})) \\ &= 4587,5 m^3 / \text{gün (STP)} \\ &= 4923,7 m^3 / \text{gün (20}^\circ\text{C)} \end{aligned}$$

**(11) Biyogaz üretimi;**

$$\begin{aligned} \text{Üretilen biyogaz hacmi;} \quad Q_{Biyogaz} &= Q_{CH_4} / 0,55 \\ &= 4587,5 m^3 / \text{gün (STP)} / 0,55 \\ &= 8341,2 m^3 / \text{gün (STP)} \\ &= 8952 m^3 / \text{gün (20}^\circ\text{C)} \end{aligned}$$

**(12) Spesifik gaz üretimi;**

**(i)** Birim reaktör hacmi başına spesifik  $CH_4$  üretimi;

$$= 4587,5(m^3 / gün) / 1152(m^3)$$

$$= 3,982 m^3 CH_4 / m^3 reaktör - gün$$

**(ii)** Birim atıksu miktarı başına spesifik  $CH_4$  üretimi;

$$= 4587(m^3 CH_4 / gün) / 2500(m^3 / gün)$$

$$= 1,832 m^3 CH_4 / m^3 atıksu$$

**(iii)** Birim aktif çamur başına spesifik  $CH_4$  üretimi;

$$= \frac{4587(m^3 CH_4 / gün)}{25344 kgUKM} = 0,181 m^3 CH_4 / kg UKM$$

**(13) Biyogazın enerji eşdeğeri;**

$$= 4587 m^3 / gün \times 35846 kJ / m^3 = 164,45 \times 10^6 kJ / gün$$

$$1 kWh = 3,6 MJ = 3600 kJ$$

$$= 45680 kWh / gün \rightarrow \%35 verim = 15988 kWh / gün$$





**(14) Atıksuyun sıcaklığını 18 °C'den 30 °C'ye çıkarmak için gerekli enerji;**

$$(i) \text{ Gerekli ısı enerjisi} = 2500000 \text{ kg / gün} \times [(30 - 18) ^\circ\text{C}] \times (4200 \text{ J / kg } ^\circ\text{C})$$
$$= 126 \times 10^9 \text{ (J / gün)} \equiv 126 \times 10^3 \text{ (MJ / gün)} \equiv 35000 \text{ (kWh / gün)}$$

**(ii) %25 enerji kaybı;**

$$= 126 \times 10^3 \text{ (MJ / gün)} \times (100 / 75) = 168 \times 10^3 \text{ MJ}$$

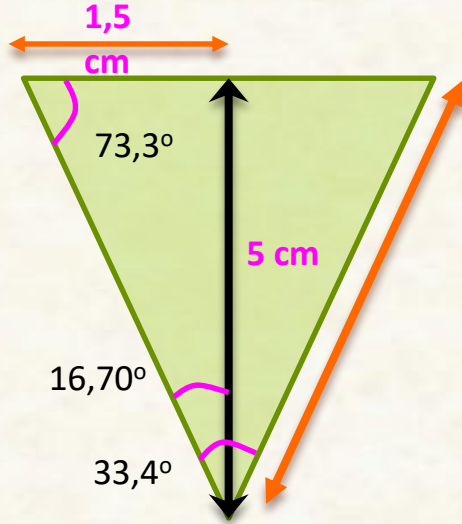
**(15) Enerji dengesi;**

$$\text{Enerji dengesi} = \underbrace{164,45 \times 10^6 \text{ kJ / gün}}_{\text{Üretilen}} - \underbrace{126 \times 10^6 \text{ kJ / gün}}_{\text{Reaktörü ısıtmak için harcanan}}$$
$$= 35,48 \text{ kJ} \times 10^6 \text{ kJ / gün}$$

*Aritma verimi %91'e verime göre hesaplandığından reaktörün 30 °C'de işletilmesi halinde bir miktar enerji artmaktadır. Ekonomik ve teknik fizibiliteye bağlı olarak enerji çevrim yatırımı yapılabilir ya da reaktörün işletme sıcaklığı optimize edilebilir.*



## (16) Savak hesabı-1;



Sıra	6	adet
Uzunluk	12	m
$\Sigma$ Uzunluk	72	m
Savak derinliği	0,05	m
Savak ağız genişliği	0,03	m
Savak aralığı	0,03	m
Savak adedi	1199	adet

Savak yükü;  
 $2500/72 = \mathbf{1,45 m^3/saat-m} < 5 m^3/saat-m$

Diş debisi	2,085071	$m^3/gün$
	24,13E-06	$m^3/sn$
Tan ( $\theta/2$ )	0,3	
( $\theta/2$ )	16,699	
$\theta$	33,398	
Savak yüksekliği, h	0,020244	m
Savak yüksekliği, h	2,024	cm
Diş debisi, q	2,413E-05	$m^3/sn$
	2.500	$m^3/gün$
<b>SENARYO</b>		
Savak yüksekliği, h	0,03	m
Diş debisi, q	6,452E-05	$m^3/sn$
	6.684	$m^3/gün$

Reaktörün ebatları;

$$V = 12 \times 12 \times 8 = 1152 m^3$$

$$H = 8 m + 2,5 m = 10,5 m$$

$$A = 144 m^2$$

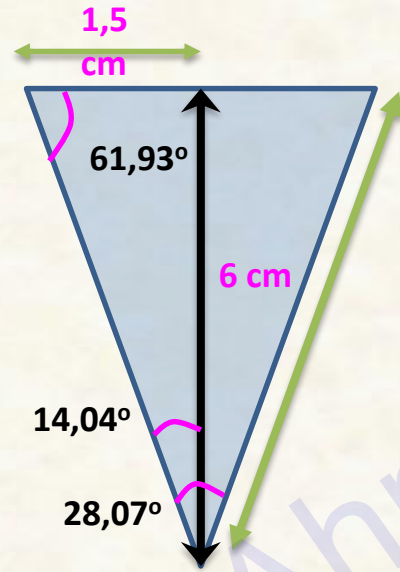
$$L = 12 m$$

$$B = 12 m$$

$$q = \frac{8}{15} \times 0,584 \times (2 \times g)^{1/2} \times \tan \frac{\theta}{2} \times h^{5/2}$$



## (16) Savak hesabı-2;



Sıra	6 adet
Uzunluk	12 m
$\Sigma$ Uzunluk	72 m
Savak derinliği	0,06 m
Savak ağız genişliği	0,03 m
Savak aralığı	0,05 m
Savak adedi	899 adet
Diş debisi	2,780095 m <sup>3</sup> /gün
	3,218E-05 m <sup>3</sup> /sn

Tan ( $\theta/2$ )	0,25
( $\theta/2$ )	14,036
$\theta$	28,072
$\theta'$	61,928
Savak yüksekliği, h	0,024431 m
Savak yüksekliği, h	2,443 cm
Diş debisi, q	3,218E-05 m <sup>3</sup> /sn
	2.500 m <sup>3</sup> /gün
<b>Savak yüksekliği, h</b>	<b>0,04 m</b>
Diş debisi, q	1,104E-04 m <sup>3</sup> /sn
	8.575 m <sup>3</sup> /gün

$$q = \frac{8}{15} \times 0,584 \times (2 \times g)^{1/2} \times \tan \frac{\theta}{2} \times h^{5/2}$$



## 17-NÜTRİYENT İHTİYACI

Atıksuyun anaerobik arıtılmasında nütriyent ihtiyacı ham atıksudaki makro ve mikronütriyentlerin konsantrasyonları göz önüne alınarak hesaplanabilir.

İçsel sonulum sebebiyle ölen mikroorganizmalardaki bileşenler makro ve mikro besi elementleri olarak tekrar kullanılabilir. Besi elementi ihtiyacının %10'unun içsel solunumla karşılanabileceğini varsayalım ve atıksuyun analiz sonuçları için makro ve mikronütriyent ihtiyacını hesaplayalım.

### Eksik nütriyentler atıksuya nasıl ilave edilebilir?

Makronütriyentler		Mikronütriyentler	
Element	Konsantrasyon g/kg VSS	Element	Konsantrasyon mg/kg VSS
Nitrogen	65	Iron	1 800
Phosphorus	15	Nickel	100
Potassium	10	Cobalt	75
Sulfur	10	Molybdenum	60
Calcium	4	Zinc	60
Magnesium	3	Manganese	20
		Copper	10

Biyokütle Üretimi	1183 kg/gün
Atıksu Debisi	2500 m <sup>3</sup> /gün

Elementler	Biyokütledeki oran	Atıksuda ölçülen kons.
<i>Makronütriyentler</i>	<i>g/kgC<sub>5</sub>H<sub>7</sub>NO<sub>2</sub></i>	<i>mg/l</i>
Azot, N	<b>65</b>	<b>25</b>
Fosfor, P	<b>15</b>	<b>5</b>
Potasyum, K	<b>10</b>	<b>4</b>
Kükürt, S	<b>10</b>	<b>13</b>
Kalsiyum, Ca	<b>4</b>	<b>37</b>
Magnezyum, Mg	<b>3</b>	<b>3</b>
<i>Mikronütriyentler</i>	<i>mg/kg UKM</i>	<i>µg/l</i>
Demir, Fe	<b>1800</b>	<b>765</b>
Nikel, Ni	<b>100</b>	<b>35</b>
Kobalt, Co	<b>75</b>	<b>35</b>
Molibden, Mo	<b>60</b>	<b>20</b>
Çinko, Zn	<b>60</b>	<b>21</b>
Mangan, Mn	<b>20</b>	<b>165</b>
Bakır, Cu	<b>10</b>	<b>4</b>



**TABLO** Atıksuyun nütrient dengesi, fazlalık ve noksanlık

<i>Elementler</i>	<i>Biyokütledeki oran</i>	<i>Biyokütledeki oranın %90'ı</i>	<i>Biyokütle için gerekli miktar</i>	<i>Atıksuda ölçülen kons.</i>	<i>Atıksuda ölçülen kons.</i>	<i>Atıksudaki Miktar</i>	<i>Fazlalık</i>	<i>Noksanlık</i>
<i>Makronütrientler</i>	<i>g/kgC<sub>5</sub>H<sub>7</sub>NO<sub>2</sub></i>	<i>g/kgC<sub>5</sub>H<sub>7</sub>NO<sub>2</sub></i>	<i>kg/gün</i>	<i>mg/l</i>	<i>kg/m<sup>3</sup></i>	<i>kg/gün</i>	<i>kg/gün</i>	<i>kg/gün</i>
Azot, N	<b>65</b>	<b>58,5</b>	69,2	<b>25,0</b>	0,025	<b>62,5</b>		<b>6,7</b>
Fosfor, P	<b>15</b>			<b>5,0</b>				
Potasyum, K	<b>10</b>			<b>3,7</b>				
Kükürt, S	<b>10</b>			<b>13,3</b>				
Kalsiyum, Ca	<b>4</b>			<b>37,0</b>				
Magnezyum, Mg	<b>3</b>			<b>3,0</b>				
<i>Mikronütrientler</i>	<i>mg/kg UKM</i>	<i>mg/kg UKM</i>	<i>g/gün</i>	<i>µg/l</i>	<i>g/m<sup>3</sup></i>	<i>g/gün</i>	<i>g/gün</i>	<i>g/gün</i>
Demir, Fe	<b>1800</b>	<b>1620,0</b>	1916,5	<b>765</b>	0,765	<b>1912,5</b>		<b>4,0</b>
Nikel, Ni	<b>100</b>			<b>35</b>				
Kobalt, Co	<b>75</b>			<b>35</b>				
Molibden, Mo	<b>60</b>			<b>20</b>				
Çinko, Zn	<b>60</b>			<b>21</b>				
Mangan, Mn	<b>20</b>			<b>165</b>				
Bakır, Cu	<b>10</b>			<b>4</b>				



**TABLO** Atıksuyun ntrient dengesi, fazlalık ve noksanlık

<i>Elementler</i>	<i>Biyoktledeki oran</i>	<i>Biyoktledeki oranın %90'ı</i>	<i>Biyoktle iin gerekli miktar</i>	<i>Atıksuda llen kons.</i>	<i>Atıksuda llen kons.</i>	<i>Atıksudaki Miktar</i>	<i>Fazlalık</i>	<i>Noksanlık</i>
<i>Makrontrientler</i>	<i>g/kgC<sub>5</sub>H<sub>7</sub>NO<sub>2</sub></i>	<i>g/kgC<sub>5</sub>H<sub>7</sub>NO<sub>2</sub></i>	<i>kg/gn</i>	<i>mg/l</i>	<i>kg/m<sup>3</sup></i>	<i>kg/gn</i>	<i>kg/gn</i>	<i>kg/gn</i>
Azot, N	<b>65</b>	<b>58,5</b>	69,2	<b>25,0</b>	0,025	<b>62,5</b>		<b>6,7</b>
Fosfor, P	<b>15</b>	<b>13,5</b>	16,0	<b>5,0</b>	0,005	<b>12,5</b>		<b>3,5</b>
Potasyum, K	<b>10</b>	<b>9,0</b>	10,6	<b>3,7</b>	0,004	<b>9,3</b>		<b>1,4</b>
Kkrt, S	<b>10</b>	<b>9,0</b>	10,6	<b>13,3</b>	0,013	33,3	22,7	
Kalsiyum, Ca	<b>4</b>	<b>3,6</b>	4,3	<b>37,0</b>	0,037	92,5	88,2	
Magnezyum, Mg	<b>3</b>	<b>2,7</b>	3,2	<b>3,0</b>	0,003	7,5	4,3	
<i>Mikrontrientler</i>	<i>mg/kg UKM</i>	<i>mg/kg UKM</i>	<i>g/gn</i>	<i>µg/l</i>	<i>g/m<sup>3</sup></i>	<i>g/gn</i>	<i>g/gn</i>	<i>g/gn</i>
Demir, Fe	<b>1800</b>	<b>1620,0</b>	1916,5	<b>765</b>	0,765	<b>1912,5</b>		<b>4,0</b>
Nikel, Ni	<b>100</b>	<b>90,0</b>	106,5	<b>35</b>	0,035	<b>87,5</b>		<b>19,0</b>
Kobalt, Co	<b>75</b>	<b>67,5</b>	79,9	<b>35</b>	0,035	87,5	7,6	
Molibden, Mo	<b>60</b>	<b>54,0</b>	63,9	<b>20</b>	0,020	<b>50,0</b>		<b>13,9</b>
inko, Zn	<b>60</b>	<b>54,0</b>	63,9	<b>21</b>	0,021	<b>52,5</b>		<b>11,4</b>
Mangan, Mn	<b>20</b>	<b>18,0</b>	21,3	<b>165</b>	0,165	412,5	391,2	
Bakur, Cu	<b>10</b>	<b>9,0</b>	10,6	<b>4</b>	0,004	<b>10,0</b>		<b>0,6</b>





## YAÇYA REAKTÖR TASARIMI ÖZETİ

YAÇYA reaktörlerin tasarımında;

### A. ATIKSU

- Atıksuyun **tipi** (KOİ, BOİ<sub>5</sub>, TOK, AKM, temel anyonlar, kationlar, pH, sıcaklık, alkalinite, nütrientler, eser elementler, toksik bileşenler) ve **miktarı** irdelenir.
- Özellikle büyük ölçekli endüstriyel atıksuların anaerobik arıtımı için ön pilot arıtma çalışmaları ile atıksu karakterizasyonuna ilave olarak **hacimsel organik yükün** ve **HBS'nin** belirlenmesi gerekir.

### B. TASARIM

- Uygun **hacimsel organik yük** seçilerek reaktörün hacmi hesaplanır.
- Reaktörün tasarımında  $V_{yah}$  ya da hacimsel organik yük seçiminde kritik KOİ konsantrasyonu **5000 mg/l'dir. KOİ < 5000 mg/l ise  $V_{yah}$ ; ve KOİ > 5000 mg/l ise OLR.**
- Seyreltik atıksular için uygun  $V_{yah} < 1$  m/saat seçilerek reaktörün **yüzey alanı** hesaplanır
- Reaktörün alanı/derinliği/hacmi ve boyutları hesaplanır.
- Reaktörün **HBS** ve **çamur yaşı** ( $\theta_c$ ) hesaplanır.
- Çamur üretimi ve metan üretimi hesaplanır.

### C. ENERJİ

- Enerji üretimi ve enerji dengesi hesaplanır.

## YAÇYA REAKTÖR TASARIMI ÖZETİ

### D. NÜTRİENTLER

- Atıksuyun detaylı analiz sonuçlarına göre mikrobiyal çoğalma için gerekli olan makro ve mikro nütrient ihtiyacı hesaplanır ve eksik olan bileşenler atıksuya ilave edilir.

### E. REAKTÖR HİDROLİĞİ

- Reaktörün giriş (dağıtma) ve çıkış (savak) yapıları tasarlanır.
- Biyogaz toplama ve çökeltme bölmesi tasarlanır.

### F. İŞLETME

- İnşaat ve mekanik kısımlar kolay inşa etmeye ve işletmeye elverişli olacak şekilde gözden geçirilir.

