



4181 Anaerobik Arıtma Sistemlerinde Proses Tasarımı

10. ve 11. Dersler

ANAEROBİK ÇAMUR STABİLİZASYONU

Prof. Dr. Ahmet GÜNAY

Balıkesir Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi
Çevre Müh. Böl.
Çağış/Balıkesir

agunay@balikesir.edu.tr

ahmetgunay2@gmail.com

+90 505 529 43 17

[http://cevre.balikesir.edu.tr/index.php/doc-dr-ahmet-gunay-ders-notlari/anaerobik-aritma-sistemleri-proses-tasarimi /](http://cevre.balikesir.edu.tr/index.php/doc-dr-ahmet-gunay-ders-notlari/anaerobik-aritma-sistemleri-proses-tasarimi/)



ANAEROBİK ÇAMUR STABİLİZASYONU

Arıtma çamurlarının bertarafı
Arıtma çamurlarının stabilizasyonu
Anaerobik stabilizasyon
Anaerobik çamur stabilizasyonu
Anaerobik çürütücü tasarımı
Aktif çamur sistemlerinde çamur oluşumu

Anaerobik Arıtma Sistemlerinde Proses Tasarımı

10.-11. Dersler: Anaerobik çamur stabilizasyonu

DERSİN AMAÇLARI

- **Arıtma çamuru:** Atıksu arıtma çamurlarının karakterizasyonu ve miktarı, çamur oluşumu hesabı
- **Çamur bertarafı:** Atıksu arıtma çamurlarının anaerobik stabilizasyonu
- **Çamur parametreleri:** TKM, SKM, UKM
- **Tasarım:** Anaerobik çürütücülerin temel tasarım prensipleri,
- **Organik yük:** Çürütücülerin UKM yüküne göre hacmini hesaplama,
- **Tasarım parametreleri:** HBS, çamur yaşı,
- **Metan üretimi:** Anaerobik çürütücülerde biyogaz ve metan üretimi,
- **Enerji dengesi:** Anaerobik çürütücülerin enerji dengesi hesabı,
- **İşletme:** Anaerobik çürütücülerin işletme parametreleri (Sıcaklık, UKM/TKM, UYA/Alkalinite, biyogaz)

ÇAMUR STABİLİZASYONU

Çamur stabilizasyonunun amacı, çamurların **su ve organik madde muhtevasını** azaltmaktır.

Su muhtevasını azaltmak için;

- Yoğunlaştırma ya da katı madde muhtevasını artırma
- Suyunu alma
- Kurutma

Organik madde muhtevasını azaltmak için;

- Çürütme ya da stabilizasyon
- Yakma
- Islak oksidasyon

İşlemleri uygulanır.

ÇAMUR BERTARAF SAFHALARI

Temel çamur bertaraf safhaları;

- 1. Yoğunlaştırma:** Su giderme (hacmini azaltma), hacim %50 civarında azalır ve KM=%4-6 civarındadır.
- 2. Stabilizasyon:** Organik madde-UKM giderme (kütlesini azaltma)
- 3. Şartlandırma:** Mekanik susuzlaştırma öncesi ön işlem
- 4. Susuzlaştırma:** Suyunu giderme (hacmini azaltma)
- 5. Dezenfeksiyon:** Patojen mikroorganizmaları giderme
- 6. Nihai bertaraf:** Yakma ya da araziye serme



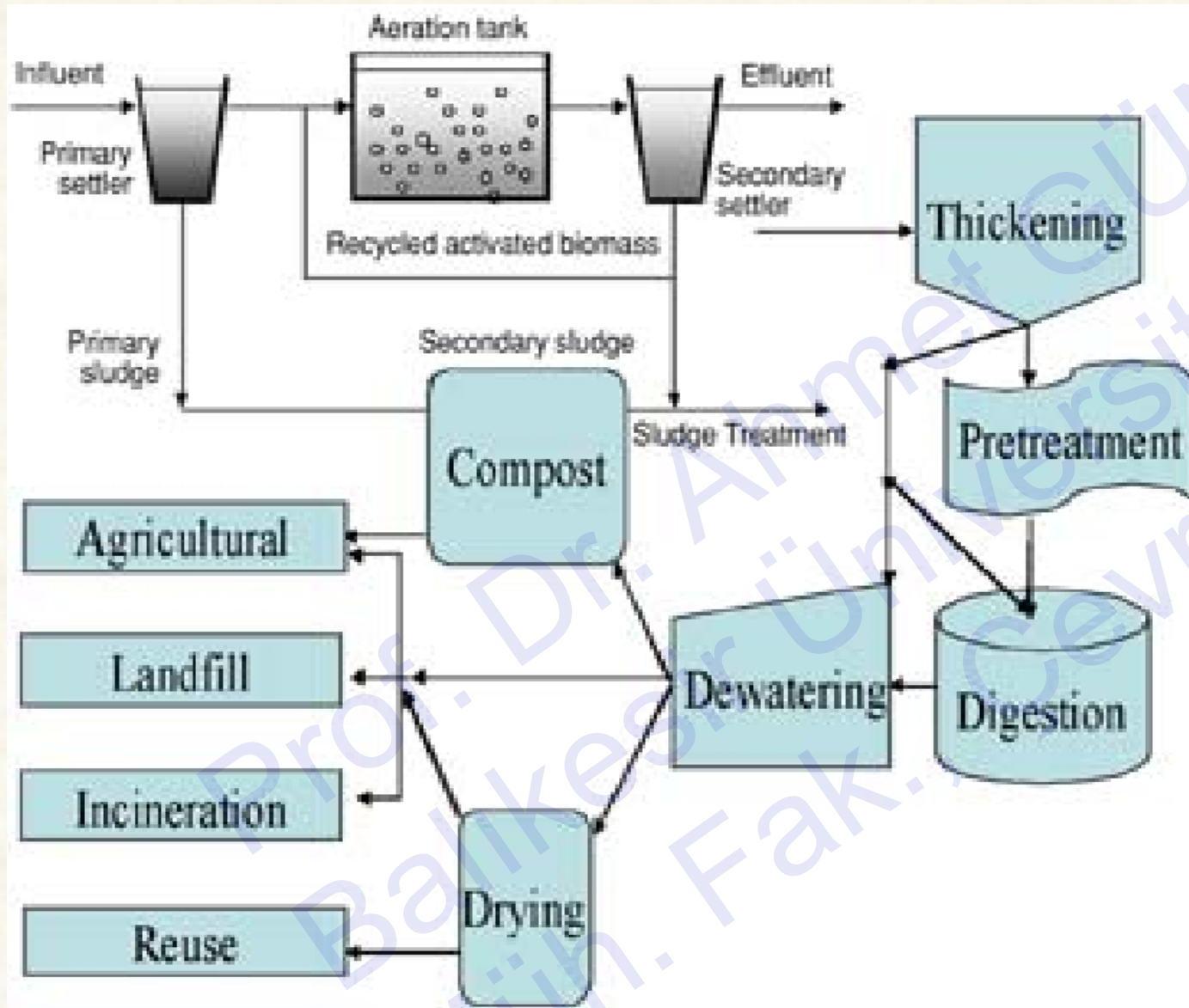
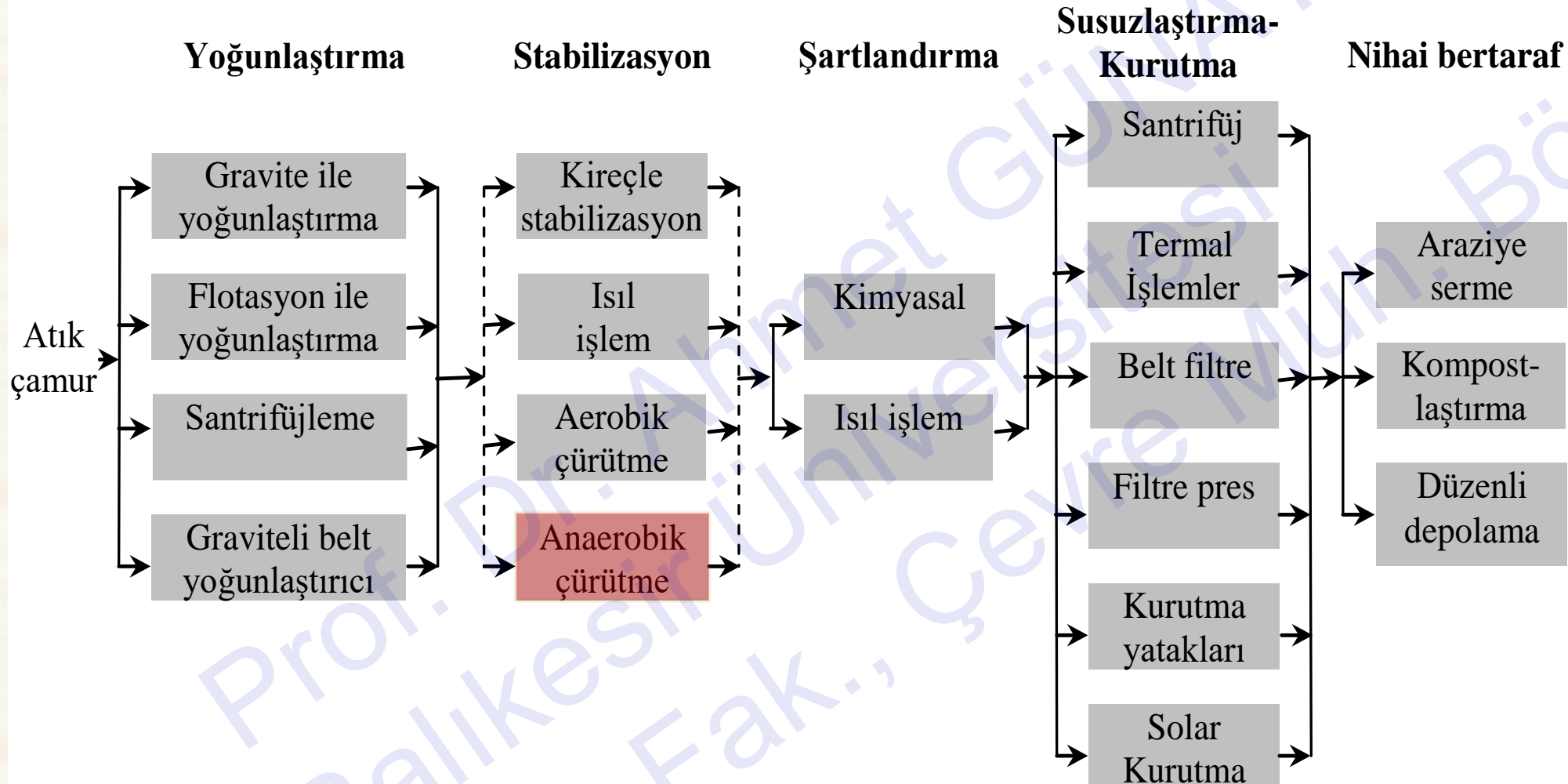


Fig. A sludge treatment network.



ŞEKİL: Çamur bertaraf prosesleri

TABLO: Farklı çamur bertaraf prosesleri kademelerinin katı madde ve su muhtevaları

Proses	Su muhtevası	Katı madde muhtevası
Borularla iletim-isale	> % 85	< % 15
Kireçle stabilizasyon	< % 85	> % 15
Kompostlaştırma	< % 70	< % 50 < %70
Anaerobik stabilizasyon	% 94-97	% 3-6
Trasfer/depolama	Olabildiğince düşük	
Sıvı çamurun araziye uygulanması	>94	<%6
Yakma	< %60 (self ignition)	
Depolama	Olabildiğince düşük	



BİYOLOJİK ÇAMURLARDAKİ SU

Çamurlardaki su muhtevası %90'ın üzerindedir ve su gibi davranırlar. Su muhtevası %90'ın altına düştüğü (KM muhtevası > %10) zaman vizkoz bir sıvıdan ziyade plastik özellik gösterirler. Çamur içerisindeki su, serbest ya bağlı sudur.

Su muhtevası %95'ten fazla olduğu zaman suyun %70' serbest sudur ve kolaylıkla ayrılır, kalan su bağlı sudur ve çamurdan ayırmak daha zordur. Suyun %20'si floklarda, %2'si kapiler sudur.

TABLO: Çamur içerisindeki suyun dağılımı ve giderim yöntemi, Kaynak: Environmental Biotechnology p 86

Su bileşeni	%	Su alma
Serbest su	70-75%	Yoğunlaştırma (çökeltme)
Flok içi su (absorplanmış su)	20-25%	Flokların içerisinde hapsolmuş su, mekanik susuzlaştırma ile ya da flokülasyon ile giderilebilir.
Kapiler su	1-2%	Sıkıştırma ile giderilebilir. Katı faz (floklar) içerisinde kapiler kuvvetlerle tutunur. Flokların içinde absorplanmış suya göre ayırmak için daha fazla kuvvet gerektirir.
Bağlı su	0,5-1,5%	Hücre bileşenlerinin içerisindeki su, hücre duvarının parçalanması ile giderilebilir.

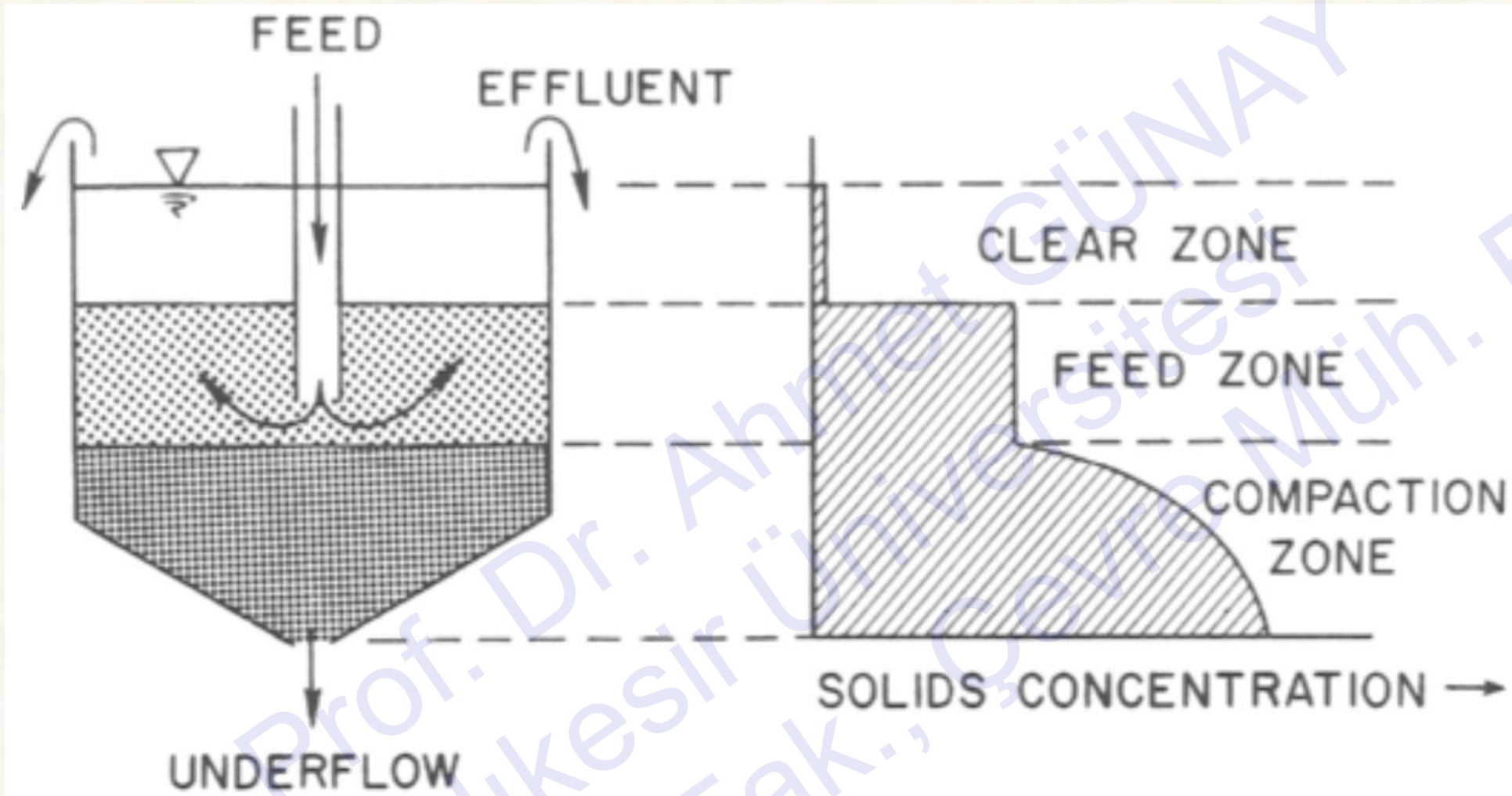


FIGURE 9-4. Gravity thickener



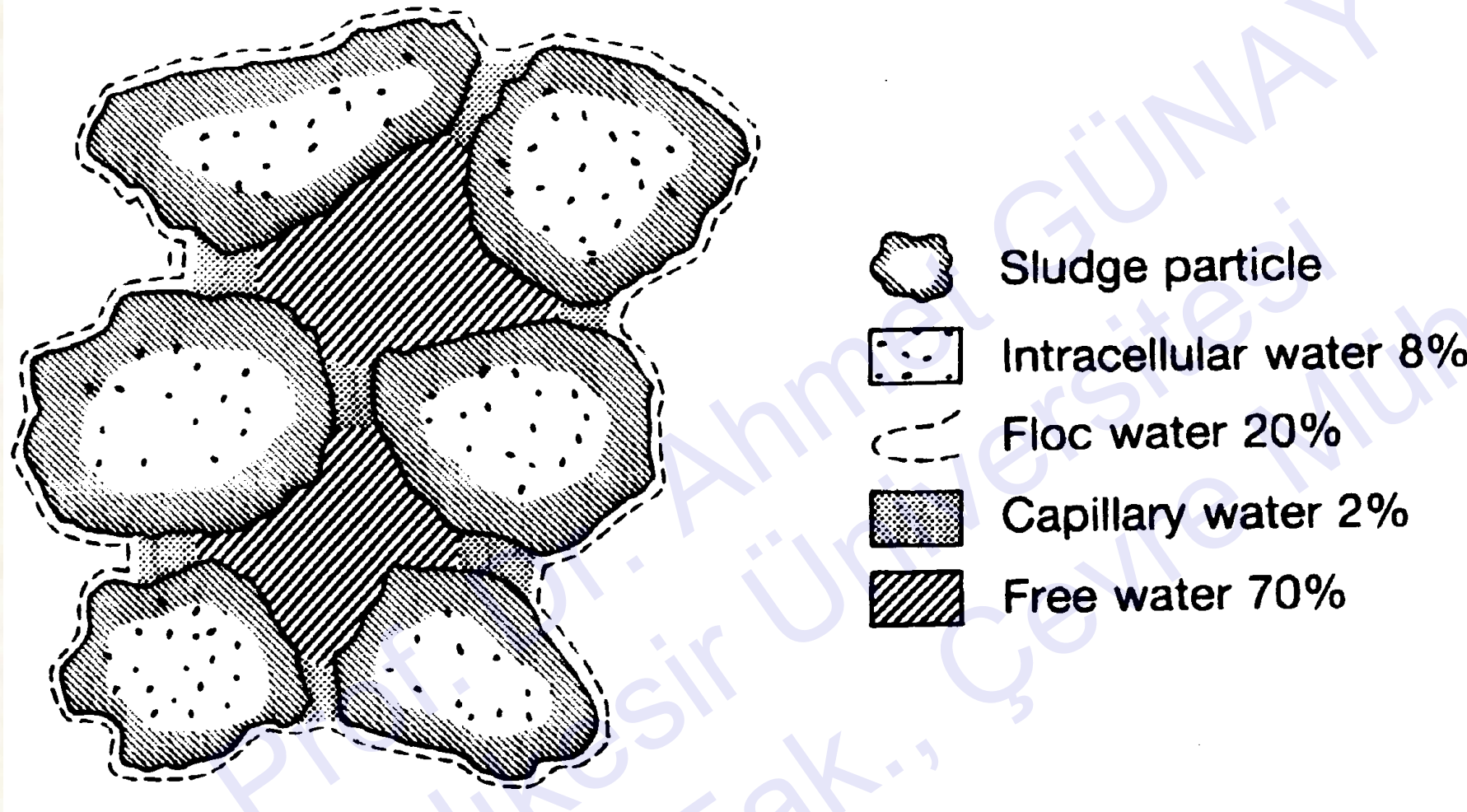


Fig. Schematic diagram of a sludge floc showing the association of the sludge particles with the available water (BIOLOGY OF WASTEWATER TREATMENT (2nd Edition), Sludge Treatment and Disposal)

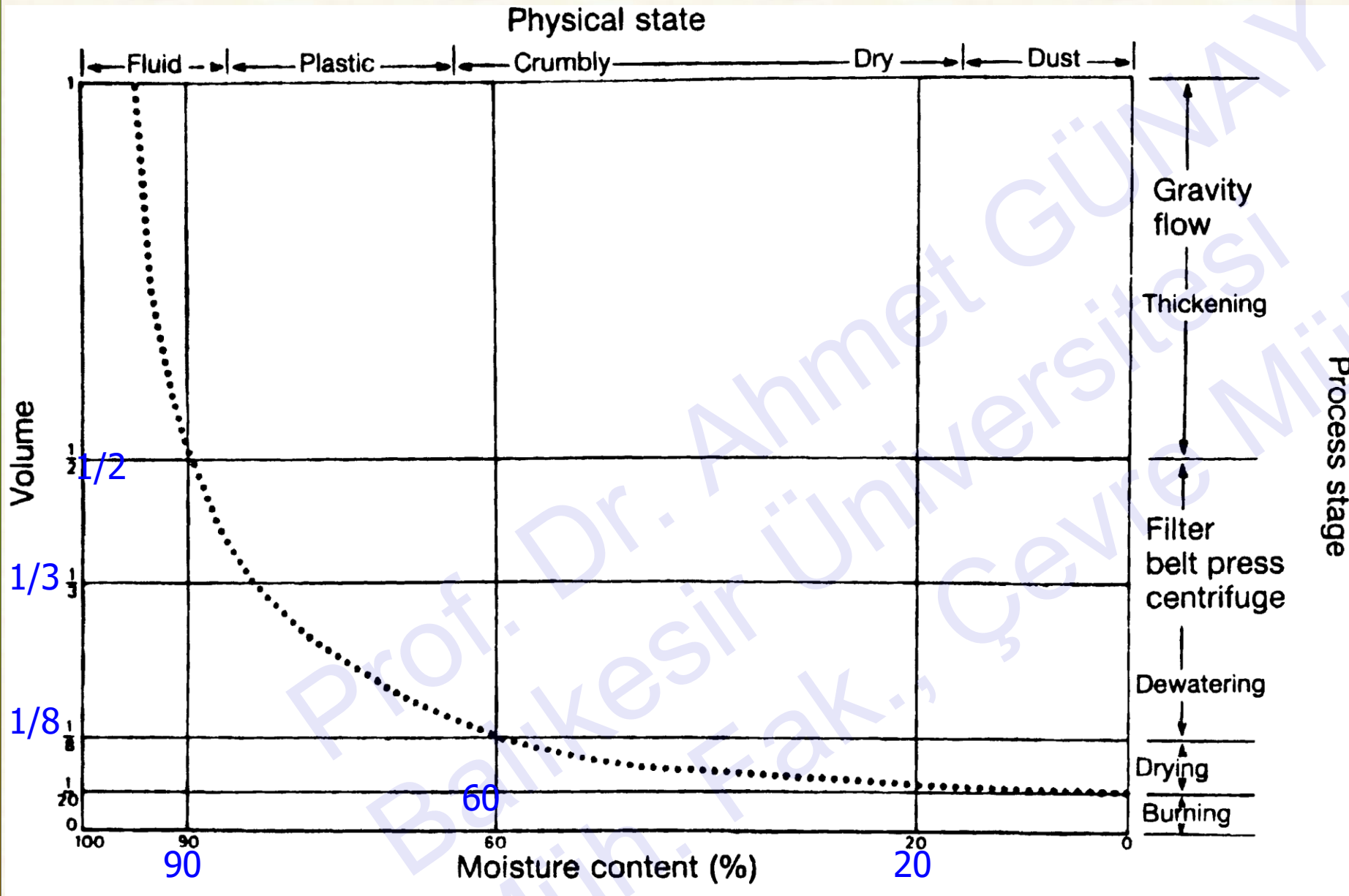
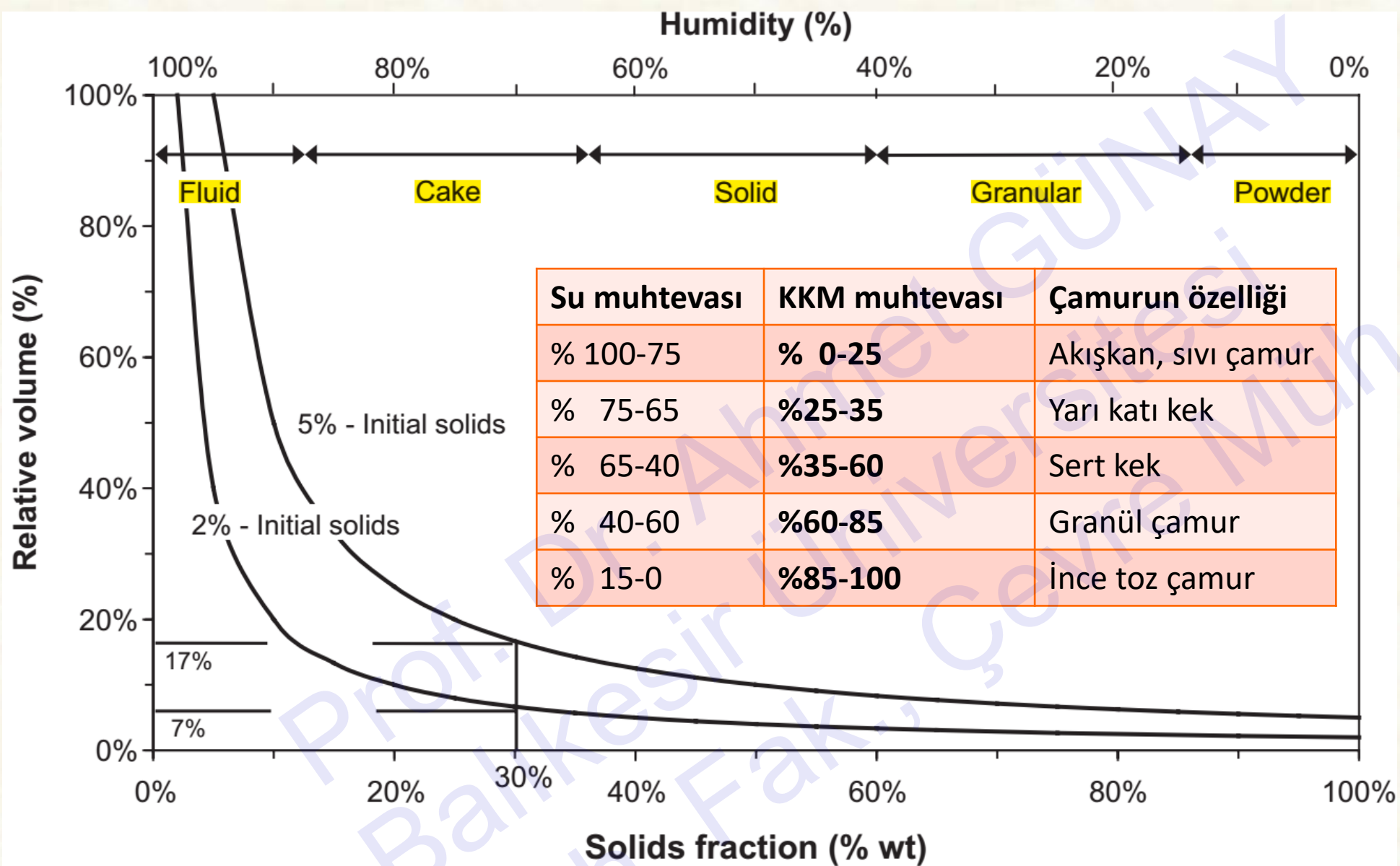


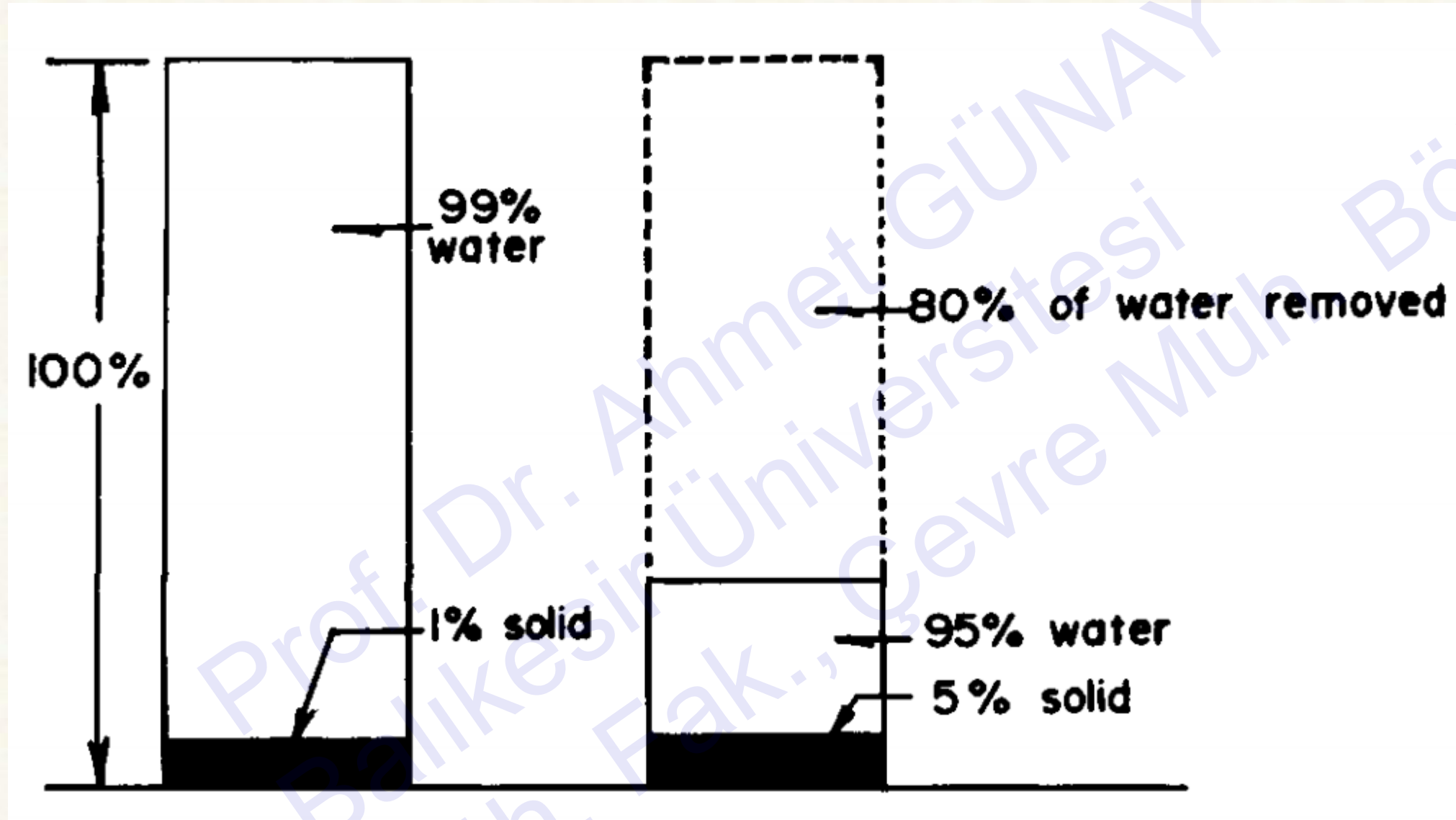
Fig. Schematic diagram of a sludge floc showing the association of the sludge particles with the available water (BIOLOGY OF WASTEWATER TREATMENT (2nd Edition), Sludge Treatment and Disposal)





AC Haandel, J.G.M. van der Lubbe (2012) Handbook of Biological Wastewater Treatment IWA Publishing, Alliance House 12 Caxton Street, London SW1H 0QS, UK, p394

Figure 12.2 Relationship between solids fraction, humidity and relative sludge volume

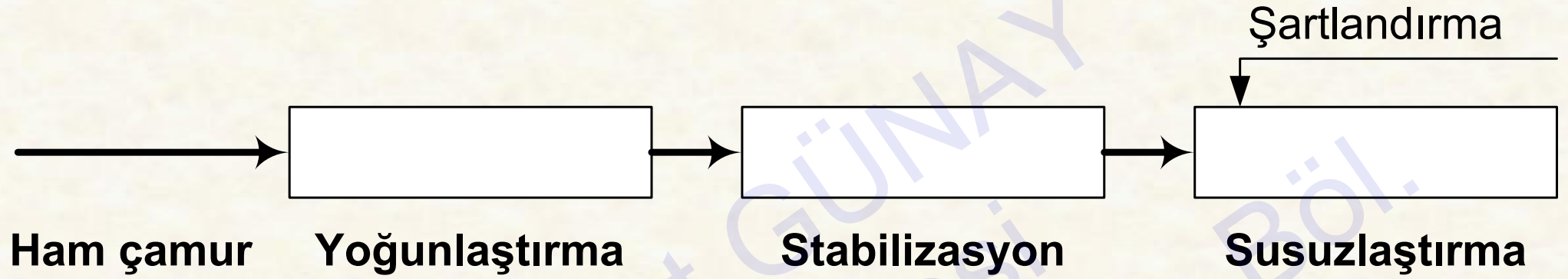


Su muhtevası	KKM muhtevası	Çamurun özelliği
% 100-75	% 0-25	Akışkan, sıvı çamur
% 75-65	%25-35	Yarı katı kek
% 65-40	%35-60	Sert kek
% 40-60	%60-40	Granül çamur
% 15-0	%85-100	İnce toz çamur

Katı madde (KM) muhtevası: Çamurların kompozisyonu % katı madde (KKM) cinsinden ifade edilir.

%5 KM ihtiva eden 1 kg çamur, **50 g KM+950 g** su içerir.





	Ham çamur	Yoğunlaştırma	Stabilizasyon	Susuzlaştırma
Primer çamur	%4-8	%6-10	%8-12	%18-40
Aktif çamur	%0,5-1,5	%2-3	%4-5	%15-20
Karışık çamur	%3-6	%4-7	%5-10	%15-30

ŞEKİL Farklı çamur bertaraf ünitelerinin TKM muhtevaları

(Kaynak: Emanuel Idelovitch Klas Ringskog, (1997) Wastewater treatment in Latin America: old and new options, THE WORLD BANK, 1818 H Street, N.W. Washington, D.C. 20433, p 27)

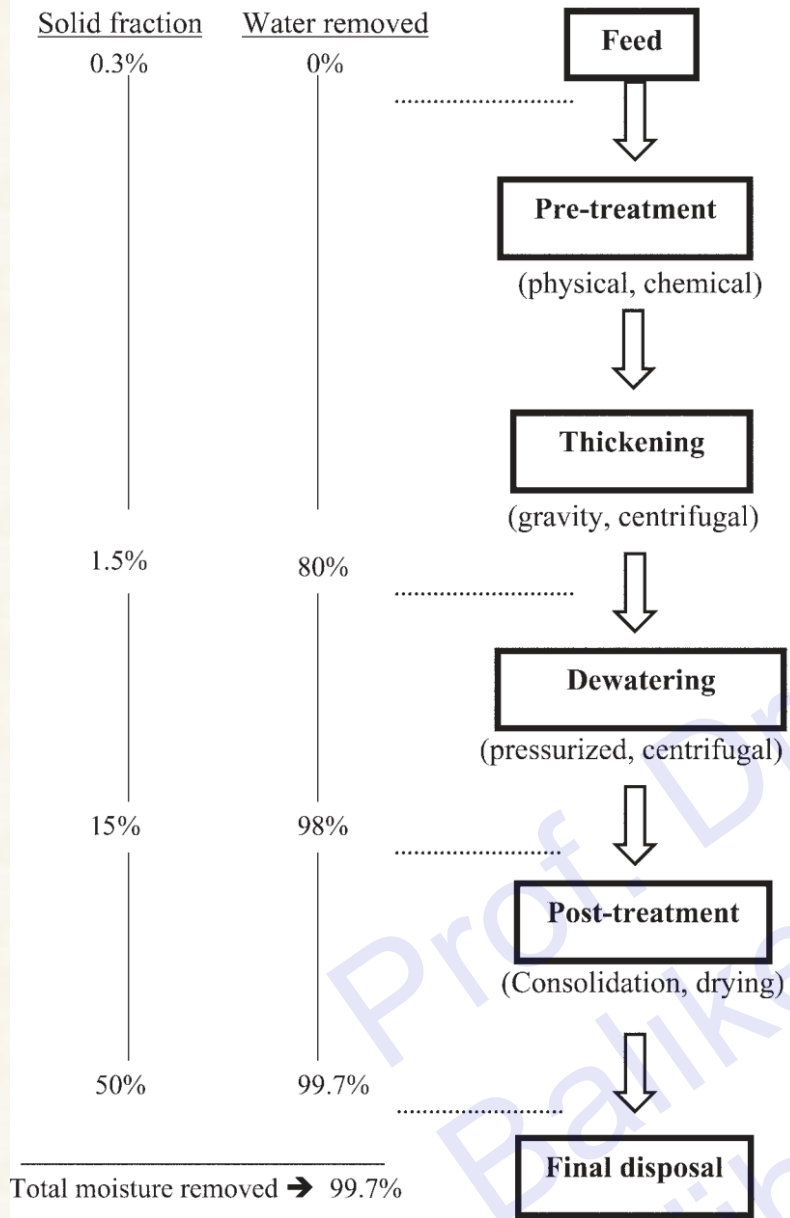


Fig. 8. Relative moisture removal ratio in four stages in sludge dewatering.

Over 75–80% of moisture removal occurs during the thickening stage.

Sludge thickeners include the gravity thickener, centrifugal thickener, and flotation thickener. The thickener design is mainly based on total flux method obtained in laboratory tests. The major assumptions in conventional thickener design include:

- (1) bench-scale tests simulate the full-scale processes,
- (2) settling is a steady-state process, and
- (3) local floc settling velocity depends on concentration only.

Çamurun katı madde muhtevsındaki artış hacim azalması ile sonuçlanır. KM muhtevası %1 olan çamurdaki KM muhtevası %2'ye çıktığı zaman hacmi %50 azalır. Aynı çamur % 5 KM'ye kadar yoğunlaştırıldığında ise, başlangıçtaki hacminin sadece % 20'sine sahip olur.

Yoğunlaştırma:

Yoğunlaştırma işleminde ulaşılan katı madde muhtevası % 15'den azdır. Bu tür çamurlar hala pompalanabilir niteliktedir ve akışkan özelliklere sahiptir. Mekanik susuzlaştırma işlemi ile ulaşılan katı madde muhtevası % 15'ten büyüktür ve çamur katı madde gibi davranır.

ÖRNEK: Çamur yoğunlaştırıcının çamur yaşına etkisi (**Kaynak:** David Hendricks, (2011) Fundamentals of Water Treatment Unit Processes: Physical, Chemical, and Biological, CRC Press Taylor & Francis Group 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300 Boca Raton, FL, p747)

$$KM_0 = \%4,75 (= 47,5 \text{ kg/m}^3)$$

$$UKM_0 = 0,8 \times KM_0 = 0,8 \times 47,5 \text{ (kg KM/m}^3\text{)} = 38 \text{ kg UKM/m}^3$$

$$Q_{\text{çamur}} = 151,4 \text{ m}^3/\text{gün}$$

$$V_{\text{reaktör}} = 2839 \text{ m}^3$$

Giriş KM muhtevası %6,5'e (65 kg/m^3) çıkarılırsa çamur yaşı (HBS) ne kadar artar?

ÇÖZÜM:

1. SRT_1

$$\theta_{c,1} = \frac{V_{\text{reaktör}}}{Q_{(\text{çamur})1}} = \frac{2839 \text{ (m}^3\text{)}}{151,4 \text{ (m}^3 / \text{gün)}} = 19 \text{ gün}$$

ÇÖZÜM (devamı):

2. SRT₂

$$\begin{aligned}(i) \quad KM_1 &= Q_{(\text{çamur})1} \times KM_1 \\ &= 151,4 (m^3 / \text{gün}) \times 47,5 (kg / \text{gün}) \\ &= 7192 \text{ kg KM} / \text{gün}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(ii) \quad KM_2 &= Q_{(\text{çamur})2} \times KM_2 \\ 7192 (kg \text{ KM} / \text{gün}) &= Q_{(\text{çamur})2} \times 65 (kg / \text{gün}) \\ Q_{(\text{çamur})2} &= 110,6 m^3 / \text{gün}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(iii) \quad \theta_{c,2} &= \frac{V_{\text{reaktör}}}{Q_{(\text{çamur})2}} \\ &= \frac{2839 (m^3)}{110,6 (m^3 / \text{gün})} = 26 \text{ gün}\end{aligned}$$

Anaerobik çürütücülerde KM muhtevası yüksek olduğundan hidrolik bekletme süresi (HBS) ile çamur yaşı (θ_c) birbirine eşittir.

Çamur yaşı ne kadar uzun ulursa UKM stabilizasyonu o kadar fazla gerçekleşir.

Bu veriler Fort Collins Atıksu Arıtma Tesisine aittir.



Çamurun Fiziksel Özellikleri

- Özgül ağırlık-specific gravity (s): Bir maddenin ağırlığının aynı hacim suyun ağırlığına oranıdır. Farklı bir ifade ile, çamurun yoğunluğunun suyun yoğunluğuna oranıdır. Çoğu arıtma çamurunun özgül ağırlığı 1,02-1,06 civarındadır. 1 L çamurun ağırlığı 1010 g gelirse çamurun özgül ağırlığı, $S=1010 \text{ g}/1000 \text{ g}=1,01$ 'dir.

$$s = \frac{W}{V}$$

- Müşterek özgül ağırlık:

$$\frac{1}{s} = \sum_{i=1}^n \frac{W_i}{S_i}$$

W_i : i. kısmın ağırlığı

s_i : i. kısmın hacmi.

ÖRNEK: Bir çamur numunesinin bileşenleri aşağıdaki gibidir. Çamurun özgül ağırlığını hesaplayınız.

Bileşen	Ağırlıkça yüzde, %
■ Yanıcı madde ($s \cong 1$)	5
■ Sabit katılar ($s \cong 2.5$)	5
■ Su	90

ÇÖZÜM

$$\frac{1}{s} = \frac{0.05}{1} + \frac{0.05}{2.5} + \frac{0.9}{1} \Rightarrow \frac{1}{s} = \frac{1}{1.03}$$

$$s = 1.03 \text{ g/cm}^3$$

Diğer çözüm

$$\sum W = 100 \text{ g}$$

$$\sum V = 97 \text{ g}$$

$$s = \frac{W}{V} = \frac{100}{97} = 1.03 \text{ g/cm}^3$$

	<i>Su</i>	<i>Yanıcı Maddeler</i>	<i>Sabit katılar</i>	<i>Toplam</i>
<i>W</i>	90	5	5	$\sum W = 100$
<i>V</i>	90	5	2	$\sum V = 97$

TABLO Anaerobik ve aerobik çamur çürütme proseslerinin karşılaştırılması

• Anaerobik

–Avantajları

- 1) Metan gazı üretilir.
- 2) Çamur stabilizasyonu etkilidir.
- 3) İşletme maliyeti düşüktür
- 4) Beslemeden uzun süre aktif kalabilir.

–Dezavantajları

- 1) Poses yavaştır. Devreye alınması uzun sürer
- 2) İşletilmesi zordur (besleme homojen ve sıcaklık sabit olmalı). Besleme 1-3 saat arayla kesikli olarak yapılır.
- 3) Çamurun mekanik olarak susuzlaştırılması zordur.
- 4) İlk yatırım maliyeti yüksektir.
- 5) Çamur üretimi düşük ($Y=0.05$), nütrient ihtiyacı azdır ($KOİ/N/P=350/5/1$).

• Aerobik

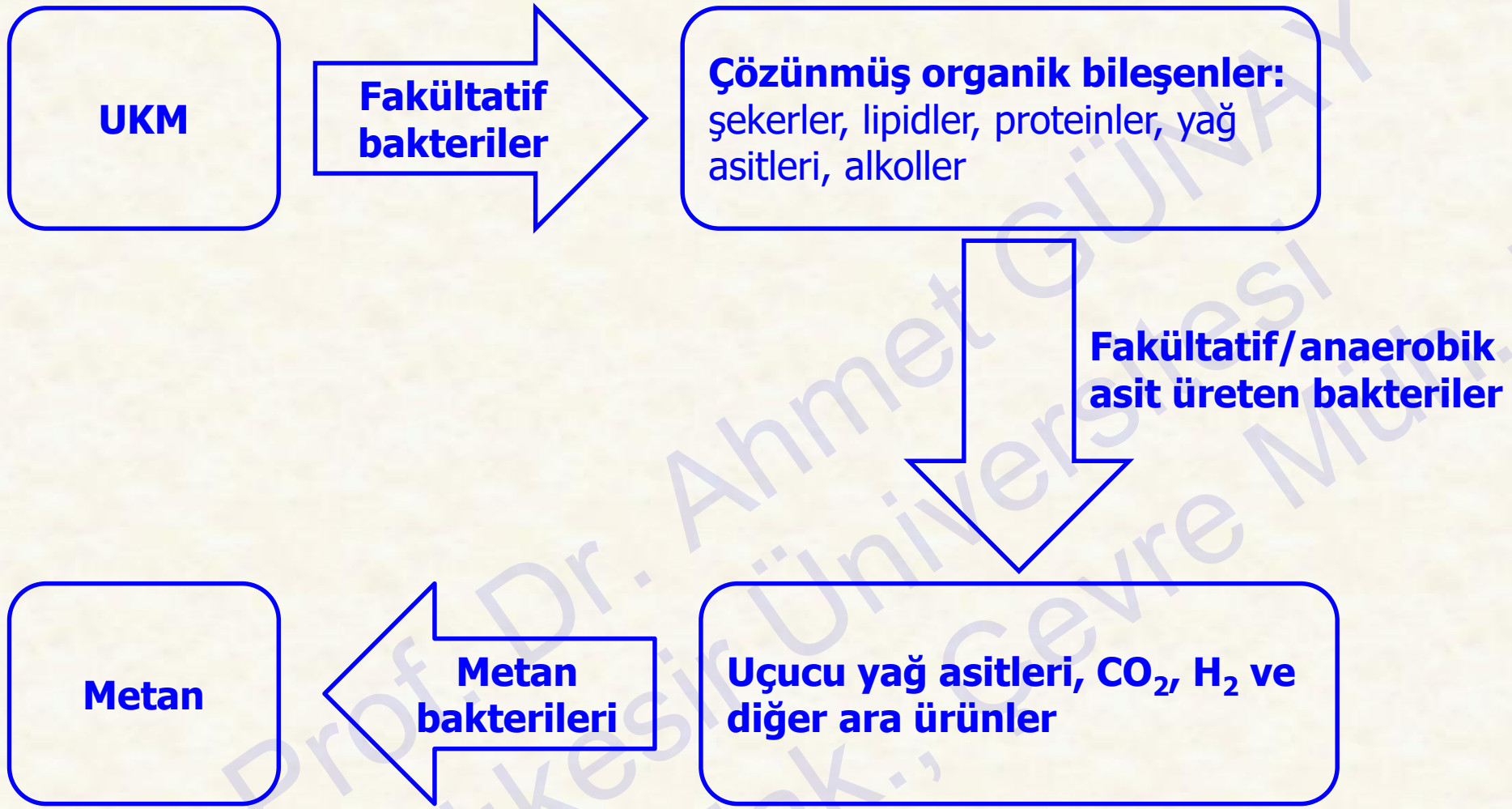
–Avantajları

- 1) Biyolojik çamurlar daha etkili şekilde stabil hale gelir.
- 2) Çamurun susuzlaştırılması kolaydır.
- 3) İnşaat maliyeti düşüktür.

–Dezavantajları

- 1) İşletme maliyeti yüksektir.
- 2) Biyogaz açığa çıkmaz
- 3) Çamur üretimi ($Y=0.5$) ve nütrient ihtiyacı fazladır ($KOİ/N/P=200/5/1$).





ŞEKİL: Arıtma çamurlarının basitleştirilmiş anaerobik stabilizasyon şeması

Kaynak: Lue-Hing, Cecil ve diğ. (Ed), (1998), Municipal Sewage Sludge Management : A Reference Text On Processing, Utilization, and Disposal Water Quality Management Library; V. 4, Taylor & Francis Routledge, Technomic Publishing Company, Inc. 851 New Holland Avenue, Box 3535 Lancaster, PA 17604, U.S.A., P280



ANAEROBİK ÇAMUR STABİLİZASYONU

Atıksu debisi **20 000 m³/gün**'den büyük olan atıksu arıtma tesislerinde anaerobik stabilizasyon prosesleri yaygındır.

Anaerobik çamur stabilizasyonunu etkileyen çevresel faktörler;

- Çamur yaşı=Hidrolik bekletme süresi,
- Sıcaklık,
- pH,
- Alkalinite,
- Toksik bileşenler,
- UYA

Şeklindedir.



ÖRNEK: UKM giderimi

Ham çamurda UKM oranı **%73'ten** anaerobik çürütücüde çürüme sonrası **%55'e** düştüğü zaman UKM giderme verimi ne kadar olur?

$$(i) \%UKM \text{ giderimi} = \frac{\%UKM_0 - \%UKM_e}{\%UKM_0 - (\%UKM_0 \times \%UKM_e)} = \frac{0,73 - 0,55}{0,73 - (0,73 \times 0,55)} = \%54,80$$

(ii) Farklı bir yöntemle;

Ham çamur (%73UKM)

73 kg UKM

27 kg SKM

100 kg TKM

Çürümüş Çamur (%55UKM)

55 kg UKM $\rightarrow = 27 \times 55 / 45 = 33,00 \text{ kg UKM}$

45 kg SKM $\rightarrow 27,00 \text{ kg SKM}$

100 kg TKM **60,00 kg TKM**

$$\left(\begin{array}{l} \frac{55_{UKM}}{45_{SKM}} = \frac{\chi_{UKM}}{27_{SKM}} \\ \chi_{UKM} = 33 \end{array} \right)$$

$$\left(\frac{33}{27 + 33} = \frac{33}{60} = \%55 \right)$$

Ham ve çürümüş çamurda SKM aynı kalmalıdır. Ancak, çürüme sonunda çamurun UKM oranı değişecektir. **73 kg UKM 33 kg UKM'ye** düşecektir. Buna göre verim;

$$\%UKM \text{ giderimi} = \frac{73 - 33}{73} = \%54,80$$

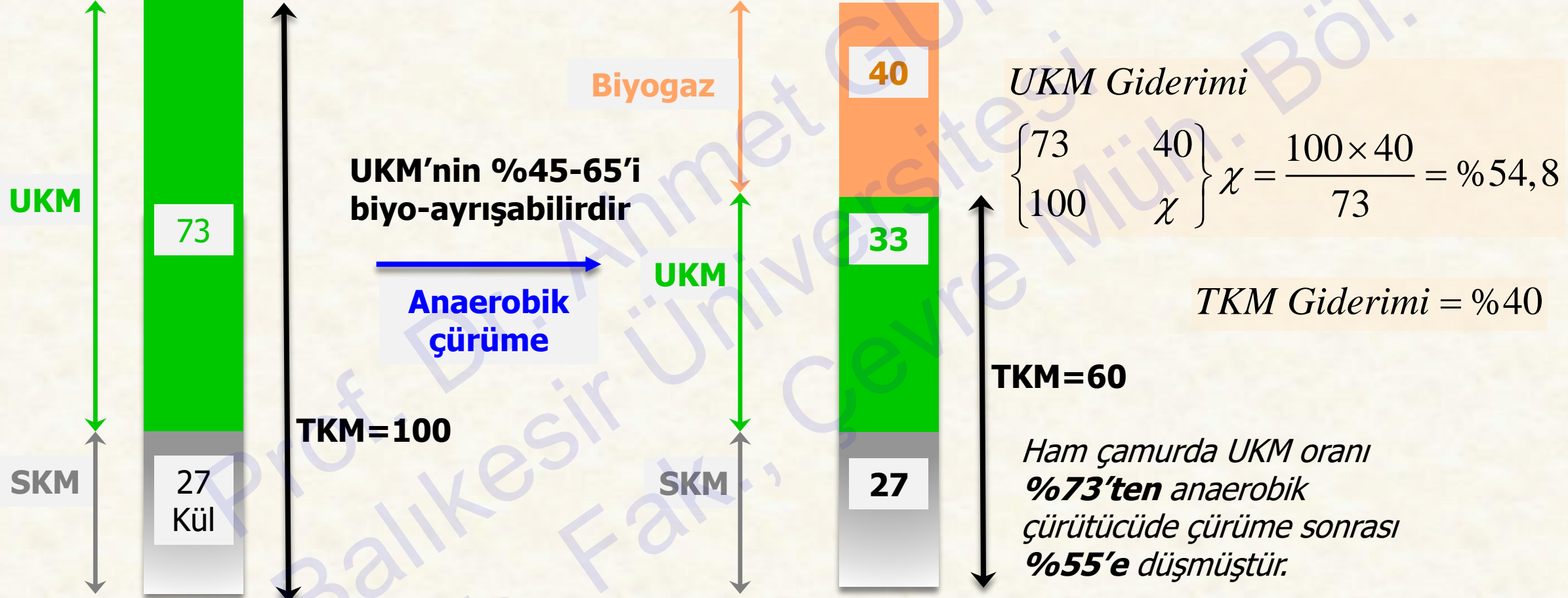
TKM giderme verimi % kaç gerçekleşmiştir?



(iii) **Şekil çizerek:**

Ham çamur $\frac{UKM}{TKM} = \frac{73}{100} = \%73$

Çürümüş çamur $\frac{UKM}{TKM} = \frac{33}{27 + 33} = \%55$



Anaerobik çürütücülerde UKM giderme verimi %40-60 (50) mertebesinde.

REAKTÖR PERFORMANSI

Anaerobik çamur stabilizasyon reaktörünün performansı izlemek için tek parametre yoktur. Reaktörün işletilmesinde aşağıdaki parametreleri izlemek gerekir.

- **Besleme çamuru:** TKM, UKM, pH, alkalinite, sıcaklık,
- **Reaktör muhtevası:** TKM, UKM, UYA, alkalinite, sıcaklık,
- **Çürümüş çamur:** reaktör muhtevası ile aynı,
- **Biyogaz:** Biyogaz debisi, biyogazın CH₄ oranı (metan yüzdesi), CO₂ oranı, H₂S
- **Isıtma suyu:** TÇM (TDS), pH
- **Süpernatant:** pH, BOİ, KOİ, TKM, TKN, NH₃-N, TP, Ca, Mg

Biyogaz debisindeki azalma ve/veya CH₄ oranının düşmesi ve dolayısıyla CO₂ oranının artması, reaktör içerisinde UYA konsantrasyonunun artması, alkalinite ve pH'ın düşmesi ile sonuçlanır ve karışık mikrobiyal kültürlerin dengesi bozulur.

Prosesin stabilitesi, sıcaklığın, organik yükün, besleme çamuru kompozisyonunun ve toksik yükün ani değişmesi ile bozulabilir. Bu durumda reaktörün beslenmesi geçici olarak durdurulur.

TABLO: UYA/Alkalinite oranı reaktör performansı ilişkisi

UYA/Alkalinite oranı	Gösterge
<0,3	Anaerobik çürütücü reaktörün performansı iyidir.
0,3-0,5	Reaktörün dengesi bozulmuştur.
>0,8	Reaktör muhtevası asidik karakterdedir ve prosesin durması yakındır.



TABLO: Anaerobik çürütücülerde yaygın olarak bulunan uçucu yağ asitleri (UYA), karboksilik asitler

Common Name	Formula
Formic acid	HCOOH
Acetic acid	CH ₃ COOH
Propionic acid	CH ₃ CH ₂ COOH
Butyric acid	CH ₃ CH ₂ CH ₂ COOH
Valeric acid	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₂ COOH
Isovaleric acid	(CH ₃) ₂ CHCH ₂ COOH
Caproic acid	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₂ COOH



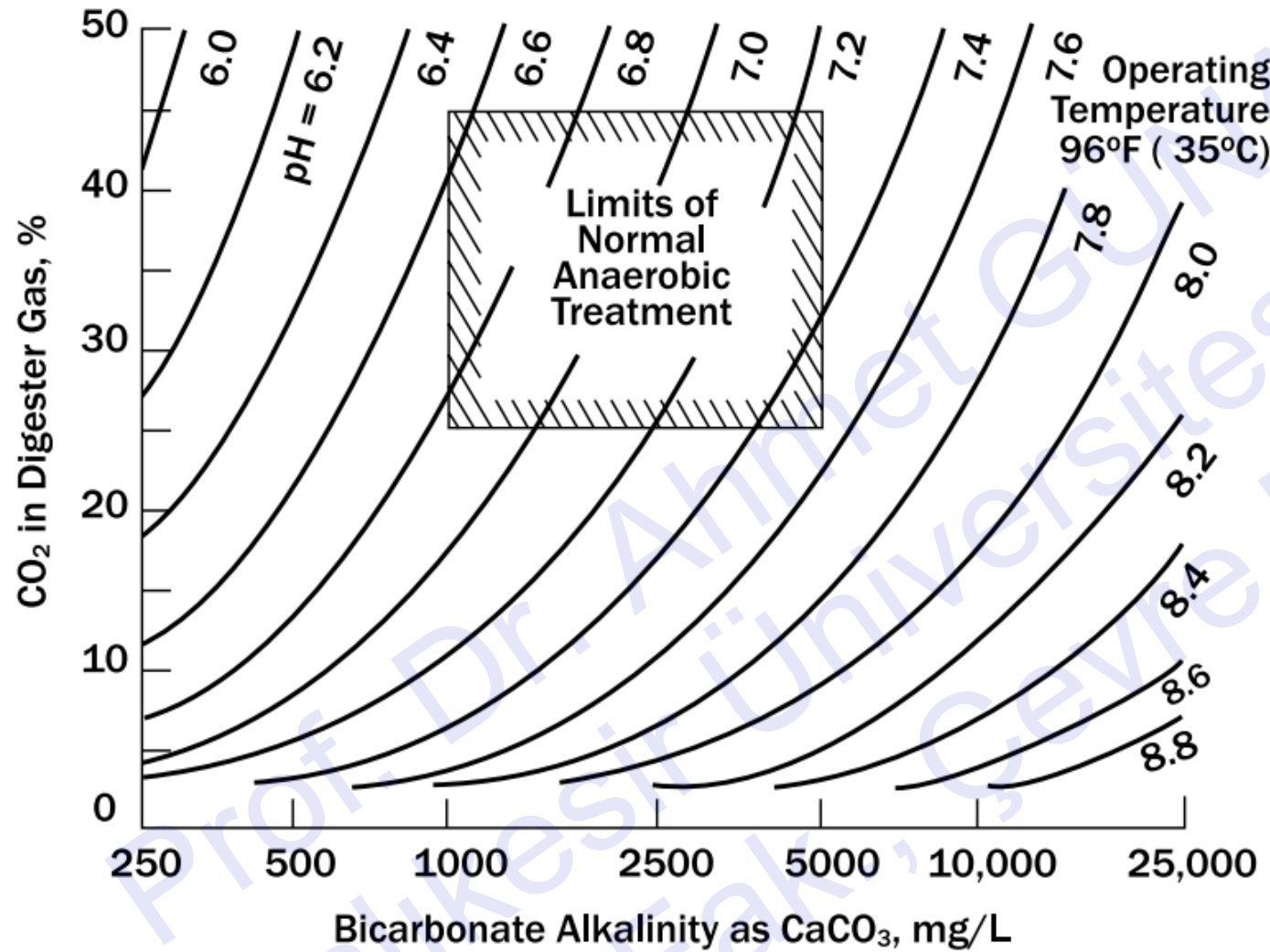
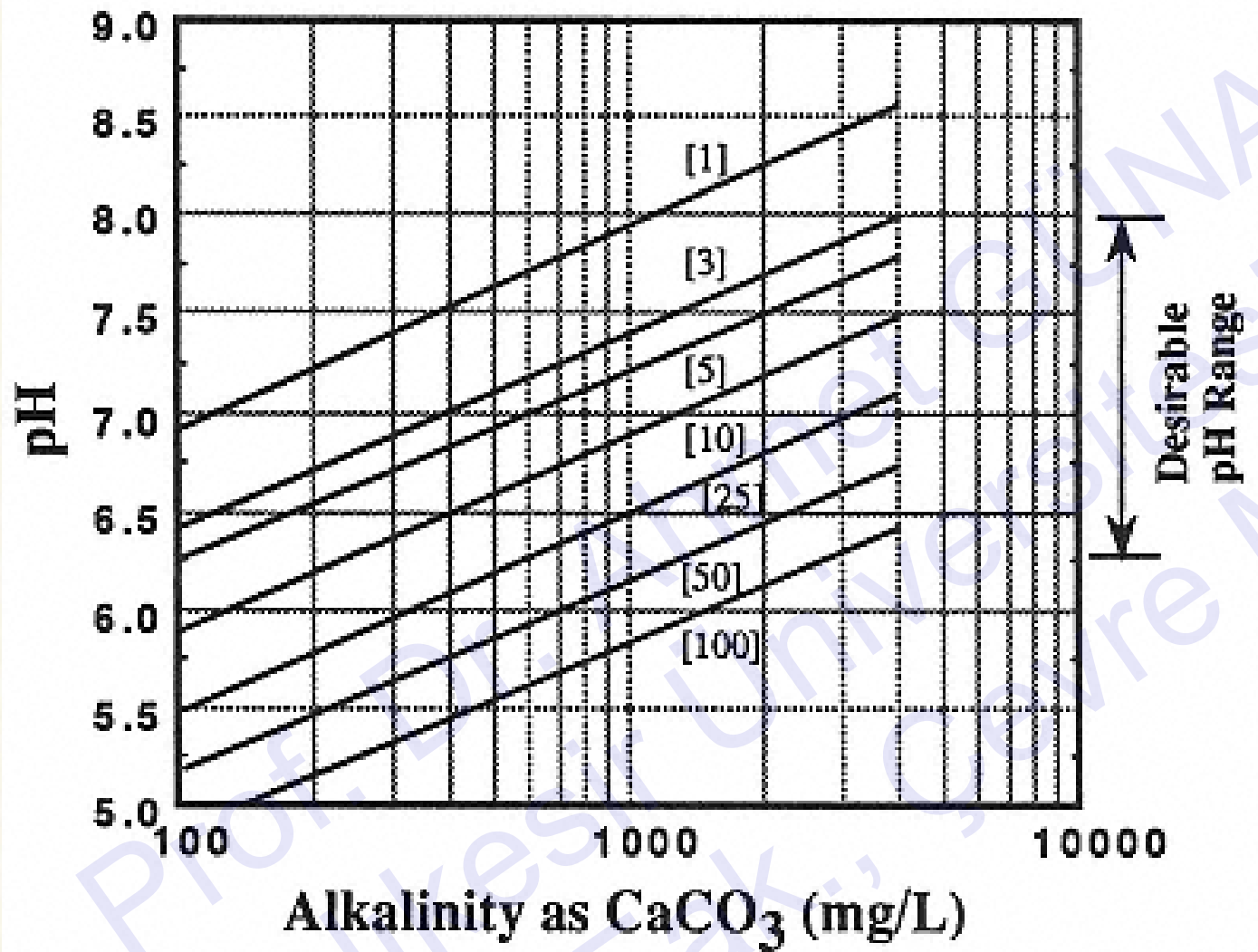


Figure 5.4 Relationship between pH and bicarbonate concentration at 35°C. (From U.S. EPA, 1979.)



Relationship among carbon dioxide in the gas, pH, and bicarbonate alkalinity.

Note: Number in [] is the per cent CO₂ in the headspace gas in an anaerobic digestion tank

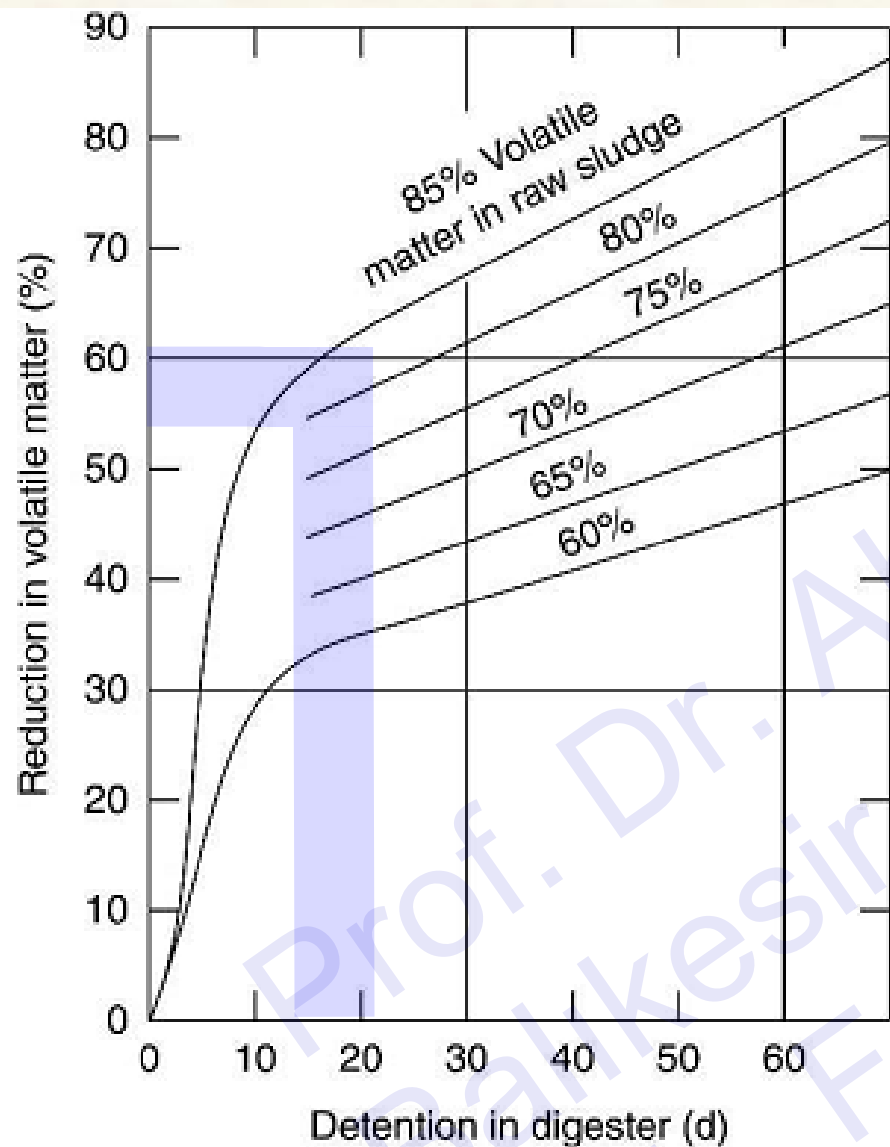


Fig. 14.7. Reduction in VS in raw sludge (19).

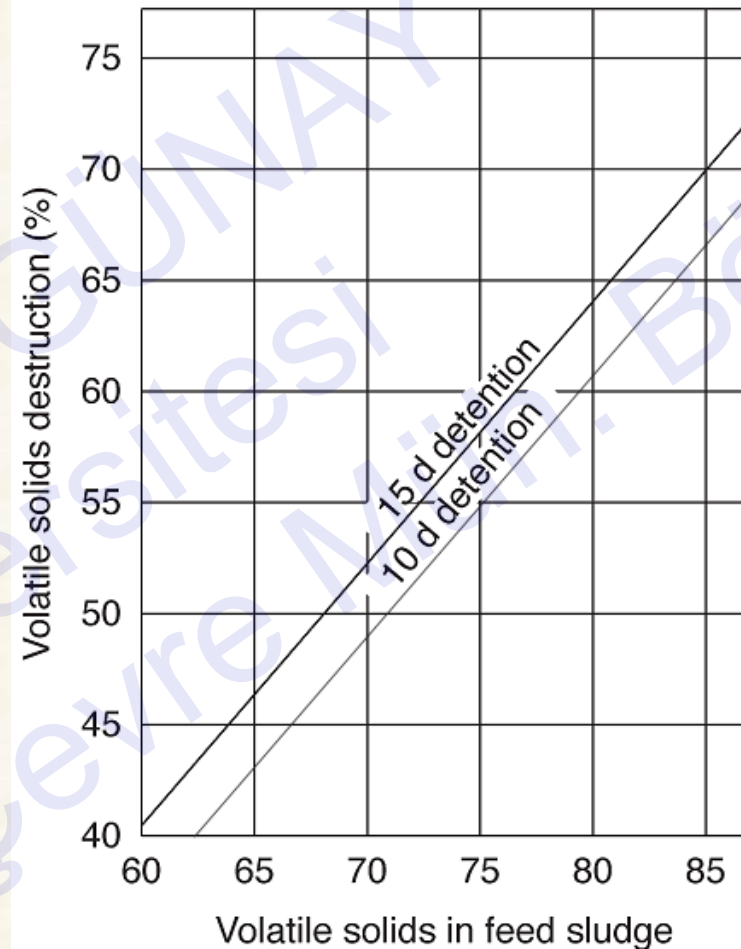
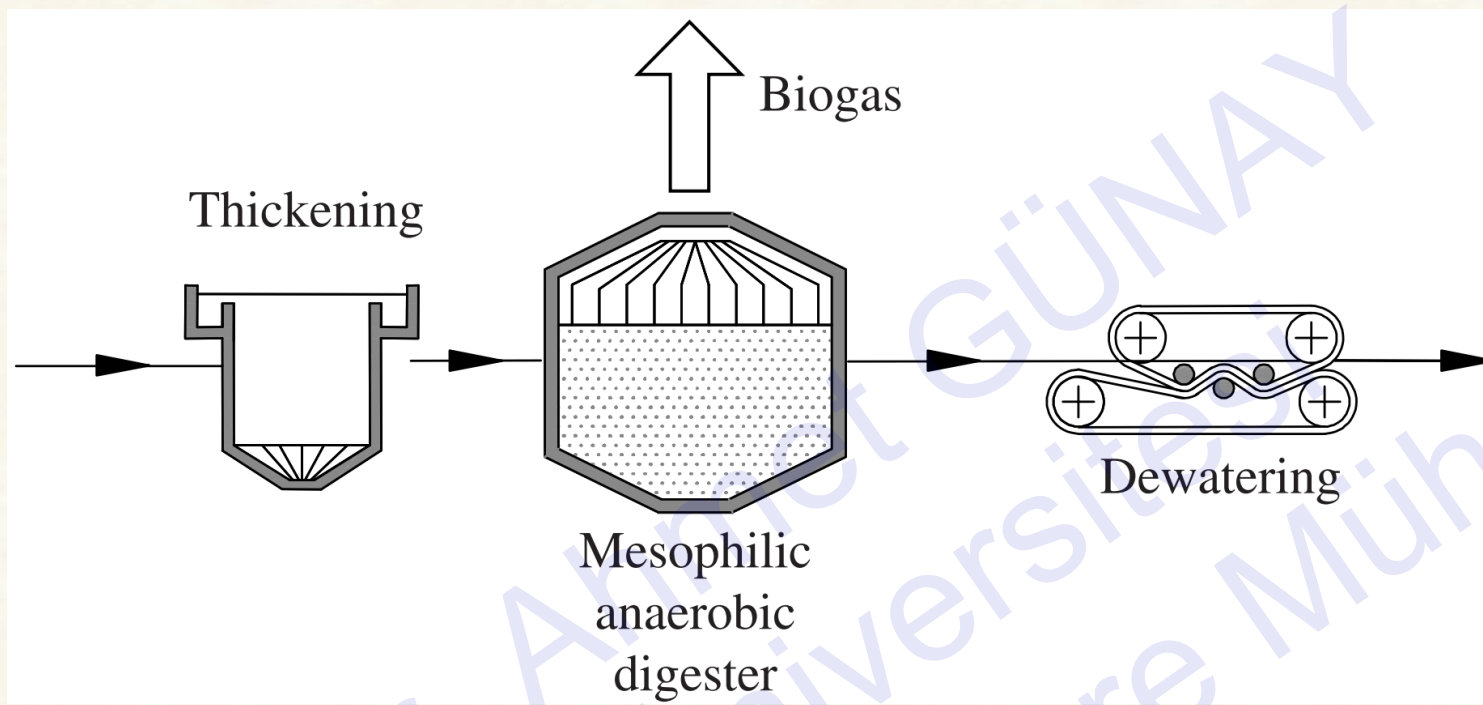


Fig. Expected volatile solids destruction during high-rate digestion.

Biological Treatment Processes Nazih K. Shamas, Lawrence K. Wang, p 597



Avantajları	Dezavantajları
Tam ölçekte uygulanabilir.	Aerobik procesten daha komplekstir.
Aerobik ayrışmaya göre daha yüksek organik madde stablizasyonu	Küçük ölçekli tesisler için fizibil değildir.
Biyogaz ve enerji üretimi	KOİ ve TKN yüksek olan süpernatant tesisin başına verilir.
	Köpük oluşumu

ŞEKİL Anaerobik çamur çürütme (Kaynak: Paola Foladori, Gianni Andreottola, Giuliano Zigli, Sludge Reduction Technologies in Wastewater Treatment Plants)



TASARIM

Anaerobik çamur çürütücü tasarımı



TABLO: Yüksek hızlı mezofilik anaerobik çamur stabilizasyon prosesinin tasarım kriterleri

Parametre	Birimi	Değer
<i>Hacim kriteri</i>		
Primer çamur	m ³ /kişi	0,03-0,06
Primer çamur+damlatmalı filtre çamuru	m ³ /kişi	0,07-0,09
Primer çamur+aktif çamur	m ³ /kişi	0,07-0,11
Uçucu katı madde (UKM) yükü	kg UKM/m³-gün	1,6-4,8
Çamur yaşı	gün	15-20
<i>Çamur konsantrasyonu</i>		
Primer çamur+aktif çamur	%	4-7
Stabilize olmuş çamur	%	4-7

TABLO Anaerobik çamur çürütücülerin tipik tasarım parametreleri

Parametre	Birimi	Tipik değer
HBS-çamur yaşı ($\theta_h = \theta_c$)	gün	15-20
Hacimsel organik yük	kg UKM/m³-gün	0,8-1,6
TKM yükü,	kg TKM/m ³ -gün	1-2
Giriş çamur TKM muhtevası	%	3-8 (4-5)
Ham çamurda UKM/TKM	%	70-80
Çürümüş çamurda UKM/TKM	%	50
TKM giderme verimi	%	30-35
UKM giderme verimi	%	40-55 (50)
Çürümüş çamur TKM üretimi	g /kişi-gün	38-50
Biyogaz üretimi	m ³ /kg UKM _{gid.}	0,8-1,1
Biyogaz üretimi	L/kişi-gün	20-30
CH ₄	%	55-70
Biyogazın kalorifik değer	MJ/m ³	23,3
Ham çamurun ısı değeri	MJ/kgTKM	15-25
Çürümüş çamurun ısı değeri	MJ/kgTKM	8-15

*Atıksularda bulunan organik maddeleri karakterize eden en temel atıksu kalite parametresi **KOI**'dir.*

*TKM muhtevası yüksek olan arıtma çamurları, büyükbaş-küçükbaş-kümes hayvan atıkları ve %50 nem muhtevasında işletilen katı anaerobik çürütücüler için organik maddeler **UKM** ile edilir.*



TABLO Yüksek hızlı tam karışımli reaktörlerde minimum ve tavsiye edilen çamur yaşları

İşletme sıcaklığı (°C)	Kritik çamur yaşı, θ_c (gün)	Dizayn için min. çamur yaşı (θ_c^m , gün)
18	11	28
24	8	20
30	6	14
35	4	10
40	4	10

Anaerobik çamur stabilizasyonunda UKM giderimi çamur yaşına ve sıcaklığa bağlıdır.

$$UKM_{giderimi} = 13,7 \times \ln \theta_c + 18,9$$

θ_c : çamur yaşı

TABLO Çamur UKM muhtevasının hidrolik bekletme süresine ve UKM yükleme hızına etkisi (çamurun UKM muhtevası %75 ve yoğunluğu 1,02 g/cm³)

Çamurun UKM muhtevası, %	UKM yükleme faktörü (kg UKM/m ³ -gün)			
	$\theta=10$ gün	$\theta=12$ gün	$\theta=15$ gün	$\theta=20$ gün
4	3,06	2,55	2,04	1,53
5	3,83	3,19	2,55	1,91
6	4,59	3,83	3,06	2,30
7	5,36	4,46	3,57	2,68
8	6,12	5,10	4,08	3,06
9	6,89	5,74	4,59	3,44
10	7,65	6,38	5,10	3,83

ÖRNEK

TKM muhtevası **%3,6** (36 000 mg/l) olan çamurların UKM muhtevası **%68**'dir. Çamur debisi **235 m³/gün** için reaktöre beslenen günlük UKM yükünü hesaplayınız.

$$\begin{aligned} \text{kg UKM / gün} &= (\text{TKM kg / m}^3) \times Q \times (\% \text{UKM oranı}) \\ &= 3,6 \text{ kg / m}^3 \times 235 \text{ m}^3 / \text{gün} \times 0,68 \\ &= \mathbf{575,3 \text{ kg / gün}} \end{aligned}$$



Anaerobik Çürütücüler

Anaerobik çürütücülerde organik yükün düşük olması durumunda çürütücülerin hacmi artar, dolayısıyla, yatırım ve işletme maliyetleri de artar. Çürütücüye beslenen atık çamurun seyreltik olması durumunda HBS süresi azalır, UKM stabilizasyon verimi düşer, metan üretimi azalır ve ısıtma için enerji ihtiyacı artar.

Aritma çamurlarının anaerobik çürütülmesinde hız kısıtlayıcı safha genellikle hidroliz safhasıdır.

Anaerobik çürütücülerin asgari derinliği 6 m civarında iken, çapları 38 m'ye kadar çıkabilir.

Katı madde muhtevası yüksek olan hayvan atıkları ve arıtma çamurları gibi atıklar için anaerobik çürütücüler uygun olur.

- Anaerobik çürütücüler genellikle tam karışimli geri devirsiz reaktör olarak tasarlanır ve hidrolik bekletme süresi ile çamur yaşı birbirine eşittir. ($\theta_h = \theta_c$)
- **Katı madde muhtevası yüksek olan atıkların anaerobik stabilizasyonunda tasarım parametresi UKM'dir. Çürütücü UKM yüküne göre tasarlanır.**
- Anaerobik çürütücülerin **hidrolik bekletme süresi-çamur yaşı** uzun tutulur.

Anaerobik çürütücülerde metan üretimi;

- L CH₄ / kg biyokütle
- L CH₄ / kg UKM_{beslenen}
- L CH₄ / kg UKM_{giderilen}
- L CH₄ / kg m³/1000 kişi



TABLO Arıtma çamurlarının anaerobik stabilizasyonunda maksimum metan üretimi için çevresel ve işletme şartları (Kaynak: **Municipal sewage sludge management: a reference text on processing**, P283, Cecil Lue-Hing)

	Optimum	Ekstrem
pH	6,8-7,4	6,4-7,8
ORP, mV	-520 -530	< - 490; > - 550
UYA, mg/l Hac	50-500	>2000
Alkalinite, mg/l CaCO₃	1500-3000	<1000; >5000
Sıcaklık		
<i>Mezofilik, °C</i>	30-35	<20; >40
<i>Termofilik, °C</i>	50-56	<45; >60
HRT, θ_h, gün	10-15	<7; >30
%CH₄	65-70	<60; >75

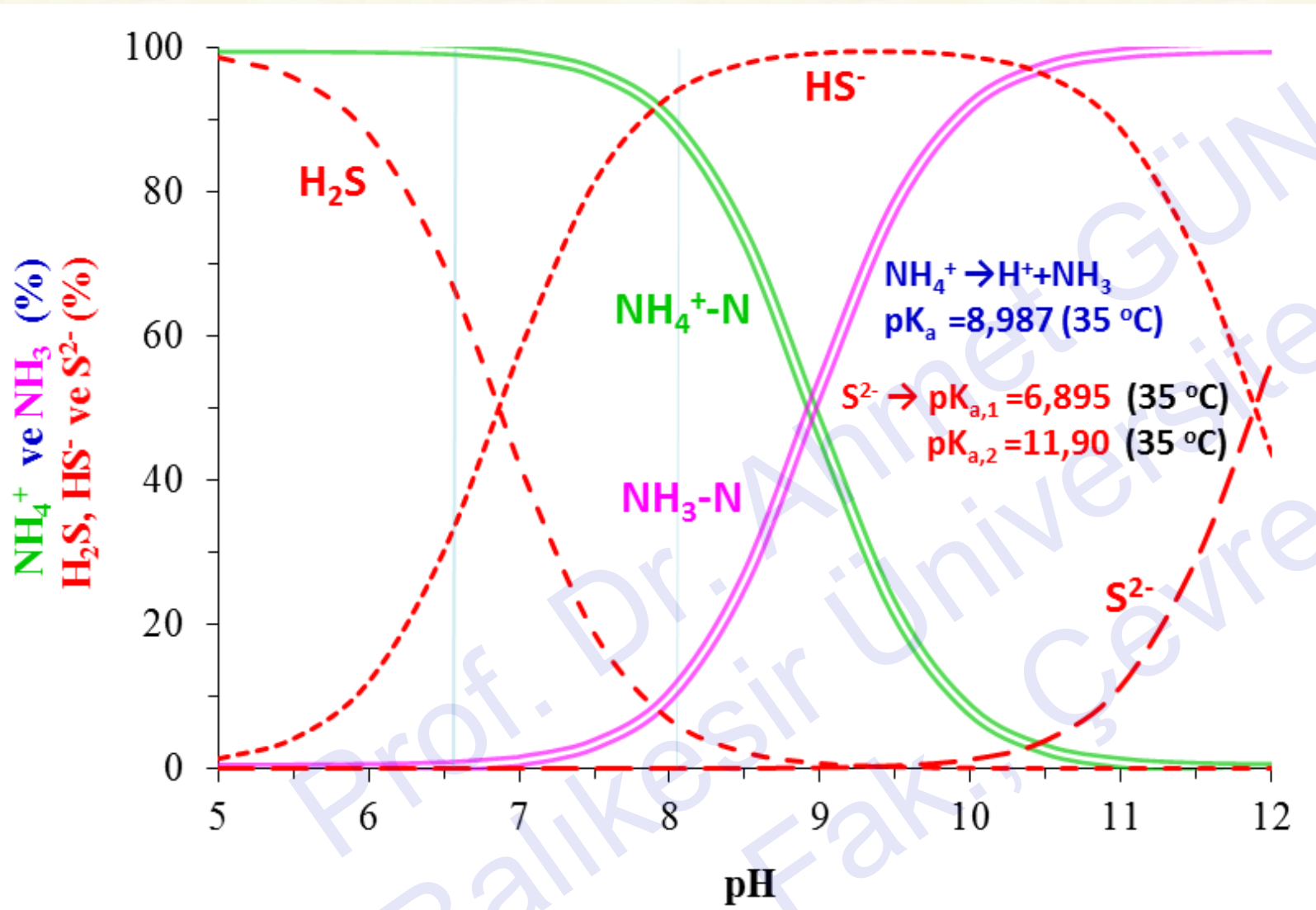


TABLO Anaerobik çürütücülerin işletilmesinde önemli hususlar

Kumar, S., Anaerobic biotechnology for bioenergy production, principles and applications, p106

İşletme parametresi	Değerlendirme
Aşı çamuru	Anaerobik çürümüş çamur ya da benzer atıkları arıtan biyokütle
Devreye alma	UKM yükü ilk 20 güne kadar tasarım yükünün %20'si kadar olmalı, İşletmenin 30.-40. gününe kadar tedrici olarak artırılmalıdır. <ul style="list-style-type: none">■ Reaktör aşılırsa devreye alma süresi 30-40 gündür.■ Reaktöre aşılalmazsa devreye alma süresi 60-90 gün sürebilir.
Önemli izleme parametreleri	pH, alkalinite, UYA, biyogaz üretimi
HBS-çamur yaşı ($\theta_h = \theta_c$)	<ul style="list-style-type: none">■ Yüksek hızlı çürütücülerde 12-30 gün (12-15 gün),■ Düşük hızlı çürütücülerde 30-60 gün
Alkalinite	1500-3000 mg/l CaCO ₃
UYA/Alkalinite	0,1-0,2
UKM yükleme hızı	1,6-4,8 kg/m ³ -gün





ŞEKİL Sülfür (-2 değerlikli kükürt) bileşenlerinin NH₃-N'nun pH ile değişimi

Anaerobik proseslerde optimum **pH 6,5-8 (7,0-7,5)** mertebesinde dir.

Koku problemi olan anaerobik çürütücülerde işletme pH'ını 8'e yaklaştırarak, işletme esnasında ortaya çıkan koku azaltılabilir.

pH 8'e kadar NH₃-N'nun %90'ı iyonlaşmış (NH₄⁺) formdadır.

Yüksek NH₃-N içeren atıksularda NH₃-N'nun iyonlaşmamış formu olan NH₃ toksik iken, iyonlaşmış formu NH₄⁺ daha az toksiktir.

pH 7,5'te H₂S fraksiyonu %19 iken pH 8'de %7'dir.

pH 8'e yaklaştıkça sülfürün kokuya sebep olan H₂S fraksiyonu da azalır.

Çürütücü pH'ı 7,5-7,8 arasında olursa koku azalır.

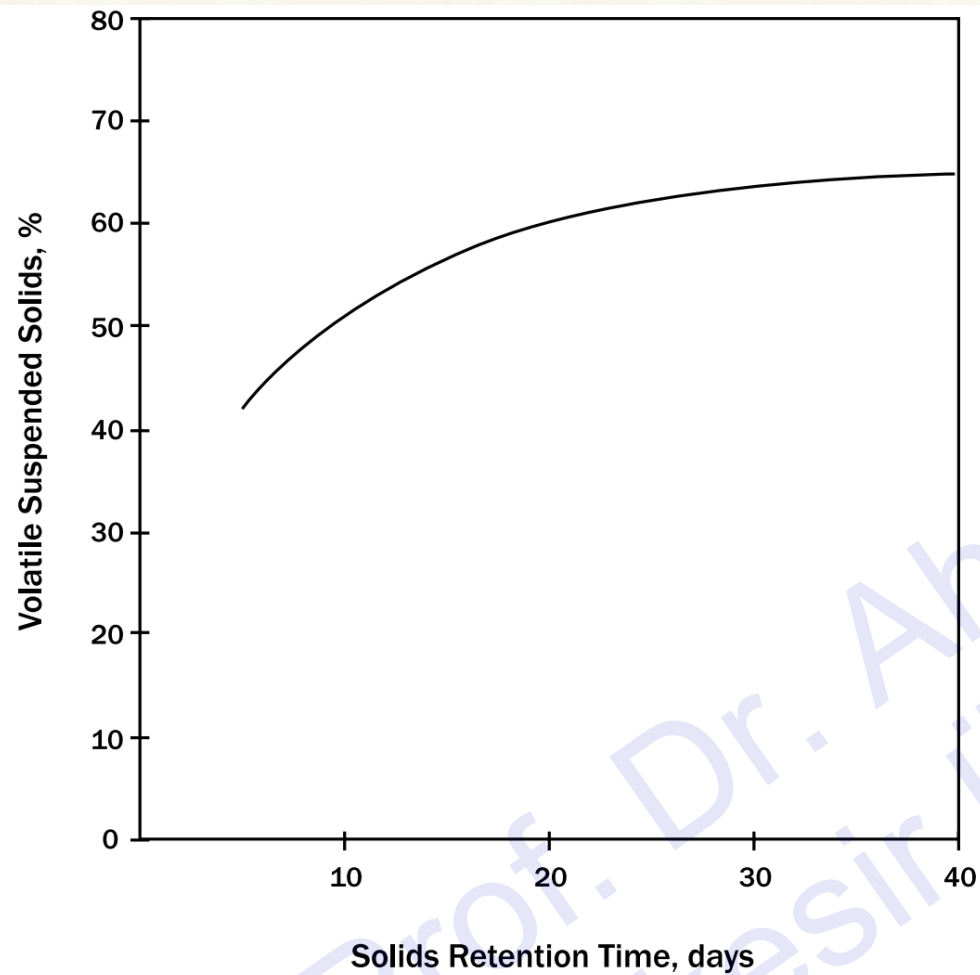
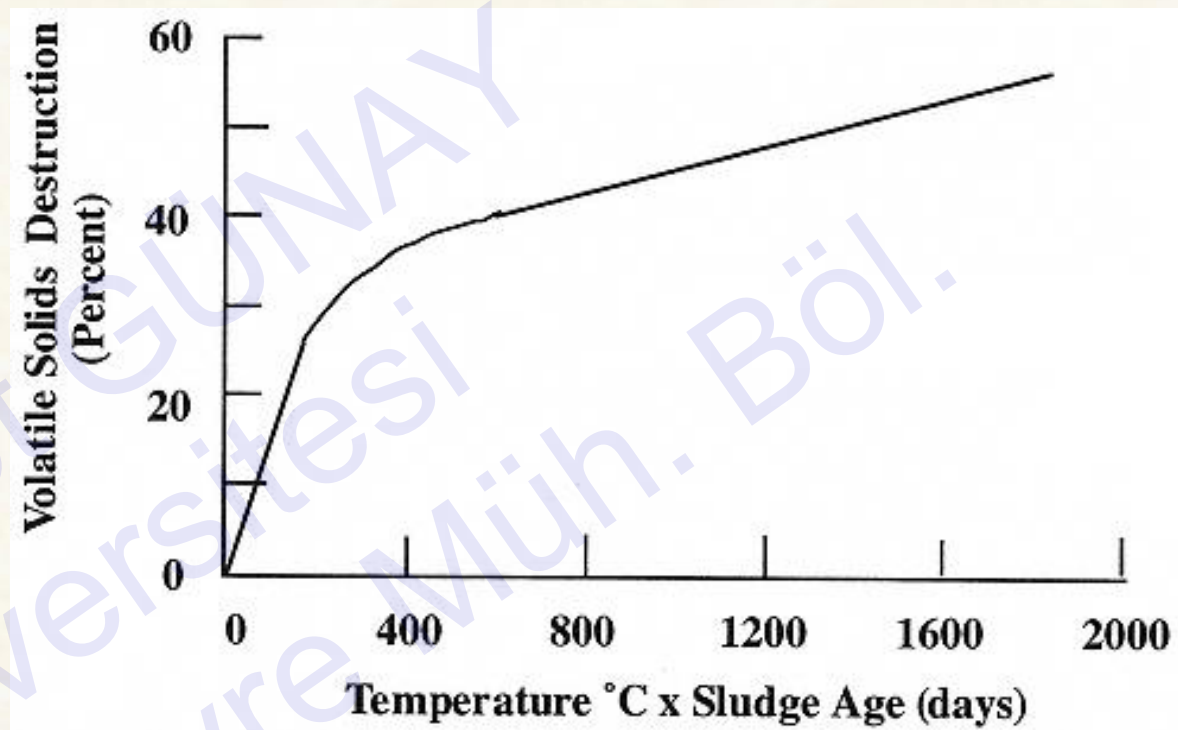


Figure 5.9 Volatile solids reduction as function of solids retention time.

Kaynak: IZRAIL S. TUROVSKIY, P. K. MATHAI, (2006), Wastewater Sludge Processing, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, p201



ŞEKİL: Reaktörün işletme sıcaklığı × çamur yaşı (HBS) ile UKM giderimi ilişkisi

Kaynak: Lue-Hing, Cecil ve diğ. (Ed), (1998), Municipal Sewage Sludge Management : A Reference Text On Processing, Utilization, and Disposal Water Quality Management Library; V. 4, Taylor & Francis Routledge, Technomic Publishing Company, Inc. 851 New Holland Avenue, Box 3535 Lancaster, PA 17604, U.S.A., P260

Anaerobik çürütücülerin izlenmesinde ve kontrol edilmesinde (çürütücü performansında) aşağıdaki parametreler izlenir;

- UYA/Alkalinite oranı,
- Gaz üretimi ve kompozisyonu,
- pH,
- UKM yükü ve UKM giderimi

Çürütücülerin kapasitesi-ilk yatırım maliyeti ilişkisi;

Çürütücülerin debisi ile ilk yatırım maliyetleri (kazi, proses hatları, elektrik-mekanik işleri, ısı yalıtımı, beton, demir) arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir.

$$M = a \times Q^b$$

M: İlk yatırım maliyeti, USD

Q: Çürütücünün debisi (milyon litre/gün)

a ve b sabitlerdir.

Tesis kapasitesi arttıkça ilk yatırım maliyeti de artmakla birlikte, yüksek kapasitelerde tesis kapasitesi %30 arttığında maliyet artışı hacimdeki artış oranının gerisinde kalmaktadır.



TABLO Geri devirli ve devirsiz tam karışimli reaktörlerde kararlı halde tasarım eşitlikleri

Eşitlik	Çamur geri devirsiz	Çamur geri devirli
Verim	$E = \frac{100(S_0 - S_e)}{S_0}$	$E = \frac{100(S_0 - S_e)}{S_0}$
Çıkış kons.	$S_i = \frac{UK_S}{k - U}$	$S_i = \frac{UK_S}{k - U}$
Mikroorganizma kons.	$\chi = \frac{Y(S_0 - S_e)}{1 + k_d\theta_c}$	$\chi = \frac{Y(S_0 - S_e)\theta_c}{1 + k_d\theta_c\theta}$
Fazla mikroorganizma üretimi	$A = \frac{YQ(S_e - S_e)}{1 + k_d\theta_c}$	$A = \frac{YQ(S_e - S_e)}{1 + k_d\theta_c}$
Hidrolik bekletme süresi (V/Q)	$\theta_c = \theta$	$\theta = \theta_c \left[1 + r - r \left(\frac{\chi_r}{\chi} \right) \right]$
Çamur yaşı, genel	$\frac{1}{\theta_c} = \frac{YkS_0}{K_S + S_0} - k_d$	$\frac{1}{\theta_c} = \frac{YkS_0}{K_S + S_0} - k_d$
Çamur yaşı, $S_i \gg K_S$ ise	$\frac{1}{\theta_c^m} = Yk - k_d$	$\frac{1}{\theta_c^m} = Yk - k_d$

Notasyon;

k: maksimum sübstrat giderme hızı

k_d: içsel solunum katsayısı (gün⁻¹)

K_s : yarı doygunluk sabiti (mg/l)

Q_r : geri devir çamur debisi (m³/gün)

Q : debi (m³/gün)

r : geri devir oranı (Q_r/Q)

S₀ : giriş substrat konsantrasyonu (mg/l)

S_e: Reaktör çıkışı substrat konsantrasyonu (mg/l)

U : F/M oranı (Substarat/mikroorganizma)

χ : mikroorganizma konsantrasyonu (mg/l)

χ_r : geri devir çamurundaki mikroorganizma konsantrasyonu (mg/l)

Y: mikrobiyal dönüşüm oranı (mg/mg)

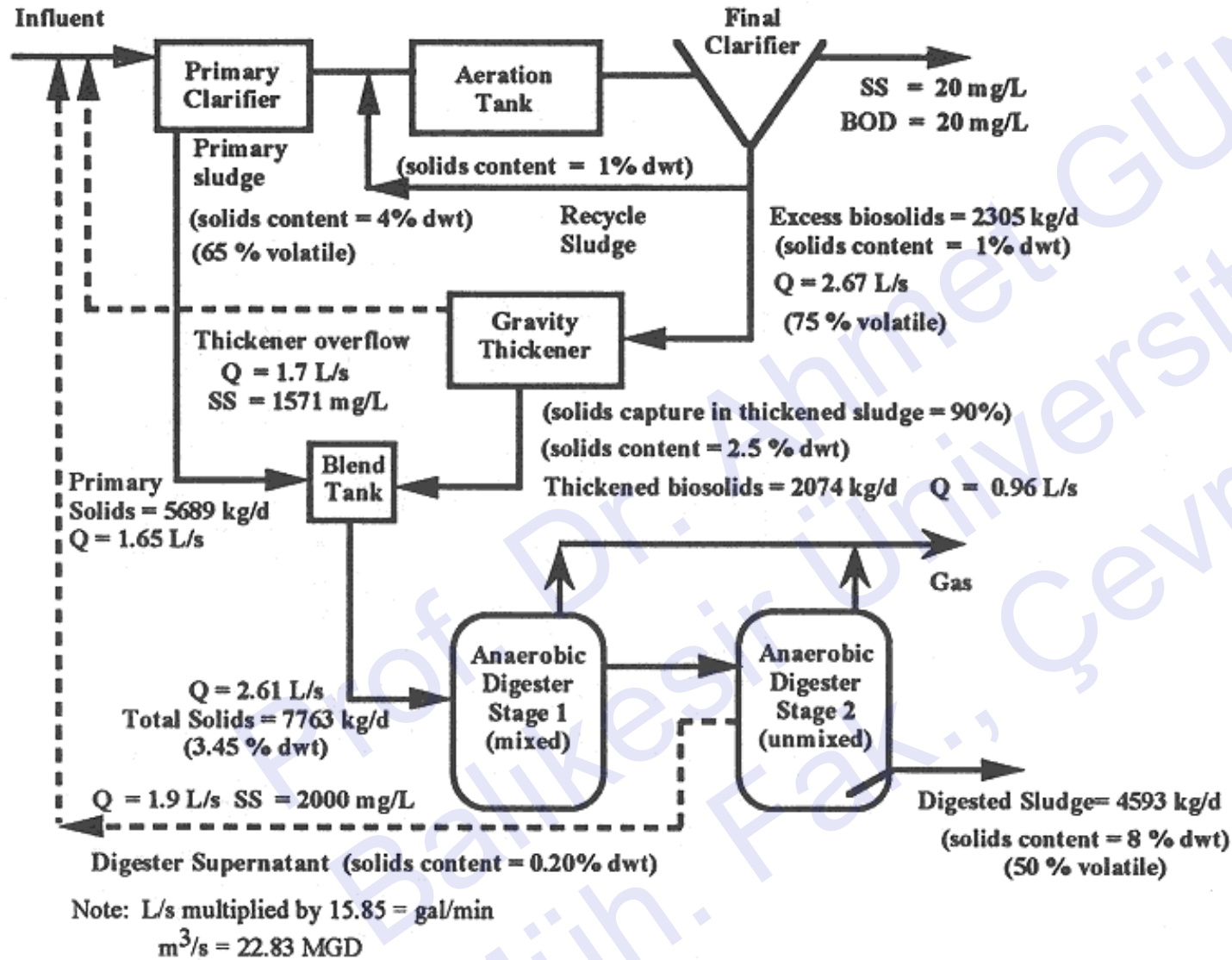
θ : hidrolik bekletme süresi (gün)

θ_c : çamur yaşı(gün)

θ_c^m : minimum çamur yaşı(gün)



$Q = 450 \text{ L/s (10.27 MGD)}$
 $SS = 200 \text{ mg/L}$
 $BOD = 180 \text{ mg/L}$



Kaynak: Lue-Hing, Cecil ve diğ. (Ed),
 (1998), Municipal Sewage Sludge
 Management : A Reference Text On
 Processing, Utilization, and Disposal
 Water Quality Management Library; V.
 4, Taylor & Francis Routledge,
 Technomic Publishing Company, Inc.
 851 New Holland Avenue, Box 3535
 Lancaster, PA 17604, U.S.A., P295



Figure. Solids mass balance anaerobic sludge digestion system.

ANAEROBİK REAKTÖRLERDE ENERJİ DENGESİ

Anaerobik bir proste enerji dengesi, reaktöre beslenen atıksuyun ısıtılması, ısı kayıpları ve biyogazdan üretilen enerji ile kurulur.

Isı ihtiyacı, H_r (kJ);

W: debi, kg/gün

C_p : 4,187 kJ / kg °C (ısı kapasitesi)

T_1 : Atıksu sıcaklığı

T_2 : Reaktörün işletme sıcaklığı

$$H_r (kJ) = W (kg) \cdot C_p [T_2 (°C) - T_1 (°C)] + H_{kayıp} (kJ)$$

Isı kayıpları, $H_{kayıp}$ (kJ);

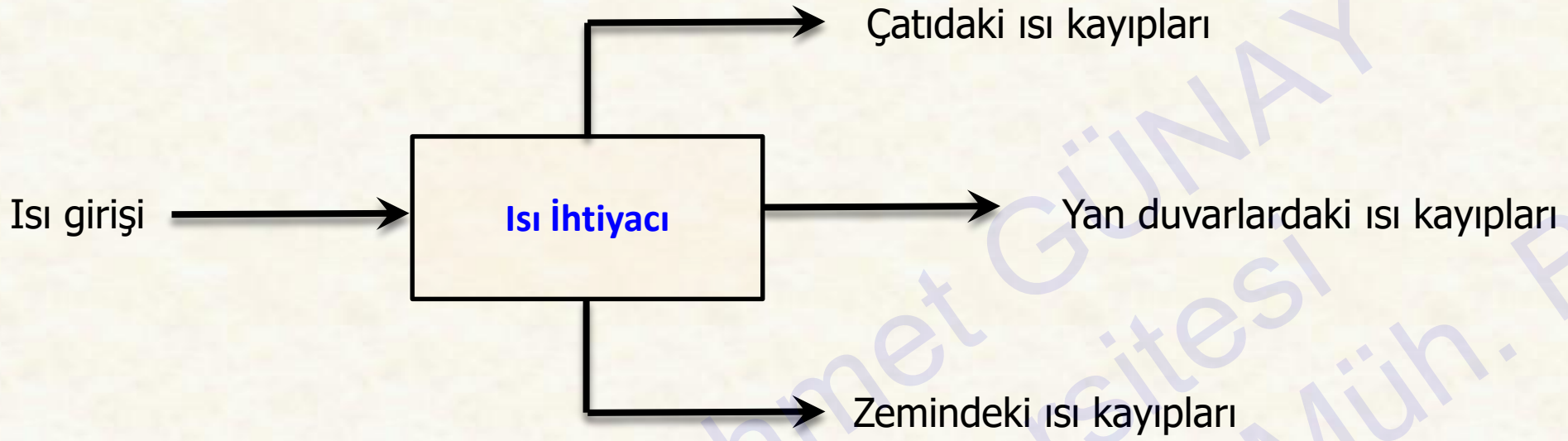
A: ısı transfer alanı, m²

T_1 : reaktörün dış yüzey sıcaklığı (dış ortam sıcaklığı)

T_2 : Reaktörün işletme sıcaklığı

U: ortalama ısı transfer katsayısı (ısı kayıp katsayısı)

$$H_{kayıp} (kJ) = U \cdot A \cdot [T_2 (°C) - T_1 (°C)]$$



ŞEKİL Reaktörlerdeki ısı dengesi

Isı kayıpları; çatıdan, yan duvarlardan ve reaktörün tabanından (zemininden) gerçekleşir.

$$\sum H_{kayıp} (kJ) = h_{çatı} + h_{yan\ duvar} + h_{zemin}$$

$$\sum H_{kayıp} (kJ) = \left[(UA)_{çatı} + (UA)_{yan\ duvar} + (UA)_{zemin} \right] \times \underbrace{[T_2(^{\circ}C) - T_1(^{\circ}C)]}_{\Delta T, (^{\circ}C)}$$

Table 12.2 Heat transfer coefficients for anaerobic digesters

Part of digester	$U, W/m^2 \cdot K$
Fixed concrete cover	
100 mm thick and covered with built-up roofing, no insulation	4.0–5.0
100 mm thick and covered, with 25 mm insulation	1.2–1.6
225 mm thick, no insulation	3.0–3.6
Fixed steel cover 6 mm thick	4.0–5.4
Floating cover	
35 mm wood deck, built-up roofing, no insulation	1.8–2.0
25 mm insulating board installed under roofing	0.9–1.0
Concrete floor	
300 mm thick in contact with dry soil	1.7
300 mm thick in contact with moist soil	2.85
Concrete walls above ground	
300 mm thick with insulation	0.6–0.8
300 mm thick without insulation	4.7–5.1
Concrete walls below ground	
Surrounded by dry soil	0.57–0.68
Surrounded by moist soil	1.1–1.4

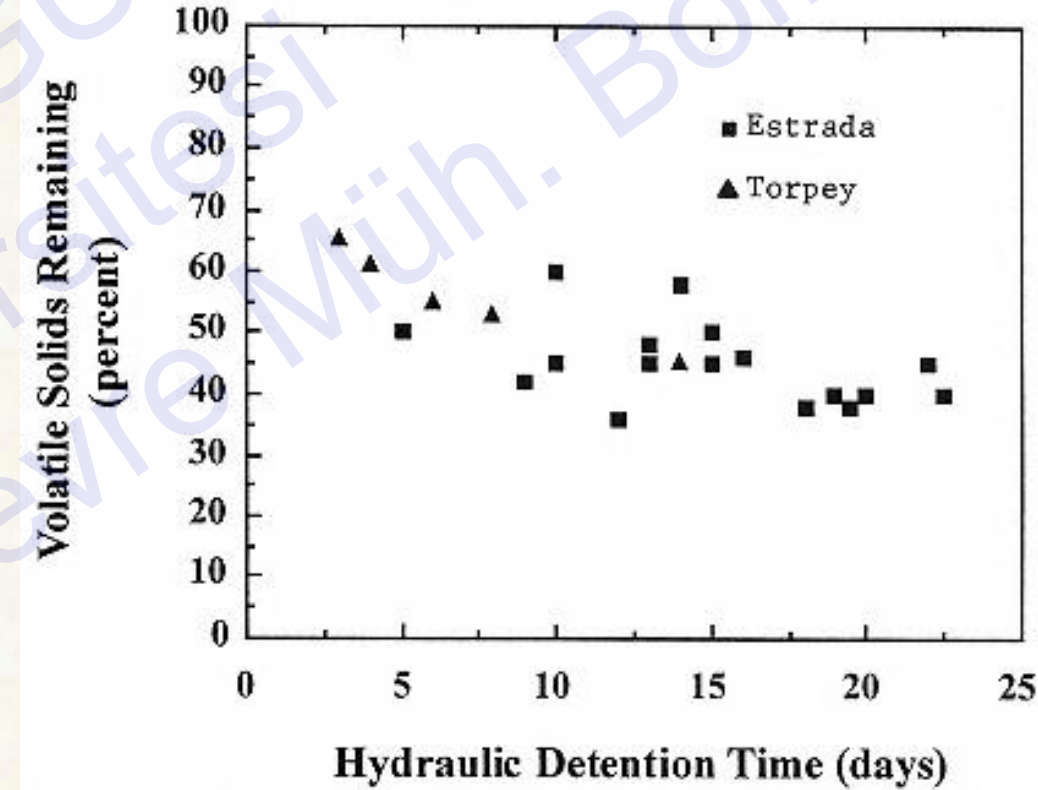
Source: Adapted from U.S. EPA (1979) and Metcalf and Eddy (2003).



TABLO Anaerobik çürütücülerde maksimum metan üretimi için optimum işletme parametreleri

İşletme parametresi	Optimum	Ekstrem
pH	6,8-7,4	6,4-7,8
ORP (mV)	-520 ~ -530	<490; >550
UYA (mg/l HAc)	50-500	>200
Alakalinite (mg/l CaCO ₃)	1500-3000	<1000; >5000
Sıcaklık		
Mezofilik (°C)	30-35	<20; >40
Termofilik (°C)	50-56	<45; >60
HBS=çamur yaşı (gün)	10-15	<7; >30
Gaz kompozisyonu		
CH ₄ (%)	65-70	<60; >75
CO ₂ (%)	30-35	<25; >40

Metan bakterileri için $T_d=2-20$ gün (sıcaklığa bağlı)



ŞEKİL HBS'nin UKM giderimine etkisi

ÖZET: Arıtma çamurlarının stabilizasyonunda;

- **Nütrientler:** Nütrient ihtiyacı olmaz, çamurda makro ve mikro besi elementleri mevcuttur.
- **pH:** pH ayarlamaya gerek yoktur, pH genellikle nötr menzildedir.
- **Sıcaklık:** Reaktör sıcaklığı mezofilik (35 °C) ya da termofilik (55 °C) olacak şekilde tasarlanır.
- **Tasarım:** Anaerobik reaktör tam karışimli geri devirsiz olarak tasarlanır. Diğer bir ifade ile anaerobik çürütücülerde HBS ve çamur yaşı eşittir.
- **HBS:** Çürütücülerin temel tasarım parametresidir HBS (=çamur yaşı) ve min. **HBS=12-15 gün** mertebesindedir
- **Stabilizasyon:** Reaktörün tasarım ve işletme parametreleri KOİ cinsinden değil, UKM cinsinden belirlenir.
Karıştırma: Anaerobik çürütücülerde karıştırma motoru yer alır.
- **Süpernatant:** Çürütücünün üst fazına süpernatant denir ve süpernatant yüksek konsantrasyonlarda $\text{NH}_3\text{-N}$ içerir. Çürütücü süpernatantı deşarj edilemeyecek kadar yüksek konsantrasyonlarda kirletici bileşenleri içerir ve süpernatant tesisin başına verilir (ön çöktürme havuzu başına ya da havalandırma havuzu başına)
- **UKM/TKM:** Ham çamurun UKM/TKM oranı %75-80 mertebesinden, stabil çamurda %40-60 (%50-55) mertebesine düşer.
- **TKM:** Çürütücüye beslenen ham çamurun TKM muhtevası %5-6 mertebesindedir.
- **Enerji üretimi:** Çürütücüler, reaktörü ısıtmak için gerekli enerjiden fazlasını üretirler.

parametreleri önemli hususlardır.



ÖRNEK-1

ANAEROBİK

ÇÜRÜTÜCÜ

TASARIMI



ÖRNEK: ANAEROBİK ÇAMUR STABİLİZASYONU

(Kaynak: P. Vesilind, (2003) Wastewater Treatment Plant Design Student Workbook, 2. cilt, WEF, IWA Publishing, p 190

Nüfusu **50 000** olan bir yerleşim yeri için yüksek hızlı ve ısıtılmalı bir anaerobik çürütücü inşa edilecektir. Kişi başına katı madde üretimi **0.13 kg kuru katı madde (KM)/N-gün**'dür. Katı maddelerin **%80'i uçucudur (UKM/TKM=0.80)**. Primer ve sekonder çamur karışımının spesifik yoğunluğu **1.01 g/cm³'tür**. Çamurun katı madde muhtevası **%6**'dır. Çürütücünün işletme sıcaklığı **35 °C'dir**. Çürütücünün UKM giderme veriminin **%60** olması istenmektedir. Çürümüş çamurun katı madde muhtevası **%8** ve spesifik yoğunluğu **1.03 g/cm³'tür**. Çürütücünün aktif hacmi, toplam hacminin yarısı kadardır. Çürümüş çamur **60 günde** bir uzaklaştırılacaktır. Çürütücünün hacmini hesaplayınız.

$$V_{avg} = V_1 - (2/3) \times (V_1 - V_2)$$

V_{avg}: Ortalama günlük çamur çürüme hacmi, m³/gün

V₁: Günlük reaktöre ilave edilen ham çamur hacmi, m³/gün

V₂: Günlük çürümüş çamur hacmi, m³/gün.

Devamı

Veriler;

- Nüfus =50 000 kişi
- Kişi başına katı madde miktarı = 0.13 kg kuru katı madde /N-gün
- Katı maddelerin uçucu fraksiyonu (UKM/TKM) =% 80
- Ham çamurun katı madde muhtevası =% 6
- Ham çamurun spesifik yoğunluğu =1.01 g/cm³
- Çürütücünün UKM giderme performansı =% 60
- Çürümüş çamurun katı madde muhtevası =%8
- Çürümüş çamurun spesifik yoğunluğu =1.03 g/cm³
- İşletme sıcaklığı = 35 °C
- Çürütücüden çamur çekme periyodu = 60 gün
- Çürütücüdeki çamur hacmi =Toplam reaktör hacminin %50'si



ÇÖZÜM

- Çürütücüye gire KM=Nüfus x (KM/kişi-gün)
= 50 000 N x 0.13 (kg/N-gün)=**6500 kg/gün**
- Çürütücüye gire UKM=KM x %UKM
= 6500 (kg/gün) x 0.80 =**5200 kg/gün**
- Sabit katı maddeler (SKM)=KM x (1-UKM/TKM)
=6500 (kg/gün) x (1-0.80) =**1300 kg/gün**
- Giderilen UKM= UKM x Giderme verimi (%)
=5200 (kg/gün) x 0.60 =**3120 kg/gün**
- Çürümüş çamurda UKM=Reaktöre giren UKM-Giderilen UKM
=5200 (kg/gün) - 3120 (kg/gün) =**2080 kg/gün**
- Çürümüş çamurda TKM=SKM + Çürümüş çamurda UKM
=1300 (kg/gün) + 2080 (kg/gün) =**3380 kg/gün**
- Çürütücüye giren çamur hacmi=KM/(% KM muhtevası x çamurun özgül ağırlığı)
= 6500 (kg/gün)/(0.06 x 1.01) =**107.26 m³/gün**
- Çürümüş çamur hacmi=Çürümüş çamurda KM/(% KM muhtevası x çamurun özgül ağırlığı)
=3380 (kg/gün)/(0.08 x 1.03) =**41.02 m³/gün**



Deneysel çalışmalar, kesikli proseslerde reaktörün üst bölümündeki süpernatantın tahliye edilmesinden sonra, kalan çürümüş çamur hacmi ile HBS arasındaki fonksiyonun parabolik olduğunu ortaya koymuştur.

Bu parabolik fonksiyon;

$$V_{avg} = V_1 - (2/3) \times (V_1 - V_2)$$

Şeklindedir. Burada;

V_{avg} : günlük ortalama çürüme çamuru hacmi ($m^3/gün$)

V_1 : günlük reaktöre beslenen çamur debisi ($m^3/gün$)

V_2 : günlük çürümüş çamur hacmi ($m^3/gün$).

$$V_{avg} = 107.26 (m^3/gün) - (2/3) \times (107.26 - 41.02) = \mathbf{63.10 m^3/gün}$$

Yüksek hızlı anaerobik çürütücü için çamur yaşı ($\theta_c = \theta_h$) = **15 gün** (orijinal kaynakta 18 gün)

$$\begin{aligned} \text{Toplam çamur hacmi} &= V_{avg} \times (\theta_c = \theta_h) + \text{çürümüş çamur hacmi} \times \text{çürümüş çamur çekme hızı} \\ &= 63.10 (m^3/gün) \times 15 (gün) + 41.02 (m^3/gün) \times 60 (gün) = \mathbf{3408 m^3} \end{aligned}$$

Çürütücü hacmi = Toplam çamur hacmi / Reaktördeki çamur hacmi fraksiyonu (%50)

$$= 3408 m^3 / 0.5 = \mathbf{6815 m^3}$$



ÖRNEK-2

ANAEROBİK

ÇÜRÜTÜCÜ

TASARIMI



ÖRNEK: ANAEROBİK ÇAMUR STABİLİZASYONU

TKM konsantrasyonu **30 000 mg/l (UKM/TKM=0,75)** ve debisi **600 m³/gün** olan primer ve fazla biyolojik çamur karışımı mezofilik şartlarda (**35 °C**) anaerobik olarak çürütülecektir. Tam karışimli geri devirsiz reaktör modeline göre çürütücünün hacmini hesaplayınız.

$$Y_{x/s} = 0,045 \text{ g } \chi/\text{g UKM}$$

$$k = 5 \text{ gün}^{-1}$$

$$k_d = 0,015 \text{ gün}^{-1}$$

$$K_s = 7 \text{ 000 mg UKM /l}$$

$$\text{Biyogaz oluşumu} = 1,1 \text{ m}^3/\text{kg UKM}_{\text{gid.}} \text{ (35 °C)}$$

$$\text{Metan yüzdesi} = \%60$$

$$\frac{\theta_c}{\theta_c^m} = 1,5 \text{ olarak alınacaktır.}$$

ÇÖZÜM:

TKM muhtevası yüksek olan atıkların anaerobik stabilizasyonunda **geri devirsiz tam karışimli reaktör modeli** uygulanır. Çünkü TKM konsantrasyonu yüksek olduğu zaman mikroorganizmalar ve sıvı faz çöktürerek ayrılamaz.

$$\text{TKM} = 30 \text{ 000 mg/l ve UKM} = 22 \text{ 500 mg/l}$$

1. Çamur Yaşı;

$$\frac{1}{\theta_c} = \frac{YkS_0}{K_s + S_0} - k_d \rightarrow \frac{1}{\theta_c} = \frac{0,045 \times 5 \times 22 \text{ 500}}{7 \text{ 000} + 22 \text{ 500}} - 0,015 = 0,157 \text{ gün}^{-1}$$

$$\theta_c^m = 6,39 \text{ gün}$$

$$\theta_c = 6,11 \times 1,5 = 9,17 \text{ gün} \approx 10 \text{ gün}$$



TABLO Geri devirli ve devirsiz tam karışimli reaktörlerde kararlı halde tasarım eşitlikleri

Eşitlik	Çamur geri devirsiz	Çamur geri devirli
Verim	$E = \frac{100(S_0 - S_e)}{S_0}$	$E = \frac{100(S_0 - S_e)}{S_0}$
Çıkış kons.	$S_i = \frac{UK_S}{k - U}$	$S_i = \frac{UK_S}{k - U}$
Mikroorganizma kons.	$\chi = \frac{Y(S_0 - S_e)}{1 + k_d\theta_c}$	$\chi = \frac{Y(S_0 - S_e)\theta_c}{1 + k_d\theta_c\theta}$
Fazla mikroorganizma üretimi	$A = \frac{YQ(S_e - S_e)}{1 + k_d\theta_c}$	$A = \frac{YQ(S_e - S_e)}{1 + k_d\theta_c}$
Hidrolik bekletme süresi (V/Q)	$\theta_c = \theta$	$\theta = \theta_c \left[1 + r - r \left(\frac{\chi_r}{\chi} \right) \right]$
Çamur yaşı, genel	$\frac{1}{\theta_c} = \frac{YkS_0}{K_S + S_0} - k_d$	$\frac{1}{\theta_c} = \frac{YkS_0}{K_S + S_0} - k_d$
Çamur yaşı, $S_i \gg K_S$ ise	$\frac{1}{\theta_c^m} = Yk - k_d$	$\frac{1}{\theta_c^m} = Yk - k_d$

2. Aktif reaktör hacmi;

$$V = Q \times \theta_H \rightarrow V = 600 \times 10 = 6\,000\,m^3$$

3. Çıkış UKM konsantrasyonu;

$$S_e = \frac{K_S(1 + k_d\theta_c)}{\theta_c(Yk - k_d) - 1} \rightarrow S_e = \frac{7\,000(1 + 0,015 \times 10)}{10 \times (0,045 \times 5 - 0,015) - 1} = 7\,320\,mg/l$$

$$UKM_{gid.} = 15\,181\,mg/l \text{ ve } UKM \text{ giderme verimi} = (22\,500 - 7320)/22\,500 \times 100 = \%67$$

4. Reaktörde anaerobik çamur (biyokütle) konsantrasyonu;

$$\chi = \frac{Y(S_0 - S_e)}{1 + k_d\theta_c} \rightarrow \chi = \frac{0,045 \times (22\,500 - 7320)}{1 + 0,015 \times 10} = 594\,mg/l$$

5. Reaktörde anaerobik çamur (biyokütle) miktarı;

$$Q \times \chi = 6\,000\,m^3 \times 594\,g/m^3 = 3\,564\,kg/gün$$

6. Biyogaz oluşumu;

$$\text{Giderilen UKM; } Q \times UKM_{gid.} - Q \times \chi = 600m^3/gün \times (22\,500 - 7\,320) - 3\,564 = 5\,545\,kg/gün$$

$$\text{Biyogaz; } 5\,545 \times 1,1 = 6098\,m^3/gün$$

$$\text{Metan oluşumu; } 6098 \times 0,6 = 3659\,m^3/gün$$



7. Ham çamurun sıcaklığını 18 °C'den 35 °C'ye getirmek için gerekli ısı ihtiyacı;

$$\begin{aligned} \text{Gerekli ısı enerjisi} &= 600 \text{ m}^3 / \text{gün} \times \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3} \times ((35 - 18) \text{ }^\circ\text{C}) \times (4\,200 \text{ J / kg }^\circ\text{C}) \\ &= 42,84 \times 10^6 \text{ kJ / gün} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \text{Gerekli ısı enerjisi} &= 100 / 75 \times 42,84 \times 10^6 \text{ (kJ / gün)} + 42,84 \times 10^6 \text{ (kJ / gün)} \\ &= 57,12 \times 10^6 \text{ kJ / gün} \end{aligned}$$

8. Metanın enerji muhtevası;

$$Q - \text{CH}_4 = 3654 \text{ m}^3 / \text{gün}$$

$$\text{Metanın net enerji muhtevası} = 35\,846 \text{ kJ / m}^3 \text{ (at STP)}$$

$$\begin{aligned} \text{Metanın günlük toplam enerji muhtevası} &= 35\,846 \text{ (kJ / m}^3) \times 3\,659 \text{ (m}^3 \text{ CH}_4 / \text{gün)} \\ &= 131,2 \times 10^6 \text{ kJ / gün} \end{aligned}$$



9. Fazla enerji;

$$\begin{aligned} \text{Fazla enerji} &= 131,2 \times 10^6 \text{ (kJ / gün)} - 57,12 \times 10^6 \text{ (kJ / gün)} \\ &= 74,08 \times 10^6 \text{ kJ / gün} \end{aligned}$$

ÖZET

- $\theta_H = \theta_c = 10 \text{ gün}$
- $V=6000 \text{ m}^3$
- Biyogaz=6098 m^3
- $\text{CH}_4=3659 \text{ m}^3/\text{gün}$
- Evsel atıksu arıtan konvansiyonel aktif çamur sistemlerinde açığa çıkan primer ve aktif çamurların anaerobik çürütülmesiyle, tesisin tüm enerji ihtiyacının %40-60'ı karşılanabilmektedir. Anaerobik çürütücüden açığa çıkan metan, kombine ısı ve elektrik üretimi ile tesisin enerji ihtiyacını kısmi olarak karşılayabilir.
- Anaerobik çürütücülerde giderilen UKM başına açığa çıkan biyogaz miktarı **1 m³/kg UKM_{gid.}** mertebesindedir.
- Ham çamurda **UKM/TKM oranı %80** mertebesindedir. Anaerobik çürütme ile UKM %40-60 (50) mertebesine düşer. Dolayısıyla çürütülmüş çamurda hala TKM-UKM mevcuttur.
- Anaerobik çürütücülerde günlük biyogaz debisi aktif reaktör hacmi mertebesindedir.
- Anaerobik çürüme sonrası çamurlar susuzlaştırmaya ve kurutmaya daha elverişli hale gelirler. Kalan organik bileşenler daha stabildir ve çamur stabilizasyonu kısmen gerçekleşmiştir.



ÖRNEK-3

ANAEROBİK

ÇÜRÜTÜCÜ



ÖRNEK: (Kaynak: G. L. KARIA, R.A. CHRISTIAN, WASTEWATER TREATMENT: Concepts and Design Approach, 2013, PHI Learning Pvt. Ltd., Delhi)

Debisi **20 000 m³/gün** olan evsel atıksu ön çöktürme havuzundan üretilecek çamur hacmini, tam karışimli anaerobik reaktör hacmini ve çamurların anaerobik stabilizasyonu sonucu üretilecek metan gazı miktarını aşağıdaki şartlar için hesaplayınız.

- Primer çamurların su muhtevası=%96 (TKM muhtevası=100-96=**%4=0,04**)
- **TKM=40 000 mg/l**
- Çamurların spesifik yoğunluğu=1,020 kg/L
- Çamur oluşum oranı =0,20 kg TKM/m³
- Giriş KOİ, S₀ =150 mg/L=0,15 kg/m³
- Mikrobiyal dönüşüm oranı, Y=0,05 kg UKM/kg KOİ_{gid.}
- İçsel solunum, k_d =0,03 gün⁻¹
- HBS, θ_c =10 gün

ÇÖZÜM:

(a) Günlük üretilen çamur hacmi;

Günlük üretilen çamur miktarı;

$$W_{sl}=0,20 \text{ (kg TKM/m}^3\text{)} \times 20\ 000 \text{ (m}^3\text{/gün)} = \mathbf{4\ 000 \text{ kg TKM/gün}}$$

$$\text{Çürütücüye giren KOİ yükü; } 0,15 \times 20\ 000 = \mathbf{3000 \text{ kg KOİ/gün}}$$



Üretilen çamur hacmi;

$$V_{sl} = \frac{W_s}{\rho_w \times S_{sl} \times P_s}$$

V_{sl} = çamur hacmi, **m³**

W_s = KKM ağırlığı, **kg/gün**

ρ_w = suyun yoğunluğu, **1000 kg/m³**

S_{sl} = çamurun özgül ağırlığı; 1,02

P_s = Çamurun katı madde muhtevası, ondalık sayı (problemde **$P_s = 0,04$**)

Üretilen çamur hacmi;

$$\begin{aligned} V_{sl} &= \frac{W_s}{\rho_w \times S_{sl} \times P_s} \\ &= \frac{0,2 (\text{kgKM} / \text{m}^3) \times 20\,000 (\text{m}^3 / \text{gün})}{1000 (\text{kg} / \text{m}^3) \times 1,02 \times 0,04} \\ &= 98,04 \text{ m}^3 \end{aligned}$$



(b) Günlük UKM üretimi;

Günlük üretilen UKM miktarı aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir.

$$P_{x(VS)} = \frac{Y \times Q \times S_0 \times E}{1 + k_d \times \theta_c}$$

$P_{x(VS)}$ = Günlük çamur üretimi, kg UKM /gün

Y = Mikrobiyal dönüşüm oranı, g/g

Q = Atıksu debisi, m³/gün

E = Stabilizasyon verimi, %/100

S_0 = Giriş nihai BOİ , kg/gün

k_d = İçsel solunum, k_d gün⁻¹

θ_c = Çamur yaşı, gün

Atık çamur stabilizasyon verimi (KOİ cinsinden) =80% (0,80)

$$P_{x(VS)} = \frac{0,05 (kg \text{ UKM} / kg \text{ KOİ}) \times 20000 (m^3 / gün) \times 0,15 (kg \text{ KOİ} / m^3) \times 0,8}{1 + 0,03 (gün^{-1}) \times 10 (gün)}$$
$$= 92,31 kg \text{ UKM} / gün$$

(c) Metan üretimi;

$$V_{CH_4} = 0.35 (m^3 \text{ CH}_4 / kg \text{ KOİ}_{gid.}) \times [EQS_0 - 1,42 P_{x(VS)}]$$
$$= 0,35 \times [(0,8 \times 3000) - 1,42 \times 92,31] = 794 m^3 \text{ (STP)}$$

$$V_{biyogaz} = 794 (m^3) / 0,6 = 1323 m^3 \text{ (%60 CH}_4 \text{)} \text{ (STP)}$$

(d) Çürütücü hacmi;

$$V = 10 (gün) \times 98,04 (m^3 / gün) = 980,4 m^3 \approx 1000 m^3$$

(e) Hacimsel organik yük;

$$V = 3000 (kg \text{ KOİ}) / 1000 (m^3) = 3 kg \text{ KOİ} / m^3 \text{-gün}$$

Hacimsel organik yük **1,6-6,4 kg KOİ/m³-gün** mertebesinde olduğu için reaktör hacmi uygundur.



(f) Stabilizasyon verimi;

$$\begin{aligned}\text{Çamur stabilizasyon verimi (KOİ cisninden), \%} &= \frac{E \times Q \times S_0 - 1,42 P_{\chi(\text{UKM})}}{Q S_0} \times 100 \\ &= \frac{0,8 \times 20000 \times 0,15 - 1,42 \times 92,31}{20000 \times 0,15} \times 100 = 75,6 \\ &= \%75,6\end{aligned}$$

$$\text{Çamur stabilizasyon verimi (UKM cisninden), \%} = \frac{E \times Q \times \text{UKM}_0 - P_{\chi(\text{UKM})}}{Q \times \text{UKM}_0} \times 100$$

$$\text{Çamur stabilizasyon verimi (KM cisninden), \%} = \frac{E \times Q \times \text{KM}_0 - P_{\chi(\text{KM})}}{Q \times \text{KM}_0} \times 100$$

ÖRNEK-4

ANAEROBİK

ÇÜRÜTÜCÜ HACMİ



ÖRNEK (Kaynak: Samir Kumar Khanal, (2008) Anaerobic biotechnology for bioenergy production: principles and applications, John Wiley & Sons, Inc. ISBN: 978-0-813-82346-1, p199)

Bir atıksu arıtma tesisinin primer ve sekonder çamurları yüksek hızlı anaerobik çürütücüde mezofilik şartlarda çürütülecektir.

Primer çamurda;

Q=500 m³/gün,

TKM muhtevası=%**5**,

UKM/TKM oranı=%**68**

Primer çamurun özgül ağırlığı, **S_{pç}=1,02**

Sekonder çamurda;

Q=1250 m³/gün,

TKM muhtevası=%**1**,

UKM/TKM oranı=%**75**

Primer çamurun özgül ağırlığı, **S_{Aç}=1,01**

Çürütücüde

Çürütücüde minimum çamur yaşı, **$\theta_c=12$ gün,**

Çürütücünün UKM yükü=**1,5** kg UKM/m³-gün

(kaynağın orijinalinde 2,5 kg UKM/m³-gün'dür)

Çürütücünün günlük UKM yükünü ve hacmini hesaplayınız.



ÇÖZÜM:

Anaerobik çürütücüyü tasarlamak için önce primer ve sekonder çamur miktarlarını hesaplamak gerekir.

(i) Primer çamurların kütlesi ve miktarı;

$$V_{PÇ} = \text{Primer çamur hacmi, } m^3$$

$$W_{PÇ-KKM} = \text{KKM ağırlığı – kütlesi, } kg / \text{gün}$$

$$\rho_w = \text{Suyun yoğunluğu, } 1000 \text{ } kg / m^3$$

$$S_{PÇ} = \text{Primer çamurun özgül ağırlığı; } 1,02$$

$$P_{KM} = \text{Çamurun katı madde muhtevası, ondalık sayı; } 0,05$$

$$V_{PÇ} = \frac{W_{PÇ-KKM}}{\rho_w \times S_{PÇ} \times P_{KM}}$$

$$\text{Primer çamurların kütlesi; } W_{PÇ} \text{ (} kg / \text{gün)} = 500 \text{ (} m^3 / \text{gün)} \times 1000 \text{ (} kg / m^3) \times 0,05 \times 1,02 = 25500 \text{ } kg / \text{gün}$$

$$\text{Ön çöktürme çamurlarında UKM} = 25500 \text{ (} kg / \text{gün)} \times 0,68 = 17340 \text{ } kg \text{ UKM} / \text{gün}$$



ÇÖZÜM:

Anaerobik çürütücüyü tasarlamak için önce primer ve sekonder çamur miktarlarını hesaplamak gerekir.

(ii) Sekonder çamurların kütlesi ve miktarı;

$$V_{AÇ} = \text{Aktif çamur hacmi, } m^3$$

$$W_{AÇ-KKM} = \text{KKM ağırlığı - kütlesi, } kg / \text{gün}$$

$$\rho_w = \text{Suyun yoğunluğu, } 1000 \text{ } kg / m^3$$

$$S_{AÇ} = \text{Aktif çamurun özgül ağırlığı; } 1,01$$

$$P_{KM} = \text{Çamurun katı madde muhtevası, ondalık sayı; } 0,01$$

$$V_{PÇ} = \frac{W_{AÇ-KKM}}{\rho_w \times S_{AÇ} \times P_{KM}}$$

Sekonder çamurların kütlesi; $W_{AÇ-KKM} (kg / \text{gün}) = 1250 (m^3 / \text{gün}) \times 1000 (kg / m^3) \times 0,01 \times 1,01 = 12625 \text{ } kg / \text{gün}$

Sekonder çamurlarda UKM = $12635 (kg / \text{gün}) \times 0,75 = 9469 \text{ } kg \text{ UKM} / \text{gün}$

(iii) Toplam UKM = $17340 (kg / \text{gün}) + 9469 (kg / \text{gün}) = 26809 \text{ } kg \text{ UKM} / \text{gün}$



(iv) Çürütücünün tasarımı;

$$\text{Toplam çamur hacmi} = 500(m^3 / \text{gün}) + 1250(m^3 / \text{gün}) = 1750m^3 / \text{gün}$$

Çamur yaşına göre;

$$\text{Çamur yaşı, } \theta_c = 12 \text{ gün}$$

$$\text{Çürütücü hacmi} = 12(\text{gün}) \times 1750(m^3 / \text{gün}) = 21000m^3$$

UKM yüküne göre;

$$\text{Toplam UKM} = 26809 \text{ kg UKM} / \text{gün},$$

$$\text{UKM yükü} = 1,5 \text{ kg UKM} / m^3 - \text{gün}$$

$$\text{Çürütücü hacmi} = 26809(\text{kg UKM} / \text{gün}) / 1,5(\text{kg UKM} / m^3 - \text{gün}) = 17872m^3$$



ÖRNEK-5

ANAEROBİK

ÇÜRÜTÜCÜ

ISI HESABI



ÖRNEK: Isı hesabı

(**Kaynak:** Samir Kumar Khanal, (2008) Anaerobic biotechnology for bioenergy production: principles and applications, John Wiley & Sons, Inc. ISBN: 978-0-813-82346-1, p276)

Sıcaklığı **15 °C** olan ham arıtma çamurları termofilik (**55 °C**) bir anaerobik çürütücüde stabilize edilecektir. Ham çamur debisi **250 m³/gün**'dür. Isı kaybı, çürütücüye verilen ısının **%10**'u kadardır.

I. Isı eşanjörünün kapasitesini hesaplayınız.

II. Proses sıcaklığını sağlamak için ne kadar CH₄ gazı gerekir?

ÇÖZÜM:

I. Ham çamurun sıcaklığını 15 °C'den 55 °C'ye getirmek için gerekli ısı, H;

$$H = 250(m^3 / gün) \times 1000(kg / m^3) \times 4,187(kJ / kg^{\circ}C) \times [55(^{\circ}C) - 15(^{\circ}C)] = 41,87 \times 10^6 kJ / gün$$

Isı kaybı + ısıtma için enerji ihtiyacı;

$$H = 41,87 \times 10^6 kJ / gün \times 100 / 90 = 46,52 \times 10^6 kJ / gün$$

$$\begin{cases} 100 & 90 \\ \chi & 41,87 \times 10^9 \end{cases}$$

$$\chi = 46,52 \times 10^9$$

II. Enerji ihtiyacını karşılayacak metan ve biyogaz (%60 CH₄);

$$Q - \text{Biyogaz} = 46,52 \times 10^6 kJ / gün / 22400(kJ / m^3) = 2077 m^3 / gün(STP)$$

$$Q - CH_4 = 46,52 \times 10^6 kJ / gün / 35846(kJ / m^3) = 1283 m^3 CH_4 / gün(STP)$$



ÖRNEK-6

İKİ KADEMELEİ

ÇÜRÜTÜCÜ

TASARIMI



ÖRNEK Klasik aktif çamur sistemi ile evsel atıksu arıtımında arıtma çamuru oluşumu- anaerobik çürütücü tasarımı.

Nüfusu 80 000 kişi olan bir yerleşim yerinin atıksuları klasik aktif çamur prosesi ile arıtılacaktır.

Anaerobik çürütücünün çamur debisini hesaplayınız.

Anaerobik çürütücüyü tasarlayınız.

- Su tüketimi, $_{\max}Q_{\text{gün}} = 250$ L/N-gün
- Kanala intikal fraksiyonu =%85
- Atıksu debisi $=80\ 000 \times 0,25 \times 0,85$
 $=17\ 000$ m³/gün

TABLO Orta kuvvetlilikteki evsel atıksularda temel kirletici parametrelerin konsantrasyonları

Parametre	Konsantrasyon
KOİ (mg/l)	500
BOİ ₅ (mg/l)	220
AKM (mg/l)	220

Ön çöktürmede;

AKM giderme verimi =%50

UKM/TKM oranı =%69

BOİ₅ giderme verimi =%30

Mekanik yoğunlaştırma sonrası TKM=%6 (%94 su)

Spesifik yoğunluk =1,03

Aktif çamur sisteminde;

Çamur üretimi =0,28 kg UKM/kg BOİ₅

UKM/TKM oranı =0,80

Mekanik yoğunlaştırma sonrası TKM=%4 (%96 su)

Spesifik yoğunluk =1,017

Çürümüş çamurda;

Çürümüş çamurda TKM=%7 (%93 su)

Spesifik yoğunluk =1,02



ÇÖZÜM

1. Atıksu debisi;

$$Q_{\max} = N \times (q_{\max}) = 80000 (N) \times 0,250 (m^3 / N - \text{gün}) \times 0,85 = 17000 m^3 / \text{gün}$$

2. Çamur debisi-primer çamur;

Pirimer çamur miktarı;

$$\text{Primer çamurların kütlesi; } W_{PÇ-KKM} (kg / \text{gün}) = 17000 (m^3 / \text{gün}) \times 0,22 (kg / m^3) \times 0,50 = 1870 kg / \text{gün}$$

$$\text{Ön çöktürme çamurlarında UKM miktarı} = 1870 (kg / \text{gün}) \times 0,69 = 1290 kg UKM / \text{gün}$$

$$V_{PÇ} = \frac{W_{PÇ-KKM}}{\rho_w \times S_{PÇ} \times P_{KM}} = \frac{1870 (kg / \text{gün})}{1000 (kg / m^3) \times 1,03 \times 0,06} = 30,26 m^3 / \text{gün}$$

$$\text{Primer çamurda TKM} = 1870 kg TKM / \text{gün}$$

$$\text{Primer çamurda UKM} = 1290 kg UKM / \text{gün}$$

$$\text{Primer çamurda SKM} = 580 kg SKM / \text{gün}$$

Ön çöktürme çamurlarında SKM miktarı;

$$= 1870 (kg / \text{gün}) \times 0,31$$

$$= 580 kg SKM / \text{gün}$$

$$V_{PÇ} = \text{Primer çamur hacmi, } m^3$$

$$W_{PÇ-KKM} = \text{Primer çamurun KKM ağırlığı - kütlesi, } kg / \text{gün}$$

$$\rho_w = \text{Suyun yoğunluğu, } 1000 kg / m^3$$

$$S_{PÇ} = \text{Primer çamurun özgül ağırlığı; } 1,02$$

$$P_{KM} = \text{Çamurun katı madde muhtevası, ondalık sayı; } 0,06$$



3. Çamur debisi-aktif çamur;

Aktif çamur miktarı;

$$\text{Aktif çamurun sisteminin } BOI_5 \text{ yükü} = 17\,000 (m^3 / \text{gün}) \times 0,22 (kg / m^3) = 3740 \text{ kg / gün}$$

$$\text{Ön çöktürmede giderilen} = 3740 (kg / \text{gün}) \times 0,30 = 1122 \text{ kg / gün}$$

$$\text{Aktif çamurun } BOI_5 \text{ yükü} = 3740 (kg / \text{gün}) - 1122 (kg / \text{gün}) = 2618 \text{ kg / gün}$$

$$\text{Aktif çamur sisteminde oluşan çamurun kütlesi; } W_{AÇ-KKM} (kg / \text{gün})$$

$$\text{Aktif çamurda TKM} = 2618 (kg / \text{gün}) \times 0,28 (kg \text{ UKM} / kg \text{ } BOI_5) = 733 \text{ kg / gün}$$

$$\text{Aktif çamurda UKM} = 733 (kg / \text{gün}) \times 0,80 = 586,4 \text{ kg UKM / gün}$$

$$\text{Aktif çamurda SKM} = 733 (kg / \text{gün}) \times 0,20 = 146,6 \text{ kg SKM / gün}$$

$$\text{Aktif çamur hacmi; } V_{AÇ} = \frac{W_{AÇ-KKM}}{\rho_w \times S_{AÇ} \times P_{KM}} = \frac{733 (kg / \text{gün})}{1000 (kg / m^3) \times 1,017 \times 0,04} = 18,02 \text{ m}^3 / \text{gün}$$



4. Çürütücünün beklenen çamur debisi;

$$\text{Pirimer çamur hacmi} + \text{Aktif çamur hacmi} = 30,26 (m^3 / \text{gün}) + 18,02 (m^3 / \text{gün}) = 48,3 m^3 / \text{gün}$$

5. Çürütücüye giren UKM;

$$\begin{aligned} \text{Pirimer çamur UKM miktarı} + \text{Aktif çamur UKM miktarı} \\ = 1290 (kg / \text{gün}) + 586,4 (kg UKM / \text{gün}) = 1876,7 kg / \text{gün} \end{aligned}$$

6. Çürütücüye giren TKM;

$$\begin{aligned} \text{Pirimer çamur TKM miktarı} + \text{Aktif çamur TKM miktarı} \\ = 1870 (kg TKM / \text{gün}) + 733 (kg TKM / \text{gün}) = 2603 kg TKM / \text{gün} \end{aligned}$$

$$\text{Çürütücüye beslenen çamurda UKM / TKM} = 1876,4 (kg / \text{gün}) / 2603 (kg / \text{gün}) = 0,721$$

7. Çürütücüye beslenen çamurun TKM muhtevası;

Çürütücüye beslenen çamurda TKM muhtevası, %

$$\text{TKM (\%)} = \frac{0,06 \times 30,26 (m^3 / \text{gün}) + 0,04 \times 18,02 (m^3 / \text{gün})}{30,26 (m^3 / \text{gün}) + 18,02 (m^3 / \text{gün})} \times 100 = \%5,25$$



TABLO Çamur TKM muhtevasının hidrolik bekletme süresine ve UKM yükleme hızına etkisi (çamurun UKM muhtevası %75 ve yoğunluğu 1,02 g/cm³)

Çamurun TKM muhtevası, %	UKM yükleme faktörü (kg UKM/m ³ -gün)			
	$\theta=10$ gün	$\theta=12$ gün	$\theta=15$ gün	$\theta=20$ gün
4	3,06	2,55	2,04	1,53
5	3,83	3,19	2,55	1,91
5,25				2,00
6	4,59	3,83	3,06	2,30
7	5,36	4,46	3,57	2,68
8	6,12	5,10	4,08	3,06
9	6,89	5,74	4,59	3,44
10	7,65	6,38	5,10	3,83

Standart hızlı anaerobik çürütücülerde UKM yükü = **0,48-1,6** kg UKM/m³-gün

Yüksek hızlı anaerobik çürütücülerde UKM yükü = **1,6-6,4** kg UKM/m³-gün

$\theta_h=20,7$ gün, %76,4 UKM ve $UKM=\%5,25$ için interpolasyon ile **UKM yükü=2** kg UKM/m³-gün

8. Çürütücünün hacmi;

$$V = \frac{1876,7 \text{ (kgUKM / gün)}}{2,0 \text{ (kgUKM / m}^3 \text{ - gün)}} = 938,0 \text{ m}^3 \cong 1000 \text{ m}^3$$

9. Çürütücünün HBS;

$$\theta_h = \frac{1000 \text{ (m}^3\text{)}}{48,3 \text{ (m}^3 \text{ / gün)}} = 20,7 \text{ gün} > 10 \text{ gün}$$

$\theta_h = 20,7$ gün ve
%76,4 UKM için
 $E_{UKM} = \%48$

10. Çürümüş çamur hacmi;

$\theta_h = 20,7$ gün için UKM giderme verimi = %48 civarında beklenir.

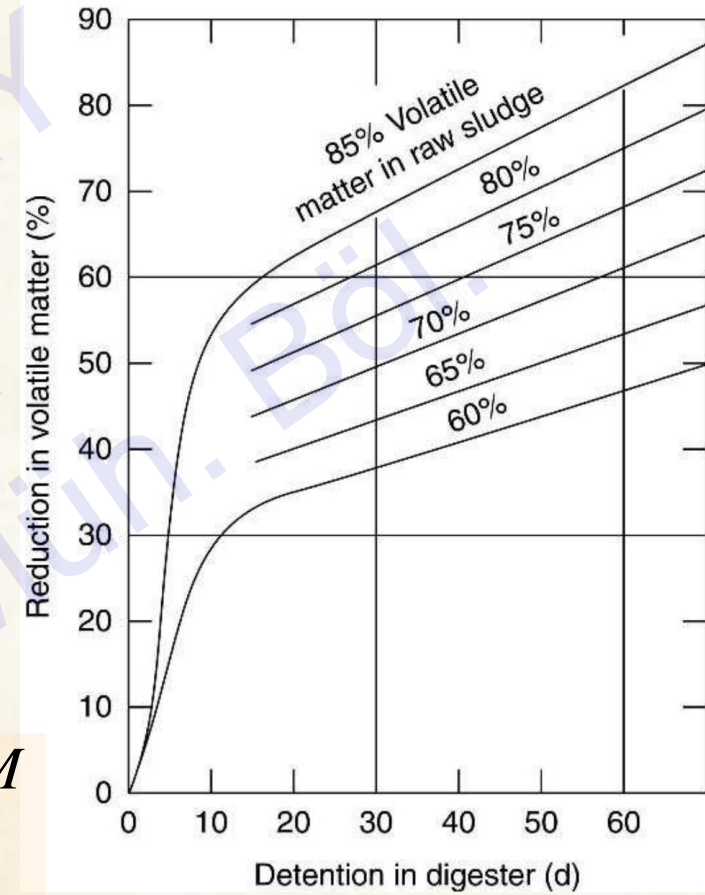
(i) Kalan TKM = Pirimer SKM + Sekonder SKM + Giderilemeyen UKM

$$\text{Kalan TKM} = 580 + 146,6 + 1876,7 \times (1 - 0,48) = 1702,5 \text{ kg / gün}$$

(ii) Kalan TKM = Çürütücüye giren TKM - Çürütücüde giderilen UKM

$$= 2603 - 1876,7 \times 0,48 = 2603 - 900,8 = 1702,2 \text{ kg / gün}$$

(iii) Çamur hacmi = $\frac{1702,2 \text{ kg / gün}}{1000 \text{ (kg / m}^3\text{)} \times 1,02 \times 0,07} = 23,84 \text{ m}^3$



11. Çürütücünün boyutlandırılması;

Çürütücülerin derinliği 6-12 m ve çapları 6-34 m arasında değişir.

Reaktörün derinliği $H=10$ m kabul edilirse;

$$\text{Yüzey alanı, } A = \frac{V}{H} = \frac{1000(m^3)}{10(m)} = 100m^2$$

$$\text{Reaktörün çapı, } \frac{\pi D^2}{4} = 100m^2 \Rightarrow D = 11,3m \cong 12m$$

12. Biyogaz üretimi; Anaerobik çürütücülerde biyogaz üretimi **0,8-1,1 (1,0)** m^3/kg $UKM_{gid.}$ arasında değişir.

$$\text{Biyogaz üretimi} = 900,8(kg UKM_{gid.} / gün) \times 1,0(m^3 / kg UKM_{gid.}) = 900m^3 / gün$$

13. Biyogazın enerji karşılığı; Biyogazın enerji eşdeğeri $22,4 MJ/m^3$ 'tür.

$$\text{Biyogaz enerjisi} = 900(m^3 / gün) \times 22,4(MJ / m^3) = 20160 MJ / gün = 20,16 \times 10^9 J / gün$$

14. Reaktörü 35 °C'ye getirmek için ısı ihtiyacı; Reaktöre verilen ısının %20'si kayıp olsa;

$$\begin{aligned} \text{Isı ihtiyacı, } H &= 48,3(m^3 / gün) \times 1000(kg / m^3) \times (35^\circ C - 17^\circ C) \times 4200 J / kg^\circ C \\ &= 3,65 \times 10^9 J / gün, (\%15 \text{ ısı kaçağı olsa; } H = 4,30 \times 10^9 J / gün) \end{aligned}$$



ÖZET

Anaerobik çürütücülerde günlük biyogaz debisi reaktör hacmi mertebesindedir.

Konvansiyonel aktif çamur sistemlerinde açığa çıkan çamurun 1/3'ü aktif çamurlardan, kalan kısmı ön çöktürme çamurlarından oluşur.

Büyük tesislerde pirimer çamurları anaerobik, aktif çamurları ise aerobik stabilizasyon yoluyla bertaraf etmek tercih edilebilir.

Anaerobik çürütücülerde UKM giderimi en az %38'dir.

Tasarım prosedürü;

- Pirimer çamur üretimi, TKM ve UKM muhtevası
- Aktif çamur üretimi, TKM ve UKM muhtevası
- Çamur debisi, TKM, UKM yükleri, stabilizasyon verimi
- Hidrolik bekletme süresi
- Reaktör hacmi
- Çürütülmüş çamur hacmi
- Biyogaz hacmi
- Enerji üretimi

ÖRNEK-7

ÇAMUR ÇÜRÜTME

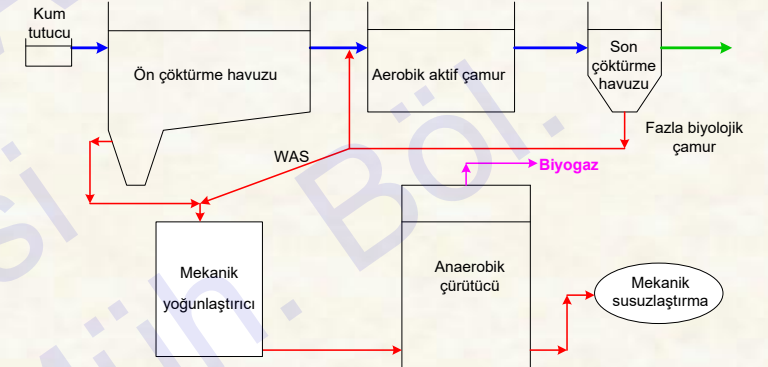
Prof. Dr. Ahmet GÜNAY
Balıkesir Üniversitesi
Müh. Fak., Çevre Müh. Böl.



ÖRNEK:

(Kaynak: RUMANA RIFFAT (2013) Fundamentals of Wastewater Treatment and Engineering Taylor & Francis Group, CRC Press 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300 Boca Raton, FL, p260)

Bir konvansiyonel evsel atıksu arıtma tesisinin debisi **30 000 m³/gün**'dür.



Ham atıksu;

- AKM=200 mg/l
- BOİ₅=240 mg/l

Ön çöktürme verimleri;

- AKM =%50
- BOİ₅=%35
- Çamurun su muhtevası=%94
- Çamurun özgül ağırlığı=1,06

Havalandırma havuzu;

- F/M=0,33
- Biyokütle dönüşüm oranı, Y=0,4

Son çöktürme;

- Çamurun KM muhtevası=%1,5
- Çamurun özgül ağırlığı=1,02

Çamur yoğunlaştırma;

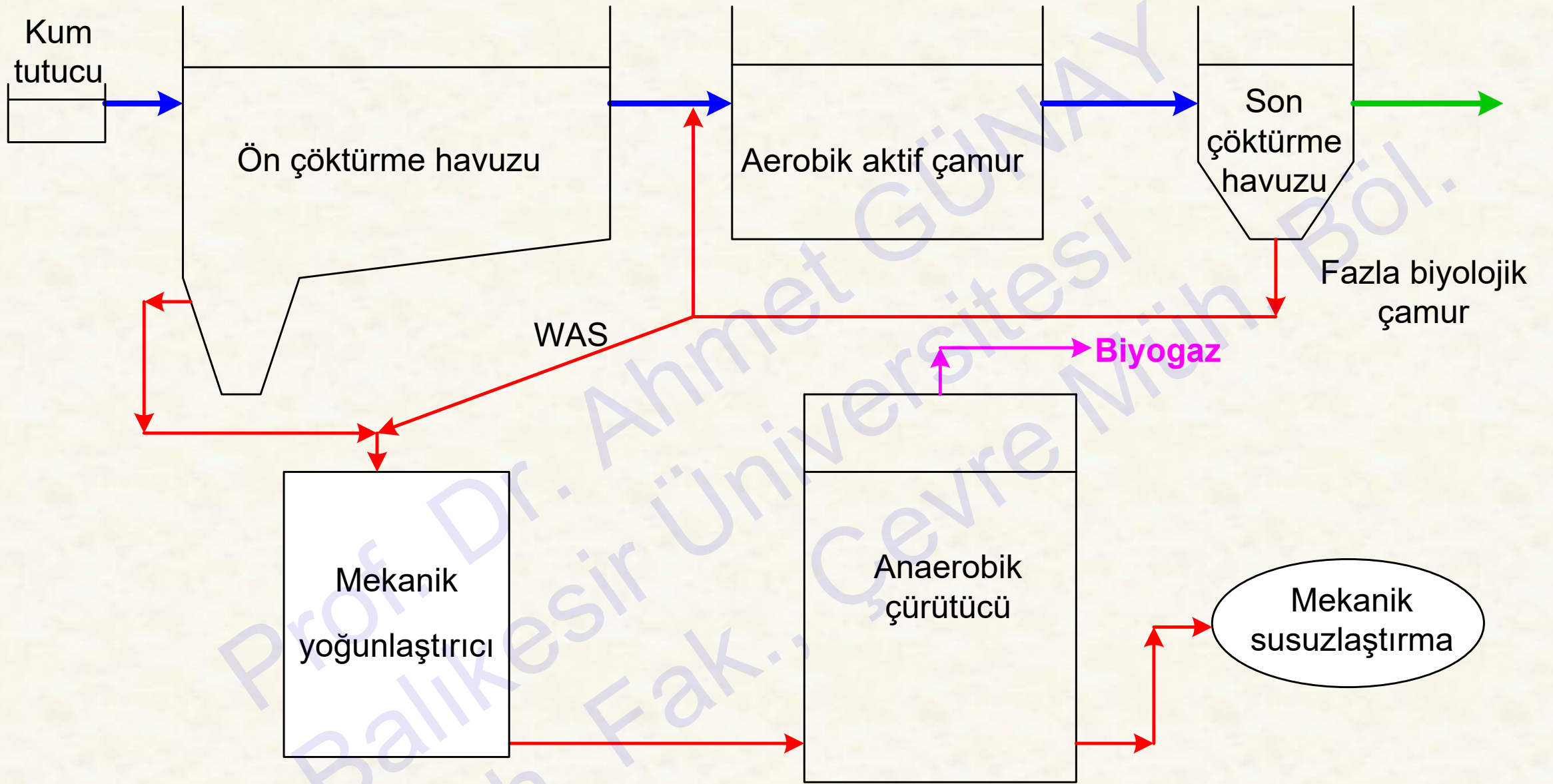
- Çamurun su muhtevası=%96,5

Anaerobik çürütücü;

- UKM/TKM=0,74
- UKM giderme verimi=%55
- Çamurun katı madde muhtevası %6,5

Bu konvansiyonel evsel atıksu arıtma tesisi için **anaerobik çürütücüyü** boyutlandırınız.





ŞEKİL Eysel atıksu klasik (konvansiyonel) arıtma tesisi akım şeması

ÇÖZÜM:

Anaerobik çürütücüyü tasarlamak için önce çamur miktarlarını hesaplamak gerekir.

(1) Primer çamurların kütlesi ve miktarı;

Ham atıksudaki katı madde; $KM_{pç} = 30000 (m^3 / gün) \times 0,20 (kg / m^3) = 6000 kg / gün$

Ön çöktürmede %50 KM giderimi; $W_{pç} = 0,50 \times 6000 kg / gün = 3000 kg / gün$

Ön çöktürme çamurlarının hacmi, $V_{PÇ}$;

$$V_{PÇ} = \frac{W_{pç}}{\rho_w \times S_{pç} \times P_{KM}}$$

$$V_{PÇ} = \frac{3000 (kg / gün)}{1000 (kg / m^3) \times 1,06 \times 0,06} = 47,17 m^3 / gün$$

$V_{pç} = \text{Primer çamur hacmi, } m^3$

$W_{KM} = \text{KKM ağırlığı – kütlesi, } kg / gün$

$\rho_w = \text{Suyun yoğunluğu, } 1000 kg / m^3$

$S_{pç} = \text{Primer çamurun özgül ağırlığı; } 1,06$

$P_{KM} = \text{Çamurun katı madde muhtevası, ondalık sayı}$

(problemde $P_{KM} = 1 - 0,94 = 0,06$)



(2) Aktif (sekonder) çamurların kütlesi ve miktarı;

$$\text{Havalandırma havuzuna giren } BOI_5 = (1 - 0,35) \times 240 \text{ (mg / L)} = 156 \text{ mg / l}$$

$$\text{Havalandırma havuzunda giderilen } BOI_5 = 156 \text{ (mg/ l)} - 15 \text{ (mg/ l)} = 141 \text{ mg/ l} = 0,141 \text{ kg / m}^3$$

$$\text{Aktif çamurların kütlesi} = 0,4 \times 0,141 \text{ (kg / m}^3) \times 30\,000 \text{ (m}^3 \text{ / gün)} = 1692 \text{ kg / gün}$$

Aktif çamurların hacmi, $V_{AÇ}$;

$$V_{AÇ} = \frac{W_{AÇ}}{\rho_w \times S_{AÇ} \times P_{KM}}$$

$$V_{AÇ} = \frac{1692 \text{ (kg / gün)}}{1000 \text{ (kg / m}^3) \times 1,02 \times 0,015}$$
$$= 110,59 \text{ m}^3 \text{ / gün}$$

$V_{AÇ}$ = Aktif çamur hacmi, m^3

W_{KM} = KKM ağırlığı – kütlesi, $kg / gün$

ρ_w = Suyun yoğunluğu, 1000 kg / m^3

$S_{AÇ}$ = Aktif çamurun ögül ağırlığı, 1,02

P_{KM} = Çamurun katı madde muhtevası, ondalık sayı

(problemde aktif çamur için $P_{KM} = 0,015$)



(3) Yoğunlaşmış çamurların hacmi;

Yoğunlaştırıcıda KM 'lerin %100 tutulduğu kabul edilirse;

Yoğunlaştırıcıya giren KM kütlesi = Yoğunlaştırıcıdan çıkan KM kütlesi = 1692 kg / gün

Yoğunlaştırılmış çamurların hacmi $V_{YÇ}$;

$$V_{YÇ} = \frac{W_{YÇ}}{\rho_w \times S_{YÇ} \times P_{KM}}$$

$$V_{AÇ} = \frac{1692 \text{ (kg / gün)}}{1000 \text{ (kg / m}^3\text{)} \times 1,02 \times (1 - 0,965)}$$
$$= 52,44 \text{ m}^3 \text{ / gün}$$

$V_{YÇ}$ = Yoğunlaştırılmış çamur hacmi, m^3

$W_{YÇ}$ = KKM ağırlığı – kütlesi, kg / gün

ρ_w = Suyun yoğunluğu, 1000 kg / m^3

$S_{YÇ}$ = Yoğunlaştırılmış çamurun spesifik ağırlığı; 1,02

P_{KM} = Çamurun katı madde muhtevası, ondalık sayı

(problemde yoğunlaştırılmış çamurlar için $P_{KM} = (1 - 0,965)$)

(4) Çürütücüye giren çamurun KM kütlesi ve hacmi;

Çamurun kütlesi; $W_{\zeta} = 3000(kg) + 1692(kg) = 4872 kg / gün$

Çamurun hacmi; $V_{\zeta} = V_{P\zeta} + V_{A\zeta} = 47,17(m^3 / gün) + 52,44(m^3 / gün) = 99,61m^3 / gün$

Çamurların özgül ağırlığını 1 kabul ederek;

$$P_{KM} = \frac{W_{A\zeta}}{\rho_w \times S_{A\zeta} \times V_{Y\zeta}}$$

$$P_{KM} = \frac{4872(kg / gün)}{1000(kg / m^3) \times 1,0 \times 99,61(m^3)} = 0,0489$$

KM muhtevası = %4,89 (su muhtevası = $1 - 0,0489 = 0,9511 = \%95,11$)

KM konsantrasyonu = $48,911kg / m^3 = 48911mg / L$



(5) Çürütücüye giren çamurun KM dengesi;

Ham (primer + sekonder) çamur hacmi; $V_{\zeta} = 99,61 m^3$

Çürütücüye giren KM kütlesi; $W_{\zeta} = 4872 kg / gün$

Çürütücüye giren KM 'nin organik fraksiyonu; $UKM = 4872 (kg / gün) \times 0,74 = 3605,28 kg / gün$

Çürütücüye giren KM 'nin inorganik fraksiyonu; $SKM = 4872 (kg / gün) - 3605,28 (kg / gün)$
 $= 1266,72 kg / gün$

Çürütücüde UKM giderme verimi = %55

Giderilen UKM; $UKM_{gid.} = 3605,28 (kg / gün) \times 0,55 = 1982,90 kg / gün$

Kalan organik madde = $3605,28 (kg / gün) \times (1 - 0,55) = 1622,38 kg / gün$

Anaerobik çürüme sonrası kalan TKM = $1266,72 (kg / gün) + 1622,38 (kg / gün)$
 $= 2889,10 (kg / gün)$

Çürümüş çamur hacmi $V_{\zeta\zeta}$;

$$V_{\zeta\zeta} = \frac{W_{A\zeta}}{\rho_w \times S_{A\zeta} \times V_{Y\zeta}};$$

$$V_{\zeta\zeta} = \frac{2889,10 (kg / gün)}{1000 (kg / m^3) \times 1 \times 0,065} = 44,45 m^3 / gün$$

(5-a) Tek kademeli çürütücü hacmi;

$$V = \frac{V_{\zeta} + V_{\zeta\zeta}}{2} \times t_1 + V_{\zeta\zeta} \times t_2$$

V : Çürütücü hacmi, m^3

V_{ζ} : Ham çamur yükleme hızı, $m^3 / \text{gün}$

$V_{\zeta\zeta}$: Çürümüş çamur oluşum hızı, $m^3 / \text{gün}$

t_1 : Çamur çürüme süresi, gün

t_2 : Çürümüş çamur bekleme süresi, gün

$$V = \frac{99,61(m^3 / \text{gün}) + 44,45(m^3 / \text{gün})}{2} \times 25 \text{ gün} + 44,45(m^3 / \text{gün}) \times 60(\text{gün})$$
$$= 4467,75 m^3$$



(5 – b) Çift kademeli çürütücü hacmi;

Birinci kademe; $V_1 = V_{\zeta} \times \theta_h$

$$= 99,61(m^3 / gün) \times 10(gün) = 996,1m^3$$

İkinci kademe; $V_2 = \frac{V_{\zeta} + V_{\zeta\zeta}}{2} \times t_1 + V_{\zeta\zeta} \times t_2$

V_2 : İkinci kademe çürütücü hacmi, m^3

V_{ζ} : Ham çamur yükleme hızı, $m^3 / gün$

$V_{\zeta\zeta}$: Çürümüş çamur oluşum hızı, $m^3 / gün$

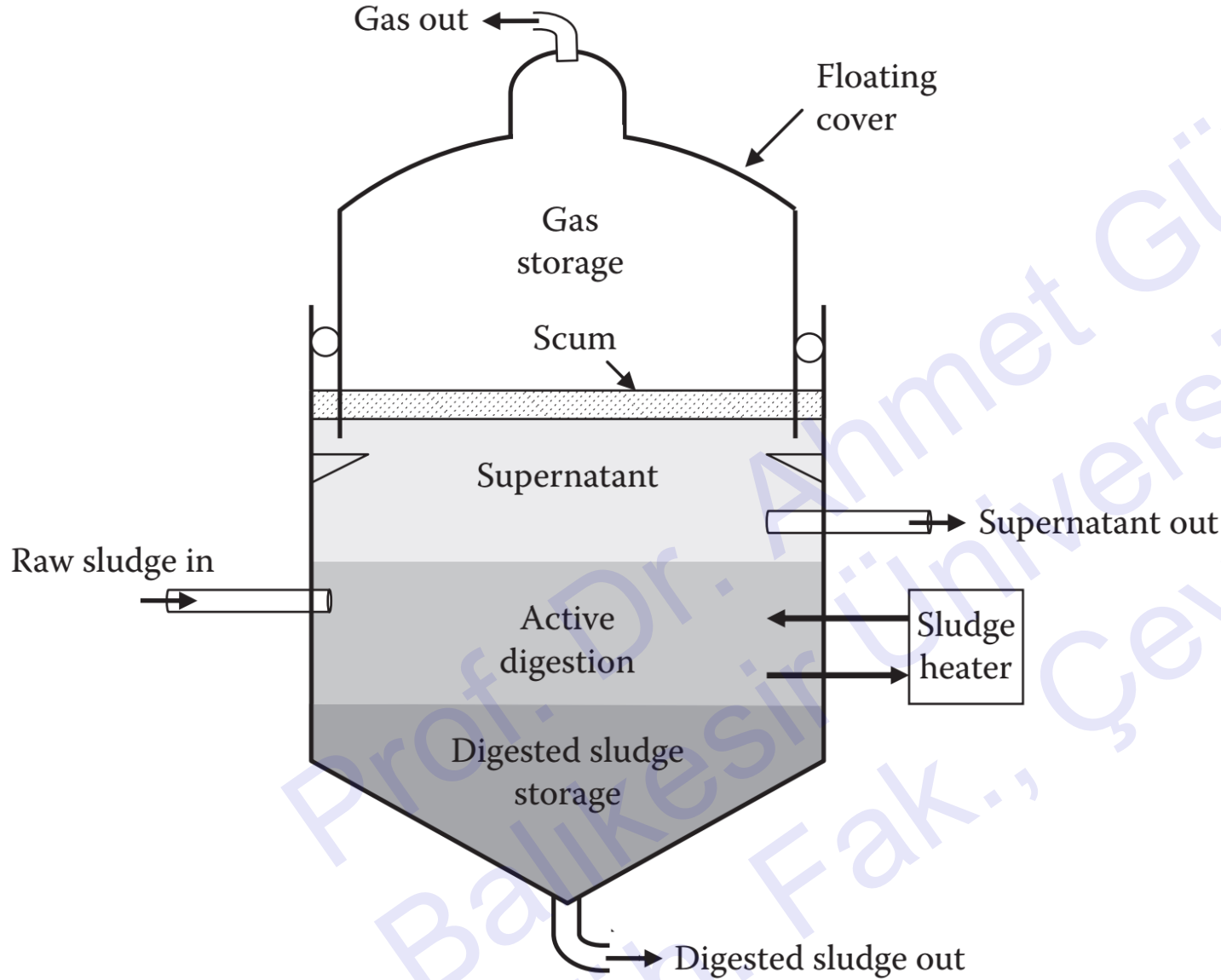
t_1 : Çamur çürüme süresi, gün

t_2 : Çürümüş çamur bekleme süresi, gün

$$V = \frac{99,61(m^3 / gün) + 44,45(m^3 / gün)}{2} \times 5(gün) + 44,45(m^3 / gün) \times 60(gün) = 3027,15m^3$$

İki adet reaktörün toplam hacmi = $996,10(m^3) + 3027,15(m^3) = 4025,25m^3$





Tek kademeli yüksek hızlı çürütücülerin hacmi KM yüküne, hidrolik bekletme süresine, ve herhangi bir ampirik yaklaşıma göre hesaplanabilir.

*Yüksek hızlı çürütücüler **geri devirsiz tam karışimli reaksiyon modellerine** göre hesaplanır.*

Yüksek hızlı çürütücülerde;

$$L_{UKM} = \mathbf{1,6-4,8 \text{ kg UKM/m}^3\text{-gün}}$$

$$\theta_c = \theta_h = \mathbf{15-20 \text{ gün}}$$

*Çamur yaşının **30-60 gün** olduğu konvansiyonel çürütücülerde*

$$L_{UKM} = \mathbf{0,32-1,0 \text{ kg UKM/m}^3\text{-gün}}$$

ŞEKİL Tek kademeli standart hızlı anaerobik çürütücü

(6) Biyogaz üretimi;

$$\text{Giderilen UKM}; UKM_{gid.} = 1982,90 \text{ kg / gün}$$

$$\text{Üretilen biyogaz} = 1982,90 (\text{kg / gün}) \times 1 (\text{m}^3 \text{ biyogaz / kg UKM}_{gid.}) = 1982 \text{ m}^3 / \text{gün}$$

$$\%60 CH_4 = 1982 (\text{m}^3 / \text{gün}) \times 0,60 = 1190 \text{ m}^3 / \text{gün}$$

$$\text{Biyogaz enerjisi} = 1982 (\text{m}^3 / \text{gün}) \times 22,4 (\text{MJ / m}^3) = 44397 \text{ MJ / gün} = 44,4 \times 10^9 \text{ J / gün}$$

$$\%75 \text{ boiler verimi ile üretilebilecek enerji} = 33,3 \times 10^9 \text{ J / gün}$$

(7) Reaktörü 35 °C'ye getirmek için ısı ihtiyacı;

Ham çamurun sıcaklığı 14 °C

$$\begin{aligned} \text{Isı ihtiyacı, } H &= 99,61 (\text{m}^3 / \text{gün}) \times 1000 (\text{kg / m}^3) \times (35 \text{ }^\circ\text{C} - 14 \text{ }^\circ\text{C}) \times 4200 \text{ J / kg }^\circ\text{C} \\ &= 8,79 \times 10^9 \text{ J / gün} \end{aligned}$$

$$\text{Verim } \%75 \text{ olsa; } H = 11,71 \times 10^9 \text{ J / gün)}$$

$$\begin{Bmatrix} 100 & 75 \\ \chi & 8,79 \times 10^9 \end{Bmatrix}$$

Reaktörde üretilen enerjinin %35'i reaktörü ısıtmak için yeterlidir.

Reaktörü ısıtmak için gerekli enerji << Üretilen biyogaz enerjisi

Fazla enerji nerede kullanılabilir?

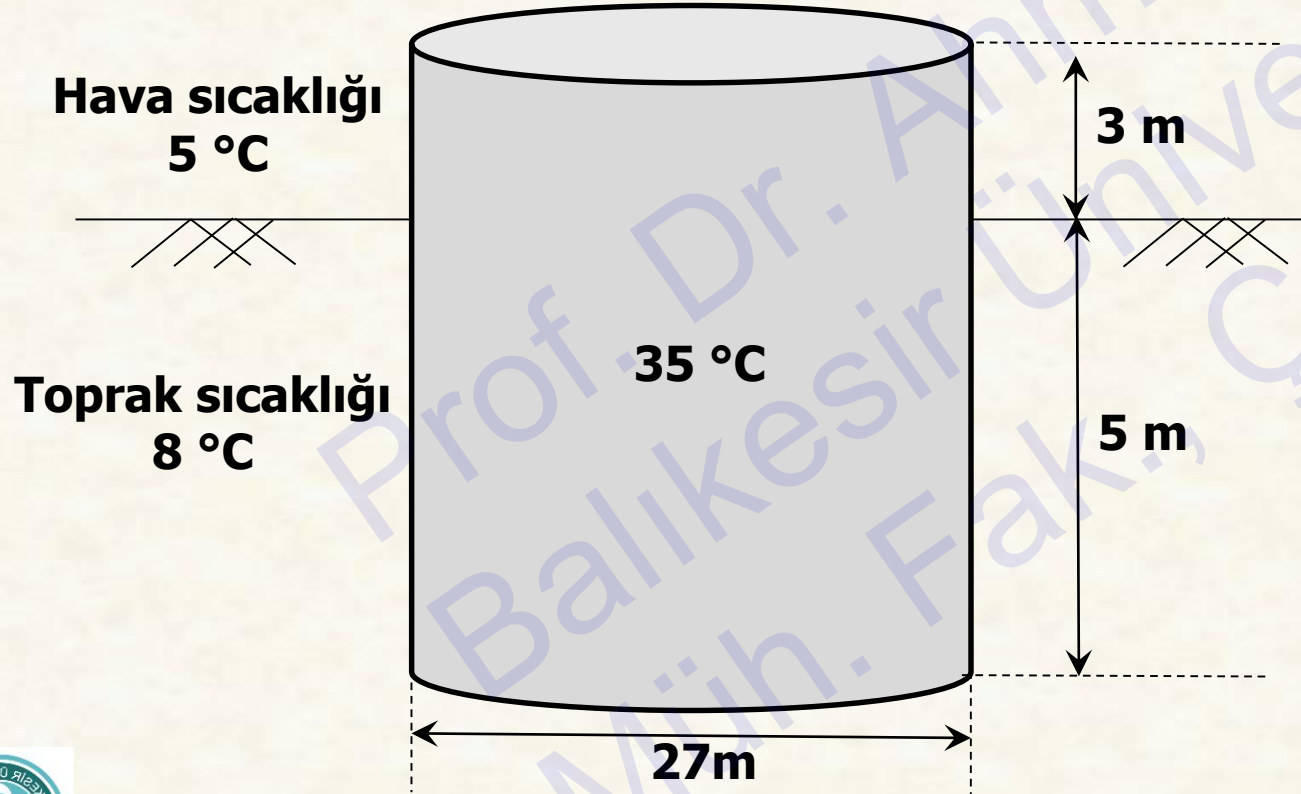


(8) Reaktörün boyutlandırılması;

Reaktörün derinliği = 8 m ve

Zemin altında temel derinliği = 5 m

Çürütücü betonarmedir, temel altındaki duvarlar kuru toprak ile temas etmekte ve temel üstündeki yüzeyler ısı izolasyonu ile kaplanacaktır.



V ; çürütücü hacmi, m^3

D ; çürütücü çapı, m

$$4467 (m^3) = \frac{\pi D^2}{4} \times H$$

$$D = 27 m$$

Problemin özeti;

- Giderilen kg UKM başına 0,8- 1,0 (1) m³ biyogaz açığa çıkar.
- Anaerobik çamur stabilizasyon reaktörleri tam karışımli geri devirsiz reaktörlerdir.
- Çamur debisi fazla olursa reaktörde HBS süresi (çamur yaşı) azalır, dolayısıyla çamur stabilizasyon verimi düşer.
- Çamur debisi fazla olursa reaktörün ısıtılması için gerekli ısı enerjisi sarfiyatı artar.
- Çürütücülere beslenen çamur organik maddece zengin olduğu için anaerobik stabilizasyonla açığa çıkan biyogaz reaktörü ısıtmak için gereken enerjiden oldukça fazladır; üretilen biyogaz enerjisinin %10-15'i reaktörü ısıtmak için yeterlidir.
- Çamurların hacminin minimum olması için çamurun olabildiğince yoğunlaştırılması (TKM muhtevasının olabildiğince artırılması) gerekir. Çamurların yoğunlaştırılması, kimyasal şartlandırıcı ilave edilerek mekanik ya da graviteli yoğunlaştırıcılarla gerçekleştirilebilir. Çamurların hacmi azaltılabildiği takdirde anaerobik reaktörün hidroluk bekletme süresi uzayacağından stabilizasyon verimi de artacaktır.



ÖRNEK-8

ÇAMUR

ŞARTLANDIRMA



ÖRNEK: Anaerobik stabilizasyon sonrası çamurların şartlandırılması

Anaerobik olarak çürütülmüş çamurların şartlandırılması maksadıyla %100 saflıkta $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ yapılan filtre süresi deneyi aşağıda belirtilen şartlarda yürütülmüştür (MW: $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 270.32; Fe: 55.85).

- Şartlandırmada kullanılan kimyasal madde %100 saflıktaki $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
- $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ çözeltisi; **1 ml \equiv 10 mg Fe^{3+}** olan çözelti hazırlanmıştır.
- Numune hacmi = **500 ml**
- $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ çözeltisinin optimum dozu **5 ml/500 ml**
- Çamurun TKM konsantrasyonu **25 000 mg/l**

40 m³/gün çamur debisi için;

- a. 1ml \equiv 10 mg Fe^{3+} çözeltisinden 500 ml hazırlamak için ne kadar %100 saflıktaki $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ gereklidir?
- b. Tesiste kullanılacak %100 saflıktaki $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ sarfiyatını hesaplayınız.
- c. %85 saflıkta $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ kullanılsaydı günlük sarfiyat ne olurdu?
- d. Optimum şartlandırıcı dozunu g Fe^{3+} /kg KKM ve g $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (%100 saflıkta)/kg KKM cinsinden hesaplayınız.



ÇÖZÜM:

MW $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ =	270,32 g/mol
MW Fe	55,85 g/mol
% saflık $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ =	%85

250	ml	10	g $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}/250$ ml
2,5	ml	0,1	g $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}/250$ ml

a) Çözelti,

1	ml	≡	10	mg Fe^{3+}
500	ml çöz.	≡	5000	mg Fe^{3+}

5000	mg Fe^{3+}	≡	24,201	g $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
24,201	g $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}/500$ ml	≡	10	mg $\text{Fe}^{3+}/1$ ml
1	ml	≡	10	mg Fe^{3+}

b) Optimum g $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dozu ve sarfiyat;

Optimum doz = 5ml Fe^{3+} / 500 ml numune

$$\equiv 10 \text{ ml } \text{Fe}^{3+} / 1 \text{ numune}$$

$$\equiv 100 \text{ mg } \text{Fe}^{3+} / 1$$

$$\equiv 100 \text{ g } \text{Fe}^{3+} / \text{m}^3$$

$$\equiv 0,10 \text{ kg } \text{Fe}^{3+} / \text{m}^3$$

$$\equiv 40 \text{ kg } \text{Fe}^3 / 40 \text{ m}^3$$

$$\equiv 19,4 \text{ kg } \%100 \text{ FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} / (40 \text{ m}^3 / \text{gün})$$



c) Günlük sarfiyat;

$$19,4 \text{ kg } \%100 \text{ FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} / (40 \text{ m}^3 / \text{gün}) \equiv 22,777 \text{ kg } \%85 \text{ FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} / (40 \text{ m}^3 / \text{gün})$$

$$\text{Günlük sarfiyat} \cong 30 \text{ kg } \%85 \text{ FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} / (40 \text{ m}^3 / \text{gün})$$

d) KKM cinsinden doz;

$$\text{TKM} = 25000 \text{ g} / \text{m}^3$$

$$\equiv 25 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$\equiv 1000 \text{ kg} / 40 \text{ m}^3$$

KKM başına Fe³⁺ dozu;

$$= 40 \text{ kg Fe}^{3+} / 40 \text{ m}^3$$

$$= 40 \text{ kg Fe}^{3+} / 1000 \text{ kg KKM}$$

$$= 0,004 \text{ kg Fe}^{3+} / \text{kg KKM}$$

$$\equiv 4 \text{ g Fe}^{3+} / \text{kg KKM}$$

$$\text{Optimum doz} = 40 \text{ kg Fe}^{3+} / 40 \text{ m}^3$$

KKM başına %100'lük FeCl₃ · 6H₂O dozu; 19,36 g %100 FeCl₃ · 6H₂O / kg KKM



ÖRNEK-9

ÇAMUR ÖZGÜL AĞIRLIĞI



ÖRNEK

Bir çamur numunesi **ağırlıkça % 90 su, %10 katı madde** ihtiva etmektedir. Katı maddelerin **1/3'ü sabit, 2/3'ü ise yanıcı (uçucu)** formdadır. Çamurun özgül ağırlığını bulunuz.

- Suyun özgül ağırlığı **1 gr/cm³**
- Uçucu katıların özgül ağırlığı **1 gr/ cm³**
- Sabit katıların özgül ağırlığı **2.5 gr/ cm³**

Ağırlıkça			Özgül ağırlık	
Su	90,0%		1 g/cm ³	
Katı	10,0%			
	Sabit	33,0%	2,5 g/cm ³	
	Organik	67,0%	1 g/cm ³	
		1,000		
1/S _{ST}	0,802			
S _{ST}	1,247 g/cm ³		Su içerisindeki katıların özgül ağırlığı	$\frac{W_{TS}}{S_{TS}} = \frac{W_{FS}}{S_{FS}} + \frac{W_{VS}}{S_{VS}}$
1/S _{Sludge}	0,9802			
S _{Sludge}	1,020 g/cm ³		çamurunkatıların özgül ağırlığı	$\frac{W_{SL}}{S_{SL}} = \frac{W_S}{S_S} + \frac{W_W}{S_W}$



TERMİNOLOJİ

Süpernatant: Çürütücünün TKM muhtevası oldukça düşük olan üst fazı.

Hidroliz: Suda çözünme reaksiyonudur. Hidroliz süresince, hidrolitik bakteriler büyük ve kompleks bileşenleri küçük ve basit sübstrat bileşenlerine çözüdürür. **Hidroliz organik maddelerdeki karbonun oksidasyon seviyesini değiştirmez.** Hidroliz reaksiyonları oksidasyon-redüksiyon reaksiyonu değildir.

Özgöl ağırlık:

Spesifik yoğunluk:

