

Anaerobik Arıtma Tesisi İşletmesinde Kontrol Parametreleri

Şubat 2024

Anaerobik Arıtma Tesisi İşletmesinde Kontrol Parametreleri

İçindekiler Tablosu

1.	GİRİŞ	3
2.	ALKALİNE	6
3.	VFA	7
4.	UYA/ALK ORANI.....	9
5.	pH	10
6.	SICAKLIK.....	12
7.	REDOKS POTANSİYELİ (ORP)	13
8.	ORGANİK YÜKLEME ORANI (OYO).....	14
9.	BİTKİSEL ATIK BOYUTU.....	15
10.	SOLİD BEKLETME SÜRESİ (SBS).....	16
11.	GAZ DEBİSİ VE KOMPOZİSYONU	18
12.	HİDROLİK BEKLETME SÜRESİ (HBS)	19
13.	ÖLÜ BÖLGELER	20
14.	KARIŞTIRMA VE AŞIRI KARIŞTIRMA.....	21
15.	ALEVİN RENGİ	23
16.	TOKSİSİTE.....	24
17.	PROSESTEKİ KARARSIZLIKLARIN KAYNAKLARI VE ÇÖZÜM YOLLARI	29
18.	ANAEROBİK ARTIMA REAKTÖRLERİNDE PROSESİN YENİDEN KARARLI HALE GETİRİLMESİ .	30

Tablo 1. Anaerobik Arıtmada Proses Kontrolü Maksudı ile İzlenmesi Gereken Parametreler ..3

Tablo 2. Anaerobik Çürütücüde Başarısızlık İlişkisi 7 |

Tablo 3. Anaerobik Çürütmede VFA:ALK Oranları Değişimleri..... 9 |

Tablo 4. Alkali ve Toprak Alkali Metallerin Teşvik Edici ve Engelleyici Konsantrasyonları 26 |

Tablo 5. Anaerobik Arıtmada Ağır metallerin Toksikite Etkileri 26 |

Tablo 6. Zararlı Maddelerin Havasız Ayrışma Sürecini Engelleyen Konsantrasyonları..... 27 |

Tablo 7. Anaerobik Arıtmada Çeşitli Engelleyicilerin Engelleme Seviyesi..... 28 |

Şekil 1. AD Sisteminde İzleme Teknikleri ve Kontrol Stratejileri 5 |

Şekil 2. Asedik Asit İnhibisyon Etkisi 8 |

Şekil 3. pH Bağlı Olarak Karbonat Bileşikleri Değişimi..... 8 |

Şekil 4. ORP – Kükürt İçin pH Diyagramı. Kırmızı Kutu, Anaerobik Çürütme Sırasında Minimum H₂S Oluşumunu Sağlamak İçin Optimum Eh – pH Bölgesini Vurgular 13 |

Şekil 5. Anaerobik Çürütücüde Partikül Boyutuna Bağlı Olarak Oluşan Gaz Hacim Değişimi.. 15 |

Şekil 6. Anaerobik Çürütmede H₂S Ve H₂S Giderme Yoluna Giden Kükürt Dönüştürücü Yollar 25 |

Şekil 7. Anaerobik Çürütme Tesisi Enstrümantasyon, Kontrol ve Otomasyon Sistemi 31 |

Şekil 8. Anaerobik Çürütme Tesisi Akım Şeması..... 31 |



MNE

Anaerobik Arıtma Tesisi İşletmesinde Kontrol Parametreleri

1. GİRİŞ

Havasız şartlarda biyobozunur organik atıkların çürütülmesi istenilen şekilde olabilmesi için anaerobik arıtma sisteminin yakinen izlenmesi ve gerekli tedbirlerin zamanında alınması gerekir.

Anaerobik şartlarda atıktan enerjiye dönüşümün popülaritesinin artmasıyla birlikte, piyasada anaerobik çürütücülerin büyük ölçekli işletimine yönelik talep ortaya çıktı. Ancak anaerobik çürütücülerdeki proses kararsızlıkları, tesislerin yüksek yükleme oranlarına kadar genişlemesini sınırlamaktadır. Süreçteki düzensizlikler, hazır, sağlam ve hassas bir izleme cihazının mevcut olması koşuluyla, hammadde özellikleri değiştirilerek doğrudan giderilebilir.

Etkili bir işletme ve izleme ile yüksek verimli bir anaerobik arıtmanın sağlanması, metana dönüşüm oranının maksimum seviyeye çıkarılması ve olabildiğince az miktarda arıtma çamuru oluşturulması gibi hedeflere ulaşılabilir.

Anaerobik çürütme tesisinde proses kontrolünün amacı arıtma tesisindeki düzensizliklerin mümkün olan en kısa sürede teşhisinin yapılmasıdır. Anaerobik çürütmede arıtmanın proses kontrolü bakımından dikkatle izlenmesi gerekli parametreler ve izlenme sıklıkları **Tablo 1**'de verilmiştir.

Tablo 1. Anaerobik Arıtmada Proses Kontrolü Maksadı ile İzlenmesi Gereken Parametreler

Parametreler	İzleme Sıklığı
Sıcaklık, °C (giriş ve çıkış)	Sürekli
pH* (çıkış)	Sürekli
Alkalinite (mg CaCO ₃ /L)*	Günlük
Toplam uçucu asit (TUA, VFA)* (çıkış)	Günlük
Amonyak-azotu	Haftada 3 defa
Uçucu askıda katı madde	Haftada 1 defa
Toplam Katı Madde (TS)	Günlük
Gaz Üretimi, Gg*	Sürekli
Gaz Kompozisyonu (%CH ₄ , %CO ₂)*	Haftada 3 defa
Organik yük oranı	Günlük
Sodyum	Günlük
KOI (mg/L) (her besleme değişikliğinde besleme, giriş ve çıkış)	Haftada 1 defa
BOI (mg/L) (çıkış sıvısında)	Haftada 1 defa
Arıtma verimi (%)	Haftada 3 defa

Prosesin izlenmesi ve takibi maksadı ile bu parametrelere ilaveten özellikle çamur yaşı ve atık kompozisyonun da kontrolü gerekebilir. Tablo 1'de () işareti ile belirtilen parametreler prosesin durumu hakkında doğrudan ve pratik bilgiler sağlayan esas kontrol parametreleridir.*

Anaerobik Arıtma Tesisi İşletmesinde Kontrol Parametreleri

Arıtma prosesinde bir dengesizlik olması halinde esas kontrol parametrelerinde ani düşme ve ani artışlar gözlenir. Değerlerde ani artış gözlenen parametreler: Toplam Uçucu Asit (TUA), %CO₂ ve değerinde ani düşüş gözlenen parametreler: pH, Alkalinite, Q_g, % metan (CH₄)'dir.

Anaerobik çürütme işlemlerinde, çürütme prosesinin kararlılığının bozulması genellikle TUA konsantrasyonunun artması ve müteakiben de pH'nın 6'ın altına düşmesi ile kendini gösterir. Organik yük azaltılarak ve/veya NaOH, kireç gibi kimyasallar ilave edilerek pH istenilen seviyelere getirilebilir. Sistemin pH'sı kontrol altına alındıktan sonra kararsızlığın sebebi araştırılmalıdır. Şayet geçici bir kararsızlık söz konusu ise reaktörde optimum çevre şartları sağlanarak ve pH dikkatlice izlenerek eski işletme koşullarına kısa sürede ulaşılır.

Uzun süreli ve ciddi kararsızlıklar söz konusu ise, dengesizliğin sebebi ortadan kaldırılarak pH kontrolü yapılırsa dahi arıtmayı gerçekleştiren, zarar görmüş mikroorganizmaların kararlı haldeki sistemden beklenen verimi sağlayacak miktara ulaşmaları, tıpkı alıştırmada döneminde olduğu gibi uzunca bir zaman isteyebilir.

Anaerobik çürütme sistemlerinde, uçucu yağ asidinin yükselmesi ve pH'ın düşmesi ile ortamdaki hidrojen gazı (H₂) kısmi basıncı arasında yakın bir ilişki bulunmaktadır. Biyogazdaki hidrojen konsantrasyonu, anaerobik çürütme kararlılığının daha hassas göstergelerinden biridir. Reaktördeki H₂'nin kısmi basıncı 10⁻⁴ atmosferi aştığında propiyonik asidin asetik aside parçalanması durmakta ve bunun sonucunda TUA konsantrasyonu yükselerek metan gazı üretimi safhası zarar görmektedir. Bu hal özellikle çamur yaşının 10 günden az olduğunda ortaya çıkmaktadır. Havasız şartlardaki reaktörlerde H₂ kısmi basıncı izlenebildiği takdirde daha reaktörde pH düşmeden önce sistemin kararlılığının bozulmaya başladığı an tespit edilerek gerekli müdahale bir gün önce yapılabilir. Dolayısıyla pH'nın düşmesi reaktördeki düzensizliğin başlangıcını değil sonucunu yansıtmakta ve takriben bir günlük bir gecikmeye yol açmaktadır. Bu şekilde hidrojen iyonu konsantrasyonu izlenebilmesi halinde daha etkili bir proses kontrolü sağlanabilir.

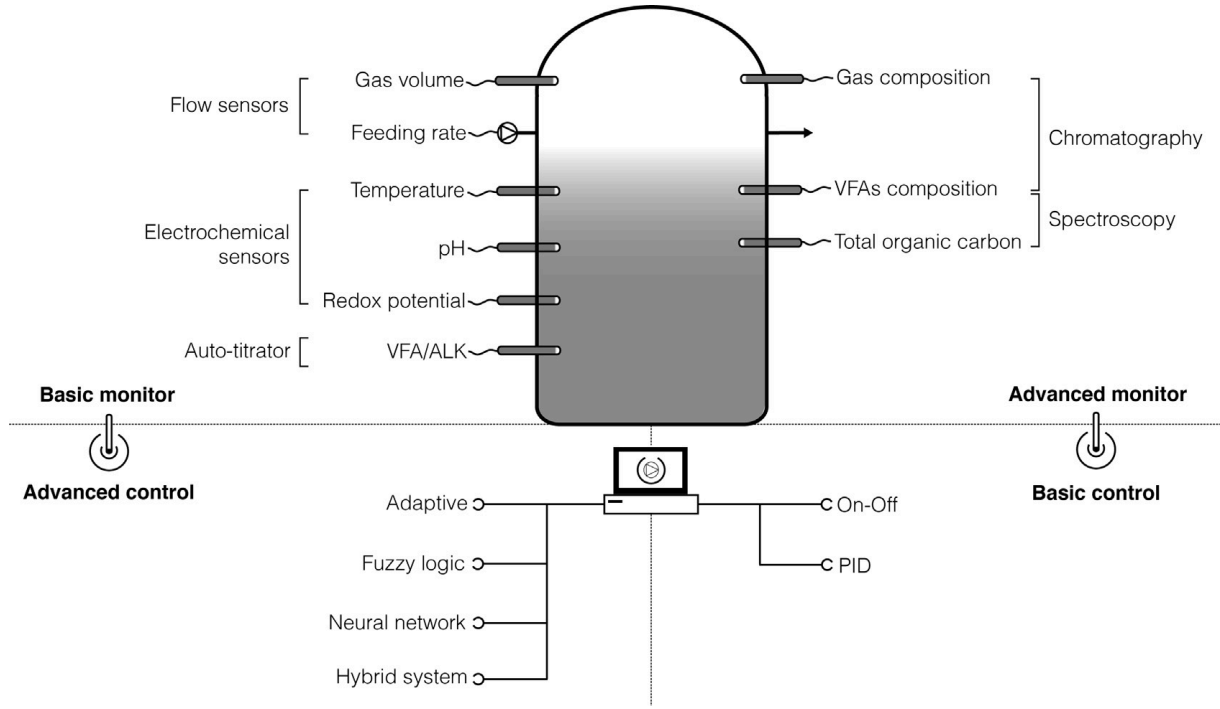
Herhangi bir sebeple kararsızlığını yitiren bir anaerobik çürütme reaktöründe, dengesizlik ilk önce sistemdeki TUA konsantrasyonunun artması sonucu pH da ani bir düşüş ile kendini gösterir. pH'daki düşüşü bir süre sonra (takriben bir gün) alkalitedeki ani bir azalma izler. Bu sırada metan gazı üretiminin yavaşlaması dolayısı ile gaz debisinde ve gazdaki metan yüzdesinde bir azalma gözlenir. Bunların sonucu olarak da çıkıştaki KOI konsantrasyonu artar ve sistemin verimliliği düşer.

Atık türlerinde hangi aylarda değişim yapılıyorsa, atıkları sisteme beslemeden önce her birinin ve harmanlama sonucu KOI, toplam azot (N) ve toplam fosfor (P) değerleri tespit edilmeli. Harmanlama sonucu KOI/N/P oranları kayıt altına alınmalı. Diğer yandan harmanlama sonucu oluşan karışımın pH ölçülmeli.

Yine atık türleri hangi aylarda değiştiriliyorsa atıklar reaktöre beslenmeden önce her yeni atık türü içindeki ağır metallerin, alkali metallerin, sülfat ve amonyumun analizleri yapılmalıdır.



Anaerobik Arıtma Tesisi İşletmesinde Kontrol Parametreleri



Şekil 1. AD Sisteminde İzleme Teknikleri ve Kontrol Stratejileri

Anaerobik çürütme reaktöründe yukarıda verilen parametreler yanında atıksu seviyesi de sürekli ölçülmeli.

Anaerobik çürütme tesisinin verimliliği;

- Substrat tipine ve özelliğine,
- Karbon/azot/fosfor oranına,
- Sıcaklığa,
- TS içeriğine,
- Karıştırmaya,
- pH değerine,
- HBS (hidrolik bekleme süresine)

gibi çeşitli operasyonel ve fiziksel parametrelere bağlıdır.

Atık içindeki partikül maddeyi çözümler substrata dönüştürmek için ilk hidroliz adımı, sıcaklıktan ve HBS'den önemli ölçüde etkilenmektedir.

Ölçümler kaydedilmelidir, günlük olarak rapor edilmeli ve yetkili kişilerin ulaşımına sunulmalı.

Tekniğine uygun işletilen anaerobik çürütme tesislerinde biyoenerji üretmenin yanı sıra katı ve sıvı fermente ürün üretmek mümkündür.

2. ALKALİNE

Alkalinite, anaerobik bir çürütücüde pH dalgalanmalarını önler. pH stabilitesini sağlamak için alkalilik ile uçucu asitler arasındaki ilişkinin izlenmesi önemlidir.

Alkalinite, ortamdaki asitleri nötralize etmek için suyun tamponlama kapasitesidir. Alkalinite, karbonatlar, bikarbonatlar, hidroksitler ve bazen boratlar, silikatlar ve fosfatların bir ölçüsüdür. Alkalinite birimi litre başına miligram eşdeğer kalsiyum karbonat olarak ifade edilir.

Anaerobik çürütme reaktöründe alkalinitenin 2500-5000 mgCaCO₃/L arasında olması tavsiye edilir.

Anaerobik çürütmede çevresel hassasiyeti çok yüksek olan metan oluşturucu bakteriler, metanojenler, küçük pH değişikliklerinden etkilenirken asit üreticileri geniş bir pH aralığında tatmin edici bir şekilde işlev görebilir.

Sindirim stabilitesi, sindirici içeriğinin tamponlama kapasitesine bağlıdır. Daha yüksek alkalinite (ALK) değerleri, pH değişikliklerine direnme kapasitesinin daha yüksek olduğunu gösterir. Anaerobik çürütücüdeki ALK değeri 2500 ile 5000 mgCaCO₃/L arasında değişmesi halinde minimum sorun oluşur.

Yetersiz ALK, VFA konsantrasyonunun artmasına neden olabilir. Anaerobik reaktörde alkalinite kontrolü oldukça önemlidir. Yeterli alkalinite olmadan, 1-2 gün içinde VFA üretilir, böylece pH değerleri <5.5'e düşer. Buda arıtma verimliliği ciddi ölçüde düşürür ve anaerobik çürütme işlemi durma noktasına getirir.

Alkalinite tamponlama görevi görür ve pH'ın düşmesini ve sınır değerinin üzerinde VFA oluşmasını önler.

Alkalinite günlük olarak ölçülmeli ve kayıt altına alınmalıdır.

Anaerobik Arıtma Tesisi İşletmesinde Kontrol Parametreleri

3. VFA

Uçucu yağ asitleri (VFA), küçük molekül boyutları (C2-C5) ve hızla uçucu forma geçme özellikleri nedeniyle güçlü kokulara neden olabilir. Yüksek konsantrasyonlardaki VFA'lar, anaerobik çürütme sisteminin bozulmasına katkıda bulunabilecek şekilde çürütücünün pH'ını düşürür.

VFA'lar suda çözünen yağ asitleridir (organik asitler). VFA test sonuçları, miligram eşdeğer asetik asit (mg asetik asit/L) olarak ifade edilir ve çürütücünün verimli çalışıp çalışmadığını gösterir. Normal veya verimli bir çürütücüde VFA'lar, metan oluşturucular için besin kaynağı olarak kullanılmaktadır.

Organik asitlerin üretimi, çürütücüye beslenen katı maddelerin hacmine ve konsantrasyonuna bağlıdır. Birincil çürütücüdeki VFA'lar için tipik aralık, 50 ile 300 mg/L arasında değişir.

VFA konsantrasyonları 300 mg/L'nin üzerine çıktığında, çürütücü aşırı yüklenmiş olur ve başka sorunlar yaşanır.

Tablo 2. Anaerobik Çürütücüde Başarısızlık İlişkisi

VFA (mg/L)	Alkanilite (mg/L)	pH	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)
Yüksek	Düşük	Düşük	Yüksek	Düşük

Stabil anaerobik çürütücüde VFA birikiminin, neden olduğu pH düşüşü, karbon dioksit, amonyak ve bikarbonat şeklinde alkalinite üreten metanojenlerin aktivitesi ile karşılanır. Alkalinite, pH'daki hızlı değişiklikleri önlemek için bir çürütücünün tamponlama kapasitesi olarak düşünülebilir. Kararlı bir anaerobik çürütücü, karbon dioksit ve bikarbonat iyonları şeklinde yüksek bir alkalilik konsantrasyonuna sahip olacaktır.

Çürütücüde VFA'ların birikmesi, çürütücünün pH'ı düşmeye başlamadan önce alkalinite bir düşüşe neden olacağından, bu, onu stabilitenin ve olası arızanın olduğunun bir göstergesi yapar.

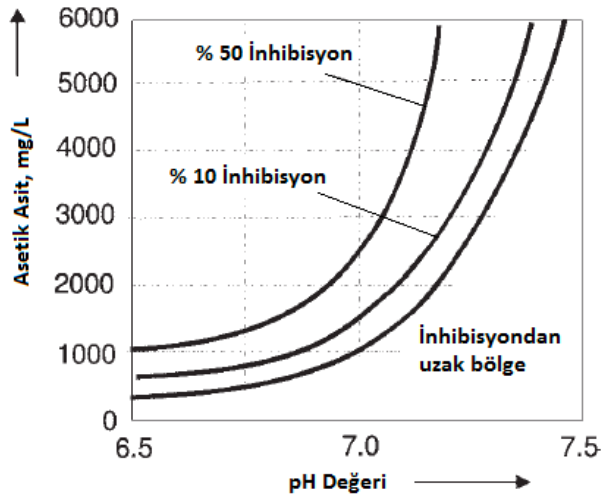
Çürütücüde, temel kural, özellikle propiyonik asit ve diğer kısa zincirli yağ asitlerinin artışı sorunlu olabilir, çünkü kendileri bozulmayı daha da fazla engellerler.

Bir çürütücünün stabil ve iyi tamponlanmış kalması için molar bikarbonat/UYA oranı en az 1,4:1 olması önerilir. Bununla birlikte, oranın kararlılığının, oranın kendisinin tam seviyesinden daha önemli olduğu gösterilmiştir.

Anaerobik Arıtma Tesisi İşletmesinde Kontrol Parametreleri

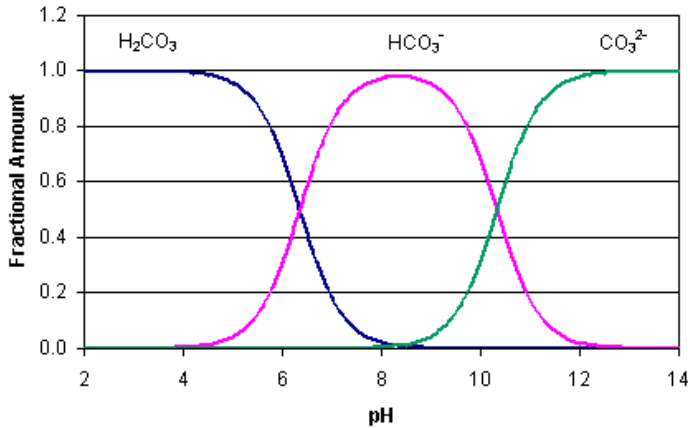
Uçucu yağ asitleri, anaerobik proseslerde asitojen mikroorganizmaların şeker, aminoasit, uzun zincirli yağ asitleri gibi organik maddeleri parçalaması sonucunda oluşurlar. Anaerobik prosesin ara ürünleri olan UYA`lar genel olarak, asetik asit, propiyonik asit, bütirik asit ve alkollerden oluşmaktadır. Anaerobik sistemlerde genel olarak asetik asit, diğer uçucu yağ asitlerine göre daha yüksek konsantrasyonlarda bulunur. Fakat propiyonik ve bütirik asidin inhibisyon etkileri daha fazladır. Kısmen çözülmüş, kısmen de partiküller formda olan ve substratta doğal olarak bulunan organik asitler metanojenesis evresinde parçanırlar.

İnhibisyon eşik değeri, pH düştükçe azalır. pH<7 olduğu durumlarda, asetik asit inhibisyon eşik değeri 1000 mg/L iken, izo-butirik asit veya izo-valerik asit söz konusu olunca çözünmemiş yağ asitlerinin inhibisyon eşik değeri 50 mg/L seviyesinde olmaktadır. Propiyonik asit ise 5 mg/L değerlerinde çok güçlü bir inhibisyon etkisi gösterebilmektedir.



Şekil 2. Asetik Asit İnhibisyon Etkisi

Karbonat türü ile pH arasındaki ilişki **Şekil 3'**de verilmiştir.



Şekil 3. pH Bağlı Olarak Karbonat Bileşikleri Değişimi

Bu yüzden UYA, günlük olarak ölçülmeli ve kayıt altına alınmalıdır.

Anaerobik Arıtma Tesisi İşletmesinde Kontrol Parametreleri

4. UYA/ALK ORANI

UYA ve ALK birlikte incelendiğinde anaerobik çürütme sürecini ölçebilir ve kontrol edebilir. UYA ve ALK konsantrasyonları, çürütme işleminin anlık görüntüsünü sağlayan tek bir sayı sağlamak için bir formülde kullanılır.

0,35'ten düşük tutarlı bir UYA/ALK oranının korunması, uygun çürütme tesisi çalışması için koşullar doğrudur.

$$\text{UYA/ALK oranı} = \text{UYA (mg/L)} / \text{ALK (mg/L)}$$

İyi çalışan bir anaerobik çürütme tesisinde UYA/ALK oran 0,1 ile 0,2 arasında değişir. Eğer UYA/ALK oranı 0.35'i aşıyorsa, aşırı organik yükleme ve hidrolik yükleme, vb. gibi sorunlar olduğunu gösterir. Bu oran 0,5'in üzerine çıktığında pH kararsız hale gelir.

Organik yükleme; 24,1 -55,54 kg VS (Uçucu katı) /m³/gün (0,15-0,35 lb VS (Uçucu katı)/ft³/gün)

Biyogaz ürünü; 0,0187- 0,05 m³/kg VS (uçucu katı) (3-8 ft³/lb VS (uçucu katı))

Bu yüzden UYA/ALK (uçucu yağ asitleri/alkalinite) oranı günlük olarak hesaplanmalı ve kayıt altına alınmalıdır.

Tablo 3. Anaerobik Çürütmede VFA:ALK Oranları Değişimleri

VFA:ALK Oranları	Arka Plan	Ölçümü
0,8	Metan üretimi durur	Beslemeyi durdurun, alkalinite ekleyin.
0,6 - 0,7	Çürütücü stabilitesi kritik	Beslemeyi azaltın veya durdurun, alkalinite ekleyin.
0,4 - 0,5	Anaerobik koşullar bozulur	İlerleme hızını azaltın, çalışma koşullarını ayarlayın, alkalinite ekleyin veya artırmayı planlayın.
0,3 - 0,4	Biyogaz üretimi yüksek	İlerleme hızını azaltmayı planlayın veya çalışma koşullarını ayarlayın.
0,2 - 0,3	Biyogaz üretimi orta düzeyde	Çürütücü koşullarını yakından izlemeye devam edin.
< 0,2	Biyogaz üretimi düşük/koruyucudur	Daha yüksek gaz üretimi için beslemeyi yavaş yavaş artırma potansiyeline geçiniz.

Optimum VFA:ALK aralığı uygulamaya bağlı olarak değişebilir. Belediye arıtma çamurları sistemleri için sağlıklı bir VFA:ALK oranı 0,15 ila 0,3 arasında değişebilir, hatta biyolojik fosfor giderme prosesleriyle birlikte uygulandığında 0,4'e kadar çıkabilir. Tamamen endüstriyel uygulamalarda, güvenli ve sağlıklı işletimin sürdürülebildiği yerlerde biraz daha yüksek aralıklar görülebilir.

Sabit bir pH'ı korumak için VFA:ALK oranı 0,15 ila 0,3 arasında değişebilir.



Anaerobik Arıtma Tesisi İşletmesinde Kontrol Parametreleri

5. pH

pH artış ve düşüş süresine bağlı olarak biyogaz üretimi tamamen durabilecek noktaya kadar azalabilir.

Anaerobik çürütme tesisinde pH, 6,8-7,2 arasında olmalıdır.

Hidroliz/asidojen fazında pH'ın, 5,2-6,3 arasında olması tavsiye edilmektedir.

Metanojenler için optimum pH, 6,8 - 7,2 arasında olmalıdır.

- ✓ Anaerobik çürütücüde pH düşüşü, bikarbonat ALK'sinin oluşumu ve metanojenler tarafından UYA'ların tüketimi ile karşılanabilir.
- ✓ UYA'ların tüketimi, hızlı büyüyen asidojenler ve yavaş büyüyen metanojenler arasındaki dengeye bağlıdır.
- ✓ Bu denge, operasyonel veya çevresel koşullardaki değişikliklerle kolayca bozulabilir.

pH, proses stabilitesinin yeterince hassas bir göstergesi değildir.

Anaerobik çürütmede pH düşüşü proses başarısızlığına neden olan uçucu yağ asitlerinin (UYA'lar) birikmesine neden olabilecek asidojenlerin baskınlığını önlemek için normalde pH 6,8 ve 7,2 arasında tutulur.

Metanojenik bakterilerin büyüme hızı asidojenik bakterilere göre daha yavaştır. Daha düşük pH değerlerinde ve daha yüksek besleme hızlarında asidojenik bakterilerin büyüme hızı artar. Bu nedenle asidojenez sırasında asit oluşumu ortamın pH'ını düşürür ve metanojenez sürecini engeller.

pH düşerse, bu, son birkaç gün ila haftalar arasında yapılan dozlama hatalarını gösterir. Özellikle fermenterdeki süspansiyonun yeterli nötrale etme kapasitesini sağlamayan substratları sindirirken veya çok azotlu substratlar için pH'ı izlemek gereklidir.

pH 6.6'nın altına düşerse metanojenlerin büyüme hızı büyük ölçüde azalır.

pH <6.5'nin altına düşerse, pozitif bir geri besleme daha fazla azalmaya yol açar, çünkü metanojenik bakterilerin aktivitesi inhibe edilir ve bu nedenle işlemdeki uçucu yağ asitleri oksitlenemez. Artan konsantrasyonlarla pH daha da düşer ve süreç durma noktasına gelir.

pH <6.5'nin altında düştüğünde pH'ı ayarlamak için sodyum bikarbonat ve potasyum bikarbonat gibi (bikarbonat) tuzu ile edilerek eski haline getirilmelidir.

Azotun azlığı hücresel gelişimi engellediği için arıtma verimini düşürür. Reaktörde azotun çok olması durumunda da amonyak birikimi söz konusu olur ve pH değeri 8,5'e yaklaşır. Bu da sistemin inhibe olmasına neden olur. Böylece kötü kokulu yanmayan bir gaz elde edilir. C/N değeri 8'den düşük olursa bu etki görülmektedir.

Digestate pH'ın 8,5 civarında olması, ortamda amonyum azotu olduğunu ve seyretmenin digestate ile yapısında dikkatli olunması gerektiğini gösterir.

pH >8,0 için metan gazı bakterilerinin aktivitelerinin aniden düşmesi ortamdaki serbest (iyonize olamamış) NH₃ miktarı ile de ilgilidir.



Anaerobik Arıtma Tesisi İşletmesinde Kontrol Parametreleri

pH ölçüm cihazı, sık aralıklarla kalibre edilmeli ve Tablo 1'de verilen sıklıkta sürekli olarak ölçülmeli ve saatlik ortalamalar olarak kayıt altına alınmalıdır. Değişimler not edilmelidir.

Asit-alkalilik, bir numunedeki toplam asidin toplam alkaliniteye bölünmesiyle hesaplanabilir. Toplam Alkalinite, bir çamur örneğini pH 7'den pH 4'e getirmek için ne kadar H₂SO₄ gerektiği ile ölçülür. Toplam asit, numuneyi pH 4'ten tekrar 7'ye getirmek için ne kadar NaOH gerektiği ile ölçülür.

6. SICAKLIK

Mezofilik şartlarda çalışan anaerobik çürütme tesislerinde sıcaklık, 35-37 oC arasında değişir.

Anaerobik çürütme tesisinde sıcaklık günde 0,6°C'den (1°F) fazla değiştirilmemelidir/değişmemelidir.

Biyoreaktörlerde sıcaklığın ani olarak değişmesi bakterilerin faaliyetlerini olumsuz yönde etkiler. Özellikle metan oluşturuvcu bakterilerin sıcaklık değişimine karşı çok hassas olması biyokimyasal reaksiyonu yavaşlatmaktadır.

Mezofilik bir sindirim sistemi için katı madde bekletme süresi 10 ila 30 gün arasında değişir.

Metan oluşturan bakteriler çok dar sıcaklık aralığında hayatta kaldığından fermantasyon sıcaklığının izlenmesi çok önemlidir. Bu nedenle, bu parametrenin her zaman güvenilir bir değerine sahip olmak gereklidir.

Anaerobik çürütücü, optimum sıcaklıkta çalışacak şekilde kontrol edilmezse, UYA birikimi ile biyokütle yıkaması meydana gelebilir. Bunun nedeni, UYA tüketen metanojeniz reaksiyonunun, UYA üreten asidojenik reaksiyona kıyasla daha düşük hızda ilerlemesidir.

Atıkların anaerobik çürütülmesi sırasında optimum performansı sağlamak için anaerobik çürütücünün sıcaklığı kesinlikle korunmalıdır.

Sıcaklık ölçüm cihazı, sık aralıklarla kalibre edilmeli ve Tablo 1'de verilen sıklıkta sürekli olarak ölçülmeli ve saatlik ortalamalar olarak kayıt altına alınmalıdır. Değişimler not edilmelidir.

7. REDOKS POTANSİYELİ (ORP)

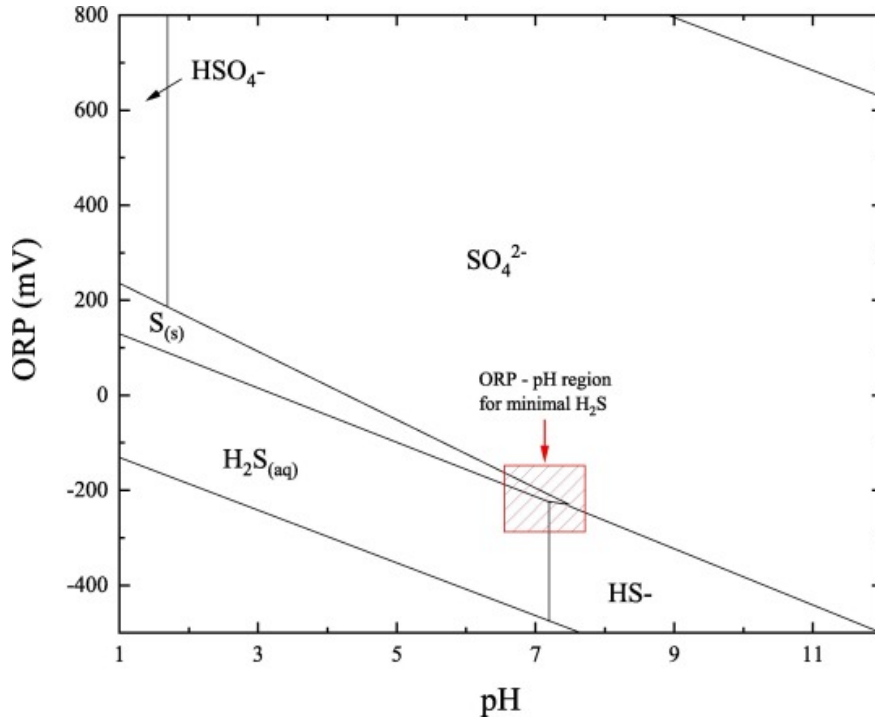
ORP, reaktörlerin stabilitesinin izlenmesi için kabul edilen bir parametre olmuştur.

Biyogaz üretimi için gerekli anaerobik ortamı izlemek için kullanılan ORP için de geçerlidir (< -200 mV). Çok küçük miktarlarda oksijen doğrudan ORP'de bir artışa neden olur.

Hidroliz/asidojen fazı esnasında ORP'nin, +400 ila -300 arasında olabilir.

ORP'deki bir artış, işlemde olası bir oksijen varlığına işaret ettiğinden, bazen oksidasyon-redüksiyon potansiyeli (ORP) sensörleri de kurulur. Bu bağlamda, anaerobik metanojenik arke (bir prokaryotik mikroorganizma takımı) aktivitesini olumsuz yönde etkilememek için standart bir hidrojen elektrotuna (atık su özelliklerine bağlı olarak) göre ORP potansiyelinin -300 mV'nin altında tutulması önerilir. ORP bazen çürütücülerdeki sülfat düşüşünü ve mikro havalandırma yoluyla biyogazdaki H₂S'yi izlemek için de kullanılır.

Asidojeniz fazı sırasında optimum ORP ve pH'ın sırasıyla -284 ± 32.71 mV ve 5.76 ± 0.24 olduğunu ve metanojeniz aşamasında optimum ORP ve pH sırasıyla -335.63 ± 28.97 mV ve 7.49 ± 0.24'dir. Bu nedenle anaerobik proseste biyogaz üretiminde ORP ve pH kontrolü önemlidir.



Şekil 4. ORP – Kükürt İçin pH Diyagramı. Kırmızı Kutu, Anaerobik Çürütme Sırasında Minimum H₂S Oluşumunu Sağlamak İçin Optimum Eh – pH Bölgesini Vurgular

8. ORGANİK YÜKLEME ORANI (OYO)

Anaerobik çürütücüler, günlük birim çürütücü hacmi başına uçucu katıların kütle veya ağırlığı ölçümüne dayalı olarak beslenir.

$$\text{Organik Yükleme Oranı (OYO)} = (m \cdot c) / (V_R \cdot 100)$$

Burada;

m: Birim zaman başına eklenen substrat miktarı (kg/gün),

c: Organik madde konsantrasyonu (uçucu katılar)

V_R : Reaktör hacmi (m^3)

kg VS (fermente olabilir biyokütle)/ m^3 *gün birimi en yaygın olarak kullanılır.

Bugün tasarlanan anaerobik çürütme sistemleri, genellikle 1,6 ila 6,4 kg/ m^3 *gün (100 ila 400 lb/1000 ft³*gün) arası yüklemelere sahip yüksek hızlı sistemlerdir.

Çürütücünün tam besin gereksinimleri, organik yükleme hızına bağlı olarak büyük ölçüde değişir.

Biyokütle oluşumunun hızlı olduğu işletmeye alma dönemlerinde KOI/N/P oranı, 300/5/1 ~500/5/1 aralığında tutulur. Kararlı işletme hallerinde ise 700/5/1 oranı uygulanabilir. Veya 15:1 – 30:1 arasındaki C/N oranları anaerobik fermantasyon için uygun olmaktadır. Mesofilik şartlar için C/N oranının 25/1 olması tavsiye edilmektedir.

Hidroliz safhasında C/N/P oranının 100:5:1 ve metanojen safhasında ise 120:5:1 olması tavsiye edilir.

Anaerobik çürütmenin düzgün çalışması için tutarlı ve sabit bir oranda beslenmesi gerekir.

Veya KOI/N/P oranı ~ 300:5:1;

- ✓ Sulu çözeltilerdeki olağan 'P' formları şunları içerir:

Ortofosfat, polifosfat ve organik fosfat.

- ✓ Ortofosfatlar hemen temin edilebilir:

Biyolojik metabolizma daha fazla değişiklik olmadan.

- ✓ Organik fosfatlar genellikle hidrolize edilmelidir.

Kullanmadan önce inorganik fosfat serbest bırakmak için hücre.

Kükürtlü bileşik (S)'nin optimum anaerobik çürütücü konsantrasyonları 0.001 ve 1.0 mg/l arasında değişmesi gerektiği rapor edilmiştir. Kükürtlü bileşiğin çoğu sisteme zarar verir.

Organik yükleme oranı günlük olarak kayıt altına alınmalıdır. Atık türü değiştirildiğinde KOI, toplam azot ve toplam fosfor analizleri tespit edilmelidir. KOI/N/P veya C/N oranının kararlı işletme şartlarını sağlayıp sağlamadığı belirlenmeli.

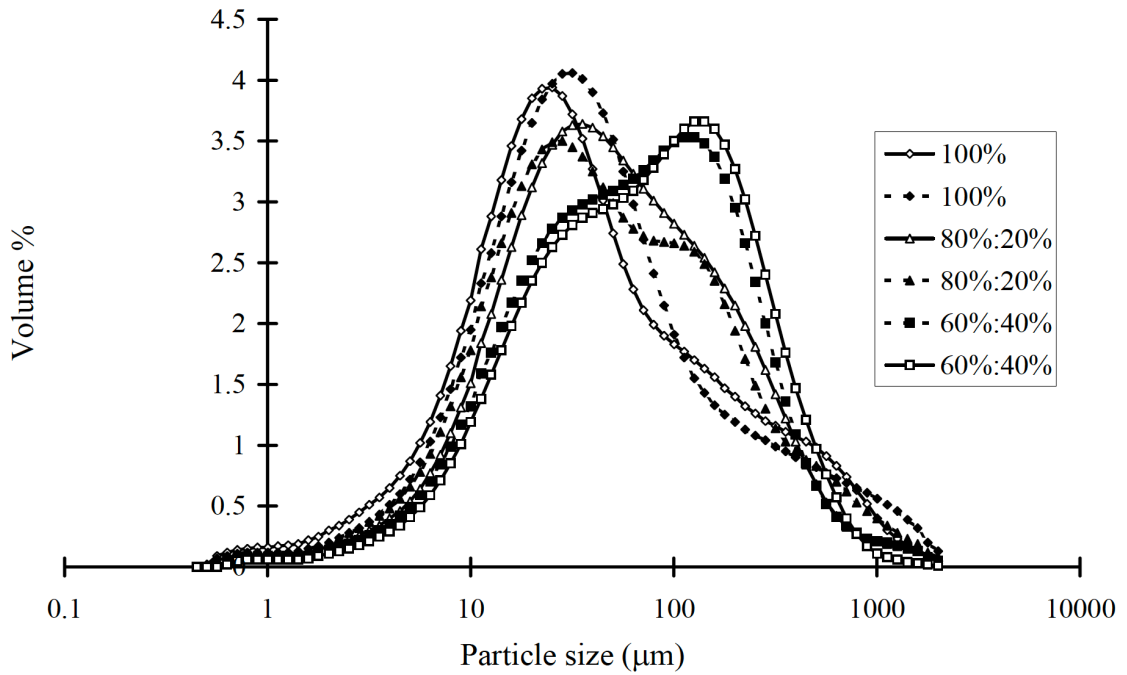
9. BİTKİSEL ATIK BOYUTU

Anaerobik çürütücü reaktörüne beslenen atığın boyutu reaksiyon hızını etkiler.

Organik katı atıkların anaerobik sindiriminde hız sınırlayıcı adım, genellikle bunların hidrolizidir. Atığın boyutunun küçültülmesi ve bunun sonucunda mevcut spesifik yüzeyin genişlemesi, biyolojik süreci iki şekilde destekleyebilir. İlk olarak, yüksek lif içeriğine ve düşük bozunabilirliğe sahip substratlar söz konusu olduğunda, atığın boyutunun küçültülmesi gelişmiş bir çürütücü gaz üretimine yol açar. Bu, bertaraf edilecek kalıntı bakiyesi miktarının azalmasına ve artan miktarda faydalı sindirici gaz oluşturur. Tüm substratlarda, ancak özellikle düşük bozunabilirliğe sahip olanlarda gözlemlenen partikül boyutu azalmasının ikinci etkisi, teknik sindirim süresinin azalmasıdır.

0,5 mm boyuta kadar buğday samanının kırılması ve öğütülmesi ile elde edilen enerji veriminde %53'lük bir artışa yol açmıştır. Anaerobik sindirim süresinde bir azalmaya (\approx %20) yol açtığı gözlemlenmiştir.

Atık boyutu, anaerobik çürütme işlemlerinin verimliliğini ve kararlılığını önemli ölçüde etkiler.



Şekil 5. Anaerobik Çürütücüde Partikül Boyutuna Bağlı Oluşan Gaz Hacim Değişimi

Atık boyutu küçüldükçe reaktörde partikül çökeltme oranı o nispette düşer.

Sisteme verilen atık türü değişimlerinden önce atık boyutu tespiti yaptırılmalı ve kayıt altına alınmalıdır.

10.SOLID BEKLETME SÜRESİ (SBS)

Anaerobik çürütücüde bekletme süresi, katıların ve üzerinde yaşayan mikro organizmaların anaerobik sindiricide bulunduğu ortalama süreyi veya sıvı çamurun anaerobik sindiricide bulunduğu ortalama süre olan hidrolik bekletme süresini (HBS) gösteren katı madde tutma süresi (SBS) ile tanımlanabilir. Geri dönüşümü olmayan bir sindiricide HBS ve SBS eşit kabul edilir. Bununla birlikte, katıları çürütücüye geri dönüşümü yapılarak, SBS ve HBS ayrılabilir ve önemli ölçüde değişebilir. Metanojenler yavaş büyüyen mikro organizmalar olduğundan, anaerobik çürütücülerde kullanılan SBS'ler en az 12 gün ve genellikle çok daha uzun olma eğilimindedir. Daha düşük SBS'lerde, metanojenlerin yıkanması, çürütücünün uzun vadeli stabilitesi ve performansı üzerinde zararlı bir etkiye sahip olabilir. Ayrıca, yüksek SBS'ler çürütücüye şok veya toksik yüklemenin etkilerine karşı bir dereceye kadar tamponlama sağlar.

Çürütücüde uçucu katıların metan ve karbondioksite bozulması HBS'ye bağlıdır. Basit bir ifadeyle, HBS ne kadar uzun olursa, uçucu katı madde azalması o kadar büyük olacaktır.

HBS'de 12 günden fazla artışların uçucu katıların yok edilmesini önemli ölçüde artırmadığı gösterilmiştir. Ancak çürütülmüş çamur araziye uygulanacaksa, son üründeki uçucu katıların ve indikatör patojen sayımlarının mevzuata uygun olacak kadar düşük olmasını sağlamak için alıkonma süresi yeterince uzun olmalıdır.

Katıların (parçacıklı substratlar ve mikroorganizmalar) proses kabında tutulduğu ortalama süre olan SBS, substratın bozulması ve mikrobiyal büyüme için mevcut zamanı belirlediğinden anaerobik çürütme işleminde önemli bir parametredir. SBS, mikrobiyal topluluğun kilit üyelerinin büyüme hızından daha az olduğunda, proses başarısızlığına yol açan biyokütle arınması meydana gelecektir. Metanojenler genellikle anaerobik çürütücü içinde en yavaş büyüyen popülasyonlar olarak kabul edilir ve mezofilik koşullar altında SBS'nin 6 günün altına düşürülmesinden güçlü bir şekilde etkilenir. Bu nedenle, SBS'nin kısaltılması, VFA'ların birikmesine yol açan hidroliz ve fermentasyonu sürdürürken metanojenleri kısıtlamak için etkili bir strateji olarak kabul edilmektedir. Geleneksel olarak, VFA birikimi, anaerobik çürütmede süreç başarısızlığının bir işareti olarak kabul edilmiştir, ancak karboksilat platformu içindeki fermentasyon süreçleri için arzu edilen bir sonuçtur.

Anaerobik çürütme çalışma koşullarının dayattığı seçici baskı, mikrobiyal topluluklar üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Topluluk toplanmasını ve dinamiklerini yönlendiren faktörleri açıklamak için makroekolojiden çeşitli teoriler benimsenmiştir. Geleneksel niş temelli teoriye göre, deterministik süreçlerin ve takson özellikleri ile çevre arasındaki ilişkinin baskın bir etkisi vardır. Nötr teori ise popülasyonlar arasındaki rekabeti reddeder ve yalnızca doğum, ölüm, kolonizasyon ve dağılma dahil olmak üzere stokastik süreçleri dikkate alır. Tekrarlanan deneyleri kullanan son çalışmalar, kontrollü mühendislik sistemlerinde mikrobiyal topluluk dinamiklerinde stokastik işlemlerden ziyade deterministik süreçlerin baskın bir rol oynadığını

Anaerobik Arıtma Tesisi İşletmesinde Kontrol Parametreleri

ve belirli koşullar altında mikrobiyal topluluklar tarafından istikrarlı ve kontrollü ürün oluşumu potansiyelinin altını çizdiğini bildirmiştir.

11. GAZ DEBİSİ VE KOMPOZİSYONU

Bir anaerobik çürütücüde gaz üretiminin 0,8 ila 1,1 m³/kg çürütülen uçucu katı madde arasında olduğu tahmin edilmektedir.

Oluşan gazın ısı değeri 19 ve 23 MJ/m³ arasında değişir.

Proses durumları hakkında güncel bilgilerin sağlanması, onların daha fazla bilgiye dayalı olarak daha iyi kararlar vermelerini sağladığından ve dolayısıyla tesislerin verimli bir şekilde işletilme olasılığını artırdığından, bu operatörler için oldukça faydalıdır. Operatör için minimum çaba ile üretkenlikte daha fazla artışa izin veren bilgisayar tabanlı simülasyon ve optimizasyon modelleri geliştirmek için kullanılır.

Anaerobik çürütücüde biyogaz hacmi ve gaz kompozisyonu, CO₂, CH₄, H₂S kompozisyonu hafta en az 3 defa ölçülmeli ve kayıt altına alınmalıdır.

12. HİDROLİK BEKLETME SÜRESİ (HBS)

Reaktörün boyutuna karar vermek için ilgili diğer bir parametre de hidrolik bekletme süresidir (HBS). Bu, bir substratın boşaltılana kadar çürütücüde ortalama olarak kalacağı hesaplandığı süredir (HBS, sıvıların bir çürütücüde kaldığı ortalama süreyi ifade eder).

Hesaplama, reaktör hacminin (V_R) günlük eklenen substrat hacmine oranının belirlenmesini içerir. Hidrolik tutma süresi gün olarak ifade edilir.

Hidrolik Bekletme Süresi, $HBS = (V_R/Q)$

Burada;

V_R = Reaktör Hacmi (m^3),

Q = Günlük beslenen substrat hacmi, debi, ($m^3/gün$)

Gerçek bekletme süresi bundan farklı olabilir. Organik yükleme hızı ile hidrolik bekletme süresi arasında yakın bir ilişki vardır. Substratın bileşiminin aynı kalacağı varsayılırsa, organik yükleme hızı arttıkça çürütücüye daha fazla girdi eklenir ve sonuç olarak alıkonma süresi kısalır. Çürütme sürecini sürdürebilmek için, hidrolik bekletme süresi, reaktör içeriğinin sürekli değiştirilmesi, bu süre zarfında yeni büyüme ile doldurulabilecek olandan daha fazla mikroorganizmayı dışarı atmayacak şekilde seçilmelidir (bazı metanojenik arkelerin iki katına çıkma oranı), örneğin, 10 gün veya daha fazladır). Kısa bekletme süresi ile mikroorganizmaların substratı bozmak için çok az zamanları olacağı ve sonuç olarak gaz veriminin yetersiz olacağı da akılda tutulmalıdır.

Anaerobik reaktörlerde daha yüksek biyokütle yoğunluklarını korumak için SBS'nin HBS'yi (hidrolik bekletme süresi) aşması gerekir, $SBS \gg HBS$.

Altı ayda bir defa gerçek hidrolik bekleme süresi testi yapılmalı ve kayıt altına alınmalıdır.

13.ÖLÜ BÖLGELER

Anaerobik çürütme reaktöründe ölü bölgeler oluşmayacak şekilde karıştırma yapılmalı. Reaktörde ölü noktaların oluşması atığın hidrolik bekletme süresini kısaltır ve kısa devre yaptırır. Bu da arıtma verimliliği ve biyogaz üretim oranını düşürür.

Fazla ve hızlı karıştırma, enerji kaybı ve gaz üretim verimliliğinin düşmesi demektir. Karıştırma için tüketilen enerji, anaerobik çürütme işleminin toplam enerji talebinin %50'sini aşabilir.

Ölü hacim eşiği, hız büyüklükleri 0,02 m/saniyeden az olan bölgeler olarak ölü bölgeleri tanımlanır.

Karıştırma verimliliği açısından ve ölü hacmi minimumda tutmak için sıvı doğrudan tankın kapalı sıvı alanına enjekte edilmelidir.

Ölü bölgelerin oluşumu, TS içeriğinin artmasıyla artan bulamacın viskozitesine bağlıdır. Hız alanlarını ölçmek için üç hız aralığı:

- ✓ Düşük hız ($0 < v < 0.05$ m/s) olan alanlar,
- ✓ Orta hıza sahip alanlar ($0,05 < v < 1$ m/s),
- ✓ Yüksek hıza sahip alanlar ($v > 1$ m/s).

Çürütme reaktöründe ölü bölgeler ve kısa devreler, atıksu arıtımında düşük performans göstermesinin nedenleri olabilir.

Reaktörde ölü bölgeleri tespit etmek için ortalama LiCl çözeltisi ilave edilir. Girişteki ve çıkışta Li^+ iyonu konsantrasyonu ölçülerek varsa ölü noktalar tespit edilir.

Yeni atık türü beslemesi yapılmadan önce ortalama 6 ayda bir ölü bölge tespiti yapılmalı ve kayıt altına alınmalıdır.

Detay çalışma http://www.mneproje.com/public/website/news/anaerobik-reaktorlerde-olu-bolge-sorgulaması_20240110013229.pdf da verilmiştir.

14. KARIŞTIRMA VE AŞIRI KARIŞTIRMA

Anaerobik reaktörlerde karıştırma çok önemli ve dikkat edilmesi gereken bir parametredir.

Anaerobik çürütücüde karıştırmanın biyogaz üretim oranları üzerindeki etkisinin kritik bir değerlendirmesidir. Karıştırma, anaerobik çürütme işleminin etkinliğini belirlemede önemli bir rol oynar.

Mikroorganizmalar strese hassas oldukları için çok hızlı bir karıştırma, proses için mikrobiyal flok oluşumunun engellenmesi ve simbiyotik bir ilişki içinde yaşayan mikroorganizmaların bu ilişkilerinin bozulması gibi kötü sonuçlara da neden olabilir.

Karıştırma, reaktörde katmanlaşmayı engelleyerek katı maddelerin askıda kalmalarını ve homojen bir dağılımını sağlar. Dahası karıştırma, reaktörde ısı transferini, proses devam uzaklaşmasını sağlar. Sürekli karıştırma koşullarında, bakteriler, substrat ve atık sıvı aynı hidrolik bekletme süresine (HBS) sahip olacağı için katı madde bekleme süresi de teorik HBS`ne eşit olacaktır. Fakat bazen, katı maddelerin reaktörde daha uzun süre kalmasını sağlayarak parçalanma oranlarını arttırmak ve mikroorganizma içeriği çok olan biyomasın reaktör içerisinde kalmasını sağlayarak biyogaz üretim miktarını arttırmak için sürekli karıştırmalı olmayan sistemler tercih edilebilir. Bu da KMBS`nin HBS`den daha uzun olması demektir.

Karıştırma genellikle, mekanik metotlarla, atığın reaktöre tekrar sirkülasyonu ile veya oluşan biyogazın pompalar vasıtasıyla reaktöre sirküle edilmesiyle sağlanır. Reaktörlerde verimli bir substrat dönüşümünü sağlamak için önemli bazı faktörler vardır. Bunlar karıştırmanın şiddeti, süresi, stratejisi ve karıştırıcının yeri olarak sıralanabilir.

Anaerobik çürütücüde karıştırmanın biyogaz üretim oranları üzerindeki etkisinin kritik bir değerlendirmesidir. Karıştırma, anaerobik çürütme işleminin etkinliğini belirlemede önemli bir rol oynar.

Kesikli karıştırma, üretilen biyogazın kalitesi ve miktarı açısından tercih edilir görünmektedir ve büyük ölçekli biyogaz üretimiyle bağlantılı olarak daha düşük enerji tüketimi ve bakım maliyetleri ile sonuçlanmaktadır. Tercih edilen kesikli karıştırma süresi, uzunluğu, yoğunluğu, çürütücü ve çarkın geometrisine bağlıdır.

Aşırı karıştırma, aktif anaerobik mikroorganizmalar içeren yumakları ve granülleri bozarak reaktör performansının düşmesine neden olabilir. Reaktörün kısa devre yapmasıyla sonuçlanır, bu da reaktör atık suyunda dönüştürülmemiş substratın ortaya çıkmasına neden olur. Zayıf çökeltme özelliklerine sahip daha küçük yumakların oluşumuna yol açar.

Toplam katı içeriği daha yüksek olduğunda karıştırma etkisi oldukça önemlidir. Kesikli karıştırma, sürekli karıştırmaya kıyasla daha uygundur.

Biyogaz tesislerindeki arızaların yaklaşık %44'ü karışım kusurlarından kaynaklanmaktadır.

Anaerobik Arıtma Tesisi İşletmesinde Kontrol Parametreleri

Hidroliz ve asitleştirme aşamalarında bulamaç 30, 60, 90 ve 120 rpm'lik farklı yoğunluklarda karıştırılabilir. Metanojenik fazda ise 120 rpm'de karıştırma yapılabilir.

Teorik HBS'ne uygun olarak anaerobik çürütme tesisinin çalışıp çalışmadığını takip için 3 ila 6 ay periyotlarla, lityum bileşiği ve magnezyum bileşiği beslemesi yapılır. Çürütme çıkışında magnezyum veya lityum ölçümleri yapılarak reaktörde gerçek HBS'si tespit edilir. Buna göre çürütücü tabanında çamur, mil, kum birikinti oluşması ile HBS düşüşü tespit edilebilir. Bu veriler ışında çürütücü temizleme periyodu belirlenir.

Anaerobik çürütme reaktörünün dibine çöken kil, kum ve kireç ve benzeri atıklar temizlendikten ve susuzlaştırıldıktan sonra çimento sanayi klinker fırınlarında alternatif hammadde ve enerji kaynağı olarak kullanılabilir.

15.ALEVİN RENGİ

Operatörler, üretilen gazın kalitesini belirlemek için atık gaz brülöründeki alevin rengini görsel olarak izlemelidir. Ağırlıklı olarak mavi bir alev iyi metan üretildiğini gösterir; sarı renk ise daha fazla karbondioksiti oluştuğunu gösterir.

Karbondioksitte bir artış, anaerobik çürütücüde bir sindirim süreci sorununu gösterebilir. Karbondioksitteki artış, yakıt kaynağı olarak çürütücü gaz kullanan ekipmanın çalışmasını da etkileyecektir.

16. TOKSİSİTE

Literatürde anaerobik sindirimi inhibe eden çok sayıda madde bildirilmiştir. Bir maddenin inhibitör olarak kabul edilebilmesi için, mikrobiyal popülasyonda ters bir kaymaya neden olması veya bakteri üremesinin inhibisyonuna neden olması gerekir. Bu genellikle biyogaz üretimindeki azalma ve UYA'lerinin birikmesiyle tanımlanır. Çoğu inhibitör madde için literatürde rapor edilen inhibisyon seviyelerinde önemli farklılıklar vardır. Bunun başlıca nedeni anaerobik çürütmede yer alan süreçlerin karmaşıklığı ve bu bölümde tartışılan diğer faktörlerin etkileridir. Özellikle, iklimlendirme ve pH, farklı konsantrasyonlardaki kimyasalların önleyici etkileri üzerinde güçlü bir etkiye sahip olabilir. İnhibitör konsantrasyonundaki yavaş bir artış, bir sistemin bir inhibitöre karşı toleransını artıran konsantrasyondaki ani bir artıştan ziyade mikroorganizmaların alışması için daha fazla zaman sağlar. pH, inhibitörün iyonizasyon seviyesini etkileyebilir, böylece mikrobiyolojik topluluk üzerinde inhibitör etkiler üretebilen 'aktif' konsantrasyonu etkiler.

Anaerobik çürütme sırasında H₂S oluşumu biyogazda can sıkıcı bir problemdir.

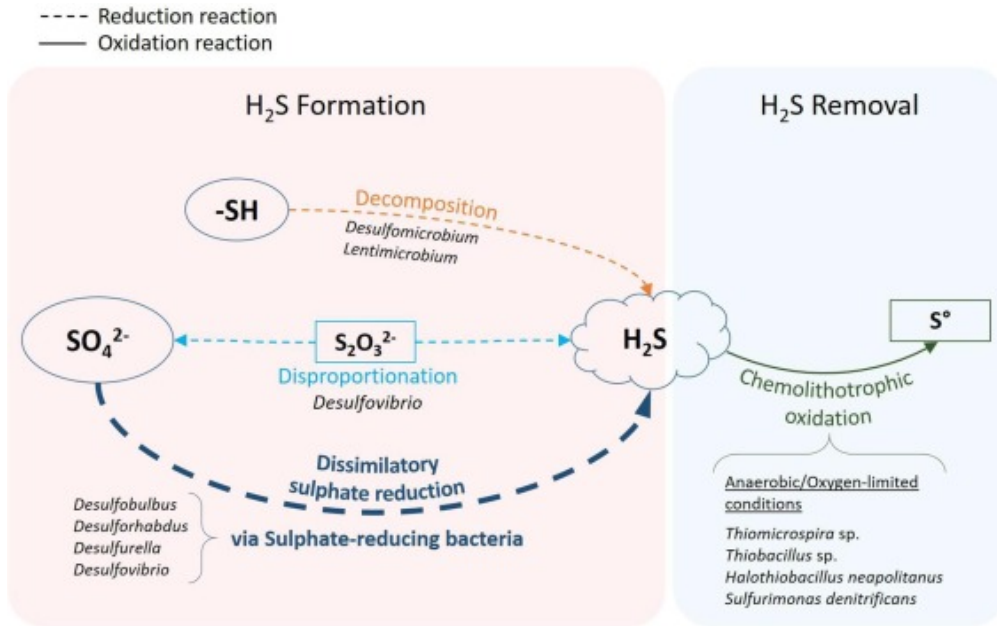
Genel olarak, <50 mg/L'nin altındaki sülfür (S⁻) konsantrasyonlarının anaerobik çürütme için yararlı olduğu kabul edilmektedir, çünkü sülfür, ilgili mikroorganizmalar için gerekli bir besindir. 50 ila 100 mg/L sülfür konsantrasyonu ters etki yapmaz. Bununla birlikte, 100 ila 200 mg/L'lik sülfür seviyeleri tehlikelidir ve inhibisyon meydana gelir. > 200 mg/L üzerinde sülfür konsantrasyonu öldürücü etki yapar.

Amonyak gibi, S⁻'nin toksisite etkisi pH'a bağlıdır. Daha düşük pH'da S⁻ gaz halinde H₂S olarak bulunur. H₂S, sudaki düşük çözünürlüğü nedeniyle sindiriciler için daha az toksikken, insanlar için oldukça toksiktir. Aynı zamanda S⁻² korozif özelliğe sahiptir ve elektronik ekipmanı hızla tahrip eder. Sülfürün toksisitesi, çözünmeyen metal sülfidlerin çökeltilmesi yoluyla azaltılır, bu da toksik Nikel, Çinko ve Demir seviyelerini azaltmak için iyi bir yöntem olur.

Anaerobik çürümede sülfat indirgeyen bakteriler H₂S oluşumunda anahtar rol oynar ve CH₄ üretimi engellenebilir. Anaerobik sindirim sırasında, her yerde bulunan sülfat indirgeyen bakteriler, SO₄⁻²'yi asimilasyon ve disimilasyon yolları aracılığıyla H₂S'ye dönüştürür. Üretilen H₂S, metanojenler için inhibitör veya toksiktir, dolayısıyla CH₄ üretim oranını azaltır. Ayrıca sülfat indirgeyen bakteriler ve metanojenler enerji kaynağı (örneğin asetik asit) için rekabet eder. Bu rekabet, anaerobik çürütme işleminin stabilitesini etkileyebilir ve üretilen CH₄ miktarını azaltabilir.

Anaerobik çürütmede parçalanmış her bir gr KOİ, 1.5 gr sülfatı, H₂S'ye dönüştürür.

Anaerobik Arıtma Tesisi İşletmesinde Kontrol Parametreleri



Şekil 6. Anaerobik Çürütmede H₂S Ve H₂S Giderme Yoluna Giden Kükürt Dönüştürücü Yollar

Literatür, metan üretiminde %50'lik bir azalmaya neden olan 1.7 ila 14 g/l arasında değişen çok çeşitli inhibitör konsantrasyonları bildirmiştir. İnhibitör konsantrasyon, pH, sıcaklık, sodyum (Na⁺), kalsiyum (Ca²⁺) ve magnezyum (Mg²⁺) gibi katyonların varlığından ve amonyak konsantrasyonunun arttığı hızdan etkilenir ve yukarıda belirtildiği gibi mikroorganizmaların iklimlendirilmesine izin verir.

Anaerobik çürütme prosesleri, ağır metaller, sülfürler, uçucu asitler, alkali/alkaliler ve hatta amonyak-azot dahil olmak üzere çeşitli bileşiklerin yüksek seviyelerini tolere edemez.

Operatör olarak, amonyak seviyelerinin istikrarlı bir şekilde yükseldiğini fark ederseniz, organik yükleme oranını düşürmek gerekebilir.

Düzgün çalışan bir çürütücü, organik yükleme hızı, pH, karıştırma ve sıcaklık gibi parametrelerin optimal dengesini gerektirir.

Bakır gibi ağır metaller, 0,5 mg/L'den yüksek çözünür bir konsantrasyonda sindirimi engeller. Bir çürütücüye giren metaller endüstriyel bir kullanıcıdan geliyor olabilir.

Alkali ve toprak alkali metallerin teşvik edici ve engelleyici konsantrasyonları **Tablo 4'**de verilmiştir.

Anaerobik Arıtma Tesisi İşletmesinde Kontrol Parametreleri

Tablo 4. Alkali ve Toprak Alkali Metallerin Teşvik Edici ve Engelleyici Konsantrasyonları

Metal (mg/lt)	Teşvik Edici	Orta Engelleme	Kuvvetli Engelleme
Sodyum	100-200	3500-5500	8000
Potasyum	200-400	2500-4500	12000
Kalsiyum	100-200	2500-4500	8000
Magnezyum	75-150	1000-1500	3000

Bu alkali ve toprak alkali metal bileşikleri atıkta bir arada bulunduğu zaman etki şekli daha karmaşık olmaktadır. Katyonların bazıları antogonistik olarak hareket ederek diğer katyonların toksisite etkisini azaltır. Bazıları da sinerjistik olarak hareket ederek diğer katyonların toksisite etkisini artırır.

Çinko, bakır, nikel, krom, kurşun gibi ağır metaller çok az miktarlarda mikrobiyal büyümeyi önemli ölçüde arttırırken, yüksek konsantrasyonlarda ise toksiktirler. Anaerobik parçalanmaya etki eden birçok çözülmüş zehirleyici, yavaşlatıcı, engelleyici organik ve inorganik maddeler vardır.

Sistemde, ağır metal seviyesi **Tablo 5'**de belirtilen seviyelerin üzerine çıktığında sistemde inhibe etkisi gösterecektir. Bu durum sistem performansını etkileyecek, sistemin istenilen verim alınamayacaktır.

Metan gazı üretiminde %70 oranında azalmaya sebep olan ağır metallerin toksisite konsantrasyonları Tablo 2'de verilmiştir. Ağır metallerin metan üretim bakterileri üzerine etkileri tam olarak anlaşılmamakla birlikte hangi metalin ağırlık/ağırlık oranına göre toksisite olduğu,

Ni>Cu>Pb>Cr>Zn, şeklinde sıralanmaktadır.

Tablo 5. Anaerobik Arıtmada Ağır metallerin Toksisite Etkileri

Ağır Metal	Engelleyici Konsantrasyon (mg/lt)	Zehirlilik Limiti (mg/lt)	Şok Zehirlilik Limiti (mg/lt)
Cr(3)	130	260	200
Cr(6)	110	420	180
Cu	40	70	50
Ni	10	30	30
Cd	-	20	10
Pb	340	340	250
Zn	400	600	1700

Anaerobik Arıtma Tesisi İşletmesinde Kontrol Parametreleri

Mikroorganizmaların faaliyetlerini yavaşlatan veya durduran zararlı maddelerin daha sonraki işletme safhasında olduğu gibi alıştırma döneminde de dikkatli kontrolü gerekir. Bu tür zararlı maddelerin ayrışma sürecini ileri derecede yavaşlatan konsantrasyonları tabloda verilmiştir.

Amonyak, üre ve proteinlerde bulunan azotlu maddenin bozulması sırasında üretilir. Metanojenik popülasyonların amonyak inhibisyonundan zarar görme olasılığı en yüksektir. Reaktörde pH'daki değişiklikler, spesifik enzim reaksiyonlarının inhibisyonu veya hücre bakımı için gereken enerjinin arttırılması dahil olmak üzere bu inhibisyon için çeşitli mekanizmalar önerilmiştir. Genel olarak, 50 ila 200 mg/l'lik amonyum konsantrasyonlarının anaerobik çürütme için yararlı olduğu kabul edilmektedir, çünkü azot, ilgili mikroorganizmalar için gerekli bir besindir. 200 ila 1000 mg/L amonyum konsantrasyonu ters etki yapmaz. Bununla birlikte, 1500 ila 3000 mg/L'lik (pH 7.4'ten büyük) amonyak seviyeleri tehlikelidir ve inhibisyon etkisi meydana gelir. 3000 mg/L üzerinde çürütücüde öldürücü etki yapar.

Yüksek seviyede NH_4 ve/veya protein ihtiva eden atıksularda NH_3 toksiditesi önemli bir sorundur. Su ortamındaki serbest (iyonize olmamış) NH_3 yüzdesi pH ve sıcaklığa bağlı olarak değişir. Optimum şartlarda, 8500 mg NH_4^+ -N gibi yüksek değerlerde (pH=7 de 84 mg/lit NH_3 -N) herhangi bir inhibisyona sebep vermeden havasız süreç devam eder. Ancak pH>7.4 ve artan sıcaklıklarda NH_3 inhibisyonu önemlidir. Zehirli ve zararlı maddelerin kaynağında kontrolü, seyreltilmesi ve/veya mikroorganizmalara yeterli alışma sürelerinin sağlanması gereklidir.

Tablo 6. Zararlı Maddelerin Havasız Ayrışma Sürecini Engelleyen Konsantrasyonları

Madde	Zararlı Konsantrasyon Seviyesi (mg/lit)
NH_4 , NH_3	1500-2000*
Çözünmüş H_2S , HS^- , S^{2-}	100-150
Na	4000-6000
K	3000-5000
Ca^{+2}	3000-5000
CN^-	0,5-1,0
Alkil benzen sülfonat	500-700

*Özellikle pH>7,5 halinde zararlı

Bakterilerin büyümesinde toksik etki yapan bazı maddelerin konsantrasyonları **Tablo 7'** de verilmiştir.

Anaerobik Arıtma Tesisi İşletmesinde Kontrol Parametreleri

Tablo 7. Anaerobik Arıtmada Çeşitli Engelleyicilerin Engelleme Seviyesi

Engelleyiciler	Engelleme Seviyesi (mg/lt)
Sülfat (SO_4^{-2})	5.000
Sodyum klorür ve genel tuzlar (NaCl)	40.000
Nitrat (N olarak hesaplanmış)	0.05
Bakır (Cu^{+2})	100
Krom (Cr^{+3})	200
Nikel (Ni^{+2})	200-500
Sodyum (Na^{+1})	3.500-5.500
Potasyum (K^{+1})	2.500-4.500
Kalsiyum (Ca^{+2})	2.500-4.500
Magnezyum (Mg^{+2})	1.000-1.500
Mangan (Mn^{+2})	1.500 üzeri

Reaktöre beslenen atık karışımında sodyum konsantrasyonu atık değişimi olduğu zamanlarda ölçülmeli ve kayıt altına alınmalıdır. Amonyum-azotu ölçümü ise haftada 3 defa yapılmalı ve kayıt altına alınmalı.

17. PROSESTEKİ KARARSIZLIKLARIN KAYNAKLARI VE ÇÖZÜM YOLLARI

Anaerobik çürütme sisteminde kısa ve uzun süreli olmak üzere iki tür kararsızlık gözlenir. Kısa süreli kararsızlıklar;

- ✓ Ekipman arızaları,
- ✓ Sıcaklıktaki ani değişiklikler,
- ✓ Organik yükteki ani artışlar,
- ✓ Atığın bileşimindeki değişikliklerden

ileri gelebilir.

Uzun süreli kararsızlıklar ise;

- ✓ Atıksu içerisindeki zararlı (tehlikeli) maddelerden,
- ✓ Arıtılan atıksuyun veya reaktörün pH'sındaki ani düşüşlerden
- ✓ Alıştırma devresindeki mikroorganizmaların çoğalma hızlarının yavaş oluşu gibi faktörlerin biri veya birkaçının sonucundan

olabilir.

18.ANAEROBİK ARTIMA REAKTÖRLERİNDE PROSESİN YENİDEN KARARLI HALE GETİRİLMESİ

Anaerobik çürütmede proses stabilitesi bozulan bir havasız reaktörün tekrar kararlı hale getirilebilmesi için başlıca dört esas safhadan oluşan bir çözüm yöntemi izlenebilir. Bu safhalar;

- ✓ pH'nın nötr değere getirilmesi,
- ✓ Kararsızlığa sebep olan etkilerin belirlenmesi,
- ✓ Kararsızlığın sebeplerinin uygun tedbirlerle giderilmesi,
- ✓ Sistem kararlı duruma gelinceye kadar pH'nın ve H₂'nin dikkatli izlenmesi,

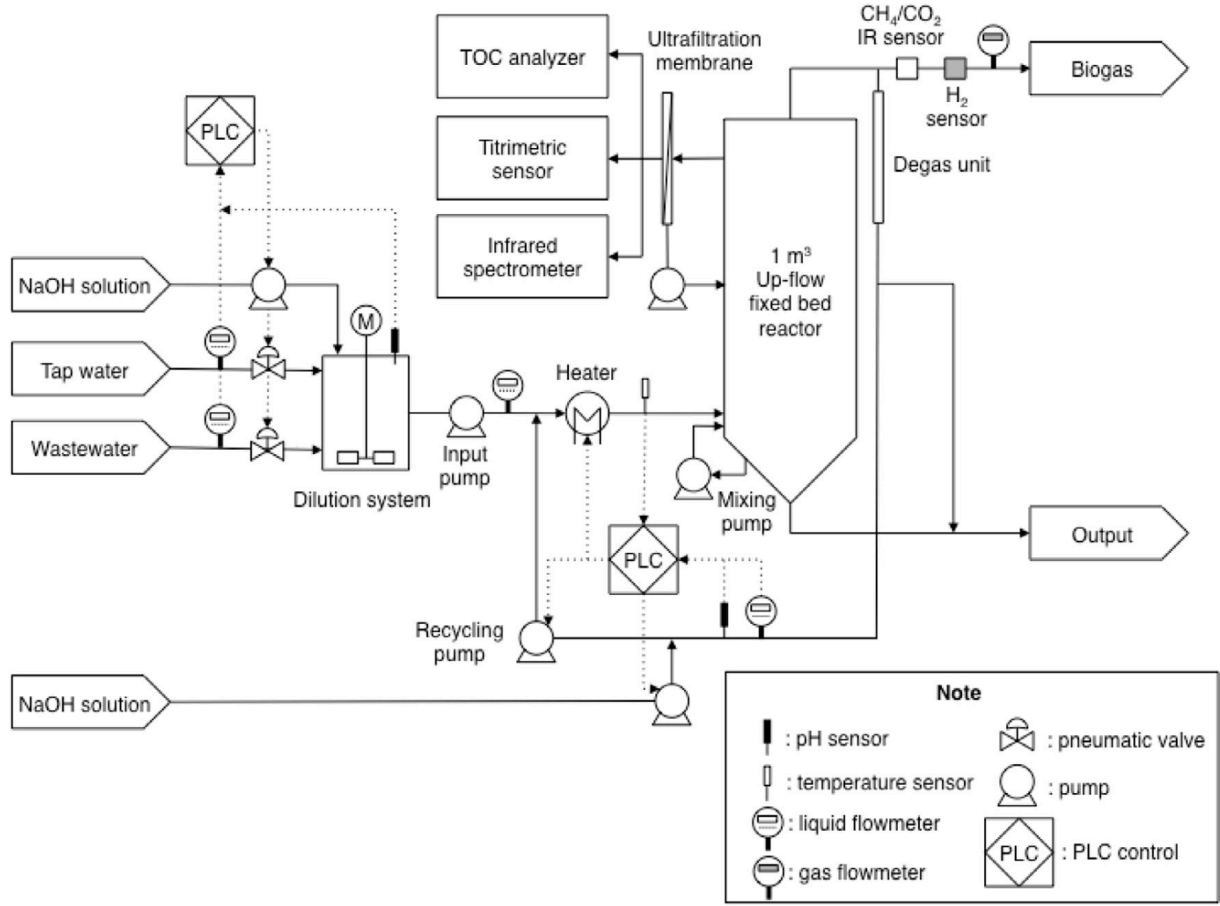
Reaktördeki kararsızlık sonucu pH, 6,4 ve daha aşağıya doğru düşen pH'nın yeniden uygun seviyelere yükseltilebilmesi için ALK'yi artırmak için kireç kullanılabilir. Kireç ilavesinin pH'nın 6.5 ve daha aşağıya düştüğü durumlarda yapılması gereklidir. pH'nın 6.5'den büyük olması halinde kirecin sudaki çözünürlüğü hemen hemen sıfıra yaklaştığından bundan sonra ilave edilecek kireç CaCO₃ olarak çökeleceğinden bir faydası olmayacaktır. Kirecin diğer bir mahzuru da kalsiyum ortamdaki fosforu kalsiyum orto-fosfat olarak kendine bağlayarak besi maddesi eksikliğine sebep olmasıdır.

Endüstri tipi havasız reaktörlerde pH kontrolü genellikle sodyum hidroksit, NaOH, ve sodyum bikarbonat ve NaHCO₃ gibi çözeltilerle yapılır. Gerekli HCO₃ ALK'si ise NaHCO₃ ilave etmek sureti ile ayrıca sağlanır. Herhangi bir çökelti vermediği için NaHCO₃ ALK sağlayıcı madde olarak uygundur. Ancak pH, fazla düştüğü anlarda NaOH ile birlikte kullanıldığında Na konsantrasyonunun kritik değeri aşp aşmadığına dikkat edilmelidir. Bu durumda NaHCO₃ yerine KHCO₃ veya NH₄HCO₃ kullanılabilir.

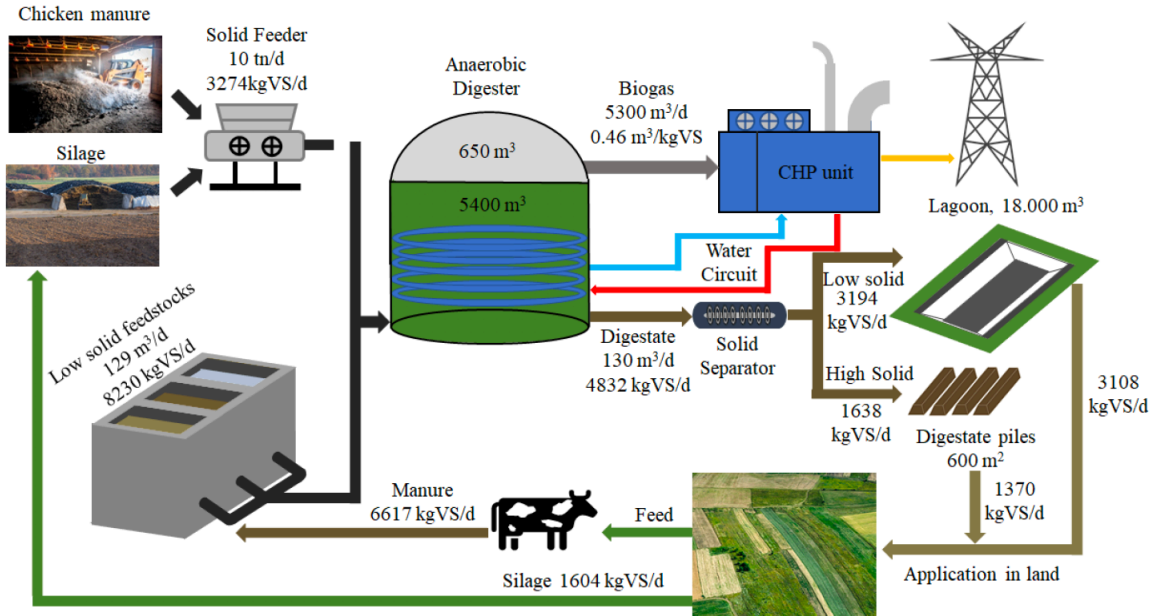
Kararsızlık gözlenen anaerobik çürütme reaktöründe bazı hallerde fazla HCO₃ ilave edilerek pH'nın ayarlanmasına ve organik yükün önemli oranda azaltılmasına, hatta beslemenin durdurulmasına rağmen sistemdeki uçucu asit konsantrasyonu düşmeyebilir. Bu uçucu asidin propiyonik asit ağırlıklı olduğunu gösterir. Böyle durumlarda, reaktörde birikmiş uçucu asidin süratle yıkanmasını sağlamak üzere sistemi iyice seyreltilmiş ve hatta bazen havası alınmış musluk suyu ile beslenmesi yoluna gidilebilir. Reaktördeki uçucu asit konsantrasyonunun asetik asit ağırlıklı olması halinde organik yükün azaltılması veya beslenmenin durdurulması ile birlikte mikroorganizmalarca hızla tüketilerek normal seviyelere düşer. Uçucu asit konsantrasyonu normale döndüğünde organik yük tekrar tedrici olarak arttırılabilir.

Gaz debisindeki düşme ve metan yüzdesindeki azalma havasız reaktörlerdeki dengesizliğin iyi bir göstergesidir. Özellikle metan gazı yüzdesinin %65'in altına düşmesi ileri derecede bir dengesizliğin göstergesidir. İyi işletilen bir anaerobik çürütme reaktöründe normalde metan yüzdesi %70 üzerindedir. Seyreltik atıkların artılması halinde oluşan CO₂ çözünmesi sebebiyle bu oran daha da yüksektir.

Anaerobik Arıtma Tesisi İşletmesinde Kontrol Parametreleri



Şekil 7. Anaerobik Çürütme Tesisi Enstrümantasyon, Kontrol ve Otomasyon Sistemi



Şekil 8. Anaerobik Çürütme Tesisi Akım Şeması