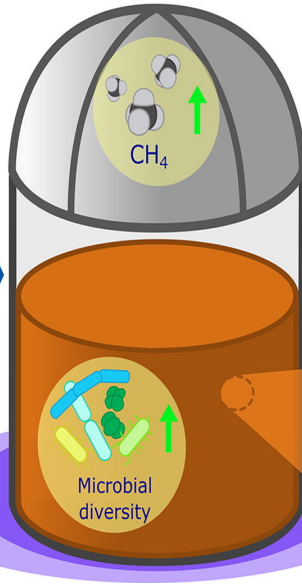
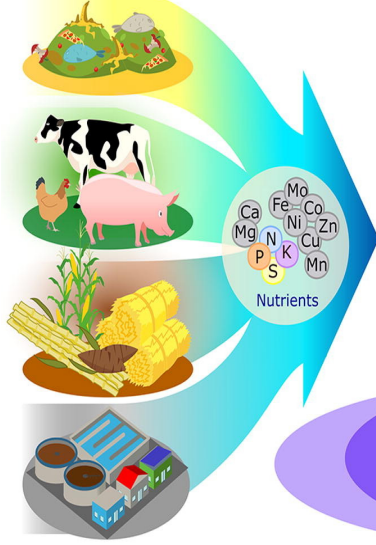
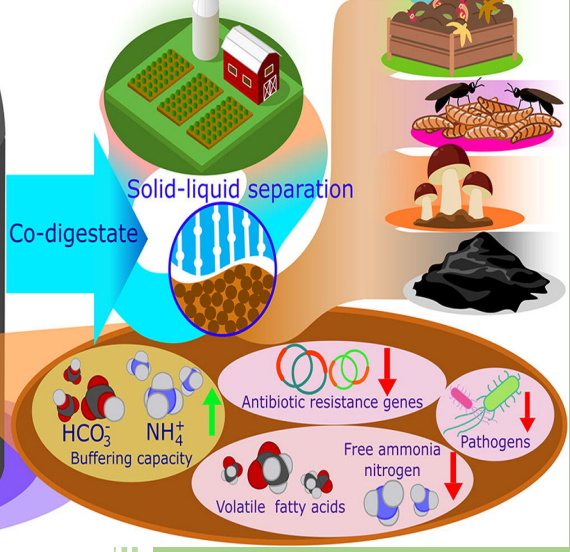


Co-feedstocks



Co-digestate applications



Biyogaz Üretiminde Kullanılan Atıklar ve Operasyonel Parametreler



Şubat 2025

İçindekiler Tablosu

1. GİRİŞ.....	3
2. ANAEROBİK ÇÜRÜTME TESİSLERİNDE KULLANILAN BAZI ATIK TÜRLERİ.....	4
3. NOTLAR	9
4. KAYNAKLAR	13

Şekiller ve Tablolar

Şekil 2-1. Katı Belediye Atıklarının Organik Kısımının Islak Anaerobik Sindirimi: Uzun Vadeli Pilot Tesis İşletmesi ve Endüstriyel Ölçeklendirme Deneyimi8

Şekil 3-1. (A) Biyogaz Tesisi Hammaddesi Yığını Üzeri Kapalı ve (B) Traktör Tarafından Beton Bunker Silosunda Preslenmiş Biyokütle Hammaddesi.....9

Tablo 1.1. Anaerobik Çürütmeyi Etkiyen Faktörler.....3

Tablo 2.1. Biyogaz Üretiminde Kullanılan En Önemli Tarımsal Atıkların ve Benzeri Atıkların Özellikleri ve Operasyonel Parametreleri.....4

1. GİRİŞ

Şu anda dünya çapında yaklaşık 132.000 adet küçük ($<1.000 \text{ m}^3$), orta ($1.000\text{--}10.000 \text{ m}^3$) ve büyük ölçekli ($>10.000 \text{ m}^3$) anaerobik çürütme faaliyette olup, yaklaşık 87 TWh elektrik üretmektedir.

Avrupa'da 18.202'den fazla anaerobik çürütme (AD) tesisi ve Amerika Birleşik Devletleri'nde 2.200'den fazla AD tesisi sırasıyla yaklaşık 11.000 ve 977 MW kurulu kapasiteyle çalışmaktadır.

AD teknolojisinin yaygın bir şekilde benimsenmesine rağmen, AD'nin toplam enerji üretim potansiyelinin yalnızca %1,6-2,2'si mevcut hammaddelerden elde edilmiştir.

Tablo 1.1. Anaerobik Çürütmeyi Etkiyen Faktörler

Parametreler	Optimum Değerler
Sıcaklık (mesofilik)	31–35 °C
Sıcaklık (termofilik)	55–60 °C
pH	6.8–7.20
C/N	20-30
Nem oranı (%)	60-80
Hidrolik bekleme süresi (mesofilik)	20-30 gün
Hidrolik bekleme süresi (termofilik)	15 gün
Uçucu Yağ Asidi (VFA)	<4000 mg/L

2. ANAEROBİK ÇÜRÜTME TESİSLERİNDE KULLANILAN BAZI ATIK TÜRLERİ

Anaerobik çürütme tesislerinde kullanılan hayvan gübreleri dahil diğer atıkların özellikleri, biyogaz üretim verimi, istenmeyen maddeler, engelleyici maddeler ve sık sık yaşanan problemler **Tablo 2.1**'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Biyogaz Üretiminde Kullanılan En Önemli Tarımsal Atıkların ve Benzeri Atıkların Özellikleri ve Operasyonel Parametreleri

Atık hammadde	Toplam Solid (%)	Uçucu Solid (TS'nin %)	C/N oranı	Biyogaz verimi ³ (m ³ /kg VS)	Bekleme süresi (gün)	CH ₄ içeriği (%)	İstenmeyen maddeler	Engelleyici maddeler	Sık sık problemler
Domuz gübresi	3-8 ⁴	70-80	3-10	0,25-,0,50	20-40	70-80	Talaşlar, kıllar, nem, kum, kordonlar, saman	Antibiyotikler, dezenfektanlar	Köpük tabakaları, tortular
İnek gübresi	5-14 ⁴	75-85	6-20 ¹	0,20-0,30	20-30	55-75	Kıllar, toprak, nem, NH ₄ ⁺ , saman, ahşap	Antibiyotikler, dezenfektanlar	Köpük tabakaları, odun talaşı, kum, zayıf biyogaz verimi
Tavuk/ördek gübresi	10-30 ⁴	70-85	3-12	0,35-0,60	>30	60-80	NH ₄ ⁺ , çakıl, kum, tüyler, tortular	Antibiyotikler, dezenfektanlar	NH ₄ ⁺ inhibasyonu, hidrojen sülfür, yüksek katı madde içeriği, tortular (kum), köpük tabakası
Samansız at gübresi	28 ¹	75	n.a.	0,063			Saman	antibiyotikler	

Biyogaz Üretiminde Kullanılan Atıklar ve Operasyonel Parametreler

Peynir altı suyu	1-5	80-95	n.a.	0,80-0,95	3-10	60-80	Ulaşım kirlilikleri		pH'ı düşürmesi
Maya soplaları	1-5	80-95	4-10	0,35-0,55	3-10	55-75	Parçalanamaya n meyve kalıntıları		Yüksek asit kons. VFA inhibasyonu
Yapraklar	80	90	30-80	0,10-0,30 ²	8-20	n.a.	Toprak	Pestisitler	
Talaş	80	95	511	n.a.	n.a.	n.a.	İstenmeyen materyaller		Mekanik problemler
Saman	70	90	90	0,35-0,45 ⁵	10-50 ⁵	n.a.	Kum, çakıl		Köpük tabakası, zayıf çürüme
Yulaf samanı	50,4		120						
Pirinç samanı	18		60						
Ahşap atıkları	60-79	99,6	723	n.a.	∞	n.a.	İstenmeyen materyaller		Zayıf anaerobik biyolojik bozulma
Bahçe atıkları	60-70	90	100-150	0,20-0,50	8-30	n.a.	Toprak, selülozik bileşenler	pestisitler	Selülozik bileşimin zayıf degrad.
Çim	20-25	90	12-25	0,55	10	n.a.	Çakıl	Pestisitler	pH'ı düşürmesi
Çim silajı	15-25	90	10-25	0,56	10	n.a.	Çakıl		pH'ı düşürmesi
Yeşil çavdar silajı	25	90		0,15					
Meyve atıkları	15-20	75	35	0,25-0,50	8-20	n.a.	Parçalanamaya n meyve kalıntıları, çakıl	Pestisitler	pH'ı düşürmesi
Meyve püresi	45	93	50	0,40	-	n.a.			



Biyogaz Üretiminde Kullanılan Atıklar ve Operasyonel Parametreler

Yemek artıkları/atıkları	10	80	15-20	0,50-0,60	10-20	70-80	Kemik, plastik malzeme, kürdan	Dezenfektanlar	Sedimentler, mekanik problemler
Kesilmiş sütün suyu	1-5	85-95	n.a.	0,80-0,95	3-10				pH'ı düşürmesi
Biyobozunur çöp kutusu (süspansiyon)	5,5	66	20	0,4		27			Ayrıntılı hazırlık
Biyobozunur organik kutu+ berrak çamur (%69)	7,7,5	65	20	0,54		27			
Mısır Silajı	28-35	85-98	5	0,56-0,65	56-60	60			
Mısır sapı	80	91	30-70	0,56-0,65		52-59			
Şeker pancarı	23	90	5,9-6,0	0,73-0,77		53			
Hububat silajı	68	70		0,263		60			
Ayçiçeği silajı	26	90	n.a.	0,12					
Patates kabuğu	9,2-15,3	82,0	10,7-16,1	0,375-0,565	50	55-65			
Pazar atıkları	8-20	75-95	50-60	0,54		30	Olası kirlilikler (ambalaj atıkları)		Ön işlem (parçalama) gerekli
Damıtma bulamacı	2-8	65-85	10-25	0,42		14			
Fermantasyon bulamacı	2-5	90-95	3-10	0,85		35			
Yüzen yağlar (kesimhane)	5-24	83-98							
Elma posası	35	88		0,148					
Hayvan kanı	9,7	95		0,65					



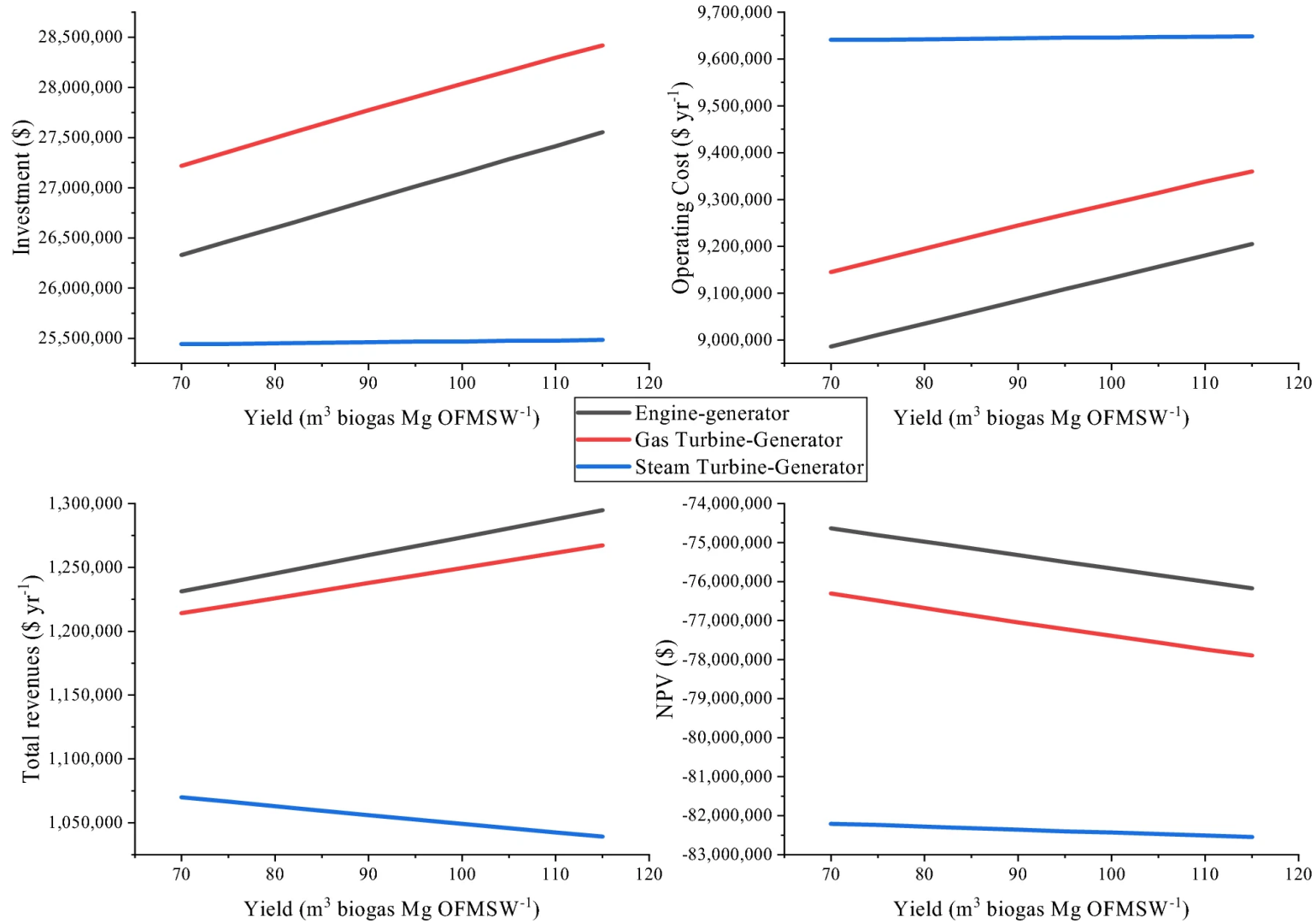
Biyogaz Üretiminde Kullanılan Atıklar ve Operasyonel Parametreler

Hayvansal yağ	89-90	90-93		1,00					
Fermentasyon slup	1,8	98		0,78					
Yumurta atığı	25	92	25	0,97	45				Yumurta kabukları ağır tortulara neden olabilir: yüksek protein sertliği nedeniyle amonyum kirliliği
Atık hayvan yağları (işleme tesisi)	89-90	90-93		1,0					
Pamuk tohumu	12,5		5						

1) Saman ilavesine bağlı; 2) Kurutma oranına bağlı; 3) Hidrolik bekleme süresine bağlı; 4) Seyreltmeye bağlı; 5) Partikül boyutuna bağlı; n.a. = veri yok



Biyogaz Üretiminde Kullanılan Atıklar ve Operasyonel Parametreler



Şekil 2-1. Katı Belediye Atıklarının Organik Kısımının Islak Anaerobik Sindirimi: Uzun Vadeli Pilot Tesis İşletmesi ve Endüstriyel Ölçeklendirme Deneyimi



3. NOTLAR

1. Biyokütle depolamada aerobik reaksiyonların ve istenmeyen gaz reaksiyonlarının oluşmasını önlemek için traktörle preslenmesi veya üzeri örtülmesi tavsiye edilir.



Şekil 3-1. (A) Biyogaz Tesisi Hammadde Yığını Üzeri Kapalı ve (B) Traktör Tarafından Beton Bunker Silosunda Preslenmiş Biyokütle Hammaddesi

2. Tavuk gübresi, peynir altı suyu, çim, çim silajı, kesilmiş sütün suyu, şeker pancarı ve yumurta akı anaerobik çürütmede önemli bir biyogaz üretme hammaddesidir.
3. Biyogaz teknolojisinde, besleme sistemi dışında tehlikeli gazların oluşumunun en aza indirilmesi gerektiğini belirten koruyucu önlemlerin organizasyonunun genel ilkesine göre, kimyasal reaksiyonları ve hidrojen sülfür, karbondioksit veya amonyak gibi tehlikeli gazların oluşumunu önlemek için substratların kapalı tankların dışına karıştırılmasından kaçınılmalıdır.
4. Çimler, geç hasat edildiğinde, daha yüksek oranda lignin içeriğine neden olarak metan veriminin yavaşlamasına ve azalmasına neden olur. Bu yüzden çimler taze iken hasat edilmeli ve kullanılmalı.
5. Silaj kalitesi, en yüksek laktik asit içeriği (ortalama: kuru madde (DM)'nin %3.0'ı) ve en düşük pH (ortalama: 4.39) nedeniyle Ekim ayı ortalarında hasat edildiğinde, Eylül ayının ortası ve Ekim ayının başındaki hasatlara kıyasla daha iyidir. Aksine, mısırın geç hibritleri, orta erken hibritlere kıyasla, büyüme mevsiminden tam olarak yararlanarak ve daha yüksek tüm bitki DM konsantrasyonu sağlayarak son hasat tarihinde en yüksek spesifik metan verimini ve maksimum metan hektarı verimini elde etmişlerdir. Sonuç olarak, biyogaz için mısırın yem mısırından daha sonra hasat edilmesi önerilir.
6. Akışkanlar dinamiği ve dolayısıyla bozulma davranışının yanı sıra biyogaz verimi, saman, odun talaşı, kum, cam, metal ve mermer tozu gibi inorganik maddeler veya plastik gibi polimerik bileşenler gibi bileşenlerden önemli ölçüde etkilenir. Bu istenmeyen malzemeler genellikle proses arızalanmalarına neden olabilir (örneğin faz ayırma,

çökeltme, yüzdürme vb.) ve çürütücülerin yukarı yönündeki bu bileşenlerden kaçınılmasına çok önem verilmelidir. Özellikle inek ve domuz gübresi bulamacındaki uzun saman parçacıkları ve balçık bileşenleri, sindirim sırasında kontrol edilmesi zor olan önemli miktarda tabakası oluşumuna neden olabilir. Bununla birlikte, reaktör tipine ve özellikle saman partikül boyutuna bağlı olarak, rahatsız edici etki azaltılabilir ve saman biyogaz verimini önemli ölçüde artırabilir. Genellikle tavuk gübresi bulamacı ile meydana gelen kum ve mermer tozu girişi, hızlı çökeltmesi nedeniyle çürütücü hacminin azalmasına neden olur ve bu da proses arızalarına neden olur.

7. Sık sık rahatsız edici bileşenler, biyogenik atıklar (cam, plastik vb.) veya endüstriyel eğimler (tuzlar, yağlar vb.) gibi co-substratlarla birlikte verilir. Sonuç olarak, bu bileşenlerin yüksek miktarlarını içeren atıklar dikkatlice değerlendirilmeli ve mümkün olduğunda tercihen önceden sıralanmalıdır. Çürütücüye girdikten sonra, sindirim sürecini düzgün bir şekilde kontrol etmek neredeyse imkansızdır.
8. Tarımsal atıklar arasında inek ve domuz gübresi bulamacı, tavuk gübresi ve çiftlik gübresi birincil öneme sahiptir. Hasat artıkları ve bahçe atıklarına, prensip olarak anaerobik çürümeye uygulanabilir, ancak çoğu durumda kompostlama, toprak şartlandırma ve gübreleme amacıyla geleneksel yollarla arıtılır. Silajın depolanması ve uygulanması, nadas alanlarının kullanılmasına olası bir alternatif olarak bölgesel öneme sahip olabilmesine rağmen, enerji bitkileri şimdiye kadar AB ülkelerinde herhangi bir önem kazanmamıştır.
9. Patates kabuğu %15-25 oranında nişasta, %25-30 oranında nişastasız polisakkarit, %15-20 oranında asitte çözünmeyen ve asitte çözünen lignin, %18 oranında protein, %1 oranında lipitler ve %6-10 oranında kül içermektedir.
10. Narenciye endüstrisi dünya ekonomisinde önemli bir rol oynamaktadır: Narenciye, 2021 yılında 10,2 milyon hektardan fazla alanda üretilen 161,8 milyon ton ile dünya çapında en çok üretilen ikinci meyve olmuştur.

Narenciye meyvelerinin (portakal, mandalina, limon, misket limonu, greyfurt, vb.) dönüştürülmesi büyük miktarda atık üretir; işlenen meyvenin yaklaşık %50-65'i narenciye kabuğu atığına (kabuk, tohum ve zar kalıntılarından oluşur) dönüşür ve ciddi çevre kirliliğini önlemek için bu atıkların doğru şekilde işlenmesi gerekir

Narenciye meyvelerinin meyve suyu elde etmek için işlenmesi, işlenen her 1000 ton meyve başına yaklaşık en az 500 ton atık üretmektedir.

Narenciye kabuğu yağı monoterpenlerden limonen (%65-77), γ -terpinen (%13-21), α -pinen (%1.5-3.0), β -pinen (%1.3-2.5), β -mirsen (%1.5-2.5) içerir. Kabuk yağında ayrıca sitrionellol, geraniol ve linalool alkoller (toplam %1-1,5) ve daha az miktarda aldehit, ester ve fenol bulunmaktadır.

Portakal kabuğundan biyogaz üretmenin asıl zorluğu, antimikrobiyal bir bileşik olan "D-limonen" bulunmasıdır ve bu problem çözülmeden anaerobik çürütmeden kullanılması sakıncalıdır. Bu kimyasal portakal esansiyel yağının %90'ını, portakalın kuru maddesinin



%2-3'ünü oluşturur. Narenciye atıkları (CW), D-limonen gibi tatlar nedeniyle normalde anaerobik sindirim (AD) için toksiktir. Mezofilik çürütmede 400 L/m³ konsantrasyonda prosesin nihai başarısızlığına neden olmaktadır.

Portakal kabuğunun öğütülmesi (2,5 glimonen L-1) The biochemical methane potential BMP değerlerini etkilememiş, ancak öğütmenin neden olduğu artan citrus essential oils (CEO) kullanılabilirliği nedeniyle kinetiği yavaşlatmıştır.

Narenciye atıklarının yarı sürekli anaerobik sindirimde d-limonenin inhibitör dozlarının 24 mg/Lt/gün ile 75 mg/Lt/gün arasında değiştiği bildirilmektedir.

Turunçgil kabuğundaki d-limonen, anaerobik çürütücüdeki 200 mg/kg'den daha yüksek konsantrasyonlar için anaerobik çürütme üzerinde inhibe edici bir etkiye sahiptir. Bu inhibitör etkinin, anaerobik çürütme sırasında d-limonenden üretilen cymene'den kaynaklanıyor gibi görünmektedir.

Turunçgil kabuğunun öğütülmesi d-limoneni ortama salar ve inhibitör etkisini artırır. Limonenin biyolojik olarak parçalanmasından sonra toksisite gözlenir ve bu da diğer inhibitör bileşiklere biyotransformasyonuna bağlanır.

Turunçgil atıklarının IC50 inhibitör konsantrasyonu, yarı sürekli anaerobik sindirimde d-limonenin inhibitör dozlarının 24 mg/L/d ile 75 mg/L/d arasında değiştiği rapor edilmiştir.

Limonenin tahmini IC50 değerleri narenciye atığındaki normal konsantrasyonundan daha düşüktür, bu da narenciye atığının anaerobik sindiriminin engellenmesinin her zaman beklenebileceğini göstermektedir.

Portakal kabuğu atığı (OPW) için etkili, uygun ve çevre dostu bir arıtma gereklidir. Anaerobik çürütme (AD) süreci ile kontrollü koşullar altında biyogaz üretimi son derece tavsiye edilir ve OPW substrat olarak kullanıldığında potansiyel olarak yüksek verimli olduğu gösterilmiştir.

Anaerobik çürütücü içindeki düşük limonen konsantrasyonu bu inhibisyonu önlemek için etkili olabilir.

Kararlı anaerobik birlikte çürütme süreci performansı ile sonuçlanan maksimum OLR, 26,7 mg Limonen (Lt/sindirici/gün) limonen dozajına karşılık gelen 2 gVS (Lt-1 gün-1) idi.

Narenciye atıkları, düşük substrat yüklemesinde kontrollü anaerobik sindirim yoluyla uçucu yağ asitlerine (VFA)'lara dönüştürülebilir. Pratik uygulamada, pH'nın kontrol edilmesi büyük olasılıkla VFA verimini belirleyen en önemli faktördür.

11. Anaerobik çürütme tesisinde atıkların içinde maddelerin çökmesi sonucu oluşan killi, mermerli, kumlu ve organik maddeli dibe çökmüş çamurlar, ortamdan alınıp dekantörde ve benzeri tesiste susuzlaştırıldıktan sonra çimento sanayi için hem önemli bir hammadde hemde enerji kaynağı olarak kullanılabilir.

12. Hayvan gübreleri geçici depolama yerleri sızdırmaz ortamlarda depolanmalı.

- 13.** Süt, bira, maya, nişasta, meyve suyu ve şarap sanayi konsantre atıksuları önemli oranda biyobozunur organik madde içerir. Mutlaka anaerobik olarak değerlendirilmeli.
- 14.** Tavuk gübresi kullanımında toplam azot miktarı mutlaka dikkate alınmalı. Tavuklar çok az sıvı salgıladıkları için dışkılarında kristal halinde amonyak bulunabilir. Tavuk gübresinde, yaklaşık 8 g/Lt gibi yüksek oranda amonyum azotu içerir. Ortaya çıkan yüksek amonyak içeriği, sindirim sırasında engelleyici etkilere (inhibite edici) etkiye yol açarak, besi alanlarında gübre depolama sırasında yüksek NH_4^- emisyonlarına neden olabilir.
- 15.** Tavukların açık besi yerlerinde tutulması tipik olarak gübrenin kumla önemli ölçüde kirlenmesine neden olur. Çoğu çürütücü sisteminde kum, bir alt tabaka oluşturan tortulardır ve anaerobik çürütücüde sıklıkla operasyonel sorunlara neden olur ve çürütücü reaktör hacimlerinin azalmasına neden olur ve atığın hidrolik bekleme süresini kısaltır.
- 16.** Anaerobik çürütücüye beslenen her atık türü değişikliğinde karbon/azot/fosfor oranı önceden mutlaka dikkate alınmalı.
- 17.** Amonyak salımını ve besi maddesi kaçmasını önlemek için hayvan gübresi, tavuk gübresi ve digestate pH'nın 6,4 civarında tutulması tavsiye edilir. pH ayarlamada sülfürik asit kullanılması tavsiye edilir.
- 18.** H_2S gidermek için ya anaerobik reaktör içine demir talaşı (toz halinde) ilave edilebilir veya baca sisteminde demir talaşı ile H_2S giderme ünitesi yapılır. Her iki metotla H_2S , %89-%90 oranında giderilir. Bu konuda detay çalışma yapılacaktır.

4. KAYNAKLAR

1. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=bd8871a108e5c24a870c54317f9397e520d2c721>
2. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620354937>
3. <https://www.mdpi.com/1996-1073/17/3/546>
4. <https://www.extension.purdue.edu/extmedia/ID/ID-406-W.pdf>
5. [https://sci-hub.ru/https://doi.org/10.1016/0141-4607\(84\)90011-8](https://sci-hub.ru/https://doi.org/10.1016/0141-4607(84)90011-8)