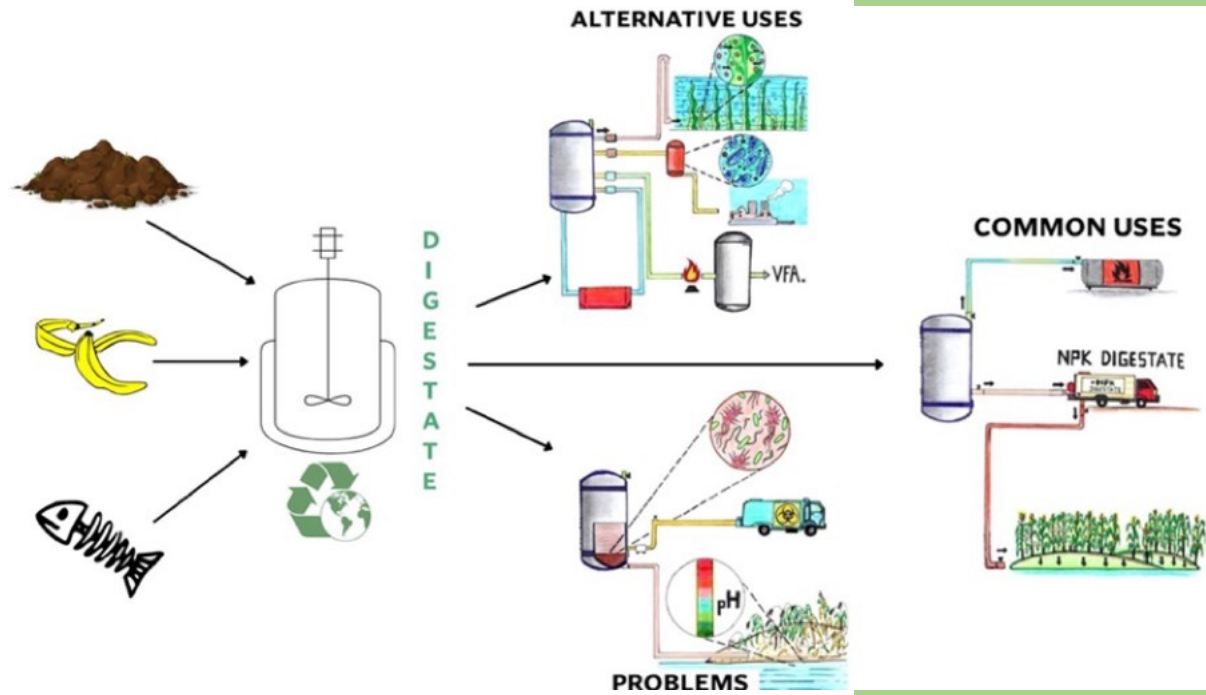




Sıvı Digestat Depolama Esasları



MAYIS-2025

Sıvı Digestat Depolama Esasları

İçindekiler Tablosu

1. GİRİŞ	3
2. SIVI DİGESTAT (FERMENTE ÜRÜN) ÖN İŞLEMİ	8
3. METAN, AMONYAK VE AZOT OKSİT EMİSYONU	10
4. SIVI DİGESTAT DEPOLAMA KRİTERLERİ	11
5. LAGÜNLER	19
6. SAR ORANI	23
Şekil 1 Ham Digestatta Katı ve Sıvı Fazı Ayıran Dekantör	3
Şekil 2. Ham Digestat Ürünü İşleme ve Kullanım İçin Ana Yolları.....	6
Şekil 3. Katı-Sıvı Faz Ayrımından Sonra Ana Bileşenlerin Dağılımı.....	7
Şekil 4 Farklı pH ve Farklı Sıcaklıklarda Suda NH ₃ ve NH ₄ ⁺ Dengesi.....	9
Şekil 5 Kapalı Lagün	10
Şekil 6 Digestate Depolama Torbaları	12
Şekil 7 Gaz Geçirmez Membran (Yumuşak Kapak) İle Kaplanmış, Tankın Kenarlarına Sabitlenmiş Dijestat Depolama Tankı.....	14
Şekil 8 Danimarka'daki Lemvig AD Fabrikasında Beton Kapaklarla Kaplı Çürüme Ürünü Depolama Tankları. Kaynak: Lemvig Biyogaz.....	15
Şekil 9. Taze Doğranmış Çürüme Ürünü İçin Açık Depolama Tankı Sıvı Yüzeye Saman Yayıldı15	
Şekil 10 Digestat Depolama Tankları	17
Şekil 11 Sıvı Digestat Depolarından Metan Kayıpları	18
Şekil 12 Lagün Detayları	19
Şekil 13 Üzeri Örtülü Bir Digestat Tankı	20
Tablo 1 Ülkeler Bazında Digestat Depolama ve Kullanım Süreleri	13
Tablo 2. Sıvı Fermente Ürünün Açıkta ve Kapalı Ortamda Depolanması	21
Tablo 3. Digestat Kullanım Kriterleri	22
Tablo 4. Sulama Suyu Kaynağının SAR ve İletkenlik Değeri.....	23

Sıvı Digestat Depolama Esasları

1. Giriş

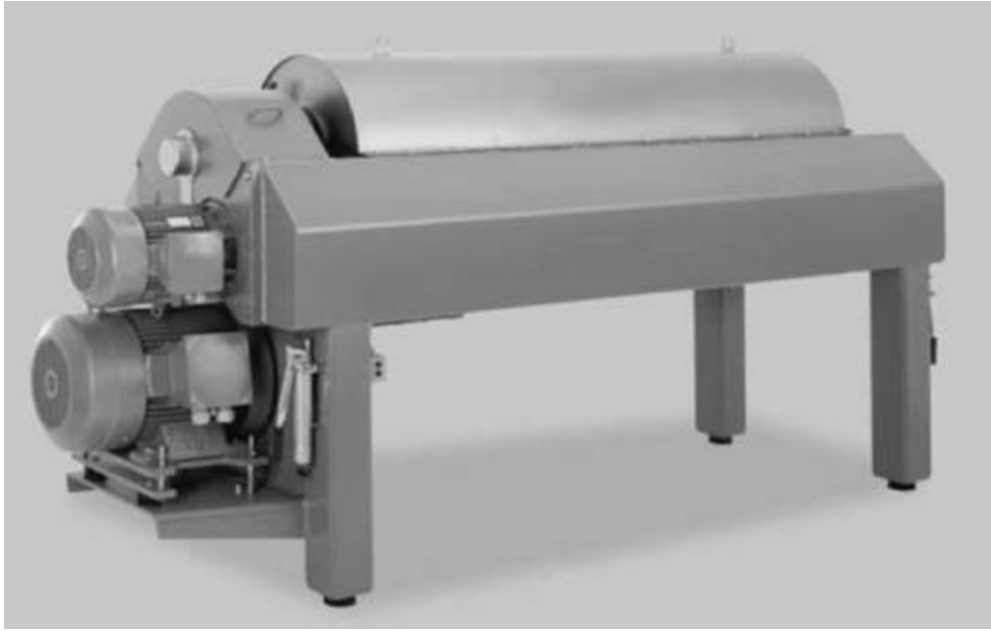
Anaerobik çürütme işleminde oluşan sıvı ve katı digestat önemli bir alternatif besin kaynağıdır. Digestatın hacmi ve özellikleri esas olarak kullanılan substratlara bağlıdır ve büyük ölçüde değişebilir.

Sıvı ve katı Digestat'ın tarım alanlarında alternatif gübre olarak uygulanması, olumsuz çevresel etkileri önlemek veya en aza indirmek ve biyogaz üretiminin ekonomik sürdürülebilirliğini geliştirmek için en basit yönetim çözümlerinden biridir. Ayrıca, azot ve fosfor gibi hayati besin maddelerinin toprağa geri döndürülmesi, toprak erozyonunun dengelenmesine katkıda bulunabilir.

Digestat, yüksek mikro ve makro besin içeriği nedeniyle bitkide bulunan besinleri geliştirdiği için kimyasal gübre uygulamasını azaltmak için mükemmel bir alternatiftir.

Digestat, organik atıkların anaerobik sindiriminden elde edilen besin açısından zengin bir yan üründür.

Anaerobik çürütme tesisleri 7/24 saat çalışır. Çürütme işlem sonucu digestat oluşur. Ham digestat genel olarak %10 ile %12 oranında katı madde (KM) içerir. Oluşan digestat içindeki katı madde (KM), dekantör gibi mekanik susuzlaştırma işlemi ile, sıvı fazdan ayrıştırılır.



Şekil 1 Ham Digestatta Katı ve Sıvı Fazı Ayıran Dekantör

Digestat tarım arazilerinde kullanılmadan önce mutlaka ağır metal ve kalıcı organik madde analizleri yapılmalı. Sınır değerlerinin altında olduğu garanti edilmeli (**Tablo 3**).

Alternatif olarak, gelişmiş katı-sıvı ayrımının yapılması digestat'ın depolamasından kaynaklanan metan (CH₄) emisyonlarını en aza indirirken, aynı zamanda digatete sıvısının uzun mesafeli taşınması ihtiyacını azaltır.

Sıvı Digestat Depolama Esasları

Önceki çalışmalar, ham digestatın ileri kademe mekanik süsüzleştirme ekipmanı ile katı-sıvı ayrımının, sıvı fraksiyondan kaynaklanan CH₄ emisyonlarında önemli azalmalara yol açtığını göstermiştir.

Süsüzleştirme işlemi esnasında ham digestat içindeki küçük boyutlardaki, özellikle <12 mm'den çok küçük partikülleri (tanecikleri), pıhtılaştırma ve yumaklaştırma işlemi ile boyutlarını büyötmek ve çökmelerini hızlandırmak ve çözünür formada olan fosforu ise çözünür olmayan forma dönüştürmek ve katı faza geçmesini sağlamak amacıyla pıhtılaştırıcı ve yumaklaştırıcı işleminde alüminyum sülfat (Al₂(SO₄)₃), demir klorür (FeCl₃), demir sülfat (Fe₂(SO₄)₃), magnezyum bileşiğı ve sönmüş kireç gibi pıhtılaştırıcılar kullanılabilir.

Pıhtılaştırıcı ve yardımcı pıhtılaştırıcı miktarı laboratuvar ölçeğinde Jar Test deneyleri yapılarak kullanılacak optimum dozajlar belirlenebilir. Bu laboratuvar ölçeğinde hızlı ve seri olarak yapılabilir.

Biyogaz tesisleri, digestatı (70 °C, 60 dakika, parçacık boyutu <12 mm) şartlarda hijyenik hale getirdiğinde tüm düşük riskli malzemeler tarım arazilerinde sorunsuz kullanılabilir.

Pıhtılaştırıcı ile daneciklerin (parçacıkların) daha fazla aglomerasyonu için, belirli koşullar altında cüzi miktarda polielektrolit eklenmesi özellikle tavsiye edilir.

Katı fazda yaklaşık;

- %23-35 oranında kuru katı madde (KM),
- %1,5-1-1 oranlarında N (azot)-P (fosfor)-K (potasyum),
- %80 oranında organik katı madde (OKM)

bulunur.

Böylece %20-25 oranında süsüzleştirilmiş katı madde (KM), sıvı fazdan ayrılmış olur.

Katı-sıvı faz ayrılmasında, pıhtılaştırıcı ve polielektrolit kullanarak fosforun çoğunun katı fazda ve azotun çoğunu sıvı fraksiyonda kalması sağlanır. Bu da fosfor ve azotun ayrı dozajını ve fosforun diğer alanlara taşınmasını ve uygulanmasını sağlayarak bitki besin maddelerinin digestat yönetilmesine yardımcı olur.

Fosfor önemli bir bitki besin maddesidir ve bu nedenle gıda üretimi için elzemdir. Fosfor açısından zengin katı faz, katı gübre olarak kullanılabilir veya satılabilir; kurutulabilir ve peletlenebilir, kompostlanabilir ve toprak iyileştirici ve şartlandırıcı olarak doğrudan kullanılabilir.

Almanya'da bazı katı digestat üreticileri, istenen azot fosfor ve potasyum (NPK) seviyelerini elde etmek için katı digestat ürünlerine mineral veya organik azotlu gübrelerle karıştırmaya başlamıştır.

Bu tür uygulama teknolojileri genellikle hacmi azaltarak ve dolayısıyla değeri artırarak katı digestatın taşınmasını kolaylaştırır.

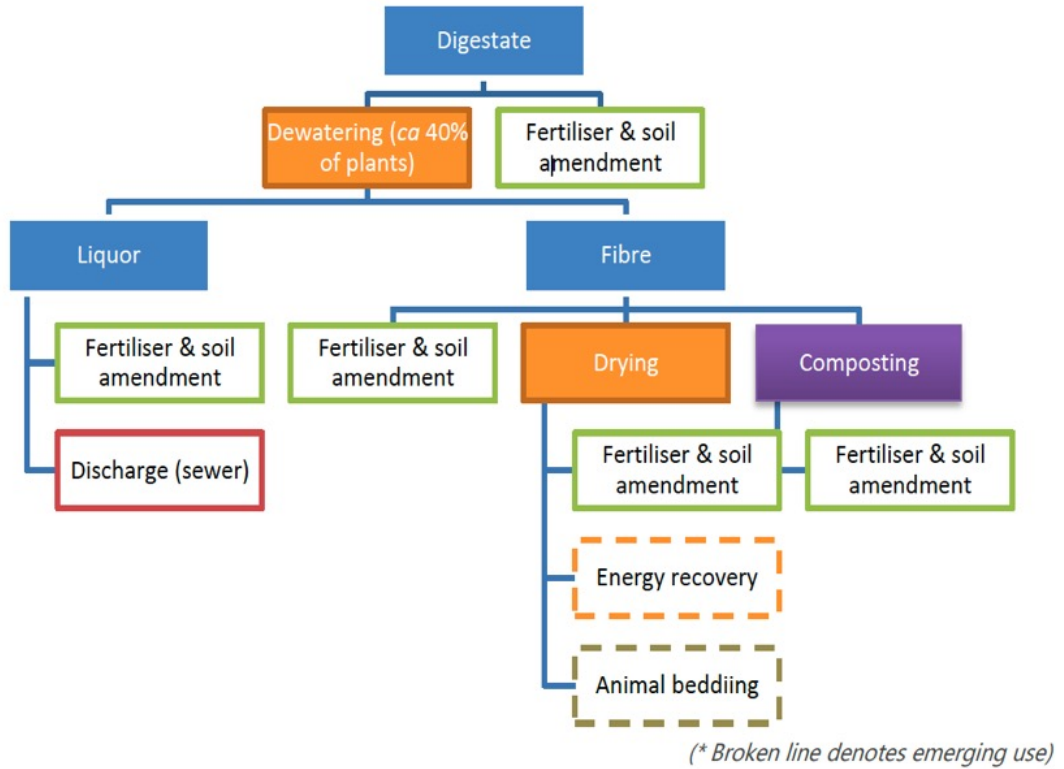


Sıvı Digestat Depolama Esasları

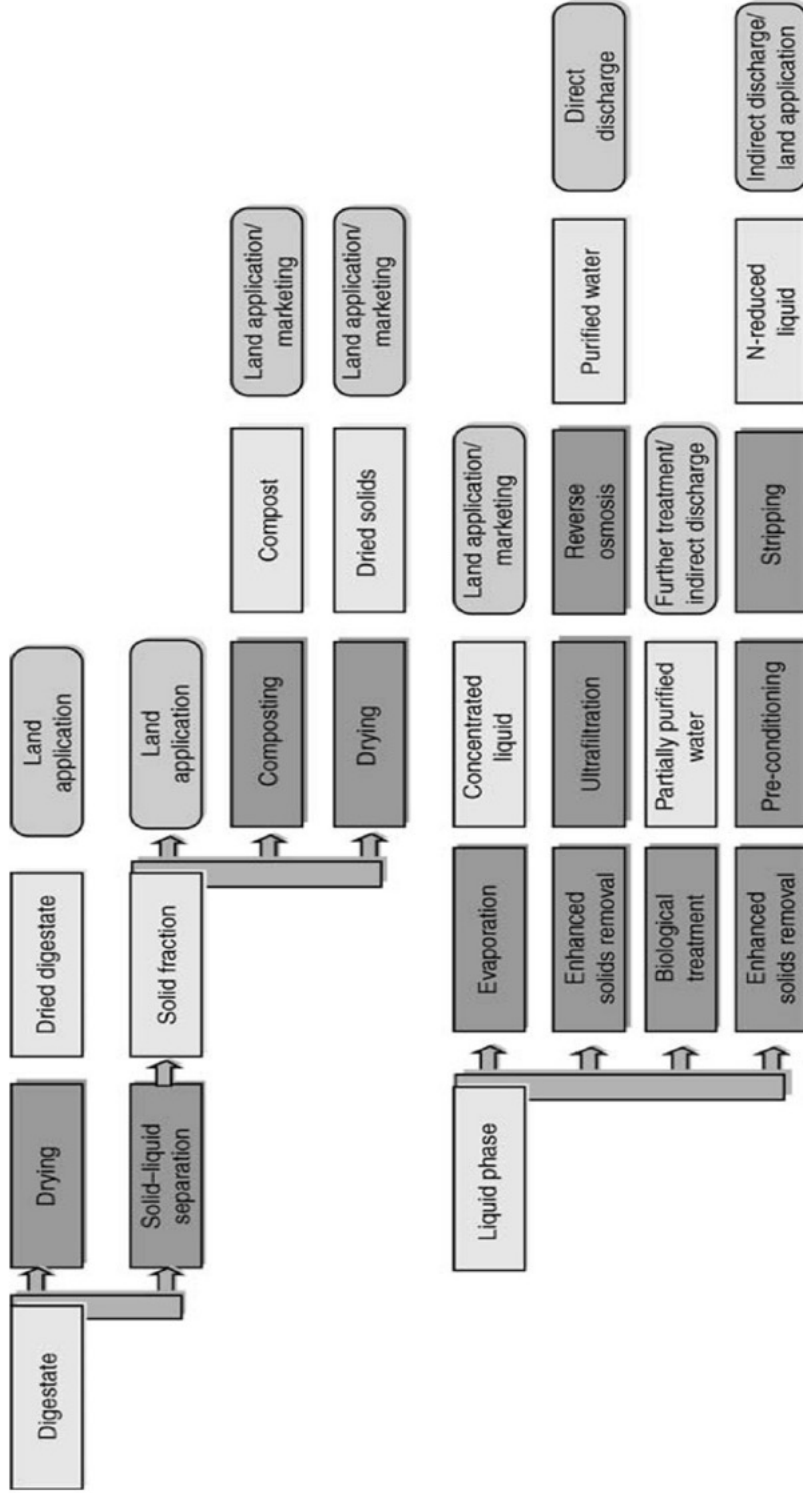
Şekil 2'te gösterildiği gibi, sıvı fraksiyon azot (N) ve potasyumun (K) ana kısmını içerir ve bu fraksiyon sıvı gübre olarak tarım alanlarında kullanılabilir veya yüksek katılı bir besleme stoğu ile karıştırılabilir ve anaerobik çürütücüye yeniden beslenebilir.

Fosforun ötrofikasyon için hız sınırlayıcı besin maddesi olduğu ülkelerde katı-sıvı ayrımı avantajlıdır, çünkü katı fraksiyon ihraç edilebilir ve az fosfor içeren sıvı fraksiyon araziye uygulanabilir.

Ham digestatı işleme ve kullanım için ana yolları Şekil 2'de verilmiştir.



Sıvı Digestat Depolama Esasları



Şekil 2. Ham Digestat Ürünü İşleme ve Kullanım İçin Ana Yolları

Ham digestattan katı ve sıvı faz ayrılması yapılarak sıvı digestat madde miktarı %20-25 oranında azalmış olur ve geri %75-80 oranında sıvı faz kalır.

Sıvı faz (digestat) içinde yaklaşık (kuru madde içinde);

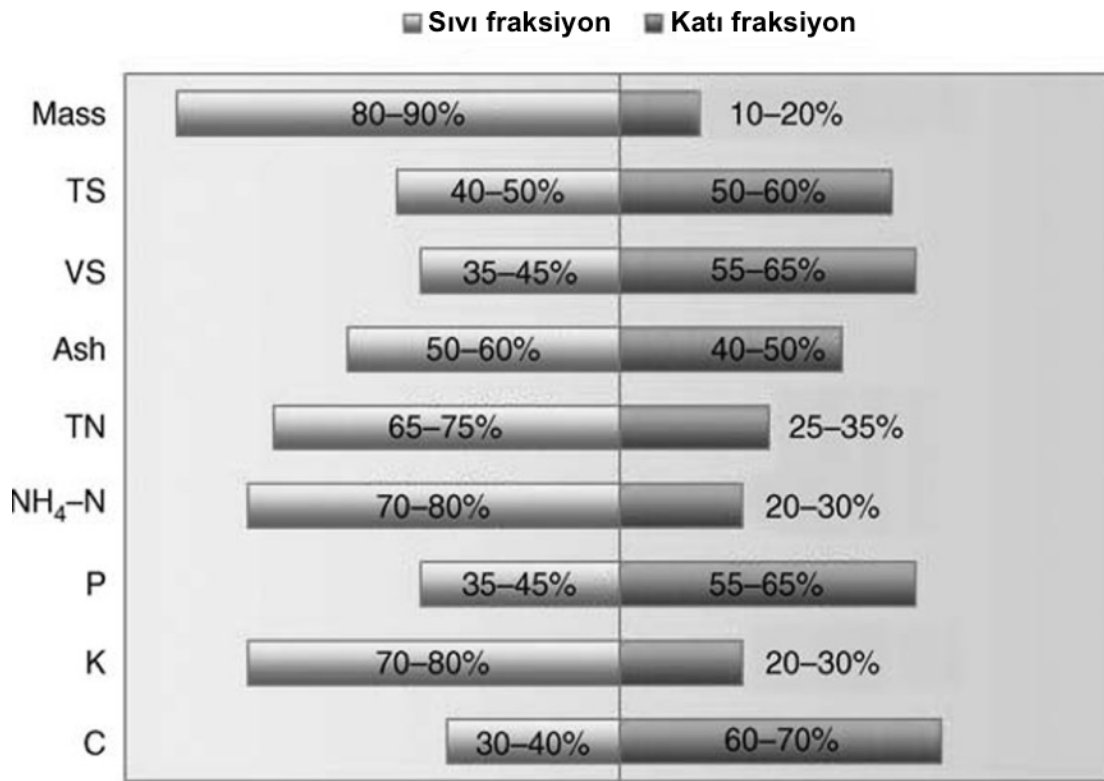
- %7 oranında KM,

Sıvı Digestat Depolama Esasları

- %70 oranında OKM,
- %0,8 N, %1 P ve %0,8 K bulunur (yani; N/P/K= %0,8/1/0,8)'dir.

Yukarıdaki veriler incelendiği zaman sıvı digestat fazı içinde önemli oranda toprak iyileştirici, düzenleyici ve toprağı verimli hale getirici besin maddeleri içerdiği anlaşılmaktadır.

Anaerobik çürütücüden alınan ham digestatın dekantörde ayrıştırılmış katı ve sıvı faz bileşenleri **Şekil 3'**de verilmiştir.



Şekil 3. Katı-Sıvı Faz Ayrımından Sonra Ana Bileşenlerin Dağılımı

Hacmi %20 oranında azaltılmış sıvı digestat, %80 oranında sıvı içeren digestatın depolanması için yine de geniş alan ve hacim gerekir. Sıvı digestatın nihai kullanım süresine kadar tekniğine uygun yönetilmesi/depolanması gerekir. Bu da sıvı digestat depolama maliyetini önemli oranda artırır.

Azot besin elementi bakımından zengin sıvı digestatın toprağı uygulama zamanlamasına ve tüketim miktarına göre yıllık depolama kapasitesi belirlenir (

Tablo 1).

Sıvı digestat, toprak iyileştirici ve düzenleyici olarak tarım arazisinde kullanılmadan önce yılda bir defa kapsamlı analizinin yapılması tavsiye edilir. Böylece digestat kalitesi güvence altına alınmış olunur.

Sıvı digestat buharlaştırılarak hacmi azaltılabilir ama bu tür metotların uygulanması çok pahalıdır.

Sıvı Digestat Depolama Esasları

Sıvı digestat depolama tankında amonyum kaybını minimize etmek için öncelikle pH'ın 7'nin altına indirilmesi tavsiye edilir.

2. Sıvı Digestat (Fermente Ürün) Ön İşlemi

Anaerobik çürütme süresi boyunca sürekli olarak üretilen digestat, önce kapalı lagüne alınmalı, metan ve amonyum oluşmasının son bulunduğundan emin olunmalı. Takiben açık lagüne alınabilir. Mevcut açık lagünler mümkünse kapalı lagünlere dönüştürülmeli. Böylece metan gazı emisyonu ve amonyum gazı salımı kontrol altına alınmış olur.

Sıvı digestat kullanılmadan önce pH, sıcaklık, amonyum ve fosfor konsantrasyonu ölçülmeli ve besi maddesi miktarı belirlenmeli.

Digestat mahsul besin maddesi gereksinimleri nedeniyle ve besin kayıplarını önlemek için, gübre olarak uygulanması için tek uygun zaman olan büyüme mevsimi veya vejetatif büyümeye kadar uygun pH ve sıcaklık aralığında depolanmalıdır. Bu nedenle, biyogaz tesisleri, gerekli/yeterli digestat depolama kapasitesine sahip olmalıdır veya alternatif bir durumda digestat, varış noktasına yakın bir tarlada sürülmemiş arazi tankında taşınabilir ve depolanabilir.

Depolama tesisinin biyogaz tesislerinde bulunması durumunda, 500 kWel'lik bir biyogaz tesisi için bir depolama tesisi yaklaşık 4 ha tahsisli alana ihtiyaç duyabilir.

Anaerobik işlem sonucu organik karbon, azot, fosfor ve potasyum bakımından zengin sıvı digestat, kullanılmadan önce, stabilize hale getirilmelidir. Sıvı ve katı faz tekniğine uygun ayrıştırılmalı.

Sıvı digestatın yeterli ve uygun şartlarda depolaması, değerli sıvı organik gübrelerin daha iyi yönetmelerini sağlar:

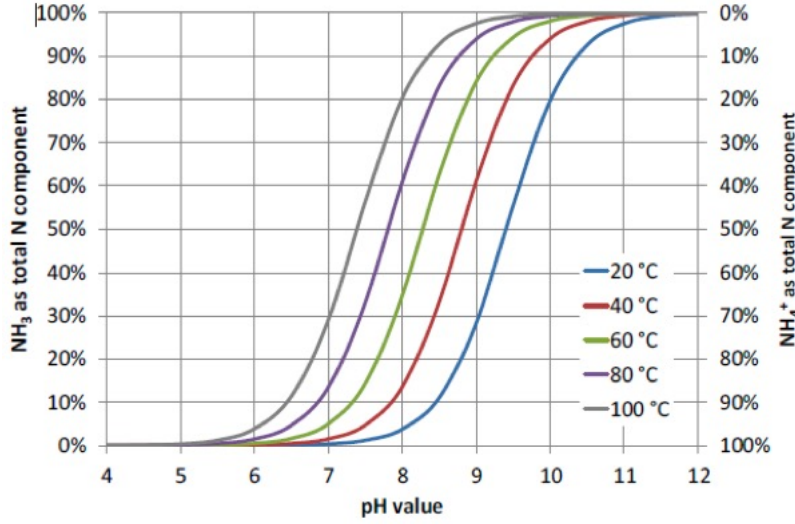
- Çevresel etki en aza indirilir.
- Faydayı en üst düzeye çıkaran zamanlarda uygulamaya izin verilir.
- Pahalıya mal olan kimyasal gübrelerin kullanımı azaltılır.

Sıvı digestattaki sera gazları (metan gibi), koku veya diğer bileşiklerin emisyonlarını en aza indirecek kapalı depolama koşulları oluşturulmalı.

Katı fazdan ayrılmış sıvı digestat depolarken amonyum gazı kaçışını minimize etmek için pH'ın 7 civarında, mümkünse biraz altında, tutulması tavsiye edilir.

pH ve sıcaklığa bağlı olarak gaz fazında ve sıvı fazda kalan amonyak oranları **Şekil 4'**de verilmiştir.

Sıvı Digestat Depolama Esasları



Şekil 4. Farklı pH ve Farklı Sıcaklıklarda Suda NH₃ ve NH₄⁺ Dengesi

Şekil 4 incelendiği zaman pH'a bağlı olarak sıvı digestatın sıcaklığı arttıkça amonyum azotunun gaz fazına geçme ve azot kaybı oranı artmaktadır. Bu yüzden sıvı digestat depolama tesisi ısı yalıtımlı olmalı, gün ışığından ve rüzgardan etkilenmemeli. Böylece ortam sıcaklığı 20 °C civarında tutulursa NH₃ kaybı minimize edilmiş olur. Çünkü anaerobik tesisinden çıkan sıvı digestatın pH'ı genelde 8 civarındadır. Eğer ortam sıcaklığı kontrol edemiyorsanız pH'ın 7,0 altına düşürülmesi tavsiye edilir. Ve amonyak kaybı olmadan sıvı gübre içindeki önemli besin elementlerinden olan amonyak azotu sıvı fazda tutulmuş olur. Bu yüzden digestat depolama tesisinde pH ve sıcaklık sürekli ölçülmeli.

Açık lagünlerin çevresi ağaçlandırılma veya perdeleme yapılarak rüzgar etkisi minimize edilmelidir.

3. Metan, Amonyak ve Azot Oksit Emisyonu

Sıvı digestat depolama tesisleri, yeni bir amonyak ve azot oksit kaynağı olarak atmosferik kirliliğe katkıda bulunabilir. Bu gazlar sıvı atıkların açık depolanması sırasında atmosfere salınabilir. Bu yüzden minimum gaz salımı için depolama şartları uygun olmalıdır.

Kapalı bir lagün sistemi örneği **Şekil 5**'de verilmiştir.



Şekil 5 Kapalı Lagün

Almanya'daki mevzuatlar, sıvı digestat kapalı ortamlarda saklanması şart koşturmaktadır. Öte yandan biyogaz tesisleri, gübre olarak saf gübrenin kullanılması daha yüksek emisyonlara neden olduğundan, potansiyel olarak azot oksit ve metan emisyonlarının azaltılmasına önemli oranda katkıda bulunabilir. Yeni Gübreleme Yönetmeliği, örtülmesi ve gaz geçirmez olması gereken çürüme ürününün depolanmasını düzenler. Bu yeni çözüm, depolama sırasında çürütmeden kaynaklanan kirli gaz emisyonunu önemli ölçüde azaltacaktır.

Anaerobik depolama ünitesinde oksijen ve nitrat (veya nitrit) olmaması nedeniyle nitrifikasyon ve denitrifikasyon reaksiyonları gerçekleşmediği için, nitroz oksit emisyonları normalden düşük konsantrasyonda olacaktır.

Temmuz ve ağustos gibi sıcak aylarda sıvı digestat depolandığı için sıcak havalardan dolayı bu aylarda, diğer aylara göre, metan, amonyak ve nitroz oksit kaybı yüksek olabilir.

Sıvı digestat içeren lagün/tankların kapalı olması kuvvetle amonyak emisyonlarını ve ikincil partikül oluşumunu azaltmak için tavsiye edilir.

4. Sıvı Digestat Depolama Kriterleri

İngiltere ve Galler’de sıvı digestat depolama faaliyetleri aşağıda belirtilen alanlar içinde gerçekleştirilemez:

- 200 metrelik bir Avrupa Sitesi (SPA, SAC), Ramsar Sitesi veya Özel Bilimsel İlgi Alanı (SSSI),
- Birinci sınıf yeraltı Suyu Kaynağı Koruma Bölgesi 1,
- Herhangi bir su alma noktasından 250 metre,
- Herhangi bir kaynaktan veya kuyudan veya evsel veya gıda üretimi amacıyla su temin etmek için kullanılmayan herhangi bir kuyudan 50 metre,
- Konutlar da dahil olmak üzere halk tarafından kullanılan herhangi bir site dışı binanın 200 metre.

Suya veya toprağa emisyonu kirliliğe neden olabilecek tüm sıvılar, operatör birincil kaptan sızıntıyı ve dökülmeyi en aza indirmek için başka uygun önlemler kullanmadığı veya bunun mümkün olmadığı durumlarda ikincil önlem sağlanacaktır.

Bu kurallar, yüzey sularına veya yeraltı sularına herhangi bir nokta kaynağı emisyonuna izin vermez. Bununla birlikte, kaçak madde emisyonları kuralına göre, çatılardan veya atık işletimi ile bağlantılı olarak kullanılmayan alanlardan (atıkların depolanması dahil) temiz yüzey suyu, doğrudan yüzey sularına veya yeraltı suyuna, ıslatma yoluyla topraktan sızarak boşaltılabilir.

Gerekli depolama süresinin uzunluğu, coğrafi alana, toprak tipine, kış yağışlarına, ürün rotasyonuna ve anaerobik çürütme ürünü/gübre uygulamasını yöneten ulusal düzenlemelere bağlı olacaktır. Örneğin ılıman bir iklimde, 6-9 aylık digestat üretimi için bir depolama kapasitesi tavsiye edilir.

Tekniğine uygun depolanan sıvı digestat seyretme sıvısı olarak kullanıldığında anaerobik çürütme tesisinde verimlilik ortalama %8 oranında arttığı tespit edilmiştir.

Depolama sistemleri, digestat üretim hacimleri, digestat türü, sıvı digestat talebi, arazi mevcudiyeti, ürün türü, coğrafi alan, toprak türü ve çevresel kısıtlamalara göre tasarlanmalıdır. Prosesler sırasında üretilen digestatın hacmi, girdi malzemesine ve digestat depolama tesislerinin boşaltılma (kullanım) sıklığına bağlıdır. Elde edilen sıvı digestat ile ilgili girdi substratının kütle kaybı için referans değerler gübre için %3 ve silaj için %20-30'dur ve tahıl taneleri için %70 ila 80 kütle kaybı beklenebilir.

Digestatın türü aynı zamanda depolama tesisini de etkiler, digestatın tamamı ve sıvı fraksiyonu genellikle depolama tanklarında, lagünlerde veya esnek saklama torbalarında depolanır ve diğer yandan digestatın katı fraksiyonu üstü kapalı düz beton alanlarda veya binaların içinde depolanır. Son olarak ve mahsule bağlı olarak, besin maddelerinin sızmasını ve yeraltı suyuna akmasını önlemek için digestat uygulaması için en iyi zaman genellikle büyüme mevsimidir. Bu nedenle Avrupa mevzuatları mevsimsel değişikliklerden dolayı 6 ila 9 ay arasında bir depolama kapasitesi talep etmektedir.

Sıvı Digestat Depolama Esasları

Ayrıca, digestat açık tanklarda veya lagünlerde depolanırsa, depolama süresi boyunca bazı emisyonlar meydana gelebilir ve bu emisyonlar, çürütmenin pH, sıcaklık, kuru madde içeriği, nitrojen içeriği ve depolama özelliklerine bağlıdır. Emisyonları en aza indirmek için etkili bir yöntem, gaz halindeki emisyonların (CH_4 , N_2O , NH_3) %90 oranında azaltılmasına ve digestatta tutulan amonyak $\text{NH}_4\text{-N}$ 'nin %55-100'ünün azaltılmasına izin veren hava geçirmez depolama kapakları takılmasıdır. Depolama kapaklarının takılmasının bir başka avantajı da yağmur suyunun birikmesini ve dolayısıyla çürümenin seyrelmesini ve hacmin artmasını önlemesidir.

Depolama tesisi üstü örtü malzemesi, sıvı yüzeyin üzerinde bir membran, beton, çelik veya saman, kil granülleri veya plastikten yüzen bir örtü olabilir. Temel olarak, uygun depolama çürümenin değerini ve kalitesini korur ve atmosfere amonyak ve metan kaybını, besin maddesi sızıntısını ve besin akışının yanı sıra koku ve aerosol emisyonlarını önler. Temel olarak, kapalı çürüme ürünü depolaması, açık depolamanın aksine çürütme ürünü depolama tankından kaynaklanan emisyonları %65 oranında azaltmıştır.

En yaygın depolama sistemleri lagünler, depolama tankları ve esnek saklama torbalarıdır (**Şekil 6**).



Şekil 6 Digestate Depolama Torbaları

Lagünler açık hava çukurları veya göletlerdir. Genel olarak, lagünler derin çukurlardır, kapalı dipleri ve yanları, çürümenin depolanmasına izin verir ve koruma için su geçirmez bir membran veya tabaka kurulur. Polivinil klorür (PVC) membranlar veya beton, sızıntıyı önlemek için yeterli su geçirmez bileşendir (**Şekil 7**). Ayrıca, bir lagünün boyutu, lagüne giren toplam digestatın hacmine ve yağış ve akış hacimlerine bağlıdır.

Yer altı lagünlerinin dışarıdan görülemeyeceği ve dolayısıyla peyzaj etkisi minimum olacak şekilde yerin üstüne veya altına inşa edilebilirler. Ayrıca lagünler esnek örtülerle kapatılabilir veya açılabilir. **Kapalı lagünler, amonyak kaybını, metan emisyonlarını ve kokuyu azaltarak önemli çevresel faydalar sunarken, yağmur suyu nedeniyle sıvı digestattaki su içeriğinin artmasını da önler.** Önemli bir husus, yapı malzemeleri nedeniyle diğer digestat depolarının aksine, toprak oturmasının ve hatta depremlerin lagünlere kolayca zarar veremeyeceğidir. Lagünlere bir alternatif, kısmen yerin üzerine inşa edilebilen veya toprağa gömülebilen

Sıvı Digestat Depolama Esasları

depolama tankları olabilir. İlk seçenek, toprağa gömülü tanklardan daha ucuza inşa edilebilir, ancak digestatın yer üstü depolarına pompalanması gerekecektir.

Ayrıca, su ve toprak kirliliğini önlemek için sıvı digestat depolama tesisleri, su sızdırmazlığını garanti eden malzeme ve özelliklerle inşa edilmelidir. Bazı ülkelerde, depolama tesisine dökülme, su geçirmez astarlar ve sızıntı detektörü gibi çeşitli çevresel önlemler de gerekebilir.

Sıvı digestat, mahsuller tarafından en iyi şekilde kullanıldığı büyüme mevsimi boyunca kullanılmalı. Yetiştirme mevsimi dışında uygulamanın ciddi su ve hava kirliliği sonuçları olabilir. Besin yönetimi ve gübre uygulamasını yöneten ulusal yönetmelikler, gerekli depolama kapasitesinin yanı sıra digestat uygulama sürelerini de belirler. Bunlar birçok ülkede zorunludur ve tarım ve çevre koruma mevzuatına entegre edilmiştir.

Tablo 1. Ülkeler Bazında Digestat Depolama ve Kullanım Süreleri

	Maksimum besin yükü*	Gerekli depolama kapasitesi	Kullanmak (yaymak) için zorunlu ayların aralığı
Avusturya	170 kg N/ha/yıl	6 ay	28 Şubat- 5 Ekim
Danimarka	170 kg N/ha/yıl (sığır) 140 kg/ha/yıl (domuz)	9 ay	1 Şubat-Hasat
İtalya	170-500 kg N/ha/yıl	90-180 gün	1 Şubat-1 Aralık
İsveç	170 kg/ha/yıl (hektar başına hayvancılık birimlerinden hesaplanmış)	6-10 ay	1 Şubat-1 Aralık
Kuzey İrlanda	170 kg N/ha/yıl	4 ay	1 Şubat-14 Ekim
Almanya	170 kg N/ha/yıl	6 ay	1 Şubat-31 Ekim (ekilebilir arazi) 1 Şubat-14 Kasım (otlaklar)

Tablo 1 incelendiği zaman İtalya’da sıvı digestat depolama kapasitesi 90 ila 180 gün arasında değişirken Avusturya’da 6 ay, Danimarka’da 9 ay, Kuzey İrlanda 4 ay ve Almanya 6 ay olarak belirlemişlerdir. Bazı ülkelerde digestat depolama kapasitesi 240 gün olarak alınmıştır.

İskoç Hükümeti, İskoçya genelinde sıvı digestat depolama kapasitesi için bir dizi kurala sahip olmanın en iyi yol olduğunu planlamış, gereklilikleri yansıtmak için minimum kapasiteyi 22 ve 26 haftaya indirmiştir.

Türkiye’deki “MEKANİK AYIRMA, BİYOKURUTMA VE BİYOMETANİZASYON TESİSLERİ İLE FERMENTE ÜRÜN YÖNETİMİ TEBLİĞİ

Atık işleme tesislerinin genel özellikleri

MADDE 10 –



Sıvı Digestat Depolama Esasları

(7) Tesiste, atıkların işlenmesi sonucunda oluşan katı ve sıvı fermente ürünün meteorolojik olaylardan etkilenmeyecek şekilde en az bir ay süreyle biriktirileceği büyüklükte kapalı ürün deposu teşkil edilir.” Olarak ifade edilmiştir.

Sıvı digestat depolama süresinin uzun tutulması riskleri azaltmak için önemlidir.

Bazı AB ülkelerinde sıvı digestatin 15 Ekim'den 31 Ocak'a kadar tarım alanlarında kullanılması yasaklamıştır. Bu günler, besin sızıntı riskinin en yüksek olduğu ve bitki büyümesinin çok az olduğu veya hiç olmadığı zamanları temsil etmektedir. **Türkiye için böyle yasaklama tarihi yoktur. Ancak toprağın iyileştirilmesi ve düzenlenmesi ve ürün verimliliği açısından kullanım takvimi doğru belirlenmeli.**

Belçika'da 1 Eylül'den 15 Şubat'a kadar hayvan gübresi, diğer gübreler ve kimyasal gübrelerin sürekli olarak örtülmeyen ekilebilir arazilere uygulanması yasaktır. Ayrıca, kimyasal gübreler hariç, gece ve pazar günleri ve resmi tatillerde ve sahil kesimlerinde cumartesi günleri de uygulama yasaktır. Gübreler ve kompostlar (yalnızca 15 Kasım - 15 Ocak tarihleri arasında yasaklanmıştır) ve hatta zaman gecikmesinden yararlanabilecek azot bağlayıcı ara ürünler için istisnalar mümkündür.

Depolama kapasitesini etkileyen en önemli kalem tarlada kullanım süresidir.

Tablo 1 incelendiği zaman ülkelere göre tarlada kullanım sürelerinin değişken olduğu görülmektedir.

Dünyada bir dizi gaz geçirmez saklama tankları/depoları kullanılmaktadır. Tankın yan tarafına sabitlenebilen ve merkezi bir direk ile desteklenebilen veya digestatin yüzeyinde yüzen membranlar vardır. Membran örtüler, çiftlik ölçekli biyogaz tesislerinde (**Şekil 7**) ve tarım alanlarına yakın bulunan depolama tanklarında yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 7 Gaz Geçirmez Membran (Yumuşak Kapak) İle Kaplanmış, Tankın Kenarlarına Sabitlenmiş Dijestat Depolama Tankı

Büyük ölçekli ortak anaerobik çürütme tesislerinde, digestat depolama tankları, genellikle membran örtülerden daha pahalı olan beton çatılar (**Şekil 8**) veya çelik kapaklarla da kapatılmıştır.

Sıvı Digestat Depolama Esasları



Şekil 8 Danimarka'daki Lemvig AD Fabrikasında Beton Kapaklarla Kaplı Çürüme Ürünü Depolama Tankları. Kaynak: Lemvig Biyogaz

Membran örtüsünün kullanılması mümkün değilse, açık lagünlerin üzeri en azından bir yüzey kabuğu veya kıyılmış saman tabakası (**Şekil 9**), kil granülleri, hızar talaşları veya plastik parçaları ile örtülebilir. Yüzen kabuk yapay olarak oluşturulmalıdır, çünkü çürüme ürünü, ham bulamacın aksine, doğal olarak bir yüzey kabuğu oluşturmaz. Bu konuda bir ön çalışma yapılması tavsiye edilir.



Şekil 9. Taze Doğranmış Çürüme Ürünü İçin Açık Depolama Tankı Sıvı Yüzeye Saman Yayıldı

Kabuk, sindirilmenden önce karıştırılmadan önce taşıma veya uygulama için hazır olana kadar bozulmadan tutulmalıdır. Karıştırma, kullanım sırasında gübrenin homojenliğini sağlar. Karıştırma gereksiz emisyonları ve koku salınımını önlemek için yalnızca digestat kullanılacağı zaman gerçekleştirilmelidir.

Sıcaklığın ve pH'ın ayarlanmadığı sıvı digestatın açık tanklarda depolandığında amonyak ve metan gazları salımlanabilir. Sıvı digestat'ın yüzeyi koruyucu bir tabaka ile kaplanırsa bu emisyonlar azaltılabilir. Bu katman, en az 10-20 cm'lik doğal bir kabuk, yüzen plastik parçalar, kil çakılları veya kıyılmış saman, vb. olabilir. Bununla birlikte, kıyılmış saman bozunursa metan salımlaması unutulmamalı.

Sıvı Digestat Depolama Esasları

Ham sığır bulamacından farklı olarak, sıvı digestat depolama sırasında bir yüzey kabuğu oluşturmaz. Hem metan hem de amonyak kayıplarını en aza indiren diğer iki yöntem, digestat depolama tanklarını hava geçirmez membranlarla kaplamak veya esnek saklama torbaları kullanmaktır.

Depolama tesisinin örtü malzemesi sıvı yüzeyin üzerinde bir membran, beton, çelik veya saman, kil granülleri veya plastikten yüzen bir örtü olabilir. Temel olarak, uygun depolama çürümenin değerini ve kalitesini korur ve atmosfere amonyak ve metan kaybını, besin sızıntısını ve besin akışının yanı sıra koku ve aerosol emisyonlarını önler. Temel olarak, kapalı çürüme ürünü depolaması, açık depolamanın aksine çürütme ürünü depolama tankından kaynaklanan emisyonları %65 oranında azaltılması sağlanır.

Digestatın depolama tanklarında karıştırılması, sabit veya hareketli karıştırıcılar ile gerçekleştirilebilir.

Digestat depolama tankları örnek uygulamaları **Şekil 10**'de verilmiştir.



Sıvı Digestat Depolama Esasları



Şekil 10 Digestat Depolama Tankları

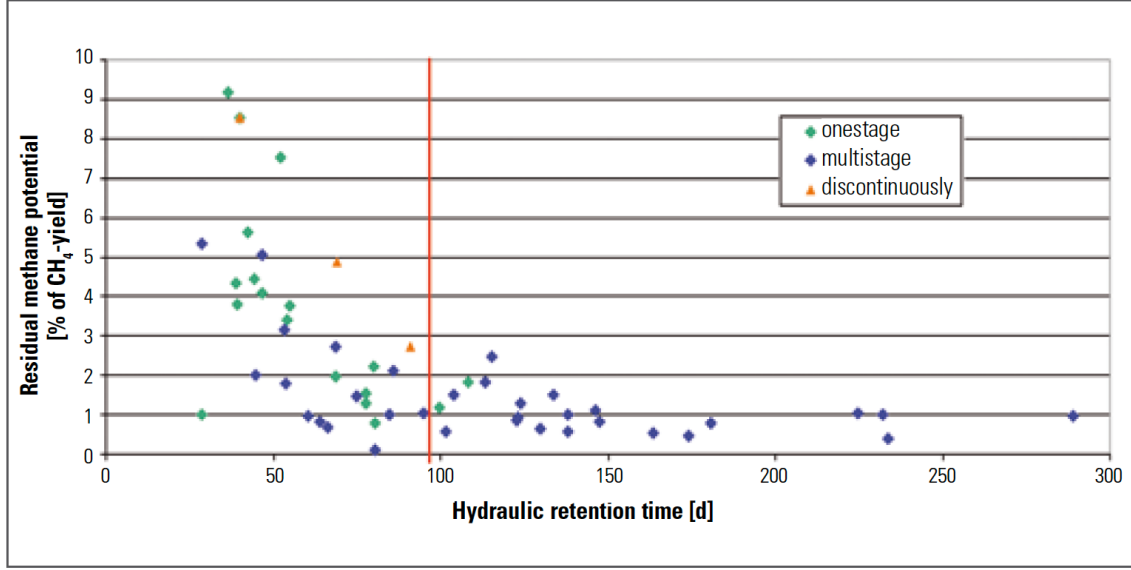
İngiltere’de sıvı digestat için depolama tesisleri, 2010 Su Kaynakları düzenlemelerine (SSAFO)’ne uygun olarak inşa edilmelidir.

Sıvı digestat’ın doğru şekilde depolanması, yağmur suyunun sıvı digestat ile karışmamasını, amonyak emisyonlarını ve azot kaybını azaltmasını, koku kirliliğini ve rahatsızlığı minimumda tutmasını sağlar. Lagünlerin çevresinde yağmur suyu hendekleri yapılır ve yağmur suyunun lagünlere akması önlenir.

2018’de Defra’nın Temiz Hava Stratejisinde yapılan revizyonlar kapsamında, doğal yaşam alanlarını ‘aşırı gübreleme’ riski taşıdığından ve insan sağlığına zararlı olabileceğinden, çiftçilerin artık atmosfere salınan amonyak gazı miktarını azaltmaları gerekiyor. Nitelikli çiftlik müteahhitleri tarafından kurulan doğru sıvı digestat depolaması, salınan fazla nitrojen ve amonyak miktarını en aza indirmeye yardımcı olabilir, böylece çiftliğin genel emisyonlarını azaltır.

Şekil 11, enerji bitkileri ile sindirimden sonra, sıvı digestattan atmosfere metan emisyonunun %1’in altına düşürülmesini sağlamak için 100 güne kadar (kapalı) depolamanın gerekli olacağını göstermektedir. Gelişmiş bir biyogaz sektörüne sahip Avrupa ülkelerinde (örneğin Almanya, Danimarka ve Avusturya), ana hedefi emisyonları azaltmak olan kapalı sıvı digestat depolama tankları kurmak için artık mali teşvikler bulunmaktadır.

Sıvı Digestat Depolama Esasları



Şekil 11 Sıvı Digestat Depolarından Metan Kayıpları

Bitki alımının az olduğu (örneğin sonbahar ve kış) yılın zamanlarında çürütücü veya herhangi bir mahsul gübresinin uygulanması, besin sızıntısına ve yeraltı ve yüzey sularına (örneğin N ve P) neden olabilir. Digestat bu nedenle doğru uygulama zamanına kadar saklanmalıdır. Kanada Hükümetinin Teknoloji Değerlendirme Programının bir parçası olarak iki yıl boyunca gerçekleştirilen saha denemeleri, ilkbahar uygulamasını takiben çürüme ürününden (çiğ inek bulamacından elde edilenle karşılaştırıldığında) N içinde önemli bir artış göstermedi. Buna karşılık, çürütücünün sonbaharda uygulanması, ham bulamaçla karşılaştırıldığında drenaj sularına sızan N miktarını neredeyse iki katına çıkarmıştır. Besin sızıntısı potansiyeli, su tutma kapasitesi zayıf olan kumlu topraklarda daha yüksektir. Bununla birlikte, her durumda, bitki alımının düşük olduğu veya yüksek yağışlı dönemlerde çürüme ürünü (veya herhangi bir gübre) uygulamasından kaçınılarak bu sorun en aza indirilebilir.

Sıvı digestat metan gazı salımını minimize etmek için 100 gün gibi uzun süre kapalı tanklardan tuttuktan sonra açık lagünlere konabilir.

Son olarak, mahsule bağlı olarak, besin maddelerinin sızmasını ve yeraltı suyuna akmasını önlemek için çürütme ürünü uygulaması için en iyi zaman genellikle büyüme mevsimidir.

5. Lagünler

Önemli bir husus, yapı malzemeleri nedeniyle diğer digestat depolarından farklı olarak, toprak oturmasının ve hatta depremlerin lagünlere kolayca zarar veremeyeceğidir. Lagünlere bir alternatif, kısmen yerin üzerine inşa edilebilen veya toprağa gömülebilen depolama tankları olabilir. İlk seçenek, toprağa gömülü tanklardan daha ucuza inşa edilebilir, ancak çürütücü maddenin yer üstü depolarına pompalanması gerekecektir.

Depolama tankları beton veya çelik gibi farklı malzemelerle yapılabilir. Dökülen beton, yerinde silindirik olarak tasarlanabilir ve saha dışında bir fabrikada oluşturulan prekast beton paneller, sahada dikey olarak taşınabilir ve devrilebilir. Çelik, birbirine cıvatalı paneller veya kaynaklı çelik paneller olarak kurulabilen depolama tankları için yapı malzemesi olarak başka bir seçenektir. Ayrıca çelik, paslanmaz çelik olabilir veya bir epoksi boya sistemi veya camla kaynaşmış çelik kaplama ile kaplanabilir. Çelik tanklar, tank temeline dökülen gömülü bir halka vasıtasıyla beton temele birleştirilebilir. Ülkeye bağlı olarak, koruyucu bir çevresel önlem olarak sızıntıyı önlemek için depolama tesislerinde sentetik bir astar bulunmalıdır. Son olarak, esnek saklama torbaları, sıvı digestatı depolamak için kullanılan hava geçirmez tesislerdir. Depolama tankları ve yapıldıkları malzeme yüksek çekme mukavemetli PVC kaplı polyester elyaf olduğundan, yerin birkaç metre altına inşa edilirler. Çoğunlukla depolama tesislerine başka bir bileşen takılır ve bu sistem, çökmeyi ve depolama tesisinin kapasitesinin azalmasını önleyen, kullanım öncesi çürüme suyuna homojenlik kazandıran ve karıştırma sistemidir. Daha önce analiz edilen tesisler, anaerobik çürütücünün sıvı fraksiyonunu veya bütün sıvı digestatı depolamayı amaçlar, bu nedenle katı faz ile ilgili olarak, sızıntı suyunu hatırlamak için üstü kapalı düz alanlarda veya hafif zemin eğimi olan binalarda depolanır.



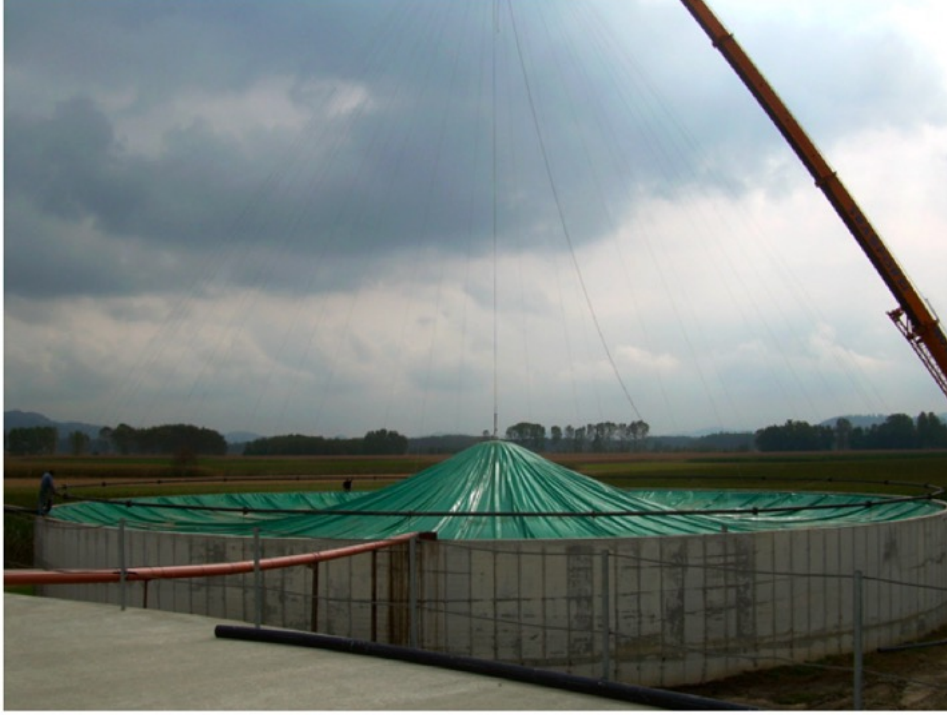
Şekil 12 Lagün Detayları

Sıvı Digestat Depolama Esasları

Geliştirilmiş yüzer örtü sisteminin, sindirilebilir sıvı digestatın depolamasından yayılan artık biyogazın toplanması için güvenilir ve düşük maliyetli bir çözüm olduğu gösterilmiştir.

Pratikliği, nispeten basit modüler yapısı ve farklı şekillerdeki (kare, dikdörtgen, dairesel) ve boyutlardaki tanklara uyma kabiliyetinden kaynaklanmaktadır.

Üzeri örtülmüş bir digestat tankı **Şekil 13**'de verilmiştir.



Şekil 13 Üzeri Örtülü Bir Digestat Tankı

İngiltere ve Galler'de standart izin kapsamında,

- Kabul edilen maksimum atık miktarı yılda 75.000 tonu geçemez.
- Sitenin maksimum depolama kapasitesi 75.000 m³ geçemez.

Bu depolama kısıtlaması, bir ısmarlama kapsamında risk tabanlı bir değerlendirme yoluyla genişletilebilir.

Sıvı digestat tankları bakımla birlikte en az 20 yıllık bir beklenen ömre sahip olmalıdır - yeraltında bulunan bir silaj atık tankının herhangi bir parçası bakım gerektirmeden 20 yıl dayanmalıdır.

Sıvı digestat depolanması esnasında sıcaklık ayarlaması yapılamıyorsa amonyum azotunun serbest hale geçmesini önlemek için önceden gerekli pH ayarlaması yapılmalıdır.

Tipik Digestat Depolama Lagünü tesisleri, 1.0/1.5 mm HDPE yüzer kapaklı 2.0/2.5 mm HDPE tamamen sızdırmaz taban astarından oluşur. Bu yüzer kapak, çürüme ürününün kendisinde kalan Biyogazı çıkarmak için yüzer gaz havalandırma noktaları ile birlikte gelir.

Tarım alanlarına fosfatın aşırı yüklenmesi kıyı ve iç sularda yaygın kirliliğe ve aşırı P konsantrasyonlarına (ötrofikasyon) yol açabilir. Bu, özellikle Danimarka'nın bir kısmı, güney

Sıvı Digestat Depolama Esasları

batı İsveç ve Kuzey İrlanda gibi çevreye duyarlı alanlarda geçerlidir. Bu alanlarda önerilen uygulama, mahsulün fosfor ihtiyacını karşılamak ve herhangi bir azot eksikliğini mineral gübre ile karşılamak için çürütücünün uygulanmasıdır. Hassas gübre uygulamasına yardımcı olabilecek başka bir strateji de çürümeyi sıvı/katı fraksiyonlarına ayırmaktır. Kullanılan separatör tipine bağlı olarak, digestatta bulunan fosforun %90'a kadar ayrılan lifli fraksiyonda uzaklaştırılabilir. Mahsul gübreleme uygulamalarına ilişkin profesyonel danışmanlık hizmetleri birçok ülkede verilmektedir.

Digestat depolama tesisleri ayrıca, çürümenin kapalı tutulmasını öneren 2010 Su Kaynakları yönetmeliklerine (SSAFO) uygun olarak inşa edilmelidir. Dijestatin doğru şekilde depolanması – yağmur suyunun beslemeyi, amonyak emisyonlarını, müteakip koku kirliliğini ve genel rahatsızlığı kirletmemesini sağlamak – bu riskleri minimumda tutmaya yardımcı olacaktır.

Ayrıca, 2018'de Defra'nın Temiz Hava Stratejisinde yapılan revizyonlar kapsamında, doğal yaşam alanlarını 'aşırı gübreleme' riski taşıdığı ve insan sağlığına zararlı olabileceği için çiftçilerin artık atmosfere salınan amonyak gazı miktarını azaltmaları gerekiyor. Nitelikli çiftlik müteahhitleri tarafından kurulan doğru digestat depolaması, salınan fazla azot ve amonyak miktarını en aza indirmeye yardımcı olabilir, böylece çiftliğin genel emisyonlarını azaltılır.

Açık ve kapalı ortamda sıvı fermente ürünün depolanması halinde pH ve iletkenlik yanında azot ve fosfor değişimi **Tablo 2'**da verilmiştir.

Tablo 2 incelendiği zaman sıvı fermente ürün açıkta depolandığı zaman en az %46 oranda, azot kaybı olduğu anlaşılmaktadır. Açıkta depolanan fermente üründe azot oranı düştükçe pH'da düştüğü görülmektedir. Sıvı fermente üründe azot kaybı besi maddesi kaybı anlamına gelmektedir.

Tablo 2. Sıvı Fermente Ürünün Açıkta ve Kapalı Ortamda Depolanması

Numune	pH	EC	%N	% P ₂ O ₅
Açık 1	7,70	2,85	0,97	0,14
Açık 2	7,81	2,91	0,94	0,11
Kapalı 1	8,24	3,31	1,78	0,35
Kapalı 2	8,26	3,32	1,75	0,32

Diğer yandan, kapalı depolamaya göre açıkta depolanan sıvı fermente üründe %63 gibi önemli oranda sıvı fazın fosfor konsantrasyonu azalma eğilimindedir. Sıvı fermente üründe fosfor konsantrasyonunun azalması şu şekilde açıklanabilir: lagünlerin yüzeyi atmosfere açık olduğu zaman yüzeyden oksijen difüzyonu sebebiyle yüzeye yakın kısımlarda aerobik ya da fakültatif mikroorganizmalar gelişir ve bu mikroorganizmalar çökelirlerken mutlak anaerobik derinliklerde çözünmüş formdaki PO⁴-P'ı depolarlar (phosphorus uptake - bünyeye alma). Böylece, hem yeni mikroorganizma oluşumu ve hem de mikroorganizmaların bünyelerinde

Sıvı Digestat Depolama Esasları

fosfor biriktirmeleri ve çökelmeleri sebebiyle sıvı fazdaki fosfor konsantrasyonu azalırken, dip çamurunda fosfor artışı olabilir. Bu da sıvı fermente üründe fosfor kaybı neden olmuştur.

Bunun anlamı sıvı fermente ürünlerin açıkta depolanması toprak için önemli besi maddesi olan azot ve fosfor kaybı anlamına gelmektedir. Ayrıca sıvı fermente ürünün açıkta depolanması ile çevrede ciddi amonyak koku kirliliği oluşur.

Anaerobik çürütmeye besi maddesi ilavesi değişimine bağlı olarak yılda birkaç kez ham digestatta ağır metal ve kalıcı organik madde dahil kapsamlı analizler yapılır. Analiz sonuçları kamuoyu ile çiftçilerle paylaşılır.

Tablo 3. Digestat Kullanım Kriterleri

Kriterler	Süreç/parametre	Gereksinimler
Hijyen	70°C'de pastörizasyon	1 saat
	133°C'de sterilizasyon	20 Dakika
	Ot tohumları ve filizlenen bitki parçaları	≤2/L
	Koku	Rahatsız edici kokular içermez
Patojenler	<i>E. coli</i>	≤1000 CFU/g taze madde
	<i>Salmonellaspp.</i>	25 g taze maddede yok
Ağır metaller	Kadmiyum (Cd)	0.8–20 mg/kg DM
	Krom (Cr)	75–1000 mg/kg DM
	Bakır (Cu)	75–1000 mg/kg DM
	Kurşun (Pb)	80–900 mg/kg DM
	Cıva (Hg)	0,6–16 mg/kg DM
	Nikel (Ni)	30–300 mg/kg DM
	Çinko (Zn)	300–4000 mg/kg DM
Organik kirleticiler	Polisiklik aromatik hidrokarbonlar	3-6 mg/kg DM
	Dioksinler ve furanlar	20 TE/kg
	Klorlu pestisitler	0,5 mg/kg Ürün
	Poliklorlu bifeniller	0,2 mg/kg DM
	Emilebilir organik halojenler	500 mg/kg DM
	Lineer alkilbenzen sülfonatlar	1300 mg/kg DM
	Nonilfenol ve nonilfenoletoksilatlar	10 mg/kg DM
	DEPH: Di(2-etilheksil) ftalat	50 mg/kg DM
İnorganik kirleticiler	Taş olmayan yabancı maddeler >2 mm (cam, metal, plastik vb.)	%0.5 m/m kuru madde
	Taşlar > 5 mm	%8 m/m kuru madde
İstikrar	Uçucu yağ asitleri	0,43 g KOİ / g VS
	Artık biyogaz potansiyeli	0,25 l/g VS
	Solunum sayısı	16 mg CO ₂ g VS ⁻¹ gün ⁻¹
Beyannameler	Üreticinin adı, ürün tipi (bütün, sıvı, katı), ürünün kütlesi, toplam nitrojen, amonyum nitrojen, toplam fosfor, toplam potasyum, çözünür klorür, çözünür sodyum, kuru madde, uçucu katılar, pH, kütle yoğunluğu vb.	Uygulanabilir olduğunda ilgili birimler (örn. kg; kg/m ³ ; mg/(kg DM); mg/L; %;)
Katkı maddeleri ve kimyasallar	Kireç, demir klorür, demir oksit, bentonit, diatomlu toprak	
Hammadde kaynakları	Tarım (örneğin gübre, hasat yan ürünleri, silaj, enerji bitkileri); hayvansal yan ürünler (örneğin, gübre, mide bağırsağı, çiğ süt); gıda endüstrisi (gıda kalitesinde katkı maddeleri içeren gıda endüstrisi artıkları); gıda ile ilgili dükkanlar (örneğin patates, süt atıkları, ekmek, et kalıntıları, çiçekler, bitkiler); orman (ör. ağaç kabuğu, talaş, selülozik sanayiden kaynaklanan çamur); parklar, bahçeler (örneğin yapraklar, çimenler); seralar (ör. üstler, turba ürünleri); haneler, mutfaklar, restoranlar (meyve ve sebze artıkları, yemek, kahve ve çay artıkları, yumurta kabukları); vb.	

6. SAR Oranı

Sodyum adsorplama oranı, $SAR = \frac{[Na^+]}{\sqrt{\frac{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]}{2}}}$

denklemleri ile tespit edilir.

Tarım arazilerinde kullanılacak sıvı fermente üründe sodyum (Na^+), kalsiyum (Ca^{2+}), magnezyum (Mg^{2+}) ve iletkenlik analizleri yapılmalıdır.

Tablo 4. Sulama Suyu Kaynağının SAR ve İletkenlik Değeri

Su kaynağının SAR ve İletkenlik Değeri	Yorum/Değerlendirme
SAR<3 İletkenlik<200 $\mu S/cm$	Toprağın permeabilitesi sulama suyunun tuzluluğundan etkilenmez ve sulama metodlarına yönelik herhangi bir kısıtlama uygulaması gerekmez.
SAR=3-6 arasında ve İletkenlik=500-2000 $\mu S/cm$	Sulama suyu toprağın permeabilitesini düşürebilir ve sulama suyunu dikkatli kullanmak gerekir.
SAR>10 ve İletkenlik<500 $\mu S/cm$	Su kaynağının sulama suyu olarak kullanımı dikkat gerektirir ve sulama metodu dikkatle seçilmelidir. Toprağın permeabilitesi, bitki köklerine sulama suyunun ulaşmasını engelleyebilecek kadar düşük kalabilir. Sulama metodlarının (sulama suyu miktarı ve sıklığı) seçimi aşırı hassasiyet gerektirir.

Na^+ :23 g/mol, Ca^{2+} : 40 g/mol, Mg^{2+} : 24 g/mol, $CaCO_3$:100 g/mol ve iletkenlik, $\mu S/cm$.

Tarım arazilerinde kullanılacak fermente ürünlerde sodyum, kalsiyum, magnezyum ve iletkenlik analizleri yapılır ve sıvı fermente ürünün SAR değeri hesaplanır. SAR değeri yüksek sıvı fermente ürünlerde askıda katı maddeleri, fosfat ve amonyumu katı faza geçirmek için magnezyum bileşiği kullanılabilir. Böylece hem askıda katı maddelerin giderimi sağlanır hemde SAR değeri sınır değerinin altına düşürülebilir.