

Narenciye Atıklarının Anaerobik Arıtımı



Mart 2024

Narenciye Atıklarının Anaerobik Arıtımı

İçindekiler Tablosu

1. Giriş.....	3
2. Anaerobik Çürütmede d-Limonenin İnhibitör Etkisi.....	7
3. Anaerobik Çürütücüde d-Limonenin İnhibiston Etkisini Önleme	10
4. Narenciye Atıkları Diğer Giderme İşlemleri.....	13
5. Kaynaklar	15
Şekil 1. 1961 ile 2021 Yılları Arasında Dünya Çapında Farklı Narenciye Üretimi	3
Şekil 2. Narenciye Kabuğunda Döngüsel Ekonomi	4
Şekil 3. Kabukları, Küspeyi, Posayı Ve Tohumları Oluşturan Narenciye Atığı	6
Şekil 4. d-Limonen'in İnhibe Etkisi Değişimi.....	8
Şekil 5. Narenciye Atıklarını Gıda Atıkları İle Harmanlayarak Anaerobik Arıtımı	11
Resim 1. Çorak Araziye Narenciye Kabuğu Uygulamadan Önceki Durum ve Yıllar Sonraki Durum.....	13
Resim 2. Narenciye Kabuğu Atığı.....	14

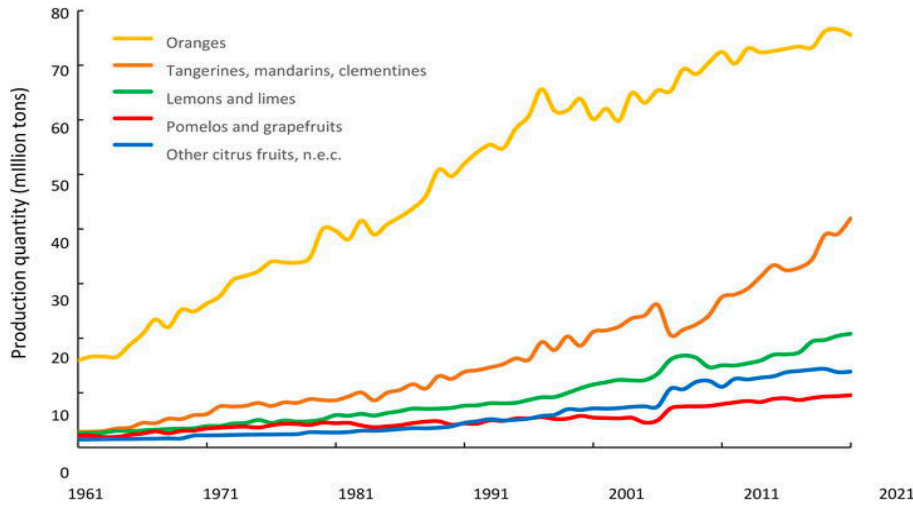
1. Giriş

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.

Dünya portakal üretimi, 9,93 milyon hektarlık hasat alanında 75,57 milyon tona (narenciye üretiminin %46,7'si) ulaşarak narenciye içinde en önemli üretimdir.

İkinci en önemli meyve ise 3,11 milyon hektarlık hasat alanında 41,95 milyon ton üretimle (narenciye üretiminin %25,9'u) mandalınadır.

Ve, 1,34 milyon hektarlık hasat alanında limon ve limon üretimi 20,83 milyon tona (narenciye üretiminin %12,87'si) ulaştı.



Şekil 1. 1961 ile 2021 Yılları Arasında Dünya Çapında Farklı Narenciye Üretimi

Dünya narenciye üretimi son 60 yılda neredeyse 5,5 kat artmıştır. Özellikle son 10 yılda (2021 ile 2011 arası), yılda 1,44 milyon tonun üzerinde üretimle mandalina üretiminde en yüksek artış yaşanmıştır. Buna karşılık portakal üretimi yılda 312 bin ton artarken, limon ve misket limonu üretimi ise yılda 578 bin ton artmıştır.

TÜİK verilerine göre 2015 yılında Türkiye’de üretilen limon miktarı 750.550 ton, mandalina miktarı 1.156.365 ton, portakal miktarı 1.816.798 ton, greyfurt miktarı ise 250.025 tondur.

Türkiye genelinde 1.986.582 ton narenciye atığı oluşmaktadır.

Narenciye meyvelerinin (portakal, limon, misket limonu, greyfurt, vb.) dönüştürülmesi büyük miktarda atık üretir; işlenen meyvenin yaklaşık %45-55'i narenciye kabuğu atığına (kabuk, tohum ve zar kalıntılarından oluşur) dönüşür ve ciddi çevre kirliliğini önlemek için bu atıkların doğru şekilde işlenmesi gerekir.

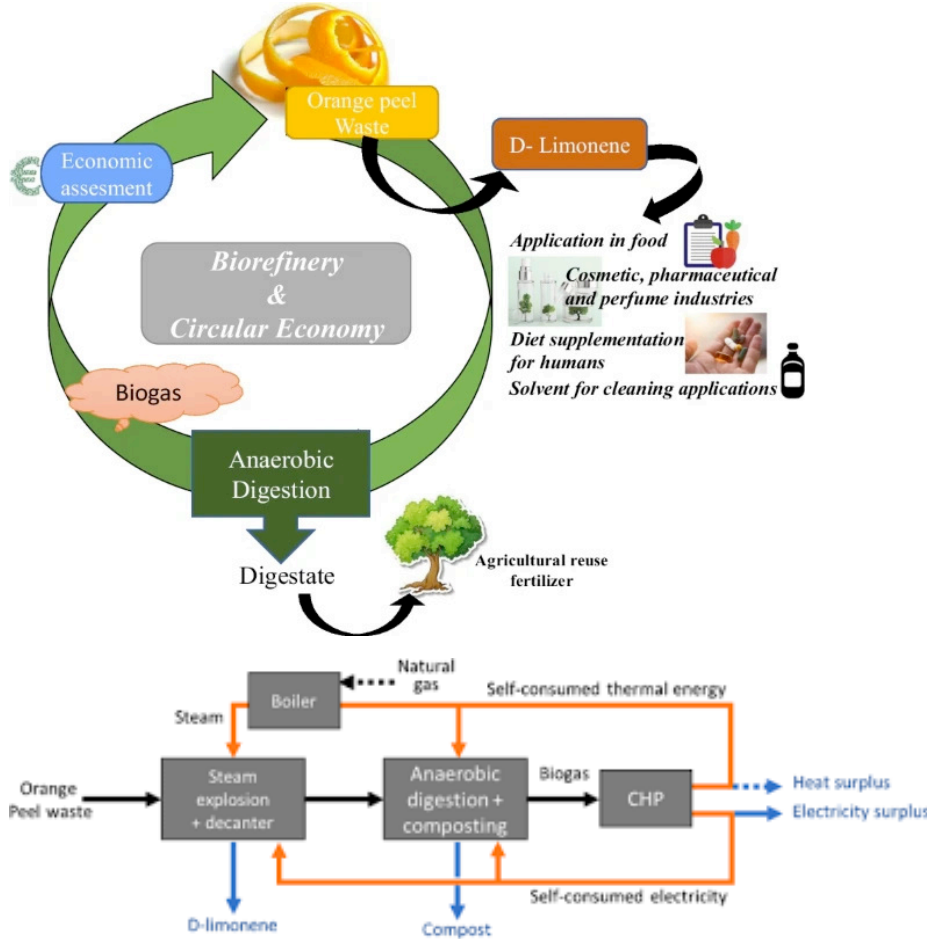
Narenciye meyvelerinin meyve suyu elde etmek için işlenmesi, işlenen her 1000 ton meyve başına yaklaşık 500 ton atık üretmektedir.

Narenciye Atıklarının Anaerobik Arıtımı

Narenciye atıklarının kompostlanması, düşük pH'ı, kompostlaştırma işlemini engelleyen esansiyel yağların varlığı ve anaerobiyoz sorunlarına neden olabilecek atığın hızlı biyolojik parçalanma oranı nedeniyle karmaşık ve zor bir işlemdir.

Narenciye atıklarının yüksek nem oranı nedeniyle ısı işlem alternatifleri (yakma, gazlaştırma veya piroliz gibi) için uygun değildir; AB ülkelerinde atık depolama sahalarına da atılmıyor. Narenciye atıklarından biyoetanol üretimi, teknik olarak mümkün olmasına rağmen çok büyük bir yatırım gerektirir ve anaerobik sindirim yoluyla metan (biyogaz) üretimi kadar enerji verimli değildir: metan üretimi atık başına 700 kWh'den fazla üretebilirken, biyoetanol üretim sürecinin enerji verimi ton başına yalnızca 300 kWh civarındadır.

Narenciye kabuğu atığı biyogaza sindirilebilen hem çözünür hem de çözünmeyen karbonhidratlar içerir. Farklı endüstriyel sektörlerde geniş bir uygulama alanına sahip olan d-Limonen'in ekstraksiyonu, mikrobiyal inhibisyonu ve metan üretiminin azalmasını önlemek için uygun olabilir ve döngüsel ekonomi çerçevesinde değerlendirme sisteminin karlılığını sağlayabilir.



Şekil 2. Narenciye Kabuğunda Döngüsel Ekonomi

Narenciye kabuğu işleminin mevsimselliği nedeniyle özellikle aralık ayından mart ayına kadar, OPW'lerin genellikle yıl boyunca kullanılmasına izin verecek şekilde silolanır/depolanır.

Narenciye Atıklarının Anaerobik Arıtımı

Silolama, başlangıçta büyükbaş hayvan yemlerinin korunması için kullanılan bir işlemdir ve günümüzde biyoyakıt üretiminde kullanılan substratlar için de kullanılmaktadır.

Narenciye kabuğu silolama sırasında malzemeler bir siloya yerleştirilir, gözenekliliği azaltmak ve mümkün olduğu kadar fazla havayı çıkarmak için sıkıştırılır ve ardından plastik bir örtü ile kaplanır veya plastik bir filme sarılıp balyalanır. Silolama sırasında anaerobik koşullar nedeniyle kendiliğinden laktik asit fermantasyonu meydana gelir. Yani bakteriler suda çözünen karbonhidratları esas olarak laktik aside fermente ederler. pH 3,5'e kadar düşüşü nedeniyle daha fazla mikrobiyal aktivite ve bunun sonucunda ortaya çıkan bozulma engellenir. OPW silolamanın silolanmış atıklar kullanılarak yapılan anaerobik çürütme üzerindeki etkisi bilimsel literatürde belgelenmemiştir. Bu süreç, diğer mikroorganizmaların büyümesini ve enzimatik aktiviteyi önleyerek biyokütlenin daha fazla bozulmasını engeller ve korunmasını sağlar. Silajlama sırasında CPW'nin asidik fermantasyonu, yüksek karbonhidrat içeriği, kütle yoğunluğu (hava geçirgenliğini sınırlayan) ve protein eksikliği nedeniyle arttırılır. Doğal asitleştirme, biyokütlerde hoş olmayan kokulara neden olan ve fermantasyon nedeniyle hayvanlar için düşük çekiciliğe neden olan bütirik ve proteolitik bakterilerin büyümesini önler. Ayrıca, asidik fermantasyon ve silolama işlemi sırasında buna bağlı suyun buharlaşması ve drenajı, su içeriğini azaltır, ancak aynı zamanda çözünebilir uçucu katı maddelerin (şekerler, organik asitler ve mineral tuzları gibi) kaybına da yol açar.

Silolama tekniği ile OPW toksisite etkisi artmadı ve çoğu durumda d-limonen içeriği %80 oranında azaltıldı.

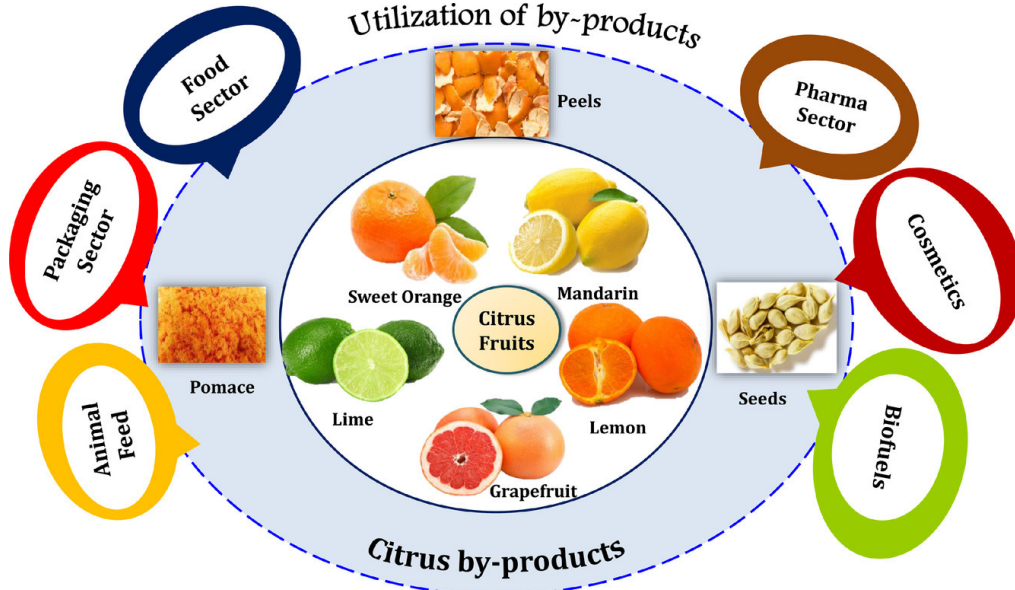
Narenciye kabukları atık su arıtma sistemine konulan kabuk bazlı malzeme, sudaki toksik ağır metalleri (kurşun, bakır gibi) ve kalıcı organik maddeleri filtrelemek için umut vaat ediyordu; öyle ki araştırmacılar, aktif karbonla gerçekten rekabet edebileceğine inanıyor. Ve narenciye kabukları atıksuyu filtrelemek için uygun bir yol olabilir. Portakal kabukları kapsamlı kaynaklar ve düşük maliyet dahil olmak üzere birçok avantaj göstererek ağır metaller içeren atık suların arıtılmasında başarıyla kullanılmıştır. Türkiye'de bu konuda çalışma yapılmasında yarar vardır.

İşlem görmemiş OPW'nin metan üretiminin yaklaşık $0,35 \text{ Nm}^3 \cdot \text{CH}_4/\text{kg VS}$ olduğu değerlendirilmektedir.

Narenciye kabuğu atığı ve narenciye posası gibi narenciye atıklarının anaerobik sindirim (AD) üzerinde hem olumlu hem de olumsuz etkileri vardır. Olumlu tarafı, narenciye atığının AD için bir substrat olarak kullanılabilmesi, değerli ara ürünler olan uçucu yağ asitlerinin (VFA'lar) üretilmesine yol açabilir. Narenciye atıklarından VFA üretimiyle ilişkili temel bakteri grupları Firmicutes, Bacteroidetes ve Actinobacteria'yı içerir. Bununla birlikte, narenciye atığı aynı zamanda AD sürecini engelleyebilen D-limonen gibi bileşikler de içerir. Bu inhibisyonun üstesinden gelmek için, D-limoneni çıkarılması veya inhibisyon etkisinin önlenmesi gerekir.

Narenciye atıklarının kullanım alanları Şekil 3'de verilmiştir.

Narenciye Atıklarının Anaerobik Arıtımı



Şekil 3. Kabukları, Küspeyi, Posayı Ve Tohumları Oluşturan Narenciye Atığı

2. Anaerobik Çürütmede d-Limonenin İnhibitör Etkisi

d-Limonen portakal kabuklarının önemli bir bileşenidir ve kabukların sindirilmesi sırasında biyogaz üretimini engelleyen antimikrobiyal bir madde olarak bilinir.

Limon, portakal ve mandalina gibi meyvelerdeki narenciye tadından sorumlu moleküllerden biri d-limonen (C₁₀H₁₆) olarak adlandırılır. d-limonen iyi bilinen antioksidant ve yüksek uçucu yağ asidine sahip bir maddedir.

Narenciye kabuğu genellikle düşük bir pH'a (3,9-4,3), yüksek su içeriğine (%78-87) ve organik maddeye (toplam kalıntının %95'i) sahiptir. Narenciye kabuğu basit şekerler (glikoz, fruktoz, sakkaroz; %6-8 db), polisakkaritler (pektin, selüloz ve hemiselüloz; %1,5-3 db) içerir.

d-Limonen, güçlü bir kokuya sahip, renksiz bir sıvıdır. Kaynama noktası 176 °C olup siklik terpen olarak sınıflandırılır.

d-Limonen, narenciye kabuklu meyvelerde bulunur ve narenciye kabukları için kuru bazda %1,8-6,0 w/w konsantrasyon değerlerine ulaşır.

d-Limonen, limon ve portakal gibi narenciye kabuğu meyvelerinde bulunur ve portakal kabukları için kuru bazda %1,8-6,0 ağırlık/ağırlık konsantrasyon değerlerine ulaşır.

200 g portakal kabuğundan yaklaşık 2,4 g limonen üretilir.

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 sitronellol, geraniol ve linalool alkollerini (toplam %1-1,5) ve daha az miktarda aldehit, ester ve fenol bulunmaktadır.

Narenciye atıklarından VFA üretimiyle ilişkili temel bakteri grupları Firmicutes, Bacteroidetes ve Actinobacteria'yı içerir. Bununla birlikte, narenciye atığı aynı zamanda AD sürecini engelleyebilen D-limonen gibi bileşikler de içerir.

Narenciye kabuğundan biyogaz üretiminin asıl zorluğu, antimikrobiyal bir bileşik olan "D-limonen" bulunur ve zarar gören asit oluşturan bakterilere göre iyileşmesi daha uzun zaman alan metan oluşturan bakterileri engelleyebilir. Bu problem çözülmeden anaerobik çürütmeden narenciye atığının 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.

Limonenin çok düşük konsantrasyonda (örneğin %0,01 w/v) bile antimikrobiyal aktiviteye sahip olduğu rapor edilmiştir.

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

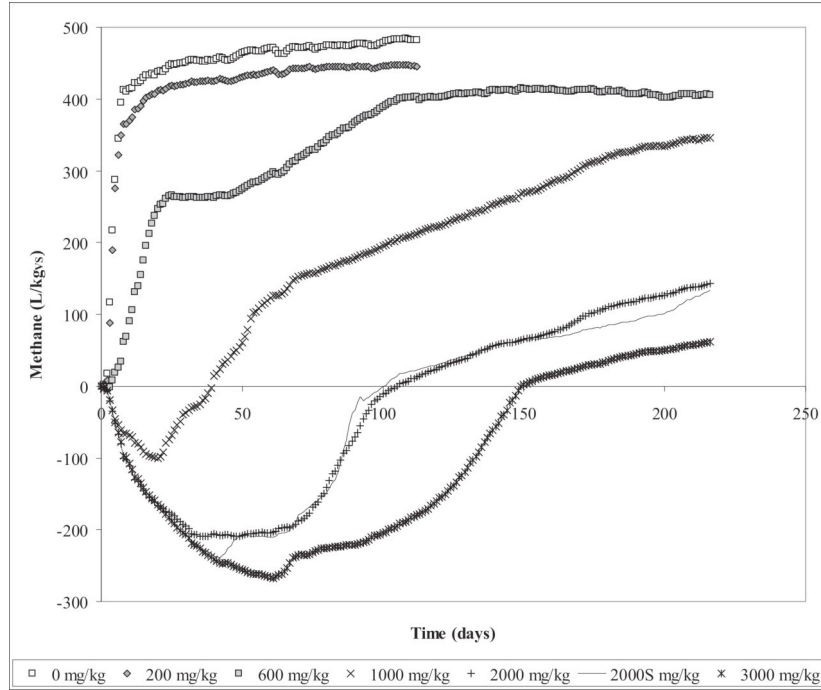
Narenciye Atıklarının Anaerobik Arıtımı

Anaerobik çürütücüde limonen bozunma metabolitleri potansiyel olarak limonenin kendisinden daha toksiktir.

Anaerobik çürütücüde metan üretimi, 1000 mg/L fenchone ve limonene dozlarında ve 600 mg/L p-cymene ve 4-terpineol dozlarında tamamen inhibe edilmiştir.

Narenciye atıklarının IC₅₀ inhibitör konsantrasyonu, yarı sürekli anaerobik çürütme işleminde d-limonenin inhibitör dozlarının 24 mg/L/d ila 75 mg/L/d arasında değiştiği rapor edilmiştir.

d-Limonenin anaerobik çürütme sürecine karşı oldukça toksik olduğu rapor edilmiştir. Mezofilik çürütmede 400 µL/L konsantrasyonda ve termofilik çürütmede 450 ila 900 µL/L aralığında sürecin nihai başarısızlığına neden olur.



Şekil 4. d-Limonen'in İnhibe Etkisi Değişimi

Turunçgil kabuğundaki limonen, çürütücüdeki limonenin 200 mg/kg'den yüksek konsantrasyonları için anaerobik sindirim üzerinde engelleyici bir etkiye sahiptir.

200 mg/kg'den düşük d-limonen içeren turunçgiller anaerobik çürütücülerin metan üretimi, d-limonen içermeyen çürütücülere göre maksimum %7,6 daha düşük ölçülmüştür. Ancak bu fark istatistiksel olarak anlamlı değildi. Metan konsantrasyonunun sabit kaldığı d-limonen içermeyen çürütücünün aksine, 200 mg/kg d-limonen içeren çürütücünün biyogazındaki metan konsantrasyonu 28. günden sonra azalma eğilimi göstermiştir. Süreç istikrarlıydı ve düşük nihai VFA konsantrasyonlarının da gösterdiği gibi asitleşme meydana gelmedi: 0 ve 200 mg/kg d-limonen içeren çürütücülerdeki asetik asit konsantrasyonu sırasıyla 19 ve 11 mg/kg idi.

Narenciye kabuğundaki d-limonen, anaerobik çürütücüdeki d-limonenin 200 mg/kg'den yüksek konsantrasyonları için anaerobik çürütme üzerinde engelleyici bir etkiye sahiptir. Bu

Narenciye Atıklarının Anaerobik Arıtımı

engelleyici etkinin, anaerobik sindirim sırasında d-limonenden üretilen simene bağlı olduğu görülmektedir.

Narenciye kabuğunun öğütülmesi d-limoneni ortama salar ve inhibitör etkisini artırır. d-Limonenin biyolojik olarak parçalanmasından sonra toksisitenin arttığı gözlenir ve bu da diğer inhibitör bileşiklere biyotransformasyonuna bağlanır. Yani d-limonen bozulma metabolitleri potansiyel olarak d-limonenin kendisinden daha toksiktir.

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

Portakal kabukları önemli biyometan potansiyeli, düşük pH, düşük mikro besin içeriği ve yüksek miktarda uçucu yağ (önceden ekstrakte edilmemişse) sağlamasına rağmen, bir AD tesisinde tek hammadde (tek substrat) olarak kullanılamazlar.

Portakal kabuğu tekniğine uygun işlenirse önemli enerji kaynağıdır.

3. Anaerobik Çürütücüde d-Limonenin İnhibiston Etkisini Önleme

Narenciye kabuğunun kuru maddesinin %2-3'ünü temsil eden narenciye esansiyel (uçucu) yağlarında güçlü bir inhibisyon özelliği gözlenmiştir. Bununla birlikte kabukta d-limonen uygulaması %0,05-0,20 konsantrasyonlarda fermantasyonun inhibisyonunu göstermiştir.

Anaerobik çürütmede d-limonenin bozulması aynı zamanda engelleyici bileşikler de üretir ve d-limonenin neredeyse tamamen bozulmasından sonra bile kalıcı inhibisyon etkilerine neden olur.

Limonenin inhibisyon zorluklarının üstesinden gelmek için bir dizi araştırma yürütülmüştür. Bu yöntemler d-limonenin uzaklaştırılması, limonenin geri kazanılması ve limonenin daha az toksik bileşiğe dönüştürülmesi (diğer atıklarla harmanlanması) olmak üzere üç kategoriye ayrılabilir.

Bu yöntemler arasında limonenin geri kazanımı en iyi alternatif gibi görünmektedir çünkü bu kimyasal parfümeri, kimya, kozmetik, tıbbi ve gıda aroması gibi çeşitli endüstrilerde kullanılan değerli bir bileşiktir.

Limonenin geri kazanımı için buhar genişmesi, buhar damıtma ve asit hidrolizi dahil olmak üzere rapor edilmiş çeşitli yöntemler vardır. Ancak bu yöntemler yüksek enerji tüketimi gerektiren zorlu koşullar altında gerçekleştirilmektedir. Buna ek olarak, ön işlem için asit kullanıldığında, daha fazla nötralizasyon yapılması önemlidir ve malzemenin aşındırıcı davranışının üstesinden gelmek için pahalı ekipmanların uygulanması gerekir. Ayrıca kullanılan asitlerin sonraki sindirim süreci üzerinde olumsuz etkisi vardır. Öte yandan ön arıtmanın amacı biyogazın enerji kaynağı olarak iyileştirilmesi olduğundan üretim sürecinde enerji tüketiminin en aza indirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle turuncu atıkların ortam sıcaklığında ön arıtımı uygundur.

Narenciye kabuğundaki d-Limonenin anaerobik çürütme (AD) üzerindeki etkisi stabilite, metan verimi ve proses kinetiği açısından değerlendirildiğinde portakal kabuğu atıklarındaki (OPW) d-Limonenin buhar yoluyla ekstraksiyonu ve ardından AD'ye dayalı bir biyorafinerinin ekonomik uygulanabilirliği söz konusu olabilir.

En yüksek biyogaz üretimi, doğranmış portakal kabuğu atığı ve 12:1 hekzan oranının 20°C'de 10 dakika süreyle işlenmesiyle elde edildi; bu, biyogaz üretiminin 0,061'den 0,217 m³ metan/kg VS'ye üç kattan fazla artmasına karşılık gelir. Solvent geri kazanımı, vakumlu filtreleme kullanıldığında %90'dır ve buharlaştırma kullanılarak daha fazla ayırma yapılması gerekiyor. Kabuktaki hekzan kalıntısının biyogaz üretimi üzerinde olumsuz bir etkisi vardı; bu, yarı sürekli sindirim sisteminde ön işleme tabi tutulmuş portakal kabuğu atıklarının işlenmemiş kabuğa kıyasla %28,6 oranında metan azalması ve daha düşük metan üretimi ile gösterilmiştir. Ekonomik değerlendirmesi ve uygulanabilirliği iyi analiz edilmeli.

Portakal kabuğu atığı (OPW) için etkili, uygun ve çevre dostu bir arıtma gerektirir. Anaerobik çürütme (AD) süreci ile kontrollü koşullar altında biyogaz üretimi son derece tavsiye edilir ve

Narenciye Atıklarının Anaerobik Arıtımı

OPW substrat (besi maddesi) olarak kullanıldığında potansiyel olarak yüksek verimli olduğu gösterilmiştir.

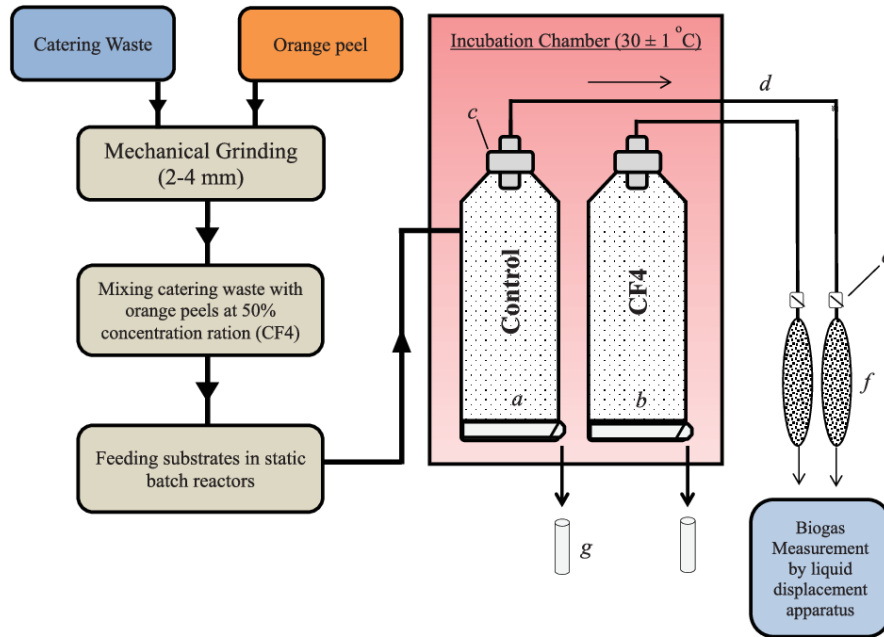
Anaerobik çürütmede d-limonen'in sınır dozajının 26 mg/(L·gün) olduğu tespit edilmiştir.

Anaerobik çürütücü içindeki düşük d-limonen konsantrasyonu inhibisyonu önlemek için etkili olabilir. Kararlı anaerobik birlikte çürütme süreci performansı ile sonuçlanan maksimum OLR, 26,7 mg d-Limonen (L/sindirici/gün) d-limonen dozajına karşılık gelen 2 gVS/L* gün'dür. Bu sınır değerlerinde sağlanacak şekilde anaerobik çürütücüye narenciye atığı harmanlanarak beslenirse hem güvenli biyogaz üretilir hemde sorunsuz şekilde narenciye atığı giderilir.

Yapılan bir çalışmada d- limonen sınırlamasının üstesinden gelmek için iki olası seçenek vardır:

- D- limonen yükünü seyreltmek için OPW'nin (taze veya silolanmış) diğer substratlarla birlikte sindirimi,
- D -limonen içeriğini azaltmak için OPW ön işleme.

%20 ila %50 oranında narenciye atıkları (özellikle %50 oranında) yemek atıkları harmanlanıp anaerobik arıtmaya besleme yapıldığında biyogaz üretimi 1,5 kat artmıştır.



Şekil 5. Narenciye Atıklarını Gıda Atıkları İle Harmanlayarak Anaerobik Arıtımı

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

d-Limonenin anaerobik sindirim süreci üzerinde engelleyici etkisinin üstesinden gelmek için narenciye atığı organik yükleme oranını düşük tutmak, besin maddeleri ve tamponlama çözeltileri eklemek ve d-limonen konsantrasyonunu seyrelterek azaltmak için atığın ön işleme tabi tutulması gibi stratejiler önerilmiştir. Böylece narenciye kabuğundaki d-limonen, anaerobik çürütücüdeki 200 mg/kg'den daha düşük konsantrasyonda seyreltme ile tutularak inhibe edici etkisi düşürülebilir.

Narenciye Atıklarının Anaerobik Arıtımı

Diğer bir çalışma anaerobik ortama orta miktarda granüler aktif karbonun eklenmesinden sonra mezo gözenekler ve makro gözenekler kirletici maddelerin adsorpsiyonuna izin verir, böylece potansiyel toksik kimyasalların hareketliliğini azaltır ve narenciye kabuğu atığı alkali ön işlemler ile organik yüklemeye 2 gVS/L'yi aşmadığı ve besinler eklendiği sürece narenciye kabuğu atığının (OPW) anaerobik sindirimini sürdürülebilir hale getirebilir.

Narenciye kabuğu atığı kullanan tesislerde granüle aktif karbonun reaktöre ilavesi ön işlemde geçirilmiş narenciye kabuğunun (OPW) metan verimini %65 oranında artırmıştır.

Ayrıca, anaerobik arıtma işleminden önce sıfır değerlikli demir/granüler aktif karbonun eklenmesi ve narenciye kabuğunun ön işleme tabi tutulması, 3 kgVS/m³/günlük bir yüklemeye kadar proses stabilitesini arttırdığı ve optimumun altındaki pH değerlerinde bile metan üretimini arttırdığı gözlemlenmiştir.

4. Narenciye Atıkları Diğer Giderme İşlemleri

Aynı gelişme narenciye atıklarında da sağlanabilir. Ancak öncelikle kabuğun nem içeriğinin azaltılması gerekir. Yaklaşık %80 oranında su içeren narenciye kabukları hızlı bir şekilde çürür ve mikroplara, sineklere, küflere davetiye çıkarır ve mikotoksinler vb. üretir.

Bu kabuk, hidratlı kireç ile reaksiyona sokulur ve ardından nem içeriğini yaklaşık %74'e düşüren bir vidalı presten geçirilir. Presten çıkan pres keki daha sonra bir tonluk plastik toplu torbalarda kapatılır. Bu, oksijeni dışarıda tutar (bozulmayı önlemek için) ve silolama işleminin devam etmesine olanak tanır.

Bir ay sonra silolama işlemi tamamlanarak portakal kabuğunun değeri atık olmaktan çıkıp katma değerli hayvan yemine dönüştürülüyor. Silolanmış bu narenciye atığı çoğunlukla toplu olarak satılmaktadır.

Yeni ürünün içeriği %68-74 nem, %8-10 protein, 4,5 pH ve %1,3 kireçtir.

Narenciye kabukları çok sayıda fitokimyasal ve biyoaktif bileşen içerir; örneğin polifenoller-flavonoidler (polimetoksillenmiş flavonlar- hesperidin, naringin, nobiletin, tangeretin), uçucu yağlar (D-limonen), pigmentler (karotenoidler), karbonhidratlar (pektin, selüloz, hemiselüloz ve diyet lifleri), aroma bileşikleri ve pigmentler.

Tartışmalı bir biyolojik çürütme planının 1000 kamyon dolusu portakal kabuğunun Kosta Rika topraklarındaki çorak, ormansız bir alana boşaltılmasına izin vermesinden on altı yıl sonra, Princeton araştırmacılarından oluşan bir ekip beklenmedik derecede olumlu sonuçlar keşfetti. Turuncu atıklarla kaplı alan, artık işlenmemiş bitişik araziye göre daha zengin toprak ve daha fazla ağaç türüne sahip yemyeşil, aşırı büyümüş bir ormana dönüştü.



Resim 1. Çorak Araziye Narenciye Kabuğu Uygulamadan Önceki Durum ve Yıllar Sonraki Durum

Portakal suyu üreticisi şirket, 12.000 metrik ton portakal posası ve kabuğunu üç hektarlık eski sığır merasına boşalttı. ACG'de yeni belirlenen birçok koruma alanı, bölgedeki belirgin aşırı otlatma ve yangına dayalı arazi yönetimi geçmişi nedeniyle kayalık, besin açısından fakir topraklardan muzdariptir. Bu planın endüstri ve koruma arasında mükemmel bir sinerji oluşturacağı ümit ediliyordu.

Narenciye Atıklarının Anaerobik Arıtımı

İlk sonuçlar olumluydu; zengin siyah topraklar ve çok çeşitli geniş yapraklı bitkiler elde edildi. ACG ile Del Oro arasında, ACG'nin 20 yıl boyunca yılda 1.000 kamyon dolusu turuncu atık almayı kabul ettiği bir devam anlaşması yapıldı.

Narenciye kabuğu sönmüş kireçle $\text{Ca}(\text{OH})_2$ harmanlanarak yapılan uygulamada, toprak pH'ının değiştirmedeği tespit edilmiştir, bu da $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ilavesinin yüksek asitli matris ilavesi nedeniyle toprak asitlenmesini tamamen ortadan kaldırabileceğini göstermektedir. Sönmüş kirecin maliyeti düşüktür.

Toprak organik maddesindeki artış, eklenen narenciye atığı (CW) miktarı ile doğrudan ilişkiliydi ve işleme bağlı olarak farklı sürelerle karakterize edilen kayda değer bir mineralizasyon sürecine yol açtı. Özellikle CW'ye $\text{Ca}(\text{OH})_2$ eklenmesi nedeniyle kısa vadede organik madde mineralizasyon sürecini tetiklemiştir.



Resim 2. Narenciye Kabuğu Atığı

5. Kaynaklar

1. <https://www.researchgate.net/publication/366644906> Impact of D-Limonene in the technical and economic feasibility of the anaerobic digestion applied in biorefineries
2. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343724001659>
3. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479718301464>
4. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1369703X15301273>
5. <https://www.mdpi.com/2227-9717/9/2/220>
6. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772502222000105>
7. <https://sci-hub.ru/https://doi.org/10.1080/15567036.2019.1692975>
8. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479718301464#bib2>
9. <https://www.hindawi.com/journals/bmri/2015/494182/>