

# YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE TEKNOLOJİLERİ Dersi 13

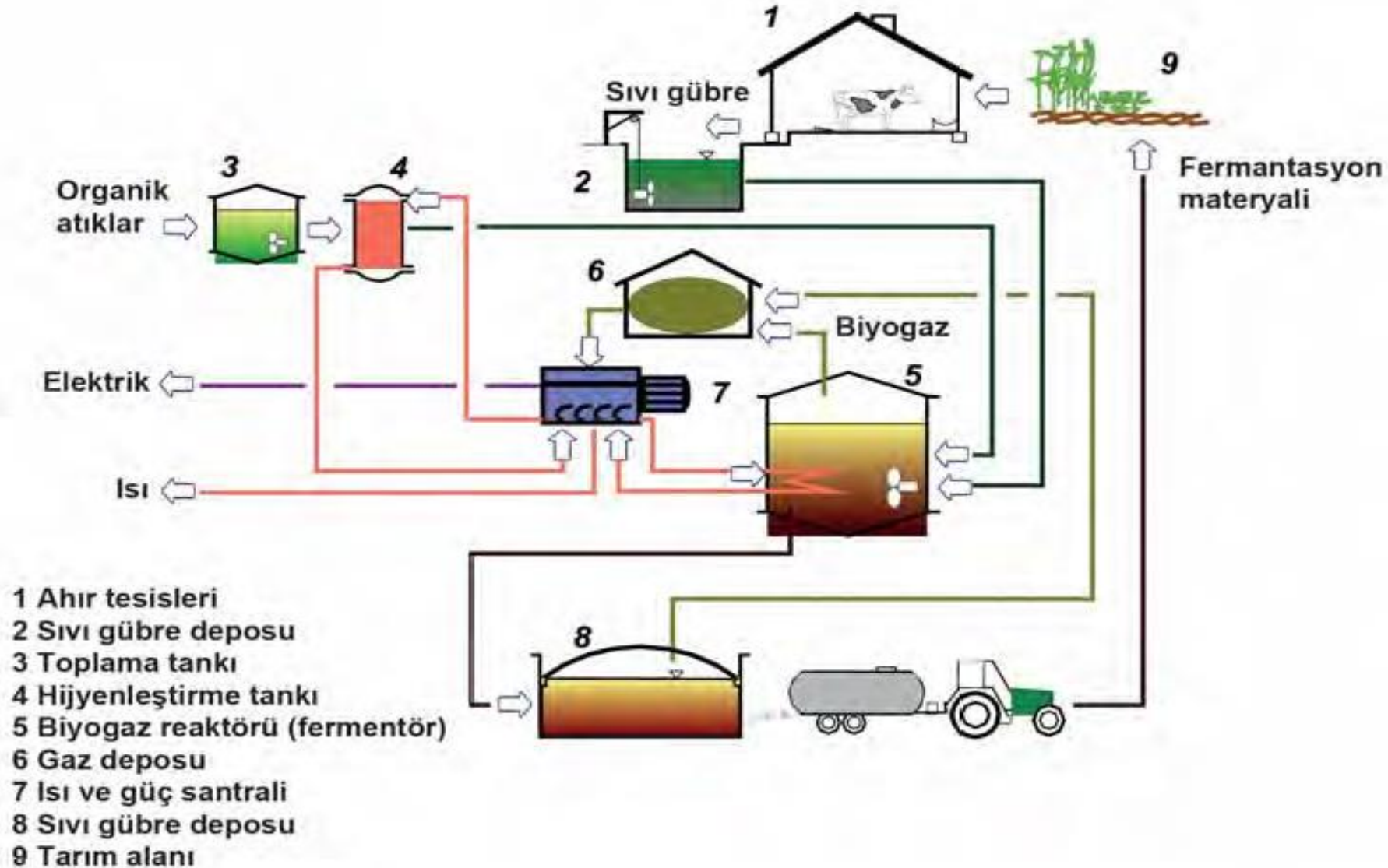
- 10 BİYOYAKITLAR
- 10.1 Biorafineri Teknolojisi
- 10.2 Dünyada Biyoyakıt Teknolojisi
- 10.3 Türkiye'de Biyoyakıt Teknolojisi
- 10.4 Pelet Briket Teknolojisi

Prof. Dr. Ayten ONURBAŞ AVCIOĞLU  
E-mail: onurbas@agri.ankara.edu.tr  
Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi  
Tarım Makinaları Ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü  
2017

# 10.5 Biyogaz Teknolojisi

2

- ▶ Gaz biyoyakıtlardan biri olan biyogaz tüm Dünyada yaygın olarak üretilen ve kullanılan biyokütle enerji kaynağıdır. Biyogaz teknolojisinin en önemli özelliği her türlü organik atığın kullanılarak enerjiye dönüştürülebilmesidir. İnsan sağlığı ve çevreye zararlı olan atıkların oksijensiz ortamda fermantasyona tabi tutulmasıyla elde edilen biyogaz doğal gaza benzeyen bir gaz karışımıdır. Biyogaz direk ısı enerjisi elde etmek amacıyla kullanılabilirdiği gibi, motorlarda yakıt olarak ve elektrik enerjisi üretiminde de yararlanılabilmektedir.
- ▶ Biyogaz teknolojisiyle atıkların bertarafı ve enerji kazanımı sağlandığı gibi tesisten alınan sulu çamur tarımsal üretimde bitkilerin su ve organik madde gereksinimini karşılamak amacıyla kullanılabilir (Şekil 10.18)
- ▶ Biyogaz tesisleri kuruldukları bölgelerin ve kullanılan hammaddelerin özelliklerine göre farklı büyüklük ve modellerde olabilmektedir. Asya'da genellikle küçük ölçekli biyogaz tesislerinde bitkisel ve hayvansal artık ve atıklar kullanılarak bitkisel üretim için gerekli fermente gübre ana ürün olmaktadır. Avrupa'da ise orta ve büyük ölçekli tesislerde her türlü evsel, endüstriyel ve tarımsal atıklar kullanılarak hem atık bertarafı hem de enerji elde edilmesi hedeflenmektedir (Onurbaş vd., 2011).



Şekil 10.18 Komateryal kullanan bir tarımsal biyogaz tesisi şeması (Anonymous, 2010)

# 10.5.1 Biyogaz üretimi

4

- ▶ Biyogaz üretimi için organik içerikli maddeler kullanılmaktadır. Bu maddeler aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Buğutekin, 2007, Öztürk, 2005).
- ▶ Hayvan gübreleri (büyükbaş hayvancılık, küçükbaş hayvancılık, tavukçuluk),
- ▶ Bitkisel üretimde ortaya çıkan artıklar,
- ▶ Orman ve kağıt sanayi artık ve atıkları,
- ▶ Tekstil sanayi atıkları,
- ▶ İçecek, süt, maya, jips, çikolata gibi gıda sanayi atıkları
- ▶ Tarıma dayalı sanayi (yağ, şeker vb) atıkları,
- ▶ Şehir katı atıkları,
- ▶ Kanalizasyon atıkları.
- ▶ Yukarıda verilen atıklar dışında özellikle enerji bitkileri artıkları ve algler yüksek verimle biyogaz üretimi için hammadde olarak kullanılabilir.
- ▶ Kanalizasyon-atık suların ağır metaller ve toksik maddeler içermesi nedeniyle bunların arıtımında anaerobik fermantasyon uygulaması daha kompleks bir yapıya sahiptir (Arnott, 1985). Hayvansal atıklar hem çevresel açıdan hem de uygulama kolaylığı açısından biyogaz üretimine uygun olan atıklardır (Steffen vd., 1998; Boyd, 2000). AB ülkelerindeki biyogaz tesislerinin büyük çoğunluğunda hayvansal atıklardan yararlanılmaktadır (Boyd, 2000; Eryaşar, 2007).

- ▶ **Biyogaz, organik materyallerin (hayvan dışkıları, bitkiler, çöp, yemek artığı vb.) anaerobik koşullarda biyokimyasal fermantasyon ve mikrobiyolojik faaliyet sonucu parçalanması ile elde edilen,% 20 havadan daha hafif olan yanıcı bir gaz karışımıdır (Onurbaş, 1993).**
- ▶ Biyogazın bileşimi; fermantasyonda kullanılan materyalin cinsine fermantasyon özelliklerine göre değişiklik göstermektedir. Biyogazın ana bileşenleri metan (%40-70 CH<sub>4</sub>) ve karbondioksittir (%60-30 CO<sub>2</sub>). Bunlar dışında çok az miktarlarda hidrojen, azot, hidrojen sülfür ve karbon monoksit bulunabilmektedir (Çizelge 10.4).

Bileşenler	Sembol	%
Metan	CH <sub>4</sub>	40-70
Karbondioksit	CO <sub>2</sub>	0-60
Hidrojen	H <sub>2</sub>	5-10
Azot	N <sub>2</sub>	1-2
Su buharı	H <sub>2</sub> O	0.3
Hidrojen sülfür	H <sub>2</sub> S	Az Miktarda

Çizelge 10.4 Biyogazın bileşenleri (Buğutekin, 2007)

- ▶ Metan bakterileri  $H_2$  gazını kullandıkları için biyogaz içerisinde de bulunabilmektedir. Azotun reaktör içerisinde fazla miktarda bulunması hava karıştığını göstermektedir.  $H_2S$ , tesiste kullanılan hammaddeye bağlı olarak bulunmaktadır (Stafford vd, 1981).
- ▶
- ▶ Biyogazın enerji özelliğini sağlayan yapısındaki metan içeriğidir ve metan ideal bir gaz gibi davranmaktadır. Diğer gazlarda olduğu gibi biyogazın içeriği de nem, sıcaklık ve basınç gibi özelliklere bağlı olarak değişmektedir. Metanın LPG gibi düşük basınç değerlerinde sıvılaştırılabilme özelliği yoktur, sıvılaştırılabilmesi 280-350 bar'lık basınçlarda gerçekleşebilmektedir (Eryaşar, 2007).
- ▶
- ▶ Biyogaz üretimine etken eden faktörler çeşitlidir. Bunlar, biyogaz üretimi esnasında fermantasyona etki ederek oluşacak gazın  $CH_4$  miktarını belirlemektedir. Bu faktörler Çizelge 10.5'de verilmiştir.
- ▶
- ▶ Biyogaz farklı atıkların oksijensiz ortamda reaksiyona girmesi ile üretilen gaz olduğu için, üretilen gazın miktarı ve kalitesi doğrudan, tesiste kullanılacak atığın kimyasal ve fiziksel özellikleri bakımından birçok faktöre dikkat edilmelidir. Bunlar; materyalin cinsi ve bileşenleri, içeriğindeki yabancı maddelerin miktarı, partikül büyüklüğü, hayvansal atıkların içindeki yataklık oranı, yoğunluğu ile materyalin kuru madde ve organik kuru madde miktarları gibi etmenleridir. Biyogazın üretim miktarı ve verimliliği açısından atığın işlenecek olan üretimin, atıklardan biyogazın üretim sınır şartlarını sağlaması gerekir. Biyogaz sisteminde fermantasyona etkili üretilenle ilgili özellikler ise; üretimin boyutları ve hacmi, üretimin yapıldığı malzeme, karıştırma, yükleme ve boşaltma sisteminin özellikleri, ısıtma sistemi ve yalıtım özellikleri ile üretimin bulunduğu yer özellikleridir (Buğutekin, 2007, Onurbaş vd., 2011).

Biyogaz tesisinde kullanılacak materyal ile ilgili etmenler	<ul style="list-style-type: none"><li>• Materyalin cinsi ve içeriği</li><li>• Kuru madde ve organik madde oranı</li><li>• İçerdiği yataklık miktarı</li><li>• Partikül büyüklüğü</li><li>• Yabancı madde oranı</li><li>• Yoğunluğu</li></ul>
Biyogaz sistemindeki üreteç ile ilgili etmenler	<ul style="list-style-type: none"><li>• Üretecin yapıldığı malzeme</li><li>• Üretecin boyutları ve hacmi</li><li>• Üretecin bulunduğu yer</li><li>• Karıştırma, yükleme ve boşaltma sisteminin özellikleri</li><li>• Isıtma sistemi ve yalıtım özellikleri</li></ul>
İşlem süreci ile ilgili etmenler	<ul style="list-style-type: none"><li>• Uçucu madde oranı</li><li>• Organik kuru madde oranı</li><li>• Hidrolik yükleme oranı</li><li>• Fermentasyon sıcaklığı</li><li>• Bekleme süresi</li></ul>

► Diğer biyolojik işlemlerde olduğu gibi biyogaz oluşumunda da çevre şartları etkili olmaktadır. Fermentasyon sırasında metan oluşumuna etki eden faktörler; besi ortamı, zehirli maddeler, alkalinite, ortamın pH'sı, materyalin C/N oranı vb kimyasal şartlar ile bekleme süresi, yükleme oranı, sıcaklık ve karıştırma gibi fiziksel şartlarıdır (Eryaşar, 2007).

# 10.5.2 Biyogaz üretim sistemleri

8

- ▶ Biyogaz üretimi farklı yöntemlerle gerçekleşir. Tipik özellikler Çizelge 10.6'da verilmektedir.
- ▶ Anaerobik fermantasyon beslemede kullanılan materyalin kuru madde oranına göre yaş (ıslak-düşük katılı) ve kuru (yüksek katılı) fermantasyon olarak iki grupta incelenmektedir. Yaş fermantasyonda reaktör içerisindeki materyalin kuru madde oranı %20-40 arasındadır. Kuru fermantasyonda ise materyalin kuru madde oranı %15'den düşüktür. Farklı kuru madde oranlarına sahip materyallerin sistem içerisindeki istenilen kuru madde oranını sağlamak için su ilave edilmektedir.

Çizelge 10.6 Biyogaz üretim yöntemlerinin farklı kriterlere göre sınıflandırılması (Anonymous, 2010)

Kriter	Ayrıca özellikler
Materyallerin kuru madde miktarları Materyal	- Yaş fermantasyon - Katı fermantasyon
Besleme türü	- Sürekli olmayan besleme - Kesik besleme - Sürekli besleme
Proses aşamalarının sayısı	- Tek aşamalı - İki aşamalı
Proses ısısı	- Sakrofil - Mezofil - Termofil



▶ Oksijensiz bozunmanın (anaerobik fermentasyon-anaerobik çürüme) üç aşaması aşağıdaki gibi açıklanabilir (Anonymous, 2007):

- ▶
- ▶ 1. Aşama: Fermantasyon ve Hidroliz (Sıvılaştırma),
- ▶ 2. Aşama: Asetik Asit Oluşumu (Asitlendirme),
- ▶ 3. Aşama: Metan Gazı Oluşumu.

▶ İki aşamalı sistemlerde tipik olarak birinci aşamada sulandırma-asidifikasyon reaksiyonları gerçekleşir, reaksiyonların hızı selülozun hidrolizi ile sınırlanmıştır. İkinci aşamada ise asit oluşum ve metan oluşum reaksiyonları gerçekleşir bu reaksiyonlarda hız yavaş mikrobiyal büyüme hızıyla sınırlanmıştır.

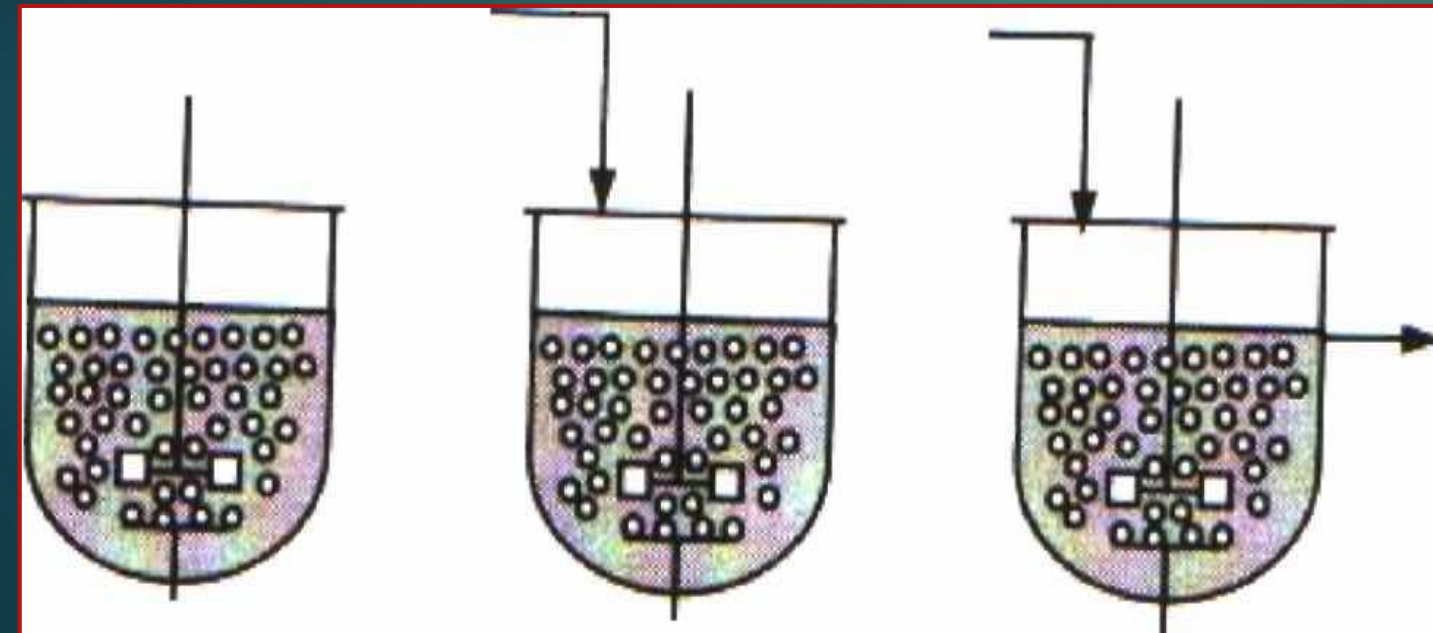
▶ İki aşamalı sistemlerin en basiti iki tam karıştırmalı reaktörün seri olarak bağlanmasıyla elde edilir. Kentsel katı atıkların organik kısmının biyogaza dönüşümü esnasında gerçekleşen reaksiyonlar reaktörlerde ayrı ayrı optimize edilirse tüm reaksiyon hızı ve biyogaz dönüşümü artar.

▶

- ▶ Anaerobik fermantasyonun son kademesinde metan oluşumunu sağlayan bakteriler ortam sıcaklıklarına üç grupta incelenmektedir. Bunlar (Anonymous, 2007):
- ▶
- ▶ 5–25 °C çalışma sıcaklığında Sakrofilik bakteriler,
- ▶ 25–38 °C çalışma sıcaklığında Mezofilik bakteriler ve
- ▶ 50–100 °C çalışma sıcaklığında Termofilik bakterilerdir.
- ▶
- ▶ Bu üç ayrı çalışma sıcaklıklarındaki bakterilerle gerçekleştirilen fermantasyonlar da sakrofilik fermantasyon, mezofilik fermantasyon ve termofilik fermentasyon olarak adlandırılmaktadır. Sakrofilik bakteriler bataklıklarda, termofilik bakteriler jeotermal ve volkanik bataklıklarda ve mezofilik bakteriler de sığır dışkısında bulunmaktadır.

- ▶ Biyogaz teknolojisi büyük oranda kesin kuralları olmayan, tesisin kurulacağı yerin, ülkenin, işletmenin özel koşuluna göre farklılıklar olması gereken bir uygulamadır. Anaerobik fermantasyon tesiste kullanılacak materyalin reaktöre beslenme şekline göre de gruplandırılmaktadır (Şekil 10.19). Bunlar; kesikli, beslemeli-kesikli ve sürekli fermantasyondur (Onurbaş vd., 2011).
- ▶ **1. Kesikli fermantasyon:** Bu sistemde bitkisel ve hayvansal atıklar uygun oranda su ile karıştırılarak reaktöre doldurulur. Materyal özellikleri ve reaktör sıcaklığına uygun bekleme süresi sonunda biyogaz oluşur. Reaktörden biyogaz ve fermente gübrenin tamamı alınarak tesis yeniden doldurulur. Kesikli yöntemde biyogaz üretimi düzensiz olmaktadır. Bu yöntem, reaktöre beslenecek materyalin iri yapılı olduğu ve dönem dönem bulunduğu durumlarda kullanılmaktadır. Dolum ve boşaltma çalışmaları dikkate alınmazsa kesikli çalışan tesisin bakımı basittir (Arnott, 1985).
- ▶ **2. Beslemeli-kesikli fermantasyon:** Bu sistemde reaktörün bir kısmı kullanılacak materyal ile doldurulur, geriye kalan bölüm ise günlük beslemelerle tamamlanır. Günlük besleme miktarı, reaktörde boş kalan hacmin hidrolik bekleme süresine bölünmesiyle belirlenir. Belirli bir süreç sonrasında reaktör boşaltılır ve yeni fermantasyon süreci başlatılır.
- ▶ **3. Sürekli fermantasyon:** Reaktör belirli oranda doldurulur ve beklenir. Gaz istenilen oranda oluşuktan sonra günlük beslemelere geçilir. Günlük materyal beslemesi kadar fermente olmuş materyal reaktörden alınır. Böylece sürekli üretim sağlanmış olur.

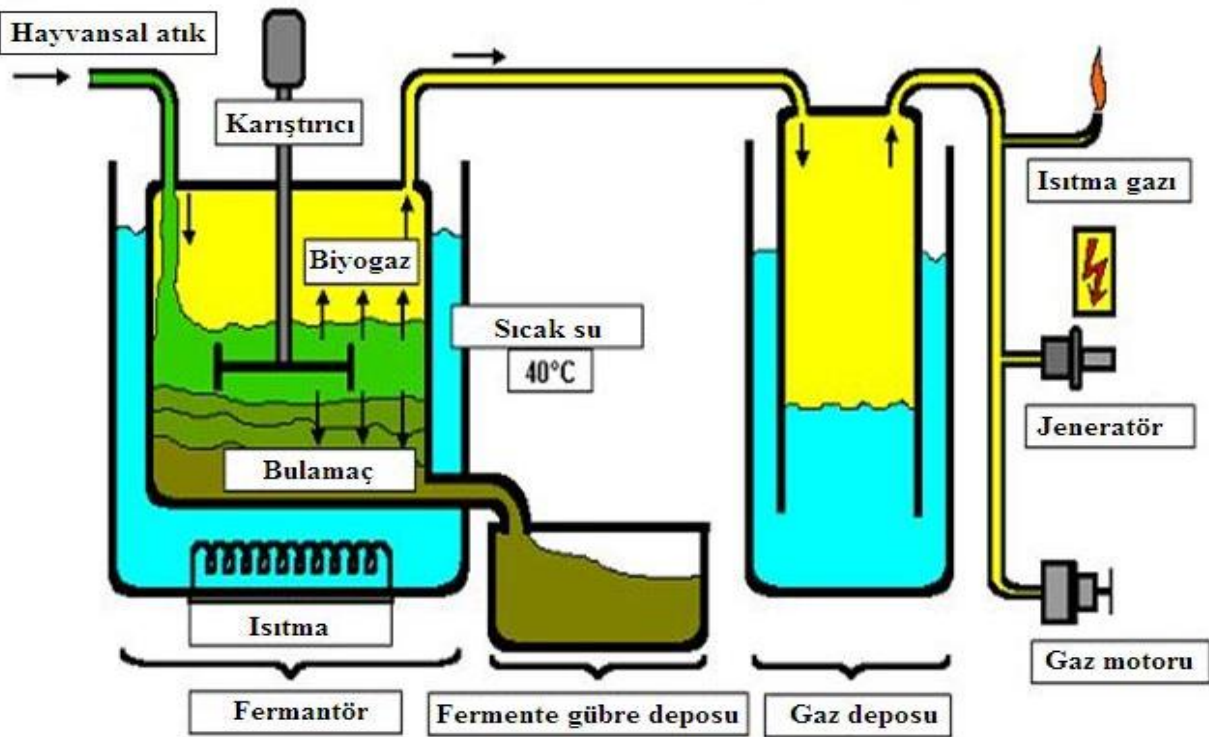
11



Bütün işletmelerde üretimin yapılabilmesi için enerjinin sürekliliği esastır. İşletmenin enerjisi biyogaz üretimine bağımlı ise, biyogaz tesislerinden sürekli gaz alınması gerekir. Aksi durumda işletme faaliyetini sürdürmez. Bu nedenle hayvansal ve bitkisel atıklardan biyogaz üretiminin gerçekleşmesi için dizayn edilecek reaktörleri "Sürekli fermantasyon" prosesini yapabilecek şekilde düşünmek gerekmektedir. Bu düşünce ile son zamanlarda, çeşitli tip modern ileri teknolojik reaktörler geliştirilmiştir.

Şekil 10.19 Üreteçlerin temel işletim şekilleri (Buğutekin, 2007)

- ▶ Biyogaz üretim sistemleri aşağıdaki elemanlardan oluşmaktadır (Şekil 10.20):
- ▶ Materyal hazırlama ve besleme sistemi,
- ▶ Fermantasyon tankı (fermantör, reaktör),
- ▶ Gaz deposu,
- ▶ Organik madde deposu,
- ▶ Isıtma sistemi,
- ▶ Karıştırma sistemi.



Biyogaz üretim sisteminin tasarımı iki farklı şekilde yapılabilmekte ve tasarımda reaktör kapasitesi belirlenmektedir:

- Birinci durumda; başlangıç için işletmede mevcut atıkların miktarından hareket ederek üretilecek biyogaz ve reaktör büyüklüğü hesaplanmaktadır.
- İkinci şekilde biyogaz gereksinimine göre reaktör büyüklüğü belirlenmektedir.

Şekil 10.20 Biyogaz üretim sisteminin elemanları (Onurbaş Avcıoğlu, 2015)

- ▶ **Biyogaz tesisleri kapasitelerine göre dört grupta sınıflandırılmaktadır.** Bunlar (Anonymous, 2007) (Şekil 10.21 ve 10.22);
- ▶ **10–12 m<sup>3</sup> kapasiteli aile tipi biyogaz tesisleri,**
- ▶ **50–150 m<sup>3</sup> kapasiteli çiftlik tipi biyogaz tesisleri,**
- ▶ **100–200 m<sup>3</sup> kapasiteli köy tipi biyogaz tesisleri ve**
- ▶ **1000-10000 m<sup>3</sup> kapasiteli sanayi tipi biyogaz tesisleridir.**
- ▶ Uygulamada yaygın olarak görülen tesisler aile ve çiftlik tipi küçük ölçekli tesislerdir. Çok az hayvan sayısına sahip Hindistan ve Nepal gibi ülkelerde ortak tesisler kullanılmaktadır. Daha gelişmiş ülkelerde merkezi tesislerden daha yaygın olarak yararlanılmaktadır. AB ülkelerinde uygulamadaki biyogaz tesislerinin yarısından fazlası orta ve büyük ölçekli tesislerdir (Boyd, 2000. Eryaşar, 2007).



**Şekil 10.21** Aile tipi biyogaz tesisi  
(<http://emreecce.com/yesil-enerji-biyogaz/>)



**Şekil 10.22** Köy tipi biyogaz tesisi  
(<http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyogaz.aspx>)

- ▶ **Biyogaz tesislerinin tasarımında dikkate alınması gereken** pek çok parametre bulunmaktadır. Bu parametreler;
- ▶
- ▶ **Materyal ile ilgili özellikler:** Günlük beslenecek materyal miktarı, materyalin cinsi ve özellikleri,
- ▶ **Tesis ile ilgili özellikler:** Reaktörün tipi ve malzemesi, inşaat ve yalıtım özellikleri, ısıtma, karıştırma özellikleri,
- ▶ **Tesisin kurulacağı bölge ile ilgili özellikler:** Tesisin kurulacağı yerin seçimi, iklim özellikleri,
- ▶ **İşletme ile ilgili özellikler:** Sistemin işletilmesi ve kontrolü ile ilgili elemanlar, gazın depolanması ve dağıtımı, fermente gübrenin depolanması, dağıtımı ve kullanımı, biyogazın kullanılacağı elemanlardır.

- ▶ Biyogaz tesisi reaktör hacmi;
- ▶  $V_d = S_d \cdot \text{HRT}$
- ▶ formülü ile hesaplanmaktadır. Burada;
- ▶  $V_d$  : Reaktör hacmi ( $\text{m}^3$ ),
- ▶  $S_d$  : Beslenen hammadde miktarı ( $\text{m}^3/\text{gün}$ ),
- ▶ HRT : Bekletme süresi (gün)dür.
- ▶ Beslenen hammadde miktarı;
- ▶  $S_d = [\text{Biyokütle (B)} - \text{Toplam su içeriği}] / \text{Katılık oranı}$
- ▶ ile hesaplanmaktadır. Eklenecek su miktarı katılık oranına göre hesaplanmaktadır.
- ▶ Tesiste kullanılacak her bir biyokütleden gelecek toplam su miktarı;  $\Sigma$ biyokütle miktarı x nem oranı ile hesaplanmaktadır.
- ▶ İlave edilmesi gereken su miktarı;
- ▶  $W = S_d - \Sigma B$
- ▶ ile belirlenmektedir (Onurbaş ve Eliçin, 2010; Yokuş ve Onurbaş, 2012).
- ▶ Biyogaz tesislerinde reaktör içerisinde “fermantasyon hacmi/gaz toplama hacmi” için önerilen değerler 3:1-10:1 veya 5:1- 6:1 arasında değişir. Reaktörün gaz toplama bölümünün hacmi en az bir günlük gazı depolayacak kapasitede olmalıdır (Öztürk 2005).

# 10.6 Biyoetanol Teknolojisi

- ▶ Biyoetanol, fosil yakıtların tükenmesine bağlı olarak ortaya çıkan küresel enerji sorununu hafifletmek ve aynı zamanda sera gazları yayılımını azaltmak için benzine sürdürülebilir bir alternatif olarak düşünülmektedir. Dünyada en fazla kullanılan biyolojik kökenli yakıttır.
- ▶ Etanol en basit ifadeyle başta maya olmak üzere mikroorganizmalar tarafından şekerin fermentasyonu sonucunda oluşan değerli bir üründür. Biyoetanolün fiziksel özellikleri Çizelge 10.7'de özetlenmiştir.

Çizelge 10.7 Biyoetanolün kimyasal, termal ve fiziksel özellikleri (Acaroğlu vd, 2004; Soydan, 2012)

Biyoetanolün kimyasal özellikleri	
Formül	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH
Moleküler ağırlığı	46,1
Karbon (wt)	% 52,1
Hidrojen (wt)	% 13,1
Oksijen (wt)	% 34,7
C/H oranı	4
Biyoetanolün termal özellikleri	
Alt ısı değeri (kcal/kg)	6.400
Moleküler ağırlığı	46,1
Tutuşma sıcaklığı (°C)	35
Özgül ısı (kcal/kg°C)	0.6
Erime noktası (°C)	-115
Biyoetanolün fiziksel özellikleri	
Özgül ağırlık	0,79 kg/dm <sup>3</sup>
Buhar basıncı (38°C)	50 mm Hg
Kaynama sıcaklığı	78,5°C
Dielektrik katsayısı	24,3
Suda çözünme	∞



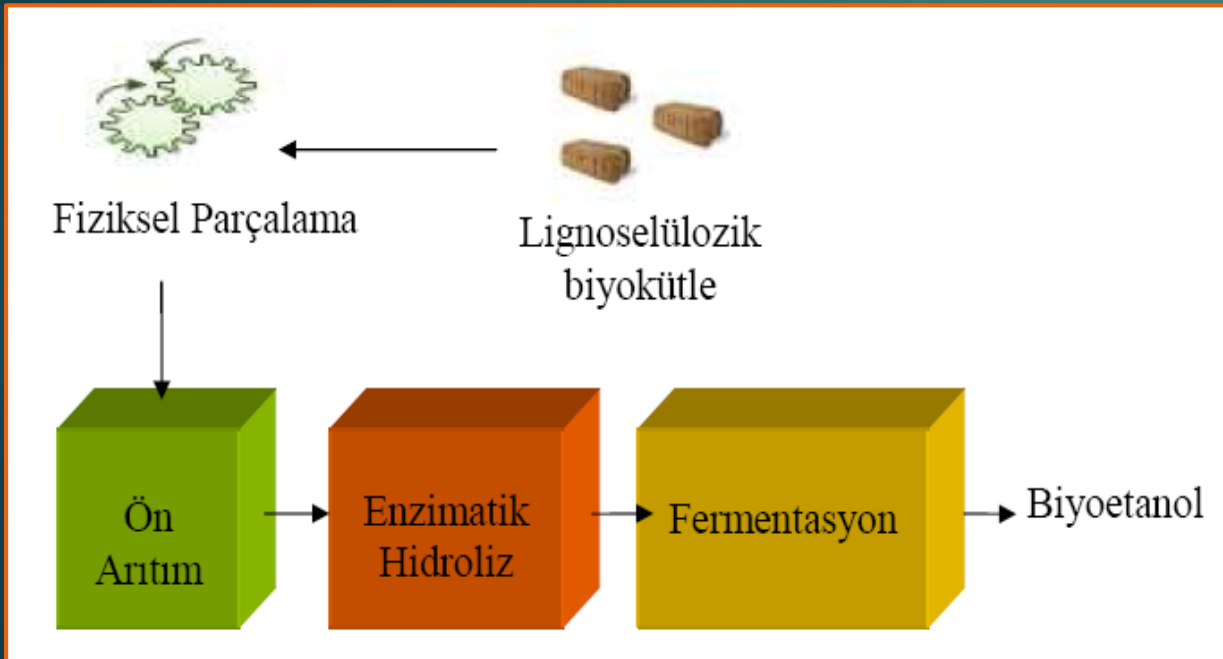
- ▶ **Biyoetanol çeşitli kaynaklardan elde edilebilen bir akaryakıttır.** Tahıllar, tohumlar, şeker mahsulleri ve diğer nişasta kaynakları biyoetanol üretmek için kolaylıkla fermente edilebilirler. Üretilen etanol tamamen veya benzine belirli oranlarda karıştırılarak kullanılabilir. Ağaçları, çeşitli otları, evsel atıkları da içine alan selülozik malzemeler alkole dönüştürülebilme potansiyeline sahiptir. Fakat bu yöntem şeker ve nişasta içeren tarım ürünlerinin işlenmesi yöntemine göre daha karmaşıktır. Bu alandaki teknikler sürekli geliştirilmektedir. Endüstriyel üretimde etanol, petrolden elde edilmiş etilene bir su molekülü katılmasıyla (hidrasyon) yada asetaldehidin indirgenmesi ile sentetik olarak elde edilebilir (Bulut, 2006). Dünya üzerindeki etanol eldesinin büyük bir çoğunluğu tarımsal ürünlerden sağlanmaktadır (Soydan, 2012).
- ▶ Gıda temini amacıyla ekilen mısır, şeker pancarı, şeker kamışı gibi tarımsal ürünler biyoetanol üretiminde kullanılmaktadır. Ancak besin değeri olan bu gıdaların etanol üretimi amacıyla kullanılması gıda tarımı ve enerji tarımı arasında büyük bir rekabet doğurabilir. Her geçen gün artan etanol ihtiyacını önemli bir besin kaynağı olan mısırdan sağlayan ABD'de ekili mısır alanlarının büyük bir bölümünün etanol üretimi için kullanılması dünya çapında mısır fiyatlarında önemli bir artışa neden olmuştur. Dünyadaki mısır ihracatının %60'ını gerçekleştiren ABD'de ihraç edilecek mısır miktarı azalınca dünyadaki mısır fiyatları 3 katına ulaşmıştır. Yaşanan bu olay ekonomik değere sahip tarımsal ürünlerin enerji üretimi amacıyla kullanılmasının ileride daha büyük problemlere neden olacağını gösteren önemli bir örnektir (Karagöz, 2013).
- ▶ Gıda değeri olmayan çeşitli lignoselülozik bitkiler veya gıda değeri olan lignoselülozik biyokütlenin ekonomik değeri düşük sap ve kök gibi kullanılmayan kısımları biyoetanol üretimi için değerlendirilebilmektedir. Tarımsal artıklar olarak da nitelendirilen bu sap ve kök gibi lignoselülozik atıkların yapısında bulunan makro moleküllerin şekere ve sonrasında etanole yüksek verimle dönüştürülmesi için dünya çapında büyük çaba harcanmaktadır (Karagöz, 2013).

- ▶ **Biyoetanol üretiminde günümüz teknolojileri kapsamında şekerli ve nişastalı bitkiler değerlendirilmektedir. Selülozik kaynaklardan üretilen biyoetanol henüz ticarileştirilememekle beraber ABD'de birkaç pilot tesis bulunmaktadır (İşler, 2012).**
- ▶ **Biyoetanol yakıt teknolojilerinde;**
  - ▶ Alternatif motor yakıtı,
  - ▶ Yakıt katkısı,
  - ▶ Yakıt hücresi yakıtı,
  - ▶ Biyodizel üretiminde hammadde olarak kullanılmaktadır.
- ▶ **Dünyada yakıt biyoetanolünün yaygın kullanım oranları;**
  - ▶ Alkol katkılı benzin (Maksimum %5 alkollü benzin),
  - ▶ Gasohol (%10 alkol ve %90 benzin karışımı),
  - ▶ E85 (%85 alkol ve %15 benzin karışımı),
  - ▶ E-Dizel (En fazla %15 oranında alkol içeren motorin).
- ▶ **Biyoetanolün önemli özellikleri arasında şunlar sayılabilmektedir:**
  - ▶ Yenilenebilir hammadde kaynaklarından elde edilmesi,
  - ▶ Petrol kökenli ürünlere olan bağımlılığı azaltması,
  - ▶ Emisyonları büyük ölçüde azaltması,
  - ▶ Oktan sayısını artırması,
  - ▶ Yapısında bulunan oksijen ile benzinin daha verimli ve temiz yanmasına yardımcı olması,
  - ▶ Biyobozunabilir olması ve antitoksik özelliğe sahip olması (İşler, 2012).

# 10.6.1 Biyoetanol üretimi

19

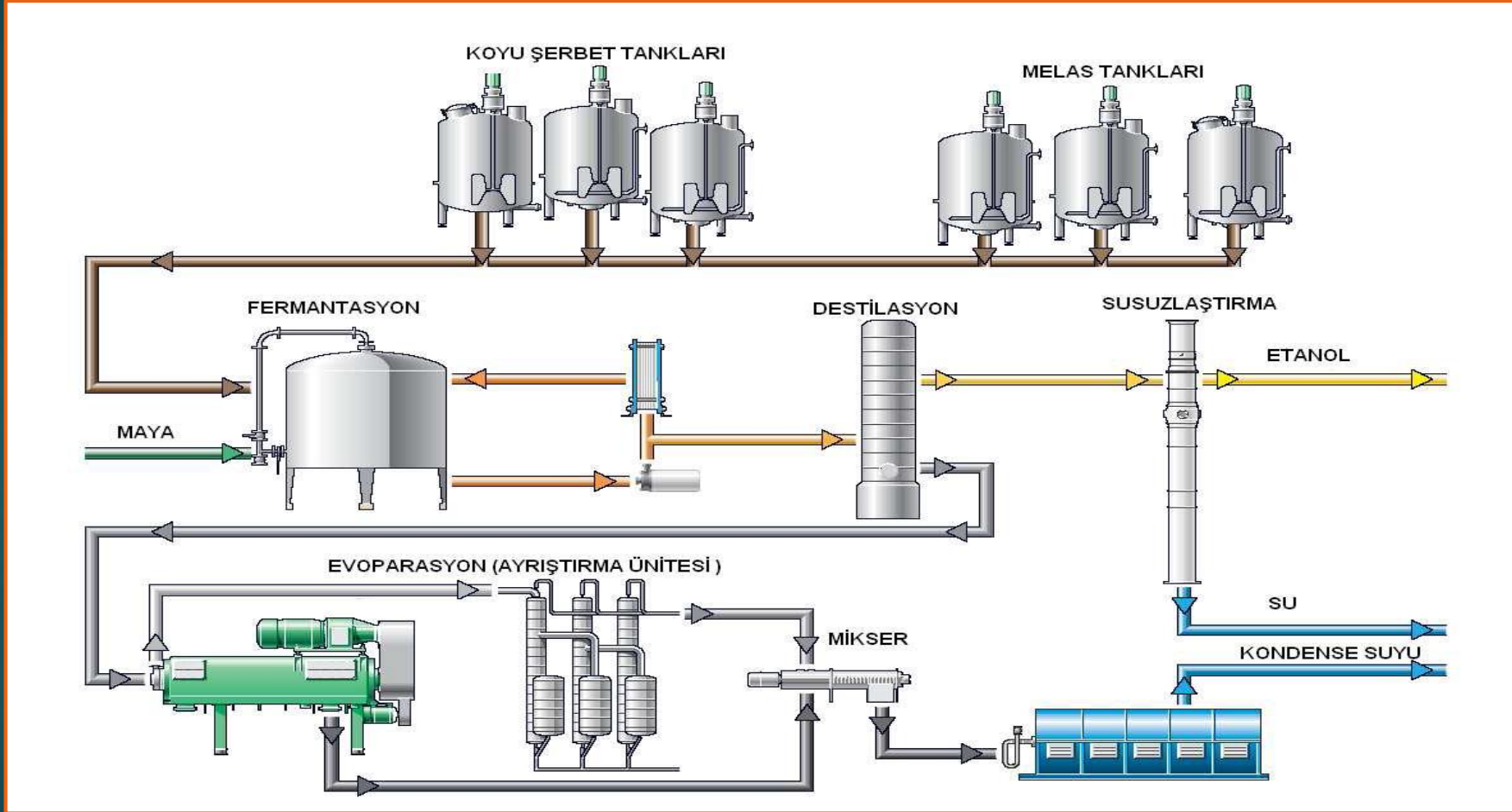
- ▶ Lignoselülozik biyokütleden etanol üretmek için dört temel adım vardır. Birinci adım biyokütlenin ön işlemeyle, ligninhemiselüloz-selüloz karışımını hidroliz için daha uygun bir hale getirmek amacıyla parçalamaktır. İkinci adım selüloz ve hemiselülozun monomer şekerlere parçalamak için hidroliz yapılmasıdır. Üçüncü adım bu şekerlerin etanole fermante edilmesidir. Son adım ürün geri dönüşümü ve damıtma ile yoğunlaştırılmasıdır (Soydan, 2012).
- ▶ Şekil 10.23'de biyokütleden etanol üretimini gösteren prosesin basamakları gösterilmektedir.



Etanol üretiminde kullanılan biyokütlerde ön işleme, temel olarak biyokütlenin temizlenmesi, büyüklüğüne göre ayrılması ve biyokütlenin daha ilerideki biyolojik ve kimyasal işlemlerde daha ulaşılabilir olması amacıyla hücre yapısının yok edilmesi gibi mekanik ve fiziksel işlemleri belirtir. Herbir hammadde türü (yumuşak odun, mısır koçanı ya da küspe) substratın bozulmasını minimize etmek ve şeker verimini maksimize etmek için özel bir ön işlem gerektirir (Soydan, 2012).

Şekil 10.23 Lignoselülozik biyoetanol üretim prosesinin basamakları (Karagöz, 2013)

- ▶ Melas ve koyu şerbetten biyoetanol üretimi yapılan tesisin çalışma aşamaları Şekil 10.24'de gösterilmiştir. Tesiste; koyu şerbet ve melas maya ile birlikte fermantasyon kabına verilmektedir. Üretim aşamalarında yer alan diğer işlemler; destilasyon, rektifikasyon (susuzlaştırma) ve ayırıştırma dır.



Şekil 10.24 Biyoetanol üretimi yapılan tesisin çalışma aşamaları (Anonim 2006b)

# 10.7 Biyodizel Teknolojisi

21

- ▶ Biyodizel petrol kökenli dizel yakıtlara alternatif olabilecek temiz bir enerji kaynağıdır. Biyodizel de tıpkı dizel yakıt gibi sıkıştırma ateşlemeli motorlarda kullanılabilen bir yakıttır. Bazı ülkelerde biyodizelin başarılı şekilde tanıtımı ve ticarileştirilmesi, biyodizel ürün kalitesinin ve müşteri memnuniyetinin artmasıyla paralel bir şekilde gitmektedir. ASTM D6751 (ASTM=American Society for Testing and Materials) ve Avrupa standardı EN 14214 biyodizel ile ilgili standartlardır (Akbin, 2012).
- ▶
- ▶ Biyodizel üretiminde yağ kaynağı olarak (İşler, 2012);
- ▶
- ▶  Bitkisel yağlar: Palm, aspir, kolza, soya vb yağlar,
- ▶  Geri kazanım yağları: Bitkisel yağ endüstrisi yan ürünleri (Soapstock, hurda yağı),
- ▶  Şehirselle ve endüstriyel atık kökenli geri kazanım yağları: Kahverengi gres, siyah gres,
- ▶  Hayvansal yağlar: Don yağları, balık yağları ve kanatlı yağları,
- ▶  Atık bitkisel yağlar: Sarı gres ve
- ▶  Alglere kullanılabilmektedir.

- ▶ Motor biyodizeli direk olarak (B100) motorlarda kullanılabildiği gibi katkı maddesi (B1, B2, B5) olarak da kullanılabilmektedir. Biyodizelin yaygın kullanım şekli ise belirli miktarlarda motorin içerisine katılarak kullanılmasıdır. Harmanlanmış bu yakıtlar şu şekilde isimlendirilmektedir (İşler, 2012):
- ▶ □ B5: % 5 biyodizel ve %95 motorin karışımı,
- ▶ □ B20: % 20 biyodizel ve %80 motorin karışımı,
- ▶ □ B50: % 50 biyodizel ve %50 motorin karışımı,
- ▶ □ B100: %100 biyodizel.
- ▶ Yeşil bir yakıt olan biyodizelin önemli özellikleri şu şekildedir (İşler, 2012):
- ▶ □ Yenilenebilir hammadde kaynaklarından elde edilmesi,
- ▶ □ Petrol kökenli ürünlere olan bağımlılığı azaltması,
- ▶ □ Emisyonları büyük ölçüde azaltması,
- ▶ □ Kükürt içermemesi,
- ▶ □ Yağlayıcılık özelliğinin iyi olması ve motorine katılması durumunda yağlayıcılığı arttırması,
- ▶ □ Yüksek alevlenme noktası ile taşıma, depolama ve kullanma kolaylığına sahip olması,
- ▶ □ Biyobozunabilir olması ve antitoksik özelliğe sahip olması,
- ▶ □ Isıl değerinin motorinin ısıl değerine yakın olması ve motorine oranla daha yüksek setan sayısına sahip olması.

# 10.7.1 Biyodizel üretimi

23

- ▶ Yağların motor yakıtı olarak kullanımlarındaki en olumsuz özelliği viskozitesinin yüksek oluşudur. Bu nedenle yakıt olarak kullanılabilmesi için viskozitelerinin düşürülmesi gereklidir. Bu amaçla yağlara ısı ve kimyasal işlemler uygulanmaktadır (Erdoğan ve Onurbaş, 1994). En basit yöntem olan ısı işlemde; yağlar motor yakıt sistemine verilmeden önce ön ısıtmaya tabi tutularak viskoziteleri azaltılmaktadır. Fakat bu yöntem mobil araçlarda problem oluşturmaktadır.
- ▶ Yağların viskozitelerinin azaltılması amacıyla yaygın olarak kimyasal işlemler uygulanmaktadır (Çizelge 10.8). Kimyasal yöntemler; seyreltme (inceltme), mikro emülsiyon, piroliz ve transesterifikasyon (yeniden esterleştirme)'dir.

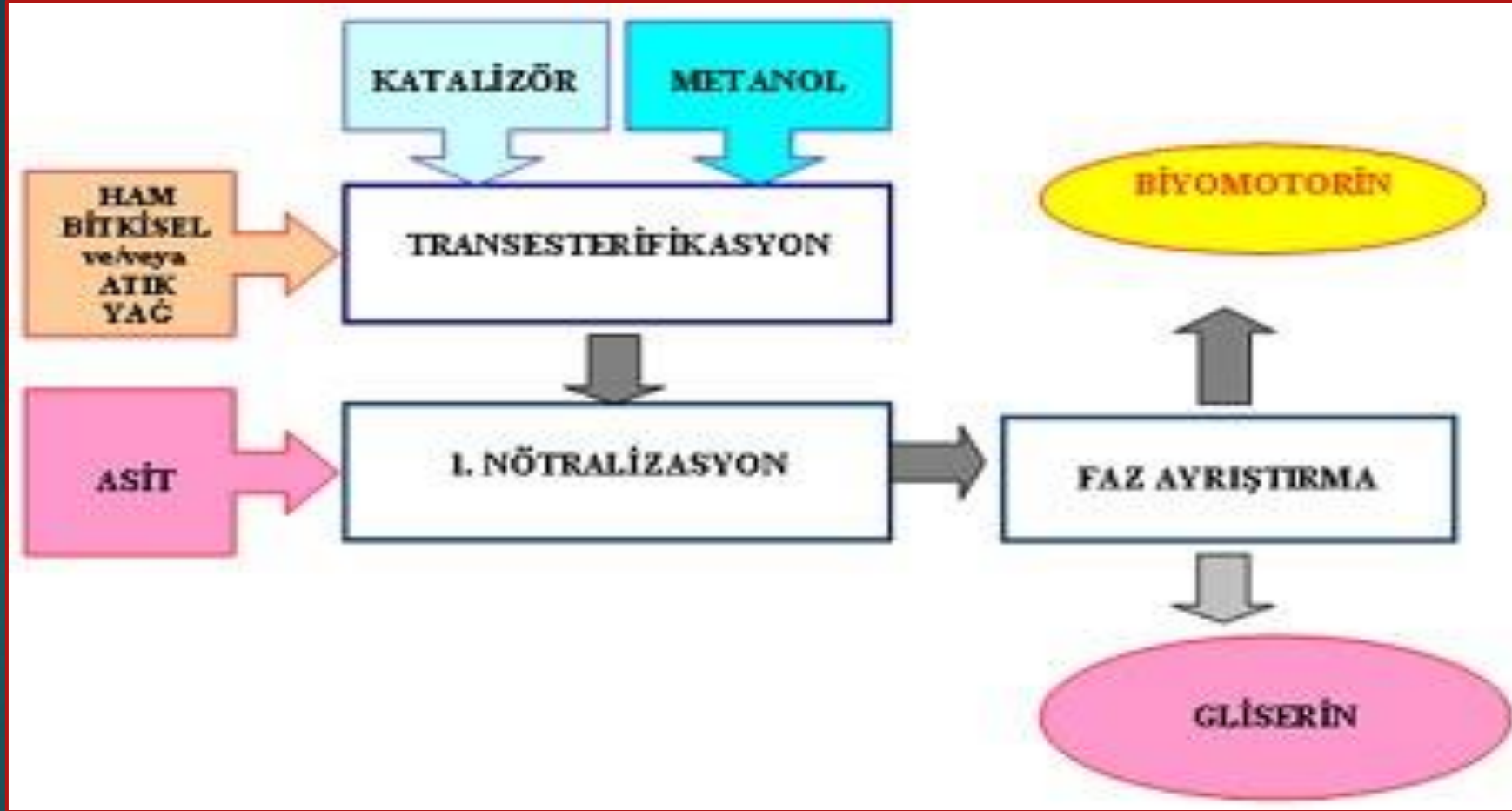
Metod	Tanımı	Avantajı	Dezavantajı
İnceltme	Biyodizel, dizel yakıtla inceltilir	Yenilenebilir, kullanıma hazır, Portatif, doğal sıvı	Yüksek viskozite, düşük uçuculuk, hidrokarbon zincirlerin reaktifliği
Mikro-emülsiyon	Normalde karışmayan iki sıvı ile bir veya daha fazla amfifilin bir araya gelmesiyle oluşur.	Yanma sırasında daha iyi spreyleme, düşük yakıt viskozitesi	Düşük setan sayısı, düşük enerji içeriği
Piroliz	Uzun zincirli ve doymuş maddelerin ısı yoluyla biyodizele dönüşmesi	Petrol türevi yakıtlar benzin ve dizele kimyasal benzerlik	Yüksek enerjiden dolayı maliyet yüksek
Transesterifikasyon	Hayvansal ve bitkisel yağlardan alkol ile katalizör varlığında ester ve gliserol eldesi	Yenilenebilirlik, yüksek setan sayısı, düşük emisyon yüksek yanma verimi	Üründen gliserol ve suyun ayrılma güçlüğü

Çizelge 10.8 Kimyasal yöntemle biyodizel üretim yöntemleri (Aksoy, 2010)

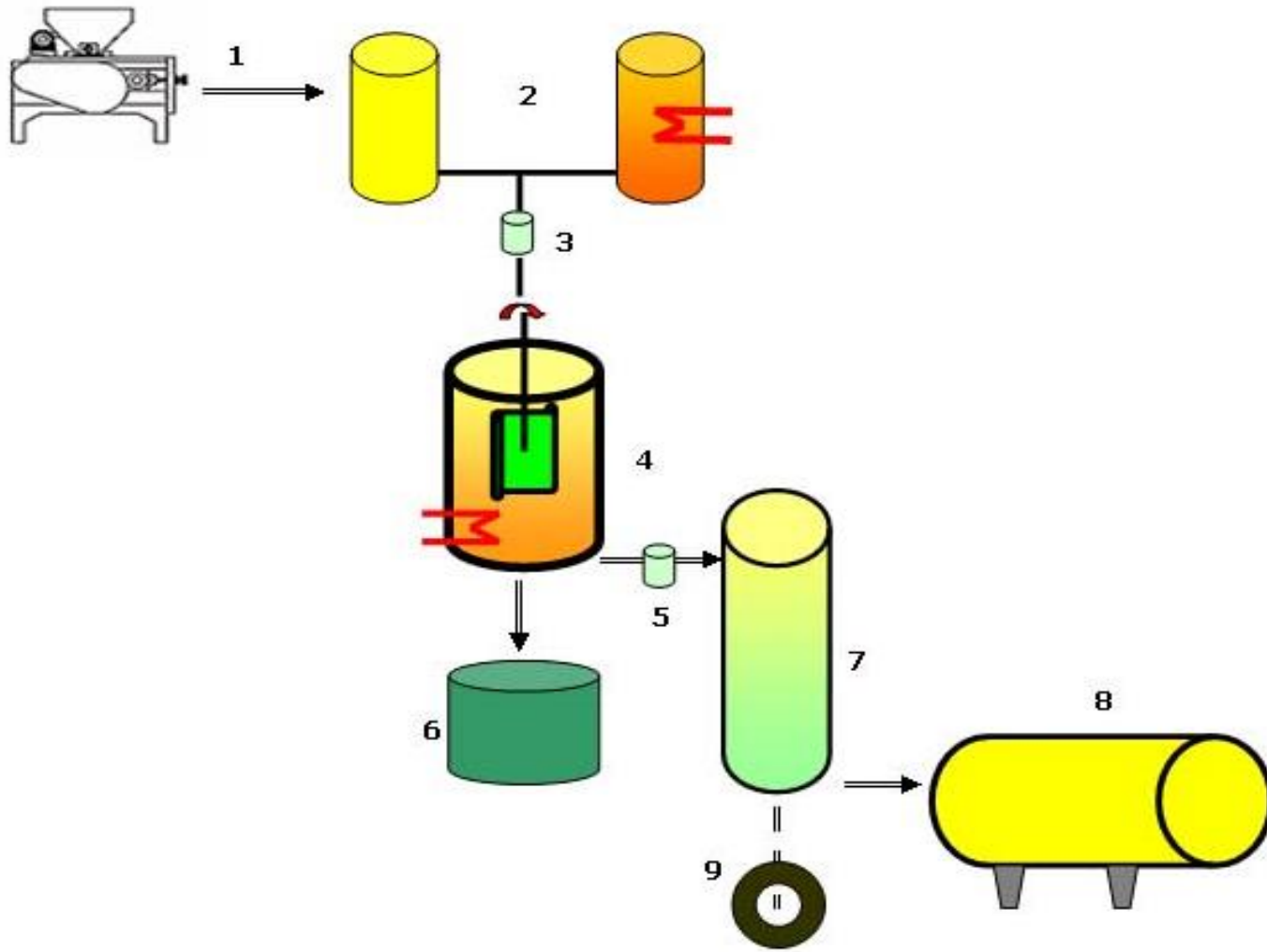
- ▶ Bu yöntemler içerisinde **en yaygın kullanılanı transesterifikasyon yöntemidir**. Bu yöntemde, hayvansal yada bitkisel yağlar alkolle reaksiyona sokularak biyodizel oluşturulmaktadır. Başka bir deyişle; bir bitkisel yağın küçük molekül ağırlıklı bir alkol katalizörlüğünde gliserin ve yağ asidi esteri oluşturmak üzere reaksiyona girmesidir (Onurbaş vd, 2011).
- ▶ Transesterifikasyon reaksiyonunda alkol ve katalizör olarak çeşitli seçenekler mevcuttur. Metanol ve etanol daha çok tercih edilen alkoller arasında bulunmaktadır. Katalizör olarak asidik, bazik ve enzimatik katalizörler kullanılabilir. Transesterifikasyon reaksiyonu için genellikle bazik katalizörler tercih edilmektedir. Bunun nedenleri:
  - ▶ □ Bazik katalizörlerle gerçekleştirilen reaksiyonlarda verimin daha yüksek olması
  - ▶ □ Daha az korozif olması
  - ▶ □ Reaksiyon süresinin çok daha kısa olması
  - ▶ □ Asidik katalizör kullanımında aside dayanıklı tank gereksiniminin maliyeti arttırması şeklinde sıralanabilir (İşler, 2012).



- Biyodizel üretiminin temel prensipleri Şekil 10.25'de ve bir biyodizel tesisi ve akış şeması Şekil 10. 26'da görülmektedir.



Şekil 10.25 Biyodizel üretiminin temel prensibi (<http://foodwaste-oil.tripod.com/biodizel/id4.html>)



1. YAĞ ÇIKARMA MAKİNASI
2. BİTKİSEL ve ATIK YAĞ DEPOLAMA TANKLARI
3. FİLTRE
4. REAKTÖR & AYRIŞTIRMA TANKI

5. FİLTRE
6. GLİSERİN DEPOLAMA TANKI
7. BİYODİZEL YIKAMA ÜNİTESİ
8. BİYODİZEL DEPOLAMA TANKI
9. RÖGAR



Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Teknolojileri Dersi  
Prof. Dr. Ayten Onurbaş Avcioğlu

- ▶ Baz katalizörlü biyodizel üretiminin aşamaları şunlardır (Onurbaş vd, 2011):
- ▶
- ▶ **Katalizör ve Alkolün Karıştırılması:** Baz katalizörlü uygulamalarda çoğunlukla NaOH (kostik soda) yada KOH kullanılmaktadır. Bir karıştırıcı yardımıyla katalizör alkol içerisinde çözülmektedir.
- ▶
- ▶ **Reaksiyon:** Hazırlanan katalizör ve alkol karışımı ile biyodizel hammaddesi yağ reaktöre alınır. Reaktör ortamı alkolün kaybını engellemek amacıyla kapalı duruma getirilir. İşlem sıcaklığı alkolün kaynama noktasının (yaklaşık 70°C) hemen üstünde tutularak reaksiyon gerçekleşir. Yaklaşık işlem süresi 1-8 saat kadardır.
- ▶
- ▶ Yağın tam olarak esterlerine dönüşümünü garanti etmek için fazla miktarda alkol kullanılmaktadır. Yağın içinde bulunan serbest yağ asitleri ve su miktarının devamlı olarak izlenmesine dikkat edilmelidir. Eğer serbest yağ asidi veya su derecesi çok yüksekse, sabun oluşumuyla ve alt akımda bulunan ve yan ürün olan gliserinin ayrılması ile ilgili problemlerin oluşmasına neden olabilmektedir.
- ▶
- ▶ **Ayırma:** Reaksiyon tamamlandığında iki ana ürün oluşmaktadır. Bu ürünler gliserin ve biyodizeldir. Her iki üründe de reaksiyonda fazlaca kullanılan metanolden önemli miktarda bulunur. Eğer gerekirse, karışımın nötralizasyonu bazen bu adımda yapılır. Gliserin fazı biyodizel fazından daha yoğundur ve bu iki faz yerçekimi yardımıyla birbirinden kolayca ayrılır. Kabin alt kısmında bulunan gliserin basit bir şekilde boşaltılır. Bazı tesislerde, daha hızlı bir işlem için santrifüjden yararlanılmaktadır.

- ▶ **Alkolün Uzaklaştırılması:** Biyodizel ve gliserinin ayrılması işlemi yapıldıktan sonra, sıvılar içerisinde bulunan alkol flash evaporasyonla yada distilasyonla her fazdan uzaklaştırılır. Diğer sistemlerde, alkol uzaklaştırılır ve karışım gliserin ve esterler ayrılmadan önce nötralize edilir. Böylece distilasyonla alkolün kazanılarak tekrar kullanılabilmesi sağlanır. Alınan alkolde su birikintisinin olmamasını garanti etmek için dikkatli olunmalıdır.
- ▶
- ▶ **Gliserinin Nötralizasyonu:** Yan ürün olan gliserin kullanılmamış, yani reaksiyona girmemiş katalizör ve sabunlar içermektedir. Bu ürünler bir asit yardımı ile nötralleştirilip ham gliserin olarak depoya gönderilir. Bazı durumlarda nötralizasyon esnasında tuz oluşabilir. Bu tuz gliserin içerisinde bırakılabileceği gibi kullanılmak üzere geri kazanılabilir. Gliserin içerisindeki alkol ve su uzaklaştırılarak % 80-88 saflıkta gliserin üretilir ve ham gliserin olarak satılmak için hazır bulunur. Özel işlemlerle %99 saflığa yükseltilebilir gliserin ilaç ve kozmetik sanayinde kullanılmak üzere satılabilir.
- ▶
- ▶ **Metil Esterin Yıkanması:** Gliserinden ayrılan biyodizel, arta kalan katalizör veya sabunların uzaklaştırılması için ılık suyla yıkanarak kurutulur ve depolanır. Üretim prosesinin sonunda parlak amber sarısı ve viskozitesi dizele yakın olan bir sıvı elde edilir. Bazı sistemlerde biyodizel, küçük miktarlardaki renkli yapıyı uzaklaştırarak renksiz biyodizel üretmek için ek bir adımda daha distile edilir.
- ▶