



T.C.

**ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ**  
**MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ**



**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BİYOKÜTLE ENERJİSİ VE YARARLANMA YÖNTEMLERİ**

**BİTİRME TEZİ**

**SÜLEYMAN SAZ**

**12060734**

**ARALIK 2015**

**AKADEMİK DANIŞMAN**

**Prof. Dr. Bahtiyar ÖZTÜRK**

# İÇİNDEKİLER

	SAYFA
ÖZET	
TEŞEKKÜR	
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER	2
1.1 DÜNYADA DURUM	
1.2 TÜRKİYE'DE DURUM	3
1.3 BİYOKÜTLENİN TANIMI ve ÜRETİMDE KULLANILAN ORGANİK ATIK ve ARTIK HAMMADDELER	4
1.3.1 Bitkisel Üretimden Elde Edilen Hammadeler	4
1.3.2 Hayvansal Üretim Sonucunda Arta Kalan Atıklar	6
1.3.3 Orman Ürünleri ve Orman Ürünlerinden Arta Kalan Artıklar	6
1.3.4 Tarım Ürünlerinin İşlenmesi Sonucunda Açığa Çıkan Atıklar	7
1.4 BİYOKÜTLE ÇEVİRİM TEKNOLOJİLERİ	7
1.4.1 Doğrudan Yakma	8
1.4.2 Piroliz	8
1.4.3 Gazlaştırma	9
1.4.4 Karbonizasyon	10
1.4.5 Havasız Çürütme	10
1.4.6 Fermantasyon	11
1.4.7 Esterifikasyon	12
1.4.8 Biyofotoliz	13
1.5 BİYODİZEL	13
1.5.1 Biyodizel ve Çevre	13
1.5.2 Biyodizel Üretim Yöntemi	14
1.5.3 Biyodizelin Avantajları Dezavantajları	15

<b>1.6 BİYOETANOL</b>	<b>16</b>
<b>1.6.1 Biyoetanölün Çevresel Özellikleri</b>	<b>16</b>
<b>1.6.2 Biyoetanölün Avantajları Dezavantajları</b>	<b>17</b>
<b>1.6.3 Biyoetanöl Üretimi</b>	<b>17</b>
<b>1.7 BİYOGAZ</b>	<b>19</b>
<b>1.7.1 Biyogaz Nedir?</b>	<b>19</b>
<b>1.7.2 Biyogaz ve Yan Ürünlerinin Kullanım Alanları</b>	<b>20</b>
<b>1.7.3 Biyogaz Sisteminin Avantajları Dezavantajları</b>	<b>20</b>
<b>1.7.4 Biyogaz Üretiminin Mikrobiyolojisi</b>	<b>21</b>
<b>1.7.5 Biyogaz'ın Isıl Değeri</b>	<b>24</b>
<b>1.7.6 Biyogaz Üretim Prosesi</b>	<b>25</b>
<b>1.7.7 Biyogaz Üretiminde Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar</b>	<b>25</b>
<b>1.7.8 Biyogaz Tesislerinin Tasarımı ve Tasarımda Dikkate Alınması Gereken Parametreler</b>	<b>26</b>

## ŞEKİLLER VE TABLOLAR

	SAYFA
Şekil-1 Biyokütle Kullanım Alanları	1
Şekil-2 Yenilenebilir Enerji Tahminleri	2
Şekil-3 Biyokütle Oluşumu	4
Şekil-4 Biyokütle Yakıt Çevrimi	8
Şekil-5 Piroliz	9
Şekil-6 Gazlaştırma	10
Şekil-7 Fermentasyon ile Biyoetanol Üretim İşlemi	11
Şekil-8 Fermentasyon İşleminin Kimyasal Gösterimi	11
Şekil-9 Esterifikasyon İşlemi ile Biyodizel Üretimi İşlemi	12
Şekil-10 Esterifikasyon İşleminin Kimyasal Gösterimi	12
Şekil-11 Biyodizel Üretim Aşamaları	14
Şekil-12 Biyoetanol Faydaları	17
Şekil-13 Biyoetanol Üretim Aşamaları	19
Şekil-14 Biyogaz Üretim Aşamaları	24
Şekil-15 Biyogaz Üretim Prosesi	25
Şekil-16 Biyogaz Tankı	25
Şekil-17 Üretim Tankı	26
Şekil-18 Biyogaz Üretim Aşamaları	27
Şekil-19 Biyogaz Üretim Prosesi	28
Şekil-20 Biyogaz Tesisi	29
Şekil-21 Biyogaz Tankı Şematik Gösterimi	29
Tablo-1 Türkiye'nin arazi varlığı ve modern biyokütle enerjisine hammadde oluşturan bitkisel üretim potansiyeli	5
Tablo-2 Türkiye'deki Tarla Ürünlerinin Yıllık Toplam Üretimi ve Atık Miktarları	5
Tablo-3 Türkiye'deki Bahçe Bitkilerinin Yıllık Toplam Üretimi ve Atık Miktarları	6
Tablo-4 Türkiye'deki Hayvan Sayısı, Atık Miktarı, Biyogaz Miktarı ve Isıl Değerleri	6
Tablo-5 Türkiye Ormanlarında Biyokütle ve Karbon Miktarı	7
Tablo-6 Türkiye Ormanlarında Biyokütle Artım Miktarı ve Oksijen Üretimi	7

## ÖZET

Enerji kaynaklarının yavaş yavaş tükenmeye başlaması Dünya’da yenilenebilir enerji kaynaklarına ihtiyacın önemini ortaya çıkarmaktadır. Türkiye’de özellikle kırsal alanların fazla oluşu ve hayvancılığın yaygınlığı nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarından biyokütle enerjisinin önemi artmaktadır.

Bu çalışmada biyokütle enerjisi ve yararlanma yöntemleri anlatılmaktadır.

## TEŞEKKÜR

Bu alıŐma sűresince desteęini esirgemeyen ve tezin her aŐamasında yaptıęı katkılar için, deęerli danıŐman hocam, Sayın Prof. Dr. Bahtiyar ŐZTŪRK'e sonsuz teŐekkűrler.

Hayatım boyunca bana maddi manevi her tűrlű desteęi veren aileme sonsuz teŐekkűrler.

## GİRİŞ

Biyokütle, yaşayan ya da yakın zamanda yaşamış canlılardan elde edilen fosilleşmemiş tüm biyolojik malzemenin genel adıdır. Biyokütle, bir enerji kaynağıdır ve endüstriyel anlamda biyokütle, bu biyolojik maddelerden yakıt elde edilmesi ya da diğer endüstriyel amaçlarla kullanılması ile ilgilidir. Yaygın olarak, biyoyakıt elde etmek amacı ile yetiştirilen bitkiler ile lif, ısı ve kimyasal elde etmek üzere kullanılan hayvansal ve bitkisel ürünleri ifade eder. Biyoküteller, bir yakıt olarak yakılabilen organik atıkları da içerir. Buna karşın, fosilleşmiş ve coğrafi etkilerle değişikliğe uğramış, kömür, petrol gibi organik maddeleri içermez. Genellikle kuru ağırlıkları ile ölçülürler.

Biyoyakıtlar, biyoetanol, biyobütanol, biyodizel ve biyogazlarla ilgilidir.

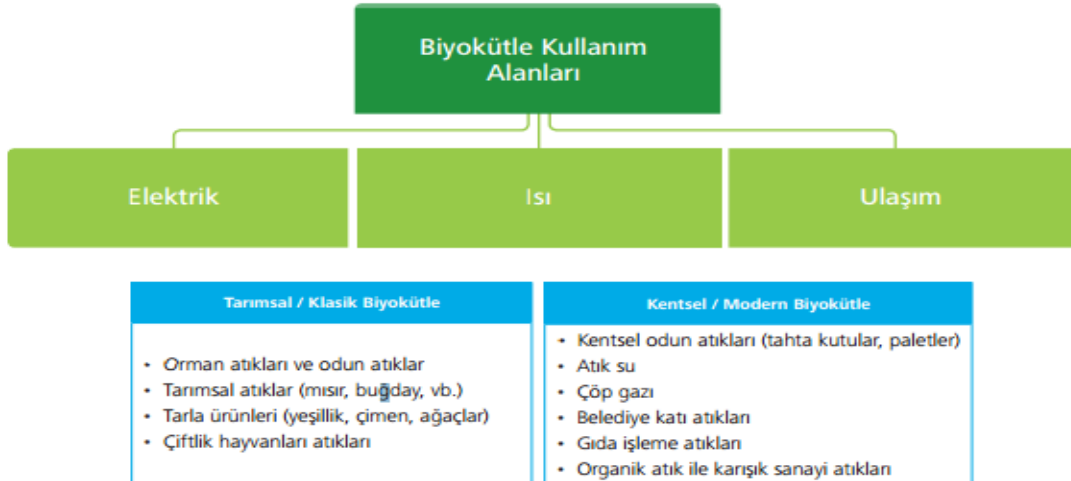
Biyokütle elde etmek üzere, şeker kamışı, şeker pancarı, mısır, dallı darı, arpa, keten tohumu, ayçiçeği, kolza, soya fasulyesi gibi pek çok değişik bitki yetiştirilebilir. Petrol bağımlılığı azaltma ve küresel ısınma ile mücadelede yenilenebilir yakıtların artan önemi nedeniyle biyokütle üretimi büyüyen bir endüstri haline gelmiştir.

Biyoküteller de, petrol ve kömür gibi, güneş enerjisinin depolanmış halidirler. Bitkiler güneş enerjisini fotosentez aracılığıyla tutarlar.

Biyoyakıtların içerisindeki karbon, bitkilerin havadaki karbondioksiti parçalaması sonucu elde edildiği için, biyoyakıtların yakılması, dünya atmosferinde net karbondioksit artışına neden olmaz. Bu nedenle, pek çok insan, atmosferdeki karbondioksit miktarının artışına engel olabilmek için, fosil yakıtlar yerine biyoyakıtların kullanılması gerektiği görüşünü savunmaktadırlar.

Biyoyakıtlar, enerji dışında

- yapı malzemesi
- geri dönüşümlü kâğıt ve plastik üretiminde de kullanılırlar[1].



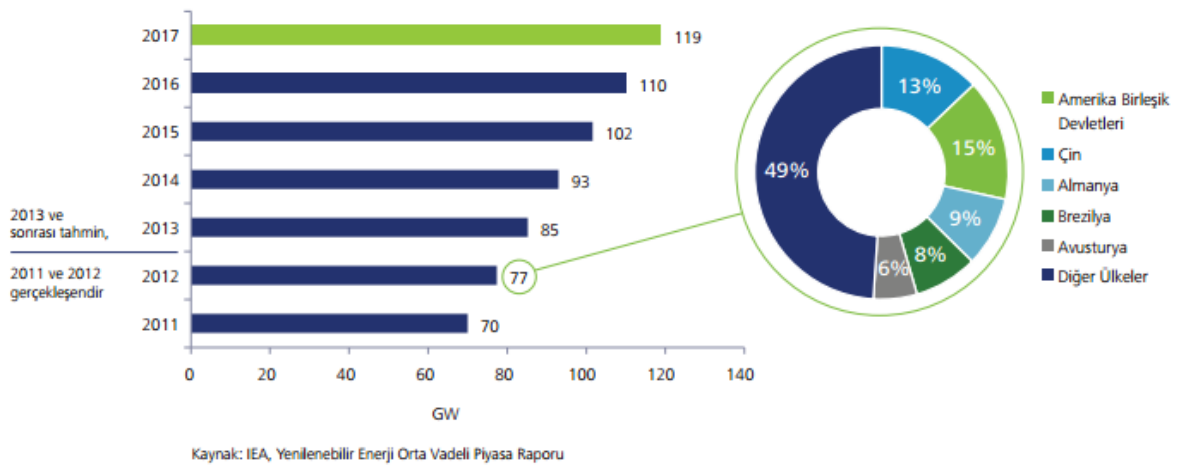
Şekil-1[18]

# 1.GENEL BİLGİLER

## 1.1 DÜNYADA DURUM

Güneş enerjisinin depolanmasına olanak sağlayan ve çevreye zarar vermeyen bu yakıtın, son zamanlarda, gelişmekte olan ülkelerin yanı sıra, gelişmiş ülkelerde de büyük oranlarda kullanılmaya başlandığı gözetlenmiştir. Bunun başlıca nedenleri arasında, fosil yakıt kullanımı yüzünden dünyanın giderek artan boyutta çevre kirliliği problemi yaşamsıdır. Biyokütlenin daha çok ve verimli yetiştirilmesi için hızlı büyüyen özel bitkiler ve genetik mühendisliği yardımıyla yeni tohumlar geliştirilmektedir. Burada dünya nüfusunun %80'inin 350 kuzey ve 350 güney enlemleri arasında yaşadığı göz önüne alınırsa, bu bölgede metrekareye düşen güneş enerjisinin yılda 3000-4000 saati bulunduğu ve bunun da enerji olarak 2000kWh/m<sup>2</sup> ettiği ortaya çıkmıştır. Bütün bu verilerden yola çıkarak, güneş enerjisinden fotobiyolojik çevrim sonucu elde edilebilecek biyokütle enerjisinin büyüklüğü ve çevre etkisi çok az olan bu yakıtın sağlayacağı yararların önemini açıkça göstermektedir.

Son yıllarda hızla sanayileşme, nüfus artışı, kentleşme ve yaşam düzeninin yükselmesi gibi etkenler yalnız Türkiye'de değil, dünyada da enerji tüketimini arttırmış, bu da fosil enerji kaynaklarının hızla tükenmesine ve dolayısıyla çevre kirliliğine yol açmıştır. Dünyada enerji tüketimi 1900 yıllarının başlarında 2x10<sup>18</sup> J iken 1998 yılında 17 kat artarak 3.4x10<sup>20</sup> J değerine ulaşmıştır. Bütün bunların sonucu olarak, gerek bu enerji açığını karşılamak gerekse çevre kirliliğini azaltmak için dünyada biyokütle çalışmalarına büyük hız verilmiştir. Biyokütleden elde edilebilecek yıllık enerji, 1,120,000 MW'ı samandan, 500,000 MW'ı hayvan atıklarından 1,360,000 MW'ı orman atıklarından 2,400,000 MW'ı çöplerden ve 17,700,000 MW'ı şeker kamışı, odunsu bitkiler gibi enerji tarlalarından olmak üzere yaklaşık toplam 23,100,000 MW gibi büyük bir potansiyele sahiptir. Biyokütle elde etmek için harcanan enerji ve %20 dolayında bir çevrim göz önüne alındığında, yılda net 3000MW gibi bir enerji elde edileceği açıkça görülmektedir. Bu büyük potansiyelin yanı sıra biyokütlenin ekonomik, bölgesel ve çevre dostu oluşu gibi özelliklerde göz önüne alındığında, biyoenerji konusuna ilgi giderek hızla artmaktadır. Bir çok gelişmekte olan ülke biyoenerjiyi, geleceğin temel enerji kaynağı olarak görmektedir. Özellikle biyokütle enerjisi karbondioksit salınımını azaltmaya yönelik çalışmalarda en iyi seçenek olarak ortaya çıkmaktadır[2].



Şekil 2[18]



## 1.2 TÜRKİYE'DE DURUM

Ülkemizde var olan biyokütle potansiyeline ilişkin ulaşılabilen istatistiksel verilerle Türkiye'nin yıllık biyokütle potansiyelinin yaklaşık 32 MTEP, toplam dönüştürülebilir biyoenerji potansiyelinin ise yaklaşık 16,92 MTEP olduğu söylenebilmektedir (Balat, 2005: 33).

Türkiye'de yakıt alkolü konusu ilk olarak 1931 yılında gündeme gelmiş, 2. Dünya Savaşı sırasında % 20 oranında biyo-etanol karıştırılarak orduda karışımı yakıt kullanılmıştır. Özellikle petrol krizleri esnasında yakıt alkolü üzerinde yoğun çalışmalar olsa da uygulamaya geçilememiştir. Buğdaydan yakıt alkolü üretecek bir özel girişim fabrikası 2004 yılında kurulmuştur. Şeker pancarı hammadde olarak kullanılarak etil alkolden etanol üretilmektedir (Bölük & Koç, 2008: 38).

Türkiye'de buğday sapı, tahıl tozu, fındikkabuğu gibi çeşitli tarımsal artıklar biyokütle enerjisi kaynaklarıdır. Yaklaşık olarak yıllık 2,6x10<sup>7</sup> ton buğday sapı tarlalarda yakılmakta ya da tekrar toprağa geri dönmesi için sürülmektedir. Buğday sapının en yüksek ısı değeri, yüksek değerli kömürün (yüksek ısı değeri 28 MJ/kg) yarısı kadardır. Bu durumda artık buğdayın ısı değerinin 1,3x10<sup>7</sup> ton kömüre eş değer olduğu söylenebilir. Yıllık tahmini 3,5x10<sup>5</sup> ton değeri ile fındikkabuğu Türkiye'nin önemli enerji kaynağı potansiyelleri arasındadır. Fındikkabuğunun en yüksek ısı değeri 19,2 MJ/kg olup, ısı değeri ise yaklaşık olarak 1,9x10<sup>6</sup> kWh'dir (Balat, 2005: 33, 34). Türkiye'deki orman arazisi, toplam kara parçasının % 26'sını oluşturmaktadır. 1965-1995 yılları arasında odun hacmi % 75'in üzerinde artmıştır. Türkiye'nin toplam orman potansiyeli yıllık 28 milyon m<sup>3</sup> artış ile 935 milyon m<sup>3</sup> civarındadır. Türkiye'nin enerji ormancılığı amacıyla düzenlenebilecek 5 milyon hektar orman arazisi vardır. Bu miktarının 2,6 Mha'lık kısmı yakacak odun yapılan verimli ormanlardır. Kalan 2,4 Mha'lık kısmının ürünü ise düşük kalitelidir (Balat, 2005: 35).

Türkiye, zengin tarımsal potansiyeli ile gelişen bir ülkedir. İşlenmiş toprağın %70'ini birinci olarak buğday, ikinci sırada arpa ve üçüncü olarak da mısır oluşturmaktadır. Pamuk, keten, susam tohumu ve haşhaş gibi endüstriyel ürünler uzun zamandır yetiştirilmektedir. Soya fasulyesi Anadolu'da yetişmektedir. Meyvenin çeşitli türleri ülkenin hemen hemen her yerinde yetişmektedir. Yukarıdaki örneklerde de görüldüğü gibi Türkiye'nin biyokütle enerji kaynağı olarak çeşitli tarımsal artıklar olasıdır. Türkiye'de yıllık yaklaşık 26,4 milyon ton buğday sapı üretilmektedir ve bu değer yaklaşık olarak 16,4 MTEP'e eşittir.

Tarlalarda hazır bulunan buğday sapsuları ya yakılmakta ya da toprağa geri kazanılmak üzere çiftçilikte kullanılmaktadır. Tarımsal artıklardaki kuru kaynaklardan hesaplanmış toplam artık miktarı yaklaşık olarak 54,4 milyon tondur. Tarımsal artıkların yıllık enerji eşiği 15,5 MTEP olarak belirlenmektedir (Balat, 2005: 35, 36).

Hepsi biyogaz üretimi amaçlı kullanılabilirliğinde yıllık 2,2 ve 3,9 milyar m<sup>3</sup> potansiyele sahiptir. Biyogaz potansiyelinin % 85'i hayvansal atıklarından, geri kalanı ise çöp gazından gelmektedir.

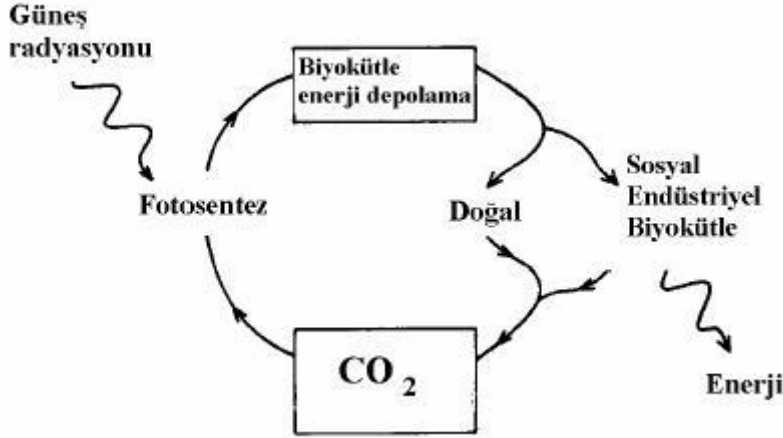
Hayvansal atık gazı potansiyelinin % 50'si koyunlardan, % 43'ü büyükbaş hayvanlardan, % 7'si kümes hayvanlarından oluşmaktadır. Hesaplamalara göre ortalama hektar başına 80-100 ton ıslak biyokütle (25-30 ton kullanılabilir kuru biyokütle malzemesi) Orta Anadolu Bölgesi'nden elde edilebilir. Genellikle tarımda suni gübre olarak kullanıldıkları için, hayvansal atıkların biyoyakıt olarak kullanılmaları kısıtlıdır (Balat, 2005: 34).

Türkiye'de hayvan çiftçiliğinin oldukça gelişmesinden sonra, önemli miktarlarda yıllık hayvansal atıklar oluşmaktadır. Türkiye'de 1960'lardan sonra biyogaz araştırma ve geliştirme projelerine emek verilmiştir. Biyogaz kullanımındaki çalışmaların uygulanabilirliğine ek olarak, çok sayıda özümleme tankı çeşitli yerlere kurulmuştur. Mevcut biyogaz potansiyelinin değerlendirildiği takdirde yaklaşık 3 milyon ton/yıl taşkömürü eşdeğerine karşılık geleceği görülmektedir.

### 1.3 BİYOKÜTLENİN TANIMI ve ÜRETİMDE KULLANILAN ORGANİK ATIK ve ARTIK HAMMADDELER

Yeşil bitkilerin güneş enerjisini fotosentez yolu ile kimyasal enerjiye dönüştürerek depolaması sonucu oluşan biyolojik kütle, biyolojik kökenli fosil olmayan organik maddelerdir.

Biyokütle yenilenebilir, her yerde yetiştirilebilen, sosyo-ekonomik gelişme sağlayan, çevre dostu, elektrik üretilen, taşıtlar için yakıt elde edilebilen stratejik bir enerji kaynağıdır[3].



Şekil-3[3]

#### 1.3.1 Bitkisel Üretimden Elde Edilen Hammadeler

Türkiye iklim ve arazi yapısı itibariyle tarım ve hayvancılığın gelişmiş olduğu bir ülkedir. Sanayileşen nüfus dışında kalanlar geçimlerini tarım ve hayvancılıkla sağlamaktadırlar. Bitkisel üretimdeki plansızlıklar, ürün fiyatlarındaki dalgalanmalar, çiftçilerin üretim maliyetlerinin yüksek olması, kentlere göçler gibi sebeplerden dolayı bitkisel üretimde çoğu zaman dengesizlikler ve yetersizlikler görülmektedir. Arazi varlığı daha verimli bir şekilde kullanılırsa, ürün fiyatları ve ürün yetiştirme maliyetleri dengelenirse bitkisel üretim potansiyeli de artacaktır. Türkiye'nin toplam tarımsal alanı 23 063 000 hektardır. Bunun % 38'i ekili alan, % 45'i orman, % 10'u nadas alanı, % 7'si meyve ve sebze ekili alandır. [4] Tablo 1'de Türkiye'nin arazi varlığı ve kullanımını, biyokütle kullanımına söz konusu olabilecek bitkilerin ekim alanları, üretim ve verimlerine ilişkin bilgiler verilmiştir.

Tablo 1. Türkiye'nin arazi varlığı ve modern biyokütle enerjisine hammadde oluşturan bitkisel üretim potansiyeli[20].

Tarla Alanı		23 063 000 ha	
Ekilen Alan		18 107 000 ha	
Nadas Alanı		4 956 000 ha	
Orman Alanı		21 189 000 ha	
<b>Bitkisel Ürün</b>	<b>Ekilen Alan (ha)</b>	<b>Üretim (ton)</b>	<b>Verim (kg/ha)</b>
Buğday	9 300 000	21 000 000	2 258
Arpa	36 000 00	9 000 000	2 500
Mısır	570 000	3 000 000	5 263
Ayçiçeği	550 000	900 000	1 636
Soya	14 000	50 000	3 571
Aspir	165	150	909
Kanola(kolza)	1 700	4 500	2 647
Şeker pancarı	315 344	13 517 241	42 865

Bitkisel Üretim Sonucunda Arta Kalan Atıklar Ülkemiz tarım ve hayvancılık açısından yüksek bir potansiyele sahiptir. Tarım ürünleri ve tarımsal üretimden elde edilen artıklar, biyokütleden enerji elde edilebilmesi açısından hammadde kaynağı oluşturmaktadır. Tarla bitkileri yıllık atık miktarının toplam ısıl değeri yaklaşık olarak 228 PJ'dür. Bunun içinde en büyük payı % 33,4 ile mısır, % 27,6 ile buğday ve % 18,1 ile pamuk almaktadır. Türkiye'deki tarla ürünlerinin yıllık toplam üretimi ve atık miktarları Tablo 2'de verilmektedir [5].

Tablo 2. Türkiye'deki Tarla Ürünlerinin Yıllık Toplam Üretimi ve Atık Miktarları [5].

Ürünler	Atıklar	Üretim (ton)	Alan (ha)	Toplam Atıklar (ton)		Kullanılabilir Atık (ton)	Kullanılabilirlik (%)	Birim Isıl Değeri (MJ/kg)	Toplam Isıl Değeri (GJ)
				Teorik	Gerçek				
Buğday	Saman	22439042	9424785	29170755	23429907	3514486	15	17,9	62909300
Arpa	Saman	8327457	3732992	9992948	8963012	1344452	15	17,5	23527908
Çavdar	Saman	253243	145907	405188	358040	53706	15	17,5	939855
Yulaf	Saman	322830	150459	419678	321236	48115	15	17,4	838425
Mısır	Sap	2209601	565109	5911902	4970259	2982155	60	18,5	55169873
	Sömek			596592	1907307	1144384	60	18,4	21056667
Pirinç	Saman	331563	59879	582555	209532	125719	60	16,7	2099510
	Kabuk			88527	77747	62198	80	12,98	807327
Tütün	Sap	181382	222691	362763	410778	246467	60	16,1	3968113
Pamuk	Sap	2292988	680177	6317181	2520281	1512169	60	18,2	27521470
	Çirçir atığı			481527	732220	585776	80	15,65	9167391
Ayçiçeği	Sap	836269	545963	2341554	2259121	1355472	60	14,2	19247709
Yerfıstığı	Saman	55241	25167	127054	28638	22910	80	20,74	475155
	Kabuk			27621					
Soya	Saman	28795	15064	60468	21872	13123	60	19,4	254595

Ülkemizin bahçe bitkileri yıllık atıklarının toplam ısıl değeri yaklaşık 75 PJ'dür. Bunlar içerisinde ise en büyük payı % 55,8 ile fındık ve % 25,9 ile zeytin almaktadır. Türkiye'deki bahçe bitkilerinin yıllık toplam üretimi ve atık miktarları Tablo 3'de verilmektedir [5].

Tablo 3. Türkiye’deki Bahçe Bitkilerinin Yıllık Toplam Üretimi ve Atık Miktarları[5].

Ürünler	Atıklar	Üretim (ton)	Ağaç Sayısı	Toplam Atık (ton)		Kullanılabilir Atık (ton)	Kullanılabilirlik (%)	Birim Isıl Değeri (MJ/kg)	Toplam Isıl Değeri (GJ)
				Teorik	Gerçek				
Kayısı	Çekirdek	467903	11288357		154573				
	Budama			1328846	86964	69571	80	19.3	1342719
Vişne	Çekirdek	114466	4446680		39916				
	Budama			137359	21400	17120	80	19	325279
Zeytin	Pirina	1496630	90208994	673484	829816	746834	90	20.69	15451997
	Budama				441254	220627	50	18.1	3993345
Antepfıstığı	Kabuk	42926	29600005		14007	4202	30	19.26	80932
	Budama				209611	167688	80	19	3186080
Ceviz	Kabuk	115698	3737868	173546	75792	60633	80	20.18	1223584
	Budama				50480	25240	50	19	479563
Badem	Kabuk	46701	3631622	44366	25784	23205	90	19.38	449716
	Budama			13076	28500	22800	80	18.4	419521
Fındık	Kabuk	652803	286697887	698499	566437	453150	80	19.3	8745790
	Budama				2177986	1742389	80	19	33105388
Limon	Budama	475159	5529038	236852	88465	70772	80	17.6	1245582
Portakal	Budama	1180851	11884275	3424439	237686	190148	80	17.6	3346612
Mandarin	Budama	592884	8619163	918970	103430	82744	80	17.6	1456294
Greyfurt	Budama	126285	894293		14309	11447	80	17.6	201466

### 1.3.2 Hayvansal Üretim Sonucunda Arta Kalan Atıklar

Ülkemizde tarımsal üretimin yanı sıra hayvancılıkta önemli bir yer tutmaktadır. Hayvan yetiştiriciliğinin büyük bölümünü inek, koyun ve kümes hayvanları oluşturmaktadır. Hayvan yetiştiriciliğinden sağlanan atıkların modern biyokütle teknolojileri kullanılarak enerjiye dönüştürülmesi söz konusudur. İnek, koyun ve kümes hayvanları atıklarının ısı değerleri sırasıyla yaklaşık 47,8 , 3,6, ve 8,7 milyon GJ/yıl olarak bulunmuştur. Tablo 4’te Türkiye’deki hayvan sayısı, atık miktarı, atıklardan elde edilebilecek biyogaz miktarı ve ısı değerleri verilmektedir [5].

Tablo 4. Türkiye’deki Hayvan Sayısı, Atık Miktarı, Biyogaz Miktarı ve Isıl Değerleri[5].

Hayvan	Hayvan Sayısı	Atık Miktarı (ton/yıl)	Toplam Kuru Gübre Miktarı (ton/yıl)	Kullanılabilirlik (%)	Kullanılabilir Kuru Madde (ton/yıl)	Elde Edilebilir Biyogaz (m <sup>3</sup> /yıl)	Isıl Değeri (MJ/m <sup>3</sup> )	Toplam Isıl Değer (GJ/yıl)
İnek	12838285	127645932	16211033	65	10537172	2107434345	22.7	47838760
Koyun	29903590	24558323	6139581	13	798146	159629101	22.7	3623581
Kümes	264784050	7731694	1932924	99	1913594	382718866	22.7	8687718

### 1.3.3 Orman Ürünleri ve Orman Ürünlerinden Arta Kalan Artıklar

Ülkemizin orman varlığının tespitinde, son yıllardaki değişiklikler göz önüne alınarak yeni bir veri tabanı hazırlanmıştır. Bu veri tabanındaki bilgiler; Orman Bölge Müdürlükleri, İller itibariyle değerlendirilerek, orman işletme şekilleri ve kapalılık durumlarına göre çeşitli tablolar halinde aşağıda gösterilmiştir. Bu veri tabanı sonuçlarına göre, Türkiye’nin toplam arazi varlığı 77 846 000 hektar, ormanlık alanı ise 21 188 747 hektar olduğu tespit edilmiştir. Ormanlık alan miktarı ülke genel toplam alanının % 27,2’si kadardır

Tablo 5. Türkiye Ormanlarında Biyokütle ve Karbon Miktarı[21].

Ağaç Türü Grupları	Servet m <sup>3</sup>	Biyokütle Miktarı ( Ton)				Karbon Miktarı (Ton)		
		Toprak Üstü	Toprak Altı (Kök)	Toprak üstü ölü ve diri örtü	TOPLAM	Toplam Biyokütle İçindeki	Orman Toprağında ki	Toplam Orman Ekosistemindeki
Yapraklı	418503159	334802527	50220379	154009163	539032069	242564431	140687370	383251801
İğne Yapraklı	869621613	493597228	98719446	236926669	829243342	373159504	216432512	589592016
Toplam	1288124772	828399755	148939825	390935832	1368275411	615723935	357119882	972843817

Tablo 6. Türkiye Ormanlarında Biyokütle Artım Miktarı ve Oksijen Üretimi[21].

Ağaç Türü Grupları	Yıllık Cari Artım m <sup>3</sup>	Biyokütle Artım Miktarı ( Ton)			Oksijen Üretimi (Ton)
		Toprak Üstü	Toprak Altı (Kök)	TOPLAM	Toplam Biyokütle İçindeki
Yapraklı	12882173	10305738	1545861	11851599	14221919
İğne Yapraklı	23400118	13281907	2656381	15938288	19125946
Toplam	36282291	23587645	4202242	27789888	33347865

### 1.3.4 Tarım Ürünlerinin İşlenmesi Sonucunda Açığa Çıkan Atıklar

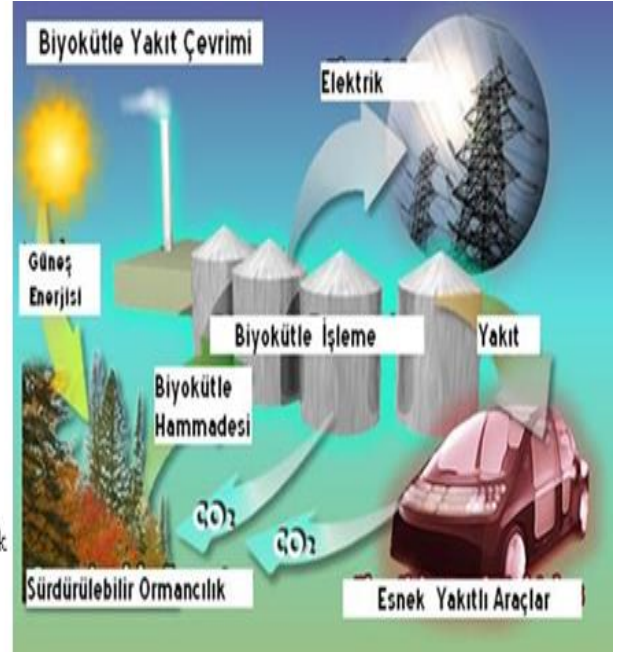
Ülkemizde yapılan tarımsal üretimde tahıllar, yağlı tohumlar ve yumrulu ürünler en yaygın ürünlerdir. Tahıllar Türkiye'nin orta, doğu ve güney bölgelerinde yaygın olarak yetiştirilmektedir. Ayçiçeği ise Trakya bölgesinde yaygındır. Pamuk ve mısır ise güney (güney ve güney batı Anadolu bölgelerinde) ve batı (Ege bölgesi) bölgelerinde yaygın yetiştirilmektedir. Yumrulu bitkiler Marmara (patates) ve İç Anadolu (patates ve şeker pancarı) bölgelerinde yaygındır. Tahminen en yüksek atık miktarı buğday ve arpa yetiştiriciliğinden açığa çıkmaktadır. Bununla birlikte, mısır ve pamuk yetiştiriciliğinden de önemli miktarda atık oluşmaktadır. Türkiye'de yıllık toplam tarımsal atık miktarı yaklaşık olarak 50-65 Mtep'dur. Atıklar tarımsal üretimden sonra tarlada bırakılır. Tahıl samanı çeşitli amaçlar için kullanılır. Örneğin hayvan yemi ve hayvan altlığı olarak kullanılır. Endüstriyel tarımsal ürünlerin üretiminden kalan başlıca atıkları tarlaya bırakılır. Bunlar; pamuk sapı, mısır sapı, ayçiçeği sapı, saman ve tütün sapı vb atıklardır [5].

## 1.4 BİYOKÜTLE ÇEVİRİM TEKNOLOJİLERİ

Biyokütle materyalleri biyokütle çevirim teknikleri ile işlenerek katı, sıvı ve gaz yakıtlara çevrilir. Çevirim sonunda biyodizel, biyogaz, biyoetanol, pirolitik gaz gibi ana ürün olan yakıtların yanı sıra, gübre, hidrojen gibi yan ürünler de elde edilmektedir. Biyokütleden enerjinin yanısıra, mobilya, kağıt, yalıtım malzemesi yapımı alanlarında da yararlanılmaktadır.

Biyokütle Kaynakları Kullanılan Çevirim Teknikleri, Bu Teknikler Kullanılarak Elde Edilen Yakıtlar Ve Uygulama Alanları;

Biyokütle	Çevrim Yön.	Yakıtlar	Uygulama alanları
• Orman atıkları	Havasız Çürütme	Biyogaz	Elektrik üretimi, ısınma
• Tarım atıkları	Piroliz	Etanol	Isınma, ulaşım araçları
• Enerji bitkileri	Doğrudan yakma	Hidrojen	Isınma
• Hayvansal atıklar	Fermantasyon, havasız çürütme	Metan	Ulaşım araçları, ısınma
• Çöpler (organik)	Gazlaştırma	Metanol	Uçaklar
• Algler	Hidroliz		Sentetik yağ, Roketler
• Enerji ormanları	Biyofotoliz	Motorin	Ürün kurutma
• Bitkisel ve Hayvansal yağlar	Esterleşme reaksiyonu	Motorin	Ulaşım araçları, ısınma, seracılık



Şekil-4[19]

### 1.4.1 Doğrudan Yakma

Bilinen en eski yöntemdir. Bu alanda verim yükseltme çalışmaları sürdürülmektedir.

Çeşitli ön hazırlama işlemleri uygulanmaktadır:

Nem düşürme, (Nem yükseldikçe ısıl değer azalır. Farklı yakma sistemleri tasarımları kullanılmaktadır. Örneğin; Akışkan yatak sistemleri. Her türlü biyokütle kaynağını doğrudan yakmak mümkündür[6].

### 1.4.2 Piroliz

Organik maddenin oksijensiz veya stokiometrik oranın altında oksijen ortamında ısıtılarak katı, sıvı ve gaz bileşenlerinin ayrı ayrı elde edilmesidir. Termokimyasal bir prosestir. Doğrudan sıvılaştırma yöntemi olarak adlandırılır. Biyokütle termal dönüşüm yöntemlerinden en verimli ve ekonomik olanı pirolizdir.

Pyrolysis pyro=ateş + lysis = Ayırıştırma

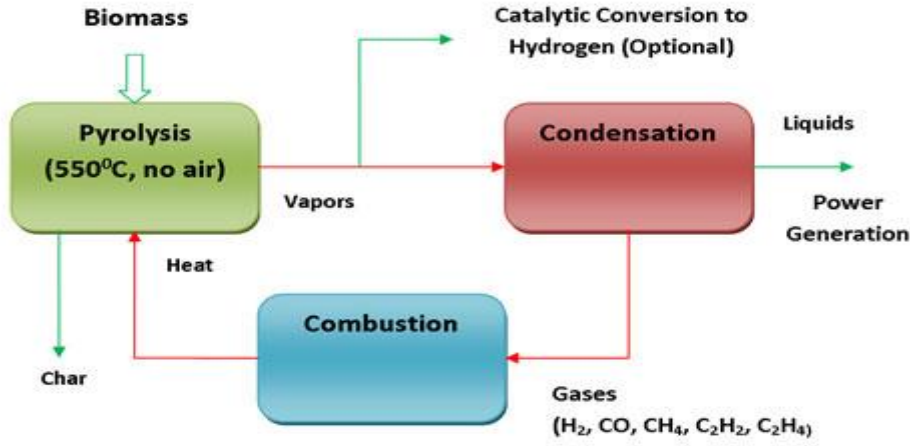
Oksijensiz ortamda ısıtma ⇒ (Vakum veya N, He gibi inert gaz ortamı olabilir), Sıcaklık ~ (300-650)°C

Piroliz İşlemi Sonrasında Elde Edilen Ürünler

- Gaz-CH<sub>4</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, Su buharı gibi gaz bileşenleri
- Sıvı-Biyoyağ (Bio-oil)
- Katı-Char (Karbonca zengin)

Gaz, sıvı ve katı ürünlerin dağılımı kullanılan biyokütle çeşidine (tür, tane yapısı), reaksiyon parametrelerine (ısıtma hızı, kalma zamanı, sıcaklık, basınç, katalizör) bağlıdır[6].

#### BIOMASS LIQUEFACTION via PYROLYSIS



Şekil-5[6]

Isıl Değer Karşılaştırma

- Doğal gaz- 40 MJ/m<sup>3</sup>
- Biyoyağ -13-18 MJ/kg
- Piroliz gazı- 11-20 MJ/m<sup>3</sup>

Randıman olarak, biyokütlenin doğrudan yanmasından elde edilen ısı ile ikincil yakıt ürünlerin yanmasından elde edilen ısı değerlerinin karşılaştırılmasında %80–90'a çıkan bir fark bulunmuştur[6].

### 1.4.3 Gazlaştırma

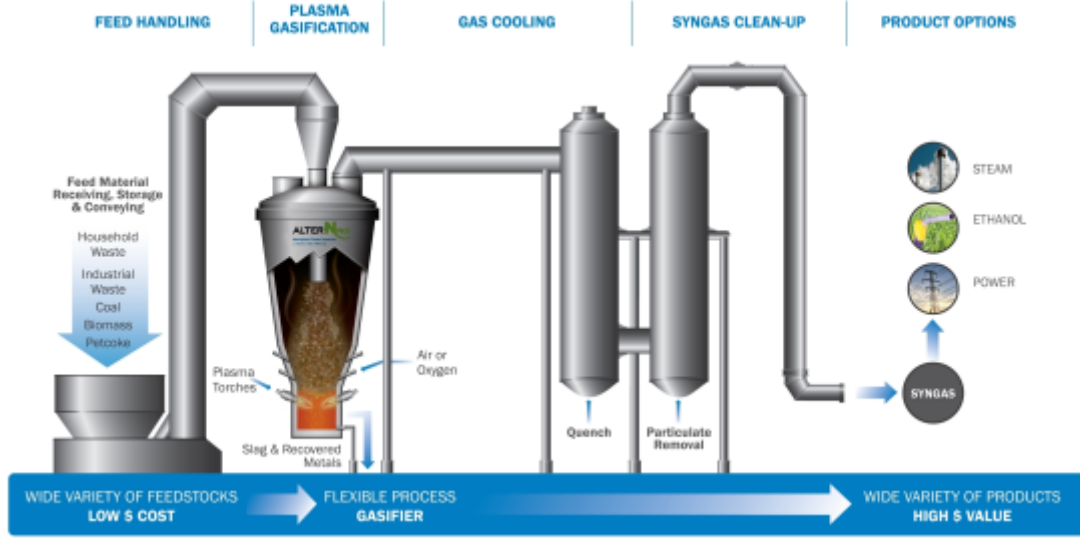
Gazlaştırma prosesinde amaç CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> verimini artırmaktır. Pirolizin farklı bir şeklidir, yüksek sıcaklıklara çıkarılır. Isıtma 1000°C' a kadar çıkıldığında C su buharıyla tepkimeye girerek CO ve H<sub>2</sub> üretilir. Basıncın artması CH<sub>4</sub> verimini artırır. Sıcaklığın artması CO ve H<sub>2</sub> verimini artırır[6].

Gazlaştırma İşlemi

- 1) Biyokütle gerekli ön işlemlerden sonra gazlaştırıcıya beslenir
- 2) Gazlaştırıcıda gerekli sıcaklık ve basınç altında reaktan gazlar da kullanılabilir. (Reformlama)
- 3) Katı, sıvı, gaz ürünler elde edilir.

Reaktan gazlar: Su buharı, Su buharı-Oksijen, Su buharı-hava (reformlama)

Stokiyometrinin altında oksijen kullanımı yöntemi ile gazlaştırma yapılır. (kısmi oksitleme)



Şekil-6[6]

#### 1.4.4 Karbonizasyon

Biyokütlenin oksijensiz veya stokiometrik oranın altında bir ortamda ısıtılarak, gaz, sıvı ve katı ürünlerine ayrılması işlemi. amaç katı verimini arttırmak olduğundan char(kok) elde edilir. Biyokütleden kaliteli en basit dönüşüm şeklidir. Düşük ısıtma hızlarında, havasız ortamda, uzun süre bekletme (~300°C)[6].

#### 1.4.5 Havasız Çürütme

Biyolojik bir işlemdir. Bu basit ve ucuz yöntem, biyokütlenin oksijensiz ortamda farklı mikroorganizma gruplarının varlığında ayrışması işlemidir.

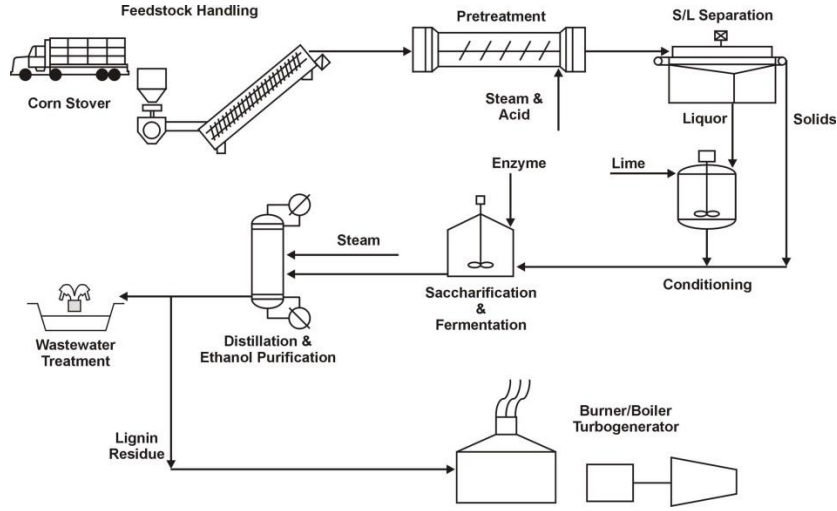
- Gaz yakıt ve gübre
- CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>
- Az miktarda H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>

Elde edilen yakıt biyogazdır [6].

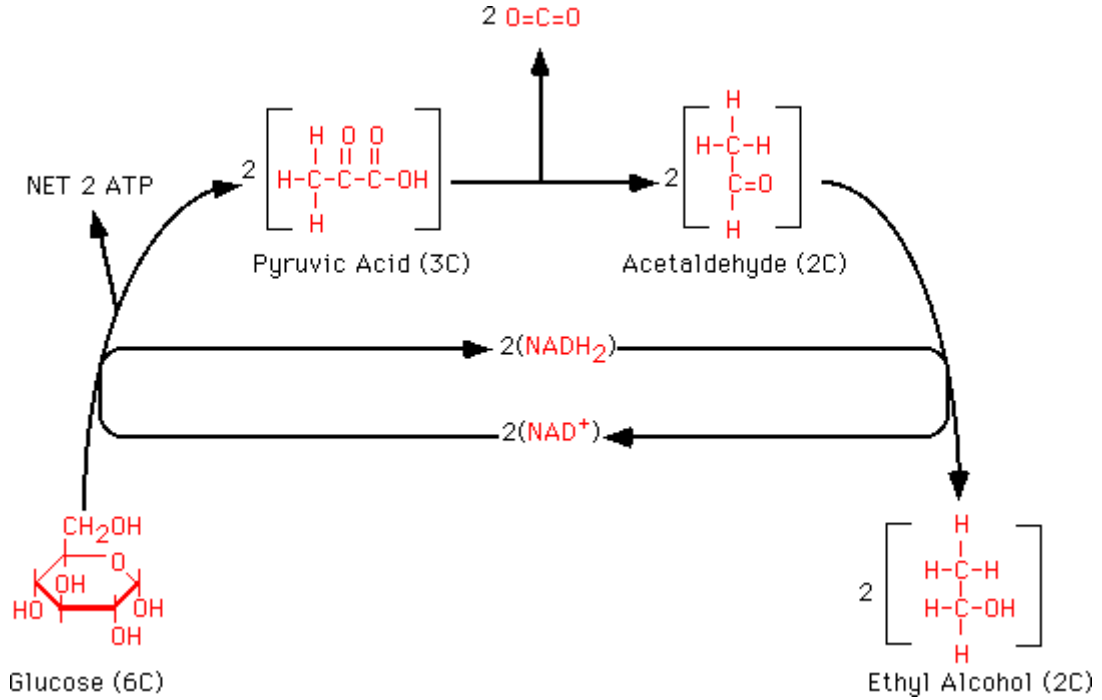


## 1.4.6 Fermantasyon

Glikozun alkole dönüştüğü reaksiyonlar zinciridir. Şekerli ve nişastalı bitkiler, lignoselülozik bitkiler (odunsu biyokütle)'e uygulanmaktadır. Ön işlemler/Hidroliz/Fermantasyon ile glikoz fermantasyonu gerçekleştirilir. Biyoetanol (Yakıt alkolü) elde edilir[6].



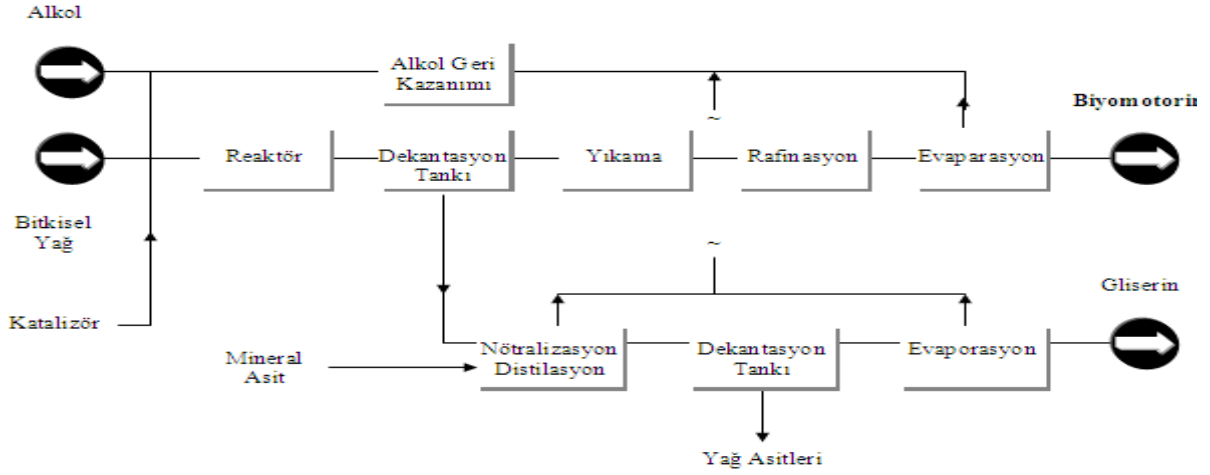
Fermentasyon ile Biyoetanol Üretim İşlemi Şekil-7[6]



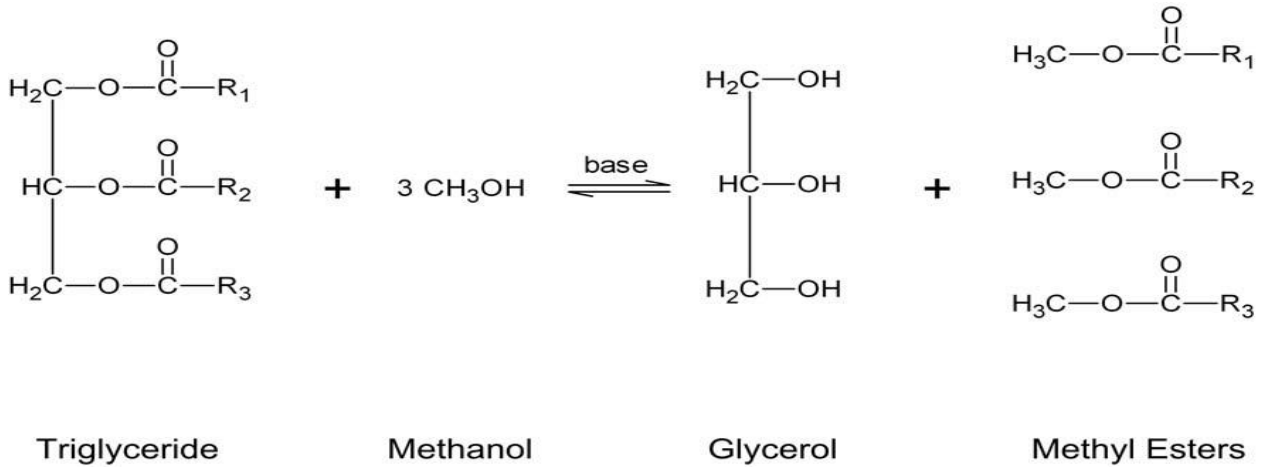
Fermentasyon İşleminin Kimyasal Gösterimi Şekil-8 [6]

## 1.4.7 Esterifikasyon

Yağ asitlerinin asidik veya bazik ortamda kısa zincirli bir alkol ile (metanol, etanol gibi) reaksiyonudur. Bu reaksiyon sonucu alkol esteri (metil veya etil esteri gibi) ve gliserin oluşur. Çok fazla gliserin açığa çıkar ve gliserin safsızlıklar içerir, saflaştırma işlemi ise oldukça maliyetli bir işlemdir. Biyodizel elde edilir[6].



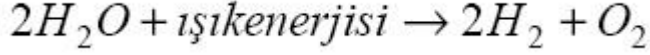
Esterifikasyon İşlemi ile Biyodizel Üretimi İşlemi Şekil-9[6]



Esterifikasyon İşleminin Kimyasal Gösterimi Şekil-10[6]

### 1.4.8 Biyofotoliz

Fotosentetik reaksiyon zincirlerinden oluşur. Bazı mikroskobik alglerden güneş enerjisi yardımıyla hidrojen elde edilme işlemidir. Deniz suyu içindeki bu algler bir tür güneş pili gibi çalışarak deniz suyunu fotosentetik olarak ayrıştırmaktadır. Elde edilen yakıt biyohidrojenidir[6].



## 1.5 BİYODİZEL

### 1.5.1 Biyodizel ve Çevre

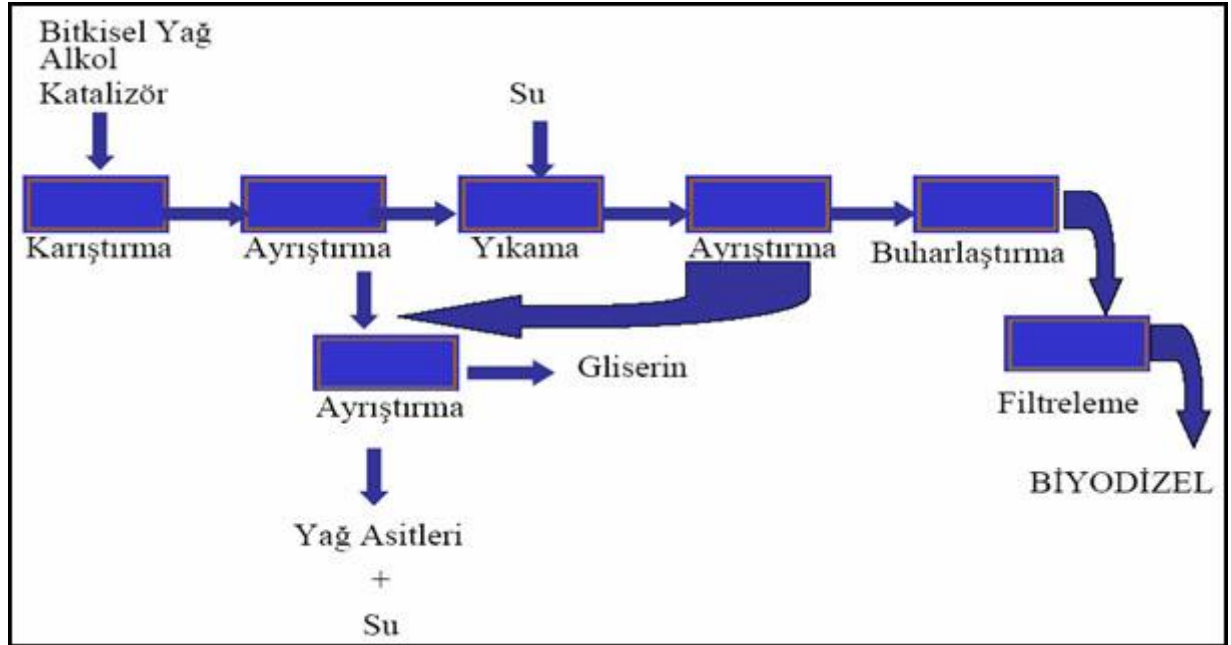
1. Biyodizelin çevre açısından en önemli avantajlarından biri yenilenebilir hammaddelerden elde edilerek sürdürülebilir bir enerji potansiyeline sahip olmasıdır[8].
2. Doğada biyolojik olarak hızlı ve kolay bozunabildiği için birikerek toksik etki yaratmamaktadır. Yapılan çalışmalarda biyodizelin suda 28 günde %95'inin, dizelin ise %40'ının bozunabildiğini gösterilmiştir[8].
3. Atık bitkisel ve hayvansal yağlardan üretilebildiği için oluşan atık miktarı azaltılabilir. Böylece biyodizel üretimi, atıklardan enerjinin geri kazanıldığı çevre dostu bir proses olarak görülebilir[8].
4. Biyodizel emisyonları kimyasal olarak dizelden farklıdır; genellikle daha düşük CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, poliaromatik ve partiküler madde emisyonları içerir. AB tarafından yayınlanan araştırma raporu sonuçlarına göre; 1 litre dizel tüketiminden 3.2 kg CO<sub>2</sub> emisyonu meydana gelirken, biyodizel tüketiminde bu miktar 0.7 kg/L seviyesine kadar düşmektedir[8].
5. Sera gazları içinde büyük bir orana sahip olan CO<sub>2</sub> dünyanın en önemli çevre sorunlarından biri olan küresel ısınmaya neden olmaktadır. Yine CO<sub>2</sub> ile birlikte yanma sonucu açığa çıkan ve sera gazları arasında yer alan CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, emisyonları da sera gazı etkisini hızlandırmakta ve insan sağlığını tehdit etmektedir. Biyodizel, tarımsal bitkilerden elde edilmesi nedeniyle, biyolojik karbon döngüsü içinde, fotosentez ile CO<sub>2</sub>'i dönüştürüp karbon döngüsünü hızlandırdığı için sera etkisini artırıcı yönde etki göstermez. Ayrıca CO, SO<sub>x</sub> emisyonlarının, partikül madde ve yanmamış hidrokarbonların (HC) daha az salındığı kanıtlanmıştır[8].
6. Biyodizelin NO<sub>x</sub> emisyonları dizel yakıtına göre daha fazladır. Emisyon miktarı motorun biyodizel yakıtına uygunluğuna bağlı olarak değişir. NO<sub>x</sub> emisyonlarının %13 oranına kadar arttığı test edilmiştir. Bununla birlikte biyodizel kükürt içermez. Bu yüzden NO<sub>x</sub> kontrol teknolojileri biyodizel yakıtı kullanan sistemlere uygulanabilir. Konvansiyonel dizel yakıtı kükürt içerdiği için NO<sub>x</sub> kontrol teknolojilerine uygun değildir[8].
7. Ozon tabakasına olan olumsuz etkiler biyodizel kullanımında dizel yakıtına nazaran % 50 daha azdır. Asit yağmurlarına neden olan kükürt bileşenleri biyodizel yakıtlarda yok denecek kadar azdır[8].
8. Biyodizel yakıtlarının yanması sonucu ortaya çıkan CO (zehirli gaz) oranı dizel yakıtların yanması sonucu oluşan CO oranından %50 daha azdır[8].

## 1.5.2 Biyodizel Üretim Yöntemi

Biyodizel üretiminin çeşitli metodları olmakla birlikte, günümüzde en yaygın olarak kullanılan yöntem transesterifikasyon ( alkoliz ) yöntemidir. Transesterifikasyon reaksiyonunda hammadde olarak kullanılacak yağ, monohidrik bir alkolle ( etanol, metanol ), katalizör (asidik, bazik katalizörler ile enzimler) varlığında ana ürün olarak yağ asidi esterleri ve gliserin vererek esterleşir. Ayrıca esterleşme reaksiyonunda yan ürün olarak mono ve di gliseridler, reaktan fazlası ve serbest yağ asitleri oluşur[9].

Biyodizel üretiminde, kanola(kolza), ayçiçek, soya vb. yağlı tohum bitkilerinden elde edilen bitkisel yağlar, atık kızartmalık yağlar ve hayvansal yağlar ile alkol olarak metanol, katalizör olarak alkali katalizörler ( sodyum hidroksit, potasyum hidroksit ve sodyum metilat) tercih edilmektedir[9].

### Biyodizel Üretim Aşamaları:



Şekil-11[9]

**1. Alkol ve katalizörün karıştırılması:** Katalizör olarak; sodyum hidroksit, potasyum hidroksit veya sodyum metilat kullanılmaktadır. Katı katalizör kullanımında, katalizör metanol içerisinde eritilerek hazırlanan metoksit çözeltisi kullanılır. Katalizör olarak kullanılan sodyum metilat, metil alkol içerisinde % 30'luk konsantrasyona sahiptir[9].

**2. Reaksiyon:** Metoksit çözeltisi (alkol ve katalizör karışımı) kullanılacak olan ham yağ ile birlikte reaksiyonun yapılacağı hazne (reaktör) içerisine konulmaktadır. Alkol kaybının önlenmesi için reaktörün tamamen atmosfere kapalı olması gerekir. Reaksiyonun tamamlanabilmesi için uygun sıcaklık ve uygun karıştırma yöntemi gerekmektedir. Kullanılan sistemlere göre değişmekle birlikte reaksiyon 55-65 °C sıcaklıkta, 1-2,5 saat arasında gerçekleşmektedir. Modern sistemlerde reaktörde kullanılan turbo mikserler ve sonik aygıtlar sayesinde reaksiyon süresi daha da kısaltılabilmektedir[9].

Reaksiyonla oluşan su, biodizel üretiminde transesterifikasyon (ester oluşum reaksiyonu) reaksiyonunun ilerleyişini durdurmaktadır. Biodizel üretiminde karşılaşılan en büyük problemlerden biri yan ürün olarak sabun oluşmasıdır. Biodizel reaksiyon ortamında su bulunması yan ürün olarak sabun oluşmasını tetikler. Eğer optimum reaksiyon koşulları sağlanamaz ve katalizör gerekli etkinliği gösteremezse oluşan gliserin ortamdaki serbest yağ asitleri ile reaksiyona girip mono- digliserid oluşturabilir. Oluşan mono- digliserid , elde edilmek istenen ürünün saflığını bozar. Aynı şekilde; yeterli etkinlik sağlanamadığında reaksiyon ortamında biodizele dönüşmemiş yağ kalabilmektedir. Bu da biodizelin içindeki trigliserid miktarını arttırdığından dolayı TSE standardında ürün oluşumunu engellemektedir[9].

**3. Dinlendirme ile Biyodizel-Ham Gliserin Ayrışması:** Reaksiyon tamamlandıktan sonra iki ana ürün ortaya çıkar: Biyodizel ve gliserin. Her biri reaksiyonda kullanılan miktardan artı kalan önemli miktarda metanol içerir. Gliserin fazının yoğunluğu, biyodizel fazınınkinden çok daha fazla olduğundan bu iki faz gravite ile ayrılabilir. Biyodizel ve ham gliserinin birbirinden ayrışması için 6-10 saat civarında dinlendirme işlemine tabii tutulması gerekmektedir. Kullanılan biyodizel üretim proseslerine göre dinlendirme işlemi, daha uzun veya daha kısa sürede tamamlanabilir. Dinlendirme yapılan haznedeki alta çöken ham gliserin kolayca çekilebilir. Modern sistemlerde dinlendirme yapmadan biyodizel ve ham gliserin separatör yardımı ile de ayrıştırılmaktadır[9].

**4. Alkol Bertarafı ve Nötralizasyon:** Gliserin ve biyodizel fazları ayrıldıktan sonra, her iki ürün içerisinde de metanol kalmıştır. Biyodizel içerisindeki alkolün uzaklaştırılması için vakum evaporasyon işlemi uygulanmalıdır. Sıcaklığın ise reaksiyon sıcaklığında olması önerilir. Bu aşamada nötralizasyon işlemine gerek duyulabilmektedir. Reaktördeki katalizörün inaktive edilmesi sulu asit kullanımı ile gerçekleşmektedir. Asit ve asidin içereceği su miktarı, biyodizel içerisindeki katalizör ve sabun miktarına göre ayarlanmalıdır[9].

**5. Yıkama ve Kurutma işlemi:** Gliserinden ayrıldıktan sonra biyodizel içerisinde kalan katalizör, sabun, gliseridler ve safsızlıkları uzaklaştırmak amacıyla yıkama işlemine tabii tutulur. Yıkama işleminde günümüzde iki yöntem kullanılmaktadır: Sulu yıkama ve kuru yıkama. Sulu yıkama: saf veya yumuşak su ile; kuru yıkama: magnesol ile yapılmaktadır. Sulu yıkamalarda yıkama suyu alındıktan sonra biyodizelin kurutulması gereklidir. Biyodizel içerisinde artı kalan su ve alkol, vakum evaporasyon işlemi ile bertaraf edilmektedir. Yıkama sonunda ortaya çıkan atık suyun, ne şekilde bertaraf edildiği çevre açısından oldukça önemlidir. Kuru yıkama işlemi yüksek sıcaklık altında, vakum tanklarda yapılmaktadır. Bu nedenle artı kalan su ve alkol zaten bertaraf edildiğinden tekrar kurutma işlemi yapılmamaktadır. Kurutma yapılan (sulu yıkama) veya yapılmayan (kuru yıkama) biyodizel filtre edilerek kullanıma hazır hale getirilir. Nihai biyodizel uygun koşullardaki depolama tanklarında muhafaza edilir[9].

### 1.5.3 Biyodizelin Avantajları Dezavantajları

#### Biyodizelin Avantajları

1. Biyolojik olarak kolay ayrışabildiği ve toksik olmadığı için biyodizelin kullanımı daha güvenlidir[10].
2. Yenilenebilir bir kaynaktır ve yerel imkanlarla üretilebilir[10].
3. Petrole bağımlılığı azaltması nedeniyle ekonomik ve stratejik olarak katkı sağlar[10].
4. Kırsal kesimin sosyo-ekonomik yapısında iyileşme sağlar ve bu sayede kırsal alandan kentlere göçün önlenmesine katkıda bulunur[10].
5. İş imkanı sağlar, yan sanayinin gelişmesine katkıda bulunur [10].

6. Petrol yüzünden çıkan devletlerarası sorunlar, devletlerin bir nevi kendi petrolünü üretmeleri sayesinde kısmen çözülmüş olacaktır[10].
7. Biyodizel üretiminin artmasıyla petrol fiyatlarındaki anormal artışlar, talebin bir kısmının veya tamamının biyodizelle karşılanması ile önlenmiş ve bu sayede ulaşım, ısınma, tarımsal ve endüstriyel üretim maliyetlerinin kontrol altına alınmasıyla enflasyon artışı belli ölçüde kontrol altında tutulmuş olacaktır[10].
8. Gübre, küspe ve gliserin gibi yan ürünlerle tarım ve sanayiye katkı sağlar[10].

### **Biyodizelin Dezavantajları**

1. Isıl değeri petrodizele göre bir miktar daha düşüktür. Bu durum motordaki yanma sonucunda azda olsa güç düşüşüne neden olmaktadır[10].
2. Soğuk hava şartlarından petrodizele göre daha çabuk etkilenir. Özellikle bulutlanma daha erken görülmektedir. Bu durum biyodizelin soğuk iklim bölgelerinde kullanımını sınırlandırıcı bir faktördür. Bunu aşabilmek için B20 (% 20 biyodizel ve % 80 dizel karışımı) kullanım formu tercih edilmektedir[10].
3. NOx emisyonları petrodizele göre bir miktar yüksektir[10].
4. Yakıt tüketimi hacim esasında % 11, ağırlık esasında ise % 5–6 daha fazla olmaktadır,
5. Saf biyodizel (B100) kullanımında motor malzemelerinin (özellikle yakıt sistemindeki hortum, bağlantı elemanı ve contalar) biyodizele uygun seçilmesi, uygun değilse değiştirilmesi gerekmektedir[10].
6. Tarım arazilerinde gıda üretimi için ayrılan arazilerin bir kısmının daha çok kar elde edileceği düşünülerek yağ bitkisi tarımına ayrılması ile az gelişmiş ülkelerde gıda fiyatlarında artış ve gıda temininde zorluk yaşanması muhtemeldir[10].

## **1.6 BİYOETANOL**

### **1.6.1 Biyoetanolün Çevresel Özellikleri**

1. Biyoetanol yakıt içindeki oksijen seviyesini arttırmanın en kolay şeklidir. Yakıtın oksijen seviyesini arttırarak, yakıtın daha verimli yanmasını sağlayarak, egzoz çıkışındaki zararlı gazları azaltır [11].
2. Biyoetanol yakıtlarda oktan arttırmak amacı ile kullanılan benzen, metil tersiyer bütil eter (MTBE) gibi kanserojen maddelerin çevreci alternatifidir [11].
3. Biyoetanol egzoz emisyonlarını azaltır[11].
4. Biyoetanol karışımları, ozon tabakasının azalmasına yol açan, hidrokarbon emisyonlarında büyük ölçüde düşüş sağlar[11].
5. Yüksek seviyeli biyoetanol karışımları azot oksit emisyonlarında 20%'e kadar düşüş sağlar[11].
6. Yüksek seviyeli biyoetanol karışımlarının kullanılması ile Uçucu Organik Madde (VOCs)'lerde

30% ve üstü azalma sağlanmaktadır (VOC's yer seviyesi ozon tabakasının oluşmasının en önemli sebeplerindendir) [11].

7. Biyoetanol kanserojen etkisi bulunan benzen ve butadin emisyonlarını 50% oranında azaltır[11].
8. Biyoetanol, sülfür dioksit ve partikül emisyonlarında belirgin bir düşüş sağlar[11].



Şekil-12[11]

## 1.6.2 Biyoetanolün Avantajları Dezavantajları

### Biyoetanolün Avantajları

İçeriğindeki oksijen sebebiyle daha verimli ve temiz bir yanma sonucu oluşan çevreye zararlı gazların emisyon değerlerini düşürür. Hava kirliliğinin azaltılmasına katkıda bulunur. Biyoetanolün talebinin artmasıyla hammadde olarak kullanılan bitkilerin değeri artacak, bu da ekonomiyi geliştirecek ve tarımsal alanda daha geniş piyasa imkânları yaratacaktır. Kullanım oranı kadar benzinle ikame edilebileceğinden ekonomiye katkı sağlayacaktır. Biyoetanolün oktanı benzinden daha yüksektir. Yüksek oktan ise, daha fazla basınç meydana getirerek motorun ısı verimini yükseltir. Hammadde kullanımında yut içi kaynaklar değerlendirildiğinde stratejik bir yakıt olacak ve ithal yakıtı bağımlılığın azaltılmasını sağlayacaktır.

### Biyoetanolün Dezavantajları

Biyoetanol ile ilgili olarak, uzun süreli depolamalarda sorunlar yaşanabilir. Hareketsiz kalan biyoetanol ve depoda bulunabilecek su, benzinden ayrışıp deponun dibine çökebilmektedir. Bunu önlemek için depolama öncesinde yakıt sistemi tamamen boşaltılarak temizlenmelidir. Ayrıca, boşaltma sonrasında yakıt deposuna bir benzin stabilizörü de koyulabilir. Biyoetanol kullanılan araçlarda, soğuk havalarda çalışma zorlaşırken, sıcak havalarda buhar tıkaçı oluşması olasılığı da vardır.

## 1.6.3 Biyoetanol Üretimi

Biyoetanol üretimi; nişastanın önce şekere, daha sonra da şekerin doğrudan fermente edilmesiyle biyoetanolle dönüştürülmesi ile sağlanır. Biyoetanol üretimini üç aşamada ele alabiliriz;

**HAZIRLAMA**  
**FERMANTASYON**  
**DİSTİLASYON**

## **1-HAZIRLAMA**

Hazırlama sürecinde biyoetanol üretimi için kullanılacak olan nişasta kaynağı (buğday, mısır, şeker pancarı vb.) çekiçli değirmenden geçirilerek öğütülür ve enzim yardımı ile hücresel yapısı parçalanır (liquefying enzyme). Bu şekilde içindeki nişastanın ortaya çıkması ve biyoetanol üretimi için daha iyi bir verim elde edilmesi sağlanır[12].

Ortaya çıkan bu nişasta bir başka enzim yardımı ile şekere çevrilir (saccarification enzyme) [12].

Üretimin bu noktasında parçalanmış nişasta kaynağı, enzim ve sudan oluşmuş bir bulamaç halindeki sıvı, içine maya konularak bir sonraki işlem olan fermantasyon ünitesine aktarılır[12].

## **2-FERMANTASYON**

Fermantasyon sürecinde eklenen maya bulamaçta bulunan şeker moleküllerini biyoetanol moleküllerine çevirir. Bu işlem 60 – 80 saat arası sürer. Mayanın yüksek verimle çalışması için gereken koşullar bu süre boyunca denetlenir[12].

Fermantasyon sonunda bulamacın içinde %10-12 arası biyoetanol elde edilmesi hedeflenir. Ayrıca fermantasyon süresince açığa çıkan karbondioksit de ayrılmış olur[12].

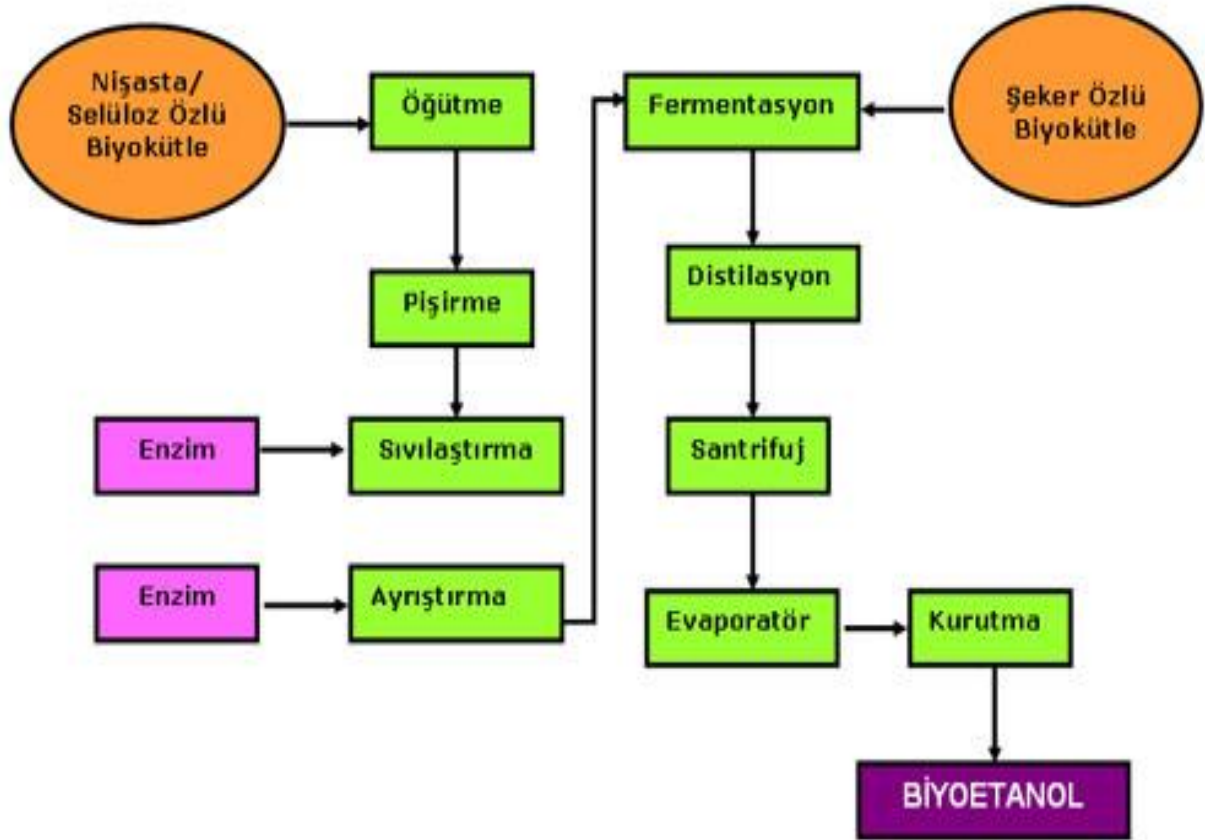
## **3-DİSTİLYASYON**

Fermantasyon sonucu elde edilen bulamaç distile edilerek içindeki biyoetanol ayrıştırılır. Bu ayrıştırma işlemi distilasyon kulelerinde sıvının ısıtılması ile sağlanır[12].

Distilasyon sonucu %95-96 oranında biyoetanol, fermantasyondan gelen bulamaçtan ayrıştırılmış olur[12].

Ayrıştırılan bu biyoetanol içindeki su, moleküler elek teknolojisi yardımı ile süzülerek biyoetanollün saflığını %99,80-99,95'e kadar yükseltilir[12].





Şekil-13[12]

## 1.7 BİYOGAZ

### 1.7.1 Biyogaz Nedir?

Biyogaz, biyokütlenin işlenmesi sonucunda elde edilen yanıcı bir gazdır. Biyogaz, yanıcı diğer gazlardan (örneğin doğalgaz) farklı olarak sadece hayvansal veya bitkisel, yani organik hammaddelerden elde edilmektedir: Biyolojik atıklar, gıda sanayii kaynaklı organik atıklar, mısır veya şeker pancarı gibi enerji bitkileri ile hayvan besiciliğinde oluşan hayvansal dışkıları biyogaz tesislerinde substrat olarak kullanılabilir[15].

Biyokütlenin biyogaz tesisinde işlenmesinin başlıca süreçleri, kullanılan substratların bileşiminden bağımsız olarak şu şekilde tarif edilebilir:

Bakteriler ve başka mikro organizmalar kullanılarak biyogaz tesislerinde biyokütle ayrıştırılır. Bu çok aşamalı fermentasyon sürecinin nihai ürünleri olarak, hava (oksijen) ve ışıktan arındırılmış olan nemli ortamda özellikle metan (% 45-70) ve karbon dioksit (% 25-55) oluşur[15].

Biyogazın enerji olarak kullanılabilirliği öncelikle biyogaz içerisindeki metan oranına bağlıdır. Üretilen biyogaz genelde kombine ısı ve enerji santrallerinde (kojenerasyon), doğrudan lokal çapta kullanılabilen veya elektrik şebekesine verilebilen **elektrik** enerjisine dönüştürülmektedir. Yanma aşamasında ayrıca oluşan **ısının da** tesis yakınındaki binalar veya seraların ısıtılmasında, saman kurutulmasında, süt soğutulmasında veya ahırların iklimlendirilmesinde kullanımı mümkündür[15].

İşletme ekonomisi açısından başarılı olabilmek için elde edilen her iki ürünün de (elektrik ve ısı) kapsamlı bir şekilde kullanılması büyük önem arz etmektedir [15].

### **1.7.2 Biyogaz ve Yan Ürünlerinin Kullanım Alanları**

Biyogaz, çok yönlü bir enerji kaynağı olarak doğrudan ısıtma ve aydınlatma amacıyla kullanıldığı gibi, elektrik enerjisine ve mekanik enerjiye çevrilerek kullanımı da mümkün olmaktadır. Ayrıca biyogaz üretimi sonucu ortaya çıkan yan ürünler de çeşitli amaçlarla kullanılabilir [14].

#### **Biyogazın Isıtmada Kullanılması**

Biyogazın yanma özelliği bileşiminde bulunan metan gazından ileri gelmektedir. Biyogaz hava ile 1/7 oranında karıştığı zaman tam yanma gerçekleşir. Isıtma amacıyla gaz yakıtlarla çalışan fırın ve ocaklardan yararlanılabileceği gibi termosifon ve şofbenlerde biyogazla çalıştırılarak kullanılabilir. Biyogaz, sıvılaştırılmış petrol gazı ile çalışan sobaların meme çaplarında basınç ayarlaması yapılarak kolaylıkla kullanılabilir. Biyogaz sobalarda kullanıldığında bünyesinde bulunan hidrojen sülfür gazının yanmadan ortama yayılmasını önlemek üzere bir baca sistemi gerekli olmaktadır. Bu nedenle, daha sağlıklı bir ısınma için kalorifer sistemleri tercih edilmektedir [14].

#### **Biyogazın Enerji Amaçlı Kullanılması**

Biyogaz hem doğrudan yanma hem de elektrik enerjisine çevrilerek aydınlatmada kullanılabilir. Biyogazın doğrudan aydınlatmada kullanımında sıvılaştırılmış petrol gazları ile çalışan lambalardan yararlanılmaktadır. Bu sistemde aydınlatma alevini arttırmak üzere amiyant gömlek ve cam fanus kullanılmaktadır. Cam fanus ışığı sabitleştirdiği gibi çıkan ısıyı geri vererek alevin daha fazla olmasını sağlamaktadır [14].

#### **Biyogazın Motorlarda Kullanımı**

Biyogaz, benzinle çalışan motorlarda hiçbir katkı maddesine gerek kalmadan doğrudan kullanılabilir gibi içeriğindeki metan gazı saflaştırılarak da kullanılabilir. Dizel motorlarda kullanılması durumunda belirli oranlarda (% 18-20) motorin ile karıştırılması gerekmektedir [14].

### **1.7.3 Biyogaz Sisteminin Avantajları Dezavantajları**

#### **Biyogaz Sisteminin Avantajları**

1. Biyogaz teknolojisi organik kökenli atık/artık maddelerden hem enerji eldesine hem de atıkların toprağa kazandırılmasına imkan vermektedir.
2. Ucuz - çevre dostu bir enerji ve gübre kaynağıdır.
3. Atık geri kazanımı sağlar.
4. Biyogaz üretimi sonucu hayvan gübresinde bulunabilecek yabancı ot tohumları çimlenme özelliğini kaybeder.
5. Biyogaz üretimi sonucunda hayvan gübresinin kokusu hissedilmeyecek ölçüde yok olmaktadır.

6. Hayvan gübrelerinden kaynaklanan insan sağlığını ve yeraltı sularını tehdit eden hastalık etmenlerinin büyük oranda etkinliğinin kaybolmasını sağlamaktadır.
7. Biyogaz üretiminden sonra atıklar yok olmamakta üstelik çok daha değerli bir organik gübre haline dönüşmektedir [14].

### **Biyogaz Sisteminin Dezavantajları**

1. Çevre açısından potansiyel zararlar: Besleme materyalindeki azot, amonyumun organik formuna dönüşmektedir. Amonyum, amonyak veya nitrata dönüşmektedir. Eğer fermente gübrenin saklama koşulları uygun olmazsa, azot ve amonyak emisyonu söz konusu olur. Amonyak fermente gübrenin yüzeysel uygulamalarında da kaybedilebilmektedir. En doğru 9 kullanım şekli, fermente gübrenin toprağın altına enjekte edilmesidir. Nitrat ise toprak altına süzülerek, yeraltı sularının kirlenmesine neden olabilir. Biyogaz sistemlerinde genellikle yüksek oranda su kullanılmaktadır ve fermente gübrenin depolanmasında fazlalık olan suyun deşarj edilmesi sırasında da bu durumla karşılaşılabilir. Yine de mineral ve kompost gübrelere göre nitrat kirlenmesi yaklaşık % 10-20 daha azdır (Easterly ve Lowenstein, 1986; Dalemo vd., 1998; Leggett vd., 2002).
2. Sağlıkla ilgili potansiyel zararlar: Atıklardan kaynaklanan sağlık problemleri, biyogazın zehirlenme, patlama ve yangın riski söz konusudur (Anon., 2000a; Seadi, 2001; Nelson ve Lamb, 2002; Monnet, 2003;). Patojenler ve parazitler, mezofilik ve termofilik reaktörlerde tamamen giderilemezler. Giderim için, enerji gerektiren pastörizasyon işlemine ihtiyaç duyulur. Patojen içeriği yönünden yüksek risk taşıyan atıkların kullanıldığı biyogaz tesislerinde, giderim amacıyla genellikle termofilik sistemler için 70 °C de 0,5 saat, mezofilik sistemler için ise 1 saat ek bekletme uygulanmaktadır (Colleran, 2000)
3. Sosyo-Ekonomik dezavantajlar: Biyogaz tesislerinin ilk yatırım maliyetleri yüksektir. İşletilmesinde özen ve teknik bilgi gereklidir. Periyodik bakım zorunludur (Leggett vd., 2002). Bu yüzden özellikle kırsal kesimde kurulacak biyogaz tesisleri çiftlik sahiplerine ekonomik yük getirmekte ve yaşam tarzlarının değişmesini gerektirmektedir. Ayrıca tesisler, kullanıcıların ellerinde bulunan hayvan sayısının sabit olduğu varsayımı üzerine kurulmaktadır. Fakat atık miktarında düşüş olursa, başka atıkların kullanılmasıyla bu problem çözülebilmektedir (Vijayalekshmy, 1985)

### **1.7.4 Biyogaz Üretiminin Mikrobiyolojisi**

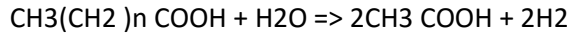
Biyogaz organik maddelerin oksijensiz şartlarda biyolojik parçalanması (anaerobik fermantasyon) sonucu oluşan ağırlıklı olarak metan ve karbondioksit gazıdır. Çeşitli organik maddelerin metan ve karbondioksit dönüşümü karışık mikrobiyolojik flora tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu oksijensiz bozunma sonucunda metan gazı üç aşamalı bir işlem sonucunda oluşur. Oksijensiz bozunmanın (anaerobik fermantasyon) bu üç aşaması aşağıdaki gibi sıralanır [14].

## 1. Fermantasyon ve Hidroliz

Bu aşamada fermentative ve hydrolytic bakteriler olarak isimlendirilen bakteri grupları organik maddenin üç temel ögesi olan karbon hidratları (C<sub>6</sub> H<sub>10</sub> O<sub>5</sub>) n, proteinleri (6C 2NH<sub>3</sub> 3H<sub>2</sub>O) ve yağları (C<sub>5</sub> OH<sub>90</sub> O<sub>6</sub>) parçalayarak CO<sub>2</sub>, asetik asit ve büyük bir kısmını da çözülebilir uçucu organik maddelere dönüştürürler. Bu son gruptaki uçucu organik maddelerin büyük bir bölümünün uçucu yağ asitleri olması nedeniyle, bu aşamaya uçucu yağ asitlerinin [CH<sub>3</sub> (CH<sub>2</sub>)<sub>n</sub> COOH] oluşum aşaması adı da verilir [14].

## 2. Asetik Asidin Oluşumu

Bu aşamada, birinci aşama sonucunda açığa çıkan ve uçucu yağ asitlerini asetik aside dönüştüren asetogenik (asit oluşturan) bakteri grupları devreye girmekte ve bir kısım asetogenik bakteriler uçucu yağ asitlerini asetik asit ve hidrojene dönüştürmektedir [14].

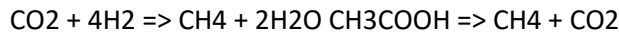


Diğer bir kısım asetogenik bakteri grubu ise açığa çıkan karbondioksit ve hidrojeni kullanarak asetik asit oluşturmaktadır. Ancak bu ikinci yolla oluşan asetik asit miktarı, birinciye oranla daha azdır [14].



## 3. Metan Gazının Oluşumu

Anaerobik fermantasyonun bu son aşamasında metan oluşturan bakteri grupları devreye girmekte, ve bir kısım metan oluşturan bakteriler CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>'yi kullanarak metan (CH<sub>4</sub>) ve suyu (H<sub>2</sub>O) açığa çıkarırlarken, öteki bir grup metan oluşturan bakteriler ise ikinci aşama sonucunda açığa çıkan asetik asidi kullanarak CH<sub>4</sub> ve CO<sub>2</sub> oluşturmaktadırlar.



Ancak bu aşamada birinci yolla oluşan metan miktarı, ikinci yolla elde edilen metan miktarından daha azdır. Üretilen tüm metanın %30'u birinci yolla %70'i ikinci yolla yapılmaktadır [14].

Bu üç aşamada üç değişik bakteri grubu etkinlik göstermektedir. Anaerobik fermantasyonda bekletme süresine, atık su ve atık organik maddelerin türüne, ortamın PH ile içerdikleri iyonlara ve bunlara bağlı olarak oluşan mikroorganizmalar topluluğunun yapısına göre üç değişik sıcaklık bölgesi mevcuttur. Anaerobik fermantasyonun üçüncü aşamasında devreye giren ve metan oluşumunu sağlayan metan bakterileri, fermantasyon ortamının sıcaklığına göre üç gruba ayrılır:

- 1- Psychrophilic (Sakrofilik) Bakteriler Optimum faaliyet sıcaklığı: 5- 25 °C
- 2- Mezophilic (Mezofilik) Bakteriler Optimum faaliyet sıcaklığı: 25- 38 °C
- 3- Thermophilic (Termofilik) Bakteriler Optimum faaliyet sıcaklığı: 50- 60 °C

Sakrofilik bakteriler deniz ve göl diplerindeki tortullar ile bataklıklar, termofilik bakteriler ise yüksek sıcaklıklardaki volkanik ve jeotermal bataklıklar içerisinde yaşamaktadırlar. Bu üç bakteri gurubu ile yapılan fermantasyonda, sakrofilik, mezofilik ve termofilik fermantasyon ile aynı adı almaktadır. Bu bakteri gruplarından 1. ve 3. grupta yer alan sakrofilik ve termofilik bakteriler sığır gübresi içerisinde yaşamamaktadır. Sığır gübresinde mezofilik bakteriler bulunmaktadır. Biyogaz tesisinde sığır gübresi kullanılması durumunda mezofilik fermantasyon uygulanır [14].

Biyogaz üretimi oldukça önemli bir biyolojik süreçtir. Bu nedenle tüm şartların eksiksiz sağlanmasının gerekliliği aksi durumda verimli gaz üretiminin olmayacağı açıktır [14].

Bugün, kurulan bir çok biyogaz tesisinin kullanım dışı kaldığı bilinmektedir. Tüm şartların uygun olduğu durumlar içerisinde kurulması gereken bölgeler için en uygun biyogaz tesis tipi seçilmelidir. Üretilen biyogazın kontentindeki metan gazı üretiminin başarısı bir faktörün etkisi altındadır. Bunlar;

- Ortam sıcaklığı
- Hammaddenin cinsi ve miktarı
- Ortam asitliği (PH)
- Partikül büyüklüğü
- Fermantasyon süresi
- Karbon azot oranı (C/N)
- Tesis tipi
- Kuru madde miktarı

Ortam sıcaklığı, metan gazı oluşumunda en önemli etmendir. Bu nedenle sıcak bölgelerde tesisin başarısı daha yüksek olmaktadır. Metan oluşturan bakteriler ani sıcaklık değişimlerinden, gündüzgece sıcaklık farklılıklarından çok çabuk etkilenmektedir. Anaerobik bakterilerin en önemli besin maddeleri karbon ve azottur. Mikroorganizma karbonu enerji kaynağı olarak kullanırken azotu yeni hücrelerin oluşturulmasında yapı malzemesi olarak değerlendirir. Karbon azota nazaran 25-30 kat daha fazla kullanılır. İdeal karbon/azot oranı 30/1 dir. Bu oran;

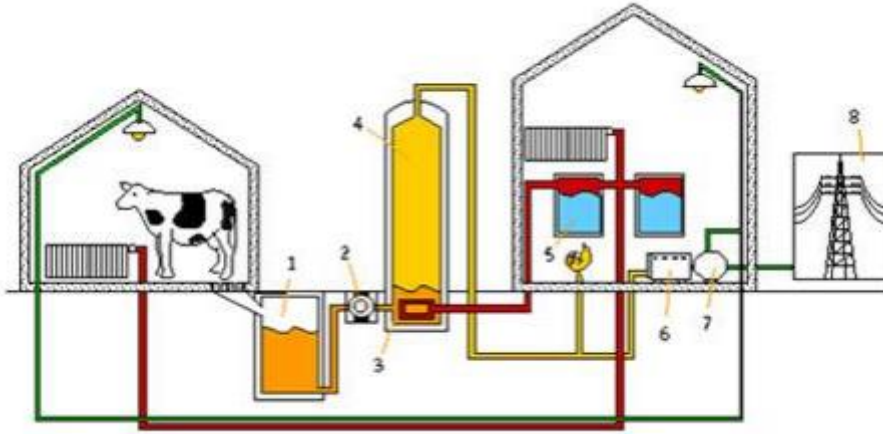
#### **C/N Oranları**

- Buğday sapı: 87/1
- Mısır sapı: 53/1
- Hayvan dışkısı: 29/1

### 1.7.5 Biyogaz'ın Isıl Değeri

1 m<sup>3</sup> BİYOGAZIN SAĞLADIĞI ISI MİKTARI: 4700-5700 kcal/m<sup>3</sup>

- 0,62 litre gazyaęı
- 1,46 kg odun kömürü
- 3,47 kg odun
- 0,43 kg bütan gazı
- 12,3 kg tezek
- 4,70 kWh elektrik enerjisi eşdeęerindedir [14].

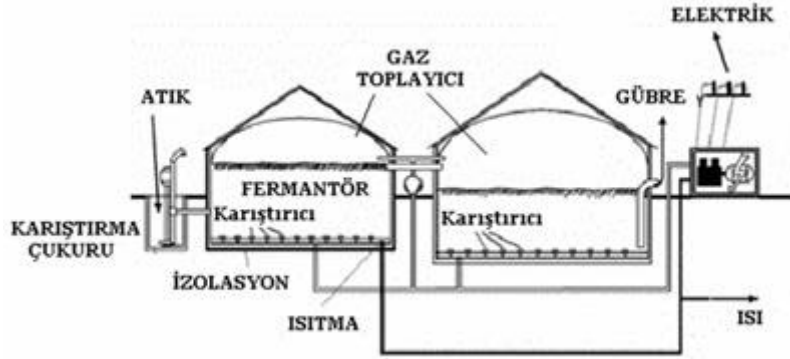


Şekil-14[14]

1 m<sup>3</sup> BİYOGAZA EŞDEĞER YAKIT MİKTARLARI:

- 0,66 litre motorin
- 0,75 litre benzin
- 0,25 m<sup>3</sup> propan [14].

## 1.7.6 Biyogaz Üretim Prosesi



Şekil-15[16]

Organik atıklar belli bir oranda karıştırılır. Oluşan karışımdan direk olarak metan gazı oluşmaz. Organik karışım saprofit bakteriler yardımıyla uçucu yağ asitlerine, uçucu yağ asitleri ise metan gazı bakterileri yardımıyla metan gazına dönüşür. Oluşan gaz filtrelenerek ısı veya elektrik enerjisine dönüştürülüp kullanılır.

## 1.7.7 Biyogaz Üretiminde Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar



Şekil-16[16]

- Fermantörde (üretim tankı-sindireç) kesinlikle oksijen bulunmamalı,
- Antibiyotik almış hayvansal atıklar üretim tankına alınmamalı,
- Deterjanlı organik atıklar üretim tankına alınmamalıdır,
- Ortamda yeni bakteri oluşturulması ve büyümesi için yeterli miktarda azot bulunmalı,
- Üretim tankında asitlik 7,0 - 7,6 arasında olmalı,
- Metan bakterileri için substratta (S) sirke asidi cinsinden organik asit konsantrasyonu 500 - 1500 mg/litre civarında olmalı [16].



**Şekil-17[16]**

- Fermantör sıcaklığı 35 °C veya 56 °C de sabit tutulmalı,
- Üretim tankına ışık girmemeli ve ortam karanlık olmalı,
- Üretim tankında minimum %50, optimum %90 oranında su olmalı,
- Ortamda metan bakterilerinin beslenmesine yetecek kadar organik madde parçalanmış-öğütülmüş olarak bulunmalıdır [16].

### **1.7.8 Biyogaz Tesislerinin Tasarımı ve Tasarımda Dikkate Alınması Gereken Parametreler**

Biyogaz tesisleri planlanan amaca göre farklı teknolojiler kullanılarak inşa edilmektedirler [17].

#### **Biyogaz tesislerinin kapasite olarak sınıflandırılması:**

- Aile tipi : 6 -12 m<sup>3</sup> kapasiteli
- Çiftlik tipi : 50 -100 -150- m<sup>3</sup> kapasiteli
- Köy tipi : 100- 200 m<sup>3</sup> kapasiteli
- Sanayi ölçekli tesisler : 1000 - 10.000 m<sup>3</sup> kapasiteli

Aile tipi biyogaz tesisleri özellikle Çin'de çok yaygın bir şekilde kullanım yerlerine yakın yerlerde kullanılmaktadır. Aile tipi biyogaz tesisleri dışındaki diğer tesislerin çoğunda biyogazın oluştuğu ortamın (fermantör) ısıtılması optimum biyogaz üretimi için gerekli olmaktadır. Biyogaz üretiminde ortam sıcaklığının 35 °C civarında olması istenir. Biyogaz tesislerinde ısı kontrolünün sağlanması amacıyla güneş enerjisinden yararlanılabileceği gibi en pratik ve yaygın kullanılan sistem, tesisin içine yerleştirilen sıcak sulu serpantinlerden yararlanmaktadır [17].

Biyogaz Üretiminde Kullanılan Sistemler Genel Olarak Üç Ayrı Grupta Toplanmaktadır.

#### **1. Kesikli (Batch) Fermantasyon**

Tesisin fermentörü (üretim tankı) hayvansal ve/veya bitkisel atıklar ile doldurulmakta ve alıkoyma - bekletme süresi kadar bekletilerek biyogazın oluşumu tamamlanmaktadır. Kullanılan organik maddeye ve sistem sıcaklığına bağlı olarak bekleme süresi değişmektedir. Bu süre sonunda tesisin fermentörü (reaktörü) tamamen boşaltılmakta ve yeniden doldurulmaktadır [17].

#### **2. Beslemeli - Kesikli Fermantasyon**

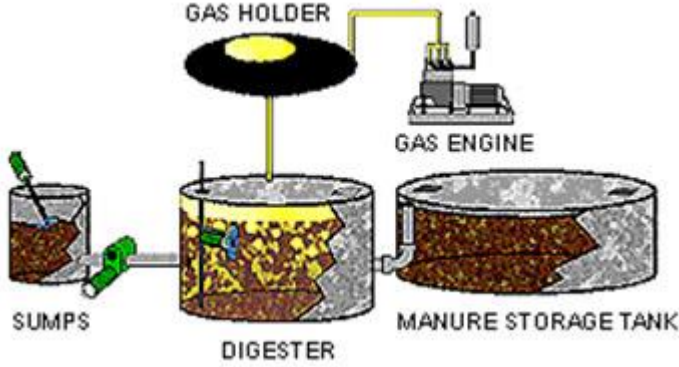
Burada fermentör başlangıçta belirli oranda organik madde ile doldurulmakta ve geri kalan hacim fermantasyon süresine bölünerek günlük miktarlarla tamamlanmaktadır. Belirli fermantasyon süresi sonunda fermentör tamamen boşaltılarak yeniden doldurulmaktadır [17].



### 3. Sürekli Fermantasyon

Bu fermantasyon biçiminde fermantörden gaz çıkışı başladığında günlük olarak besleme yapılır. Sisteme aktarılan karışım kadar gazı alınmış çökelti sistemden dışarıya alınır. Organik madde fermantöre her gün belirli miktarlarda verilmekte, alkoyma süresi kadar bekletilmekte ve aynı oranlarda fermente olmuş materyal günlük olarak fermantörden alınmaktadır. Böylece günlük beslemelerle sürekli biyogaz üretimi sağlanmaktadır [17].

#### Modern Bir Biyogaz Tesisinde Üç Ana Organ Yer Almaktadır:



Şekil-18[17]

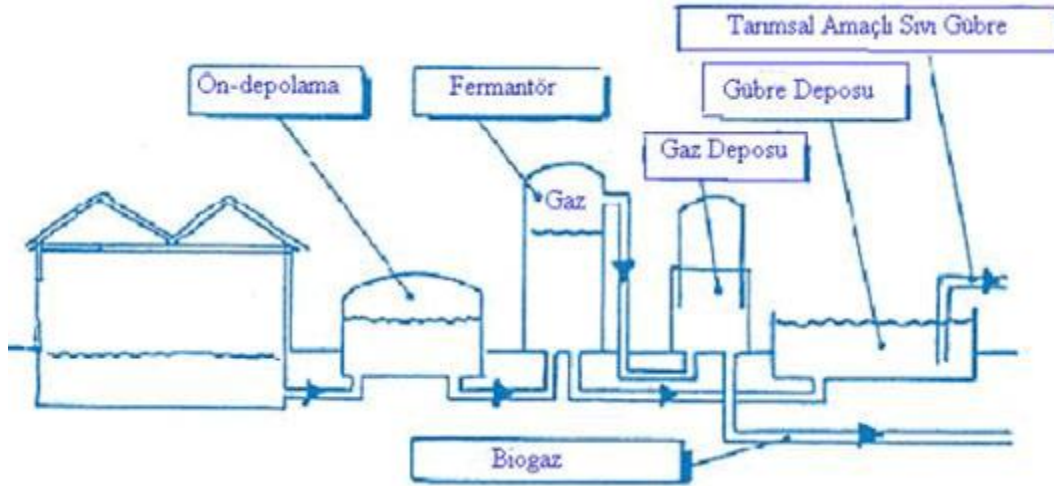
Fermantör - Sindireç (Organik maddenin doldurulduğu tank depo) Bu kısım hava almayacak şekilde tasarlanan ve içerisinde bir karıştırıcı olan tanktır. Ayrıca tankının içerisine bir ısıtıcı yerleştirilmelidir. Biyogazın üretilmesi için fermantör içerisindeki organik madde bulamacının sıcaklığı 35°C 'den az olmamalıdır. Fermantör sıcaklığı düştükçe gaz üretimi de düşmektedir. Ayrıca yine içeriye hava almayacak şekilde fermantörün bir organik madde giriş ağızı birde çıkış ağızı yerleştirilmelidir[17].

Gaz deposu Büyük kapasiteli tesislerde oluşan biyogazı, bir yerde toplamak ve gaz basıncının sabit kalmasını sağlamak için kullanılan depodur. Fermantör üzerinden alınan gaz bir boru ile bu depoya taşınır. Buradan da kullanıma gönderilir. Kullanım fazlası depoda kalır[17].

Gübre (organik madde) Deposu Biyogazın üretilmesi için fermantöre alınacak organik maddenin kuru maddesinin %8'i geçmemesi gerekir. Bunun anlamı, sığır gübresi kullanılacaksa gübrenin bire bir oranında su ile karıştırılması demektir. Bu madde fermantasyon süresi sonunda fermantörden aynı şekilde çıkacaktır. Akışkan durumuna gelmiş olan bu bulamaç halindeki gübrenin depolanması için betondan yapılmış havuz şeklinde bir gübre deposuna ihtiyaç vardır. Bu anlatılan 3 ana organın yanı sıra biyogaz üretim sisteminde; hammadde depolama tankı, gaz boruları-valfleri ve bağlantı ekipmanları, ısıtma sistemleri, pompalar, karıştırıcılar, ısı transfer elemanları, ayırma ve filtrasyon elemanları da kullanılmaktadır[17].

## Biyogaz Üretiminde Karıştırıcıların Önemi

- Metanojenlerin ürettiği metabolitlerin dağıtılması,
- Taze hammaddenin bakteri popülasyonuna homojen olarak karışması,
- Çökelmelere ve heterojeniteye engel olunması,
- Homojen sıcaklık dağılımının sağlanması,
- Bir bakteri popülasyonunun fermantör içinde iyice dağılması,
- Fermantör içinde heterojen ölü bölgelerin oluşmaması. Bu doğrultuda uygun bir karıştırma elemanının seçimi önem kazanmaktadır. Modern biyogaz tesislerinde, daldırılmalı motorlara bağlı mekanik marine tip karıştırıcılar, hidrolik karıştırma sağlayan pompalama sistemleri veya gaz enjeksiyonuyla oluşan pnömatik karıştırma sistemleri kullanılır. Mezofolik ve termofilik sıcaklıkların çevresel olarak sağlanamadığı, özellikle sıcaklığın korunması gereken biyogaz tesislerinde ısı transfer elemanları büyük önem taşırlar. Plakalı ısı değiştiriciler, shelltube ısı değiştiriciler yanında kapalı devre ısı pompaları, güneş enerjili ısıtıcılar kullanılmaktadır. Elde edilen biyogazın kalorifik değerinin artırılması ve korozif özelliğinin giderilmesinde, çevre-insan sağlığı üzerindeki potansiyel zararlarının azaltılması oldukça önemlidir. Ayrıca biyogaz bileşimindeki sülfür oranının %0,05 den daha aşağılara çekilmesi istenir. Bu amaçla fiziksel absorpsiyonu sağlayacak katı ve sıvılar, membran ayırıcıları ve farklı kimyasallar kullanılır. Biyogaz içindeki olası su moleküllerinin tutulmasında ise silika jel, alümina veya moleküler elekler kullanılır. Korozif sülfür ve karbondioksit tutulması için demiroksit kullanımı yaygındır [17].



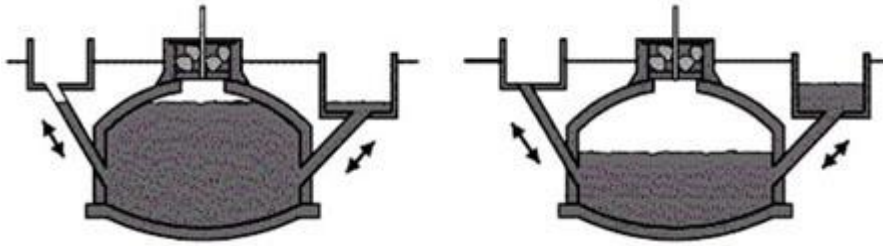
Şekil-19[17]

Bu modern ileri teknoloji uygulamaların dışında uzun yıllardır kullanılan sistemler de mevcuttur. Kırsal kesimler için önerilen ve kısıtlı yerel imkanlarla yapıp kullanılmakta olan bu tür sistemler çok değişik tipte olup genel olarak üç kısımda tanımlanmaktadır;

1. Hareketli kubbeli biyogaz tesisleri
2. Sabit kubbeli biyogaz tesisleri
3. Balonlu biyogaz tesisleri



Şekil-20[17]



Şekil-21[17]

Toprak altına gömülen ve tuğla-beton bir yapıdan oluşan bu tip biyogaz tesisleri fermantörün iyi izolasyonunun sağlanması durumunda kırsal kesimler için ideal bir biyogaz tesisidir[17].

#### **Tesis Tasarımında Dikkate Alınacak Hususlar**

Uygun hammadde miktarı , Hammaddenin cinsi ve özellikleri,Isıtma ihtiyaçları ,Karıştırma ihtiyaçları ,Kullanılacak malzeme ve ekipmanların cinsi ,Tesisin kurulacağı yerin seçimi ,Tesis inşaatı ve tesisin yalıtımı,Tesisin ısıtılması ve işletme koşulları ,Biyogazın depolanması ve dağıtımı ,Biyogazın taşınması, tesisten çıkan biyogübrenin depolanması, tarlaya taşınması ve dağıtımı[17].

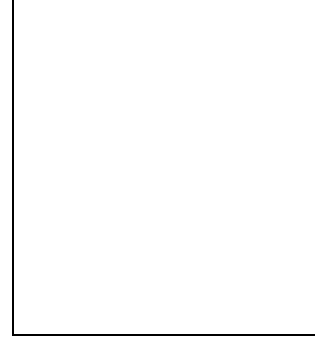
## SONUÇ VE ÖNERİLER

Türkiye’de fosil yakıtların kullanımı ön planda olsa da ilerleyen süreçte bu yakıtların enerji açığını kapatmada faydalı olmayacağı ortadır. Ayrıca fosil yakıtların çevreye zarar vermesi ve üretilen enerjide kayıp kaçak oranlarının yüksek olması büyük handikaptır. Biyokütlenin olduğu bölgede değerlendirilmesi kayıp kaçak oranlarını sıfıra indirmektedir. Ayrıca tükenmez kaynak olması, CO<sub>2</sub> salınımının nötr olması oldukça önemlidir. Türkiye ilerleyen süreçte birincil enerji kaynağı olarak fosil yakıtlar dışında yeni kaynaklar üretmeye, yenilenebilir enerjiye geçmeye mecburdur. Tarım faaliyetleri sonucu ortaya çıkan atıklar, evsel organik atıklar v.s göze alındığında Türkiye’nin biyokütle hammadde kaynağı açısından şanslı olduğu söylenebilir. En başta çevre ve halk sağlığı sonrasında ekonomik faktörler göze alındığında Türkiye’nin vakit kaybetmeden biyokütle enerjisine ve diğer yenilenebilir enerji türlerine geçiş yapması gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] <https://tr.wikipedia.org/wiki/Biyok%C3%BCtle>
- [2] [http://www.odevarsivi.com/dosya.asp?islem=gor&dosya\\_no=145806](http://www.odevarsivi.com/dosya.asp?islem=gor&dosya_no=145806)
- [3] <http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/yesilden-gelen-enerjibiyokutle-1-bolum/8252?#ad-image-0>
- [4] Türkiye istatistik yıllığı,2005
- [5] BAŞÇETİNÇELİK, A., ÖZTÜRK, H.H., KARACA, C., KAÇIRA, M., EKİNCİ, K., KAYA, D., BABAN, A., GÜNEŞ, K., KOMİTTİ, N., BARNES, I., NIEMINEN, M., Türkiye’de Tarımsal Atıkların Değerlendirilmesi Rehberi, LIFE 03 TCY/ TR /000061, 2005, Adana, Türkiye
- [6] <http://www.elektrikport.com/makale-detay/yesilden-gelen-enerji-biyokutle2-bolum/8571?#ad-image-0>
- [7] Elektrik işleri etüt dairesi başkanlığı
- [8] [http://www.emo.org.tr/ekler/5aa4bd09c07d8b2\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/5aa4bd09c07d8b2_ek.pdf)
- [9] [http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/biyoenjeri/02-biyodizel/bd\\_uretim.html](http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/biyoenjeri/02-biyodizel/bd_uretim.html)
- [10] <http://biyokure.org/biyodizelin-avantajlari-ve-dezavantajlari/5480/>
- [11] <http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyoetanol.aspx>
- [12] [http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/biyoenjeri/03-biyoetanol/be\\_uretim.html](http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/biyoenjeri/03-biyoetanol/be_uretim.html)
- [13] <http://ziraat.uludag.edu.tr/ureticiler/BiyogazNedirveNasilUretilir.pdf>
- [14] [http://www.alternatifpower.com.tr/resimler/2187644\\_1403534180.pdf](http://www.alternatifpower.com.tr/resimler/2187644_1403534180.pdf)
- [15] <http://www.biyogaz.web.tr/tr/biyogaz-nedir>
- [16] [http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/biyoenjeri/01-biyogaz/bg\\_dikkat.html](http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/biyoenjeri/01-biyogaz/bg_dikkat.html)
- [17] [http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/biyoenjeri/01-biyogaz/bg\\_tesis\\_tasarimi.html](http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/biyoenjeri/01-biyogaz/bg_tesis_tasarimi.html)
- [18] <http://www.denetimnet.net/UserFiles/Documents/Biyok%C3%BCtlenin%20alt%C4%B1n%20%C3%A7a%C4%9F%C4%B1Sonn.pdf>
- [19] [http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyokutle\\_cevrim\\_tekno.aspx](http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyokutle_cevrim_tekno.aspx)
- [20] TÜİK-Tarım İstatistikleri-2004
- [21] Orman Varlığımız, Çevre ve Orman Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü, 2006, Ankara

## **ÖZGEÇMİŞ**



**Adı Soyadı : SÜLEYMAN SAZ**

**Doğum Yeri ve Tarihi : MUĞLA/1994**

**Adres : YATAĞAN/MUĞLA**

**E-Posta : suleymansaz94@gmail.com**

**Eğitim Bilgileri:**

**Lise:YATAĞAN GAZİ ANADOLU LİSESİ**

**Lisans : ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ**