



# Biyokütleden Elde Edilen Biyoyakıtlara Genel Bir Bakış

Sinem Işık<sup>1\*</sup>, Sıraç Yavuz<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Bingöl Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bingöl, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-1044-5092), [sinemisik@bingol.edu.tr](mailto:sinemisik@bingol.edu.tr)

<sup>2</sup> Bingöl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, Bingöl, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5878-8994), [siracyavuz@bingol.edu.tr](mailto:siracyavuz@bingol.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1079255)

**ATIF/REFERENCE:** Işık, S., & Yavuz, S. (2022). Biyokütleden Elde Edilen Biyoyakıtlara Genel Bir Bakış. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (34), 193-201.

## Öz

Artan nüfus nedeniyle enerji ihtiyaçlarının artması ve mevcut fosil yakıtların gelecek yıllarda bu ihtiyacı karşılayamayacak olması araştırmacıları yeni ve yenilenebilir enerji arayışına yöneltmiştir. Biyoyakıtlara olan ilginin gün geçtikçe artma nedenlerinden biri de çevre kirliliğine neden olmamasıdır. Biyoyakıt kullanımının geliştirilmesi tarımın gelişmesini de teşvik eder. Ayrıca ülkemizdeki kırsal kalkınmayı da destekler. Yeni ve yenilenebilir enerji kaynağı olan ve biyoyakıt üretmek için hammadde olarak kullanılan biyokütle; elektrik üretiminde, ısıtma ve soğutma uygulamalarında, evsel ihtiyaçlarda, yakıt olarak ve endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır. Biyokütle kaynağı olarak genellikle tarımsal atıklar, yağlı tohum bitkileri, karbonhidrat içeren bitkiler, hayvan ve insan atıkları, belediye atıkları ve endüstriyel atıklar kullanılmaktadır. Ülkemizde biyokütle kaynağından elde edilen biyoyakıtlardan elektrik üretilmesindeki en yüksek payı biyogaz almaktadır. Biyogaz ise birincil biyoyakıtlar takip etmektedir. Biyoyakıtlar biyodizel, biyogaz, bioetanol, biyometanol, biyodimetil eter, biyoyağ, biyobütanol ve biyohidrojen olarak sınıflandırılmaktadır. Çalışmamızda bu biyoyakıt çeşitleri tek tek açıklanmıştır. Her bir biyoyakıt çeşidinin olumlu ve olumsuz yönlerine, nasıl elde edildiklerine ve nerelerde kullanıldıklarına değinilmiştir. Bioetanol karbonhidrat bakımından zengin olan bitkilerden; biyometanol hayvansal atıklardan, çöplüklerden ve gıda atıkları gibi atıklardan; biyodizel yağlı tohum bitkilerinden elde edilen yağlardan ya da hayvansal yağlardan; biyodimetil eter metan ve karbondioksit içeren yenmeyen atıklardan; biyobütanol şeker ve tahıl gibi birinci nesil biyoyakıtlar ile tarım ve orman atıkları gibi yenilmeyen lignoselülozik malzemelerden; biyohidrojen tarımsal, odun, gıda, kanalizasyon, insan ve hayvan atıkları ile alglerden; biyogaz ise bitkisel ve hayvansal atıklardan elde edilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Biyokütle, Biyoyakıt, İklim değişikliği, Yenilenebilir enerji, Alternatif yakıt.

## An Overview of Biofuels Derived from Biomass

### Abstract

The increase in energy needs due to the increasing population and the fact that existing fossil fuels will not be able to meet this need in the coming years have led researchers to seek new and renewable energy sources. One of the reasons why the interest in biofuels is increasing day by day is that it does not cause environmental pollution. Improving the use of biofuels also encourages the development of agriculture. It also supports rural development in our country. Biomass, which is a new and renewable energy source and used as a raw material to produce biofuels; It is used in electricity generation, heating and cooling applications, domestic needs, fuel and industrial applications. Agricultural wastes, oilseed crops, plants containing carbohydrates, animal and human wastes, municipal wastes and industrial wastes are generally used as biomass sources. In our country, biogas has the highest share in electricity generation from biofuels obtained from biomass sources. Biogas is followed by primary biofuels. Biofuels are classified as biodiesel, biogas, bioethanol, biomethanol, biodimethyl ether, biooil, biobutanol and biohydrogen. In our study, these biofuel types are explained one by one. The positive and negative aspects of each biofuel type, how they are obtained and where they are used are mentioned. Bioethanol is one of the plants rich in carbohydrates, biomethanol is produced from animal waste, landfills and waste such as food waste. Biodiesel is made from oils obtained from oilseed plants or from animal fats, from inedible waste containing bio dimethyl ether methane and carbon dioxide. Bioethanol is made from first generation biofuels such as sugar and grains, and inedible lignocellulosic materials such as agricultural and forestry wastes. Biohydrogen from agricultural, wood, food, sewage, human and animal wastes and algae, biogas is obtained from plant and animal wastes.

**Keywords:** Biomass, Biofuel, Climate change, Renewable energy, Alternative fuel.

## 1. Giriş

Uzun yıllardır bütün dünyada ana enerji kaynağı olarak petrol, kömür, doğalgaz gibi fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Fakat fosil yakıtların tükenebilir olması ve çevreye verdiği zararlardan dolayı daha az sera gazı oluşturan yenilenebilir enerji kaynakları arayışı son yıllarda hız kazanmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları; güneş, rüzgâr, jeotermal, hidrolik, biyokütle, hidrojen ve dalga enerjisinden oluşmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biyokütle, dünyadaki enerji tüketiminin yaklaşık %13'ünü oluşturmaktadır [1].

İklim değişikliğine neden olan fosil yakıtlara nazaran biyokütle en büyük, en çeşitli ve en kolay kullanılabilen yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir [2]. Biyokütle 100 yıldan daha kısa bir sürede yenilenebilir. Fosilleşmemiş, yaşayan ya da yakın zamanda yaşamış canlılardan elde edilen bütün biyolojik malzemelere genel olarak biyokütle denilmektedir [3]. Biyokütle: doğal kaynaklar (ağaç atıkları, tarımsal atıklar, otlar ve enerji bitkileri), endüstriyel kaynaklar (sıvı gübre, biyogaz ve etil alkol ve biyodizel gibi sıvı yakıtlar)ve belediye atıklarından elde edilir [4].

Biyokütle, yakıt olarak hem saf haliyle hem de katı, sıvı ve gaz biyoyakıtlara dönüştürülerek; elektrik üretimi, nakliye, ısıtma, soğutma, evsel kullanım ve endüstriyel ihtiyaçlar için kullanılabilir [3]. Çevreye zarar vermeyen ve yenilenebilir olan, yetiştirilmesi kolay bitkiler ve atıklardan elde edilen biyokütle kaynakları elektrik ve yakıt üretimi gibi günümüz enerji ihtiyaçlarını karşılamak için çok iyi bir seçenektir.

Fosil yakıtlar hidrokarbon yapıya sahipken, biyokütleden elde edilen biyoyakıtlar karbonhidrat yapısına sahiptirler. Bu nedenle de yüksek oranda oksijen içeriğine sahip yakıt türüdür. Bu da düşük enerji üretimine ve daha fazla dumana neden olur [5, 6]. Ayrıca, biyoyakıt kullanımı enerji güvenliği, döviz tasarrufu ve kırsal alanların gelişmesine katkıda bulunmaktadır [7, 8].

## 2. Biyokütle

Biyokütle, biyoyakıt üretmek için kullanılan yeni ve yenilenebilir enerji kaynağıdır. Biyokütleden üretilen biyoyakıtlar tüketilirken atmosfere CO<sub>2</sub> salınımı gerçekleşir. Ancak yayılan CO<sub>2</sub> biyokütle sentezlenmesinde tekrardan geri dönüştürülür. Bu nedenle biyokütleden üretilen biyoyakıt kullanımı sera gazı emisyonlarının azalmasına neden olur [8].

Endüstrinin her alanında bulunan biyokütle kökenli ürünler Tablo 1'de verildiği gibi 3 ana bölümde sınıflandırılırlar. Bunlar; boyalar, yapıştırıcılar, yapı ve kompozit malzemeler gibi malzemeleri içeren biyomalzemeler, katı, sıvı ve gaz yakıtlardan oluşan biyoyakıtlar ve yağlar ve kimyasalları içeren biyokimyasallardan oluşmaktadır (Tablo 1) [9].

Tablo 1. Biyokökenli endüstriyel ürünler [9].

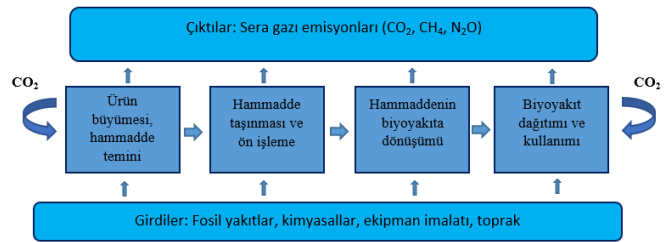
BIYOKÖKENLİ ENDÜSTRİYEL ÜRÜNLER		
Biyomalzemeler	Biyoyakıtlar	Biyokimyasallar
-Mürekkepler	-Gaz Yakıtlar	-Yüzeysel Tutucular
-Boyalar ve Kaplamalar	-Katı Yakıtlar	-Ara Kimyasallar
-Çözücüler ve Temizleyiciler	-Sıvı Yakıtlar	-Yağlama Yağları
-Yapıştırıcılar		
-Polimerler		
-Yapı Malzemeleri		
-Kompozit Malzemeler		
-Lifler, Kağıt ve Ambalajlar		

Genellikle, ağaç atıkları, bitkisel atıklar, odun; ayçiçek, pamuk, soya gibi yağlı tohum bitkileri; mısır, patates, buğday gibi karbonhidrat içeren bitkiler; keten, kenevir gibi elyaf bitkileri; hayvansal atıklar; belediye atıkları ve endüstriyel atıklar biyokütle hammaddesi olarak değerlendirilmektedirler [9].

## 3. Biyoyakıtlar

Uzun yıllardır temel enerji kaynağı olarak kullanılan fosil yakıtlar, tükenebilir olmalarının yanı sıra uzun dönemde çevreye de kalıcı zararlar vermektedir. Zararları azaltmak ve küresel enerji talebini karşılamak için biyoyakıtlar gibi başka kaynaklara yönelmek zorundayız [10]. Biyoyakıt genel olarak, her türlü organik maddeden yapılan herhangi bir yakıt türü olarak tanımlanmaktadır. Biyoyakıtlar son yıllarda ortaya çıkan yeni bir teknoloji değildir.

Biyoyakıtların yanmasından kaynaklanan sera gazı emisyonları, fosil yakıtların yanmasıyla oluşandan çok daha düşüktür. Biyoyakıtların üretimi ve kullanımından kaynaklanan sera gazı emisyonları Şekil 1'de verilmiştir. Sera gazları; hammadde üretiminden nakliyeye, biyoyakıt dönüşümüne, biyoyakıt dağıtımına ve kullanıma kadar her aşamada ortaya çıkmaktadır [11].



Şekil 1. Biyoyakıtların üretimi ve kullanımından kaynaklanan sera gazı emisyonları [11].

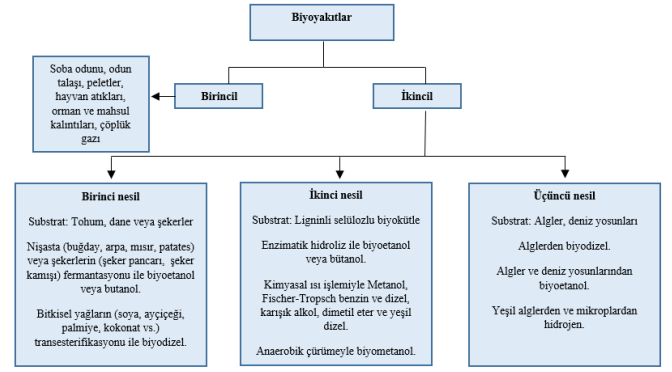
Biyoyakıtlar genellikle orman, yem ve gıda artıkları gibi yenilmeyen tarım ürünlerinden, özel olarak ekilmiş enerji bitkilerinden, hayvan ve insan artıkları kullanılarak elde edilmektedir. [6, 12]. Biyoyakıtların yenilmeyen biyokütleden üretilmeleri, fosil yakıtları korumaları ve yenilenebilir enerji kaynağı olmalarının yanında; yüksek nem içeriği, zayıf ateşleme, düşük yanma verimliliği, yüksek duman oluşturma, egzozda karbon seviyesinin artması gibi olumsuzlukları da mevcuttur. Biyokütlenin yakıt olarak kullanılmasındaki avantaj ve dezavantajlar Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Biyoyakıtların avantaj ve dezavantajları [6].

AVANTAJLARI	DEZAVANTAJLARI
Yenilenebilir enerji kaynağıdır.	Biyokütle hammaddelerinin güvensizliği
Yenmeyen biyokütle kullanılır.	Biyoyakıtlar için yenilenebilir enerji kaynağının eksikliği
Fosil yakıtlar korunur.	Yenilebilir biyokütle (gıda, yem) ve biyomateryal üretimi ile rekabet
Kül, C, FC, N, S, Si gibi zararlı elementler çok düşük miktarda yayılır.	Doğal ekosistemin zarar görmesi (ormansızlaştırma, yanlış arazi kullanımı, gübreler, böcek ilaçları vb.)
Biyokütle kalıntılarını ve atıkları azaltır.	Biyoyakıtların özellikleri ve kalitesi hakkında bilgi yetersizliği
Tehlikeli (CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> , toksik eser elementleri) emisyonları azaltır.	Düşük enerji yoğunluğu
Bozulmuş ve kirlenmiş arazilerin kullanımı	Düşük pH ve füzyon sıcaklığı
Kırsal bölgelerde yeni iş ve gelir kaynağı oluşturması	Su, gübre ve böcek ilacının fazla kullanımı
Okyanus, deniz, düşük kaliteli ve tarım yapılamayan toprakların kullanılması	Yüksek yatırım maliyeti
Yakıt arzı ve enerji güvenliğinin çeşitlendirilmesi	Bölgesel ve mevsimlik kullanılabilirlik

### 3.1. Biyoyakıtların Sınıflandırılması

Biyoyakıtlar, birincil ve ikincil biyoyakıtlar olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar (Şekil 2). Birincil biyoyakıtlar odun, talaş, pelet, hayvansal atıklar gibi enerji üretimi için kullanılan işlenmemiş biyokütleden oluşurlar. Biyokütlelerin işlenmesiyle elde edilen biyodizel, etanol gibi araçlarda ve endüstriyel işlemlerde kullanılan biyoyakıtlar da ikincil biyoyakıtlar olarak adlandırılır. İkincil biyoyakıtlar kullanılan hammadde ve teknolojiye göre kendi arasında üçe ayrılırlar [13].



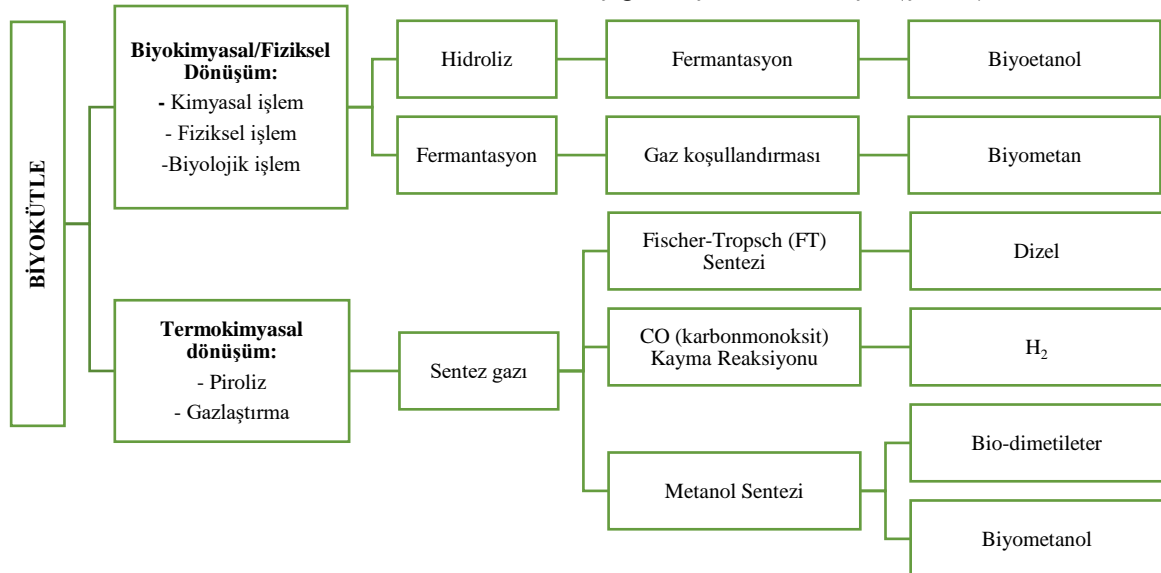
Şekil 2. Biyoyakıtların sınıflandırılması [13].

Birincil biyoyakıtlar, işlenmemiş olduğundan genellikle küçük ve büyük ölçekli endüstriyel uygulamalarda pişirme yakıtı, ısıtma veya elektrik üretim ihtiyaçlarını karşılamak için doğrudan kullanılırlar [13].

İkincil biyoyakıtlar ise birincil biyoyakıtların katı, sıvı ve gaz şeklinde işlenerek elde edildiği yakıtlardır. Her türlü uygulamada kullanılabilirler [13, 14].

1. nesil sıvı biyoyakıtlar, genellikle tahıllar, şeker bitkileri ve yağlı tohumlar sıvı ürünlerden elde edilmektedir [15]. 1. Nesil sıvı biyoyakıtlardan en iyi bilinen ise şeker veya nişastalı ürünlerin fermantasyonu ile elde edilen etanolüdür [13]. Birincil nesil sıvı biyoyakıtların elde edilebilmesinde kullanılan ürünler tarım arazilerinin belirli bölümlerine ekilerek elde edilir. Küçük bir kısmı kullanılan tarım arazilerinin verimsiz bir şekilde kullanımına neden olmaktadır. Ayrıca kullanılan tahıllar, şekerler ve yağlı tohumlar yenilebilir gıda ürünleri olduğundan fiyatlarında artışa da neden olmaktadır. Bu nedenle yenmeyen biyokütlelerin kullanılması biyoyakıt kullanımı için daha uygun olacaktır.

2. Nesil sıvı biyoyakıtlar orman kalıntılarında (tahıl samanı, şeker kamışı küspesi gibi), atıklardan (belediye katı atıklarının organik bileşenleri) ve özel olarak yetiştirilen bitkilerden (amaca uygun yetiştirilmiş bitkisel otlar, enerji bitkileri) elde edilmektedir [15]. Yenilmeyen ve atık maddelerden oluşan lignoselülozik biyokütleden üretilen 2. Nesil biyoyakıtlar birinci nesil biyoyakıtlara kıyasla daha ekonomik ve sürdürülebilirdir. Bu nedenle 2. Nesil biyoyakıtların kullanımı teşvik edilmelidir. Genel olarak ikinci nesil biyoyakıtları işleme yöntemleri aşağıdaki şekilde verilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. İkinci nesil biyokütelleri işleme yöntemleri [16, 17].

Katı biyokütleden ikinci nesil sıvı veya gaz halindeki biyoyakıt üretimi için iki temel prosedür vardır (Şekil 3). Birincisi, termokimyasal yöntemle toplam biyokütlenin yüksek değerli sentez gazına dönüştürülmesini amaçlar. İkincisi ise yüksek nemli hammadde materyallerini mikrobiyolojik fermantasyon ile biyogaz gibi yüksek enerji içerikli ürünlere dönüştürülmesini amaçlar [17].

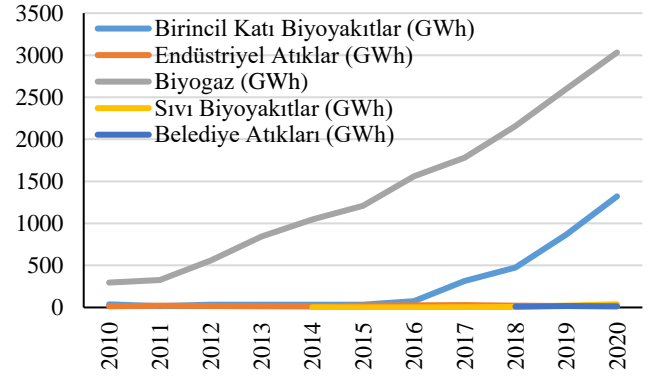
### 3.2. Biyoyakıtların Türkiye'deki Durumu

Türkiye'de 2021 yılındaki verilere bakıldığında, yılda yaklaşık 194 milyon ton hayvansal atık, 62 milyon ton bitkisel üretimden elde edilen atık ve yaklaşık 32 milyon ton belediye atıkları elde edilmiştir. Elde edilen bu atıklar yılda 34 milyon TEP enerjiye eşdeğerdir. Ülkemizde 8 biyodizel ve 5 biyoetanol işleme firması bulunmaktadır (Tablo 3).

Tablo 3. Türkiye biyokütle enerji potansiyeli [18].

<b>Hayvan Sayısı (adet):</b>	422.832.374
<b>Hayvansal Atık Miktarı (ton/yıl):</b>	193.878.079
<b>Hayvansal Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl):</b>	4.385.371
<b>Hayvansal Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl):</b>	1.084.506
<b>Bitkisel Üretim Miktarı (ton/yıl):</b>	171.399.002
<b>Bitkisel Atık Miktarı (ton/yıl):</b>	62.206.754
<b>Bitkisel Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl):</b>	25.384.268
<b>Bitkisel Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl):</b>	1.462.159
<b>Belediye Atıkları Miktarı (ton/yıl):</b>	32.170.975
<b>Belediye Atıkların Teorik Enerji Eşdeğerleri (TEP/yıl):</b>	3.373.011
<b>Belediye Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğerleri (TEP/yıl):</b>	485.858
<b>Orman Varlığı Artıkları (ster / yıl):</b>	3.914.904
<b>Orman Varlığı Artıklarının Teorik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl):</b>	859.899
<b>Biyodizel İşleme Lisansı Sahibi Firmalar:</b>	8
<b>Biyoetanol İşleme Lisansı Sahibi Firmalar:</b>	5
<b>Biyokütle Kaynaklı Elektrik Üretim Santral Sayısı:</b>	199
<b>Atıkların Toplam Teorik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl):</b>	34.002.549

Ülkemizde biyokütle kaynaklarından elektrik üretim potansiyeli 2010 yılından itibaren her geçen yıl sürekli olarak artmaktadır (Şekil 4). Özellikle biyogaz üretimi 2010 yılında 296 GWh iken 2020 yılında yaklaşık 10 kat artarak 3032 GWh'e ulaşmıştır. Sıvı biyoyakıtlardan elektrik üretimine 2014 yılında, belediye atıklarından elektrik üretimine ise 2018 yılında başlanılmıştır. Her yıl elektrik üretimdeki en yüksek payı sırasıyla biyogaz ve birincil katı yakıtlar almaktadır.



Şekil 4. Biyokütle kaynaklarından elektrik üretimi [19].

### 3.3. Biyoyakıt Çeşitleri

Biyoyakıtlar biyodizel, biyogaz, biyoetanol, biyometanol, biyodimetil eter, biyoyağ, biyobütanol ve biyohidrojen olarak sınıflandırılırlar (Tablo 4).

Tablo 4. Biyokütleden elde edilen biyoyakıtlar

#### Biyokütleden Elde Edilen Biyoyakıtlar

<u>Katı Biyoyakıtlar</u>	<u>Sıvı Biyoyakıtlar</u>	<u>Gaz Biyoyakıtlar</u>
➤ Peletler	➤ Biyodizel	➤ Biyogaz
	➤ Biyoetanol	➤ Biyosentez
	➤ Biyometanol	➤ Biyohidrojen
	➤ Biyodimetil eter	
	➤ Biyoyağ	
	➤ Biyobütanol	

#### 3.1.1. Biyo-Etanol

Biyookol olarak da bilinen biyoetanol renksiz, yanıcı ve oksitlenmiş hidrokarbondur [20]. Yaygın olarak bilinen bir sıvı biyoyakıttır. Şeker, nişasta ve selülozik biyokütleden fermente edilir [21]. Biyoetanol yakıtı genellikle ulaşım sektöründe, kozmetikte, ilaç sektöründe, güç jeneratörlerinde ve alkollü içecek üretiminde kullanılmaktadır. Özellikle etanol ve benzin karışımının alternatif bir motor yakıtı olarak bütün dünyada kullanımı artmaktadır. Etanol üretiminin yerli olması ve yakıt olarak kullanılabilmesi petrole olan bağımlılığı ve hava kirliliğini azaltabilir, ayrıca kırsal alanlarda istihdam yaratabilir [21]. Biyoetanol üretiminde karbonhidrat bakımından zengin olan mısır, şeker kamışı, patates, buğday, şeker pancarı, arpa ve odun gibi bitkiler kullanılmaktadır [1]. Farklı biyokütle kaynaklarından etanol üretim verimi Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Farklı bitkilerden etanol üretim verimi [22].

Bitki Kaynağı	Etanol verimi (L/ha)
Buğday	2590
Tatlı sorgum	3050-4070
Mısır	3460-4020
Şeker pancarı	5010-6680
Şeker kamışı	6190-7500
Çim	10760
Mikroalg	40760-1402900

Lignoselülozik biyokütlenin miktarındaki fazlalık ve biyoetanole dönüştürülmesindeki çevresel faydalar yaygın olarak bilinmektedir. Lignoselülozik biyokütleden elde edilen biyoetanol

temiz, düşük karbonlu ve güvenli enerji kaynağı sağlamaktadır. Böylece biyoetanol yakıtının ulaşım sektörüne büyük faydalar sağlayacağı düşünülmektedir. Yüksek oktan sayısına sahip olan biyoetanol benzinle belirli oranlarda karıştırılarak kullanılmaktadır [20]. İthal ettiğimiz enerji miktarını azaltmak için biyoetanol üretiminin ve kullanımının teşvik edilmesi gerekir.

### 3.1.2. Biyo-Metanol

Metanol, plastik, boya, kozmetik ve yakıtlar da dahil olmak üzere günlük kullanılan binlerce üründe bulunan berrak bir sıvı kimyasaldır. Metanol aynı zamanda denizcilik, otomotiv ve elektrik sektörlerinde kullanılan bir enerji kaynağı ve gelişmekte olan bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Metanol (CH<sub>3</sub>OH) suda çözünebilir, temiz bir şekilde yanan, biyolojik olarak kolayca parçalanabilen, hidrojen, oksijen ve karbon içeren bir alkol türüdür. Metanolün çevresel ve ekonomik avantajları, onu araçlara ve gemilere güç sağlamak, yemek pişirmek ve evleri ısıtmak için giderek daha çekici bir alternatif yakıt haline getirmektedir [23, 24]. Metanol, halihazırda kullanılan doğal gaz, kömür ve biyokütle gibi diğer kaynakların dahil olduğu bir dizi kaynak kullanılarak sentez gazından üretilir. Basınçlı sentez gazının bir katalizör varlığında, Denk.(1)'e göre reaksiyona girdiği Fischer-Tropsch formülüyle üretilir [25].



Yenilenebilir gazlar, mevcut atıklar, hayvan atıkları, çöplükler, mahsul artıkları ve gıda atıkları dahil olmak üzere çeşitli yenilenebilir ve sürdürülebilir biyokütle kaynaklarından üretilen doğal gaz veya biyometanoldür [26]. Biyometanol, piroliz, gazlaştırma, biyo-sentez, elektroliz ve foto elektrokimyasal işlemler gibi birkaç geleneksel ve yeni yöntemle üretilir. Metanol üretmek için metan ve karbondioksit gibi kaynakları kullanan biyosentez süreçleri, gaz halinde bir yakıt üretmek için belediye katı atıkları, kanalizasyon çamuru, birincil ve ikincil tarım atıkları gibi organik atıkları kullanan dönüşüm süreçleri olarak işlev görür. Ayrıca, foto elektrokimyasal ve elektroliz gibi yeni tekniklerin laboratuvar ölçeğinde biyo-metanol üretimi için potansiyele sahip olduğu kanıtlanmıştır, ancak büyük ölçekli üretimde kullanılmadan önce daha fazla araştırma yapılması gerektiği bildirilmiştir [27].

### 3.1.3. Biyodizel

Artan yakıt fiyatları ve enerji talebini karşılamak için biyodizel gibi alternatif yakıtlara yönelmemiz gerekmektedir. Sıkıştırılmalı ateşlemeli motorlar ve dizel yakıtlar için en uygun alternatif yakıt biyodizeldir [28]. Yağlı tohum bitkilerinden (kolza, Ayçiçek, soya, aspir gibi) elde edilen yağların ya da hayvansal yağların katalizör yardımıyla (metanol ya da etanol gibi kısa zincirli bir alkol) reaksiyona girmesi sonucunda biyodizel elde edilmektedir. Biyodizel araçlarda yakıt olarak kullanılmaktadır. Biyodizel genel olarak B5 (%5 Biyodizel+%95 Dizel), B20 (%20 Biyodizel+%80 Dizel), B50 (%50 Biyodizel+%50 Dizel) ve B100 (%100 Biyodizel) şeklinde isimlendirilmektedir. Biyodizelin 3 farklı çeşidi bulunmaktadır. Bunlar; FAME (Yağ asidi metil esteri), HVO (Hidroişlenmiş bitkisel yağ) ve BTL (Biyokütleden sıvılara)'dir [29].

Biyodizelin yakıt olarak kullanılması; enerji güvenliğini artırır, güvenlik faydaları sağlar, hava kalitesini iyileştirir ve emisyonları azaltır. Dizel motorlarda hareketli parçaların erken aşınmasını önlemek için yakıtın yağlayıcılığına ihtiyaç vardır. Biyodizel en düşük karışım seviyelerinde bile dizel yakıtın kayganlığını arttırarak hareketli parçaların aşınmasını

önlemektedir. Ayrıca biyodizel yakıtın setan sayısını da yükseltmektedir. Biyodizelin parlama noktası dizel yakıtından daha yüksek olduğundan yanıcılığı daha azdır. İşlenmesi, depolanması ve taşınması dizel yakıtına kıyasla daha güvenilirdir [30].

Biyodizel, karıştırma, mikro emülsiyon oluşturma, piroliz (ayrıştırma) ve transesterifikasyon işlemleri ile üretilmektedir. Günümüzde en çok kullanılan yöntem transesterifikasyon yöntemidir. Transesterifikasyon işlemi bitkisel veya hayvansal yağlar metanol ve etanol gibi kısa zincirli alkollerle reaksiyona sokulur. Reaksiyon sonucunda yan ürün olarak gliserin oluşur. Gliserinin yoğunluğu biyodizelden daha fazla olduğu için reaksiyon sonucunda dibе çöker ve biyodizelden ayrıştırılır. Daha sonra biyodizelle karışım halinde olan alkol damıtma yöntemiyle geri kazanılır. Böylece yağ ile alkol reaksiyonundan gliserin, biyodizel ve alkol elde edilmiş olur [31]. Biyodizelin fiziksel özellikleri Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Biyodizelin fiziksel özellikleri [30].

<b>Özgül Ağırlık</b>	0,88
<b>40°C'de Kinematik Viskozitesi</b>	4-6
<b>Setan Sayısı</b>	47-65
<b>Üst Isıl Değeri (Btu/gal)</b>	127960
<b>Alt Isıl Değeri (Btu/gal)</b>	119550
<b>15°C'de Yoğunluk (kg/m<sup>3</sup>)</b>	874,7
<b>Karbon (%wt)</b>	77
<b>Hidrojen (%wt)</b>	12
<b>Oksijen (%wt)</b>	11
<b>Kaynama Noktası (°C)</b>	315-350
<b>Parlama Noktası (°C)</b>	100-170
<b>Kükürt (%wt)</b>	0-0,0015
<b>Bulut Noktası (°C)</b>	-3-15
<b>Akma Noktası (°C)</b>	-5-10

### 3.1.4. Biyo-dimetil Eter

Biyodimetil eter (Biyo-DME), LPG (sıvılaştırılmış petrol gazı)'ye benzer özelliklere sahip olan alternatif bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Düşük karbon içerikli olduğundan çevreye zarar vermez. Tarım atıkları gibi metan ve karbondioksit içeren yenmeyen atıklardan elde edilmektedir [32]. Biyokütlenin gazlaştırılması yoluyla elde edilmektedir [33]. Yanma sırasında NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> gibi çevreye zararlı gazlar yaymadığından dolayı ulaşım sektörü ve dizel yakıtlar için umut verici olarak kabul edilmiştir [32]. Biyodimetil eterin yüksek setan sayısı, düşük tutuşma sıcaklığı ve toksik olmayan bileşik içermesi en önemli özelliklerindedir [34]. Düşük konsantrasyonlarda neredeyse hiç kokusu yoktur. Sağlığa olumsuz etkileri bulunmamaktadır. Dimetil eter, C-H ve C-O bağları bulunan ve yaklaşık %34,8 oksijen içeren gaz halindeki eter bileşimidir. DME'de C-C bağı bulunmamaktadır. Dimetil eterin özellikleri Tablo 7'de verilmiştir [34].

Tablo 7. Dimetil eterin özellikleri [34].

<b>Kimyasal formül</b>	CH <sub>3</sub> -O-CH <sub>3</sub>
<b>Setan sayısı</b>	55-66
<b>Düşük kalorifik sayı</b>	27600 kJ/kg
<b>Stokiyometrik hava-yakıt oranı</b>	8.9
<b>Viskozite</b>	0,15
<b>Oksijen</b>	%34,8
<b>Yoğunluk</b>	660 kg/m <sup>3</sup>
<b>Kendiliğinden tutuşma sıcaklığı</b>	235 °C
<b>Kaynama noktası</b>	-25 °C

### 3.1.5. Biyoyağ

Biyoyağ, fosil yakıtlara göre temiz bir yakıt olarak kullanılmaktadır. Yanma sırasında CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarını oluşturmayarak daha az çevre kirliliğine yol açarlar. Fakat yüksek viskozite, su ve kül içerikleri, kararsızlık ve yüksek aşındırıcılıkları ile düşük ısıl değeri gibi dezavantajlarından dolayı sınırlı kullanımları vardır [35]. Büyük miktarda yüksek moleküler ağırlıklı oksijenatlar ve minimum miktarda olsa hidrokarbon içermektedir [36]. Biyoyağ, ısı ve enerji üretmek için kullanılan yenilenebilir bir yakıt türüdür [35]. Biyoyağlar araçlarda doğrudan yakıt olarak kullanılamazlar, petrol yakıtları ile çözücü eklenerek kullanılabilirler.

Biyoyağ, biyokütleyle flaş piroliz ve hidrotermal sıvılaştırma yöntemleri uygulanarak elde edilmektedir (Tablo 8). Flaş piroliz yöntemi, kuru biyokütlelere uygulanır. Organik bileşiklerin oksijen olmadan hızlı termal ayrışmasını içerir. Hidrotermal sıvılaştırma yöntemi ise su kaynaklı biyokütlelere uygulanmaktadır. Yüksek sıcaklık ve basınç altında biyokütlenin su içerisinde reaksiyona girmesi işlemidir [35].

Tablo 8. Biyoyağ üretiminde kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması [35].

<p><b>Flaş Piroliz Yöntemi</b></p>	<p><b><u>Olumlu Yönleri</u></b>                      ✓450-500 °C arasında yüksek sıcaklıkta uygulanır.                      ✓Reaksiyonda yaklaşık 1 s kadar kısa kalma süresi vardır.                      ✓Atmosfer basıncında uygulanır.                      ✓İşlem sonrasında kurutma işlemi gereklidir.                      ✓Gaz fazında homojen reaksiyonlarla yağlı ürünler elde edilmektedir.                      ✓Kuru beslemede yaklaşık %80 yüksek yağ verimi vardır.                      ✓Kuruluma maliyeti düşüktür.</p> <p><b><u>Olumsuz Yönleri</u></b>                      ✖Bu yöntem ile düşük yakıt kalitesi elde edilmektedir.</p>
<p><b>Hidrotermal Sıvılaştırma Yöntemi</b></p>	<p><b><u>Olumlu Yönleri</u></b>                      ✓Flaş piroliz yöntemine kıyasla 300-400 °C arasında daha düşük sıcaklıkta uygulanır.                      ✓Reaksiyonda kalma süresi (0,2-1 saat) daha uzundur.                      ✓5-20 MPa arasında yüksek basınçta uygulanır.                      ✓İşlem sonrasında kurutma işlemine gerek yoktur.                      ✓Sulu ortamda karmaşık reaksiyonlarda meydana gelir.                      ✓Yüksek ısıl değer ve düşük nem içeriğine sahip biyo-yağ elde edilir.</p> <p><b><u>Olumsuz Yönleri</u></b>                      ✖%20-60 arasında düşük yağ verimi elde edilmektedir.                      ✖İşlem için yüksek basınçlı ekipmanlar gereklidir.                      ✖Kuruluma maliyeti yüksektir.</p>

### 3.1.6. Biyobütanol

Biyobütanol, biyogazolin olarak da adlandırılmaktadır. Biyobütanol, biyoetanol ile aynı enerji yoğunluğuna sahip olmasına rağmen benzindeki oktan sayısını biyoetanolden daha fazla artırır. Bu da yakıttaki yanma performansının iyileşmesini sağlar. Ayrıca biyobütanolün düşük buhar basıncından dolayı taşınması daha kolaydır. [1].

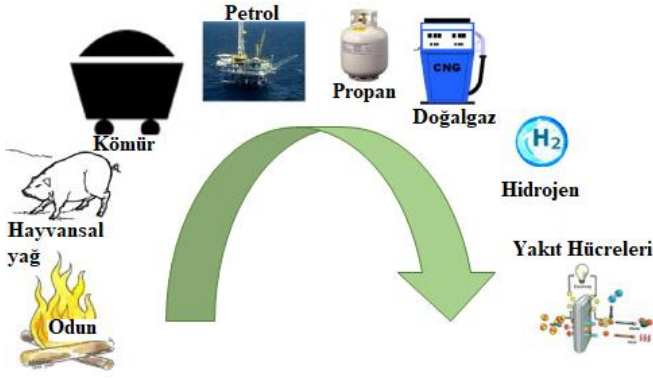
Biyobütanol içeren biyoyakıtlar, hammaddesi şeker ve tahıl olan birinci nesil biyoyakıtlar ile hammaddesi tarım ve orman atıkları gibi yenilmeyen maddeler olan lignoselülozik malzemelerden elde edilen ikinci nesil biyoyakıtlar olarak sınıflandırılmaktadır. Birincil nesil biyoyakıtların hammaddesi gıda ürünleri olduğu için çok fazla tercih edilmemektedir. Fakat biyobütanol içeren biyoyakıt üretiminde, yenilmeyen atıklardan elde edilen ikinci nesil biyoyakıt malzemeleri son yıllarda çok fazla talep görmektedir [8].

Bütanol elde etmek için genellikle okso (oxo) veya krotonaldehit (crotonaldehyde) kimyasal işlemleri uygulanır. Okso işlemi, sentez gazının (bir CO ve H<sub>2</sub> karışımı) propilen ile reaksiyona sokularak buteraldehit oluşturulması ve daha sonra bunun bütanole hidrojene edilmesi işlemidir. Krotonaldehit işleminde ise iki asetaldehit molekülü aldol yoğunlaşmasına maruz kalarak bütanol oluşturulur [37]. Bütanol yakıtı benzin ve dizel yakıtla istenilen oranlarda karıştırılarak kullanılabilir. Bütanolün özellikleri benzine benzediğinden, bütanol karışımli benzinle çalışan motorlarda soğuk havalarda çalışmada hiçbir sıkıntı yaşanmaz. Bütanolün taşındığı borularda korozyona neden olmaz [37]. Bütanolün kullanım alanları şu şekildedir [8, 38].

- Boyalar için çözücü olarak,
- Kauçuk üretiminde,
- Cilalarda ve temizleyicilerde katkı maddesi olarak,
- Tekstil endüstrisinde çözücü olarak,
- Benzinlere buzlanma önleyici olarak,
- Kağıt ve ince tabaka kromatografisinde,
- Selüloz nitrat için nemlendirici olarak kullanılmaktadır.

### 3.1.7. Biyohidrojen

Biyohidrojen enerjisi geleceğin enerji kaynağı olmaya aday enerji kaynaklarından biridir. Gelecekteki enerji taleplerine büyük bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Hem petrole bağımlılığı hem de hava kirliliğini azaltacaktır. Hidrojen yakıtının kullanılması sera gazları, ozon tabakasının incelmeye ve küresel ısınma gibi çevresel sorunların azalmasına katkıda bulunacaktır. Yanması sonucunda karbon emisyonu açığa çıkmaz, sadece su oluşur [39]. Gaz yakıtlar arasında birim ağırlık başına 143 GJ/ton ile en yüksek enerji içeriğine sahiptir [40]. Hidrojen (H<sub>2</sub>), motorlarda doğrudan yakıt olarak kullanılabilir. Hidrojen daha çok gübre ve petrol endüstrisinde tercih edilmektedir [39]. Geçmişten günümüze insanlık tarihinde kullanılan yakıtlar Şekil 5'te verilmiştir.

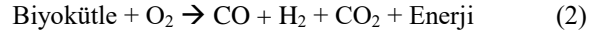


Şekil 5. Geçmişten günümüze yakıt kullanımı [39].

Hidrojen günümüzde genellikle fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Hidrojenin %40'ı doğal gazdan, %30'u ağır yağlardan, %18'i kömürden, %4'ü elektrolizden ve geri kalanı biyokütleden elde edilmektedir [41]. Hidrojen üretimi için biyolojik, termokimyasal ve elektrokimyasal yöntemler uygulanmaktadır. Biyolojik yöntem ucuz ve çevre dostu yöntem iken; termokimyasal ve elektrokimyasal yöntemler pahalı ve sürdürülebilirliği olmayan yöntemlerdir. Biyolojik yöntem ile hem atık biyokütle kaynakları kullanılmış olur hem de ucuz yöntemle enerji elde edilmiş olunur. Fakat kimyasal yöntemlerle hidrojen elde edilmesi sırasında fosil kaynaklar kullanılır [42].

Biyolojik yöntemlerle hidrojen elde etmenin birçok farklı yolu vardır. Özellikle karanlıkta (anaerobik) ve ışıkta (fotoheterotrofik) atık biyokütle kaynakları veya atıksular mikroorganizmalar tarafından fermantasyona uğrayarak biyohidrojen elde edilmektedir [42]. Anaerobik fermantasyonda mikroorganizmalar ışığa ihtiyaç duymazlar. [43]. Biyokütle kaynağı, anaerobik bakteriler yardımıyla belirli sıcaklıkta karanlık bir ortamda fermantasyona uğrattılır ve hidrojen üretilir [44]. Fotoheterotrofik fermantasyonda ise güneş ışığı kullanılarak fotosentetik bakteriler tarafından biyokütle kaynaklarından hidrojen elde edilir [42].

Biyohidrojen elde etmek için kullanılan biyokütle kaynakları şunlardır: tarımsal ürünler, odun ve odun atıkları, gıda atıkları, algler, kanalizasyon atıkları, insan ve hayvan atıkları. Biyokütlenin oksijenle reaksiyona girmesi sonucunda karbonmonoksit, hidrojen, karbondioksit ve enerji açığa çıkmaktadır (Denklem 2). Çeşitli mikroorganizmalar tarafından biyokütleden hidrojen üretimi sırasında açığa çıkan ürünler Tablo 9'da verilmiştir. [39].



Tablo 9. Biyokütleden biyohidrojen üretimi [39].

<b>Heterotrofik bakteriler tarafından</b>	→	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{CH}_3\text{COOH} + 2\text{CO}_2 + 4\text{H}_2$
<b>Fotosentetik bakteriler tarafından</b>	→	$\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + \text{CO}_2$
<b>Yeşil algler tarafından</b>	→	$12\text{H}_2\text{O} \rightarrow 12\text{H}_2 + 6\text{O}_2$
<b>Fototrofik bakteriler tarafından</b>	→	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 6\text{CO}_2 + 12\text{H}_2$

### 3.1.8. Biyogaz

Biyokütle, fosil yakıtların yerini alabilecek önemli bir yenilenebilir enerji kaynağıdır [45]. Biyokütle, biyogaza dönüştürülerek güneş, su ve rüzgar gibi diğer yenilenebilir enerjilere kıyasla daha az sermaye yatırımı gerektirir [46]. Biyogaz geleceğin enerji depolanmasında önemli bir potansiyele sahiptir. Oksijensiz bir ortamda organik bir atık ayrıştırıldığında, biyogaz olarak bilinen bir gaz karışımı ( $\text{CH}_4$  ve  $\text{CO}_2$ ) açığa çıkar. Biyogaz başlıca, metan (%50–75) ve karbon dioksit (%25–50), az miktarda diğer gazlar ve su buharından oluşur. Biyogaz, anaerobik çürütme işleminde mikroorganizmalar tarafından ayrıştırılan karmaşık organik malzemeden üretilir. Bu işlem, enerji üretimi için insan yapımı sistemlerde (biyo reaktörlerde) yüzyıllardır kullanılmaktadır. [47-49]. Biyogaz, 5,5-7 kWh m<sup>3</sup> verim sağlayan değerli bir enerji kaynağıdır ve enerji içeriği metan içeriği ile doğrudan bağlantılıdır. Gerektiğinde yenilenebilir elektrik ve ısı kaynağı olarak kullanılabilirdiği ve depolanabileceği için gelecekteki sürdürülebilir enerji arzı senaryosundaki rolü hem farklı hem de esnek. Fosil yakıtların kullanımının azaltılmasına ve dolayısıyla  $\text{CO}_2$  emisyonlarının azaltılmasına yardımcı olacaktır. Tahmini değerler, çalışmalar arasında önemli ölçüde farklılık gösterse de, atıklardan biyogaz üretme potansiyeli çok büyüktür [48, 50].

Biyogaz, biyometan konsantrasyonu %40'tan fazla olduğunda yanıcı bir karışımdır. Farklı bakteri türleri içeren bir mikrobiyal konsorsiyum kullanarak hidroliz, asetogenez ve

metanojenez olmak üzere dört aşamadan oluşan bir süreçle üretilir. Organik maddenin hidrolizi Clostridium, Cellulomonas, Bacillus, Thermomonospora, Ruminococcus, Bacteriodes, Acetovibrio ve Microbispora cinsleri dahil olmak üzere farklı bakteriler tarafından gerçekleştirilir. Lactobacillus, Streptococcus, Bacillus ve Escherichia asidojenezden esas olarak sorumludur [51, 52].

Petravić-Tominac ve ark., (2020) biyogazı aşağıdaki 3 madde halinde özetlemiştir. Bunlar:

- 1) Yenilenebilir bir enerji kaynağı,
- 2) Çöplüklere veya geleneksel gübre yönetimine kıyasla havaya daha düşük metan salınımı ve
- 3) Yüksek kaliteli bir çürütücü yan ürüne sahip olmak gibi çeşitli faydaları olan sürdürülebilir bir enerji vektörüdür. Aynı zamanda gübre olarak kullanılmaktadır [53].

Kougias ve Angelidaki (2018) çalışmalarında biyogaz kullanımının avantajlarını: tarım, hayvancılık, endüstri, algler ve şehir atıklarının araştırma-geliştirme yöntemleri uygulanarak; biyogaz tesislerine, enerji üretimine, ulaşım yakıtlarına, besin dönüşümüne, katma değeri yüksek ürünlere dönüştürebilme imkanlarının sağlanacağını belirtmişlerdir [54].

## 4. Sonuç

Biyoyakıtlar, petrol kaynaklarının tükenebilirliği ve çevre kirliliğinden dolayı alternatif bir yakıt kaynağı olmaktadır. Dünya çapında iklim değişikliğinden dolayı biyoyakıtlara olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Ayrıca biyoyakıtlar bir ülkenin vazgeçilmezlerinden biri olan tarım sanayisini de teşvik etmektedir.

Biyokütle kaynaklarından en verimli şekilde enerji elde edebilmek için; yenmeyen ve kullanılmayan gıda, tarım ve orman atıklarının, tarım yapılamayan düşük verimli kirlenmiş arazilerde özel olarak yetiştirilen enerji bitkilerinin, insan ve hayvan atıklarının kullanılması gerekmektedir. Biyokütle kaynağı bakımından zengin olan ülkemizde, bu kaynakların kullanılmasını yaygınlaştırmalıyız. Ülkemizdeki tarım politikalarının iyileştirilmesini sağlayarak, bioenerji kaynaklarının üretimine teşvikler verilerek gelecek yıllar için biyokütle ve biyoyakıt üretiminde süreklilik sağlayabiliriz. Ülkemizde enerji elde edilebilen tarıma verilecek destek sonucunda hem dışa bağımlılığımız oldukça azalacak hem de tarımdan geçinen çiftçilerimiz desteklenmiş olarak tarımda süreklilik sağlanacaktır.

## Kaynakça

- [1] Stöcker, M. (2008). Biofuels and biomass-to-liquid fuels in the biorefinery: Catalytic conversion of lignocellulosic biomass using porous materials. *Angewandte Chemie International Edition*, 47(48), 9200-9211.
- [2] Demirbas, A. (2000). Biomass resources for energy and chemical industry. *Energy Edu. Sci. Technol*, 5(1), 21-45.
- [3] Bülent İllez, Türkiye'nin enerji görünümü, biyokütle ve biyokütle enerjisi, 317-346.
- [4] Demirbas, A. 2000b. Recent advances in biomass conversion technologies. *Energy Edu.zszz Sci. Technol.*, 6: 19-40.
- [5] Jenkins, B., Baxter, L. L., Miles Jr, T. R., & Miles, T. R. (1998). Combustion properties of biomass. *Fuel processing technology*, 54(1-3), 17-46.
- [6] Vassilev, S. V., Vassileva, C. G., & Vassilev, V. S. (2015). Advantages and disadvantages of composition and properties of biomass in comparison with coal: An overview. *Fuel*, 158, 330-350.
- [7] Demirbas, A. (2009). Political, economic and environmental impacts of biofuels: A review. *Applied energy*, 86, S108-S117.
- [8] Kumar, M., & Gayen, K. (2011). Developments in biobutanol production: new insights. *Applied Energy*, 88(6), 1999-2012.
- [9] Karaosmanoğlu, F. (2006). Biyoyakıt teknolojisi ve İTÜ araştırmaları. İstanbul: İTÜ Matbaası.
- [10] Rodionova, M. V., Poudyal, R. S., Tiwari, I., Voloshin, R. A., Zharmukhamedov, S. K., Nam, H. G., ... & Allakhverdiev, S. I. (2017). Biofuel production: challenges and opportunities. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(12), 8450-8461.
- [11] Sustainable biofuels: prospects and challenges, The Royal Society. Policy document 01/08, ISBN 978 0 85403 662 2. Reproduced with permission of the Royal Society.
- [12] Vassilev, S. V., Baxter, D., Andersen, L. K., & Vassileva, C. G. (2013). An overview of the composition and application of biomass ash.: Part 2. Potential utilisation, technological and ecological advantages and challenges. *Fuel*, 105, 19-39.
- [13] Nigam, P. S., & Singh, A. (2011). Production of liquid biofuels from renewable resources. *Progress in energy and combustion science*, 37(1), 52-68.
- [14] Agriculture Organization. (2008). The State of Food and Agriculture 2008: Biofuels: prospects, risks and opportunities, Food & Agriculture Org., Vol. 38.
- [15] Sims, R. E., Mabee, W., Saddler, J. N., & Taylor, M. (2010). An overview of second generation biofuel technologies. *Bioresource technology*, 101(6), 1570-1580.
- [16] Bacovsky, D., Dallos, M., Wörgetter, M., & Task, I. B. (2010). Status of 2nd generation biofuels demonstration facilities in June 2010. IEA Bioenergy Task 39: Commercializing 1st and 2nd generation liquid biofuels from biomass, 39, 1-126.
- [17] Zabanitout, A., Ioannidou, O., & Skoulou, V. (2008). Rapeseed residues utilization for energy and 2nd generation biofuels. *Fuel*, 87(8-9), 1492-1502.
- [18] EİE. (2021). Türkiye Biyokütle Enerji Potansiyeli, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. Retrieved November 23, 2021, from <https://bepa.enerji.gov.tr/>
- [19] İEA. (2021). Biyoyakıt ve biyokütle kaynaklarından elektrik üretimi, Türkiye 2010-2020, Uluslararası Enerji Ajansı. Retrieved November 23, 2021, from <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/renewables>
- [20] Bengisu, G. (2014). Alternatif yakıt kaynağı olarak biyoetanol. *Alinteri Journal of Agriculture Science*, 27(2), 43-52.
- [21] Demirbaş, A. (2005). Bioethanol from cellulosic materials: a renewable motor fuel from biomass. *Energy sources*, 27(4), 327-337.
- [22] Mussatto, S. I., Dragone, G., Guimarães, P. M., Silva, J. P. A., Carneiro, L. M., Roberto, I. C., ... & Teixeira, J. A. (2010). Technological trends, global market, and challenges of bio-ethanol production. *Biotechnology advances*, 28(6), 817-830.
- [23] Methanol. (2021). Retrieved November 24, 2021, from <https://www.methanol.org/about-methanol/>
- [24] Ng, K. S., & Sadhukhan, J. (2011). Process integration and economic analysis of bio-oil platform for the production of methanol and combined heat and power. *Biomass and Bioenergy*, 35(3), 1153-1169.
- [25] Pérez-Fortes, M., Schöneberger, J. C., Boulamanti, A., & Tzimas, E. (2016). Methanol synthesis using captured CO2 as raw material: Techno-economic and environmental assessment. *Applied Energy*, 161, 718-732.
- [26] Archive. (2021). Retrieved November 24, 2021, from <https://web.archive.org/web/20171017004604/https://www.socalgas.com/smart-energy/benefits-of-natural-gas/renewable>
- [27] Shamsul, N. S., Kamarudin, S. K., Rahman, N. A., & Kofli, N. T. (2014). An overview on the production of bio-methanol as potential renewable energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 33, 578-588.
- [28] Demirbas, A. (2008). Biodiesel. Springer London, 111-119.
- [29] Dağdelen, 2015. Küresel Biyoyakıt Politikalarının AB ve Türkiye Açısından Değerlendirilmesi, AB Uzmanlık Tezi, Ankara.
- [30] AFDC Energy Retrieved. (2022). February 17, 2022, from Energy Efficiency and Renewable Energy, Biodiesel Fuel Basics.[https://afdc.energy.gov/fuels/biodiesel\\_basics.html](https://afdc.energy.gov/fuels/biodiesel_basics.html)
- [31] Anastopoulos, G., Zannikou, Y., Stournas, S., & Kalligeros, S. (2009). Transesterification of vegetable oils with ethanol and characterization of the key fuel properties of ethyl esters. *Energies*, 2(2), 362-376.



- [32] Panigrahy, S., & Mishra, S. C. (2018). The combustion characteristics and performance evaluation of DME (dimethyl ether) as an alternative fuel in a two-section porous burner for domestic cooking application. *Energy*, 150, 176-189.
- [33] Öhrman, O. G., & Pettersson, E. (2013). Dewatering of biomass using liquid bio dimethyl ether. *Drying Technology*, 31(11), 1267-1273.
- [34] Ying, W., Longbao, Z., & Wei, L. (2010). Effects of DME pilot quantity on the performance of a DME PCCI-DI engine. *Energy conversion and management*, 51(4), 648-654.
- [35] Xiu, S., & Shahbazi, A. (2012). Bio-oil production and upgrading research: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(7), 4406-4414.
- [36] Jacobson, K., Maheria, K. C., & Dalai, A. K. (2013). Bio-oil valorization: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 23, 91-106.
- [37] Ranjan, A., & Moholkar, V. S. (2012). Biobutanol: science, engineering, and economics. *International Journal of Energy Research*, 36(3), 277-323.
- [38] Durre, P. (2007). Biobutanol: an attractive biofuel. *Biotechnol. J.*, 2, 1525-1534.
- [39] Kotay, S. M., & Das, D. (2008). Biohydrogen as a renewable energy resource—prospects and potentials. *International Journal of Hydrogen Energy*, 33(1), 258-263.
- [40] Boyles, D. T. (1984). *Bio-energy: Technology, Thermodynamics, and Costs* (Vol. 1, No. 624). Ellis Horwood.
- [41] Genç, N. (2009). Biyolojik hidrojen üretim prosesleri. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(2), 17-36.
- [42] Dursun, N., & Gülşen, H. (2019). Biyohidrojen Üretim Yöntemleri ve Biyohidrojen Üretiminde Biyoreaktörlerin Kullanımı. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 9(1), 66-75.
- [43] Şentürk, İ., & Büyükgüngör, H. (2015). Anaerobik fermentasyonla biyohidrojen üretim verimine etki eden faktörler. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(2), 171-186.
- [44] Hosseini SE, Wahid MA, 2016. Hydrogen production from renewable and sustainable energy resources: Promising green energy carrier for clean development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57: 850-866.
- [45] De Souza, S. N., Santos, R.F., & Fracaro, G.P. (2011). Potential for the production of biogas in alcohol and sugar cane plants for use in urban buses in the Brazil. *World Renewable Energy Congress-Sweden; Linköping University Electronic Press, Linköping; Sweden*, 418.
- [46] Rao, P. V., Baral, S. S., Dey, R. and Mutnuri, S. (2010). Biogas generation potential by anaerobic digestion for sustainable energy development in India. *Renewable and sustainable energy reviews*, 14(7), 2086-2094.
- [47] Villadsen, S. N., Fosbøl, P. L., Angelidaki, I., Woodley, J. M., Nielsen, L. P., & Møller, P. (2019). The potential of biogas; the solution to energy storage. *ChemSusChem*, 12(10), 2147-2153.
- [48] Plugge, C. M. (2017). Biogas. *Microbial biotechnology*, 10(5), 1128-1130.
- [49] Biogas Renewable Energy. (2022). Retrieved February 17, 2021, from <https://www.biogas-renewable-energy.info/>
- [50] Biogas. (2022). Retrieved February 17, 2022, from <https://www.europeanbiogas.eu/biogas-a-necessary-solution-to-foster-eus-energy-transition/>
- [51] Parsaee, M., Kiani, M. K. D., & Karimi, K. (2019). A review of biogas production from sugarcane vinasse. *Biomass and bioenergy*, 122, 117-125.
- [52] Christy, P. M., Gopinath, L. R., & Divya, D. (2014). review on anaerobic decomposition and enhancement of biogas production through enzymes and microorganisms. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 34, 167-173.
- [53] Petračić-Tominac, V., Nastav, N., Buljubašić, M. & Šantek, B. (2020). Current state of biogas production in Croatia. *Energy, Sustainability and Society*, 10(1), 1-10.
- [54] Kougias, P. G., & Angelidaki, I. (2018). Biogas and its opportunities-A review. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 12(3), 1-12.