

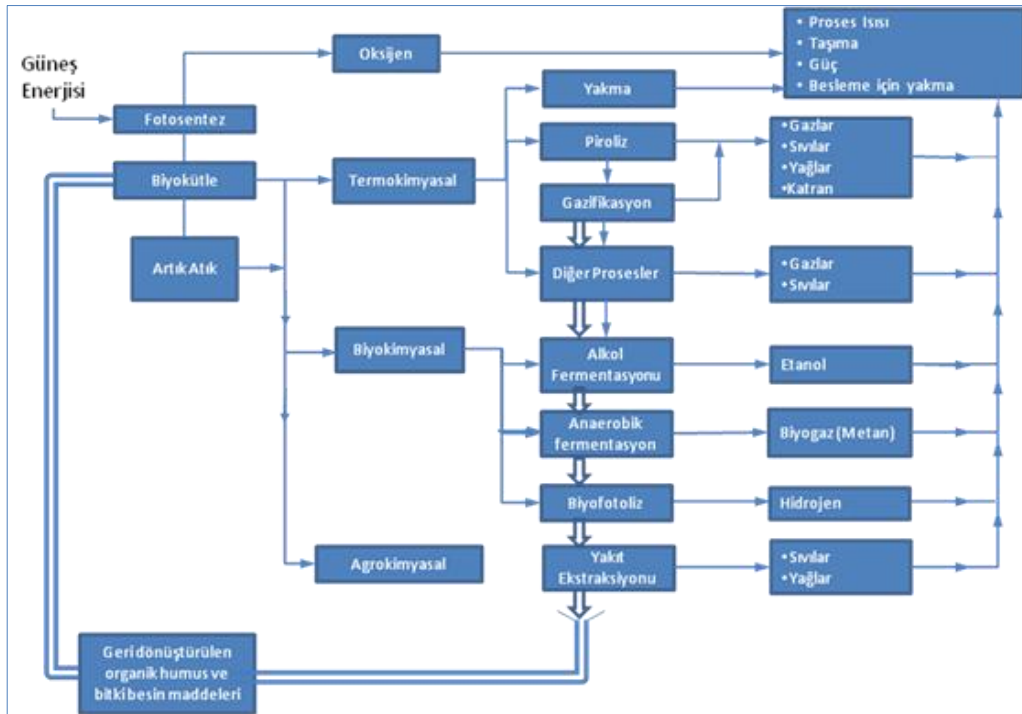
## 13. TÜRKİYE'DE BİYOKÜTLE ENERJİSİ

**Bülent İLLEEZ**  
Makina Yüksek Mühendisi

### 13.1 BİYOKÜTLE VE BİYOKÜTLE ENERJİSİ

Biyokütle, 100 yıllık dönemden daha kısa sürede yenilenebilen, biyolojik kökenli, fosil olmayan organik madde kitlesi olarak tanımlanmaktadır. Başka bir deyişle biyokütle; yaşayan ya da yakın zamanda yaşamış canlılardan elde edilen fosilleşmemiş tüm biyolojik malzemelerin genel adıdır. Bu kapsamda biyokütle enerji kaynağı ana bileşenleri, karbonhidrat bileşikleri olan bitkisel ve hayvansal kökenli tüm organik maddeler olup bu kaynaklardan elde edilen enerji biyokütle enerjisi olarak ifade edilir. Ancak klasik ormanlar, gıda ve tarımsal ürünler biyokütle enerji potansiyeli içinde düşünülmemektedir.

Biyokütle orijinal haliyle yakıt olarak kullanılabilir veya farklı katı, gaz veya sıvı biyoyakıtlara dönüştürülebilirler. (Şekil 13.1) Bu yakıtlar elektrik üretiminde, nakliye, ısıtma ve soğutma ve diğer tüm evsel kullanım ve endüstriyel prosesler için kullanılabilir. Bu nedenle genel olarak uluslararası literatürde ve veri kaynaklarında biyokütle enerji kaynakları için tipik sınıflandırma, birincil katı biyoyakıtlar, sıvı biyoyakıtlar, biyogaz, belediye ve endüstri atıkları, şeklindedir.



Şekil 13.1 Biyokütle Enerjisi Dönüşüm Yöntemleri

Biyokütle enerjisinin kullanımı klasik ve modern yöntemler olarak iki kategoriye ayrılır. Klasik kullanımda, odun, bitki ve hayvan atıkları gibi biyokütle malzemesinin direkt yakılmasıyla enerji sağlanmaktadır ve özellikle az gelişmiş ülkelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Modern kullanımda ise hayvansal ve tarımsal atıklar, organik içerikli evsel, kentsel ve endüstriyel atıklar/atık sular, enerji bitkileri, enerji ormancılığı ürünleri, orman atıkları, sucul ekosistemlerde yetişen alg ve yosun gibi biyokütle malzemelerinden dönüşüm yöntemleri ile proses ısısı, elektrik ve sıvı ya da gaz yakıt elde etmek mümkün olmaktadır.

Biyokütle ve biyokütle enerjisinin önemini anlamak için, konuya dünyamızın karşı karşıya kaldığı küresel ısınma ve çevre kirliliği açısından bakmak gerekir. Bu kapsamda dünya hükümetleri tarafından Güney Kore'de onaylanan Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC) girişimi ile 52 ülkeden 103 bilim insanı tarafından 6.000'in üzerinde bilimsel çalışma incelenerek bir rapor hazırlanmıştır. İklim krizi konusunda son zamanların en kapsamlı ve en güncel dokümanı olarak görülen rapor 8 Ağustos 2019'da kamuoyu ile paylaşılmıştır. Bu raporda atmosferin sanayileşme öncesi ortalamalara göre sadece 1,5 °C ısınması halinde, geri dönüşü mümkün olmayan bir yıkımla yüz yüze kalınacağı belirtilmektedir. Mevcut durumda dünya atmosferi zaten sanayileşme öncesi duruma göre 1,0 °C ısınmış durumdadır ve 1,5 °C sınırını geçmemek için küresel sera gazı salımlarının 2030 yılında 2010 yılına göre % 45 azaltılması ve 2050 yılında net sıfır salıma ulaşılması zorunludur. Sera gazı salımları mevcut şekilde devam ederse, küresel ısınma 2030 ila 2052 yılları arasında 1,5 °C sınırını geçecektir. Paris İklim Anlaşması kapsamında ülkelerin verdiği taahhütler de küresel ısınmayı 1,5 °C'de sınırlandırmaya yetmemektedir. Sera gazı oluşumunda önemli paya sahip olan fosil kaynaklara dayalı faaliyetlerin yanında, 2007-2016 döneminde tarım, ormancılık ve diğer toprak kullanım biçimlerinin küresel insan kaynaklı % 23'lük CO<sub>2</sub>, % 44'lük metan (CH<sub>4</sub>) ve % 82'lik azot oksit (N<sub>2</sub>O) salımından sorumlu olduğu ve bunların insan kaynaklı (antropojenik) toplam net sera gazı salımlarının % 23'ünü temsil ettiği belirtilmiştir. Diğer yandan rapora göre 821 milyon insan hâlâ yetersiz beslense de, muhtelif alanlarda ivedi ve geniş kapsamlı eylemler gerçekleştirilmesi kaydıyla, hâlihazırda kullanılan arazilerin değişen iklimlerde dünyayı besleyebileceği ve yenilenebilir enerji için biyokütle sağlayabileceği ifade edilmektedir. Sonuç olarak yenilenebilir enerji kaynakları içinde biyokütleyle ayrı bir önem verilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır.[1]

Türkiye'nin 2015 yılı için tarım sektöründen kaynaklanan sera gazı salım miktarlarına ve dağılımlarına bakıldığında 57,42 milyon CO<sub>2</sub> eşdeğeri bir salıma sahip olduğu görülmektedir (Tablo 13.1).

**Tablo 13.1** Tarım Sektöründen Kaynaklanan Sera Gazı Salım Miktarları ve Dağılımları (ktCO<sub>2</sub> eşdeğeri, 2015) [2]

Kaynak	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	NMVOC <sup>1</sup>	CO <sub>2</sub> eşdeğeri
<b>Toplam</b>	811	1.220	88	420	57.424
<b>Enterik fermantasyon</b>		1.076			26.888
<b>Gübre yönetimi</b>		126	11	200	6.304
<b>Çeltik üretimi</b>		8			200
<b>Tarım toprakları</b>			77	220	22.878
<b>Tarımsal atıkların açıkta yakılması</b>		11	0,3		343
<b>Üre Uygulamaları</b>		811			811

<sup>1</sup> Metan dışı uçucu organik bileşikler.

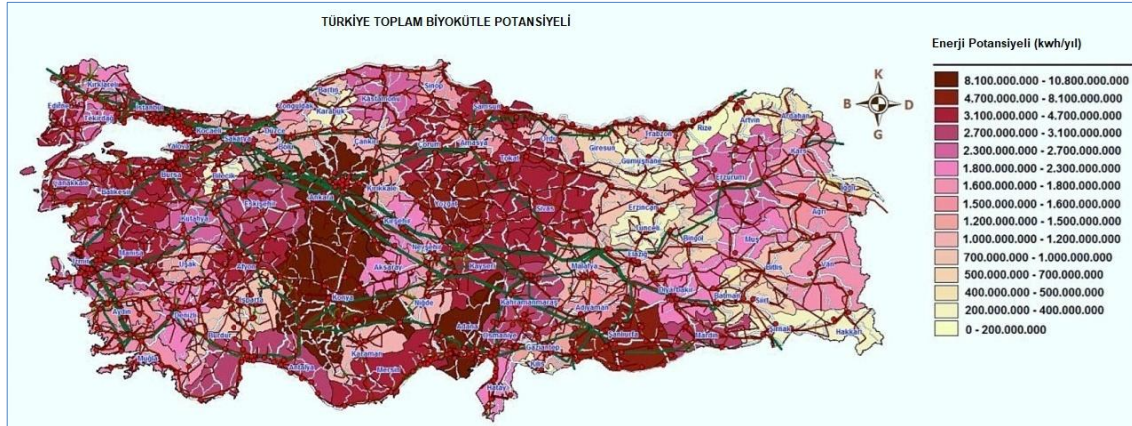
Örneğin, Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) 2006 Kılavuzları tarafından yapılan tahminlere dayanarak Türkiye'deki sera gazı salımları açısından hayvancılık sektörünün öneminin ortaya koyulması amacıyla yapılan bir çalışmada, 2015 yılı için enterik fermantasyon ve gübre yönetim sisteminden 33,85 milyon ton karbondioksit eşdeğeri salım yapıldığı belirtilmiştir. Bu çalışmada ortaya çıkan toplam hayvan gübresi miktarının anaerobik bir reaktörde kullanılacağı varsayımı ile 8,41 milyar m<sup>3</sup>, hayvan türüne göre değişen gerçekçi gübre geri kazanım oranlarına dayanılarak yapılan hesaplama ile ise 4,18 milyar m<sup>3</sup> biyogaz üretilebileceği hesaplanmıştır. Üretilen bu biyogazın yakılması ile elde edilecek elektrik enerjisi ile de toplam elektrik talebinin % 2,3'ünün karşılanabileceği ve her yıl Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC) kapsamında BM'ye sunulan Türkiye'nin Sera Gazı Envanteri'ne göre gübre yönetiminden kaynaklanan sera gazı salımlarının biyogaz üretimi ile % 1,13 oranında azaltılabileceği sonucuna varılmıştır.[3]

2015 yılında yapılan bir çalışma ile mevcut küresel orman kaynakları veri tabanları ele alınarak ormancılık atıklarının etanol ve biyodizele dönüştürülmesinin iklim değişikliğine etkisi bütünleşmiş bir yöntem ile analiz edilmiştir. Bu yöntemde fosil yakıt kaynaklı CO<sub>2</sub> salımları, biyokütle kaynaklı CO<sub>2</sub> salımları ve biyokütle kaynaklı CO<sub>2</sub> salımlarının telafisi, arazi kullanımı uygulama değişikliği ve zaman çizelgesi ile karbon dengesi üzerindeki etkisi dikkate alınmış, beş bileşen dâhil edilerek iklim değişikliğinin etkileri değerlendirilmiştir. Çalışmada tomruk artıkları etanol veya biyodizel üretmek için kullanıldığında, bunların küresel iklim değişikliğine etkilerinin -139,5 ila -488,4 milyon ton CO<sub>2</sub> eşdeğeri arasında olduğu görülmüştür. Bütünleşmiş yöntem kullanıldığında ise CO<sub>2</sub> salımlarındaki azalma 292,7' ila 864,2 milyon ton CO<sub>2</sub> eşdeğeri olarak hesaplanmıştır. Böylece küresel toplam salım azalmasının, geleneksel ve biyojenik yöntemlerden daha yüksek olduğu ve bu sayede tomruk kalıntıları kullanımının küresel toplam fosil yakıt kaynaklı sera gazı salımlarının % 1,60 ila % 4,71'ini dengeleyebileceği sonucuna varılmıştır.[4]

Avrupa Birliği'nin, bu bilinçle, biyoyakıtların çevreye zarar vermeden üretilmesi ve ithal edilmesini sağlamak amacıyla hazırladığı ve 10 Haziran 2010 tarihinde yürürlüğe koyduğu "Sürdürülebilirlik Kriter Paketi" bulunmaktadır. Bu pakete göre fosil yakıtlara nazaran 2017 yılında % 50 ve 2018 yılında % 60 daha az sera gazı salımı sağlayan yakıtlar biyoyakıt olarak sertifikalandırılmaktadır. Öte yandan, gıda amaçlı tarım arazilerinde ve biyo çeşitliliği yüksek alanlarda yetiştirilen biyoyakıt hammaddelerinden üretilen biyoyakıtlara sertifika verilmediği gibi ithal edilecek yakıtlar dâhil sertifikası olmayan biyoyakıtlar, AB biyoyakıt pazarında yer bulamamaktadır.[5]

### 13.2 TÜRKİYE BİYOKÜTLE ENERJİSİ POTANSİYELİ

Türkiye, biyokütle malzemesi üretimi bakımından elverişli güneş, tarımsal alanın kullanılabilirliği, su kaynakları ve iklim koşullarına sahip olup biyokütle enerjisi için bol miktarda kaynak sunabilecek yapıya sahiptir. Genel olarak, Türkiye'nin biyokütle kaynakları tarım, orman, hayvan, organik kentsel atık vb. maddelerden oluştuğu dikkate alındığında, biyokütle enerjisi potansiyelinin dağılımı Şekil 13.2'deki gibi görünmektedir.[6]



Şekil 13.2 Türkiye’de İllere Göre Biyokütle Potansiyel Dağılımı [6]

Biyokütle enerjisi potansiyeli ile ilgili olarak Enerji Tabii Kaynaklar Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü’nün Türkiye Biyokütle Enerjisi Potansiyeli Atlası (BEPA) adlı bir uygulaması bulunmaktadır. BEPA, Türkiye’nin neresinde hangi biyokütle kaynağından ne kadar elektrik, ne kadar biyoyakıt üretme potansiyeli olduğunu, bu kaynakların ülkenin hangi yörelerinde yoğunlaştığını harita üzerinde grafiksel ve sayısal ifadeler ile dinamik olarak sunabilen Coğrafik Bilgi Sistemi (CBS) uygulaması olarak tanımlanmaktadır. BEPA ile atık miktarları ve atıkların toplam enerji miktarı gibi bilgiler de güncel olarak alınabilmektedir (Tablo 13.2). BEPA ile hem il hem de ilçe bazında biyokütle enerjisi potansiyeli analizi işlemleri yapılabilmektedir. [7]

Tablo 13.2 BEPA’da-Türkiye’ye İlişkin Bazı Genel Bilgiler 2020 [7]

Nüfus	82.003.882
Hayvan Sayısı (adet)	422.832.374
Hayvansal Atık Miktarı (ton/yıl)	193.878.079
Hayvansal Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)	<b>4.385.371</b>
Hayvansal Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)	1.084.506
Bitkisel Üretim Miktarı (ton/yıl)	184.593.134
Bitkisel Atık Miktarı (ton/yıl)	62.206.754
Bitkisel Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)	<b>6.009.049</b>
Bitkisel Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)	1.462.159
Belediye Atıkları Miktarı (ton/yıl)	32.170.975
Belediye Atıklarının Teorik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)	<b>3.373.011</b>
Belediye Atıklarının Ekonomik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)	485.858
Orman Varlığı Artıkları (ster/yıl)	3.914.904
Orman Artıklarının Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)	<b>859.899</b>
Biyodizel İşleme Lisansı Sahibi Firma Sayısı	8
Biyooctanol İşleme Lisansı Sahibi Firma Sayısı	5
Biyokütle Kaynaklı Elektrik Üretim Santral Sayısı	199
Atıkların Toplam Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)	<b>14.627.331</b>

Bunun haricinde Türkiye'de biyokütle ve biyokütle enerjisi potansiyeli üzerine çok çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar, Türkiye'nin biyokütle konusunda sahip olduğu potansiyel hakkında oldukça önemli anlam ve değer katmalarına karşılık çalışmalarda belirtilen biyokütle potansiyeli ve enerji değerlerinde önemli farklılıklar görülmektedir.

Örnek olarak "Potential Evaluation of Biomass-Based Energy Sources For Turkey (Türkiye İçin Biyokütle Tabanlı Enerji Kaynaklarının Potansiyel Değerlendirmesi)" başlıklı bir çalışmada, Türkiye için yapılan çeşitli çalışmalarda biyokütle potansiyeli ve enerjisi değerlerinin belirlendiği ancak bu değerlerin elde edilmesinde kullanılan verilerin ayrıntılı verilmediği belirtilmiştir.[8] Bu çalışmada:

Kaygusuz, Türkiye'nin yıllık geri kazanılabilir biyoenerji potansiyelinin yaklaşık 16,92 milyon TEP olduğunu tespit etmiştir. Bu tahmin, ana tarımsal atıkların, hayvancılık tarım atıklarının, ormancılık ve odun işleme atıklarının geri kazanılabilir enerji potansiyeline ve literatürde verilen belediye atıklarına dayanmaktadır. Aynı çalışmada, belediye katı atık potansiyeli 1.300.000 TEP, hayvansal atık potansiyeli 2.350.000 TEP ve kuru ve nemli tarımsal atık potansiyeli 4.810.000 TEP olarak belirlenmiştir. Çalışmada, hayvan gübresi potansiyelinin değeri bazı istatistiksel veriler kullanılarak belirlenmiştir. Diğer kaynaklar için potansiyel değerler verilirken kullanılan veriler belirtilmemektedir.

Ediger ve Kentel, Türkiye'nin biyokütle enerji potansiyelini 17,2 milyon TEP olarak belirlemişlerdir. Araştırmada sığır, koyun ve kanatlı gübresi kaynaklı biyogaz potansiyeli 3,30 milyar m<sup>3</sup>/yıl ve deponi gazı potansiyeli 600 milyon m<sup>3</sup>/yıl olarak belirlenmiştir. Çalışmada hayvan gübresi potansiyel değeri bazı kesin veriler kullanılarak belirlenmiş olmasına karşılık diğer potansiyellerle ilgili herhangi bir hesaplama yapılmamıştır.

Demirbaş, Türkiye'nin yıllık biyokütle enerjisi potansiyelini tarımsal ve ahşap sanayii atıkları, hayvan atıkları ve diğerleri için 32 milyon TEP olarak belirlemiştir. Çalışmada, hayvan gübresinin enerji potansiyeli 1,3 milyon ve Türkiye'nin geri kazanılabilir biyo-enerji potansiyeli de yaklaşık 17 milyon TEP olarak belirlenmiştir.

Özgür, Türkiye'nin tarımsal atık potansiyelinin enerji değerini 15,6-20 milyon TEP/yıl, hayvan gübresi potansiyelini 1,17 milyon TEP/yıl ve belediye katı potansiyelini 7,52 milyon TEP/yıl olarak belirlemiştir. Çalışmada potansiyel değerler verilirken kullanılan veriler belirtilmemiştir.

Erdem, Türkiye'nin ekonomik ve uygulanabilir biyokütle potansiyelini yılda 17 milyon TEP olarak vermektedir. Bu değerlerin kapsadığı kaynak türleri ve verileri belirtilmemiştir.

Alman Federal Çevre, Doğa Koruma ve Nükleer Güvenlik Bakanlığı ve TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı işbirliğiyle 2010 yılında "Türk-Alman Biyogaz Projesi"ne başlanmıştır. Projenin hedefi, kümes hayvanları, organik atık ve gıda endüstrisi atıkları ve bu enerjinin Türkiye'nin enerji tüketimi için yaratacağı pay ile Türkiye'nin biyogaz potansiyelini belirlemektir. Bu proje kapsamında Türkiye'nin biyogaz potansiyelinin farklı kaynak türlerine göre belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmış ve buna göre Türkiye'de sığırların teorik biyogaz potansiyeli 2,77 milyon TEP/yıl ve teknik biyokütle potansiyeli 1,13 milyon TEP/yıl, kümes hayvanlarının teorik biyogaz potansiyeli 874.175 TEP/yıl ve teknik biyogaz potansiyeli 864.462 TEP/yıl olarak belirlenmiştir. Toplam teknik biyogaz potansiyelinin enerji değeri 2 milyon TEP/yıl'dır. Aynı çalışmada enerji bitkilerinin teorik biyogaz potansiyeli 7 milyon TEP/yıl ve teknik biyogaz potansiyeli 1,8 milyon TEP/yıl olarak verilmektedir. Belediye katı atıklarının teorik biyogaz potansiyeli 525.460 TEP/yıl ve teknik biyogaz potansiyeli 262.730 TEP/yıl'dır. Sığır ve kanatlı gübresi, tarımsal atıklar, enerji bitkileri, tarımsal sanayi artıkları ve belediye katı atık

kaynaklı toplam teorik potansiyeli 19 milyon TEP/yıl ve toplam teknik potansiyeli 5,26 milyon TEP/yıl'dır. Karayılmazlar, Saraçoğlu, Cabuk ve Kurt, Türkiye'deki ekonomik biyokütle enerji potansiyelini 25 milyon TEP/yıl olarak belirtmektedir. Biyolojik gübre kaynaklı biyogaz potansiyeli 2,8-3,9 milyar m<sup>3</sup> ve 1,4-2 milyon TEP olarak belirtilmiştir. Çalışmada, potansiyel değerler verilirken, kullanılan veriler belirtilmemiştir.[8]

Aslında Türkiye'de su ürünleri yetiştiriciliği ve gıda üretimi hariç, fotosentezden elde edilen enerjiye bağlı olarak, biyokütle enerjisinin teorik olarak brüt potansiyeli yıllık 135-150 milyon TEP ve kayıpların düşülmesinden sonra net potansiyelin yıllık 90 milyon TEP olabileceği hesaplanabilmektedir. Literatürdeki çeşitli kaynaklarda belirtildiği gibi ülkenin tüm tarım alanlarının sadece biyokütle yakıt üretimi için yıl boyunca kullanılması mümkün olmadığı için, mevcut teknoloji ve arazi kullanım durumlarına göre hesaplanan teorik potansiyelin yıllık 14-32 milyon TEP arasında olduğu görülmektedir.

Görüldüğü gibi Türkiye'nin farklı biyokütle kaynak tiplerine göre ve kullanılan verilere göre sahip olduğu biyokütle potansiyelinin ve bu potansiyele ilişkin enerji değerinin hesaplanması farklılıklar göstermektedir. Bu raporda da kaynaklar özellikle atıklar olmak üzere ele alınıp potansiyeller literatürdeki kaynaklardan ve değerler ise özellikle biyokütle kaynaklarının alt ısıl değerleri üzerinden ifade edilmeye çalışılmıştır.

### 13.3 BİYOKÜTLE ENERJİSİ KULLANIMI

#### 13.3.1 Biyokütle Enerjisinin Toplam Enerji Arzı İçindeki Yeri

Dünya 2018 yılı birincil enerji arzı yaklaşık 14 milyar TEP olup fosil yakıtlar toplam arzın % 81,1'ini oluşturmaktadır. (Tablo 13.3) Fosil kaynaklardan elde edilen bu enerji, dünya yüzeyine gelen ışınım ortalama 1000 W/m<sup>2</sup> olarak alınırsa, güneşten gelen yıllık toplam ışınımın % 0,01'ine denk gelmektedir. Bitkisel biyokütlerde enerji depolanması fotosentez yoluyla olmaktadır ve verimi % 1'in altındadır. Genel olarak, fotosentez yoluyla depo edilen enerji ise yıllık küresel enerji tüketiminin 10 katı civarındadır. Fakat bu enerjinin % 1,5'inden azı kullanılmaktadır.

**Tablo 13.3** Kaynak Türleri İtibarıyla Dünya Birincil Enerji Arzı (MTEP) [9]

Yıl	Toplam (MTEP)	Petrol (MTEP)	Kömür (MTEP)	Doğal Gaz (MTEP)	Nükleer (MTEP)	Hidrolik (MTEP)	Güneş, Rüzgâr vd. (MTEP)	Biyoyakıt ve Atık (MTEP)
1990	8.765	3.233	2.220	1.664	526	184	37	902
1995	9.217	3.373	2.207	1.808	608	213	42	965
2000	10.024	3.663	2.317	2.072	675	225	60	1.012
2005	11.479	3.999	2.994	2.361	722	252	70	1.082
2010	12.849	4.136	3.653	2.733	719	296	110	1.202
2015	13.628	4.329	3.853	2.950	670	336	204	1.286
2017	13.971	4.450	3.790	3.107	687	351	257	1.329
2018 <sup>2</sup>	14.314	4.501	3.821	3.273	709	361	293	1.357

<sup>2</sup> 2018 verileri Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) *World Enerji Outlook 2019* yayınından alınmıştır.

Fosil yakıtların 1990 yılı dünya toplam birincil enerji arzındaki % 82,1'lik payı yıllar içerisinde önemli oranda değişmemiştir ve 2017 yılına gelindiğinde yine % 82,1 paya sahip durumdadır. Hatta 2016-2017 döneminde, fosil yakıtların birincil enerji olarak arzı yenilenebilir enerji kaynaklarının arzından daha fazla artmıştır. Bu eğilim 2018 ve 2019'da devam etmiştir. Sonuç olarak iklim değişikliği, çevre koruma ve fosil yakıtların negatif etkisi konuları dünya gündemindeki önemini artırarak sürdürmesine rağmen, 2020 yılına gelindiğinde fosil yakıtların hâkimiyetini devam ettirmesi dikkat çekicidir. Toplam küresel birincil enerji arzında Asya kıtası (6,8 milyar TEP) yaklaşık % 49 ile tüm kıtalar arasında en yüksek orana sahiptir. Bu oran Amerika kıtaları toplamı için (3,34 milyar TEP ile) % 23, Avrupa için (2,87 milyar TEP ile) % 21, Afrika kıtası için (826 milyon TEP ile) % 6 ve Okyanusya için (154 milyon TEP ile) % 1'dir.

**Tablo 13.4** Dünya Birincil Enerji Kaynakları Kullanımında Paylar [9]

Yıl	Toplam (MTEP)	Kömür (%)	Doğal Gaz (%)	Petrol (%)	Fosil Yakıt (%)	Nükleer (%)	Yenile- nebilir (%)	Biyokütle/Yen ilenebilir (%)
1990	8.765	25,3	19,0	36,9	81,2	6,0	12,8	80,4
1995	9.217	23,9	19,6	36,6	80,2	6,6	13,2	79,1
2000	10.024	23,1	20,7	36,5	80,3	6,7	12,9	78,0
2005	11.479	26,1	20,6	34,8	81,5	6,3	12,2	77,0
2010	12.849	28,4	21,3	32,2	81,9	5,6	12,5	74,7
2015	13.628	28,3	21,6	31,8	81,7	4,9	13,4	70,4
2017	13.971	27,1	22,2	31,8	81,2	4,9	13,9	68,6
2018	14.314	26,7	22,9	31,4	81,0	5,0	14,0	67,5

Tablo 13.4'te görüldüğü gibi dünyada toplam enerji kaynakları kullanımında yenilenebilir enerji kaynaklarının payı % 12'lerde seyretmekte iken son yıllarda artış eğilimi göstermektedir.

Türkiye'de birincil enerji kaynaklarının kullanımı ise 1990 yılından 2018 yılına kadar 2,8 katı artmıştır<sup>3</sup> (Tablo 13.5). Dünya genelinde bu artış % 60 kadardır. Türkiye'de fosil kaynakların birincil enerji arzındaki payı % 86,6'dır ve bu pay dünya ortalamasından daha yüksektir.

Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam enerji arzındaki payı 1990 yılında % 18,8 iken, 2000 yılında % 13,3'e, 2010 yılında % 11,1'e gerilemiştir. Ardından artarak 2018 yılına gelindiğinde % 13,4 ile tekrar 2000 yılı oranına ulaşmıştır. Bu oran gelecek yıllarda artma eğilimindedir (Tablo 13.6).

<sup>3</sup> Burada Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) verilerine göre değerlendirme yapılmıştır. Bu verilerle T.C. ETKB Enerji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından yayımlanan Ulusal Enerji Denge Tabloları arasında bazı küçük farklılıklar vardır.

**Tablo 13.5** Kaynak Türleri İtibarıyla Türkiye Birincil Enerji Arzı [9]

Yıl	Toplam (MTEP)	Petrol (MTEP)	Kömür (MTEP)	Doğal Gaz (MTEP)	Nükleer (MTEP)	Hidrolik (MTEP)	Güneş, Rüzgâr vd. (MTEP)	Biyoyakıt ve Atık (MTEP)
1990	51,50	23,40	15,58	2,86	0,00	1,99	0,46	7,21
1995	60,96	28,43	15,97	5,79	0,00	3,06	0,65	7,07
2000	76,00	30,40	22,83	12,64	0,00	2,66	0,97	6,50
2005	84,09	28,75	22,39	22,79	0,00	3,40	1,43	5,34
2010	105,79	31,51	31,21	31,40	0,00	4,45	2,69	4,53
2015	128,48	38,70	34,51	39,38	0,00	5,77	6,89	3,22
2018	145,94	42,00	43,27	41,10	0,00	5,14	11,40	3,04

**Tablo 13.6** Türkiye Birincil Enerji Kaynakları Kullanım Oranları

Yıl	Toplam (MTEP)	Kömür (%)	Doğal Gaz (%)	Petrol (%)	Fosil Yakıtlar (%)	Nükleer (%)	Yenilenebilir (%)	Biyokütle/ Yenilenebilir (%)
1990	51,50	30,3	5,5	45,4	81,2	0,0	18,8	74,6
1995	60,96	26,2	9,5	46,6	82,3	0,0	17,7	65,6
2000	76,00	30,0	16,6	40,0	86,7	0,0	13,3	64,2
2005	84,09	26,6	27,1	34,2	87,9	0,0	12,1	52,5
2010	105,79	29,5	29,7	29,8	89,0	0,0	11,0	38,8
2015	128,48	26,9	30,7	30,1	87,6	0,0	12,4	20,3
2018	145,94	29,6	28,2	28,8	86,6	0,0	13,4	15,5

### 13.3.2 Biyokütlenin Yenilenebilir Enerji Kaynakları İçindeki Yeri

Biyokütle, toplam yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde Afrika'da % 96, Amerika'da % 59, Asya'da % 65 ve Avrupa'da % 59 kullanım oranına sahiptir. Aslında küresel olarak bakıldığında biyokütlenin yenilenebilir enerji kaynakları içindeki oranı 1990 yılında % 80,4 iken 2000 yılında % 78'e, 2018 yılında ise % 67,5'e düşmüştür. (Tablo 13.4) Buna rağmen biyokütle enerjisi toplam yenilenebilir enerji kaynakları arzı içinde hâlâ büyük bir paya sahip olmaya devam etmektedir. Küresel olarak biyokütle oranının özellikle 2000'li yıllara kıyasla önemli ölçüde azalmasında gelişmekte olan bölgelerde pişirme ve ısıtma için geleneksel biyokütle kullanımının azalmasının etkisinin olduğu belirtilmektedir. Ayrıca odun peletleri, biyogaz ve sıvı biyoyakıtlar gibi modern biyokütle çözümlerinin artan kullanımından modern biyoenerji kaynaklarının gelecekteki yenilenebilir enerji dağılımında önemli bir yer alacağı anlaşılmaktadır. [10]

Türkiye'de biyokütlenin yenilenebilir enerji içindeki oranı küresel alandaki orandan farklı olarak 1990 yılında % 75 iken yıllar içerisinde sürekli azalarak 2018 yılı sonuna gelindiğinde % 15'ler seviyelerine düşmüştür. (Tablo 13.6)



Türkiye’de biyokütle enerjisinin yenilenebilir enerji kaynakları içerisindeki payının bu kadar düşmüş olmasının gerekçesi olarak, küresel alanda olduğu gibi, geleneksel biyokütle kullanım oranının azalması gösterilebilir. Ancak esas olarak klasik biyokütle kullanımı önemli ölçüde azalırken modern biyokütleye geçiş de yavaş olmaktadır. Diğer bir ifade ile Türkiye’nin biyokütle potansiyeli modern yöntemlerle yeteri kadar değerlendirilmemesinden kaynaklanmaktadır. Türkiye’nin 2018 yılında biyokütle enerji arzı yaklaşık 3,1 milyon TEP olarak gerçekleşmiş olup BEPA ve çeşitli kaynaklara göre Türkiye’deki toplam biyokütle enerji potansiyeli 14,6–32 milyon TEP arasında değişmektedir. Türkiye, bugünkü teknoloji ve kullanım alanları ve atık durumuna göre mevcut biyokütle potansiyelinin % 78–% 90’ını değerlendirmemektedir.

Küresel olarak 2017 yılında enerji amaçlı 1.328.000.000 TEP biyokütle kullanılmıştır. Kullanımın % 86’sı odun yongaları, odun peletleri, pişirme ve ısıtma için yakacak odun vb. gibi birincil katı biyoyakıtlar, % 7’si sıvı biyoyakıt, her biri % 2-3 oranında eşit paya sahip olarak biyogaz, belediye atıkları, endüstriyel atıklar olarak kullanılmıştır. Biyokütle arzı 2017 yılında bir önceki yıla kıyasla, yaklaşık 24 milyon TEP olarak % 1,5’lik düşüş ile son 17 yılda ilk kez azalmıştır. Bu düşüşün birincil katı biyoyakıtların yani klasik biyokütlenin azalmasıyla gerçekleştiği ancak buna karşılık modern biyokütle kullanımı ile atık, biyogaz ve sıvı biyoyakıtlar gibi kategorilerde artış olduğu görülmüştür. [10]

**Tablo 13.7** Kaynaklarına Göre Küresel Biyokütle Enerji Kullanımı [10]

	<b>Toplam Biyokütle</b> (MTEP)	<b>Belediye Atıkları</b> (MTEP)	<b>Endüstriyel Atıklar</b> (MTEP)	<b>Katı Biyo Yakıtlar</b> (MTEP)	<b>Biyogaz</b> (MTEP)	<b>Sıvı Biyo Yakıtlar</b> (MTEP)
<b>2000</b>	1.022,26	17,67	11,70	964,94	6,69	20,54
<b>2005</b>	1.096,30	22,45	10,75	1.015,10	11,94	35,11
<b>2010</b>	1.222,89	27,71	18,39	1.077,19	20,06	79,30
<b>2015</b>	1.316,04	32,96	21,26	1.120,19	31,05	112,74
<b>2016</b>	1.349,48	34,15	24,60	1.175,12	31,29	85,03
<b>2017</b>	1.327,98	34,63	25,56	1.151,24	31,77	87,18

2018 yılında dünyada enerji kaynağı olarak biyokütle en fazla Asya olmak üzere sırasıyla Afrika ve Amerika’da kullanılmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde biyokütle oranı en yüksek yerler Asya ve Afrika kıtalarıdır. Sahip oldukları bu yüksek oranlar klasik biyokütle olarak tarif edilen ısıtma ve pişirme amaçlı olarak yakacak odun ve odun kömürünün yaygın kullanımından gelmektedir. Sıvı biyoyakıt olarak en yüksek kullanım ise mısır ve şeker kamışından yüksek oranda biyoetanol üreten ABD ve Brezilya’da görülmektedir ve bu ülkeler dünya toplam sıvı biyoyakıt kullanımının % 70’inden fazlasını gerçekleştirmektedir. Biyokütle enerjisi olarak belediye atıkları kullanımında ise modern biyokütle olarak tarif edilen biyogaz, atık yakma, gazlaştırma vb. enerji teknolojilerinin yaygın olarak kullanıldığı Avrupa öncülük etmektedir. Avrupa 2018 yılında belediye atıkları kullanımında dünya genelinde % 50’den fazla paya sahip durumdadır.[10]

Genel olarak uluslararası literatürde ve veri kaynaklarında biyokütle için tipik sınıflandırma, birincil katı biyoyakıtlar, sıvı biyoyakıtlar, biyogaz, belediye ve endüstriyel atıkları, şeklinde olup ülkeler de biyokütle enerji verilerini bu başlıklar altında vermektedirler. Türkiye için ETKB (Enerji Tabii Kaynaklar Bakanlığı)'nin yayımladığı Ulusal Enerji Denge Tablolarında ise 2015 yılından itibaren biyokütle, “Biyoenjerji ve Atıklar” adı altında Yakacak Odun, Atıklar ve Biyoyakıt verilerini içeren tek bir başlıkla ifade edilmektedir. 2015 yılından önce ise biyokütle kaynakları Hayvansal Bitkisel Artıklar olarak ifade edilmiş, odun yakacak ise ayrı olarak belirtilmiştir.[11]

Uluslararası Enerji Ajansı yenilenebilir enerjilere yönelik son veri tabanı dokümantasyonunda, Türkiye verilerinin ETKB'den alındığı belirtilmektedir. Bu dokümana göre ETKB elektrik ve ısı üretimi için kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarına ve atıklara yönelik verileri sadece aralıklı olarak etüt etmektedir. Bu nedenle Türkiye biyoyakıt verilerinde ve atık zaman serilerinde bazı kırılmalar görülebildiği ifade edilmektedir. [13] Dolayısıyla 2015 öncesi biyokütle verilerinin ne 2015 sonrası verilerle, ne de uluslararası verilerle eşdeğer karşılaştırılması çok mümkün olamamaktadır.

**Tablo 13.8** Türkiye Biyokütle Enerji Arzı [9, 11, 12]

	<b>Biyoenjerji ve Atıklar</b> (TEP)	<b>Yakacak Odun</b> (TEP)	<b>Atıklar</b> (TEP)	<b>Biyo Yakıt</b> (TEP)	<b>Hay. Bit. Atık</b> (TEP)	<b>Sıvı Biyo Yakıtlar</b> (TEP)
2000	6.457.000	5.081.000			1.376.000	
2005	5.325.000	4.146.000			1.179.000	
2010	4.489.000	3.392.000		6.000	1.091.000	
2014	3.250.000	2.162.000		81.000	1.007.000	
2015	2.945.000					
2016	2.843.000					
2017	2.531.000					
2018	3.014.000	972.000	1.883.000			159.000

Bu karmaşık verilere göre biyoenjerji ve atıklar, Türkiye’de 2018 yılında 143.666.000 TEP olan toplam enerji ürünleri arzında 3.104.000 TEP ile yaklaşık % 2’lik paya sahip olmuştur. 2018 yılı toplam nihai enerji tüketimi ise 109.438.000 TEP olarak gerçekleşmiş ve bu tüketimin 2.548.000 TEP’lik kısmı biyoenjerji ve atıklara ait olmuştur. Kullanılan biyokütlenin yaklaşık % 82’si nihai sektörlerde kullanılmıştır. Bu tüketimin 834.000 TEP ile % 33’ü sanayi, 159.000 TEP ile % 6,2’si ulaştırma (karayolları), 1.555.000 TEP olarak % 61’i konutlarda tüketilmiştir. 465.000 TEP’lik biyokütle çevrim ve enerji sektöründe ısı ve elektrik üretimi için kullanılmıştır.[11]

### 13.3.3 Biyokütle Enerjisinin Elektrik Enerjisi Üretimindeki Yeri

Elektrik üretimine yenilenebilir enerji teknolojilerinin girmesiyle karbon salımının azaltılması yönünde önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Ancak dünya birincil enerji arzı içinde elektrik üretiminin payı sadece % 16'dır.

Dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrikte 2000 yılından 2019 yılına gelindiğinde 10.202 TWh'lık (877 milyon TEP) artış olmuş ve yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam elektrik üretimindeki payı % 19'dan % 25'e ulaşmıştır. Aynı dönemde elektrik üretimindeki artışın en büyüğü 1501 TWh'ı (129 milyon TEP) hidroelektrikten olmak üzere, 1096 TWh'ı (94 MTEP) rüzgâr enerjisinden, 453 TWh'ı (39 milyon TEP) güneş enerjisinden ve 481,5 TWh'ı (41,4 milyon TEP) biyoyakıtlardan, 114 TWh'ı (9,8 milyon TEP) atıklardan sağlanmıştır.

Son 17 yıl içinde güneş ve rüzgârdan elektrik üretimi sırasıyla 300 ve 36 kat gibi büyük hızlarda artarken, biyokütle sadece 4 kat artmıştır. 2018 yılında, biyoyakıt ve atıklar olmak üzere biyokütle tabanlı kaynaklardan üretilen 596 TWh (51 milyon TEP) elektrik enerjisi ile hidroelektrik ve rüzgârdan sonra elektrik üretiminde en büyük üçüncü yenilenebilir enerji kaynağı durumundadır.

**Tablo 13.9** Kaynaklara Göre Küresel Elektrik Üretimi [9]

Yıl	Toplam (MTEP)	Kömür (MTEP)	Petrol (MTEP)	Doğal Gaz (MTEP)	Nükleer (MTEP)	Diğer Kaynak. (MTEP)	Yenilenebilir	
							(MTEP)	Payı (%)
1990	1.023,24	380,87	113,91	150,50	173,08	1,71	203,17	19,86
1995	1.146,15	429,27	106,26	173,71	200,51	2,05	234,34	20,45
2000	1.334,38	515,43	103,76	237,29	222,75	1,90	253,24	18,98
2005	1.580,21	629,55	97,62	318,50	238,00	2,86	293,68	18,58
2010	1.858,66	745,16	84,04	416,06	237,00	2,92	373,49	20,09
2015	2.098,09	821,45	83,91	479,47	221,00	3,07	489,19	23,32
2018 <sup>4</sup>	2.287,45	870,42	69,48	526,05	233,71	3,18	584,61	25,56

Biyokütleden elektrik üretimi, fosil yakıt talebini azaltmak için sürdürülebilir ve yenilenebilir kaynak olarak önemli bir seçenektir. Biyokütle, pelet ve cips gibi katı yakıt, biyogaz gibi gaz yakıt ve biyodizel, biyoetanol gibi sıvı yakıt olarak elde edilebildiğinden dağıtılabilir olma ve depolama kolaylığı gibi avantajlar sağlamaktadır. Diğer yandan bu sayede fosil kaynakların yerini almada, genelde, sadece elektrik üretimine katkı sağlayan diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre çok daha güçlü seçenek oluşturabilmektedir.

<sup>4</sup> 2018 verileri Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) *World Energy Outlook 2019* yayınından derlenmiştir. Adı geçen yayında toplam elektrik üretimi 26.603 TWh olarak verilmekte ve yukarıdaki gibi detaylandırılmaktadır.

**Tablo 13.10** Dünyada Türlerine Göre Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Üretimi [9]

Yıl	Hidrolik (GWh)	Jeotermal (GWh)	Biyoyakıt (GWh)	Rüzgâr (GWh)	Atık (GWh)	Güneş PV (GWh)	Güneş Termal (GWh)	Dalga (GWh)
1990	2.191.675	36.426	105.479	3.880	24.142	91	663	536
1995	2.545.965	39.895	95.247	7.959	34.768	197	824	547
2000	2.695.854	51.989	114.407	31.348	49.543	994	526	546
2005	3.019.502	58.284	170.875	103.922	57.821	3.929	597	516
2010	3.530.272	68.106	280.559	341.384	89.029	32.222	1.645	513
2015	3.989.825	80.562	417.802	838.314	101.561	250.574	9.605	1.006
2018 <sup>5</sup>	4.203.000	90.000	636.000	1.265.000	Biyoyakıt dâhil	592.000	12.000	1.000

2017 yılında Amerika ve Avrupa'da elektrik enerjisinin % 30'undan, Asya'da ise % 20'sinden fazlası yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmiştir. Bu oran benzer şekilde Afrika için % 17,5, Avrupa için % 30, Okyanusya için % 25'dir. Asya'da toplam elektrik üretimi 12.879 TWh (1,12 milyar TEP) olup, 213 TWh (18 milyon TEP) ile toplamın % 1,65'i biyokütleden sağlanmıştır. Amerika kıtalarında toplam elektrik üretimi 6.560 TWh (564 milyon TEP), biyokütleden elektrik üretimi 159 TWh (13,6 milyon TEP) ile % 2,42'sidir. Avrupa'da toplam elektrik üretimi 5.158 TWh (443,5 milyon TEP), biyokütleden üretim 218 TWh (18,7 milyon TEP) ile % 4,22 ile dünyada en büyük orana sahiptir. Okyanusya'da toplam üretim 302 TWh (26 milyon TEP), biyokütleden üretim 4,09 TWh (352 bin TEP) ile % 1,35 olarak gerçekleşmiştir.[10]

Dünya genelinde, biyokütleden 2017 yılında bir önceki yıla göre, 25.000 GWh (2.15 milyon TEP, % 4) artış ile toplamda 595.616 GWh (51 milyon TEP) elektrik enerjisi üretilmiştir. 2000-2017 yılları arasında biyokütleden elektrik enerjisi üretimi 3,6 kat artmıştır. Biyokütleden elektrik enerjisi üretiminin % 65'i ise sadece büyük ölçekli elektrik ve kojenerasyon (kombine ısı/enerji) santrallerinde odun yongaları, odun peletleri gibi birincil katı biyoyakıtlardan elde edilmiştir. Bu üretimde belediye ve endüstriyel atıkların oranı %19 iken biyogaz % 14 paya sahip olmuştur. Sıvı biyoyakıtlar, biyokütle güç üretiminin küçük bir bölümünü oluşturmakta olup elektrik enerjisi üretimi yerine ulaşım sektörünün ihtiyaçlarını karşılamak için en iyi alternatif kaynak olma özelliğini taşımaktadırlar.[10]

<sup>5</sup> 2018 verileri Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) *World Enerji Outlook 2019* yayınından alınmıştır.

**Tablo 13.11** Dünya ve Türkiye Biyoyakıt ve Atıklardan Elektrik Üretimi [9]

Yıl	Dünya						Türkiye				
	Toplam (Gwh)	Endüstr. Atıklar (GWh)	Birincil Katı Biyoyakıt (GWh)	Biyogaz (GWh)	Belediye Atıkları (GWh)	Sıvı Biyo Yakıtlar (GWh)	Toplam (GWh)	Endüst. Atıkları (GWh)	Birincil Katı Biyo Yakıt (GWh)	Biyogaz (GWh)	Sıvı Biyo Yakıtlar (GWh)
1990	129.457	7.665	101.828	3.651	16.313		38		38		
1995	128.162	10.936	89.081	6.166	21.979		222		222		
2000	163.966	15.259	101.285	13.122	34.300		174	8	145	21	
2005	228.737	11.662	147.910	20.985	46.200	1.980	44	10	5	29	
2010	369.585	26.626	229.022	46.469	62.400	5.068	346	14	36	296	
2015	519.173	28.570	327.370	82.807	72.800	7.626	1263	22	32	1.208	1
2017	595.616	39.987	388.521	86.328	74.100	6.680	2658	23	474	2.158	3

**Tablo 13.12** Dünya Elektrik Üretiminde Yenilenebilir ve Biyokütle Enerjileri Payı

Yıl	Yenilenebilir/Toplam (%)	Biyokütle/Yenilenebilir (%)	Biyokütle /Toplam (%)
1990	19,86	5,49	1,09
1995	20,45	4,77	0,98
2000	18,98	5,57	1,06
2005	18,58	6,70	1,24
2010	20,09	8,51	1,71
2015	23,32	9,13	2,13
2018	25,56	9,35	2,39

Türkiye'nin 2018 yılında elektrik üretimi 303.625 GWh (26 milyon TEP) olup bu üretimin % 68'i fosil kaynaklardan, % 32'si de yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilmiştir. Ancak biyokütle'nin yenilenebilir enerji içindeki payı % 2,75 ve toplam elektrik üretimi içindeki payı % 0,88 olarak oldukça düşük seviyede kalmıştır (Tablo 13.13 ve 13.14).

**Tablo13.13** Türkiye Kaynaklara Göre Elektrik Üretimi<sup>6</sup>

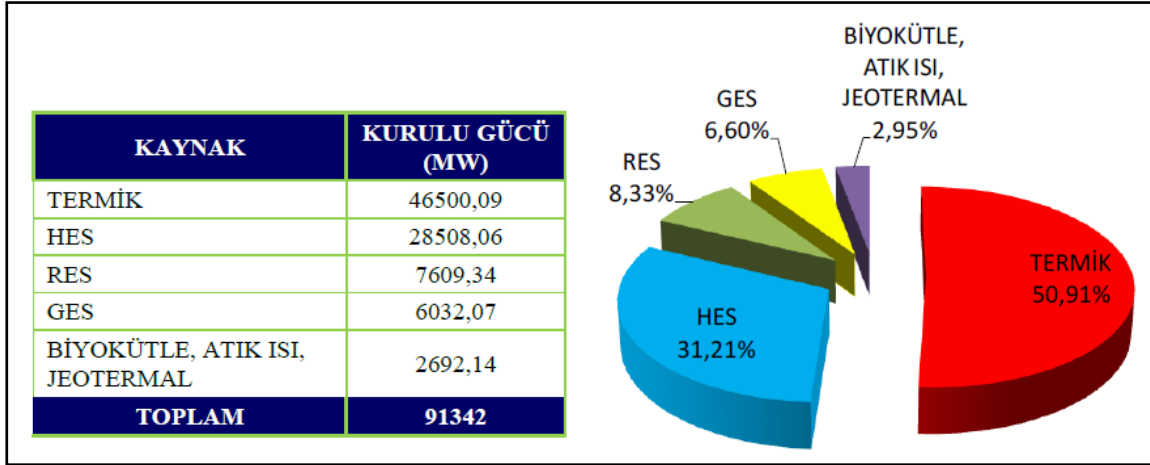
Yıl	Toplam (GWh)	Fosil (GWh)	Diğer (GWh)	Yenilenebilir (GWh)	Hidro (GWh)	Jeo termal (GWh)	Solar PV (GWh)	Rüzgâr (GWh)	Biyokütle +Atık (GWh)
1990	57.543	34.315		23.228	23.148	80			
1995	86.247	50.398		35.849	35.541	86			222
2000	124.922	93.714	46	31.162	30.879	76		33	174
2005	161.956	122.120	78	39.758	39.561	94		59	44
2010	211.208	155.371	111	55.726	51.796	668		2.916	346
2015	261.783	177.608	495	83.680	67.146	3.425	194	11.652	1.263
2018	304.802	206.061	934	97.777	59.938	7.431	7.798	19.949	2.659

<sup>6</sup> Türkiye Elektrik Enerjisi Üretiminin Birincil Enerji Kaynaklarına Göre Yıllar İtibariyle Gelişimi (2000-2018) ve (1975-1999) tablolarının, *ETKB Ulusal Enerji Denge Tablosu* (2018 yılı için) ve *Uluslararası Enerji Ajansı İstatistik Verileri* (<https://www.iea.org/data-and-statistics>) bilgilerinden yararlanılarak detaylandırılmasıyla oluşturulmuştur

**Tablo 13.14** Türkiye Kaynaklara Göre Elektrik Enerjisi Üretim Oranları

Yıl	Toplam (GWh)	Yenilenebilir (GWh)	Fosil (GWh)	Yenilenebilir /Toplam (%)	Fosil /Toplam (%)	Biyokütle /Yenilenebilir (%)	Biyokütle /Toplam (%)
1990	57.543	23.228	34.315	40,37	59,63	0,00	0,00
1995	86.247	35.849	50.398	41,57	58,43	0,62	0,26
2000	124.922	31.162	93.714	24,95	75,02	0,56	0,14
2005	161.956	39.758	122.120	24,55	75,40	0,11	0,03
2010	211.208	55.726	155.371	26,38	73,56	0,62	0,16
2015	261.783	83.680	177.608	31,97	67,85	1,51	0,48
2018	304.802	97.777	206.061	32,08	67,60	2,72	0,87

ETKB Enerji İşleri Genel Müdürlüğü'nün Türkiye elektrik yatırımları 2020 yılı Ocak ayı özet raporuna göre, 2019 yılı Ocak ayı sonu Toplam Türkiye Kurulu Gücü 88.894 MW iken, 2020 yılı Ocak ayı sonunda kurulu güç 91.342 MW değerine ulaşmıştır. Kurulu güç olarak bakıldığında hidroelektrik santraller hariç yenilenebilir enerji kaynaklarının payı % 17,88'dir. Biyokütlenin atık ısı ve jeotermal ile beraber kullanım oranı % 2,95 olup sadece biyokütle toplam elektrik üretiminin yaklaşık % 1'ini oluşturmaktadır.[14]

**Şekil 13.3** Türkiye Kaynaklara Göre Toplam Kurulu Güç Dağılımı, 31.01.2020 İtibarıyla [14]

Türkiye nüfus olarak (83 milyon 154) Almanya nüfusuna (83 milyon 149) eşit, yüz ölçüm olarak yaklaşık iki katı büyüklükte bir ülkedir. Kaba ama gerçekçi olacak basit bir öngörüyle, biyokütle potansiyelinin en azından Almanya'nınki ile aynı olması gerekir. Ancak sadece biyokütleden elektrik üretimine bakıldığında Almanya biyokütleden 52.187 GWh (4,4 milyon TEP) ile Türkiye'ye göre yaklaşık 20 katı daha fazla elektrik enerjisi üretmektedir (Tablo 13.15).

Elektrik üretimi için gazlaştırmanın yanı sıra atık biyokütlenin doğrudan yakılması yöntemini kullanan tesisler de mevcuttur. 2018 yılı sonunda TEİAŞ verilerine göre biyogaz, biyokütle, atık ısı ve pirolitik yağ enerji santrallerinin kurulu gücü 2018 sonunda 819 MW, 2019 sonunda 1.163 MW olup, bunlar-

dan sırasıyla 3623 GWh ve 4.524 GWh elektrik enerjisi üretilmiştir. EPDK verilerine göre 2019 yılı sonunda toplam 318 MW kapasitede santral inşa halindedir.

**Tablo 13.15** Biyokütle Kaynaklarına Göre Almanya–Türkiye Elektrik Üretimi Karşılaştırması

Yıl	Türkiye					Almanya					
	Topl. (Gwh)	Endüstr. Atıkl. (Gwh)	Birincil Katı Yakıt (Gwh)	Biyogaz (Gwh)	Sıvı Biyoyakıt (GWh)	Topl. (Gwh)	Endüst. Atıkl. (Gwh)	Birincil Katı Yakıt (Gwh)	Biyogaz (Gwh)	Belediye Atıkları (Gwh)	Sıvı Biyoyakıt (GWh)
1991	38		38			3.968	2.373	129	247	1.219	
1995	222		222			6.348	3.915	496	589	1.348	
2000	174	8	145	21		8.277	3.946	804	1.683	1.844	
2005	44	10	5	29		17.131	2.775	7.127	3.862	3.252	115
2010	346	14	36	296		35.911	1.605	10.768	17.430	4.747	1.361
2015	1.263	22	32	1.208	1	51.611	1.288	11.034	33.073	5.768	448
2017	2.658	23	474	2.158	3	52.187	928	10.721	33.943	6.158	437

### 13.3.4 Biyokütleden Isı Enerjisi Üretimi

Sektörel nihai enerji tüketiminin neredeyse yarısı ısı enerjisi olarak, genellikle konut ısıtma, endüstriyel ve ticari kuruluşlar için alan ısıtma ve sıcak su ihtiyaçları için kullanılmaktadır. Dünya, elektrik üretiminde özellikle yenilenebilir kaynakların kullanılması ile karbondan arındırılması konusunda önemli ilerlemeler kaydetmesine karşılık ısıtma sektörü bu kapsamda geri kalmış, ancak ulaştırma sektöründen biraz daha iyi konumda ilerlemektedir. Fosil yakıtların kullanılmasının azaltılması kapsamında, ısıtma sektörü için seçenekler elektrik sektörüne göre oldukça sınırlıdır. Jeotermal ve güneş enerjisi de, ısıtma sektöründe fosil yakıt kullanımını azaltmak için kullanılan seçeneklerdendir, ancak biyokütle, ısıtma için en önemli yenilenebilir enerji alternatifi olarak değerlendirilmektedir.

**Tablo 13.16** Dünyada Kaynaklar İtibarıyla Isı Üretimi [10]

Yıl	Kömür (kTEP)	Petrol (kTEP)	Doğal Gaz (kTEP)	Biyo Yakıt (kTEP)	Atık (kTEP)	Nükleer (kTEP)	Jeoterm. (kTEP)	Solar Termal (kTEP)	Diğer (kTEP)
1990	115.436	60.928	193.519	4.151	2.050	1.040	368	0	2.227
1995	104.210	46.320	170.951	4.452	3.785	487	399	0	1.259
2000	103.447	27.701	148.946	5.110	4.780	456	437	1	1.557
2005	113.502	23.053	158.114	7.046	5.619	490	569	1	10.530
2010	126.477	20.036	161.765	10.718	7.982	653	624	5	9.805
2015	136.252	14.216	140.834	13.045	9.726	617	818	25	11.098
2017	142.783	12.569	147.495	14.984	10.859	639	953	43	12.838

(kTEP = x1000 TEP)

1990 yılında dünya genelinde biyokütle kaynaklarından üretilen ısı 6,2 milyon TEP olarak gerçekleşmiş ve toplam ısı üretiminin sadece % 1,6'sını karşılamıştır. 2018 yılında ise biyokütleden ısı üretimi 26 milyon TEP ile % 7,5 paya ulaşmıştır. Avrupa belediye atıkları, katı biyoyakıtlar ve endüstriyel atıklar dâhil olmak üzere tüm biyokütle kaynaklarını yaygın ve etkin kullanması nedeniyle küresel olarak elde edilen ısınnın % 87 payı ile dünya lideri konumundadır.

**Tablo 13.17** Türkiye'de Kaynaklara Göre Isı Üretimi [9, 11, 12]

	<b>Toplam</b> (TEP)	<b>Kömür</b> (TEP)	<b>Petrol</b> (TEP)	<b>Doğal Gaz</b> (TEP)	<b>Diğer.</b> (TEP)	<b>Biyo Yakıtlar</b> (TEP)	<b>Atık</b> (TEP)	<b>Biyokütle Payı</b> (%)
<b>2000</b>	401.166	21.878	26.846	337.800	14.641	0.000	0.000	0,0
<b>2005</b>	875.060	15.621	35.254	799.346	24.840	0.000	0.000	0,0
<b>2010</b>	1.261.345	20.612	22.428	1.177.869	35.349	5.087	0.000	0,4
<b>2015</b>	1.148.705	72.967	54.003	804.099	157.591	39.529	20.517	5,2
<b>2018</b>	1.299.943	69.528	34.872	716.538	346.327	95.323	37.355	10,2

Türkiye ısı üretiminde 2018 yılı sonunda biyokütle enerjisi yaklaşık 133 bin TEP ile % 10,2'lik paya sahip olmuştur. Buna karşılık doğal gaz yaklaşık 717 bin TEP ile % 55 paya sahip olmuş, petrol ve kömürün de eklenmesiyle fosil yakıtların payı yaklaşık % 65'e çıkmıştır (Tablo 13.17).

### 13.3.5 Sıvı Biyo-Yakıtlar

Sıvı biyoyakıtlar, özellikle ulaşım sektöründe iyi bir yakıt alternatifi olup yakıt arz güvenliğinin sağlanması, iklim değişikliğini azaltılması ve kırsal kalkınmanın desteklenmesi yönünden sürdürülen stratejiler içinde çok önemli bir yere sahiptir. Ham madde olarak, tahıllar, şekerler, yağ bitkileri ve kalıntıları ile belediye atıklarının kullanıldığı hemen hemen her organik malzemeden çeşitli teknolojik üretim yollarıyla her biri farklı özelliklere sahip çok çeşitli sıvı biyoyakıtlar üretilebilmektedir. Ancak bu kapsamda genelde biyodizel, biyoetanol ve diğer biyoyakıtlar olmak üzere ticarileşmiş sıvı biyoyakıtlardan söz edilmektedir. Diğer sıvı biyoyakıtlar ise biyoetanol veya biyodizel olarak sınıflandırılmayan selülozik etanol ve HVO (hidrojenize bitkisel yağ) gibi yakıtlardır.

Biyoetanol, içerisinde yeterince glukoz ihtiva eden veya glukozla dönüştürülebilen şekerlerin bulunduğu (sukroz, nişasta, selüloz gibi) ham maddelerden üretilmektedir. Biyoetanol üretiminde kullanılan ham maddeler genellikle; sükröz içeren ham maddeler (örnek olarak şeker pancarı, süpürge darısı şerbeti ve şeker kamışı verilebilir), nişasta içeren ham maddeler (örnek olarak buğday, mısır ve arpa verilebilir), lignoselulozik ham maddeler (örnek olarak saman, odun ve çimen verilebilir) olmak üzere üç ana grup altında toplanmaktadır. Listedeki birinci ve ikinci grup ham maddeden biyoetanol üretim teknolojisi günümüzde tamamıyla oturmuştur. Ancak, üçüncü gruptan biyoetanol üretimi teknolojik açıdan günümüzde tam olarak başarılamamış ve üretim süreci optimize edilememiştir. Bu nedenle günümüzde üretilen biyoetanole çoğunlukla "birinci kuşak biyoetanol" denir. Üretim süreci mükemmelleştirildiğinde lignoselulozik kaynaklardan biyoetanol üretimi çok daha ekonomik olacaktır, çünkü



lignoselulozik ham maddeler hem miktarda çok daha fazladır, hem de tahıllara göre çok daha ucuzdur. Bu ham maddelerden üretilen biyoetanol “ikinci kuşak biyoetanol” denir ve bu teknolojiye 2025 yılından sonra geçilmesi hedeflenmektedir.[15]

Biyodizel, yağlı tohumlu bitkilerden ve atık yağlardan elde edilebilen, dizel yakıtlara alternatif bir biyoyakıttır. Bu yağlı tohumlu bitkiler, kanola, aspir, soya fasulyesi ve ayçiçeği gibi bitkilerdir. Bunların dışında kızartma yağları, balık yağı gibi hayvansal ve kullanımdan arta kalan yağlar da biyodizel üretiminde kullanılabilir. Biyodizel de biyoetanol gibi, dizel yakıtlarla belirli oranlarda karıştırılabilir, ya da onlara alternatif olarak tek başına kullanılabilir özelliktedir. Dünyanın pek çok yerinde biyodizel karışımı yakıtlar için “B” harfli sistemler kullanılmaktadır. Dizel yakıtının içine eklenen biyodizel, miktarına göre B harfinin yanına oranı eklenerek okunur. Örneğin B20, % 20 biyodizel ve % 80 dizel yakıtın karışımı anlamına gelmektedir.

Biyoyakıt üretiminde sadece etanol ve biyodizel gibi yakıtlar değil, aynı zamanda yararlı olabilecek değişik yan ürünler de üretilmektedir. Örneğin biyodizel üretiminde yan ürün olarak elde edilen gliserolün, kozmetik sektöründe hatta süt ve besi sığırlarının beslenmesinde önemli bir ham madde olabileceği değerlendirilmektedir.[16] Bunların haricinde henüz ticarileşmemiş ve çok azı ticarileşme aşamasında olan selülozik ham madde yapısına sahip çeşitli çöp ve atıklar ile alg kökenli diğer biyoyakıtların gelecekte önemli bir pay sahibi olacağı öngörülmektedir.

Dünya genelinde 2017 yılında biyoetanol, biyodizel, HVO (hidrojenize bitkisel yağ) vb. dâhil toplam 138 milyar litre biyoyakıt üretilmiştir. Şeker içeren bitkilerden (şeker kamışı, mısır) üretilen biyoetanol, küresel sıvı biyoyakıt üretiminin % 62'sini oluşturmaktadır. ABD ve Brezilya ise % 87'lik oranla dünya biyoetanol üretiminde lider konumundalardır. Avrupa ve Asya'nın küresel biyoetanol üretimindeki payı sırasıyla % 6 ve % 7'dir (Tablo 13.18).

**Tablo 13.18** Küresel Sıvı Yakıt Üretimi (Milyar Litre) [10]

YIL	Toplam	Biyoeanol	Biyodizel	Diğer
2000	18,0	13,2	0,84	3,92
2005	38,4	26,7	3,66	8,09
2010	106	66,5	19,9	19,7
2015	128	79,4	30,0	19,0
2016	134	82,7	33,9	17,3
2017	138	85,1	36,1	16,4

Kolza, kanola, aspir, soya fasulyesi gibi yağlı tohum bitkilerinden transesterifikasyon ile üretilen küresel biyodizel üretiminin % 37'si Güney Amerika, % 44'ü Avrupa'da, diğer biyoyakıtlar olarak sınıflandırılan selülozik etanol ve HVO gibi yakıtların ise % 94'ü Kuzey Amerika'da üretilmektedir.

Ülkemizde biyoetanol üretimi özellikle şeker pancarından yapılmaktadır ve biyoetanol üretimi için Türkiye'deki başlıca birincil kaynaklar; şeker pancarı ve artıkları, patates, melas, buğday ve artıkları, mısır ve koçanı, diğer lignoselülozik materyaller (çimen, bitkisel atık/artıklar, enerji tarımı ürünleri

vb.) olarak sıralanmaktadır. Ülkemizde biyoetanol yakıt olarak sadece yurt dışı kaynaklı benzin ve benzin türlerine harmanlama olarak kullanılmaktadır.

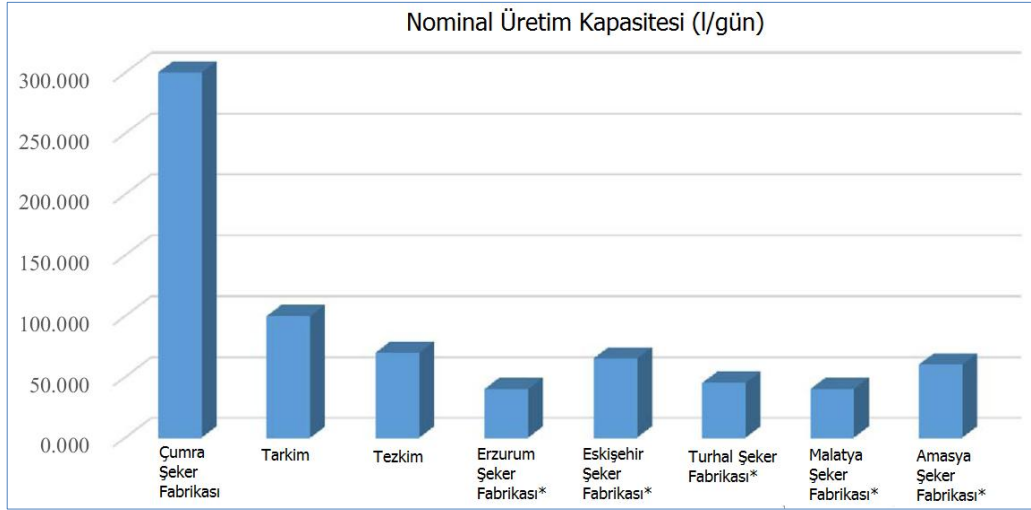
Biyoetanol, araçlarda benzine alternatif olarak kullanılabilirdiği gibi, benzinle farklı oranlarda karıştırılarak da kullanılabilir. Ülkemizde ise etanol sadece benzine karıştırılarak kullanılmaktadır. ETKB verilerinde de sıvı biyoyakıtla ilgili bilgiler bulunmamaktadır. 16 Haziran 2017 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan Benzin Türlerine Etanol Harmanlanması Hakkında Tebliğde Değişiklik Yapılmasına İlişkin Tebliğ ile, ithal edilen benzin türlerine yerli tarım ürünlerinden üretilmiş etanolün hacimsel olarak en az % 2 oranında harmanlanma zorunluluğu % 3'e çıkarılmıştır. Ancak, küresel salgın nedeniyle, koronavirüse karşı kullanılan ve yoğun talep gören dezenfektan ve kolonyaların üretimindeki etil alkol ihtiyacının karşılanması amacıyla, benzine etanol karıştırma zorunluluğunun, EPDK tarafından 2020 yılı Mart ayından itibaren 13 Haziran 2020'ye kadar askıya alındığı bildirilmiştir. Araçlarda herhangi bir modifikasyona gerek duymadan % 10'a kadar katılabilen biyoetanol, daha yüksek karıştırma oranlarında motorda bazı değişikliklerin yapılmasını gerekli kılmaktadır.

Türkiye'de mevcut biyoetanol üretim tesislerinde üretilebilecek biyoetanol üretim potansiyeli yaklaşık olarak 800.000 l/gündür. Türkiye'de biyoetanol üreten 12 tesis olup bunlardan 8 tanesi biyoyakıt üretme kapasitesine sahiptir. Ancak bunlardan sadece 3'ü yakıt olarak biyoetanol üretmekte olup diğerleri etanolü gıda amaçlı kullanılmaktadır. Bu yakıt amaçlı aktif 3 biyoetanol üretim tesisi ham madde olarak şeker pancarı, buğday ve mısır kullanılmaktadır. Ancak bu tarım ürünlerinden biyoetanol üretimi, bu kaynakların (artıklar hariç) aynı zamanda gıda endüstrisinde de kullanılmasından dolayı tercih edilmemektedir (Şekil 13.4).[17]

Gıda olarak değerlendirildiği için biyoyakıt üretiminde kullanılmayacak olsa Türkiye'de 2019 yılında üretilen buğday, şeker pancarı, arpa, mısır, patates ve pirinçten elde edilebilecek biyoetanol üretim potansiyeli 13,43 milyar litre olarak hesaplanabilmektedir (Tablo 13.19).[18] Türkiye'de ortalama günlük benzin tüketimi olan 8,9 milyon litre, aylık 247 milyon litre olup yıllık en fazla 2 milyar 964 milyon litre benzin tüketilmektedir. 2023 yılına yönelik bir çalışmada buğday, mısır, pirinç ve patates üretimi atıklarından yılda 555 milyon litre biyoetanol üretilbileceği hesaplanmıştır.[19]

**Tablo 13.19** 2019 Yılında Türkiye'de Üretilen Bazı Tarım Ürünlerinden Elde Edilebilecek Biyoetanol Miktarları [18]

Tarım Ürünleri	Üretim (Ton)	Biyoetanol Üretim Potansiyeli (l/Ton)	Elde Edilebilecek Biyoetanol Miktarı (m <sup>3</sup> )
Buğday	19.000.000	340	6.460
Şeker Pancarı	18.085.528	110	1.989
Arpa	7.600.000	250	1.900
Mısır	6.000.000	360	2.160
Patates	4.750.000	110	523
Pirinç	920.000	430	396
<b>TOPLAM</b>			<b>13.428</b>



**Şekil 13.5** Türkiye Biyoetanol Nominal Üretim Kapasitesi (l/gün)

Türkiye kullandığı ham petrol miktarının sadece % 13,5'ni, üretmekte, geri kalanını yurt dışından satın almaktadır. Petrol ürünleri tüketiminde, deniz ve kara taşımacılığı ile sanayi amaçlı uygulamalarda en büyük payı dizel yakıtlar almaktadır.

Türkiye Biyodizel Üretimi Resmi Gazete'de yayımlanan 25 Şubat 2011 tarih ve 27857 tarihli Bakanlar Kurulu Kararı ile oto biyodizel ve yakıt biyodizeline ÖTV uygulaması getirilmiştir. Biyodizel üretiminde maliyetin büyük bölümünü hammadde oluşturduğu ve ÖTV ile maliyetler yükseldiği için sektör rekabet gücünü kaybetmiş ve duraklamıştır. Çoğu üretici lisanslarını iptal ettirmiş, lisansı olanlar da üretim yapamaz duruma gelmiştir. Ülkemizde 2005 yılından itibaren 80 işletme biyodizel işleme lisansı almış olup 2018 yılına gelindiğinde bu lisanslardan 25 adedi sonlandırılmış ve 43 adedi de iptal edilmiş durumdadır. 2018 yılı itibarıyla sadece 14 işletmenin lisansı yürürlüktedir. Lisansları yürürlükte olan firmalardan sadece 5 adedinin 2005 ve 2007 yılları arasında lisanslandırıldıkları, diğer 9 adedinin lisanslarını 2014 yılından sonra aldıkları görülmektedir. Lisansı iptal edilmeyen veya sonlandırılmayan işletmelerle beraber toplam işleme kapasitesi yaklaşık 1,5 milyon ton civarında olup büyük oranda atıl durumdadır. Daha önceki yıllarda resmi olarak faaliyet gösteren işleme ve dağıtım lisansına sahip birçok firma biyodizel işleme firması olmasına karşılık, 2020 yılı Ocak ayında BEPA'da 5 adet firma görülmektedir. Yeni düzenlemeler yapılmazsa ve kapatılmalarına sebep olan engeller aşılmazsa ki görünürde herhangi bir girişim söz konusu değildir, yakın gelecekte yeni tesislerin faaliyete geçmesi mümkün görülmemektedir.

Türkiye'de atık yağların değerlendirilmesine ve gıda ürünleri için kullanılmayan tarım alanlarında enerji bitkileri yetiştirilmesine yönelik çeşitli araştırmalar mevcuttur. Yapılan bir çalışmada biyodizel üretimi ile yan ürün olarak ortaya çıkan gliserolün dahi hayvan besleme sektöründe de kullanımının ekonomik açıdan önemli katkıları olacağı değerlendirilmiştir. Çalışma ile dizel tüketiminin % 23'ünün yenilenebilir kaynaklardan karşılanması halinde 11.500.000 ton yağlı tohum ihtiyacı duyulacağı ve bu kadar yağlı tohum bitkisi ile 7,5 milyon ton yağlı tohum küspesi ve biyodizel üretimi ile 350 bin ton gliserol elde edileceği hesaplanmıştır. Çalışmada, biyodizel üretimin yaygınlaşmasıyla kanola, aspir

ve soya üretiminin artacağı ve üretim sırasında yan ürün olarak elde edilen gliserolün ise süt ve besi sığırlarının beslenmesinde önemli bir ham madde olacağı sonucuna varılmıştır.[16]

### 13.3.6 Biyogaz

Biyogaz, tüm biyoenerji endüstrisi için son derece önemli bir sektördür. Biyogaz, farklı organik madde formlarının anaerobik fermantasyonu ile üretilir ve esas olarak metan (CH<sub>4</sub>) ve karbondioksitten (CO<sub>2</sub>) oluşur. Organik materyallerin (hayvansal atık, bitkisel atık/artık, arıtma çamurları vb.) oksijensiz ortamda fermentasyona uğratılmasıyla elde edilen biyogaz, doğal gazın alternatif bir gazdır ve doğal gaz, LPG gibi her türlü gaz yakıtın kullanıldığı her alanda kullanılabilir.

Biyogaz üretimi için her organik madde kullanılabilir ancak tipik ham maddeler, gübre ve kanalizasyon, bitkisel üretim atıkları, ev ve sanayi atıklarının organik kısmı ve mısır ve ot silajı dâhil enerji mahsulleridir. Biyogaz, elektrik, ısı ve ulaşım dâhil olmak üzere çeşitli alanlarda kullanılır.

Biyogaz üretimi, sadece enerji olduğu için değil, aynı zamanda çevreye zarar veren ya da verebilecek organik kökenli atıkların bertarafının sağlanması için de önemlidir. Bunun yanı sıra, biyogaz üretim süreci sonucunda ortaya çıkan fermente gübre de tarımsal aktivitelerde büyük rol oynamaktadır. Diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının aksine, biyogaz üretimi ve sistemleri coğrafi kısıtlamalara ve üstün teknoloji isteklerine gerek duymamaktadır.

Biyogaz, küçük modifikasyonlar yapılarak kombilerde, fırınlarda, gaz lambalarında, taşıma araçlarında ve içten yanmalı motorlarda kullanılabilir. Bu enerji, ısı enerjisi ve elektrik enerjisine çevrilebilir. Proses sonunda ortaya çıkan fermente gübre, ülkemizde yaygın olarak kullanılan gübrelere oranla daha verimlidir. Bu gübrenin karbon-azot oranı, bitki yetiştiriciliği açısından oldukça uygundur. Aynı zamanda hayvansal atıkların kullanıldığı sistemler başta olmak üzere gübrenin içindeki patojenlerin yok edilmesi ve kokunun giderilmesi de fermente gübrenin avantajları arasında sayılabilmektedir.

Avrupa biyogaz üretimi ve kullanımında dünya lideridir. 2017 yılında, küresel biyogaz arzının yarısını oluşturmaktadır. Küresel olarak, biyogaz arzı 32 milyon TEP veya yaklaşık 62 milyon Nm<sup>3</sup> olmuştur. Genel olarak, biyoenerji sektöründeki biyogaz arzının payı sadece yaklaşık % 2 olup çok daha fazla katkıda bulunma potansiyeline sahiptir.

**Tablo 13.20** Kıtalar İtibarıyla Küresel Biyogaz Arzı [10]

Yıl	Dünya Biyogaz Üretimi (Nm <sup>3</sup> )	Dünya (TEP)	Afrika (TEP)	Amerika (TEP)	Asya (TEP)	Avrupa (TEP)	Okyanusya (TEP)
2000	13,2	6.926.531,0	0,0	3.104.996,7	1.194.229,5	2.388.459,0	238.845,9
2005	23,2	11.942.294,8	0,0	4.060.380,2	3.582.688,4	4.060.380,2	238.845,9
2010	39,1	20.301.901,2	0,0	3.104.996,7	7.881.914,6	8.837.298,2	477.691,8
2015	60	30.811.120,7	0,0	5.015.763,8	9.314.990,0	16.002.675,1	477.691,8
2016	60,8	31.288.812,5	0,0	4.538.072,0	9.553.835,9	16.719.212,8	477.691,8
2017	61,7	31.766.504,3	0,0	4.538.072,0	9.792.681,8	16.958.058,7	477.691,8

Türkiye'nin toplam biyokütle enerji üretim potansiyeli yaklaşık 14–32 milyon TEP, hayvansal atık miktarı ise 4 milyon 385 bin 371 TEP olarak kabul edilmektedir. Özellikle ülkemizin kırsal alanlarında biyogazın üretimi ve kullanımı ile ekonomik ve sosyal kalkınmaya destek vermek mümkündür. Nitekim hayvansal atıkların kullanıldığı biyogaz sistemlerinden yılda yaklaşık olarak 2,2–3,9 milyar m<sup>3</sup> biyogaz elde edilebileceği bilinmektedir (Tablo 13.21).

**Tablo 13.21** EPDK 2020 Yılı YEKDEM Listesi [23]

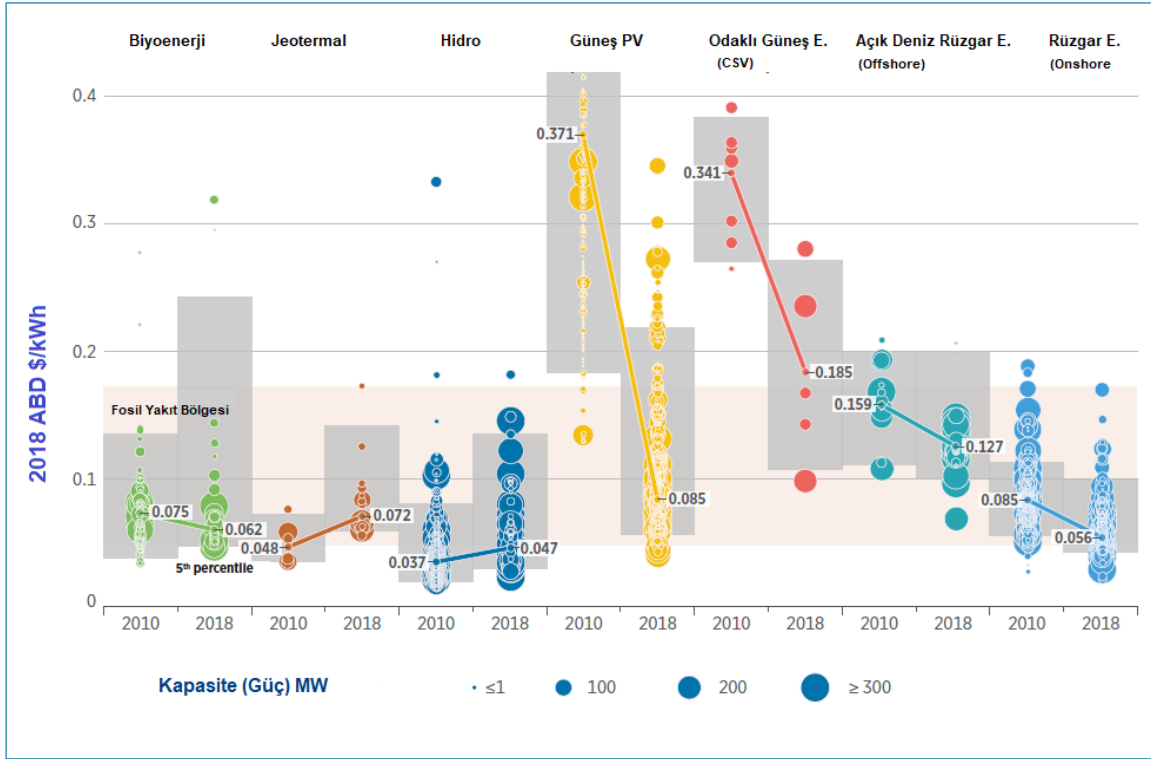
Kurulu Biyokütle Santralleri Atık Türleri	Toplam Kurulu Gücü (MWm)	Toplam Kurulu Gücü (MWe)	Toplam YEKDEM'e Esas Güç (MWe)	Toplam İşletmedeki ünite sayısı (Adet)
<b>Biyokütle</b>	<b>692,921</b>	<b>671,169</b>	<b>778,729</b>	<b>370</b>
Atık Lastik	6	6	6	3
Bitkisel Atık	1,6	1,56	2,729	1
Çöp	93,281	90,998	90,998	67
Çöp , Çöp Gazı	17,148	16,32	16,32	12
Çöp , Çöp Gazı , Diğer Atık	29,132	28,396	31,226	21
Çöp Gazı	172,668	168,195	210,622	124
Çöp Gazı , Çöp	17,525	17,351	23,581	7
Çöp Gazı , Diğer Atık , Çöp	2,464	2,4	2,4	2
Diğer Atık	47,343	44,938	49,569	20
Diğer Atık , Çöp Gazı , Çöp	4,124	4	4	1
Hayvansal Atık	56,539	54,844	60,437	47
Hayvansal Atık , Bitkisel Atık	5,568	5,408	12,02	4
Hayvansal Atık , Tarımsal Atık	24,33	23,602	28,066	19
Hayvansal Atık , Tarımsal Atık , Diğer Atık	15,288	14,891	14,891	14
Hayvansal Atık , Tarımsal Atık , Orman Atığı , Diğer Atık	0,49	0,48	5	1
Kentsel Atık	4,353	4,242	12,726	3
Orman Atığı	36,614	36,325	36,325	3
Orman Atığı , Bitkisel Atık	0,1	0,1	7,5	1
Orman Atığı , Çöp Gazı	29,1	27,6	27,6	1
Orman Atığı , Tarımsal Atık	28,003	26,782	26,782	3
Tarımsal Atık	53,124	51	52,2	11
Tarımsal Atık , Hayvansal Atık	1,527	1,487	1,487	1
Tarımsal Atık , Orman Atığı	41,4	39,25	51,25	3
Tarımsal Atık , Orman Atığı , Diğer Atık	5,2	5	5	1
<b>Genel Toplam</b>	<b>692,921</b>	<b>671,169</b>	<b>778,729</b>	<b>370</b>

### 13.4 DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Küresel ısınmaya enerji kullanım etkisinin çok büyük olması ve bu konuda ana sorumlunun fosil yakıt kullanımı olmasına karşılık dünya birincil enerji arzında fosil yakıt kullanım payı halen % 82'dir. Türkiye'de fosil yakıt kullanım payı % 86'dır.

Her ne kadar küresel ısınma ve iklim krizinin önüne geçilmesi amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı artsa da, dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam enerji arzındaki oranı 1990 yılından beri % 13 sabit olarak kalmıştır. Türkiye'de ise 1990 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarının payı % 18,8 iken bu oran 2019 yılı sonunda % 13'lere düşmüştür.

Yenilenebilir enerji kaynakları büyük oranda doğrudan elektrik enerjisi üretiminde kullanılmakta olup kullanım oranı dünyada sürekli artmaktadır ve bu sayede de karbon salımında iklim krizi açısından önemli kazanımlar sağlanmaktadır. Ancak dünya genelinde elektrik enerjisi üretiminde birincil enerji kaynaklarının payı sadece % 16 olup bunun da % 25'i yenilenebilir enerji kaynaklarına aittir. Türkiye'de elektrik enerjisi üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payı dünya ortalamasının üstündedir, fakat dünya genelinde olduğu gibi Türkiye'de çevrim sektörünün (elektrik enerji üretiminin) birincil enerji içindeki payı % 17 olup bunun % 32'si yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmaktadır.



Şekil 13.6 YEK Teknolojileri Seviyelendirilmiş Elektrik Maliyetleri Ölçeği 2010-2018 [24]

Yenilenebilir enerji teknolojileri ile devreye alınan santrallere ve maliyetlere bakıldığında, hidrolik, rüzgâr, güneş (PV) ve jeotermal projelerinin yanı sıra biyokütle enerji santrallerinin de küresel ortalama (seviyelendirilmiş elektrik maliyetleri) fosil yakıtlı santral maliyetlerinin aralığında olduğu görülmektedir. Bu sayede de mali destek olmasa dahi fosil yakıtlarla rekabet edebilmektedir (Şekil 13.6).

Biyokütle enerji kaynaklarının birincil enerji kaynakları içindeki payı 1990 yılında % 10,3 iken 2018 yılında % 10,5 oranındadır. Biyokütlenin yenilenebilir enerji kaynakları içindeki payı ise 2018'de dünya genelinde % 70'e yakın olup Türkiye'de bu oran % 15,5'tir.

Biyokütle enerjisi hâlihazırda zaten küresel enerji ekonomisinde önemli bir rol oynamaktadır ve kullanımının artırılmasının, gelecekteki düşük karbon senaryolarında kritik bir unsur olacağına kesin gözüyle bakılmaktadır. Özellikle ulaşım sektöründen kaynaklanan sera gazı salımlarının azaltılmasında

önemli bir rol oynayabilecektir. Karbondan arındırma, bir dizi biyo bazlı ulaştırma yakıtı ve özellikle havacılık dâhil uzun mesafeli ulaştırma uygulamaları için uygun olan gelişmiş düşük karbonlu yakıtlar gerektirecektir. Bu tür yakıtları üretmek için çeşitli teknolojiler geliştirilmekte ve ticarileştirilmektedir. Ancak şu ana kadar üretimleri sadece sınırlı bir ölçüğe ulaşmış durumdadır. Bu ileri biyoyakıtların üretim maliyetleri şu anda yerine geçecekleri fosil yakıtlardan ve şeker veya mısırdan etanol veya biyodizel gibi daha geleneksel biyoyakıtlarınkinden daha yüksektir. Bu nedenle gelişmiş biyoyakıtların üretim maliyetlerini azaltmak, ne ölçekte, hangi koşullar altında ekonomik hale gelebileceklerini belirlemek çok önemlidir.

Dünya genelinde gelişmiş biyoyakıtların üretim maliyetleri ortalaması, biyokütle ham maddelerine dayalı üretim için 73 ila 178 \$/MWh (19-50 \$/GJ); atıkları esas alan üretim için 54 ila 118 \$/MWh (15-33 \$/GJ) aralığındadır. Fosil yakıtlara dayalı üretim ise 34-57 \$/MWh (9-16 \$/GJ) ile daha cazip olabilmektedir.[24]

Öte yandan, yenilenebilir enerji teknolojileri istihdam yaratmaktadır. Mevcut durumda, yenilenebilir enerji sektöründe dünya genelinde 11 milyon kişi istihdam edilmektedir. Biyokütle enerji sektörü ise dünyada, güneş enerjisinden sonra yenilenebilir enerji teknolojileri arasında ikinci en büyük işveren konumundadır. 2018'de ham madde üretimi, ulaştırma ve enerji amaçlı biyo bazlı ürünlerin dönüşümü, ekipman üretimi vb. alanlarda 3,2 milyon kişi çalışmaktadır. Bu sayı ile, biyokütle enerji sektörü küresel yenilenebilir enerji istihdamının 1/3'ünü oluşturmaktadır. Ayrıca biyokütle enerji endüstrisinde çalışanların büyük bir bölümünün geleneksel biyokütle enerjisi istihdamına dâhil olduğu ve sayısının yenilenebilir enerji istihdam sayılarına dâhil edilmediği dikkate alınacak olursa, biyokütle enerjisinin istihdam açısından da önemi ortaya çıkacaktır. Türkiye'de, TÜİK verilerine göre 2019 Ekim ayında istihdam edilenlerin sayısı 527 bin azalarak 28 milyon 343 bine ve istihdam oranı yüzde 45,9 seviyesine düşmüş; işsizlik oranı % 13,7'ye (4 milyon 469 bine) ulaşmıştır. Dolayısıyla, potansiyelinin % 80'i kullanılmayan biyokütle enerjisinin Türkiye'de istihdama katkısının da önemli seviyede olacağı açıktır.

**Tablo 13.22** Dünyada Yenilenebilir Enerji Sektörü İstihdamı [10]

Alt Sektör	Dünya	Çin	Brezilya	ABD	Hindistan	Avrupa Birliği
Güneş PV	3.605.000	2.194.000	15.600	225.000	115.000	96.000
Sıvı Biyo Yakıt	2.063.000	51.000	832.000	311.000	35.000	208.000
Hidroelektrik	2.054.000	308.000	203.000	66.500	347.000	74.000
Rüzgâr	1.160.000	510.000	34.000	114.000	58.000	314.000
Güneş (termal)	801.000	670.000	41.000	12.000	20.700	24.000
Katı Biyokütle	787.000	186.000		79.000	58.000	387.000
Biyogaz	334.000	145.000		7.000	85.000	67.000
Jeotermal Enerji	94.000	2.500		35.000		23.000
Odaklı Güneş Topl.	34.000	11.000		5.000		5.000
<b>Toplam</b>	<b>10.983.000</b>	<b>4.078.000</b>	<b>1.125.000</b>	<b>855.000</b>	<b>719.000</b>	<b>1.235.000</b>

ABD, Kanada ve AB ülkeleri 2050'li yıllarda ülke enerji gereksinimlerinin % 25-50'sini biyokütleden sağlamayı hedeflemektedir. Bunun için ABD'de 100 milyon hektar, Kanada'da 40 milyon hektar ve AB ülkelerinde ise 20 milyon hektar alan modern enerji ormanlarının ve enerji bitkilerinin yetiştirilmesi için ayrılmıştır. 2020 yılında modern biyokütle enerji üretiminin ABD'de 235-410 MTEP, Almanya'da 11-21 MTEP, Japonya'da 9-12 MTEP olması planlanmıştır. Türkiye Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planında 2023 hedefi 1000 MW olarak belirtilmektedir, ancak bu hedefler mevcut biyokütle potansiyelinin çok gerisindedir.

Atıktan enerji üretiminde termal enerji dönüşümüne dayanan teknolojiler, pazarda lider konumdadır ve 2013 yılında toplam pazar gelirinin % 88,2'sini oluşturmuştur. 2013 yılında küresel atıktan enerji üretim piyasası bir önceki yıla göre % 5,5 artış göstererek 25,32 milyar ABD doları olarak gerçekleşmiştir.

Atıktan enerji üretimine yönelik küresel pazarın 2023'e kadar % 8,6 veya yılda en az ortalama % 5,5 bileşik oranla büyüyeceği ve 2023 yılında en az 40 milyar ABD doları değerinde olacağı ve sonraki yıllarda daha istikrarlı olarak büyümesini sürdüreceği tahmin edilmekteydi. Ancak bu piyasada 2012 ve 2013 yılları arasında % 5,5 büyüme olmasına karşılık 2013 ila 2016 yılları arasında bu büyüme % 8 olarak gerçekleşmiş ve 31,9 milyar dolar değerine ulaşmıştır. Ulaşılan bu değer ile büyüme oranının daha yüksek olacağı öngörülmekte ve pazarın 2023 yılında 56,87 milyar dolara ulaşması beklenmektedir.

Toplam pazarın % 47,6'sını oluşturan Avrupa, atıktan enerji üretim teknolojileri için en geniş pazar konumunda olup bu konumunu sürdürmektedir. Asya-Pasifik piyasası ise katı atıklarının % 60'ını yakma için kullanan Japonya'nın egemenliğindedir. Bununla birlikte, atıktan enerji üretim kapasitesini iki kattan fazla artıran Çin'de pazarın en hızlı büyümesine tanık olunmuştur.

Biyolojik atıktan enerji üretim teknolojilerinin ortalama % 9,7 büyümesi öngörülmektedir.

Bölgesel bir perspektiften bakıldığında, Asya-Pasifik bölgesi, Çin ve Hindistan'da artan atık üretimi ve hükümet girişimleri ile Japonya'daki yüksek teknoloji gücü sayesinde en hızlı büyümeyi (bileşik yıllık büyüme oranı % 7,5) kaydetmesi beklenmektedir.

2025 yılına kadar küresel atık üretiminin günde 6 milyon tonun üzerine çıkarak ikiye katlanması ve zirve yapması ancak bu yüzyılın sonunda artık artmaması beklenmektedir. OECD ülkelerinin atık üretiminde zirveye 2050 yılında ulaşacağı ifade edilirken, Doğu Asya ve Pasifik ülkelerinin atık üretiminde zirveyi 2075 yılında yapması beklenmektedir. Atık üretiminin Afrika'da büyümeye devam edeceği tahmin edilmekte olup 2100 yılına gelindiğinde, küresel atık üretiminin günde 11 milyon tona çıkabileceği değerlendirilmektedir.[25]

Türkiye yenilenebilir enerjiler ve bunun içinde biyokütle için zaman zaman kesin hedefler belirlemiş, bunları strateji planlarına, eylem planlarına, kalkınma planlarına eklemiş ve birçok mevzuat değişikliği yapmıştır. Ancak ETBK tarafından Mayıs 2009'da yayımlanan Elektrik Enerjisi Piyasası ve Arz Güvenliği Stratejisi, Aralık 2014'te yayımlanan Strateji Belgesi ve Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı ve Eylül 2015'de açıklanan Niyet Edilen Ulusal Katkı Belgesi kurulu güç hedefleri eşleşmemektedir. Birçok olumlu faaliyet yapılmış olmasına rağmen planlamaların çoğu amacına ulaşmadan sonlanmış durumdadır.

Esasen ülkemizde evsel katı atıkların değerlendirilmesine yönelik yenilikçi çalışmalar yapılması daha 2000'li yılların başında 20 yıllık bilimsel ve teknolojik hedefler arasında yer almıştır. Bilim ve Tekno-



loji Yüksek Kurulu'nun (BTYK) Aralık 2000 toplantısında alınan karar çerçevesinde TÜBİTAK tarafından yapılan çalışmalar sonucunda Kasım 2004'de yayımlanan Ulusal Bilim ve Teknoloji Politikaları 2003-2023 Strateji Belgesinde (Vizyon 2023 Teknoloji Öngörüsü) 2009 yılında organik atıkların bertaraf edilmesi amacıyla evler için 20 m<sup>3</sup> metan/ton organik madde kapasiteli anaerobik çürütme reaktörlerinin tasarlanması, 2012'de gazı ısı enerjisine dönüştüren reaktörlerin tasarlanması, 2014'te ise elde edilen gazı elektrik enerjisine dönüştüren reaktörlerin tasarlanması öngörülmüştür. 2016 yılında da gazın temizlenerek hidrojen gazı elde edilmesi ve 2018 yılından sonra biyokütleden de elde edilebilen hidrojen teknolojisinin taşıtlarda uygulanması planlanmıştır.[26] Ancak sonraki yıllarda bu belgede belirtilen bu ve diğer birçok konuda gelişme görülmemiş, AR-GE çalışmaları çok kısıtlı kalmıştır.

Atıkların değerlendirilmesine yönelik Sanayi ve Ticaret Bakanlığı koordinasyonunda 2014-2017 yılı Ulusal Geri Dönüşüm Stratejisi ve Planı oluşturulmuş ve daha sonra bu koordinasyon bakan görüşü ile Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na devredilmiştir. Bu planlamada, bireyin sağlıklı ve dengeli bir çevrede yaşaması adına sürdürülebilir kalkınmaya hizmet eden geri dönüşüm sistemine sahip bir Türkiye vizyonu belirlenmiş ve *“Çevreye ve insana saygılı, kaynakların etkin kullanıldığı ve geri dönüşümün ekonominin vazgeçilmez parçalarından biri haline geldiği üretim ve tüketim kültürünün oluşumunu sağlamak”* amaçlanmıştır. Bu kapsamda *“Toplumun tüm kesimlerinde geri dönüşüm bilincini oluşturmak”*, *“İlgili mevzuatı geri dönüşüme yönelik olarak geliştirmek”*, *“Atıkların etkin bir şekilde geri dönüştürülmesi için gerekli altyapıyı oluşturmak”*, *“Geri dönüşüm konusunda finansal destek sağlamak”* ve *“Atık üretimini kayıt altına alarak etkin bir denetim sistemi kurmak”* başlıkları altında beş hedef ve bunlara yönelik eylemler belirlenmiştir. Eylemlerin yerine getirilebilmesi için uygulama, izleme ve değerlendirme mekanizması da tanımlanmıştır. Ancak bu eylem planı da hedeflere ulaşmadan sonlandırılmış olup sonuçlar hakkında bilgi bulunamamaktadır.

Yatırımların gerçekleştirilmesi için öncelikle hedeflerin kesin, belirgin ve ulaşılabilir olması, buna yönelik tek bir eylem planının hazırlanması, bu eylem planının sürekli izlenerek etkinlikle uygulanması, özellikle taahhüt konusunda yasal düzenlemelerin tutarlılık göstermesi çok önemlidir. Son gelişmelere bakılırsa, yenilenebilir enerji potansiyeline yatırım yapılmasına yönelik tekrar 2030 için uzun vadeli hedeflerin konulması gündemdedir. Bu doğrultuda daha önce yatırımların yapılmasını engelleyen hususların belirlenip 2030 yılı için aynı hataların yapılmamasına yönelik gerekli önlemler alınmalıdır. Ayrıca elektrik, ısı ve ulaşım sektörlerine özel hedeflerin konulması önemlidir. Daha önceden dikkate alınmayan bu husus sayesinde ekonomide yenilenebilir enerjinin büyümesi teşvik edilmiş olacak, uzun vadeli hedefler politikaların sürekliliğini sağlayacak ve istikrarlı bir yatırım ortamı oluşturulabilecektir.

Ülkemizde biyokütle tesisi ekipmanları yerli olarak üreten firma sayısı 10'u geçmemektedir. Ancak İzmir ili için yapılan yenilenebilir enerji sektör analizinde sadece İzmir'de biyokütle ile ilgili olan/olabilecek firma sayısının 8.310 adet olduğu, yapılan birebir görüşmeler ile bu firmaların tamamının biyokütle enerjisi ile ilgilenmeye niyetli ve kapasitelerinin yeterli olduğu belirlenmiştir. Bu veri, biyokütle enerji sistemlerinin sadece İzmir'de bile % 100 yerli üretimle gerçekleştirilebileceği ve tesis yatırım maliyetlerinin ciddi oranda düşeceği anlamına gelmektedir. [21]

Türkiye için, diğer önemli bir konu ise, ithal atık sorunu olup TMMOB Çevre Mühendisleri Odası'nın Haziran 2019'da yayımladığı *Dünya Çevre Günü Türkiye Raporu*'na göre Türkiye, AB'nin, ABD'nin çöplüğü olma yolunda ilerlemektedir. Çin'in aldığı önlemler nedeniyle AB, ABD, İngiltere gibi bölge-

lerden ülkemize gönderilen atıkların miktarı hızla artmaktadır. 2016 yılında 159.569 ton olan ithal plastik atık miktarı 2017 yılında 261.863 ton ve 2018 yılında ise 439.909 tona ulaşmıştır. 2017 yılında bu ithalat için yapılan ödeme 52 milyon avroyu geçmiştir.[27]

### 13.5 ÖNERİLER

Biyokütle ve enerjisi konusu öncelikle tarım, enerji, çevre ve atık, bilim ve teknoloji olmak üzere farklı bakanlıkların sorumluluğunda olan ve bütünleşik olarak ele alınmasını gerektiren çeşitli alanlar ile ilgilidir. Türkiye’de bu alanlarda yapılan çalışmaların ve oluşturulan strateji ve eylem planlarının ise genelde Avrupa Birliği’ne uyum çerçevesinde ve her bir ilgili bakanlık tarafından ayrı ayrı gerçekleştirilmeye çalışıldığı görülmektedir. Bu nedenle bugüne kadar yapılan çalışmalar ve oluşturulan strateji ve eylem planlarında örgütlenme, planlama, koordinasyon ve kontrol faaliyetlerinde aksamalar görülmektedir. Biyokütle ve enerjisi ile ilgili yapılan strateji ve eylem planları her ne kadar önemli, gerekli ve düzgün hedefleri içermiş olsa da o hedeflere ulaşamayan ve sürdürülemeyen planların altında yatan temel sorunun bu durum olduğu görülecektir. Bu nedenle öncelikle her planlamada biri olmazsa sürekliliğin ve etkinliğin sağlanmasının mümkün olmayacağı bu yönetim işlevlerinin yerine getirilmesini sağlayacak tüm hususlar dikkate alınarak planlama yapılmalıdır.

Öncelikli olarak Avrupa Birliği’nin biyoyakıtların çevreye zarar vermeden üretilmesini ve ithal edilmesini sağlamak amacıyla hazırlayıp uygulamaya koyduğu “Sürdürülebilirlik Kriter Paketi” dikkate alınmalı ve gerekli yasal düzenlemeler yapılmalıdır.

Belediye atıkları öncelikli olmak üzere, çöpleri yerinde ayrıştırma prosedürü ve kuralları acil olarak belirlenmeli ve uygulanmalıdır. Geri kazanım ve atıkların bertarafı için kullanılacak teknolojiler belirlenmeli ve bu teknolojilerin yerli üretimle karşılanması sağlanmalıdır.

Düzenli atık planlaması yapıp dışarıdan çöp ithalatının önü acilen kesilmelidir.

Strateji ve eylem planları sadece Avrupa Birliği’ne uyum çerçevesinde değil Türkiye’nin ihtiyaç ve gerçekleri ile de uyumlu olarak hazırlanmalıdır.

Strateji ve eylem planlarının kısa, orta ve uzun vade olarak planlanması için de özellikle yasal düzenlemeler yapılmalı, bugünü şartlarda mümkün olmayan uygulama ve düzenlemeler için doktrinler oluşturulmalıdır.

Biyokütle politikaları, kırsal kalkınma politikaları ile beraber değerlendirmeli, biyokütlenin rekabetçi gücünden yararlanma, öncelikli politikalar arasına alınmalıdır.

İlgili tüm tarafların temsil edildiği bir *Biyokütle Teknoloji Platformu* kurulmalı, bu platform üniversite-sanayi-meslek örgütleri işbirliğiyle etkin ve yetkin kılınmalı, yerli ve yeni teknolojilerin gelişimi ve sürdürülebilirliği sağlanmalıdır.

Biyokütle enerji sistemlerinin yerleşmesi ve maliyetlerinin azalması için sanayi bölgelerinde bir an önce biyokütle enerjisi kümelenmeleri oluşturulmalı, yerel firmaların atıklardan enerji üretim tesislerinin üretiminde uzmanlaşmaları ve biyokütleyle yönelik yerli makina, ekipman ve malzeme üretiminden pay almaları sağlanmalıdır.

Planlı bir enerji tarımını da içeren biyokütle programıyla biyokütle kaynakları artırılmalı; hedeflere uygun stratejiler ve eylem planları geliştirilmelidir. Yağ bitkileri tarımının da özel olarak desteklenmesi gerekmektedir.

Yatırımcıların ileriye görmelerini sağlamak için bugünden 2023 ve 2030 yıllarına kadar elektrik, ulaşım ve ısı sektörlerinde biyokütle enerji kaynaklarının kullanımına yönelik alt sektör hedeflerinin belirlenmesi gereklidir.

Biyokütle eylem planı içindeki hedeflerin ulaşılabilir olması, görevlerin hem personel hem de altyapı olarak yetkin kurum ve kuruluşlara verilmesi, izlenebilmesi, gözden geçirilmesi ve mevzuatın uygulanmasında kararlılık gösterilmesi gereklidir.

Yatırımcıların biyokütle enerji tesislerini bir an önce kurmalarını sağlayabilmek için yenilenebilir enerji konusunda bağlantı tahsislerine ilişkin düzenleyici engellerin kaldırılmasına yönelik ilave önlemlerin alınması gerekmektedir.

Teşvik programlarının pazar odaklı, düşük maliyetli olması ve teknoloji gelişimine ayak uydurması için düzenli olarak gözden geçirilmeleri gerekmektedir.

Elektrik ağının geliştirilmesi ve planlanması daha fazla ve büyük miktarda yenilenebilir kaynaklardan üretilen elektriğin alınmasına ve dağıtılmasına imkan verecek şekilde yapılmalıdır. Katı ve sıvı biyoyakıtların gelişiminin teşvik edilmesi ve desteklenmesi gerekmektedir.

Havacılık sektörü ve savunma sanayiinde ulaştırma yakıtı olarak biyoyakıtların kullanımı konusunda ülke projelerinin oluşturulması da hedefler arasına alınmalıdır.

## KAYNAKÇA

1. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) <https://www.birbucukderece.com/> Erişim tarihi: 03.03.2020.
2. Ağaçaayak T., Öztürk L., 2017 “Türkiye’de Tarım Sektöründen Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonlarının Azaltılmasına Yönelik Stratejiler” (İstanbul Politikalar Merkezi-Sabancı Üniversitesi-Stiftung Mercator Girişimi) ISBN: 978-605-9178-95-2.
3. Ersoy E., Uğurlu A., 2020, “The potential of Turkey’s province-based livestock sector to mitigate GHG emissions through biogas production”, *Journal of Environmental Management* 255 (2020) 109858.
4. W. Liua, Y. Houa, W. Liua, M. Yanga, Y. Yana, C.Penga, Z. Yud. 2020, “Global estimation of the climate change impact of logging residue utilization for biofuels”, *Forest Ecology and Management* 462 (2020) 118000.
5. Karaosmanoğlu F., Ar F.F., Tolay M., Ateş A., Ekim 2014, “Enerji Ekipmanları Yerli Üretimi Durum Değerlendirmesi ve Öneriler” Syf 238-239, *TMMOB Makina Mühendisleri Odası*, Yayın No: MMO/621, Ankara.
6. Toklu E., 2017, “Biomass Energy Potential and Utilization in Turkey”, *Renewable Energy*, 107, ss.235-244.
7. <https://bepa.enerji.gov.tr/>, Erişim tarihi: 01.03.2020.
8. M. Özcan, S. Öztürk, Y. Oğuz, “Potential evaluation of biomass-based energy sources for Turkey”, *Engineering Science and Technology, an International Journal* 18 (2015) 178e184.
9. IEA İstatistik Verileri. <https://www.iea.org/data-and-statistics>, Erişim tarihi: 03.03.2020.
10. WEO (World Bioenergy Association), *Global Bioenergy Statistics 2019*.
11. ETKB *Ulusal Enerji Denge Tabloları*, <https://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Denge-Tabloları/Denge-Tabloları>”, Erişim tarihi: 03.03.2020
12. IRENA (2019), *Renewable Energy Statistics 2019*, The International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. ISBN 978-92-9260-137-9 ([www.irena.org/Publications](http://www.irena.org/Publications).)

13. [http://wds.iea.org/wds/pdf/ren\\_documentation.pdf](http://wds.iea.org/wds/pdf/ren_documentation.pdf). “IEA Renewables Information 2019 Final Edition Database Documentation”, Erişim tarihi: 03.02.2020.
14. Enerji İşleri Genel Müdürlüğü Yatırımlar Dairesi Başkanlığı “Türkiye Elektrik Yatırımları 2020 Yılı Ocak Ayı Özet Raporu”.
15. Melikoğlu M., Albostan A., 2011, “Türkiye’de Biyoetanol Üretimi Ve Potansiyeli” *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 26, No 1, 151-160.
16. Erdoğan S., 2014, “Biyodizel Üretimi Sırasında Yan Ürün Olan Gliserolün Ruminant Beslemede Enerji Kaynağı Olarak Kullanımı”, *YYÜ TAR BİL DERG (YYU J AGR SCI)* 2014, 24(1): syf. 94-100.
17. Bayrakçı Asiye Gül.2009, “Çeşitli Hammadelerden Biyoetanol Üretimi” Yüksek Lisans Tezi 2009.
18. Özdingis Bayrakçı A.G., Koçar G., 2018, “Current and future aspects of bioethanol production and utilization in Turkey”, *Renewable and Sustainable Energy Review*, 81, s. 2196-2203.
19. Mehmet Melikoğlu, Burcu Turkmen,2018,” Food waste to energy: Forecasting Turkey’s bioethanol generation potential from wasted crops and cereals till 2030”, *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 36 (2019) 100553
20. <http://konyaseker.com.tr/tr/icerik/detay/2085/biyoetanol-uretim-tesisi>, Erişim tarihi: 20.12.2017
21. *İzmir İli Yenilenebilir Sektör Analizi*, 2012, Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü, İzmir, s.48.
22. Akalın B., Seyrekbasan A.M., 2015, “Dünyadaki Biyoetanol Politikalarının Türkiye Koşulları ile Karşılaştırmalı İncelenmesi ve Türkiye Şartlarına Uygunluk Açısından Biyoetanol Üretiminde Kullanılan Hammaddelerin Değerlendirilmesi” *T.C. Şeker Kurumu*.
23. <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-72/elektrikyekdem> Erişim tarihi: 05.03.2020.
24. <https://www.iea.org/news/modern-bioenergy-leads-the-growth-of-all-renewables-to-2023-according-to-latest-iea-market-forecast> Erişim tarihi: 05.03.2020.
25. World Energy Council, *World Energy Resources Waste to Energy 2016*, <https://www.worldenergy.org/assets/images/imported/2016/10/World-Energy-Resources-Full-report-2016.10.03.pdf> Erişim tarihi: 14.04.2020
26. TÜBİTAK, *Ulusal Bilim ve Teknoloji Politikaları 2003-2023 Strateji Belgesi*, Kasım 2004, [https://www.tubitak.gov.tr/tubitak\\_content\\_files/vizyon2023/Vizyon2023\\_Strateji\\_Belgesi.pdf](https://www.tubitak.gov.tr/tubitak_content_files/vizyon2023/Vizyon2023_Strateji_Belgesi.pdf), Erişim tarihi: 14.04.2020
27. TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, *Dünya Çevre Günü Türkiye Raporu*, Haziran 2019.

## ÖZGEÇMİŞ



**Bülent İLLEEZ**  
billeez@gmail.com

28.05.1969 tarihinde Ankara'da dünyaya geldi. İlk, orta ve lise eğitimini Ankara, Şarkışla, Anamur, Almanya ve İskenderun'da tamamladı. 1993 yılında Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Yüksek Lisansını Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde "Türkiye Şartlarına Uygun Biyogaz Reaktörü ve Sisteminin Oluşturulması" çalışmasıyla 2004 yılında tamamladı. 1993-1994 yılları arasında özel sektörde çalıştı. 1994 yılında mühendis subay olarak başladığı Hava Kuvvetleri Komutanlığı'nda Üniversite, Sanayi ve YEGM (Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü) işbirliği protokolü ile 2007 yılında sertifikalı Enerji Yöneticisi Eğitimini, 2009 yılında ise Hava Kuvvetleri Enerji Yönetim Yönergesi'ni de tamamlayarak Enerji Yönetim Sistemini kurdu. 2013 yılında emekli olduktan sonra 2015 yılına kadar tekrar özel sektörde çalıştı. 2015 yılından itibaren çeşitli konularda danışmanlık ve proje yürütücülüğü yapmakta; Makina Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, Karşıyaka Kent Konseyi ve diğer bazı kuruluşların Enerji Verimliliği Komisyonlarında yer almakta, katkıda bulunmaktadır. 2018 yılından itibaren ağırlıklı olarak kümelenme, yenilenebilir enerji kaynakları ve enerji verimliliği alanlarında faaliyet yapmaktadır.

