



## TÜRKİYE'DEKİ GÜNCEL BİYOKÜTLE POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ VE YAKILMASIYLA ENERJİ ÜRETİMİ İYİ BİR ALTERNATİF OLAN BİYOKÜTLE ATIKLAR İÇİN SEKTÖREL AÇIDAN VE TOPLAM YANMA ENERJİ DEĞERLERİNİN HESAPLANMASI

Barış GÜREL\*

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

*Biyokütle,  
Yanma Enerji Değeri,  
Atık Miktarı.*

### Öz

Türkiye'nin hızla gelişen ekonomisinden ve yüksek nüfus artışından dolayı; Türkiye'deki elektrik enerjisi tüketimi 2018 yılında bir önceki yıla göre %2,2 artarak 304,2 milyar kWh, elektrik üretimi ise bir önceki yıla göre %2,2 oranında artarak 304,8 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir. 2019 yılı Eylül ayı sonu itibarıyla Türkiye'nin kurulu gücü 90.720 MW'a ulaşmıştır. 2019 yılı Eylül ayı sonu itibarıyla kurulu gücümüzün kaynaklara göre dağılımı; yüzde 31,4'ü hidrolik enerji, yüzde 28,6'sı doğal gaz, yüzde 22,4'ü kömür, yüzde 8,1'i rüzgâr, yüzde 6,2'si güneş, yüzde 1,6'sı jeotermal ve yüzde 1,7'si ise diğer kaynaklar şeklindedir. Enerji ihtiyacımızın günden güne artmasına rağmen, Türkiye birincil enerji talebinin %76'sını ithalat yoluyla karşılamaktadır. Enerji ihtiyacımızın kendi öz kaynaklarımız ile karşılanması durumunda hem ülke ekonomimizin dışa bağımlılığının azaltılması hem de maliyetlerin azaltılması sağlanabilecektir. Türkiye'nin biyokütle atık potansiyelinin yaklaşık 8,6 milyon ton eşdeğer petrol (MTEP) ve üretilebilecek biyogaz miktarının ise 1,5-2 MTEP olduğu tahmin edilmektedir. Yerli enerji kaynaklarımızdan biri olan biyokütle Türkiye açısından önemli bir potansiyele sahiptir ve bu anlamda biyokütle odaklı enerji politikalarının geliştirilmesinin Türkiye'de sürdürülebilir, yerli, ucuz ve temiz enerji eldesin de ciddi anlamda kazançlar sağlayacağı aşikardır. Bu çalışmada, Türkiye'deki güncel atık biyokütle potansiyeli belirlenmiş ve atıkların yakılması suretiyle elde edilecek enerji miktarları atık bazında hesaplanmıştır. Türkiye'de ki hayvansal, tarımsal, kentsel organik, kereste, endüstriyel odun üretimi, ahşap bazlı panel ve arıtma çamuru atık miktarları belirlenmiş ve yakılarak kullanılması enerji üretimi açısından iyi bir alternatif olan atıkların yanma enerji değerleri hesaplanmıştır. Sonuç olarak Türkiye'deki toplam biyokütle atıkların yanma enerji değeri 2018 yılında 184,647 PJ'dür. Ayrıca, potansiyeli en fazla atık olan tavuk atıklarının temiz ve verimli yakılması için gerekli olan teknolojilerin geliştirilmesi ve altyapının oluşturulmasının Türkiye'de hem sürdürülebilir hem de temiz/ucuz enerji eldesi için önem arz edeceği sonucuna ulaşılmıştır.

## DETERMINATION OF CURRENT BIOMASS POTENTIAL IN TURKEY AND CALCULATION OF SECTORAL AND TOTAL COMBUSTION ENERGY VALUES FOR WASTES WHICH ARE A GOOD ALTERNATIVE FOR ENERGY PRODUCTION BY COMBUSTION

### Keywords

*Biomass,  
Combustion Energy Value,  
Waste Amount.*

### Abstract

Because of the rapidly growing economy and high population growth; electricity consumption in Turkey increased by 2.2% in 2018 compared to the previous year, 304.2 billion kWh, while electricity generation increased by 2.2% compared to the previous year and amounted to 304.8 billion kWh. As of the end of September 2019, the installed capacity of our country has reached 90,720 MW. As of the end of September 2019, the distribution of our installed capacity according to resources; 31.4 percent hydraulic energy, 28.6 percent natural gas, 22.4 percent coal, 8.1 percent wind, 6.2 percent solar, 1.6 percent geothermal and 1.7 percent are other sources. Although our energy needs increase day by day, our country meets 76% of

\* İlgili yazar / Corresponding author: barisgurel@sdu.edu.tr, +90-246-211-0805

primary energy demand through imports. If our energy needs are met with our own resources, it will be possible to reduce the dependence of our country's economy on foreign sources and to reduce costs. Turkey's biomass waste potential of about 8.6 million tons oil equivalent (MTOE) and the amount of biogas that can be produced is estimated to be 1.5 to 2 MTOE. Biomass, which is one of our domestic energy resources, has a significant potential for our country and it is obvious that the development of biomass-oriented energy policies will provide significant gains in the production of sustainable, domestic, cheap and clean energy in our country. In this study, current waste biomass potential determined and the amount of energy obtained by the incineration of waste in Turkey are calculated on the waste scope. Animal, agricultural and urban organic, timber, wood industrial production of wood based panels and treatment waste sludge amounts were determined and combustion energy values of wastes, which are a good alternative in terms of energy production, were calculated in the Turkey. As a result, combustion energy values of biomass wastes, which are a good alternative in terms of energy production, were calculated in Turkey is 184,647 in 2018. In addition, it is concluded that the development of the technologies and the infrastructure necessary for the clean and efficient incineration of chicken wastes will be important for obtaining sustainable and clean / cheap energy in Turkey.

#### Alıntı / Cite

Gürel, B., (2020). Türkiye'deki Güncel Biyokütle Potansiyelinin Belirlenmesi ve Yakılmasıyla Enerji Üretimi İyi Bir Alternatif Olan Biyokütle Atıklar İçin Sektörel Açından ve Toplam Yanma Enerji Değerlerinin Hesaplanması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(2), 407-416.

#### Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

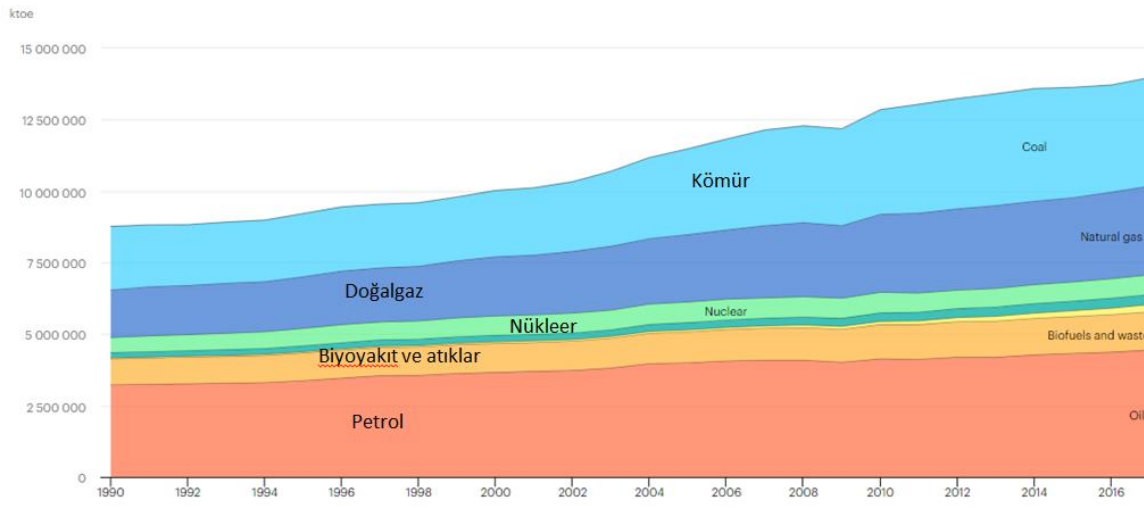
B.Gürel, 0000-0002-1780-2603

#### Makale Süreci / Article Process

<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	07.01.2020
<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	13.04.2020
<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	17.05.2020
<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	25.06.2020

## 1. Giriş (Introduction)

Dünya'da ki toplam birincil enerji kaynaklarının payı 1990-2007 yılları için Şekil 1'de (<https://www.iea.org/data-and-statistics,2019>) verilmiştir. Şekil 1'de görüldüğü üzere Petrolün enerji üretimindeki payı 4.449.499 KTOE (kilo ton eşdeğer petrol) iken biyo yakıtların ve atıkların payı 1.329.064 KTOE, hidrolik enerjinin payı 351.029 KTOE, nükleer enerjinin payı 687.481 KTOE, doğalgazın payı 3.106.799 KTOE ve kömürün payı'da 3.789.934 KTOE'dir.



Şekil 1. Dünyada'ki Toplam Birincil Enerji Kaynakları (Total Primary Energy Sources in the World)

Türkiye'nin hızla gelişen ekonomisinden ve yüksek nüfus artışından dolayı; Türkiye'deki elektrik enerjisi tüketimi 2018 yılında bir önceki yıla göre %2,2 artarak 304,2 milyar kWh, elektrik üretimi ise bir önceki yıla göre %2,2 oranında artarak 304,8 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir. 2018 yılında, Türkiye'de ki elektrik üretiminin, %37,3'ü kömürden, %29,8'i doğal gazdan, %19,8'i hidrolik enerjiden, %6,6'sı rüzgârdan, %2,6'sı güneşten, %2,5'i jeotermal enerjiden, ve %1,4'ü diğer kaynaklardan elde edilmiştir (T.C. ETKB,2019). 2019 yılı Eylül ayı sonu

itibarıyla Türkiye'nin kurulu gücü 90.720 MW'a ulaşmıştır. 2019 yılı Eylül ayı sonu itibarıyla kurulu gücümüzün kaynaklara göre dağılımı; yüzde 31,4'ü hidrolik enerji, yüzde 28,6'sı doğal gaz, yüzde 22,4'ü kömür, yüzde 8,1'i rüzgâr, yüzde 6,2'si güneş, yüzde 1,6'sı jeotermal ve yüzde 1,7'si ise diğer kaynaklar şeklindedir (T.C. ETKB,2019). Enerji ihtiyacımızın günden güne artmasına rağmen, Türkiye birincil enerji talebinin %76'sını ithalat yoluyla karşılamaktadır (T.C. ETKB,2019). Enerji ihtiyacımızın kendi öz kaynaklarımız (yenilenemiyen ve yenilenebilen) ile karşılanması durumunda hem ülke ekonomimizin dışa bağımlılığının azaltılması hem de maliyetlerin azaltılması sağlanabilecektir. Türkiye bulunduğu coğrafya ve iklimden dolayı önemli miktarda yenilenebilir enerji kaynaklarına sahiptir (Başçetinçelik, 2006). Başlıca biyokütle kaynaklarımız arasında; hayvansal atıklar, tarımsal atıklar, kentsel organik atıklar, kereste atıkları, endüstriyel odun üretimi atıkları, ahşap bazlı panel atıkları ve atık arıtma çamurları yer almaktadır. Türkiye'nin biyokütle atık potansiyelinin yaklaşık 8,6 milyon ton eşdeğer petrol (MTEP) ve üretilebilecek biyogaz miktarının ise 1,5-2 MTEP olduğu tahmin edilmektedir (<https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik>, 2019). Sonuç olarak; yerli enerji kaynaklarımızdan biri olan biyokütle Türkiye açısından önemli bir potansiyele sahiptir ve bu anlamda biyokütle odaklı enerji politikalarının geliştirilmesinin Türkiye'de sürdürülebilir, yerli, ucuz ve temiz enerji eldesinde ciddi anlamda kazançlar sağlayacağı aşikardır.

## 2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Türkiye'deki biyokütle potansiyeli ve biyokütle atıkların enerjiye dönüşüm teknolojileriyle ilgili literatürde yapılmış çalışmalar bulunmaktadır:

Kurt ve Koçer, yaptıkları çalışmada Malatya ili'nde bir yılda elde edilen ortalama kuru biyokütle miktarı ve kuru biyokütle'nin ortalama ısıl değeri hesaplanmış, Malatya ili için biyokütle potansiyelinden etkin ve yaygın bir şekilde faydalanmak için önerilerde bulunulmuştur(Kurt ve Koçer, 2010).

Karayılmazlar vd., yaptıkları çalışmada biyokütle yetiştiriciliğinin ülkemizdeki potansiyeli ve önemi hakkında bilgiler vermişler ve bu kapsamda biyokütlenin enerji üretiminde değerlendirilme olanaklarını ele almışlardır(Karayılmazlar vd., 2011).

Sözen vd., yaptıkları çalışmada, biyoyakıtların enerji kaynağı olarak kullanılması ve ekonomiye katkılarını incelemişlerdir. Ayrıca, yakıtların yakılması sonucu ortaya çıkan duman ve gazların çevre ve sağlık açısından değerlendirilmesini yaparak bu alanda yapılacak çalışmalar için literatür oluşturmuşlardır(Sözen vd., 2017).

Üçgül ve Akgül, yaptıkları çalışmada öncelikle biyokütleden enerji üretim teknolojilerini özetlemişler ve Süleyman Demirel Üniversitesi, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezin'de biyokütle ile ilgili yapılan çalışmalarını sunmuşlardır(Üçgül ve Akgül, 2010).

Olgun vd., yaptıkları çalışmada; kurutulmuş her türlü organik atıkları (odun parçaları, hayvansal atıklar, kurutulmuş kanalizasyon çamuru, zirai atıklar, hastahane ve şehir atıkları gibi) temiz ve yanabilir gazlara dönüştürerek elektrik ve ısı enerjisi üretim sistemlerinde kullanılmasını sağlayan gazlaştırıcıları tanıtmışlar ve komple bir sistemin tasarım özelliklerini vermeye çalışmışlardır(Olgun vd., 2000).

Çağal yaptığı tez çalışmasında, yeni ve temiz kaynaklarla verimli ve sürdürülebilir enerji üretiminin giderek önem kazanması gerektiği düşüncesi ile biyokütle ve biyokütle enerjisi hakkında kaynak tarama çalışması yapmıştır. Fosil yakıt rezervlerinin sınırlı olması ve iklim değişikliği gibi çevresel sorunlara çözüm olabilecek biyokütle enerjisi, biyokütle enerjisinin Dünya enerji profili ve Türkiye profilindeki yerini değerlendirmiştir. Türkiye'deki yasal yapı içerisinde biyokütleden enerji üretiminin yeri ve uygulanabilirliği için gereken süreçler ile lisans alımını incelemişlerdir. Biyokütleden enerji üretimine örnek olarak enerji kullanımının yoğun olduğu sanayide biyogaz kullanarak elektrik ve ısı enerjisi üretimi yapan bir biyorafineri tesisini incelemiştir(Çağal, 2009).

Özcan vd., Türkiye'nin farklı kaynak tiplerine göre belirlenen biyokütle potansiyelinden elde edilebilecek elektrik enerjisi miktarını, uygulanabilir elektrik üretim teknolojilerine göre belirlemişlerdir. Çalışmada biyokütle kaynakları olarak kentsel katı atık, tarımsal ürün, hayvan gübresi ve kentsel atıksu arıtma çamuru değerlendirilmiştir. İncelenen biyokütle kaynağı tiplerinden elde edilebilecek biyogazın sahip olduğu toplam enerji değerinin 29.77 milyar kWh/yıl ıldığı belirtilmiştir. Bu kaynak tipine göre, biyogaz ve kurutulmuş biyokütle durumlarına ait hesaplar sonucu bulunan primer enerji potansiyelleri kullanılarak gaz motorlu sistem, gaz türbinli sistem (basit çevrim), gaz ve buhar türbinli sistem (kombine çevrim) ve kazan ve buhar türbinli sistem kullanılması durumlarındaki kurulu güç değerlerini belirlemişlerdir(Özcan vd., 2012).

Bu çalışmanın amacı, güncel olarak Türkiye'deki atık biyokütle kaynaklarının potansiyelini belirlenmesi, Türkiye ölçeğinde toplam yanma enerji değerlerinin hesaplanması ve bu konudaki çalışmalara yol gösterici olunmasıdır.

Bu çalışmada sektörel açıdan biyokütle potansiyeli belirlenmiş ve yakılarak enerji üretimi avantajlı olan yakıtların hem sektörel hem de toplam enerji değerleri güncel olarak hesaplanmıştır. Böylece gelecekte yapılacak biyokütle atıklarını yakma teknolojileriyle ilgili çalışmalarda hangi biyokütle atıkların yakıt olarak kullanılma potansiyelinin Türkiye açısından daha fazla olduğu belirlenmiş ve literatürdeki bu açık kapatılarak, yapılacak çalışmalara ışık tutulmuştur. Bu amaçla, çalışma sonucunda elde edilen güncel datalar kullanılarak Türkiye'deki atık biyokütle potansiyeli sektörel açıdan belirlenmiş ve yakılmasıyla enerji üretimi alternatiflerine göre daha avantajlı olan atıkların yakılması suretiyle elde edilecek enerji miktarları atık bazında hesaplanmıştır.

### 3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Tablo 1'de TÜİK'ten (TÜİK, 2019) alınmış hayvan sayıları (H.S.) verilmiştir. Büyükbaş hayvan başına yılda 9,95 ton, küçükbaş hayvan başına yılda 0,82 ton ve tavuk başına yılda 0,03 ton atık miktarı (A.M.) olduğu bilinmektedir (Yorulmaz, 2006; Exploitation of agricultural in Turkey, 2005). Literatür çalışmalarından (Sahu vd., 2016) hayvansal atıkların kalorifik alt ısıl değerleri ( $H_u$ ) elde edilmiş ve bu değerler kullanılarak Türkiye'de oluşan hayvansal atıkların toplam yanma enerji değerleri ( $Q_{top.yanma}$ ) Denklem 1 ve 2 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$A.M. \times H.S. = \sum A.M._{yillik} \quad (1)$$

$$\sum A.M._{yillik} \times H_u = \sum Q_{top.yanma} \quad (2)$$

Tablo 4'te 2016, 2017 ve 2018 yılları için Türkiye'deki tarımsal atık miktarları (buğday, arpa, mısır, ayçiçeği, pamuk ve şekerpancarı) (TÜİK, 2019), ısıl değerleri ve toplam ısıl kapasiteleri yıl bazında verilmiştir. Literatür çalışmalarından atık katsayısı (A.K.), kullanılabilirlik oranı (K.O.) ve birim ısıl değerleri ( $H_u$ ) elde edilmiş (Karabaş, 2019) ve 2016, 2017 ve 2018 yılları için bu atıkların toplam yanma enerji değerleri ( $Q_{top.yanma}$ ) Denklem 4 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\sum Q_{top.yanma} = \sum A.M._{yillik} \times H_u \times A.K. \times K.O. \quad (3)$$

Tablo 5'te TÜİK verilerine göre, Türkiye'de 2014, 2016 ve 2018 yıllarındaki toplanan belediye atık miktarları verilmiştir. Tablo 5'ten görüldüğü üzere belediyelerde üretilen yıllık çöp miktarının ( $A.M._{yillik}$ ) 28 ile 32 milyon ton arasında değişmektedir. Belediye atıklarındaki organik atıkların oranı (A.O.) ve organik atıkların ısıl değeri ( $H_u$ ) (Yıldız vd., 2013) kullanılarak Türkiye'deki belediye atıklarının toplam yanma enerji potansiyelleri Denklem 4 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\sum Q_{top.yanma} = \sum A.M._{yillik} \times H_u \times A.O. \quad (4)$$

Tablo 6'da 2016, 2017 ve 2018 yılları için Türkiye'deki kereste atık miktarları ( $A.M._{yillik}$ ) ve bu atıkların yaklaşık ısıl değerleri ( $H_u$ ) verilmiştir. Tablo 6'da verilen kereste üretim miktarları Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü'nün veri tabanından (FAOSTAT) alınmıştır. Atık kereste oranı (A.O.) ve kereste atıkların ısıl değerleri ( $H_u$ ) literatürden (Ballı, 2005; Yorulmaz, 2006) elde edilmiş ve bu değerler kullanılarak toplam atık kereste miktarları ( $A.M._{yillik}$ ) ile toplam yanma enerji değerleri ( $Q_{top.yanma}$ ) yıl bazında Denklem 5 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\sum Q_{top.yanma} = A.M._{yillik} \times H_u \times A.O. \quad (5)$$

Tablo 7'de, TÜİK verilerine göre 2016, 2017 ve 2018 yılları için Türkiye'deki endüstriyel odun üretimi ( $m^3$ ) ( $E.Ü._{yillik}$ ) verilmiştir. Literatürden (Sims, 2002; Yorulmaz, 2006) alınan verilere göre endüstriyel odun üretimi (E.O.Ü.) 0,35 ton/ $m^3$ , atık miktarının üretime oranı (Ü.O.) ise 0,5'tir. Atığın ısıl değeri ( $H_u$ ) 9 MJ/kg (Sims, 2002)'dir. Belirtilen parametreler kullanılarak endüstriyel odun üretimi atıklarının toplam yanma enerji değerleri ( $Q_{top.yanma}$ ) Denklem 6 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\sum Q_{top.yanma} = E.O.Ü. \times E.Ü._{yillik} \times H_u \times Ü.O. \quad (6)$$

Tablo 8'de FAOSTAT verilerine göre 2016, 2017 ve 2018 yılları için Türkiye'deki ahşap bazlı panel atık üretimi ( $m^3$ ) (P.A.Ü.) verilmiştir. Literatürden (FAOSTAT, 2019; Yorulmaz, 2006) alınan verilere göre kontraplak atık miktarı (A.M.) 0,25 ton/ $m^3$ , sunta atık miktarı (A.M.) 0,4 ton/ $m^3$  ve MDF atık miktarı (A.M.) 0,75 ton/ $m^3$ 'tür. Yine literatürden (Yorulmaz, 2006) alınan verilere göre kontraplak atık toplama ve kullanım etkinliği (K.E.) % 50 iken, kontraplak ısıl değeri ( $H_u$ ) 16 MJ/kg, sunta ve MDF ısıl değeri ( $H_u$ ) 17 MJ/kg'dır (Dias vd., 2005). Belirtilen parametreler kullanılarak ahşap bazlı panel atıklarının toplam yanma enerji değerleri ( $Q_{top.yanma}$ ) Denklem 7 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\Sigma Q_{top,yanma} = P.A.Ü. \times A.M. \times H_u \times K.E. \quad (7)$$

Tablo 9'da, TÜİK verilerine göre 2014,2016 ve 2018 yılları için Türkiye'deki deşarj edilen kişi başı atık su miktarı(A.S. M.) verilmiştir. Literatürden alınan verilere göre organik atık miktarı(<http://www.enerji-dunyasi.com/yayin/356/-aritma-camuru-bir-enerji-kaynagi-olarak-kullanilmali-10051.html#.XdaX6L5R2U1>) ve arıtma çamurundaki organik atıkların ısıl değeri ( $H_U$ )(Pulp and paper sludge to energy, 2006;Yorulmaz, 2006) hesaba katılarak organik atıkların toplam yanma enerji değeri ( $Q_{top,yanma}$ ) Denklem 8 kullanılarak bulunmuştur.

$$\Sigma Q_{top,yanma} = A.S.M. \times K.S. \times H_u \quad (8)$$

Denklem 8'de Türkiye'deki kişi sayısı(K.S.) TÜİK verilerine göre 2014 yılında 65.569.060, 2016 yılında 65.573.770, 2018 yılında 65.573.768 olarak alınmıştır.

#### 4. Araştırma Sonuçları (Research Results)

Tablo 1'de görüldüğü üzere 2016 yılı verilerine göre Türkiye'deki toplam hayvan sayısı 384.420.704 iken 2017 yılında bu sayı 403.057.243'eve 2018 yılında ise 416.721.404' e yükselmiştir.

**Tablo 1.** Türkiye'deki Hayvan Sayıları (Number of Animals in Tyrkey)

Yıl	Küçük Baş Hayvan Sayısı	Büyük baş Hayvan Sayısı	Et Tavuğu Sayısı	Yumurta Tavuğu Sayısı	Toplam Hayvan Sayısı
2016	41.329.232	14.080.155	220.322.081	108.689.236	384.420.704
2017	44.312.308	15.943.586	221.245.322	121.556.027	403.057.243
2018	46.117.399	17.042.506	229.506.689	124.054.810	416.721.404

**Tablo 2.** Türkiye'de ki Hayvansal Atık Miktarı (Animal Waste Amount in Turkey)

Yıl	Küçük Baş Atık Miktarı (ton)	Büyük Baş Atık Miktarı (ton)	Et Tavuğu	Yumurta Tavuğu	Toplam Hayvansal Atık Miktarı (ton)
			Alt Isıl Değer Miktarı (ton)	Atık Miktarı (ton)	
2016	33.889.970	140.097.542	6.609.662	3.260.677	183.857.852
2017	36.336.092	158.638.680	6.637.359	3.646.681	205.258.814
2018	37.816.267	169.572.934	6.885.200	3.721.644	217.996.047

Tablo 2'deki atık miktarları göz önüne alındığında, Türkiye'deki hayvansal atık'tan elde edilen enerji değerleri 2016 yılında 1.343,145 PJ, 2017 yılında 1.488,364 PJ ve 2018 yılında ise 1.575,198 PJ olarak hesaplanmıştır (Tablo 3). Tablo 3'te görüldüğü gibi 2016-2018 yılları arasında hayvansal atık yanma enerji değeri artmıştır. Ancak büyükbaş ve küçükbaş hayvan atıklarının tarımda gübre olarak kullanılmasının ve biyogaz yöntemiyle enerji üretilmesi, yakılması alternatifine göre daha avantajlı olmaktadır. Bu yüzden hayvansal atıklar yaygın olarak gübre olarak kullanılmaktadır. Et tavuğu ve yumurta tavuğu atıklarının ise içeriğindeki fazla asit ve azottan dolayı gübreleme işleminde kullanılması bitkiye zarar vermekte ve biyogazla enerji üretilmesi ise yakılmasına göre zor olmakta ve verimi düşük olmaktadır. Bu yüzden, et ve yumurta tavuğu atıklarının yakılmasıyla enerji üretimi iyi bir alternatiftir. Bu kapsamda, hayvansal atıklar içerisinde sadece tavuk atıklarının yanma enerji değerleri atıkların genel yanma enerjisi hesaplarında dikkate alınmıştır.

**Tablo 3.** Türkiye'de ki Hayvansal Atık Yanma Enerji Değeri (Animal Waste Combustion Energy Value in Turkey)

Yıl	Küçük Baş Atık Yanma Enerji Değeri (PJ)	Büyük Baş Atık Yanma Enerji Değeri (PJ)	Et Tavuğu Atık Yanma Enerji Değeri (PJ)	Yumurta Tavuğu Atık Yanma Enerji Değeri (PJ)	Toplam Hayvansal Atık Yanma Enerji Değeri (PJ)
2016	399,639	849,577	62,898	31,029	1.343,145
2017	428,484	962,014	63,162	34,702	1.488,364
2018	445,939	1028,322	65,520	35,415	1.575,198
				TOPLAM	4.406,707

**Tablo 4.** Türkiye’de ki Tarımsal Atık Miktarları ve Yanma Enerji Değerleri (Agricultural Waste Amounts and Combustion Energy Values in Turkey)

Ürünler(ton)							
Yıl	Buğday	Arpa	Mısır	Ayçiçeği	Pamuk	Şekerpancarı	Toplam
2016	20.600.000	6.700.000	6.400.000	1.670.716	2.100.000	19.592.731	57.063.447
2017	21.500.000	7.100.000	5.900.000	1.964.385	2.450.000	21.149.020	60.063.405
2018	20.000.000	7.000.000	5.700.000	1.949.229	2.570.000	17.436.100	54.655.329

2016								
Ürün	Atık	Üretim miktarı(ton/yıl)	Atık katsayısı	Atık miktarı(ton/yıl)	Kullanılabilirlik oranı	Kullanılabilir atık miktarı(ton/yıl)	Birim Isıl değer (MJ/kg)	Toplam Yanma Enerji Değeri (GJ)
Mısır	Sap Koçan	6.400.000	4.04	25.856.000	0.5	12.928.000	17.65	228.179.200
Buğday	Saman	20.600.000	1.63	33.578.000	0.5	16.789.000	17.51	293.975.390
Arpa	Saman	6.700.000	1.12	7.504.000	0.5	3.752.000	17.31	64.947.120
Şeker pancarı	Baş Yaprak	19.592.731	2.06	40.361.025	0.5	20.180.512	18	363.249.232
Ayçiçeği	Sap	1.670.716	0.73	1.219.622	0.5	609.811	18	10.976.604
Toplam								0,961 PJ

2017								
Ürün	Atık	Üretim miktarı(ton/yıl)	Atık katsayısı	Atık miktarı(ton/yıl)	Kullanılabilirlik oranı	Kullanılabilir atık miktarı(ton/yıl)	Birim Isıl değer (MJ/kg)	Toplam Yanma Enerji Değeri (GJ)
Mısır	Sap Koçan	5.900.000	4.04	23.836.000	0.5	11.918.000	17.65	210.352.700
Buğday	Saman	21.500.000	1.63	35.045.000	0.5	17.522.500	17.51	306.818.975
Arpa	Saman	7.100.000	1.12	7.952.000	0.5	3.976.000	17.31	68.824.560
Şeker pancarı	Baş Yaprak	21.149.020	2.06	43.566.981	0.5	21.783.490	18	392.102.830
Ayçiçeği	Sap	1.964.385	0.73	1.434.001	0.5	717.000	18	12.906.009
Toplam								0,991 PJ

2018								
Ürün	Atık	Üretim miktarı(ton/yıl)	Atık katsayısı	Atık miktarı(ton/yıl)	Kullanılabilirlik oranı	Kullanılabilir atık miktarı(ton/yıl)	Birim Isıl değer (MJ/kg)	Toplam Yanma Enerji Değeri (GJ)
Mısır	Sap Koçan	5.700.000	4.04	23.028.000	0.5	11.514.000	17.65	203.222.100
Buğday	Saman	20.000.000	1.63	32.600.000	0.5	16.300.000	17.51	285.413.000
Arpa	Saman	7.000.000	1.12	7.840.000	0.5	3.920.000	17.31	67.855.200
Şeker pancarı	Baş Yaprak	17.436.100	2.06	35.918.366	0.5	17.959.183	18	323.265.294
Ayçiçeği	Sap	1.949.229	0.73	1.422.937	0.5	711.468	18	12.806.434
Toplam								0,892 PJ

Tablo 4’te Türkiye’de en fazla ekim alanına sahip tarım ürünleri olan Mısır, buğday, arpa, şekerpancarı ve ayçiçeğinin atık miktarları gösterilmiştir. Tablo 4’te görüldüğü gibi 2016 yılındaki toplam tarımsal atık miktarı 57.063.447 ton iken, 2017 yılında 60.063.405 ton ve 2018 yılında 54.665.329 ton’dur. Tarımsal atıkların toplam yanma enerji değerine bakıldığında ise, 2016 yılında 0,961 PJ, 2017 yılında 0,991 PJ ve 2018 yılında ise 0,892

PJ'dür. Tablo 4'te görüldüğü gibi 2016-2017 yılları arasında tarımsal atık yanma enerji değeri artarken, 2017-2018 yılları arasında azalarak en düşük 2018 yılında olmuştur. Tarımsal atıkların yakılarak veya gazlaştırılarak kullanılması enerji üretimi açısından iyi bir alternatiftir.. Bu yüzden tarımsal atıkların yanma enerji değerleri atıkların genel yanma enerjisi hesaplarında dikkate alınmıştır.

Tablo 5'te görüldüğü gibi 2014 yılında belediyelerden toplanan atık miktarı 28.010.721 ton iken, 2016 yılında bu değer 31.583.553 ton'a, 2018 yılında ise 32.209.222 ton'a ulaşmıştır. Tablo 5'te görüldüğü üzere 2014 yılında kentsel organik atıkların yakılmasından elde edilen toplam enerji değeri 90,404 PJ iken, 2016 yılında bu değer 101,936 PJ ve 2018 yılında ise 103,955 PJ olarak gerçekleşmiştir. Tablo 5'te görüldüğü gibi Türkiye'de 2014-2018 yılları arasında oluşan kentsel organik atık miktarları ve buna müteakiben hesaplanan yanma enerji değerleri artış göstermiştir. Kentsel organik atıklardan belediyeler tarafından deponi sahasında ortaya çıkan metan gazından elektrik üretimi alternatifi, yakılarak enerji üretilmesi alternatifine göre daha avantajlı olduğu genel yanma enerjisi hesaplamalarında dikkate alınmamıştır. Kentsel organik atıklardan biyogaz üretiminin hesaplanması daha doğru bir yaklaşımdır.

**Tablo 5.** Kentsel Organik Atık Miktarları ve Yanma Enerji Değerleri (Municipal Organic Waste Amounts and Combustion Energy Values in Turkey)

Kentsel Organik Atıklar			
Yıl	Toplanan Belediye Atık Miktarı (ton)	Organik Atık Miktarı (ton)	Organik Atıkların Yanma Enerji Değerleri (PJ)
2014	28.010.721	15.050.160	90,404
2016	31.583.553	16.969.843	101,936
2018	32.209.222	17.306.014	103,955

Tablo 6'da görüldüğü gibi 2016 yılında Türkiye'deki Kereste atıkların toplam ısıl değeri 20,397 PJ iken, 2017 yılında 19,478 PJ ve 2018 yılında 19,692 PJ'dür. Tablo 6'da görüldüğü gibi 2018 yılındaki toplam atık kereste miktarı ve yanma enerji değeri 2017 yılına göre daha fazla iken, 2016 yılında en fazla olmaktadır. Kereste atıklarının yakılarak veya gazlaştırılarak kullanılması enerji üretimi açısından iyi bir alternatiftir.. Bu yüzden kereste atıkların yanma enerji değerleri atıkların genel yanma enerjisi hesaplarında dikkate alınmıştır.

**Tablo 6.** Kereste Atık Miktarları ve Yanma Enerji Değerleri (Timber Waste Amounts and Combustion Energy Values in Turkey)

Kereste Atıkları (FAOSTAT, 2019)					
Yıl	İbrelî Ağaçlardan Üretilen Kereste Miktarı (m <sup>3</sup> )	Yapraklı Ağaçlardan Üretilen Kereste Miktarı (m <sup>3</sup> )	Toplam Üretilen Kereste Miktarı (m <sup>3</sup> )	Toplam Atık Kereste Miktarı (ton)	Kereste Atıklarının Yanma Enerji Değeri (PJ)
2016	5.819.000	2.680.000	8.499.000	2.549.700	20,397
2017	5.604.800	2.511.200	8.116.000	2.434.800	19,478
2018	5.915.000	2.290.000	8.205.000	2.461.500	19,692

Tablo 7'de görüldüğü üzere, Türkiye'deki endüstriyel odun atıklarının toplam yanma enerji değeri 2016 yılında 26,79 PJ, 2017 yılında 24,44 PJ ve 2018 yılında da 30,05 PJ olarak hesaplanmıştır. Tablo 7'de görüldüğü gibi 2016 yılındaki endüstriyel odun atık miktarı 2017 yılına göre daha fazla iken, odun atıklarının miktarının en yüksek olduğu yılın 2018 olduğu görülmektedir. Endüstriyel odun üretimi atıklarının yakılarak veya gazlaştırılarak kullanılması enerji üretimi açısından iyi bir alternatiftir.. Bu yüzden endüstriyel odun üretimi atıklarının yanma enerji değerleri atıkların genel yanma enerjisi hesaplarında dikkate alınmıştır.

Tablo 8'de görüldüğü gibi, Türkiye'deki ahşap bazlı panel atıklarının toplam ısıl değeri 2016 yılında 8,325 PJ, 2017 yılında 8,046 PJ ve 2018 yılında 8,338 PJ olmuştur. Tablo 8'de görüldüğü gibi 2016 yılında Türkiye'de ki ahşap bazlı panel atık miktarı ve yanma enerji değeri 2017 yılından fazla iken, 2018 yılında en fazla olmaktadır. Ahşap bazlı panel atıklarının yakılarak veya gazlaştırılarak kullanılması enerji üretimi açısından iyi bir alternatiftir.. Bu yüzden ahşap bazlı panel atıklarının yanma enerji değerleri atıkların genel yanma enerjisi hesaplarında dikkate alınmıştır.

**Tablo 7.** Endüstriyel Odun Üretimi Atıkları ve Yanma Enerji Değerleri (Industrial Wood Wastes and Combustion Energy Values in Turkey)

Endüstriyel Odun Üretimi Atıkları				
Yıl	Endüstriyel Odun Üretimi (m <sup>3</sup> )	Endüstriyel Odun Üretimi (ton)	Endüstriyel Odun Atık Miktarı (ton)	Endüstriyel Odun Atıklarının Yanma Enerji Değeri (PJ)
2016	17.009.998	5.953.499	2.976.749	26,79
2017	15.521.622	5.432.567	2.716.283	24,44
2018	19.080.137	6.678.047	3.339.023	30,05

**Tablo 8.** Ahşap Bazlı Panel Atıkları ve Yanma Enerji Değerleri (Wood-Based Panel Wastes and Combustion Energy Values)

Ahşap Bazlı Panel Atıkları				
2016				
Ürünler	Üretim Miktarı (m <sup>3</sup> )	Atık Miktarı (ton)	Atıkların Yanma Enerji Değeri (PJ)	
Kontraplak	120.000	30.000	0,24	
Sunta	4.202.000	504.240	4,285	
MDF	5.069.000	447.264	3,80	
Toplam			8,325	
2017				
Ürünler	Üretim Miktarı (m <sup>3</sup> )	Atık Miktarı (ton)	Atıkların Yanma Enerji Değeri (PJ)	
Kontraplak	105.000	26.250	0,21	
Sunta	4.286.000	514.320	4,286	
MDF	4.747.000	417.736	3,550	
Toplam			8,046	
2018				
Ürünler	Üretim Miktarı (m <sup>3</sup> )	Atık Miktarı (ton)	Atıkların Yanma Enerji Değeri (PJ)	
Kontraplak	112.000	28.000	0,224	
Sunta	4.355.000	522.600	4,442	
MDF	4.910.000	432.080	3,672	
Toplam			8,338	

Türkiye’de 2014 yılında evsel arıtma çamurlarının yakılması suretiyle elde edilen toplam ısı değerinin 23,82 PJ’a, 2016 yılında 24,09 PJ’a ve 2018 yılında ise 24,74 PJ’a ulaştığı görülmektedir (Tablo 9). Yani, 2014-2018 yılları arasında Türkiye’de ki arıtma tesislerinde üretilen çamurun hem miktarının hem de organik içeriğinin artması sonucu, bu atıkların yakılması ile elde edilen yanma enerji değerleri de artış göstermiştir. Evsel arıtma çamuru atıklarının yakılarak veya gazlaştırılarak kullanılması enerji üretimi açısından iyi bir alternatiftir.. Bu yüzden arıtma çamuru atıklarının yanma enerji değerleri atıkların genel yanma enerjisi hesaplarında dikkate alınmıştır.

Tablo 10’da ise yakılarak kullanılması enerji üretimi açısından iyi bir alternatif olan atıkların Türkiye’deki enerji değerlerinin genel değerlendirilmesi verilmiştir. Tablo 10’da görüldüğü gibi toplam olarak bakıldığında 2016 yılında Türkiye’deki yakılarak veya gazlaştırılarak kullanılması enerji üretimi açısından iyi bir alternatif olan biyokütle atıkların yanma enerji değeri 174,49 PJ’dür. Aynı değerlendirme 2017 yılı içinde yapıldığında yakılarak kullanılması enerji üretimi açısından iyi bir alternatif olan biyokütle atıkların Türkiye’deki toplam yanma enerji değeri 150,819 PJ oluyor iken, 2018 yılında 184,647 PJ’e artmıştır. Detaylı olarak değerlendirildiğinde tavuk



atıkların yanma enerji değeri zamanla artış göstermişken, diğerleri ortalama aynı değerlerde kalmıştır. Toplam yanma enerji değerine bakıldığında ise 2016-2018 yılları arasında artış göstermiştir.

**Tablo 9.** Arıtma Çamuru Atıkları ve Yanma Enerji Değerleri (Treatment Sludge Wastes and Combustion Energy Values)

Yıl	Arıtma Çamuru Atıkları		
	Deşarj Edilen Kişi Başı Atıksu Miktarı (Lt)	Organik Atık Miktarı (ton)	Organik Atıkların Yanma Enerji Değeri (PJ)
2014	66.065	4.331.820	23,82
2016	66.795	4.380.000	24,09
2018	68.620	4.499.672	24,74

**Tablo 10.** Yanma Enerji Değerlerinin Genel Değerlendirilmesi (General Assessment of Combustion Energy Values)

Atık Biyokütle Kaynakları	Yanma Enerji Değeri (PJ)		
	2016	2017	2018
Tarımsal ve Tavuk Atıklarının Potansiyeli			
Tarımsal Atıklar	0,961	0,991	0,892
Tavuk Atıkları	93,927	97,864	100,935
Ağaç Atıklarının Potansiyeli			
Endüstriyel Odun Üretimi Atıkları	26,79	24,44	30,05
Kereste Atıkları	20,397	19,478	19,692
Ahşap Bazlı Panel Atıkları	8,325	8,046	8,338
Arıtma Çamuru Atıkları	24,09	*	24,74
Toplam	174,49	150,819	184,647

\* TÜİK verisi iki yıl aralıklarla olduğu için 2017 yılı verisine ulaşılamamıştır.

## 5. Sonuç ve Tartışma (Conclusion and Discussion)

Çalışmada, güncel verilere göre hesaplanan yanma enerji değerlerine bakıldığında; son yıllardaki yakılarak kullanılması enerji üretimi açısından iyi bir alternatif olan biyokütle atıkların toplam yanma enerji değerlerinin büyük kısmını tavuk atıklardan kaynaklı yanma enerji değerinin oluşturduğu görülmektedir. Tavuk atıklarından elde edilen yanma enerji değerinden sonra fazla olandan düşüğe doğru sırasıyla, endüstriyel odun üretim atıklarından kaynaklı yanma enerji değeri > arıtma çamuru organik atıklarından kaynaklı yanma enerji değeri > kereste atıklarından kaynaklı yanma enerji değeri > tarımsal atıklardan kaynaklı yanma enerji değeri gelmektedir. Yakılarak kullanılması enerji üretimi açısından iyi bir alternatif olan biyokütle atıkların toplam yanma enerji değerlerinin yılda ortalama yaklaşık %53-55'ini Et tavuğu ve yumurta tavuğunun oluşan tavuk atıklarının toplam yanma enerji değeri oluşturmaktadır. Bu yüzden, gelecekte yapılacak çalışmalarda tavuk atıklarının temiz ve verimli yakılması için gerekli olan teknolojilerin geliştirilmesi ve altyapının oluşturulması Türkiye'de hem sürdürülebilir hem de temiz/ucuz enerji eldesi için önem arz etmektedir.

## Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the author.

## Kaynaklar (References)

- Ballı R., 2005. Forest products markets and marketing, Capacity building in sharing forest and market information, Workshop, Czech Republic.
- Başçetinçelik, A., Öztürk, H. H., Kaya, D., Kaçira, K., Ekinci, K., & Karaca, C. (2006). Türkiye'de biyokütle enerjisi kullanımını geliştirme olanakları. VI: Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 25-26.
- Çağal, F. E. (2009). Biyokütle enerjisi potansiyelinin Türkiye açısından değerlendirilmesi (Doctoral dissertation, Enerji Enstitüsü).
- Dias F. M., Do Nascimento M. F., Martinez-Espinosa M., Lahr F. A. R., Valarelli I. D., 2005. Relation between the compaction rate and physical and mechanical properties of particleboards, Materials Research, 8, 5.
- FAOSTAT, 2019(Son erişim tarihi: 12.01.2020).
- <https://www.iea.org/data-and-statistics>, 2019(Son erişim tarihi: 11.01.2020).
- <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik>, 2019(Son erişim tarihi: 02.01.2020).
- <http://www.enerji-dunyasi.com/yayin/356/-aritmam-camuru-bir-enerji-kaynagi-olarak-kullanilmali-10051.html#.XdaX6L5R2U1>(Son erişim tarihi: 02.01.2020).
- [https://www.fao.org/regional/SEUR/events/Krtiny/docs/TurM\\_en.pdf](https://www.fao.org/regional/SEUR/events/Krtiny/docs/TurM_en.pdf), accessed on August 2006.
- Karabaş, H. Sakarya İlinin Bitkisel Biyokütle Açısından Atık Miktarının ve Enerji Potansiyelinin Araştırılması. Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi, 2(1), 35-43.

- KARAYILMAZLAR, S., SARAÇOĞLU, N., Çabuk, Y., & Rifat, K. U. R. T. (2011). Biyokütle'nin Türkiye'de enerji üretiminde değerlendirilmesi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 13(19), 63-75.
- Kurt, G., & KOÇER, N. N. (2010). Malatya ilinin biyokütle potansiyeli ve enerji üretimi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 26(3), 240-247.
- OLGUN, H., DOĞRU, M., & HOWARTH, C. R. KATI (2000). ATIKLARIN ENERJİ DÖNÜŞÜMÜNDE KULLANILMASI VE GAZLAŞTIRICILAR.
- Ozturk, H. H., & Bascetincelik, A. (2006). Energy exploitation of agricultural biomass potential in Turkey. *Energy Exploration & Exploitation*, 24(4), 313-330.
- Özcan, M. Öztürk, S., YILDIRIM, M., & KILIÇ, L. (2012). Biyokütle Kaynaklarının Farklı Üretim Teknolojilerine Göre Elektrik Enerjisi Değerlerinin Belirlenmesi Electricity Energy Potential of Different Biomass Sources Based on Different Production Technologies.
- Pulp and paper sludge to energy, 2006. Preliminary assessment of technologies, CANMET energy technology center, Report No: 34, [www.cifq.qc.ca/imports/\\_uploaded/PPsludge.pdf](http://www.cifq.qc.ca/imports/_uploaded/PPsludge.pdf), accessed on August 2006.
- Sahu, P. K., Chakradhari, S., Dewangan, S., & Patel, K. S. (2016). Combustion Characteristics of Animal Manures. *Journal of Environmental Protection*, 7(06), 951.
- Sims R.E.H., 2002. The brilliance of Bioenergy: In business and practice, James and James Ltd, London.
- TÜİK, Türkiye İstatistik Kurumu, 2019(Son erişim tarihi: 05.01.2020) .
- SÖZEN, E., GÜNDÜZ, G., AYDEMİR, D., & GÜNGÖR, E. (2017). Biyokütle Kullanımının Enerji, Çevre, Sağlık ve Ekonomi Açısından Değerlendirilmesi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 19(1), 148-160.
- T.C. ETKB(Enerji Tabii Kaynaklar Bakanlığı), 2019(Son erişim tarihi: 05.04.2020).
- Üçgül, İ., & Akgül, G. (2010). Biyokütle Teknolojisi. *SDÜ Yekarum e-Dergi*, 1(1).
- Yildiz, S., Yaman, C., Demir, G., Ozcan, H. K., Coban, A., Okten, H. E., ... & Goren, S. (2013). Characterization of municipal solid waste in Istanbul, Turkey. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 32(3), 734-739.
- Yorulmaz, S. Y. (2006). Investigation of Emissions and Combustion Kinetics of Waste Wood Samples with Thermal and Spectral Methods (Doctoral dissertation, MSc Thesis: 70-127. Available online Available online <https://etd.lib.metu.edu.tr/upload/12607570/index.pdf> (access 30/08/2018)).