



Adem Yılmaz

Batman University, adem.yilmaz@batman.edu.tr, Batman-Turkey

DOI	http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2019.14.1.5A0112
ORCID ID	0000-0001-7266-0866
CORRESPONDING AUTHOR	Adem Yılmaz

TÜRKİYE'DE BİYOGAZ ÜRETİMİ VE KURULU SANTRALLERİN ÜRETTİĞİ ELEKTRİK ENERJİSİ

ÖZ

İnsanoğlu yenilenebilir enerji kaynaklarını araştırmaya ve geliştirmeye devam ederken dünyaya vermiş olduğu zararları en aza indirmeye çalışmaktadır. Enerji kaynağı olarak kullanılan biyogaz atık madde ve organik maddelerden üretilmektedir. Biyogazın üretilmesi ile hem enerji elde edilmekte hem de kullanılmayan atık hale gelmiş çevreye zarar verici ürünler azaltılmış olmaktadır. Biyogaz elektrik üretimi başta olmak üzere farklı kullanımlar ile tüketilmektedir. Bu çalışmada biyogazın özellikleri ve Türkiye'de lisanslı biyokütle santralleri araştırılmıştır. 2017 yılı itibarıyla Türkiye'de ortalama 634MW kapasitede 122 lisanslı santral bulunmaktadır. Bu santrallerde üretilen elektrik ülke elektrik üretiminin yaklaşık %0.95'ini oluşturmaktadır. Birçok ilde yeni santraller kurulmaktadır. Biyokütleden elektrik üretiminde İstanbul'da bulunan Odayeri Çöp Gazı Santrali-Biyogaz tesisi yaklaşık 34MWe kurulu gücü ile birinci sırada bulunmaktadır. Santrallerin bir kısmı ürettiği elektriğin 1wh'lik 0.1330\$ fiyat ile anlaşma süresince devlete satmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Biyogaz, Biyokütle, Biyogazdan Elektrik Üretimi, Biyogaz Santralleri, Çevre

BIOGAS PRODUCTION AND ELECTRICAL ENERGY PRODUCED BY INSTALLED POWER PLANTS IN

ABSTRACT

While human beings continue to research and develop renewable energy sources, they try to minimize the damage they have caused to the world. Biogas used as an energy source is produced from waste materials and organic materials. By producing the biogas, both energy is obtained and the environmentally harmful products which have become unused waste are reduced. Biogas is consumed with different uses, especially in electricity generation. By producing the biogas, both energy is obtained and the environmentally harmful products which have become unused waste are reduced. Biogas is consumed with different uses, especially in electricity generation. By producing the biogas, both energy is obtained and the environmentally harmful products which have become unused waste are reduced. Biogas is consumed with different uses, especially in electricity generation. New power plants are being established in many provinces. The Odayeri waste gas plant - biogas plant, which is located in Istanbul in the production of biomass electricity, ranks first with its installed power of 34MWe. Some of the power plants sell 1kwh to the state during the agreement with the price of \$0.1330.

Keywords: Biogas, Biomass, Electricity Generation From Biogas, Biogas Plants, Environment

How to Cite:

Yılmaz, A., (2019). Türkiye'de Biyogaz Üretimi ve Kurulu Santrallerin Ürettiği Elektrik Enerjisi, **Ecological Life Sciences (NWSAELS)**, 14(1):12-28,
DOI: 10.12739/NWSA.2019.14.1.5A0112.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Nüfusun artması ile birlikte insanların gereksinimleri de orantılı olarak artmaktadır. Türkiye’de 1961 yılı ile 2013 yılları arasında büyükbaş hayvan varlığı ortalama %7 artmakta iken, küçükbaş hayvan varlığı ortalama %35 oranında düşmektedir. Dünyada ise bu oran 1961 ile 2013 yılları itibariyle büyükbaş hayvan varlığı ortalama %63, küçükbaş ise ortalama %61 oranında artışı görülmektedir [1]. Hayvansal atıkların çevreye verdiği zararlar göz ardı edilemeyecek kadar çoktur. Bunlardan en önemlileri yeraltı ve yerüstü suların kirlenmesi ve bulaşıcı hastalıkların yayılması diyebiliriz [2]. Çevre sorunlarının yanı sıra enerji ihtiyacı da büyük bir sorundur. Sanayinin ve teknolojinin gelişmesi ile enerji kaynaklarının da gelişmesi beklenmektedir. Türkiye enerji ihtiyacını mevcut kaynaklar olan doğalgazı %31, petrolü %30, kömürü %27 ve yenilenebilir enerji ise %7.5 oranında tüketmektedir. Günümüzde bu kaynakların durumu, tükenmekle karşı karşıya kalmış ve daha önemlisi bu kaynakların tüketilmesi sırasında karbondioksit (CO₂) salınımı nedeniyle atmosfer için oldukça zararlı hale gelmiştir [3]. Arttık yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı yaygınlaştırılıp kullanım oranları artırılmalıdır. Biyogaz, yenilenebilir enerji kaynaklarından birisidir. Biyogazın üretimi basitçe atık maddelerin ve organik atıkların işlemlerden geçirilerek içerisindeki metanı (CH₄) ayrıştırmaktır. Türkiye’de organik atık oranı toplam atık maddelerin %65’i kadardır [4]. Bu atıkların çevreye atılması çevre sorunu oluşturmaktadır. Hem çevreyi korumak hem de atıkları değerlendirmenin yolu bu atıklardan enerji üretmekten geçer. Organik maddelerden hayvansal olanlarının bir kısmı çevreye atılarak kullanılmaz hale gelmektedir. Diğer kısmı ise gübre olarak tarım alanlarında kullanılmaktadır. Gübre içerisinde ki maddelerden dolayı toprak zarar görmekte ve verim düşmektedir [5]. Hayvansal atıkları biyogaz tesisinden geçirip biyogaz üretmek ve çıkacak olan maddeleri de tekrar gübre olarak kullanmak mümkündür. Biyogaz oluşumundan sonra çıkacak olan maddeleri gübre olarak kullanıldığında toprak verimi %10 oranında artmaktadır [3].

Şenol ve arkadaşları, (2017) tarafından yapılan bir çalışmada Türkiye’deki kanatlı hayvanlar tarafından üretilecek olan biyogaz ve elektrik enerjisi üzerinde durulmuştur. Kanatlı hayvanların yaş gübresinden elde edilen enerji miktarı yaklaşık 13 milyar MJ ve bu tavuk gübresinin günlük olarak yaklaşık 7 bin MWh elektrik enerjisine eşdeğer olduğunu bildirmişlerdir. Biyogaz kaynakları için başlıca biyokütle kaynakları hakkında bilgi vermişlerdir. Ayrıca Ankara ilinde günlük olarak organik atıklardan 277.348m³, atık suların arıtılmasından 512.220m³, tarım atıklarından 38.493m³ ve mutfaktaki yemek atıklarından 160.380m³ biyogaz üretileceğini teorik olarak hesaplamışlardır [6 ve7]. İlkiliç ve Deviren, (2011) yılında biyogaz üretimi ve üretimi etkileyen maddeler üzerinde çalışmış, biyogazın oluşumunda problem yaratacak olan hidrojen sülfür, su ve karbon dioksitten arındırılabilirliğinden bahsetmişlerdir. Gübre atıklarının fermantasyondan geçirilerek çevreye zararsız hale gelebileceklerini bildirmişlerdir [8 ve 9]. Çanka Kılıç, (2011) yılındaki çalışmasında Türkiye’de 2020 yılına kadar enerji ihtiyacının tahmini 298 Milyon Ton Eşdeğer Petrol (MTEP) olacağı ve buna karşılık olarak üretilecek olan enerji miktarının ise tahmini 70 MTEP olduğunu belirtmektedir [10]. Karakuz, (2007) yılında biyoyakıtlardan elektrik üretimini araştırmış gereken maliyet hesaplarını yapmıştır [11]. Tufaner F. Ve arkadaşları 2013 yılında Türkiye’deki biyogaz tesisinin yapımında başarı ve başarısızlık nedenlerini analiz etmişlerdir [12]. Altınar Perendeci, (2014)’de Çukurova bölgesindeki biyogaz ile enerji üretimini araştırmışlardır [13]. Rutz ve arkadaşları, (2008) yılında yaptıkları

araştırmada Bulgaristan, Hırvatistan, Letonya, Romanya, Slovenya ve Yunanistan'daki mevcut biyogaz piyasası ve biyogaz potansiyeli hakkında bilgi vermişlerdir. Ek olarak ta biyogaz üretiminin ana engellerini ve bu engellerin üstesinden gelmek için önlemler önermektedir [14]. Bacenetti, (2016) yılında ve arkadaşları Filistin'de yaptıkları çalışmada hayvan gübresi ve kentsel atıklardan çalışan bir pilot biyogaz tesisi kurmuşlardır. Çalışmalarında ürettikleri elektriğinin ithal edilen elektriğe göre çevresel etkilerinin daha az olduğunu bildirmekteler [15]. İrem, (2018) yılında yapılan projede biyokütle elde etmek amacıyla tarım ürünlerinin belirlenmesi ve kullanmak için teşvik edilmesi konusunda eylem planı belirlemişlerdir [16]. Yapılan bir çalışmada 2000-2011 yılları arasında Türkiye'de biyogaz ile ilgili çalışmalar tablo haline getirilmiştir [17].

Biyogazın Yapısı: Kokusuz, renksiz, ısı değeri yüksek ve bileşiminde metan (CH₄) oranı fazla olan yanıcı karışım gazdır. İçerisindeki metan fazlalığıyla doğalgaza yakın ve doğalgazın kullanıldığı birçok yerde kullanılabilen bir gazdır. Oluşumu atık maddelerin fermantasyonu sonucu açığa çıkan metan gazı da diyebiliriz. Sıvılaştırma işlemi yüksek basınç ve maliyet gerektirdiğinden gaz olarak üretilen biyogaz gaz olarak tüketilir. Atık maddelerin oksijensiz ortamda belirli basınç ve sıcaklıkta bakteriler tarafından oluşur ve kalan ürün organik gübre olarak verimli şekilde kullanılır. Türkiye'de biyogazda kullanılabilen olan atık maddelerin yaklaşık olarak değeri 8.6 (MTEP) olduğu ve bunlardan elde edilebilecek olan biyogazın ortalama 2 MTEP olduğu tahmin edilmektedir [18].

Biyogazın Özellikleri: Karışım bir gaz olduğu için içerisinde yüksek oranda metan (CH₄) düşük oranda karbondioksit (CO₂), hidrojen (H₂), azot (N₂), su buharı (H₂O) ve hidrojen sülfür (H₂S) gibi gazlardan oluşur [19 ve 20]. Biyogazın bileşimini oluşturan gazların oranları Tablo 1'de, özellikleri ve 1m³ biyogazın vermiş olduğu enerji değerleri Tablo 2'de ve 1m³ biyogaza eşdeğer yakıt miktarları gösterilmiştir.

Tablo 1. Biyogazın bileşimi ve özellikleri [20 ve 21]

(Table 1. The composition and properties of biogas)

Biyogazın bileşimi		Biyogazın Özellikleri	
Gaz adı	Oranı (%)	Özelliği	Aralığı
Methan (CH ₄)	50-70	Net Kalorifik Değeri	20 (MJ/m ³)
Carbondioksit (CO ₂)	30-40	Yanma İçin Gerekli Hava	5.7 (m ³ /m ³)
Hidrojen (H ₂)	5-10	Ateşleme Sıcaklığı	700 (°C)
Nitrojen (N ₂)	1-2	Yoğunluk	0.94 (kg/m ³)
Su Buharı (H ₂ O)	0.3		
Hidrojen Sülfür (H ₂ S)	Az		

Tablo 2. Biyogazın ısıl değeri [21]

(Table 2. calorific value of biogas)

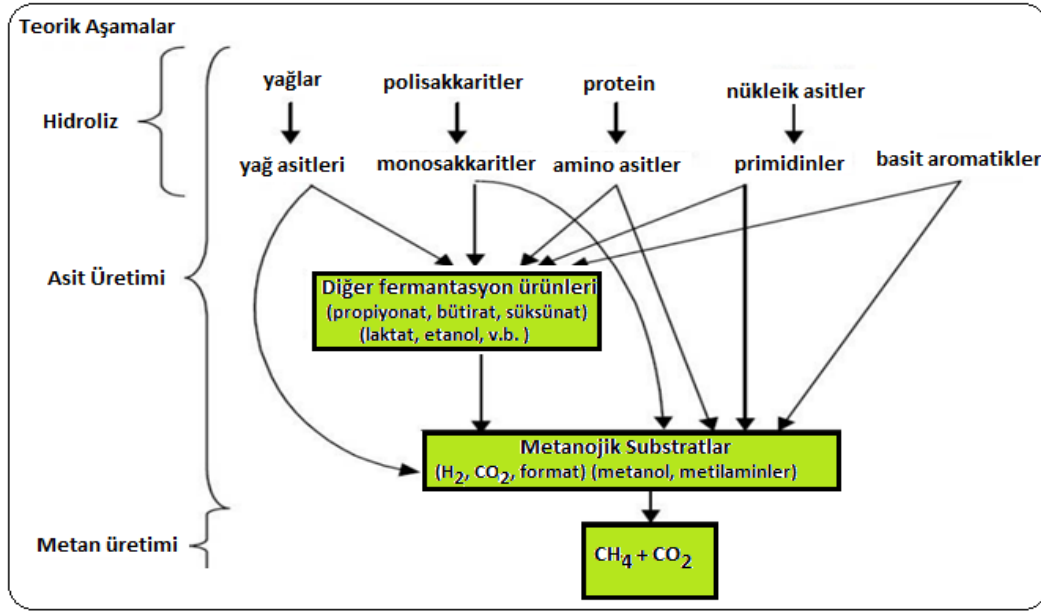
Atıklardan Elde Edilen Biyogazın Vermiş Olduğu Isıl Değer	
1m ³ Biyogazın Sağladığı Isı Miktarı 4700-5700 kcal'dir	1m ³ Biyogaza Eşdeğer Yakıt Miktarları
Bu değer karşılaştırıldığında	
12.3(kg) Tezek, 4.70(kWh) Elektrik Enerjisi, 3.47(kg) Odun, 1.46(kg) Odun Kömürü, 0.62(litre) Gaz Yağı, 0.43(kg) Bütan gazına eşittir	0.75(litre) Benzin, 0.66(litre) Motorin, 0.25(m ³) Propan tarafından sağlanan enerjiye eşdeğerdir

Biyogazın Avantajları: Biyogaz yenilenebilir bir enerji kaynağı olmasının yanı sıra, temiz, çevreci, ucuz, kullanışlı ve işlem görmeden kullanılabilir. Atıklardan üretildiği için ürün bulma gibi bir sorunla karşılaşmaz. Hayvansal atıklar kullanıldığında geriye kalan ürün gübre olarak verimli hale dönüşür. Elde edilen gaz özellikleri itibarıyla doğalgazın kullanıldığı yerlerde kullanılabilir. Üretilmesinden tüketilmesine kadar fazla bir teknoloji gerektirmez ve kolaylıkla kurulabilir.

Biyogaz Üretimi: Atık maddelerin oksijensiz ortamda belirlenmiş olan sıcaklık ve basınç altında parçalanması sonucu oluşan metan ağırlıklı bir gazdır. Oluşum için birkaç safha gerçekleşmesi gerekir. İlk olarak fermentasyon ve hidroliz denilen, atıkların içerisinde bakterilerin ve bazı kimyasalların oluşumudur. Daha sonra bakteriler tarafından asetik asitlerin oluşması gerekir. Son aşamada ise oksijensiz ortamda metanın oluşumu gerçekleşir [22]. Biyogazın doğal oluşumu kimyasal bir döngüdür ve metan üreten bakterilerin organik madde parçalayarak çevreye ayrılmış ürün veren organizma zincirinin son halidir. Bu fermentasyon döngüsü Şekil 1'de görülmektedir. Organik maddenin ortalama %50'si gaza dönüşürken kalanı katı + sıvı karışımı olarak organik gübre halinde kullanılmak için dışarı atılır. Elde edilecek gazın miktarı ise atık maddenin özelliğine bağlı olarak değişmektedir [6]. Organik maddelerden elde edilen biyogaz değerleri Tablo 3a'da verilmiştir. Hayvansal atıklardan elde edilen biyogaz değerleri de Tablo 3b'de gösterilmiştir [7].

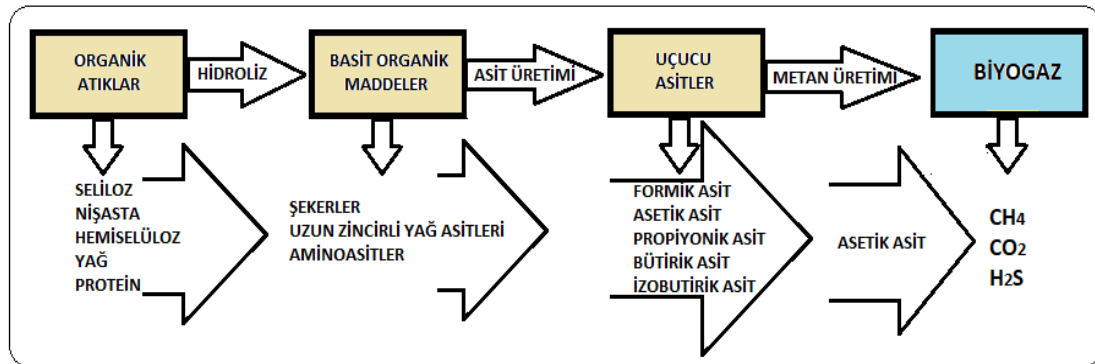
Tablo 3.a) Organik atıkların biyogaz verimleri b) Hayvan gübresinden üretilen biyogaz değerleri [23]
(Table 3.a) Biogas yield of organic wastes b) values biogas produced from animal manure)

(a)		(b)		
Organik Madde Cinsi	Biyogaz Verimi (m ³ /ton)	Hayvan Türü	Yaş Gübre Miktarı (ton/yıl)	Biyogazın Verimi (m ³ /ton)
Katı Gübre (Sığıır)	45	Büyükbaş Hayvan	3.6	33
Yemek Atıkları (Mutfak)	30	Küçük Baş Hayvan	0.7	58
Katı Gübre (Küçükbaş)	60	Kanatlı Hayvan	0.0022	78
Kümes Gübresi	70-90			
Arıtma Çamuru (Atık Su)	310-800			
Atık (Yemek Atıkları)	50-480			
Atık (Sebze ve Meyve)	45-110			
Atık (Tarımsal Atık)	20			
Kanatlı Hayvan Gübreleri	310-620			
Küspe (Şeker Pancarı)	147			



Şekil 1. Anaerobik çürüme kademeleri [24]
(Figure 1. Anaerobic steps of decay)

Biyogazın Üretimini Etkileyen Faktörler: Biyogazın üretimi aşamalı bir şekilde gerçekleşmektedir. Aşamaların her birinin belirli şartlarda olması elde edilecek biyogaz miktarını etkilemektedir. Biyogaz oluşumunu gösteren şema Şekil 2’de gösterildiği gibidir [8]. Fermantasyon işlemi sırasında mikroorganizmalar tarafından üretilen enzimler organik bileşikleri ayrıştırarak asit oluşumunu meydana getirmektedir. Bakterilerin asetik asidi parçalaması ile metan üretmeleri ile işlemler döngü halinde devam etmektedir [9]. Bu döngü esnasında birçok faktör önem arz etmektedir. Bu faktörlerden bazıları Tablo 4’de verilmiştir.



Şekil 2. Biyogaz oluşumunda anaerobik ayrışma şeması [8]
(Figure 2. Anaerobic decomposition scheme in biogas formation)

Tablo 4. Biyogazın üretimini etkileyen faktörler
(Table 4. Factors affecting the production of biogas)

Etki Eden Faktör	Oran	Etkisi	Kaynak
Katı Madde Oranı	Katı madde oranı %7-12 arasında olmalıdır. Organik maddeye göre değişim göstermektedir. Günlük besleme miktarı (1/gün)=üretimin hacmi (litre)/bekleme süresi (gün)'dir.	Gereğinden az veya çok olması tank içerisinde parçalanma meydana gelmemekte ve verim düşmektedir.	6-25
Yükleme Hızı	Ortalama 2.5-3.5um/m ³ ve sabit olmalıdır. Organik maddeye göre değişim göstermektedir.	Ph değeri yükselir ve biyogaz üretimi durur.	3
Karışım Hızı	Yavaş ve Sürekli Karıştırma	Organik maddelerin parçalanması ve dağılmasını sağlar. Sıcaklığı eşitler ve bakterilerin eşit şekilde dağılımını sağlar. İyi ve uygun karışım üretimi %50 etkiler.	9
Sıcaklık Aralığı	05-25°C arası Psikofilik 25-38°C arası Mezofilik 50-60°C arası Termofilik	10°C'nin altında üretim durur.	26
pH Değeri	6-7 arasında olmalıdır.	pH'ın 6,7 değerinin altında olması durumunda metanojen bakterilerin toksik değeri artar. Kalsiyum hidroksit diye bilinen sönmüş kireçle ph değeri dengelenebilir.	25-26
C/N Oranı	Karbon ve azot oranı ortalama 10/23 alınır.	Bu oran 10'un altına düşerse içeride amonyak miktarı artar ve metan oluşumu yavaşlar. 23'ün üzerine çıkarsa da uçucu yağ asitlerinin artması metan üretimini yavaşlatır.	6-27
Toksit Etkisi	Engelleyiciler	Engelleme Seviyesi (mg/lt)	Ağır metaller, Mineral iyonları, Deterjanlar, vb. Ürünler sistem içerisinde toksit etkisi yaratırlar
	Sülfat (So ₄ ⁻²)	5.000	
	Genel Tuzlar		
	NaCl	40.000	
	Nitrat	0.05	
	Bakır (Cu ⁺²)	100	
	Krom (Cr ⁺³)	200	
	Nikel (Ni ⁺²)	200-500	
	Sodyum (Na ⁺¹)	3.500-5.500	
	Potasyum (K ⁺¹)	2.500-4.500	
	Kalsiyum (Ca ⁺²)	2.500-4.500	
Magnezyum (mg ⁺²)	1.000-1.500		
Mangan (Mn ⁺²)	1.500 üzeri		
Köpük Oluşumu	Köpüklenme olmaması istense de az miktarda olmalı.	Köpük oluşumunun bir nedeni pH değerinin düşük olmasıdır. Bekleme süresinin kısalığı başka bir nedendir. Su püskürtme ya da karıştırma ile giderilebilir.	6
Bekleme Süresi	Hidrolik bekleme süresi (hbs), 20-120 gün arasında reaktör sıcaklığına göre değişim göstermektedir. Hbs=reaktör hacmi (m ³)/günlük debi (m ³ /gün) formülü ile hesaplanır.	Bekleme süresinin az olması yağ asitlerinin artmasına ve bakterilerin kaçmasına haliyle metan üretiminin düşmesine neden olur.	25

Biyogaz Tesisleri: Biyogaz tesisleri üretilecek olan biyogaza ve kullanım yerine göre çeşitli ebatlarda imal edilebilirler. Tesisleri sınıflandırmak gerekirse 6-12m³ olan küçük ölçekli biyogaz üretimi yapan tesislere aile tip, 50-150m³ olan çiftlik tip, 100-200m³ biyogaz üreten çiftliğin büyüğü köy tipi ve 1000m³ üstü üretim yapan sanayi tip biyogaz tesisleri diye sınıflandırılır [29].

Biyogaz Kaynakları: Biyogaz kaynağı olarak atık olan her şeyi göstermemiz mümkündür. Bu kaynakları basit bir şekilde gruplandırmak gerekirse Tablo 5’de verildiği gibi sınıflandırılabilir.

Tablo 5. Biyogaz kaynaklarının sınıflandırılması
(Table 5. Classification of biogas sources)

Atık Türü	İçeriği	Kaynak
Hayvansal Atıklar	Büyükbaş Ve Küçükbaş Tüm Hayvanlardan Elde Edilen Gübreler	10
Bitkisel Atıklar	Tarım Alanlarında Bulunan Bitkiler ve Bitki Atıkları Örneğin: Bitkiler; Ayçiçek, Kolza, Soya, Aspir, Susam, Yer Fıstığı, Patates, Buğday, Mısır, Pancar, Seker Kamışı, Keten, Kenaf, Kenevir, Sorgum Gibi Elyaf Bitkileri Bu Alanda Kullanılan Genel Tarım Ürünleridir. Bitki Atıkları; Dal, Sap, Saman, Kök, Kabuk, vb.	30
Yiyecek Atıklar	Meyve ve Sebzeler, Yemek Atıkları, Peynir Altı Suları, Posalar (Meyve, Yulaf, vb.), Yiyecek Türleri	31
Sanayii Atıklar	Arıtmalar, Zirai Atıklar, Fabrika Atıkları	10
Belediye Atıkları	Çöpler	31

Biyogazın Kullanım Alanları: Biyogaz CH₄ metan ağırlıklı olduğundan dolayı doğalgaza benzemektedir ve doğalgazın kullanıldığı birçok alanda kullanılabilir. Ağırlıklı olarak ısıtma, elektrik üretimi ve araçlarda yakıt olarak kullanılmaktadır [32].

Biyogaz Üzerinde Yapılan İşlemler: Biyogazın elde edilmesindeki faktörlerin eksik olması durumunda elde edilen gaz saf halde olmaz. Bu durumda gazın bazı işlemlerden geçirilmesi gerekir. Bunların başında saflaştırma gelmektedir. Biyogazın araçlarda kullanımında H₂S değeri en çok 17ppm ve ihtiva ettiği CH₄ miktarı da %96’nın üstünde bir değerde olması gerekmektedir. 1m³ biyogaz %97 oranında metana sahipse 1 litre benzinin verdiği enerjiyi vermektedir [33]. İkinci işlem ise içerisindeki CO₂’nin alınmasıdır. Biyogazın enerji değerini düşüren bir etkidir ve bazı yöntemler kullanılarak kolaylıkla ayrıştırılabilir. Üçüncü işlem ise H₂S Hidrojen sülfürün uzaklaştırılmasıdır. Bunların dışında birde gaz içerisindeki nem miktarının azaltılmasıdır. Gaz içerisinde bulunan nem hem gazın enerjisini düşürmekte hem de kullanılan malzemelere zarar vermektedir. Bu nedenle nemin olabildiğince düşürülmesi gerekmektedir.

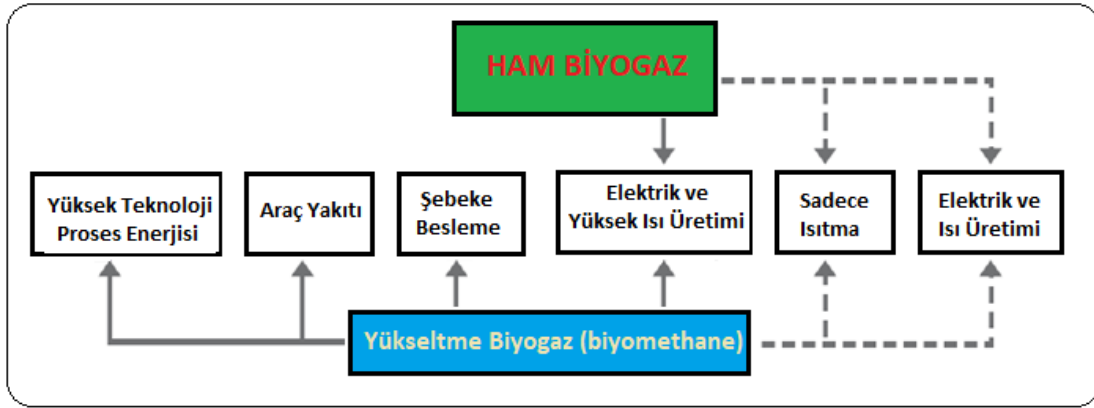
2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bu çalışmada biyogaz ve biyogaz üretiminin aşamaları Türkiye’de Kurulu güçleri ve lisanslı santraller anlatılmıştır. Türkiye’de lisans almış olan santrallerin listesi, karşılaştırılmaları ve örnek santraller verilmiştir. Biyogazın teknik özellikleri ile oluşumu anlatılmıştır. Bir biyogaz tesisinin kurulması ve çalıştırılması örneklendirilmiştir. Biyogazın önemi ve hayatımızdaki yeri anlatılmıştır. Biyogaz kaynaklarının neler olduğu ve bu kaynakların nasıl biyogaza çevrildiği şekillerle verilmiştir. Atık maddelerin doğaya atılarak kirletilmesi yerine dönüşüme uğratılarak enerji üretiminin elde edilmesi sağlanmıştır. Endüstriyel ölçüde biyogaz tesislerinin özellikleri ve elde edilen biyogazın elektrik enerjisinde kullanılarak dönüşümü anlatılmıştır. Tesislerin yıllık ürettikleri enerjinin teknik verileri irdelenmiş olup grafiklerle gösterilmiştir.

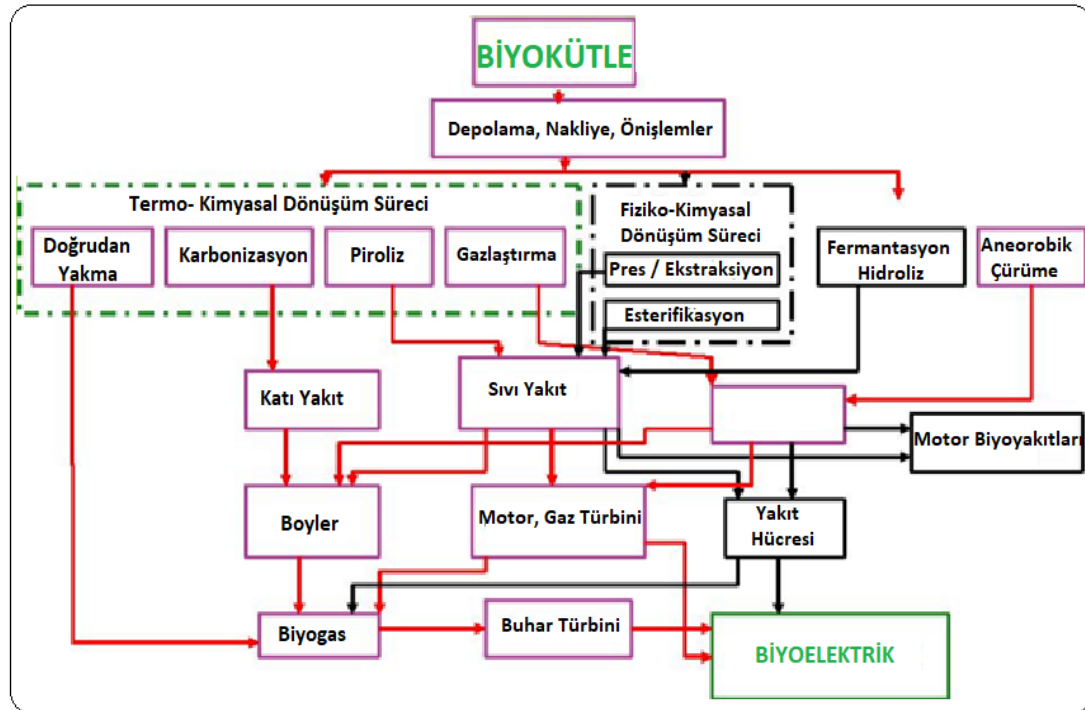
3. MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

3.1. Biyogazdan Elektrik Üretimi (Electricity Production from Biogas)

Biyogaz üretimi tamamlandıktan sonra depolanmakla birlikte direk olarak ta kullanılabilir. Biyogazın basit bir şekilde kullanımı Şekil 3'de verilmiştir. Biyogaz üretimi tamamlanmadan biyokütle şeklinde enerji dönüşümü üç şekilde gerçekleşmektedir. Bu dönüşümler; üç grupta değerlendirilir. Termokimyasal dönüşüm; gazlaştırma, piroliz ve sıvılaştırma yapılması ve direk olarak yakılması, Biyokimyasal dönüşüm; Anaerobik ve alko fermentasyonları, Fizikokimyasal dönüşüm; Transesterifikasyon, şeklinde olup Şekil 4'de bu dönüşüm şeması ayrıntılı olarak verilmiştir [24].

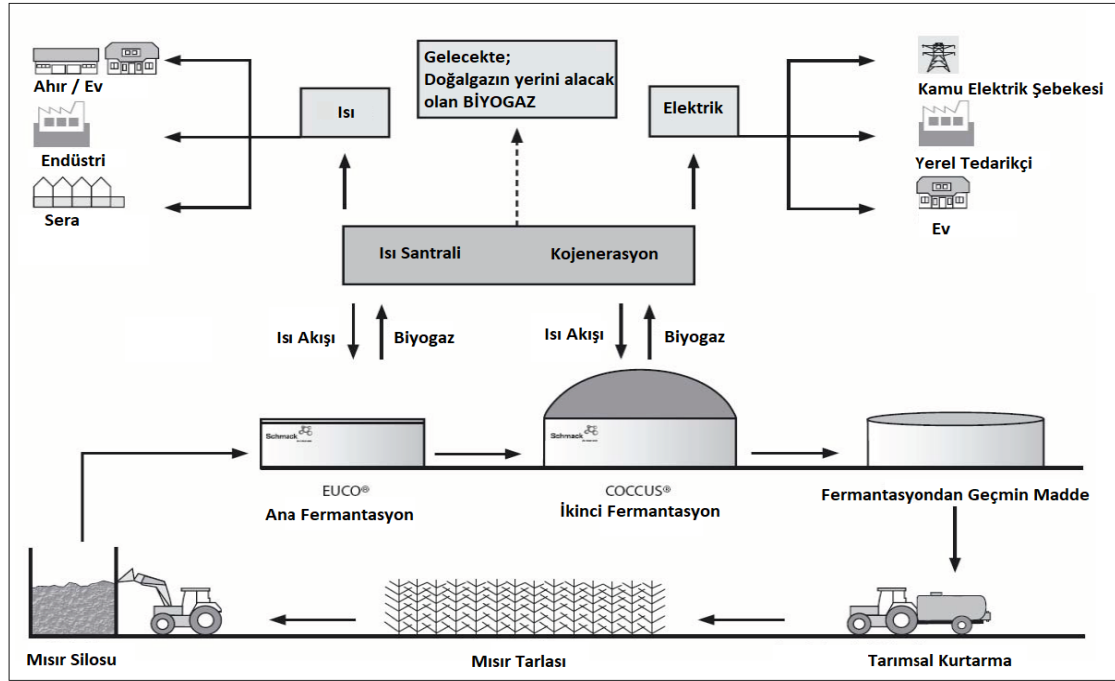


Şekil 3. Biyogazın kullanımı [34]
(Figure 3. Use of biogas)



Şekil 4. Biyokütle enerjisinin dönüşümü [24]
(Figure 4. Conversion of biomass energy)

Isıl değeri içerisindeki metan oranına göre değişiklik gösterse de ortalama $1900-25000\text{kJ}/\text{Nm}^3$ arasındadır. Wobbe sayısı $13.6-15.7\text{kWh}/\text{m}^3$ ve kalorifik değeri de $8.4-13.1\text{kWh}/\text{m}^3$ değerindedir [35]. Sıvı hale getirebilmek için -164°C 'ye kadar soğutmak ve yüksek bir basınca getirmek gerekmektedir [26 ve 36]. Bundan dolayı gaz haliyle kullanmak avantajlıdır. Türkiye'de çöp atıkların değerlendirilmesi ve enerji üretimine yönelik çalışmalar büyükşehirlerde başlamıştır. Elektrik üretiminde ko-jenerasyon tesislerinde verimli bir şekilde kullanılmaktadır. Biyogazdan elektrik üretimi Şekil 5'deki şemada gösterilmektedir [11]. Elde edilen gaz bir sistem tarafından yakılarak değişik aşamalardan geçirilip elektrik enerjisine dönüşmektedir. Bu dönüşüm aşamasında fazla miktarda ısı açığa çıkmakta ve bu ısıyı da farklı alanlarda kullanarak verim artmaktadır. Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde biyogazdan elektrik üretimi 2011 yılı verilerine göre %11.6 olarak hesaplanmıştır [34]. Elektrik üretimi için öncelikle bir fizibilite çalışması yapılmalıdır. Kullanılacak ürün özellikleri ve miktarı, tesisin kurulması ve üretilen elektriğin iletilmesi ve işletim, bakım masrafları gibi özellikler dikkate alınmalıdır.

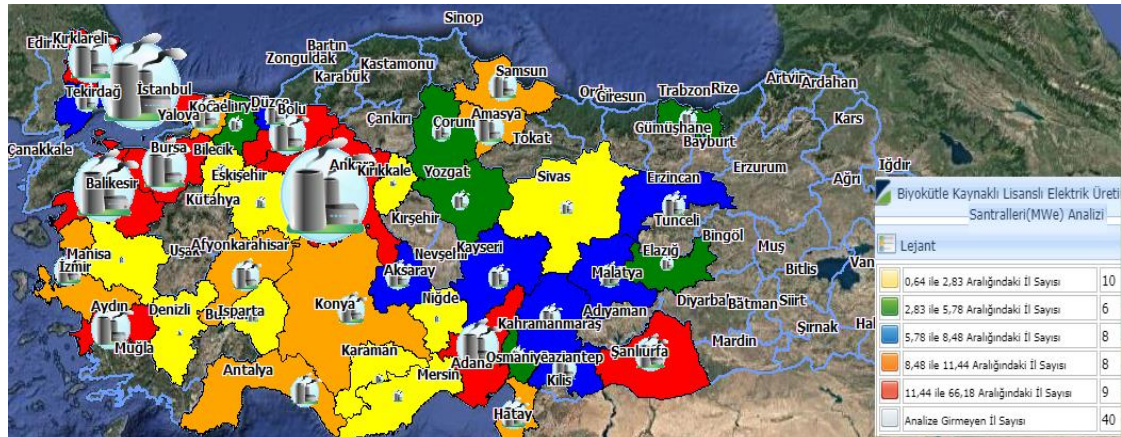


Şekil 5. Biyogazdan elektrik Üretim Şeması [11]
(Figure 5. Electricity production from biogas)

3.1. Türkiye'de Kurulu Biyogaz Santralleri (Board Biogas Plants in Turkey)

Türkiye'de 1957 yıllarında ilk çalışmalar başlamış, 1963 yılında 7 tanesi Eskişehir'de toplam 8 biyogaz tesisi kurulmuştur. 1980 sonrasında muştta bir tesis kurulmuştur. 1982 yılında ortalama 1000'e yakın biyogaz tesisi faaliyete geçmiştir [7]. Bu tesislerin bir kısmı ürettiği biyogazı farklı alanlarda kullanmıştır. Yapılan bir araştırmaya göre Türkiye'de 2007 yılı itibarıyla yapımı tamamlanmış olan biyokütle ve atık yakıt kaynaklı kojenerasyon tesisleri incelendiğinde Ankara çöp gaz santrali gücü ortalama 3.2MW ve yıllık kapasite değeri 22GWh/yıl olarak elektrik üretmektedir.

İstanbul Kemerburgaz'da bulunan biyogaz santrali ise, 4MW güce sahip ve yıllık olarak 7GWh/yıl kapasitede çöplerden gaz üretimi yapmaktadır. İzmit Köseköy'de bulunan çöp gazı santralinin yıllık kapasitesi ortalama 37GWh/yıl kapasiteye sahip olup gücü ise 5.2MW değerindedir. Adana'da bulunan ve yine çöplerden elde edilen çöp gazı santrali 0.8MW gücünde, yıllık kapasitesi ise 6GWh/yıl gücünde bulunmaktadır [37]. Günümüzde biyogaz kullanarak elektrik üreten yüzün üzerinde santral bulunmaktadır [38]. Yıllık olarak ortalama 2.227GWh elektrik üretilmektedir. İstanbul başta olmak üzere Ankara, Adana, Samsun, Balıkesir, Çanakkale, Antalya, Konya, Kırıkkale, Bursa, Mersin, İzmir, Afyonkarahisar, Erzincan, Kocaeli, Aksaray, Şanlıurfa, Tekirdağ, Kayseri, Konya, Gaziantep, Aydın, Çorum, Kırklareli, Kahramanmaraş, Düzce, Hatay, Trabzon, Malatya, Osmaniye, Elazığ, Isparta, Sivas, Niğde, Tokat, Karaman, Uşak, Amasya ve Bolu illerinde bulunmaktadır. En büyüğü 34MW ve en küçüğü de 0.12MW gücündedir. Türkiye'deki santrallerin il bazında haritada görünümü Şekil 6'da verilmiştir. Yapılan araştırmalara göre 2017 yılı sonu itibarıyla, Türkiye'de işletmede bulunan yani çalışır halde 634.2MW'lık kurulu güce sahip olan 122 adet Yenilenebilir Atık Enerji Santrali bulunmaktadır. Bu değer Türkiye'de bulunan toplam kurulu gücün yaklaşık olarak %0.7'sini oluşturmaktadır. Biyokütle olarak bilinen çöp, atık ve organik maddelerden elde edilen elektrik üretimi 2017 yılı sonunda 2796.6GWh olarak gerçekleşmiştir. Bu değere göre ülke elektrik üretiminin yaklaşık olarak %0.95'i kadarını çöp, atık ve organik kaynaklarından sağlamış bulunmaktadır [18].



Şekil 6. Türkiye haritasında biyokütle kaynaklı lisanslı elektrik üretim santralleri (MWe) [39]

(figure 6. Licensed sourced biomass power generation plants in Turkey)

En büyük kapasiteye sahip olan Odayeri Çöp Gazı Santrali-Biyogaz tesisi İstanbul'da bulunmaktadır. Kapasitesi 33.81MWe kurulu güce sahip olan tesis Türkiye'nin en büyük biyogaz tesisi olup ortalama 68.273 kişinin tüm elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamaktadır [38]. Tesisin yıllık elektrik üretimi ortalama 226GWh olup kurulu güce oranı %0.0416'dır. Tesis Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizmasından (YEKDEM) faydalanmaktadır. 2020 yılına kadar üretilecek olan her 1kwh değerindeki elektrik enerjisini 0.1330\$ fiyat devlet tarafından satın alınacaktır. Santralin 5 yıllık ürettiği elektrik miktarı ile il ve ülke tüketimine oranı Tablo 6'da verilmiştir [38].

Tablo 6. Odayeri Çöp Gazı Santrali 5 yıllık elektrik üretimi tablosu
[38]

(Table 6. Odayeri Garbage Gas Power Plant 5 years electricity
production table)

Yıl	2012	2013	2014	2015	2016
Üretim (kWh)	186.886.099	210.568.059	239.300.114	193.348.184	299.815.110
İl Tüketimine Oran (%)	0.48	0.53	0.57	0.45	0.67
Ülke Tüketimine Oran (%)	0.08	0.09	0.09	0.07	0.11

Mevcut tesisler ek olarak 12 santral yapım aşamasındadır. Yapım aşamasında olan tesislerden en büyüğü Ankara'da bulunan Mamak çöplüğü biyogaz tesisi olup 36MW güce sahiptir. Mevcut kurulu tesisi bulunan Mamak biyogaz tesisi ortalama 25MWe gücü ile Türkiye'nin üçüncü biyogaz tesisidir. Tesis ortalama 151.711.707kWh elektrik üretimi ile yaklaşık olarak bölgede 45.834 kişinin ihtiyacı olan elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamaktadır. Mamak Çöplüğü Biyogaz Tesisi de 2017 yılına kadar (YEKDEM)'den faydalanacak olup ürettiği 1 kilovatsaat elektriği fiyatı 0.1330\$ olarak devlet tarafından satın alınacaktır. Santralin yıllık ürettiği elektrik miktarı ile il ve ülke tüketimine oranı Tablo 7'de verilmiştir [38].

Tablo 7. Mamak Çöp Gazı Santrali 4 yıllık elektrik üretimi tablosu
[38]

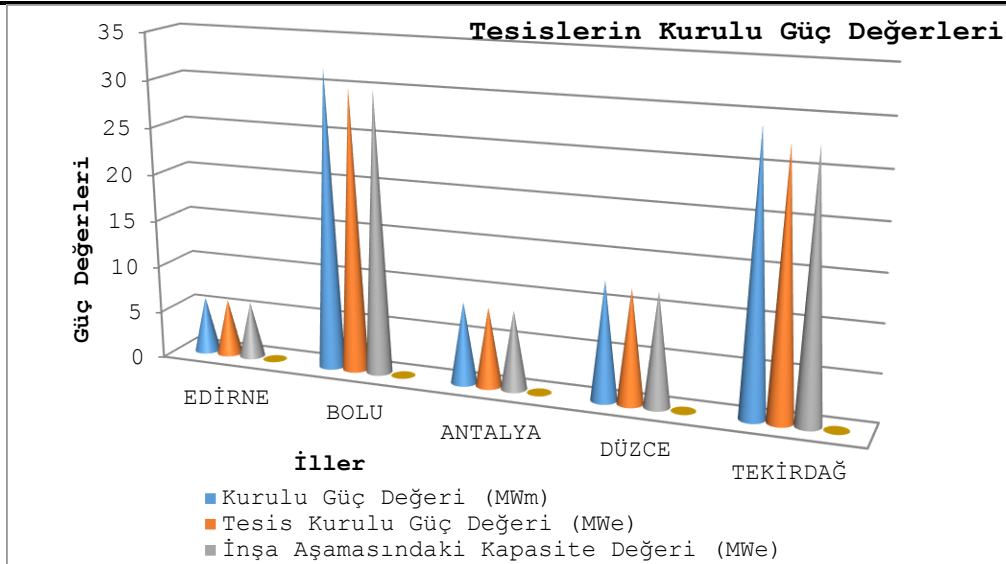
(Table 7. Mamak Garbage Gas Power Plant 4 years electricity production
table)

Yıl	2012	2013	2014	2015
Üretim (kWh)	130.971.940	139.399.049	147.388.085	152.511.165
İl Tüketimine Oranı (%)	1.06	1.10	1.12	1.12
Ülke Tüketimine Oranı (%)	0.05	0.06	0.06	0.06

En küçük kurulu güce sahip biyogaz tesisi Bursa'da bulunmaktadır. Kurulu gücü 0.12MWe olan tesisin işletme kapasitesi yine 0.12MWe olup 2007 yılında kurulmuştur ve 2037 yılına kadar devam edecektir [18].

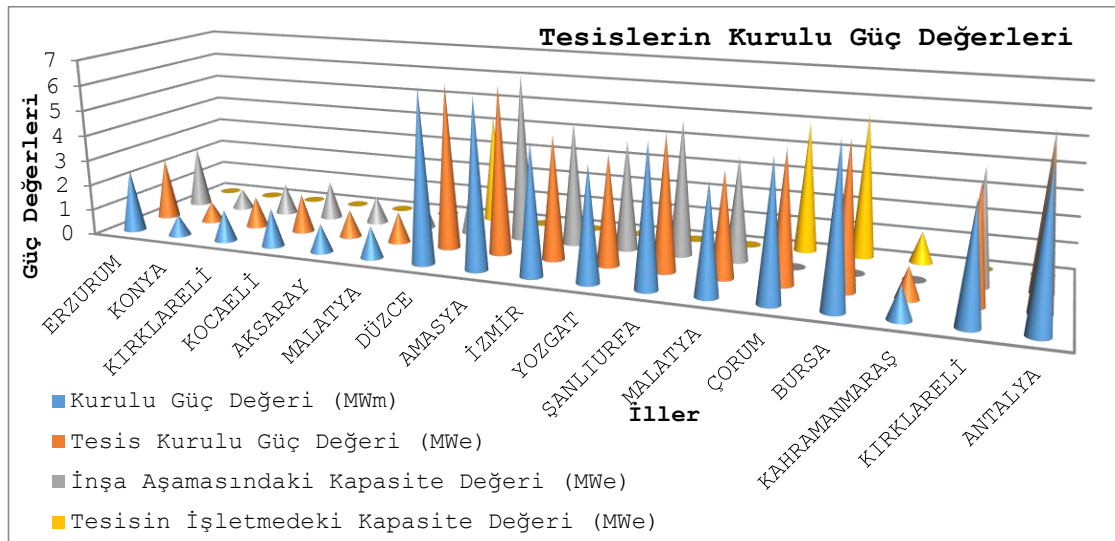
4. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

2018 yılı itibarıyla mevcut yürürlükte olan Biyokütle santrallerinin kurulu gücü, inşa halindeki kapasite değerleri, işletmedeki kapasite değerleri ile hangi illerde oldukları Şekil 7'de verilmiştir [18].



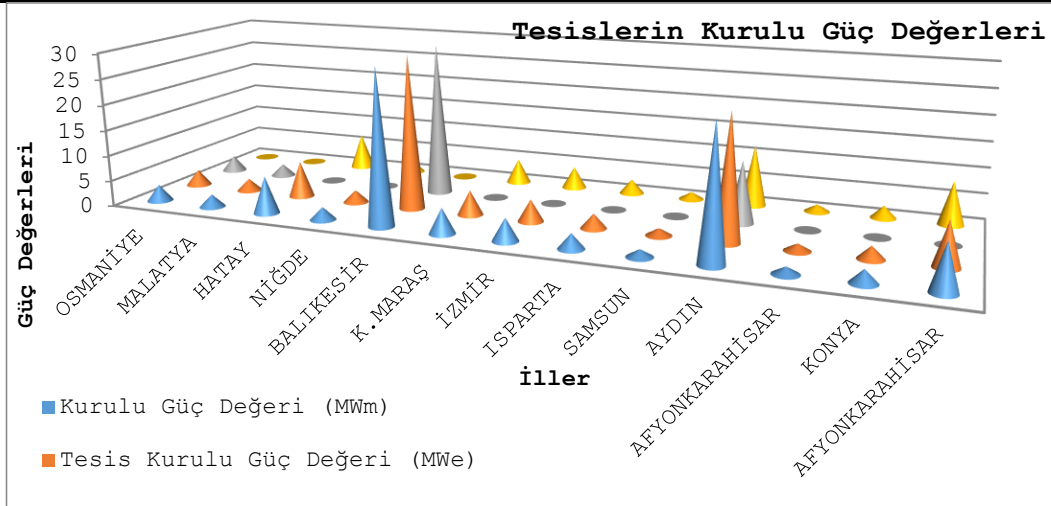
Şekil 7. 2018 yılı yürürlükte olan lisanslı biyokütle santralleri (Figure 7. Licensed biomass power plants in 2018)

Yukarıdaki grafikte 2018 yılı itibariyle lisans alınan biyokütle santralleri illere göre verilmiş olup kurulu gücü 31.91MWm ile Bolu ve kurulu gücü 29.1MWm ile Tekirdağ ili yer almaktadır. Yine inşa aşamasında olan tesislerde yine kapasitesi 30MWe ile Bolu ve kapasitesi 27.6MWe ile Tekirdağ ili bulunmaktadır. 2017 yılı itibariyle mevcut yürürlükte olan Biyokütle santrallerinin kurulu gücü, inşa halindeki kapasite değerleri, işletmedeki kapasite değerleri ile hangi illerde oldukları Şekil 8’de verilmiştir [40].



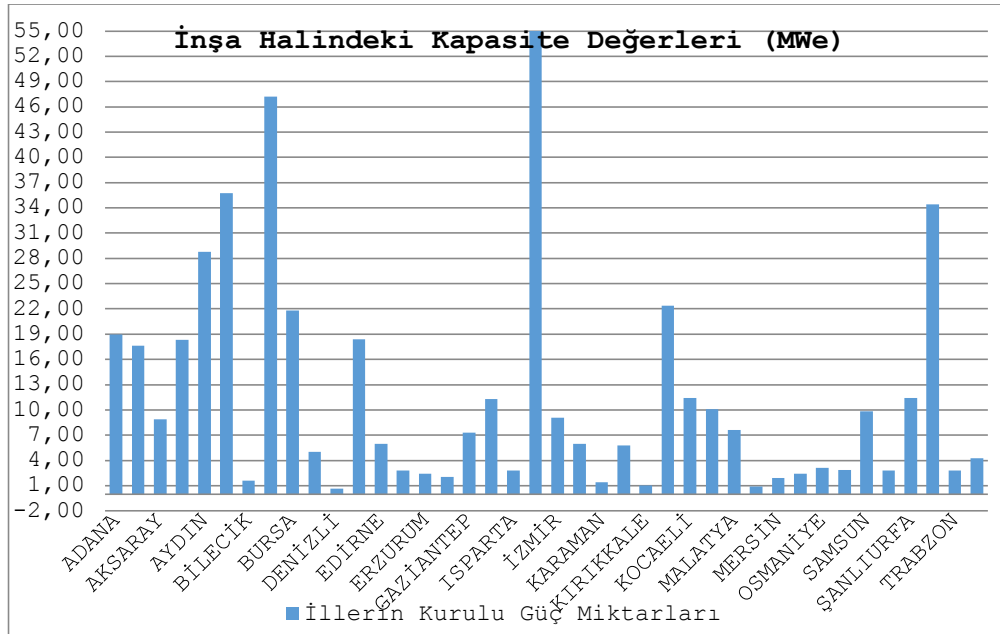
Şekil 8. 2017 yılı yürürlükte olan lisanslı biyokütle santralleri (Figure 8. Licensed biomass power plants in 2017)

2016 yılı itibariyle mevcut yürürlükte olan Biyokütle santrallerinin kurulu gücü, inşa halindeki kapasite değerleri, işletmedeki kapasite değerleri ile hangi illerde oldukları Şekil 9’da verilmiştir [40].



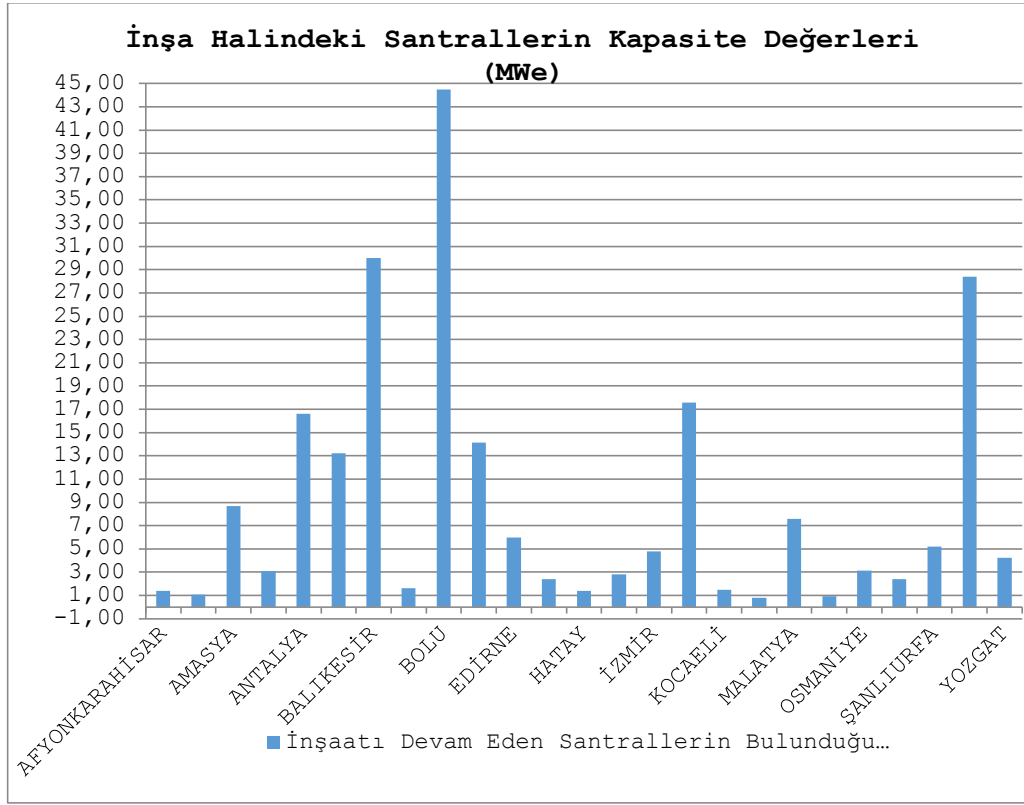
Şekil 9. 2016 yılı yürürlükte olan lisanslı biyokütle santralleri
(Figure 9. Licensed biomass power plants in 2016)

Kurulu gücü kapasitesine göre biyokütle santrallerinin illere göre sıralaması Şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 10. Kurulu güce göre illerde kurulu lisanslı biyokütle santralleri
(Figure 10. Licensed biomass plants installed in provinces according to installed power)

Yukarıdaki grafikte Türkiye'de lisans almış olan santrallerin kapasite ve kurulmuş olan il verileri görülmektedir. Kurulu gücü yaklaşık 55MWe ile en yüksek kapasiteli santral İstanbul'da biyogazdan elektrik üretilmektedir. En düşük kapasiteye sahip il ise 0.6MWe ile Denizli ili verilmiştir [40]. Türkiye'de inşa halinde olan biyokütle santrallerinin kapasitesine göre illerin alfabetik düzene göre sıralaması Şekil 11'de gösterilmiştir. İnşaat aşamasında bulunan tesislerin illerine bakıldığında, yaklaşık 45MWe gücü ile Bolu ili görülmektedir. Bolu ilini 30MWe ile Balıkesir ve 28MWe ile Tekirdağ takip etmektedir. 1MWe gücünün altında ise 13 il bulunmaktadır.



Şekil 11. İnşa halindeki kapasiteye göre illerde kurulacak lisanslı biyokütle santralleri
(Figure 11. Licensed biomass power plants to be installed in provinces according to the capacity under construction)

5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS)

Yenilenebilir enerji kaynakları her geçen gün araştırma konusu olmakla birlikte kullanım alanları artmakta ve kapasiteleri büyümektedir. Bu çalışmada atıklardan ve organik maddelerden biyogaz üretimi, üretim aşamaları, kullanım alanları ve Türkiye’de lisanslı kurulu Biyokütle santralleri araştırıldı. Araştırmalar sonucunda Türkiye’de 2017 yılı itibariyle 634.2MW güce sahip 122 adet lisanslı Yenilenebilir Atık Enerji Santrali mevcuttur. Bu değer Türkiye elektrik enerjisinin toplam kurulu gücü bakımından yaklaşık olarak %0.7'sine karşılık gelmektedir. Türkiye elektrik üretiminin yaklaşık %0.95'i biyokütle kaynaklarından elde edilmiştir. Biyokütleden lisanslı olarak elde edilen enerji bakımından kapasitesi yaklaşık 34MWe olan ve İstanbul’da bulunan Odayeri Çöp Gazı Santrali-Biyogaz tesisi birinci sırada bulunmaktadır. Ayrıca bu tesis Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizmasından 2020 yılına kadar üreteceği her 1 kilovatsaat elektriği fiyatı dolar bazında 0.1330\$ olarak devlet tarafından satın alınacaktır. 2018 yılı itibariyle lisans alıp yürürlükte olan ve 5 ilde kurulan tesislerin toplam kurulu gücü yaklaşık 84MWe değerindedir. Yaklaşık 223MWe kapasiteye sahip inşa halinde tesis bulunmaktadır. Nüfusun artmasıyla enerjiye olan ihtiyaç ve enerji üretimi orantılı biçimde artmaktadır. Mevcut kaynakları kullanarak enerji üretmek hem doğaya hem de insanoğluna fayda sağlamaktadır. Lisanslı büyük tesislerin yanı sıra küçük tesislerinde yaygınlaştırılması, atık maddelerin bertaraf edilmesinde ve enerji üretiminde fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

SEMBOLLER VE KISALTMALAR (SYMBOLS AND ABBREVIATIONS)

§	Dolar
%	Yüzde
°C	Derece celcius
m ³	Metre küp
m ³ /ton	Bir tonluk metre küp miktarı
m ³ /yıl	Bir yıllık metre küp miktarı
GWh	Cigawattsaat (1GWh:10 ³ , MWh:10 ⁶ , KWh:10 ⁹ Wh)
MWh	Megawattsaat (1MWh:10 ³ , KWh:10 ⁶ Wh)
MWe	Megawatt net
MW	Megawatt (1MW:10 ³ , KW:10 ⁶ W)
kwh	Kilovatsaat (1KWh:10 ³ Wh)
CO ₂	Karbondioksit
CH ₄	Metan
H ₂	Hidrojen
N ₂	Azot
H ₂ O	Su
H ₂ S	Hidrojen Sülfür
MTEP	Milyon Ton Eşdeğer Petrol
C/N	Karbon Azot oranı
HBS	Hidrolik Bekleme Süresi

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Anonim, (2013). Türkiye’de Hayvancılık Sektörünün Görünümü, Hayvancılık Sektör Raporu. Tarım İşletmeleri Genel Müdürlüğü (TİGEM), ss:50, Ankara.
2. Karaman, S., (2006). Hayvansal Üretimden Kaynaklanan Çevre Sorunları ve Çözüm Olanakları. KSÜ. Fen ve Mühendislik Dergisi, 9(2):133-139.
3. Şenol, H., Elibol, E.A., Açıkkel, Ü. ve Şenol, M., (2017). Türkiye’de Biyogaz Üretimi İçin Başlıca Biyokütle Kaynakları, BEÜ Fen Bilimleri Dergisi 6(2):81-92.
4. Anonim, (201). Biyokütlenin Altın Çağı, Deloitte Touche Tohmatsu Limited, 28s. Türkiye.
5. Yetkin, M.A., (2010). Organik Gübreler ve Önemi, Samsun İl Tarım Müdürlüğü, 24s. Samsun.
6. Şenol, H., Elibol, E.A., Açıkkel, Ü. ve Şenol, M., (2017). 2016’da Türkiye’de Kanatlı Hayvanlardan Üretilebilecek Biyogaz ve Elektrik Enerji Potansiyeli, BEÜ Fen Bilimleri Dergisi, 6(1):1-11.
7. Şenol, H., Elibol, E.A., Açıkkel, Ü. ve Şenol, M., (2017). Biyogaz Üretimi İçin Ankara’nın Başlıca Organik Atık Kaynakları, BEÜ Fen Bilimleri Dergisi, 6(2):15-28.
8. İlkılıç, C. ve Deviren, H., (2011). Biyogazın Üretimi ve Üretimi Etkileyen Faktörler, 6th International Advanced Technologies Symposium, 16-18 May, pp:144-149, Elazığ.
9. İlkılıç, C. ve Deviren, H., (2011). Biyogazın Oluşumunu Etkileyen Fiziksel Ve Kimyasal Parametreler, 6th International Advanced Technologies Symposium, 16-18 May, pp:123-131, Elazığ.
10. Çanka Kılıç, F., (2011). Biyogaz, Önemi, Genel Durumu ve Türkiye'deki Yeri. Mühendis ve Makine, C:52, S:617, 94-106.
11. Karakuz, S., (2007). Biyoyakıtlardan Elektrik Üretimi Biyoelektrik Avrupa Uygulamaları, http://www.albiyobir.org.tr/files/img_etk/suat_karakuz.pdf. (Erişim Tarihi: 20.06.2018).
12. Tufaner, F., Avşar, Y., Dere, T. ve Gönüllü, T., (2013). Türkiye’de Biyogaz Tesisi Projelerinde Başarı ve Başarısızlık Nedenlerinin Analizi ve Merkezi Biyogaz Tesislerinin Önemi, I. Ulusal Kompost ve Biyogaz Çalıştayı 11-14 Nisan, Antalya.

13. Perendeci, N.A. ve Çılgın, A.S., (2014). Çukurova Bölgesinde Oluşan Tarımsal ve Hayvansal Atıklardan Biyogaz Yoluyla Enerji Üretimi, Endüstriyel Simbiyoz Konferansı, 19-20 Şubat, Ankara.
14. Rutz, D., Janssen, R., Epp, C., Helm, P., Grmek, M., Agrinz, G., Prassl, H., Sioulas, K., Dzene, I., Ivanov, I., Dimitrova, D., Georgiev, K., Kulisic, B., Finsterwalder, T., Köttner, M., Volk S., Kolev, N.V., Garvanska, S.M., Ofiteru, A., Adamescu, M., Bodescu, F. ve Seadi, T.A., (2008). The Biogas Market in Southern and Eastern Europe: Promoting Biogas by Non-Technical Activities, 16th European Biomass Conference & Exhibition, Valencia.
15. Bacenetti, J., Baboun, S.H., Demery, F., Aburdeineh, I., and Fiala, M., (2016). Environmental Impact Assessment of Electricity Generation from Biogas in Palestine, Bacenetti et al./Environmental Engineering and Management Journal 15, 9, 1915-1922.
16. İren, E., (2018). Biyogaz Üretimi, 9. Enerji Verimliliği Forumu ve Fuarı, 1. Gün, 3. Oturum Konuşması, İstanbul.
17. Straße, T. ve Ertem, F.C., (2011). Türkiye'de Biyogaz Yatırımları İçin Geçerli Koşulların ve Potansiyelin Değerlendirilmesi, Türkiye'de Hayvansal Atıkların Biyogaz Yoluyla Kaynak Verimliliği Esasında ve İklim Dostu Kullanımı Projesi, Türk-Alman Biyogaz Projesi, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 148s, Ankara.
18. Biyokütle, (2018). Biyoyakıt ile İlgili Bilgi ve Belgeler, <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Biyokutle>. (Erişim Tarihi: 01.05.2018).
19. Yılmaz, A., Ünvar, S., Koca, T. ve Koçer, A., (2017). Türkiye'de Biyogaz Üretimi ve Biyogaz Üretimi İstatistik Bilgileri, Technological Applied Sciences, 12:218-232.
20. Anonymous, (2012). Swedish Gas Technology Centre: Basic Data on Biogas, Swedish Gas Technology Centre Ltd, ISBN: 978-91-85207-10-7.
21. Çelikkaya, H., (2016). Biyogaz, Fırat Kalkınma Ajansı, 39s. Malatya
22. Nacar, Koçer N., Öner, C. ve Sugözü, İ., (2006). Türkiye'de Hayvancılık Potansiyeli ve Biyogaz Üretimi, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, 17-20.
23. Demir, M.E. ve Yılmaz, A., (2016). Appropriate Wastes for Biogas Producing and Organic Waste Quantities for Batman City, Middle East Journal of Technic, 1(2):44-55.
24. Kalelioğlu, K., (2013). Yaşanabilir Dünya için Yenilenebilir Enerji Kaynakları, <http://www.biyogazder.org/makaleler/mak09.pdf>. (Erişim Tarihi: 24.05.2018).
25. Gül, N., (2006). Tavuk Gübresinden Biyogaz Üretim Potansiyelinin Araştırılması, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 69s, Isparta.
26. Seadi, T.A., Rutz, D., Prassl, H., Köttner, M., Finsterwalder, T., Volk, S., and Janssen, R., (2008). Biogas Handbook, Published by University of Southern Denmark Esbjerg, Niels Bohrs Vej 9-10, 126s. Esbjerg, Denmark.
27. Adekunle, K.F. and Okolie, J.A., (2015). A Review of Biochemical Process of Anaerobic Digestion, Advances in Bioscience and Biotechnology, 6, 205-212.
28. White, A.J., Kirk, D.W., and Graydon, J.W., (2011). Analysis of small-scale biogas utilization systems on Ontario cattle farms. Renewable Energy, 36:1019-1025.

29. Anonim, (2010). Biyogaz Kılavuzu, Üretimden kullanıma, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Yenilenebilir Hammaddeler İhtisas Ajansı, 258s. Ankara.
30. Özcan, M., Öztürk, S. ve Yıldırım, M., (2011). Türkiye'nin Farklı Kaynak Tiplerine Göre Biyogaz Potansiyellerinin Belirlenmesi, IV.Enerji Verimliliği Ve Kalitesi Sempozyumu, SK/2011/2, s279, Kocaeli.
31. Weiland, P., (2010). Biogas Production: Current State And Perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85:849-860.
32. Jørgensen, P.J., (2009). Biogas-Green Energy, Plan Energi and Researcher for a Day - Faculty of Agricultural Sciences, Aarhus University 2009 2nd edition, ISBN 978-87-992243-2-1, 36s.
33. İlkılıç, C. ve Deviren, H., (2011). Biyogazın Oluşumu ve Biyogazı Saflaştırma Yöntemleri, 6th International Advanced Technologies Symposium, 16-18 May, pp150-155, Elazığ.
34. Cindil, B., (2012). Biyogaz ve Biyogazın Avrupa 'da Kullanımı, Türk-Alman Biyogaz Projesi, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2. Atık Yönetimi Sempozyumu, 25 Nisan, Antalya.
35. Anonymous, (2016). Biogas to Biomethane, Flexible energy supply from biomass, United Nations Industrial Development Organization, Fachverband Biogas German Biogas Association, 68s.
36. Korkmaz, Y., Aykanat, S. ve Çil, A., (2012). Organik Atıklardan Biyogaz Ve Enerji Üretimi, *Saü Fen Edebiyat Dergisi*, (2012-1), 489-497.
37. Yıldız, Ş., Saltabaş, F., Balahorli, V., Sezer, K. ve Yağmur, K., (2009). Organik Atıklardan Biyogaz Üretimi (Biyometanizasyon) Projesi - İstanbul Örneği, Türkiye'de Katı Atık Yönetimi Sempozyumu, YTÜ, 15-17 Haziran, pp:1-8, İstanbul.
38. Biyogaz, (2018). Biyogaz, Biyokütle, Atık Isı ve Piroolitik Yağ Enerji Santralleri, <http://www.enerjiatlasi.com/biyogaz/>. (Erişim Tarihi: 20.04.2018).
39. Biyokütle, (2018). Türkiye Biyokütle Enerjisi Atlası, <http://bepa.yegm.gov.tr/>. (Erişim Tarihi: 03.03.2018).
40. Biyokütle, (2018). Elektrik Üretim Sorgusu, <http://lisans.epdk.org.tr/epvys-web/faces/pages/lisans/elektrikUretim/elektrikUretimOzetSorgula.xhtml>. (Erişim Tarihi: 18.06.2018).