Dicle University Journal of Engineering (DUJE)
web: http://dergipark.gov.tr/dumf

Araştırma Makalesi / Research Article

Kayseri İli İçin Büyükbaş Hayvan Atığından Biyogaz ve Elektrik Üretim Potansiyelinin ve Maliyetinin Araştırılması

Investigation of The Biogas and Electric Production Potential and Cost from The Cattle Waste in Kayseri

Hande NURALAN POYRAZ[1], Gülşah ELDEN[2], Gamze GENÇ[3]*

[1] Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği ABD, Kayseri, hnuralan@hotmail.com
[2] Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Kayseri, gulsah@erciyes.edu.tr
[3] Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Kayseri, gamzegenc@erciyes.edu.tr

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 31 Mayıs 2020
Düzeltme: 28 Haziran 2020
Kabul: 7 Temmuz 2020

Anahtar kelimeler:

Biyogaz Enerjisi, Biyogaz Üretim Potansiyeli, Elektrik Üretim Potansiyeli, Kademelendirilmiş Enerji Maliyeti

ÖZET

Bu çalışmada Kayseri ili Kocasinan ve Melikgazi ilçelerindeki büyükbaş hayvan atığından biyogaz ve elektrik üretim potansiyelleri araştırılmıştır. Ayrıca, biyogaz ve elektrik üretimini ekonomik ve çevresel açıdan da değerlendirmek üzere 3 farklı durum ele alınmıştır. Birinci durumda tüm atıkların bir, ikinci durumda iki ve üçüncü durumda üç farklı tesiste toplanacağı kabul edilmiştir. Ele alınan her bir durumda atıkların taşınması ve biyogazdan elektik üretimi kaynaklı açığa çıkan CO_2 salınımları ve kademelendirilmiş enerji maliyet modeli kullanılarak elektrik üretim maliyeti belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre en yüksek biyogaz ve elektrik üretim potansiyeli Kocasinan ilçesinde bulunan Oymağaç mahallesindedir. Bununla beraber, çevresel açıdan en düşük CO_2 salınımı DURUM III'de gerçekleşirken, ekonomik açıdan ise en düşük elektrik üretim maliyeti DURUM II'de elde edilmiştir.

Doi: 10.24012/dumf.745837

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 31 May 2020
Revised: 28 June 2020
Accepted: 7 July 2020

Keywords:

Biogas energy, Biogas production potential, Electric production potential, Levelized cost of electricity method

ABSTRACT

In this study, the potentials of biogas and electric production from the cattle waste in the Kocasinan and Melikgazi districts of Kayseri were investigated. Furthermore, three different cases were considered in order to evaluate the productions in terms of environmental and economic aspects. It is assumed that the waste can be collected in the one, two and three plants in the first, second and third cases, respectively. In all considered cases, CO_2 emission resulted from transporting of waste and electric production from biogas was determined and electric production cost was calculated by using levelized cost of electricity method. The results were brought that the highest biogas and electric production potential was obtained in Oymaağaç neighborhood in Kocasinan district. However, while the lowest environmental CO_2 emission was occurred in Case III, the lowest electricity production cost was achieved in Case II.

* Sorumlu yazar / Correspondence
Gamze GENÇ
✉ gamzegenc@erciyes.edu.tr

Please cite this article in press as H. Nuralan Poyraz, G. Elden, G. Genç, "Kayseri İli İçin Büyükbaş Hayvan Atığından Biyogaz ve Elektrik Üretim Potansiyelinin ve Maliyetinin Araştırılması", DUJE, vol. 11, no. 3, pp. 1175-1185, September 2020.

Giriş

Günümüzde nüfus ve sanayileşmenin artmasıyla birlikte artan enerji ihtiyacını karşılamakta en çok kullanılan fosil kökenli yakıtların rezervlerinin tükeniyor olması ve sera gazı etkilerinin getirdiği olumsuzluklar nedeniyle alternatif ve temiz enerji kaynakları ön plana çıkmaktadır. Alternatif enerji kaynakları arasında ise son yıllarda biyogaz enerjisi göze çarpmaktadır. Biyogaz enerjisi mikro algler, gıda ve tarımsal atıklar, hayvan gübreleri, kümes hayvan atıkları, belediye katı atıkları, endüstriyel atıklar, orman atıkları ve çeşitli enerji bitkilerinden üretilebilir. Bu organik atıklar, anaerobik ortamda mikrobiyolojik floranın etkisi ile içeriğinde %52 metan gazı, %45 CO_2 ve %3'lük H_2S, O_2, N_2, H_2 ve CO bulunan biyogaza dönüşür. Biyogazın içeriğindeki CH_4 hariç CO_2 ve diğer bileşenler uzaklaştırılarak, metan saflaştırılıp ısı ve elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir [1]. Çevre ve yer altı sularının kirlenmesini engellemek için hayvancılık faaliyetleri sonucunda açığa çıkan gübrelere kontrollü atık tekniği uygulamak hem çevresel etkiler hem de enerji üretimi açısından önem arz etmektedir. Dünyada ve ülkemizde günlük atık miktarının fazla olması nedeniyle, biyogaz enerjisi üretimi için, en fazla büyük baş hayvan gübresi tercih edilmektedir [2,3]. Ülkemiz açısından biyokütle ve biyogaz enerjisi üretiminin son zamanlarda artmasıyla kamuda ve özel sektörde bu alana ilişkin yatırım faaliyetleri de büyük bir hızla artmaktadır. Ancak biyogaz enerjisi açısından ülkemizin büyük bir potansiyele sahip olmasına rağmen istenilen seviyelerde bir kaynak kullanımı ve üretiminin olmadığı görülmektedir.

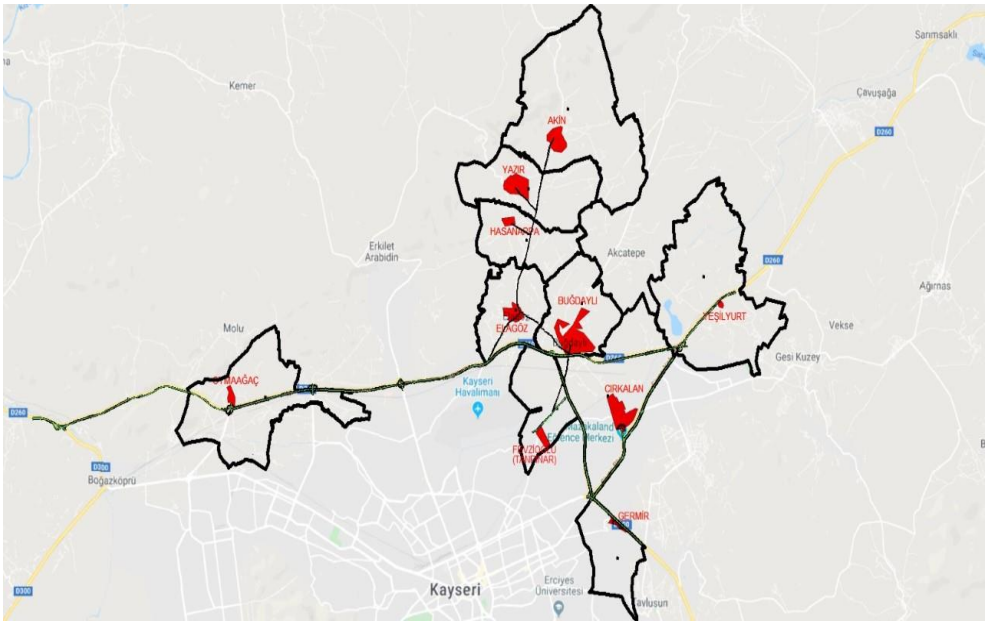
Gerek hayvansal atıklar gerek bitkisel atıklardan biyogaz ve biyogazdan elektrik üretimi üzerine uzun yıllardır birçok çalışma yapılmaktadır. Achinas ve arkadaşları [4] anaerobik dönüşüm esnasında inek gübresinin koyun gübresi ile farklı oranlarda karışımları için biyogaz üretim potansiyeli araştırılmıştır ve çalışmanın sonuçlarına göre tek başına inek gübresinin biyogaz üretimi için baskın faktör oluşturduğu ve en yüksek biyogaz üretimine sahip olduğu bulunmuştur. Özer çalışmasında [5] Ardahan ili için hayvansal gübre ve tarımsal atıkları kullanarak biyogaz potansiyelini incelemiştir ve 1.72 Mton/yıl hayvansal atık ve 48 bin ton/yıl tarımsal atık bu atıklardan toplamda, 81 m^3/yıl metan üretimi ve 323 GWh/yıl enerji eşdeğeri bulmuştur. Belediye atıklarından temiz enerji elde edilebilmesi üzerine yapılan araştırmanın sonucunda 25.4 kW/yıl elektrik üretimi yapılabileceği ve 25 Mton/yıl CO_2 emisyon eşdeğerinin açığa çıkacağı gösterilmiştir [6]. Meyer ve arkadaşları [7] Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan 28 adet eyaletin 2030 yılındaki hayvansal ve bitkisel atıklardan elde edilecek enerji potansiyelini araştırmışlardır. Fazal ve ark. [8] biyo-elektrokimyasal sistemler kullanarak farklı atık sulardan anaerobik koşullar altında mikroorganizmalardan da biyogaz üretimi yapılabileceği ifade etmiştir. Biyofilik sıcaklıkta (35°C) hayvan gübresi ve buğday samanı ile biyogaz elde edilebilmektedir [9]. Biyogaz üretimi için atıkların potansiyeli ve veriminin araştırılmasının yanı sıra yaşam döngü analizine dayalı biyogaz üretiminin çevresel değerlendirilmesinin de önem arz etmesinden dolayı Aziz ve arkadaşları [10] bununla ilgili olarak 2006 yılından 2013 yılına kadar yapılmış yaşam döngü analizi üzerine 48 çalışmayı gözden geçirmişlerdir. Kanarya adalarında farklı hayvan türlerinden açığa çıkan atıkların değerlendirilmesi sonucunda teorik olarak 44.7 m^3/yıl biyogaz üretimi gerçekleşirken gerçekte 27.1 m^3/yıl gerçekleşmiştir [11]. Bu üretimin yanı sıra 55745.1 ton CO_2 yıllık sera gazı emisyonu tasarrufu sağlanmıştır. Biyogaz üretiminde biyogaz üretimini artırmak için farklı atıklar birbiriyle karıştırılmaktadır. Wei ve arkadaşları [12] Tibet platosunda 15°C sıcaklıkta arpa ile Tibet domuzu ve inek gübrelerinin biyogaz üretim potansiyelleri araştırdılar ve sonuç olarak arpa-Tibet domuzu ve arpa-inek gübresi karışımlarından sırası ile 233.4 ml/Gvs ve 192.0 ml/Gvs biyogaz üretilmiştir. Scarlat ve arkadaşları [13] Avrupa için çiftlik ve kümes hayvanlarının atık miktarlarına bağlı teorik olarak 26 milyar m^3 biyometan üretilebileceğini belirtmişlerdir. Türker ve Avcıoğlu [14] 2009 yılında yapılan sayıma göre Türkiye'nin biyogaz potansiyelini 2.18 gm^3 olarak bulurken Öztürk ve arkadaşlarının [15] yaptığı çalışmaya göre 2030 yılına kadar Türkiye'nin toplam biyogaz üretiminin 52.5 TEP değerine erişeceği belirtilmiştir. Türkiye'nin biyogaz esaslı enerji kaynaklarının potansiyel değerlendirmesine göre Türkiye'nin belediye atıklarından 4.85 TWh/yıl, tarımsal atıktan 165.29 TWh/yıl ve hayvansal atıktan 16.19 TWh/yıl biyogaz enerji üretebilme potansiyeli vardır [16]. İtalya'da farklı güçlere

(100 kW, 200 kW ve 300 kW'lık) sahip süt ineği atığı kullanan biyogaz tesisleri için yapılan ekonomik değerlendirmeye göre 200 kW gücünde tesis minimum boyutlardadır ve 350 m^3/s biyometan üretilmiştir [17]. Klavon ve arkadaşları [18] yaptıkları çalışmada öncelikle ABD'de 150-200 süt ineği bulunan bir işletme için ekonomik fizibilite araştırması yapmışlardır ve ayrıca ekonomik fizibilitesi olan bir tesis için süt ineği sayısını belirlemişlerdir. Isıtma ve elektrik üretimi için biyogaz kullanımının ücreti yıllık inek başına 47-70$ arasında değişirken, çalışmada biyogaz üretiminde ekonomik açıdan en uygun tesisin en az 250 ineğe sahip olması gerektiği öne sürülmüştür. Cruz ve arkadaşları çalışmalarında [19] biyogaz tesislerinde anaerobik çürütücülerde sıcaklık, pH, basınç gibi parametrelerin arduino ve düşük maliyetli elektronik ekipmanlar ile kontrol edilmesi durumunda tesisin veriminin arttığını ifade etmişlerdir. 2016 verilerine göre Adıyaman [20] ve Sivas [21] illerinde yapılan biyogaz potansiyel araştırma çalışmalarının sonuçlarına göre sırasıyla biyogaz ile yaklaşık 70.5 GWh ve 246 GWh elektrik üretilebileceği belirtilmiştir.

Bu çalışmada Kayseri ili merkez ilçeleri olan Kocasinan ve Melikgazi ilçelerinde bulunan büyükbaş hayvan sayıları incelenmiş ve bu ilçelerden hayvan yoğunlukları fazla olan bölgeler tespit edilmiştir. Tespit edilen bu bölgelerin ilk olarak biyogaz ve elektrik üretim potansiyelleri incelenmiştir. Daha sonra tesis kurulum yeri olarak üç farklı durum incelenerek her bir durum için ayrı ayrı elektrik üretim maliyetleri ve CO_2 emisyonları hesaplanmıştır.

Kayseri İli Büyükbaş Hayvan Atıklarından Biyogaz Üretim Potansiyeli

Bu çalışmanın amacı, Kayseri ilinde büyükbaş hayvan yetiştiriciliği en fazla olan mahallelerin biyogaz üretim potansiyelini ve üretilen biyogazdan elde edilen elektrik enerjisi miktarlarını belirlemektir. Bu amacı gerçekleştirmek için büyükbaş hayvan yetiştiriciliği en fazla olan Kocasinan ve Melikgazi ilçelerinde bulunan Akın, Buğdaylı, Cırgalan, Elagöz, Germir, Hasanarpa, Oymaağaç, Tanpınar, Yazır ve Yeşilyurt mahalleleri ele alınmıştır. Bu mahallelerin coğrafi konumları Şekil 1'de ve ele alınan mahallelerin birbirine göre mesafeleri Tablo 1'de gösterilmiştir. Ayrıca bu çalışmada, çevresel etkisi, kurulum ve işletme maliyeti en az olan biyogaz ve elektrik enerjisi üretim tesisini belirlemek için tesis yeri olarak üç farklı durum ele alınmıştır.



Şekil 1. Ele alınan mahallelerin coğrafi konumlar

Tablo 1. Ele alınan mahallerin birbirine göre mesafeleri [km]

Germir	17.3								
Cırgalan	9.7	9							
Tanpınar	14.7	9.1	6.7						
Buğdaylı	12.5	7.1	2.8	4.8					
Elagöz	14.9	9.6	5.3	7.2	3.2				
Hasan Arpa	18.4	13	8.7	10.7	6.6	3.8			
Yazır	19.6	14.3	10	11.9	7.9	5.1	1.6		
Akın	21.1	15.7	11.5	13.4	9.4	6.6	4.9	2.8	
Oymaağaç	25.4	21.6	19.3	17.9	17.4	14.5	17.7	19.4	21.9
Km	**Yeşilyurt**	**Germir**	**Cırgalan**	**Tanpınar**	**Buğdaylı**	**Elagöz**	**HasanArpa**	**Yazır**	**Akın**

Kayseri ilinde bulunan Melikgazi ve Kocasinan ilçelerindeki büyükbaş hayvan yetiştiriciliği (süt sığırı) en fazla olan mahallelerdeki biyogaz üretim potansiyelini ortaya çıkarmak için aşağıdaki kabuller yapılarak mahallelere göre biyogaz ve özgül metan üretim miktarları literatürde yer alan hesaplamalar yardımıyla [22] hesaplanmıştır.

- Toplam atık miktarı (TAM) hesaplanırken büyük baş hayvan (süt sığırı) başına günlük atık miktarı 43 kg olarak kabul edilmiştir.
- Açığa çıkan gübrenin %13.95'i kuru madde (KM) ve kuru maddenin ise %83.33'ü organik kuru madde (OKM) olarak hesaba katılmıştır [22].

Oluşacak biyogaz üretim potansiyeli (BÜP, m^3) ve özgül metan üretim (ÖMÜ, m^3CH4) miktarı ise sırasıyla Eş.1 ve Eş.2 ile elde edilmiştir.

$$BÜP=OKM \times 0.30 \quad (1)$$

$$ÖMÜ=OKM \times 0.18 \quad (2)$$

Biyogazdan üretilebilecek ısı miktarı (BSI, GJ/yıl) ve elektrik enerjisi miktarı (BSE, kWh/yıl) sırasıyla Eş.3 ve Eş.4 ile hesaplanmıştır.

$$BSI=BÜP \times 0.021 \quad (3)$$

$$BSE = BÜP \times 4.7 \quad (4)$$

Bulgular

Biyogaz üretim miktarı ve bu biyogazdan üretilecek olan elektrik enerjisi miktarları ele alınan her mahalle için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Ayrıca bu çalışmada, kurulacak olan biyogaz üretim tesisi için üç farklı durum ele alınarak bu durumların çevresel etkileri araştırılmış olup her bir durum için detaylı bir maliyet analizi de yapılmıştır.

Atık Miktarlarının Değişimi

Tablo 2'de her bir mahallede bulunan hayvan sayısı ve bu hayvanlardan açığa çıkan yıllık atık miktarı, kuru madde ve organik kuru madde miktarları verilmiştir. En fazla büyükbaş hayvan Oymaağaç'ta (8251 adet) iken en az büyükbaş hayvan Cırgalan mahallesindedir (192 adet).

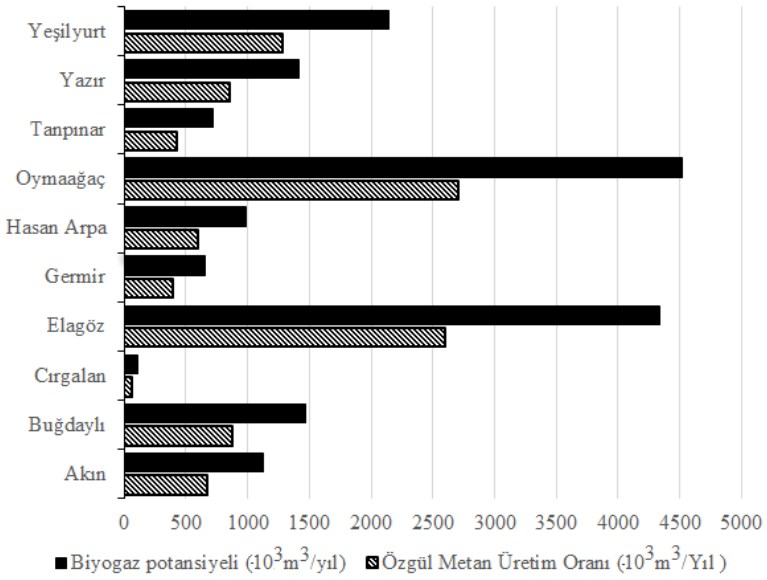
Tablo2. Mahallelere göre hayvan sayıları ve atık miktarları

Mahalleler	**Büyükbaş Hayvan Adedi**	**TAM (Toplam Atık Miktarı) [ton/yıl]**	**KM (Kuru Madde Miktarı) [ton/yıl]**	**OKM (Organik Kuru Madde Miktarı) [ton/yıl]**
Akın	2052	32206.140	4492.757	3743.814
Buğdaylı	2677	42015.515	5861.164	4884.108
Cırgalan	192	3013.440	420.375	350.298
Elagöz	7923	124351.485	17347.032	14455.282
Germir	1205	18912.475	2638.290	2198.487
Hasan Arpa	1805	28329.475	3951.962	3293.170
Oymaağaç	8251	129499.445	18065.173	15053.708
Tanpınar	1311	20576.145	2870.372	2391.881
Yazır	2586	40587.270	5661.924	4718.081
Yeşilyurt	3913	61414.535	8567.328	7139.154
Toplam	31915	500905.925	69876.377	58227.985

Yapılan hesaplamalar neticesinde en fazla hayvan potansiyeli olan Oymaağaç mahallesinde 129499.445 ton/yıl toplam atık, 18065.173 ton/yıl kuru madde, 15053.708 ton/yıl organik kuru madde olduğu en düşük hayvan potansiyeli olan Cırgalan mahallesinde ise 3013.440 ton/yıl toplam atık, 420.375 ton/yıl kuru madde, 350.298 ton/yıl organik kuru madde miktarı olduğu tespit edilmiştir.

Biyogaz ve Özgül Metan Üretim Potansiyeli

Mahaller bazında biyogaz ve özgül metan üretim potansiyelleri Şekil 2'de sunulmuştur. Şekilden görüldüğü üzere en fazla biyogaz ve özgül metan üretim potansiyeli sırası ile Oymaağaç, Elagöz ve Yeşilyurt'tadır. Oymaağaç'taki biyogaz ve özgül metan üretim potansiyelleri sırasıyla 4516.112·103 m^3/yıl ve 2709.667·103 m^3/yıl'dır. En düşük potansiyele sahip olan Cırgalan'da ise sırası ile 105.090·103 m^3/yıl ve 63.054 m^3/yıl'dır.



Şekil 2. Mahallelere göre biyogaz ve özgül metan üretimi potansiyeli

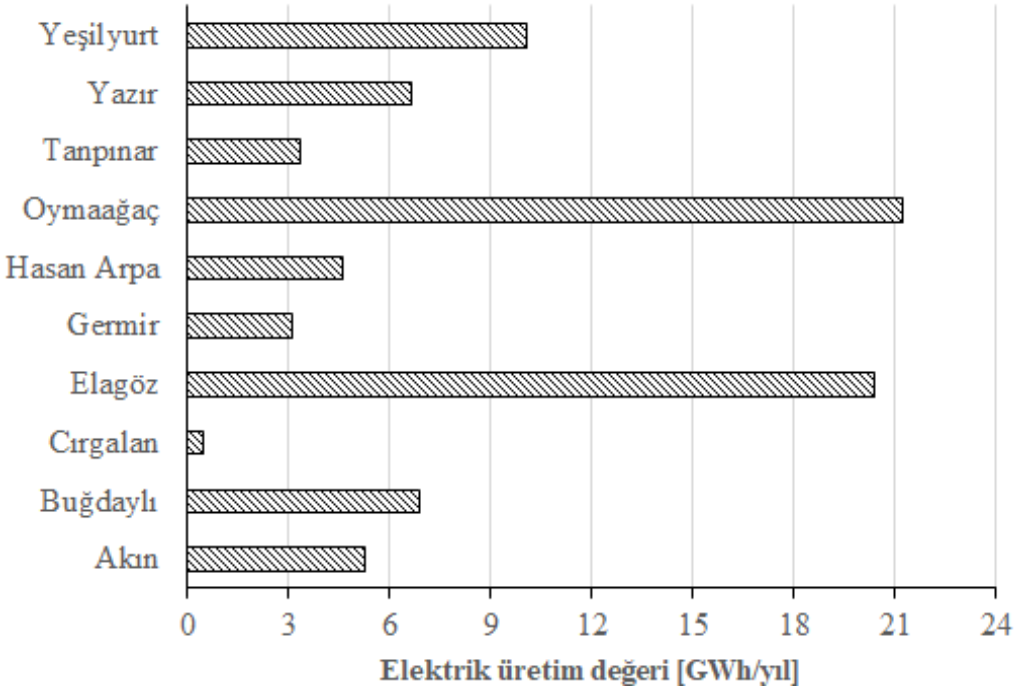
Elektrik Üretim Potansiyeli

Şekil 3'te verilen grafikte mahalleler bazında üretilen elektrik enerjisi miktarları verilmiştir. Biyogaz ve özgül metan üretim potansiyellerinin yüksek olmasından dolayı elektrik enerjisi potansiyeli en iyi olan ilk üç mahalle sırası ile Oymaağaç, Elagöz ve Yeşilyurt'tur. En yüksek elektrik üretimi 21.23 GWh/yıl ile Oymaağaçta gerçekleşmektedir. Ele alınan mahallelerin tamamında toplam 82.1 GWh/yıl elektrik üretilmektedir.

Tesis Kurulum Sahasının Belirlenmesi

Sürdürülebilir bir biyogaz ve elektrik üretimi için ekonomik ve çevresel değerlendirme yapmakta önem arz etmektedir. Bu nedenle bu çalışmada biyogazdan elektrik üretimini ekonomik ve çevresel etkiler açısından da değerlendirmek üzere tesis kurulum yerinin belirlenmesi için farklı planlamalar yapılmıştır. Yapılan planlamalarda özellikle hayvansal atıkların taşınması ve biyogaz üretimi esnasında açığa çıkan CO_2 miktarının değişimi incelenmiştir. Bu bağlamda 3 farklı durum ele alınmıştır. Birinci durumda (DURUM I) mevcut büyükbaş hayvan atıklarının tamamının en fazla atık potansiyeli olan Oymaağaç'ta toplanarak tesisin Oymaağaç'a kurulması planlanmıştır. İkinci durumda (DURUM II) hem potansiyelinin yüksek olması hem de konum itibari ile diğer mahallere uzak olması nedeni ile Oymaağaç'a bir tesis ve diğer mahalleler arasında daha merkezi konuma sahip olmasından dolayı bir tesiste Buğdaylı da olmak üzere iki adet tesis kurulumu planlanmıştır. DURUM II'de Oymaağaç hariç tüm mahallelerdeki atıklar Buğdaylı'ya taşınacaktır.

Üçüncü durumda (DURUM III) ise hem atık potansiyelleri hem de konum itibari ile üç tesis kurulumu planlanmıştır. Kurulması düşünülen tesisler Oymaağaç, Yeşilyurt ve Elagöz'de yer alacaktır. DURUM III'te yine DURUM II'de olduğu gibi Oymaağaç'ta bulunan mevcut atıklar ile Oymaağaç'taki tesiste işlenirken Cırgalan, Germir ve Yeşilyurt bölgesindeki atıklar Yeşilyurt bölgesinde ve Elagöz, Yazır, Akın, Buğdaylı, Tanpınar, Hasanarpa da bulunan atıkların Elagöz'de işlenmesi planlanmıştır. Ele alınan her bir durumda atıkların taşınması ve biyogaz üretimi sonucu oluşan CO_2 miktarları Tablo3'te verilmiştir. Bu çalışmada taşımacılıktan kaynaklanan CO_2 emisyonu hesaplanırken kullanılan araçların her km'de 0.19 lt yakıt tükettiği ve kullanılan yakıtın her bir litresi başına literatüre uygun olarak 2.65 kg CO_2 emisyonu açığa çıktığı kabul edilmiştir [23, 24].



Şekil 3. Ele alınan her bir mahalle için elektrik üretim değerleri [GWh/yıl]

DURUM I'de aralarındaki mesafe en fazla olan Yeşilyurt-Oymaağaç mahalleleri arasında gübre taşıma işlemi esnasında meydana gelecek olan yıllık CO_2 emisyonu 65.452 ton iken taşınacak gübre miktarının Elagöz mahallesinde çok fazla olmasından dolayı sefer sayısı fazladır ve bundan dolayı burada taşımacılıktan kaynaklanan CO_2 emisyonu 79.943 ton'dur. DURUM I'de taşımacılıktan meydana gelecek olan yıllık toplam CO_2 emisyonu ise 321.895 ton olarak hesaplanmıştır. DURUM II'de atık miktarının fazla olmasına karşın Buğdaylı-Yeşilyurt mahalleleri arasındaki mesafenin fazla olmasından dolayı DURUM II içerisinde taşımacılıktan kaynaklanan yıllık CO_2 emisyonu'ndaki en yüksek pay Buğdaylı-Yeşilyurt arasıdır ve 32.211 ton CO_2 açığa çıkmaktadır. DURUM III'te taşımacılıktan meydana gelen en fazla CO_2 emisyonu ise Elagöz-Akın mahalleri arasındadır ve değeri 9.703 ton'dur. DURUM II ve DURUM III'te taşımacılıktan meydana gelen yıllık toplam CO_2 emisyonu sırasıyla 97.047 ve 54.707 ton'dur.

Ele alınan her bir durumda biyogaz üretimi ve taşımacılık kaynaklı toplam CO_2 emisyonunun değerleri ise Tablo 4'te verilmiştir. Kayseri ili için toplam atık potansiyeline göre elde edilen biyogazdan elektrik üretim miktarına karşılık açığa çıkacak CO_2 emisyonu belirlendi. Bu emisyon belirlenirken literatürde yer alan birincil kaynaklı elektrik enerjisi üretiminde açığa çıkan CO_2 emisyonu baz alınmıştır ve bu değer biyogaz esaslı elektrik üretimi için 26 ton-CO_2/GWh'dir [25].

Üretilen yıllık toplam elektrik miktarına göre bu çalışmada elektrik üretimi sonucunda açığa çıkan yıllık CO_2 salınımı 2134.638 ton'dur. DURUM I, II ve III için taşımacılıktan kaynaklanan CO_2 salınımları ise sırasıyla 321.895, 97.047 ve 54.707 ton'dur. Toplam CO_2 salınımlarına bakıldığında incelenen üç durum içerisinde en fazla CO_2 emisyonu DURUM I'de ve en düşük emisyon ise DURUM III'tedir. Taşımacılığın toplam CO_2 salınımındaki payının düşük olmasına karşın taşımacılıkta üç durum kendi içinde irdelendiğinde tesisin kurulum yerinin CO_2 salınımını önemli ölçüde etkilediği görülmektedir. Bu yüzden, tesis kurulum yeri bu açıdan mutlaka analiz edilmelidir. Bu çalışmada ele alınan biyogazdan elde edilen elektrik enerjisine eşdeğer elektrik eğer doğalgaz veya ithal kömür kullanılarak gerçekleştirilseydi elektrik üretimi kaynaklı açığa çıkan CO_2 emisyon miktarları sırasıyla 40968.628 ton ve 72906.095 ton olacaktır.

Tablo.3 Ele alınan her bir durum için sefer sayılarının ve CO_2 emisyonlarının değişimi

	Tesis Yeri	Mahalleler	Toplam Atık Miktarı [ton/gün]	Günlük Sefer Sayısı	$CO_{2\text{-taşıma}}$ [ton/yıl]	$CO_{2\text{-biyogaz-elektrik}}$ [ton/yıl]
DURUM-I	Oymaağaç	Akın	88.24	8	32.198	137.248
		Buğdaylı	115.11	10	31.977	179.051
		Cırgalan	8.26	2	7.094	12.842
		Elagöz	340.69	28	79.943	529.931
		Germir	51.82	4	23.818	80.597
		Hasan Arpa	77.62	6	26.023	120.728
		Oymaağaç	354.79	-	0.000	551.869
		Tanpınar	56.37	6	19.738	87.686
		Yazır	111.20	10	35.653	172.965
		Yeşilyurt	168.26	14	65.452	261.721
		Toplam	1372.35		321.895	2134.638
		TOPLAM	**1372.35**		**321.895**	**2134.638**
DURUM-II	Buğdaylı	Akın	88.24	8	13.820	137.248
		Buğdaylı	115.11	-	0.000	179.051
		Cırgalan	8.26	2	1.029	12.842
		Elagöz	340.69	28	16.696	529.931
		Germir	51.82	4	5.634	80.597
		Hasan Arpa	77.62	6	7.845	120.728
		Tanpınar	56.37	6	5.293	87.686
		Yazır	111.20	10	14.518	172.965
		Yeşilyurt	168.26	14	32.211	261.721
		Toplam	1017.55		97.047	1582.769
	Oymaağaç	Oymaağaç	354.79	-	0.000	551.869
		Toplam	354.79		0.000	551.869
		TOPLAM	**1372.35**		**97.047**	**2134.638**
DURUM-III	Yeşilyurt	Cırgalan	8.26	2	3.565	12.8427
		Germir	51.82	4	13.728	80.597
		Yeşilyurt	168.26	-	0.000	261.721
		Toplam	228.33		17.293	355.160
	Oymaağaç	Oymaağaç	354.79	-	0.000	551.869
		Toplam	354.79	-	0.000	551.869
	Elagöz	Elagöz	340.69	-	0.000	529.93
		Yazır	111.20	10	9.373	172.96
		Akın	88.24	8	9.703	137.24
		Buğdaylı	115.11	10	5.881	179.05
		Tanpınar	56.37	6	7.939	87.68
		Hasan Arpa	77.62	6	4.517	120.72
		Toplam	789.22		37.413	1227.609
		TOPLAM	**1372.35**		**54.707**	**2134.638**

Tablo.4 Ele alınan her bir durum için sefer sayılarının ve CO_2 emisyonlarının değişimi

	$CO_{2\text{-taşıma}}$ [ton/yıl]	**$CO_{2\text{-biyogaz}}$ [ton/yıl]**	**Toplam CO_2 [ton/yıl]**
DURUM I	321.895	2134.638	2456.533
DURUM II	97.047	2134.638	2231.685
DURUM III	54.707	2134.638	2189.305

Maliyet Analizi

Ele alınan her bir durum için biyogazdan elektrik üretmenin birim maliyetini bulmak için bu çalışmada kademelendirilmiş elektrik maliyet modeli kullanılmıştır. Kademelendirilmiş elektrik maliyet modelinde sistemin ilk yatırım masraflarından sistemin ömrü boyunca harcanacak olan bakım-onarım maliyetleri, işçilik maliyetleri, işletme maliyetleri gibi tüm kalemler dikkate alınarak yapılır. Ayrıca, hesaplamalarda eskalasyon oranı ve iskonto oranı gibi faktörler de dikkate alarak gerçekçi bir maliyet analizi yapılması sağlanmaktadır. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde bir biyogaz tesisi için kW güç başına özgül yatırım maliyeti (M_{kWh}) ortalama 2000-5000 € arasında veya m^3 reaktör hacmi başına 200-500 € arasında değiştiği görülmektedir [22]. Biyogaz güç tesisinin ilk yatırım maliyeti Eş.5 ile hesaplanmaktadır.

$$M_{BGT} = P \cdot M_{kWh} \quad (5)$$

Burada *P* tesisin toplam gücünü göstermektedir. Biyogaz güç tesisinin toplam yatırım maliyetinin ise yaklaşık %40'ını biyogaz tesisi, %30'unu kojenerasyon tesisi, %15'ini yardımcı ekipmanlar, %5'ini işçilik ve kurulum maliyetleri ile %10'unu projelendirme ve mühendislik hizmetleri oluşturmaktadır. Bu çalışmada özgül yatırım maliyetinin kW güç başına 3000 € olduğu kabul edilmiştir.

Sistem ömrü, iskonto oranı ve eskalasyon oranına göre hesaplanmış bakım-onarım ve ulaşım maliyetlerini dikkate alarak birim elektrik üretimi kademelendirilmiş enerji maliyet modeline göre Eş.6 ile hesaplanabilir [26]:

$$M_{el} = \frac{M_{BT} \cdot SF_{BT} + M_{KT} \cdot SF_{KT} + M_{YE} \cdot SF_{YE} + M_{IK} \cdot SF_{IK} + M_{proje} + M_{BO(esk)} + M_{ulasım(esk)}}{Eel} \quad (6)$$

Burada *M* maliyetleri, *BT* biyogaz tesisi, *KT* kojenerasyon tesisi, *YE* yardımcı ekipmanları, *IK* işçilik kurulum, *proje* projelendirme maliyetlerini ifade etmektedir. *BO* (esk) ve *ulaşım (esk)* ise eşkâle edilmiş bakım-onarım ve ulaşım masraflarını ve E_{el} toplam elektrik üretimini göstermektedir. *SF* sermaye dönüşüm faktörünü göstermekte olup bir ekipmanın ömrü boyunca değişen masrafını sabit hale getirmek için kullanılan yıllık değişim oranıdır ve aşağıda verilen Eş.7 ile bulunabilir.

$$SF = \frac{n \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (7)$$

Burada *i* iskonto oranını ve n ise sistem ömrünü ifade etmektedir. Bu çalışmada iskonto oranı %10 ve sistem ömrü *BT* ve *KT* için 25 yıl kabul edilmiştir.

Aşağıda verilen Eş.6 ve 7 kullanılarak eskale edilmiş bakım-onarım ve ulaşım maliyetlerini hesaplanmıştır:

$$M_{BO(esk)} = \frac{M_{BO}}{i-e} \cdot \left(1 - \frac{(1+e)^n}{(1+i)^n}\right) \quad (8)$$

$$M_{ulasim(esk)} = \frac{M_{ulasim}}{i-e} \cdot \left(1 - \frac{(1+e)^n}{(1+i)^n}\right) \quad (9)$$

M_{BO} ve M_{ulasim} birinci yıl için bakım-onarım ve ulaşım giderlerini göstermektedir. Bakım onarım maliyeti (M_{BO}) biyogaz güç tesislerinde yaklaşık sistemin toplam maliyetinin %6'sı kadardır. Burada *e* eskalasyon oranını ifade etmektedir. Bakım onarım maliyeti için eskalasyon oranı

yaklaşık %3 iken ulaşım masrafları için %4 kabul edilmiştir.

Çalışma kapsamında ele alınan her bir durum için sistem kurulu güç kapasiteleri, ulaşım masrafları ve hesaplanan elektrik üretim maliyetleri Tablo 5'te verilmiştir. Tablodan görüldüğü gibi birim elektrik üretim maliyeti en düşük DURUM II'de Buğdaylı tesisi için (0.133 €/kWh), en yüksek maliyet ise DURUM III'de Yeşilyurt tesisi için (0.174 €/kWh) çıkmıştır. Durumlar arasında değerlendirme yapmak için her bir durumdaki ortalama birim elektrik tüketimi dikkate alındığında ekonomik olarak en iyi durumun DURUM II olduğu ortaya çıkmıştır.

Tablo.5 Elektrik üretim maliyeti

	DURUM I	**DURUM II**		**DURUM III**		
Tesis Yeri	**OYMAĞAÇ**	**BUĞDAYLI**	**OYMAĞAÇ**	**YEŞİLYURT**	**ELAGÖZ**	**OYMAĞAÇ**
Kurulu Güç [MW]	14	10	4	3	8	4
Ulaşım Masrafları [€/yıl]	125000	38000	0	6500	14500	0
M_{el} [€/kWh]	0.150	0.133	0.144	0.174	0.134	0.144
$M_{el\text{-}ort}$ [€/kWh]	0.150	0.139		0.151		

Sonuçlar

Kayseri İli merkez ilçeleri olan Kocasinan ve Melikgazi ilçelerine bağlı, en fazla büyükbaş hayvan olan Akın, Buğdaylı, Cırgalan, Elagöz, Germir, Hasan Arpa, Oymaağaç, Tanpınar, Yazır, Yeşilyurt mahallelerindeki atık miktarı tespit edilerek biyogaz ve elektrik üretim potansiyellerinin ve tesis yeri olarak 3 farklı durumun incelendiği bu çalışmada özet olarak aşağıdaki temel sonuçlar elde edilmiştir:

- Atık miktarı en fazla olan Oymaağaç mahallesinin yıllık toplam elektrik ve biyogaz üretimindeki payı en fazladır (%25.853).
- Ele alınan durumlar içerisinde taşımacılıktan kaynaklanan CO_2 salınımları değişmektedir ve DURUM III'teki gibi tesisler kurulması durumunda en düşük salınım (54.707 ton CO_2/yıl) gerçekleşmektedir.
- Elektrik üretim maliyeti açısından inceleme yapıldığında ise en iyi durumun kWh başına 0.139 € ile DURUM II olduğu tespit edilmiştir.

Kaynaklar

[1] H.M. Zabed, S.Akter, J. Yun, G. Zhang, Y. Zhang, X. Qi , (2020). Biogas from microalgae: Technologies, challenges and opportunities, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **117**, 109503.

[2] N.K. Salihoğlu, A.Teksoy, K.Altan, (2019). Büyükbaş ve Küçükbaş Hayvan Atıklarından Biyogaz Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi Balıkesir İli Örneği, *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **8**, 31-47.

[3] H.Yağlı, Y.Koç, (2019). Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi: Adana İli Örnek Hesaplama, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **34**, 3, 35-48.

[4] S.Achinas, Y.Li, V.Achinas, G.J.W.Euverink, (2018). Influence Of Sheep Manure Addition On Biogas Potential And Methanogenic Communities During Cow Dung Digestion Under Mesophilic Conditions, *Sustainable Environment Research*, **28**, 5, 240-246.

[5] B.Özer, (2017). Biogas energy opportunity of Ardahan city of Turkey, *Energy*, **139**, 1144-1152.

[6] A.Can, (2020). The statistical modeling of potential biogas production capacity from solid waste disposal sites in Turkey, *Journal of Cleaner Production*, **243**, 118501.

[7] A.K.P. Meyer, E.A. Ehimen, J.B. Holm-Nielsen, (2018). Future European biogas: Animal manure, straw and grass potentials for a sustainable European biogas production, *Biomass and Bioenergy*, **111**, 154-164.

[8] T.Fazal, M.Sur Rehman,A. Mushtaq, A.Hafeez, F.Javed, M.Aslam, M.Fatima, A.Faisal, J. Iqbal, F.Rehman, R.Farooq, (2019). Simultaneous production of bioelectricity and biogas from chicken droppings and dairy industry wastewater employing bioelectrochemical system, *Fuel*, **256**, 115902.

[9] L.Liu, T.Zhang, H.Wan, Y.Chen, X.Wang, G.Yang, G.Ren, (2015). Anaerobic co-digestion of animal manure and wheat straw for optimized biogas production by the addition of magnetite and zeolite, *Energy Conversion and Management*, **97**, 132–139.

[10] N.I.H.A.Aziz, M.M. Hanafiah, S.H.Gheewala, (2019). A review on life cycle assessment of biogas production:Challenges andfuture perspectives in Malaysia, *Biomass and Bioenergy*, **122**, 361–374.

[11] J.L. Ramos-Suárez, A. Ritter, J.M. González, A. Camacho Pérez, (2019). Biogas from animal manure: A sustainable energy opportunity in the Canary Islands, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **104**, 137-150.

[12] S.Wei, H.Zhang, X.Cai, J.Xu, J.Fang, H.Liu, (2014). Psychrophilic anaerobic co-digestion of highland barley straw with two animal manures at high altitude for enhancing biogas production, *Energy Conversion and Management*, **88**, 40–48.

[13] N.Scarlat, F.Fahl, J.-F. Dallemand, F.Monforti,V.Motola, (2018). A spatial analysis of biogas potential from manure in Europe, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **94**, 915–930.

[14] A.O.Avcioğlu, U.Turker, (2012). Status and potential of biogas energy from animal wastes in Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **16**, 3, 1557– 1561.

[15] M.Öztürk, N.Saba, V.Altay, R.lqbal, K.R.Hakeem, M.Jawaid, F.H.Ibrahim. (2017). Biomass and bioenergy: An overview of the development potential in Turkey and Malaysia, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **79**, 1285-1302.

[16] M.Ozcan, S.Oztürk, Y.Oguz, (2015). Potential evaluation of biomass-based energy sources for Turkey, *Engineering Science and Technology an International Journal*, **18**, 2, 178-184.

[17] F.Cucchiella, I.D'Adamo, M. Gastaldi, (2019). An economic analysis of biogas-biomethane chain from animal residues in Italy", *Journal of Cleaner Production*, 888-897.

[18] K.H. Klavon, S.A. Lansing, W.Mulbry, A.R. Moss, G. Felton, (2013). Economic analysis of small-scale agricultural digesters in the United States, *Biomass and Bioenergy*, **54**, 36-45.

[19] L.A Cruz,L.de Melo, A.N.Leite,J.V. Melquiades Sátiro, L.R.Santos Andrade,N.H.Torres, R.Y.Cabrera Padilla, R.N.Bharagava, R.F.Tavares, l.F.Romanholo Ferreira, (2019). New Approach Using An Open-Source Low Cost System For Monitoring And Controlling Biogas Production From Dairy Wastewater, *Journal of Cleaner Production*, **241**, 118284.

[20] M.F.Baran, F.Lüle, O.Gökdoğan, (2017). Adıyaman İlinin Hayvansal Atıklardan Elde Edilebilecek Enerji Potansiyeli, *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, **4**, 3, 245–249.

[21] A.P.Bulut, G.T.Canbaz, (2019). Hayvan Atıklarından Sivas İli Biyogaz Potansiyelinin Araştırılması, *Karaelmas Fen ve Müh. Derg*isi, **9**, 1, 1-10.

[22] D. Kaya, H.H. Öztürk, (2012). Biyogaz Teknolojisi, Umuttepe Yayınları, ISBN :978-605-59-74-7.
[23] F. Holzleitner, C. Kanzian, K. Stampfer, (2011). Analyzing time and fuel consumption in road transport of round wood with an onboard fleet manager, *Eur J Forest* Res, **130**, 293–301.
[24] M. O. Ofomola, G. E. Akpojotor, (2009). Database of CO_2 Emission In Nigeria: A Preliminary Report, *Proceedings of the Second International Seminar on Theoretical Physics & National Development*, 5-8 July, 2009, Abuja, Nigeria, 267-279.
[25] https://www.enerjiatlasi.com/haber/elektrik-uretiminde-karbon-salinimi
[26] M.S. Genç, (2010). Economic analysis of large-scale wind energy conversion Systems in anatolian Turkey, *Clean Energy Systems and Experiences* ISBN: 978-953-307-147-3.