



Investigation of the Usability of Manisa Province Livestock Potential for Energy Production

İlknur Şentürk^{1,a,*}

¹ Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye

*Corresponding author

Research Article

History

Received: 13/11/2024

Accepted: 27/11/2024

ABSTRACT

In light of new policies emerging as a result of the climate and energy crises, the demand for renewable energy resources is increasing day by day in the world. Although our country is dependent on foreign energy sources, it has an important potential in terms of renewable energy resources. Biogas, which has an important place among renewable energy sources such as solar, wind, geothermal, and biomass resources, is a sustainable and environmentally friendly energy source. Animal waste, which is an organic waste type used in biogas production, is an important resource and should be evaluated due to its energy production potential and the fact that it can be easily and in large quantities because we are an agricultural country. Within the scope of the study, Manisa Province, which is located in the Aegean Region, where barn husbandry is especially widespread in our country and where ovine husbandry is widespread, was preferred as a pilot province in the region. In this study, the biogas production potential from animal manure in Manisa Province and Districts was investigated. According to the study results, the biogas production potential from animal manure in Manisa Province is 153,347,039.2 m³/year. The electrical energy equivalent of the biogas produced is 720,73 GWh/year. With the electrical energy that can be obtained, it has been determined that the domestic electricity consumption needs of 29.73% of the provincial population can be met from biogas production from animal manure and 316,401 tonnes of CO₂-equivalent greenhouse gas emissions can be prevented. It is thought that the research results will guide the sectors and politicians interested in this business.

Keywords: Manisa, animal manure, biogas production, clean energy production

Manisa İli Çiftlik Hayvanı Potansiyelinin Enerji Üretimi Amacıyla Kullanılabilirliğinin Araştırılması

Süreç

Geliş: 13/11/2024

Kabul: 27/11/2024

ÖZ

Yaşanan iklim ve enerji krizleri sonucunda ortaya çıkan yeni politikalar ışığında yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talep dünyada her geçen gün artmaktadır. Ülkemiz de enerji kaynağı konusunda dışa bağımlı olmakla birlikte yenilenebilir enerji kaynakları açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Güneş, rüzgar, jeotermal, biyokütle kaynakları gibi yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yeri olan biyogaz sürdürülebilir ve çevre dostu bir enerji kaynağıdır. Biyogaz üretiminde kullanılan organik bir atık türü olan hayvansal atıklar, enerji üretim potansiyeli ve tarım ülkesi olmamızdan dolayı kolay ve çok miktarda temin edilebilecek olmasından ötürü önemli bir kaynaktır ve değerlendirilmesi gerekir. Çalışma kapsamında Ülkemizde özellikle ahır hayvancılığının yaygın olduğu Ege Bölgesi'nde yer alan ve küçükbaş hayvancılığın yaygın olarak yapıldığı bir yer olan Manisa İli Bölgede pilot il olarak tercih edilmiştir.

Çalışmada Manisa il ve ilçelerinde hayvan gübresi kaynaklı üretilebilecek biyogaz üretim potansiyeli araştırılmıştır. Araştırma sonucuna göre Manisa İlinde hayvan gübresi kaynaklı biyogaz üretim potansiyeli yıllık 153.347.039,2 m³'dür. Üretilen biyogazın elektrik enerjisi eşdeğeri ise 720,73 GWh/yıl'dır. Elde edilebilecek elektrik enerjisi ile il nüfusunun %29,73'ünün evsel elektrik tüketim ihtiyacının hayvansal gübre kaynaklı biyogaz üretiminden karşılanabileceği ayrıca 316.401 ton CO₂-eşd. sera gazı emisyonu salınımının önüne geçilebileceği belirlenmiştir. Araştırma sonuçlarının bu işle ilgilenen sektörler ve politikacılar için yol gösterici olacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Manisa, hayvansal gübre, biyogaz üretimi, temiz enerji üretimi

Terimler ve Kısaltmalar

TEP: Ton Eşdeğer Petrol	MW: Megawatt	MWe: Megawatt enerji	GJ: Gigajoule
Wh: Watt saat	GWh: Gigawatt saat	kWh: Kilowatt saat	TWh: Terawatt saat
1 Wh: 0,001 kWh	1 MWh: 1000 kWh=3,6 GJ	1 GWh: 10 ⁶ kWh	1 TWh: 10 ¹² Wh

^a ilknursenturk@cumhuriyet.edu.tr

0000-0002-8217-2281

How to Cite: Şentürk İ (2024) Investigation of the Usability of Manisa Province Livestock Potential for Energy Production, Journal of Engineering Faculty, 2(2): 144-151

Giriş

Giderek artan dünya nüfusu nedeniyle tükenen enerji kaynakları olumsuz yönde etkilenmekte bu da beraberinde yenilenebilir temiz enerji kaynakları üretimi konusundaki çalışmaları artırmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada da oldukça önemlidir. Buna rağmen yenilenebilir enerjinin ülkemizdeki payı, diğer ülkelere göre oldukça düşüktür. Ülkemizde, yenilenebilir enerjinin birincil kullanımdaki oranı % 6,5, elektrik üretimindeki payı ise % 24'tür. Elektrik üretiminde yenilenebilir enerjinin payının 2023 yılına kadar % 30'a çıkarılması hedeflenmektedir [1].

KontROLSÜZ bir şekilde yakılan fosil yakıtlardan kaynaklı sera gazları çevre kirliliği yaratmaktadır. Bu nedenle sera gazı emisyonlarının azaltılması için 2005 yılında yürürlüğe giren Kyoto protokolü dahilinde bazı zorunlu hedefler belirlenmiştir. Bu protokolü imzalayan ülkeler, sera etkisine neden olan diğer beş gazın ve CO₂'in salınımını azaltmaya veya bunu yapamıyorsa karbon ticareti yoluyla haklarını arttırmaya söz vermişlerdir. İmzalanan protokole göre, ülkelerin atmosfere saldıkları karbon miktarını 1990 yılındaki değerlere düşürmeleri gerekmektedir. 2016 Paris İklim Antlaşması ve 2019 Avrupa Yeşil Mutabakatı (Karbon Ayakizi) ile temiz yenilenebilir enerji sistemine geçiş için çalışmalar yapılması hedeflenmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı belirlenen hedeflere ulaşmak için önemlidir. Farklı yenilenebilir enerji kaynakları arasında düşük sera gazı emisyonları ve enerjide sürdürülebilirlik açısından biyokütle enerjisi son yıllarda fazlaca ilgi görmektedir. Dünyada büyük nüfuslu dolayısıyla enerji tüketiminin fazla olduğu Hindistan ve Çin gibi ülkeler de biyogaz tesisleri aracılığı ile elektrik üretimine yönelmişlerdir [2].

Türkiye, tarım ve hayvan yetiştiriciliği uygulamalarının hem ekonomik hem sosyal bağlamda ağırlıkta olduğu gelişmekte olan bir ülke olması sebebiyle hayvansal atıklardan üretilen biyogaz enerjisi, geleceğin en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olarak kabul edilmektedir [3]. Örneğin; tavuk gübresinden çok verimli biyogaz üretimi sağlanabilmektedir. Tavuk gübresi kullanımı tarım arazileri için de önemlidir ancak direkt olarak uygulandığında toprakta tuzluluğa neden olmaktadır. Fakat biyogaz üretiminde fermente olmuş tavuk gübresi, çok daha verimli hale gelerek sürdürülebilir hayata katkı sağlamaktadır [1]. Biyogazın bir ürünü olan gübre, tarım alanında toprak verimliliğini olumlu yönde etkilemekte ve anaerobik çürüme sonrasında hayvan gübresindeki rahatsız edici koku büyük oranda azalmaktadır [4].

Büyükbaş hayvanların günlük yaş gübre üretimi diğer hayvanlara göre daha yüksek olduğundan biyogaz üretim tesislerinde daha çok kullanılmaktadır. Bu durum tüm dünyada aynıdır. Büyükbaş hayvanlar arasında süt sığırlarının gübrelerindeki su ve lif içeriklerinin yüksek olması ve liflerin yüksek düzeyde çürümeye dirençli olmasından dolayı daha düşük oranda metan gazı elde edilir ve fakat et sığırları bu anlamda daha avantajlıdır [5]. Klavon ve arkadaşlarının [6] ABD'de yaptıkları bir

çalışmanın sonucuna göre ekonomik açıdan uygun bir biyogaz üretim tesisinin en az 250 ineğe sahip olması gerektiği öne sürülmüştür.

Ülkemiz tarım ve hayvancılık açısından zengin bir konumdadır. Dolayısıyla çiftlik hayvan atıkları potansiyeli de oldukça yüksektir. Ancak organik kökenli bu atıklar çoğu kez değerlendirilmemekte ya yakılmakta ya kontrolsüz bir şekilde çevreye atılmakta ya da açık alanlarda depolanan hayvansal atıklar tarım alanlarında gübre olarak kullanılmaktadır. Ancak bu atıklar yüksek miktarda azot ve fosfor, mikroorganizmalar, antibiyotikler, ağır metaller ve büyüme hormonu gibi bazı zararlı maddelerin kalıntılarını da içerdiğinden uygun şekilde yönetilmediğinde çevrenin kirlenmesine ve hastalıkların ortaya çıkmasına neden olması kaçınılmaz bir durumdur. Bu nedenle, hayvan gübresi ve atıklarının biyogaza dönüştürülüp enerji kaynağı olarak sürdürülebilir kullanımı ortaya çıkacak bu sorunları bertaraf etmede önemli bir adım olacaktır. Ayrıca fermantasyon işleminden sonra kaliteli gübre üretimi sağlanırken koku ve mikrobiyal patojenlerin azaltılması da sağlanmış olacaktır [7].

2020 yılı verilerine göre Türkiye'de toplam hayvansal atık miktarı 193.878.079 ton/yıl, bu hayvansal atıkların enerji eşdeğeri ise 4.385.371 ton eşdeğer petrol/yıl'dır [8]. Fakat Ülkemizde biyogaz üretim ve kullanım miktarı, biyogaz potansiyeli bakımından önemli bir kaynağa sahip olmamıza rağmen, henüz istenilen seviyede değildir. Ülkemizdeki biyokütle ve atık ısı enerjisine dayalı kurulu güç Haziran 2022 sonu itibarıyla 2172 MW, bunun toplam kurulu güce oranı ise % 2,14'dür [9]. Türkiye'de 187 adet biyogaz, biyokütle, atık ısı ve pirolitik yağ enerji santrali bulunmaktadır ve bu santrallerin toplam kurulu gücü 2414 MW'dır. Santrallerin yıllık elektrik üretimi yaklaşık 6912 GWh ve üretimin tüketime oranı ise % 2,3'dür [10]. Türkiye'nin biyogaz esaslı enerji kaynaklarının potansiyeli değerlendirildiğinde belediye atıklarından (4,85 TWh/yıl), tarımsal atıklardan (165,29 TWh/yıl) ve hayvansal atıklardan (16,19 TWh/yıl) biyogaz enerjisi üretebilme potansiyelinin olduğu raporlanmıştır [11,12].

Hacısalihoğlu [13] mevcut büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanı sayılarını esas alarak Bursa'nın Karacabey ilçesinde 2019-2021 yılları arasında oluşan hayvansal kaynaklı gübre ve bu gübrelerden elde edilecek teorik biyogaz miktarını hesaplamıştır. Üç yılın sonunda yaş gübre oluşma potansiyeli 126.942.000,12 ton/yıl ve yaş gübrenin biyogaz üretim potansiyeli ise 166.707.000,10 m³/yıl olarak hesaplanmıştır. Ortaya çıkacak biyogazın enerji potansiyeli ise 3.917.616,83 GJ/yıl'dır. Çalışma sonucunda biyogazdan üretilen elektrik enerjisinin İlçenin enerji ihtiyacını önemli oranda karşılayabileceği belirlenmiştir.

Topal Canbaz & Polat Bulut [14] İç Anadolu Bölgesindeki illerin (Ankara, Konya, Kayseri, Eskişehir, Sivas, Çorum, Yozgat, Aksaray, Niğde, Nevşehir, Kırıkkale, Karaman, Kırşehir ve Çankırı) büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanı sayılarını 2015-2019 yılları için belirleyerek bölgeye ait biyogaz üretim potansiyeli ve enerji miktarlarını hesaplamıştır. Çalışma sonucunda hayvan

gübresinden üretilen 2015 yılı toplam enerji miktarı 3410 GWh iken bu miktar 2019 yılı için 4275 GWh olarak tahmin edilmiştir.

Bu çalışmada hayvansal atıkların ekonomiye kazandırılma potansiyelinin tespiti amacıyla hayvancılığın yoğun olduğu Manisa ili seçilmiştir. Manisa ilindeki hayvan sayılarına göre oluşacak hayvansal gübre miktarı dikkate alınarak Manisa il sınırları içerisinde ilçe ilçe oluşacak yaş gübre miktarları, oluşan yaş gübreden üretilebilecek teorik biyogaz miktarı ve oluşan biyogazın enerji potansiyeli yapılan kabuller doğrultusunda hesaplanmıştır. Hesaplama sonucunda elde edilecek enerjinin şehrin elektrik tüketim ihtiyacını karşılama oranı belirlenmiş ve elektriğin biyogazdan elde edilmesi durumunda sera gazı salınımının ne kadar azaltılabileceği ortaya konulmuştur.

Materyal – Metot

2023 TÜİK verilerine göre 1.475.716 kişilik nüfusuyla Türkiye'nin en kalabalık on dördüncü ili olan Manisa, Ege Bölgesi'nin ortasında, Anadolu Yarımadası'nın batısında yer alan ve Batı Anadolu'nun denize kıyısı bulunmayan ancak kıyıya en yakın ilidir. 38 04' ve 39 58' kuzey enlemleri ile 27 08' ve 29 05' doğu boylamları arasında yer alır. Yüzölçümü 13.810 km² olan il toplam 17 ilçeden oluşmaktadır (Şekil 1). 2018 yılında Manisa Valiliği İl Gıda Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü tarafından yayınlanan rapora göre Manisa etlik ve hindi varlığında 1., yumurta tavuğu varlığında 3. sıradadır. Geniş bitkisel ve hayvansal ürün yelpazesi ile Türkiye tarımında çok önemli bir yere sahip olan Manisa, aynı zamanda bir sanayi şehridir [15].

Çalışma kapsamında hayvansal kaynaklı üretilen biyokütle enerjisi miktarlarının hesaplanabilmesi için; TÜİK Veri Portalı web sayfasından 2023 yılı hayvan sayılarına ulaşılmıştır (<https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?locale=tr>). Hayvansal atık potansiyeline bağlı olarak Manisa ili ve ilçeleri için hayvansal kaynaklı potansiyel biyogaz ve elektrik enerjisi miktarları hesaplanmıştır. Hesaplamalarda büyükbaş hayvan (BBH) olarak sığır ve manda, küçükbaş hayvan olarak (KBH) koyun ve keçi, kanatlı kümes hayvanı (KKH) olarak et tavuğu (broiler), yumurta tavuğu, kaz, ördek ve hindi sayıları dikkate alınmıştır.

Manisa İline ait biyogaz potansiyelini belirlemek için 2023 yılı TÜİK verileri ve Bilir [16] tarafından raporlanmış aşağıda verilen bazı kabuller kullanılmıştır.

1. Büyükbaş hayvandan, küçükbaş hayvandan ve kanatlı hayvandan yaklaşık olarak sırasıyla 3,6 ton/yıl, 0,7 ton/yıl ve 0,022 ton/yıl yaş gübre elde edildiği kabul edilir.
2. 1 ton büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvan gübresinden sırasıyla 33 m³, 58 m³ ve 78 m³ biyogaz elde edilir.
3. 1 m³ biyogazdan elde edilecek elektrik enerjisi çalışılan tüm hayvan türleri için aynıdır ve 4.7 kWh'dir [1].

Bu kabuller ile birlikte Manisa ilindeki çiftlik hayvanı çeşitliliğine bağlı olarak oluşacak yaş gübre miktarı, biyogaz miktarı ve biyogazdan üretilen elektrik enerjisi potansiyeli hesaplanmıştır.



Şekil 1. Manisa İl Haritası (cografyaharita.com)

Figure 1. Manisa Province Map

Bulgular ve Tartışma

Manisa ili BBH, KBH ve KKH sayıları TÜİK veri erişim portalından alınarak 2023 yılı toplam hayvan sayısı 52.180.148 adet olarak hesaplanmıştır (Tablo 1). Tüm örnekleme noktaları arasında en fazla hayvan sayısına Salihli İlçesinin (9.433.763 adet) sahip olduğu görülmektedir. Tüm ilçelere ait hayvan sayılarına göre biyogaz üretim potansiyeli ve biyogazdan elde edilecek enerji miktarları hesaplanarak Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2’ye göre Manisa il ve ilçelerinde büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanı atıklarından elde edilecek teorik yaş gübre miktarı, teorik biyogaz potansiyeli, biyogaz yanması sonucu üretilen enerji miktarı ve potansiyel enerji santrali kapasitesi sırasıyla 2.621.545 ton/yıl, 153.000.000 m³/yıl, 720.731.084 kWh/yıl ve 82,275 MW enerjidir. İldeki hayvanlardan kaynaklı yaş gübre miktarının ve üretilen enerjinin oransal dağılımı Şekil 2’de görülmektedir. En fazla hayvan sayısına sahip olan Salihli ilçesinin Manisa il haritası içerisinde biyogaz

üretimine en çok katkısı olan ilçe olduğu hem Tablo 2 hem de Şekil 3’deki görselden görülmektedir.

Enerji Atlası 2023 yılı verilerine göre Manisa'nın elektrik santrali kurulu gücü 3.280 MWe'dir. Manisa'daki 62 elektrik santrali ile yılda yaklaşık 12.663 GWh elektrik üretimi yapılmaktadır. Bu üretim miktarı, Manisa'nın elektrik tüketiminin 2,06 katıdır. Kula (Kula Yenilenebilir Enerji Üretim Tesisi, 31 MW), Salihli (Salihli Biyokütle Enerji Santrali, 10 MW) ve Turgutlu (Manisa Biyogaz Enerji Santrali, 3 MW) ilçelerinde Biyokütle enerji santralleri hali hazırda işletmededir. Tablo 2’de vermiş olduğumuz hesaplama sonuçlarından da görüldüğü üzere Saruhanlı (9,5 MWe) ve Akhisar (11,4 MWe) ilçelerine de sahip oldukları potansiyel nedeniyle biyogaz üretim tesisi kurulabilir.

Tablo 3’de ise genel durumun daha iyi görülebilmesi için TÜİK 2023 yılı verilerine göre üretilen enerji miktarının genelden özele (Türkiye-Ege Bölgesi-Manisa-Salihli İlçesi) karşılaştırması verilmiştir.

Tablo 1. Manisa İli 2023 yılına ait hayvan sayıları
Table 1. Number of animals in Manisa Province in 2023

İLÇELER	Hayvan Sayıları, adet			
	BBH	KBH	KKH	Toplam sayı, Σ
Ahmetli	4925	3439	1269710	1278074
Akhisar	12795	76586	9692930	9782311
Alaşehir	13751	72692	1953180	2039623
Demirci	12007	79230	892160	983397
Gölmarmara	2956	19588	521457	544001
Gördes	15151	64283	1701194	1780628
Kula	44543	160831	2408831	2614205
Köprübaşı	5384	53646	3500911	3559941
Kırkağaç	5875	33635	1160770	1200280
Salihli	36231	135162	9262370	9433763
Saruhanlı	4638	52449	8742366	8799453
Sarıgöl	8391	22136	601426	631953
Selendi	11097	67066	1062578	1140741
Soma	8862	19858	2238894	2267614
Turgutlu	28307	13700	4563628	4605635
Yunusemre	11174	38131	722870	772175
Şehzadeler	8888	20962	716504	746354
Toplam Hayvan Sayısı	234975	933394	51011779	52180148

Tablo 2. Manisa İli hayvansal kaynaklı enerji üretimi

Table 2. Manisa Province animal-based energy production

İLÇELER	Teorik yaş gübre potansiyeli, ton/yıl				Teorik biyogaz potansiyeli, m ³ /yıl				Üretilen enerji miktarı, kWh/yıl				*
	BHS	KHS	KKH	Σ	BHS	KHS	KKH	Σ	BHS	KHS	KKH	Σ	
Ahmetli	17730,0	2407,3	27933,6	48070,9	585090,0	139623,4	2178822,4	2903535,8	2749923,0	656230,0	10240465,1	13646618,1	1,6
Akhisar	46062,0	53610,2	213244,5	312916,7	1520046,0	3109391,6	16633067,9	21262505,5	7144216,2	14614140,5	78175419,0	99933775,8	11,4
Alaşehir	49503,6	50884,4	42970,0	143358,0	1633618,8	2951295,2	3351656,9	7936570,9	7678008,4	13871087,4	15752787,3	37301883,1	4,3
Demirci	43225,2	55461,0	19627,5	118313,7	1426431,6	3216738,0	1530946,6	6174116,2	6704228,5	15118668,6	7195448,8	29018346,0	3,3
Gölmarmara	10641,6	13711,6	11472,1	35825,3	351172,8	795272,8	894820,2	2041265,8	1650512,2	3737782,2	4205665,0	9593949,3	1,1
Görses	54543,6	44998,1	37426,3	136968,0	1799938,8	2609889,8	2919248,9	7329077,5	8459712,4	12266482,1	13720469,8	34446664,3	3,9
Kula	160354,8	112581,7	52994,3	325930,8	5291708,4	6529738,6	4133554,0	15955001,0	24871029,5	30689771,4	19427703,8	74988504,7	8,6
Köprübaşı	19382,4	37552,2	77020,0	133954,6	639619,2	2178027,6	6007563,3	8825210,1	3006210,2	10236729,7	28235547,4	41478487,4	4,7
Kırkağaç	21150,0	23544,5	25536,9	70231,4	697950,0	1365581,0	1991881,3	4055412,3	3280365,0	6418230,7	9361842,7	19060437,9	2,2
Salihli	130431,6	94613,4	203772,1	428817,1	4304242,8	5487577,2	15894226,9	25686046,9	20229941,2	25791612,8	74702866,5	120724420,5	13,8
Saruhanlı	16696,8	36714,3	192332,1	245743,2	550994,4	2129429,4	15001900,1	17682323,9	2589673,7	10008318,2	70508930,3	83106922,1	9,5
Sarıgöl	30207,6	15495,2	13231,4	58934,2	996850,8	898721,6	1032047,0	2927619,4	4685198,8	4223991,5	4850621,0	13759811,3	1,6
Selendi	39949,2	46946,2	23376,7	110272,1	1318323,6	2722879,6	1823383,8	5864587,0	6196120,9	12797534,1	8569904,1	27563559,1	3,1
Soma	31903,2	13900,6	49255,7	95059,5	1052805,6	806234,8	3841942,1	5700982,5	4948186,3	3789303,6	18057127,9	26794617,8	3,1
Turgutlu	101905,2	9590,0	100399,8	211895,0	3362871,6	556220,0	7831185,6	11750277,2	15805496,5	2614234,0	36806572,5	55226303,1	6,3
Yunussemre	40226,4	26691,7	15903,1	82821,2	1327471,2	1548118,6	1240444,9	4116034,7	6239114,6	7276157,4	5830091,1	19345363,2	2,2
Şehzadeler	31996,8	14673,4	15763,1	62433,3	1055894,4	851057,2	1229520,9	3136472,5	4962703,7	3999968,8	5778748,1	14741420,6	1,7
Toplam	845910,0	653375,8	1122259,1	2621544,9	27915030	37895796,4	87536212,8	153347039,2	131200641,0	178110243,1	411420200,0	720731084,1	82,3

*Potansiyel enerji santrali kapasitesi (MWE)

Σ: Toplam değer

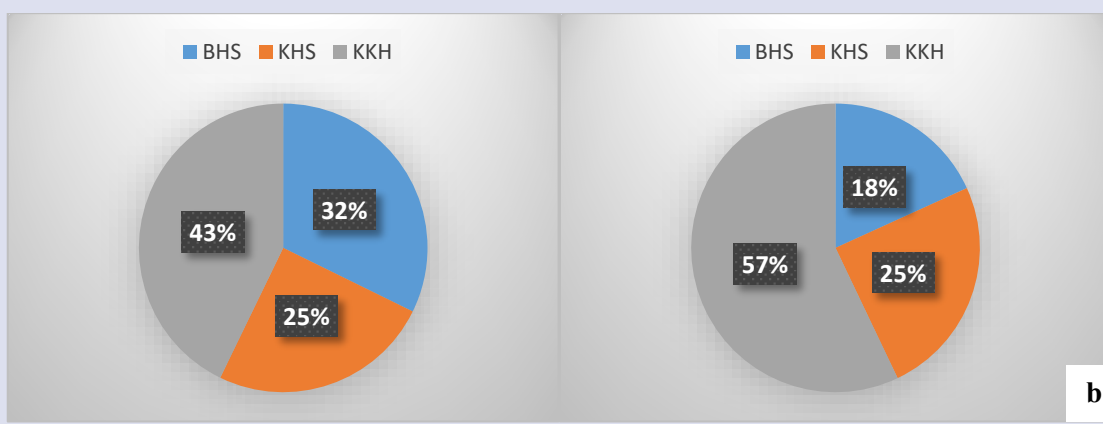
Tablo 3. TÜİK 2023 yılı verilerine göre üretilen enerji miktarının genelden özele karşılaştırması

Table 3. General to specific comparison of the amount of energy produced according to TurkStat 2023 data

BÖLGE	Hayvan Sayıları, adet				Teorik Biyogaz Potansiyeli, m ³ /yıl				Üretilen Enerji Miktarı, kWh/yıl			
	BHS	KHS	KKH	Σ	BHS	KHS	KKH	Σ	BHS	KHS	KKH	Σ
TÜRKİYE	33166010	52363410	3,74E+08	459281320	3,94E+09	2,13E+09	6,41E+08	6,71E+09	1,85E+10	9,99E+09	3,01E+09	3,15E+10
EGE BÖLGESİ	2737093	5021387	1,09E+08	116551514	3,25E+08	2,04E+08	1,87E+08	7,16E+08	1,53E+09	9,58E+08	8,77E+08	3,36E+09
MANİSA	234975	933394	51011779	52180148	27915030	37895796	87536213	1,53E+08	1,31E+08	1,78E+08	4,11E+08	7,21E+08
SALİHLİ İLÇESİ	36231	135162	9262370	9433763	4304243	5487577	15894227	25686047	20229941	25791613	74702867	1,21E+08

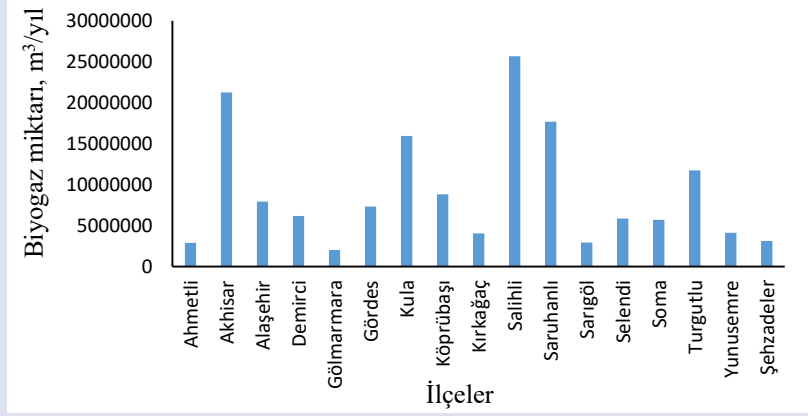
Avcioğlu & Türker [12] tarafından yayınlanan çalışmada 2009 verilerine göre Manisa ili BHS+KHS+KKH sayıları dikkate alındığında 2.352.431 ton/yıl yaş gübre

potansiyeli, 65.995.000 m³/yıl biyogaz potansiyeli ve 1.498.086 GJ/yıl kalorifik değer raporlanmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ise Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 2. 2023 yılı verilerine göre Manisa ilinde (a) bir yılda üretilen yaş gübre miktarının (ton/yıl) hayvan türlerine göre % dağılımı (b) Hayvan türlerine göre üretilen enerjinin (kWh/yıl) % dağılımı

Figure 2. According to 2023 data, in Manisa Province (a) % distribution of the amount of wet manure produced in a year (tonnes/year) according to animal species (b) % distribution of energy produced (kWh/year) according to animal species



Şekil 3. İlçelerdeki hayvan sayılarına bağlı olarak elde edilecek teorik biyogaz miktarı

Figure 3. The theoretical amount of biogas to be obtained depending on the number of animals in the districts

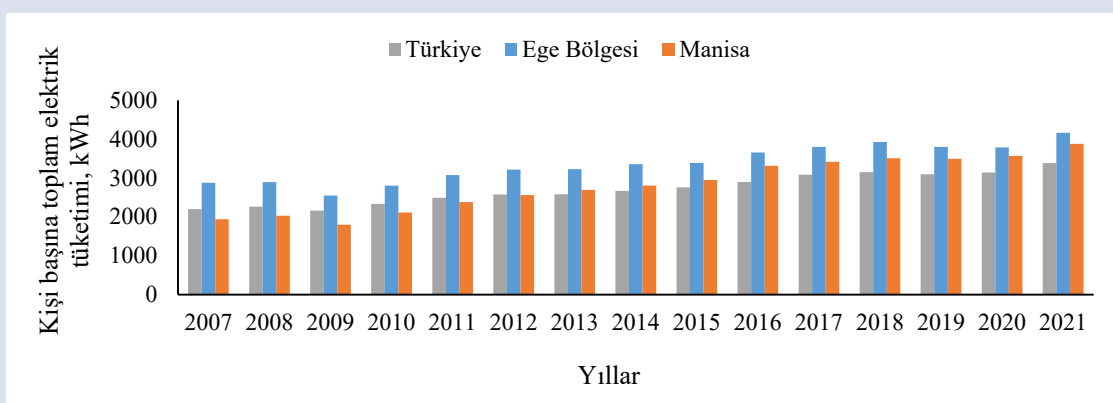
Manisa İli için meskenlerde kişi başına toplam elektrik tüketimi 2019, 2020 ve 2021 yılları için sırasıyla 683, 717 ve 723 kWh'dir. Görüldüğü üzere bu değer her geçen yıl artmaktadır. TÜİK Merkezi Dağıtım Sistemi (MEDAS) enerji istatistiklerinden en son 2021 yılı verisine ulaşılmıştır. 2023 yılı Manisa İl nüfusu TÜİK verilerine göre 1.475.716 kişidir. 2023 yılı için meskenlerde kişi başına toplam elektrik tüketiminin 750 kWh olduğu kabulü ile (TÜİK 2023 yılı verisi olmadığı için tam sayı veremiyoruz) meskenlerdeki toplam elektrik tüketiminin biyogazdan üretilen enerji miktarına (720731084 kWh/yıl) oranı 1,53'dür.

Günlük hayatta ihtiyaç duyduğumuz (konut, sanayi, metro ulaşımı, resmi daire, çevre aydınlatması gibi) kişi başı tüm elektrik enerjisi ihtiyacı TÜİK 2007-2021 yılı verilerinden temin edilerek Şekil 4'deki grafik çizilmiştir. En son 2021 yılı verilerine baktığımızda Türkiye geneli, Ege Bölgesi ve Manisa İli için bu değer sırasıyla 3386, 4164 ve 3878 kWh olarak değişmektedir. Buradan Manisa ili için kişi başına toplam elektrik tüketiminin Türkiye genelinden yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

4 kişilik normal bir ailenin evindeki günlük elektrik tüketimi, evdeki cihazların sayısı ve türüne, aydınlatma kaynaklarına ve uyguladıkları enerji tasarrufu yöntemlerine bağlı olarak

değişebilmekle birlikte genel olarak, evin günlük elektrik tüketimi, 15-20 kWh arasındadır. Bu değeri ortalama 18 kWh alırsak bir evin yıllık elektrik tüketimi 6570 kWh olacaktır. Manisa ili için hayvansal kaynaklı biyogazdan elde edilebilecek yıllık enerji miktarı 720.731.084 kWh'dir. Bu durumda 109700 hanenin (hanelerin 4 kişiden oluştuğu kabul edildiğinde 438.800 kişinin), 2023 yılı Manisa il nüfusuna göre ise il nüfusunun %29,73'ünün evsel elektrik tüketim ihtiyacının hayvansal gübre kaynaklı biyogaz üretiminden karşılanabileceği görülmektedir. Türkiye'deki mevcut potansiyel değerlendirildiği takdirde biyoenerji, hem tarım ve orman ürünlerinin yönetiminde hem atık kaynaklı çevre sorunlarını önlemede hem de CO₂ emisyonlarını azaltmada yardımcı olacaktır. Bu nedenle sırf maliyet odaklı düşünülerek biyogaz tesislerinin kurulum ve işletilmesinden vazgeçmek doğru bir yaklaşım değildir.

Biyogaz tesislerini başarılı şekilde işleten Ülkeler sistemin kendi kendini kısa sürede amorti ettiğini böylece hem doğaya hem de ülke kalkınmasına katkıda bulunduğunu göstermiştir [18]. Bu nedenle illerin enerji ve kalkınma planları hazırlanırken mutlaka değerlendirilmesi ve eğer uygunsa üretime geçilmesi gereken bir yatırımdır.



Şekil 4. TÜİK verilerine göre kişi başına toplam elektrik tüketimi

Figure 4. Total electricity consumption per capita according to TurkStat data

Dursun [19] tarafından 2023 yılı verileriyle yapılan çalışmada Ege Bölgesi'nin hayvan sınıfına göre hayvansal atık miktarı belirlenerek, biyogaz üretim potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Yapılan çalışmada TÜİK 2023 verilerine göre bölgede büyükbaş (2051641), küçükbaş (3867541) ve kümes hayvanı (38346914) olmak üzere toplam 44266096 adet hayvan olduğu açıklanmıştır. Hayvan sayıları hesabında 12 ay ve üzeri yaş grubu büyükbaş hayvan (saf kültür sığırları, süt sığırları, melez sığırlar, yerli sığırlar, manda) ve küçükbaş hayvan (keçi, koyun) sayıları, kümes hayvanlarında ise, yumurta tavuğu, kaz, hindi, ördek ve beç tavuğu sayıları değerlendirmeye alınmıştır. Hayvan sınıflarına göre elde edilebilecek biyogazın yıllık TEP cinsinden enerji eşdeğeri Ege Bölgesi için toplam 552699,4 TEP/yıl, Manisa ili için 86184,4 TEP/yıl olarak açıklanmıştır. Bölge enerjisinin %15,6'sının Manisa ilinden karşılanabileceği görülmektedir. Ege Bölgesi kapsamında, hayvansal atık kaynaklı biyogaz potansiyelinin il bazında belirlenmesine yönelik yapılan araştırmalar, biyogaz potansiyelinin enerji eldesine önemli miktarda katkısı olacağını göstermektedir. Bu potansiyel katkı göz önünde bulundurularak, bölgede biyogaz tesisi sayısının gelecek yıllarda artırılması Dursun [19] tarafından elde edilen sonuçlar neticesinde önerilmektedir.

2015 ve 2016 yılı verileri esas alınarak Sivas ili için yapılan bir çalışmada oluşacak biyogazdan elde edilecek elektrik enerjisi miktarı 2015 yılı için 229,7 GWh, 2016 yılı için ise 246,2 GWh olarak hesaplanmıştır. Sivas iline ait yıllık 3764 GWh elektrik tüketim ihtiyacının % 6,5'inin hayvansal kaynaklı biyogazdan karşılanabileceği çalışmada rapor edilmiştir [7]. Bingöl ili için 2020 yılında Demir ve Çulun [20] tarafından yapılan çalışmada ilde kurulacak enerji santralinin potansiyel kapasitesinin 25,6 MW olacağı raporlanmıştır. Bizim yapmış olduğumuz bu çalışma için ise 2023 yılı verileri değerlendirildiğinde Manisa ilinde kurulacak enerji santralinin potansiyel kapasitesinin 82,275 MW olduğu anlaşılmaktadır.

2018 yılı verileri esas alınarak Adana ili için yapılan başka bir çalışmada 3.062.992 adet hayvandan yılda toplam 88.367,42 m³ metan üretilebileceği bunun enerji eşdeğerinin ise 3.181,23 GJ/yıl olduğu raporlanmıştır. Çalışmada ayrıca metan gazı ortalama elektrik verimi %35 olan bir kojenerasyon motorunda yakıldığında yılda 309,29 MWh elektrik üretiminin mümkün olacağı raporlanmıştır [5].

Hesaplamalara göre, Türkiye genelinde 1 MWh (birim) brüt elektrik üretimi başına ortalama 0,439 ton CO₂-eşd. sera gazı emisyonu salınmaktadır [21]. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre Türkiye, Ege Bölgesi, Manisa İli ve Manisa İli Salihli İlçesindeki hayvanlardan elde edilecek hayvansal gübre kaynaklı biyogazdan sırasıyla 31.524.943, 3.363.902, 720.731 ve 120.724 MWh/yıl elektrik üretim potansiyelinin olduğu görülmektedir. Bu potansiyel değerlendirildiğinde her bölge için sırasıyla 13.839.450, 1.476.753, 316.401, 52.998 ton CO₂-eşd. sera gazı emisyonu salınımının önüne geçilebilecektir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektrik enerjisi sayesinde doğaya salınan CO₂ miktarında düşüm sağlanabilmektedir [22].

Hindistan'ın Haryana kırsalında hayvan gübresinden elde edilen biyokütle kaynakları potansiyelini tahmin etmek ve sera gazı emisyonlarını azaltmak için [23] tarafından bir araştırma yapılmıştır. Yapılan araştırmaya göre Eyalet, yılda 5464,11 milyon m³ biyogaz ve 9835,4 GWh elektrik enerjisi üreten 52,29 milyon ton hayvan gübresi potansiyeline sahiptir. Hayvan gübresinin kişi başına elektrik potansiyelinin 387,96 kWh/kişi olacağı öngörülmektedir. Biyokütle enerji üretimi, enerji için dizel yerine yerel hayvancılık biyokütlesine geçişle, 2560,32

milyon kg/yıl CO₂ eşdeğer emisyonu baz alınarak, 1707,08 ila 3583,73 milyon kg/yıl arasında tahmini bir tasarruf sağlanmaktadır.

Çiftlik hayvanı atıklarından biyoenerji potansiyelini tahmin etmek için Bangladeş, Chattogram'da çok amaçlı bir çiftlik ve bir süt çiftliğinde yürütülen bir aylık çalışma sonuçları çok amaçlı çiftlik ve süt çiftliğinin yıllık 209.660,2 ve 1.205.035,5 m³ biyogaz üretim potansiyeline sahip olduğunu ve sırasıyla 3,77E+05 ve 2,17E+06 kWh/yıl biyoelektrik ürettiğini göstermektedir. Çok amaçlı çiftlik ve süt çiftliği yıllık 982,03 ve 16092,49 ton biyogübre potansiyeline sahiptir [24]. Hem çevresel hem de ekonomik analizler, her iki çiftliğin de iyi bir sera gazı azaltma potansiyeline sahip olduğunu ve piyasada elektrik ve biyogübre satarak önemli gelir elde edebileceğini göstermektedir.

Tüm bu araştırmalar yapılırken unutulmaması gereken nokta; saha çalışmaları, doğru atık tespitleri, belirli aralıklarla yapılacak atık analizleri, atıkların tesise ulaştırılması için gerekli olan ulaşım ve altyapı maliyetleri, üretimde uygulanacak teknoloji, bu teknoloji için gerekli yatırım maliyeti ve bu maliyetin amortisman süresi gibi bilgilerin en doğru şekilde hesaplanabilmesi için detaylı ve doğru bir fizibilite ve optimizasyon çalışması kesinlikle gereklidir [4]. Bunun yanında hesaplamalar yapılırken mutlaka en doğru teorik kabuller ve literatür verileri kullanılmalıdır.

Sonuçlar

Tarımsal ve hayvansal faaliyetler sonrasında atık olarak ortaya çıkan biyokütleyi enerji üretiminde yenilenebilir enerji kaynağı olarak değerlendirmek ülkelerin karbon ayak izini azaltmada ve kendi öz kaynakları ile dışa bağımlı olmadan yenilenebilir enerji kaynaklarını üretmede etkili olacaktır. Bu tarz enerjin toplam enerji ihtiyacımızı karşılamaya yetmese bile katkı sunacağı ve CO₂ salınım miktarını azaltacağı yapılan hesaplardan anlaşılmaktadır.

2023 TÜİK verilerine göre Manisa ilinde beslenen hayvan atıklarının toplam kullanılabilir gübre potansiyeli, bu gübreden elde edilecek biyogaz potansiyeli ve biyogazdan üretilen enerji miktarının belirlenmesi amacıyla yapmış olduğumuz çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Toplam çiftlik hayvanı sayısı (Büyükbaş+Küçükbaş+Kanatlı) 52.180.148 adet, bu hayvanlardan oluşacak yaş gübre miktarı 2.621.545 ton/yıl, gübrenin biyogaz potansiyeli 153.347.039,2 m³/yıl ve biyogazdan üretilen enerji miktarı ise 720,73 GWh/yıl olarak belirlenmiştir.
- Maksimum elektrik enerjisi üretim potansiyeli Salihli İlçesinde (120,72 GWh/yıl), en düşük enerji üretim potansiyeli ise Gölçöyüğü İlçesinde (9,6 GWh/yıl) belirlenmiştir.
- Üretilen enerjinin kaynağını %57 oranında kümes hayvanları oluştururken, %25'ini küçükbaş hayvanlar, %18'ini ise büyükbaş hayvanlar oluşturmaktadır.

Biyogaz tesisinin kurulmasıyla hem hayvansal gübrelerin çevreye zarar vermeksizin bertaraf edilmesi, hem temiz enerji elde edilmesi hem de anaerobik fermantasyon sonucu oluşan materyalin tarımda organik gübre olarak kullanılması mümkün olacaktır. Ayrıca fosil

yakıtlardan kaynaklı sera gazı salınımı azalırken karbon ayak izine olan katkı engellenecektir. Bölge için yapılacak farklı araştırmalarda hayvansal atıktan elde edilecek biyogaz potansiyelini artırmak amaçlı farklı biyokütle karışımları bir arada değerlendirilebilir.

Kaynaklar

- [1] Yapılcan HE, Bakırtaş H. Aksaray ilinde küçükbaş ve kanatlı hayvan gübresi temelinde biyogaz potansiyelinin belirlenmesi. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2024;**13**:107–115.
- [2] Mert RA, Gökçek ÖB. Niğde İlinin Hayvansal ve Tarımsal Atık Miktarlarının ve Enerji Potansiyelinin Belirlenmesi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi 2023;**39**:417–429.
- [3] Appels L, Lauwers J, Degreve J, et al. Anaerobic digestion in global bio-energy production: Potential and research challenges. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2011;**15**:4295–4301.
- [4] Can ME. Büyükbaş hayvan ve tavuk gübreleri kaynaklı biyogaz potansiyeli; Adana ili örneği. Mediterranean Agricultural Sciences 2021;**34**:205–214.
- [5] Yağlı H, Koç Y. Hayvan gübresinden biyogaz üretim potansiyelinin belirlenmesi: Adana ili örnek hesaplama. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi 2019;**34**:35–48.
- [6] Klavon KH, Lansing SA, Mulbry W, et al. Economic analysis of small-scale agricultural digesters in the United States. biomass and bioenergy 2013;**54**:36–45
- [7] Bulut Polat, A, Canbaz Topal, G. Hayvan Atıklarından Sivas İli Biyogaz Potansiyelinin Araştırılması. Karaelmas Fen ve Müh. Derg. 2019;**9**(1):1-10.
- [8] <https://bepa.enerji.gov.tr>, BEPA 2024 (Erişim tarihi: 8.11.2024).
- [9] <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-biyokutle>, 2022 (Erişim tarihi: 5.11.2024).
- [10] <https://www.enerjiatlası.com/biyogaz>, Enerji Atlası 2024 (Erişim tarihi: 12.11.2024).
- [11] Nuralan Poyraz H, Elden G, Genç G. Kayseri İli İçin Büyükbaş Hayvan Atığından Biyogaz ve Elektrik Üretim Potansiyelinin ve Maliyetinin Araştırılması. Dicle University Journal of Engineering 2020;**11**(3):1175-1185.
- [12] Ozcan M, Öztürk S, Oguz Y. Potential evaluation of biomass-based energy sources for Turkey. Engineering Science and Technology, an International Journal 2015;**18**:178–184.
- [13] Hacısalihoğlu S. Hayvansal atıkların yönetimi, Bursa-Karacabey örneği. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023;**25**:403–415.
- [14] Topal Canbaz G, Polat Bulut A. İç Anadolu Bölgesinde Bulunan Hayvansal Atıkların Biyogaz Potansiyelinin İncelenmesi. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi 2021;**8**:905–912.
- [15] <https://manisa.tarimorman.gov.tr/Belgeler/Brifing%202020/2020%20Brifing.pdf> (Erişim tarihi: 10.11.2024).
- [16] Bilir M, Deniz Y, Karabay E. Biyogaz Üretimine Yönelik Değerlerin Saptanması. Toprak Su Araştırma Ana Projesi, Proje No: 872, Ankara, 1983.
- [17] Avcioglu AO, Türker U. Status and potential of biogas energy from animal wastes in Turkey. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2012;**16**:1557–1561.
- [18] Yildirim AM, Koçer NN. Diyarbakir İli Biyokütle Potansiyeli ve Enerji Üretimi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2022;**25**:27–40.
- [19] Dursun N (2024) Determination of Biogas Production Potential of Aegean Region from Animal Waste. pp 78–82
- [20] Demir Ü, Çulun P. Investigation of Biogas Potential from Animal Waste in Bingöl Province. Türk Doğa ve Fen Dergisi 2022;**11**:36–42.
- [21] <https://enerji.gov.tr/evced-cevre-ve-iklim-elektrik-uretim-tuketim-emisyon-faktorleri> (Erişim tarihi: 9.11.2024).
- [22] Matur UC, Atasayın A. Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi: Ankara, Gaziantep, Kars. Mühendis ve Makina 2024;**716**:409–431.
- [23] Nehra M, Jain S. Estimation of renewable biogas energy potential from livestock manure: A case study of India. Bioresource Technology Reports 2023;**22**:101432.
- [24] Das P, Islam KS, Uddin SM. Biogas production potential from animal farm waste in Bangladesh: Case studies of two selected farms. Environmental Progress & Sustainable Energy 2023;**42**:e14214.