

ID: 357

Determination of Biogas Production Potential of Aegean Region from Animal Waste

Nesrin Dursun^{1,2*}

¹ Department of Environmental Health, University of Ardahan, Ardahan, Turkey

² Department of Construction Technologies, University of Ardahan, Ardahan, Turkey

*ORCID: 0000-0002-7463-1038, e-mail: nesrindursun@ardahan.edu.tr

Abstract

Greenhouse gases resulting from the intensive burning of fossil fuels bring serious environmental problems. These anthropogenic impacts cause environmental concerns such as air pollution and global warming. Moreover, the fact that fossil fuels are expensive and will be depleted in the near future has led researchers to seek economic and renewable energy alternatives. In this respect, biogas, one of the renewable energy alternatives, is obtained anaerobically from almost any kind of organic waste or residue according to the operating parameters. Biogas is one of the most popular biofuels, typically produced using animal waste as feedstock. This study determined the daily manure amounts according to animal class by obtaining the number of cattle, ovine, and poultry in the Aegean Region from the Turkish Statistical Institute. Accordingly, dry fertilizer amounts were determined and biogas production potential was calculated. Finally, the energy obtained based on the biogas production potential was determined. In the study, it was determined that the cattle class has a biogas production potential of 1199862 m³ per day, the ovine class 83264.1 m³ per day, and the poultry class 478279.1 m³ per day. Annual energy in the Aegean Region was calculated as 552699.4 TOE.

Key Words: Biogas potential, Animal waste, Aegean Region

Ege Bölgesi'nin Hayvansal Atık Kaynaklı Biyogaz Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi

Özet

Fosil yakıtların yoğun şekilde yakılması sonucu oluşan sera gazları, önemli çevresel sorunları beraberinde getirmektedir. Bu antropojenik etkiler, hava kirliliği ve küresel ısınma gibi çevresel sorunlara neden olmaktadır. Ayrıca, fosil yakıtların maliyetli olması ve yakın gelecekte tükenecek olması, araştırmacıları ekonomik ve yenilenebilir enerji alternatifleri aramaya yöneltmiştir. Bu kapsamda, yenilenebilir enerji alternatiflerinden biri olan biyogaz, hemen hemen her türlü organik atık veya kalıntıdan anaerobik olarak işletim parametrelerine göre elde edilmektedir. Biyogaz, genelde ham madde olarak hayvansal atıklar kullanılarak elde edilen en popüler biyoyakıtlardan biridir. Bu çalışmada, Ege Bölgesi'nin büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvan sayıları Türkiye İstatistik Kurumu'ndan temin edilerek, hayvan sınıfına göre günlük gübre miktarları saptanmıştır. Buna göre, kuru gübre miktarları belirlenerek, biyogaz üretim potansiyeli hesaplanmıştır. Son olarak, biyogaz üretim potansiyeline bağlı olarak elde edilen enerji tespit edilmiştir. Çalışmada, büyükbaş hayvan sınıfının günlük 1199862 m³, küçükbaş hayvan sınıfının günlük 83264.1 m³ ve kümes hayvan sınıfının günlük 478279.1 m³ biyogaz üretim potansiyeli olduğu belirlenmiştir. Ege Bölgesi'nde yıllık enerji 552699.4 TEP olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Biyogaz potansiyeli, Hayvansal atık, Ege Bölgesi

Giriş

İnsan konforu ve gündelik hayattaki temel ihtiyaçlar için enerjiye gereksinim duyulmaktadır. Ülkelerin çoğunda, özellikle de gelişmekte olan ülkelerde yenilenemez fosil yakıtlara bağımlılık enerji krizlerine neden olmaktadır. Küresel ölçekte ülkelerin ulusal enerji itici güçleri enerji güvenliği, ekonomik büyüme ve çevre korumadır. Yenilenebilir olmayan kömür ve petrol gibi yakıtların yakın gelecekte tükeneceği, dolayısıyla fosil yakıtlara alternatif olabilecek enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulacağı bildirilmiştir (Kabeyi & Olanrewaju, 2022). Dünyada, atıktan enerjiye temalı uygulamalar kapsamında, sürdürülebilir enerji sağlamaya yönelik farkındalık artmaktadır. Bu kapsamda popüler yaklaşım, organik içeriği zengin olan atık ve kalıntıların anaerobik olarak yenilenebilir ürünlere dönüştürülmesidir (Kasinath vd., 2021). Hayvansal atık, tarımsal atık ve kalıntılar gibi çeşitli tipte organik atıklar biyogaz üretimi için ham madde olarak kullanılmaktadır. Bu atıklardan, özellikle hayvansal atıklar, biyogaz üretiminde yaygın kullanılmaktadır.

Atıkların, biyogaz üretiminde ham madde olarak kullanımı, ekonomik ve çevre dostudur. Biyogazın içeriğinin ham madde tipi başta olmak üzere işletim parametrelerine göre genel olarak CH₄ ve CO₂ sırasıyla %55-65 ve %35-45 oranlarında olduğu rapor edilmiştir. Buna ilaveten, çok sınırlı oranda da azot içeriğine sahip olabileceği



bildirilmiştir (Forssberg, 2010; Balat & Balat, 2009). Türkiye’deki bölgelerin genelinde hayvancılık faaliyeti yapılmaktadır. Bu bölgelerden Ege Bölgesinde, diğer bölgelere göre hayvan sayısı daha az olup sınırlı sayıda çalışma yapıldığı saptanmıştır. Bu çalışmada, Ege Bölgesi’nin hayvan sınıfına göre hayvansal atık miktarı belirlenerek, biyogaz üretim potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Materyal ve Yöntem

Araştırmada, Ege Bölgesi illerine ilişkin 2023 yılı hayvansal atık kaynaklı biyogaz üretim potansiyelini belirlemek için Türkiye İstatistik Kurumu’nun (TÜİK, 2024) hayvan sayısı verileri kullanılmıştır. Büyükbaş ve küçükbaş hayvan sayıları, TÜİK tarafından yaş ve cinslerine göre nitelendirilmiştir. Bu araştırma kapsamında, 12 ay ve üzeri yaş grubu, büyükbaş hayvan (saf kültür sığırları, süt sığırları, melez sığırlar, yerli sığırlar, manda) ve küçükbaş hayvan (keçi, koyun) sayıları değerlendirmeye alınmıştır. Hayvan sınıflarından kümes hayvanlarda ise, yumurta tavuğu, kaz, hindi, ördek ve beç tavuğu sayıları değerlendirmeye alınmıştır. Buna göre, Ege Bölgesi illerine ilişkin 2023 yılı hayvan sayısı verileri Tablo 1’de sunulmuştur. Hayvan sınıfına göre biyogaz üretim potansiyeli belirlenmesinde, Kaykıoğlu & Cantekin (2023) tarafından yapılan çalışma ve LIFE 03 TCY proje sonuç raporu kabulleri kullanılmıştır (Tablo 2). Bu kabuller dikkate alınarak yapılan hesaplarda gübre miktarı, kullanılabilir gübre miktarı, biyogaz ve enerji potansiyeli hesaplanmıştır.

Tablo 1. Ege Bölgesinin illere göre hayvan sayısı

İl	Hayvan Sayısı			
	Büyükbaş	Küçükbaş	Kümes	Toplam
Afyonkarahisar	279171	735653	14693931	15708755
Aydın	366138	301369	869708	1537215
Denizli	194642	555689	2032481	2782812
İzmir	623157	658300	5448489	6729946
Kütahya	141269	359160	1324998	1825427
Manisa	164177	674715	13158676	13997568
Muğla	188224	371052	505021	1064297
Uşak	94863	211603	313610	620076
Toplam	2051641	3867541	38346914	44266096

Tablo 2. Biyogaz üretim potansiyeli hesabı kabulleri

	Hayvan Sayısı		
	Büyükbaş	Küçükbaş	Kümes
Birim hayvan için gübre üretimi (kg/hayvan.gün)	43.00	2.40	0.18
Kullanılabilirlik (%)	65	13	99
KM (kuru madde, % gübre miktarı)	13.95	27.50	25.88
UKM (uçucu kuru madde, %KM)	83.33	83.64	77.27
Metan üretim oranı (m ³ CH ₄ /kg UKM)	0.18	0.30	0.35

Bulgular ve Tartışma

Ege Bölgesi’nde toplam hayvan sayısının TÜİK (2024) verilerine göre, 44266096 olduğu belirlenmiştir. Tablo 3’e göre büyükbaş hayvan sayısının en yüksek olduğu İzmir ilini, Aydın ilinin takip ettiği görülmektedir. Ege Bölgesi’ndeki büyükbaş hayvan sayısı toplamı 2051641’dir. Tablo 3’e göre, bu sayının %30.4’ünü İzmir, %17.8’ini Aydın ili takip etmektedir. Bölgenin en düşük hayvan sayısının %4.6 oranla Uşak ili olduğu saptanmıştır. Araştırmada, Tablo 3’de sunulduğu üzere, illere göre hayvan sayısı verileri kullanılarak sırasıyla gübre miktarı, kullanılabilir gübre miktarı, kuru madde, uçucu katı madde miktarı ve üretilebilecek metan miktarı günlük olarak hesaplanmıştır. Buna göre, 2023 yılında, Afyonkarahisar ilinin günlük 163267.7 m³, Aydın ilinin günlük 214128.6 m³, Denizli ilinin günlük 113832.6 m³, İzmir ilinin günlük 364441.1 m³, Kütahya ilinin günlük 82618.4 m³, Manisa ilinin günlük 96015.7 m³, Muğla ilinin günlük 110079.1 m³ ve Uşak ilinin günlük 55478.8 m³ biyogaz üretim potansiyeline sahip olduğu tespit edilmiştir (Tablo 3).

Araştırmada, Tablo 4’de sunulduğu üzere, büyükbaş hayvan sınıfından elde edilebilecek biyogazın yıllık TEP cinsinden enerji değerleri belirlenmiştir. Tablo 4’e göre, İzmir ilinin yıllık 114355.5 TEP, Aydın ilinin yıllık 67190.0 TEP, Afyonkarahisar ilinin yıllık 51230.7 TEP, Denizli ilinin yıllık 35718.7 TEP, Muğla ilinin yıllık 34541.0 TEP, Manisa ilinin yıllık 30128.1 TEP, Kütahya ilinin yıllık 25924.3 TEP ve Uşak ilinin yıllık 17408.3 TEP enerji potansiyeli olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 5 incelendiğinde, küçükbaş hayvan sayısı en yüksek olan ilin Afyonkarahisar ili olduğu bunu da Manisa ilinin takip ettiği tespit edilmiştir. Ege Bölgesi’nde küçükbaş hayvan sayısı 3867541 olarak belirlenmiştir. Bu sayının %19.0’unu Afyonkarahisar, %17.4’ünü Manisa, %17.0’ını İzmir ilinin takip ettiği ve en düşük oranın ise



%5.5 oran ile Uşak ili olduğu saptanmıştır (Tablo 5). Araştırmada, Tablo 5’de sunulduğu üzere, illere göre hayvan sayısı verileri kullanılarak sırasıyla gübre miktarı, kullanılabilir gübre miktarı, kuru madde, uçucu katı madde miktarı ve üretilebilecek metan miktarı günlük olarak hesaplanmıştır. Buna göre, 2023 yılında, Afyonkarahisar ili günlük 15837.8 m³, Manisa ili günlük 14525.9 m³, İzmir ili günlük 14172.5 m³, Denizli ili günlük 11963.4 m³, Muğla ili günlük 7988.4 m³, Kütahya ili günlük 7732.3 m³, Aydın ili günlük 6488.2 m³ ve Uşak ili günlük 4555.6 m³ biyogaz üretim potansiyeline sahiptir (Tablo 5).

Tablo 3. Büyükbaş hayvan sınıfının illere göre biyogaz üretim potansiyeli

İl	Hayvan sayısı (hayvan)	Gübre miktarı (kg/gün)	Kullanılabilir gübre (kg/gün)	KM (kg/gün)	UKM (kg/gün)	CH ₄ (m ³ /gün)
Afyonkarahisar	279171	12004353	7802829	1088495	907042.6	163267.7
Aydın	366138	15743934	10233557	1427581	1189603.0	214128.6
Denizli	194642	8369606	5440244	758914	632403.1	113832.6
İzmir	623157	26795751	17417238	2429705	2024673.0	364441.1
Kütahya	141269	6074567	3948469	550811.4	458991.1	82618.4
Manisa	164177	7059611	4588747	640130.2	533420.5	96015.7
Muğla	188224	8093632	5260861	733890.1	611550.6	110079.1
Uşak	94863	4079109	2651421	369873.2	308215.3	55478.8

Tablo 4. Büyükbaş hayvan sınıfının illere göre biyogaz üretim potansiyeli ve enerji potansiyeli

İl	CH ₄ (m ³ /gün)	Enerji (MJ/gün)	Enerji (MJ/yıl)	Enerji (TJ/yıl)	Enerji (TEP/yıl)
Afyonkarahisar	163267.7	5877636	2145337253	2145.3	51230.7
Aydın	214128.6	7708630	2813650025	2813.7	67190.0
Denizli	113832.6	4097972	1495759709	1495.8	35718.7
İzmir	364441.1	13119881	4788756449	4788.8	114355.5
Kütahya	82618.4	2974262	1085605770	1085.6	25924.3
Manisa	96015.7	3456565	1261646210	1261.6	30128.1
Muğla	110079.1	3962848	1446439491	1446.4	34541.0
Uşak	55478.8	1997235	728990933	729.0	17408.3

Tablo 5. Küçükbaş hayvan sınıfının illere göre biyogaz üretim potansiyeli

İl	Hayvan sayısı (hayvan)	Gübre miktarı (kg/gün)	Kullanılabilir gübre (kg/gün)	KM (kg/gün)	UKM (kg/gün)	CH ₄ (m ³ /gün)
Afyonkarahisar	735653	1765567.0	229523.7	63119.0	52792.8	15837.8
Aydın	301369	723285.6	94027.1	25857.5	21627.2	6488.2
Denizli	555689	1333654.0	173375	47678.1	39878.0	11963.4
İzmir	658300	1579920.0	205389.6	56482.1	47241.7	14172.5
Kütahya	359160	861984.0	112057.9	30815.9	25774.4	7732.3
Manisa	674715	1619316.0	210511.1	57890.6	48419.7	14525.9
Muğla	371052	890524.8	115768.2	31836.3	26627.9	7988.4
Uşak	211603	507847.2	66020.1	18155.5	15185.3	4555.6

Küçükbaş hayvan sınıfından illere göre elde edilebilecek biyogazın yıllık TEP cinsinden enerji değerleri Tablo 6’da verilmiştir. Buna göre, Afyonkarahisar ilinin yıllık 4969.6 TEP, Manisa ilinin yıllık 4558.0 TEP, İzmir ilinin yıllık 4447.0 TEP, Denizli ilinin yıllık 3753.9 TEP, Muğla ilinin yıllık 2506.6 TEP, Kütahya ilinin yıllık 2426.3 TEP, Aydın ilinin yıllık 2035.9 TEP ve Uşak ilinin yıllık 1429.5 TEP enerji potansiyeli olduğu saptanmıştır.

Tablo 7’de, illere göre kümes hayvanı sayısının en yüksek Afyonkarahisar ilinde olduğu, bu ili de Manisa ilinin takip ettiği tespit edilmiştir. Ege Bölgesi, kümes hayvanı sayısı toplamı 38346914 olarak belirlenmiştir. Tablo 7’ye göre, bu sayının %38.3’ünü Afyonkarahisar, %34.3’ünü Manisa ilinin takip ettiği görülmektedir. Bölgenin en düşük hayvan sayısının %0.8 oran ile Uşak ili olduğu saptanmıştır. Araştırmada, Tablo 7’de sunulduğu üzere, illere göre hayvan sayısı verileri kullanılarak sırasıyla gübre miktarı, kullanılabilir gübre miktarı, kuru madde, uçucu katı madde miktarı ve üretilebilecek metan miktarı günlük olarak hesaplanmıştır. Buna göre, 2023 yılında, Afyonkarahisar ili günlük 183269.0 m³, Aydın ili günlük 10847.4 m³, Denizli ili günlük 25350.0 m³, İzmir ili günlük 67955.9 m³, Kütahya ili günlük 16525.9 m³, Manisa ili günlük 164120.6 m³, Muğla ili günlük 6298.8 m³ ve Uşak ili günlük 3911.5 m³ biyogaz üretim potansiyeline sahiptir (Tablo 7).



Tablo 6. Küçükbaş hayvan sınıfının illere göre biyogaz üretim potansiyeli ve enerji potansiyeli

İl	CH ₄ (m ³ /gün)	Enerji (MJ/gün)	Enerji (MJ/yıl)	Enerji (TJ/yıl)	Enerji (TEP/yıl)
Afyonkarahisar	15837.8	570161.7	208109038	208.1	4969.6
Aydın	6488.2	233573.5	85254342	85.3	2035.9
Denizli	11963.4	430682.1	157198983	157.2	3753.9
İzmir	14172.5	510210.0	186226631	186.2	4447.0
Kütahya	7732.3	278364.0	101602851	101.6	2426.3
Manisa	14525.9	522932.3	190870274	190.9	4558.0
Muğla	7988.4	287580.8	104966982	105.0	2506.6
Uşak	4555.6	164001.1	59860419	59.9	1429.5

Tablo 7. Kümes hayvanı sınıfının illere göre biyogaz üretim potansiyeli

İl	Hayvan sayısı (hayvan)	Gübre miktarı (kg/gün)	Kullanılabilir gübre (kg/gün)	KM (kg/gün)	UKM (kg/gün)	CH ₄ (m ³ /gün)
Afyonkarahisar	14693931	2644908.0	2618459	677657.1	523625.6	183269.0
Aydın	869708	156547.4	154982	40109.3	30992.5	10847.4
Denizli	2032481	365846.6	362188.1	93734.3	72428.5	25350.0
İzmir	5448489	980728.0	970920.7	251274.3	194159.6	67955.9
Kütahya	1324998	238500.0	236114.6	61106.5	47217.0	16525.9
Manisa	13158676	2368562.0	2344876.0	606853.9	468916.0	164120.6
Muğla	505021	90903.8	89994.7	23290.6	17996.7	6298.8
Uşak	313610	56450.0	55885.3	14463.1	11175.7	3911.5

Tablo 8. Kümes hayvanı sınıfının illere göre biyogaz üretim potansiyeli ve enerji potansiyeli

İl	CH ₄ (m ³ /gün)	Enerji (MJ/gün)	Enerji (MJ/yıl)	Enerji (TJ/yıl)	Enerji (TEP/yıl)
Afyonkarahisar	183269.0	6597683.0	2408154185	2408.2	57506.7
Aydın	10847.4	390505.3	142534422	142.5	3403.7
Denizli	25350.0	912598.9	333098585	333.1	7954.4
İzmir	67955.9	2446411.0	892940193	892.9	21323.4
Kütahya	16525.9	594933.8	217150841	217.2	5185.6
Manisa	164120.6	5908342.0	2156544813	2156.5	51498.3
Muğla	6298.8	226758.1	82766717	82.8	1976.5
Uşak	3911.5	140813.2	51396814	51.4	1227.4

Araştırmada, kümes hayvanı sınıfından illere göre elde edilebilecek biyogazın yıllık TEP cinsinden enerji değerleri Tablo 8’de sunulmuştur. Tablo 8’e göre, Afyonkarahisar ilinin yıllık 57506.7 TEP, Manisa ilinin yıllık 51498.3 TEP, İzmir ilinin yıllık 21323.4 TEP, Denizli ilinin yıllık 7954.4 TEP, Kütahya ilinin yıllık 5185.6 TEP, Aydın ilinin yıllık 3403.7 TEP, Muğla ilinin yıllık 1976.5 TEP ve Uşak ilinin yıllık 1227.4 TEP enerji potansiyeli olduğu belirlenmiştir.

Ege Bölgesi illerinden Denizli ilinde Doruk & Bozdeveci (2017) tarafından yapılan bir çalışmada, TÜİK 2014 yılı verileri kullanılmıştır. Buna göre 4370129 toplam hayvan sayısından oluşan günlük yaş gübre miktarı 4578889 kg olarak saptanmıştır. Çalışmada, Denizli ili hayvansal atık kaynaklı biyogazın 70.16 m³/yıl olduğu hesaplanmıştır. Başka bir çalışmada da, Türkiye tavuk atıklarının biyogaz potansiyeli Avcıoğlu vd. (2013) tarafından, TÜİK 2009 yılı et tavuğu ve yumurta tavuğu verileri dikkate alınarak incelenmiştir. Çalışmada, Manisa ilinin 29038 bin m³/yıl, Afyonkarahisar ilinin 24356 bin m³/yıl, İzmir ilinin 22913 bin m³/yıl, Denizli ilinin 5600 bin m³/yıl, Muğla ilinin 4163 bin m³/yıl, Aydın ilinin 3986 bin m³/yıl ve Uşak ilinin 3907 bin m³/yıl biyogaz potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir. Ertop vd. (2022) tarafından yapılan araştırmada, TÜİK 2020 yılı büyükbaş hayvan (süt sığırtı ve et sığırtı) sayısı verileri değerlendirmeye alınmıştır. Araştırmaya göre, Ege Bölgesi araştırma alanında elde edilebilecek biyogaz potansiyeli Afyonkarahisar ilinde 55438618.40 MJ, Aydın ilinde 56179397.51 MJ, Denizli ilinde 37981047.12 MJ, İzmir ilinde 100488906.60 MJ, Kütahya ilinde 23846922.85 MJ, Manisa ilinde 30990885.16 MJ, Muğla ilinde 36553104.36 MJ ve Uşak ilinde 18319480.54 MJ olarak tespit edilmiştir. Aydın ilinin hayvansal atık kaynaklı biyogaz potansiyelini belirlemek amacıyla Aydın Tarım İl Müdürlüğü ve TÜİK verilerinin kullanıldığı Öztürk (2019) tarafından yapılan bir çalışmada da, yıllık 5611710 ton büyükbaş, 227550 ton küçükbaş ve 183784 ton kanatlı hayvan atığı olduğu rapor edilmiştir. Bu atıkların kullanılabilir kuru madde miktarının 493432 ton olduğuna bağlı olarak, 2.24 PJ enerji eşdeğeri olduğu saptanmıştır. Ege Bölgesi kapsamında, hayvansal atık kaynaklı biyogaz potansiyelinin il bazında belirlenmesine yönelik araştırmalar ve bu



araştırma, biyogaz potansiyelinin enerji eldesine önemli oranlarda katkısı olacağını göstermektedir. Bu potansiyel katkı göz önünde bulundurularak, bölgede biyogaz tesisi sayısının gelecek yıllarda artacağı öngörülmektedir.

Sonuç

Çalışmada, TÜİK hayvan sayısı verileri dikkate alınarak Ege Bölgesi'nin yıllık biyogaz üretim potansiyeli saptanmıştır. Bu verilere göre, büyükbaş hayvan sınıfının günlük 1199862 m³, küçükbaş hayvan sınıfının günlük 83264.1 m³ ve kümes hayvan sınıfının günlük 478279.1 m³ biyogaz üretim potansiyeli olduğu belirlenmiştir. İl bazında toplam enerji, Afyonkarahisar ilinde 113707 TEP/yıl, Aydın ilinde 72629.6 TEP/yıl, Denizli ilinde 47427 TEP/yıl, İzmir ilinde 140125.9 TEP/yıl, Kütahya ilinde 33536.2 TEP/yıl, Manisa ilinde 86184.4 TEP/yıl, Muğla ilinde 39024.1 TEP/yıl ve Uşak ilinde 20065.2 TEP/yıl olarak hesaplanmıştır.

Kaynaklar

- Avcioğlu, A. O., Çolak, A., & Türker, U. (2013). Türkiye'nin tavuk atıklarından biyogaz potansiyeli. Namık Kemal Üniversitesi Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 10(1), 21-28.
- Balat, M. & Balat H. (2009). Biogas as a renewable energy source - A Review. Energy Sources Part A: Recovery Utilization and Environmental Effects, 31(14), 1280-1293. <https://doi.org/10.1080/15567030802089565>
- Doruk, İ., & Bozdeveci, A. (2017). Denizli ilinin kırsal kesimlerinde hayvansal kaynaklı atıklardan biyogaz potansiyelinin belirlenmesi. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7(3), 181-186.
- Ertop, H., Atılgan, A., Saltuk, B., & Aksoy, E. (2022). Büyükbaş hayvansal atıklardan elde edilebilir biyogaz ve elektrik üretim potansiyelinin belirlenerek sayısal haritaların oluşturulması. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 35, 530-540.
- Forssberg, B. (2010). Opportunities: Biogas, the greenest and cleanest renewable fuel. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, 9, 307-309. <https://doi.org/10.1007/s11157-010-9217-4>
- Kabeyi, M. J. B., & Olanrewaju, O. A. (2022). Biogas production and applications in the sustainable energy transition. Journal of Energy, 8750221, 1-43. <https://doi.org/10.1155/2022/8750221>
- Kasinath, A., Fudala-Ksiazek, S., Szopinska, M., Bylinski, H., Artichowicz, W., Remiszewska-Skwarek, A., & Luczkiewicz, A. (2021). Biomass in biogas production: Pretreatment and codigestion. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 150, 111509. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111509>
- Kaykioğlu, G., & Cantekin, E. (2023). Türkiye'de TR21 Bölgesinin (Trakya) biyogaz potansiyelinin belirlenmesi. Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 9(1), 168-180. <https://doi.org/10.21324/dacd.1206381>
- LIFE 03 TCY/TR/000061. A guide on exploitation of agricultural residues in Turkey. Exploitation of agricultural residues in Turkey, EU-Life Programme Project, Final Report ANNEX XIV, 686-761.
- Öztürk, B. (2019). Aydın İli Biyogaz Potansiyelinin Belirlenmesi. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Aydın.

