

Erzincan ili hayvansal atık kaynaklı biyogaz potansiyelinin değerlendirilmesine yönelik biyogaz tesisi senaryoları

Biyogas plant scenarios for evaluating biogas potential from animal waste of Erzincan province

Aslıhan KURNUÇ SEYHAN^{*1,a}, Anıl BADEM^{2,b}

¹Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 24100, Erzincan

²Oltan Köleoğlu Enerji, 61290, Trabzon

• Geliş tarihi / Received: 28.05.2020 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 23.10.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 03.01.2021

Öz

Hayvan atıklarından biyogaz üretimi gibi atıkların enerji teknolojisine uygulanması, Türkiye de dâhil olmak üzere gelişmekte olan birçok ülkede sürdürülebilir enerji geliştirme hedeflerine ulaşmak için en iyi araçlardan biri olarak kabul edilmektedir. Türkiye, çok sayıda hayvan çiftliği ile önemli bir potansiyele sahip olsa da bugüne kadar biyogaz üretimi için potansiyel gerçekleştirilmemiştir. Bu makale, Türkiye'de alternatif bir enerji üretimi kaynağı olarak hayvan atıklarından biyogaz üretimi yoluyla atıkların enerji teknolojisine potansiyel uygulanmasının vurgulanmasını amaçlamaktadır. Hayvan atıkları gibi yenilenebilir hammaddelerin anaerobik sindirimi, biyogaz şeklinde temiz enerji üretimi için ileriye dönük bir teknoloji olarak bilinmektedir. Bu çalışmada Erzincan ilinin hayvansal atık kaynaklı enerji potansiyeli hesaplanmıştır. Bulgular, Erzincan'daki hayvan atıklarından yaklaşık 15.5 milyon m³/yıl biyogaz potansiyelinin üretilebileceğini göstermektedir. Bu doğrultuda, Erzincan ve ilçelerinin mesafeleri, atık kapasiteleri ve ekonomik verimliliği göz önüne alındığında, 0.5 MW, 1.2 MW ve 2.4 MW kurulu güce sahip 3 farklı biyogaz santrali senaryosu hazırlanmıştır. Bu tesislerin yatırım maliyetleri ve her bir tesis için gerekli olan yatırımın geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Araştırmaya dayanarak, Erzincan'da biyogaz üretimi ile hayvan atıklarının enerjiye dönüştürülmesi açısından birçok fırsat araştırılabilir. Bölgede, küçük boyutlarda olmak üzere, önerilen sayıdan daha fazla sayıda biyogaz tesisi kurmak da mümkündür.

Anahtar kelimeler: Biyogaz üretimi, Hayvan atıkları, Yenilenebilir enerji

Abstract

In many developing countries, including Turkey, the implementation of waste to energy technology is known as one of the most effective approaches to reach sustainable energy development targets. Although, Turkey with a large number of farm animals has a significant potential, but this potential unrealized for biogas production so far. This study aims to highlight the potential implementation of waste to energy technology via the production of biogas from animal waste as an alternative energy generation in Turkey. Anaerobic digestion of renewable feed stocks such as animal waste has been known as a promising technology for the production of clean energy in the form of biogas. In this study, the energy potential of Erzincan province animal waste was calculated. Findings show that approximately 15.5 million m³year-1 biogas potential can be produced from animal waste in Erzincan. Accordingly, considering the distances, waste capacities and economic efficiency of Erzincan and its districts, 3 different biogas power plant scenarios with 0.5 MW, 1.2 MW and 2.4 MW installed power have been prepared. Appropriate facility capacities, investment costs of these facilities and payback times of the investment required for each facility were calculated. Based on the investigation, numerous opportunities could be explored in terms of turning animal waste to energy by biogas production in Erzincan. It is also possible to establish more biogas plants in the region, in smaller sizes, than the number recommended.

Keywords: Biogas production, Animal waste, Renewable energy

*a Aslıhan KURNUÇ SEYHAN; akurnuc@erzincan.edu.tr, Tel: (0532) 7716572, orcid.org/ 0000-0002-7614-7303

^b orcid.org/0000-0002-9492-9819

1. Giriş

Sanayileşme ve nüfus artışı beraberinde artan enerji talebini ortaya çıkarmıştır. Fosil yakıtlar dünyanın enerji arzında en büyük paya sahiptir ve özellikle çevre kirliliği ve küresel ısınma olmak üzere mevcut çevre sorunlarına neden olmaktadır. Enerji üretiminde fosil yakıtların yaygın olarak kullanılması ve bu yakıt rezervlerinin ömrünün sınırlı olması ile tüm dünyada yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına olan eğilim artmaktadır (Abdeshahian vd., 2016).

Küresel ölçekte enerji gereksinimi, üretim giderlerinin minimize edilmesi ve çevre bilinci oluşturularak karşılanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının sürdürülebilir, çevre dostu ve ekonomik olması enerji üretimi için son derece önemlidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan biyokütle, fosil yakıtlara bağımlılığı azaltarak alternatif bir enerji kaynağı olarak karşımıza çıkmaktadır (Gürdil vd., 2015).

2017 yılı itibarıyla yenilenebilir enerji, dünya toplam nihai enerji tüketiminin yaklaşık %20.3' ünü oluşturmuştur. Geleneksel ve modern biyokütle enerjisi, 2017 yılında dünya toplam enerji tüketiminde %12.4'lük bir paya sahiptir. Bu payın %7.4 ile en büyük oranı geleneksel biyokütle olarak adlandırılan ve gelişmekte olan ülkelerde ısınma ve pişirme amacıyla kullanılan biyokütle oluşturmaktadır. %5 ile modern biyokütle ise, %2.2 ile endüstride biyokütleden ısı kullanımı, %1.4 ile binalarda ısı kullanımı, %1 ile ulaşım, %0.4 ile biyokütleden elektrik enerjisi eldesinden oluşmaktadır (REN21, 2019).

Biyokütle, hayvan gübresi, ormancılık ve tarımsal kalıntılar, belediye ve tarımsal-endüstriyel katı atıklar gibi çok çeşitli organik atıkları içeren sürdürülebilir bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Biyokütle sürdürülebilir kalkınmaya katkı sağlamasının yanında, dünya nüfusunun tamamında enerji güvenliği de sağlar. Ayrıca biyokütleden enerji elde edilmesi proseslerinde ortaya çıkan CO₂, fotosentez yoluyla organik maddelerin büyümesi ve gelişmesi sırasında atmosferden alınan CO₂' ye eşdeğer olduğundan biyokütle enerjisi karbon nötrdür böylece sera gazı emisyonlarını da azaltmış olur. Bunun yanı sıra, kullanılabilirlik ve iyi bilinen dönüşüm teknolojileri nedeniyle biyokütle, talebi karşılamak ve enerji arz güvenliğini sağlamak amacıyla çok yakın bir zamanda önemli enerji kaynaklarından biri olacaktır (Ekpeni vd., 2014; Ar, 2018). Çünkü son değerlendirmeler enerji tasarruflu ve çevre dostu bir teknoloji olan anaerobik sindirim yoluyla

üretilen biyogazın diğer biyoenerji formlarına göre önemli avantajlar sağladığını belirtmektedir (Achinas vd., 2017).

Biyokütle kaynakları kullanılarak temelde biyoetanol, biyodizel ve biyogaz olarak üç farklı biyoyakıt formu elde edilir. Biyoetanol üretiminde, selüloz içeriği yüksek odun ve orman ürünleri atıkları veya buğday, arpa, mısır, patates gibi nişasta içeren ürünler, şeker içeren şeker pancarı, meyve gibi biyokütle kaynakları kullanılmaktadır. (Öztürk, 2012). Biyodizel üretiminde atık yemeklik yağlar, bitkisel yağlar (kanola, kolza, soya fasulyesi, ayçiçeği, hurma yağı vb.), hayvansal yağlar (büyükbaş, küçükbaş, kanatlı yağı vb.) kullanılmaktadır (Demirbaş, 2011). Biyogaz üretiminde ise hayvansal atıklar, bitkisel atıklar ve organik içerikli kentsel atıklar kullanılmaktadır (Akbulut ve Dikici, 2014). Hayvansal atıkları, uygun şekilde yönetilmedikleri takdirde çevre için tehlikeli olacak ana organik atıklardan biridir. Hayvan gübresi, yüksek konsantrasyonda azot (N) ve fosfor (P) gibi besin elementlerini içerir ki, bu da besin dengesizliğine ve çevre kirliliğine neden olur. Ayrıca, hayvan gübresi antibiyotikle ve büyüme hormonu ağır metaller gibi bazı zararlı maddelerin kalıntılarını içermektedir. Böylece hayvan gübresindeki mikroorganizmalar çevreyi kirletebilir ve bu da insan hastalıklarının ortaya çıkmasına neden olabilir. Bu bağlamda, hayvan gübresinin bertaraf edilmesinin, hava, toprak ve su kaynaklarını kirleten, çevre üzerinde kirletici etkiye neden olduğu bulunmuştur. Bu nedenle, hayvan gübresi ve bulamaçların anaerobik sindirim süreciyle işlenmesi, biyogaz olarak sürdürülebilir enerji kaynağı üretimi ile kaliteli gübre üretme, kokuların ve mikrobiyal patojenlerin azaltılması gibi faydalı sonuçlara sahiptir (Hol-Nielsen vd., 2009; Gebrezgabher vd., 2010).

Abdeshahian vd. (2016) Malezya'daki çiftlik hayvanı atıklarından biyogaz üretim potansiyeli üzerine yapmış oldukları bir çalışmada hayvan atıklarının kullanılmasının sadece sürdürülebilir yeni ve yenilenebilir enerji üretimi için değil, aynı zamanda uygun atık yönetiminin uygulanması için de yararlı olduğunu belirterek yönetilmeyen hayvan atıklarının çevre üzerindeki potansiyel olumsuz kirletici etkisinin azaltılmasına yardımcı olabileceğini ifade etmişlerdir. Hayvan atıklarından yıllık 4589.49 milyon-m³/yıl biyogaz üretilebileceğini hesaplayarak, bu atıkların biyogaz enerjisi ve elektrik enerjisi üretimi için verimli bir şekilde kullanılacak umut verici düşük maliyetli ve sürdürülebilir enerji kaynağı olduğu kanaatine varmışlardır. Bu gibi teknolojik

uygulamanın değerlendirilmesinde, Tayland, Malezya ve Myanmar gibi bölgedeki birçok gelişmekte olan ülkede yaygın olarak incelendiğini ve bu ülkelerdeki biyogaz üretiminin çoğunun sadece küçük ölçekli operasyonlar olarak yapıldığını ve üretilen biyogazın řu anda pişirme ve aydınlatma için kullanıldığını belirtmişlerdir. [Scarlat vd. \(2018\)](#) de Avrupa bölgesindeki hayvan çiftlikleri için benzer bir çalışma yapmıştır. Bir başka çalışmada, Meksika'daki organik atıklardan biyogaz üretiminin potansiyelini ve enerji üretimi için kullanımını araştırılmış, biyogaz üretim tesisinin inşası için teorik, teknik ve ekonomik potansiyel kapasiteye sahip 391 farklı yer seçimi yapılmıştır ([Rios ve Kaltschmitt, 2016](#)). Bazı başka çalışmalar da organik atıklardan üretilebilecek biyogaz miktarını tahmin edilmiş ve biyogazın enerji üretimi ve ulaştırma sektörleri için enerji gereksinimlerinin sağlanmasına ne kadar katkıda bulunabileceği önerilmiştir ([Cu vd., 2015](#); [Lonnqvist vd., 2015](#); [Uddin vd., 2016](#); [Moreda, 2016](#)).

Biyogaz teknolojisinin, yerel ve kırsal alanlarda enerji ihtiyaçlarının karşılanması, patojenlerin azaltılması, atık kaynaklı koku problemine çözüm sunması, kimyasal gübrelerin yerine, toprak kalite, verim ve yapısını geliştiren işlenmiş organik gübre olarak kullanılabilmesi ve modern teknolojilerle üretilbildiği gibi, organik atıkların bulunduğu bölgelerde ilkel yöntemlerle de üretilerek kullanıma hazır hale getirilebilmesi biyogazı daha değerli hale getirmektedir ([evik, 2016](#); [zer, 2017](#)). Biyogaz, hemen hemen her türlü organik maddenin anaerobik sindiriminden kaynaklanan yenilenebilir bir enerji kaynağını temsil eder. Hayvan gübresi anaerobik sindirimde büyük bir metan üretim potansiyeline sahip olduğundan biyogaz üretiminde en yaygın kullanılan organik maddelerden biridir ([Agayev ve Ugurlu, 2011](#)). Türkiye, önemli biyogaz potansiyeline sahip ülkelerden biridir. Bununla birlikte, hayvan atıklarının biyogaz üretimi için hammadde olarak kullanımını sadece birkaç yerde uygulanmakta ve kapasite řu anda yetersiz kullanılmaktadır. Türkiye'de hayvancılık yönetimi henüz istenen seviyelere ulaşmamıştır.

Türkiye'de küçük ölçekli çiftlik hayvanlarının yaygınlığı, sağlam bir yönetim sistemi kurmak ve biyogaz üretimi için geri kazanılan hayvan gübresi miktarını artırmak için önemli engellerden biridir. Türkiye 81 ilden oluşmaktadır ve her ilin farklı sosyal ve ekonomik yapıları vardır. Tarım, lke ve Türkiye'deki birçok il için hala önemli bir sosyoekonomik faktördür ([Ersoy ve Ugurlu, 2020](#)). Türkiye, 2009 yılından sonra, büyük ölçüde artan

hayvancılık teşviklerinden dolayı hayvan sayısında artış eğilimi yaşamıştır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre, 2015 yılında büyükbaş hayvan sayısı (sığır ve manda) 14.13 milyon iken, küçükbaş hayvan sayısı (koyun ve keçi) büyük geviş getiren hayvanların eğilimine benzer bir artış eğilimi ile 41.92 milyona ulaşmıştır ([TÜİK, 2019](#)).

Türkiye, çok sayıda hayvan iftliği ile önemli bir potansiyele sahip olsa da, bugüne kadar biyogaz üretimi için potansiyel gerçekleşmemiştir. Enerji retimi Türkiye'nin en önemli kalkınma önceliklerinden biri olmakla birlikte, yerli enerji üretimi enerji talebinin%40'ını aşmamıştır ([Demirbas, 2003](#)). Türkiye'de hidroelektrik santralleri, doğal gaz, kömür, linyit, fuel oil ve jeotermal enerji ile ateşlenen termik santraller elektrik üretiminin başlıca kaynaklarıdır ([Capik et al., 2012](#)). Türkiye'deki tüm yenilenebilir enerji kaynaklarından biyoktle enerjisi potansiyeli, güneş enerjisi potansiyelinden sonra yani ikinci sırada yer almaktadır ([Acaroglu and Aydogan, 2012](#)). Son yıllarda, hem küçük hem de büyük ölçekli biyogaz tesisleri için biyogaz teknolojilerinin olgunlaşması ve ekonomik sürdürülebilirlik açısından büyük adımlar atılmaktadır. Türkiye'nin toplam kurulu gücü 2015 yılı sonunda 73.14 GW ([Kilickaplan vd., 2017](#)) ve biyoktle enerjisinin kurulu gücü 344.7 MW'tır, bu da toplam kurulu enerjinin %0.47'sine karşılık gelmektedir. 2016 yılı itibariyle, çoğunlukla belediye depolama alanları ve atık su arıtma tesislerinde bulunan ve sadece 15'inde hayvan gübresi hammadde olarak kullanılan yaklaşık 70 biyogaz enerji tesisi bulunmakta ([EA, 2016](#)) iken řu an 82 biyogaz, biyoktle, atık ısı ve pirolitik yağ enerji santrallerinin toplam kurulu gücü 467.37 MW'dır. Lisanslı biyoktle santrallerinde yine çöpten biyogaz üreten santraller ilk sırada yer almaktadır ([EA,2020](#)).

Türkiye'de hayvancılık, yüksek ekonomik değere sahip olup, biyogaz üretimi için yüksek hayvan gübresi potansiyelini göstermektedir. Türkiye'nin toplam hayvan biyogaz potansiyeli %68 sığır, %5 küçükbaş hayvan ve %27 kümes hayvanlarından gelmektedir ([Avcioglu ve Turker, 2012](#)). Türkiye'nin hayvansal atıklardan bölge, yöre ve işletme bazında elde edilebilecek biyogaz miktarı ve enerji potansiyelini belirleyen birçok çalışma yapılmıştır ([Eryılmaz vd., 2015](#); [İlgar, 2016](#); [zer, 2017](#); [Akyürek, 2019](#); [Yağlı ve Koç, 2019](#)). [zer \(2017\)](#) Ardahan ili için yaptığı çalışmada hayvansal atık ve tahıldan elde edilebilecek enerji potansiyeli belirlemiştir. 2015 yılına ait hayvan popülasyonu ve tarımsal ürünlerin ilçelere göre dağılım verilerini TÜİK'ten almıştır. Her bir gübre

türü, fiziksel ve kimyasal özelliklere bağlı olarak farklı enerji potansiyeline sahip olduğundan farklı gübre türlerinin metan potansiyellerini laboratuvar analizine dayanarak belirlemiştir. Yürük ve Erdoğan (2015) Türkiye İstatistik Kurumunun 2013 yılı verilerini dikkate alarak Düzce ili ve ilçelerinde hayvansal atıklarından biyogaz potansiyelini hesaplamışlardır. Düzce ilinde bulunan 473 tesisin konum bilgilerini elde ederek bu konumlarının hepsine en yakın tesisi bulmak için kümeleme yöntemini kullanmışlardır. Bu tesisleri Matlab’da K-means kümeleme algoritması ile konumlarına göre 5, 6, 7 ve 8 küme sayısına göre kümelemiş ve daha sonra bu kümeler tek bir küme olacak şekilde kümelenecek bir biyogaz tesisinin yaklaşık en iyi konumunu belirlemiştir. Ancak bu konum kapasiteler gözlemlenmeden elde edilen konumdur.

Yapılan çalışmalar ışığında ülke politikaları ve ekonomik sürdürülebilirlik açısından bölgesel biyogaz üretim potansiyelinin araştırılarak, bu potansiyele bağlı olarak elde edilebilecek güç miktarının hesaplanmasının önemli olduğu görülmektedir. Literatürde dünya genelinde herhangi bir ülkenin genel ve şehirler bazında biyogaz üretim potansiyelinin araştırıldığı birçok çalışmaya rastlanmakta iken ülkemiz için kısıtlı sayıda çalışma yapıldığı anlaşılmaktadır. Türkiye’nin genel biyogaz üretim potansiyeli araştırmalarının yanı sıra hayvan sayısı bakımından büyük potansiyele sahip olan şehirlerin de potansiyelinin ayrı ayrı belirlenmesi oldukça önemlidir (Yağlı ve Koç, 2019). Ülkemizde çeşitli illerinin biyogaz potansiyelinin belirlenmesine yönelik birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalarda genellikle Türkiye İstatistik Kurumu’nun (TÜİK) verileri kullanılmıştır (Koçer

ve Kurt, 2013; Yürük ve Erdoğan, 2015; Özer, 2017; Yağlı ve Koç, 2019).

Erzincan ilinde hayvancılık, şehir ekonomisine büyük katkı sağlamaktadır. İldeki hayvansal atık üretim miktarı yüksektir ve etkili yönetim stratejileri gerektirmektedir. Yenilenebilir enerji yatırımcıları biyogaz üretimine özel ilgi göstermektedir ancak Erzincan’da faaliyet gösteren hayvansal atık kaynaklı biyogaz tesisi bulunmamaktadır. Literatürde de Erzincan’ın biyogaz potansiyelini net veriler üzerinden ortaya çıkartan bir çalışmaya rastlayamamış olmamız bizi bu çalışmayı yapmaya yönlendirmiştir. Bu çalışmada, Erzincan ili genelindeki değerlendirilmeyen hayvansal atıkların enerji potansiyelleri belirlenmiş, hayvansal atıkların taşıma mesafeleri göz önünde bulundurularak, uygun tesis kapasiteleri ile bu tesislerin yatırım maliyetleri hesaplanmıştır. Uygun tesis konumu istatistiksel yöntemlerle değil direk hayvan kapasiteleri gözlemlenerek belirlenmiştir.

2. Materyal ve metot

2.1. Biyogaz üretim potansiyelinin belirlenmesi

Erzincan ilinin hayvansal atık kaynaklı biyogaz potansiyelini hesaplayabilmek için alandaki mevcut organik malzeme miktarını tahmin etmek gerekir. Bu sebeple ilk adım olarak hayvan sayıları belirlenmiştir. Hayvan sayıları belirlenirken TÜİK verileri değil, ilçe bazında büyükbaş hayvan sayıları için Erzincan Damızlık Sığır Yetiştiricileri Birliği verileri, küçükbaş ve kanatlı hayvan sayıları için ise Gıda, Tarım ve Hayvancılık İl Müdürlüğü verileri kullanılarak oluşturulmuştur. Buna göre Erzincan merkez ve ilçelerinde bulunan çiftliklerdeki hayvan sayıları Tablo 1’de görülmektedir (Kurnu Seyhan ve Badem, 2018).

Tablo 1. Erzincan merkez ve ilçelerinde bulunan çiftliklerdeki hayvan sayıları

İLÇELER	BÜYÜKBAŞ-2017 Soy+Ön Soy Kütük	KANATLI-2015				KÜÇÜKBAŞ-2015		
		Yumurta	Broiler	Diğer*	Toplam	Koyun	Keçi	Toplam
MERKEZ	24646	430000	135000	1390	566390	119039	2605	121644
İLİÇ	533	1425		90	1515	59022	9424	68446
KEMAH	1435	1500		302	1802	54586	6482	61068
OTLUKBELİ	2363	3400		175	3575	2523	258	2781
TERCAN	15222	5497		2465	7962	87256	4999	92255
REFAHİYE	6208	3000		560	3560	3457	1513	4970
KEMALİYE	324	200		20	220	14125	14349	28474
ÜZÜMLÜ	5213	750	139500	190	140440	40509	800	41309
ÇAYIRLI	8923	3000		750	3750	21610	2161	23771
TOPLAM	64867	448772	274500	5942	729214	402127	42591	444718

*Diğer; Kaz, hindi ve ördek sayılarının toplamını vermektedir.

Bölgedeki işletmelerde kayıtlı olan hayvan sayıları baz alınarak merkez ve ilçelerin yıllık hayvansal atık üretim miktarı ve bu atıklardan elde edilebilecek biyogaz ve metan potansiyelleri hesaplanmıştır. Potansiyel hesaplamalarında yapılan kabul değerleri Tablo 2’de sunulmuştur.

Buna göre merkez ve ilçeler bazında atıklardan üretilebilecek biyogaz, metan ve elektrik miktarlarının dağılımı Tablo 3’te görülmektedir. Erzincan’daki hayvan atıklarından yaklaşık 15.5 milyon m³/yıl biyogaz potansiyelinin üretilebileceği görülmektedir.

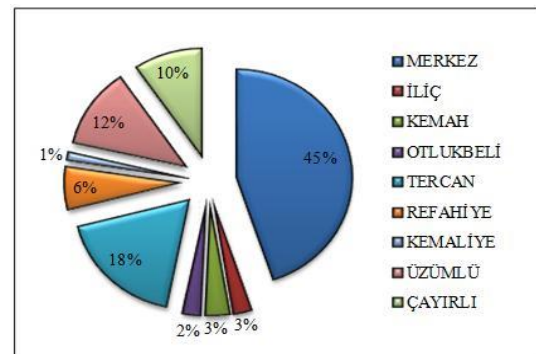
Tablo 2. Potansiyel hesaplamalarında yapılan kabuller

PARAMETRE	DEĞER	BİRİM	Referans
Fermente Gübre Fiyatı	15	USD/ton	SELEDA, 2020
Doğalgaz Birim Fiyatı	0.25	USD/m ³ doğalgaz	BOTAŞ, 2020
Elektrik Birim Fiyatı (YEKDEM)	0.133	USD/kWh elektrik	EPDK, 2020
Euro/USD Paritesi (Nisan, 2020)	1.07	Euro/USD	TCMB, 2020

Tablo 3. Erzincan merkez ve ilçelerindeki biyogaz üretim potansiyeli

İLÇELER	Büyükbaş Atık Miktarı (ton/yıl)	Kanatlı Atık Miktarı (ton/yıl)	Küçükbaş Atık Miktarı (ton/yıl)	Toplam Atık Miktarı (ton/yıl)	Biyogaz Potansiyeli (m ³ /yıl)	Metan Potansiyeli (m ³ /yıl)	Elektrik Üretimi (kWh _e /yıl)	Kurulu Güç (kW _e)	Ton Eşdeğer Petrol (TEP/yıl)
MERKEZ	133812	29503	11544	174860	6956896	4521982	17055108	1947	1466.74
İLİÇ	2894	69	6496	9459	399286	259536	978866	112	84.18
KEMAH	7791	78	5795	13665	504058	327637	1235717	141	106.27
OTLUKBELİ	12830	164	264	13258	387807	252075	950725	109	81.76
TERCAN	82646	321	8755	91722	2 70798	1801019	6792722	775	584.17
REFAHİYE	33706	155	472	34332	983451	639243	2410970	275	207.34
KEMALİYE	1759	10	2702	4471	180012	117008	441307	50	37.95
ÜZÜMLÜ	28303	9618	3920	41841	1845056	1199287	4523229	516	389.00
ÇAYIRLI	48446	160	2256	50862	1483647	964371	3637220	415	312.80
TOPLAM	352187	40078	42204	434469	15511011	10082157	38025864	4341	3270.22

Bu potansiyelin merkez ve ilçelere göre dağılım yüzdesi Şekil 1’de görülmektedir. Erzincan ilinde üretilebilecek biyogaz potansiyelinin %45’i merkezden elde edilebilecek iken, merkezi ikinci sırada %18 oranla Tercan ilçesi takip etmektedir. Kemaliye ilçesi ise %1’lik oranla en az biyogaz üretim potansiyeline sahiptir. Elektrik üretimi doğrudan biyogaz potansiyeline bağlı olduğundan aynı oranlar elektrik üretimi için de geçerli olup Erzincan ilinden yaklaşık 38 milyon kWh_e/yıl’lık elektrik üretimi gerçekleştirilebilir.



Şekil 1. Biyogaz potansiyeli dağılımı

2.2. Biyogaz enerji santralleri için saha seçimi

Hayvansal atık kaynaklı biyogaz tesislerinden; atıklardan üretilen biyogazdan elektrik ve ısı elde edilirken ayrıca yan ürün olarak da gübre elde edilebilmektedir. Böylece atıklar çevresel geri kazanım sağlanarak bertaraf edilmekte ve aynı atıklardan enerji geri kazanımı da sağlanmaktadır. Oluşan biyogaz gaz jeneratörlerinde yakılarak elektrik enerjisine dönüştürülerek, üretilen elektrik lokal alanda kullanılabilirdiği gibi elektrik şebekesine de verilebilmektedir. Biyogazın yanmasıyla oluşan ısı enerjisi de çeşitli uygulama alanlarında kullanılabilir. Her iki çıktı da (elektrik ve ısı) etkin bir şekilde kullanılabilirse tesis ilk yatırım maliyetini kısa sürede geri ödemektedir. Yan ürün olan fermantasyon atıkları ise, tarım işletmecisine yüksek kaliteli gübre olarak satılabilmektedir. Bu fermantasyon atıkları ham haldeki sıvı veya katı çiftlik gübresine kıyasla, bitkiler tarafından daha rahat emilmektedir. Ayrıca ham çiftlik gübresine oranla daha az yakıcı olup genelde kokusuzdur. Hastalık oluşturucu bakteri ve parazitler de üretim sürecinde çok büyük oranda yok olmaktadır (Türker, 2008). Bu özellik kullanılacak olan organik (sıvı fermente) gübrenin ham çiftlik gübresine oranla yaklaşık %10 daha verimli olmasını sağlamaktadır (YEGM, 2020). Bu sıvı fermente gübre, biyogaz tesislerinde oldukça fazla miktarlarda oluşmaktadır. Fazla miktarda oluşmaları sebebiyle doğru bir şekilde yönetilmeleri de ayrıca önem arz etmektedir. Doğru bir atık yönetimi ile hem tarımsal araziler hem de çevre kapsamında uygun bir ürün haline dönüşebilirler (Tufaner, 2013).

Birçok yenilenebilir kaynaktan olduğu gibi, çiftlik hayvanı atıklarının coğrafi konumu üzerinde herhangi bir kontrol yoktur. Bu nedenle, buldukları koşullar göz önüne alındığında, ekonomik olarak faydalanılıp faydalanılmayacağını belirlemek gereklidir (Dangal vd., 2000). Hayvanı atıklarından faydalanılması kanaatine varıldığında biyogaz santralleri için en uygun sahalari bulmak amacıyla biyogaz üretimi için bölgesel farklılıklar dikkate alınarak çeşitli yaklaşım uygulanmaktadır. Potansiyel gaz depolama ve dağıtım sistemi olarak kullanılabilir bir doğal gaz şebekesinin bulunduğu bölgelerde, saha seçim sürecinde temel öncelik, Kernel yoğunluk haritalarının (tanımlı bir arama yarıçapındaki besleme stoku miktarlarına dayalı yoğunluk değerleri haritası) yardımıyla

şebekeye yakın biyokütle kaynağının yüksek kullanılabilirliği olan alanları tanımlamaktır. Doğal gaz şebekesinin yokluğunda ise, biyometanın kullanım noktaları esas olarak şehir merkezlerinde yoğunlaşmaktadır. Bu nedenle, yüksek hammadde temini olan alanlarda biyometan üretilmesinin ve biyometanın tüketici pazarına taşınmasının veya talep noktasına yakın biyometan üretilmesinin ve hammaddenin üretim sahasına taşınmasının daha uygun olup olmadığı düşünülmelidir. Mevcut hammaddenin büyük bir kısmının, digestat (biyogaz üretimi tamamlandığında, yüksek kaliteli bir gübreye dönüştürülen atık) kullanımının da gerçekleştiği kırsal alanlardan kaynaklanması nedeniyle, yüksek hammadde kullanılabilirliğine sahip alanlarda biyometan üretilmesinin daha uygun olduğu varsayılmıştır. Bu nedenle, doğal gaz şebekesi olmayan alanlarda yer seçimi esas olarak biyokütle besleme stokunun mevcudiyetinden kaynaklanmaktadır (Höhn vd., 2014).

Çalışma kapsamında, Erzincan iline ait ilçeler bazında elde edilebilecek enerji potansiyelleri hesaplanmıştır. İlçe bazlı hayvansal atık potansiyelinin, biyogaz enerji santrali kurulumu için ekonomik olmadığı öngörülmesi nedeniyle mesafeler göz önüne alınarak çeşitli senaryolar oluşturulmuştur. Yüksek biyokütle konsantrasyonuna sahip alanlar belirlenerek tasarlanan senaryolar ile, yakın mesafelerde bulunan ilçelerdeki hayvansal atıkların merkezi bir lokasyonda toplanarak tasarlanan tesisin verimli ve ekonomik bir şekilde çalışması hedeflenmiştir. Biyokütle kaynaklarının yüksek kullanılabilirliği dikkate alınarak ilçeler arası mesafeler 3 farklı grup içerisinde ele alınmıştır. Merkezi biyogaz tesislerinde finansal açıdan, taşıma mesafesi son derece önemlidir. Bu sebeple mesafe grupları belirlenerek uzaklık seviye gruplandırılmaları yapılmıştır (Tablo 4). Erzincan ilçeler arası mesafeler tablosu üzerinde seviye göstergelerini de Tablo 5'te görülmektedir.

Tablo 4. Uzaklık Seviyeleri

Lejand	Uzaklık	Mesafeler(km)
	1.seviye	0-25
	2.seviye	26-50
	3.seviye	51-70

Tablo 5. Erzincan ilçeler arası mesafeler tablosu

	MERKEZ	İLİÇ	KEMAH	OTLUKBELİ	TERCAN	REFAHİYE	KEMALİYE	ÜZÜMLÜ	ÇAYIRLI
MERKEZ	0	115	51	139	97	70	151	23	122
İLİÇ	115	0	66	252	210	75	42	136	234
KEMAH	51	66	0	205	163	40	118	89	188
OTLUKBELİ	139	252	205	0	64	213	287	129	29
TERCAN	97	210	163	64	0	171	245	87	47
REFAHİYE	70	75	40	213	171	0	110	97	196
KEMALİYE	151	42	118	287	245	110	0	171	270
ÜZÜMLÜ	23	136	89	129	87	97	171	0	105
ÇAYIRLI	122	234	188	29	47	196	270	105	0

Literatürde birincil enerji girişinin tipik olarak üretilen biyogazın enerji içeriğinin %20-40'ından fazlasını karşılayamayacağı, hammaddenin, enerji dengesi negatif hale gelmeden önce gübre için yaklaşık 200 km ve kesimhane atığı için ise 700 km'ye kadar taşınabileceği bilgileri mevcuttur. Nakliye için mutlak bir üst sınır değerinden bahsedecek olursak, operasyonların net enerji dengesi negatif olduğunda, yani üretilenden daha fazla enerji kullanıldığı zaman bu üst sınır olmalıdır. Gübre ve saman için bu maksimum taşıma mesafesi yaklaşık 200 km olabilir ancak ekonomik olarak mümkün olan mesafe çok daha azdır (Berglund ve Börjesson, 2006). Ayrıca bir başka çalışmada da yüksek nem içeriğine sahip hammaddelerin 20 m³'lük tankerlerde tesisin 10 km'sinden daha fazla bir yarıçapından toplanamadığı, düşük nem içerikli hammaddelerin ise 20 tonluk kapalı kamyonlarda 40 km'lik bir yarıçap içindeki konumlardan toplanabildiği ifade edilmiştir (Dangall vd., 2000, Palm, 2010).

Erzincan ili ve ilçelerinin birbirlerine olan mesafeleri, sahip oldukları atık kapasiteleri ve ekonomiklik göz önüne alınarak maksimum 70 km lojistik taşıma mesafesine sahip 3 farklı biyogaz enerji santrali senaryosu ortaya çıkarılmıştır. Çalışma kapsamında, gruplandırılmalar bazında tesis fizibiliteleleri de yapılarak senaryolar hazırlanmıştır.

3. Bulgular ve tartışma

Hayvansal atıklardan biyogaz enerjisi elde etmek üzere hazırlanan projelerin ilk aşaması, bu sistemden fayda sağlayacak olan bölge halkının

motivasyonu ve projeyi sahipleniciliğidir. Teknik uygulanabilirlik çalışmalarının haricinde aşağıdaki etmenlerden oluşan ekonomik değerlendirmelerin yapılması gerekmektedir (Kaya ve Öztürk, 2012).

- Biyogaz sistemine hayvansal atık sağlayacak yeterli sayıda çiftlik bulunması ve atık miktarının sürdürülebilirliği,
- Fermentasyon sonucunda oluşan (susuzlaştırılmış) fermente gübre olarak kullanım olanağı,
- Anaerobik fermentasyon sonucunda elde edilecek biyogaz (veya elektrik), gübre ve ısının kullanım alanı,
- Sistem boyutları, alan gereksinimi, biyogaz/elektrik, ısı üretme kapasitesi,
- Taşıma giderleri ve lojistik

Belirtilen parametreler göz önünde bulundurularak, Erzincan ili ve ilçeleri kapsamında hayvansal atık kaynaklı 3 farklı biyogaz enerji santrali senaryosu ortaya çıkarılmış ve merkezi sistem biyogaz tesisi fizibiliteleleri üzerine yoğunlaştırılmıştır.

Bu senaryolar;

- Kemah Biyogaz Enerji Santrali
- Çayırılı Biyogaz Enerji Santrali
- Erzincan Merkez Biyogaz Enerji Santrali

şeklinde. Biyogaz enerji santralleri için ilçe seçimi Tablo 5'den faydalanarak gerçekleştirilmiş olup Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6. Biyogaz enerji santralleri için ilçe seçimi

Enerji Santrali Projesi	İlçeler
Kemah Biyogaz Enerji Santrali	İliç, Kemah, Refahiye
Çayırılı Biyogaz Enerji Santrali	Otlukbeli, Çayırılı, Tercan
Erzincan Merkez Biyogaz Enerji Santrali	Merkez, Üzümlü

Kemaliye ilçesinde hayvan sayısının azlığı, hayvansal atık miktarını ve dolayısıyla bu atıklardan elde edilebilecek olan biyogaz enerjisi potansiyelini etkilemektedir. Kemaliye en az potansiyele sahip olan ilçedir. Bu sebeple Erzincan ili ve ilçelerinin birbirlerine olan mesafeleri, sahip

oldukları atık kapasiteleri ve ekonomiklik gözü önüne alınarak oluşturulan 3 farklı biyogaz enerji santrali senaryosu içerisinde Kemaliye ilçesi yer alamamıştır. İlçe gruplandırmalarına göre oluşturulan 3 biyogaz enerji santralinin yerleşimi harita üzerinde Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Biyogaz enerji santrali yerleşimleri

Proje geliştirme giderleri, ilk yatırım maliyeti, işletme ve eğitim giderleri biyogaz enerji santrali üretim sistemi maliyetini oluşturan ana faktörlerdir. Projenin gelir getirmesi beklenen kalemleri ise; üretilen elektriğin satışından beklenen gelir, jeneratörden oluşacak sıcak suyun ekonomik olarak değerlendirilmesi ve anaerobik fermentasyon işlemi sonucu fermente olmuş substraktın gübre veya toprak iyileştirici olarak satışından elde edilebilecek gelirdir. Biyogaz tesisleri için tasarım giderleri, yerleşik kapasiteye bağlı olarak; her kW güç başına 2500-7500 € veya 1 m³ reaktör hacmi başına 250-700 € arasında değişmektedir. Biyogaz tesisleri, tasarım giderlerinin 4-7 yıl içerisinde kendisini amorti etmesi durumunda, ekonomik açıdan uygulanabilir durumdadırlar (Kaya ve Öztürk, 2012). Çalışmada hesaplamalar yapılırken, 5000 Euro/kW_e kurulu güce bağlı yatırım oranı kullanılmıştır.

Belirlenen 3 biyogaz enerji santrali projesi kapsamında bulunan ilçeler ve tasarlanan tesiste elde edilecek atık, biyogaz ve metan miktarları ile elektrik ve ısı üretimlerini içeren fizibilite çalışması Tablo 7'de verilmiştir.

Kemah biyogaz enerji santrali, çalışma bölgesinde hayvansal atıklardan yıllık üretilebilecek biyogaz miktarı 1 886 795 m³ olarak hesaplanmıştır. Kemah biyogaz enerji santralinde üretilecek yıllık elektrik enerjisi miktarı 4 625 554 kWh ve atık ısı enerjisi miktarı ise 4 356 987 122 kcal olarak

hesaplanmıştır. Santralin ilk yatırım maliyeti 2 467 436 USD ve buna göre geri ödeme süresi 4.02 yıl hesaplanmıştır.

Çayırli biyogaz enerji santrali çalışma bölgesinde hayvansal atıklardan yıllık üretilebilecek biyogaz miktarı 4 642 252 m³ olarak hesaplanmıştır. Çayırli biyogaz enerji santralinde üretilecek yıllık elektrik enerjisi miktarı 11 380 667 kWh ve atık ısı enerjisi miktarı ise 10 719 889 091 kcal olarak hesaplanmıştır. Santralin ilk yatırım maliyeti 6 070 855 USD ve buna göre geri ödeme süresi 3.96 yıl hesaplanmıştır.

Benzer şekilde hesaplamalarla Erzincan Merkez biyogaz enerji santrali çalışma bölgesinde, hayvansal atıklardan yıllık üretilebilecek biyogaz miktarı diğer enerji santrali senaryolarına oranla 8 801 952 m³ ile en yüksek biyogaz enerjisi üretiminin gerçekleştirildiği enerji santralini temsil etmektedir. Erzincan Merkez biyogaz enerji santralinde üretilen yıllık elektrik enerjisi miktarı 21 578 337 kWh ve atık ısı enerjisi miktarı ise 20 325 466 955 kcal olarak hesaplanmıştır. Santralin ilk yatırım maliyeti 11 510 656 USD ve buna göre geri ödeme süresi 4.14 yıl hesaplanmıştır.

Gübre getirileri incelendiğinde Kemah biyogaz enerji santralinin 615 199 USD, Çayırli biyogaz enerji santralinin 350 643 USD ve Erzincan Merkez biyogaz enerji santralinin ise 487 577 USD gelir getirisi sağlayacağı görülmektedir.

Tablo 7. Biyogaz enerji santralleri fizibilite alışması

Açıklama	KEMAH BİYOĞAZ ENERJİ SANTRALİ (İliç, Kemah, Refahiye)	ÇAYIRLI BİYOĞAZ ENERJİ SANTRALİ (Otlukbeli, ayırli, Tercan)	ERZİNCAN MERKEZ BİYOĞAZ ENERJİ SANTRALİ (Merkez, Üzümlü)	Birim
Atık ve Biyogaz Üretimi Miktarı				
Büyükbaş Atık	44391	143922	162116	ton/yıl
Kanatlı Atık	302	645	39121	ton/yıl
Küçükbaş Atık	12763	11275	15464	ton/yıl
Biyogaz Üretimi	1 886 795	4 642 252	8 801 952	m ³ /yıl
Metan Üretimi	1 226 417	3 017 464	5 721 269	m ³ /yıl
Elektrik ve Isı Üretimi				
Elektrik Üretimi	4 625 554	11 380 667	21 578 337	kWh _e /yıl
Isı Üretimi	4 356 987 122	10 719 889 091	20 325 466 955	kcal/yıl
Kurulu Güç	528	1299	2463	kW _e
Gelir ve Gider Miktarı				
Elektrik Geliri	615 199	1 513 629	2 869 919	USD/yıl
Gübre Geliri	129 275	350 643	487 577	USD/yıl
Isıl Fayda (doğalgaz eşdeğeri)	132 030	324 845	615 923	USD/yıl
Toplam Gelir	876 503	2 189 117	3 973 419	USD/yıl
Toplam Gider	262 951	656 735	1 192 026	USD/yıl
Net Gelir	613 552	1 532 382	2 781 393	USD/yıl
Yatırım Miktarı				
Yatırım	2 467 436	6 070 855	11 510 656	USD
Geri Ödeme Süresi	4.02	3.96	4.14	yıl
Yatırım Oranı	4673	4673	4673	USD/kW _e

4. Tartışma ve sonuçlar

Nüfusun hızlı büyümesi nedeniyle, ölkemiz řu anda iki zorlukla karşı karşıyadır; gelecekteki kullanılabilir enerji ve atık yönetiminin güvenliğini sağlamak. Böylece yenilenebilen enerji kaynakları araştırma konusuna olan ilginin artmasıyla birlikte kullanım alanları artmakta ve kapasiteleri büyümektedir. Bu zorlukların üstesinden gelmenin en iyi yollarından birisi de temiz alternatif enerji üretimi için anaerobik sindirim gibi enerji teknolojilerine yönelik atıkların biyokütle santrallerinde işlenerek biyogaz şekline dönüştürülmesidir. Biyokütle santralleri ile elektrik, ısı ve biyoyakıt üretimi gibi ana ürünlerden gelir sağlanabildiğ gibi bunlara ek olarak proses sırasında elde edilen yan ürünlerin (organik gübre vb.) pazarlanması veya bu ürünlerin prosese tekrar dahil edilmesi ile de yatırımcılara ek gelir sağlanabilmektedir (Deloitte, 2020).

Sürdürülebilir çevre anlayışı ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı bakımından merkezileştirilmiş biyogaz santralleri ölkemiz için büyük önem taşımaktadır. Bu, enerjide dışa bağımlılığın azaltılmasına, yenilenebilir enerji üretimine teşvik edilmesine, daha yaşanılır mekânların oluşturulmasına katkıda bulunacaktır. Bu konudaki uygulamalarla yatırımların yapılmasına, araştırma ve geliştirme faaliyetlerine önem verilmelidir (Öztürk, 2017; Tolay vd., 2008). Ölkemizde yeni kanuni düzenlemelerle yenilenebilir enerji kaynaklarını kullananlara teşvik ve destekler sağlanmakta ve özendirici çalışmalar devam etmektedir. Ölkemizde bu anlamda yapılan çalışmaların sayısı arttıkça başarıyı etkileyen olumsuzluklar daha net bir şekilde ortaya çıkacak ve bu şekilde başarı kriterleri belirlenerek ileride yapılacak biyogaz tesisi projelerinin başarı seviyesi de artacaktır.

Çalışmada Erzincan ilinin hayvansal atıklarından üretilebilecek biyogaz potansiyeli belirlenip (yaklaşık 15.5 milyon m³/yıl), konum kapasiteleri ve taşıma mesafeleri de göz önünde bulundurularak, 3 farklı biyogaz tesis senaryosu oluşturulmuş, uygun tesis kapasiteleri ile bu tesislerin yatırım maliyetleri hesaplanmıştır. Buna göre, 528 kW_e kurulu gücü ile Kemah (İliç, Kemah, Refahiye), 1299 kW_e ile Çayırılı (Otlukbeli, Çayırılı, Tercan) ve 2463 kW_e ile Erzincan Merkez (Merkez, Üzümlü)'de Biyogaz Enerji Santrallerinin kurulabileceği görülmüştür. Her bir tesis için gerekli olan yatırımın geri ödeme süresi ise yaklaşık 4 yıldır. Bölgede, küçük boyutlarda olmak üzere, önerilen sayıdan daha fazla sayıda biyogaz tesisi kurmak da mümkündür.

Ekonomik açıdan bakıldığında, düşük yatırım maliyetleri, artan verimlilik, sistemin kolay kontrolü ve işletme ve bakımda basitlik ile biyogaz tesislerinin tasarımı Erzincan'da biyogaz üretimini artıracak, böylelikle ulusal şebekeye daha fazla elektrik gücü sağlanabilecektir.

Bu çalışma, hayvan atıklarının Erzincan' da biyogaz enerjisi ve elektrik enerjisi üretimi için verimli bir şekilde kullanılabilir ümit vaat eden düşük enerji tüketimine sahip sürdürülebilir enerji kaynağı olduğunu göstermektedir. Biyogaz üretim teknolojisinin enerji üretiminden başka yan ürün olarak organik gübre çıktısı ve çevreye olan olumlu etkileri de Erzincan iline sağlanacak en önemli katkılar arasındadır. Ayrıca, ileride inşa edilebilecek belirli sayıda biyogaz tesisine en uygun yerleri tanımlamak için hazırlanabilecek spesifik bölgesel planlama süreçlerine de ışık tutacak bir çalışmadır.

Kaynaklar

Abdeshahian, P., Lim, J. S., Ho, W. S., Hashim, H. and Lee, C. T. (2016). Potential of biogas production from farm animal waste in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 714–723, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.117>.

Acaroglu, M. and Aydogan, H. (2012). Biofuels energy sources and future of biofuels energy in Turkey. *Biomass Bioenergy*, 36, 69–76, <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.10.004>.

Achinas S., Achinas V. and Euverink G.J.W. (2017). A Technological Overview of Biogas Production from Biowaste. *Engineering*, 3(3), 299-307, <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.03.002>.

Agayev, E. and Ugurlu, A. (2011). Biogas production from co-digestion of horse manure and waste sewage sludge. *Technical Proceedings of the*

2011 NSTI Nanotechnology Conference and Expo, NSTI-Nanotech, 3, 657-660.

Akbulut A. and Dikici A. (2004). Elazığ ili'nin biyogaz potansiyeli ve maliyet analiz. *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları Dergisi*, 2(2), 36-41.

Akyürek Z. (2019). Energy Recovery From Animal Manure: Biogas Potential of Burdur, Turkey. *Eskişehir Technical University Journal of Science and Technology A-Applied Science and Engineering*, 20(2), 161-170.

Ar F.F. (2018). Ottan Çöpten Enerji. *Enerji ve Çevre Dünyası Dergisi*, 143, 24-27.

Avcioğlu O. and Turker U. (2012). Status and potential of biogas energy from animal wastes in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 1557-1561, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.11.006>.

Berglund, M. and Börjesson P. (2006). Assessment of energy performance in the life-cycle of biogas production. *Biomass and Bioenergy*, 30, 254-266, <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2005.11.011>.

BOTAŞ- Boru Hatları İle Petrol Taşıma Anonim Şirketi. (2020, 27 Mayıs). Erişim adresi www.botas.gov.tr/Sayfa/2020-yili-mayis-ayi-dogal-gaz-toptan-satis-fiyat-tarifesi/494.

Capik, M., Yilmaz, A.O. and Cavusoglu, I. (2012). Present situation and potential role of renewable energy in Turkey. *Renewable Energy*, 46, 1–13, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.02.031>

Cu T.T.T., Nguyen T.X., Triolo J.M., Pedersen L., Le V.D., Le P.D. and Sommer S.G. (2015). Biogas production from Vietnamese animal manure, plant residues and organic waste: influence of biomass composition on methane yield. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 28(2), 280-289, <https://doi.org/10.5713/ajas.14.0312>.

Çevik, A. (2016). *Çanakkale ilindeki Hayvansal Atıkların Biyogaz Potansiyelinin Değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Çanakkale.

Dagnall S., Hill J. and Pegg D. (2000). Resource mapping and analysis of farm livestock manures—assessing the opportunities for biomass-to-energy schemes. *Bioresource Technology*, 71, 225-234, [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)00076-0](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00076-0).

Deloitte: Biyokütlenin altın çağı. (2020, 27 Mayıs). Erişim adresi www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/tr/Documents/energy-

resources/Biyok%C3%BCTlenin%20alt%C4%B1n%20%C3%A7a%C4%9F%C4%B1Sonnn.pdf

- Demirbaş, A. (2011). Competitive liquid biofuels from biomass. *Applied Energy*, 88(1), 17-28, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.07.016>.
- EA-Enerji Atlası. (2020, 27 Mayıs). Erişim adresi <https://www.enerjiatlası.com/biyogaz/>.
- Ekpeni, L.E.N., Benyounis, K.Y., Ekpeni, F. N., Stokes, J. and Olabi, A. G. (2014). Energy diversity through renewable energy source (RES) – A case study of biomass. *Energy Procedia*, 61, 1740 – 1747.
- EPDK- Enerji Piyasası Dzenleme Kurumu. (2020, 27 Mayıs). Erişim adresi www.epdk.gov.tr/Detay/DownloadDocument?id=Hqo87qC1k6Q.
- Ersoy E. and Ugurlu A. (2020). The potential of Turkey's province-based livestock sector to mitigate GHG emissions through biogas production. *Journal of Environmental Management*, 255, 109858, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109858>.
- Eryılmaz T., Yesilyurt M.K., Gokdogan O. and Yumak B. (2015). Determination of biogas potential from animal waste in Turkey: A case study for Yozgat province. *European Journal of Science and Technology*, 2(4), 106-111.
- Gebrezgabher S.A., Meuwissen M.P.M., Prins.B.A.M. and Lansink A.G.J.M.O. (2010). Economic analysis of an aerobic digestion – a case of green power biogas plant in The Netherlands. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 57, 109-115.
- Gürdil G.A.K., Baz Y.., Demirel . and Demirel B. (2015). Yakıt peleti ve briketi için güncellenmiş avrupa birliği standartları ve ilgili parametreler. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 29(2), 147-156.
- Hol-Nielsen J.B., Al-Seadi T. and Oleskowicz P. (2009). The future of anaerobic digestion and biogas utilization. *Bioresource Technology*, 100, 5478–5484, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.07.005>.
- Höhn, J., Lehtonen, E., Rasi, S. and Rintala, J. (2014). A geographical information system (GIS) based methodology for determination of potential biomasses and sites for biogas plants in southern Finland. *Applied Energy*, 113, 1-10.
- Ilgar R. (2016). A study for determination of biogas potential in Çanakkale, Assets by Animals. *Eastern Geographical Review*, 35, 89-106.
- Kaya, D. ve Öztürk, H. H. (2012). *Biyogaz Teknolojisi retim – Kullanım - Projeleme*. İstanbul: Umuttepe yayınları.
- Kilickaplan, A., Bogdanov, D., Peker, B., Caldera, U. and Aghahosseini, A. (2017). An energy transition pathway for Turkey to achieve 100% renewable energy powered electricity, desalination and non-energetic industrial gas demand sectors by 2050. *Solar Energy*, 158, 218–235, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.09.030>.
- Kurnu Seyhan A. ve Badem A. (2018). Erzincan ilindeki hayvansal atıkların biyogaz potansiyelinin araştırılması. *Akademik Platform Mhendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 6(1), 25-35.
- Lonnqvist T., Sanches-Pereira A. and Sandberg T. (2015). Biogas potential for sustainable transport e a Swedish regional case. *Journal of Cleaner Production*, 108, 1105-1114, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.036>.
- Moreda L. (2016). The potential of biogas production in Uruguay. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 1580-1591, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.099>.
- Nacar Koçer N. ve Kurt G. (2013). Malatya'da hayvancılık potansiyeli ve biyogaz retimi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 17(1), 1-8.
- Özer B. (2017). Biogas energy opportunity of Ardahan city of Turkey. *Energy*, 139, 1144-1152, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.07.052>.
- Öztürk, H. (2012). *Enerji Bkileri ve Biyoyakıt retimi*. İstanbul: Hasad Yayıncılık.
- Öztürk, M. (2017). *Hayvan Gübresinden Biyogaz retimi*. Ankara: T.C. evre ve Őehirlik Bakanlığı.
- Palm R. (2010). *The economic potential for production of upgraded biogas used as vehicle fuel in Sweden*. Technical report no FRT 2010:03, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden. Erişim adresi <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/126342.pdf>
- REN21 (2019). *Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, Global Status Report*, Paris. Erişim adresi <https://www.ren21.net/reports/global-status-report/>
- Rios M. and Kaltschmitt M. (2016). Electricity generation potential from biogas produced from organic waste in Mexico. *Renewable and*

- Sustainable Energy Reviews*, 54, 384-395, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.033>.
- Scarlat, N., Fahl, F., Dallemand, J. F., Monforti, F. and Motola, V. (2018). A spatial analysis of biogas potential from manure in Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 94, 915-930, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.06.035>.
- SELEDA-Seleda Gübre. (2020, 27 Mayıs). Erişim adresi www.seleda.com.tr.
- TCMB-Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası. (2020, 27 Mayıs). Erişim adresi www.tcmb.gov.tr/kurlar/kurlar_tr.html.
- Tolay, M., Yamankaradeniz, H., Yardımcı, S. and Reiter, R. (2008). Hayvansal atıklardan biyogaz retimi. *2008 VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu (UTES)* (ss.259-264). İstanbul.
- Tufaner F., Avşar Y., Dere T. ve Gönüllü T. (2013). Türkiye'de biyogaz tesisi projelerinde başarı ve başarısızlık nedenlerinin analizi ve merkezi biyogaz tesislerinin nemi. *2013 I. Ulusal Kompost ve Biyogaz alıştayı*. Antalya.
- TUİK-Türkiye İstatistik Kurumu hayvan istatistikleri. (2020, 27 Mayıs). Erişim adresi <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn%C2%BC101&locale%C2%BCtr>.
- Türker M. (2008). *Anaerobik Biyoteknoloji ve Biyoenerji retimi*. İzmir: evkor Vakfı Yayınları.
- Uddin W., Khan B., Shaukat N., Majid M., Mehmood A., Ali S.M., Younas U., Anwar M., Muġtaba G. and Almeshal A.M. (2016). Biogas potential for electric power generation in Pakistan: A survey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 25-33, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.083>.
- Yaĭlı H. ve Koç Y. (2019). Hayvan gübresinden biyogaz üretim potansiyelinin belirlenmesi: Adana ili örnek hesaplama. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(3), 35-48.
- YEGM-Yenilenebilir Enerji Genel Mdrlĭ. (2020, 27 Mayıs). Erişim adresi <http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/biyogaz.aspx>.
- Yrk F. ve Erdoĭmuř P. (2015). Düzce ilinin hayvansal atıklardan üretilen biyogaz potansiyeli ve K-Means kümeleme ile optimum tesis konumunun belirlenmesi. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 4(1), 47-56.