



THE POTENTIAL OF BIOGAS PRODUCTION AS A BIOFUEL FROM CATTLE MANURE IN TURKEY AND PROJECTED IMPACT ON THE REDUCTION OF CARBON EMISSIONS FOR 2030 AND 2053

M. Raşit Atelge*¹ 

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Siirt University, 56100 Siirt, Turkey

Abstract

Original scientific paper

With the increasing population in the world, the energy demand is increasing with the same trend. Researchers have been motivated to figure out renewable energy sources to meet this increase energy demand because fossil fuels are limited and they emit harmful gases to the environment during their conversion. Biogas is one of the renewable energy sources and besides producing a renewable energy source by converting waste into energy, it also contributes to reducing the gases that will be released into the atmosphere by the disposal of waste. In this study, the anaerobic digestion (AP) process was applied to cattle manure as a feedstock for biogas production. By performing biochemical methane potential test under mesophilic conditions ($37^{\circ}\text{C} \pm 1$), specific biogas and methane productions were obtained as 236 ± 15 mL Biogas/g VS and 133 ± 3 mL CH_4/g VS. Biogas production potential from cattle manure, which is related to the number of cattle in 2018 across Turkey, was calculated by using experimental results. When this potential converted into electricity, a possible decrease of the greenhouse gas emulsion was calculated in million tons of CO_2 equivalent. It has been demonstrated that if this potential energy is produced by using biogas instead of coal, the emission of 23.26 million tons of CO_2 equivalent gas to the atmosphere would be reduced. In addition, using the ARIMA model, the potential for biogas production from cattle manure was estimated for 2023, 2030, and 2053. According to the ARIMA model, when converting the potential biogas to be produced into electrical energy, and reducing the use of coal for electricity generation, a reduction in gas emulsion emissions of 32.62 million tons of CO_2 equivalent for 2023, 44.22 million tons of CO_2 equivalent for 2030, and 70.74 million tons of CO_2 equivalent for 2053 were estimated.

Keywords: Biogas, Cattle manure, prediction of electricity production from biogas, reduction of CO_2 emission.

TÜRKİYE'DE SIĞIR GÜBRESİNDEN BİYOKAYIT OLARAK BİYOGAZ ÜRETİMİNİN POTANSİYELİ VE 2030 VE 2053 YILLARINDA KARBON EMİSYONLARININ AZALTI MASINA ÖNGÖRÜLEN ETKİSİ

Özet

Orijinal Bilimsel Makale

Dünyadaki artan nüfus ile birlikte enerji talebi de aynı eğilimle artmaktadır. Artan enerji talebini karşılamak için fosil yakıtlarının sınırlı olması ve yakılması sonucu çevre sorunlarına neden olmaları, araştırmacıları yenilenebilir enerji kaynaklardan bu talebin karşılanması için motive etmektedir. Biyogaz, yenilenebilir enerji kaynaklarından olup atıkların enerjiye çevrilmesiyle yenilenebilir enerji kaynağı üretmenin yanı sıra atıkların bertaraf edilmesiyle atmosfere salınacak gazların azaltılmasında da katkı sağlamaktadır. Bu çalışmada, biyogaz üretimi için besin kaynağı olarak sığır gübresi kullanılarak anaerobik parçalama (AP) işlemi uygulanmıştır. Mezofilik şartlarda ($37^{\circ}\text{C} \pm 1$) biyokimyasal metan potansiyeli testi yapılarak, spesifik biyogaz ve metan üretimi 236 ± 15 mL Biyogaz/g VS ve 133 ± 3 mL CH_4/g VS olarak elde edilmiştir. Deneysel çalışma sonuçları 2018 yılı Türkiye genelindeki sığır sayısı ile ilişkilendirilerek Türkiye'deki sığır gübresinden biyogaz üretim potansiyeli hesaplanmıştır. Bu potansiyelin elektrik enerjisi üretiminde kullanılmasıyla milyon ton CO_2 eşdeğerinde sera gazı emülsiyonundaki azalma belirlenmiştir. Potansiyel bu enerjiyi kömür kullanımı yerine biyogaz kullanılarak üretilmesi durumunda 23,26 milyon ton CO_2 eşdeğerinde gazın atmosfere salınımının azaltılacağı ortaya konmuştur. Ayrıca, ARIMA model kullanılarak 2023, 2030 ve 2053 yılları için sığır gübresinden biyogaz üretimi potansiyeli tahminlenmesi yapılmıştır. ARIMA modeline göre, üretilecek potansiyel biyogazın elektrik enerjisine dönüştürülmesi ve elektrik üretimi için kömür kullanımının azaltılmasıyla birlikte 2023 yılı için 32,62, 2030 yılı için 44,22 ve 2053 yılı için 70,74 milyon ton CO_2 eşdeğerinde gaz emülsiyonu salınımında azalma tahmin edilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Biyogaz, sığır gübresi, biyogazdan elektrik üretimi tahmini, CO_2 emisyonunda azalma.

* Corresponding author.

E-mail address: rasitatelge@siirt.edu.tr (M.R. Atelge)

Received 21 April 2021; Received in revised form 28 May 2021; Accepted 05 June 2021

2587-1943 | © 2021 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.923792>

1 Giriş

Dünya nüfusu 2000 ile 2019 yılları arasında yıllık %1 – 2 arasında artarak, 2019'da 7,71 milyara ulaşmıştır [1]. Artan dünya nüfusu ile küresel enerji tüketiminin 2017'de yaklaşık 600 katrilyon BTU iken, 2040'ta 739 katrilyon BTU'ya yükseleceği tahmin edilmektedir [2]. Küresel enerji tüketimi; fosil yakıtlar, nükleer enerji, geleneksel biyokütle ve modern yenilenebilir enerji teknolojileri olmak üzere dört ana kaynaktan elde edilmektedir [3]. 2017 yılında üretilen toplam enerjinin %79,7'si fosil yakıtlardan, %2,2'si nükleer enerji santrallerinden, %7,5'i geleneksel biyokütle kaynaklarından ve %10,6'sı ise modern yenilenebilir enerji teknolojilerinden elde edilmiştir [3]. Bu nüfus artışı ile artan enerji talebi, küresel ısınma, ulusal enerji güvenliği ve yıllarca doğal kaynak tüketiminin sürekli artış trendi ile ilgili doğal kaynaklardaki azalma endişelere neden olmuştur. Bu sorunlar, insanlığa biyorafineri yöntemi ile doğal kaynakların verimli bir şekilde kullanılması yönünde itici bir güç oluşturmuştur. Biyorafineri, atık malzemelerin değer katmak ve çevre dostu bir şekilde biyo ürün ve biyoyakıt üretmek için değerli bir kaynak olarak kullanılabilir [4]. Biyorafineri ile üretilen biyoenerji, 2015 yılında dünya enerji tüketiminin %8,9'unu sağlarken, bu tüketimin %10,35'i diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmıştır [5]. Bu olumlu gelişmelere rağmen dünya enerji ihtiyacının karşılanmasında hala fosil yakıtlar birinci sıradadır. Fosil yakıtların yaygın kullanımı, küresel ısınma gibi uzun vadeli çevresel risklere neden olmaktadır. Küresel ısınmaya en önemli katkı, birçok yanma kaynağından gelen karbondioksit (CO₂) emisyonudur.

Avrupa Çevre Ajansı tarafından yakın zamanda yayınlanan rapora göre, 1980 ile 2013 yılları arasında küresel ısınmayla ilgili aşırı hava olaylarının (kuraklık, sel gibi), Avrupa Birliğine (AB) 400 milyar Euro'luk bir maliyetinin olduğunu bildirmiştir [6]. Bu olumsuz etkileri azaltmak için AB, 2030'da iklim ve enerji hedefleri arasında; sera gazı emisyonlarında 1990 yılına göre %40 azalma, yenilenebilir enerji kurulu kapasitesini tüm AB enerji arzının %27'sini karşılayacak seviyeye çıkarma ve enerji verimliliğinde %27 iyileşme yer almaktadır [7, 8]. Biyorafineri yöntemlerinden biri olarak kabul edilen biyogaz üretimi, enerji taşıyıcısı olarak esnekliği ve depolana bilirliliği, üretiminde kullanılabilen çok çeşitli biyolojik kaynaklar ve geniş bir uygulama yelpazesine sahip olması (ısıtma, ulaşım ve elektrik üretimi) nedeniyle bu enerji hedeflerine ulaşmada önemli bir rol oynaması beklenmektedir [9].

Biyogaz üretiminde anaerobik parçalama (AP) uygulaması, teknolojisi ve tasarımı bakımından olgunlaşmış bir yöntem olduğundan dolayı biyoenerji üretim yolu olarak yaygın kullanılmaktadır [9]. AP işlemi birçok amaca eşzamanlı olarak hizmet etmektedir. Birincisi, karmaşık moleküllere sahip organik atıkları metan (CH₄) ve CO₂ gibi enerji sektöründe kullanılabilir basit moleküllere dönüştürecek bir arıtma platformu sağlar. İkincisi, AP sürecinden enerjinin yani sıra çıkan besin açısından zengin parçalama ürünü, kimyasal gübre yerine organik gübre olarak kullanılabilir [10]. Ayrıca AP işlemi, coğrafi şartlardan bağımsız olması

diğer bir avantajıdır [11, 12]. Biyogaz teknolojisi ayrıca yerel enerji ihtiyacının karşılanması, atıkların kokusunu ve patojenlerin azaltılmasını sağlamaktadır. Biyoenerji, petrol, gaz ve kömürün sırasıyla biyoyakıtlar, biyogaz ve biyokütle ile değiştirilebildiği fosil yakıtlara tek doğrudan alternatiftir [13].

Türkiye, enerji kaynağı olarak değerlendirilebilecek önemli bir biyokütle potansiyeline sahiptir. Türkiye'nin yıllık biyokütle enerji potansiyeli 32,6 Mtoe iken, toplam geri kazanılabilir 17,2 Mtoe olarak tahmin edilmiştir [14]. Aynı çalışmada hayvancılıktan yıllık yaklaşık 39,79 milyon ton sığır, 26,62 milyon ton koyun ve keçi ve 5,36 milyon ton kümes hayvanı gübresi olmak üzere 71,77 milyon ton hayvan gübresi üretildiği bildirilmiştir. Türkiye'de hayvan gübresinin çoğu kontrolsüz depolanır veya sadece ısınma amacıyla doğrudan yakılmakta, bu da gübrenin kalitesinin düşmesine, enerjinin çoğunun kaybına neden olmaktadır [15]. Türkiye'de biyokütle kullanımı sürdürülebilir enerji arzı, enerji güvenliği ve sera gazı emisyonlarının azaltılması açısından önemlidir.

Türkiye %70'in üzerinde enerjisinin ithal eden, enerji ithalatçısı bir ülke durumundadır. Bu yüzden, elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının artırılması güncel enerji politikası konularından biridir [16]. Yenilenebilir enerji politikaları, yenilenebilir enerji sistemleri için teşvikler içermektedir ve 2023 yılına kadar toplam elektrik arzının en az %30'unun yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması hedeflenmektedir [16]. 2019 yılı itibarıyla, yenilenebilir enerji ve atıklardan elektrik enerjisi üretiminin oranı %43,9'a ulaşmış ve bu hedef gerçekleşmiştir [17]. Ancak bu oranda en büyük pay %63,6 ile hidroelektrik santrallerine aittir [1]. Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretim oranının, ilerleyen yıllarda artırılmak istendiğinde ve 2053 yılında sıfır emisyon salımı hedefine ulaşmak istendiğinde biyogaz üretimine verilmesi gereken önem ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, Türkiye'nin sera gazı emisyonlarını azaltma ve yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretim oranlarının yükseltilmesi amacıyla hayvan gübresinden, biyogaz üretme potansiyelini gösterecek bir veri elde etmektir. Ayrıca ülkenin kalkınma planları doğrultusunda, 2030 ve 2053 yıllarında bu potansiyelin ulaşabileceği büyüklük hakkında otoregresif entegre hareketli ortalama (ARIMA) modeli ile tahminleme yapmak ve bir yol haritası oluşturulması için katkıda bulunmaktır. Bu çalışmanın sonuçları, ülkenin organik atık yönetimine ve biyogaz üretimine, enerji arz güvenliğine ve doğal gaz bağımlılığın azaltılmasına katkı sağlayacaktır. Değerlendirilen potansiyel, Türkiye'deki enerji planlamasında biyogazın dikkate alınması için veri sağlayacaktır. Bu çalışmanın bulguları, politikacılara ve yatırımcılara ülkenin biyoenerji potansiyelini kullanmaları için yol gösterici olacaktır.

2 Materyal ve Metot

Bu çalışma, Türkiye'deki sığır gübresinden biyogaz üretim potansiyelini ve üretilen biyogazın standart yakma sistemi ile elektriğe dönüştürülmesini ve enerji potansiyelini ortaya koymaktır. Ayrıca, bu biyogaz potansiyelinden üretilen elektriğin miktarının elde edilmesi için buna karşılık gelen enerjinin kömür

kullanılarak elektrik üretilmesindeki kömür kullanımının azaltılması durumunda sera gazı salınımı ve bu salınımdaki potansiyel azalmayı göstermektedir. Ülke genelinde, nüfus bilgileri, sığır sayısı, toplam sera gazı emisyonları ve net elektrik enerjisi tüketimi içeren 2008 – 2018 arasındaki Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verileri Tablo 1’de sunulmuştur [17].

2.1 Hammadde ve Karakterizasyon

Anaerobik parçalanma (AP), organik hammaddelerin oksijensiz bir ortamda biyolojik olarak ayrışması işlemidir. Bu süreçte, enerji olarak biyogaz ve parçalamaya artığı elde edilmektedir. Biyogaz esas olarak CH₄ ve CO₂’den oluşmaktadır. Hammadde içindeki kimyasal bağ enerjisi, bir AP süreci boyunca neredeyse sabittir ve sadece CH₄ formunda değişir [18]. Bir hammaddenin AP’de kullanılabilirliğini ortaya çıkarmak için bazı karakterizasyonların yapılması gerekmektedir. Hammadde olarak seçilen bir maddenin içerisindeki su oranını belirleme analizine toplam katı (*Total Solid* (TS)) analizi denilmektedir. Belirli bir miktar alınan hammadde 103-

105°C sıcaklıktaki fırında 24 saat tutularak içerisindeki tüm suyun uzaklaştırılması sağlanarak belirlenir. Uçucu katı (*Volatile Solid* (VS)) analizi ise numunenin önce 220 °C’de 30 dakika, daha sonra 550 °C’de 2 saat boyunca bir kül fırınında yakılmasıyla hesaplanır [19]. Bu analiz ile örnek içerisindeki tüm organik içerik uzaklaştırılmış olur. Biyogaz üretiminde VS içeriği TS içeriği kadar önemlidir, çünkü bir numunenin biyogaza dönüştürülebilir kısmını temsil eder. Bu çalışmada kullanılan sığır gübresinin TS ve VS değerleri Tablo 2’de sunulmuştur.

Yapılan çalışmanın genelleştirilebilmesi için günlük hayvan başına üretilen gübre miktarının belirlenmesi gerekmektedir. Sığır gübresinin niteliği ve miktarı, hayvanın cinsine, yem türüne, hayvan vücudunun büyüklüğüne, üreme türüne ve hayvanların yaşam ortamına bağlı olarak değişebilmektedir [20]. Bu nedenle gübreden üretilen biyogaz ve metan miktarlarında farklılıklar olabilir. Çeşitli çalışmalarda kullanılan hayvan başına üretilen gübre miktarı Tablo 3’te verilmiştir. Bu çalışma için seçilen değer ise bunların aritmetik ortalaması olarak kabul edilmiştir.

Tablo 1. 2008 – 2018 arasındaki nüfus, sığır sayısı, sera gazı salınımları ve net elektrik tüketimi verileri [17]

	Nüfus (kişi)	Sığır Sayısı (adet)	Toplam Sera gazı emisyonları (milyon ton CO ₂ eşdeğeri)	Net Elektrik Tüketimi (GWh)
2008	71517100	10946239	387,6	161948
2009	72561312	10811165	395,6	156894
2010	73722988	11454526	398,9	172051
2011	74724269	12483969	427,8	186100
2012	75627384	14022347	447,3	194923
2013	76667864	14532848	439,3	198045
2014	77695904	14345223	458,4	207375
2015	78741053	14127837	472,6	217312
2016	79814871	14222228	497,7	231203,7
2017	80810525	16105025	523,8	249022,6
2018	82003882	17220903	520,9	258232

Tablo 2. Kullanılan sığır gübresinin ve aşının TS ve VS değerleri

	Sığır Gübresi	Aşı
TS (%)	21,75	4,25
VS (%)	18,25	2,35

Tablo 3. Hayvan başına günlük üretilen gübre miktarı

Çalışmalar	Sığır Gübresi (kg/gün)	Referanslar
Abdeshahian ve ark.	22,5	[21]
Avcıoğlu ve ark.	10 – 20	[20]
Noorollahi ve ark.	6,1	[22]
Bu çalışma	14,5	

2.2 Biyokimyasal Metan Potansiyeli (BMP) Testi

Biyokimyasal metan potansiyeli (BMP) testi, bir hammaddenin metan verimi, biyolojik bozunabilirliği ve inhibisyon olasılığı hakkında bilgi verir. Bu test, EN 11734, VDI 4630 ve DIN 38 414 (S8) gibi standartlara göre yapılmaktadır. Bilinmeyen bir hammaddenin özelliklerini belirlemek için BMP testi Braun (DIN 38 414 (S8)) tarafından basitleştirilmiştir [23]. BMP testi için DIN 38 414 (S8) standartları takip edilerek, kesikli reaktör olarak 100 mL kaplar kullanılmıştır. Tartılarak ağırlığı tayin edilen bilinmeyen hammadde ve aşı, reaktörde karıştırılmıştır. Çürütücü reaktörü kapatmadan önce

anaerobik bir ortam oluşturmak için azot gazı ile ortamdaki oksijen uzaklaştırılmıştır. Reaktör olarak kullanılan kaplar, mezofilik (37°C±1) şartlar oluşturulması için etüv cihazına yerleştirilmiştir. Üretim 49 gün boyunca günlük olarak izlenmiş ve günlük biyogaz üretimi, toplam biyogaz üretiminin %1’inden daha az olduğunda test sonlandırılmıştır [24]. Bilinmeyen bir hammadde için, doğru BMP test sonuçları için üç numune hazırlanmıştır. Benzer şekilde, sonucu karşılaştırmak için boş (sadece aşı) örnekler için üç numune kullanılmıştır. Elde edilen zamana karşılık metan üretiminden elde edilen eğriler kullanılarak Denklem 1 (modifiye edilmiş Gompertz modeli) üzerinde lineer olmayan en küçük kareler metoduyla P_m, MPR_m ve

λ katsayıları hesaplanmıştır [25]. Denklemden, t ; deney süresini, P_m ; tahmini biyogaz-metan üretimini (mL Biyogaz-CH₄/g VS), MPR_m ; maksimum biyogaz-metan üretim oranını (mL Biyogaz-CH₄/d) ve λ ; gecikme aşamasını (gün) ifade etmek üzere, CMP_t toplam biyogaz-metan üretimi (mL Biyogaz-CH₄/g VS),

$$CMP_t = P_m * e^{(-e^{\left(\frac{MPR_m * e}{P_m} * (\lambda - t) + 1\right)}} \quad (1)$$

şeklinde hesaplanmıştır.

2.3 ARIMA Modeli

ARIMA modelleri, teorik olarak, zaman serisi verilerinin gelecekteki değerlerini tahmin etmek için en yaygın kullanılan modellerdendir [26]. ARIMA modelleri, Box – Jenkins yaklaşımı izleyerek tahminde bulunurlar [27]. Bu model, bir zaman serisinin gelecekteki değerlerini, kendi geçmiş değerlerinin ve/veya tahmin hatalarının gecikmelerinin doğrusal bir kombinasyonu olarak tahmin eder. Box ve Jenkins [28], bu modellerin bağımsız değişkenler içermediğini, aksine tahminler oluşturmak için serideki bilgileri kullandığını belirtmiştir. Bu nedenle, ARIMA modelleri serideki otokorelasyon modellerine bağlıdır. Bir ARIMA (p, d, q) modelinin üç parametresi vardır. AR (p), otoregresif sürecin sırasını temsil ederken, I (d), serinin durağan olmaması durumunda durağan seriyi elde etmek için alınan farkların sırasını temsil eder ve MA (q) ise hareketli ortalama işleminin sırasını temsil eder. Otoregresif model, t-dönemindeki değerinin belirli sayıdaki geri dönem değerleri ile aynı dönemdeki hata teriminin doğrusal bir fonksiyonu olarak ifade edilir. Modelin I (d) parametresi genellikle örnekleme verileri durağan olmadığında uygulanır. Seriler durağan ise, d = 0 ve eğer serilerin birinci farkları sabitse, d = 1 olarak ifade edilir. Hareketli ortalama parametresi, değişkenin doğrusal olarak bir stokastik teriminin şimdiki ve geçmişteki değerlerine bağlı olduğunu belirtir. P, d, q süreci ile genelleştirilmiş tek değişkenli genel ARIMA modeli Denklem (2)'de verilmiştir. Denklemden, X farklı zaman serisi değerini, μ sabit sayıyı, α ve θ bilinmeyen parametreleri ve e ise sıfır ortalamaya sahip normal dağılım gösteren bağımsız hata değişkeni terimini ifade etmek üzere;

$$X_t = \mu + \alpha_1 X_{t-1} + \dots + \alpha_p X_{t-p} - \theta_1 e_{t-1} - \dots - \theta_q e_{t-q} \quad (2)$$

denklemden, t, süreyi, p, gecikmeli otoregresif (AR) sürecini ve q, ise hareketli ortalama (MA) ifade etmektedir.

2.4 Yıllık Metan Potansiyelinin Hesaplanması

Laboratuvar ölçeğinden üretilen BMP testlerine göre, sığır gübresinden üretilebilecek yıllık biyogaz ve metan potansiyelini Denklem (3) ile hesaplanmıştır. Denklemden, x (adet); sığır sayısını, $a \left(\frac{kg}{adet \times gün} \times \frac{1 ton}{10^3 kg} \times \frac{365 (gün)}{1 (yıl)} \right)$; Tablo 3'te belirtilen sığır başına ortalama günlük gübre üretimini, b (%); BMP testinden elde edilen biyogaz içerisindeki metan yüzdesini, c (m³ CH₄/ton VS); BMP testinden elde edilen verilere göre uçucu katı ağırlığı 1 ton

olan sığır gübresinden elde edilen biyogaz hacmini ve VS (%); Tablo 1'de verilen uçucu katı yüzdesini, f; oluşan gübrenin elde edilebilirlik oranını (bu çalışmada %50 olarak kabul edilmiştir) ifade etmek üzere, toplam yıllık biyokimyasal biyogaz potansiyeli (TBBP) ve toplam yıllık metan potansiyeli (TBMP);

$$\begin{aligned} TBBP &= x \times a \times c \times VS \times f \quad (m^3/yıl) \\ TBMP &= x \times a \times b \times c \times VS \times f \quad (m^3/yıl) \end{aligned} \quad (3)$$

şeklinde hesaplanmıştır.

2.5 Biyogazdan Enerji Üretimi

Doğal gaz için geliştirilen içten yanmalı motorlar herhangi bir modifikasyon yapılmadan biyogaz için kullanılabilir. Dört zamanlı motorların kapasiteleri birkaç kW ile 10 MW arasındadır ve ömürleri yaklaşık 60.000 saattir. Ancak, elektrik üretim verimleri %35 – 40 arasındadır [29]. Biyogazdaki CO₂ konsantrasyonunun azalışı ile verimlilikleri ve vuruşma önleme özellikleri artar [30]. Biyogazın enerjiye dönüştürülmesinde en yaygın kullanılan sistem, birleşik ısı ve güç (CHP) sistemleri olarak bilinen aynı anda hem güç hem de ısı üreten sistemlerdir. AB'de, biyogaz tesislerinin yarısında, dört zamanlı motorlarla çalışan CHP ünitelerine sahip dizel motorlar kullanılmaktadır [29]. Modern CHP tesisinin ısı ve güç verimliliği %85-90'dır [30]. Ancak, elektrik verimliliği %40'lar civarındadır [29]. Bu çalışmada, sığır gübresinden yıllık biyogaz üretim potansiyeli, sadece elektrik üretimi dikkate alınacağından dönüşüm verimi %40 olarak kabul edilmiştir.

Biyogaz, %55-70 CH₄, %30-45 CO₂ ve %1-3 diğer gazlardan oluştuğu varsayıldığında enerji içeriği 6 – 6,5 kWh/m³ olarak bildirilmiştir [29]. Potansiyel elektrik üretimi Denklem (4)'e göre hesaplanmıştır. Denklemden, TBBP (m³/yıl); toplam biyokimyasal biyogaz potansiyelini, $EI_{biyogaz}$ (kWh/m³); biyogazın enerji içeriğini (bu çalışma için 6,5 kabul edilecek) ve η (%); enerji dönüşüm verimini (bu çalışma için %40 kabul edilecek) ifade etmek üzere, $EP_{biyogaz}$ elektrik üretim potansiyeli;

$$EP_{biyogaz} = TBBP \times EI_{biyogaz} \times \eta \quad (kWh/yıl) \quad (4)$$

şeklinde hesaplanmıştır.

2.6 Eşdeğer CO₂ Emülsiyonu Hesaplanması

Bu çalışmada, elektrik üretiminde salınan CO₂ emülsiyonu hesaplamak için bazı kabuller yapılmıştır. 1 m³ hacmindeki biyogazın, direkt olarak atmosfere salınmasıyla oluşan CO₂ emülsiyonu eşdeğerinin 9,19 kg CO₂ salınımına eşit olduğu bildirilmiştir [31]. Ayrıca, 1 kWh elektrik enerjisi üretmek için metan gazı kullanıldığında atmosfere 0,8 kg CO₂ eşdeğerinde yanma sonucu oluşan gazlar salınmaktadır [32]. Aynı miktarda üretilecek elektrik enerjisinin biyogaz kullanımını yerine kömür kullanılarak üretildiğinde ise 1 kWh elektrik üretimi için 1 kg CO₂ salınımı yapıldığı kabul edilmiştir [33]. Sığır gübresinin AP işlemi uygulanmaması durumunda, bu atığın doğal çevre ortamında CO₂ emülsiyonuna katkısı

Denklem (5) kullanılarak hesaplanmıştır. Denklemde, TBBP ($m^3/yıl$); toplam biyokimyasal biyogaz potansiyelini ve a_{CO_2} ($kg\ CO_2/m^3$); $1\ m^3$ biyogazının atmosfere salınımına eşit olan CO_2 emülsiyonu eşdeğerini (9,19) ifade etmek üzere, biyogazın kullanılmadan atmosfere salınmasında CO_2 salınımına eşdeğeri;

$$BG_{CO_2} = TBBP \times a_{CO_2} \quad (kg\ CO_2/yıl) \quad (5)$$

şeklinde hesaplanmıştır.

Biyogazdan elektrik üretilirken biyo metanın yanması sonucu oluşacak gazların CO_2 eşleniğinden değeri Denklem (6)'ya göre hesaplanmıştır. Denklemde, TBMP ($m^3/yıl$); toplam yıllık biyokimyasal metan potansiyelini, b_{CH_4} ; $1\ kWh$ elektrik enerjisi üretmek için metan gazı kullanıldığında atmosfere CO_2 eşdeğerinde yanma sonucu oluşan gazların salınımını ($0,8\ kg\ CO_2/kWh$) ve $E\dot{I}_{biyogaz}$ (kWh/m^3); biyogazın enerji içeriğini ifade etmek üzere, biyogazın elektrige çevrilirken oluşturduğu CO_2 türünden gaz salınımı miktarı;

$$EBG_{CO_2} = TBMP \times b_{CH_4} \times E\dot{I}_{biyogaz} \quad (m^3/yıl) \quad (6)$$

şeklinde hesaplanmıştır.

Biyogazdan üretilen elektrik potansiyelini kömür kullanılarak üretilmesi durumunda kömür elektrik santralının atmosfere salacağı CO_2 emülsiyon miktarını Denklem (7)'ye göre hesaplanmıştır. Denklemde, $EP_{biyogaz}$ ($kWh/yıl$); biyogazdan elektrik üretim potansiyelini, $c_{kömür}$ ($kg\ CO_2/kWh$); kömür kullanarak $1\ kWh$ elektrik enerjisi üretmek için salınan CO_2 miktarını ifade etmek üzere, kömür santralinden yıllık CO_2 emülsiyon salınım miktarı;

$$KS_{CO_2} = EP_{biyogaz} \times c_{kömür} \quad (m^3/yıl) \quad (7)$$

şeklinde hesaplanmıştır.

Ayrıca, biyogazdan üretilen potansiyel bu enerjiyi kömürden üretilmesi durumunda yıllık tüketilecek kömür miktarı Denklem (8)'e göre hesaplanmıştır. Denklemde, $EP_{biyogaz}$ ($kWh/yıl$); biyogazdan elektrik üretim potansiyelini, $H_{kömür}$ ($kcal/kg$); kömürün alt ısıl değerini (bu çalışmada kömür alt ısıl değeri Afşin-Elbistan Linyit kömürün $1.122,0\ kcal/kg$ alt ısıl değeri kullanılmıştır [34]), η_{KS} (%); kömür santralının enerji dönüşüm verimini (%40 kabul edilmiştir) göstermek üzere, yıllık tüketilecek kömür miktarı;

$$m_{kömür} = \frac{EP_{biyogaz}}{H_{kömür} \times \eta_{KS}} \quad (kg/yıl) \quad (8)$$

şeklinde hesaplanmıştır.

Toplam CO_2 emülsiyonu, sığır gübresinden üretilen biyogazın kontrolsüz olarak depolanmadan atmosfere salınan CO_2 eşdeğeri ile bu biyogazdan üretilen elektrik enerjisi üretmek için kullanılan kömür santralının salınımından kaynaklı CO_2 değerinin toplanması ile ifade edilmiştir. Bunun için, Denklem (9) kullanılmıştır. Denklem (8)'de, BG_{CO_2} ($kg\ CO_2/yıl$); biyogazın kullanılmadan atmosfere salınmasında CO_2 salınımına

eşdeğerini, KS_{CO_2} ($kg\ CO_2/yıl$); kömür santralinden yıllık CO_2 emülsiyon salınım miktarını ifade etmek üzere, biyogazın direk atmosfere salınması ve eşdeğer elektrik üretimi için kömür santralinden gelen CO_2 toplam emülsiyonu;

$$TE_{CO_2} = KS_{CO_2} + BG_{CO_2} \quad (kg\ CO_2/yıl) \quad (9)$$

şeklinde hesaplanmıştır.

Toplam CO_2 emülsiyonundaki azalma ise sığır gübresinden üretilen potansiyel biyogazın ektekiğe dönüştürülmesi sırasında atmosfere salınan CO_2 eşdeğeri ile bu biyogazdan üretilen elektrik enerjisi üretmek için kullanılan kömür santralının salınımından kaynaklı CO_2 değerinin çıkarılması ile ifade edilmiştir. Denklem (10)'da, BG_{CO_2} ($kg\ CO_2/yıl$); biyogazın kullanılmadan atmosfere salınmasında CO_2 salınımına eşdeğerini, KS_{CO_2} ($kg\ CO_2/yıl$); kömür santralinden yıllık CO_2 emülsiyon salınım miktarını, EBG_{CO_2} ($kg\ CO_2/yıl$); biyogazın elektrige çevrilirken oluşturduğu CO_2 türünden gaz salınımı miktarını ifade etmek üzere, potansiyel biyogazdan elektrik üretilmesindeki ve eşdeğer elektrik üretimi için kömür santralinden gelen CO_2 toplam emülsiyon azalışı;

$$TEA_{CO_2} = BG_{CO_2} + KS_{CO_2} - EBG_{CO_2} \quad (kg\ CO_2/yıl) \quad (10)$$

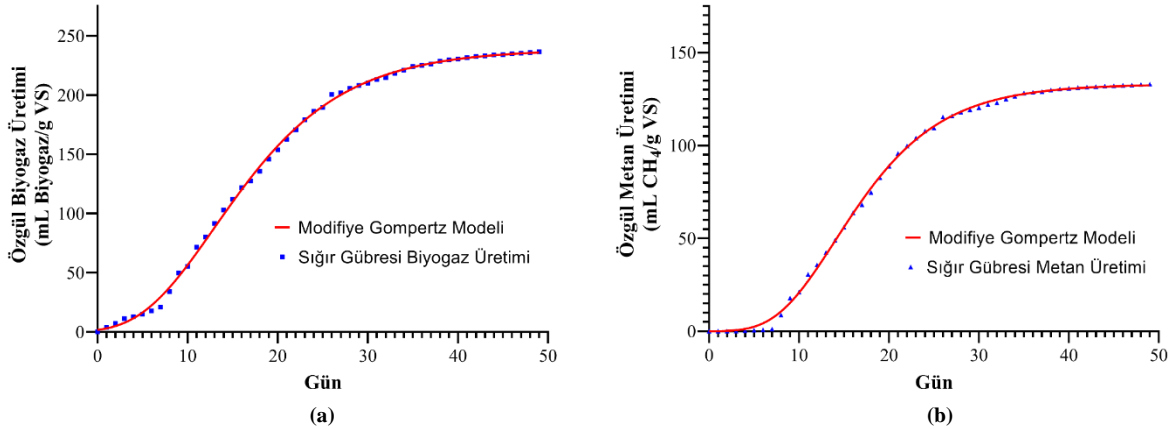
şeklinde hesaplanmıştır.

3 Sonuçlar ve Tartışma

Bu bölümde ilk olarak laboratuvar ortamında üretilmiş BMP test sonuçları sunulmuş, daha sonrasında Türkiye genelinde sığır gübresinden biyogaz üretimi potansiyeli tartışılmıştır. Üretilen bu biyogaz potansiyelinin yapılan kabullere göre elektrik enerjisine dönüştürülmesi ve CO_2 emülsiyonun azaltılmasına olan etkisinin sonuçları sunulmuştur. Son olarak da oluşturulan ARIMA modeline ile 2030, 2050 ve 2053 yıllarındaki tahminleme sonuçları verilmiştir.

3.1 Biyokimyasal Metan Potansiyeli (BMP) Test Sonuçları

BMP testleri 49 gün boyunca takip edilmiştir. Oluşan biyogaz numuneleri vakumlu numune tüplerine alınarak, GC analizlerinde kullanılmak üzere güneş görmeyen bir yerde oda sıcaklığında muhafaza edilmiştir. Sığır gübresinden ve aşından oluşan karışım üç tekrarlı hazırlanmış, bu karışımlardan üretilen özgül biyogaz miktarları ortalaması Şekil 1 - a'da verilmiştir. Şekil 1 - b'de ise özgül metan miktarları sunulmuştur. Deney sonuçlarına göre sığır gübresinden ortalama $236 \pm 15\ mL$ Biyogaz/g VS biyogaz elde edilmiş ve üretilen biyogazın metan yüzdesi ortalama %56,3 olarak belirlenmiştir. Sığır gübresinin ortalama özgül metan üretimi $133 \pm 3\ mL\ CH_4/g$ VS olarak elde edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar, sığır gübresinden üretilen biyogaz ve metan potansiyelinin, enerji dönüşümünün ve CO_2 eşdeğerinde emülsiyonlarının hesaplaması için bir sonraki bölümde kullanılmıştır.



Şekil 1. Sığır gübresin kullanılarak kesikli reaktör ile BMP testlerinden özgül biyogaz (a) ve metan (b) grafiği (noktalar deneysel sonuçlar, düz çizgiler model sonuçları ifade etmektedir)

Modifiye edilmiş Gompertz modeli kullanılarak üretilen biyogazın ve metanın toplam üretimi, maksimum biyogaz ve metan üretim oranı ve lag faza olarak ifade edilen gecikme aşaması modelden belirlenmiştir (Tablo 4). Model ile deney sonuçları yüksek bir uyum göstermiş ve biyogaz ve metan için R^2 değerleri sırasıyla 0,9759 ve 0,9958 olarak belirlenmiştir. Modele göre sığır gübresinden 238,5 mL Biyogaz/g VS elde edilebileceği bulunmuştur. Yapılan deneylere göre bu değer 236 ± 15 mL Biyogaz/g VS olarak tespit edilmiştir. Sonuçlardan da

görülebileceği gibi bu iki değer arasında çok iyi bir uyum bulunmaktadır. Ayrıca, günlük maksimum üretilecek biyogaz miktarının 10,9 mL ve gecikme aşamasının ise 4,9 gün olacağı modelden belirlenmiştir. Metan üretimi için aynı model kullanıldığında elde edilen değerler biyogaz üretiminde olduğu gibi deney sonuçlarıyla çok iyi bir korelasyon göstermektedir. Modelden, metan üretimi için gecikme aşaması 7,5 gün olarak belirlenmiş, bu gecikme süresinin uzun olmasının nedeninin ise hidroliz aşamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 4. BMP test sonuçları ve modifiye Gompertz modelinin parametre tahminleri

	Deneysel CMP (mL Biyogaz/CH ₄ /g VS)	Tahmin edilen CMP (P _m) (mL Biyogaz/CH ₄ /g VS)	MPR _m (mL Biyogaz/CH ₄ /d)	λ (gün)	R ²
Sığır gübresin biyogaz üretimi	236 ± 15	238,5	10,9	4,9	0,9759
Sığır gübresin metan üretimi	133 ± 3	133,0	7,5	7,5	0,9958

3.2 Sığır Gübresinden Potansiyel Biyogaz Üretimi

Toplanabilir sığır gübresinde üretilebilecek biyogaz ve metan potansiyeli TÜİK 2018 yıllı verilerine ve Denklem (2)'ye göre hesaplanmış ve Tablo 5'te sunulmuştur.

Ortalama olarak sığır başı günlük 14,5 kg gübre üretildiği varsayıldığında, 2018 yıllı sığır sayısına göre yıllık olarak 91 milyon ton sığır gübresi üretilmektedir. Üretilen bu gübrenin yarısı (%50) AP işlemi için ulaşılabilir kabul edildiğinde ise yıllık olarak yaklaşık 2 milyar m³ biyogaz ve 1,1 milyar m³ biyo metan elde edilebileceği Denklem 3'den hesaplanmıştır. Hayvan gübresinden (büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanları dahil) biyogaz üretim potansiyeli 2009 yıllı için 2,17 milyar m³ [20], 2013 yıllı için 2,57 milyar m³ [35] olarak bildirilmiştir. Bu iki çalışmada da sığır gübresi bu potansiyelin hesaplanmasında %68 [20] ve %79 [35] paya sahiptir. Ayrıca şehirler özelinde yapılan hayvan gübrelerinden biyogaz üretim potansiyeli çalışmalarında, Samsun için 2016 yıllı hayvan sayılarına göre 53,6 milyon m³ [36] bir potansiyele sahipken, Ardahan için 2015 yıllı hayvan sayılarına göre 105,8 milyon m³ [15] bir potansiyele sahip olduğu bildirilmiştir. Literatürde rapor edilen çalışmaların sonuçları ile bu çalışmadan çıkarılan sonuçlar birbirleriyle iyi bir uyum göstermektedir. Buda bu çalışmada yapılan kabullerin doğruluğunu göstermektedir.

Tablo 5. TÜİK 2018 verilerine göre TBBP ve TBMP miktarları

	2018 yılı
Sığır Sayısı (adet)	17.220.903,00
Oluşan Yıllık Gübre Miktarı (ton/yıl)	91.141.629,13
TBBP (m ³ /yıl)	1.962.734.983,26
TBMP (m ³ /yıl)	1.105.019.795,58

3.3 Sığır Gübresinden Potansiyel Elektrik Enerjisi Üretimi

Sığır gübresinden üretilebilecek potansiyel biyogaz ve metan miktarları Denklem 2'ye göre hesaplanmış ve Tablo 5'te yıllık üretim miktarları m³ türünden sunulmuştur. Varsayımlara göre sığır gübresinden yıllık olarak yaklaşık 2 milyar m³ biyogaz üretilebilecek bir potansiyele sahiptir. Bu potansiyel elektrik üretiminde kullanılır ise Denklem 3 kullanılarak 2018 yıllı verilerine göre yıllık 5.103,11 GWh elektrik üretme potansiyeline sahiptir. Türkiye'de 2018 yıllında toplam elektrik tüketimi 258.232,00 GWh olarak belirlenmiştir [17]. Üretilen bu elektrik potansiyeli ülkenin 2018 yıllı enerji tüketiminin yaklaşık %2'sini karşılayacak bir potansiyele sahiptir. 5346 sayılı yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımına ilişkin kanuna göre, devlet tarafından biyokütleyle dayalı üretim tesislerinden kWh elektrik enerji başına 13,3 Amerikan doları sent olarak alım garantisi vermiştir. Biyogaz üretim tesislerinde, yatırım geri

dönüşüm oranının üç buçuk yılın altında bir değere sahip olduğu ekonomik analiz yapılan çalışmalarda rapor edilmiştir [14, 15]. Bu raporların sonuçları, bu çalışmada bulunan sonuçlar ile örtüşmektedir.

3.4 Potansiyel Biyogazın Elektrik Enerjisine Çevrilmesiyle Eşdeğer CO₂ Emülsiyonunda Azalma

Ülkemizde elektrik üretimi genelde ithal edilen doğal gazdan üretilmektedir. Cari açığı azaltmak noktasında yeni politikalara göre yerli fosil yakıtların kullanımına son yıllarda önem verilmiştir. Ancak, bu da CO₂ emülsiyonunu önemli ölçüde artmasına neden olmuştur. 2018 yılı verilerine göre, toplam CO₂ emülsiyonu 500,9 milyon ton CO₂ eşdeğerinde olduğu rapor edilmiştir ve bu emülsiyonun %71,6 oranı enerji sektöründen gelmektedir [17]. Yeşil Mukataada göre Türkiye CO₂ emülsiyonunu 2030 yılında 1990 yılı CO₂ emülsiyonu verilerinin %21 fazlasına gelecek oranında azaltması gerekmektedir [16]. 2018 yılı verilerine göre CO₂ eşdeğerinde emülsiyon değeri referans yıla göre %137,5 oranında artmıştır [1].

Sığır gübresinden biyogaz üretilmesi, bu üretilen biyogazın elektrik üretiminde kullanılması ve üretilecek enerji potansiyeli kadar kömür santrallerinde kömür kullanımının azaltılması CO₂ emülsiyonlarının azaltılması

noktasında hedeflere ulaşılmasına olumlu bir katkı sağlayacaktır. Yıllık üretilen 91 milyon ton sığır gübresi AP işlemi uygulanarak biyogaza dönüştürülmemesi durumdan, bu atıktan kaynaklı doğaya 18,04 milyon ton CO₂ eşdeğerinde gazın atmosfere salınacağı Denklem 4’de göre hesaplanmıştır. Bu salınma ek olarak, bu gazın elektrik üretiminde kullanılmaması ve bunun eşdeğeri enerji üretmek için kömür kullanılması durumunda 9,48 milyar ton kömür kullanılması gerektiği belirlenmiştir. Bu kömür kullanımından dolayı atmosfere 5,1 milyon ton CO₂ eşdeğerinde gazın salındığı Denklem 6 ve 7’ye göre hesaplanmıştır. Bu senaryoya göre, Denklem 8’den yıllık 23,14 milyon ton CO₂ eşdeğerinde gaz atmosfere salınacaktır. Fakat bu atıktan biyogaz üretilmesi ve bunun elektrik enerjisine çevrilmesi durumunda ise atmosfere biyogazın yanması sonucu 0,89 milyon ton CO₂ eşdeğerinde gaz salınacaktır (Denklem 5). Bu senaryoya göre ise, potansiyel elektrik enerjisinin üretilmesi için kömür kullanılmasına gerek kalmayacak, ayrıca, biyogazın atmosfere direk salınmadığında dolayı atmosfere sadece 0,89 milyon ton CO₂ eşdeğerinde gaz salınacaktır. Buda, Denklem 9’a göre 23,26 milyon ton CO₂ eşdeğerinde gazın atmosfere salınımının azalışı anlamına gelmektedir. 2018 yılı verilerine göre bulunan sonuçlar Tablo 6’da sunulmuştur.

Tablo 6. 2018 yılı sığır gübresinin biyogaz üretiminde kullanılarak elektrik enerjisine dönüştürülmesi senaryosundaki CO₂ emülsiyonundaki azalma

Denklemler	Birim	2018 Yıllı
Denklem (5), BG _{CO2} biyogazın kullanılmadan atmosfere salınmasında CO ₂ salınımına eşdeğeri	kg CO ₂ /yıl	18.037.534.496,17
Denklem (6), EBG _{CO2} biyogazın elektriğe çevrilirken oluşturduğu CO ₂ türünden gaz salınımı miktarı	kg CO ₂ /yıl	884.015.836,46
Denklem (7), KSCO ₂ kömür santralinden yıllık CO ₂ emülsiyon salınım miktarı	kg CO ₂ /yıl	5.103.110.956,48
Denklem (9), TE _{CO2} biyogazın direk atmosfere salınması ve eşdeğer elektrik üretimi için kömür santralinden gelen toplam CO ₂ emülsiyonu	kg CO ₂ /yıl	23.140.645.452,64
Denklem (10), TE _{ACO2} potansiyel biyogazdan elektrik üretilmesin ve eşdeğer elektrik üretimi için kömür santralinden gelen toplam CO ₂ emülsiyonunun azalışı	kg CO ₂ /yıl	22.256.629.616,18

3.5 ARIMA Modeliyle 2023, 2030 ve 2053 Yıllarında Biyogaz Üretimi, Elektrik Üretimi ve Eşdeğer CO₂ Emülsiyonundaki Azalma Tahmini

ARIMA modeli zaman serilerinde tahminleme yapmada yaygın kullanılan modellerdendir. Bu çalışmada, 2008 – 2018 yılları arasındaki popülasyon ile sığır sayısı, net elektrik tüketimi ve toplam gaz emülsiyon miktarı arasındaki korelasyon sırasıyla 0,95, 0,99 ve 0,98 olarak

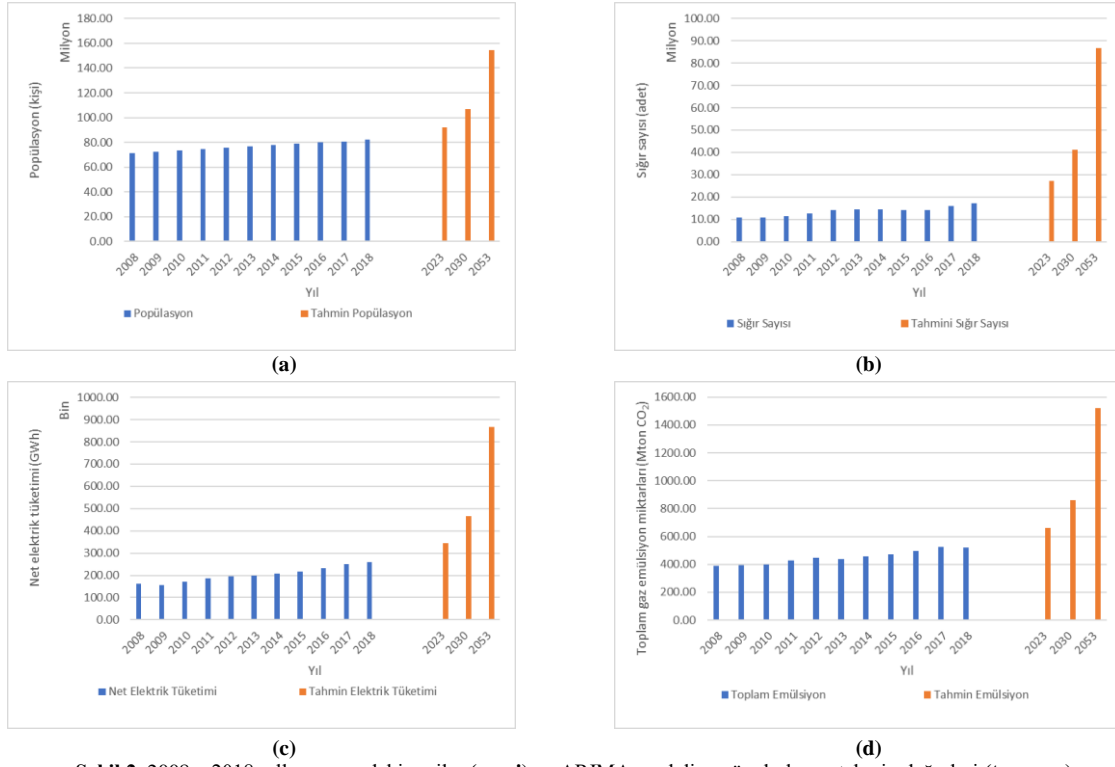
bulunmuştur. Yüksek korelasyon değerleri, bu değişkenlerin popülasyon değişimiyle güçlü bir ilişkisi olduğunu göstermektedir. Bu yüzden, ARIMA modeli kullanılarak popülasyon, sığır sayısı, net elektrik tüketimi ve toplam gaz emülsiyon miktarları, 2023, 2030 ve 2053 yılları için tahminleri yapılmıştır. Sonuçlar Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. ARIMA model ile 2023, 2030 ve 2053 yıllarındaki popülasyon, sığır sayısı, net elektrik tüketimi ve toplam gaz emülsiyon miktarları tahmini

Yıl	2023	2030	2053
Popülasyon (kişi)	92377036	106898994	154613999
Sığır sayısı (adet)	25236880	34213169	54735709
Net elektrik tüketimi (GWh)	321030	389188	546948
Toplam gaz emülsiyon miktarları (Mton CO ₂)	661,76	861,88	1519,41

2008 – 2018 yılları arasındaki TÜİK verilerine ve ARIMA modelinin sonuçlarına göre popülasyon, sığır sayısı, net elektrik tüketimi ve toplam gaz emülsiyon miktarları için çizilen grafikler Şekil 2’de sunulmuştur. Grafiklerde de net bir şekilde görüldüğü üzere, ARIMA modeline göre

önümüzdeki yıllarda bu dört değerinde üstel olarak artması beklenmektedir. Model tahminine göre sığır gübresinden biyogaz üretim potansiyeli ve bunun elektrik enerjisine çevrilmesiyle CO₂ emülsiyonundaki azalmaya etkisi daha fazla olacaktır.



Şekil 2. 2008 – 2018 yılları arasındaki veriler (mavi) ve ARIMA modeline göre bulunan tahmin değerleri (turuncu), nüfus (a), sığır sayısı (b), net elektrik tüketimi (c), toplam gaz emülsiyon miktarları (d)

2023, 2030 ve 2053 yıllarında artan sığır sayısına göre üretilecek biyogaz potansiyeli ve bu potansiyelin elektrik enerjisi üretimi için kullanılması durumunda CO₂ emülsiyonundaki azalma miktarı Tablo 8'de verilmiştir. Nüfus, net elektrik tüketimi, sera gazı salınımı ve sığır sayısındaki artış model tahminine göre üstel olduğu için sığır gübresinde biyogaz üretim potansiyeli üstel olarak artmıştır. 2023, 2030 ve 2053 yılları için yapılan tahminlerde biyogaz üretim potansiyeli sırasıyla 2.876,35, 3.899,41 ve 6.238,45 milyar m³ hesaplanmıştır. Bu

potansiyel elektrik enerjisi üretiminde kullanılmadan direk olarak atmosfere salındığında 2023 yılı için 26,43, 2030 yılı için 35,84 ve 2053 yılı için 57,33 milyon ton CO₂ eşdeğerinde gaz salınımı tahmin edilmiştir. Eğer bu potansiyel elektrik enerjisine dönüştürülür ve bu enerjinin eşdeğerinde elektrik üretimi için kömür kullanımı azaltılırsa, 2023 yılı için 32,62, 2030 yılı için 44,22 ve 2053 yılı için 70,74 milyon ton CO₂ eşdeğerinde gaz emülsiyonu salınımında azalma olması beklenmektedir

Tablo 8. 2023, 2030 ve 2053 yılı tahminlerine göre sığır gübresinin biyogaz üretiminde kullanılarak elektrik enerjisine dönüştürülmesi senaryosunda CO₂ emülsiyonundaki azalma

Denklemler	Birim	2023 Yıllı	2030 Yıllı	2053 Yıllı
Denklemler (3), TBBP	m ³ /yıl	2.876.347.928,77	3.899.411.340,09	6.238.447.022,60
Denklemler (5), BG _{CO2}	kg CO ₂ /yıl	26.433.637.465,41	35.835.590.215,43	57.331.328.137,66
Denklemler (6), EB _{GCO2}	kg CO ₂ /yıl	1.295.507.107,12	1.756.294.867,58	2.809.796.538,98
Denklemler (7), KS _{CO2}	kg CO ₂ /yıl	7.478.504.614,80	10.138.469.484,23	16.219.962.258,75
Denklemler (9), TE _{CO2}	kg CO ₂ /yıl	33.912.142.080,21	45.974.059.699,66	73.551.290.396,40
Denklemler (10), TE _{ACO2}	kg CO ₂ /yıl	32.616.634.973,09	44.217.764.832,08	70.741.493.857,43

4 Sonuçlar

Bu çalışmada, elektrik üretimi için kullanılacak sığır gübresinden biyogaz üretiminin deneysel sonuçları ve bu sonuçlara dayanarak Türkiye genelinde sığır gübresinden biyogaz üretme potansiyelinin hesaplanması kapsamaktadır. Ayrıca, üretilen biyogazın elektrik enerjisine dönüştürülmesiyle sera gazı üzerindeki etkilerinin gösterildiği bir çalışmadır. Deneysel sonuçlarına göre sığır gübresinden ortalama 236 ± 15 mL Biyogaz/g VS biyogaz elde edilmiş ve üretilen biyogazın metan yüzdesi ortalama %56,3 olarak belirlenmiştir. Sığır gübresinin ortalama özgül metan üretimi 133 ± 3 mL CH₄/g VS olarak elde edilmiştir. Elde edilen bulgulara

dayanarak, 2018 yılı için sığır gübresinden biyogaz üretilmesi potansiyelinin yaklaşık 2 milyar m³ olabileceği hesaplanmış ve bu biyogazın 1,1 milyar m³ metan içeriğine sahip olacağı deney sonuçlarıyla bulunmuştur. Buna ek olarak, üretilecek biyogazın elektrik enerjisi üretmek için kullanılması ve aynı miktarda enerjinin üretilmesi için kömür kullanımının azaltılması senaryosunda 22,27 milyon ton CO₂ eşdeğerinde gaz emülsiyonu salınımında azalma meydana geleceği ortaya konmuştur.

Ayrıca, ARIMA modeli kullanılarak 2023, 2030 ve 2053 yılları için sığır gübresinden biyogaz üretim potansiyelleri tahmin edilmiştir. Modele göre, 2023, 2030 ve 2053 yılları için yapılan tahminlerde biyogaz üretim potansiyeli

sırasıyla 2.876,35, 3.899,41 ve 6.238,45 milyar m³ hesaplanmıştır. Eğer bu potansiyel elektrik enerjisine dönüştürülür ve bu enerjinin eşdeğerinde elektrik üretimi için kömür kullanımı azaltılırsa, 2023 yılı için 32,62, 2030 yılı için 44,22 ve 2053 yılı için 70,74 milyon ton CO₂ eşdeğerinde gaz emülsiyonu salınımlarında azalma meydana geleceği ortaya konmuştur.

Teşekkürler

Yazar bu çalışmada, ARIMA modelinin oluşturulmasında teknik desteklerinden dolayı Dr. Serdar ABUT'a teşekkürlerini sunar.

Bilgilendirme

Gerçekleştirilen bu çalışmada Etik Kurul Onay belgesine gerek yoktur.

Kaynaklar

- [1] The World, B. The World Population, Total | Data. Retrieved August 22, 2019, from <https://data.worldbank.org/indicator/sp.pop.totl>.
- [2] Capuano, L. (2018). International energy outlook 2018 (IEO2018). *US Energy Information Administration (EIA)*: Washington, DC, USA, 2018, 21.
- [3] Raturi, A. K. (2019). Renewables 2019 global status report.
- [4] Nghiem, L. D., Koch, K., Bolzonella, D., & Drewes, J. E. (2017). Full scale co-digestion of wastewater sludge and food waste: Bottlenecks and possibilities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 354-362.
- [5] Sawin, J. L., Rutovitz, J. ve Sverrisson, F. (2019). Renewables 2018 Global Status Report.
- [6] EEA. (2017). Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016 An indicator-based report. *Copenhagen K, Denmark*.
- [7] No, D. (2009). 406/2009/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the effort of Member States to reduce their greenhouse gas emissions to meet the Community's greenhouse gas emission reduction commitments up to 2020. *OJ L*, 140(5.6).
- [8] Union, E. (2015). secure, sustainable, competitive, affordable energy for every European. Dostupno na: https://europa.eu/rapid/press-release_IP-15-4497_en.htm.
- [9] Holm-Nielsen, J. B., Al Seadi, T., & Oleskowicz-Popiel, P. (2009). The future of anaerobic digestion and biogas utilization. *Bioresource technology*, 100(22), 5478-5484..
- [10] Meyer, A. K. P., Ehimen, E. A., & Holm-Nielsen, J. B. (2018). Future European biogas: Animal manure, straw and grass potentials for a sustainable European biogas production. *Biomass and Bioenergy*, 111, 154-164.
- [11] Balat, M., & Balat, H. (2009). Biogas as a renewable energy source—a review. *Energy Sources, Part A*, 31(14), 1280-1293.
- [12] Taleghani, G., & Kia, A. S. (2005). Technical–economical analysis of the Saveh biogas power plant. *Renewable energy*, 30(3), 441-446.
- [13] Connolly, D., Lund, H., & Mathiesen, B. V. (2016). Smart Energy Europe: The technical and economic impact of one potential 100% renewable energy scenario for the European Union. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 1634-1653.
- [14] Ozturk, M., & Yuksel, Y. E. (2016). Energy structure of Turkey for sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 1259-1272.
- [15] Özer, B. (2017). Biogas energy opportunity of Ardahan city of Turkey. *Energy*, 139, 1144-1152.
- [16] Enerji, T. C., & Bakanlığı, T. K. (2014). Türkiye Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı. *TC Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı*, Aralık.
- [17] TUIK. TUIK - Data Portal. Retrieved April 1, 2021, from <https://data.tuik.gov.tr/>.
- [18] Al Seadi, T. (2008). Biogas handbook.
- [19] Atelge, M. R., Krisa, D., Kumar, G., Eskicioglu, C., Nguyen, D. D., Chang, S. W., ... & Unalan, S. (2020). Biogas production from organic waste: recent progress and perspectives. *Waste and Biomass Valorization*, 11(3), 1019-1040.
- [20] Avcioglu, A. O., & Türker, U. (2012). Status and potential of biogas energy from animal wastes in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(3), 1557-1561.
- [21] Abdeshahian, P., Lim, J. S., Ho, W. S., Hashim, H., & Lee, C. T. (2016). Potential of biogas production from farm animal waste in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 714-723.
- [22] Noorollahi, Y., Kheirrouz, M., Asl, H. F., Yousefi, H., & Hajinezhad, A. (2015). Biogas production potential from livestock manure in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 748-754.
- [23] Braun, R. (2007). Anaerobic digestion: a multi-faceted process for energy, environmental management and rural development. In *Improvement of crop plants for industrial end uses* (pp. 335-416). Springer, Dordrecht.
- [24] Wellinger, A., Murphy, J. D., & Baxter, D. (Eds.). (2013). *The biogas handbook: science, production and applications*. Elsevier.
- [25] Şenol, H. (2020). Anaerobic digestion of hazelnut (*Corylus colurna*) husks after alkaline pretreatment and determination of new important points in Logistic model curves. *Bioresource technology*, 300, 122660.
- [26] Ozturk, S., & Ozturk, F. (2018). Forecasting energy consumption of Turkey by Arima model. *Journal of Asian Scientific Research*, 8(2), 52.
- [27] Kendall, M. G. (1971). *Time Series Analysis, Forecasting and Control*.
- [28] Box, G. E., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., & Ljung, G. M. (2015). *Time series analysis: forecasting and control*. John Wiley & Sons..
- [29] Deublein, D., & Steinhauser, A. (2011). *Biogas from waste and renewable resources: an introduction*. John Wiley & Sons.
- [30] Kparaju, P., & Rintala, J. (2013). Generation of heat and power from biogas for stationary applications: boilers, gas engines and turbines, combined heat and power (CHP) plants and fuel cells. In *The biogas handbook* (pp. 404-427). Woodhead Publishing.
- [31] Sabuncu, Ö. C. (2010). Technical, economical and environmental analysis of biogas production. *Turkish, MSc. Thesis, Hacettepe University, Ankara, Turkey*, 34.
- [32] Cuéllar, A. D., & Webber, M. E. (2008). Cow power: the energy and emissions benefits of converting manure to biogas. *Environmental Research Letters*, 3(3), 034002.
- [33] Özer, B., Görgün, E., & Incecik, S. (2013). The scenario analysis on CO₂ emission mitigation potential in the Turkish electricity sector: 2006–2030. *Energy*, 49, 395-403.
- [34] Kurumuş, İ. ve Yıldırım, M. (2004). Afşin/Elbistan Linyitlerindeki Külün Azaltılması. *Proceedings of the 14 th Turkey Coal Congress*, Zonguldak.
- [35] Ozcan, M., Öztürk, S., & Oguz, Y. (2015). Potential evaluation of biomass-based energy sources for Turkey. *Engineering Science and Technology, An International Journal*, 18(2), 178-184.
- [36] Karaca, C., & Gurdil, G. A. K. (2019). Biogas Production Potential from Animal Manure in Samsun Province of Turkey. *Scientia agriculturae bohemia*, 50(2), 135-140.